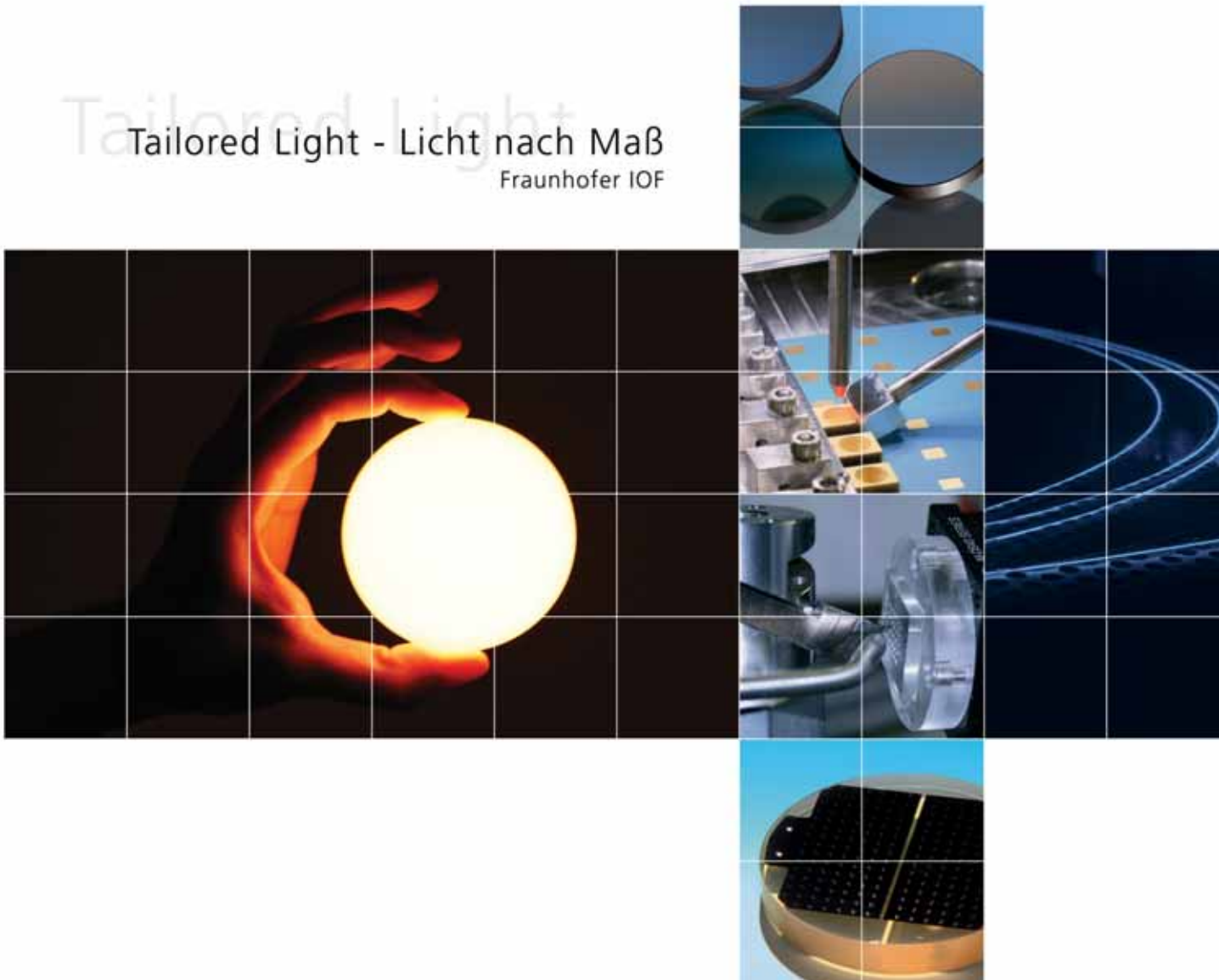
IOF

Fraunhofer Institut
Angewandte Optik
und Feinmechanik

Jahresbericht
Annual Report 2008



Jahresbericht 2008
Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik

Annual Report 2008
Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering

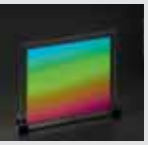
Inhalt

Contents

Vorwort 4
Wichtige Ereignisse 2008 6
Das Institut im Profil 14
Das Institut in Zahlen 24
Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik 26
Die Fraunhofer-Gesellschaft 28

Ausgewählte Ergebnisse 2008 31

Strahlquellen 32
2 kW inkohärente Strahlkombination von vier schmalbandigen photonischen Kristallfaserverstärkern 34
Steigerung der Pulsspitzenleistung hochrepetierender Ultrakurzpulslaser durch nichtlineare Wechselwirkung 40
Verbesserung des Strahlprofils von Lasern durch resonatorinterne Strahlformung 44
Maßgeschneiderte Lichtemission aus OLEDs 48



Optische Komponenten 50
Polarisierende Metallstreifengitter 52
Metallspiegel exzellenter Form und Rauheit 56
IR-Strahlteiler für das Instrument LUCIFER 58
Die analytische Beschreibung optischer Metamaterialien mittels der Multipolmethode 62

Multifunktionale optische Schichten 66
Antireflexstrukturen AR-plas® 68
Niedertemperaturabscheidung von Indiumzinnoxid 74
Optimierung der optischen und mechanischen Eigenschaften oxidischer Schichten durch Ausnutzung von Nanoporosität 76
Mikroskopie im »Wasserfenster« 78
Makyoh-Imaging zur Charakterisierung von Oberflächendefekten 80

Optomechanische Präzisionssysteme 82
THz-Bildgebung – von der Komponente zum System 84
Optikproduktion – Qualitätsüberwachung mit dem optischen 3D-Multi-Sensorsystem »kolibri MULTI lens« 92
LED-Straßenleuchten 94
Kompakter IR-Sensor zur Richtungsbestimmung von Lichtsignalen 96
Kompakter Rauheitssensor 98
Ultra-kompakter abbildender Sensor für Anwendungen im Automobil 100
Masken-Chucks für die EUV-Lithographie 102
Vorrichtung zur Justierung von Keramik-Grünfolien 104
Greifer für die rotatorische Ausrichtung polarisationserhaltender Glasfasern 106

Namen, Daten, Ereignisse 108
Patente 114
Wissenschaftliche Publikationen 116
Der Weg zu uns 127

Preface 4
Highlights 2008 6
The Institute in Profile 14
The Institute in Figures 24
Fraunhofer Surface Technology and Photonics Alliance 26
The Fraunhofer-Gesellschaft 28

Selected Results 2008 31

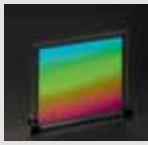
Beam Sources 32
2 kW incoherent beam combining of four narrow-linewidth photonic crystal fiber amplifiers 35
Peak power enhancement of ultra-short pulse laser sources based on nonlinear interaction 41
Improvement of the beam profile of lasers by resonator internal beam shaping 45
Tailored light emission from OLEDs 49

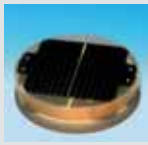
Optical Components 50
Polarizing metal stripe gratings 53
Metal mirrors with excellent surface and roughness 57
IR beam splitter for the LUCIFER instrument 59
Multipole approach to optical metamaterials 63

Multi-functional Optical Coatings 66
Antireflection structures AR-plas® 69
Low temperature deposition of indium tin oxide 75
Nanoporous oxide optical coatings with optimized mechanical and optical properties 77
Microscopy in the "water window" 79
Surface defect analysis by Makyoh imaging 81

Opto-mechanical Precision Systems 82
THz imaging – from the component to the complete system 85
Optic production – quality control by the optical 3D multi sensor system "kolibri MULTI lens" 93
LED street lighting 95
Compact IR sensor for detecting the direction of light signals 97
Compact roughness sensor 99
Ultra-compact vision sensor for automotive applications 101
Mask chucks for EUV lithography 103
Device for alignment of ceramic green tapes 105
A gripper for rotational alignment of polarization-maintaining glass fiber 107

Names, Dates, Activities 108
Patents 114
Scientific Publications 116
How to reach us 127





Vorwort

Preface

Jena leuchtet …

Die Optikindustrie hat sich in den vergangenen Jahren zu einem wichtigen Wirtschaftsfaktor in der Region Jena entwickelt. Heute arbeiten in der Region mehr als 12.000 Beschäftigte in Unternehmen der optischen Industrie und erwirtschaften einen Umsatz von mehr als 2,4 Mrd. Euro.
Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF und das Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität FSU-IAP sind wichtige Partner dieser Unternehmen – nahezu 50 Prozent der Vorhaben im Rahmen der direkten Auftragsforschung der Industrie erfolgte im Jahr 2008 in Kooperation mit Unternehmen aus der Region; damit arbeiteten statistisch mehr als ein Viertel unserer Mitarbeiter Vollzeit an strategischen Vorlaufthemen der Optikindustrie in Thüringen und trugen entscheidend zur Zukunftssicherung dieser Unternehmen bei.

Der Fraunhofer Innovationscluster JOIN – Jena Optical INovations ist ein wichtiger Kristallisationskeim dieser positiven Entwicklung. Nach seiner Gründung im Frühjahr 2006 unter Beteiligung von Bund, Freistaat Thüringen, Industrie und Wissenschaft wurde eine Technologiekonzeption für die Optik entwickelt, die wichtige Wachstumsfelder der Optischen Technologien, wie die LED-Beleuchtung, frühzeitig identifizierte und gemeinsame Pilotprojekte in »public-private-partnership« anstieß. Diese enge wechselseitige Durchdringung von Wissenschaft und Wirtschaft ist ohne Zweifel ein wesentlicher Baustein der erfolgreichen Globalisierung (»think global – act local«) der Region, die sich in einer Exportquote der optischen Industrie von über 60 Prozent manifestiert. Die Region Jena ist mit ihrer Entwicklung heute national und international ein prominentes Beispiel für erfolgreiche Clusterarbeit, wie auch die Nominierung der Region auf der Grundlage des Strategiekonzeptes CoOPTICS – Cooperate in Optics – für die Auswahlrunde des Spitzenclusterwettbewerbs der Bundesregierung verdeutlicht.

Wachstumsfelder für die Optischen Technologien liegen in den Märkten: Produktion und Information, Lebenswissenschaften und Medizin, Sicherheit und Mobilität sowie Umwelt und Energie. Das Fraunhofer IOF und das FSU-IAP sind heute mit ihren Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft in allen diesen Märkten mit Komponenten und Systemen präsent. Ein übergreifender inhaltlicher Schwerpunkt der Forschungsarbeiten der beiden Institute bildet das Themenfeld »Green Photonics« . In diesem Themenfeld sind Forschungsarbeiten zusammengefasst, die durch die Nutzung Optischer Technologien wichtige Beiträge zur effizienten Nutzung natürlicher Ressourcen in den o. g. Wachstumsfeldern leisten. Beispiele betreffen die Entwicklung hocheffizienter Festkörperlichtquellen und Dünnschichtsolarzellen für die Beleuchtungs- und Energietechnik oder auch satellitenbasierter Teleskope und Spektrometer für die Klimaforschung und moderne Landwirtschaft. Wir sind überzeugt, dass die Optik zukünftig eine bestimmende Rolle bei der Lösung drängender Zukunftsprobleme unserer Gesellschaft spielen wird. Die Region Jena mit den Partnern Fraunhofer IOF und FSU-IAP stellt sich dieser Herausforderung.

Mein Dank gilt unseren Partnern in Industrie und Wissenschaft für die gute Zusammenarbeit und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, den Thüringer Ministerien für Kultur sowie Wirtschaft, Technologie und Arbeit sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft für ihre stetige Unterstützung. Mein besonderer Respekt und meine Anerkennung gelten meinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für ihre hervorragenden Leistungen und ihr Engagement. Ihre Arbeiten bilden die Grundlage für die stetige Weiterentwicklung des Fraunhofer IOF und des IAP der FSU.

Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Jena lights up …

In recent years, the optics industry has become an important economic factor in the Jena region. Today, more than 12,000 people work for companies in the industry and generate turnover of over 2.4 billion Euros. The Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering IOF and the Institute of Applied Physics at Friedrich-Schiller-University FSU-IAP are important partners of these companies – almost 50 per cent of projects carried out as direct contract research for the industry were conducted in association with companies in the region; in terms of statistics, more than a quarter of our employees worked full-time on preliminary strategic themes in the optics industry in Thuringia and contributed decisively to safeguarding the future of these companies.

The Fraunhofer innovation cluster JOIN (Jena Optical INnovations) is an important initial nucleus of this positive development. Following its foundation in early 2006 with participation from the Federal Government, the Free State of Thuringia, industry and science, a technology concept for optics was developed which, early on, identified important growth areas in optical technologies, such as LED illumination, and initiated joint public-private partnership pilot projects. Without doubt, this close interpenetration of science and business is an essential element in the successful glocalisation ("think global – act local") of the region, which manifests itself in an export quota for the optics industry of over 60 per cent. Its development makes the Jena region both nationally and internationally a prominent example of successful cluster work today, as the nomination of the region for the selection round of the Federal Government's top cluster competition, on the basis of the CoOPTICS (Cooperate in Optics) strategy concept, illustrates.

Growth areas for optical technologies include the production and information, life sciences and medicine, security and mobility, and environment and energy markets. With their partners in science and business, the Fraunhofer IOF and the FSU-IAP are today represented with components and systems in all these markets. The subject area of "Green Photonics" forms a general focus of research at both institutes. This topic area comprises research, which, through the use of optical technologies, contributes to the efficient use of natural resources in the aforementioned growth areas.

Examples include the development of highly efficient solid-state light sources and thin-film solar cells for illumination and energy technology, or satellite-based telescopes and spectrometers for climatology and modern agriculture. We are convinced that optics will play a defining role in solving pressing problems in our society in the future. The Jena region with the Fraunhofer IOF and the FSU-IAP partners is taking up this challenge.

My thanks go to our partners in industry and science for their cooperation and to the German federal ministry of education and research, the Thuringian ministries of culture, business, technology, and work, as well as the German Research Foundation for their unswerving support.
Particular respect and recognition goes to my colleagues for their outstanding achievements and commitment. Their work forms the basis for the constant further development of Fraunhofer IOF and the IAP of the FSU.

Prof. Dr. Andreas Tünnermann

Wichtige Ereignisse 2008

Highlights 2008

CoOPTICS – Cooperate in Optics

Initiiert durch den Spitzenclusterwettbewerb des Bundesministeriums für Bildung und Forschung hat der Optik-Cluster CoOPTICS der Region Jena im Jahr 2008 eine zukunftsweisende Strategie für die Entwicklung in den nächsten fünf Jahren erarbeitet. Maßgebliche Initiativen gingen dabei vom Fraunhofer-Innovationscluster JOIN aus.

Im Ergebnis des Strategieprozesses wurden Wachstumsmärkte für den Einsatz Optischer Technologien identifiziert, in denen in den nächsten Jahren ein überdurchschnittliches Wachstum zu erwarten ist. So fokussieren sich die Clusterakteure auf Innovationen in den Bereichen Energie und Umwelt, Sicherheit und Mobilität sowie Gesundheit und Medizin. Ziele sind ressourcenschonende Beleuchtung und CO_2-neutrale Energieerzeugung, Personenidentifikation, Gefahrstofferkennung, sichere Ernährung und individualisierte Krankheitsdiagnostik und -therapie.

Bundesminister Wolfgang Tiefensee hat bei seinem Besuch des Clusters im Juli 2008 angekündigt, den Einsatz von effizienten LED-Beleuchtungssystemen in den Maßnahmeplan zur Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden einzubringen. Im Ergebnis wird ein Pilotprojekt für den geplanten Erweiterungsbau des IOF realisiert, bei dem erstmals LEDs flächendeckend zur Beleuchtung eingesetzt werden.

CoOPTICS sieht eine Hauptaufgabe in der Etablierung eines modernen, durchgängigen Aus- und Weiterbildungskonzepts auf allen Ebenen der beruflichen Bildung, das den zunehmenden Fachkräftebedarf der Optikindustrie und der Forschungslandschaft in der Clusterregion für die nächsten zwei Jahrzehnte deckt.

Ein wesentlicher Schritt war die Gründung der »Abbe-School of Photonics« im Juli 2008. Die Friedrich-Schiller-Universität bietet ein strukturiertes akademisches Ausbildungsprogramm auf dem Gebiet der Optischen Technologien an, das eine Bachelor- und Master-Ausbildung sowie ein Graduiertenstudium beinhaltet. Das Studium wird in englischer Sprache angeboten – ein Austauschprogramm mit international führenden Universitäten ist etabliert. In »public-private-partnership« zwischen Universität, Wirtschaft, Europäischer Union, Bund und Freistaat Thüringen wurde ein attraktives Stipendienprogramm entwickelt. In den kommenden drei Jahren werden ca. 150 Stipendien vergeben.

Der Freistaat Thüringen hat die Bedeutung des Clusters CoOPTICS für die regionale Entwicklung erkannt. Thüringen wird die geplanten Projekte im Rahmen der Verbundförderung mit 20 Mio. Euro unter Nutzung von Mitteln aus dem Europäischen Fond für die Regionale Entwicklung (EFRE) fördern, über deren Inhalt sich am 6. November 2008 die EU-Kommissarin für Regionalpolitik Prof. Danuta Hübner in Jena informierte.

CoOPTICS – Cooperate in Optics

In 2008, initiated by the Top Cluster Competition of the German federal ministry of education and research, the CoOPTICS cluster in the Jena region created a pioneering strategy for development over the next five years. The decisive initiative in this respect came from the Fraunhofer innovation cluster JOIN.

The findings of the strategy process identified growth markets for the application of optical technologies in which above-average growth is expected in coming years. The cluster experts are therefore focusing on innovation in the areas of energy and environment, safety and mobility, and health and medicine. Goals are resource-saving illumination and carbon-neutral power generation, identity verification, hazardous substance detection, safe nutrition, and individualized diagnostics and therapy of illnesses.

While visiting the cluster in July 2008, German federal minister Wolfgang Tiefensee announced he would include the use of efficient LED illumination systems in the action plan on improving energy efficiency in buildings. The result is the realization of a pilot project for the planned extension of IOF, in which, for the first time, LEDs will be extensively used for illumination.

CoOPTICS recognizes as a chief task the establishment of a modern, integrated training and further training concept at all levels of professional education which covers the increasing need for skilled personnel in the optics industry and in the cluster region's research community over the next two decades.

The foundation of the "Abbe School of Photonics" in July 2008 was a fundamental step. Friedrich-Schiller-University offers a structured academic training program in the field of optical technologies, encompassing bachelors and masters courses as well as graduate study. The courses are conducted in English, and an exchange program with leading international universities has been established. An attractive scholarship program has been developed in the public-private partnership between the university, business, the European Union, the Federal Government, and the Free State of Thuringia. Some 150 scholarships will be awarded in the next three years.

The Free State of Thuringia has recognized the significance of the CoOPTICS cluster for regional development. Thuringia will support the planned projects within the promotion of collaboration framework with 20 million euros using the European Regional Development Fund (ERDF). The EU Commissioner for Regional Policy, Prof. Danuta Hübner, was given information on the content of these projects on November 6, 2008.

© DZP: Ansgar Pudenz

Deutscher Zukunftspreis 2007

DEUTSCHER ZUKUNFTSPREIS
Preis des Bundespräsidenten
für Technik und Innovation

Neunzehn Prozent der Elektroenergieerzeugung werden jährlich weltweit für die Beleuchtung eingesetzt, wovon etwa 70 Prozent durch uneffiziente Leuchtmittel wie beispielsweise Glühlampen verbraucht werden. Die Bedeutung des Einsatzes effizienter, ressourcenschonender Beleuchtungssysteme liegt auf der Hand, LED bieten hier ein hohes Zukunftspotenzial. So ist es nur folgerichtig, dass die Auszeichnung des Projekts »Licht aus Kristallen – Leuchtdioden erobern unseren Alltag« mit dem Deutschen Zukunftspreis im Dezember 2007 hohe Aufmerksamkeit erzielt hat und über das gesamte Jahr 2008 zu einer Vielzahl von Aktivitäten und neuen Entwicklungen geführt hat. Am IOF entstanden eine Reihe weiterer Projekte, in denen neuartige LED-Lichtquellen zum Einsatz kommen, so beispielsweise in Operationsleuchten oder in Bahnsignalleuchten.

Preisträger Andreas Bräuer war gesuchter Diskussionspartner auf Veranstaltungen mit Jugendlichen, um sie für Naturwissenschaft und Technik zu begeistern, indem er Einblicke in seine Forschungstätigkeit gab und spannend über seine erfolgreiche Zusammenarbeit mit den Partnern aus der Industrie berichtete. So nahm er an einer Quiz-Talk-Show am Day of Innovation im Ideenpark Stuttgart teil und stellte sich in einer Podiumsdiskussion gemeinsam mit anderen Zukunftspreisträgern auf dem Thüringer Innovationstag den Fragen der Schüler.

Am 31. Januar stellte Dr. Bernhard Stapp von der Firma OSRAM Opto Semiconductors der Jenaer Öffentlichkeit im Rahmen des Programms Jena – Stadt der Wissenschaft 2008 das Entwicklungsprojekt vor und informierte über das breite Anwendungspotenzial der innovativen Hochleistungs-LEDs.

Der Zukunftspreis 2007 war für Bundesaußenminister und Vizekanzler Frank-Walter Steinmeier am 6. Februar Anlass, die Lichtstadt Jena zu besuchen und sich am Fraunhofer IOF über aktuelle Forschungsarbeiten zu LED und die Einsatzmöglichkeiten der hocheffizienten Lichtquellen zu informieren.

Am 17. April wurde im Deutschen Museum in München das Projekt an die Dauerausstellung der preisgekrönten Projekte des Deutschen Zukunftspreises übergeben. »Das ist eine hervorragende Möglichkeit, der Bevölkerung und insbesondere jungen Menschen die Funktionsweise und die wirtschaftliche Bedeutung der innovativen LED-Lichtquellen zu verdeutlichen«, so Andreas Bräuer.

Bundespräsident Horst Köhler besuchte die Preisträger am 5. August bei der Firma OSRAM Opto Semiconductors in Regensburg und informierte sich über den Fortschritt des Projekts. Die Preisträger demonstrierten an verschiedenen Exponaten neue Anwendungen der Dünnschicht-LEDs. Das IOF stellte den Prototyp einer neuen LED-Straßenleuchte vor, die gemeinsam mit der Thüringer Firma 2K MOXA Lighting GmbH entwickelt wurde und die Dank der am IOF entwickelten Optik die Straße optimal ausleuchtet. Die Stadt Jena wird eine Haupteinfallsstraße mit den neuen Straßenleuchten ausstatten.

German Future Prize 2007

Nineteen per cent of electrical power generated annually is used for lighting worldwide, and around 70 % of this is consumed by inefficient illuminants such as light bulbs. The importance of using efficient, resource-saving illumination systems is obvious, and in this respect, LEDs offer great future potential. It is therefore only logical that the recognition of the project "Light from Crystals – Light-Emitting Diodes Shape Our Daily Lives" with the German Future Prize in December 2007 attracted considerable attention and resulted in a multitude of activities and new developments throughout 2008. At IOF, a series of further projects in which innovative LED light sources are used, for example in operating lighting units or railway signal lighting, were launched.

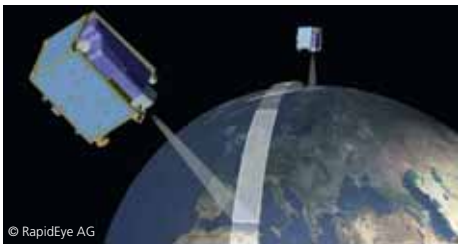
Providing insights into his research activity and a fascinating account of his successful collaboration with industry partners, the prizewinner Andreas Bräuer was the sought-after discussion partner at public events with young people designed to get them interested in science and technology. He participated in a quiz-talk show on the Day of Innovation at Ideenpark Stuttgart and took questions from the students in a panel discussion together with other Future Prize winners from Thuringia at the Thuringian Innovation Day.

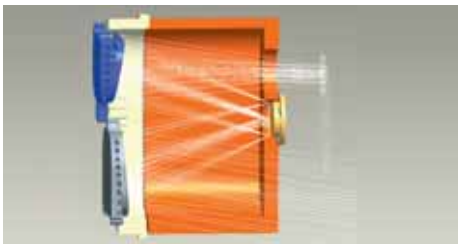
On January 31, Dr. Bernhard Stapp from OSRAM Opto Semiconductors presented the development project to the Jena public as part of the Jena – City of Science 2008 program and talked about the broad range of possible fields of application for the innovative high-performance LEDs.

The Future Prize 2007 provided a good opportunity for Foreign Minister and Vice Chancellor Frank-Walter Steinmeier to visit Jena, the city of light, on February 6 and find out about current research activity on LEDs and application possibilities of the highly-efficient light sources at Fraunhofer IOF.

On April 17, the project became part of the permanent exhibition of German Future Prize winning projects in the German Museum in Munich. "This is an outstanding opportunity to illustrate the functioning and economic significance of the innovative LED light sources to the population, especially young people", said IOF Future Prize winner Andreas Bräuer.

German President Horst Köhler visited the prizewinners on August 5 at OSRAM Opto Semiconductors in Regensburg and learned about the progress of the project. The prizewinners demonstrated new applications for thin-film LEDs on a range of exhibits. The IOF presented the prototype of a new LED street lighting luminaire developed in partnership with the Thuringian company 2K MOXA Lighting, which provides optimal illumination thanks to optics developed at IOF. The city of Jena will equip a main arterial road with the new street lighting.





Jenaer Spiegel für brillante Bilder von der Erde

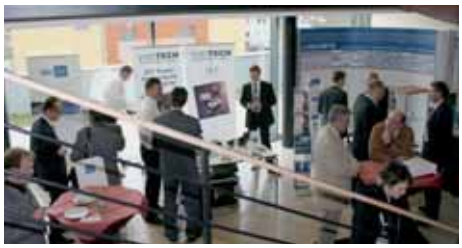
Jena mirrors for brilliant images of the earth

Als am 29. August eine russische Trägerrakete Dnepr-1 die fünf baugleichen Satelliten des Erdbeobachtungssystems RapidEye auf ihre Umlaufbahn brachte, war auch im IOF der Jubel groß. Mit dem Start beginnt für die RapidEye AG in Brandenburg die kommerzielle Nutzung von optisch hoch aufgelösten Satellitendaten. Das Erdbeobachtungssystem liefert heute brillante Bilder mit hoher Wiederholungsrate. Das System kann täglich von jedem gewünschten Punkt der Erde Aufnahmen machen. Das Herzstück der Satelliten sind fünf Kameras, welche von der Jena-Optronik GmbH entwickelt, gefertigt und getestet wurden. Das System erreicht eine Bodenauflösung von 6,5 m aus 630 km Höhe. Die Optik basiert auf einem TMA-Teleskop mit einem sphärischen und zwei asphärischen Spiegeln. Diese ultrapräzisen Metallspiegel wurden im Fraunhofer IOF hergestellt. In Zusammenarbeit mit Carl Zeiss Jena wurden die diamantgedrehten Spiegel chemisch-mechanisch und mit Ionenstrahlen poliert. Abschließend wurden sie mit einer am IOF entwickelten Beschichtung vergütet. Die Jenaer Kameras arbeiten mit fünf Spektralbändern im Bereich von 440 nm bis 850 nm.

Zukünftig werden gestochen scharfe Bilder aus dem Weltall Informationen für Landwirtschaft, Versicherungen, Katastrophenhilfe und viele weitere Branchen liefern.
Die wissenschaftliche Arbeit des IOF-Teams fand mit dem Start der RapidEye Flotte und den brillanten Bildern der Erde den erfolgreichen Abschluss. Wir danken der Jena-Optronik GmbH für die hervorragende Zusammenarbeit.

On August 29 five identically designed satellites of the RapidEye fleet were put into orbit by a Russian Dnepr-1 carrier rocket which evoked an equal amount of enthusiasm at IOF. The launch marks the start of the commercial use of satellite data, in particular geospatial information, for the RapidEye AG in Brandenburg. Today, the earth remote-sensing system RapidEye, provides brilliant pictures with a high repetition rate. The five RapidEye orbiters can take photographs of each desired point on earth, and allow any point to be revisited every 24 hours. Core of the satellites are five cameras, developed, manufactured and tested by Jena Optronik GmbH. The system reaches a resolution of 6.5 m on the ground from an altitude of 630 km. The optics is based on a TMA telescope with one spherical and two aspherical mirrors. These ultra-precision metal mirrors were manufactured by Fraunhofer IOF. The diamond-turned mirrors were polished chemical-mechanically and with an ion beam in co-operation with Carl Zeiss Jena. Finally, the mirrors were covered with a protective coating. Each camera works with five spectral bands at a range of 440 nm to 850 nm.

In the future, pin sharp pictures from orbit will provide information for agriculture, insurance, disaster relief, and many other industries.
The scientific work of the IOF team was demonstrated by the successful conclusion of the launch, and the brilliant images of our earth. We would like to thank Jena Optronik GmbH for the outstanding co-operation.



Konferenzen – Workshops – Messen
Conferences – Workshops – Fairs

Mit dem Workshop »Moderne Beleuchtungskonzepte – Quellen und Anwendungen« am 31. Januar informierten die Partner des Fraunhofer-Innovationsclusters JOIN über aktuelle Entwicklungen und innovative Anwendungen von LED, OLED und Laserstrahlquellen.
Vom 13. bis 14. März stellten 118 internationale Displayexperten aus drei Kontinenten auf der vom Fraunhofer IOF ausgerichteten mitteleuropäischen Frühjahrstagung der Society for Information Display SID neueste Forschungsergebnisse und Anwendungen vor.
Technologien der Ultrapräzisionsbearbeitung zur Herstellung von asphärischen optischen Komponenten und Freiformoptiken für Anwendungen z. B. in Head-Up oder Head-Mounted Displays standen im Interesse des im September gemeinsam mit den Unternehmen Carl Zeiss und Linos Photonics durchgeführten internationalen Workshops.

Unter dem Motto »Tailored Light – vom Design zum System« präsentierte das IOF auf der OPTATEC 2008 Forschungs- und Entwicklungsergebnisse auf dem Gebiet der optischen Systemtechnik. Highlights waren ein Solarkonzentrator, dessen Effizienz durch Entspiegelung mittels Nanostrukturierung der Oberfläche erhöht wurde, hochpräzise optische Freiformen für Beleuchtung und Weltraumanwendungen sowie innovative Aufbautechnologien für optische Mikrosysteme.
Der Innovationscluster JOIN präsentierte auf der Hannover-Messe aktuelle Forschungsergebnisse. Vielbeachtetes Highlight war der mit der Jenaer Firma SyproOptics entwickelte Mini-Beamer im Handyformat.

On January 31, the partners of the Fraunhofer innovation cluster JOIN talked about current developments and innovative fields of application for LED, OLED, and laser beam sources at the workshop "Modern Lighting Concepts – Sources and Applications".
118 international display experts from three continents presented their latest research findings and applications from March 13 to 14 at the spring meeting of the Society for Information Display SID which was organized by Fraunhofer IOF.
Technologies for ultra precision machining in the manufacture of aspheric optical components and freeform optics for application for example in head-up displays or in head-mounted displays focus of interest at an international workshop held in association with the Carl Zeiss and Linos Photonics companies in September.

With the motto "Tailored Light – From Design to System", the IOF presented research and development findings in the field of optical systems engineering at OPTATEC 2008. Highlights included a solar concentrator whose efficiency was increased through an antireflection coating using surface nanopatterning, high-precision optical freeform surfaces for illumination and space applications, and innovative joining technologies for optical microsystems.
The innovation cluster JOIN presented current research results at Hannover Fair 2008. Widely noticed was a mini-beamer in mobile phone format developed together with the Jena SyproOptics company.

Auszeichnungen – Preise
Awards – Prizes

Die erfolgreiche Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses am IOF zeigte sich 2008 in einer Vielzahl ausgezeichneter Qualifizierungsarbeiten.

Andreas Brückner gehörte für die im Rahmen seiner Diplomarbeit »Hochgenaue Positionsbestimmung mit künstlichen Facettenaugenobjektiven« erzielten Forschungsergebnisse zu den auf der Jahrestagung der Frauhofer-Gesellschaft mit dem Hugo-Geiger-Preis ausgezeichneten Nachwuchswissenschaftlern.

Mit dem HEPTAGON – Sven Bühling – Forschungsförderpreis wurde Hans-Christoph Eckstein für seine Diplomarbeit »Untersuchung von instabilen diffraktiven Laserresonatoren« geehrt.

Marcel Hornaff erhielt auf dem Thüringer Innovationstag einen Preis der Thüringer Stiftung Industrielle Forschung und Technologie STIFT für seine Diplomarbeit »Prozessuntersuchungen der Fügetechnologie Solder Bumping«.

Den Preis für die beste Masterarbeit im Bereich SciTec der Fachhochschule Jena erhielt Ralf Müller für seine Arbeit zum Thema »Aufbau und Charakterisierung eines Systems zur breitbandigen Mehrkanal-THz-Bildgebung«.

Mit dem Projekt »Insekten-inspirierte abbildende optische Systeme« gehört die Nachwuchsforschergruppe unter Leitung von Dr. Jacques Duparré zu den Siegern im BMBF-Wettbewerb BIONA. Die Nachwuchsgruppe wird über drei Jahre mit einer Summe von 1,5 Mio Euro gefördert.

IOF's successful backing of young scientists was demonstrated in 2008 with a multitude of award-winning theses.

With the research findings of his diploma thesis "Ultra-Precision Position Fixing with Synthetic Compound-Eye Lenses", Andreas Brückner was one of the young scientists awarded the Hugo Geiger Prize at the annual meeting of the Fraunhofer-Gesellschaft.

Hans-Christoph Eckstein was awarded the HEPTAGON – Sven Bühling – Research Sponsorship Award for his diploma thesis "Investigation of Instable Diffractive Laser Resonators".

At the Thuringian Innovation Day, Marcel Hornaff received a prize from the Thuringian Foundation for Technology, Innovation and Research (STIFT) for his diploma thesis "Process Investigations in the Solder Bumping Joining Technology".

The prize for the best master's thesis at the SciTec department of the University of Applied Sciences Jena went to Ralf Müller for his work on the subject "Assembly and Characterization of a System for Broadband Multi-Channel THz Imaging".

The young scientists' group under the direction of Dr. Jacques Duparré is among the winners in the German federal ministry of education and research BIONA competition with the project "Insect-Inspired Imaging Optical Systems". The group will be supported with 1.5 million euros over a period of three years.

10 Jahre Beutenberg-Campus e.V.
10 Years Beutenberg Campus e.V.

Am 1. und 2. November informierten die Institute und Gründerzentren des Wissenschafts-Campus am Beutenberg anlässlich des 10-jährigen Bestehens des Beutenberg-Campus Jena e. V. in der Goethe-Galerie die interessierte Öffentlichkeit über ihr Leistungsspektrum und aktuelle Forschungsergebnisse. Das IOF zeigte kompakte LED-Lichtquellen und erläuterte die mit dem Deutschen Zukunftspreis 2007 ausgezeichneten Arbeiten zur Effizienzsteigerung der Lichtquellen der Zukunft. Großes Interesse, insbesondere bei den ganz jungen Besuchern rief ein Versuchsaufbau hervor, der die Wirkungsweise eines Konzentrators zur Erhöhung der Lichtausnutzung von Solarzellen demonstrierte.

In the Goethe Gallery on November 1 and 2, the institutes and business incubators of the Beutenberg Science Campus spoke to interested members of the public about their range of activities and current research findings on the occasion of the tenth anniversary of the Beutenberg Campus Jena registered society. The IOF presented compact LED light sources and explained the work on the increase in efficiency of the light sources of the future awarded the German Future Prize 2007. An experimental set-up demonstrating the workings of a concentrator to increase the light utilization of solar cells was the object of great interest, especially among young visitors.

Ehrenkolloquium Prof. Karthe
Honorary Colloquium Prof. Karthe

Aus Anlass des 70. Geburtstages von Prof. Dr. Wolfgang Karthe, der das Fraunhofer IOF gründete und bis 2003 erfolgreich leitete, fand am 12. September 2008 ein Ehrenkolloquium statt. Dr. Hans-Ulrich Wiese, ehemaliger Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft, beleuchtete unter dem Titel »Fraunhofer startet in Thüringen« Gründung und Entwicklung des Instituts und würdigte das engagierte Wirken von Prof. Karthe. Zu den Gastrednern gehörten weiter Prof. Bernd Wilhelmi, langjähriger Mitstreiter, und Prof. Nikolai Sobolev, erster von Prof. Karthe betreuter Doktorand.

An honorary colloquium was held on September 12, 2008 on the occasion of the 70th birthday of Prof. Dr. Wolfgang Karthe, founder of Fraunhofer IOF and its successful head until 2003. Dr. Hans-Ulrich Wiese, former chairman of the Fraunhofer-Gesellschaft, shed light on the foundation and development of the institute with the talk "Fraunhofer Launches in Thuringia", and paid tribute to the committed work of Prof. Karthe. Guest speakers included Prof. Bernd Wilhelmi, long-time colleague, and Prof. Nikolai Sobolev, Prof. Karthe's first doctoral student.

Alumni-Treffen, Sommerfest
Alumni Meeting, Summer Party

Das 5. Alumi-Treffen fand im Juli zum Thema »Metrologie« statt, ein Thema, das in viele Forschungsfelder hineingreift und Teil der Wertschöpfungskette ist. Das Treffen klang traditionell mit dem Sommerfest von IOF und IAP aus.

The fifth alumni meeting took place in July with the theme of "metrology", a topic which extends into many areas of research and is part of the value chain. The meeting concluded as in previous years with the IOF and IAP summer party.

Das Institut im Profil

The Institute in Profile

Kurzporträt
Short Portrait

»Tailored Light – Licht nach Maß«
Die immer bessere Kontrolle von Licht ist Ziel der Forschungs- und Entwicklungstätigkeit am Fraunhofer IOF und Grundlage zur Darstellung neuer innovativer optischer Systeme.

Schwerpunkte der anwendungsorientierten Forschungsarbeit sind:
- multifunktionale optische Schichtsysteme
- Mikro- und Nanostrukturtechnik für die Optik
- Schicht- und Oberflächencharakterisierung
- mikrooptische Systeme, Wellenleiteroptik
- Faserlaser und ihre Anwendung
- optische Messsysteme und Sensoren
- Systeme zur Optik-Charakterisierung
- opto-mechanische Präzisionssysteme
- Verfahren der Optikmontage.

Zentrale Kompetenz ist das Optik- und Mechanik-Design. Hervorzuheben ist die Kombination von Expertise auf den Gebieten Optik und Präzisionsmechanik.

"Tailored Light – Licht nach Maß"
The aim of research and development at Fraunhofer IOF is controlling light better and better. It is the basis for the presentation of new innovative optical systems.

Focus of the application-oriented research is put on the following fields:
- multi-functional optical coatings
- micro- and nano-structure technology for optics
- characterizing of surfaces and coatings
- micro-optical systems, beam guiding optics
- fiber lasers and their application
- optical measurement systems and sensors
- systems for optics-characterization
- opto-mechanical precision systems
- procedures of optics assembly.

Central competence is optics and mechanics design. The combination of competences in optics and precision-mechanics is to be pointed out.

Anbindung an die FSU Jena
Connection to the FSU Jena

Das IOF arbeitet auf der Basis des 2003 geschlossenen Kooperationsvertrages eng mit dem Institut für Angewandte Physik (IAP) der FSU zusammen. Von strategischer Bedeutung ist die Zusammenarbeit im Innovationscluster JOIN.

Die Forschungsfelder am IAP sind:
- Mikrostrukturtechnik
- Mikro- und Nanooptik
- Integrierte Optik
- Ultraschnelle Optik
- Faser- und Wellenleiteroptik.

Vorteile der engen Kooperation:
- praxisnahe Ausbildung der Studenten
- bessere Umsetzung von Forschungsergebnissen in die Praxis
- gemeinsame Nutzung der hochwertigen Geräteausstattung und Infrastrukturen.

The IOF cooperates with the Institute of Applied Physics (IAP) of the FSU on the basis of the cooperation contract closed in 2003. The cooperation within the innovation cluster JOIN is of strategic importance.

Main topics of research at IAP are:
- microstructure technology
- micro- and nano-optics
- integrated optics
- ultra fast optics
- fiber- and waveguide optics.

Advantages of the close cooperation:
- practical education of students
- better implementation of scientific results in practice
- collective use of the high-value equipment
- collective use of the infrastructure.

Das Institut verfügt über exzellent ausgestattete Labore auf einer Fläche von 2 550 m². Darin eingeschlossen sind 860 m² Reinraum der Klassen 10 000 bis 10 sowie eine Mechanik-Werkstatt.

Beschichtungstechnik für den EUV- bis NIR-Spektralbereich
- Sputteranlagen
- Hochvakuumbedampfungsanlagen
- Mikrogalvanik

Mikro- und Nanostrukturtechnik
- Photolithographieanlage
- Laserstrahl-Lithographieanlage
- Elektronenstrahl-Lithographieanlage

Mikrooptik-Technologie
- Anlagen zum reaktiven Ionenätzen
- Plasma-Trockenätzanlage
- Polymer- und Glasprägeanlage
- Mask-Aligner

Ultrapräzisionsbearbeitung
- Ultrapräzisions-Drehmaschinen
- Ultrapräzisions-Fräsmaschine
- Fast/slow tool servo
- CNC-Mehrfachfräsmaschine
- 5-Achs-Mikrobearbeitungszentren

Integration, Mikromontage und Handling von Mikrobauteilen
- Dosiersysteme für Klebstoffe
- Laserstrahllötanlage
- Mikromontagesysteme
- Positionier- und Justiersysteme

Messtechnik
- Streulichtmesssysteme
- Spektralphotometer (120 nm–50 µm)
- Röntgendiffraktometer
- Röntgenreflektometer
- Rasterkraftmikroskop
- Elektronenmikroskop
- Laserscanningmikroskop
- Freiformmesssystem UA3P
- Messsysteme zur 3D-Formerfassung
- Verfahren zur Optik-Charakterisierung
- Test von Lebensdauer und Haftfestigkeit optischer Schichten
- Klimaprüfung

The institute has 2550 m² of state of the art laboratories, including 860 m² of class 10,000 to class 10 clean room facilities and an outstandingly equipped mechanical workshop.

Coating technologies for a spectral range from EUV to NIR
- Sputtering technologies
- High vacuum evaporation
- Micro-electroplating

Micro- and nano- structuring
- Photolithography
- Laser beam lithography
- Electron beam lithography

Micro-optics technologies
- Reactive ion etching
- Plasma dry etching
- Polymer and glass embossing
- Mask aligner

Ultra-precision machining
- Ultra-precision turning lathe
- Ultra-precision freeform machine
- Fast/slow tool servo
- CNC multi milling machine
- 5-axis micro machining centers

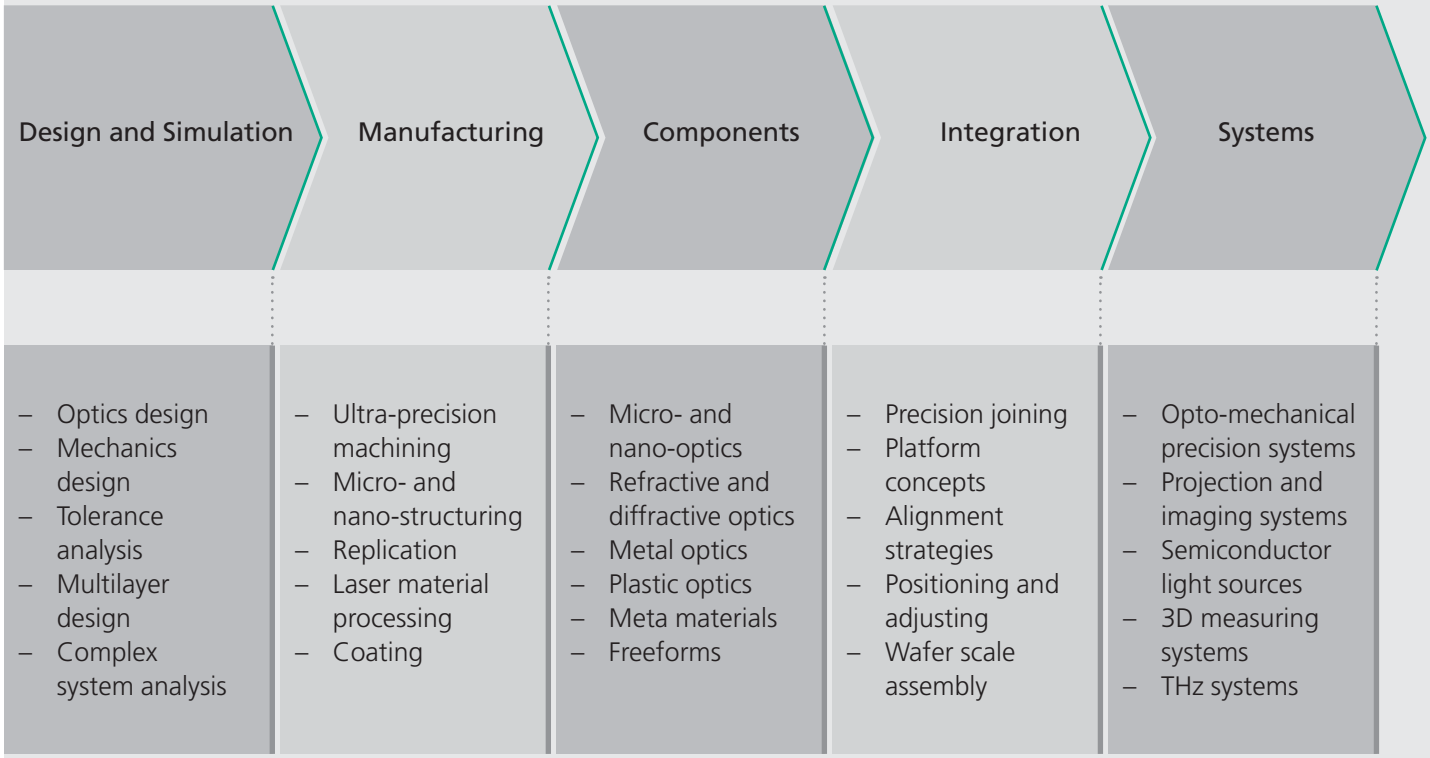
Integration, micro-assembly and handling of micro-components
- Dispensing systems for adhesive
- Laser beam soldering
- Micro-assembly systems
- Positioning and alignment systems

Measurement technologies
- Scattered light measurement systems
- Spectral photometers (120 nm–50 µm)
- X-ray diffractometer
- X-ray reflectometer
- Atomic force microscope
- Electron microscope
- Laser scanning microscope
- Freeform measurement system UA3P
- Systems for 3D shape measurement
- Techniques for optic characterization
- Testing of long-term stability and adhesion of optical coatings
- Climate testing

Besondere technische Ausstattung
Special Technical Equipment

Kompetenzen – Märkte – Anwendungen
Competences – Markets – Applications

Optical Systems Technology



Markets

Information and Communication	Mobility and Transport	Illumination
Aerospace and Astronomy	Safety and Security	Production
Energy and Pollution conservation	Life sciences and Health care	Basic research

Anwendungen

Koloskopoptik
– Medizintechnik

Kunststoffoptiken können kostengünstig durch ein am IOF entwickeltes Plasmaätzverfahren entspiegelt werden. Zusätzliche Beschichtungen erhöhen die mechanische Beständigkeit und sorgen für das gewünschte Benetzungsverhalten.

EUV-Masken-Chuck
– Produktionstechnik

Die lithographische Strukturierung von Halbleitern mit extrem ultravioletter Strahlung (Wellenlänge um 13 nm) zur Erzeugung von Strukturbreiten ≤ 22 nm stellt extreme Anforderungen an die Ebenheit der Chucks, die die Belichtungsmaske halten. Der Prototyp eines hoch ebenen EUV-Masken-Chucks wurde am IOF gefertigt.

THz-16-Kanal-Antenne
– Messtechnik

Durch die simultane Detektion von 16 ultrakurzen THz-Pulsen konnte die Messgeschwindigkeit eines THz-Systems um mehr als eine Größenordnung gesteigert werden. Damit entstehen neue Möglichkeiten für den Einsatz von THz-Systemen in Sicherheits-Messtechnik und Tomographie.

Ultra-kompakter bildgebender Sensor
– Sicherheit im Automobil

Ein mikrooptisches Abbildungsobjektiv nach dem Prinzip des Facettenauges der Insekten ist Basis eines ultrakompakten Sensors zur Erkennung der Sitzbelegung und Steuerung der Airbagauslösung im Automobil.

Applications

Colonoscope optics
– Medical technology

Plastic optics can be coated at a reasonable price via a plasma etching process developed at IOF. Additional coatings increase mechanical stability and ensure the desired wetting behavior.

EUV mask chuck
– Manufacturing technology

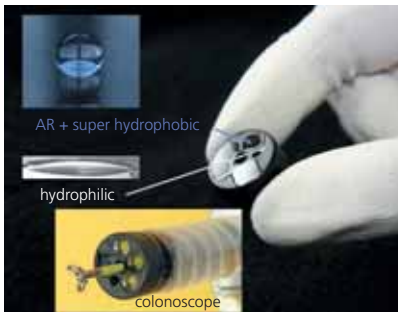
The lithographic structuring of semiconductors with extreme ultraviolet radiation (wavelength around 13 nm) for the production of structural widths ≤ 22 nm makes extreme demands on the flatness of the chucks which hold the exposure mask. The prototype of a highly flat EUV mask chuck was manufactured at IOF.

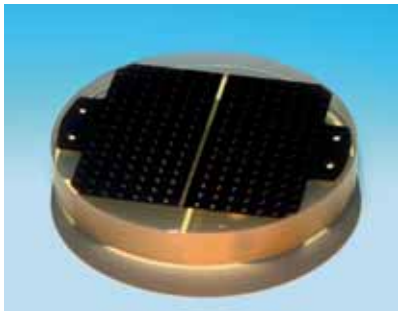
THz 16 channel antenna
– Metrology

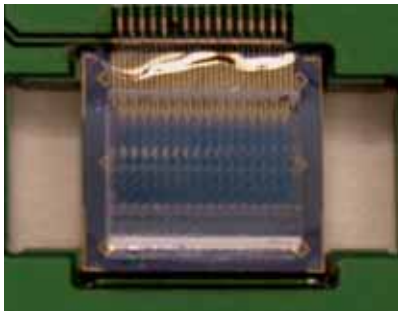
Via the simultaneous detection of 16 ultra-short THz pulses, the measuring speed of a THz system could be increased by an order of magnitude. This gives rise to new possibilities for the use of THz systems in safety metrology and tomography.

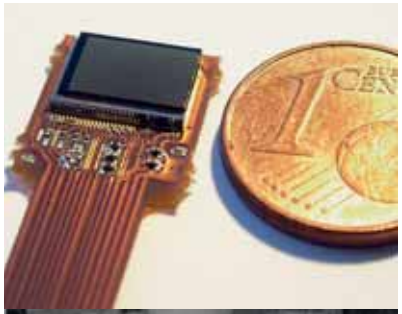
Ultra-compact imaging sensor
– Safety in automotive

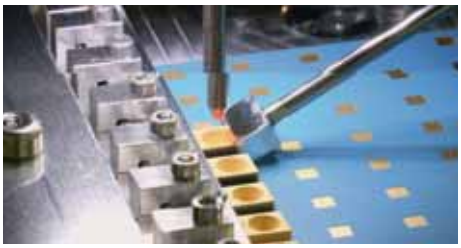
A microoptic imaging lens on the principle of the compound eye of insects is the basis of an ultra-compact sensor for the recognition of seat occupancy and airbag control in cars.











amos – Applikationszentrum Mikrooptische Systeme

amos – Applikation Center for Microoptical Systems

www.amos-solution.de

Das BMBF-geförderte Applikationszentrum Mikrooptische Systeme (amos) verbindet die Kompetenzen der CiS Forschungsinstitut für Mikrosensorik und Photovoltaik GmbH in Erfurt und des Fraunhofer IOF. Durch diese Verknüpfung von Optik und Sensorik werden innovative mikrosystemtechnische Lösungen generiert und Unternehmen zugänglich gemacht.

Unter Nutzung der modernen Infrastrukturen beider Trägereinrichtungen werden derzeit gemeinsam mit Industriepartnern 13 Entwicklungsprojekte durchgeführt, die in der Tabelle aufgelistet sind. Diese Projekte werden vom CiS-Institut oder vom Fraunhofer IOF koordiniert.

Im Rahmen der F & E-Projekte werden die Grundlagen für die Umsetzung von Inventionen in Produkt- und Prozessinnovationen geschaffen. Zentrale Aufgaben sind Design- und Simulationsleistungen, die Entwicklung neuer Komponenten und Baugruppen einschließlich des Aufbaus von Prototypen sowie die anwendungsorientierte Erforschung von innovativen Technologien.

So wurden beispielsweise gemeinsam mit der Firma Askion GmbH Montage- und Handlingprozesse entwickelt, um das laserbasierte Solder Bumping als neues, flexibles Fügeverfahren für faseroptische Systeme zur Industriereife zu führen. Die detaillierten Projektergebnisse sind im vorliegenden Jahresbericht auf Seite 106 dargestellt.

Zur Sicherstellung der Industrietauglichkeit der entwickelten Prozesse und Verfahren befasst sich das Applikationszentrum auch intensiv mit Aspekten der Qualitätssicherung, insbesondere der Erstellung von Fehlermöglichkeits- und Einflussanalysen FMEA (Seite 104). Mit Hilfe dieses Qualitätssicherungs-Tools können bereits vor der Einführung neuer Fertigungsverfahren mögliche Fehler und Defizite erkannt und analysiert werden, was angesichts der Komplexität der Systeme zunehmend auch für die Mikrooptikfertigung von Bedeutung ist.

Das Applikationszentrum amos wird durch das BMBF gefördert (16SV3596) und von der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH betreut.

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung

The Application Center for Microoptical Systems (amos), which is supported by the BMBF (German federal ministry of education and research), combines the expertise and competences of the CiS Institute for Micro Sensors and Photovoltaics GmbH, Erfurt and the Fraunhofer IOF. Through the combination of optical and sensor technology, innovative microoptoelectromechanical solutions are generated and made accessible to businesses.

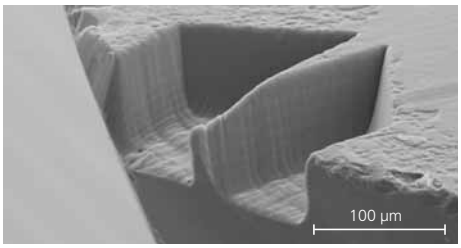
By using the modern infrastructure of both institutions, 13 different developing projects are currently being carried out in cooperation with industry partners. The projects coordinated by the CiS-Instiute or the Fraunhofer IOF are shown in the table.

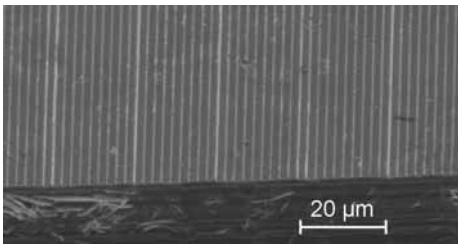
Within the R & D-projects, the basics for the implementation of inventions into product-innovations are being established. The main interests are design and simulation achievements, the development of new components and assembly groups, including the construction of prototypes as well as the application-oriented research of innovative technologies. In cooperation with Askion GmbH, new assembly processes and handling tools were developed to make laser based Solder Bumping market-ready as a new and flexible joining technology for fiberoptical systems. The results of the project are described on page 107 of the present annual report.

The Application Centre works intensely on aspects of quality assurance to secure the industry suitability of developed processes and methods – especially with the creation of a Failure Mode and Effect Analysis (FMEA; page 105). With the support of this quality assurance tool, the identification and analysis of potential nonconformities and weak spots is possible before new processes of production are implemented. In view of the complexity of the systems, this is also of increasing importance in microoptical production.

The Application Centre amos is supported by the BMBF (16SV3596) and is coordinated by the VDI/VDE Innovation + Technik GmbH.

Projekt/ Project	**Industriepartner/** Industrial partner
Miniaturisierter Sensor für die Rauheitsprüfung/ Miniaturized sensor for roughness examination	ACT Smartware GmbH
Baukastensystem und Lotmaterialien für lasergelötete mikrooptische Systeme/ Assembly group system and soldering materials for laser based micro systems	Askion GmbH
Aufbau- und Verbindungstechnik von GRIN-Stablinsensystemen/ Packaging of GRIN-Lens Systems	Grintech GmbH
Optimierung von Kameraoptiken für den Weltraumeinsatz/ Optimization of camera optics for aerospace application	Jena-Optronik GmbH
LED-Beleuchtungsmodule und angepasste optische Komponenten/ LED-lighting moduls and adapted optical components	Jenoptik Polymer Systems GmbH
Mikrodisplay-basierter Sensorkopf für die Vermessung von Objekten/ Micro display-based sensor head for measurement	Mahr OKM GmbH
Mikrostrukturierung von anorganisch-nichtmetallischen Werkstoffen/ Micro structuring of anorganic-nonmetallic materials	Präzisionsoptik Gera GmbH
Entwicklung eines universellen Kantendetektors/ Development of a general edge detector	Stapelfeldt electronic GmbH
Entwicklung eines mikrooptischen implantierbaren Glukosesensors/ Development of a microoptical implantable glucose sensor	SES Entwicklung GmbH
Zweidimensionales Geschwindigkeitsmesssystem/ Two-dimensional velocity measuring system	Corrsys Datron Sensorsysteme GmbH
Lichtgespeistes Messdatenerfassungs- und Übertragungssystems/ Optical powered data acquisition and transmission system	Ratioplast-Optoelectronics GmbH
Sensorlibelle zum Einsatz in optoelektronisch abtastbaren Systemen/ Sensor vail for optoelectronic gauging systems	Stahl Präzisionslibellen KG
Entwicklung einer kombinierten visuellen und opto-elektronischen Libelle/ Development of a double function optoelectronic spirit level	Sartorius AG
Neigungssensor mit Nullpunktdetektion/ Inclination sensor with zero point detection	GEMAC Chemnitz mbH





Forschergruppe NanoReplica
Research Group NanoReplica

nanoreplica

www.nanoreplica.de

Die Nachwuchsgruppe »NanoReplica« untersucht die Funktionalitätssteigerung optischer und mechanischer Komponenten aus Polymeren und Glas durch die Integration mikro- und nanoskaliger Strukturen in Formeinsätze, die bei Replikationsverfahren wie Spritzguss oder Heißprägen eingesetzt werden. Schwerpunkt der Arbeiten sind die Weiterentwicklung der Ultrapräzisionsbearbeitung von Formeinsätzen mit Diamantwerkzeugen sowie die Kombination dieser Technologie mit lithographischen Verfahren, Laserablation oder stochastischen Ätzprozessen. Zur Vervollständigung der Prozesskette werden einzelne Replikationsverfahren wie das Heißprägen sowie die prozessbegleitende Messtechnik, die den Bereich von Makro bis Nano abdeckt, untersucht.
In ersten Anwendungen wurde gezeigt, dass regelmäßige und stochastische Strukturen im Formeinsatz durch Heißprägen und Spritzguss ohne Qualitätseinbußen repliziert werden können. Die Performance derartiger Strukturen konnte für Antireflex-Funktionalität sowie bei der Benetzungssteuerung in Mikrofluidikchips nachgewiesen werden.

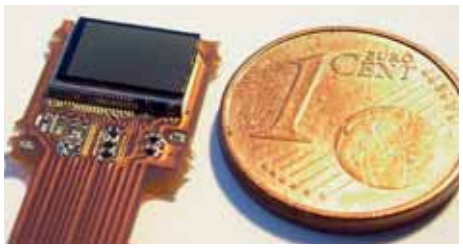
Die Zusammenarbeit der Nachwuchsgruppe mit der regionalen Wirtschaft drückt sich in zahlreichen Workshops, der Qualifizierung von Mitarbeitern externer Unternehmen und Studenten sowie zahlreichen bilateralen Kooperationen zur Bearbeitung von themenverwandten Aufgabenstellungen aus. Das Kompetenzprofil der Region hinsichtlich wirtschaftlicher Replikationsverfahren für hochwertige, multifunktionale Komponenten wird so gestärkt.

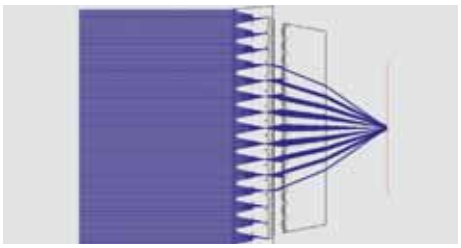
The young research group "NanoReplica" investigates the functionality enhancement of optical and mechanical components made of polymers or glass by the integration of micro and nano-scale geometries into molds that are used in replication technologies such as hot embossing or injection molding. The main focus of the scientific work is a further development of ultra-precision machining with diamond tools and the combination of this technology with lithography, laser ablation and stochastic etching processes. To complete the process chain, individual replicaton processes such as hot embossing and in-process measurement techniques that cover the range from macro to nano will be investigated. First applications showed that regular and stochastic structures within the mold can be replicated by hot embossing or injection molding without significant loss of quality.
The performance of the replicated structures was tested by measuring antireflection functionality and by tuning wetting behaviour of polymeric microfluidic chips.

Networking between the young scientist group and the local industry is covered by several workshops, to qualify personnel from external companies and students from the local universities as well as by various bilateral cooperation that have related technological tasks. Thus the competence profile of the technology region is strengthened by implementing these efficient replication technologies for high value, multifunctional components.

INNOPROFILE UNTERNEHMEN REGION
Die BMBF-Innovationsinitiative Neue Länder

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung





Forschungsschwerpunkt der Nachwuchsgruppe »Insekten-inspirierte abbildende optische Systeme« ist die Untersuchung neuartiger bionischer Ansätze zur Miniaturisierung digitaler Kameras bzw. abbildender optischer Sensoren, von der Konzeption über das optische Design bis hin zur technologischen Umsetzung. Insbesondere werden Abbildungsmechanismen aus der Welt der Insekten betrachtet, da der geringe Abstand zwischen Linsen und Photorezeptoren sowie die geringen Linsenhöhen und Durchmesser Facettenaugen zu einem perfekten Vorbild für ultra-dünne abbildende Systeme machen. Die Gruppe wird begleitet von deutschen Unternehmen aus der Automobilzulieferindustrie, Polymeroptikherstellung und Bildsensorentwicklung, um die neuartigen Ansätze und entwickelten Technologien zeitnah in die Industrie zu überführen.

Ein wesentliches Ziel der Arbeiten sind kosteneffiziente Strukturierungs- und Assemblierungsverfahren für Optikkomponenten in Polymeren und Glas im Wafermaßstab. Durch diesen Ansatz wird gleichzeitig in einem Prozessschritt eine Vielzahl von optischen Elementen (100 bis 10.000) realisiert. Die mit Facettenaugentechnologie hergestellten miniaturisierten Kamerasysteme adressieren über den Automobilbausektor hinaus Applikationen in Massen- und Volumenmärkten wie z. B. Consumerprodukte (Mobiltelefonkameras), im Gesundheitswesen (z. B. Endoskopie), optische Sensoren im Maschinenbau, Sicherheits- und Überwachungstechnik.

The research focus of the young scientist group "Insect Inspired Imaging" is the exploration of novel bionic approaches to miniaturizing digital cameras or imaging optical sensors respectively. The spectrum of work ranges from the system conception via the optical design to the technological realization. The imaging principles of insects are particularly considered, since the small axial distance between microlenses and photoreceptors, as well as the small sag heights and diameters of the lenslets, make compound eyes the perfect archetype for ultra-thin imaging systems realized by microoptics technology. German companies from the automotive, polymer optics and image sensor development sectors are associated with the group, so as to encourage the rapid transfer of the novel principles and developed technologies to applications.

A major goal of the work is the development of cost-effective methods to structure and assemble optical components in polymer or glass in wafer scale. Using this approach, a large number of optical components (100 to 10,000) can be realized simultaneously in one process step. Miniaturized imaging systems created by this compound eye technology beyond the automotive market address applications in mass and volume markets such as consumer products (mobile phone cameras), health care (e. g. optical sensors for patient personal use, endoscopes), optical sensors for machine vision as well as surveillance and security.

Nachwuchswissenschaftlergruppe »Insekten-inspirierte abbildende optische Systeme«

Junior scientists group "Insect Inspired Imaging"

BIONA

www.bionische-innovationen.de/projekte/insectinspiredimaging.html

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Organization

Director	Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Deputy Director	Prof. Dr. Norbert Kaiser
Assistant	Adlin Bruns

Strategy, Marketing, Coordination

Dr. Brigitte Weber

Administration

Dipl.-Kauffr. Astrid Deppe

Technical Services

Dipl.-Phys. Kersten Fonfara

Optical Coatings

Prof. Dr. Norbert Kaiser

NIR- and VIS-Coatings

Dr. Olaf Stenzel

Optical Coatings on Plastics

Dr. Ulrike Schulz

EUV and X-ray Optics

Dr. Torsten Feigl

Coating Technology

Dipl.-Ing. (FH) Wieland Stöckl

Optical Systems

Dr. Gunther Notni

Characterization of Surfaces and Coatings

Dr. Angela Duparré

3D Measurement

Dr. Peter Kühmstedt

Optics System Design

Dr. Stefan Riehemann

Microoptical Systems

Dr. Andreas Bräuer

Design

Dr. Peter Schreiber

Technology

Dr. Peter Dannberg

Integration

Dipl.-Ing. (FH) Bernd Höfer

CMN-Optics

Dr. Uwe Detlef Zeitner

Precision Engineering

Dr. Ramona Eberhardt

Microassembly

Dr. Erik Beckert

Precision Systems

Dr. Stefan Risse

Simulation and Mechanics Design

Dr. Thomas Peschel

Fiber Lasers

Dr. Thomas Schreiber

ultra-optics®
Center of Innovation Competence
Prof. Dr. Thomas Pertsch

CMN-Optics
Center for Advanced Micro- und Nano-Optics
Dr. Uwe Detlef Zeitner

amos
Applikationszentrum Mikrooptische Systeme
Oliver Mauroner

NanoReplica
Nachwuchsforschergruppe

Dr. Erik Becker

Insect Inspired Imaging
Nachwuchsforschergruppe

Dr. Jaques Duparré

Institute of Applied Physics IAP FSU Jena

Laser Shaping

Prof. Dr. Stefan Nolte

Micro Structuring

Dr. Ernst-Bernhard Kley

Fiber Lasers

Dr. Jens Limpert

Nano-Optics

Prof. Dr. Thomas Pertsch

Kuratorium

Fraunhofer-Institute und Vorstand der Fraunhofer-Gesellschaft werden durch Kuratorien beraten.
Dem Kuratorium des Fraunhofer IOF gehörten im Berichtszeitraum an:

Advisory Committee

Advisory committees support the Fraunhofer Institutes as well as the Board of the Fraunhofer-Gesellschaft. Members of the advisory committee of the Fraunhofer IOF have been in the report period:

Dr. Franz-Ferdinand von Falkenhausen
Vorsitzender/Chair

Dr.-Ing. Rolf-Jürgen Ahlers
ASG Luftfahrttechnik und Sensorik GmbH, Weinheim

Dr. Hans Eggers (ab Juli 2008)
Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn

Prof. Dr. Falk Lederer
Friedrich-Schiller-Universität,
Physikalisch-Astronomische Fakultät, Jena

Dipl.-Ing. Peter Leibinger
TRUMPF GmbH + Co. KG, Ditzingen

Prof. Dr.-Ing. habil Gerhard Linß
Technische Universität Ilmenau,
Fakultät für Maschinenbau, Ilmenau

Dr. Michael Mertin
JENOPTIK AG, Jena

Prof. Dr. Roland Sauerbrey
Forschungszentrum Rossendorf, Dresden

Dr. Anton Schick
Siemens AG, München

MinR Dr. Frank Schlie-Roosen a. G. (bis Mai 2008)
Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn

Dr. Norbert Stath
OSRAM Opto Semiconductors, Regensburg

Dr. Bärbel Voigtsberger
Hermsdorfer Institut für Technische Keramik e.V., Hermsdorf

Dr. Werner Wilke
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin

Dr. Dirk Zittlau
Continental Automotive GmbH, Babenhausen

MinR Dr. Joachim Niklaus
Ministerialrat im Thüringer Kultusministerium, Erfurt

Das Institut in Zahlen

The Institute in Figures

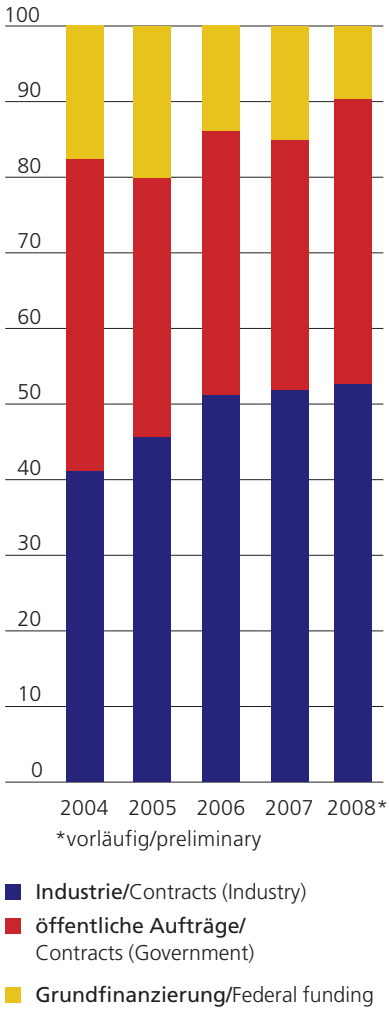
Betriebshaushalt

Die positive Entwicklung des IOF und die gute Auftragslage 2008 spiegeln sich im Anwachsen des Betriebshaushalts des Instituts insbesondere im hohen Anteil an Auftragsforschung aus Industrie und öffentlichem Bereich wider. Dadurch war es möglich, zusätzliche Arbeitsplätze zu schaffen und die Anzahl der Diplomanden und Doktoranden zu erhöhen. Die Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses erfolgt in enger Zusammenarbeit mit Hochschuleinrichtungen, insbesondere der Friedrich-Schiller-Universität und der Fachhochschule Jena.

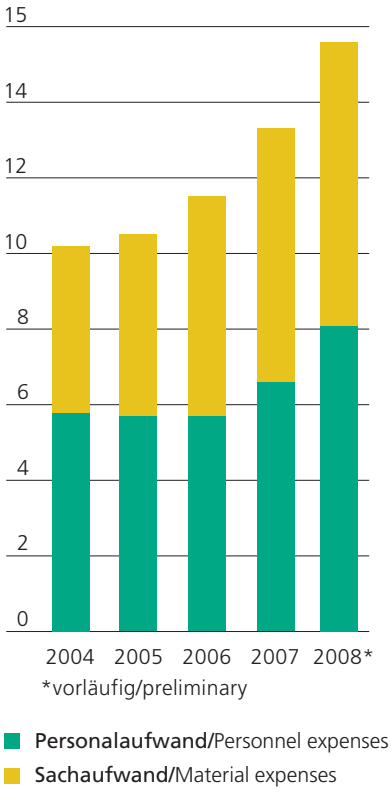
Investitionen

Die kontinuierliche Investition in die Infrastruktur ist Strategie des IOF und dient der Entwicklung der Technologieplattformen des Innovationsclusters JOIN. Resultierte in den Jahren 2004 bis 2006 der Hauptanteil der Investitionen aus Mitteln der EU und des Freistaats Thüringen für die Beschaffung einer Elektronenstrahllithographieanlage speziell für optische Anwendungen, kommt der wesentliche Teil der Investitionen 2007 und 2008 aus Mitteln der Grundfinanzierung und aus Projekten.

Ertrag/Revenue (%)



Betriebshaushalt/Budget (Mio. Euro)



Das IAP 2008 in Zahlen

Die Mitarbeiter des IAP konnten 2008 Drittmittel in Höhe von 5,73 Millionen Euro einwerben (siehe Tabelle). Am IAP arbeiten drei Professoren, ein Juniorprofessor, 51 wissenschaftliche und 14 technische Mitarbeiter. Es wurden 2008 22 Diplomarbeiten und fünf Promotionen abgeschlossen.

Drittmitteleinnahmen des IAP

Fördergeber	Zuwendung/Mio. Euro
BMBF	3,80
DFG	0,74
EU	0,07
Thüringen	0,01
Industrie	1,11

Budget

The successful development of the IOF and the positive order situation in 2008 are reflected in the increased budget of the institute especially in the high portion of contract research with industry and the public sector.
As a result, additional positions for scientists as well as technicians could be created and the number of diploma and PhD students could be increased.
The training of the young academics is carried out in close collaboration with universities, especially the Friedrich-Schiller-University and the University of Applied Sciences in Jena.

Investments

The continuous investment in infrastructure is a strategy of the IOF and provides a basis for the development of technology platforms of the innovation cluster JOIN. While from 2004 to 2006 the majority of the investment fund was granted by the European Union and the Free State of Thuringia for new Electron Beam Lithography Equipment, in 2007 and 2008 the investments were done mainly by core financing and by projects.

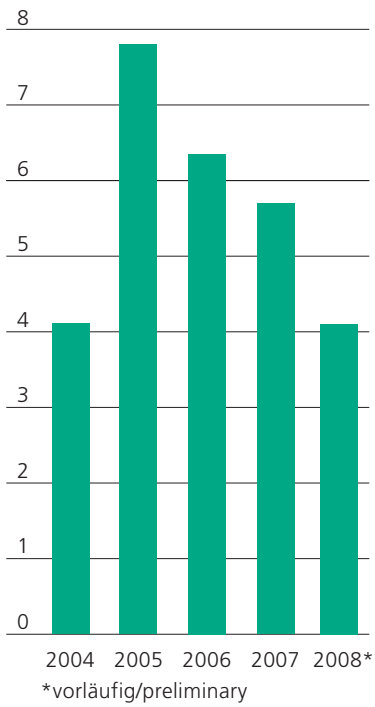
The IAP 2008 in Figures

Contract research revenues of 5.73 million Euros were acquired by the employees of IAP in 2008 (see table).
A total staff of 3 professors, 1 junior professor, 51 scientists and 14 technicians work at IAP. In 2008 22 diploma and 5 PhD students completed their theses.

Contract research revenue of the IAP

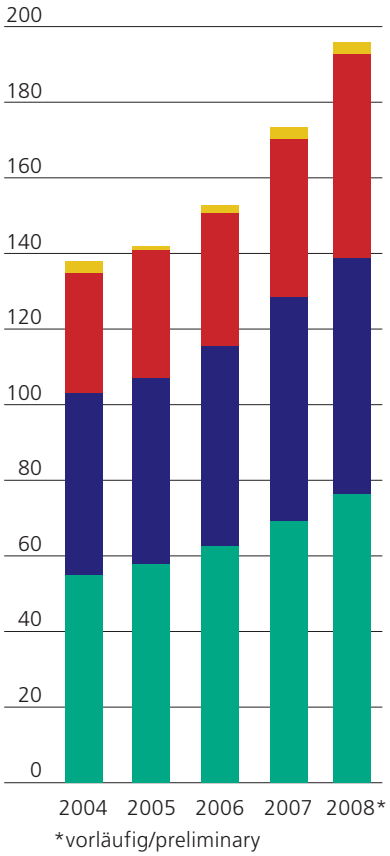
Contracts with	Funds/Mio. Euro
BMBF	3,80
DFG	0,74
EU	0,07
Thuringia	0,01
Industry	1,11

Investitionen/Investments (Mio. Euro)



*vorläufig/preliminary

Mitarbeiter/Staff



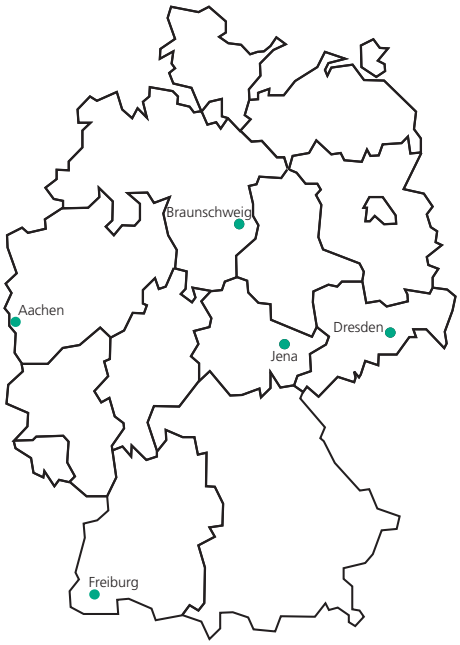
*vorläufig/preliminary

Wissenschaftler/Scientists
Techniker/Technicians
Schüler und Studenten/students
Sonstige/Temporary contracts

Fraunhofer-Verbund Oberflächentechnik und Photonik

Fraunhofer Surface Technology and Photonics Alliance

Fraunhofer Verbund Oberflächentechnik und Photonik



Kompetenz durch Vernetzung

Sechs Fraunhofer-Institute kooperieren im Verbund Oberflächentechnik und Photonik. Aufeinander abgestimmte Kompetenzen gewährleisten eine permanente, schnelle und flexible Anpassung der Forschungsarbeiten an den raschen technologischen Fortschritt in allen industriellen Anwendungsbereichen. Koordinierte, auf die aktuellen Bedürfnisse des Marktes ausgerichtete Strategien führen zu Synergieeffekten zum Nutzen des Kunden.

Verbundvorsitzender/Presider
Prof. Dr. Eckard Beyer

Koordination/Coordination
Dr. Udo Klotzbach
Phone: 03 51/25 83-2 52

Fraunhofer-Institut für Elektronenstrahl- und Plasmatechnik FEP
Ziel des FEP ist die Erforschung und Entwicklung innovativer Verfahren zur Nutzung von Elektronenstrahlen hoher Leistung und dichter Plasmen in Produktionsprozessen für die Oberflächentechnik. Dabei stehen praktische Fragestellungen wie Prozessmonitoring, Qualitätskontrolle, Reproduzierbarkeit, Aufskalierung und Wirtschaftlichkeit im Vordergrund.

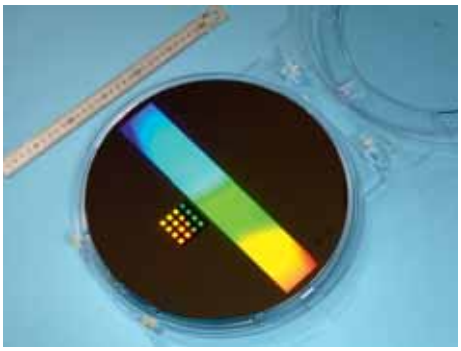
Fraunhofer Institute for Elektron Beam and Plasma Technology FEP
The ambition of FEP is the research and development of innovative processes for the utilization of high performance electron beams and vacuum sealed plasmas for surface technology. Priority is given to problems like process monitoring, quality control, reproducibility, scaling, and profitability.

Fraunhofer FEP, Dresden
www.fep.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT
Im Bereich der Lasertechnik ist das Zusammenspiel zwischen Laserentwicklung und Laseranwendung von herausragender Bedeutung. Neue Laser erlauben neue Anwendungen und neue Anwendungen geben Anregungen für neue Lasersysteme. Deshalb erweitert das Fraunhofer ILT durch die enge Kooperation mit führenden Laserherstellern und innovativen Laseranwendern ständig seine Kernkompetenzen.

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT
In the area of laser technology, the interactive relationship between laser development and laser applications is of prime importance. New lasers allow new applications, and new applications set the stage for new laser systems. This is why the Fraunhofer ILT is continually expanding its core competencies through close cooperation with leading laser manufacturers and innovative laser consumers.

Fraunhofer ILT, Aachen
www.ilt.fraunhofer.de



Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF
Hauptgegenstand der Forschungstätigkeit des Fraunhofer IOF ist die optische Systemtechnik mit dem Ziel der immer besseren Kontrolle von Licht. Schwerpunkte sind multifunktionale optische Schichtsysteme, mikrooptische Systeme, optische Messsysteme und Systeme zur Optik-Charakterisierung, opto-mechanische Präzisionssysteme sowie die Mikromontage.

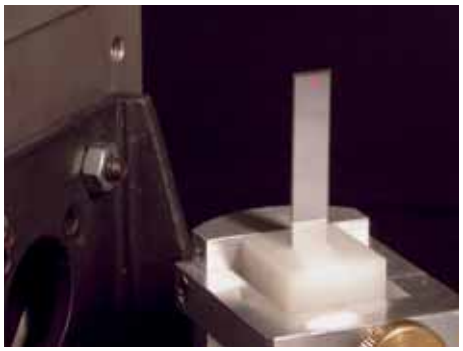
Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering IOF
The core of the research activity of Fraunhofer IOF is optical systems engineering aimed at a steady improvement of light control. The institute's focus is on multifunctional optical coatings, optical measurement systems, micro-optical systems, systems for the characterization of optics, opto-mechanical precision systems and assembling technologies.

Fraunhofer IOF, Jena
www.iof.fraunhofer.de

Competence by Networking

Six Fraunhofer institutes cooperate in the Fraunhofer Surface Technology and Photonics Alliance. Co-ordinated competences allow for a permanent, quick and flexible alignment of research work on the rapid technological progress in all industrial fields of application. This market-oriented approach ensures an even wider range of services and creates synergetic effects for the benefit of our customers.

Kernkompetenzen Core Competences	**FEP** Dresden	**ILT** Aachen	**IOF** Jena	**IPM** Freiburg	**IST** Braun-schweig	**IWS** Dresden
Schicht- u. Oberflächen-technologie/Coating and Surface Engineering	●	●	●	●	●	●
Strahlquellen/ Beam Sources	●	●	●	●		
Mikro- und Nano-technologie/Micro- and Nanotechnology	●	●	●	●	●	●
Materialbearbeitung/ Materials Treatment	●	●			●	●
Optische Mess-technik/Optical Measurement Technique		●	●	●	●	●



Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM
Das Fraunhofer IPM entwickelt optische Systeme für die Spektroskopie und Laserbelichtungstechnik. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Verwirklichung hochdynamischer Systeme. Neben der schnellen Laseransteuerung sind dafür besondere Kompetenzen bei der Signalverarbeitung gefragt. So wurden für die Infrastrukturüberwachung von Hochgeschwindigkeitsstrecken robuste, wartungsarme Messgeräte realisiert.

Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM
The Fraunhofer IPM develops optical systems for applications in spectroscopy and light exposure technology. A major focus is the realization of highly dynamical systems. Besides a rapid activation, they require special competencies in signal processing as realized through robust and low maintenance measurement systems for the infrastructure monitoring of high speed railway roads.

Fraunhofer IPM, Freiburg
www.ipm.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Schicht und Oberflächentechnik IST
Das Fraunhofer IST bündelt als industrienahes FuE-Dienstleistungszentrum Kompetenzen auf den Gebieten Schichtherstellung, Schichtanwendung und Schichtcharakterisierung. Zurzeit ist das Institut in folgenden Geschäftsfeldern tätig: Maschinenbau und Fahrzeugtechnik; Werkzeuge; Energie; Glas und Fassade; Optik; Information und Kommunikation; Mensch und Umwelt.

Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST
As an industry oriented R&D service center, the Fraunhofer Institute for Surface Engineering and Thin Films IST is pooling competencies in the areas film deposition, coating application and film characterization. Presently, the institute is operating in the following business fields: mechanical and automotive engineering; tools; energy; glass and facade; optics; information and communication; life science and ecology.

Fraunhofer IST, Braunschweig
www.ist.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS
Das Fraunhofer IWS forscht auf den Gebieten der Lasertechnik (z. B. Laserschweißen, Laserschneiden, Laserhärten), der Oberflächentechnik (z. B. Auftragschweißen), der Mikrobearbeitung sowie der Dünnschicht- und Nanotechnologie. Die in die Forschung und Entwicklung integrierte Werkstoffprüfung und -charakterisierung fundiert und erweitert das Spektrum des IWS.

Fraunhofer Institute for Material and Beam Technology IWS
The Fraunhofer IWS is conducting research in the areas of laser technology (e.g. laser beam welding, cutting, hardening), surface technology (e.g. build-up welding), micro machining as well as thin film and nano technology. The integration of material testing and characterization into research and development constitutes and upgrades the IWS spectrum.

Fraunhofer IWS, Dresden
www.iws.fraunhofer.de

Die Fraunhofer-Gesellschaft

The Fraunhofer-Gesellschaft

Forschen für die Praxis ist die zentrale Aufgabe der Fraunhofer-Gesellschaft. Die 1949 gegründete Forschungsorganisation betreibt anwendungsorientierte Forschung zum Nutzen der Wirtschaft und zum Vorteil der Gesellschaft. Vertragspartner und Auftraggeber sind Industrie- und Dienstleistungsunternehmen sowie die öffentliche Hand.

Die Fraunhofer-Gesellschaft betreibt in Deutschland derzeit mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 57 Institute. 15 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, bearbeiten das jährliche Forschungsvolumen von 1,4 Milliarden Euro. Davon fallen 1,2 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Zwei Drittel dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Nur ein Drittel wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert, damit die Institute Problemlösungen erarbeiten können, die erst in fünf oder zehn Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft aktuell werden.

Niederlassungen in Europa, in den USA und in Asien sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Mit ihrer klaren Ausrichtung auf die angewandte Forschung und ihrer Fokussierung auf zukunftsrelevante Schlüsseltechnologien spielt die Fraunhofer-Gesellschaft eine zentrale Rolle im Innovationsprozess Deutschlands und Europas.

Die Wirkung der angewandten Forschung geht über den direkten Nutzen für die Kunden hinaus: Mit ihrer Forschungs- und Entwicklungsarbeit tragen die Fraunhofer-Institute zur Wettbewerbsfähigkeit der Region, Deutschlands und Europas bei. Sie fördern Innovationen, stärken die technologische Leistungsfähigkeit, verbessern die Akzeptanz moderner Technik und sorgen für Aus- und Weiterbildung des dringend benötigten wissenschaftlich-technischen Nachwuchses.

Ihren Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern bietet die Fraunhofer-Gesellschaft die Möglichkeit zur fachlichen und persönlichen Entwicklung für anspruchsvolle Positionen in ihren Instituten, an Hochschulen, in Wirtschaft und Gesellschaft. Studentinnen und Studenten eröffnen sich an Fraunhofer-Instituten wegen der praxisnahen Ausbildung und Erfahrung hervorragende Einstiegs- und Entwicklungschancen in Unternehmen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826), der als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich war.

Research of practical utility lies at the heart of all activities pursued by the Fraunhofer-Gesellschaft. Founded in 1949, the research organization undertakes applied research that drives economic development and serves the wider benefit of society. Its services are solicited by customers and contractual partners in industry, the service sector and public administration.

At present, the Fraunhofer-Gesellschaft maintains more than 80 research units in Germany, including 57 Fraunhofer Institutes. The majority of the 15,000 staff are qualified scientists and engineers, who work with an annual research budget of euro 1.4 billion. Of this sum, more than euro 1.2 billion is generated through contract research. Two thirds of the Fraunhofer-Gesellschaft's contract research revenue is derived from contracts with industry and from publicly financed research projects. Only one third is contributed by the German federal and Länder governments in the form of base funding, enabling the institutes to work ahead on solutions to problems that will not become acutely relevant to industry and society until five or ten years from now.

Affiliated research centers and representative offices in Europe, the USA and Asia provide contact with the regions of greatest importance to present and future scientific progress and economic development.

With its clearly defined mission of application-oriented research and its focus on key technologies of relevance to the future, the Fraunhofer-Gesellschaft plays a prominent role in the German and European innovation process.

Applied research has a knock-on effect that extends beyond the direct benefits perceived by the customer: Through their research and development work, the Fraunhofer Institutes help to reinforce the competitive strength of the economy in their local region, and throughout Germany and Europe. They do so by promoting innovation, strengthening the technological base, improving the acceptance of new technologies, and helping to train the urgently needed future generation of scientists and engineers.

As an employer, the Fraunhofer-Gesellschaft offers its staff the opportunity to develop the professional and personal skills that will allow them to take up positions of responsibility within their institute, at universities, in industry and in society. Students who choose to work on projects at the Fraunhofer Institutes have excellent prospects of starting and developing a career in industry by virtue of the practical training and experience they have acquired.

The Fraunhofer-Gesellschaft is a recognized non-profit organization that takes its name from Joseph von Fraunhofer (1787–1826), the illustrious Munich researcher, inventor and entrepreneur.

Ausgewählte Ergebnisse
Selected Results

2008

Strahlquellen

Beam Sources

2 kW inkohärente Strahlkombination von vier schmalbandigen photonischen Kristallfaserverstärkern

Christian Wirth[1]

Oliver Schmidt[2]

Igor Tsybin[1]

Thomas Schreiber[1]

Thomas Peschel[1]

Frank Brückner[2]

Tina Clausnitzer[2]

Jens Limpert[2]

Ramona Eberhardt[1]

Andreas Tünnermann[1, 2]

[1] Fraunhofer IOF
[2] Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

Motivation

Hochleistungsfaserlaser mit mehreren Kilowatt Ausgangsleistung und beugungsbegrenzter Strahlqualität sind heutzutage kommerziell verfügbar und adressieren immer mehr Anwendungen speziell in der Materialbearbeitung /1/. Die Skalierung dieser Quellen zu höheren Leistungen, die in neuen Anwendungsfeldern benötigt werden, ist durch nichtlineare optische Effekte begrenzt, die durch hohe Intensitäten und große Wechselwirkungslängen der im Kern der Faser erzeugten Strahlung hervorgerufen werden /2/. Eine weitere Limitierung stellen thermo-optische Effekte durch die hohe Leistungsextraktion pro Faserlänge und die damit erzeugte hohe Wärmeleistung aufgrund des Quantendefekts des Laserprozesses dar.

Strahlkombinationstechniken

Eine Leistungsskalierung über diese Grenzen hinweg ist nur durch Strahlkombinationstechniken möglich. Die Kombination von mehreren Strahlen (Kanälen) zu einem nahezu beugungsbegrenzten Strahl ist Forschungsgegenstand weltweit. Verschiedene Ansätze, die sich formal in kohärente und inkohärente Techniken unterteilen lassen, werden dabei verfolgt.

Bei kohärenter Strahlkombination wird eine sehr präzise Kontrolle der Phasenlage jedes einfrequent emittierenden Kanals gefordert.

Demgegenüber ist die inkohärente und damit nur geometrische Überlagerung mehrerer Strahlen verschiedener Wellenlängen in Nah- und Fernfeld durch ein wellenlängenselektives Element unkomplizierter und kann ohne Phasenkontrolle erfolgen /3/. Diese Methode hat einzig den Nachteil, dass die spektrale Reinheit der Einzelkanäle aufgegeben werden muss. Für viele Anwendungen stellt dies aber kein Problem dar.

Experimenteller Aufbau

Das hier entwickelte Lasersystem basiert auf inkohärenter spektraler Strahlkombination von vier Ytterbium-Faserverstärkerketten für schmalbandige Strahlung. Jede einzelne Verstärkerkette verstärkt einen Laser bei einer anderen Wellenlänge. Diese werden über ein Beugungsgitter als wellenlängenselektives Element zu einem Strahl kombiniert. Der schematische Aufbau ist in Abb. 1 dargestellt.

Die Wellenlänge jedes Kanals wird dabei unabhängig von den anderen Kanälen durch einen schmalbandigen Diodenlaser vorgegeben. Die Emissionswellenlänge des Diodenlasers reicht von 1025 nm bis 1075 nm.

2 kW incoherent beam combining of four narrow-linewidth photonic crystal fiber amplifiers

Motivation

High power fiber lasers with several kilowatts average output power and diffraction limited beam quality are commercially available today and find applications especially in material processing /1/. However, the scaling of these sources to much higher output powers to address new applications is limited due to nonlinear optical effects resulting from the high intensity and long interaction length of the generated light within the fiber /2/.
A further limitation arises as a result of thermo-optical issues due to the high power extraction per fiber length and considerable heat build-up due to the quantum defect of the laser process /2/.

Beam combining techniques

Further power scaling beyond these given limits appears only to be feasible by the technique of beam combination. The combination of multiple beams (channels) to one single beam with near diffraction limited beam quality is the subject of extensive research worldwide. Different approaches are being investigated and can be classified into coherent and incoherent techniques.

Coherent combining requires a highly precise control of the phase of each channel emitting single-frequency radiation.

In contrast, incoherent beam combining is a more straightforward way to combine multiple beams of different wavelength in near-field and far-field by wavelength selective elements without any phase control, but suffers from the loss of spectral purity of the output beam /3/. For most applications, however, this is not a requirement.

Experimental setup

The laser system developed here is based on an incoherent spectral beam consisting of four narrow-linewidth ytterbium-doped fiber amplifier chains. Each chain amplifies a seed laser at a slightly different wavelength and the beam combination is achieved using a diffraction grating as the wavelength selective element. The experimental setup is schematically shown in Fig. 1.

The wavelength of each channel is defined by a narrowband diode laser emitting at a specific wavelength. The emission wavelength of these diode lasers can be tuned from 1025 nm to 1075 nm.

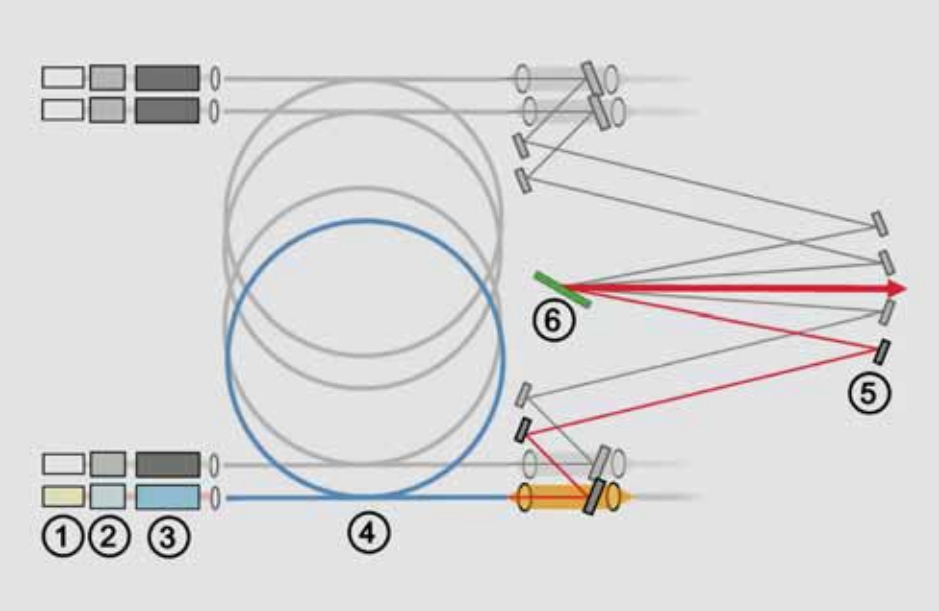


Abb. 1:
Experimenteller Aufbau für das spektrale Kombinieren von vier photonischen Kristallfaserverstärkerkanälen. Ein einzelner Kanal ist farbig hervorgehoben und besteht aus einer Laserquelle (1), einem ersten (2) und zweiten Vorverstärker (3), dem Hauptverstärker (4), den Faltungsspiegeln (5) und dem Gitter (6).

Fig. 1:
Experimental setup for spectral beam combining of four photonic crystal fiber amplifier channels. A single channel is highlighted and consists of a seed source (1), a first (2) and second pre-amplifier (3), the main amplifier (4), the folding mirrors (5) and the grating (6).

Diese wird in einem zweistufigen Faservorverstärker und einem Hauptverstärker auf die benötigten Leistungen verstärkt. Um die Schwelle für stimulierte Brillouinstreuung, welche der erste zu erwartende nichtlineare Effekt ist, zu erhöhen, wurde das Diodenlasersignal spektral verbreitert. Diese Verbreiterung erfolgt durch eine zusätzliche Modulation des Diodenstroms mittels Rauschgenerator (nicht dargestellt in Abb. 1).

Durch die Vorverstärker wird eine Ausgangsleistung von 20 W in linear polarisierter, beugungsbegrenzter Strahlung erzeugt und als Eingangssignal für den Hauptverstärker genutzt. Dieser besteht aus einer 15 m langen Ytterbium-dotierten photonischen Kristallfaser. Der aktive Kern der Faser hat einen gemessenen Modenfelddurchmesser der Grundmode von 25 µm. Der Pumpkern hat einen Durchmesser von 550 µm und eine numerische Apertur von 0,5. Der Verstärker wird bei 976 nm durch eine Endfläche der Faser entgegen der Verstärkungsrichtung mit einer fasergekoppelten Hochleistungsdiode gepumpt.

Für das Kombinationsexperiment wurden die Einzelkanäle auf Wellenlängen zwischen 1050 nm und 1065 nm in 5 nm Abständen fixiert. Dieser spektrale Abstand resultierte in einer ausreichenden Winkeldispersion um auf der Strecke von 3,2 m zwischen Faltungsspiegel und Gitter (Abb. 1) die Strahlen benachbarter Kanäle räumlich zu trennen.

Kombinationselement

Das Gitter, welches als Strahlkombinationselemente eingesetzt wurde, ist ein hocheffizientes Beugungsgitter optimiert für beide Polarisationen und dementsprechend für unpolarisiertes Licht (Abb. 2).

Daher ist keine Polarisationskontrolle im Hauptverstärker nötig. Die Gitterperiode entspricht 960 Linien/mm. Nach der Fertigung des Gitters wurde es bei einer Wellenlänge von 1064 nm unter Littrow-Bedingung vermessen. Der Einfallswinkel war in diesem Fall 30,7° und die Effizienz wurde indirekt über die gemessene Leistung in der nullten Beugungsordnung ermittelt. Die gemessene Beugungseffizienz ist größer als 99 % für TE-Polarisation und größer als 98 % für TM-Polarisation. Die gleichmäßige Beugungseffizienz über das Gitter ist in Abb. 3 durch Messung der Effizienz an verschiedenen Positionen dargestellt.

Hochleistungsstrahlkombination

Abbildung 4 zeigt den gemessenen Leistungsverlauf, wobei in Abb. 5 das zugehörige Spektrum bei der höchsten Leistung dargestellt ist. Es konnte eine Leistung von 2065 W bei einer Gesamtpumpleistung von 3395 W erreicht werden.

Der differentielle Wirkungsgrad inklusive Beugungseffizienz beträgt 61 %. Experimentell wurde die Beugungseffizienz des Gitters durch das Leistungsverhältnis von nullter und erster Beugungsordnung für alle vier Kanäle zu 99 % bestimmt.

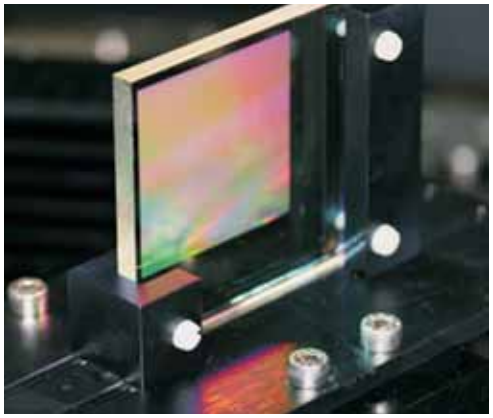


Abb. 2:
Reflexionsgitter.

Fig. 2:
Reflective diffraction grating.

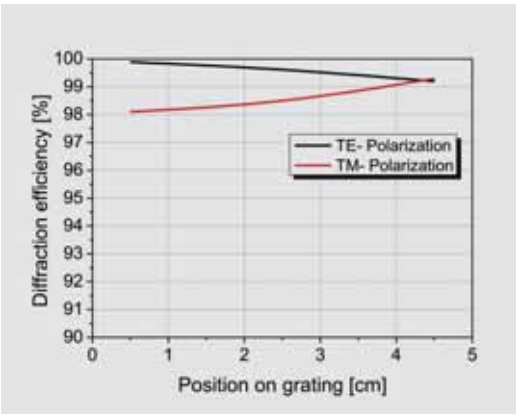


Abb. 3:
Gemessene Beugungseffizienz des Gitters bei einer Wellenlänge von 1064 nm.

Fig. 3:
Measured diffraction efficiency of the grating at 1064 nm.

It is amplified by a two-stage pre-amplifier and a power amplification stage. To enhance the threshold for stimulated Brillouin scattering, the first nonlinear effect that is expected, a line-width control was applied to broaden the signal spectrally. This is done by employing a modulation of the diode lasers driver current with a noise generator (not shown in Fig. 1), resulting in an increased seed-signal bandwidth.

An output power of 20 W in a linearly polarized and diffraction-limited beam is obtained via the pre-amplifiers and is used as the seed for the main amplification stage. The main amplifierstage consists of a 15 m long ytterbium-doped photonic crystal fiber. The active core of the fiber has a measured mode field diameter for the fundamental mode of 25 µm. The pump core has a diameter of 550 µm and a numerical aperture of 0.5. The stage is pumped at 976 nm through one fiber facet in a counter propagating configuration by a fiber coupled diode laser.

For the combining experiment the seed lasers are fixed in wavelength from 1050 nm to 1065 nm with 5 nm spectral separation between adjacent channels. This separation results in an angular dispersion that provides enough spatial separation between adjacent beams, at a distance of 3.2 m between the final folding mirrors and the dispersive element (Fig. 1).

Combining element

The grating, which is used as combining element, is a highly efficient reflective diffraction grating, optimized for both TE- and TM-polarization, and thus for non-polarized light (Fig. 2).

For this reason, no polarization control of the main amplifier is required. The line density of the grating is 960 lines/mm. The grating was characterized after fabrication at a wavelength of 1064 nm in 1st-order Littrow-configuration at an angle of 30.7 degree by measurement of the power in the 0th order. The measured diffraction efficiency at 1064 nm is > 99 % for TE-polarization and > 98 % for TM-polarization uniformly across the grating as shown for different positions on the gratings in Fig. 3.

High power beam combining

Figure 4 shows the slope efficiency and Fig. 5 the output spectrum of the combined output beam. An optical power of 2065 W is reached at a total launched pump power of 3395 W.

The total slope efficiency including the diffraction efficiency is as high as 61 %. The combining efficiency, determined experimentally by the ratio of optical power of the combined beam and the power diffracted in the zeroth order, was measured commonly for all four channels to 99 %.

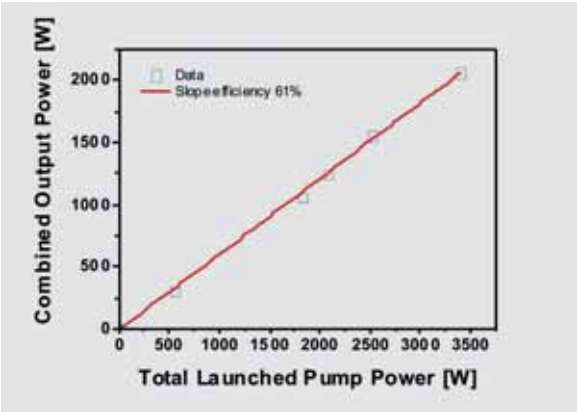


Abb. 4:
Leistungscharakteristik und differentieller Wirkungsgrad der kombinierten Leistung bezogen auf die eingekoppelte Pumpleistung.

Fig. 4:
Output characteristics and slope efficiency of the combined power in relation to launched power.

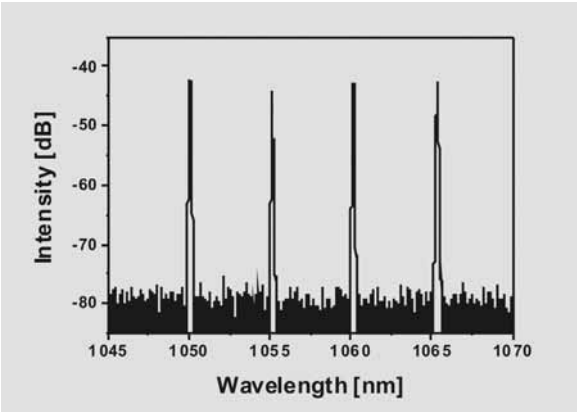


Abb. 5:
Optisches Spektrum des kombinierten Strahls.

Fig. 5:
Emitted optical spectrum of the combined output beam.

Diese Messung beweist die hohe Effizienz des Gitters auch für die Wellenlängen der Kanäle von 1050 nm bis 1065 nm und die leicht außerhalb der Littrow-Bedingung einfallenden Strahlen.

Abbildung 6 zeigt die Strahlqualitätsmessung bei der höchsten erreichten Leistung von 2 kW. Die Beugungsmaßzahl M² jedes einzelnen Kanals bei einer Leistung von ~ 500 W nach dem Gitter wurde mit M_x^2 ~ 1,6 und M_y^2 ~ 1,4 bestimmt. Der erhöhte Wert in horizontaler (x-)Richtung wird durch die zusätzliche Divergenz des Strahl aufgrund seiner spektralen Bandbreite von ~ 60 pm hervorgerufen.

Der kombinierte Strahl zeigt eine Strahlqualität von $M_x^2 = 2{,}0$ und $M_y^2 = 1{,}8$ bei einer Leistung von 2 kW (Abb. 6). Aufgrund der Reflexionseigenschaften des Gitters sind thermo-optische Effekte an dieser Stelle bei der erreichten Leistung nicht zu erwarten.

Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde die inkohärente spektrale Kombination von vier schmalbandigen Verstärkern auf Basis von photonischen Kristallfasern bei einer Leistung von ~ 500 W pro Kanal demonstriert. Die vier Ausgangsstrahlen wurden mit Hilfe eines hocheffizienten dielektrischen polarisationsunabhängigen Gitters mit einer Effizienz von 99 % zu einem nahezu beugungsbegrenzten Strahl mit 2 kW Leistung kombiniert. Thermo-optische Limitierungen sind bei dieser Leistung auf dem Gitter nicht zu erwarten.

Der gewählte Ansatz weist ein signifikantes Skalierungspotenzial auf. Der spektrale Abstand der Kanäle kann durch ein Neudesign der Kombinationseinheit, d. h. den Einsatz eines Gitters mit kleinerer Periode, verringert und die Kanalanzahl somit erhöht werden. Die nutzbare Verstärkerbandbreite einer Ytterbium-dotierten Faser lässt Verstärkungen in einem Bereich von mindestens 50 nm um 1060 nm zu, wobei die Beugungseffizienz des Gitters über einen vergleichbaren Spektralbereich maximierbar ist.

Danksagung

Die Arbeiten wurden von Rheinmetall Waffe Munition GmbH und im Rahmen der internen FhG Programme (MAVO 814970) gefördert. Die dielektrischen Gitter wurden in der Gruppe von Dr. E.-B. Kley »Microstructure Technology/Microoptics« des Instituts für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena entworfen und hergestellt.

Literatur:

/1/ Gapontsev, D.; IPG Photonics:
6kW CW Single Mode Ytterbium Fiber Laser in All-Fiber Format, in Solid State and Diode Laser Technology Review (Albuquerque, 2008).

/2/ Tünnermann, A.; Schreiber, T.; Röser, F.; Liem, A.; Höfer, S.; Zellmer, H.; Nolte, S. and Limpert, J.:
The renaissance and bright future of fibre lasers, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 38, 681–693 (2005).

/3/ Augst, S. J.; Ranka, J. K.; Fan, T. Y. and Sanchez, A.:
Beam combining of ytterbium fiber amplifiers (Invited), J. Opt. Soc. Am. B 24, 1707–1715 (2007).

This proves the high efficiency of the grating for the individual wavelengths of the channels ranging from 1050 nm to 1065 nm and for angles of incidence slightly off-Littrow given by the distinct wavelength of the channels.

Figure 6 shows the beam quality characterization of the combined output beam at 2 kW optical power. The beam quality factor M^2 of each individual channel at ~ 500 W after the grating is characterized to M_x^2 ~ 1.6 and M_y^2 ~ 1.4. The larger value in horizontal (x-) direction can be attributed to additional divergence imposed by the diffraction grating on the ~ 60 pm bandwidth optical beam. The combined beam shows a beam quality of M_x^2 = 2.0 and M_y^2 = 1.8 at the power of 2 kW (Fig. 6). Due to the all reflective nature of the combining element, thermo-optical issues are not expected at this power level.

Conclusion and Outlook

A spectral beam combining scheme of four narrow-linewidth photonic crystal fiber amplifier chains at a power level of ~ 500 W per channel has been demonstrated. The four output beams were combined via a highly-efficient dielectric polarization-independent diffraction grating with 99 % efficiency to a near diffraction-limited output beam of 2 kW optical power. No thermo-optical effects on the grating are anticipated at this power level.

The approach possesses significant scaling potential. The channel spacing can be reduced by revising the combining stage, i. e. employing a grating with a smaller grating period, at the same time increasing the number of individual channels. The useful Yb-gain bandwidth covers more than 50 nm around 1060 nm and the diffraction efficiency of the reflective dielectric grating is maximizable over a comparable wavelength range.

Acknowledgements

This work was supported by Rheinmetall Waffe Munition GmbH and by the FHG Internal Programs under Grant No. MAVO 814970. The dielectric reflection grating was designed and manufactured by the group of Dr. E. B. Kley, "Microstructure Technology / Microoptics" at the Institute of Applied Physics, Friedrich-Schiller-University Jena.

References:

/1/ Gapontsev, D.; IPG Photonics: 6kW CW Single Mode Ytterbium Fiber Laser in All-Fiber Format, in Solid State and Diode Laser Technology Review (Albuquerque, 2008).

/2/ Tünnermann, A.; Schreiber, T.; Röser, F.; Liem, A.; Höfer, S.; Zellmer, H.; Nolte, S. and Limpert, J.: The renaissance and bright future of fibre lasers, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 38, 681–693 (2005).

/3/ Augst, S. J.; Ranka, J. K.; Fan, T. Y. and Sanchez, A.: Beam combining of ytterbium fiber amplifiers (Invited), J. Opt. Soc. Am. B 24, 1707–1715 (2007).

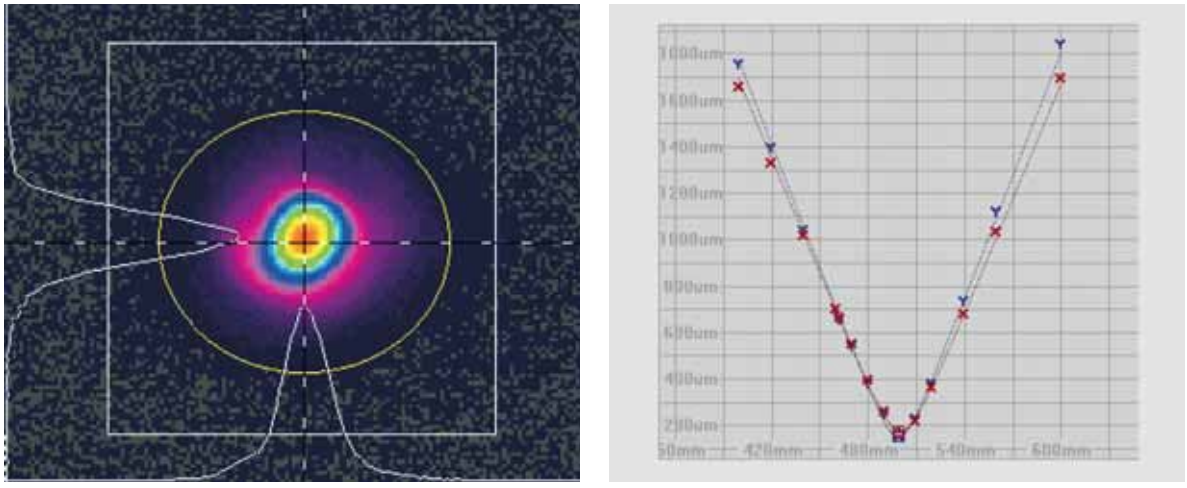


Abb. 6:
Nahfeldprofil und Strahlqualitätsmessung des kombinierten Strahls bei einer Ausgangsleistung von 2 kW (Spiricon® 90/10 Knife Edge).

Fig. 6:
Near-field beam profile and beam quality measurement of the combined output beam at optical power of 2 kW (Spiricon® 90/10 Knife Edge).

Steigerung der Pulsspitzenleistung hochrepetierender Ultrakurzpulslaser durch nichtlineare Wechselwirkung

Jens Limpert[1]

Fabian Röser[1]

Damian Schimpf[1]

Oliver Schmidt[1]

Steffen Hädrich[1]

Jan Rothhardt[1]

Tino Eidam[1]

Cesar Jauregui[1]

Bülend Ortac[1]

[1] Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

Ultrakurze Laserpulse können heute routinemäßig erzeugt werden und haben eine Reihe von Anwendungen in Bereichen der Physik aber auch anderen Wissenschaften wie Biologie oder Chemie gefunden, wo sie zur Untersuchung von Vorgängen im Femtosekundenbereich eingesetzt werden. Werden solche Pulse auf die entsprechenden Pulsenergien (typischerweise im Millijoulebereich) verstärkt, dann kann die Fokussierung der Laserstrahlung Intensitäten und damit verbunden elektrische Feldstärken hervorrufen, die fundamentale Wechselwirkungsprozesse in Gang setzen. Da solche Vorgänge schwer messbar sind, würde diese Grundlagenforschung von hohen Pulswiederholraten profitieren. Allerdings sind die meist verwendeten Titan: Saphir-Verstärkersysteme auf Repetitionsraten von einigen zehn Kilohertz beschränkt.

Dagegen wurden Kurzpuls-Faserlasersysteme mit Repetitionsraten von 40 MHz, die Femtosekundenpulse bei Durchschnittsleistungen von 325 W erzeugen, bereits demonstriert /1/.

Störend sind hierbei nichtlineare Effekte und die beschränkte Verstärkungsbandbreite, die eine Energieerhöhung in den Bereich mehrer Millijoule bzw. Pulsverkürzung zu wenigen Femtosekunden verhindern. Durch die Weiterentwicklung der Fasertechnologie ist es gelungen 800 Femtosekunden-Pulse mit Pulsenergien von bis zu 1 mJ zu erzeugen /2/. Eine weitere Skalierung ist nur über alternative Konzepte möglich, die neuartige Quellen kohärenter Strahlung ermöglichen.

Die Vorteile dieser neuartigen Laserquellen sollten hervorragendes Strahlprofil, hohe Pulswiederholrate und eine mittlere Ausgangsleistung, die mehrere Größenordnungen über konventionellen Titan: Saphir-Kurzpulslasern liegt, sein.

Für die Skalierung von Faserlasersystem zu Pulsdauern von weniger als 100 fs werden am Institut für Angewandte Physik zwei Konzepte verfolgt. Das erste beschäftigt sich mit nichtlinearer Kompression. Um das zu erreichen, werden die Laserpulse mittels nichtlinearer Wechselwirkung spektral verbreitert und anschließend in einfachen Aufbauten, wie Prismenkompressoren oder gechirpten Spiegeln, in ihrer Pulsdauer verkürzt. In gewöhnlichen optischen Fasern kann die Pulsdauer um eine bis zwei Größenordnungen reduziert werden. Durch Anwendung dieser Technik konnten 27 Femtosekunden-Pulse bei einer Wiederholrate von 78 MHz mit Spitzenleistungen von 20 MW aus einem Faserlasersystem am Institut für Angewandte Physik erzeugt werden /3/. Nichtlineare Kompression für hochenergetische Pulse wird in Hohlfasern erreicht, die mit Edelgas gefüllt werden (Abb. 1).

Hohlkernfasern unterscheiden sich von gewöhnlichen Fasern, da sie einen Luftkern haben, der von Glas umgeben ist. Um den geringen nichtlinearen Koeffizienten von Luft zu erhöhen, werden die Fasern mit Edelgasen gefüllt. Die Stärke der Nichtlinearität, d. h. der nichtlineare Brechungsindex n_2, hängt vom Gasmedium und dem Druck ab. Mit dieser einfachen Kompressionstechnik konnten die 800 Femtosekunden-Pulse eines faserbasierten Kurzpulslasersystems /2/ um eine Größenordnung verkürzt werden und Pulse von 70 µJ, 70 fs bei 30 kHz und 63 µJ, 57 fs bei 100 kHz erreicht werden.

Peak power enhancement of ultra-short pulse laser sources based on nonlinear interaction

Today, ultra-short pulses can be routinely generated and have found numerous applications in physics as well as in other sciences such as biology or chemistry, where they are used for investigation of femtosecond timescale processes. When amplified to sufficient energies (typically of the order of millijoules) focusing of such pulses results in intensities, and therefore, electrical field strengths that enable fundamental interaction of light and matter. Since these processes are hard to measure, such systems would greatly benefit from high repetition rates. However, commonly used Ti: Sapphire based laser systems are typically restricted to a few tens of kilohertz.

In contrast, short pulse fiber laser system operating at 40 MHz capable of producing femtosecond pulses at an average power of 325 W have been presented /1/.

Parasitic nonlinear effects and the limited gain bandwidth prevent the increase of energy and pulse shortening respectively. Progression in fiber technology has led to a fiber laser system with 800 femtosecond pulses at one millijoule of pulse energy /2/. Further scaling has to address alternative concepts enabling new coherent light sources. These new sources require the advantage of superior beam quality while operating at repetition rates, and therefore, average powers orders of magnitude higher than Ti: Sapphire laser systems.

For scaling fiber laser system to pulse durations shorter than 100 fs, the Institute of Applied Physics presented two approaches. The first one uses nonlinear compression. To achieve this, laser pulses are broadened spectrally by nonlinear interaction and subsequent reduction of pulse duration is achieved by compressing them in simple setups, e. g. prism or chirped mirror compressors. In conventional fibers this technique can lead to pulse reduction of one to two orders of magnitude.

Applying this compression scheme to a fiber laser system at the Institute of Applied Physics has lead to 27 femtosecond pulses at a repetition rate of 78 MHz with 20 MW of peak power /3/. Nonlinear compression of high energy pulses can be achieved by the use of noble gas filled hollow core fibers (Fig. 1).

Hollow core fibers differ from conventional fibers since they have an air core surrounded by glass. To achieve self-phase modulation the fibers are filled with noble gases. The strength of the nonlinearity, namely the nonlinear index of refraction n_2, depends on the gas medium and the pressure. Utilizing this compression scheme it was possible to shorten the 800 femtosecond pulses of a fiber based short pulse system /2/ by more than an order of magnitude and achieve pulses with 70 µJ, 70 fs at 30 kHz and 63 µJ, 57 fs (Fig. 2) at 100 kHz respectively.

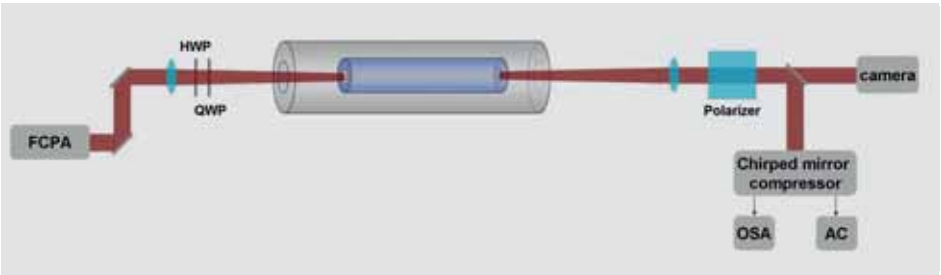


Abb.1:
Experimenteller Aufbau der nichlinearen Kompression in Hohlfasern, die mit Edelgas gefüllt sind.

Fig.1:
Experimental setup of nonlinear compression in noble gas filled fibers.

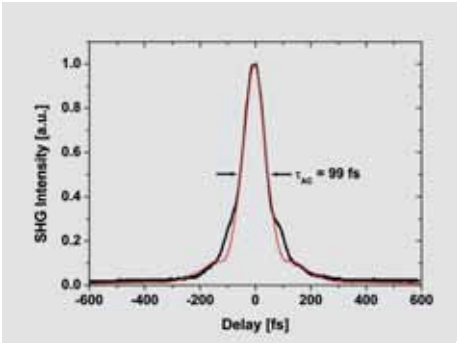


Abb. 2:
Autokorrelation des komprimierten Pulses bei 100 kHz.

Fig. 2:
Autocorrelation trace of the compressed pulses at 100 kHz.

Ein weiteres Skalierungskonzept basiert auf optisch parametrischer Verstärkung (engl. OPA – optical parametric amplification), welche eine enorme Verstärkungsbandbreite bietet. Um solch einen Verstärker zu betreiben, benötigt man einen hochenergetischen Pumppuls der seine Energie mittels nichtlinearer Wechselwirkung in einem Kristall auf eine breitbandigen Signalpuls überträgt. Die Pumpe wird durch den frequenzverdoppelten Ausgang unseres Kurzpulslasersystems /2/ zur Verfügung gestellt, während das spektral breitbandige Signal durch nichtlineare Wechselwirkung in einem kurzen Stück Faser erzeugt wird.

In einem ersten Experiment betrieben wir unser Kurzpuls-Faserlasersystem /2/ bei einer Wiederholrate von 100 kHz und einer Pulsenergie von 410 µJ, die in einem frequenzverdoppelten Pumppuls mit 220 µJ Pulsenergie resultiert. Eine Signalbandbreite von 43 nm wurde erreicht, indem ein kleiner Teil (~ 1 %) des Ausgangs des Kurzpuls-Faserlasersystems abgespalten und in eine 8 cm lange photonische Kristallfaser mit 33 µm Modenfelddurchmesser eingekoppelt wurde. Dieses Signal wurde mittels zweifacher optisch parametrischer Verstärkung auf 41 µJ verstärkt. Durch einen Prismenkompressor wurde die Pulsdauer auf 52 fs bei einer Pulsenergie von 37 µJ verkürzt und damit eine Pulsspitzenleistung von 500 MW erreicht /4/.

Allerdings ist dieser Ansatz durch das faserbasierte Kurzpulslasersystem selbst limitiert. Der Ausgangspuls dieses Systems ist bereits durch nichtlineare Effekte in den Verstärkerfasern deformiert. Dies beeinflusst die spektrale Verbreiterung und insbesondere die anschließende Kompression zu kurzen Pulsen.

Deshalb wurden in einem zweiten Experiment die zeitlich wohl definierten Pulse des Laseroszillators zur Erzeugung des breitbandigen Signals verwendet. Dazu wurde ein Teil der Pulsenergie des Oszillators, der als Signalquelle für das Kurzpuls-Faserlasersystem /2/ dient, abgespalten (Abb. 3).

Die zeitliche Synchronisierung von Pump- und Signalpuls wurde mit einer Multipasszelle erreicht, die einen optischen Weg von 45 m aufweist. Danach wurden die Pulse in eine 6 cm lange Standardfaser mit 6 µm Kerndurchmesser eingekoppelt und eine Bandbreite von 68 nm erzeugt.
Um das Signal zu verstärken, benutzten wir erneut einen zweistufigen optisch parametrischen Verstärker.

Die Pumpenergie für die optisch parametrische Verstärkung betrug 0,55 mJ nach Frequenzverdoppelung des faserbasierten Kurzpulslasersystems (1 mJ). Die erste Stufe wurde mit einer Pumpintensität von 300 GW/cm² betrieben und lieferte eine Verstärkung von 32 dB und damit eine Pulsenergie von 60 µJ. Die verbleibende Pumpe und das verstärkte Signal werden in einen zweiten Kristall fokussiert und damit die Pulsenergie auf 90 µJ erhöht. Die verstärkte Bandbreite ist 74 nm groß. Die Pulskompression wird mit gechirpten Spiegeln erreicht. Die gemessene Autokorrelationsbreite der Ausgangspulse beträgt 42 fs. Das entspricht einer Pulsdauer von 29 fs und ist nur knapp über dem Fourierlimit von 27 fs. Bei einer Kompressoreffizienz von 90 % erhält man eine Pulsenergie von 81 µJ womit sich eine Pulsspitzenleistung von 2 GW ergibt /5/.

Literatur:

/1/ Eidam, T.; Röser, F.; Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Seise, E.; Gottschall, T.; Schreiber, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.:
325 W average power of femtosecond pulses from a fiber laser system, ASSP 2009, accepted for oral presentation.

/2/ Röser, F.; Eidam, T.; Rothhardt, J.; Schmidt, O.; Schimpf, D. N.; Limpert, J. and Tünnermann, A.: Millijoule pulse energy high repetition rate femtosecond fiber chirped-pulse amplification system,
Opt. Lett. 32, 3495-3497 (2007).

/3/ Eidam, T.; Röser, F.; Schmidt, O.; Limpert, J.; Tünnermann, A.:
57 W, 27 fs pulses from a fiber laser system using nonlinear compression, Appl. Phys. B 92, 9–12 (2008).

/4/ Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Röser, F.; Limpert, J. and Tünnermann, A.:
500 MW peak power degenerated optical parametric amplifier delivering 52 fs pulses at 97 kHz repetition rate,
Opt. Express 16, 8981–8988 (2008).

/5/ Hädrich, S.; Rothhardt, J.; Röser, F.; Gottschall, T.; Limpert, J. and Tünnermann, A.:
Degenerate optical parametric amplifier delivering sub 30 fs pulses with 2 GW peak power,
Opt. Express 16, 19812–19820 (2008).

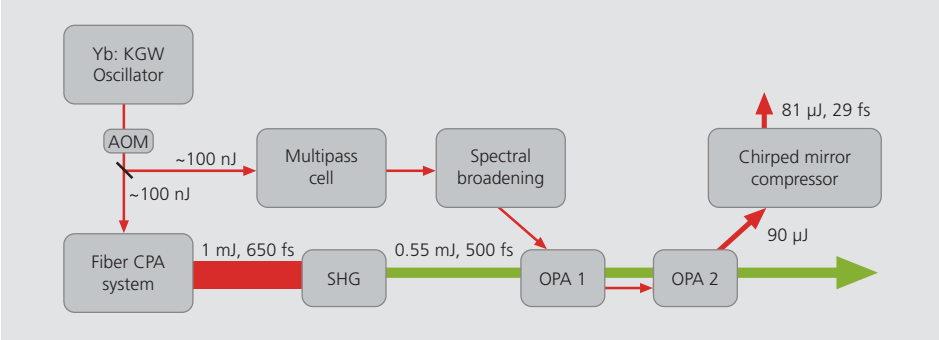


Abb. 3:
Schematischer Aufbau des Faserverstärker gepumpten optisch parametrischen Verstärkers.

Fig. 3:
Schematic setup of the fiber amplifier pumped degenerated optical parametric amplifier.

Another scaling concept is optical parametric amplification (OPA) which offers enormous amplification bandwidth. Operation of an ultra-short pulse OPA requires a broadband seed signal and a high energy pump that transfers its energy to the seed via nonlinear interaction in a crystal. The pump is delivered by the frequency doubled output of our short pulse fiber laser system /2/ while the broadband seed is generated via nonlinear interaction in a short piece of fiber.

In a first experiment, we operated our fiber laser system at 100 kHz repetition rate and 410 µJ pulse energy resulting in 220 µJ in the second harmonic pump pulse. By splitting a small portion (~ 1 %) from the output and coupling this to an 8 cm photonic crystal fiber with 33 µm mode field diameter a bandwidth of 43 nm was achieved. This signal has been amplified in a two stage OPA system to 41 µJ. Compression in a prism compressor yielded 52 fs pulses with a pulse energy of 37 µJ resulting in 500 MW of peak power /4/.

However, this approach is limited by the short pulse fiber laser system itself. The pulse delivered by this system is already distorted by nonlinear effects in the amplifier fibers. This influences the spectral broadening and limits subsequent compression to ultra-short pulses.

Hence, in a second experiment the clean temporal pulses delivered by an oscillator were used to generate the broadband spectrum. For this reason we separated a part of seed oscillator of the short pulse fiber laser system (Fig. 3).

The temporal synchronization of pump and signal which is required for optical parametric amplification was achieved by the means of a multipass cell with 45 m of optical path and a delay stage. The near pulses of the oscillator were then injected in a 6 µm core standard step index fiber with a length of 6 cm generating a bandwidth of 68 nm. We used a two stage optical parametric amplifier as well to amplify our signal.

The pump energy for the OPA was as high as 0.55 mJ resulting from the frequency doubled output of the fiber based short pulse system (1 mJ). The first stage is operated at a pump intensity of 300 GW/cm², giving a gain of 32 dB and amplified pulse energy of 60 µJ. The remainder of the pump and the amplified signal are focused into a second stage which boosts the pulse energy up to 90 µJ. The amplified spectral bandwidth is as large as 74 nm. Compression of the signal in a chirped mirror compressors yields pulses with an autocorrelation width of 42 fs. This corresponds to a pulse duration of 29 fs which is only slightly above the transform limit of 27 fs. With a compressor efficiency of 90 % the pulse energy is 81 µJ. Based on this a pulse peak power of 2 GW is estimated /5/.

References:
/1/ Eidam, T.; Röser, F.; Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Seise, E.; Gottschall, T.; Schreiber, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.: 325 W average power of femtosecond pulses from a fiber laser system, ASSP 2009, accepted for oral presentation.
/2/ Röser, F.; Eidam, T.; Rothhardt, J.; Schmidt, O.; Schimpf, D. N.; Limpert, J. and Tünnermann, A.: Millijoule pulse energy high repetition rate femtosecond fiber chirped-pulse amplification system, Opt. Lett. 32, 3495-3497 (2007).
/3/ Eidam, T.; Röser, F.; Schmidt, O.; Limpert, J.; Tünnermann, A.: 57 W, 27 fs pulses from a fiber laser system using nonlinear compression, Appl. Phys. B 92, 9–12 (2008).
/4/ Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Röser, F.; Limpert, J. and Tünnermann, A.: 500 MW peak power degenerated optical parametric amplifier delivering 52 fs pulses at 97 kHz repetition rate, Opt. Express 16, 8981–8988 (2008).
/5/ Hädrich, S.; Rothhardt, J.; Röser, F.; Gottschall, T.; Limpert, J. and Tünnermann, A.: Degenerate optical parametric amplifier delivering sub 30 fs pulses with 2 GW peak power, Opt. Express 16, 19812–19820 (2008).

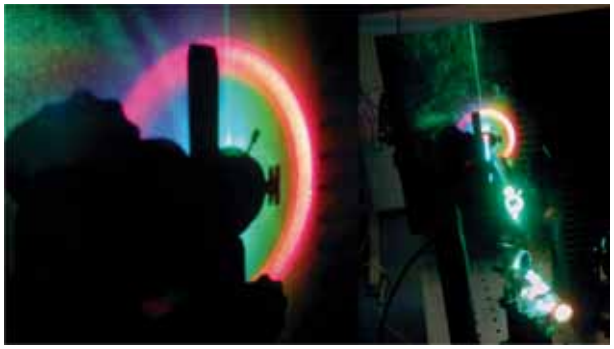


Abb. 4:
Superfluoreszenz in einer OPA-Stufe ohne Signal.

Fig. 4:
Superfluorescence observed in an OPA stage without seed.

Verbesserung des Strahlprofils von Lasern durch resonatorinterne Strahlformung

Hans-Christoph Eckstein

Uwe D. Zeitner

Andreas Bräuer

Einleitung

Die Strahlqualität eines Lasersystems wird durch Form und Anzahl der transversalen Resonatormoden bestimmt. Können mehrere Transversalmoden in einem Laser anschwingen, verschlechtern sich die Strahldivergenz und die Fokussierbarkeit. Für viele Anwendungen ist es erforderlich, die optischen Elemente des Resonators so zu konzipieren, dass sich ein Laserbetrieb in der transversalen Grundmode einstellt. In diesem Fall verlässt das Laserbündel den Resonator als Gauß-Strahl und besitzt eine optimale Fokussierbarkeit bei kleinstmöglicher Strahldivergenz. Als klassische Verfahren zur Unterdrückung höherer Moden sind Verlustmechanismen gebräuchlich, die z. B. in Form von harten Aperturen (z. B. Lochblenden) in den Resonator eingebaut werden. Eine verbesserte Variante dieser Anordnung stellen Aperturen dar, bei denen sich der Verlust örtlich kontinuierlich ändert, wobei eine höhere Strahlqualität erzielt werden kann /1/.

Als neues Verfahren wurden in den letzten Jahren unter anderem am Fraunhofer IOF Resonatoren mit mikrostrukturierten Phasenelementen untersucht. Mit diesem Verfahren ist es möglich, neben einer Erhöhung der Diskriminierung höherer Moden auch die Amplitudenverteilung des ausgekoppelten Strahlprofils zu beeinflussen /2/.

Zuletzt wurde mit diesem Prinzip ein instabiler Freiraumresonator mit einem phasenstrukturierten Spiegel aufgebaut, der ein gaußförmiges Auskoppelfeld zeigt (Abb. 1) /4/. Als technisch bedeutsamste Anwendung wurde in diesem Jahr intensiv an der Erprobung des Verfahrens bei Halbleiterlasern gearbeitet. Mit geeigneten Strukturierungstechniken ließen sich mikrooptische Elemente in den Wellenleiter eines Breitstreifenlasers einbringen, die als Phasenelemente und zusätzlich als graduelle Aperturen wirken können.

Instabiler VECSEL Resonator mit gaußförmigem Auskoppelfeld

Die stärkste Diskriminierung höherer Transversalmoden lässt sich mit geometrisch instabilen Resonatoren erzielen. Dabei wird das Feld nicht wie üblich durch eine teildurchlässige Beschichtung aus dem Resonator ausgekoppelt, sondern an einer Apertur, die z. B. als Loch in einen der Resonatorspiegel eingebracht werden kann. Typischerweise ist diese Anordnung bei sphärischen Spiegeln mit einer geringen Qualität des ausgekoppelten Strahlprofils verbunden. Mit Phasenstrukturen bzw. oberflächenstrukturierten Spiegeln lässt sich die Form der Mode auch bei instabilen Resonatoren so beeinflussen, dass das Auskoppelfeld eine hohe Strahlqualität erreicht /3/. Für diesen Zweck wurden seit einigen Jahren am Fraunhofer IOF wellenoptische Simulationstools entwickelt, mit denen das Design solcher Systeme möglich ist (Abb. 2) /4/.

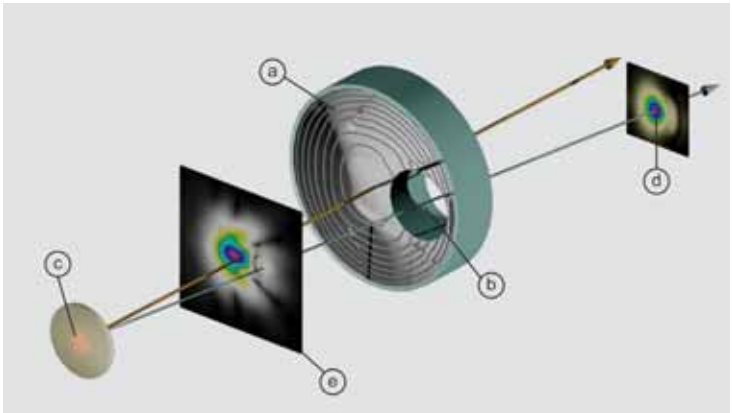


Abb. 1:
Aufbau des instabilen diffraktiven VECSEL Resonators: (a) Resonatorspiegel mit diffraktiver Struktur, (b) Loch zur Auskopplung, (c) Vertical External Cavity Surface Emitting Laser (Halbleiter Scheibenlaser), (d) ausgekoppeltes Strahlprofil, (e) resonatorinternes Feld.

Fig. 1:
Schematic view of a diffractive VECSEL: (a) resonator mirror with diffractive structure, (b) hole for outcoupling, (c) Vertical External Cavity Surface Emitting Laser (semiconductor disc laser), (d) outcoupling beam profile, (e) resonator internal field distribution.

Improvement of the beam profile of lasers by resonator internal beam shaping

Introduction

The beam quality of a laser system is determined by the shape and number of transverse resonator modes. If several transversal modes exist in a laser, the beam divergence and the spot size of the focus will not be optimal. For many applications it is necessary to design the optical elements of the resonator so that the laser is operating in single fundamental mode. In this case, the laser light leaves the resonator as a Gaussian beam with optimal focusing properties and the smallest possible radiation divergence. As a typical method to suppress higher order modes, internal loss mechanisms are used. For example hard apertures such as pinhole apertures can be implemented into the resonator. An improved concept of this arrangement is to use apertures at which the loss is locally varying, thus making possible a higher beam quality /1/.

As a new concept, micro structured phase elements in laser resonators have been investigated in recent years at IOF. With this method it is possible to influence the amplitude distribution of the output beam profile and at the same time increase the discrimination of higher modes /2/.

Based on this principle an unstable free space resonator with a phase structured mirror was developed, which shows a Gaussian-shaped outcoupling field (Fig. 1) /4/. To cover the technically most important application we worked intensely on the use of this concept to improve the beam quality of diode lasers this year. With suitable structuring techniques micro-optical elements were inserted into the waveguide of a broad area laser. These structures can work as phase elements and additionally as gradual apertures.

Unstable VECSEL resonator with Gaussian shaped outcoupling field

The highest discrimination of higher order modes can be obtained with geometrically unstable resonators. In this case the field is coupled out from the resonator, not as is usual by a partially transmitting coating, but through an aperture e. g. a hole in one of the resonator mirrors. Typically, this arrangement with spherical mirrors implies a low quality of the outcoupled beam profile. With phase structures or surface-structured mirrors one can tailor the modal behavior in such a way that the outcoupling field achieves a high beam quality /3/. For this purpose, wave-optical simulation tools were developed at the IOF in recent years, enabling the modeling and design of such systems (Fig. 2) /4/.

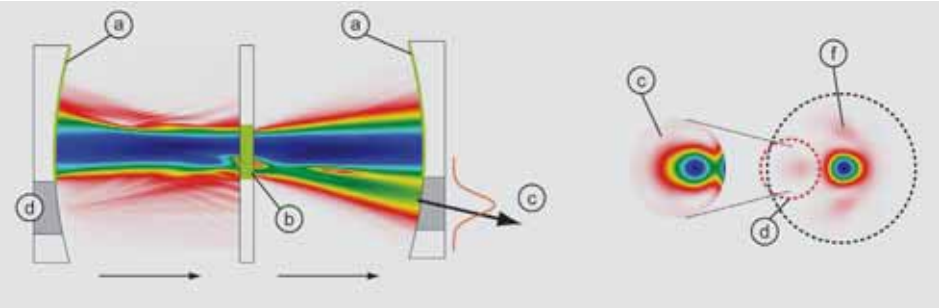


Abb. 2:
Simulierte Intensitätsverteilung der Resonatormode:
(a) Resonatorspiegel mit diffraktiver Struktur, (b) Halbleiter-Scheibe, (c) ausgekoppeltes Strahlprofil, (d) Loch zur Auskopplung, (f) Feld auf dem Resonatorspiegel.

Fig. 2:
Simulated intensity distribution of the resonator mode:
(a) resonator mirror with diffractive structure, (b) semiconductor disc laser, (c) outcoupling beam profile, (d) hole for outcoupling, (f) field distribution on the resonator mirror.

Das Strahlparameterprodukt des aufgebauten Lasersystems wurde bis zur höchsten möglichen Verstärkungsleistung bei $M^2 = 1{,}2$ gemessen. Dieser Wert bezeichnet das Produkt von Strahldivergenz und Fokusdurchmesser, wobei $M^2 = 1$ das theoretische Optimum des idealen Gaußstrahls darstellt. Abbildung 3 zeigt das Strahlprofil des aufgebauten Lasers.

Phasenstrukturierter Breitstreifenlaser

Zum Aufbau von diffraktiven Freiraumresonatoren ist ein hoher Justageaufwand nötig, da eine größere Zahl von Freiheitsgraden genau eingestellt werden muss. Eine industrielle Anwendung ist hier also Spezialfällen vorbehalten. In Wellenleiterresonatoren hingegen können die Phasenelemente durch einen zusätzlichen lithographischen Schritt mit sehr großer Fertigungsgenauigkeit eingebaut werden. Ziel der aktuellen Forschung ist es, die Eigenschaften von Hochleistungshalbleiterlasern mit dieser Technologie zu optimieren. Wird ein monomodiger Betrieb solcher Laser möglich, erschließen sich daraus eine Vielzahl von neuen Anwendungen.

Weiterhin wäre eine erhebliche Reduktion der Kosten bei fasergekoppelten Systemen und Pumpoptiken möglich.

Zur Erzeugung der Phasenstrukturen wird die obere Mantelschicht des Halbleiters bis an den Wellenleiterbereich herunter geätzt. Der Schichtaufbau des Wellenleiters wird dabei so verändert, dass die propagierende Fast-Axis-Mode einen anderen effektiven Brechungsindex erfährt als in ungeätzten Bereichen. Die eingeschriebenen Strukturen können so optimiert werden, dass sich die Zahl der möglichen Transversalmoden in Slow-Axis-Richtung drastisch reduziert. In Halbleiterlasern kommt es wegen des örtlich selektiven Abbaus der Besetzungsinversion zu starken Schwankungen in der Ladungsträgerdichte, was örtliche Variationen des Brechungsindex und der Verstärkung zur Folge hat. Gelingt es, die umlaufende Mode so zu formen, dass der gepumpte Bereich optimal ausgefüllt wird, kann ein Anschwingen höherer Moden verhindert werden. Außerdem können Phasenstrukturen die Auswirkungen der Brechzahlinhomogenität kompensieren. Abbildung 4 zeigt das Schema eines phasenstrukturierten Breitstreifenlasers und Abb. 5 die Messung der Strahlqualität.

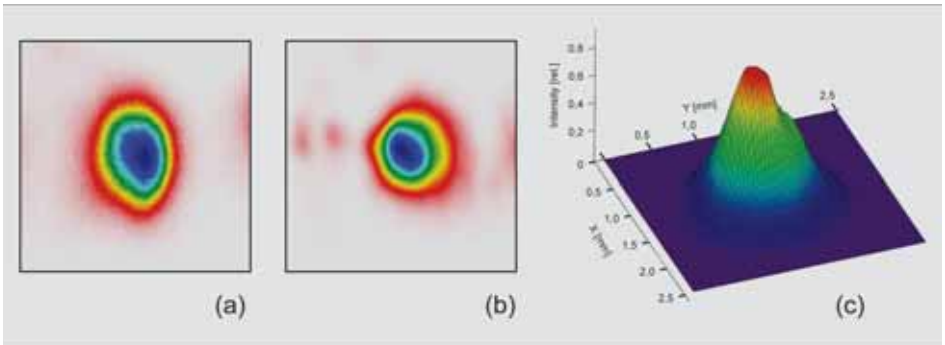
Bisherige Ergebnisse

Im Rahmen des BMBF-Projekts »ROLAS« wurden strukturierte Breitstreifenlaser mit einer Emissionswellenlänge von 650 nm in Kooperation mit der Firma OSRAM OS gefertigt. Die in diesem ersten Versuch hergestellten Emitter zeigten eine deutliche Reduktion der auftretenden Transversalmoden. Besonders große Auswirkungen ergaben sich bei Emittern, in denen Verluststrukturen verwendet wurden. Die Strahldivergenz konnte bei einem Emitter mit einem ca. 50 µm breiten Auskoppelfeld um mehr als einen Faktor 5 verbessert werden. Um die Effizienz der Laser weiter zu steigern, werden zurzeit einige technologische Parameter optimiert. Weiterhin wurden neue Designs entworfen, bei denen eine genauere Modellierung des Verstärkungsprozesses verwendet wurde.

Ein spezieller Dank gilt dem BMBF für die Förderung des Projekts »ROLAS« (FKZ 13N8957) im Verbund »BRIOLAS« zur Untersuchung von phasenstrukturierten Breitstreifenlasern.

Abb. 3:
Strahlprofil des aufgebauten Lasers mit instabilem diffraktiven Resonator:
(a) Nahfeld, (b) Fernfeld, (c) 3D-Plot Fernfeld.

Fig. 3:
Beam profile of the laser system with instable diffractive resonator:
(a) nearfield, (b) farfield, (c) 3D plot farfield.



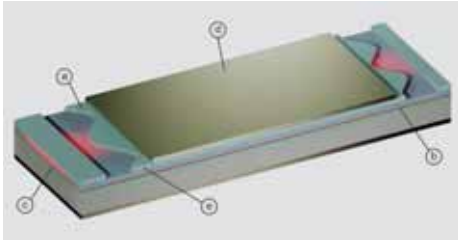


Abb. 4:
Schema eines phasenstrukturierten Breitstreifenlasers: (a) Phasenstruktur, (b) aktive Schicht, (c) Auskoppelfacette, (d) Elektrode, (e) geätzte Mantelschicht.

Fig. 4 :
Schematic view of a structured broad area laser: (a) phase structure, (b) active layer, (c) outcoupling facet, (d) electrode, (e) etched cladding layer.

The beam parameter product of the developed laser system was measured with $M^2 = 1.2$ up to the highest possible gain of the VECSEL amplifier. This value designates the product of radiation divergence and focus diameter, whereby $M^2 = 1$ represents the theoretical optimum of the ideal Gaussian beam.

Phase structured broad area laser

To arrange a diffractive free space resonator, high alignment expenditure is necessary to handle the large number of degrees of freedom. Therefore, an industrial application is only possible in very special cases. In case of waveguide resonators, however, phase elements can be created directly within the active waveguide by an additional lithographic step with high fabrication accuracy. A goal of the current research is to optimize the characteristics of high power diode lasers with this technology. If a single mode operation of such lasers becomes possible, a variety of new applications can be covered. Further, a substantial reduction of the costs would be possible in fiber-coupled systems and pumping optics.

To produce the phase structure, the upper cladding layer of the semiconductor has to be etched down to the waveguide area. The layer composition is thereby changed such that the effective refractive index for the fast-axis mode in the structured region differs from the unstructured area. By optimizing the design of the etched structures, the number of the possible transversal modes within the slow axis can be reduced significantly. The active media of semiconductor lasers are affected by a strongly varying fluctuation of the carrier density distribution, because of the non-uniform spatial reduction of the population inversion. Hence, the refractive index and the amplification is strongly spatial dependent and fluctuates within the active region. If it succeeds to shape the slow axis mode in such a way that the pumped range is optimally filled out, an amplification of higher modes can be prevented. In addition phase structures can compensate the effects of inhomogeneities in the refractive index. Figure 4 shows a schematic view of a structured broad area laser, figure 5 the measurement of beam quality.

Latest results

In the context of the BMBF project "ROLAS", structured broad area lasers with an emission wavelength of 650 nm were manufactured in association with the company OSRAM OS. The emitters manufactured in this first attempt showed a clear reduction in the number of transverse laser modes. Particularly large effects resulted in the case of emitters, in which loss structures were used. The radiation divergence of an emitter with an approx. 50 µm broad outcoupling field could be decreased by more than a factor of 5. To improve the efficiency of the structured lasers some technological parameters are presently being optimized. Further new designs were made with an accurate modelling of the gain process.

We would like to thank the BMBF for supporting the project "ROLAS" (FKZ 13N8957) in the group "BRIOLAS" to investigate phase structured broad area lasers.

References:
/1/ Belanger, P. A.; Pare, C.:
Unstable laser resonators with a specified output profile using a graded-reflectivity mirror: Geometrical optics limit"
Optics Commun. 109, 553–555 Nov. 1985.
/2/ Leger, J. R.; Chen, D.; Mowry, G.:
Design and performance of diffractive optics for custom laser resonators.
Applied Optics 34 2498-2508, Mai 1995.
/3/ Zeitner, U. D.; Wyrowski, F.:
Design of Unstable Laser Resonators with User-Defined Mode Shape. IEEE Journal of Quantum Electronics 37,
1594–1595, Dezember 2001.
/4/ Eckstein, H.-C.; Zeitner, U. D.:
CLEO 2008 Technical Digest (Optical Society of America, Washington, DC, 2008), CWD5.

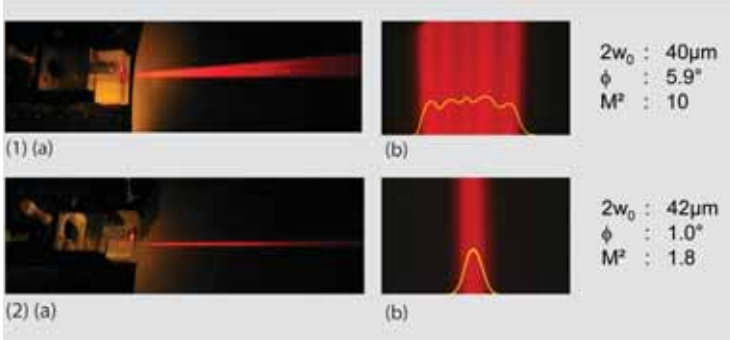


Abb. 5:
Messung der Strahlqualität ohne (1) und mit (2) Strukturierung:
(a) Strahldivergenz in Draufsicht, (b) Fernfeld.

Fig. 5 :
Beam Quality and divergence of an unstructured (1) and a structured (2) broad area laser:
(a) radiation divergence as top view, (b) farfield.

Maßgeschneiderte Lichtemission aus OLEDs

Dirk Michaelis

Christoph Wächter

Bernd Höfer

Sylke Kleinle

Antje Oelschläger

Peter Dannberg

Michael Flämmich

Norbert Danz

Allgemeine Beleuchtungsaufgaben, die von der Wohnraum- und Arbeitsplatzbeleuchtung mit weißem Licht über Leseleuchten in Autos und Flugzeugen bis hin zum farbigen Stimmungs- oder Hintergrundlicht reichen, werden gegenwärtig mittels Glühlampe, Leuchtstoffröhren oder anorganischen LEDs gelöst. Künftig werden hierfür effiziente Organische LEDs (»OLEDs«) /1/ als dünne und großflächige Lichtquellen zur Verfügung stehen und damit neue Möglichkeiten hinsichtlich Funktionalität, Integrierbarkeit und Design eröffnen. Um das Potenzial dieser neuen Lichtquellen umfassend zu nutzen sind mikrooptische Elemente hervorragend geeignet. Diese steigern nicht nur die Effizienz der OLEDs sondern gestatten es auch, aus dem OLED-typischen, Lambert-ähnlichen Abstrahlprofil anwendungsspezifische, maßgeschneiderte Lichtverteilungen zu erzeugen.

Der Standardaufbau einer OLED ist in Abb. 1 dargestellt. Die Auskopplung des im OLED-Stack generierten Lichts aus dem Bauelement wird, neben der Absorption in den unterschiedlichen Materialien und der Anregung geführter Moden des Dünnschichtsystems, insbesondere durch die Totalreflexion an der Substrat – Luft – Grenzfläche vermindert. Dieser Effekt kann, wie in Abb. 1 skizziert, durch Photonen-Recycling mittels eines Mikrolinsenarrays /2/, das bspw. als Folie auf das Substrat aufgebracht wird, reduziert und die Gesamteffizienz der OLED so deutlich gesteigert werden.

Neben der Reduktion des Einflusses der Totalreflexion ist es möglich, durch Auskoppelfolien mit angepassten mikrooptischen Strukturen das Strahlungsfeld der OLED wesentlich zu beeinflussen. Dies ist in Abb. 2 veranschaulicht, wo drei Strahlungsfelder gleicher OLEDs mit und ohne zusätzliche mikrooptische Elemente im direkten Vergleich gezeigt werden. Es wird deutlich, dass anisotrope Richtcharakteristiken mit unterschiedlichen Öffnungswinkeln eingestellt werden können, welche die Helligkeit in Nutzrichtung im Vergleich zur einfachen OLED steigern.

Die Kombination einer Auskoppelstruktur mit einer separaten, angepassten Strahlformungsoptik ermöglicht die nahezu beliebige Gestaltung der Lichtverteilung bei gleichzeitiger Erhöhung der Helligkeit in Nutzrichtung (Abb. 3). Dabei ist keine Justage beider Optiken zueinander notwendig, und die Gesamthöhe der Optik kann unter 2 mm gehalten werden. Bemerkenswert ist insbesondere die praktisch störlichtfreie Umlenkung der Lichtemission (Abb. 3 f). Für großflächige OLEDs kann mit diesem Ansatz sowohl ein nahezu beliebiges Strahlungsfeld generiert als auch eine Steigerung der Helligkeit in Nutzrichtung um mehr als 50 % erreicht werden (Abb. 4).

Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung des BMBF-Projekts »HOBBIT«.

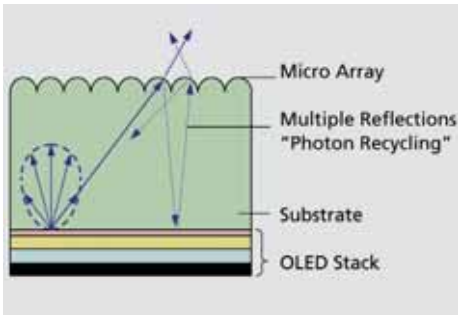


Abb. 1:
Skizze der Anordnung einer substratseitig emittierenden OLED mit einem Linsenarray zur Auskopplung.

Fig. 1:
Sketch of a bottom emitting OLED comprising a micro lens array for outcoupling.

Tailored light emission from OLEDs

General illumination tasks, ranging from living room and working place illumination with white light via reading lamps in automobiles and planes up to colorful ambient or mood lighting, currently apply light sources like incandescent bulbs, fluorescent lamps or anorganic LED. The upcoming technology of Organic LEDs ("OLEDs") /1/ as thin, large area light sources will be available at low cost soon and thus establish new features of lighting concerning functionality, integrability and design. Micro optical elements are well suited to fully open up the potential of these new lights. They not only increase the OLED efficiency significantly but can also tailor the common Lambertian-like emission pattern of OLEDs into desired light distributions corresponding to application demands.

Figure 1 shows the standard setup of an OLED. The outcoupling of light generated inside the OLED stack is limited due to material absorption, guided mode excitation, and especially due to total internal reflection at the substrate – air interface. This latter effect can be reduced by photon recycling structures like micro lens arrays /2/ shown in Fig. 1 that may be applied as thin films to increase the OLED efficiency significantly. Besides the influence of total internal reflection, coupling films comprising well designed micro optical elements can shape the OLED radiation pattern considerably. Figure 2 shows the comparison of radiation patterns of three similar OLEDs with and without additional micro optical structures. Obviously, anisotropic patterns can be generated that additionally yield an increased brightness of the system in perpendicular direction compared to the simple OLED.

Combining outcoupling structures with a separate pattern shaping optics enables for nearly boundless tailoring of OLED light distribution while maintaining the increased perpendicular brightness (Fig. 3). The setup does not require any lateral optics adjustment, and the total height of optics remains below 2 mm. Note the deflection of the spot without any apparent stray light in Fig. 3f. Our approach enables for generating variable radiation patterns while increasing the brightness in perpendicular direction by more than 50 % for large area OLEDs (Fig. 4).

The authors acknowledge the financial support of the BMBF project "HOBBIT".

References:
/1/ Müllen, K.; Scherf, U.; (Ed.): Organic Light-Emitting Devices, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.
/2/ Danz, N.; Michaelis, D.; Wächter, C.: OLED design: combined micro- and nano-photonics modelling and routes to a complex optimization algorithm, Proc. SPIE 6796 (2007) 67963F.

Abb. 2:
Strahlungsfelder von drei gleichen OLEDs mit unterschiedlichen Optiken: einfache OLED (links), anisotrope Emission mit ±15° horizontalem Öffnungswinkel und vertikaler Lambertscher Charakteristik (Mitte), sowie ein ±30° rundes Profil (rechts).

Fig. 2:
Radiation patterns of three similar OLEDs equipped with different shaping optics: OLED without optics (left), anisotropic pattern with ±15° horizontal emission angle and vertical Lambertian emission (middle), and ±30° circular pattern (right).

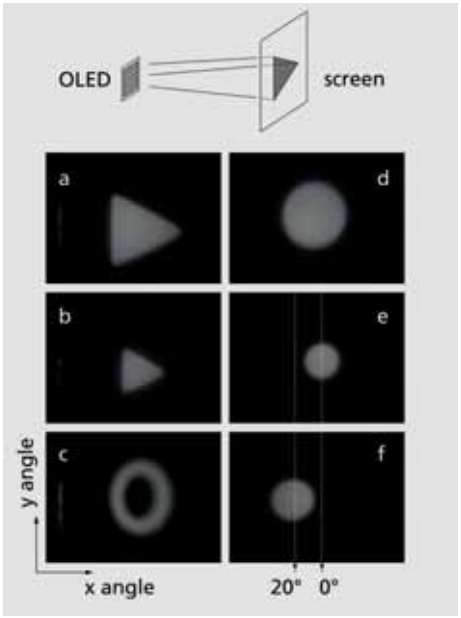


Abb. 3:
Fotos verschiedener Strahlungscharakteristika entsprechend der oben skizzierten Anordnung: großes (a) und kleines (b) Dreieck, Buchstabe »O« (c), sowie ein großer (d) und zwei kleine (e, f) Kreise. Man beachte den Winkelversatz zwischen (e) und (f).

Fig. 3:
Photographs of different angular radiation patterns according to the sketch shown on top: large triangle (a), small triangle (b), letter "O" (c), as well as large (d) and small (e, f) circles. Note the tilt of the beams between (e) and (f).

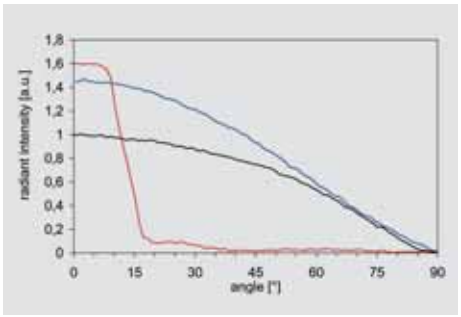


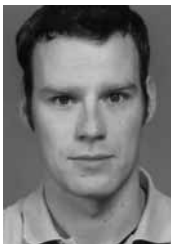
Abb. 4:
Winkelabhängigkeit der Emission unterschiedlicher OLED-Systeme: einfache OLED (schwarz), OLED mit Mikrolinsenarray zur Auskopplung (blau) sowie mit Strahlformungsoptiken (rot).

Fig. 4:
Angular radiation pattern of different OLED systems: simple OLED (black), OLED with micro lens array (blue), and OLED with pattern shaping micro optics (red).

Optische Komponenten

Optical Components

Polarisierende Metallstreifengitter



Thomas Weber[1]

Hans-Jörg Fuchs[1]

Ernst-Bernhard Kley[1]

Andreas Tünnermann[1, 2]

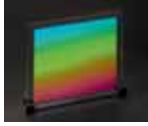
[1] Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena
[2] Fraunhofer IOF

Die Beeinflussung des Polarisationszustands von Licht bis in den UV-Bereich ist für verschiedenste Anwendungen von zunehmendem Interesse, beispielsweise in der Spektroskopie oder der höchstauflösenden Mikroskopie. Kommerziell erhältliche Polarisatoren, wie Glan-Thompson-Prismen oder auch auf Nanopartikeln basierende Polarisatoren sind derzeit noch auf Wellenlängen oberhalb von 350 nm limitiert und auch kaum integrierbar. Einen Ausweg bieten Polarisatoren auf der Basis von Metallstreifengittern, mit denen eine breitbandige Polarisierung von Licht bis hin zu UV-Wellenlängen möglich ist.

Die Polarisierung von Licht mit Metallstreifengittern basiert auf deren optisch anisotropem Verhalten. Schwingt das elektrische Feld der einfallenden Welle parallel zu den Gitterstäben (TE-Polarisation) wird bei entsprechender Gestaltung des Gitters der größte Teil der eingestrahlten Energie reflektiert bzw. absorbiert. Im Gegensatz dazu kann Licht, dessen elektrisches Feld senkrecht zu den Gitterstegen schwingt (TM-Polarisation) das Gitter ungehinderter passieren, weshalb mehr Energie transmittiert wird. Ein solches Gitter filtert somit den TM-polarisierten Anteil einer einfallenden Welle heraus. Die wesentlichen Kenngrößen eines solchen Polarisators sind die Transmission des TM-polarisierten Anteils und der Polarisationskontrast des transmittierten Lichts, welcher das Verhältnis zwischen dem TM- und dem störenden TE-polariserten Anteil angibt. Um eine möglichst hohe Effizienz des Metallstreifenpolarisators zu erreichen, muss dessen Gitterperiode so klein sein, dass bei Lichteinfall aus beliebiger Richtung nur die 0. Beugungsordnung ausbreitungsfähig ist (ein sogenanntes Zero-order-Gitter). Zur Realisierung eines Polarisators für eine Wellenlänge von beispielsweise 300 nm muss dessen Gitterperiode folglich im Bereich um 100 nm oder darunter liegen. Um möglichst gute optische Eigenschaften im UV-Bereich zu erzielen, kommt als Gittermaterial lediglich Aluminium in Frage /1/.

Abbildung 1 zeigt eine rigorose Simulation des Polarisationskontrasts am Beispiel eines Aluminium-Gitters in Abhängigkeit von dessen Steghöhe für verschiedene Wellenlängen des eingestrahlten Lichts. Diese numerische Berechnung zeigt einen deutlichen Anstieg des Polarisationskontrasts mit zunehmender Höhe der Aluminiumstege. Weiterhin ist sichtbar, dass Steghöhen von mindestens 100 nm notwendig sind, wenn ein hoher Polarisationskontrast bis in den UV-Bereich gewährleistet werden soll. Zusätzlich ist zu beachten, dass zu breite Gitterstege zu einer unerwünschten Verminderung der Transmission des TM-polarisierten Lichts führen. Theoretische Simulationen zeigen, dass beim dargestellten Beispiel Stegbreiten im Bereich zwischen 30 nm und 40 nm optimal sind /2/.

Polarizing metal stripe gratings



The manipulation of the polarization of light until the UV region is of interest in various applications, for example spectroscopy or the high-resolution microscopy. Commercially available polarizers like Glan-Thompson-prisms or nano-particle based polarizers are currently limited to wavelengths above 350 nm and otherwise hardly integrable. Wire-grid based polarizers with the potential to generate a broadband polarization of light up to the UV region offer a solution.

The polarization of light by a metal stripe grating is based on its optical anisotropic behavior. In the case that the vector of the electrical field is perpendicular to the wire grid (TE polarization), the largest part of the incoming energy will be reflected or absorbed, if the properties of the wire grid are chosen adequately. In contrast to this, light would be transmitted if the incident wave is polarized perpendicular to the wire grid (TM polarization). Such a grating is able to filter the TM polarized light. The characteristic parameters of the wire grid polarizer are the transmission of the TM polarization and the extinction ratio, representing the ratio of the transmission of the TM polarized and the parasitic TE polarized light. To maximize the efficiency of the metal stripe polarizer it is necessary to select a grating period so small that only the first diffraction order propagates (a so called zero-order-grating). For a polarizer working at a wavelength of 300 nm, for example, a grating period of 100 nm or less would be necessary. Only Aluminum as grating material enables a good optical performance in the UV region /1/.

Figure 1 shows the result of a rigorous simulation of the extinction ratio versus the grating height and the wavelength of the incoming light at the example of a wire grid polarizer with the grating period 100 nm. This simulation shows a considerable rising of the extinction ratio with an increasing of the grating height. Furthermore it is apparent that grating heights of minimum 100 nm are necessary to realize a high extinction ratio until the UV region. It is also important to notice that to wide metal wires results in an unintentional decreased transmission of the TM light. Theoretical simulations of the given example show that the best results are accomplished with metal wire widths between 30 and 40 nm /2/.

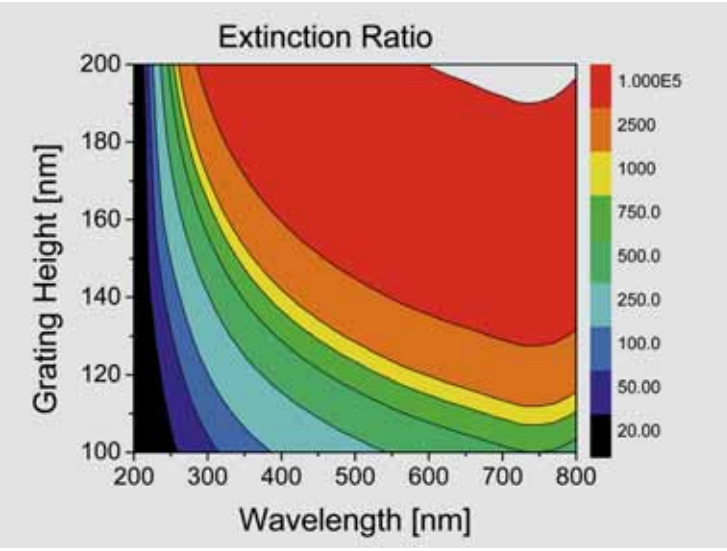


Abb. 1:
Simulation des Polarisationskontrastes in Abhängigkeit von Steghöhe und Wellenlänge für ein Aluminiumgitter mit 100 nm Periode und 30 nm Stegbreite.

Fig. 1:
Simulation of the extinction ratio versus the grating height and the wavelength for an aluminum grating with the period 100 nm and a ridge width of 30 nm.

Die Realisierung von hochfrequenten Metallstreifengittern mit einem hohen Aspektverhältnis (dem Verhältnis von Grabentiefe zu Stegbreite) stellt selbst modernste Herstellungstechnologien vor eine große Herausforderung. Obwohl Ansätze zu deren Realisierung existieren /3/, sind sie jedoch für die kommerzielle Anwendung nicht praktikabel. Am Institut für Angewandte Physik der Friedrich-Schiller-Universität Jena wurde ein neuartiger Ansatz auf der Basis der Elektronenstrahllithographie entwickelt, der die reproduzierbare Herstellung von effizienten Metallstreifenpolarisatoren erlaubt.

Zur Erzeugung eines Gitters mit der Periode 100 nm wurde zunächst mittels Elektronenstrahllithographie und konventionellen Strukturierungsverfahren ein Gitter mit 200 nm Periode in einem dielektrischen Trägermaterial, hier einem Polymer, erzeugt (Abb. 2). Durch Verwendung einer entsprechenden gitterförmigen Sonderblende bei der elektronenstrahllithographischen Belichtung konnte die Belichtungszeit auf etwa 5 min/cm^2 reduziert werden, was um Größenordnungen unter der Belichtungszeit von konventionellen, punktstrahlbasierten Anlagen liegt. Durch Beschichtung der Seitenwände des Trägergitters mit Aluminium entstand ein Metallstreifengitter mit der halben Periode, dessen Stegbreiten durch die Beschichtungszeit steuerbar sind.

Nach dem Entfernen des Trägergitters durch einen Trockenätzprozess resultiert eine Aluminiumstruktur, die eine Periode von 100 nm und das geforderte hohe Aspektverhältnis aufweist (Abb. 3).

Breitbandige Messungen in einem Spektralbereich von 200 bis 800 nm mit dem Spektrometer bestätigen die optische Leistungsfähigkeit der hergestellten Elemente. Bei einer Wellenlänge von 300 nm konnten bei TM-polarisierter Beleuchtung eine Transmission von etwa 70 % und ein Kontrast von 20 : 1 gemessen werden (Abb. 4). Bei Erhöhung der Wellenlänge verbessern sich die optischen Eigenschaften sogar noch deutlich. Der aufgezeigte Ansatz für einen Drahtgitterpolarisator gibt die Möglichkeit zukünftig wesentlich größere Polarisationskontraste zu realisieren.

Literatur:

/1/ Yang, Z. Y. et al.:
Broadband nanowire-grid polarizers in ultraviolet-visible-near-infrared regions, Optics Express, 15, 9510–9519 (2007).

/2/ Weber, T. et al.:
Wire grid polarizer for the UV spectral region, in Vorbereitung.

/3/ Ahn, S. et al.:
Fabrication of a 50 nm half-pitch wire grid polarizer using nanoimprint lithography, Nanotechnology 16, 1874–1877 (2005).

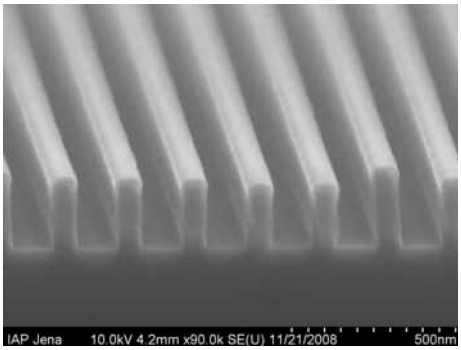


Abb. 2:
Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme eines Polymer-Gitters mit 200 nm Periode.

Fig. 2:
SEM picture of a polymer grating with 200 nm period.

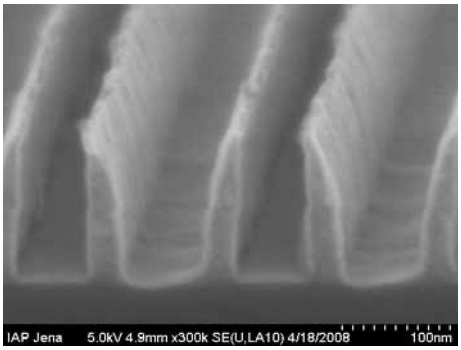


Abb. 3:
REM-Aufnahme eines Aluminiumdrahtgitters mit 100 nm Periode.

Fig. 3:
SEM picture of an aluminum wire-grid with 100 nm period.

The manufacturing of high frequency metal stripe gratings with a high aspect ratio (the ratio of the metal wire height and width) is a big challenge even for modern manufacturing technologies. Approaches for their realisation are known /3/, but none are practicable for commercial applications. A new approach based on electron beam lithography was developed at the Institute of Applied Physics at the Friedrich-Schiller-University Jena which allows a reproducible production of efficient metal stripe polarizers.

The first step in the production of the grating with the period 100 nm is the generation of a 200 nm period grating by electron beam lithography and common microstructure technologies into a dielectric layer, here a polymer (Fig. 2). Via the usage of a lattice aperture during the electron beam illumination it is possible to reduce the writing time to 5 min/cm^2 which is orders of magnitude lower than conventional single spot e-beam writing. The metal stripe grating with the half period was realized by coating the sidewalls of the dielectric grating with aluminum where the metal thickness is tunable by the coating time.

After the elimination of the dielectric grating by a dry etching process, the aluminum structure with a period of 100 nm and the required high aspect ratio is realized (Fig. 3).

Broadband measurements in a spectral region of 200 nm to 800 nm with the spectrometer verify the optical performance of the fabricated elements. At a wavelength of 300 nm, a TM transmission of 70 % and an extinction ratio of almost 20 : 1 (Fig. 4) could be measured. The optical performance increases clearly with an increasing of the wavelength of the incoming light. This approach of a wire grid polarizer will allow for much higher extinction ratios in the future.

References:

/1/ Yang, Z. Y. et al.:
Broadband nanowire-grid polarizers in ultraviolet-visible-near-infrared regions, Optics Express, 15, 9510–9519 (2007).

/2/ Weber, T. et al.:
Wire grid polarizer for the UV spectral region, in preparation.

/3/ Ahn, S. et al.:
Fabrication of a 50 nm half-pitch wire grid polarizer using nanoimprint lithography, Nanotechnology 16, 1874–1877 (2005).

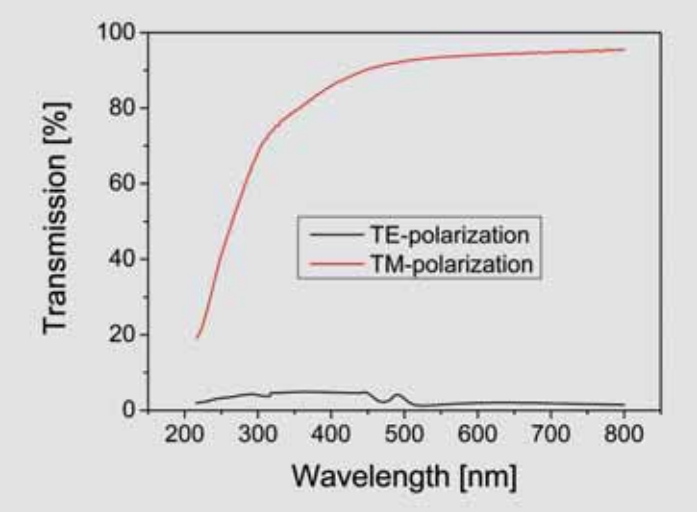


Abb. 4:
Messkurve der Transmission für die TE- und TM-Polarisation in Abhängigkeit der Wellenlänge.

Fig. 4:
Measurement of the TE and TM transmission versus the wavelength.

Metallspiegel exzellenter Form und Rauheit

Ralf Steinkopf

Andreas Gebhardt

Stefan Risse

Sebastian Scheiding

Mathias Rohde

Angela Duparré

Ramona Eberhardt

Verwendet als Reflektoren mit gleichzeitig hoher thermischer Leitfähigkeit in Lasersystemen oder als gewichtsreduzierte, hochsteife Optiken in Teleskopen werden Metallspiegel in unterschiedlichen Applikationen eingesetzt. Typische Materialien sind Kupfer (die sehr gute thermische Leitfähigkeit von Kupfer ermöglicht den effektiven Einsatz in Lasersystemen), Beryllium (aufgrund der toxischen Eigenschaften bleibt Beryllium wenigen Spezialanwendungen vorbehalten) und Aluminium.

Aluminium lässt sich hervorragend durch Diamantdrehen oder -fräsen bearbeiten (Abb. 1) und adressiert insbesondere Anwendungen im IR-Bereich. Neue Legierungen mit extrem feinen Kornstrukturen erlauben dabei Mikrorauheiten von < 3 nm rms (Abb. 2) /1/. Metallspiegel für kürzere Wellenlängen können über eine diamantbearbeitbare Schicht aus einer Nickel Phosphor (NiP) Legierung realisiert werden. Aufgrund der Härte dieses Materials und des amorphen Gefüges werden extrem geringe Rauheiten in einem nachträglichen Polierprozess erzeugt /2/.

Ausgehend von den Anforderungen des Optik- und Mechanikdesigns wird die Prozesskette für die Fertigung der Metalloptiken adaptiert. In Abhängigkeit der Einsatzwellenlänge werden die notwendigen Einzelschritte zu einer effizienten Fertigungstechnologie verknüpft (Abb. 3). Für IR-Anwendungen können die typischen Anforderungen an Mikrorauheit und Formabweichung direkt mittels Diamantzerspanung realisiert werden. Applikationen im UV-VIS- oder im kurzwelligen UV-Bereich erfordern die Entfernung der typischerweise im Drehprozess entstehenden periodischen Strukturen (Glättung) und die Reduzierung der globalen Formabweichung.

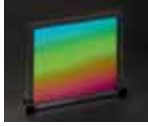
Dazu werden spezielle Polierverfahren eingesetzt /3/. Mikrorauheiten kleiner 0,5 nm rms und Formabweichungen kleiner 140 nm P-V bezogen auf einen Durchmesser von 250 mm werden gegenwärtig erreicht. Um die hohen Anforderungen an Lebenserwartung und Performance zu erfüllen, werden Reflexionsschichten auf die bearbeiteten Metalloberflächen appliziert. Besonders herausragende Eigenschaften im NIR- und IR-Bereich können mit gesputterten Goldschichten, für Optiken im breitbandigen Einsatz vom UV-VIS bis zum NIR mit Silber, verbunden mit einer Schutzschicht, erreicht werden /4/.

Besonderer Dank gilt Volkmar Giggel, Heiko Löscher, Gert Ullrich und Peter Rucks (Carl Zeiss Jena) für die stets konstruktive Zusammenarbeit.

Abb. 1:
Diamantdrehen von Metallspiegeln mit exzellenter Form und Rauheit.

Fig. 1:
Diamond turning of metal mirrors with excellent surface and roughness.

Metal mirrors with excellent surface and roughness



The deployment as reflectors with a high thermal conductivity in laser applications or to bend light beams in telescopes show the different fields of applications for metal mirrors. Common materials for metal mirrors in optical applications are aluminium, copper or beryllium. Copper is often used in laser applications; the high thermal conductivity is one major benefit for this selection. Aluminium has a good reflectivity even for shorter wavelengths and is, like beryllium, lightweight and readily formable. But Beryllium has the negative characteristic of toxic behavior and is for this reason not commonly used, although it is very stiff and has a light weight nature.

Aluminium mirrors, instead, can easily be processed with diamond turning technology (Fig. 1). Especially novel aluminium alloys allow for surfaces with a very smooth micro roughness, even better than 3 nm rms (Fig. 2) /1/. After defining the optical and mechanical design of the mirror the process chain has to be specified.

According to the wavelength of the application, the process steps must be selected in detail and combined to an efficient process chain (Fig. 3). In case of infrared applications the requirements regarding micro roughness and global shape error can be met directly with diamond turning. The process chain for metal mirrors used in the range of VIS or even UV wavelengths contains a few steps more. The reason is that the diamond turning process leaves structures which work as a very effective but undesirable optical grating at these wavelengths. To smooth these structures, the aluminium mirror has to be plated with a material which can be polished. Nickel-Phosphorus (NiP) alloys offer a good solution for at least two reasons /2/.

First, NiP is hard enough to get polished and second, NiP is an amorphous material. Hence there is no grain structure visible. Two different polishing techniques are employed /3/: smoothing for removing periodical structures and reducing the micro roughness as well as shape correction for removing the residual error from diamond turning and polishing. Micro roughness better then 0.5 nm rms and global form deviations down to 140 nm P-V at 250 mm diameter can be achieved. To improve the optical qualities, high reflective coating materials are employed. For applications at IR and NIR wavelengths, gold is the material of choice. Going down to shorter wavelengths the optical layer has to be changed. A good reflectivity from VIS to NIR is offered by silver as coating material /4/.

We would like to thank Volkmar Giggel, Heiko Löscher, Gert Ullrich and Peter Rucks (Carl Zeiss Jena) for their constructive contributions.

References:

/1/ Parsonage, T. B.:
New technologies for optical systems utilizing aluminium beryllium, SPIE Proc. 7018-23, Astronomical Instrumentation, Marseille, 2008.

/2/ Risse, S. et al:
Novel TMA telescope based on ultra precise metal mirrors, SPIE Proc. 7010-41, Astronomical Instrumentation, Marseille, 2008.

/3/ Risse, S.; Gebhardt, A.; Steinkopf, R.; Giggel, V.:
NiP plates mirrors for astronomy and space, Proc. of the 7th EUSPEN Bremen 2007, p. 348–351.

/4/ Kaiser, N.:
Coating development for optical instrumentation, Photonik International 2007.

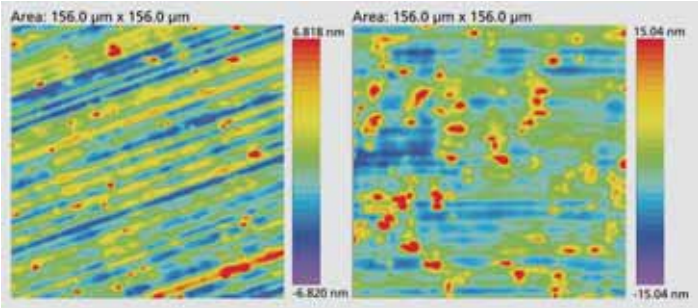
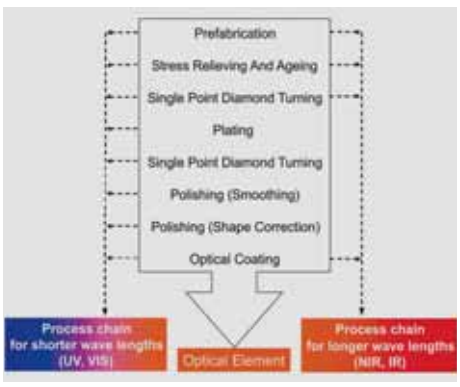


Abb. 2:
Weißlichtmessung von im Gefüge unterschiedlichen Aluminium-Legierungen gleicher Zusammensetzung (links: RSA6061 [2 nm rms], feine Kornstruktur; rechts: Al6061 [5 nm rms], grobe Kornstruktur).

Fig. 2:
White light measurement of two aluminum alloys with the same composition but different grain sizes (left : RSA6061 [2 nm rms] with small grain sizes; right: conventional Al6061 [5 nm rms]).

Abb. 3:
Prozesskette für die Fertigung von Metallspiegeln für den Einsatz bei verschiedenen Wellenlängen.

Fig. 3:
Process chain for metal mirrors in different fields of application.



IR-Strahlteiler für das Instrument LUCIFER

Gerd Harnisch

Sandra Müller

Wieland Stöckl

Peter Munzert

Erik Beckert

Ramona Eberhardt

Rainer Lenzen[1]

[1] Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg

LUCIFER (LBT-NIR Spectrograph Utility with Camera and Integral-Field Unit for Extragalactic Research) ist ein NIR-Spektrograph und Imager für das Large Binocular Telescope (LBT) in Arizona für den Wellenlängenbereich von 0,9 µm bis 2,5 µm.

Für die IR-Kamera des LUCIFER-Instruments wurde eine Technologie zur Präzisionsmontage der Strahlteilerbaugruppe entwickelt, dessen optische Funktion die Aufspaltung des einfallenden Strahlenbündels in vier Teilbündel mit unterschiedlichen Wellenlängenbereichen ist (Abb. 1).

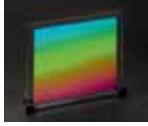
Die Strahlteiler-Komponenten werden auf den Filterrädern montiert und bei Bedarf in den konvergenten Strahlengang des LUCIFER-Instruments eingeschwenkt. Subbaugruppe 1 kollimiert mit einer Plankonkavlinse (AR-beschichtet) das Strahlenbündel und spaltet dieses an einer Teilerschicht in zwei Teilbündel auf. Das am Teiler abgelenkte Bündel wird durch einen Gold-Spiegel rückreflektiert, so dass beide Teilbündel senkrecht an der AR-beschichteten Planfläche aus der Subbaugruppe 1 austreten. Subbaugruppe 2 spaltet die beiden Teilbündel an einer Teilerschicht zu insgesamt vier Teilbündeln auf. Die beiden an der Teilerschicht reflektierten Teilbündel werden durch einen Gold-Spiegel zurück in die ursprüngliche Richtung gelenkt. Jedes der vier Teilbündel passiert einen wellenlängenselektiven Filter und wird mittels einer Plankonvexlinse in die Detektorebene der Kamera fokussiert.

Spezifikation der Komponenten:
- Qualität der optisch wirksamen Flächen im Prüfbereich 6 x 6 mm² besser 0,05 λ (λ = 633 nm),
- Materialdicken ± 0,2 mm,
- Kippfehler der optischen Flächen ± 6 arcmin, Kippfehler der Spiegelflächen ± 0,5 arcmin,
- Zentrierung der Linsen 0,1 mm, Formabweichung der Krümmungsradien 1 Ring, Irregularität 0,2 Ringe,
- Toleranz der Brechzahl n ± 0,001,
- Bandpass-Filterschichten 1,575 µm, 1,6 µm und 1,625 µm als zentrale Transmissionswellenlängen mit einer Toleranz von jeweils ± 2 nm und einer FWHM von 25 nm, Transmission > 92 %, untere Blockwellenlänge ist 1,45 µm, die obere 1,85 µm.

Montageanforderungen:
- Kippfehler und Verdrehung ± 0,5 arcmin,
- lateraler Versatz ± 0,2,
- Wellenfrontdeformation < 0,1 λ (λ = 633 nm),
- Arbeitstemperatur des Strahlteilers 80 K.

Basierend auf einem montagegerechten Design sind an einem Rhombus-Prisma sämtliche für die Strahlumlenkung verantwortlichen Flächen und Beschichtungen (Teilerschicht- und Spiegelschicht) zusammengefasst worden. Somit konnten die Toleranzen für die Montage entschärft werden. Die sphärischen Flächen wurden durch Plankonvexlinsen bzw. durch eine Plankonkavlinse ersetzt. Die Filterschichten wurden auf separaten Bauelementen appliziert.

IR beam splitter for the LUCIFER instrument



LUCIFER (LBT-NIR Spectrograph Utility with Camera and Integral-Field Unit for Extragalactic Research) is a NIR-Spectrograph and Imager for the Large Binocular Telescope (LBT) in Arizona. It will be used for the wavelength range from 0.9 µm to 2.5 µm.

A technology to precisely assemble a beam splitter for the IR camera of the LUCIFER instrument has been developed. The optical function of the beam splitter is to divide the incoming beam into four partial beams with different wavelengths (Fig. 1).

The splitter components will be mounted on filter wheels and, where necessary, be put into the convergent part of the beam propagation path of LUCIFER. Subassembly 1 collimates the beam by means of an AR-coated plan-concave lens and divides it at the splitting filter into two sub-beams. The reflected part of the beam is pointed towards the initial direction by an Au backside mirror, such that both sub-beams leave the first subassembly at the AR-coated planar output surface in the same direction. Subassembly 2 acts the same way and divides the now two beams into overall four sub-beams which again point into the same direction. After passing a wavelength sensitive bandpass filter each beam is focused by a plan-covex lens onto the imager plane of the respective camera.

Component specifications:

- Quality of optical surfaces within the region of interest (6 x 6 mm^2) better 0.05 λ (λ = 633 nm),
- Thickness tolerance of each individual component ± 0.2 mm,
- Tilt error of optical surfaces ± 6 arcmin, tilt error of mirror planes ± 0.5 arcmin,
- Centricity of lenses 0.1 mm, form deviation of spherical surfaces 1 fringe, irregularity 0.2 fringes,
- Tolerance of refractive index n ± 0.001,
- Bandpass filter layers 1.575 µm, 1.6 µm and 1.625 µm (center wavelengths), tolerance ± 2 nm and FWHM of 25 nm, transmission > 92 %, lower block wavelength 1.45 µm, upper block wavelength 1.85 µm.

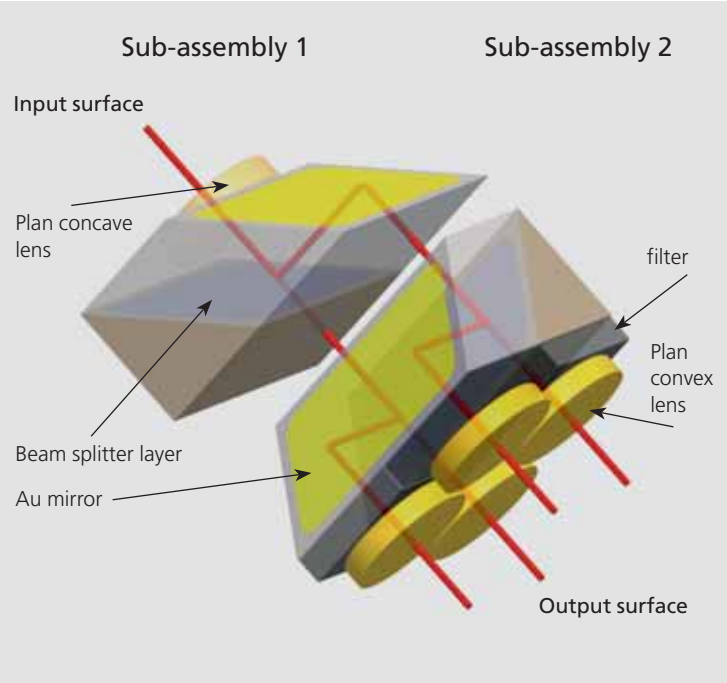
Assembly requirements:

- Tilt error and rotation ± 0.5 arcmin,
- Lateral misalignment ± 0.2
- Wavefront deformation < 0.1 λ (λ = 633 nm),
- Working temperature of the beam splitter 80 K.

Based on an assembly driven review of the initial design all beam reflecting and splitting surfaces and filters of each subassembly are combined on one single rhombus prism, thus shifting tolerances away from assembly towards the manufacturing of the components where it's much easier to accomplish them. Spherical surfaces at the prisms were replaced by simple lenses. Also the filter layers have been applied onto separate components.

Abb. 1:
Prinzipieller Aufbau des IR-Strahlteilers.

Fig. 1:
Schematics of the IR beam splitter.



Während der Montage wird die laterale Bestimmung der Einzelkomponenten mittels mechanischer Anschläge realisiert (Abb. 2). Die Ausrichtung der Komponenten in den Winkelfreiheitsgraden erfolgt durch ein hochpräzises 6-Achs-Positioniersystem. Dabei dient eine Planfläche der Vorrichtung als Referenz. Ein auf diese Fläche ausgerichtetes Autokollimationsfernrohr erfasst sowohl die Ablagegenauigkeit der Komponenten in der Vorrichtung als auch den Justierzustand der zu fügenden Komponente. Ein zweites Autokollimationsfernrohr ist auf die 45°-Fläche des Rhombus-Prismas ausgerichtet und detektiert die Verdrehung der Subbaugruppe um die Achse senkrecht zur Referenzebene.

Für die Positionierung der Plankonvexlinsen sind in der Vorrichtung senkrecht zur Referenzfläche Bohrungen angeordnet, auf dessen Kanten die Linsen mit ihren sphärischen Flächen wie auf Ringschneiden aufliegen. Damit wird erreicht, dass die Krümmungsmittelpunkte der sphärischen Flächen in einer Ebene parallel zur Referenzebene liegen. Die Toleranz der Mittendicken der Plankonvexlinsen wird durch die Klebstoffschicht zwischen den zu fügenden Komponenten ausgeglichen. Die Fixierung der einzelnen optischen Komponenten der Subbaugruppen erfolgt mittels eines brechzahlangepassten Klebstoffes.

Mittels Testsamples wurde nachgewiesen, dass parallele Klebstoffspalte (Abweichung << 10 arcsec) für Flächen von 9 x 9 mm² reproduzierbar eingestellt werden können. Die geforderte Wellenfrontdeformation von 0,1 λ (λ = 633 nm) in Transmission vor und nach dem Abkühlen auf Cryotemperatur (80 K) ist eingehalten.

Gegenwärtig erfolgt die optische Erprobung der kompletten Strahlteiler-Baugruppe (Abb. 3) in cryogener Umgebung, bevor die Integration in die Infrarotkamera erfolgt.

Wir bedanken uns für die gute Zusammenarbeit mit dem Max-Planck-Institut für Astronomie in Heidelberg.

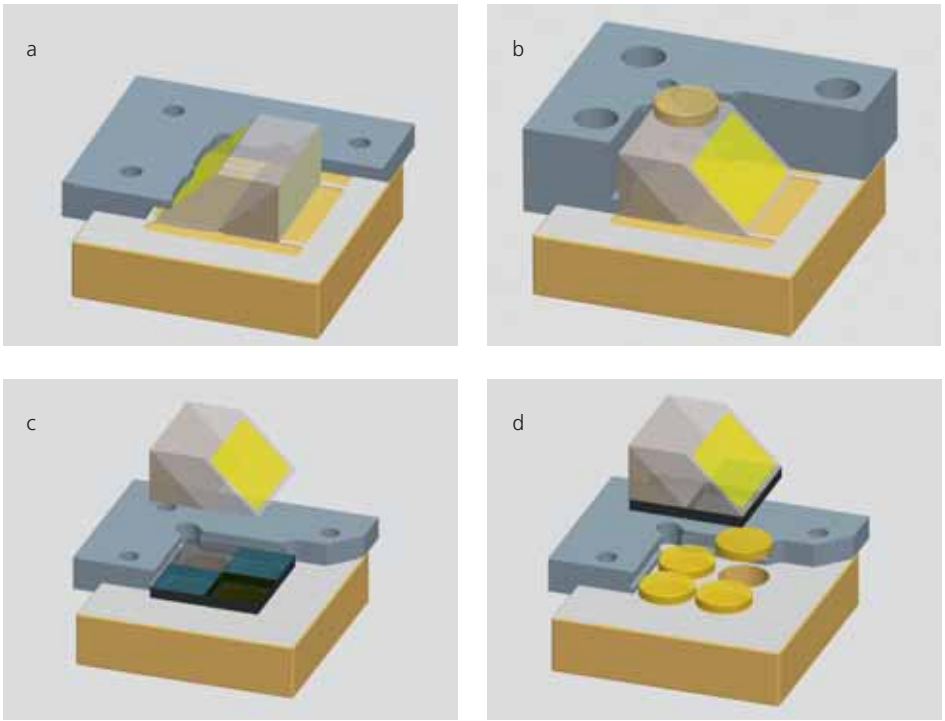


Abb. 2
Fügevorrichtungen:
a) Fügen einer Subbaugruppe,
b) Fügen der Plankonkavlinse mit Subbaugruppe 1,
c) Fügen der Filter mit Subbaugruppe 2,
d) Fügen der Plankonvexlinsen mit Subbaugruppe 2.

Fig. 2:
Assembly devices:
a) Joining of a sub-assembly,
b) Joining of the plan concave lens and sub-assembly 1,
c) Joining of the filters and sub-assembly 2,
d) Joining of the plan convex lens and sub-assembly 2.

During assembly the lateral position of the individual component is defined by mechanical Stopps within the assembly device (Fig. 2). Alignment of the component in tip and tilt meanwhile is carried out by a high precise 6DOF hexapod positioning system. A planar surface of the assembly devices serves as a reference for an autocollimation telescope (AKF), which detects not only the accuracy of the components placed into the assembly device but also the alignment state of the components actually to be mounted. A second AKF detects the tilt of the 45° plane of each sub assembly perpendicular to the reference plane.

For the positioning of the plan-convex lenses the assembly device is equipped with holes and sharp chamfers, on which the lenses lie as in an optical gravitation carrier ring. Thus the centers of curvature of the spherical surfaces are aligned in plane and parallel to the reference plane. A thickness deviation between the four individual plan-convex lenses can be balanced by the adhesive gap. Mounting of the components of each subassembly is carried out by means of an UV-curing, index matching adhesive.

Using test samples it has been proven, that parallel adhesive gaps (deviation << 10 arcsec) for surfaces of 9 x 9 mm² can be reproduced. The required wavefront deformation in transmission mode of 0.1 λ (λ = 633 nm) before and after cooling down to the cryogenic working temperature of 80 K was maintained.

Currently, the complete beam splitter assembly (Fig. 3) is being tested in cryogenic environment before it gets integrated into the LUCIVER instrument itself.

We would like to thank the Max-Planck-Insitute for Astronomy Heidelberg for the constructive co-operation.

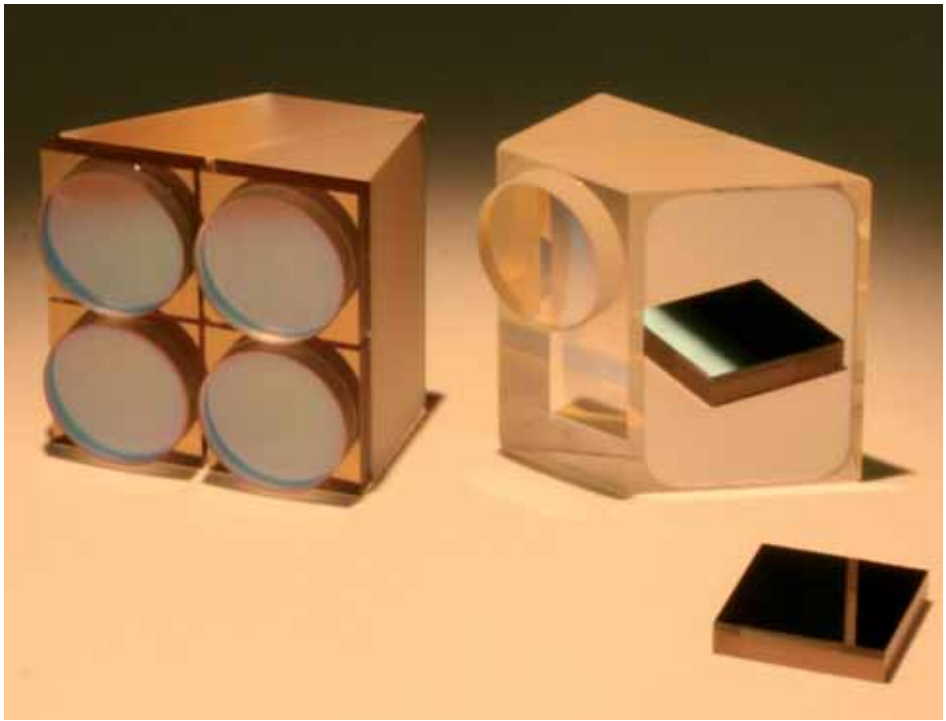


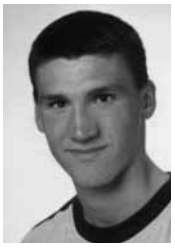
Abb. 3:
Von links nach rechts:
Subbaugruppe 2, Subbaugruppe 1, Filter.

Fig. 3:
From left to right:
sub-assembly 2, sub-assembly 1, filter.

Die analytische Beschreibung optischer Metamaterialien mittels der Multipolmethode

Jörg Petschulat[1]

Arkadi Chipouline[1]



Christian Helgert[1]

Ekaterina Pshenay-Severin[1]

Christoph Menzel[2]

Carsten Rockstuhl[2]

Falk Lederer[2]

Thomas Pertsch[1]

Andreas Tünnermann[1, 3]

[1] Institut f. Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena
[2] Institut f. Festkörpertheorie u. -optik, Friedrich-Schiller-Universität Jena
[3] Fraunhofer IOF

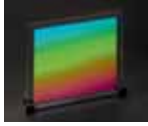
Die Licht-Materie-Wechselwirkung in der konventionellen Optik lässt sich auf eine Materialwechselwirkung ausschließlich mit dem elektrischen Feld reduzieren. Dabei können sowohl dispersive Materialien (Metalle oder Dielektrika nahe der Materialresonanzen im UV bzw. im IR) als auch nicht-dispersive Materialien (Dielektrika im Transparenzbereich) in Form einer einzigen physikalischen Größe, der dielektrischen Permittivität beschrieben werden. Diese, im Allgemeinen, komplexwertige Funktion ist auf den Wertebereich der in der Natur vorkommenden Materialien beschränkt. Die Materiewechselwirkung für das magnetische Feld kann dabei für natürlich auftretenden Materialien bei optischen Frequenzen als vernachlässigbar klein angesehen werden.

Mit Hilfe der Mikro- und Nanostrukturierung von Metallen kann der Wertebereich für die elektrische Permittivität maßgeschneidert, sowie erstmals eine effektive magnetische Materialwechselwirkung bei optischen Frequenzen erreicht werden. Die mittels Strukturierung und Materialauswahl einstellbaren optischen Eigenschaften solcher Mikro- und Nanostrukturen erfordern intensive theoretische Designanalysen, welche bislang nur durch numerische Verfahren realisiert werden können. Die analytische Beschreibung der Lichtpropagation in metallischen Mikro- und Nanostrukturen stellt dabei die physikalischen Wirkungsweisen der Strukturen in Form vereinfachter Modelle dar, die den Wertebereich für die numerische Simulation sinnvoll einschränken und erweitert damit das physikalische Grundverständnis für die stattfindenden Vorgänge in optischen Metamaterialien.

Optische Metamaterialien stellen im Rahmen effektiver Medien eine völlig neue Materialklasse dar. Realisiert werden diese Metamaterialien durch metallische Subwellenlängenstrukturen mit Ausdehnungen, die kleiner sind als die Wellenlänge der beleuchtenden elektromagnetischen Strahlung. Die optische Antwort eines aus derartigen metallischen Metaatomen zusammengesetzten Ensembles ist durch die plasmonischen Eigenschaften des einzelnen Metaatoms determiniert. Die Kontrolle der Resonanzeigenschaften, z. B. der Resonanzwellenlänge der plasmonischen Anregungen des Metaatoms, ist die Grundlage für das Design von Metamaterialien mit maßgeschneiderten und einzigartigen optischen Eigenschaften.

Die Existenz sowie die optische Anregbarkeit plasmonischer Subwellenlängenstrukturen ist Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten. Dabei wurden bislang Strukturen untersucht, deren elektromagnetische Wirkung sehr gut mit elektrischen Dipolmoden erklärt werden konnte, wie z. B. Antennenstrukturen oder Kugeln. Im Rahmen der effektiven Medientheorie werden derart lokalisierte plasmonische Anregungen in Resonanzen der entsprechenden effektiven Materialparameter übersetzt. Diese effektiven Materialparameter beschreiben die optische Response eines einfallenden elektromagnetischen Feldes auf ein Ensemble bestehend aus solchen Strukturen. Bei plasmonischen Dipolstrukturen treten diese Resonanzen ausschließlich in der effektiven elektrischen Permittivität auf. Man spricht daher von elektrischen Resonanzen.

Multipole approach to optical metamaterials



Light-matter interaction within classical optics can be reduced to an electric field-mediated material interaction only. Thus dispersive (dielectrics, metals, etc.) as well as non-dispersive materials (dielectrics within the spectral transparency window) can be described at optical frequencies by one physical parameter, the electric permittivity. This generally complex function for bulk materials is limited to naturally available resources. In contrast to electric interaction the magnetic field interaction at optical frequencies can be neglected, since all effects appear orders of magnitude smaller compared to the electric effects.

This artificial material behavior can be dramatically expanded by applying nano- and micro-structuring techniques. The combined response originating from the material choice and shape of manufactured nanostructures can be used to tailor both the effective permittivity and the effective permeability, which represents a magnetic material response, of the corresponding generated effective media. The design and the theoretical description of such unique optical material properties are restricted to advanced numerical electrodynamic calculations. The analytical investigation and description of the light propagation within such nano- and microfabricated structures projects their complex material dynamics into well known physical models. Thus the analytical description helps to define suitable parameter ranges within the exact numerical treatment from a physical point of view. This combination of numerical and analytical considerations might be a promising approach to expand the understanding and development of the fundamental principles of optical metamaterials.

Optical metamaterials represent a new artificial material class with tailored and unique optical properties. Metamaterials can be realized by subwavelength metal structures with dimensions much smaller than the incident wavelength. The optical response of the respective effective medium consisting of an ensemble of such nanostructures is determined by the plasmonic properties of the single structure, the metaatom. Controlling the resonance features, e.g. the resonance frequency, of the particular metaatom is the fundamental basis for the design of metamaterials with tailored and specific optical behavior.

The existence as well as the excitation conditions of localized plasmonic effects in subwavelength structures has been the content of numerous scientific publications. Geometries characterized by their radiation, absorption and excitation behavior which can be explained in terms of electric dipole modes have particularly been investigated. In the framework of effective media such dipole-like modes describing collective plasmonic excitations in an ensemble of such structures are represented by resonances of the corresponding effective parameters. For the particular case of electric dipole resonances, the associated response is restricted to the effective electric permittivity and consequently they are termed electric resonances.

Beside these electric resonances, more complex plasmonic geometries establish the possibility of additionally altering the effective magnetic material response, represented by resonance features in the effective magnetic permeability. In the special case of a double resonant medium which is characterized by both the electric resonance and the magnetic resonance at the same frequency the effective refractive index as a product of the permittivity and the permeability can even become negative. Such negative index materials provide a completely different optical behavior in comparison to positive index materials and are currently the subject of research.

In analogy to the description of electric resonances by their associated dipole modes, the magnetic material response can again be introduced on the basis of the multipole approach in form of second order multipoles /1/. Within such an approach second order multipoles are induced by a much more complex near field dynamic in the respective metaatoms. This dynamic is mainly governed by the intrinsic carrier transport induced by the excitation of the external electric field. Especially metaatoms supporting also magnetic resonances are assigned by more than a single eigenmode /2/. The cut-wire-structure represents a metatom supporting two carrier eigenmodes which can be directly translated into second order multipoles (Fig. 1).

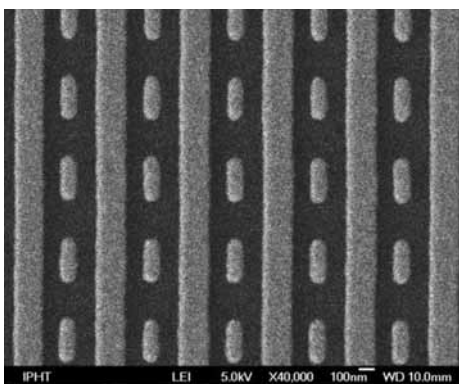


Abb. 1:
Rasterelektronenmikroskop-Aufnahme einer Cut-Wire-Geometrie mit zusätzlichen vertikal verlaufenden Metalldrähten.

Fig. 1:
Scanning electron image of the advanced cut-wire-geometry. The dashed sections represent the upper layer of the two layer cut-wire-mataatom from the top while the solid lines represent additional vertical metal wires.

Komplexere plasmonische Strukturen bieten neben der Möglichkeit die elektrischen Materialparameter zu beeinflussen auch die Möglichkeit, eine effektive magnetische Materialresponse zu realisieren. Diese führt zu Resonanzen in der effektiven magnetischen Permeabilität. Sind in einem bestimmten Spektralbereich sowohl elektrische als auch magnetische Resonanzen präsent, kann unter gewissen Voraussetzungen ein negativer Brechungsindex des entsprechenden effektiven Mediums realisiert werden. Dieser Spezialfall stellt einen Schwerpunkt in der Erforschung optischer Metamaterialien dar.

Die Ursache der magnetischen Materialresponse kann analog zum Verständnis der elektrischen Resonanzen im Rahmen einer Multipolentwicklung erklärt werden /1/. In einer solchen Beschreibung repräsentieren höhere Multipolordnungen (als das elektrische Dipolmoment) eine wesentlich kompliziertere Nahfelddynamik der Metaatome. Diese Dynamik kann in Form von kollektiven Ladungsträgerbewegungen verstanden werden. Bei Metaatomen mit einer effektiven magnetischen Materialantwort zeichnet sich diese Ladungsträgerdynamik durch verschiedene Eigenmoden aus /2/. Ein prominentes Beispiel eines solchen Metaatoms ist die Cut-Wire-Geometrie (Abb. 1).

Die Cut-Wire-Struktur setzt sich aus zwei metallischen Drähten zusammen. Jeder einzelne dieser Drähte repräsentiert eine Dipolstruktur und beeinflusst ausschließlich die effektive elektrische Permittivität. Die Kopplung zweier solcher Geometrien in einer Doppellage dagegen führt zu einer Aufspaltung des Dipolmodes der Einzelstruktur in einen symmetrischen und einen antisymmetrischen Mode. Symmetrisch bezeichnet hier eine gleichgerichtete Ladungsträgerbewegung in beiden Metalldrähten, während der antisymmetrische Mode eine entgegen gesetzte Ladungsbewegung darstellt. Genau diese letztere Mode führt im Rahmen der Multipolentwicklung zu nichtverschwindenden Multipolen zweiter Ordnung, dem elektrischen Quadrupolmoment sowie dem magnetischen Dipolmoment und damit zu einer Resonanz in der effektiven magnetischen Permeabilität (Abb. 2).

Bislang erforderte die theoretische Modellierung einzelner Metaatome für die gezielte Manipulation der effektiven Parameter eines daraus aufgebauten Metamaterials die Anwendung aufwendiger numerische Verfahren wie etwa der Finite Difference Time Domain (FDTD) oder der Fourier Modal Method (FMM). Diese numerischen Verfahren sowie experimentelle Untersuchungen an speziellen Metamaterial-Geometrien stellen auch weiterhin unverzichtbare Werkzeuge zur Erforschung optischer Metamaterialien dar.

Die rein analytische Beschreibung liefert jedoch zusätzlich ein plausibles und selbstkonsistentes physikalisches Modell zur Erklärung der im Experiment und in der Simulation beobachtbaren Phänomene und trägt damit wesentlich zum Verständnis der Mechanismen dieser speziellen Materialklasse bei. Dabei liefert die Multipolmethode quantitativ als auch qualitativ eine exzellente Übereinstimmung (Abb. 2) mit allen bislang verwendeten numerischen Methoden. In Abb. 2d ist der effektive Brechungsindex der Gesamtstruktur dargestellt. Die magnetische Resonanz tritt bei kurzen Frequenzen auf während die elektrische Resonanz bei höheren Frequenzen auftritt. Eine Möglichkeit sowohl die elektrische als auch die magnetische Materialwechselwirkung in einem definierten Frequenzintervall zu konzentrieren ist in Abb.1 dargestellt. Dabei werden zusätzliche, vertikal verlaufende Metalldrähte in die Einheitszelle eingefügt die, wie experimentell gezeigt werden konnte, zu einem bestimmbaren negativen Brechungsindex der Gesamtstruktur führen. Weitere Arbeiten schließen die linearoptische Beschreibung komplexerer Metamaterial-Geometrien sowie die Implementierung der nichtlinearoptischen Materialwechselwirkung ein. Speziell die Berücksichtigung höherer Multipolmomente stellt ein in der Vergangenheit erfolgreiches Konzept dar, optische Nichtlinearitäten qualitativ zu beschreiben. Neben diesen theoretischen Weiterentwicklungen des Multipolmodells sind experimentelle Untersuchungen im Rahmen optischer Nah- und Fernfeldmessungen geplant, um die Aussagekraft des entwickelten Formalismus zu unterstützen.

Literatur:
/1/ Rockstuhl, C.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; and Pertsch, T.:
Multipole Approach to Metamaterials,
Physical Review A 78, 043811 (2008).
/2/ Rockstuhl, C.; Zentgraf, T.; Pshenay-Severin, E.; Petschulat, J.; Chipouline, A.; Kuhl, J.; Pertsch, T.; Giessen, H. and Lederer, F.:
The origin of magnetic polarizability in metamaterials at optical frequencies –
an electrodynamic approach,
Optics Express 15, 8871–8883 (2007).

The cut-wire-structure consists of two metal wires. Each of those wires represents an electric dipole structure and consequently causes no magnetic response. Additionally to the double wire system solid metal rods amplify the effective electric material response over a broad frequency range and are only required to observe a negative effective refractive index. The near field induced coupling between two neighboring wires causes a splitting of this single dipole mode associated with a carrier movement along the wire into a symmetric and an anti-symmetric mode. The symmetric mode represents a parallel carrier oscillation while the anti-symmetric mode is characterized by an opposing carrier oscillation in both wires. The latter mode causes non-vanishing second order multipoles, i.e. the electric quadrupole moment and the magnetic dipole moment, and the respective magnetic material response. The symmetric mode purely influences the electric response (Fig. 2).

The theoretical modeling of the meta-atoms in order to manipulate the effective media parameters has previously been carried out by powerful and complex numerical methods as the Finite Difference Time Domain (FDTD) method or the Fourier Modal Method (FMM). Such rigorous methods still dominate the theoretical description and represent together with experimental verifications the background of the investigation of optical metamaterials. The analytical description in terms of the multipole approach provides a simple and self-consistent physical model to explain the experimentally and numerically observed phenomena and seems to be an appropriate tool to gain further insight into the physical mechanism of the optical metamaterial response.

The observed excellent quantitative and qualitative agreement between the developed approach and all tested numerical predictions (Fig. 2) justifies our model and motivates further developments of the introduced formalism.

Future developments include the verification of our formalism for more complex metaatoms as well as the implementation of nonlinear-optical effects. Especially the consideration of multipoles beyond the the electric dipole contribution has been a successful concept in describing second order nonlinear effects in bulk materials. Thus the expansion of this method seems to be promising in the framework of optical metamaterials. Besides such improvements of the theoretical description experimental investigations in terms of optical far and near field measurements will be performed to verify our introduced formalism.

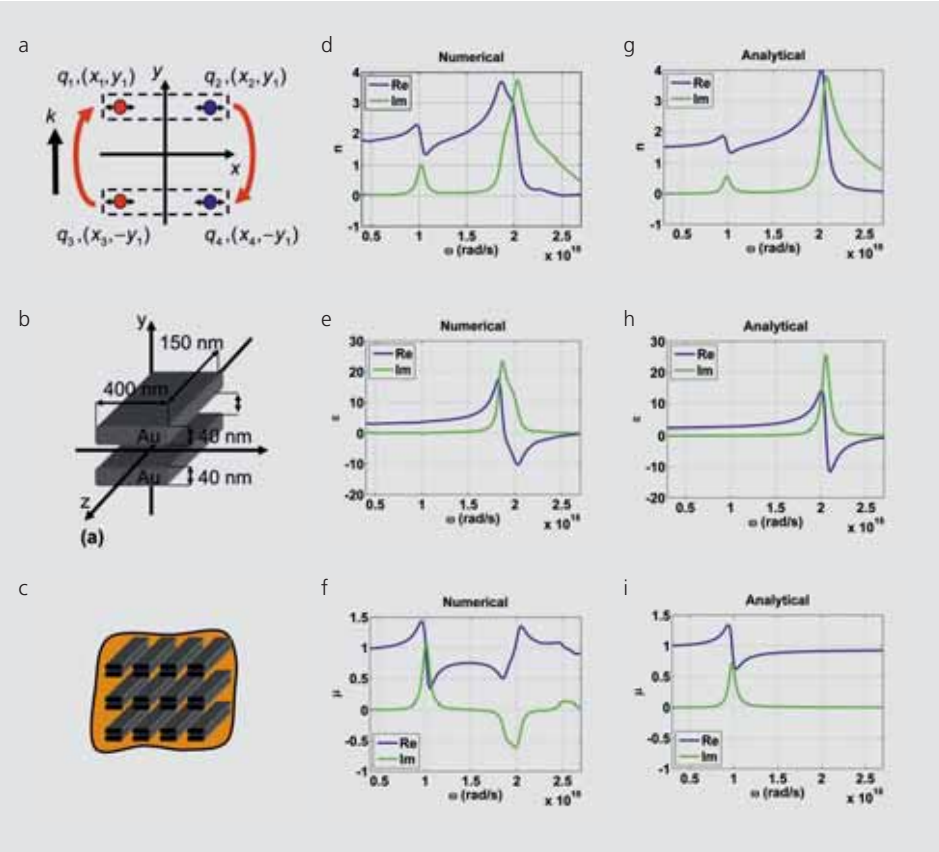
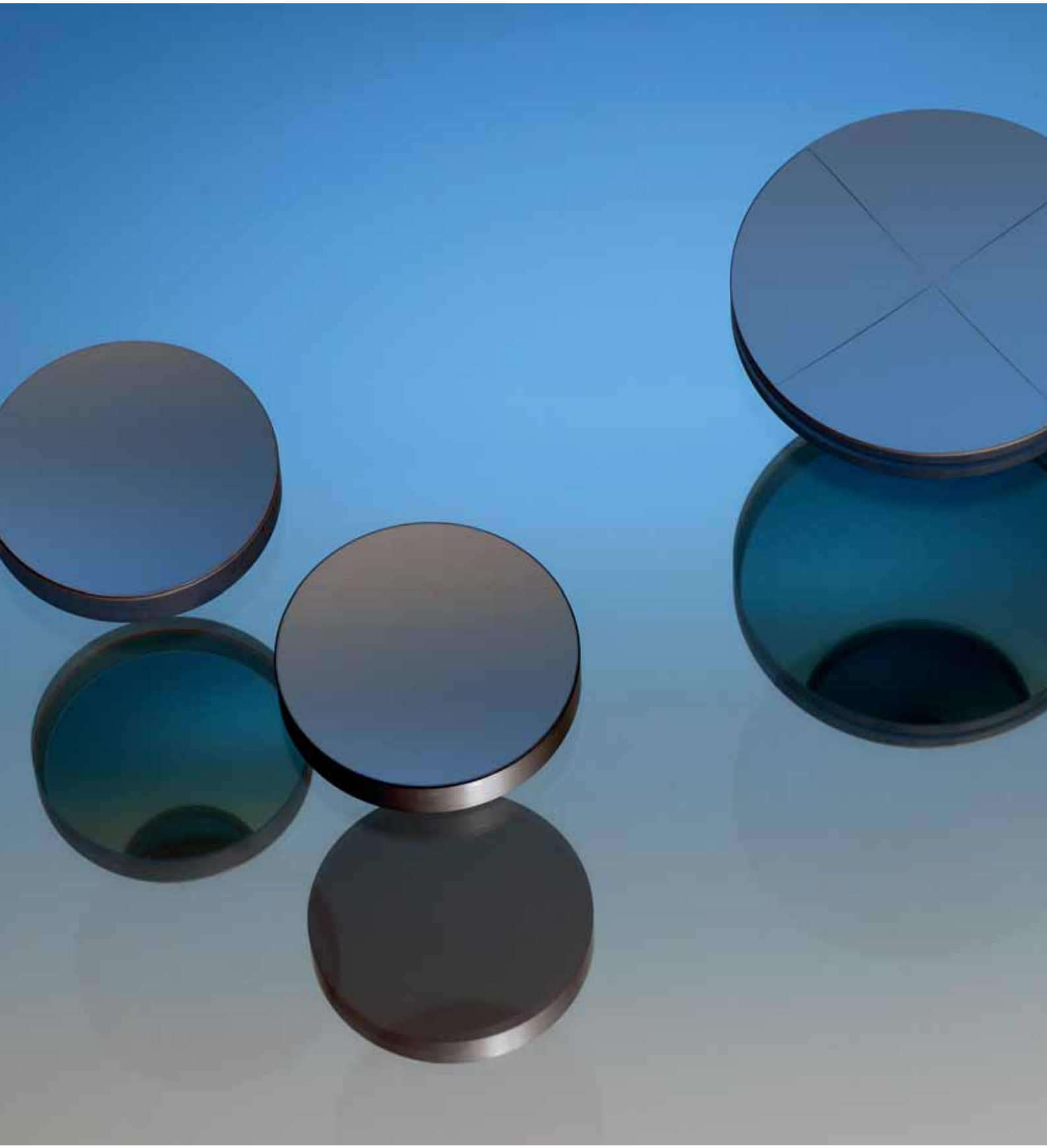


Abb. 2:
(a) Ladungsverteilung zur Modellierung einer Cut-Wire-Geometrie mit Hilfe der Multipolentwicklung /1/. (b) Die Dimensionen der dabei untersuchten Einzelstruktur. (c) Schematische Darstellung der Anordnung einer Einzelstruktur zu einem 3D-Metamaterial. (d), (g) Vergleich des numerisch bestimmten Brechungsindex mit dem der analytischen Beschreibung. (e), (h) Der entsprechende Vergleich für die elektrische Permittivität sowie (f), (i) die für die magnetische Permeabilität.

Fig. 2:
(a) The introduced carrier distribution to describe the cut-wire-geometry with the multipole expansion technique /1/. (b) The dimensions of the investigated structure. (c) Schematically arrangement of a 3D bulk metamaterial consisting of cut-wire-metaatoms. (d), (g) Comparison between the numerically and analytically obtained refractive indices. (e), (h) The comparison of the corresponding electric permittivity and (f), (i) the magnetic permeability.

Multifunktionale optische Schichten

Multi-functional Optical Coatings



Antireflexstrukturen AR-plas®

Ulrike Schulz

Peter Munzert

Robert Leitel

Nancy Bollwahn

Norbert Kaiser

Einleitung

Für die Gewährleistung maximaler Lichttransmission optischer Systeme ist es notwendig, die Oberflächen reflexmindernd auszustatten. Gerade für kostengünstig zu fertigende Kunststoffoptiken ist die Entwicklung entsprechender Vergütungsprozesse eine Herausforderung. Eine Alternative zu oftmals teuren Vakuumbeschichtungen bieten Strukturen, deutlich kleiner als die Wellenlänge des Lichts. Im Prinzip erzeugt man dabei durch Mischung des Substratmaterials mit Luft ein effektives Medium mit verminderter Brechzahl. Entsprechende Strukturen wurden zuerst auf dem Auge von nachtaktiven Motten entdeckt. Sie werden deshalb heute auch im technischen Bereich oft als »Mottenaugenstrukturen« bezeichnet (Abb. 1).

Am Fraunhofer IOF wurde schon im Jahr 2001 ein Plasma-Ätzverfahren entwickelt, mit dem auf PMMA eine noppenartige Subwellenlängen-Struktur mit Antireflexeigenschaften erzeugt werden konnte /2/. Nun wurde der Prozess so modifiziert, dass die Strukturbildung deutlich schneller erfolgt und außerdem auch viele andere Polymere auf diesem Wege entspiegelt werden können. Wesentlich dafür ist die Abscheidung einer sehr dünnen sogenannten »Initialschicht« vor dem eigentlichen Ätzschritt /3/. Beide Ätztechnologien wurden vom Fraunhofer IOF patentiert und unter dem Markennamen AR-plas® zusammengefasst.

Selbstorganisierte Strukturbildung auf PMMA

Die Ausbildung von Antireflexstrukturen mit einem typischen Noppenprofil erfolgt auf PMMA selbstorganisiert durch Ätzen der Oberflächen in Ar/O_2-Plasma (Abb. 2). Bisher erwies sich ausschließlich die Plasmaquelle APS (Advanced Plasma Source, Leybold Optics) bei Einstellung definierter Parameter (Gaszusammensetzung, Ionenenergie, Ätzzeit) als geeignet, die gewünschte Oberflächentopographie zu erzeugen.

Durch den Prozess kann bei PMMA eine bessere Entspiegelungswirkung erreicht werden, als durch eine gebräuchliche Antireflexbeschichtung, insbesondere bei größeren Einfallswinkeln des Lichts (Abb. 3). Auch gekrümmte Linsen erscheinen nach der Behandlung transparent und farbneutral (Abb. 2). Eine Optimierung des Ätzverfahrens für PMMA besonders im Hinblick auf die Entspiegelung von mikrostrukturierten Flächen wie Fresnel-Linsen erfolgt gegenwärtig im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts FOKUS /4/.

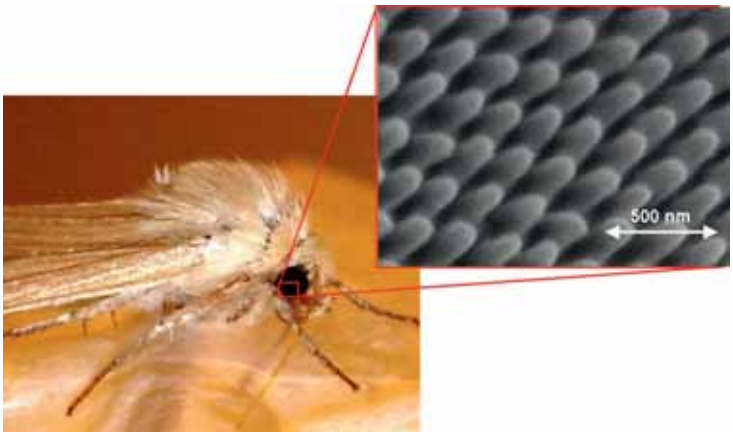


Abb. 1:
Nachtaktive Motte und die ihr Auge entspiegelnde Struktur.

Fig. 1:
Nocturnal moth with an antireflective eye-structure.

Introduction

A frequent requirement to ensure maximal light transmission in optical systems is the inclusion of antireflective surfaces. The development of corresponding processes is a challenge, especially for the production of affordable plastic optics. Particularly for applications where glass is to be replaced by plastics in order to reduce product costs, expensive coating processes are counterproductive. Nanostructures with sub-wavelength size offer an alternative to coatings. The optical principle of antireflective structures is to mix the polymer material with air on a sub-wavelength scale and therefore to decrease the effective refractive index in a surface layer. At first discovered on the eye of a night flying moth, such antireflective structures are often called "moth eye structure" (Fig. 1) /1/.

A plasma-etching process to generate an antireflective structure on PMMA was developed as early as 2001 at Fraunhofer IOF /2/. Applying a new procedure that uses a thin initial layer prior to the etching step, different types of antireflective structures can now be generated in a shorter time and without limitations on the type of polymer /3/. Both technologies are labeled with the joint trade name AR-plas®.

Self-organized structures on PMMA

The formation of antireflective structures with a typical bump-like profile occurs on PMMA completely self-organized by etching the surfaces with an Ar/O_2-plasma (Fig. 2). For this process the parameter window in terms of pressure, ion energy, gas flow and etching time is well defined and only the plasma source APS (Advanced Plasma Source, Leybold Optics) was found to be suitable to achieve the desired surface morphology. The antireflection properties for normal and for oblique light incidence are much better than obtainable by a common interference coating (Fig. 3). Curved lenses with such structures on both sides also appear colorless and clear (Fig. 2). The optimization of this etching process for PMMA to obtain an optimal antireflection effect on microstructured optical parts like Fresnel lenses and on strongly curved lenses is currently being undertaken in the research project FOKUS /4/.

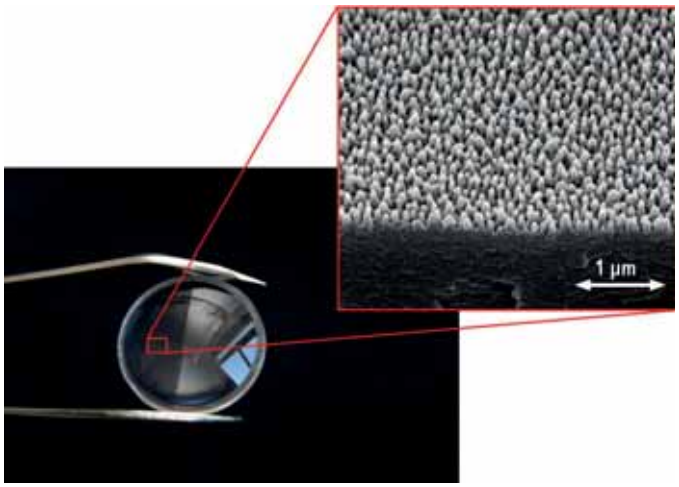


Abb. 2:
Durch Selbstorganisation im Plasma ausgebildete Antireflexstruktur auf einer PMMA-Linse (rechte Probenhälfte unbehandelt).

Fig. 2:
Self-organized antireflective structures on PMMA optical lens (right hand area on lens untreated).

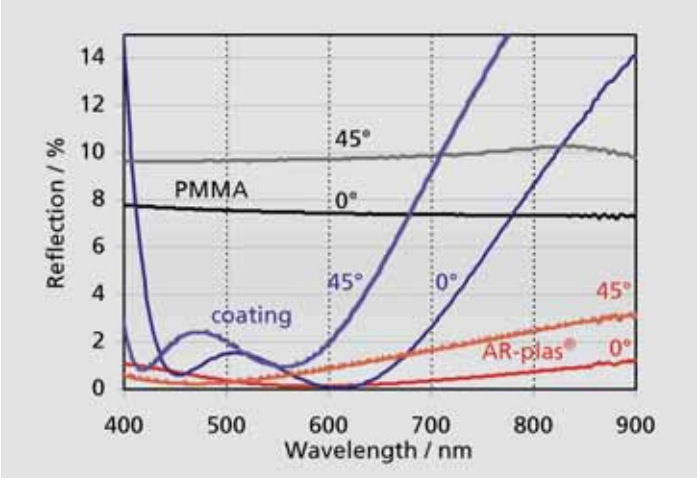


Abb. 3:
Reflexion unter senkrechtem Lichteinfall (0°) sowie unter 45° für eine unbehandelte PMMA-Probe, eine konventionell beidseitig beschichtete Probe und eine beidseitig mit AR-plas® behandelte Probe.

Fig. 3:
Residual reflection of PMMA (both surfaces) without treatment, with common AR interference coating and with structure AR-plas® for normal light incidence (0°) and for 45° light incidence.

Die in Abb. 4 dargestellte geschwärzte Fläche wurde ebenfalls durch beidseitiges Plasmaätzen einer transparenten PMMA-Probe hergestellt, hier allerdings gefolgt von einer rückseitigen Beschichtung mit Gold. Hier wird demonstriert, dass solche strukturierten Polymer/Metall-Grenzflächen breitbandige Absorber darstellen können. Mit Hilfe von Maskierungstechniken wird ein hohes Kontrastverhältnis bezogen auf die Reflexion erreicht.

Strukturen mit noppenförmigem Profil sind außerdem sehr gut als Masterstrukturen für die Replikation geeignet. Die strukturierte PMMA-Oberfläche wird dabei zunächst mit einer dünnen Goldschicht beschichtet und dann in einem galvanischen Prozess zu einem kompakten Werkzeugeinsatz aus Nickel aufgebaut. Die Entwicklung solcher Werkzeugeinsätze und die effiziente Abformung entspiegelter Flächen mittels Heißprägen und Spritzgießen werden im Rahmen des BMBF-Projekts NANOREPLICA vorangetrieben /5/.

Strukturbildung auf verschiedenen Kunststoffoberflächen

Strukturen mit vergleichbaren optischen Eigenschaften jedoch veränderter Topographie entstehen, wenn vor dem Plasmaätzen eine dünne »Initialschicht« abgeschieden wird. Die Strukturen bestehen jetzt überwiegend aus Hohlräumen (Löchern) und Gräben und konnten auf vielfältigen Polymeren wie Polycycloolefinen (Zeonex, Zeonor, Topas), Polycarbonaten (Makrolon, Apec), Polyamid und hochbrechenden Brillenglas-Kunststoffen erzeugt werden (Abb. 5).

Es konnte gezeigt werden, dass sich mehrere dielektrische Materialien als Initialschicht sehr gut eignen, während dünne Metallschichten die Strukturbildung nicht auslösen. Neben dem Initialschichtmaterial und der Schichtdicke beeinflussen die Gaszusammensetzung, die Ionenenergie und die Ätzzeit die Struktureigenschaften.

Eigenschaftsmodifizierung durch zusätzliche Beschichtungen

Eine Verbesserung der mechanischen Beständigkeit von Antireflexstrukturen ist durch die Überschichtung mit dünnen harten Schichten möglich. Besonders Siliziumdioxidschichten mit bis zu 30 nm Dicke werden erfolgreich für diesen Zweck eingesetzt. Bei Verwendung der Schutzschichten muss zuvor die Ätzzeit entsprechend angepasst werden. Dann ist auch mit Schutzschicht eine Transmissionserhöhung wie bei der nur strukturierten Probe möglich. Schwammartige Strukturen können deutlich besser stabilisiert werden als Noppenstrukturen.

Durch die Abscheidung von Schutzschichten ist es unter anderem gelungen, die mechanische und chemische Stabilität von Strukturen auf Polycycloolefinen, Polyethersulfon und Polyamid wesentlich zu verbessern. Wie in Abb. 6 für Zeonex zu erkennen, sind die Schutzschichten auf den Oberflächen nicht vollständig geschlossen. Die Oberfläche kann trotzdem mit Lösungsmittel und einem weichen Tuch gereinigt werden.

Abb. 4:
Silhouette (J. W. von Goethe), erzeugt auf der Rückseite einer PMMA-Scheibe durch Plasmaätzen einer nichtmaskierten Teilfläche und anschließender Goldbeschichtung der Gesamtfläche.

Fig. 4:
Silhouette (J. W. von Goethe) created on the backside of PMMA by plasma etching using masks and subsequent gold coating of the total area.

For the decorative artwork shown in Fig. 4 the bump-structure was generated on the backside of a PMMA sheet and subsequently coated with a gold layer. A broadband absorption close to 100 % appears due to the structured polymer-metal-interface. When textured with masks, the surfaces provide a high contrast ratio in reflection.

The bump-structures can be used very well as master structures for replication. After generating a "master"-structure in PMMA, a metallic tool is produced by galvanic forming. The investigation and development of this technique including the steps master optimization by etching, tool preparation by galvanic forming and replication by hot-embossing or injection molding the structures into several polymers is in progress as part of the BMBF research project Nanoreplica /5/.

Generation of structures on various polymers

Structures exhibiting similar optical properties but with different topographic appearance can be achieved by depositing very thin "initial" layers prior to plasma etching. In contrast to the structure previously described, evenly distributed cavities and holes are formed. On polymers like polycycloolefines (Zeonex, Zeonor, Topas), polycarbonates (Makrolon, Apec), polyamides and high index eyeglass materials a more or less homogeneous sputtering was observed during plasma treatments without the initial layer. Some examples are shown in Fig. 5.

It was found that some dielectric materials work very well as an initial layer, whereas metallic layers did not show a useful effect. The structure formation can be controlled by the thickness and deposition conditions of the initial layer. Further parameters that can be used to manipulate the structure include etching time, plasma power, working pressure and gas composition.

Additional properties by coatings

An improvement in the mechanical durability of antireflective structures is possible if the structures can be stabilized with thin hard coatings. Such over-coating experiments have been carried out by depositing silica layers of about 30 nm in thickness on top of the structures.

Generally, better stabilization could be achieved for the sponge-like structures than for more open structures consisting of high bumps. Both, the thickness of the protective layers and the plasma treatment time have to be balanced to avoid deterioration of the spectral properties. The mechanical and chemical resistance of many polymers such as polycycloolefines, polyethersulfone, polyamide could be improved very well. The deposited films do not completely close the surface, as shown in Fig. 6 for the Zeonex sample. This protected structure can be touched by hand and fingerprints can be cleaned using ethanol and cloth.

Abb. 5:
»Schwammartige« Strukturen auf PC und Polyamid sowie Reflexion der Oberflächen vor und nach der Plasmabehandlung.

Fig. 5:
"Sponge-like" antireflective structure on PC and Polyamide and their measured residual reflectance compared to the untreated surfaces.

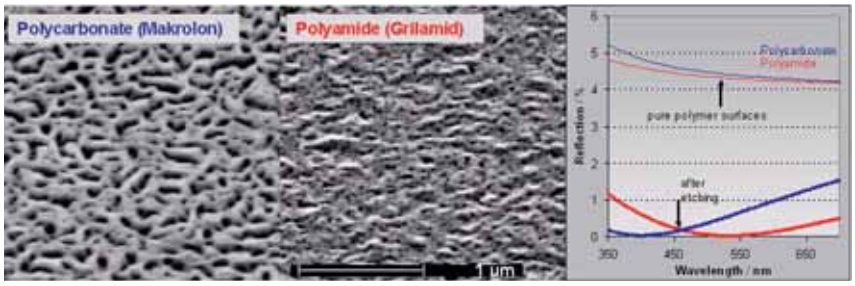
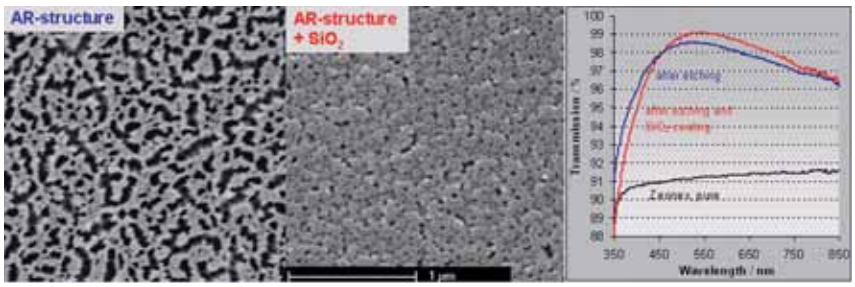


Abb. 6:
Zeonex-Oberflächen mit Antireflexstruktur ohne und mit zusätzlicher SiO_2-Schutzschicht sowie Transmission einer Zeonex-Scheibe vor und nach dem Plasmaätzen/Beschichten.

Fig. 6:
Zeonex surfaces with antireflective structure after etching and after depositing a thin SiO_2 layer for protection and transmission spectra before and after etching and coating.



Strukturierte Oberflächen können durch dünne Schichten auch hinsichtlich ihres Benetzungsverhaltens modifiziert werden. Im Prinzip kann das gesamte Gebiet zwischen vollständiger Benetzung (Super-Hydrophilie) mit Antibeschlagwirkung und idealem Abrollverhalten gegenüber Wasser (Super-Hydrophobie) adressiert werden.

Abbildung 7 zeigt die Endoptik eines Koloskops mit in Kunststoff eingebetteten PMMA-Linsen. Hier wurden die Linsenoberflächen durch Plasmaätzen und hydrophober Beschichtung mit Entspiegelungsfunktion sowie öl- und wasserabweisenden Eigenschaften ausgestattet, während sich in der Umgebung der Linsen hydrophile Bereiche befinden, die insbesondere das Wasser von den Linsen wegleiten sollen. Diese Bereiche wurden nach dem Plasmaätzen dünn mit SiO_2 beschichtet. Die Untersuchung der Koloskopoptik und weiterer medizintechnischer Oberflächen ist Gegenstand der Forschungsarbeiten im Projekt KOMET /6/.

Zusammenfassung und Ausblick

Die am Fraunhofer IOF entwickelte Technologie AR-plas® ermöglicht die Erzeugung verschiedenartiger Antireflexstrukturen auf einer Vielzahl von Kunststoffmaterialien und bietet somit eine Alternative zur Abscheidung von Interferenzschichten. Innerhalb weniger Minuten Ätzzeit entsteht eine breitbandige Entspiegelungswirkung. Diese ist bei schrägem Lichteinfall sowie auf gekrümmten und mikrostrukturierten Oberflächen sogar wirksamer, als gebräuchliche Interferenzschichten. Durch das Aufbringen zusätzlicher dünner Schichten auf die Strukturen können die Beständigkeit der Oberflächen verbessert und ihre Benetzungseigenschaften eingestellt werden.

Der Fokus weiterer Arbeiten liegt unter anderem auf der Verbesserung der Replikationstechniken von noppenartigen Strukturen, neuen Verfahren zur Herstellung härterer Strukturen, dem Transfer des Ätzprozesses auf eine Folienbeschichtungsanlage und der Evaluierung solarer Anwendungen für die strukturierten Polymere.

Literatur:

/1/ Clapham, P. B.; Hutley, M. C.: Reduction of lens reflection by the "moth eye" principle, Nature 244 (1973) 281–282.

/2/ Kaless, A.; Schulz, U.; Munzert; P.; Kaiser, N.: NANO-motheye antireflection pattern by plasma treatment of polymers, Surf. Coat. Technol. 200 (2005) 58–61.

/3/ Schulz, U.; Munzert, P.; Leitel, R.; Wendling, I.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.: Antireflection of transparent polymers by advanced plasma etching procedures, Optics Express 15 (2007) 1308–13011.

/4/ Research projekt FOKUS, BMBF FKZ 13N9160.

/5/ Research projekt NANOREPLICA, BMBF FKZ 03IP609.

/6/ Research projekt KOMET BMWi AiF-FV-Nr. 15091BR.

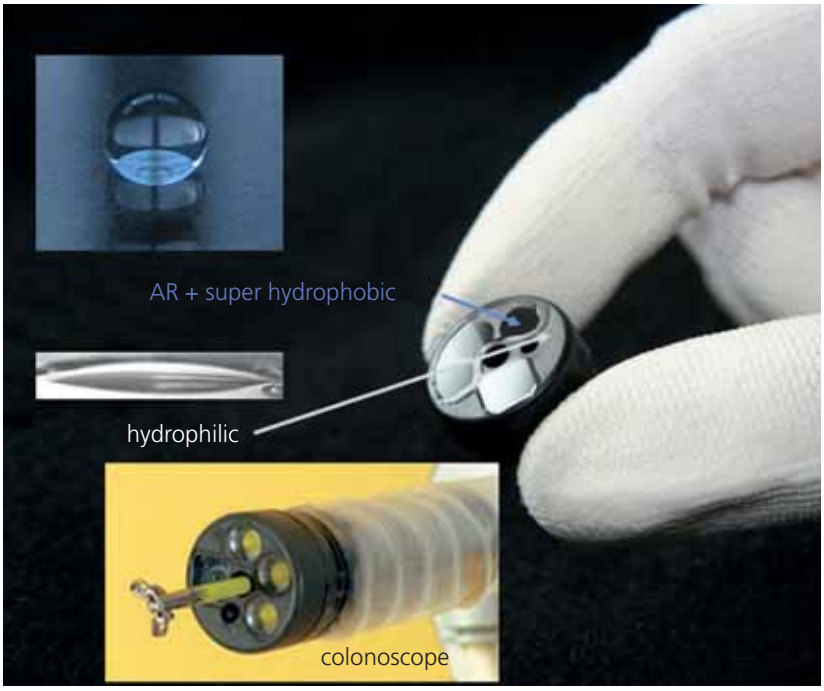


Abb. 7:
Anwendung für AR-plas®:
Koloskopoptik mit entspiegelten Linsen sowie Zonen mit kontrolliertem Benetzungsverhalten.

Fig. 7:
Application of AR-plas®:
colonoscope optics with antireflective lenses structured areas of controlled wettability.

After the etching step a modification of the wetting behaviour can be realized by depositing thin hydrophobic coatings or hydrophilic materials on top of the structured polymers. Actually, the whole range between strongly hydrophilic surfaces exhibiting anti-fogging properties and super-hydrophobic behaviour has been demonstrated.

Figure 7 shows the outer optical part of a colonoscope (Invendo Medical GmbH) with imbedded PMMA optical lenses. In the case of this medical device, oleic and wet contaminants should be held in distance from the optical transparent parts. The whole surface was structured by plasma-etching providing an anti-reflection effect. After that only the area of lens surface was coated with a hydrophobic top-coating whereas the surrounding area was coated with a hydrophilic silica layer. This colonoscope optics and other medical devices are investigated as part of the AiF-project KOMET /6/.

Summary and Outlook

By applying the technology of AR-plas® a broad variety of antireflection structures can be obtained on several polymers. A broadband antireflective effect with low sensitivity to the incident angle of light can be achieved after etching for some minutes on curved and micro-structured substrates.

Additional surface functions like hardening and hydrophilic or hydrophobic behaviour have been achieved by coating the structured surfaces. The plasma etching of antireflective structures is a suitable alternative to coating procedures.

Research projects currently underway are focused on efforts to improve replication techniques, to produce structures with higher mechanical stability, to transfer the technology for web-coating and to evaluate the possibilities of solar applications.

References:

/1/ Clapham, P. B.; Hutley, M. C.: Reduction of lens reflection by the "moth eye" principle, Nature 244 (1973) 281–282.

/2/ Kaless, A.; Schulz, U.; Munzert; P.; Kaiser, N.: NANO-motheye antireflection pattern by plasma treatment of polymers, Surf. Coat. Technol. 200 (2005) 58–61.

/3/ Schulz, U.; Munzert, P.; Leitel, R.; Wendling, I.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.: Antireflection of transparent polymers by advanced plasma etching procedures, Optics Express 15 (2007) 1308–13011.

/4/ Research projekt FOKUS, BMBF FKZ 13N9160 .

/5/ Research projekt NANOREPLICA, BMBF FKZ 03IP609.

/6/ Research projekt KOMET BMWi AiF-FV-Nr. 15091BR.

Niedertemperaturabscheidung von Indiumzinnoxid

Kevin Füchsel

Ulrike Schulz

Norbert Kaiser

Transparente und leitfähige Oxide, sogenannte TCOs, sind von enormer Bedeutung für viele elektrooptische Anwendungen. Die Einsatzmöglichkeiten reichen von IR-Reflektoren, Antistatik- und Heizschichten bis hin zu transparenten Elektroden und Schichtsystemen für die Photovoltaik. Mit Zinn dotiertes Indiumoxid liefert dabei den besten Kompromiss aus elektrischer Leitfähigkeit und hoher Transparenz im sichtbaren Spektralbereich. Da die meisten Herstellungsverfahren Prozesstemperaturen über 150 °C benötigen, sind sie für die Beschichtung von temperaturempfindlichen Substraten nicht geeignet.

Der stetig steigende Einsatz von leichten und bruchsicheren Kunststoffen, wie z. B. Polycarbonat oder Zeonex, erforderte die Entwicklung eines Niedertemperatur-Beschichtungsverfahrens. Mit Hilfe der Plasma-Ionen gestützten Verdampfung können hochtransparente und elektrisch leitfähige ITO-Schichten bei Substrattemperaturen unter 100 °C realisiert werden.

Die umfassende Analyse der spektralen, elektrischen, morphologischen und strukturellen Eigenschaften der abgeschiedenen Schichten erlaubte die Optimierung der verwendeten Reaktivgaszusammensetzung und der mittleren Ionenenergie während des Herstellungsprozesses /1, 2/. Dadurch konnte der elektrische Widerstand der amorphen Schichten auf 4 µΩm reduziert werden.

Aufgrund der geringen Absorption, mit einem mittleren Extinktionskoeffizienten von rund $7 \cdot 10^{-3}$, eignet sich das patentierte Verfahren für qualitativ hochwertige Beschichtungen /3/. Die guten Haftungs- und Klimaeigenschaften des Materials ermöglichen die Realisierung von abriebfesten Schichtsystemen für Gläser und Kunststoffe (Abb. 1).

Ein Schwerpunkt der aktuellen Forschung ist die Entwicklung sogenannter SIS-Solarzellen. Kristallines Silizium wird gezielt strukturiert und mit Indiumzinnoxid überschichtet (Abb. 2). Die Optimierung der strukturierten Grenzfläche soll ein kostengünstiges und innovatives Zellkonzept ermöglichen.

Dank gilt dem BMBF für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeiten im Rahmen des Projekts PHIOBE /4/.

Literatur:

/1/ Füchsel, K.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.: Low temperature deposition of indium tin oxide films by plasma ion-assisted evaporation, Applied Optics 47 (2008), 13, p. C297–C302.

/2/ Füchsel, K.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.: Structural and electrical properties of low temperature deposited ITO films, SPIE Advances in Optical Thin Films III 7101 (2008).

/3/ DE 19752889 C1 (1999).

/4/ BMBF-Verbund PHIOBE (FKZ 13N9669): Photonmanagement durch gezielte Interfacemodifizierung in Optoelektronischen Bauelementen.

Low temperature deposition of indium tin oxide

Transparent and conductive oxides, so-called TCOs, are of extreme importance for many electro-optical applications. The possible fields of applications range from IR-reflectors, anti-static and heatable coatings to transparent electrodes and coating systems for photovoltaics. Coatings of tin doped indium oxide achieve the best compromise between electrical conductivity and high transparency in the visible spectral range. Due to the high process temperatures above 150 °C during the majority of process cases, they cannot be used for the deposition on thermally unstable substrates.

The ever increasing use of light and break-proof plastics, such as Polycarbonate and Zeonex, demanded the development of a low temperature deposition process. With the use of plasma-ion assisted deposition, highly transparent and conductive ITO coatings can be realized at substrate temperatures below 100 °C. The comprehensive analysis of the spectral, electrical, morphological, and the structural properties of the deposited films allowed the optimization of the used reactive gas mixture and the average ion energy during the production process /1, 2/. Thus the specific resistivity of the amorphous films could be reduced to 4 μΩm.

The patented process is suitable for highly quality coatings on account of the low absorption, with an average extinction coefficient of $7 \cdot 10^{-3}$ /3/. The good adhesion and climatic properties of the coatings allow the deposition of abrasion-resistant film systems on glasses and plastics (Fig. 1).

A focal area of current research is the development of so-called SIS solar cells. Crystalline silicon will be systematically structured and overcoated by ITO (Fig. 2). The optimization of the structured interface allows for a cost-effective and innovative cell concept.

We would like to thank the BMBF for financial support of this work within the project PHIOBE /4/.

References:
/1/ Füchsel, K.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.: Low temperature deposition of indium tin oxide films by plasma ion-assisted evaporation, Applied Optics 47 (2008), 13, p. C297–C302.
/2/ Füchsel, K.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.: Structural and electrical properties of low temperature deposited ITO films, SPIE Advances in Optical Thin Films III 7101 (2008).
/3/ DE 19752889 C1 (1999).
/4/ BMBF-Verbund PHIOBE (FKZ 13N9669): Photonmanagement durch gezielte Interfacemodifizierung in Optoelektronischen Bauelementen.

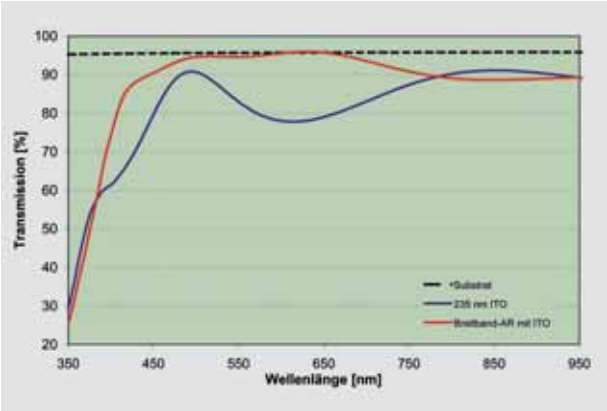


Abb. 1:
Transmission (ohne Rückseite) von Substrat, einer ITO-Einzelschicht und eines Breitband-AR Systems.

Fig. 1:
Transmission (without backside) of substrate, ITO coating and heatable broadband AR-system.

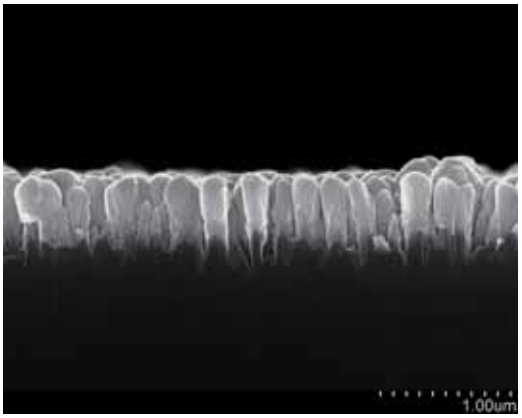


Abb. 2:
REM-Aufnahme eines mit ITO überschichteten strukturierten Siliziumsubstrats.

Fig. 2:
REM-image of a structured silicon substrate overcoated by ITO.

Optimierung der optischen und mechanischen Eigenschaften oxidischer Schichten durch Ausnutzung von Nanoporosität

Olaf Stenzel

Steffen Wilbrandt

Norbert Kaiser

Oxidische Schichtmaterialien sind in der Dünnschichtoptik für Spezifikationen vom nahen infraroten über den visuellen bis in den ultravioletten Spektralbereich weit verbreitet. Während klassische, durch Elektronenstrahlverdampfen aufgebrachte Schichten aufgrund ihrer stark porösen Struktur eher geringe Brechzahlen mit merklichem thermischem Shift aufweisen, führt die hohe Verdichtung des Schichtmaterials bei Nutzung (plasma-) ionengestützter Aufdampfverfahren zur fast vollständigen Eliminierung der Porenfraktion, was sich in merklich höheren Brechzahlen sowie faktischer Shiftfreiheit manifestiert. Allerdings ist die so erreichte Shiftfreiheit durch einen handfesten Nachteil erkauft: Durch Stützung hochverdichtete Schichtmaterialien weisen im allgemeinen hohe Druckspannungen auf, was für viele Anwendungen nachteilig ist.

Im AiF-Projekt »nanomorph« (15042 BR) untersuchte das Fraunhofer IOF mit Industriepartnern daher alternative Methoden zur Erzielung von faktischer Shiftfreiheit. Tatsächlich ist dafür die Eliminierung der Porenfraktion nicht zwingend notwendig. Es ist ausreichend, keine offenen Poren in der Schicht zu haben, die sich mit atmosphärischem Wasser füllen können. Sind die Poren stattdessen klein und geschlossen, können sie Druckspannungen eliminieren bzw. sogar Zugspannungen induzieren, ohne durch Wasseraufnahme störende Shifterscheinungen zur Folge zu haben. Eine gezielt in ihren Eigenschaften beeinflusste Porenfraktion kann somit einen applikationsrelevant brauchbaren Kompromiss zwischen optischen und mechanischen Schichteigenschaften bedingen.

Die Aktivitäten des IOF konzentrierten sich demnach auf das Auffinden von Schichtpräparationsstrategien, die in sowohl spannungs- als auch shiftarmen Proben mit immer noch akzeptablen Brechzahlen resultieren. Simulationen des optisch-mechanischen Eigenschaftskomplexes (Abb. 1 links) legen dabei nahe, dass dazu eine gewisse Porosität (kleine, geschlossene Poren) in der Schicht erforderlich ist. Durch Optimierung der APS-gestützten Elektronenstrahlverdampfung konnten Proben mit derartigem Eigenschaftsprofil tatsächlich synthetisiert werden (Abb. 1 rechts). Untersuchungen der Nanostruktur mittels Transmissionselektronenmikroskopie verifizieren die Annahme einer Porenfraktion in diesen Schichten (Abb. 2).

Es ist mit Blick auf den Gesamtkomplex der Schichteigenschaften nach alldem sinnvoll, nicht unbedingt völlige Porenfreiheit der Schichtmaterialien anzustreben, sondern eine gezielt optimierte Fraktion von Nanoporen in der optischen Schicht zu erhalten.

Das Forschungsvorhaben 15042 BR der Forschungsvereinigung Europäische Forschungsgesellschaft Dünne Schichten e.V. wurde im Programm zur Förderung der ‚Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)' vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie über die AiF finanziert.

Nanoporous oxide optical coatings with optimized mechanical and optical properties

Oxide coating materials are the typical choice for coatings specified from the near infrared via the visible spectral range up to the ultraviolet. It is well known that coatings deposited by electron beam evaporation are usually porous, which results in low refractive indices with significant thermal shift. Highly densified coatings, as obtained from (plasma) ion assisted deposition techniques, are nearly free of pores, so that they have higher refractive indices, and are almost shift-free. But they have a serious shortcoming:
Due to the high densification, those layers may show significant compressive stress, which may be detrimental in a variety of applications.

In the context of the "nanomorph"-project (sponsored by AiF under reference 15042 BR), Fraunhofer IOF and project partners therefore investigated alternative methods for thermal shift suppression in optical coatings. As a matter of fact, the coating does not need to be free of pores in this process. It is sufficient to eliminate open pores which can exchange water with the surrounding atmosphere. If the pores are instead small and closed, they can relax the compressive stress as well or even induce tensile stress, but without accompanying thermal shift. Therefore, a tailored pore fraction can be extremely helpful to achieve a reasonable compromise between optical and mechanical layer properties.

In this context, the activities of IOF concentrated on identifying coating deposition strategies, which result in almost shift and stress-free coatings with still acceptable refractive indices. Simulations of the optical and mechanical properties in combination (Fig. 1 on left) suggest the necessity of a certain porosity (small closed pores) for achieving a proper balance between optical and mechanical parameters. Corresponding samples could be manufactured optimizing deposition conditions for the APS-assisted electron beam evaporation technique (see Fig. 1 on right). Investigations of the nanostructure by transmission electron microscopy verify the predicted nanoporosity of the layers (Fig. 2).

With respect of the full complex of layer properties it seems therefore reasonable to have a certain fraction of nanosized pores in the layer, rather than to aspire completely pore-free layers.

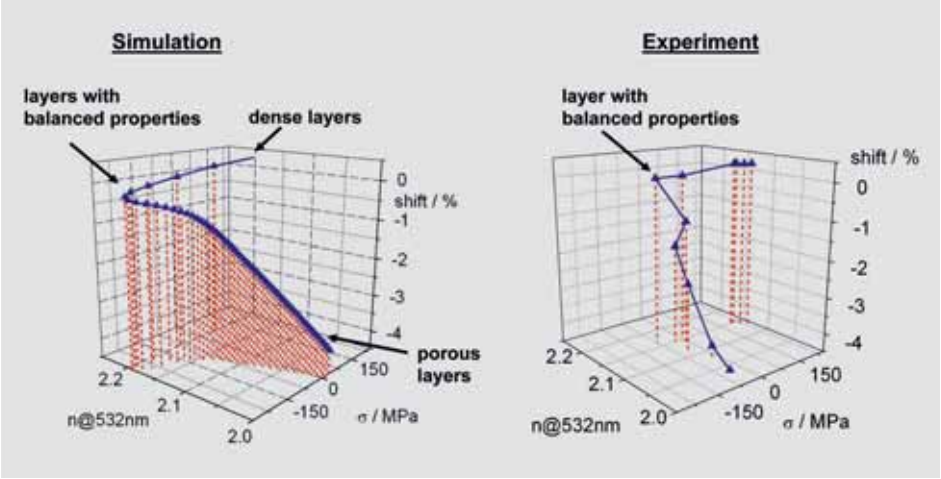


Abb. 1:
Links: simulierte Korrelation zwischen Brechzahl n, shift und Spannung σ.
Rechts: experimentelle Werte für Tantalpentoxidschichten (APS-Verfahren).

Fig. 1:
Left: simulated correlation between refractive index n, shift and stress σ.
Right: experimental data for tantalum pentoxide layers (APS-technique).

Abb. 2:
TEM-Querschnittsaufnahme der in Abb. 1 rechts markierten Tantalpentoxidprobe. Die Porenfraktion ist gut erkennbar, trotzdem ist die Probe shiftfrei.

Fig. 2:
TEM cross sectional image of the tantalum pentoxide sample marked in Fig. 1 on right by the arrow. The pores can be well identified, nevertheless the sample does not show any shift.

Mikroskopie im »Wasserfenster«

Sergiy Yulin

Viatcheslav Nesterenko

Torsten Feigl

Norbert Kaiser

Im ausgehenden 19. Jahrhundert entwickelte Ernst Abbe die Theorie der Lichtmikroskopie /1/. Zusammen mit Carl Zeiss konstruierte er das erste beugungsbegrenzte Mikroskop im Jahre 1886, dessen Auflösung durch die Lichtwellenlänge begrenzt war. Erst die Verfügbarkeit leistungsfähiger Röntgenoptiken sowie Röntgenquellen ermöglichen seit wenigen Jahren die Entwicklung kompakter Röntgenmikroskope für das »Wasserfenster«.

Dieser Wellenlängenbereich zwischen den K-Absorptionskanten von Sauerstoff (λ_{O2} = 2,3 nm) und Kohlenstoff (λ_C = 4,4 nm) ermöglicht die in-vivo-Abbildung biologischer Objekte mit einer Auflösung < 30 nm. Für die Mikroskopie wird ein sphärischer Multilayer-Kollektorspiegel als Beleuchtungsoptik verwendet, während die Abbildung und Vergrößerung des Objektes mit einer Fresnel-Zonenplatte realisiert wird. Da die Belichtungszeit zu untersuchender Objekte direkt proportional zur Reflektivität des Kollektorspiegels ist, wird eine möglichst hohe Reflektivität entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems. Am Fraunhofer IOF werden Cr/Sc Multilayer als Beschichtung für Röntgenmikroskopkollektoren verwendet. Eine Reflektivität von 20,2 % @ 3,12 nm /2/ konnte in der Vergangenheit mit barriereoptimierten Cr/Si-Systemen erreicht werden (Abb. 1).

Cr/Sc Multilayer wurden für eine Wellenlänge von 3,374 nm und einem Einfallswinkelbereich von 0,6° bis 1,5° durch Magnetronsputtern auf sphärischen Substraten mit einem Durchmesser von 58 mm abgeschieden. Die Röntgenreflexion des Kollektors wurde für verschiedene Radien gemessen (Abb. 2). Durch Optimierung des Multilayerdesigns sowie des Beschichtungsprozesses wurde eine Reflektivität von über 4,0 % @ 3,374 nm erreicht. Die Verbesserung des Kontrastes eines speziellen Elements kann durch die Abbildung bei zwei verschiedenen Wellenlängen erreicht werden. Die entsprechenden Wellenlängen können aus dem Spektrum durch unterschiedliche Kollektorbeschichtungen gefiltert werden.

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen einen zwei-Wellenlängen-Kollektor mit λ_1 = 3,435 nm und λ_2 = 3,745 nm und einem Durchmesser von 80 mm zur Analyse von Kalzium (λ_{Ca} = 3,582 nm). Durch Optimierung des Multilayerdesigns sowie des Beschichtungsprozesses wurden Reflektivitäten von 4,0 % @ 3,435 nm und 3,5 % @ 3,745 nm erreicht.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten (FKZ: 13N8917).

Literatur:

/1/ Abbe, E.:
Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung,
Arch. Mikrosk. Anat. 9, 1873.

/2/ Fraunhofer IOF Jahresbericht 2007.

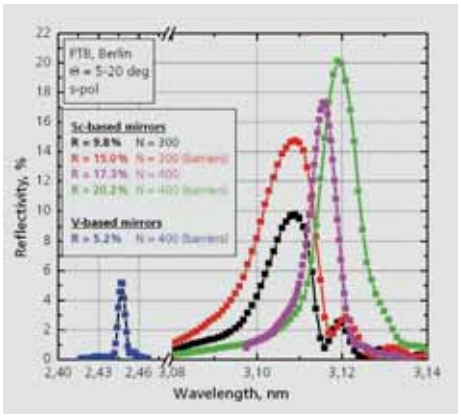


Abb. 1:
Reflektivität von Sc- und V-basierter Multilayer-Spiegel.

Fig. 1:
Enhanced reflectance of Sc- and V-based multilayer mirrors.

Microscopy in the "water window"

In the late 19th century, the theory of light microscopy was established by Ernst Abbe /1/, who – together with Carl Zeiss – constructed the first diffraction-limited microscope in 1886. The resolution in conventional microscopes is limited by the imaging wavelength. Recent technological progress in both soft X-ray optics and radiation sources triggered the development of compact soft X-ray microscopes in the "water window".

This wavelength region between the K-absorption edges of oxygen (λ_{O2} = 2.3 nm) and carbon (λ_C = 4.4 nm) provides both a natural contrast between materials containing carbon and water as well as extremely high resolution < 30 nm. A spherical condenser multilayer mirror operated at near-normal incidence is used as illumination optics while the soft X-ray microscope's magnification is realized with a Fresnel zone plate. Since the exposure time of the microscopes is directly proportional to the reflectance of the multilayer condenser, its optical performance is crucial for the overall performance of a soft X-ray microscope. At Fraunhofer IOF a high-reflective Cr/Sc multilayer system was used to coat soft X-ray microscope condensers. A reflectivity of 20.2 % @ 3.12 nm /2/ was currently achieved using Cr/Sc multilayer coatings with barrier layers (Fig. 1).

Cr/Sc multilayer mirrors were designed for the wavelength of 3.374 nm with incidence angles from 0.6 to 1.5 degrees and deposited by magnetron sputtering on spherical substrates with a diameter of 58 mm. In order to control the wavelength matching and reflectivity uniformity, soft X-ray reflectivity measurements were performed along a full diameter of the condenser (Fig. 2). The optimization of the multilayer design and deposition process of Cr/Sc multilayers resulted in a uniform reflectivity of more than 4.0 % @ 3.374 nm.

Improvement in contrast of one specific element can be carried out by measuring the transmission at two different wavelengths. The required wavelengths from the plasma spectrum can be filtered by a condenser reflecting two different wavelengths. The realization of such a special condenser optics (λ_1 = 3.435 nm and λ_2 = 3.745 nm) on a spherical substrate with a diameter of 80 mm for high-contrast analyses of calcium (λ_{Ca} = 3.582 nm) is shown in Fig. 3 and Fig. 4.

The optimization of the multilayer design and deposition process resulted in reflectivities of 4.0 % and 3.5 % at the required wavelengths of 3.435 nm and 3.745 nm respectively.

The authors acknowledge the financial support for this R & D work by the German federal ministry of education and research (BMBF) under contract number FKZ: 13N8917.

References:

/1/ Abbe, E.:
Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung,
Arch. Mikrosk. Anat. 9, 1873.

/2/ Fraunhofer IOF Jahresbericht 2007.

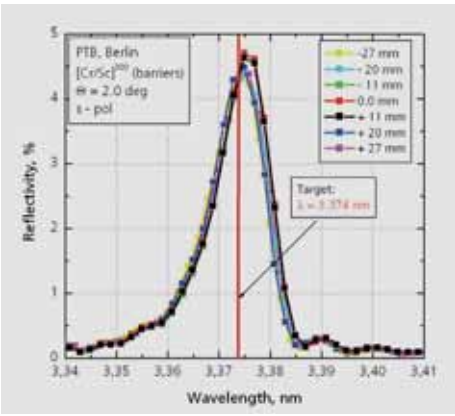


Abb. 2:
Reflektivität von Cr/Sc auf einem sphärischen Kollektor mit Ø 58 mm.

Fig. 2:
Reflectance of spherical Cr/Sc multilayer mirror with Ø 58 mm.

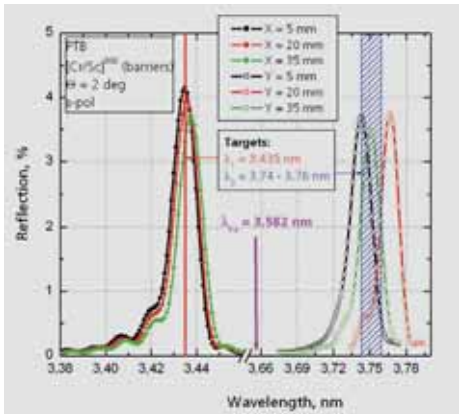


Abb. 3:
Reflektivität von Cr/Sc auf einem sphärischen Kollektor mit Ø 80 mm.

Fig. 3:
Reflectance of two Cr/Sc mirrors deposited on one spherical condenser with Ø 80 mm.

Abb. 4:
Kollektoroptik für die Mikroskopie im »Wasserfenster«.

Fig. 4:
Condenser optics for "water window" spectral range.

Makyoh-Imaging zur Charakterisierung von Oberflächendefekten

Alexander von Finck

Angela Duparré

Michael Pfeffer[1]

[1] Hochschule Ravensburg-Weingarten

Die Erkennung und Bewertung von Oberflächenstrukturen und -defekten ist ein wesentlicher Bestandteil der Prozess- und Qualitätskontrolle. Hierfür ist es notwendig, eine empfindliche, automatisierte, möglichst quantitative Oberflächeninspektion in die Produktion zu integrieren. Mit der Methode des Makyoh-Imaging wird ein relativ unbekanntes, jedoch vielversprechendes Prinzip genutzt, bei dem unter kollimierter Beleuchtung lokale konvexe und konkave Strukturen reflektierender Oberflächen die Strahlstärke im detektierten Reflex beeinflussen.

Das Verfahren basiert auf einem über 2000 Jahre alten Konzept: Bronzene Spiegel reflektierten unter Sonneneinstrahlung spezifische, meist religiöse Muster an Tempelwände, während auf der Spiegeloberfläche selbst keine Strukturen erkennbar waren (Abb. 1). Dieser Effekt gab den Spiegeln den Namen »Ma-Kyoh« (japanisch für magischer Spiegel). Durch Invertieren dieser antiken Methodik lässt sich umgekehrt aus dem Reflex auf Strukturen und Defekte der beleuchteten Oberfläche schließen. Die lokale Strahlstärkenmodulation lässt sich hierbei durch eine Funktion aus den lokalen Hauptkrümmungen der Oberfläche beschreiben, wodurch gerade Defekte nachweislich besser erkennbar sind als über Höhen- oder Gradientendaten der Oberfläche /1/.

Makyoh-Imaging bietet als Instrument zur Charakterisierung der Struktur reflektierender Oberflächen sowohl Ansätze qualitativer als auch quantitativer Art. Aufgrund der direkten Empfindlichkeit auf lokale Krümmungen weist das Verfahren bereits qualitativ ein hohes Potenzial in der Defekterkennung und Defektlokalisierung auf (Abb. 2). Für die quantitative Rekonstruktion der Oberflächenstruktur aus dem Makyoh-Bild wurde verschiedene Ansätze aufgezeigt /2/. Diese kann zum einen, analog zur Deflektometrie, über Strukturierung der kollimierten Beleuchtung erfolgen. Zum anderen ist auch eine direkte Rekonstruktion der Oberflächenstruktur, d. h. ohne Beleuchtungsstrukturierung, aus einem einzelnen Makyoh-Bild möglich.

Hierfür wurde am Fraunhofer IOF ein Messaufbau realisiert (Abb. 3), mit dem die Feinstrukturrekonstruktion der Oberfläche sowohl über Beleuchtungsstrukturierung, als auch auf Basis homogener unstrukturierter Beleuchtung möglich ist. Die rekonstruierten Oberflächen mit Höhenskalen im Bereich weniger Nanometer und einer lateralen Auflösung im Mikrometerbereich (Abb. 4 und 5) verdeutlichen die hohe Empfindlichkeit des Verfahrens mit Potenzial in der prozessnahen Real-Time Messtechnik.

Abb. 1:
Makyoh-Replik unter Sonnenbeleuchtung.

Fig. 1:
Makyoh replica illuminated by the sun.

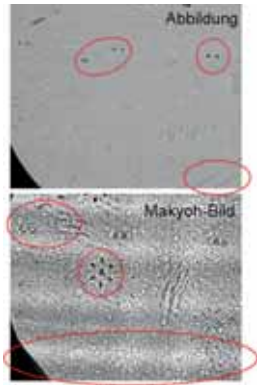


Abb. 2:
Qualitative Defektcharakterisierung an beschichtetem Si-Wafer: Vergleich Makyoh-Bild und optische Abbildung der Probenoberfläche (gleicher Probenausschnitt 16 x 13 mm²).

Fig. 2:
Located structures and defects in the same section (16 x 13 mm²) of a coated silicon wafer surface in the optical image (top) and the Makyoh image (bottom).

Surface defect analysis by Makyoh imaging

In process and quality control is a strong demand for the recognition and classification of surface structures and defects. Therefore, sensitive, automated, and preferably quantitative processes are needed. Makyoh imaging is a quite unknown, yet powerful optical characterization tool for surface analysis. Its operation principle is based on collimated sample illumination, where local convex and concave structures on the sample surface affect the intensity distribution in the reflected beam.

The principle of this technique is based on a more than 2000 years old concept: Bronze mirrors in Buddhist temples reflected specific, mostly religious patterns to temple walls when lightened by the sun, while on the reflecting surface itself no structures were recognizable (Fig. 1). This effect led to the Japanese name „Ma-Kyoh" (magic mirror). If this ancient methodology is inverted, it is reciprocally possible to characterize structures and defects of the illuminated surface from the reflected patterns. The intensity modulation by the sample is a function of the local principle curvatures of its surface. To inspect surfaces, curvature analysis is at this juncture in fact more sensitive to local defects when compared to gradient or height data analysis /1/, making Makyoh imaging a superior defect characterization and localization tool.

Makyoh imaging for characterization and defect inspection of reflective surfaces can be operated both in qualitative (Fig. 2) and quantitative mode. Different approaches were indicated for quantitative surface reconstruction from Makyoh images /2/. In analogy to deflectometry, this can be realized on the one hand by structuring of the collimated illumination. On the other hand it is possible to reconstruct the surface structure from a single Makyoh image without structured illumination.

For this purpose a Makyoh set-up was realized at the Fraunhofer IOF (Fig. 3), allowing surface reconstruction based on homogeneous unstructured illumination as well as on structured one. Calculated sample surfaces of measured Makyoh images showed lateral resolutions with micrometer scales and height variation up to a few nanometers (Fig. 4 and 5), demonstrating the high sensitivity of this real-time measuring technology.

References:

/1/ Knauer, M. et al.:
Höhe, Neigung oder Krümmung?,
DGaO-Proceedings 2006, ISSN: 1614-8436.

/2/ von Finck, A.; Duparré, A.; Pfeffer, M.:
Makyoh-Imaging zur Charakterisierung reflektierender Oberflächen, TM
(to be published).

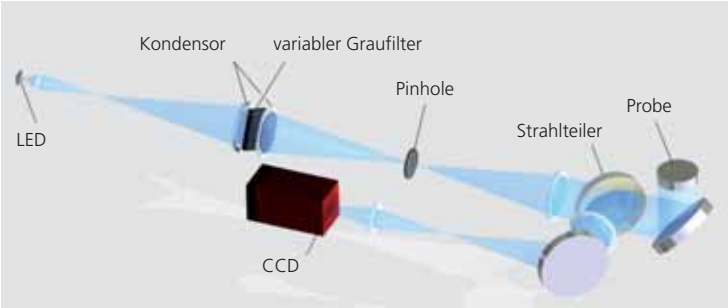


Abb. 3:
Realisierter Makyoh-Aufbau.

Fig. 3:
Realized Makyoh set-up.

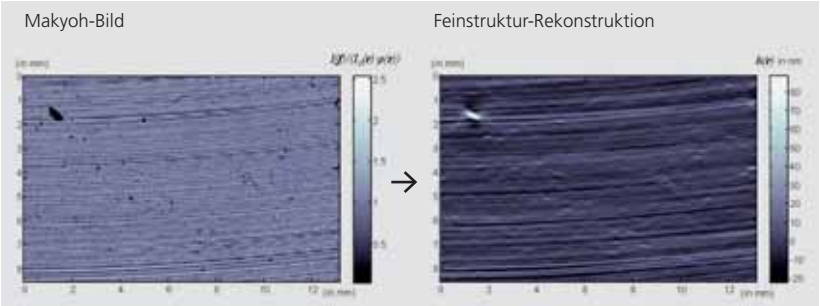


Abb. 4:
Makyoh-Bild einer polierten Glasprobe (links) mit rekonstruierter Feinstruktur ohne Beleuchtungsstrukturierung (rechts).

Fig. 4:
Makyoh image (left) with reconstructed surface (right) of a polished glass sample.

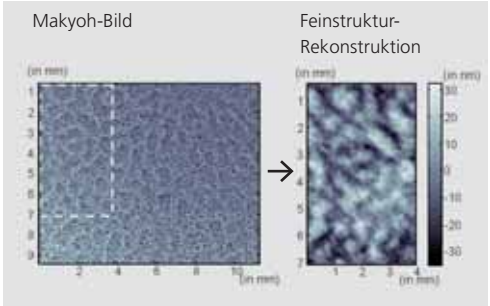
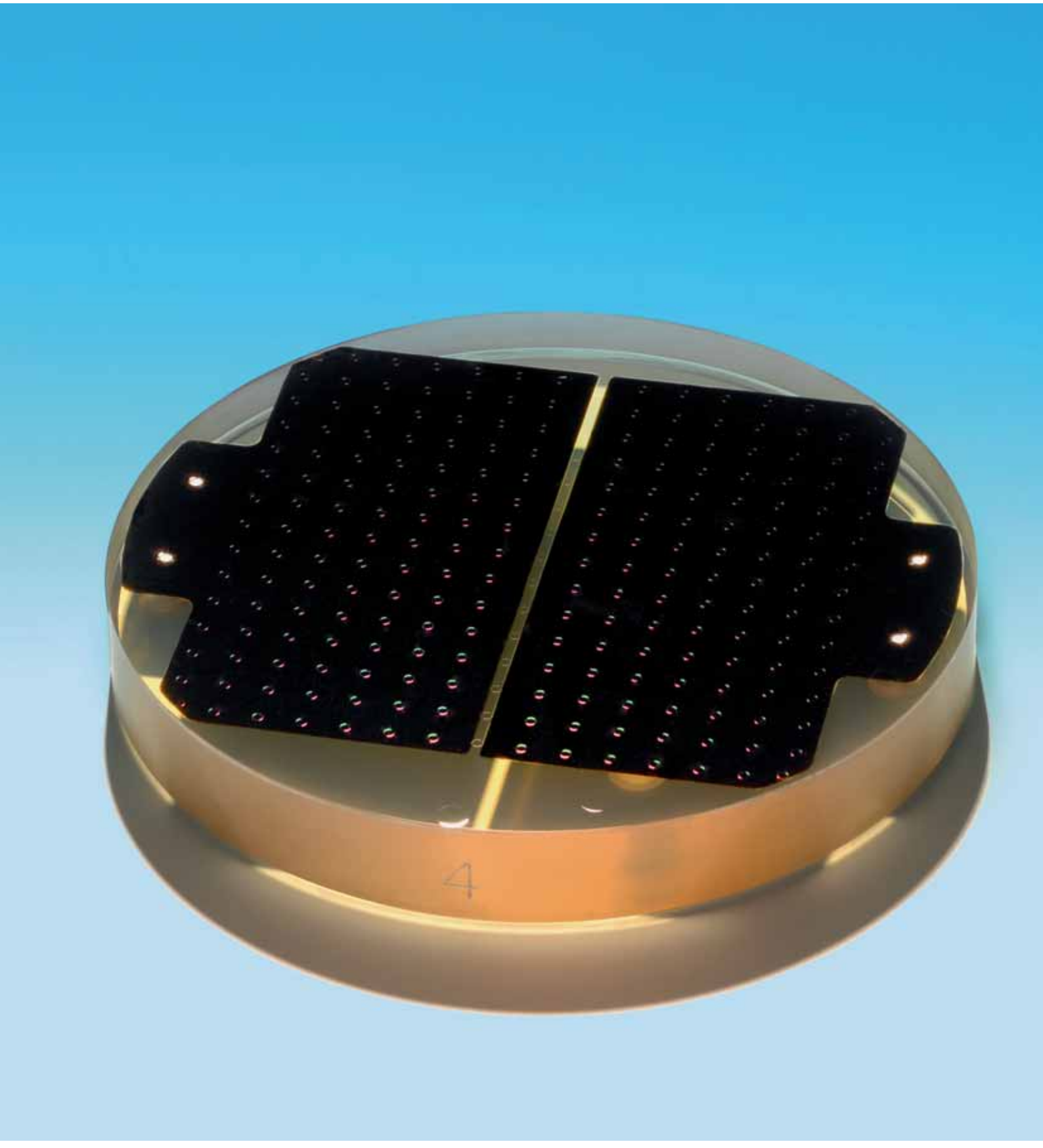


Abb. 5:
Makyoh-Bild eines beschichteten Silizium-Wafers mit »Orangenhaut«-Defekt (links) und rekonstruierter Feinstruktur über Beleuchtungsstrukturierung (rechts).

Fig. 5:
Makyoh image (left) with reconstructed surface (right) of a coated silicon wafer with "orange-peel" defect.

Optomechanische Präzisionssysteme

Opto-mechanical Precision Systems



THz-Bildgebung – von der Komponente zum System

Boris Pradarutti

Claudia Brückner

Stefan Riehemann

Gunther Notni

Gabor Matthäus[1]

Stefan Nolte[1]

Thomas Käsebier[1]

Ernst-Bernhard Kley[1]

Wolfgang Richter[2]

[1] Institut für Angewandte Physik, Friedrich-Schiller-Universität Jena

[2] BATOP GmbH

Einleitung

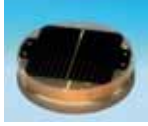
Der Frequenzbereich der Terahertz (THz)-Strahlung (10^{11} Hz bis 10^{13} Hz) bildet im elektromagnetischen Spektrum die Grenze zwischen der Infrarot- und der Mikrowellenstrahlung (Abb. 1). THz-Strahlung durchdringt die meisten Kunststoffe, Papier und Halbleiter, wird absorbiert von Wasser und reflektiert von Metallen. Zudem existieren viele Rotationsübergänge von interessanten Molekülen, so z. B. von organischen Substanzen, Medikamenten und illegalen Drogen, die man mit THz-Strahlung identifizieren und detektieren kann /1/.

Besonders die Erzeugung und Detektion von ultrakurzen THz-Pulsen führt zu zahlreichen potentiellen Anwendungen in der Spektroskopie und der Bildgebung. Die Nutzung von gepulsten Lasersystemen mit Pulsdauern von 200 fs und kürzer ermöglicht die Emission und kohärente Detektion ultrakurzer THz-Pulse mit nur einer Schwingung der elektrischen Feldstärke (Abb. 2). Die kohärente Detektion erlaubt die direkte Bestimmung der spektralen Amplitude und Phase, wobei sich aufgrund der Pulsform das Spektrum typischerweise über mehr als eine Dekade erstreckt. Des Weiteren sind Laufzeitmessungen der ultrakurzen THz-Pulse bis zu einer Genauigkeit unterhalb der Abtastpulsdauer möglich.

THz-Hochleistungsemitter

Als THz-Emitter haben sich hierbei vor allem ultraschnelle, photoleitende Schalter etabliert. Über Laserpulse werden kurzlebige Ladungsströme an Halbleiteroberflächen induziert. Abhängig von den spezifischen Materialparametern existieren die angeregten Ladungsträger nur für wenige Pikosekunden. Durch das Anlegen eines elektrischen Feldes werden die Elektronen beschleunigt und emittieren elektromagnetische Wellen im THz-Frequenzbereich. Da die abgegebene Leistung quadratisch von der Ladungsträgergeschwindigkeit abhängt, verwendet man bevorzugt mikroskopisch kleine Elektrodenabstände, was einerseits zu hohen Feldstärken im kV/cm-Bereich für die Beschleunigung der Elektronen führt, andererseits aber die eingestrahlte optische Leistung auf einige wenige Milliwatt beschränkt. Andernfalls würden die zu hohen Leistungsdichten eine Zerstörung des Halbleitermateriales herbeiführen. Bei den üblich eingesetzten THz-Emittern und zu erwartenden Konversionseffizienzen von 10^{-6} – 10^{-4} ergeben sich somit nur wenige Mikrowatt an nutzbarer THz-Leistung.

THz imaging – from the component to the complete system



Introduction

The frequency range of Terahertz radiation (10^{11} Hz bis 10^{13} Hz) represents the border of infrared and microwave radiation in the electromagnetic spectrum (Fig. 1). THz radiation penetrates paper, plastics, and semiconductors, is absorbed by water and reflected by metal. In addition many rotational transitions of interesting molecules, e.g. bio molecules, pharmaceuticals, and drugs can be identified and detected by THz radiation.

Especially the generation and detection of ultrashort THz pulses lead to many potential applications in spectroscopy and imaging. The use of pulsed laser systems with pulse durations of 200 fs and less allows the emission and detection of ultrashort THz pulses with only one oscillation of the electric field (Fig. 2). The coherent detection affords the direct measurement of the spectral amplitude and phase, whereas the spectrum ranges over more than one decade due to the pulse shape. Furthermore, time of flight measurements of the ultrashort pulses with accuracy better than the gate pulse length are possible.

THz high power emitter

For ultrashort pulse THz generation photoconductive switches are used. Transient photo currents are induced by femtosecond laser pulses. Depending on the material parameters, the currents exist only for a few picoseconds. By applying an electric field the electrons are accelerated and electromagnetic radiation in the THz frequency range is emitted. Because the emitted power depends quadratically on the electron velocity, small electrode distances are used. This gives high electric field strengths in the range of kV/cm, which leads to high electron acceleration, but the optical power is limited to several milliwatts due to the damage threshold of the semiconductor material. Thus, typical THz emitters with conversion efficiencies of 10^{-6} – 10^{-4} generate only several microwatts.

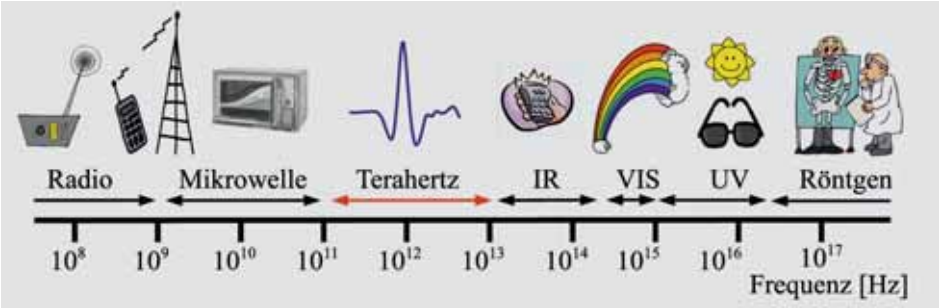
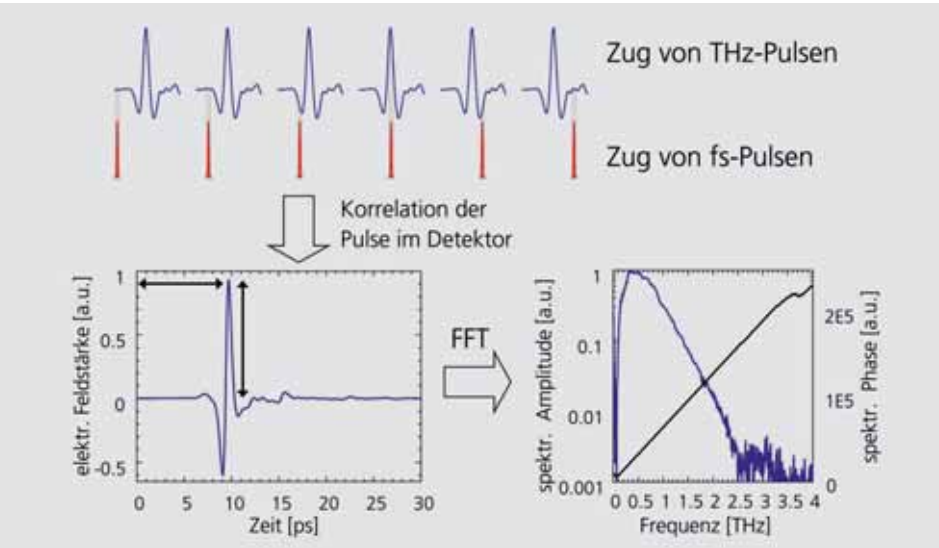


Abb. 1:
Elektromagnetisches Spektrum.

Fig. 1:
Electromagnetic spectrum.

Abb. 2:
Abtastung der THz-Pulse durch fs-Pulse (oben); resultierender zeitlich aufgelöster THz-Puls mit den Messgrößen Amplitude (vertikaler Pfeil) und Laufzeit (horizontaler Pfeil) (unten links); Spektrum des THz-Pulses (unten rechts).

Fig. 2:
Sampling of THz pulses by fs-pulses (top); resulting time resolved THz pulse with the measurands amplitude (vertical arrow) and time delay (horizontal arrow) (bottom left); spectrum of the THz pulse (bottom right).



In Zusammenarbeit mit der BATOP GmbH und dem Institut für Angewandte Physik (IAP) wurde ein neuartiger großflächiger Emitter entwickelt, welcher einerseits die Erzeugung hoher interner Feldstärken erlaubt, andererseits aber dennoch mit mehreren Watt optischer Leistung betrieben werden kann. Dieser Emitter basiert auf einem hexagonalen Mikrolinsensystem welches über einer Fingerelektrodenstruktur auf GaAs angeordnet ist /2/ (Abb. 3). Bei optischer Beleuchtung werden Hunderte einzelne THz-Quellen aktiviert, welche sich im Fernfeld konstruktiv überlagern. Für eine Anregungsleistung von ca. 3 W wurden 0,28 mW mittlere THz-Leistung gemessen. Dieser Wert übersteigt die Ausgangsleistung vergleichbarer Emittertypen um das 10- bis 100-fache. Somit würden zukünftige THz-Zeitbereich-Spektrometer basierend auf diesen Mikrolinsen-Emittern bei gleichem Signal – Rausch – Verhältnis etwa nur ein Zehntel der Messzeit benötigen.

THz-Optiken – Entspiegelung

Für die Optikkomponenten werden im THz-Bereich meistens reflektive Optiken eingesetzt, da viele für optische Komponenten genutzte Materialien wie Glas oder Kunststoff die THz-Strahlung absorbieren. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von hochohmigem Fließzonen-Silizium, eines der für THz-Strahlung hochtransparenten Materialien. Der hohe Brechungsindex von 3,42 erlaubt die Entwicklung von Optiken für den THz-Spektralbereich mit großer Apertur und zur Abbildung großer Felder. Allerdings führen die mit dem hohen Brechungsindex verbundenen Fresnelreflexionen zu großen Transmissionsverlusten und störenden Nachpulsen in Abbildungssystemen.

Aufgrund fehlender Materialien für eine breitbandige Entspiegelung im THz-Spektralbereich mittels Interferenzschichtsystemen wurde am Fraunhofer IOF erstmals die Entspiegelung durch Mikrostrukturen erreicht. Dabei ist die Strukturperiode kleiner als die Wellenlänge der verwendeten Strahlung, so dass sie von der Strahlung nicht aufgelöst werden kann und die Ausbreitungsrichtung des Lichts nicht beeinflusst. So kann durch Oberflächenstrukturen mit steigendem Füllfaktor ein effektiver Brechzahlverlauf von Luft zum Substratmaterial erzeugt werden. Die erforderlichen Strukturparameter für den THz-Spektralbereich (Periode 50 µm, Tiefe 500 µm) können durch tiefes reaktives Ionenätzen (Bosch®-Prozess) hergestellt werden.

Abbildung 4 zeigt eine derartige Ätzstruktur. Dabei wird mit abwechselnden Gasarten geätzt (»Gas Chopping«), d. h. Passivierungs- und isotrope Ätzzyklen wechseln sich ab. Dadurch wird eine Anisotropie des Ätzprozesses erreicht. In einem ersten Schritt wurden binäre Strukturen mit einem Aspektverhältnis von über 1 : 10 auf Silizium-Wafern hergestellt. Dabei konnte die Transmission um über 20 % gesteigert werden. Als nächstes erfolgte eine Optimierung des Ätzprozesses zur Realisierung von geringen positiven Flankenwinkel (ca. 2,5°) .

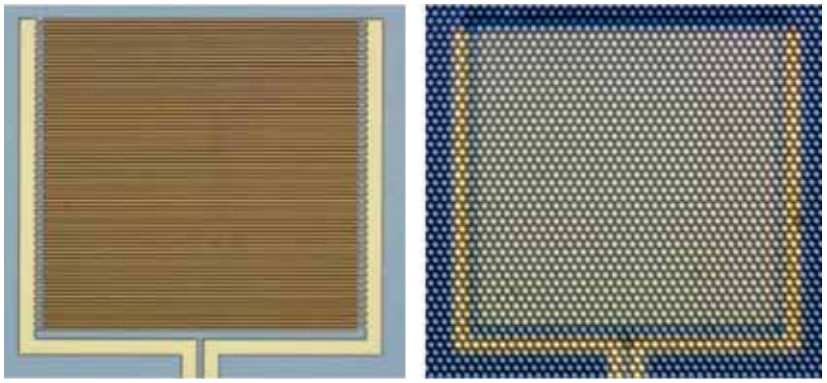
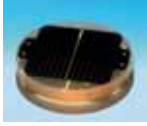


Abb. 3:
Großflächiger Fingerelektrodenemitter vor (links) und nach (rechts) der Kombination mit einem hexagonal angeordneten Mikrolinsensystem. Der Abstand zwischen den einzelnen Elektroden beträgt 5 µm.
Die gesamte aktive Fläche ist 1 mm² groß.

Fig. 3:
Large area interdigital emitter before (left) and after (right) the attachment of a hexagonal microlens array. The distance between the electrodes is 5 µm. The resulting active area is 1 mm².



In cooperation with BATOP GmbH and the Institute of Applied Physics (IAP) a new large area emitter has been developed, allowing both the generation of high power electric field strengths and the use of several watts of optical power. The emitter is based on a hexagonal microlens array which is placed on an interdigital electrode structure located on lt-GaAs (Fig. 3) /2/. By irradiating the array, several hundred THz sources are excited which interfere constructively in the far field. For an excitation power of 3 W ca. 0.28 mW average THz power has been measured. This value exceeds the output power of other THz emitters by a factor of 10 to 100. With such a high power emitter, THz time domain spectrometers based on microlens emitters with the same signal will only need about one tenth of measurement time.

THz optics – antireflection treatment

For the optic components, reflective optics are often used in the THz range. Many materials typically used for optical components like glass or plastics absorb THz radiation. Another possibility is the use of high resistive float zone silicon, one of the most transparent materials in the THz range. The high refractive index of 3.42 allows the development of optical components with high apertures and for the imaging of large fields. But the high refractive index is associated with Fresnel reflections leading to high transmission losses and secondary pulses.

Due to missing materials for broadband antireflection layers in the THz spectral range by interference layers the anti-reflective treatment by microstructures has been demonstrated for the first time by the Fraunhofer IOF. The structure period is thereby smaller than the wavelength of the radiation and does not influence the propagation direction of the radiation. So by an increasing fill factor an effective refractive index progress can be generated from air to the substrate material. The required structure parameters for the THz spectral range (period 50 µm, depth 500 µm) can be realized by deep reactive ion etching (Bosch® process).

Fig. 4 shows such structures. They are etched by alternating gases, whereby passivation and isotropic etch cycles take turns. In the first step, deep binary structures with an aspect ratio of 1 : 10 have been realized on a silicon wafer. Thereby the transmission has been increased by 20 %. In a next step the etching process will be optimized to small slopes (ca. 2.5°).

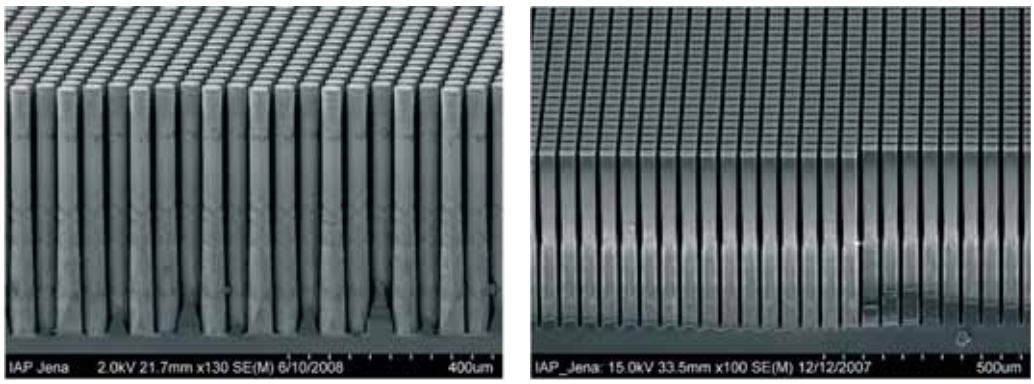


Abb. 4:
Anti-Reflex-Strukturierung von Silizium: hexagonales Gitter (links), rechteckiges Gitter (rechts).

Fig. 4:
Antireflection-structure of silicon: hexagonal grating (left), rectangular grating (right).

THz-Mehrkanaldetektion

Zur Detektion wird der THz-Puls auf einen Halbleiter mit einer Elektrodenstruktur, einer photoleitenden Antenne, fokussiert. Der THz-Puls induziert eine Spannung zwischen den Elektroden. Wenn gleichzeitig ein fs-Puls zwischen die Elektroden fokussiert wird, fließt ein Strom proportional zur momentanen elektrischen Feldstärke des THz-Pulses. Da der fs-Puls eine Größenordnung kürzer als der THz-Puls ist, kann durch eine zeitliche Verzögerung der beiden Pulse die elektrische Feldstärke zeitlich aufgelöst abgetastet werden (Abb. 2). Durch die Antennengeometrie und die daraus resultierende Spotgröße und Justagegenauigkeit des fs-Strahls von wenigen Mikrometern wurden bisher nur Systeme mit einem Detektionskanal verwendet.

Am Fraunhofer IOF wurde erstmals ein Linienarray von photoleitenden Antennen mit 16 Detektionskanälen entwickelt. Dabei wird jeder einzelne photoleitende Schalter durch den Fokus einer Mikrolinse angeregt (Abb. 5). Der Fokus der Mikrolinsen liegt auf der Rückseite des Substrats, so dass das Mikrolinsenarray direkt auf den Wafer aufgebracht und mit einer sub-Mikrometer Genauigkeit justiert werden kann. Durch die simultane Detektion von 16 ultrakurzen THz-Pulsen konnte die Messgeschwindigkeit um mehr als eine Größenordnung gesteigert werden /4/. Das Verfahren ist sehr gut skalierbar und ein System mit 128 Detektionskanälen ist bereits in Planung.

Mobiles THz-Bildgebungssystem

Für die Bildgebung mit ultrakurzen THz-Pulsen wurden die vorgestellten Techniken in einem portablen System integriert (Abb. 6). Dabei wird eine Linie von ultrakurzen THz-Pulsen erzeugt und in die Probe fokussiert. Die transmittierte Linie der THz-Strahlung wird dabei durch mehrere Detektionskanäle simultan detektiert. Die Probe wird durch den Linienfokus abgerastert und die detektierten THz-Pulse hinsichtlich Amplitude und Laufzeit ausgewertet (Abb. 2). Mit Hilfe dieses portablen THz-Systems können verschiedenste Proben aus den Bereichen Sicherheitstechnik und Qualitätsmanagement untersucht werden (Abb. 7 und Abb. 8).

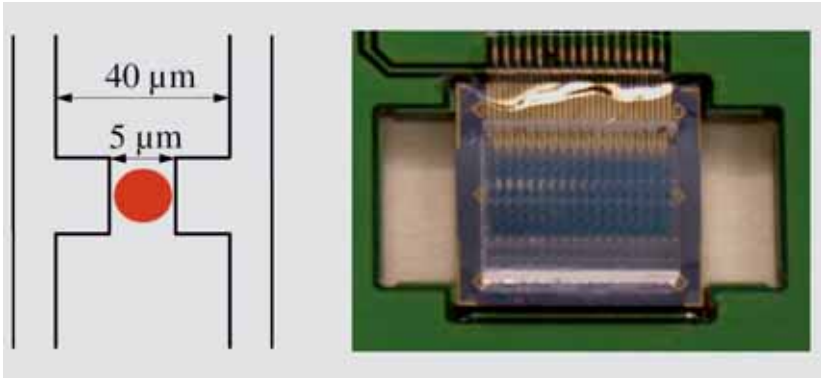


Abb. 5:
Schematische Darstellung der Elektroden einer photoleitenden Antenne (links) mit Anregungsspot (rot), 16-Kanal-Detektor mit Mikrolinsenarray (rechts).

Fig. 5:
Schematic view of the electrodes of a photoconductive antenna with excitation spot (red) (left), 16-channel-detector with microlens array (right).

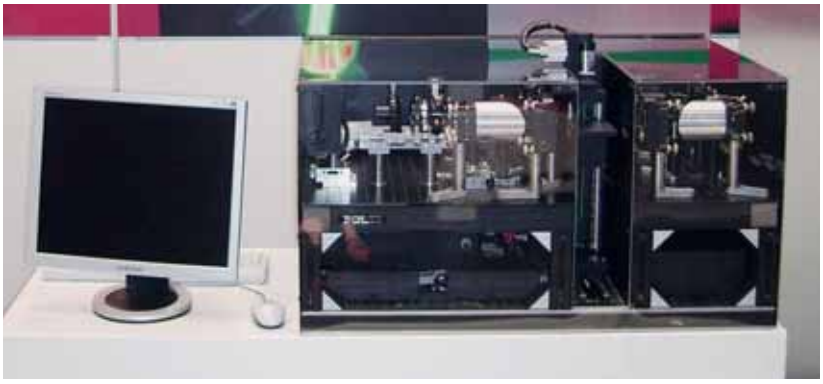
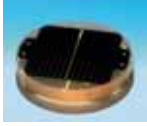


Abb. 6:
Portabler Systemdemonstrator mit Liniendetektion.

Fig. 6:
Portable system demonstrator with line detection.



THz multichannel detection

For detection, the THz pulse is focused to a semiconductor with an electrode structure, a photoconductive antenna. The THz pulse induces a voltage between the electrodes. If an fs-pulse is focused between the electrodes, a current proportional to the electrical electric field strength of the THz-pulse is generated. Because the fs-pulse is an order of magnitude shorter than the THz pulse, the electric field trace can be time-resolved sampled by a time delay between the two pulses (Fig. 2). Due to the antenna geometry, the resulting spot size and the adjustment accuracy of the fs-beam THz systems have up to now had only one detection channel. At the Fraunhofer IOF an array of photoconductive antennas with 16 detection channels has been developed for the first time. Every single photoconductive switch is excited by the spot of a microlens (Fig. 5). The foci of the lenses are at the backside of the substrate, so that the microlens array can be attached to the antennas and adjusted with sub-micron precision. By the simultaneous detection of 16 ultrashort pulses the measurement speed can be accelerated by an order of magnitude /4/. This technique is scaleable to a high number of detection channels and a system with 128 detection channels is in development.

Mobile THz imaging system

For THz ultrashort pulse imaging the presented techniques have been integrated into a portable system (Fig. 6). In this process, a line of THz pulses is generated and focused into the sample. The transmitted line of THz pulses is detected simultaneously by several detection channels. The sample is scanned through the line focus and the detected pulses are analyzed with respect to amplitude and time delay (Fig. 2). With the help of this system demonstrator, different samples from security applications or quality management can be investigated (Fig. 7 and Fig. 8).

Abb. 7:
Untersuchung von Paketen und Briefen zur Sicherheitskontrolle: Photo (links), THz-Absorption (rechts).

Fig. 7:
Analysis of letters and parcels for security checks: photo (left), THz absorption (right)

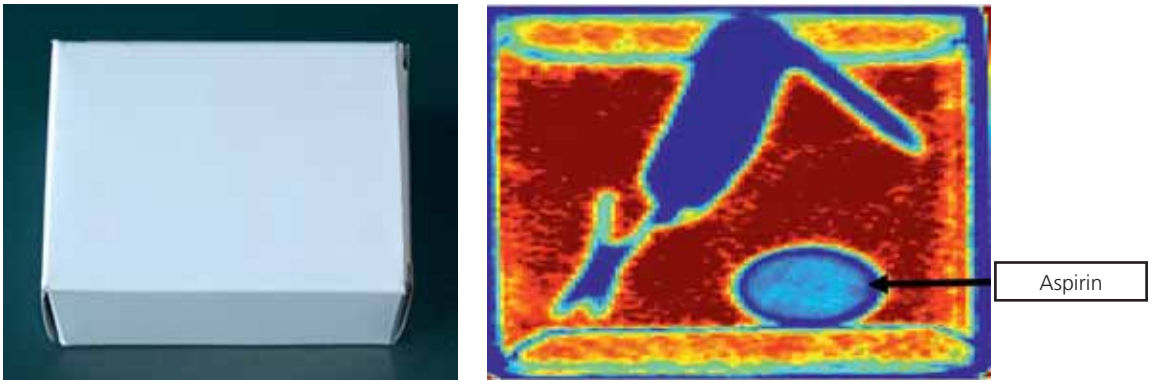
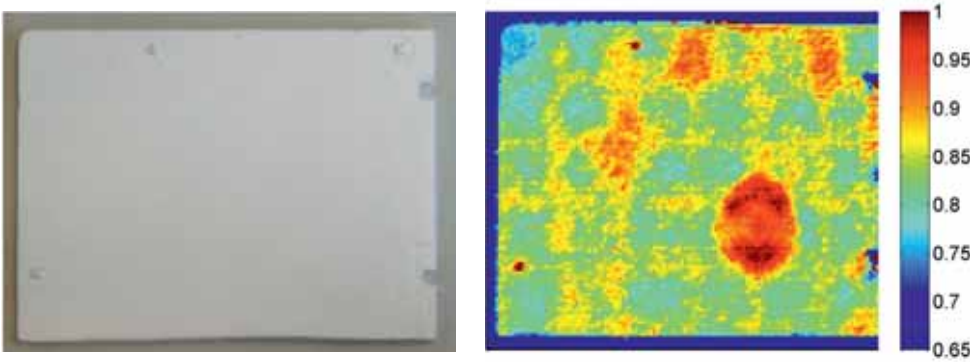


Abb. 8:
Untersuchung von Polystyrol auf Inhomogenitäten: Photo (links), THz-Puls-Zeitverzögerung (rechts).

Fig. 8:
Analysis of polystyrol in respect of inhomogeneities: photo (left), THz pulse delay (right).



Tomographie

Aufgrund der zeitaufgelösten Detektion bieten ultrakurze THz-Pulse neue Möglichkeiten für den Einsatz in der Schichtdickenmessung an optisch nichttransparenten Schichten und in der Tomographie. So erlaubt die gleichzeitige Messung von Amplitude und Laufzeit der THz-Pulse in Transmission und Reflexion die innere Struktur aufzulösen. Abbildung 9 zeigt hier die Vermessung der Schichtdicke einer Wärmeschutzschicht aus ZrO auf einem Turbinenblatt.

Über Anwendungen in der Tomographie mit ultrakurzen THz-Pulsen wurde bisher entweder nur in Transmission oder nur in Reflexion berichtet. Am Fraunhofer IOF wurde erstmals ein System mit drei Detektionskanälen aufbaut, das gleichzeitig sowohl in Transmission als auch in Reflexion (unter 0° und unter 15°) detektiert. Für eine Messung wird das Objekt in einem THz-Strahlfokus platziert und sowohl verschoben als auch gedreht, wobei jeweils ein ultrakurzer THz-Puls aufgenommen wird. Aus den gewonnenen THz-Zeitbereichsdaten werden erst die einzelnen THz-Pulse extrahiert und evtl. Mehrfachpulse, die z. B. durch Reflexionen an Grenzflächen entstehen, aufgelöst. Durch verschiedene Algorithmen kann ein zweidimensionales Bild (axial und lateral) berechnet werden (Abb. 10). Dabei steht die Algorithmik zur Berücksichtigung von Laufzeiten und Mehrfachpulsen noch am Anfang der Entwicklung und ist Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten.

Gefördert im Rahmen der internen Programme der FhG (MAVO 813907).

Literatur:

/1/ Riehemann, S., Pradarutti, B.; Notni, G.: Kompakte THz-Imaging Systeme unter Nutzung von fs-Faserlasern, Optik und Photonik, Vol. 1 S. 39–43 (2007).

/2/ Matthäus, G.; Nolte, S.; Hohmuth, R.; Voitsch, M.; Richter, W.; Pradarutti, B.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.: Microlens coupled interdigital photoconductive switch, Appl. Phys. Lett. 93, 091110 (2008).

/3/ Brückner, C.; Käsebier, T.; Pradarutti, B.; Riehemann, S.; Notni, G.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.: Broadband Antireflective Structures for the THz Spectral Range Fabricated on High Resistive Float Zone Silicon, Joint 33rd Intl. Conference on Infrared and Millimeter Waves and 16th Intl. Conference on Terahertz Electronics (IRMMW & THz) 2008.

/4/ Pradarutti, B.; Müller, R.; Freese, W.; Matthäus, G.; Riehemann, S.; Notni, G.; Nolte, S.; Tünnermann, A.: Terahertz line detection by a microlens array coupled photoconductive antenna array, Optics Express 16, 18443–18450 (2008).

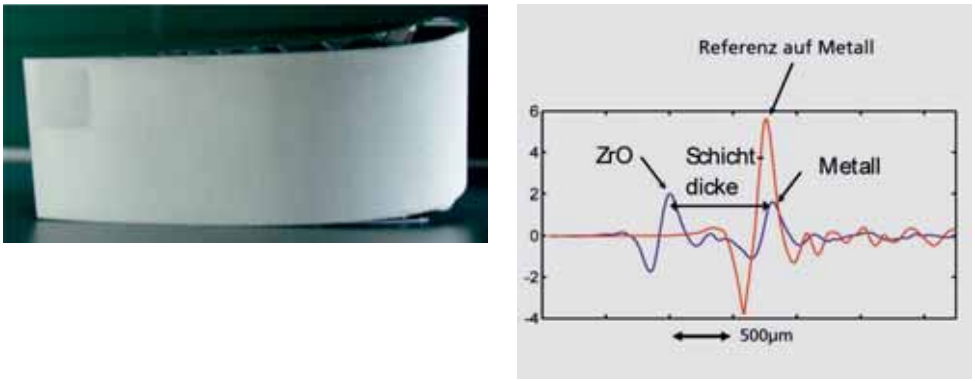
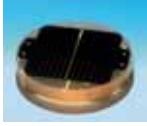


Abb. 9:
Bestimmung der Schichtdicke einer Wärmeschutzschicht auf einem Turbinenblatt (links), Ergebnis der Schichtdickenmessung (rechts).

Fig. 9:
Determination of the coat thickness of a heat shield on a turbine wheel: photo (left); Results of the coat thickness measurement (right).



Tomography

The time resolved detection of ultrashort THz pulses offers new possibilities in coat thickness measurements of optical opaque materials and tomography. The simultaneous measurement of amplitude and time delay offers the possibility to resolve the inner structure of samples. Figure 9 shows the thickness measurement of a ZrO heat protection shield of a turbine wheel.

Tomography with ultrashort THz pulses has been shown only in transmission or reflection up to now.

At the Fraunhofer IOF for the first time a system with 3 detection channels has been developed, that can measure in transmission and reflection (0° and 15°). For a measurement, the sample is placed in the focus and both moved and rotated, whereby at each position an ultrashort pulse is measured in transmission and reflection. The single or multiple THz pulses, which are generated by reflections at borders or etches, are extracted out of the time domain data. By applying different algorithms, a two dimensional picture (axial and lateral) can be calculated (Fig. 10). Thereby the algorithmic has just started to develop and is an active area of research.

This work is supported by the FhG internal program (MAVO 813907).

References:

/1/ Riehemann, S., Pradarutti, B.; Notni, G.: Kompakte THz-Imaging Systeme unter Nutzung von fs-Faserlasern, Optik und Photonik, Vol. 1 S. 39–43 (2007).

/2/ Matthäus, G.; Nolte, S.; Hohmuth, R.; Voitsch, M.; Richter, W.; Pradarutti, B.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.: Microlens coupled interdigital photoconductive switch, Appl. Phys. Lett. 93, 091110 (2008).

/3/ Brückner, C.; Käsebier, T.; Pradarutti, B.; Riehemann, S.; Notni, G.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.:
Broadband Antireflective Structures for the THz Spectral Range Fabricated on High Resistive Float Zone Silicon,
Joint 33rd Intl. Conference on Infrared and Millimeter Waves and 16th Intl. Conference on Terahertz Electronics (IRMMW & THz) 2008.

/4/ Pradarutti, B.; Müller, R.; Freese, W.; Matthäus, G.; Riehemann, S.; Notni, G.; Nolte, S.; Tünnermann, A.:
Terahertz line detection by a microlens array coupled photoconductive antenna array,
Optics Express 16, 18443–18450 (2008).

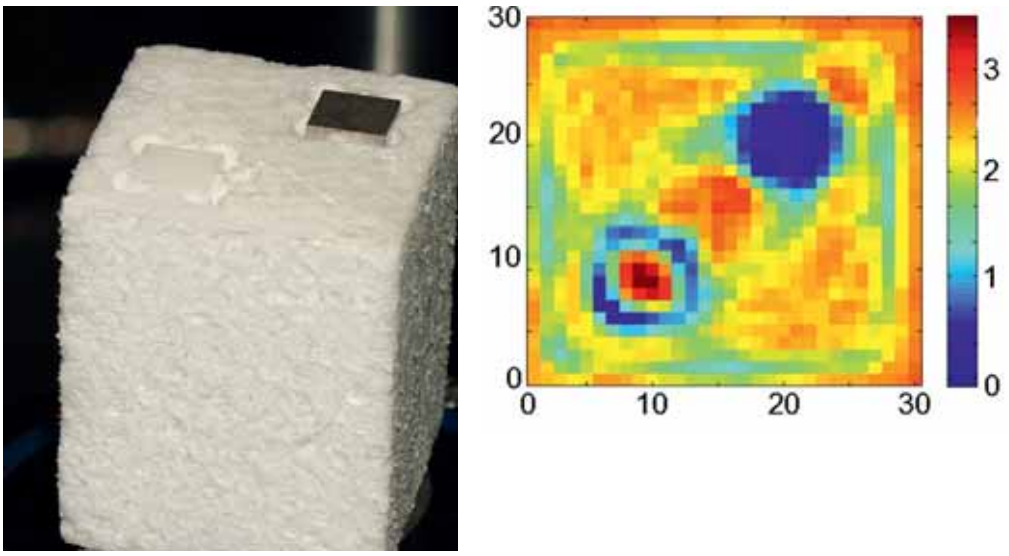


Abb. 10:
Testobjekt zur Tomographie bestehend aus Polystyrol, Teflon und Metall (links), Rekonstruktion des Testobjekts aus den Transmissionsdaten (rechts).

Fig. 10:
Sample for tomography consisting of polystyrol, teflon and metal (left); reconstruction of the sample out of the transmission data (right).

Optikproduktion – Qualitätsüberwachung mit dem optischen 3D-Multi-Sensorsystem »kolibri MULTI lens«

Peter Kühmstedt

Matthias Heinze

Ingo Schmidt

Christian Bräuer-Burchardt

Gunther Notni

Wolfram Wintzer[1]

[1] DOCTER OPTICS GmbH

Im Blickpunkt einer sich stetig verändernden und modernisierenden Optikproduktion, z. B. durch Blankpressen und Spritzgießen, kommt der Fertigung von Freiformoptiken eine immer umfassendere Bedeutung zu. Diese Optikkomponenten weisen komplexe Oberflächenformen auf und können daher in der Regel nicht mit interferometrischen Methoden vermessen werden. Die Genauigkeitsanforderungen liegen im Bereich von einem bis wenigen µm. Dies erfordert sowohl sehr variable Messfelder als auch unterschiedliche Messgenauigkeiten sowie eine weitgehende Rundumerfassung.

Zur Lösung dieser Aufgabe wurde ein Messsystemkonzept entwickelt, welches in einer Systemanordnung mehrere Sensorlösungen mit verschieden großen Messfeldern vereint. Das Messprinzip beruht auf der Stereoauswertung von Streifenprojektionsbildern mittels Phasenkorrelation. Die Multi-Sensormesszelle »kolibri multi« kann simultan bis zu vier unterschiedliche Streifenprojektionsmessköpfe mit Messfeldern von 20 mm, 40 mm, 90 mm und 180 mm Durchmesser enthalten.

Ein wesentliches Merkmal des Systems ist, dass die Auswahl des der Objektgröße angepassten Sensors ausschließlich mittels Software erfolgt und ohne dass ein Umbau des Systems (z. B. Tausch der Abbildungsoptiken und eine damit verbundene Neukalibrierung) notwendig ist. Abbildung 1 zeigt die Grundanordnung, welche ein 40 mm und ein 180 mm Messfeld beinhaltet.

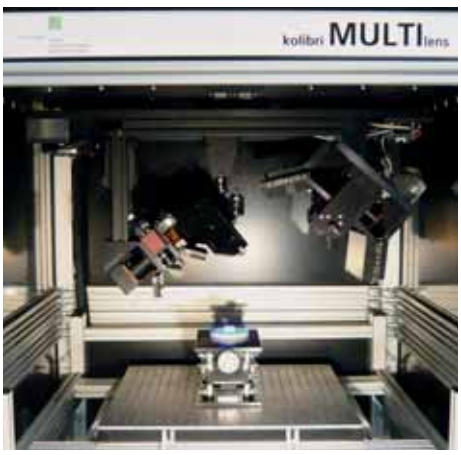


Abb. 1:
Grundanordnung des Multi-Sensorsystems »kolibri MULTI lens«.

Fig. 1:
Basic arrangement of the multi sensor system "kolibri MULTI lens".

Durch Bewegung der Sensoren auf einer Kreisbahn und Änderung der Messrichtung mit einem Kippspiegelsystem wird eine Multi-view-Rundummessung ermöglicht. Das Messobjekt liegt dabei auf einem Tisch. Damit können sowohl die Oberseite und ihre Strukturen als auch die Seitenbereiche mit einer sehr guten Vollständigkeit erfasst werden. Die Messabläufe sind komplett automatisiert.

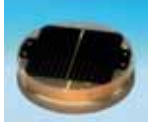
Im Folgenden werden als Beispiele für die hochgenaue Vermessung optischer Freiformen Messergebnisse eines mittels Blankpressen hergestellten Linsenarrays (Abb. 2) und einer Miniaturlinse für LED-Beleuchtungssysteme (Abb. 3) gezeigt.

Im Beispiel des Linsenarrays illustriert eine Darstellung als STL-Fläche und die Abweichung zur Sollform als Farbdifferenzbild das Messergebnis. Im Beispiel der LED-Linse wird ein Bild des Messobjekts, die Abweichung zur Sollform als Farbdifferenzbild und eine Schnittdarstellung der Überlagerung von Messdaten und Sollform gezeigt. Gut zu erkennen sind systematische ringförmige Formabweichungen im Sockelbereich und in einer mittleren Zone. Die Messzeit für solche Messungen liegt bei ca. 2 min und die Messgenauigkeit je nach Messfeld bei 1 µm bis 10 µm.

Weitere Anwendungen sind die Vermessung von Werkzeugen und Formeinsätzen.

Seit Anfang 2008 nutzt die Firma DOCTER OPTICS GmbH in Neustadt/Orla dieses System bei der Qualitätsprüfung optischer Komponenten.

Optic production – quality control by the optical 3D multi sensor system "kolibri MULTI lens"



The production of free forms is becoming more and more importance in the focus of an optical industry which is permanently changing and developing. Such free forms usually have complex surface shapes and can usually not be measured by interferometric methods. The demands to the measuring accuracy range between one and a few µm. This requires variable fields of measurement as well as different measuring accuracies and an almost complete whole body measurement.

In order to solve this task a concept of a measuring system was developed which brings together several sensor heads with measuring fields of different size. The measuring principle is based on stereo processing of fringe projection images by means of phase correlation. The measuring cell "kolibri multi lens" can contain four different fringe projection sensor heads, realizing measuring fields of 20 mm, 40 mm, 90 mm, and 180 mm in diameter.

An essential property of the system is that the selection of the sensor according to the object size will be performed exclusively by software means without the need for rebuilding (e.g. change of the lenses with a necessary new calibration) the system. Figure 1 shows the basic arrangement of the system with two measuring fields of 40 mm and 180 mm.

By movement of the sensors on an orbit and change of the measuring direction using a tilting mirror system, a multi-view whole-body measurement will be achieved. The measuring object here is fixed on a table. So both the upper surface as well as the side bands can be captured with sufficient completeness. The measuring process works totally automatically.

In the following, some examples for high precision measurement of optical free forms are given. The first one is the measurement of a lens array (Fig. 2) produced by a blank molding press and the next one a miniature lens for LED illumination systems (Fig. 3).

An STL-surface representation and a color coded difference plot of the target/actual comparison illustrates the measuring result in the case of the lens array. In the second example of the miniature lens, a photograph of the measuring object, a color coded difference image of the target/actual comparison and a cut line representation of the measuring values and CAD data are shown. Systematic deviations in the middle and the base region are obvious. The measuring time for such measurements is about two minutes and the measuring accuracy between 1 µm and 10 µm depending on the size of the measuring field.

Further application fields are the measurement of tools and mold inserts.

Since 2008, DOCTER OPTICS GmbH in Neustadt/Orla has been using this system for the quality control of optical components.

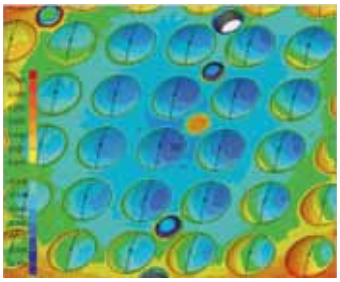
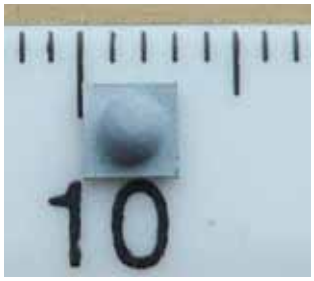
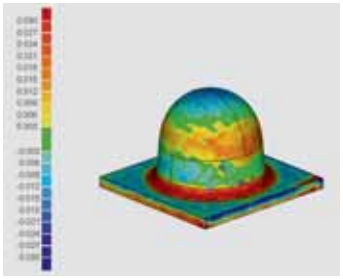


Abb. 2:
Vermessung eines Linsenarrays
(links: STL-Darstellung;
rechts: farbcodierter SOLL-IST-Vergleich).

Fig. 2:
Measurement of a lens array
(left: STL-representation;
right: color coded target/actual
comparison).





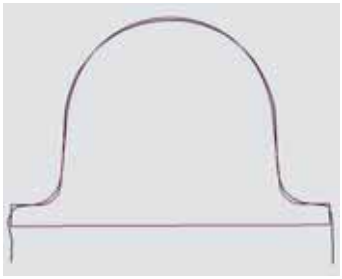


Abb. 3:
Vermessung einer LED-Linse
(links: Foto der Linse;
Mitte: farbcodierter SOLL-IST-Vergleich;
rechts: Schnittliniendarstellung).

Fig. 3:
Measurement of a LED lens
(left: photograph; middle: color coded
target/actual comparison; right: cut line
comparison).

LED-Straßenleuchten

Sergey Kudaev

Bernd Höfer

Andreas Bräuer

Jürgen Klaus[1]

[1] 2K Moxa Lighting

Die Einsparung von Energie rückt immer mehr ins Blickfeld der öffentlichen Wahrnehmung. Photonik und Optoelektronik haben das Potenzial, in verschiedenen Anwendungsbereichen Lösungen für die sogenannte »Grüne Revolution« anzubieten.
Bis zu 25 % des weltweiten Elektroenergieverbrauchs wird heute allein für Beleuchtungszwecke im Außenbereich verbraucht. Abhilfe kann der Einsatz moderner Hochleistungs-LEDs schaffen, deren sogenannte »efficacy« (Effizienz der Konversion von elektrischem Strom in Licht) die der meisten konventionellen Lichtquellen übersteigt. Der Einsatz hocheffizienter Festkörperlichtquellen führt nicht nur zu bemerkenswerten Einsparraten im Energieverbrauch, vielmehr werden sie auch die insbesondere bezüglich der Entsorgung sehr teuren Quecksilberdampflampen ersetzen.
Ein weiterer Vorteil ist die größere Farbtiefe im Vergleich mit den gelben Natrium-Dampflampen. Die extrem lange Lebensdauer von Halbleiterlichtquellen kann die relativ hohen Installationskosten kompensieren, so dass die gesamten Betriebskosten inklusive der Wartungsgebühren das Niveau konventioneller Lichtquellen nicht übersteigen.
Diese Anforderungen an eine »Grüne Beleuchtung« und die Vermeidung von sogenanntem Lichtsmog, das heißt das Licht nur dahin zu leiten, wo es auch gebraucht wird, sind nur durch die Entwicklung von entsprechenden Optiken zu erfüllen.

Abb. 1:
Mehrkanalige Optik.

Fig. 1:
Multichannel optics.

Der für Außenbeleuchtungen geforderte Lichtfluss kann durch Verwendung von Vielfach-LEDs oder LED-Modulen erreicht werden. Der hier realisierte Ansatz ist es, die LEDs über die gesamte Lichtaustrittsfläche zu verteilen und jeweils mit einem Reflektor zu versehen (Abb. 1). Dieses Prinzip vereinfacht das Wärmemanagement und führt zu sehr geringen Bauhöhen der Optik. Nur so kann ein planares Lampendesign verwirklicht werden. Jeder Kanal (LED-Modul plus Reflektor) beleuchtet die gesamte auszuleuchtende Fläche. Eine auch hohen Sicherheitsanforderungen genügende Ausleuchtung kann mit derartigen Optiken durch geeignete elektrische Schaltungen realisiert werden: Die gesamte zu beleuchtende Fläche bleibt beleuchtet, auch bei möglichem Ausfall einzelner LEDs, außerdem sind die Möglichkeiten für das Lampendesign mit einer ebenen Lichtaustrittsfläche und mit einer flach bauenden Optik sehr vielgestaltig.

Die Herausforderung im Design dieser Reflektoren besteht in der Umverteilung des Lichts eines Lambertstrahlers dergestalt, dass die große zu beleuchtende Fläche (40 m x 11 m) bei 8 m Lampenhöhe gleichmäßig ausgeleuchtet wird und kein Licht außerhalb dieser Fläche auftrifft. Spitzen der Lichtverteilung treten unter einem Winkel von 70° auf, Fahrzeugführer werden aber nicht geblendet. In der Fläche zwischen zwei benachbarten Laternen gibt es einen allmählichen Überlapp, wodurch die Positionierungstoleranzen kompensiert werden (Abb. 2). Flaches Schutzglas mit Antireflexbeschichtung sichert eine maximale Transmission.

Die entwickelte Leuchte (Abb. 3) hat eine Transmission von 90 % für das LED-Licht. Mehr als 80 % dieses Lichts beleuchtet die vorgeschriebene Fläche auf der Straße (inkl. der Fußwege).

LED street lighting

As the global community increasingly recognizes the importance of energy conservation, thinking "green", the photonics and optoelectronics is gearing up to provide many of the solutions that will enable the "Green Revolution". Up to 25 % of global energy consumption is utilized for outdoor lighting alone. Modern high-power LEDs show efficacy (efficiency of the electrical current to light conversion), exceeding some types of conventional light sources. Highly efficient solid-state lighting can provide not only remarkable savings in energy consumption but also replace mercury vapor lamps, causing extremely high recycling costs. An additional benefit are the higher color rendering properties (compared with yellow-dominated sodium lamps). A very long lifetime of semiconductor light sources can compensate the relatively high installation costs so, that total cost of ownership (including maintenance) stays at the level of conventional light sources. These requirements for "Green lighting", together with prevention of the "Light smog", i.e. delivering light only where it is needed – is impossible to realize without specially developed optics.

The light flux required for outdoor lighting can be achieved by use of multiple LEDs (or LED modules). Our approach is to distribute the LEDs over the whole emitting area of the lamp and provide a reflector for each LED module (Fig. 1). This simplifies thermal management and ensures the smallest optics height. A planar lamp design can only be realized in this way. Each channel (LED module + reflector) illuminates the whole designated area. Illumination which meets even high safety demands can be realized with such optics by proper choice of the electrical circuitry: the whole area will stay illuminated even if some of the LEDs are worn out or even broken. And the freedom for exterior design of the lamp with flat output surface and thin optics is almost infinite

The challenge of the design of such a reflector is to redistribute the light of a Lambertian source in such a way that the huge area (40 m x 11 m by 8 m lamp height) is uniformly illuminated and no light falls outside this area.

Peaks of this distribution are at 70° from the axis, but the lamp does not glare the driver. In the area between two neighboring lanterns, the light should overlap smoothly to compensate the positioning tolerances (Fig. 2). Flat protective glass has anti-reflection coating to ensure maximum transmission.

The developed lamp (Fig. 3) transfers about 90 % of the LED light, and more than 80 % of this light is distributed over the roadway (including sidewalks).

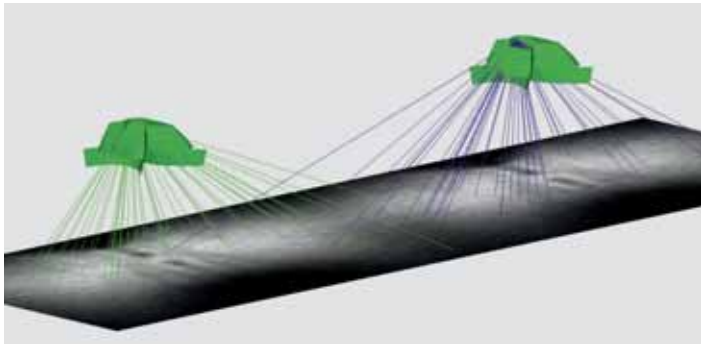


Abb. 2:
Design der Ausleuchtung der Straße.

Fig. 2:
Design of the roadway illumination.

Abb. 3:
Prototyp einer LED-Straßenleuchte.

Fig. 3:
LED street lighting prototype.

Kompakter IR-Sensor zur Richtungsbestimmung von Lichtsignalen

Martin Palme

Uwe Lippmann

Stefan Riehemann

Jürgen Krieg[1]

[1] FGAN-FOM, Forschungsinstitut für Optronik und Mustererkennung, Ettlingen

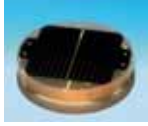
In einer Studie zur Entwicklung optischer Konfigurationen für kompakte NIR-Sensorsysteme bestand die Aufgabe, für einen vorgegebenen Winkelbereich die Zuordnung von Lichtsignalen zur Raumrichtung zu realisieren. Prinzipiell entspricht das einer anamorphotischen Abbildung (Objektschnittweite unendlich) eines Raumbereichs auf die IR-Empfängerzeile. Es wurden Ansätze für klassische Linsensysteme, nichtaxiale Spiegelsysteme und Mikrosysteme entwickelt und alternativ diskutiert. Zur technischen Realisierung wurde ein kompaktes nichtaxiales Spiegelsystem als ein Multifunktionselement zur Weiterbearbeitung ausgewählt.

In der in Abb. 1 dargestellten optischen Konfiguration tritt ein (quasi-) paralleles Bündel durch eine elliptische Blende (1) in das optische Material (Zeonex, PMMA oder ähnliches) ein und wird durch einen biconischen asphärischen Spiegel (2), einen Zylinderspiegel (3) und eine Zylinderlinse (4) auf die IR-Zeile (5) abgebildet. Die in Abb. 1 dargestellten einfallenden Bündel entsprechen vertikal einem Winkelbereich von 7° und werden entsprechend der Pixelhöhe integriert. Horizontal können parallele Bündel aus einem Winkelbereich von 45° einfallen, wobei die kleinste auflösbare Winkeldifferenz 0,5° beträgt. Der spektrale Arbeitsbereich wird hier durch die Eigenschaften der Empfängerzeile und die Transmission des optischen Materials bestimmt.

Unter Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen der IR-Empfängerzeile und der Dimension des Multifunktionselements (Abb. 1) kann die erste konstruktive Bearbeitung erfolgen und einen Begriff von der Baugröße der Sensoreinheit schaffen (Abb. 2). Das charakterisierende Volumen für den optischen Sensor mit Gehäuse ist mit 21 x 21 x 15 mm^3 bestimmt. Das Gesamtvolumen, mit Berücksichtigung der Empfängerzeile, beträgt 64 x 28 x 26 mm^3.

Die angestrebte Kompaktheit zielt auf den Einsatz bekannter Herstellungstechnologien (Spritzgusstechnik), die kostengünstig hohe Stückzahlen zulassen. Zur experimentellen Sicherstellung der Funktion und zur Durchführung verschiedener Testmessungen ist jedoch eine Zwischenstufe notwendig, d. h. eine Realisierung von Prototypen als Freiformfläche mittels Ultrapräzisionstechnik (Diamantdrehen). Die Herstellung des kompakten Sensorsystems als monolitischer Block mit vier optisch relevanten asphärischen Funktionsflächen stellt, bedingt durch die geringen Toleranzen der Flächen und die nichtaxialen Positionen, für die Ultrapräzisionstechnik eine anspruchsvolle Aufgabe dar.

Compact IR sensor
for detecting the direction of light signals



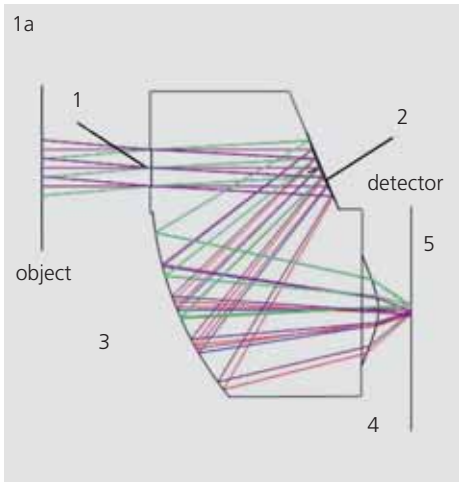
The objective of this study was the development of a compact near-infrared sensor system to detect light signals in a specified angular range and to determine the direction of the signals. This required an anamorphic imaging (with the object at infinity) of an angular range onto the IR line detector.

A variety of approaches were considered and different ideas were developed and discussed. These included classical lens systems, off-axis mirror systems as well as micro-optical solutions. For the technical realization a compact off-axis mirror system as multifunctional element was chosen (Fig. 1).

In the optical configuration outlined in Fig. 1 a (quasi-)parallel beam of rays passes an elliptical aperture (1) and enters the optical material fabricated of Zeonex, PMMA, or similar. The image is formed by a biconic aspherical mirror (2), a cylindrical mirror (3) and a cylindrical lens (4) on the IR line detector (5). The system shown in Fig. 1 accepts a vertical angular range of +/– 7° which is integrated over the pixel height. Horizontally, parallel beams can enter from an angular range of 45°. In this direction an angular resolution of about 0.5° can be achieved. The spectral working range is limited by the technical parameters of the line detector and the transmission of the optical materials.

Considering the geometrical dimension of the IR line detector and the optical multifunctional element (Fig. 1) a preliminary mechanical design of the system can be established including an estimate of the size of the system (Fig. 2). The volume of the optical system is 21 x 21 x 15 mm^3. The entire volume including sensor and housing is 64 x 28 x 26 mm^3 (Fig. 2).

The aimed compactness of the system requires manufacturing techniques such as injection molding, to result in cost-effective production of a high number of optical systems. However, for a first prototype realization, the optical multifunctional element was realized via single point diamond turning. The monolithic block of the multifunctional element with its four optically relevant surfaces (3 aspheres), was a demanding task for the diamond turning process. Especially the small tolerances of the optical surfaces and their non-axial positions require a high manufacturing standard for this kind of optical element.



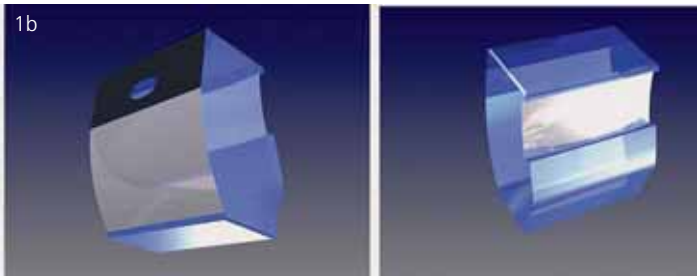


Abb. 1:
Optischer Strahlengang (a) und Realisierung (3D-Skizzen) des beschriebenen Multifunktionselements (b).

Fig. 1:
Optical ray-trace (a) and realization (3D plot) of the described multifunctional element (b).

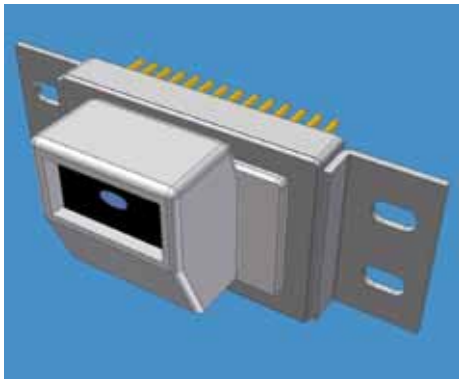


Abb. 2:
Bild der Sensoreinheit bestehend aus optischem Multifunktionselement, IR-Empfängerzeile und Gehäuse.

Fig. 2:
Image of the complete sensor system including optical multifunctional element, IR detector row and housing.

Kompakter Rauheitssensor

Sven Schröder

Tobias Herffurth

Thomas Brückner

Tobias Berlin[1]

Angela Duparré

[1] ACT Smartware GmbH, Karlsruhe

Während neue Technologien zur Oberflächenbearbeitung wie Diamant-Drehen oder Subapertur-Polishing die Herstellung immer komplexerer Komponenten (große Durchmesser, Freiformflächen) ermöglichen, sieht sich die Messtechnik mit immer größeren Herausforderungen konfrontiert, um mit diesen Entwicklungen Schritt zu halten. Es besteht dringender Bedarf an geeigneten Werkzeugen zur sensitiven und schnellen Bewertung der Rauheit von großen und gekrümmten Oberflächen.

Streulicht-basierte Techniken sind bestens dafür geeignet, diese Anforderungen zu erfüllen. Sie sind schnell, robust und berührungslos. Überraschend einfache Beziehungen zwischen Rauheit und Streulicht ermöglichen die direkte Messung der Oberflächenrauheit durch Analyse des gestreuten Lichts /1/.

In den letzten Jahren wurden Streulichtmesssysteme am Fraunhofer IOF entwickelt, die hinsichtlich Einsatzmöglichkeiten und Leistungsfähigkeit den internationalen Stand der Technik bestimmen /2/. Diese Systeme sind nun zwar äußerst sensitiv und flexibel, aufgrund ihrer Komplexität aber auf den Einsatz im Labor beschränkt. Um den speziellen Anforderungen an produktionsnahe Messtechnik zu begegnen, wird auf Basis bestehender Technologien und Kompetenzen ein neuartiges System entwickelt. Für die marktorientierte Umsetzung von FuE-Ergebnissen bietet das BMBF-geförderte Applikationszentrum amos hervorragende Voraussetzungen (FKZ 16SV3596).

Das Messsystem ist in Abb. 1 dargestellt. Als Lichtquellen werden Leuchtdioden eingesetzt. Die Detektion basiert auf einem hochsensitiven CMOS-Sensor. Das modulare System lässt sich an verschiedenste Messaufgaben anpassen. Zusammen mit den Auswerteprozeduren stellt es einen kompakten Sensor zur Rauheitsmessung dar. Der Anwendungsbereich umfasst die Untersuchung glatter Präzisionsoberflächen und Schichten bis hin zu technischen Oberflächen.

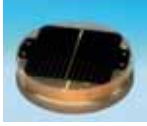
Zwei Beispiele sollen die Fähigkeit des Sensors zur Messung von Oberflächenrauheiten im Nanometer-Bereich durch hochsensitive Streulichtdetektion und -analyse demonstrieren. Aus der Streulichtverteilung des titanbeschichteten Glassubstrats in Abb. 2 kann auf eine stark anisotrope Rauheit von 0,7 nm rms im entsprechenden Ortsfrequenzbereich geschlossen werden. Die auffälligen Beugungspeaks im Streulicht der diamantgedrehten Oberfläche in Abb. 3 werden durch Drehrillen verursacht. Darüber hinaus wird aber auch isotropes Streulicht beobachtet, das im Zusammenhang mit Rattermarken und der Oberflächenmikrostruktur steht. Beide Faktoren tragen zur Rauheit bei, deren Mittelwert zu 7 nm bestimmt wurde.

Literatur:

/1/ Schröder, S.; Duparré, A.: Finish assessment of complex surfaces by advanced light scattering techniques, SPIE Optical Fabrication, Testing, and Metrology, 2–5 Sept. 2008, Glasgow, Proc. SPIE 7102 (in print, 2008).

/2/ Duparré, A.; Gliech, S.; Schröder, S.: Fraunhofer IOF Annual Report 2007.

Compact roughness sensor



While new manufacturing methods such as advanced diamond turning or subaperture polishing enable the processing of increasingly complex surfaces (larger diameter, freeform surfaces), metrology faces increasingly challenging demands to keep up with these developments. There is an urgent need for tools which enable surface finish to be assessed sensitively, rapidly, and even on large and curved surfaces.

Light scattering based techniques are best suited to meet these requirements. They are fast, robust, and non-contact. Surprisingly simple relationships between the roughness and scattering make it possible to directly measure surface roughness by analyzing scattered light /1/.

In recent years, light scattering measurement systems were developed at the Fraunhofer IOF which define the international state-of-the-art concerning both scope and parameters of performance /2/. These instruments are highly sensitive and flexible but are restricted to laboratory use. To meet the specific requirements for production-oriented characterization tools, a new instrument is currently being developed based on existing technologies and knowledge. For the purpose of such market-oriented R&D-exploitation, the BMBF-funded application center amos provides excellent conditions (FKZ 16SV3596).

The instrument shown in Fig. 1 is the result of downsizing existing tools for light scattering measurements. Laser diodes are used as light sources and the detection is based on a high-sensitive CMOS sensor. The instrument is designed as a modular tool which can be adapted to solve various measurement tasks. Together with integrated data evaluation procedures, it represents a compact sensor which can be brought to or traced along a sample to measure its surface roughness. The application range comprises the measurement of smooth ultra-precision optical surfaces and coatings up to engineering surfaces.

Two examples illustrate the capabilities of the instrument to measure surface roughness in the nanometer range through high-sensitive light scattering detection and analysis. The scattering distribution of the titanium-coated glass substrate shown in Fig. 2 reveals a strong anisotropic roughness of 0.7 nm rms in the corresponding spatial frequency range. The scattering of the diamond-turned surface, shown in Fig. 3, reveals strong peaks caused by turning marks. In addition, isotropic scattering can be observed which is related to tool jitter and the granular microstructure of the surface. Both factors contribute to the average roughness of 7 nm.

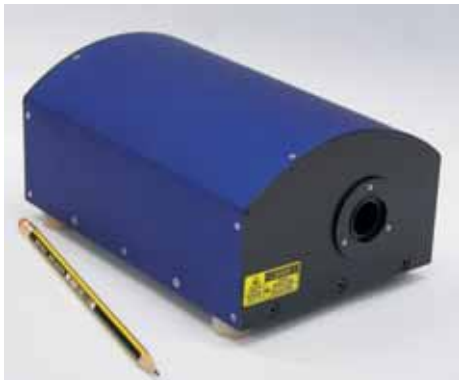


Abb. 1:
Kompakter Rauheitssensor.

Fig. 1:
Compact roughness sensor.

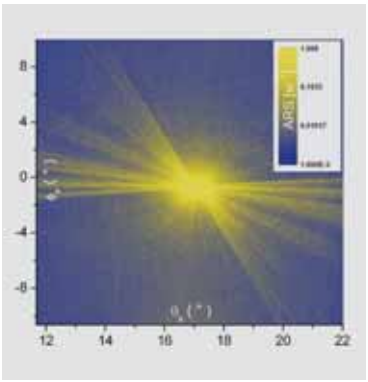


Abb. 2:
ARS eines Ti-beschichteten Glassubstrats. Rms-Rauheit 0,7 nm.

Fig. 2:
ARS of Ti coated glass substrate.
Rms roughness 0.7 nm.

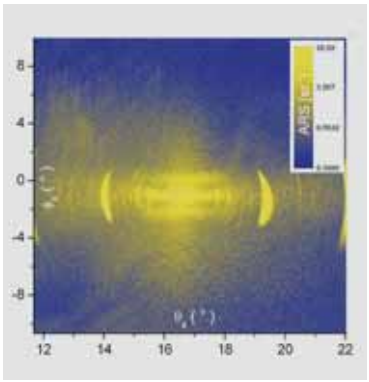


Abb. 3:
ARS einer diamantgedrehten Oberfläche. Rms-Rauheit 7 nm.

Fig. 3:
ARS of diamond-turned surface.
Rms roughness 7 nm.

Ultra-kompakter abbildender Sensor für Anwendungen im Automobil

Andreas Brückner

Jacques Duparré

Peter Dannberg

Frank Wippermann

Sylke Kleinle

Antje Oelschläger

Andreas Bräuer

Inspiriert durch das Prinzip des Facettenauges der Insekten wurde ein mikrooptisches Abbildungsobjektiv entwickelt, welches trotz seiner extrem flachen Bauform (0,3 mm Dicke) ein großes Gesichtsfeld (von max. 92°) erfasst. Dafür wird jeder Bildpixel aus dem jeweiligen Raumwinkelbereich durch eine Mikrolinse auf die zugeordnete Photodiode des Bildwandlers abgebildet (Abb. 1). Der entstehende bildgebende Sensor ist durch seine extreme Kompaktheit, das große Gesichtsfeld und der nahezu unbegrenzten Schärfentiefe gut für Anwendungen im Kraftfahrzeuginnenraum geeignet.

Im Rahmen des vom BMBF geförderten Projekts X-FlaKsA wurde die Tauglichkeit des ultra-kompakten abbildenden Sensors für die kombinierte Anwendung zur Erkennung der Sitzbelegung sowie der Airbagsteuerung zusammen mit dem Partner Siemens CT untersucht.

Der Prototyp des Sensors baut auf einem eigens für das mehrkanalige Abbildungsprinzip entwickelten Bildwandler auf, der kleine Photodioden (Durchmesser 3 µm) mit vergleichsweise großem Mittenabstand (52,5 µm) besitzt. Zusammen mit dem künstlichen Facettenaugenobjektiv erreicht der Sensor ein Gesichtsfeld von 85° x 51° mit einer Bildauflösung von 144 x 96 Pixel bei einer Gesamtdicke von 1,1 mm des abgesetzten Sensorkopfs (Abb. 2). Um optimale Abbildungsergebnisse über ein derart großes Gesichtsfeld zu erlangen, wurde die Form der Mikrolinsen an den individuellen Einfallswinkel im jeweiligen Kanal angepasst (»gechirptes Mikrolinsenarray«). Des Weiteren wurden während des lithographischen Herstellungsprozesses mehrere Blendenarrays axial in das Objektiv integriert, um optisches Übersprechen zwischen den einzelnen Kanälen zu verhindern (Abb. 1).

Zum Zwecke der Airbagsteuerung muss der Abstand des Passagiers vom Cockpit unabhängig von Umfeldeinflüssen (Tageslicht, Nacht, Bekleidung etc.) gemessen werden. Dafür wurde eine Differenzbildaufnahme mit gepulster IR-Laserbeleuchtung verwendet, die als vertikale Linie auf den Passagier abgebildet wird (Abb. 3). Der Rückreflex wird mit dem abbildenden Sensor unter einem Winkel ϕ von einem lateral versetzten Ort aus erfasst (Abb. 4). Aus dieser Triangulation ergibt sich der Abstand der Person aus der Position der Laserlinie im aufgenommenen Bild. Die Sensorsteuerung wird mit dem Laserpuls synchronisiert, so dass zunächst ein Hintergrundbild ohne Laserlinie und danach ein Bild mit Laserreflex aufgenommen werden. Das Differenzbild enthält nur noch den Rückreflex der Laserlinie. Im Labormaßstab ließen sich somit Abstände bis 1 m Entfernung mit einer Genauigkeit von +/– 1 cm bestimmen sowie Sitzbelegung und Sitzposition unterscheiden.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Unterstützung der Arbeiten (FKZ: 13N8796).

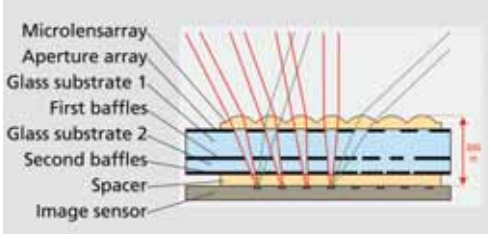
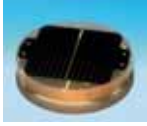


Abb. 1:
Schematischer Aufbau eines ultra-kompakten abbildenden Sensors nach dem Prinzip des Facettenauges der Insekten.

Fig. 1:
Schematic layout of an ultra-compact vision sensor inspired by the compound eye of insects.

Ultra-compact vision sensor for automotive applications



Inspired by the principle of the compound eye of insects, a microoptical imaging system has been developed which exhibits a large field of view (max. 92°), although it is extremely thin (0.3 mm thickness). Each image pixel is imaged by one microlens from a specific angular cone onto the related photodiode of the image sensor (Fig. 1). The vision sensor thus formed is well suited for applications inside a car due to its extreme compactness, the large field of view and its nearly unlimited depth of field.

The suitability of the ultra-compact vision sensor for a combined application for monitoring the seat occupancy and airbag control has been investigated in the BMBF-funded project X-FlaKsA together with the partner Siemens CT.

The sensor prototype uses an image sensor array which has been customized for the purpose of multi channel imaging. It comprises small photodiodes (diameter 3 µm) on a large pitch (52.5 µm). When integrated with the artificial compound-eye objective, the sensor achieves a field of view of 85° x 51° with an image resolution of 144 x 96 pixels at an overall thickness of 1.1 mm at the sensor head (Fig. 2). The shape of the microlenses was tuned according to the specific angle of incidence within the individual channel ("chirped microlens array") in order to achieve optimal imaging properties for such a large field of view. Furthermore, several baffle arrays were axially integrated into the objective during the lithographic fabrication process to suppress optical cross talk between the individual channels (Fig. 1).

For controlling the airbag, the distance between the passenger and the cockpit has to be measured independently of the external influences (daylight, night, clothing etc.). To achieve this, the acquisition of a differential image with a pulsed IR-Laser illumination was used, whereby a line image of the laser is projected onto the passenger (Fig. 3). The back reflected beam is observed by the imaging sensor from an angle ϕ at a laterally displaced position (Fig. 4). The distance to the person is derived from the position of the laser line within the captured image in this triangulation setup. As the sensor is triggered synchronously with the laser pulse, an image of the background is initially captured without laser line, followed by an image including the laser-reflection. The differential image contains only the back reflected laser line. In lab experiments, distances up to 1 m have been discriminated with an accuracy of +/– 1 cm as well as the seat occupancy and seating position.

The authors acknowledge the financial support for the BMBF-funded project X-FlaKsA (FKZ: 13N8796).

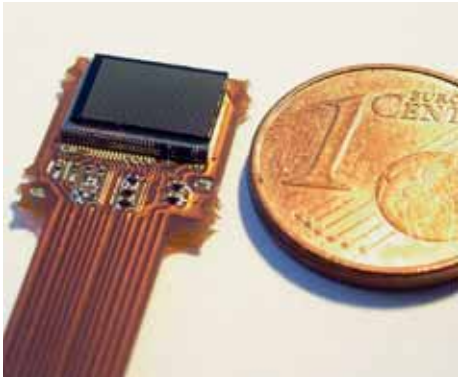


Abb. 2:
Prototyp eines ultra-kompakten abbildenden Sensors für Automobilanwendungen.

Fig. 2:
Prototype of an ultra-compact vision sensor for automotive applications.

Abb. 3:
Aufnahme der gepulsten Laserlinienbeleuchtung im Labor-Testaufbau.

Fig. 3:
Photo of the pulsed laser line illumination in lab test setup.

© Simens CT

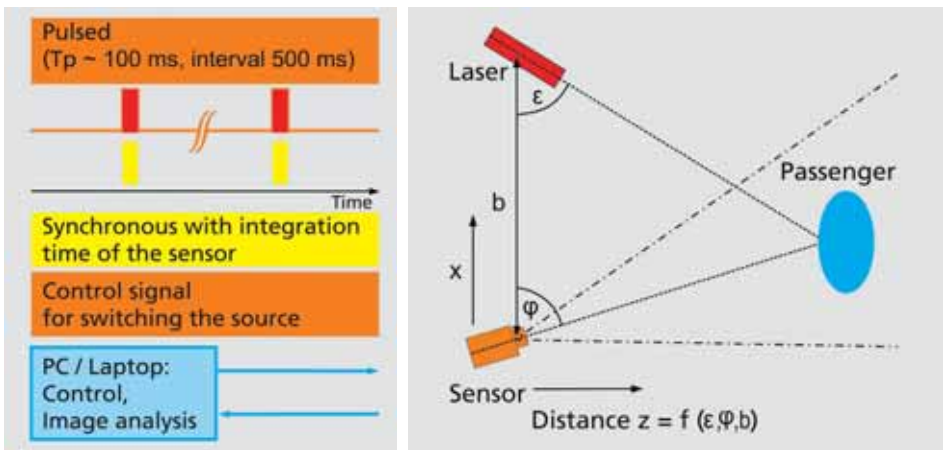


Abb. 4:
Links: Schematische Darstellung der Synchronisierung zwischen Laser und Sensor.
Rechts: Aufsicht auf den schematischen Aufbau zur Messung des Passagierabstandes durch Triangulation.

Fig. 4:
Left: Synchronization scheme between laser and sensor.
Right: Schematic top view on the setup for measuring the distance to the passenger by triangulation.

Masken-Chucks für die EUV-Lithographie

Gerhard Kalkowski

Stefan Risse

Sandra Müller

Roxann Engelstad[1]

Jacob Zeuske[1]

Pradeep Vukkadala[1]

[1] Computational Mechanics Center, University of Wisconsin, Madison, WI (USA)

Für die lithographische Strukturierung von Halbleitern im 45 nm Bereich ist die Immersions-Lithographie mit einer Wellenlänge von 193 nm inzwischen Stand der Technik. Als Nachfolgetechnologie zur Fertigung noch wesentlich kleinerer Strukturen (22 nm und darunter) gilt die Extrem-Ultraviolett-Lithographie (EUVL) mit einer Wellenlänge von 13 nm.

Der nicht-telezentrische Strahlengang auf der Belichtungsmaske erfordert extreme Ebenheit. Entsprechend anspruchsvoll sind die Spezifikationen für den elektrostatischen Chuck, welcher die Maske während der Belichtung in Position hält. So muss seine Ebenheit über die »Quality Area« von $(142\ mm)^2$ besser als 50 nm P-V sein und die Kraft pro Flächeneinheit ≥ 15 kPa, um selbst verbogene Masken einebnen zu können /1/. Als Werkstoffe für Chuck und Maske kommen nur Materialien mit thermischer Ausdehnung $\leq 10^{-8}$/K in Frage.

Der Prototyp eines EUV-Masken-Chucks des Fraunhofer IOF konnte kürzlich in Zusammenarbeit mit der Gruppe von Prof. R. L. Engelstad der Universität von Wisconsin (USA) erprobt werden. Die amerikanischen Kollegen verfügen über einen Versuchsstand, bei dem die Ebenheit der Maske während des Chuckens im Vakuum interferometrisch verfolgt werden kann. Um keine Partikel zu erzeugen, wird die Belichtungsmaske durch eine Lifteinrichtung vorsichtig auf dem kreisrunden Chuck (Abb.1) abgelegt, ehe sie über Spannungen von mehreren kV auf der Chuckoberfläche »festgeklemmt« wird.

Die Wirkung der Chuckkräfte auf die Ebenheit einer typischen Mo/Si-beschichteten EUV-Maske ist in Abb. 2 und Abb. 3 dargestellt. Abbildung 2 zeigt den Ausgangszustand: Durch Schichtspannungen ist das 6,35 mm dicke Substrat um weit über 1 µm durchgebogen. Abbildung 3 zeigt den Endzustand bei maximaler Chuckkraft. Die Maske wurde bis auf ca. 130 nm eingeebnet. Das verwendete 150 mm Interferometer begrenzt den sichtbaren Bereich in der Diagonalen. Da die Dickenvariation der Maske etwa 160 nm beträgt und die Chuck-Ebenheit über den dargestellten Bereich etwa 47 nm, lassen die Messwerte den Schluss zu, dass die Maske nahezu ohne Spalt anliegt und – bis auf die eigene Dickenvariation – praktisch die Form der Unterlage annimmt.

Die vorliegenden Messergebnisse, die auf einer SPIE-Tagung kürzlich vorgestellt wurden /2/, zeigen die hervorragende Performance des Fraunhofer IOF-Chucks.

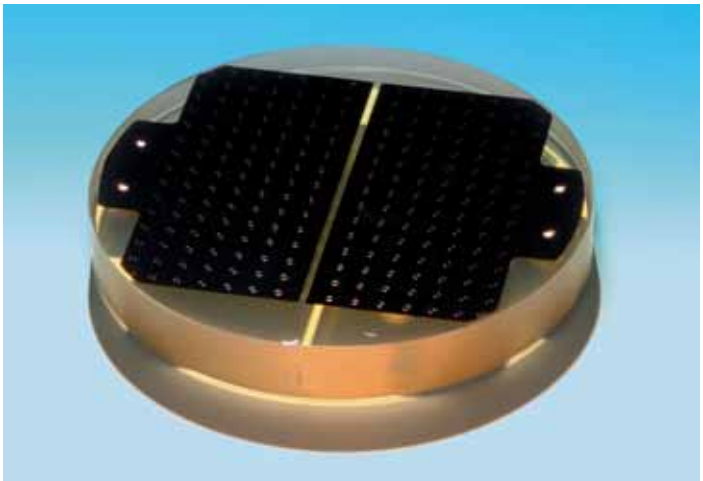
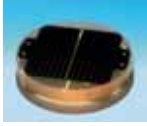


Abb. 1:
EUV-Chuck und Lifteinrichtung.

Fig. 1:
EUV chuck and lifter tool.

Mask chucks for EUV lithography



For optical lithography at the 45 nm node, ArF lasers with a wavelength of 193 nm and water-based immersion liquids have set the standard. For the production of much smaller structures (22 nm and below), Extreme Ultraviolet Lithography (EUVL) at a wavelength of 13 nm is considered the successor technology.

Due to non-telecentric illumination conditions on the reticle, extreme flatness of the mask surface is mandatory. The specifications for the electrostatic chuck, which holds the reticle in place during exposure, are equally demanding. A chuck flatness < 50 nm P-V is required across the "Quality Area" of $(142\ mm)^2$ and the force per area unit should not be less than 15 kPa to achieve sufficient mask flattening, if necessary /1/. For mask and chuck, only low thermal expansion materials with CTE $\leq 10^{-8}$ / K are allowed.

An EUVL chuck prototype has been manufactured at Fraunhofer IOF and was recently tested together with the group of Prof. R. L. Engelstad at the University of Wisconsin (USA). Our American colleagues have an interferometry test stand available that makes it possible to monitor mask flatness during the chucking process. To avoid particle generation, a lifter tool carefully positions the square mask on the circular chuck (Fig. 1), before chuck voltages of several kV clamp the mask to the chuck.

The influence of clamping on the mask flatness can be inferred from Figs. 2 and 3. The initial flatness of a typical EUVL mask with a thickness of 6.35 mm is seen in Fig. 2. Due to stresses from the Mo/Si-multilayer coating, the originally flat substrate is bowed by more than 1 µm. Figure 3 shows the final out-of-plane distortion after chucking at maximum force. A flatness of about 130 nm is obtained.

Note that visibility is limited in the mask diagonal due to a 150 mm interferometric aperture. Since the chuck flatness amounts to approximately 47 nm across the visible range of Fig. 3 and the mask thickness variation is ~160 nm, we conclude that the mask has been chucked with a gap close to zero and (except for its own thickness profile) reflects the chuck surface.

These results, which were presented at an SPIE conference recently /2/, clearly demonstrate the high performance of the Fraunhofer IOF chuck.

References:

/1/ International Technology Roadmap for Semiconnductors (ITRS), http://public.itrs.net.

/2/ Zeuske, J. R. et al:
EUVL Mask Clamping with a Low-Thermal Expansion Material Chuck,
SPIE Photomask Technology,
6–10 October 2008, Monterey (CA/USA).

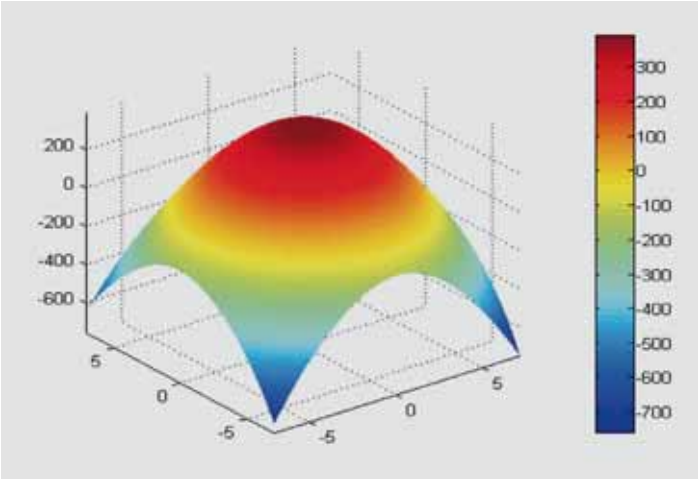


Abb. 2:
EUV-Maske freistehend, Ebenheit ca. 1150 nm.

Fig. 2:
EUV mask freestanding, flatness about 1150 nm.

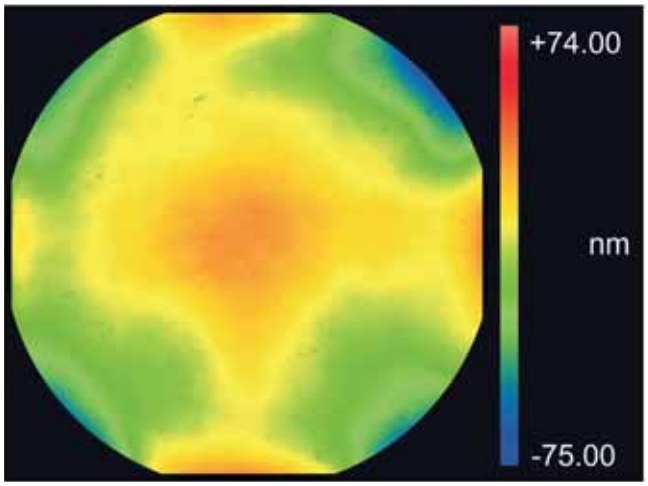


Abb. 3:
EUV-Maske gechuckt, Ebenheit ca. 130 nm.

Fig. 3
EUV mask after chucking, flatness about 130 nm.

Vorrichtung zur Justierung von Keramik-Grünfolien

Matthias Mohaupt

Andreas Hopf

René Bauer

Ramona Eberhardt

Franz Bechtold[1]

[1] VIA electronic GmbH, Hermsdorf

Neue Fertigungsverfahren zur Herstellung ferrokeramischer Planarspulen in LTCC-Technologie erfordern das Prägen von Strukturen in die Keramik-Grünfolie, die im Siebdruckverfahren mit Leitermaterial (Ag) gefüllt werden /1/. Die Funktionssicherheit mehrlagiger Leiterplatten erfordert die Ausrichtung des Prägewerkzeugs zur Keramik-Grünfolie mit einer Präzision von < 20 µm, sodass die Strukturen beim Pressen lagegenau zu den vertikalen Kontaktpunkten (VIAs) und Leiterbahnen eingeprägt werden.

Stand der Technik bei der Fertigung mehrlagiger keramischer Schaltungsträger aus LTCC ist die Handhabung der Keramik-Grünfolien durch manuelle Vorrichtungen, die eine Überdeckungsgenauigkeit von 50 µm – 100 µm aufweisen. Automatische Stapelmaschinen mit integrierter Bildverarbeitung erreichen Überdeckungsgenauigkeiten von 5 µm – 10 µm. Geräte zur Handhabung von Prägewerkzeugen aus Nickel und deren Justierung zu Keramik-Grünfolien mit einer Überdeckungsgenauigkeit von 10 µm sowie die Integration dieses Prozessschritts in die LTCC-Fertigungslinie sind nicht kommerziell verfügbar und stellen die Anforderungen der vorgestellten Justiervorrichtung (Abb. 1) dar.

Der Prozess des Justierens und Stapelns der Folien ist so gestaltet, dass das Prägewerkzeug und die Folien der Vorrichtung manuell an der Einlegestation zugeführt werden (Abb. 2). Der Transport der Einzelfolie zur Stapeleinrichtung, in der die Folie abgelegt, fixiert und die Positionen der Justierstrukturen der Folie detektiert werden, erfolgt mittels eines in x-y- und Rz-Richtung justierbaren Greifsystems.

Die Detektion der Justierstrukturen der Keramik-Grünfolie wird mit CCD-Kameras und Bildverarbeitungssoftware realisiert. Je Justierstruktur wird ein Kamerakanal genutzt. Die Auswertung der Lage der Justierstrukturen erfolgt durch Analyse deren Lage zur Sollposition, die vom Prägewerkzeug vorgegeben wird. Durch die Justierung des Greifsystems (mit gegriffener Folie) unter Verwendung hochpräziser Stellelemente kann die Lage der Folie vor dem Ablegen auf das Prägewerkzeug eingestellt werden. Die Vorrichtung (Abb. 3) wurde während der Inbetriebnahme und unter Fertigungsbedingungen charakterisiert. Die erreichte Überdeckungsgenauigkeit beim Prägen von Strukturen in LTCC-Keramik-Grünfolie beträgt 9 µm (Abb. 4).

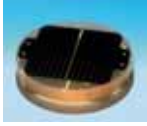
Zur Beurteilung der Tauglichkeit der Produktionsanlagen und des neu einzuführenden Prägeprozesses hinsichtlich einer Massenfertigung wurde eine Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) mit Unterstützung des Applikationszentrums amos (FKZ 16SV3596) durchgeführt.

Die Autoren danken dem BMBF für die Unterstützung der Arbeiten (FKZ 02PI1040).

Literatur:

/1/ Bechtold, F.:
Neue Fertigungsverfahren für ferrokeramische Planarspulen in LTCC-Technologie; SMT Hybrid Packaging, Tutorial 18: „Vergleich von Integrationstechnologien für induktive Bauelemente in LTCC und Polymer"; Tutorialdokumentation S. 4–8; Nürnberg, 05. Juni 2008.

Device for alignment of ceramic green tapes



New manufacturing processes of ferro-ceramic planar coils in LTCC technology require the embossing of structures into the ceramic green tape, filled with conductive material (Ag) by screen printing /1/. The reliability of the manufacturing process requires an overlay accuracy of < 20 µm of the ceramic green tape to the embossing die. Thereby, the printed structure will be embossed accurately to wires and the vertical contact points.

The state of the art for manufacturing of multilayer ceramic boards of LTCC is a handling of the ceramic green tapes using manual assembly devices with overlay accuracies of 50 µm – 100 µm. By using devices for an automatic handling and alignment of tapes supported by image processing, overlay accuracies of 5 µm – 10 µm can be achieved. Devices for the handling and alignment of embossing tools made of nickel, with an assembly accuracy of 10 µm and the possibility of integration in the LTCC manufacturing line are not commercially available. For this reason, a device for alignment of green tapes to the embossing tool compatible to the LTCC manufacturing requirements was developed (Fig. 1).

The alignment and stacking process of the green tapes starts by feeding the embossing die and the green tape manually into the feeding station of the device (Fig. 2). The transport of the single tape to the stacking device is realized by an adjustable gripping system. During the fixation of the tape, the position of the alignment structures is detected by CCD cameras. The calculation of the mark position of the green tape relative to the embossing die is done by image processing. After aligning the green tape in x-y and Rz direction using high precision actuators, it is positioned and fixed onto the embossing die.
The device (Fig. 3) was characterized during starting up and under manufacturing conditions. The reached alignment accuracy during the embossing of structures is 9 µm (Fig. 4).

For an evaluation of the manufacturing facility and the joining process to be established, a failure mode and effect analysis (FMEA) was performed with regard to mass production. This task targets subsequent batch production and was carried out within the application center amos (FKZ 16SV3596).

The authors acknowlege the support by the BMBF (FKZ 02PI1040).

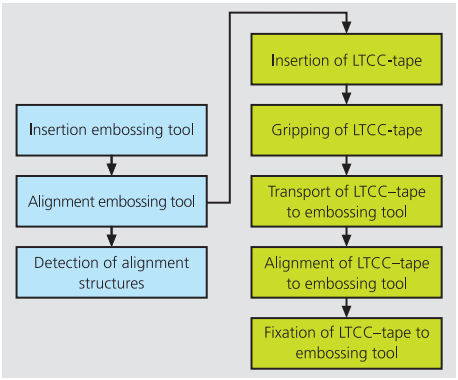


Abb. 2:
Schematischer Ablauf des Justierens der Keramikfolien zum Prägewerkzeug.

Fig. 2:
Scheme of the alignment of the LTCC green tapes to the embossing die.

Abb. 3:
Vorrichtung zur Justierung von Keramikfolien.

Fig. 3:
Alignment device.

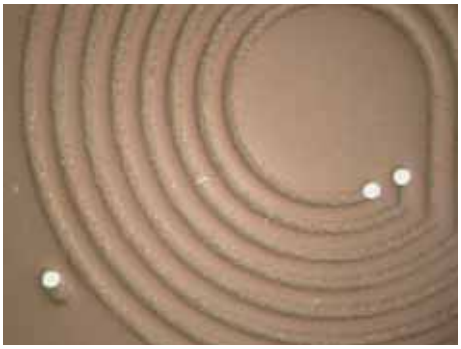
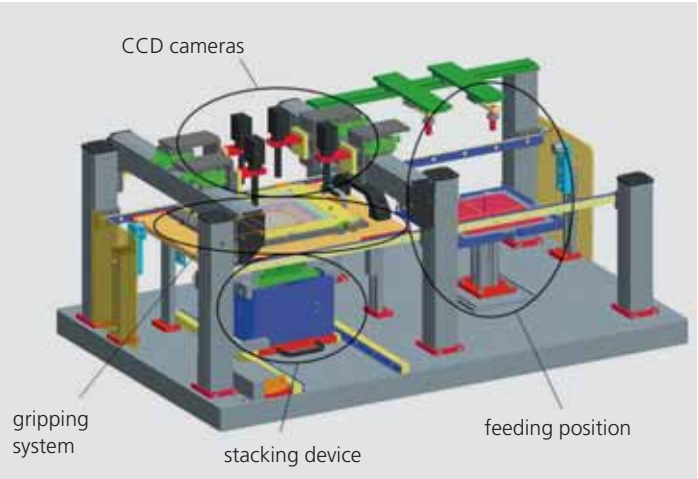


Abb. 4:
Geprägte LTCC-Keramikfolie mit Planarspulen.

Fig. 4:
Embossed LTCC ceramic tape with planar coil structures.

Abb. 1:
CAD Darstellung der Vorrichtung zur Justierung von Keramikfolien.

Fig. 1:
Design of the alignment device.



Greifer für die rotatorische Ausrichtung polarisationserhaltender Glasfasern

Andreas Kamm

Erik Beckert

Ramona Eberhardt

Frank Buchmann[1]

Andreas Hoch[2]

[1] Askion GmbH, Gera
[2] Schunk GmbH & Co. KG, Lauffen

Eine der Herausforderungen bei der Montage faseroptischer Systeme ist aufgrund des ungünstigen Aspektverhältnisses die präzise Handhabung der Glasfasern. Ist eine rotatorische Ausrichtung wie zum Beispiel bei polarisationserhaltenden Fasern erforderlich, können die am Markt erhältlichen Fasergreifer nicht eingesetzt werden. Hierfür müssen derzeit speziell auf die Montageaufgabe adaptierte Vorrichtungen entwickelt werden.

Aufgabe ist die Entwicklung eines Greiferwerkzeugs mit integrierter Rotationseinheit. Besondere Anforderungen sind:

– Minimierung von Größe und Gewicht, um auch in komplexen und räumlich beengten Montageräumen Fasern zu positionieren,
– Genauigkeit der rotatorischen Ausrichtung ± 0,5°, was eine noch wesentlich bessere Auflösung bedingt und
– ein einfaches und flexibles Auswechseln des Greifwerkzeugs in der Montageumgebung.

Der Greifer (Abb. 1) wurde auf Basis des pneumatischen Zweibackengreifers MWPG 20 der Firma Schunk entwickelt. In diesem ist eine Standardschnittstelle für Greifwerkzeuge nach DIN 32656 /1/ integriert, welche neben der mechanischen Kopplung auch die Durchführung von Druckluft und elektrischer Spannung ermöglicht. Die lineare Greifbewegung erfolgt nur durch eine Backe. Die andere Backe, in welche eine V-Grube strukturiert wurde, ist fest mit dem Grundkörper des Greifers verbunden und bildet damit eine definierte Anlage der gegriffenen Faser. In die bewegliche Backe ist ein miniaturisierter Linearantrieb integriert, der über eine Reibpaarung die Drehbewegung in die durch die V-Grube geführte Faser einleitet.

Dieses Prinzip bedingt aufgrund der Keilwirkung eine Minimierung des Reibwertes zwischen Faser und V-Grube, weshalb diese mittels UP-Bearbeitung aus PTFE gefertigt wurde (Abb. 2). Trotz der hohen Funktionalität und Präzision misst der Greifer nur 45 x 20 x 20 mm^3 bei einem Gewicht von 38 g.

Untersuchungen zeigen eine Greifwiederholgenauigkeit von < 3 µm. Bei einem realisierten Drehbereich von > 360° wurden Auflösungen im Bereich < 0,2° durch visuelle Beobachtung der Faserdrehung nachgewiesen. Die theoretisch erreichbare Auflösung liegt um eine Größenordnung darunter. Für erste Anwendungen wurde die Stabilität des Greifprozesses während der Lötmontage metallisierter Multimode-Fasern untersucht. Hier wurden Dejustierungen im Bereich < 10 µm der frei im Raum justierten Faser bei einer Fixierung durch einen applizierten Lottropfen erreicht (Abb. 3) /2/. Der Greifer ist in der Lage, Fasern prozesssicher zu halten und hochpräzise rotatorisch auszurichten.

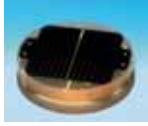
Die Arbeiten wurden durch das BMBF im Rahmen des Applikationszentrums amos gefördert (FKZ 16SV3596).

Literatur:

/1/ DIN 32565: Fertigungsmittel für Mikrosysteme - Schnittstelle zwischen Endeffektor und Handhabungsgerät.

/2/ Beckert, E.; Banse, H.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A., Buchmann, F., Fettke, M.: Hybrid micro-optical system integration by laserbeam soldering. In: Proceedings Photonics West 2007, San Jose, USA.

A gripper for rotational alignment of polarization-maintaining glass fiber



One major challenge in the assembly of fiber optical systems is the precise handling of the long and fragile fibers made of glass. Even more, if a rotational alignment is required, for instance when using polarization-maintaining fibers, commercially available fiber grippers cannot be used. Instead, special devices adapted to individual assembly tasks need to be developed .

The goal was the development of a versatile fiber gripper with integrated rotational unit. Special requirements are:

- minimized volume and mass, to enable the usage of the gripper even in complex and narrow assembly environments for the positioning of fibers,
- accuracy of rotational alignment ± 0.5° and a rotational resolution of an order of magnitude better,
- easy and flexible exchange of the gripper tool within the assembly environment.

The gripper (Fig. 1) is based on a commercially available pneumatic two jaw gripper from Company Schunk GmbH & Co. KG. It is already equipped with a standardized end effector interface according to DIN 32565 /1/ for mechanical fixation, that also feeds through pneumatic pressure and electrical connections. The linear gripping movement is achieved by only one gripper jaw. The second one, equipped with a machined V-groove, is statically mounted to the gripper base, thus providing a precise mechanical stop for the fiber. The moving gripper jaw is equipped with a miniaturized linear actuator that implements the rotation of the clamped fiber by means of friction force (friction wheel drive).

To balance the friction coefficients necessary for this arrangement the V-groove base was precisely machined out of PTFE (Fig. 2). Despite high functionality and precision the gripper overall measures only 45 x 20 x 20 mm^3 and has a weight of 38 g.

Experimental evaluation of the gripper showed a gripping repeatability of < 3 µm. Within a rotation range of > 360°, resolutions of < 0.2° have been measured by means of visual detection of the fiber rotation using a microscope. In theory, the achievable resolution is even an order of magnitude better. A first application for the gripper was the assembly of metallized multimode fibers using a laser beam soldering process. The stability of the gripping process was proven to be < 10 µm when applying a liquid solder drop onto the free space aligned fiber to mount it onto the base (Fig. 3) /2/. Thus the gripper is able to hold fibers within an assembly process stable and reliably, while simultaneously enabling for their rotational alignment.

The work was supported by the BMBF as part of the application center amos (FKZ 16SV3596).

Abb. 2:
V-Grube in PTFE.

Fig. 2:
V-groove, machined in PTFE.

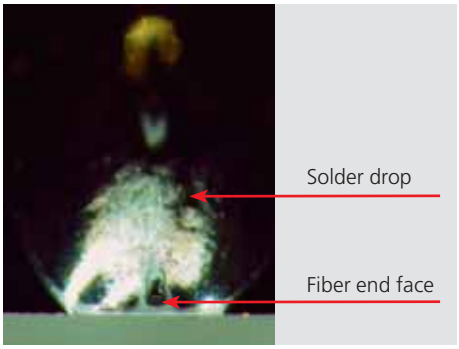


Abb. 3:
Gelötete Faser.

Fig. 3:
Laser beam soldered fiber.

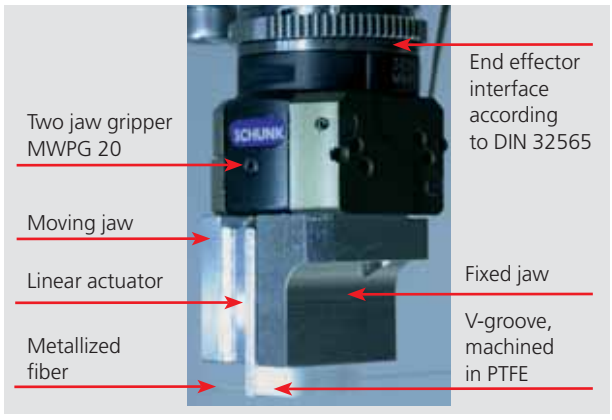


Abb. 1:
Gesamtansicht des Greifers.

Fig. 1:
Overall view of the gripper.

Gäste
Guests

Jean-Jacques Arnoux, Emmanuel Sein
EADS Astrium, Toulouse, France

Antonio Avitabile
Sony Corporation, Surrey, United Kingdom

Dr. Sinan Badrawy
Moore Nanotechnology Systems, LLC, Keene, USA

Tomohiko Baba
Sony Corporation, Kanagawa, Japan

Prof. Werner Blau
Trinity College Dublin, Dublin, Ireland

Dr. Sead Doric
Doric Lenses, Quebec, Canada

Dr. Oliver Fähnle
FISBA OPTIK AG, St. Gallen, Switzerland

Tatsumi Ischiwada
Ricoh, Tokyo, Japan

Prof. Toshikuni Kaino
Institute of Multidisciplinary Research for Advanced Materials Tohoku University, Sendai, Japan

Prof. Dr. Ursula Keller,
Dr. Hans Martin Schmidt, Dr. Daniel Gisler
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, Switzerland

Dr. Junya Kobayashi
NYY Laboratories, Tokyo, Japan

Prof. Giuseppe Lullo
University of Palermo, Palermo, Italy

Tak Omitsu
IMRA America Inc., Ann Arbor, Michigan, USA

Dr. Takeo Masuda
OITDA, Tokyo, Japan

Prof. Francesco Michelotti
University "La Sapienza", Rom, Italy

Paul Morantz
Cranfield University, Bedfordshire, United Kingdom

Jeffrey W. Roblee
Precitech Inc., Keene, USA

Masaru Sasaki
Koito, Tokyo, Japan

Prof. Hirofumi Suzuki
Chubu University, Chubu, Japan

Marc Tricard
QED Technologies Inc., Rochester, USA

Internationale Kooperationen
International Co-operations

Austria
Universtität Innsbruck,
Institut für Experimentalphysik,
Prof. Hans K. Pulker

France
Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Paris, Michel Retourna

Indonesia
Institute for Technology Bandung,
Prof. Aleksander Iskander

Ireland
Trinity College Dublin, Prof. Werner Blau

Israel
Technion, Haifa, Prof. Abraham Marmur
RAFAEL, Haifa, Dr. Hedva Zipin

Italy
ENEA, Rom, Dr. Angela Piegari;
University "La Sapienza", Rom,
Prof. Francesco Michelotti

Japan
Chubu University, Chubu,
Prof. Hirofumi Suzuki;
Tohoku University, Sendai,
Prof. Toshikuno Kaino

Netherlands
ESTEC EUROPEAN SPACE RESEARCH AND TECHNOLOGY CENTRE, Noordwijk,
Dr. Umberto del Bello

Norway
SINTEF, Trondheim,
Aage Jostein Thunem

Poland
Warsaw University of Technology,
Wojciech Swieszkowski, PhD;
Politechnika Warszawska,
Prof. Andrzej Jakubiak

Portugal
University Aveiro,
Prof. Nikolai Sobolew;
Universidade de Coimbra,
Prof. Maria Helena Mendes Gil

Russia
Moscow State University,
Prof. Alexander Tikhonravov

Scottland
MED, Edinburgh, Prof. Ian Underwood

Switzerland
IMT University Neuchâtel,
Prof. Hans-Peter Herzig;
EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Dübendorf,
Dr. Ir. Arie Bruinink;
Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique SA (CSEM), Neuchâtel,
Georges Kotrosios;
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich,
Dr. Daniel Gisler, Dr. Hans Martin Schmidt

Ukraina
National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute",
Prof. Valery V. Kondratenko

USA
University of Michigan, College of Engineering,
Prof. Jerzy Kanicki;
CREOL, Orlando (Florida),
Prof. James Harvey;
University of Wisconsin-Madison, Madison,
Prof. Roxann L. Engelstad

Messebeteiligungen 2008
Fairs Participations 2008

Photonics West
22.–24. Januar, San Jose, USA

Hannover Messe
21.–25. April, Hannover, Germany

Control
22.–25. April, Stuttgart, Germany

SENSOR+TEST
6.–8. Mai, Nürnberg, Germany

SID
18.–23. Mai, Los Angeles, USA

SMT
3.–5. Juni, Nürnberg, Germany

OPTATEC
17.–20. Juni, Frankfurt/Main, Germany

MICRONORA
23.–26. September, Besancon, France

VISION
4.–6. November, Stuttgart, Germany

Euromold
3.–6. Dezember, Frankfurt/Main, Germany

Messeexponate 2008
Fair Exhibits 2008

LED based illumination modules

Digital projection systems based on micro-displays

Insect inspired imaging: ultra-compact vision system

Computer generated holograms

Free form optics

Waver level optics

Innovative sensors: Surface topography sensor, optical sensor for vital parameter controlling

Optical components for applications from the soft X-ray to the NIR spectral range

Antireflective and anti-fogging plastic components:
AR-hard® – antireflective multilayer system
AR-plas® – antireflection by stochastic distributed nanostructures
Hydrophobization and anti-fogging combined with antireflection properties

OptiMon –
Optical in-situ broadband monitoring system for Plasma-Ion-assisted Coating Deposition

Photovoltaic concentrator with improved efficiency by micro- and nanostructures

Demonstration of the assembly of high precision optics by lens centering

Solder bumped optoelectronic components

Laser beam soldered optical and optoelectronic components

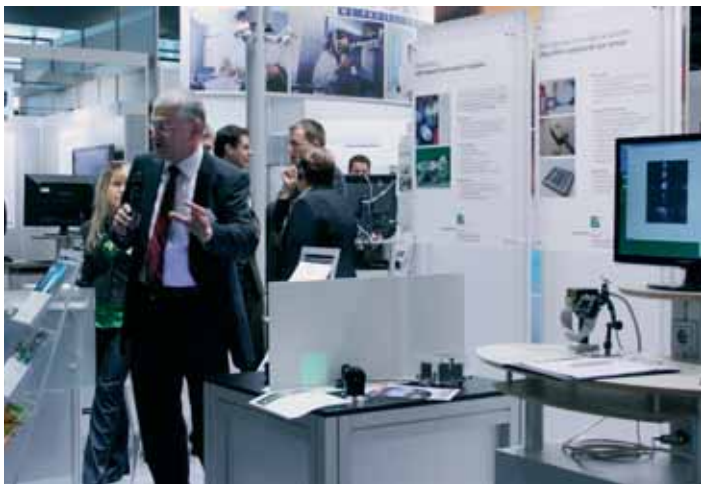
Ultra-precise metal mirror devices for astronomy and space applications
Miniaturized fringe projection sensor for fast inspection of small components and tools

3D measurement system “kolibri LensShape”

3D measurement system „kolibri CombiScan“ for simultaneous measurement of reflective and non-reflective surfaces

Handheld cordless 3D Scanner “kolibri CORDLESS”

THz imaging system for non-destructive testing



Preise 2008
Awards 2008

VDI Auszeichnung
für einen hervorragenden
Studienabschluss
an Sebastian Scheiding
18. April 2008, Berlin

Hugo-Geiger-Preis
an Andreas Brückner
28. Mai 2008, Berlin

Heptagon – Sven Bühling –
Forschungsförderpreis
an Hans-Christoph Eckstein
13. Juni 2008, Jena

58. Nobelpreisträgertreffen
mit jungen Nachwuchswissenschaftlern
Teilnehmer Sven Schröder
29. Juni–4. Juli, Lindau/Bodensee

STIFT-Preis für hervorragende
anwendungsorientierte Diplomarbeit
an Marcel Hornaff
5. November 2008, Erfurt

Beste Masterarbeit
im Bereich SciTech der FH Jena
an Ralf Müller
18. Dezember 2008, Jena

Aus- und Weiterbildung
Education and further training

Die umfangreichen Aktivitäten des Fraunhofer IOF auf dem Gebiet der Aus- und Weiterbildung erstrecken sich von der Ausbildung von Physiklaboranten und Industriemechanikern über die Betreuung von Praktikanten, von Bachelor-, Master- und Diplomarbeiten sowie von Doktoranden, das Halten von Vorlesungen, die Durchführung von Seminaren und Praktika an den Jenaer Hochschulen bis zur Organisation von Workshops und internationalen Konferenzen.

Comprehensive activities of Fraunhofer IOF in the field of education and further training range from professional training of laboratory technicians and industrial mechanics over the supervision of interns, graduates and postgraduates, giving lectures and seminars at the Jena universities up to the organization of workshops and international scientific conferences.

Vorlesungen
Lectures

Dr. Ramona Eberhardt
Mikrooptikmontage
Fachhochschule Jena

Dipl.-Ing. (FH) Nils Heidler
Design of Precision Devices
Fachhochschule Jena

Prof. Dr. Norbert Kaiser
Beschichtungstechnik
Fachhochschule Jena
Nanooptik
Fachhochschule Jena

Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Grundlagen der Laserphysik
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Experimentelle Methoden
der Atom- und Molekülphysik
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Angewandte Photonik
Seminar für Doktoranden FSU Jena,
Fraunhofer IOF

Dr. Uwe Detlef Zeitner und Dr. Jens-Peter Ruske
Aktive und passive Bauelemente
der miniaturisierten Optik
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Dr. Uwe Detlef Zeitner und Prof. Frank Wyrowski
Optical Modeling and Design I
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Conferences
Workshops

Workshop »Moderne Beleuchtungskonzepte – Quellen und Anwendungen«
31. Januar 2008, FSU Jena

Dünnschicht-Kolloquium »Geschichte der Optischen Schichten in Jena«
14. Februar 2008, Fraunhofer IOF, Jena

Weiterbildungskurs »Grundlagen der Optikbeschichtung«
4.–5. März 2008

SID Mid Europe Chapter Spring Meeting 2008 – Microdisplays, Applications, and Optics –
13.–14. März 2008, Abbe Center Jena

Alumni-Treffen Workshop »Metrologie«
4. Juli 2008, Fraunhofer IOF, Jena

SPIE Europe Optical Systems Design
2.–5. September 2008, Glasgow
Co-Chair: Prof. Dr. Andreas Tünnermann, Fraunhofer IOF

OTTI-Fachforum Optische Technologien – vom Design zum Produkt
15.–16. September 2008, Regensburg

4. Thüringer Grenz- und Oberflächentage und 1. Thüringer Kolloquium »Dünne Schichten in der Optik«
16.–18. September 2008, Jena

Optonet-Workshop "Ultra Precision Manufacturing of Freeforms and Microstructures"
24.–25. September 2008, Jena

»Theorie und Anwendung optischer Schichten«
11. November 2008, Jena

Optonet-Workshop »Funktionale Oberflächen«
12. November 2008, Jena

„Optische 3D-Messtechnik für die Qualitätssicherung in der Produktion"
Seminar mit Praktikum
27.–28. November 2008, Jena

Diplomarbeiten
Diploma Theses

Norbert Bergner
Modellierung und Herstellung von nanostrukturierten metallischen Reflexionsoberflächen
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 09/08

Thomas Brückner
Konzeption eines streulichtbasierten Rauheitssensors
Fachhochschule Jena, 07/08

Frank Burmeister
Charakterisierung fokussierter Laserpulse mit spektral aufgelöster räumlicher Interferometrie
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 12/08

Luisa Coriand
Experimentelle Untersuchungen zum Benetzungsverhalten mikro- und nanostrukturierter Oberflächen
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 09/08

Sven Döring
Ultrakurzpuls-induzierte Modifikationen im Volumen kristalliner Medien
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07/08

Wiebke Freese
Untersuchung und Entwicklung von Antennenstrukturen zur THz-Detektion
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 03/08

Reinhard Geiß
Charakterisierung linearer und nichtlinearer optischer Eigenschaften von Wellenleitern und Wellenleiterresonatoren aus Materialien mit quadratischer Nichtlinearität
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 01/08

Peter Hansinger
Untersuchung der nichtlinearen Lichtausbreitung in Lithiumniobat mit zweidimensionaler Domänenstruktur
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 04/08

Andreas Heger
Charakterisierung und Optimierung eines bildgebenden MEMS-Laserscanners
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 12/08

Matthias Heinrich
Propagationseffekte in gekrümmten Wellenleiterarrays
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 01/08

Nils Heidler
Untersuchungen an einem Absaugsystem für hochvakuumtaugliche Gasführungen
Fachhochschule Jena, 07/2008

Tobias Herffurth
Untersuchungen zu Reflexion und Streulicht von EUV-Komponenten
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/08

Andreas Hopf
Inbetriebnahme, Test und Redesign einer Vorrichtung zum präzisen Ausrichten und Stapeln von LTCC-Keramikfolien
Fachhochschule Jena, 04/2008

Marcel Hornaff
Prozessuntersuchungen der Fügetechnologie Solder Bumping
Fachhochschule Jena, 07/2008

Florian Jansen
Langperiodische Gitter in aktiven Laserfasern zur Unterdrückung nichtlinearer Effekte
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 12/08

Andreas Kamm
Metallisieren und Handhaben polarisationserhaltender Glasfasern in einem Mikromontageprozess
Fachhochschule Jena, 12/2008

Tino Kopf
Auswahl eines geeigneten Sensorsystems zum Erfassen von Scheitelhöhe und Außendurchmesser einer Fassungsbaugruppe und dessen Integration in eine Justierdrehmaschine
Fachhochschule Jena, 12/2008

Nicolas Lange
Auslegung, Simulation und Umsetzung eines elektrostatischen Aktuators mit gekrümmter Elektrode
Fachhochschule Jena, 12/2008

Peter Lehmann
Untersuchungen des tribologischen Verhaltens ausgewählter Werkstoffe bei Rollreibung im Vakuum
Fachhochschule Jena, 01/2008

Matthias Oertel
Untersuchung zur Auswahl und Charakterisierung von mechatronischen Komponenten für einen weltraumtauglichen Scanner
Fachhochschule Jena, 01/2008

Paul Petruck
Herstellung und Analyse von 2D- und 3D-Nanostrukturen mittels Interferenz-Lithographie
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/08

Marco Plöthner
Aufbau und Charakterisierung eines monolithischen Kurzpulsfaserlasers
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 02/08

Jörg Reinhold
Untersuchung zur Detektion maschinenlesbarer Sicherheitsmerkmale in Dokumenten
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 04/08

Sören Richter
Realisierung von Zinkoxid Nanostrukturen durch ultrakurze Laserpulse
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 12/08

Enrico Seise
Faserbasierte Verstärkung ultrakurzer Pulse im nichtlinearen CPA-Regime
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 12/08

Maik Sode
Charakterisierung von Fluor- und Argonplasmen sowie deren Anwendung in der Beschichtungstechnik
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 08/08

Tobias Thiele
Aufbau und Erprobung eines Versuchsplatzes zur Charakterisierung mittels fs-Laserpulsen modifizierter Tieraugenlinsen
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 05/08

Christian Voigtländer
Dispersionsmanagement mit femtosekundenpuls-induziertem Faser-Bragg-Gitter
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 01/08

Thomas Weber
Mikrooptischer Polarisator für den UV-Spektralbereich
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 08/08

Christian Wilde
Aufbau und Charakterisierung eines abstimmbaren Thulium-Faserlasers
Westsächsische Hochschule Zwickau, 10/2008

Eduard Würfel
Herstellung von Zn-dotierten $LiNbO_3$-Schichten mittels Flüssigphasenepitaxie und Charakterisierung der physikalischen Eigenschaften von in diesem Material erzeugten optischen Wellenleitern
Fachhochschule Jena, 01/08

Bachelor

Michael Appelfelder
Aufbau einer Vorrichtung zum Messen von Blockierkraft und Auslenkung von piezokeramischen Biegeaktoren
Fachhochschule Jena, 07/2008

Sven Berthold
Analyse von Störeinflüssen bei der Streifenprojektion
Fachhochschule Jena, 09/08

Marcel Dierl
Rekonstruktion von reflektierenden Freiformflächen mittels phasenmessender Deflektometrie
Technische Universität Ilmenau, 10/08

Karsten Doering
Entwicklung und Inbetriebnahme eines Formgedächtnis-Aktors zur exakten Positionierung einer Kapillare zur Zellseparation
Fachhochschule Jena, 06/08

Tobias Fiedler
Untersuchungen zur Klimabeständigkeit von Antireflexstrukturen auf Kunststoffen
Fachhochschule Jena, 09/08

Felix Kraze
Untersuchungen an geprägten und infiltrierten Oberflächen hybrider LTCC-Chipbauelemente bezüglich ihrer Eignung für Reflektoranwendungen in optoelektronischen Schaltungen
Fachhochschule Jena, 08/08

Mandy Lungwitz
Charakterisierung und Anwendungsmöglichkeiten bidirektionaler Mikrodisplays in der optischen Sensorik
Fachhochschule Jena, 09/08

Martin Müller
Systeminbetriebnahme, Firmwareentwicklung und Einsatzuntersuchungen an Prototypen eines mehrkanaligen konfokalen Abstandssensors auf Farbsensorbasis
Fachhochschule Jena, 07/08

Master

Alexander von Finck
Erkennung und Analyse von funktionsrelevanten Oberflächenstrukturen durch Makyoh-Imaging
Hochschule Ravensburg-Weingarten, 01/08

Constanze Großmann
Optikdesign und Evaluierung eines hochauflösenden optischen Systems zur Werkzeugschneidenvermessung
Fachhochschule Jena, 02/08

Ralf Müller
Aufbau und Charakterisierung eines Systems zur breitbandigen Mehrkanal-THz-Bildgebung
Fachhochschule Jena, 02/08

Viatcheslav Nesterenko
Struktur und Eigenschaften von Cr/V-Multischichtspiegeln für den Wellenlängenbereich des Wasserfensters (λ = 2,3 nm bis 4,4 nm)
Fachhochschule Jena, 01/08

Steffen Wagner
Aufbau einer Faserkopplung mit Trapezlasern
Fachhochschule Jena, 05/08

Dissertationen
Dissertations

Dr. rer. nat. Robert Leitel
Formation and characterization of stochastic subwavelength structures on polymer surfaces
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 11/08

Dr. rer. nat. Boris Pradarutti
Mehrkanaldetektion ultrakurzer Terahertz-Pulse
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07/08

Dr. rer. nat. Sven Schröder
Light scattering of optical components at 193 nm and 13.5 nm
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 07/08

Dr. rer. nat. Alexander Strauß
Thermisches Polen von Quarzglas
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 06/08

Dr. rer. nat. Matthias Wurm
Über die dimensionelle Charakterisierung von Gitterstrukturen auf Fotomasken mit einem neuartigen DUV-Spektrometer
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 09/08

Habilitationen
State doctorates

Dr. rer. nat. habil. Uwe Detlef Zeitner
Mikrostrukturierte Optik für die raum-zeitliche Kontrolle von Licht
Friedrich-Schiller-Universität Jena, 04/08

Patente

Patents

Patentanmeldungen 2008
Patent Applications 2008

(A1)
Bollwahn, N.; Munzert, P.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Verfahren zur Herstellung einer optischen Wellenleiterschicht
Anmelde-Az.: 10 2008 046 579.8

(A2)
Böhme, S.; Peschel, T.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.; Limpert, J.
Vorrichtung zum Bearbeiten von zylindrischen Werkstücken
Anmelde-Az.: 10 2008 024 136.9

(A3)
Bruchmann, C.; Beckert, E.; Peschel, T.; Damm, C.
Adaptiver deformierbarer Spiegel zur Kompensation von Fehlern einer Wellenfront
Anmelde-Az.: 10 2008 014 615.3

(A4)
Bruchmann, C.; Beckert, E.; Peschel, T.; Damm, C.
Adaptiver Spiegel und Verfahren zu dessen Herstellung
Anmelde-Az.: 10 2008 014 619.6

(A5)
Eckstein, C.; Zeitner, U. D.; Schmid, W. (Osram OS)
Kantenemittierender Halbleiterlaser
Anmelde-Az.: 10 2008 058 435.5

(A6)
Kalkowski, G.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.; Jahnke, C.; Fabian, S.; Krauß, M. (ISC), Leopoldsberger, K. (ISC)
Niedertemperaturfügen von Glas, Keramik und Glaskeramik für Optik und Präzisionsmechanik
Anmelde-Az.: 10 2007 060 784.0

(A7)
Kalkowski, G.; Risse, S.; Peschel, T.; Damm, C.
Flexibel verformbares Halteelement für Substrate
Anmelde-Az.: 10 2008 052 100.0

(A8)
Kalkowski, G.; Stenzel, O.; Stöckl, W.
Elektrostatisches Halteelement mit Antireflexbeschichtung, Vermessungsverfahren und Verwendung des Halteelements
Anmelde-Az.: 10 2008 022 792.7

(A9)
Kudaev, S.; Mitrowitsch, J. (mip); Klaus, J. (2KMoxa)
LED-basierender Beleuchtungskörper
Anmelde-Az.: 10 2008 031 184.7

(A10)
Limpert, J.; Tünnermann, A.; Schimpf, D. (IAP)
Vorrichtung zum Verstärken von Lichtimpulsen
Anmelde-Az.: 10 2008 047 226.3

(A 11)
Limpert, J.; Tünnermann, A.; Schimpf, D. (IAP); Seise, E. (IAP); Röser, F. (IAP)
Ultrakurzpulsverstärker mit spektraler Formung
Anmelde-Az.: 10 2008 063 368.2

(A12)
Schenk, C.; Risse, S.; Harnisch, G.; Peschel, T.; Bauer, R., Schubert, G. (Vistec); Jackel, C. (Vistec); Kirschstein, U.-C. (Vistec); Böhm, M. (Vistec)
Aerostatische Lageranordnung mit zugeordneter elektrostatischer Vorspanneinheit, insbesondere für die Vakuumanwendung
Anmelde-Az.: 10 2008 046 636.0

(A13)
Schenk, C.; Risse, S.; Harnisch, G.; Peschel, T.; Bauer, R.; Schubert, G. (Vistec); Jackel, C. (Vistec); Kirschstein, U.-C. (Vistec); Böhm, M. (Vistec)
Aerostatisch geführtes Tischsystem für die Vakuumanwendung
Anmelde-Az.: 10 2008 058 306.5

(A14)
Schenk, C.; Risse, S.; Harnisch, G.; Peschel, T.; Bauer, R.; Schubert, G. (Vistec); Jackel, C. (Vistec); Kirschstein, U.-C. (Vistec); Böhm, M. (Vistec)
Aerostatisch geführtes Tischsystem für die Vakuumanwendungen
Anmelde-Az.: 10 2008 019 681.9

(A15)
Schreiber, P.; Kudaev, S.; Zabel, M. (Siemens AG); Pöppolow, N. (Siemens AG); Zimmermann, D. (Siemens AG); Frost, U. (Siemens AG); Berg, E. (Siemens AG); Burgaß, S. (Siemens AG); Eckl, R. (Siemens AG)
Eisenbahnsignal mit Halbleiterlichtquelle
Anmelde-Az.: 10 2008 047 664.1

(A16)
Schulz, U.; Kaiser, N.; Füchsel, K.; Tünnermann, A.; Scherg, G.-P.; (Rodenstock); Scherschlicht, R. (Rodenstock)
Schichtsystem zur Beheizung optischer Oberflächen und gleichzeitiger Reflexminderung
Anmelde-Az.: 10 2008 014 900.4

(A17)
Schulz, U.; Munzert, P.; Kaiser, N.
Reflexionsminderndes Interferenzschichtsystem und Verfahren zu dessen Herstellung
Anmelde-Az.: 10 2008 018 866.2

(A18)
Zeitner, U. D.; Eckstein, H.-C.; Schmid, W. (Osram)
Kantenemittierender Halbleiterlaser mit Phasenstrukturen
Anmelde-Az.: 10 2008 025 922.5

(A19)
Zeitner, U. D.; Kley, E.-B.
Diffraktives Element mit hoher Wellenfrontebenheit
Anmelde-Az.: 10 2008 014 778.8

Patenterteilungen 2008

(P1)
Beckert, E.; Banse, H.; Zakel, E.; Fettke, M. (PacTech)
Verfahren zum Fügen justierter diskreter optischer Elemente
Veröffentlichungsnummer: DE 10 2007 002 436 B4

(P2)
Duparré, J.; Dannberg, P.; Brückner, A.; Bräuer, A.
Bilderfassungssystem und Verfahren zur Herstellung mindestens eines Bilderfassungssystems
Veröffentlichungsnummer: DE 10 2006 004 802 B4

(P3)
Feigl, T.; Kaiser, N.; Yulin, S.; Kuhlmann, T.
Monochromatorspiegel für den EUV- Bereich
Veröffentlichungsnummer: DE 102 08 705 B4

(P4)
Gebhardt, A.; Peschel, T.; Damm, C.; Rohloff, R. R. (MPIA)
Spiegelträger für einen optischen Spiegel
Veröffentlichungsnummer: DE 10 2005 026 418 B4

(P5)
Kühmstedt, P.; Notni, G.; Riehemann, S.
Vorrichtung und Verfahren zur Vermessung von Entfernungen und/oder räumlicher Koordinaten eines Gegenstandes
Veröffentlichungsnummer: DE 103 44 051 B4

(P6)
Munzert, P.; Scheler, M.; Uhlig, H.; Kaiser, N.; Schulz, U.
Verfahren zur Reduzierung der Grenzflächenreflexion von Kunststoffsubstraten sowie derart modifiziertes Substrat und dessen Verwendung
Veröffentlichungsnummer: EP 1 537 167 B1

(P7)
Schulz, U.; Kaiser, N.; Schallenberg, U. (mso Jena GmbH)
Reflexionsmindernde Beschichtung
EP 1 307 767 B1

(P8)
Stöckl, W.; Feigl, T.; Banse, H.; Eberhardt, R.; Kaiser, N.
Verbundbauteil und Verfahren zur Herstellung eines Verbundbauteiles
Veröffentlichungsnummer: DE 102 40 355 B4

(P9)
Wippermann, F.; Bräuer, A.; Schreiber, P.
Vorrichtung zur Homogenisierung von Strahlung mit nicht regelmäßigen Mikrolinsenarrays
Veröffentlichungsnummer: DE 10 2006 047 941 B4

(P10)
Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Reflektierende Schichtenfolge mit Barriereschichten sowie deren Verwendung
Veröffentlichungsnummer: DE 103 60 540 B4

(P11)
Zeitner, U. D.; Tünnermann, A.; Fuchs, U.; Thomas, J. U. (IAP); Wikszak, E. (IAP); Nolte, S. (IAP)
Verfahren zum Strukturieren von lichtleitenden Fasern entlang deren Längsachse (longitudinale Strukturierung) basierend auf der nichtlinearen Absorption von Laserstrahlung
Veröffentlichungsnummer: DE 10 2006 046 313 B3

Wissenschaftliche Publikationen

Scientific Publications

Bücher
Books

Beckert, E.; Burkhardt, T.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Solder Bumping -- a flexible Joining Approach for the Precision Assembly of optoelectronical Systems
Micro-Assembly Technologies and Applications (2008) p. 139–147, ISBN 978-0-387-77402-2

Duparré, J.; Wippermann, F.; Dannberg, P.; Bräuer, A.
Ultra-dünnes Bilderfassungssystem basierend auf künstlichen Facettenaugen
Jahrbuch 2007 Optik und Feinmechanik: Teil 53 (2008) S. 101–119, ISBN 978-3794907519

Kaiser, N.
Coating technologies
Advanced optics using aspherical elements SPIE PM 173 (2008) Kap. 7, ISBN 978-0-8194-6749-2

Kaiser, N.; Pulker, H.
Optical Interference Coatings
Zhejiang University Press (2008), ISBN 978-7-308-06154-4

Riehemann, S.; Pradarutti, B.; Brückner, C.; Notni, G.
Bildgebung mit gepulster THz-Strahlung - Optik, Systeme und Anwendungen
Jahrbuch 2008 Optik und Feinmechanik (2007) S. 11–27, ISBN 3794907744

Schulz, U.; Kaiser, N.
Multifunktionale optische Polymeroberflächen durch Anwendung von Plasmatechnologien
Jahrbuch Oberflächentechnik Bd. 64 (2008) S. 161–166, ISBN 978-3874802451

Zeitschriften
Journals

Ancona, A.; Röser, F.; Rademaker, K.; Limpert, J.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
High speed laser drilling of metals using a high repetition rate, high average power ultrafast fiber CPA system
Optics Express 16 (2008) 12 p. 8958-8968, ISSN 1094-4087

Bakucz, P.; Schröder, S.; Krüger-Sehm, R.; Duparré, A.; Tünnermann, A.
Wavelet Filtering of Fractal Surfaces
tm -Technisches Messen 75 (2008) 5 p. 339–345, ISSN 0171-8096

Benoit, N.; Schröder, S.; Yulin, S.; Feigl, T.; Duparré, A.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Extreme-ultraviolet-induced oxidation of Mo/Si multilayers
Applied Optics 47 (2008) 19 p. 3455–3462, ISSN 0003-6935

Bischoff, M.; Gäbler, D.; Kaiser, N.; Chuvilin, A.; Kaiser, U.; Tünnermann, A.
Optical and structural properties of LaF3 thin films
Applied Optics 47 (2008) 13 p. C157–C161, ISSN 0003-6935

Blum, M.; Kunert, K.; Riehemann, S.; Ackermann, R.; Dick, M.
Presbyopiekorrektur mit dem Femtosekundenlaser
Ophthalmo-Chirurgie 20 (2008) S. 40–43, ISSN 0936-2517

Bowlan, P.; Fuchs, U.; Trebino, R.; Zeitner, U. D.
Measuring the spatiotemporal electric field of tightly focused ultrashort pulses with sub-micron spatial resolution
Optics Express 16 (2008) 18 p. 13663–13675, ISSN 1094-4087

Bräuer, A.; Scholles, M.; Frommhagen, K.; Gerwig, K.; Lakner, H.; Schenk, H.; Schwarzenberg, M.
Ultracompact laser projection systems based on two-dimensional resonant microscanning mirrors
Journal of Micro-Nanolithography MEMS and MOEMS 7 (2008) 2 p. 02100-1–02100-11, ISSN 1537-1646

Bruchmann, C.; Höfer, B.; Schreiber, P.; Eberhardt, R.; Buss, W.; Peschel, T.; Gebhardt, S.; Tünnermann, A.; Beckert, E.
Fabrication and characterization of a monolithic piezoelectric actuator for fiber coupling
Microsystem Technologies 14 (2008) 4–5 p. 683–690, ISSN 0946-7076

Brückner, C.; Notni, G.; Tünnermann, A.
Optimal arrangement of 90° off-axis parabolic mirrors in THz setups
Optik Online First (2008) DOI: 10.1016/j.ijleo.2008.05.024, ISSN 0030-4026

Brückner, C.; Pradarutti, B.; Müller, R.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.
Design and evaluation of a THz time domain imaging system using standard optical design software
Applied Optics 47 (2008) 27 p. 4994–5006, ISSN 0003-6935

Brückner, F.; Clausnitzer, T.; Burmeister, O.; Friedrich, D.; Kley, E.-B.; Danzmann, K.; Tünnermann, A.; Schnabel, R.
Monolithic dielectric surfaces as new low-loss light-matter interfaces
Optics Letters 33 (2008) 3 p. 264–266, ISSN 0146-9592

Clausnitzer, T.; Kämpfe, T.; Brückner, F.; Heinze, R.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Reflection-reduced encapsulated transmission grating
Optics Letters 33 (2008) 17 p. 1972–1974, ISSN 0146-9592

Clausnitzer, T.; Kämpfe, T.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Tishchenko, A.V.; Parriaux, O.
Highly-dispersive dielectric transmission gratings with 100% diffraction efficiency
Optics Express 16 (2008) 8 p. 5577–5584, ISSN 1094-4087

Cohen, G.; Kaiser, N.; Sasson, S.
High glucose-induced antiangiogenic environment impairs beta cells and microcapillary endothelial cells interactions
Diabetologia 51 (2008) 1 p. 215, ISSN 0012-186X

Deych, L. I.; Schmidt, C.; Chipouline, A.; Pertsch, T.; Tünnermann, A.
Propagation of the fundamental whispering gallery modes in a linear chain of microspheres
Applied Physics B Lasers and Optics 93 (2008) 1 p. 21–30, ISSN 0946-2171

Deych, L.I.; Schmidt, C.; Chipouline, A.; Pertsch, T.; Tünnermann, A.
Optical coupling of fundamental whispering-gallery modes in bispheres
Physical Review A 77 (2008) 5, Art. 051801, ISSN 1050-2947

Dreisow, F.; Heinrich, M.; Szameit, A.; Doring, S.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Fahr, S.; Lederer, F.
Spectral resolved dynamic localization in curved fs laser written waveguide arrays
Optics Express 16 (2008) 5 p. 3474–3483, ISSN 1094-4087

Dreisow, F.; Szameit, A.; Heinrich, M.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Second-order coupling in femtosecond-laser-written waveguide arrays
Optics Letters 33 (2008) 22 p. 2689–2691, ISSN 0146-9592

Dreisow, F.; Szameit, A.; Heinrich, M.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Longhi, S.
Decay control via discrete-to-continuum coupling modulation in an optical waveguide system
Physical Review Letters 101 (2008) 14 Art. 143602, ISSN 0031-9007

Duparré, A.; Ristau, D.
Optical Interference Coatings 2007 Measurement Problem
Applied Optics 47 (2008) 13 C179–C184, ISSN 0003-6935

Duparré, J.; Wippermann, F.; Dannberg, P.; Bräuer, A.
Artificial compound eye zoom camera
Bioinspiration & Biomimetics 3 (2008) 4 Art. 046008, ISSN 1748-3182

Eidam, T.; Röser, F.; Schmidt, O.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
57 W, 27 fs pulses from a fiber laser system using nonlinear compression
Applied Physics B Lasers and Optics 92 (2008) 1 p. 9–12, ISSN 0946-2171

Förster, E.; Müller, R.
Laserbasierte Strahler-Empfängerbaugruppe mit integrierter Mikrooptik zur Messung von Streulicht
tm - Technisches Messen 75 (2008), S. 662–669, ISSN 0171-8096

Friedrich, D.; Burmeister, O.; Bunkowski, A.; Clausnitzer, T.; Fahr, S.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Danzmann, K.; Schnabel, R.
Diffractive beam splitter characterization via a power-recycled interferometer
Optics Letters 33 (2008) 2 p. 101–103, ISSN 0146-9592

Füchsel, K.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Low temperature deposition of indium tin oxide films by plasma-ion-assisted evaporation
Applied Optics 47 (2008) 13 p. C297–C302, ISSN 0003-6935

Hartung, H.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Gischkat, G.; Schrempel, F.; Wesch, W.
Fabrication of ridge waveguides in zinc-substituted lithium niobate by means of ion beam enhanced etching
Optics Letters 33 (2008) 20 p. 2320–2322, ISSN 0146-9592

Hädrich, S.; Rothhardt, J.; Röser, F.; Gottschall, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Degenerate optical parametric amplifier delivering sub 30 fs pulses with 2GW peak power
Optics Express 16 (2008) 24 p.19812–19820, ISSN 1094-4087

Heinrich, M.; Szameit, A.; Dreisow, F.; Doering, S.; Thomas, J.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Ancona, A.
Evanescent coupling in arrays of type II femtosecond laser-written waveguides in bulk x-cut lithium niobate
Applied Physics Letters 93 (2008) 10 Art. 101111, ISSN 0003-6951

Heming, R.; Wittig, L.-C.; Dannberg, P.; Gruber, M.; Jahns, J.; Kley, E.-B.
Efficient planar-integrated free-space optical interconnects fabricated by a combination of binary and analog lithography
Journal of Lightwave Technology 26 (2008) 14 p. 2136–2141, ISSN 0733-8724

Kaiser, N.; Stolz, C. J.
Optical Society of America's 2007 Topical Meeting on Optical Interference Coatings. Overview
Applied Optics 47(2008) 13 p. C297–C302, ISSN 0003-6935

Kämpfe, T.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Designing multiplane computer-generated holograms with consideration of the pixel shape and the illumination wave
Journal of the Optical Society of America 25 (2008) 7 p. 1609–1622, ISSN 1084-7529

Kartashov, Y. V.; Vysloukh, V. A.; Szameit, A.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Pertsch, T.; Torner, L.
Surface solitons at interfaces of arrays with spatially modulated nonlinearity
Optics Letters 33 (2008) 10 p. 1120–1122, ISSN 0146-9592

Kim, J. K.; Kim, H. R.; Tünnermann, A.; Oh, K.
Synthesis of pure white color and its equal power, equal chromatic splitting through a novel 3x3 fiber optic visible multiplexer
Optics Express 16 (2008) 22 p. 17319–17328, ISSN 1094-4087

Kozhevnikov, I.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Effect of anomalous transmittance in EUV multilayer optics
Optics Communication 281 (2008) 11 p. 3025–3031, ISSN 0030-4018

Petschulat, J.; Menzel, C.; Chipouline, A.; Rockstuhl, C.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Pertsch, T.
Multipole approach to metamaterials
Physical Review A 78 (2008) 4 Art. 043811, ISSN 1050-2947

Pinegyn, V. I.; Zubarev, E. N.; Kondratenko, V. V.; Sevryukova, V. A.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Structure and stressed state of molybdenum layers in Mo/Si multilayers
Thin Solid Films 516 (2008) 10 p. 2973–2980, ISSN 0040-6090

Kozhevnikov, I.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Effect of anomalous transmittance in EUV multilayer optics
Optics Communications 281 (2008) 11 p. 3025–3031, ISSN 0030-4018

Kühmstedt, P.; Hintersehr, J.
Optische 3D-Messtechnik im Dentalbereich
Digital_dental.news 2 (2008) 9 S. 40–45, ISSN 1863-7957

Leitel, R.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Stochastic subwavelength structures on poly (methyl methacrylate) surfaces for antireflection generated by plasma treatment
Applied Optics 47 (2008) 13 p. C143–C146, ISSN 0003-6935

Matthäus, G.; Cimalla, V.; Pradarutti, B.; Riehemann, S.; Notni, G.; Lebedev, V.; Ambacher, O.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Highly efficient THz emission from differently grown InN at 800 nm and 1060 nm excitation
Optics communications 281 (2008) 14 p. 3776–3780, ISSN 0030-4018

Matthäus, G.; Nolte, S.; Hohmuth, R.; Voitsch, M.; Richter, W.; Pradarutti, B.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.
Microlens coupled interdigital photoconductive switch
Applied Physics Letters 93 (2008) 9 Art. 091110, ISSN 0003-6951

Matthäus, G.; Ortac, B.; Limpert, J.; Nolte, S.; Hohmuth, R.; Voitsch, M.; Richter, W.; Pradarutti, B.; Tünnermann, A.
Intracavity terahertz generation inside a high-energy ultrafast soliton fiber laser
Applied Physics Letters 93 (2008) 26 Art. 261105, ISSN 0003-6951

Nodop, D.; Linke, S.; Jansen, F.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Rindorf, L.
Long period gratings written in large-mode area photonic crystal fiber
Applied Physics B, Lasers and Optics 92 (2008) 4 p. 509–512, ISSN 0946-2171

Ortac, B.; Lecaplain, C.; Hideur, A.; Schreiber, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Passively mode-locked single-polarization microstructure fiber laser
Optics Express 16 (2008) 3 p. 2122–2128, ISSN 1094-4087

Petschulat, J.; Menzel, C.; Chipouline, A.; Rockstuhl, C.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Pertsch, T.
Multipole approach to metamaterials
Physical Review A 78 (2008) 4 Art. 043811, ISSN 1050-2947

Pinegyn, V. I.; Zubarev, E. N.; Kondratenko, V. V.; Sevryukova, V. A.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
Structure and stressed state of molybdenum layers in Mo/Si multilayers
Thin Solid Films 516 (2008) 10 p. 2973–2980, ISSN 0040-6090

Pilvi, T.; Ritala, M.; Leskelä, M.; Bischoff, M.; Kaiser, U.; Kaiser, N.
Atomic layer deposition process with TiF4 as a precursor for depositing metal fluoride thin films
Applied Optics 47 (2008) 13 p. C271–C274, ISSN 1094-4087

Pradarutti, B.; Matthäus, G.; Riehemann, S.; Notni, G.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Highly efficient terahertz electro-optic sampling by material optimization at 1060 nm
Optics Communications 281 (2008) 19 p. 5031–5035, ISSN 0030-4018

Pradarutti, B.; Müller, R.; Brückner, C.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.; Matthäus, G.; Nolte, S.
Mehrkanalige THz-Bildgebung zur Qualtitätskontrolle
tm -Technisches Messen 75 (2008) 1 S. 58–63, ISSN 0171-8096

Pradarutti, B.; Müller, R.; Freese, W.; Matthäus, G.; Riehemann, S.; Notni, G.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Terahertz line detection by a microlens array coupled photoconductive antenna array
Optics Express 16 (2008) 22 p. 18443–18450, ISSN 1094-4087

Regin, J.; Westkaemper, E.; Schröder, S.; Tünnermann, A.; Duparré, A.; Ritter, M.; Staude, A.; Goebbels, J.; Kranzmann, A.; Kraemer, P.; Weckenmann, A.; Zimmermann, J.; Sawodny, O.; Lyda, W.; Osten, W.
Multimodal data fusion exemplified on a microlens array
tm -Technisches Messen 75 (2008) 5 p. 346–359, ISSN 0171-8096

Riehemann, S.; Lippmann, U.; Notni, G.
Magnetically inert medical projection system with an image-guiding optical fiber
Journal of the Society for Information Display 16 (2008) 2 p. 281–284, ISSN 1071-0922

Röser, F.; Jauregui, C.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
94 W 980 nm high brightness Yb-doped fiber laser
Optics Express 16 (2008) 22 p. 17310–17318, ISSN 1094-4087

Röser, F.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
High-Power Fiber Lasers: Ultrafast fiber laser reaches gigawatt peak powers
Laser Focus World 44 (2008) 5 p. 91–95, ISSN 1043-8092

Röser, F.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Ultrafast fiber laser reaches gigawatt peak powers
Laser Focus World 44 (2008) 5 p. 91–95, ISSN 1043-8092

Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Röser, F.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
500 MW peak power degenerated optical parametric amplifier delivering 52 fs pulses at 97 kHz repetition rate
Optics Express 16 (2008) 12 p. 8981–8988, ISSN 1094-4087

Ruske, J.-P.; Tünnermann, A.
New applications for integrated optical devices
Photonik International (2007) p. 122–125, ISSN 1432-9778

Schenk, C.; Buschmann, S.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Comparison between flat aerostatic gas-bearing pads with orifice and porous feedings at high-vacuum conditions
Precision Engineering - Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology 32 (2008) 4 p. 319–328, ISSN 0141-6359

Schimpf, D. N.; Damian, N.; Seise, E.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Decrease of pulse-contrast in nonlinear chirped-pulse amplification systems due to high-frequency spectral phase ripples
Optics Express 16 (2008) 12 p. 8876–8886, ISSN 1094-4087

Schimpf, D. N.; Ruchert, C.; Nodop, D.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Salin, F.
Compensation of pulse-distortion in saturated laser amplifiers
Optics Express 16 (2008) 22 p. 17637–17646, ISSN 1094-4087

Schimpf, D. N.; Seise, E.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
The impact of spectral modulations of the contrast of pulses of nonlinear chirped-pulse amplification systems
Optics Express 16 (2008) 14 p. 10664–10674, ISSN 1094-4087

Schmidt, C.; Chipouline, A.; Pertsch, T.; Tünnermann, A.; Egorov, O.; Lederer, F.; Deych, L.
Nonlinear thermal effects in optical microspheres at different wavelength sweeping speeds
Optics Express 16 (2008) 9 p. 6285–6301, ISSN 1094-4087

Schmidt, O.; Rothhardt, J.; Eidam, T.; Röser, F.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Hansen, K. P.; Jakobsen, C.; Broeng, J.
Single-polarization ultra-large-mode-area Yb-doped photonic crystal fiber
Optics Express 16 (2008) 6 p. 3918–3923, ISSN 1094-4087

Schröder, S.; Duparré, A.; Tünnermann, A.
Roughness evolution and scatter losses of multilayers for 193 nm optics
Applied Optics 47 (2008) 13 p. C88–C97, ISSN 0003-6935

Schulz, U.
Antireflective surface structures on plastic lenses by plasma-etching process AR-plas
Manufacturers Forum (2008) 2 p. 13–15, ISSN 1614-1598

Schulz, U.
Kunststoffoptiken mit Antireflex- und Antibeschlageigenschaften durch Plasmaätzen und Beschichtung
Vakuum in Forschung und Praxis 20 (2008) 3 S. 37–41, ISSN 1522-2454

Schulz, U.; Lau, K.; Kaiser, N.
Antireflection coating with UV-protective properties for polycarbonate
Applied Optics 47 (2008) 13 p. C83–C87, ISSN 0003-6935

Schulz, U.; Lau, K.; Kaiser, N.
UV-protective properties for polycarbonate
Applied Optics 47 (2007) 13 p. C83–C87, ISSN 0003-6935

Schürmann, M.; Kaiser, N.
Altes und Neues über Dünnschicht Strahlteiler (Old and new knowledge about thin film beamsplitters)
Vakuum in Forschung und Praxis 20 (2008) 4 S. 29–33, ISSN 0947-076X

Stenzel, O.; Wilbrandt, S.; Fasold, D.; Kaiser, N.
Hybrid in-situ monitoring strategy for optical coating deposition: Application to the preparation of chirped dielectric mirrors
Journal of Optics A 10 (2008) Art. 8085305, ISSN 1464-4258

Szameit, A.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Suran, E.; Louradour, F.; Barthélémy, A.; Longhi, S.
Image reconstruction in segmented femtosecond laser-written waveguide arrays
Applied Physics Letters 93 (2008) Art. 101111, ISSN 1077-3118

Szameit, A.; Garanovich, I. L.; Heinrich, M.; Sukhorukov, A. A.; Dreisow, F.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Kivshar, Y. S.
Observation of Defect-Free Surface Modes in Optical Waveguide Arrays
Physical Review Letters (2008) 101 Art. 203902, ISSN 1079-7114

Szameit, A.; Trompeter, H.; Heinrich, M.; Dreisow, F.; Peschel, U.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Lederer, F.; Tünnermann, A.
Fresnel's laws in discrete optical media
New journal of physics 10 (2008) Art. 103020, ISSN 1367-2630

Szameit, A.; Garanovich, I. L.; Heinrich, M.; Minovich, A.; Dreisow, F.; Sukhorukov, A. A.; Pertsch, T.; Neshev, D. N.; Nolte, S.; Krolikowski, W.; Tünnermann, A.; Mitchell, A.; Kivshar, Y. S.
Observation of diffraction-managed discrete solitons in curved waveguide arrays
Physical Review A 78 (2008) 3 Art. 031801, ISSN 1050-2947

Szameit, A.; Kartashov, Y. V.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Vysloukh, V. A.; Torner, L.
Observation of surface solitons in chirped waveguide arrays
Optics Letters 33 (2008) 10 p. 1132–1134, ISSN 0146-9592

Szameit, A.; Kartashov, Y. V.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Vysloukh, V. A.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Torner, L.
Observation of two-dimensional lattice interface solitons
Optics Letters 33 (2008) 7 p. 663–665, ISSN 0146-9592

Szameit, A.; Kartashov, Y. V.; Vysloukh, V. A.; Heinrich, M.; Dreisow, F.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Torner, L.
Angular surface solitons in sectorial hexagonal arrays
Optics Letters 33 (2008) 13 p. 1542–1544, ISSN 0146-9592

Szameit, A.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Lederer, F.
Long-range interaction in waveguide lattices
Physical Review A 77 (2008) 4 Art. 043804, ISSN 0031-9007

Szameit, A.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Tunable discrete Talbot effect in inhomogeneous photonic lattices
Optics Communications 281 (2008) 6 p. 1510–1514, ISSN 0030-4018

Tavalai, N.; Kraiger, M.; Kaiser, N.; Stamminger, T.
Results in a Recombinant Virus with Enhanced Viral Growth
Journal of Virology 82 (2008) 21 p. 10543–10555, ISSN 0022-538X

Thomas, J.; Voigtlander, C.; Schimpf, D.; Stutzki, F.; Wikszak, E.; Limpert, J.; Nolte, S.; Tünnermann, A.
Continuously chirped fiber Bragg gratings by femtosecond laser structuring
Optics Letters 33 (2008) 14 p. 1560–1562, ISSN 0146-9592

Tünnermann, A.
Unique geometry
Nature Photonics 2 (2008) 1 p. 32, ISSN 1749-4893

Wilbrandt, S.; Stenzel, O.; Kaiser, N.; Trubetskov, M. K.; Tikhonravov, A.V.
In situ optical characterization and reengineering of interference coatings
Applied Optics 47 (2008) 13 p. C49–C54, ISSN 1094-4087

Wirth, C.; Schreiber, T.; Eberhardt, R.; Eschrich, T.; Böhme, S.; Tünnermann, A.
Fasern richtig präparieren
Laser + Produktion Spezial (2008) S. 4–7, ISSN 1610-3521

Young, D. R.; Smartt, S. J.; Mattila, S.; Tanvir, N. R.; Bersier, D.; Chambers, K. C.; Kaiser, N.; Tonry, J. L.
Core-collapse supernovae in low-metallicity environments and future all-sky transient surveys
Astronomy & Astrophysics 489 (2008) 1 p. 359–375, ISSN 0004-6361

Yulin, S.; Feigl, T.; Benoit, N.; Perske, M.; Taracheva, E.; Schröder, S.; Nesterenko, V.; Kaiser, N.
Hochreflektierende EUV/Röntgen-Mehrschichtspiegel
Photonik 2 (2008) p. 48-50, ISSN 1432-9778

Zubarev, E. N.; Kondratenko, V. V.; Sevryukova, V. A.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
The structure of Mo/Si multilayers prepared in the conditions of the ionic assistance
Applied Physics A Materials Science & Processing 90 (2008) 4 p. 705–710, ISSN 0947-8396

Eingeladene Vorträge
Invited Papers

Beckert, E.; Schreiber, P.; Burkhardt, T.; Werner, E.; Hülsewede, R.
Design and assembly of a miniaturized high power laser bar to 50 µm fiber coupling module
SPIE Photonics West 2008 USA, 19.–24.1.2008, San Jose, California, USA

Bräuer, A.
Advanced technologies for microoptical systems
Tokio Microoptics Symposium, 23.11.–2.12.2008, Tokio, Japan

Bräuer, A.
Microoptics for LED beam shaping
LEDs 2008 - 9th annual conference & exhibition - IntertechPira, 29.9.2008, San Diego, California, USA

Bräuer, A.
Microoptics for LED illumination and waver-level fabricated micro-cameras
Tokio Microoptics Symposium, 23.11.–2.12.2008, Tokyo, Japan

Bräuer, A.
Microoptics for highly efficient LED modules
Semicon, Suss LED-Workshop, 11.9.2008, Taipei, Taiwan

Bräuer, A.; Kudaev, S.
Strahlformung von LED-Licht
LED-Informationsveranstaltung, 5.7.2008, Moxa, Deutschland

Danz, N.; Flämmich, M.; Michaelis, D.; Wächter, C.
Micro- and Nano-Optical Modeling of Organic LED
OSA Optics and Photonics Congress, 13.–16.7.2008, Boston, Massachusetts, USA
Technical Digest OSA Optics and Photonics Congress on CD-ROM (2008)

Duparré, A.
Characterization of Surface and Thin-Film Roughness using PSD Functions
Optical Fabrication & Testing OF&T Topical Meeting, 21.–24.10.2008, Rochester, USA
Technical Digest Frontiers in Optics 2008, Laser Science XXIV, ISBN 9781557528612

Eberhardt, R.; Beckert, E.; Burkhardt, T.; Böhme, S.; Tünnermann, A.
Optoelectronical packaging based on laser joining
SPIE Photonics West 2008 USA, 19.–24.1.2008, San Jose, California, USA

Feigl, T.
Multilayer-Optiken für den extrem ultravioletten Spektralbereich
373. JENAer Carl-Zeiss-Optikkolloquium, 27.5.2008, Jena, Deutschland

Feigl, T.; Yulin, S.; Perske, M.; Schürmann, M.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Multilayer Mirrors for EUV Lithography - Pushing Technological Limits
International Workshop on EUV Lithography, 10.–12.6.2008, Maui, Hawai, USA

Feigl, T.; Yulin, S.; Perske, M.; Schürmann, M.; Nesterenko, V.; Kaiser, N.
Multilayer optics for EUV and soft X-ray applications
16th Polish-Czech-Slovak Optical Conference, 8.–12.9.2008, Polanica Zdrój, Poland

Feigl, T.; Yulin, S.; Schürmann, M.; Perske, M.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
EUV Spiegelbeschichtungen
Berliner Glas KGaA Herbert Kubatz GmbH & Co., Berlin: Technologietag „EUV Lithographie" 2008 CD-ROM, 30.4.2008, Berlin, Deutschland

Garanovich, I.; Szameit, A.; Sukhorukov, A.; Heinrich, M.; Dreisow, F.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Kivshar, Y.
Observation of novel surface waves in optical waveguide arrays
Joint Conference of the Opto-Electronics and Communications Conference and the Australian Conference on Optical Fibre Technology, 7.–10.7.2008 Sydney, Australia
Proceedings (2008) p. 1–2
ISBN 978-0-85825-807-5

Kudaev, S.; Schreiber, P.
Scaling of the LED collimators with folded multiple reflections
SPIE Optics & Technology Conference, Laser Beam Shaping IX, 10.–14.8.2008, San Diego, California, USA

Notni, G.
3D-Geometrieerfassung mittels Streifenprojektion für die Qualitätssicherung in Gießereiprozessen
Measurement 2008, 20.–21.2.2008, Göttingen, Deutschland

Schulz, U.
Antireflection surface structures obtained by pre-coating and plasma etching
8th SYMPOSIUM OF EUROPEAN VACUUM COATERS, 29.9.–1.10.2008, Anzio, Italy

Schulz, U.
Beschichtung und Strukturierung von Kunststoffen für die Optik
Thüringer Grenz- und Oberflächentage, 16.–18.9.2008, Jena, Deutschland

Schulz, U.; Munzert, P.; Leitel, R.; Bollwahn, N.; Wendling, I.; Kaiser, N.
Plasma processes for antireflective structures on plastics
SPIE Proceedings Vol. 7101 (2008), Art. 710107, ISBN 9780819473318

Tünnermann, A.
Faserlaser: Grundlagen und Perspektiven
Optikkolloquium, Universität Bonn, Institut für Angewandte Physik, 8.1.2008, Bonn, Deutschland

Tünnermann, A.
Industrial perspectives of ultrafast lasers
Laser & Photonics Marketplace, 21.1.2008, San Jose, California, USA

Tünnermann, A.
Displaytechnik – Märkte und Perspektiven
Optatec – Spectaris-Analysten-Konferenz, 18.6.2008, Frankfurt, Deutschland

Tünnermann, A.
Microoptics
Institutskolloquium Fraunhofer IPMS, 7.2.2008, Dresden, Deutschland

Tünnermann, A.
Faserlaser
Physikalisches Kolloquium der Martin-Luther-Universität Halle, 24.4.2008, Halle/Saale, Deutschland

Tünnermann, A.
Clusterförderung als Instrument der Wachstums- und Beschäftigungspolitik
Wirtschaftsministerkonferenz, 9.6.2008, Regensburg, Deutschland

Tünnermann, A.
Der Fraunhofer-Innovationscluster Optische Technologien in Jena JOIN – Jena Optical INnovations
Hannovermesse 2008, 21.4.2008, Hannover, Deutschland

Tünnermann, A.; Limpert, J.; Nolte, S.
Ultrafast Fiber Amplifier Systems: Status, Perspectives and Applications
Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2008, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA

Tünnermann, A.
Jena Optical Innovations JOIN
Coimbra Plenary Session, 16.5.2008, Jena, Deutschland

Tünnermann, A.
High power fiber lasers and their applications
IPTC 2008, 24.9.2008, Gwangju, Korea

Tünnermann, A.
Collaborative Research between Science and Industry: Basis of Innovations in Optical Technologies
Symposien im Rahmen der Thüringer Wirtschaftsdelegation, 29.9.2008, Seoul, Korea, 2.10.2008, Tokyo, Japan

Tünnermann, A.
Active optical fibers: status and prospects
Otto-Schott-Award 2008, 3.11.2008, Mainz, Germany

Tünnermann, A.
Cluster – ein Weg zum Erfolg? Eine Analyse am Beispiel des Optikstandortes Jena
Stifterverband, 5.11.2008, Jena, Deutschland

Tünnermann, A.
Solid state laser technology I
High power fiber lasers
Laserworkshop DSO Laboratories Singapore, 5.12.2008, Singapore

Tünnermann, A.
Solid state laser technology II
Industrial perspectives of ultrafast lasers
IEEE PhotonicsGlobal@Singapore 2008, 10.12.2008, Singapore

Wächter, C.; Danz, N.; Michaelis, D.; Flämmich, M.; Kudaev, S.; Bräuer, A.; Gather, M. C.; Meerholz, K.
Intrinsic OLED emitter properties and their effect on device performance
SPIE Light-Emitting Diodes: Research, Manufacturing, and Applications XII, 22.–24.1.2008, San Jose, California, USA
SPIE Proceedings Vol. 6910 (2008), p. 691006–691006-11, ISBN 9780819470850

Zeitner, U. D.
E-Beam Lithographie für moderne mikro- und nanooptische Anwendungen
OptoNet Workshop Elektronenstrahl-Lithographie, 25.4.2008, Jena

Vorträge, Poster, Konferenzen
Lectures, Posters, Conferences

Ackermann, R.; Kammel, R.; Kunert, K.; Dick, M.; Blum, M.; Notni, G.; Nolte, S.
Characterizing the elasticity of ex-vivo lenses on a physiological scale as to fs-laser treatment
2nd Congress of the International Society of Presbyopia, 12.9.2008, Berlin, Deutschland

Barlen, B.; Mazumdar, S. D.; Danz, N.; Sonntag, F.; Keusgen, M.
A new hand-held surface plasmon resonance (SPR) device for rapid on location detection of bacterial infections
Biosensors & Bioelectronics, BIOS 2008, 19.–24.1.2008, San Jose, California, USA

Beckert, E.
Optoelectronic Packaging based on Laser Joining
9. OPTATEC, 17.–20.6.2008, Frankfurt/Main, Germany

Beckert, E.; Burkhardt, T.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Solder Bumping – a flexible Joining Approach for the Precision Assembly of optoelectronical Systems
Micro-assembly technologies and applications: IFIP TC5 WG 5.5 Fourth International Precision Assembly Seminar (IPAS' 2008), 10.–13.2.2008, Chamonix, France
Proceedings (2008), p. 416,
ISBN 978-0-387-77402-2

Bischoff, M.; Sode, M.; Gäbler, D.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Plasma assisted deposition of metal fluorides for 193 nm applications
61st Annual Gaseous Electronics Conference, 14.–17.10.2008, Dallas, Texas, USA

Bollwahn, N.; Schulz, U.; Kaiser, N.
Optimierte Masterstrukturen für die Abformung von Kunststoffoptiken mit Antireflexeigenschaften
16. Neues Dresdner Vakuumtechnisches Kolloquium (NDVaK) zur Beschichtung, Modifizierung und Charakterisierung von Polymeroberflächen, 16.–17.10.2008, Dresden, Deutschland

Bowlan, P.; Fuchs, U.; Gabolde, P.; Trebino, R.; Zeitner, U. D.
Measuring the spatiotemporal electric field of tightly focused ultrashort pulses
Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2008, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Technical Digest on CD-ROM CLEO QUELS 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics, Art. CThK6

Bräuer, A.
Licht aus Kristallen -Leuchtdioden erobern unseren Alltag
109. DGaO Jahrestagung, 13.–17.5.2008, Esslingen, Deutschland

Bräuer, A.
Neue LED-basierte Beleuchtungsmodule
OptoNet/ JOIN-Workshop Moderne Beleuchtungskonzepte, 31.1.2008, Jena, Deutschland

Bräuer, A.
Lichtmanagement in OLED-Systemen
Innovationsforum Anwendung von OLED für Beleuchtung, 20.–21.2.2008, Jena, Deutschland

Bräuer, A.
Mit neuen LED's nicht nur mehr Licht
Wirtschaft und Wissenschaft in Schwung, 5. Thüringer Technologieforum, 8.5.2008, Erfurt, Deutschland

Bräuer, A.; Schreiber, P.; Kudaev, S.
Neue LED-Strahlformungselemente
9. OPTATEC – Internationale Fachmesse Optischer Technologien, Komponenten, Systeme und Fertigung für die Zukunft, 17.–20.6.2008, Frankfurt/Main, Deutschland

Bräuer-Burchardt, C.; Munkelt, C.; Heinze, M.; Kühmstedt, P.; Notni, G.
Phase Unwrapping in Fringe Projection Systems Using Epipolar Geometry
Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS) - 10th International Conference, 20.–24.10.2008, Juan-les-Pins, France
Proceedings (2008), p. 422–432

Breitbarth, M.; Bräuer-Burchardt, C.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.; Notni, G.
Measurement of optical free-form surfaces with fringe projection
SPIE International Conference on Optics and Photonics, 10.–14.8.2008, San Diego, USA
SPIE Proceedings Vol. 7066 (2008) Art. 706605, ISBN 978-0-819-47286-1

Bruchmann, C.; Höfer, B.; Schreiber, P.; Eberhardt, R.; Buss, W.; Peschel, T.; Gebhardt, S.; Tünnermann, A.; Beckert, E.
Application of PZT thick-films on adjusting purposes in micro-optical systems
SPIE Proceedings Vol. 6589 (2008), Art. 65891M, ISBN 978-0-819-46717-1

Bruchmann, C.; Peschel, T.; Eberhardt, R.; Beckert E.; Tünnermann, A.
Concept and Dimensioning of Thin Ceramic High Power Mirrors
53. Internationales wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau, 8.–12.9.2008, Ilmenau, Germany

Brückner, A.; Duparré, J.; Bräuer, A.
Advanced artificial compound-eye imaging systems
MOEMS and miniaturized systems VII, 22.–23.1.2008, San Jose, California, USA

Brückner, A.; Duparré, J.; Bräuer, A.
Advanced artificial compound-eye imaging systems
SPIE Proceedings Vol. 6887 (2008) p. 688709–688709-11, ISBN 978-0-819-47062-1

Brückner, A.; Duparré, J.; Bräuer, A.
Microoptical System for close-up imaging of extended objects
14th Microoptics Conference (MOC 08), 25.–27.9.2008, Brussels, Belgium
Proceedings (2008), p. 94–95

Brückner, C.; Pradarutti, B.; Müller, R.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.
Design and Test of a THz Time Domain Imaging System using Standard Optical Design Software
3. Workshop Terahertz Technologie (VDI), 4.–5.3.2008, Kaiserslautern, Germany

Brückner, C.; Käsebier, T.; Pradarutti, B.; Riehemann, S.; Notni, G.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Broadband Antireflective Structures for the THz Spectral Range Fabricated on High Resistive Float Zone Silicon
Infrared, Millimeter and Terahertz Waves 2008, 33rd IRMMW- and 16th THz Electronics Conference, 15.–19.9.2008, Pasadena, California, USA,
Proceedings, p.1–2, ISBN 978-1-424-42119-0

Brückner, C.; Pradarutti, B.; Müller, R.; Riehemann, S., Notni, G.; Tünnermann, A.
Design and analysis of quasi-optical THz time domain imaging systems
SPIE Europe Optical Systems Design, 2.–5.9.2008, Glasgow, United Kingdom
SPIE Proceedings Vol. 7100 (2008) Art. 71000S, ISBN 978-0-819-47330-1

Brückner, C.; Pradarutti, B.; Müller, R.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.
Design und Bewertung eines THz Time Domain Imaging Systems
109. DGaO Jahrestagung, 13.–17.5.2008, Esslingen, Deutschland

Danz, N.; Höfer, B.; Kießling, H.; Sonntag, F.; Barlen, B.; Keusgen, M.
Paralleles SPR Analysegerät für markierungsfreie vor-Ort-Analysen
Heiligenstädter Kolloquium, 22.–24.9.2008, Heiligenstadt, Deutschland

Duparré, A.
Charakterisierung von Mikro- und Nanostrukturen an Oberflächen
Fraunhofer Vision Technologietag 2008, 9.–10.10.2008, Fraunhofer IFF, Magdeburg, Deutschland

Dreisow, F.; Szameit, A.; Heinrich, M.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Longhi, S.
Decay control via discrete-continuum modulation in optical waveguides
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p. 2069–2070, ISBN 978-1-557-52859-9

Eberhardt, R.
Joining Technologies for Optical Systems
9. OPTATEC,17.–20.6.2008, Frankfurt/Main, Germany

Eckstein, C.; Zeitner, U. D.
Diffractive unstable VECSEL- Resonator with a Gaussian shaped outcoupled Beam
14th Microoptics Conference (MOC 08), 25.–27.9.2008, Brussels, Belgium
Proceedings, p.121–122

Eckstein, C.; Zeitner, U. D.
Experimental realization of a diffractive unstable resonator with Gaussian outcoupled beam using a VECSEL amplifier
Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2008, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Technical Digest on CD-ROM CLEO QUELS 2008, Art. CWD7

Eilenberger, F.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Lederer, F.; Röpke, U.; Kobelke, J.; Schuster, K.; Bartelt, H.; Tünnermann, A.
Nonlinear, discrete-continuous propagation of ultrashort pulses in 2-dimensional, periodic fibre arrays
Joint Conference of the Opto-Electronics and Communications Conference/Australian Conference on Optical Fiber Technology, 7.–10.7.2008, Sydney, Australia
JCOECC 2008 (2008) p.454–455, ISBN 978-0-85825-863-1

Eschrich, T.; Wirth, C.; Böhme, S.; Schreiber, T.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Preparation, Joining and Packaging Concepts for High Power Fiber Lasers
Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2008, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Technical Digest on CD-ROM CLEO QUELS 2008, Art. CMA7
Cleo Quels 2008 (2008) p.342–343, ISBN 978-1-557-52859-9

Feigl, T.; Perske, M.; Pauer, H.; Yulin, S.; Schürmann, M.; Kaiser, N.
Kollektorspiegel für die EUV-Lithographie
OptoNet Workshop Funktionale Oberflächen für optische Anwendungen, 12.11.08, Jena, Deutschland

Feigl, T.; Yulin, S.; Benoit, N.; Perske, M.; Schürmann, M.; Kaiser, N.; Böwering, N.; Khodykin, O.; Fomenkov, I. V.; Brandt, D.
Enhanced Reflectivity and Stability of High-Temperature LPP Collector Mirrors
SPIE Advanced Lithography, 24.–29.2.2008, San Jose, California, USA
SPIE Proceedings Vol. 7077 (2008) Art. 70771W, ISBN 978-0-819-47297-7

Feigl, T.; Yulin, S.; Schürmann, M.; Perske, M.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Multilayer Optics for 2 to 150 nm
COST Action MP0601 Working Group Meeting Short Wavelength Laboratory Sources, 30.–31.5.2008, Warzawa, Poland

Feigl, T.; Yulin, S.; Perske, M.; Schürmann, M.; Kaiser, N.
XUV Multilayer Spiegel
4. Thüringer Grenz- und Oberflächentage, 16.–18.9.2008, Jena, Deutschland

Förster, E.; Schreiber, P.; Müller, R.; Brodersen, O.
Reflective optical sensor for scattered light with integrated micro-optics
OPTO & IRS² Kongress 2008, 6.–8.5.2008, Nürnberg, Germany

Friedrich, D.; Burmeister, O.; Britzger, M.; Bunkowski, A.; Clausnitzer, T.; Fahr, S.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.; Danzmann, K.; Schnabel, R.
Power-recycled Michelson interferometer with a 50/50 grating beam splitter
Journal of Physics: Conference Series 122 (2008) Art. 012018, ISSN 1742-6596

Füchsel, K.
Photonen-Elektronen-Management in nano-strukturierten SIS-Solarzellen
OptoNET Workshop „Funktionale Oberflächen", 12.11.2008, Fraunhofer IOF, Jena, Deutschland

Füchsel, K.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Structural and electrical properties of low temperature deposited ITO films
SPIE Optical Systems Design, 2.–5.9.2008, Glasgow, Scotland, United Kingdom
SPIE Proceedings Vol. 7101 (2008) Art. 71010O, ISBN 978-0-819-47331-8

Gastinger, K.; Kujawinska, M.; Løvhaugen, O.; Beer, S.; Gorecki, C.; Zeitner, U.D.
Smatiehs - Smart Inspection System for High Speed and Multifunctional Testing of Mems and Moems
14th Micro-optics conference (MOC ,08), 25.–27.9.2008, Brussels, Belgium
Technical Digest (2008) p.194-195

Gather, M.; Flämmich, M.; Danz, N.; Kaiser, M.; Zacharias, P.; Köhnen, A.; Rehmann, N.; Meerholz, K.
Where is the Dipole? Measuring and Optimizing the Emissive Dipole Distribution in Polymeric OLEDs
7th International Conference on Electroluminescence of Molecular Materials and Related Phenomena (ICEL-7), 3.9.2008, Dresden, Germany

Gebhardt, A.
Justierdrehen – eine Schlüsseltechnologie für die Montage von Präzisionsobjektiven
9. OPTATEC, 17.–20.6.2008, Frankfurt/Main, Deutschland

Gebhardt, A.; Steinkopf, R.
Manufacturing of freedom optics by 3D ruling
Euspen International Conference, 18.–22.5.2008, Zurich, Switzerland

Gebhardt, S.; Schönecker, A.; Bruchmann, C.; Beckert, E.; Rodrigues, G.; Bastaits, R.; Preumont, A.
Active Optical Structures by Use of PZT Thick Films
International Conference and Exhibition on Ceramic Interconnect and Ceramic Microsystems Technologies - CICMT 2008, 21.–24.4.2008, Munich, Germany

Gebhardt, S.; Schönecker, A.; Bruchmann, C.; Beckert, E.; Rodrigues, G.; Preumont, A.
Development of active optical systems by application of PZT thick films
3rd International Conference smart materials structures systems (CIMTEC 2008), 8.–13.6.2008, Acrieale, Italy

Geiss, R.; Schiek, R.; Pertsch, T.; Chipouline, A.; Egorov, O.; Lederer, F.; Sohler, W.; Tünnermann, A.
Nonlinear Effects in PPLN Waveguide Resonators
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p.218–219, ISBN 978-1-557-52859-9

Gliech, S.; Wendt, R.; Duparré, A.
Streulichtsystem ALBATROSS
109. DGaO Jahrestagung, 13.–17.5.2008, Esslingen, Deutschland

Großmann, C.; Lippmann, U.; Riehemann, S.; Notni, G.
Design und Entwicklung eines hochauflösenden Mikroobjektives für Werkzeugvermessung
109. DGaO Jahrestagung, 13.–17.5.2008, Esslingen, Deutschland

Helm, R.; Mauroner, O.
Innovation and market characteristics: Success of new research-based spin-off products
3rd Sino-German workshop on Technology Innovation and Management, 19.–23.10.2008, Kunming, China

Helm, R.; Mauroner, O.
Determinants of spin-off's long term success - a casual model
6th Interdisciplinary European Conference on Entrepreneurship Research (IECER), 6.3.2008, Regensburg, Germany

Hill, S. B.; Faradzhev, N. S.; Tarrio, C.; Lucatorto, T B.; Madey, T. E.; Yakshinskiy, B. V.; Loginova, E.; Yulin, S.
Accelerated lifetime metrology of EUV multilayer mirrors in hydrocarbon environments
SPIE Advanced Lithography, 24.–29.2.2008, San Jose, California, USA
SPIE Proceedings Vol. 6921 (2008) Art. 692117, ISBN 978-0-819-47106-2

Hiltunen, I.; Stenvall, A.; Korpela, A.; Lehtonen, J.; Mikkonen, R.; Runde, M.; Magnusson, N.; Kalkowski, G.
Cryogenic Design of the Aluheat-Project
Advances in cryogenic engineering Transactions of the Cryogenic Engineering Conference, Vol. Volume 53, AIP Conference Proceedings, Volume 985 (2008) p. 1015–1022, ISBN 9780735405042

Hinze, U.; Chichkov, B. N.; Feigl, T.; Zeitner, U. D.; Damm, C.; Bolshukhin, D.; Kleinschmidt, J.; Schriever, G.; Schürmann, M. C.
Performance and lifetime of EUV source collectors measured with a full size EUV collector reflectometer
SPIE Advanced Lithography, 24.–29.2.2008, San Jose, California, USA
SPIE Proceedings Vol. 6921 (2008) Art. 69213A, ISBN 978-0-819-47106-2

Kämpfe, T.; Hudelist, F.; Waddie, A.J.; Taghizadeh, M. R.; Kley, E.-B.; Tünnermann, A.
Comparison of different simulation methods for multi plane, computer generated holograms
SPIE Proceedings Vol. 6992 (2008) Art. 69920M, ISBN 978-0-819-47190-1

Kaiser, N.; Yulin, S.; Perske, M.; Feigl, T.
High-performance EUV multilayer optics
SPIE Proceedings Vol. 7101 (2008) Art. 71010Z, ISBN 978-0-819-47331-8

Kick, A.; Danz, N.; Begemann, S.; Sonntag, F.; Schilling, N.; Voigt, J.; Katzschner, B.; Bönsch, M.; Herr, A.; Benke, A.; Klotzbach, U.; Jung, M.; Mertig, M.
SPR Platform Technology for the detection of genetic variations
Eurosensors XXII, 7.–10.9.2008, Dresden, Germany

Kiontke, S. R.; Steinkopf, R.
Aspherical manufacturing in terms of accuracy, efficiency and surface forms based on practical experiences
SPIE Proceedings Vol. 7102 (2008) Art. 71020D, ISBN 978-0-819-47332-5

Kudaev, S.
LED light sources for projection displays
SID-ME Chapter Spring Meeting 2008, 13.–14.3.2008, Jena, Germany

Kudaev, S.; Schreiber, P.
Scaling of the LED collimators with folded multiple reflections
SPIE Proceedings Vol. 7059 (2008) Art. 70590C, ISBN 978-0-819-47279-3

Kühmstedt, P.; Munkelt, C.; Schmidt, I.; Heinze, M.; Notni, G.
Kabelloser, handgeführter 3D-Scanner mit WLAN
7. Oldenburger 3D-Tage, 30.–31.1.2008, Oldenburg, Deutschland

Kühmstedt, P.; Notni, G.
Ultramobile 3-D-Messtechnik
Fraunhofer Vision Technologietag 2008, 9.–10.10.2008, Fraunhofer IFF, Magdeburg, Deutschland

Kühmstedt, P.; Schmidt, I.; Munkelt, C.; Notni, G.
Kabelloser, handgeführter 3D-Scanner mit WLAN
109. DGaO Jahrestagung, 13.–17.5.2008, Esslingen, Deutschland

Lecaplain, C.; Ortac, B.; Hideur, A.; Martel, G.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Passively mode-locked Yb-doped large-mode-area microstructure fiber laser
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p.1525–1526, ISBN 978-1-557-52859-9

Leitel, R.
Oberflächenmodifizierungen für die Medizintechnik
OptoNet Workshop „Funktionale Oberflächen", 12.11.2008, Fraunhofer IOF, Jena, Deutschland

Limpert, J.; Schimpf, D.; Rothhardt, J.; Hädrich, S.; Schmidt, O.; Röser, F.; Schreiber, T.; Tünnermann, A.; Aguergaray, C.; Cormier, E.; Andersen, T. V.; Pedersen, C. F.
Fiber laser pumped ultra-fast parametric amplifiers
SPIE Proceedings Vol. 6453 (2008) Art. 64530, ISBN 978-0-819-46566-5

Michaelis, D.; Danz, N.; Flämmich, M.; Wächter, C.; Bräuer, A.
Micro-and Nano-optically structured Organic LEDs
14th Microoptics Conference (MOC 08), 25.–27.9.2008, Brussels, Belgium
Technical Digest (2008) p. 82–83

Michaelis, D.; Kudaev, S.; Steinkopf, R.; Gebhardt, A.; Schreiber, P.; Bräuer, A.
Incoherent beam shaping with freeform mirror
SPIE Optics & Technology Conference, Laser Beam Shaping IX, 10.–14.8.2008, San Diego, California, USA
SPIE Proceedings Vol. 7059 (2008) Art. 705905, ISBN 978-0-819-47279-3

Mohaupt, M.; Beckert, E.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Integration of micro-optical components for a blue ray DVD pickup system
Smart System Integration 2008, 9.–10.4.2008, Barcelona, Spain

Müller, E.; Förster, E.; Schreiber, P.; Müller R.; Brodersen, O.; Steinke, A.
Optoelectronic emitter-receiver-device with integrated micro-optics for the measurement of scattered light
Eurosensors XXII, 7.–10.9.2008, Dresden, Germany

Nawrodt, R.; Zimmer, A.; Koettig, T.; Schwarz, C.; Heinert, D.; Hudl, M.; Neubert, R.; Thürk, M.; Nietzsche, S.; Vodel, W.; Seidel, P.; Tünnermann, A.
High mechanical Q-factor measurements on silicon bulk samples
Journal of Physics: Conference Series 122 (2008) Art. 012008, ISSN 1742-6596

Neuhäuser, R.; Tünnermann, A.; Hempel, M.; Stecklum, B.; Ruske, J.-P.; Guenther, E.; Hatzes, A.; Chinin, R.; Lemke, R.; Wuchterl, G.; Lühe, O. von der
Near-infrared fiber imager for the VLTI
The Power of Optical/IR Interferometry: Recent Scientific Results and 2nd Generation Instrumentation.
Proceedings of the ESO Workshop, 4.–6.4.2008, Garching, Germany, p. 419-429,
ISBN 978-3-540-74253-1

Nodop, D.; Schmidt, O.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
105 kHz, 85 ps, 3 MW microchip laser fiber amplifier system for micro-machining a
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p.1067–1068,
ISBN 978-1-557-52859-9

Notni, G.
Optisches 3D- Messsystem „Kolibri": Integration in einen CT-Scanner
Workshop „Dimensionelles Messen mit Computertomographie", 30.1.2008, Saarbrücken, Deutschland

Notni, G.
Digitale Projektionssysteme für medizintechnische Anwendungen
OptoNet/ JOIN-Workshop Moderne Beleuchtungskonzepte, 31.1.2008, Jena, Deutschland

Notni, G.
THz Imaging of Industrial Styrofoam and Plastic Parts
3. Workshop Terahertz Technologie (VDI), 4.–5.3.2008, Kaiserslautern, Germany

Notni, G.
Multi Color Pocket Beamer - Anwendung im handgeführten 3D-Scanner „Kolibri Cordless"
1st Collaboration Forum NEMO-SpectroNet, 14.–15.5.2008, Jena, Deutschland

Notni, G.
Optical Systems for Microdisplay Applications
SID 2008, International Symposium, Seminar & Exhibition, 18.–23.5.2008, Los Angeles, USA

Notni, G.
3-D Erfassung von Makrogeometrien
Weiterbildungsseminar T.O.P. 2008 - Technische Optik in der Praxis, 1.–2.7.2008, Göttingen, Deutschland

Notni, G.; Kühmstedt, P.; Heinze, M.; Munkelt, C.
The concept of virtual landmarks in 3D-multiview fringe projection
SPIE Proceedings Vol. 6762 (2007) Art. 6762-8V 1-10, ISBN 978-0-819-46922-9

Notni, G.; Pradarutti, B.
Grundlagen der Terahertz-Messtechnik
Fraunhofer Vision Technologietag 2008, 9.–10.10.2008, Fraunhofer IFF, Magdeburg, Deutschland

Notni, G.; Pradarutti, B.
Zerstörungsfreie Prüfung mit Terahertz-Tomographie
Fraunhofer Allianz VISION Seminar „Thermografie", 13.–14.11.2008, Erlangen, Deutschland

Ortac, B.; Ploetner, M.; Schreiber, T.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Pulse dynamic in a passively mode-locked chirped-pulse fiber laser
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p.1401–1402,
ISBN 978-1-557-52859-9

Ortac, B.; Schmidt, O.; Schreiber, T.; Hideur, A.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Ultra-short pulse mode-locked rod-type fiber laser
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p.1696–1697,
ISBN 978-1-557-52859-9

Peschel, T.; Damm, C.; Eberhadt, R.
Opto-mechanical design of spectrometers
Workshop Optical Spectrometer: Design, Technology, Application and Trend, 11.–12.3.2008, Jena, Germany

Petschulat, J.; Chipouline, A.; Pertsch, T.; Menzel, C.; Rockstuhl, C.; Lederer, F.; Tünnermann, A.
On the dispersion relation in metamaterials - an analytical approach
SPIE Proceedings Vol. 6987 (2008) Art. 69871T 9780819471857

Pradarutti, B.; Brückner, C.; Riehemann, S.; Notni, G.
THz-Bildgebung für die Qualitätssicherung
5. Jenaer Technologietag - JeTT, 13.10.2008, Fachhochschule Jena, Jena, Deutschland

Rhein, S.
Aufbau eines Faserverstärkers hoher Pulsfolgefrequenz mit Hilfe eines aktiv gütegeschalteten Mikrochip Lasers
Auswärtsseminar Optische Technologien, 15.–17.9.2008, Schilbach, Deutschland

Riesenberg, R.; Wuttig, A.; Peschel, T.; Damm, C.; Dobschal, H.-J.
Spectrometer Design approaching the Limit
SPIE Proceedings Vol. 7100 (2008) Art. 71001A, ISBN 978-0-819-47330-1

Risse, S.; Gebhardt, A.; Damm, C.; Peschel, T.; Stöckl, W.; Feigl, T.; Kirschstein, S.; Eberhardt, R.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Novel TMA telescope based on ultra precise metal mirrors
SPIE Proceedings Vol. 7010 (2008) p. 1016–1016, ISBN 978-0-819-47220-5

Röser, F.; Rothhardt, J.; Eidam, T.; Schmidt, O.; Schimpf, D. N.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
Millijoule Pulse Energy High Repetition Rate Femtosecond Fiber CPA System
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p. 809–810,
ISBN 978-1-557-52859-9

Scheiding, S.; Risse, S.; Peschel, T.; Damm, C.; Müller, S.; Eberhardt, R.
Light Weight Structural Elements with Functional Surfaces
53. Internationales wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau, 8.–12.9.2008, Ilmenau, Germany

Schenk, C.; Bauer, R.; Risse, S.; Schubert, G.; Kirschstein, U.
Outpassing effects during the movement of high-vacuum compatible gas bearing pads
Euspen International Conference, 18.–22.5.2008, Zurich, Switzerland

Schenk, C.; Risse, S.; Schubert, G.; Eberhardt, R.
Gas-lubricated guidings - suitable for vacuum systems?
53. Internationales wissenschaftliches Kolloquium Technische Universität Ilmenau, 8.–12.9.2008, Ilmenau, Germany

Schimpf, D. N.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Salin, F.
Seed pulse optimization for saturated fiber-amplifiers
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p. 817–818,
ISBN 978-1-557-52859-9

Schmidt, O.; Rothhardt, J.; Eidam, T.; Roeser, F.; Limpert, J.; Tünnermann, A.; Hansen, K. P.; Jakobsen, C.; Broeng, J.
Single-polarization large-mode-area Yb-doped photonic crystal fiber
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p. 358–359, ISBN 978-1-557-52859-9

Schreiber, P.
Laser display with single mirror MEMS scanner
SID-ME Chapter Spring Meeting 2008, 13.–14.3.2008, Jena, Germany

Schreiber, P.
Neue optische Konzepte für LED-Systeme
Spectaris Workshop „LED-Beleuchtung - Wachstumschance für Hersteller optischer Systeme", 6.11.2008, Berlin, Deutschland

Schreiber, T.; Eschrich, T.; Böhme, S.; Wirth, C.
Preparation, Joining and Packaging Concepts for High Power Fiber Lasers
Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2008, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA

Schreiber, T.
Simulation der Pulsausbreitung in Fasern
Auswärtsseminar Optische Technologien, 15.–17.9.2008, Schilbach, Deutschland

Schreiber, T.; Eberhardt. R.; Rekas, M.; Tünnermann, A.; Wilde, C.; Nolte, S.; Thomas, J.
Novel components for 2 µm high-power fiber lasers
4th International Workshop on Fiber Lasers, 5.–6.11.2008, Dresden, Germany

Schröder, S.; Benoit, N.; Feigl, T.; Duparré, A.; Tünnermann, A.
Scattering of EUV optics - substrate, coating, and degradation effects
SPIE Advanced Lithography, 24.–29.2.2008, San Jose, California, USA
SPIE Proceedings Vol. 6921 (2008) Art. 69212Q, ISBN 978-0-819-47106-2

Schröder, S.; Duparré, A.
Finish assessment of complex surfaces by advanced light scattering techniques
SPIE Optical Fabrication, Testing, and Metrology, 2.–5.9.2008, Glasgow, Scotland, United Kingdom
SPIE Proceedings Vol. 7102 (2008) Art. 71020F, ISBN 978-0-819-47332-5

Schröder, S.; Herffurth, T.; Trost, M.; Duparré, A.; Tünnermann, A.
Streulicht- und Reflexionsmesstechnik für 13,5 nm
109. DGaO Jahrestagung, 13.–17.5.2008, Esslingen, Deutschland

Schröter, K.; Schallenberg, U.; Mohaupt, M.
Technological Development of Spectral Filters for Sentinel-2
International Conference on Space Optics, 14.–17.10.2008, Toulouse, France

Schulz, U.
Entspiegelung transparenter Polymere durch Plasmaätzen
DPG-Meeting, 30.3.–2.4.2008, Greifswald, Deutschland

Schulz, U.; Wendling, I.; Munzert, P.; Kaiser, N.
Plasma etching and coating techniques to achieve antireflection properties in combination with additional surface functions on plastic optics
51st SVC Society of Vacuum Coaters Annual Technical Conference, 19.–24.4.2008, Chicago, USA, 51st Annual Technical Conference Proceedings Vacuum Coaters, (2008) p. 417–421

Schürmann, M.; Stöckl, V.; Kaiser, N.
Metallische Strahlteiler mit dielektrischer Achromatisierungsschicht
4. Thüringer Grenz- und Oberflächentage/ 1. Thüringer Kolloquium „Dünne Schichten in der Optik" 16.–18.9.2008, Jena, Deutschland

Schürmann, M.; Stöckl, W.; Kaiser, N.
Metal layer beamsplitters with one dielectric achromatisation layer
SPIE Optical Systems Design, 2.–5.9.2008, Glasgow, Scotland, United Kingdom
SPIE Proceedings Vol. 7101 (2008) Art. 71011J, ISBN 978-0-819-47331-8

Sonntag, F.; Danz, N.; Weigel-Jech, M.; Mertig, M.; Benke, A.; Jäger, M., Klotzbach, U.
Novel Lab-on-a-Chip-System for Label-Free Detection of DNA Hybridisation and Protein Interaction with Surface Resonance
Biosensors & Bioelectronics, BIOS 2008, 19.–24.1.2008, San Jose, California, USA

Steinkopf, R.; Gebhardt, A.; Scheiding, S.; Rohde, M.; Stenzel, O.; Gliech, S.; Giggel, V.; Löscher, H.; Ullrich, G.; Rucks, P.; Duparré, A.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.
Metall Mirrors with Excellent Figure and Roughness
SPIE Optical Fabrication, Testing and Metrology III, 2.–4.9.2008, Glasgow, United Kingdom
SPIE Proceedings Vol. 7102 (2008) p.71020C–71020C-12, ISBN 978-0-819-47332-5

Stenzel, O.; Wilbrandt, S.; Kaiser, N.; Fasold, D.
Development of a hybrid monitoring strategy to the deposition of chirped mirrors by plasma-ion assisted electron evaporation
SPIE Optical Systems Design, 2.–5.9.2008, Glasgow, Scotland, United Kingdom
SPIE Proceedings Vol. 7101 (2008) Art. 71011Y, ISBN 978-0-819-47331-8

Szameit, A.; Garanovich, I. L.; Heinrich, M.; Minovich, A.; Dreisow, F.; Sukhorukov, A. A.; Pertsch, T.; Neshev, D.N.; Nolte, S.; Krolikowski, W.; Tünnermann, A.; Mitchell, A.; Kivshar, Y. S.
Diffraction-managed solitons and nonlinear beam diffusion in modulated waveguide arrays
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p.224-225, ISBN 978-1-557-52859-9

Szameit, A.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Kartashov, Y. V.; Torner, L.
Two-dimensional surface lattice solitons
Nonlinear Photonics 2007: Topical Meeting and Tabletop Exhibit, 2.–6.9.2007, Quebec City, Quebec, Kanada

Szameit, A.; Garanovich, I. L.; Heinrich, M.; Sukhorukov, A. A.; Dreisow, F.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Kivshar, Y. S.
Observation of broadband self-collimation in fs laser-written waveguide arrays
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p. 3022–3023, ISBN 978-1-557-52859-9

Szameit, A.; Kartashov, Y. V.; Dreisow, F.; Heinrich, M.; Vysloukh, V. A.; Pertsch, T.; Nolte, S.; Tünnermann, A.; Lederer, F.; Torner, L.
Observation of two-dimensional lattice interface solitons
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p. 3253–3254, ISBN 978-1-557-52859-9

Taracheva, E.; Yulin, S.; Feigl, T.; Kaiser, N.
High-Performance Multilayer Coatings for 105 nm
SPIE Advanced Lithography, 24.–29.2.2008, San Jose, California, USA

Trummer, M.; Denzler, J.; Munkelt, C.
KLT tracking using intrinsic and extrinsic camera parameters in consideration of uncertainty
VISAPP 3rd International Conference on Computer Vision Theory and Applications, 22.–25.1.2008, Funchal, Madeira, Portugal
VISAPP 2008 Proceedings (2008) Vol. 2 p. 346–351, ISBN 978-9-898-11121-0

Tudela, R.; Brückner, A.; Duparré, J.; Bräuer, A.
An image restoration approach for artificial compound eyes
SPIE Proceedings Vol. 6812 (2008) Art. 6812-23, ISBN 978-0-819-46984-7

Tudela, R.; Brückner, A.; Duparré, J.; Bräuer, A.
Image capture and processing for a microoptical compound-eye sensor
SPIE Europe Photonics Europe, 7.–10.4.2008, Strasbourg, France
SPIE Proceedings Vol. 7000 (2008) Art. 700019, ISBN 978-0-819-47198-7

Tünnermann, A.; Limpert, J.; Nolte, S.
Ultrafast Fiber Amplifier Systems: Status, Perspectives and Applications
Cleo Quels 2008 Conference on Lasers and Electro-Optics/Quantum Electronics and Laser Science Conference, 4.–9.5.2008, San Jose, California, USA
Cleo Quels 2008 (2008) p. 1515–1516, ISBN 978-1-557-52859-9

Voelkel, R.; Duparré, J.; Wippermann, F.; Dannberg, P.; Bräuer, A.; Zoberbier, R.; Gabriel, M.; Hornung, M.; Hansen, S.; Suess, R.
Technology Trends of Microlens Imprint Lithography and Wafer Level Cameras (WLC)
14th Micro-optics conference (MOC, 08), 25.–27.9.2008, Brussels, Belgium
Technical Digest (2008) p. 312–315

Voelkel, R.; Duparré, J.
Trend and Technology of Wafer Level Cameras
The 2nd International Conference in Optics Taiwan 2008: 2008 Market & Technology Trend Conference, 12.6.2008, Taipei, Taiwan.

von Finck, A.; Gliech, S.; Duparré, A.; Pfeffer, M.
Makyoh-Imaging zur Charakterisierung reflektierender Oberflächen
109. DGaO Jahrestagung, 13.–17.5.2008, Esslingen, Deutschland

Wendling, I.; Munzert, P.; Schulz, U.; Kaiser, N.; Tünnermann, A.
Creating anti-reflective nanostructures on polymers by initial layer deposition before plasma etching
The Eleventh International Conference on Plasma Surface Engineering, 15.–19.9.2008, Garmisch-Partenkirchen, Germany

Wilbrandt, S.; Stenzel, O.; Kaiser, N.
All-optical in-situ monitoring of PIAD deposition processes
SPIE Optical Systems Design, 2.–5.9.2008, Glasgow, Scotland, United Kingdom

Wilbrandt, S.; Stenzel, O.; Kaiser, N.
All-optical in-situ analysis of PIAD deposition processes
SPIE Proceedings Vol. 7101 (2008) Art. 71010D, ISBN 978-0-819-47331-8

Wilde, C.
Abstimmbarer Thulium-Faserlaser
Auswärtsseminar Optische Technologien, 15.–17.9.2008, Schilbach, Deutschland

Wippermann, F.; Radtke, D.; Dannberg, P.; Zeitner, U. D.; Bräuer, A.
Stochastic tandem microlens arrays for beam homogenization
SPIE Optics & Technology Conference, Laser Beam Shaping IX, 10.–14.8.2008, San Diego, California, USA
SPIE Proceedings Vol. 7062 (2008) Art. 70620Q, ISBN 978-0-819-47282-3

Wirth, C.; Schmidt, O.; Tsybin, I.; Schreiber, T.; Eberhardt, R.; Limpert, J.; Tünnermann, A.
1 kW Narrow-Linewidth Fiber Amplifier for Spectral Beam Combining
Advanced Solid-State Photonics (ASSP) 27.–30.1.2008, Nara, Japan
Advanced Solid-State Photonics, OSA Technical Digest Series on CD (2008) Art. WA6

Yulin, S.; Benoit, N.; Feigl, T.; Kaiser, N.; Fang, M.; Chandhok, M.
Mo/Si multilayers with enhanced TiO_2- and RuO_2-capping layers
SPIE Advanced Lithography, 24.–29.2.2008, San Jose, California, USA
SPIE Proceedings Vol. 6921, ISBN 978-0-819-47106-2

Yulin, S.; Nesterenko, V.; Schürmann, M.; Perske, M.; Feigl, T.; Kaiser, N.; Schürmann, M. C.
Lifetime of Mo/Si mirrors with different capping layers
International Symposium on Extreme Ultraviolet Lithography, 28.9.–1.10.2008, Lake Tahoe, California, USA

Zeh, T.; Kaiser, S.; Glier, M.; Lenfert, K.; Peter, G.; Walter, I.; Hirsch, H.; Knollenberg, J.; Helbert, J.; Multhaup, K.; Hiesinger, H.; Gebhardt, A.; Risse, S.; Damm, C.; Eberhardt, R.
Thermal Infrared Spectrometer Metris for the Bepicolumbo Mission to Mercury
International Conference on Space Optics, 14.–17.10.2008, Toulouse, France

Zeitner, U.D.; Eckstein, C.; Schmid, W.
Transverse Mode Selection with Waveguide Phase Structures in Semiconductor Broad-Area Lasers
14th Micro-optics conference (MOC, 08), 25.–27.9.2008, Brussels, Belgium
Technical Digest (2008) p. 80–81

Der Weg zu uns

How to reach us

Der Weg zu uns

Bahn/Busverbindung
(ca. 20 Minuten inkl. Gehweg)
Ab Bahnhof Jena-Paradies (Nord-Südverbindung) ca. 5 Minuten Fußweg in die Innenstadt. Von dort aus ab Teichgraben mit den Linien 10, 13 oder 40 in Richtung Burgau oder Winzerla. An der Haltestelle »Beutenberg Campus« aussteigen und der Ausschilderung folgen.
Ab Westbahnhof (Ost-Westverbindung) ca. eine Minute zur Haltestelle Magdelstieg, dann die gleiche Busverbindung nutzen.

Auto
Autobahn A 4 bis Abfahrt Jena-Göschwitz. Auf der Bundesstraße B 88 stadteinwärts, links in Richtung Winzerla, entlang der Winzerlaer Straße immer der Ausschilderung »Fachhochschule – Beutenberg Campus« folgen. Auf der linken Seite liegt dann sichtbar das Fraunhofer IOF. Benutzen Sie die Einfahrt Beutenberg Campus, von dort aus folgen Sie der Ausschilderung.

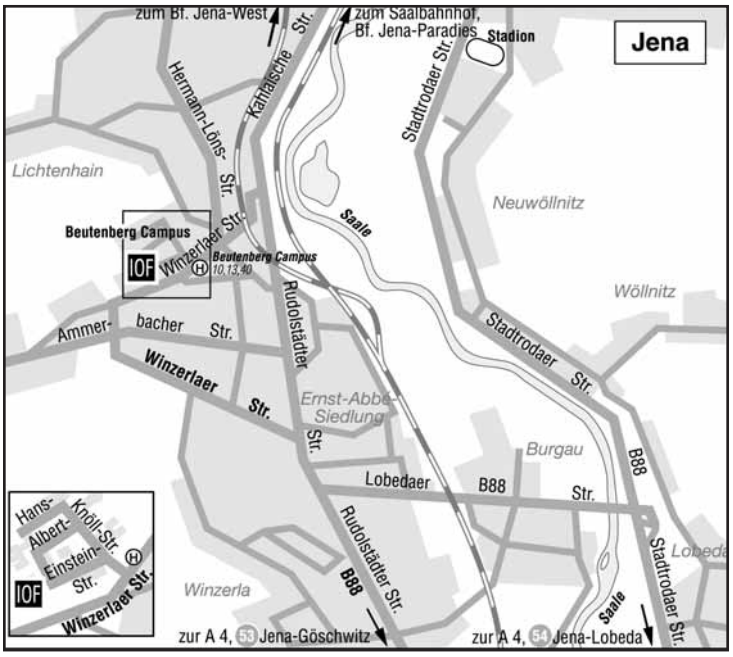
Flugzeug
Ab Flughafen Leipzig/Halle auf der Autobahn A 9 nach Süden bis zum Hermsdorfer Kreuz und dann auf die A 4 Richtung Frankfurt wechseln; diese dann bei Jena-Göschwitz verlassen, weiter siehe Auto.
Oder ab Flughafen Erfurt auf der Autobahn A 4 Richtung Dresden bis Abfahrt Jena-Göschwitz.

How to reach us

By train
(app. 20 minutes with footpath)
Jena has four stations. If you take the route from north to south you will arrive at the station Jena-Paradiesbahnhof. Please go to the bus stop on Teichgraben (5 minutes into the city) and take the Number 10, 13 or 40 direction Burgau or Winzerla. Step off the bus at "Beutenberg Campus" und follow the direction sign to Fraunhofer IOF. If you take the route from west to east, leave the train at Jena-Westbahnhof. After the bridge on the right hand you will see the bus stop Magdelstieg. Use the same lines to Beutenberg Campus.

By car
Leave the A4 motorway at the exit Jena-Göschwitz, follow the federal highway B 88 into town, turn off left toward Winzerla, along Winzerlaer road always the direction sign "Fachhochschule – Beutenberg Campus".
On the left side you will see the Fraunhofer IOF. Use the gateway Beutenberg Campus and follow the direction sign.

By airplane
Starting from airport Leipzig/ Halle on the A 9 motorway to the south (direction Munich) up to the Hermsdorfer Kreuz. Here you have to change the motorway, follow the A 4 motorway westward (direction Frankfurt) and leave it at the exit Jena-Göschwitz, further see car.
Or starting from airport Erfurt on the A4 motorway direction Dresden to exit Jena Göschwitz.



Impressum

Herausgeber/Editor

Fraunhofer-Institut für
Angewandte Optik und Feinmechanik
Beutenberg Campus
Albert-Einstein-Straße 7
07745 Jena

Telefon +49 3641 807-0
Fax +49 3641 807-600
info@iof.fraunhofer.de
www.iof.fraunhofer.de

Institutsleiter/Director

Prof. Dr. Andreas Tünnermann
Telefon +49 3641 807-201
andreas.tuennermann@iof.fraunhofer.de

Strategie/Marketing/Koordination
Strategy/Marketing/Coordination

Dr. Brigitte Weber
Telefon +49 3641 807-440
brigitte.weber@iof.fraunhofer.de

Redaktion/Editorial staff

Dr. Brigitte Weber
Sylvia Bathke

Redaktion/Editorial deadline

2. März 2009

Gestaltung/Graphic design

Schneider Media GmbH
Haarbergstraße 47
99097 Erfurt

Druck/Print

Liebeskind-Druck GmbH
Beim Weidige 1
99510 Apolda