

Leckraten-Testverfahren

# Vakuumdichte MEMS-Gehäuse

Resonant betriebene Inertialsensoren in Mikrosystemtechnik sind durch die Vakuumdichtigkeit des Gehäuses in ihrer Lebensdauer begrenzt. Um zuverlässige Aussagen über die effektive Luftleckrate der Mikrogehäuse treffen zu können, haben Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Siliziumtechnologie ISIT einen einzigartigen Neon Ultra-Fine-Lecktest entwickelt. Mit dieser zerstörungsfreien Prüfung lassen sich die potenziellen Ausfallkandidaten bereits auf Waferebene – also noch vor der weiteren Verarbeitung und Auslieferung der Sensoren an die Kunden – ausselektieren.

Sogar in den Abendnachrichten wurde die Meldung gebracht: Ein namhafter Automobilhersteller musste die gerade ausgelieferten Fahrzeuge seiner neuen Modellreihe in die Werkstätten zurück beordern. Grund für die spektakuläre Rückrufaktion: Das Regelsystem der Fahrdynamik arbeitete nicht mehr 100-prozentig zuverlässig, eine Gefahr für die Insassen war nicht auszuschließen. Was war geschehen? Einige der für die Stabilität des Pkws zuständigen Drehratensensoren sind bereits nach kurzer Betriebsdauer ausgefallen. Ein Horrorszenario für jeden Kfz-Hersteller. Denn Rückrufaktionen verschlingen nicht nur Millionen Euros. Was in solchen Fällen noch wesentlich schwerer wiegt, ist der nicht abschätzbare Image-Verlust für den Hersteller.

Die in modernen Automobilen heutzutage eingesetzten Sensorsysteme müssen möglichst viele Funktionen auf kleinstem Raum vereinen, sich kostengünstig fertigen lassen und zudem äußerst robust arbeiten. Deshalb werden zahlreiche Messwertnehmer in Mikrosystemtechnik gefertigt. Der Schwachpunkt einiger MEMS-Typen wie Drehraten- und Beschleunigungssensoren oder absolute Druckmessaufnehmer liegt in ihrer begrenzten Lebensdauer, da sie - um eine zuverlässige Funktion sicherzustellen - eine definierte, langzeitstabile Druckumgebung benötigen (Bild 1).

### Aufbau der MEMS

Ein mikromechanischer Drehratensensor besteht aus fingerartigen Struktu-

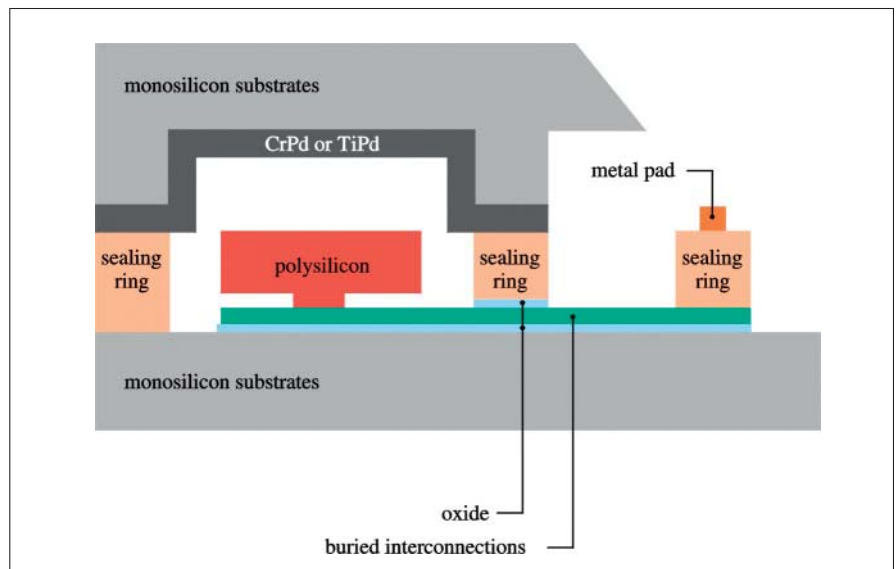


Bild 1: Aufbau eines mikromechanischen Sensorsystems.

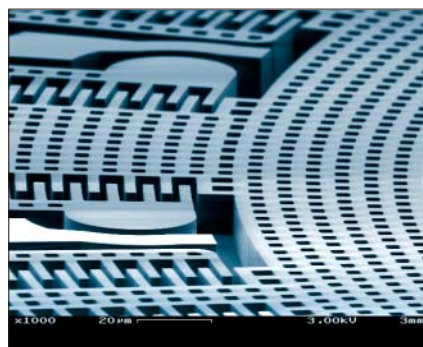


Bild 2: Die feinen beweglichen Kammstrukturen des Drehratensensors sind nur wenige µm breit.

ren, die mittels Trockenätzverfahren aus einem 10 µm dünnen Polysiliziummaterial herausgearbeitet werden (Bild 2). Diese Kammstrukturen sind elektrisch leitfähig und stellen die beiden Elektroden eines Kondensators dar, die sich bei Anlegen einer Wechselspannung bewegen. Die Frequenz der Wechselspannung wird so gewählt, dass die Strukturen in eine resonante Schwingung versetzt werden und eine große Bewegungsampli-

tude entsteht. Durch die Corioliskraft wird die bewegliche Sensorschicht in einer orthogonalen Richtung zur Bewegung abgelenkt. Das von den Elektroden aufgenommene Messsignal ist proportional zur Drehgeschwindigkeit.

Um den Mikromechanikensensor hermetisch abgedichtet vor schädlichen Umwelteinflüssen wie Staub und Feuchte zu schützen und darüber hinaus eine hohe Vakuumdichtigkeit zu garantieren, haben Wissenschaftler des Fraunhofer-Instituts für Siliziumtechnologie ISIT in Itzehoe eine neuartige Verkappungstechnologie entwickelt. Das Forscher-Team „Advanced Electronic Packaging“ um Wolfgang Reinert nutzt dazu einen eutektischen Gold-Silizium-Wafer-Bonding-Prozess mit integriertem Dünnschicht-Getter. Damit lässt sich für die resonanten Strukturen des Drehratensensors ein exakter Arbeitsdruck von 1 µbar bis 1 mbar einstellen. Typischerweise stellt das ISIT einen Innendruck von 0,1 mbar durch

**AUTOR**

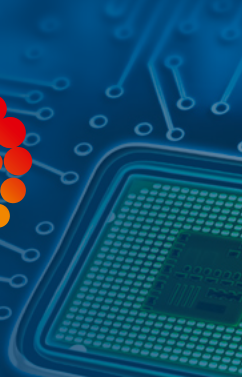


Wolfgang Reinert  
Fraunhofer-Institut für  
Siliziumtechnologie ISIT  
www.isit.fraunhofer.de



**all-electronics.de**

ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante Artikel und News zum Thema auf [all-electronics.de](https://www.all-electronics.de)!

**Hier klicken & informieren!**



eine gezielte Rückbefüllung mit Edelgas ein. Bei Einsatz in einem Automobil darf sich der Druck bei den hier beschriebenen Sensoren innerhalb von 15 Jahren maximal verdreifachen, also auf 0,3 mbar ansteigen.

Die AuSi-Bonding-Technologie bietet neben der sehr hohen Sensorbelegungsdichte auf dem Wafer noch den Vorteil, dass der Mikrosensor wie ein normaler Chip in der Standard-Halbleiterfertigung auf Wafer-Level hergestellt werden kann (CMOS kompatibler Prozeß). Dazu wird ein ebenfalls aus Silizium bestehender Kapfen-Wafer auf den mit den Sensorstrukturen gefertigten Device-Wafer aufgesetzt und bei einer Temperatur von 380 bis 400 °C miteinander verbunden. Auf dem Kapfen-Wafer ist bereits die matrixförmige Anordnung von Kavitäten (Taschen) mit der kompletten Metallisierung vorhanden (Bild 3). Der Getter bindet Ausgasungen und stabilisiert die Vakuumatmosphäre während der Bauteillebensdauer. Der Getter der Fa. Saes Getters besteht aus einer Zirkonium-basierten Legierung und bindet nach einer thermischen Aktivierung neben Wasser auch alle anderen aktiven Luftbestandteile wie Sauerstoff, Stickstoff, Kohlendioxid und Wasserstoff. Allerdings ist der Getter nicht in der Lage, Edelgase aufzunehmen, wie zum Beispiel Helium, Neon oder Argon. Das eutektische AuSi-Bonden ist ein sehr tolerantes Verfahren, das mit relativ niedriger Oberflächengüte und mit Unebenheiten der Bondrahmen fertig wird. So können beispielsweise aufgetretene Kratzer selbstheilend gefüllt und vorhandene Partikel umschlossen werden. Der Dünnschicht-Getter wiederum ist unempfindlich gegen Temperaturwechsel und sondert keine Partikel ab. Dennoch können Undichtigkeiten im Sensorgehäuse entstehen, einmal durch statistische Oberflächenkontamination beim Waferprozessieren oder durch physikalische Defekte, die beim Sägen oder Assemblieren auftreten. Wie lässt sich nun eine Aussage treffen über die Dichtigkeit des MEMS und damit über seine Lebensdauer? Derzeit nur durch den am Fraunhofer-Institut ISIT entwickelten und patentierten Neon-Ultra-Fine-Lecktest.



Bild 3: Der Kapfen-Wafer weist eine matrixförmige Anordnung von Kavitäten auf.

HERMETICITY CLASSES	
Class	Air Leak Rate (mbar <sup>*</sup> l/s)
Gross Leak	größer 9*10 <sup>-5</sup> (ca. 8 cm <sup>3</sup> /Tag)
Moderate	1*10 <sup>-6</sup> bis 10 <sup>-8</sup>
Fine	10 <sup>-8</sup> bis 10 <sup>-9</sup>
Extra Fine	10 <sup>-10</sup> bis 10 <sup>-11</sup>
Super Fine	10 <sup>-12</sup> bis 10 <sup>-13</sup>
Ultra Fine	10 <sup>-14</sup> bis 10 <sup>-17</sup>

### Lecktest gibt Sicherheit

Der Neon Ultra-Fine-Lecktest ist kompatibel mit allen bekannten hermetischen Gehäusungstechnologien für Mikrokomponenten mit Gehäuseinnenvolumen kleiner 2 mm<sup>3</sup> und Innendrücker kleiner 10 mbar. Der Neon Ultra-Fine-Lecktest erlaubt einen 100-prozentigen Screen der Leckrate und des Gehäuseinnendruckes, und gibt damit Aufschluss über die Lebensdauer jeder einzelnen resonant betriebenen Mikrosensor-Komponente. Mit der zerstörungsfreien Prüfung lassen sich also, noch vor Auslieferung der Bauteile an die Kunden, die nicht robusten Sensoren aussortieren, die mit hoher Wahrscheinlichkeit frühzeitig ausfallen werden. Der

Test ist mit einer typischen Nachweisempfindlichkeit im Bereich 10<sup>-16</sup> mbar<sup>\*</sup>l/s so sensibel, dass sogar sehr schnell Rückschlüsse auf die Prozessoptimierung möglich sind. Ein weiterer Vorteil ist, dass der Test auf Wafer-Ebene durchführbar ist und sich damit ohne großen Aufwand und mit nur geringen Mehrkosten in den Sensorherstellungsprozess integrieren lässt.

Wolfgang Reinert erklärt, warum am Fraunhofer-Institut der Ultra-Fine-Lecktest entwickelt wurde: „Es gab bisher weltweit noch kein einziges serientaugliches Lecktestverfahren, das für die Messbereiche der Vakuum Nano-Liter Gehäuse ausgelegt war. Wir bewegen uns hier bei Luftleckraten, die um Größenordnungen kleiner sind als die bisher zu messenden Werte.“ Die

Hermetizitätsklassen (Dichtigkeitsklassen) sind nach dem amerikanischen ASTM-Standard F2391-05 (**Kasten**) definiert. Der heute gängige MIL-Standard bewegt sich in der Klasse 10<sup>-8</sup> bis 10<sup>-9</sup> mbar<sup>\*</sup>l/s (Fine), diese Leckrate lässt sich einfach mit einem Helium-Lecktestsystem messen. Doch die vom ISIT gefertigten Mikro- ▶

sensoren müssen eine Million mal dichter sein, als der Fine-Bereich fordert. Wolfgang Reinert hat deshalb die Dichtigkeitsklassen erweitert: „Die Einteilung der Leckraten endete bislang bei „Extra Fine“. Wir haben jetzt die letzten beiden Klassen „Super Fine“ und „Ultra Fine“ neu hinzugefügt. Der Ultra-Fine-Bereich reicht von 10 – 14 bis 10 – 17 mbar\*I/s.“ Da ein Sensor mehrere Lecks gleichzeitig aufweisen kann, z. B. Kratzer im Sensorrahmen, die unzureichend aufgefüllt wurden oder im Zickzack-Muster verlaufen, wird eine effektive Leckrate bestimmt. Dazu misst man den Gütefaktor bzw. die frequenzunabhängige Dämpfung, eine Größe, die angibt, welche Energie der schwingende Resonator verliert. Für das Leck-Screening wird der komplette Wafer

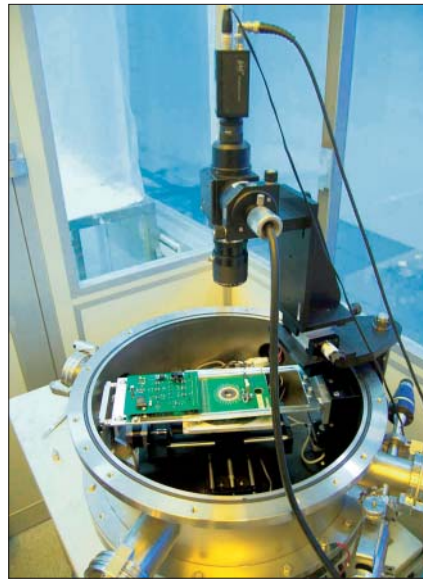


Bild 4: Eichkurve für den Neon-Ultra-Fine-Lecktest.

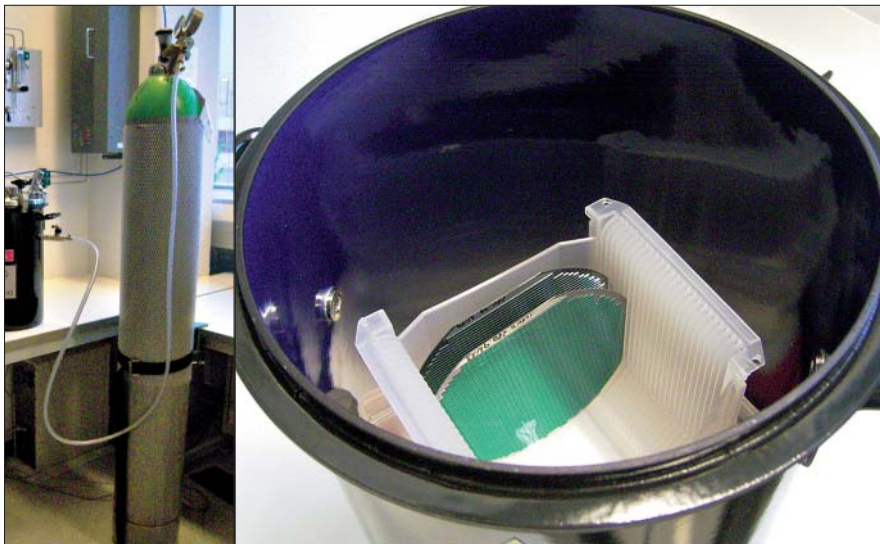


Bild 5: Eine Neon-Ultra-Fine-Lecktest-Kammer für 50 Wafern mit einer Vakuumpumpe, einer Neongasflasche sowie einem Timer und einem Manometer.

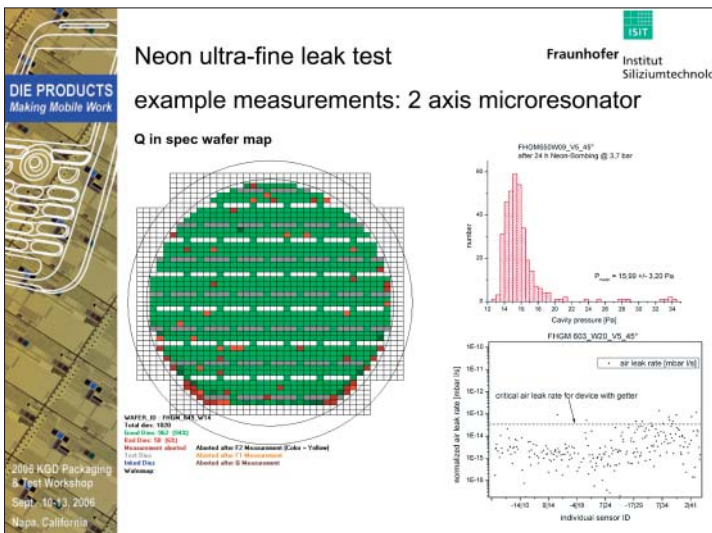


Bild 6: Aus dem Wafer Map lassen sich die Ausfallkandidaten selektieren.

mit den verkappten Sensoren bei Raumtemperatur über zwölf Stunden in eine Neon-Überdruckatmosphäre von z. B. 3 bar auslagert. Durch vergleichende Messungen des Gütefaktors vor und nach der Auslagerung wird der aufgenommene Neon Gasballast anhand einer Referenzkurve bestimmt. Diese muß für jedes neue Bauelementdesign einmalig bestimmt werden. Aus dem nun bekannten Neon Leitwert des effektiven Lecks wird die Standard Luftleckrate berechnet (Bild 4).

Um den in die Kavitäten eingebrachten Getter nicht zu beeinflussen, wird mit einer Edelgas-Überdruckatmosphäre gearbeitet. Am ISIT kommt Neon zum Einsatz, da das Gas einen kleinen Stoßquerschnitt aufweist. Dank seiner hohen Partikelgeschwindigkeit dringt das Edelgas schnell in ein Leck hinein. Außerdem weist Neon im Vergleich zu Helium eine niedrigere Löslichkeit in Siliziumdioxid auf. Im Vergleich zu Argon sind die Neon-Moleküle etwa 40 Prozent schneller, was eine kürzere Auslagerungszeit zur Folge hat.

Die Messkammer ist für die Aufnahme von 50 Wafern ausgelegt und mit einer Vakuumpumpe, einer Neongasflasche sowie einem Timer und einem Manometer ausgestattet (Bild 5). Das Ziel ist, jeden einzelnen Mikrosensor zu testen, wobei zwei Messdurchgänge notwendig sind, vor dem Auslagern und nach zwölf Stunden. Eine hochauflösende Gütevermessung auf einem Waferprober dauert ca. zwei Sekunden. Das Ergebnis ist eine Übersicht (Wafer Map) mit allen Messdaten, aus der sich dann die einzelnen Sensoren anhand von festgelegten Kriterien selektieren lassen, die über eine definierte Lebensdauer zuverlässig arbeiten. (sb)


**infoDIRECT**
429eio207  
[www.elektronik-industrie.de](http://www.elektronik-industrie.de)  
 Link zu ISIT