

## Mikro-Scanner für mobile Laser-Displays

Spieglein, Spieglein in der Hand.....

Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts ISIT in Itzehoe arbeiten derzeit an einem Beamer in der Größe eines 1-Cent-Stücks. Möglich macht dieses technologische Wunderwerk ein nur  $1,5 \text{ mm}^2$  großer Mikrospiegel, der in zwei Achsen beweglich aufgehängt ist. Er lenkt einen Laserstrahl durch schnelles Ändern seines Kippwinkels und baut so das Bild Pixel für Pixel auf. Im Laboraufbau konnte damit bereits eine stabile und relativ hoch auflösende Projektion mit  $320 \times 240$  Bildpunkten, das entspricht 1/4 VGA, erreicht werden.

Seit über zehn Jahren schon arbeitet Ulrich Hofmann mit seinem Team an der Entwicklung von Miniatur-Laser-Scannern. Der Projektleiter erinnert sich noch heute an das Kernstück des ersten Demonstrators, ein etwa  $30 \text{ }\mu\text{m}$  dickes Siliziumplättchen mit einer Kantenlänge von einem bis mehreren mm, bedampft mit einer Spiegelschicht aus Aluminium oder Gold. Das Plättchen war seitlich an dünnen Bändern aufgehängt und somit frei beweglich. Zur Auslenkung wurden elektrostatische Antriebskräfte genutzt. „Wir platzierten die Ansteuerelektroden in einem Abstand von  $100 \text{ }\mu\text{m}$  unterhalb der Spiegelplatte, so dass bei Anlegung einer Spannung der Spiegel nach der einen oder anderen Seite ausgelenkt wurde. Die großen Elektrodenabstände erforderten allerdings Antriebsspannungen in der Größenordnung von 1 KV, was natürlich wiederum die komplette Ansteuerelektronik massiv beeinflusste. Aber immerhin ließen sich je nach Spannung schon Grenzwinkel von bis zu 8 Grad, typisch bis zu 3 Grad erzielen.“

Seither hat sich viel getan. Bereits in der nächsten Ausbaustufe wurde der einachsige Scanner zusätzlich in einen beweglichen Rahmen gesetzt. Die zweite Bewegungsachse versetzte die Wissenschaftler in die Lage, vertikal und horizontal zu scannen (**Bild 1**). Für diesen 2D-Laser-Scanner interessierten sich denn auch einige Telekommunikationsunternehmen. Sie erhofften sich dadurch eine Möglichkeit, optische Netzwerkschalter (Cross Connect) aufzubauen. Die Idee: Ein optischer Kanal wird angefahren und soll dann gehalten werden, der Spiegel dient also als zweiachsig quasistatisches Stell-Element, das einen optischen Datenübertragungs-Pfad ermöglicht. Hierfür ist jedoch eine Closed-Loop-Regelung der Spiegel-Position unerlässlich. Ein schwieriges Unterfangen, wie sich herausstellen sollte. Das letztlich keine konkreten Projekte realisiert wurden, lag laut Hofmann aber nicht an der fehlenden Zuverlässigkeit des Systems, sondern am Zusammenbruch des Telekommunikationsmarktes. „Die hohen Anforderungen an die Positioniergenauigkeit hätten wir mit entsprechender Positionsdetektion und Regelungselektronik in den Griff bekommen“, ist sich der Projektleiter nach wie vor sicher.

Für die am Projekt „Aufbau eines optisches Schalters“ beteiligten ISIT-Forscher war der 2D-Laser-Scanner ohnehin nur einer von vielen Zwischenschritten. Um einen vielkanaligen optischen Cross Connect realisieren zu können, wurde nämlich ein ganzes Array aus zweiachsigen Scannern benötigt. Die Herausforderung:  $16 (4 \times 4)$  in zwei Achsen gelagerte und frei bewegliche Schalter sollten auf einem einzigen Chip untergebracht werden (**Bild 2**). Die Strukturierung erfolgte damals noch mittels Mikromechanik-Nassätztechnik, aber schon der nächste Schritt – die Bestückung eines Chips mit 42 Scannern, wie ihn Bild 3 zeigt, - erforderte den Umstieg auf eine neue Fertigungstechnologie, das Plasmastrukturierungsverfahren (Trockenätzen).

Grundsätzlich hatten all diese Scanner noch den Nachteil, dass sie jeweils aus zwei Chips aufgebaut waren: ein Chip für die beweglichen Elemente, und ein zweiter, darunter liegender Chip mit den Ansteuerelektroden. Beide Chips mussten sehr präzise montiert sein. Deshalb sollte bei der nächsten Ausbaustufe die komplette Antriebseinheit schon im Spiegelchip integriert sein.

Die Elektroden wurden jetzt seitlich angeordnet, einmal als bewegliche und einmal als statische Fingerstruktur. Durch diese Mäanderanordnung konnte man die Oberfläche stark vergrößern, wodurch sich höhere Kapazitäten erreichen ließen. Die geringen Abstände zwischen den Fingern resultierten in größeren Antriebskräften. Dies wiederum hatte den enormen Vorteil, dass eine Antriebsspannung von etwa 80 V ausreichte. Trotz der niedrigen Spannung gelang es den Experten sogar noch, die Geschwindigkeiten und die Winkel zu steigern. Darüber hinaus gestaltete sich der Aufbau des Gesamtsystems einfacher, das heißt, es wurde nur noch ein einziger Chip benötigt.

Die Fingerstrukturen waren zwar anfällig gegen Partikel, die sich in den Kämmen verfangen, doch dieses Problem ließ sich mit Hilfe eines einfachen Glasdeckels wirkungsvoll lösen. Als wesentlich kritischer stellten sich die Abmessungen der Fingerstrukturen heraus. Sie beschränkten den Grenzwinkel im quasistatischen Betrieb. Durch eine sehr kurze und achsennahe Anbringung der Finger ließen sich die Winkel deutlich vergrößern, sie lagen typisch bei mechanisch 5 Grad, dies entspricht optisch +/- 10 Grad.

Alle diese Technologieverbesserungen machten den Weg frei für ein neues Anwendungsgebiet: Mikro-Scanner für Displays (**Bild 4**). Ziel war und ist es, ein zweiachsiges Strahlableitungssystem so kompakt zu bauen, dass es kostengünstig in großen Stückzahlen herzustellen und dadurch auch in Massenanwendungen integrierbar ist. Das Prinzip der Laserprojektion ist dabei ähnlich dem rasterförmigen Bildaufbau beim Fernseher mit einer horizontalen und einer vertikalen Achse. Die sehr schnell betriebene Zeilenachse wird vom Spiegel in Resonanz, das heißt mit einer großen Amplitude, betrieben. Für ein QVGA-Display ( $\frac{1}{4}$  VGA) mit 320 x 240 Bildpunkten liegt die Scan-Frequenz bei 7200 Zeilen pro Sekunde. Vertikal ist dazu eine Bildwiederholratenbewegung von 30 Hz nötig, so dass das Bild für das Auge gerade nicht mehr flackert. Diese vertikale Achse muss quasistatisch gelagert sein. Sie darf nicht im Resonanzbetrieb laufen, denn Resonanzbetrieb bedeutet immer eine feste Frequenz, die durch das System vorgegeben ist. Die quasistatische Achse hingegen ist so aufgebaut, dass die Frequenz zwischen 0 und 30 Hz oder 60 Hz frei wählbar ist. Die Experten um Ulrich Hofmann sind inzwischen schon wieder einen Schritt weiter. Bereits im Herbst dieses Jahres wollen die ISIT-Wissenschaftler der Öffentlichkeit den Prototypen eines VGA-Displays präsentieren. Die Scan-Frequenz würde sich hierbei nur verdoppeln, da gleichzeitig auch der Winkel vergrößert wird. Insgesamt müssen dann also 14 400 Zeile pro Sekunde bei Bildraten von 30 Hz geschrieben werden.

Ulrich Hofmann hat bereits eine konkrete Anwendung für den Mikroscanner vor Augen: „Da das Handy und damit auch automatisch das Display immer kleiner wird, zeichnet sich nur eine Lösung ab: Um wieder sehr große hoch auflösende Bilder darstellen zu können, muss die Bilddarstellung aus dem System entkoppelt werden. Wir sind derzeit dabei, ein solches System in Kooperation mit einem Handy-Hersteller zu entwickeln.“

Über Details schweigt sich Hofmann noch aus, aber der erste Serientyp wäre wohl ein monochromes Display. Dies hängt wohl auch damit zusammen, dass Laserdioden in ausreichender Qualität bislang nur in der Farbe rot verfügbar sind. Rote Laserdioden haben jedoch aufgrund ihrer Wellenlänge eine schlechtere Sichtbarkeit als grünes, gelbes oder blaues Licht. Blaue Laserdioden gibt es zwar mittlerweile, aber ihre Lebensdauer ist noch nicht zufriedenstellend, außerdem sind sie sehr teuer. Weitere Anwendungen des Laser-Displays dürften mit dem Trend einhergehen, das Handy immer mehr in Richtung PC zu entwickeln. Als Hologramm projizierte virtuelle Tastaturen oder Grafikoberflächen stehen ebenso zur Diskussion wie eine gut lesbare Projektion des über die Tastatur eingegebenen Textes an eine Wand. Für diese Aufgabe wäre ein Monochrom-Display völlig ausreichend. (**Bild 5; 03.jpg**)

Im Laboraufbau kann das ISIT den neu entwickelten Mikro-Scanner bereits heute erfolgreich demonstrieren. Der Scanner wird optisch über einen Monitor-Laserstrahl und einen positionsempfindlichen Detektor in beiden Achsen kontinuierlich und hoch aufgelöst kontrolliert. Je nach aktuell vorliegender Spiegelverkipfung wird innerhalb weniger Nanosekunden die zugehörige Bildinformation aus dem Bildspeicher ausgelesen und diesem entsprechend der Laser angesteuert. Die Elektronik hat gegenüber sonst üblichen Synchronisations-Methoden der Videotechnik (Hsync, Vsync, Pixelclock) den Vorteil, dass äußere Vibrationen oder Temperaturschwankungen zwar die Bahn des Scanners ändern, nicht aber zu Verzerrungen oder Bildausfällen führen. Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass sich Bilder selbst dann korrekt projizieren lassen, wenn beide Achsen resonant und damit mit großen Amplituden betrieben werden.

Letzteres wurde ebenfalls bereits erfolgreich durchgeführt. Der Elektronikaufwand für die Steuerung ist allerdings noch erheblich, das System zudem ziemlich empfindlich. So müssen beispielsweise immer wieder Phasenkorrekturen durchgeführt werden. Ulrich Hofmann ist zuversichtlich, auch diese Probleme in den Griff zu bekommen. „Wir glauben, dass wir das System in den nächsten Monaten nochmals deutlich verkleinern und dann alle Funktionen auf einem einzigen Miniatur-Board unterbringen können.“ Das ISIT, so Hofmann, wolle das Arbeitsprinzip des Scanners schließlich nicht nur demonstrieren, sondern die Technologie soweit entwickeln, dass man praktisch eine kundenspezifische Applikation direkt darauf setzen könne.

Womit sich die Frage nach möglichen Partnern beziehungsweise Kunden stellt. Hier habe man sich bislang noch nicht festgelegt, betont Prof. Dr. Anton Heuberger, Institutsleiter des ISIT in Itzehoe: „Wir verhandeln bereits mit mehreren Unternehmen, aber welche Anwendungen zuerst realisiert werden, hängt letztlich von vielen Faktoren ab.“ Vorrangiges Ziel sei es laut Heuberger nach wie vor, potentiellen Interessenten ein Gesamtsystem bestehend aus Aktuator und Ansteuerung in einem einzigen Gehäuse anbieten zu können. Diesem Ziel ist man inzwischen offensichtlich schon so nahe gekommen, dass sich Heuberger in zwei, drei Jahren bereits erste serienreife Produkte mit dem Mikro-Scanner vorstellen kann. Zumal der Standort Itzehoe Interessenten eine nicht nur umfangreiche **F&E-Ressourcen, sondern auch erprobte Fertigungsmethoden und -anlagen bieten kann.** „Aus unserer Sicht ermöglicht derzeit nur die Kombination einer resonanten, schnellen Achse mit großen Winkeln und einer quasistatischen, langsamen Achse eine variable Anpassung der Bildrate und der Bildauflösung. Wir sind deshalb sehr zuversichtlich, dass unsere auf der Mikrosystemtechnik basierende Beamer-Technologie schon in wenigen Jahren die Massenmärkte erobern wird

((Kasten))

Das Fraunhofer-Institut forciert zwei Anwendungsbereiche für den Mikro-Scanner:

- Informationsdarstellung und Entertainment: Man projiziert Bilder oder ein User Interface (Eingabeschnittstelle wie Tastatur oder Stift). Der Vorteil liegt darin, dass das Format des Displays und damit die Anzahl der Bildpunkte nicht fest vorgegeben sind. Beispielsweise können auch runde Bilder projiziert werden. Darüber hinaus lässt sich der Abstand variieren, ohne dass das Bild an Schärfe verliert.
- 
- Anwendung im Automobil, zum Beispiel Head-Up-Display: Das Spiegelsystem lässt sich bei der Projektion auf die Windschutzscheibe oder auch im Armaturenbrett einsetzen. Der Vorteil ist, dass man sogar auf gekrümmte Oberflächen projizieren kann, da Parallelstrahlen verwendet werden. Im Gegensatz zum herkömmlichen Display ist das Format variabel und das Bild kann auf eine beliebig geformte Oberfläche projiziert werden.

Bildunterschriften:

Projektleiter Ulrich Hofmann, Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT: „Wir wollen das Arbeitsprinzip des Scanners nicht nur demonstrieren, sondern die Technologie soweit entwickeln, dass man eine kundenspezifische Applikation direkt darauf setzen kann“.

Bild 2:

Der 2D-Laser-Scanner ist an zwei beweglichen Achsen aufgehängt

Bild 3:

Ein Array aus 4 x 4 Schaltern auf einem Chip

6 x 7 Array 5 x 5 mm großen Chip

Bild 4:

2D-Scanner-Chip im Keramikgehäuse