

Mikromechanischer Luftmassensensor

Immer kleiner, immer genauer

von Dr. Peter Lange

Durch den mehrlagigen Aufbau der Membrane ist es Wissenschaftlern des Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT jetzt gelungen, eine Schwachstelle mikromechanischer Luftmassensensoren, die Drift der Widerstandssensoren über die Lebensdauer, in den Griff zu bekommen. Die neuartigen Komponenten lassen sich zudem mit Hilfe eines Standard-CMOS-Prozesses besonders preisgünstig fertigen und sind damit bestens für den Einsatz in hochvolumigen Applikationen geeignet.

Der von den ISIT-Wissenschaftlern in Mikrosystemtechnik aufgebaute Luftmassensensor funktioniert nach dem Prinzip des thermischen Anemometers (Abb. 1). Er besteht aus einem niederohmigen Heizdrähtchen (RH) und einem hochohmigen Referenzwiderstand (RT), die eine Wheatstone'sche Brücke bilden (Abb. 2). Wird der Heizwiderstand auf beispielsweise 100 °C über Umgebungstemperatur erhitzt, kühlt der Luftstrom den Draht ab. Diese Abkühlung des Widerstandes bewirkt einen Stromfluss durch die Wheatstone'sche Brücke, da die Widerstandswerte konstant gehalten werden. Der Strom ist ein direktes Maß für die strömende Luftmasse.

Um die Richtung der Strömung zu bestimmen, wird der Luftmassensensor aus zwei unabhängigen Messbrücken mit zwei Heizwiderständen aufgebaut. Kommt zum Beispiel ein Luftstrom von links, kühlt der linke Widerstand stärker ab als der rechte. Die Signaldifferenz wird anschließend in einem Verstärker ausgewertet und aus dem absoluten Wert die Luftmenge, aus dem positiven oder negativen Vorzeichen die Strömungsrichtung bestimmt (Pulsationsbetrieb). Voraussetzung für eine genaue Messwerterfassung ist dabei, dass die Strömung an der Messumgebung laminar ist, also keine Wirbel oder Turbulenzen auftreten.

Die feinen Heizwiderstände werden auf eine ultradünne Membran aufgebracht, die aus drei Schichten - Siliziumnitrid, Siliziumoxid und wiederum Siliziumnitrid - in einem LPCVD-Verfahren (Low Pressure Chemical Vapour Deposition) hergestellt wird (Abb. 3). Damit lassen sich Layer realisieren, die hoch stöchiometrisch sind, also praktisch keine Fremdeinflüsse aufweisen, und damit vom Materialgefüge äußerst langzeitstabil sind. Dadurch weisen diese Schichten auch eine hohe Unempfindlichkeit für hohe Temperaturen auf. Die freistehende Membran steht unter leichter Zugbelastung in alle Richtungen, was eine hohe mechanische Stabilität zur Folge hat. Außerdem gewährleistet sie eine hohe thermische Isolierung der Heizdrähte zu den Chipkanten. Die Membrane mit den Heizern wird anschließend mit einer 1 µm dünnen Glaspasivierung aus Siliziumnitrid abgedeckt, die gegenüber allen bisher bekannten Korrosionsprüfungen und Tests mit üblichen Reagenzien resistent ist.

Die Widerstände des neuartigen Luftmassensensors bestehen aus Titan und sind wegen ihrer starken Reaktivität zur Passivierung mit einer Titannitridschicht überzogen. Diese Titan/Titannitridsensoren wurden extensiven Langzeitdauerbelastung und Stressbelastung ausgesetzt und zeigen kein Driftverhalten im elektrischen Widerstand. Andere Firmen realisieren die Widerstände aus Platin oder Nickel, gängige Materialien für Heizer und Temperatursensoren. Diese Metalle können nur außerhalb der IC-Fertigungslinie in einem Sonderfertigungsbereich (MEMS-Bereich) prozessiert werden, was die Kosten des Sensors wesentlich erhöht.

Das Besondere an Titan/Titannitrid ist, dass dieses Material auch in der standardisierten CMOS-Fertigung eingesetzt wird. Das ist eine Voraussetzung für die kostengünstige Hochvolumen-Herstellung. In Itzehoe werden die Luftmassensensoren einschließlich Passivierung und Metallisierung derzeit auf 6-Zoll-Wafern in der CMOS-Linie gefertigt. Nur das klassische anisotrope Volumenätzen in KOH, mit dem letztendlich die Membran frei geätzt wird, erfordert einen gesonderten Herstellungsprozess.

Der Luftmassensensorchip weist Abmessungen von 7750 µm in der Länge und eine Breite von 2650 µm auf. Durch die Anordnung der Heizwiderstände wird ein Strömungsbereich von 2 bis 5000 cm/s abgedeckt. Zudem verbraucht der Sensor durch den Membranaufbau nur 20 mW im Betriebszustand

und eignet sich daher auch bestens für den Batteriebetrieb. Die Membrantechnologie ermöglicht sehr kurze Response-Zeiten im ms-Bereich und eröffnet damit auch Möglichkeiten der Massenflussmessungen im gepulsten Betrieb.

In der Medizintechnik sind Liter oder Milliliter pro Sekunde zu messen. Die Applikationen reichen hier von der Messung und Darstellung der Atemvolumina und Lungendynamik (Taschenspirometer) bis hin zur Kontrolle der Strömungsverhältnisse bei künstlicher Beatmung und Anästhesie. Die Spirometrie bietet große Marktchancen, zumal es sich bei den neuen Sensoren um kostengünstige und leicht austauschbare Systeme handelt, bei denen eine aufwändige Kalibrierung entfällt.

In der Prozesstechnik werden MEMS-Luftmassensensoren zur Messung und Steuerung von Gasflüssen in Rohrleitungen erprobt. Eine weitere Applikation ist die Regelung des Luftstroms in der Klima- und Lüftungstechnik sowie in Haushaltsgeräten wie Dunstabzugshauben und Wäschetrocknern.

Ebenso interessant ist der Einsatz von Luftmassensensoren im Automobil, wo die immer strenger werdende Umweltgesetzgebung - vor allem in Europa - immer genauere Messungen fordert. Die genaue Bestimmung der angesaugten Luftmenge einschließlich der Rückströmung (Pulsation) ermöglicht die Regelung der Abgasrückführung in Dieselmotoren und die Kraftstoffzumessung in Otto-Motoren. Ganz wichtig für Automotive-Anwendungen ist, dass die mikromechanischen Sensoren äußerst temperaturstabil bis 400 °C sind und der Widerstandswert nicht driftet. Durch die Verwendung des Dreilagenaufbaus für die Membrane wird eine höhere Widerstandsfähigkeit gegen Partikelbeschuss erwartet. Der Messbereich liegt zwischen 10 und 2500 kg/Stunde. Für Automobil-Applikationen wurde am Fraunhofer-Institut ein Teil der Produktqualifizierung bereits durchgeführt.

Zukünftig wollen sich die ISIT-Wissenschaftler neben den Messsystemen von Gasströmungen auch auf Flow-Sensoren für Flüssigkeiten konzentrieren. Das Messprinzip funktioniert gleichermaßen, nur dass sich der Wärmeübergang von dem in Luft unterscheidet. Durch seinen Passivierungs-Layer ähnlich einer harten Glasschicht, ist der Sensor auch gegen Flüssigkeiten inert. Herkömmliche Flusssensoren sind recht große und unhandliche Systeme und mitunter kompliziert einzubauen. Eine mit Hilfe der Mikrosystemtechnik realisierte Lösung ist bislang noch nicht auf dem Markt erhältlich. Kleine handliche Systeme für derartige Messungen, vielleicht sogar als Einweglösungen, können ein großes Marktpotenzial haben. Am ISIT arbeitet man bereits an konkreten Projekten zur kontinuierlichen Flussmessung und einer Signalverarbeitung über Bluetooth zu einer zentralen Sammelstelle.

(Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT, Itzehoe)

((Bilder))

Abb. 1:
Ein komplett prozessierter Wafer mit drei unterschiedlichen Designs eines Luftmassensensors

Abb. 2:
Aufbau des Luftmassensensors

Abb. 3:
Querschnitt der Sensorstruktur

Abb 4:
Detailaufnahme des MEMS-Sensors: rechts der Heizer, links der Referenzwiderstand auf einer Membran.

Quelle: Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT