

Vakuum-Bonding-Technologie für langzeitstabile Drehratensensoren

Resonant betriebene Inertialsensoren in Mikrosystemtechnik waren bislang in ihrer Lebensdauer begrenzt. Jetzt ist Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Siliziumtechnologie ISIT in Itzehoe der entscheidende Durchbruch in puncto Langzeitstabilität gelungen. Sie entwickelten einen eutektischen AuSi-Wafer-Bonding-Prozess, der neben einer hohen mechanischen Festigkeit und Temperaturstabilität eine extreme Vakuumdichtigkeit aufweist. Durch die zusätzliche Integration eines Dünnschicht-Getters kann für die gefertigten Mikrosensoren selbst bei harter Beanspruchung eine Lebensdauer von 15 Jahren garantiert werden.

Moderne Automobile kommen heutzutage nicht mehr ohne komplette Mikrosensorsysteme aus, die neben dem Erfassen der Messgrößen zugleich die Signalverarbeitung und die Datenübertragung übernehmen. Die Anforderungen an diese Bauelemente steigen ständig: Sie sollen möglichst viele Funktionen auf kleinstem Raum vereinen, sich kostengünstig fertigen lassen und zudem äußerst robust und zuverlässig arbeiten. Erreicht werden können diese Eigenschaften nur durch eine innovative Packaging-Technologie, welche die mikromechanischen Sensoren (MEMS) hermetisch abgedichtet vor schädlichen Umwelteinflüssen schützt. Zudem erfordern einige MEMS-Typen wie Beschleunigungssensoren oder absolute Druckmessaufnehmer eine definierte Gas- oder Druckumgebung, um ihre Funktion sicherzustellen.

Das Fraunhofer-Institut für Siliziumtechnologie ISIT arbeitet seit über sechs Jahren intensiv an einer neuartigen Verkappungstechnologie für resonant betriebene Inertialsensoren. Das Forschungs-Team „Advanced Packaging“ um Wolfgang Reinert setzt dabei auf eine eutektische Gold-Silizium-Wafer-Bonding-Technologie mit integriertem Dünnschicht-Getter, die eine kostengünstige Fertigung langzeitstabiler Vakuumgehäuse für Mikrosensoren ermöglicht. Projektleiter Wolfgang Reinert ist sich sicher: „Ein stabiles Vakuum über die gesamte Lebensdauer des Mikrosensors hinweg lässt sich nur durch unseren oberflächenmikromechanischen Herstellungsprozess erreichen. Die von uns entwickelte Bonding-Technologie ist im weltweiten Vergleich in ihrer Leistungsfähigkeit und Flexibilität einzigartig.“

Mikromechanischer Drehratensensor

Der erste mit dem neuen Wafer-Bonding-Verfahren gefertigte Mikrosensor ist ein MEMS-Drehratenaufnehmer, der präzise die Drehgeschwindigkeit um eine Raumachse misst. Anwendungsbereiche sind heute vor allem Navigations- und Stabilisierungssysteme, die die Bewegung eines Autos oder einer Kamera im Raum anzeigen. Eingesetzt in Pkws, dienen die Sensoren der aktiven Fahrdynamikregelung oder zur Verbesserung der Genauigkeit von GPS-Koordinaten.

Der Drehratensensor besteht aus einer mikromechanischen Oberfläche, dazu wurden fingerartige Strukturen mittels Trockenätzverfahren aus einem 10 µm dünnen Polysiliziummaterial herausgearbeitet. Diese Fingerstrukturen 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 übergroße Bewegungsamplitude entsteht. Diese bewegte Sensorschicht reagiert empfindlich auf die Corioliskraft, welche für eine Ablenkung in einer orthogonalen Richtung zur Bewegung verantwortlich ist. Damit verhält sich das von den Elektroden aufgenommene Messsignal proportional zur Drehgeschwindigkeit.

Dass die feinen mikromechanischen Sensorstrukturen extrem empfindlich sind und durch ein spezielles Gehäuse geschützt werden müssen, ist aus Abbildung 1 ersichtlich. Das Ziel war es deshalb, den Sensor so zu verpacken, dass er wie ein normaler Chip behandelt und kostengünstig in der Standard-Halbleiterfertigung weiter verarbeitet werden kann. Das einzelne Bauelement sollte sogar so stabil sein, dass es sich im Transfer Molding-Verfahren mit Kunststoff bei 90 bar Umgebungsdruck umspritzen lässt. Schließlich muss so ein Sensor nach der Kalibrierung höchsten Beanspruchungsprofilen genügen und beispielsweise 1000 Stunden bei einer Temperatur von 85 °C bei 85 Prozent Feuchte oder 2000 g Schockbelastung aushalten.

AuSi-Wafer-Bonding

Um möglichst viele Sensoren auf einer Siliziumscheibe gleichzeitig fertigen zu können, hat Reinerts Team eine spezielle Aufbautechnik auf Wafer-Level entwickelt (Abb. 2). Dazu wird ein so genannter Kappen-Wafer auf den mit den Sensorstrukturen gefertigten Device-Wafer aufgesetzt, angeätzt und bei einer Temperatur von 380 bis 400 °C miteinander verbunden. Der Device-Wafer benötigt nur eine lötfähige Siliziumschicht. Da kein zusätzlicher Metallrahmen benötigt wird, kann zum Ätzen der Polysiliziumstruktur Fluorwasserstoffgas, das fast alle Metalle angreift, verwendet werden. Um eine gleichmäßige thermische Ausdehnung zu erhalten und auch bei Betrieb in einem Temperaturbereich von -40 bis 125 °C die Temperaturdrift zu minimieren, besteht der Kappen-Wafer wie der Device-Wafer aus Silizium. Darüber hinaus ist Silizium ein billiges Material, das keine Kontaminationsprobleme mit sich bringt. Auf dem Kappen-Wafer ist bereits eine matrixförmige Anordnung von Kavitäten (Taschen) mit der vollständigen Metallisierung vorhanden (Abb. 3).

Beim herkömmlichen Glasfritt-Bonden mit Glaspaste mit Glaskeramikkomponenten sind die Versiegelungsröhmchen etwa 500 µm breit. Um die Sensorausbeute pro Wafer zu erhöhen, sollten die Versiegelungsröhmchen sehr schmal sein. Deshalb wird am Fraunhofer-Institut ein metallischer Gold-Bonding-Prozess mit Silizium als Eutektikum eingesetzt. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht laut Wolfgang Reinert darin, dass die Rahmen nur 60 µm bis 100 µm breit sein müssen und extrem feste Verbindungen entstehen. Hinzu kommt noch, dass beim AuSi-Bonding-Verfahren weniger Stressprobleme oder Frühausfälle auftreten (Abb. 4).

Getter-Technologie

Um eine exakt definierbare Vakuumatmosphäre innerhalb des Mikrosensorgehäuses zu erreichen, gehen die ISIT-Experten sogar noch weiter. Sie bringen in jede Kavität vor der Versiegelung einen strukturierten Dünnschicht-Getter aus einer Zirkonium-basierten Legierung ein. Der breitbandig arbeitende Getter geht mit den verschiedensten Stoffen eine chemische Bindung ein. Er nimmt nicht nur Wasser, sondern auch alle anderen aktiven Luftbestandteile wie Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenmonoxid und -dioxid an seiner zur Erhöhung der Effektivität kollumnar strukturierten Oberfläche auf. Allerdings ist der Getter nicht in der Lage, Edelgase zu binden, wie zum Beispiel Helium, Neon oder Argon. Das Material des Getters ist so zu wählen, dass seine Aktivierungstemperatur zum Bonding-Prozess kompatibel ist.

Mit Hilfe der innovativen Bonding-Technologie lassen sich je nach Sensortyp die Druckwerte im Bereich von 10^{-4} mbar bis 3000 mbar einstellen. Der Arbeitsdruck der resonanten Strukturen eines Drehratensensors liegt in der Größenordnung von 0,1 mbar, Beschleunigungssensoren arbeiten bei einem Druck von 700 mbar. Wichtig ist, dass der spezifizierte Wert in der Applikation, also im Feldeinsatz oder im Kraftfahrzeug, sichergestellt wird. In der Regel darf sich der Druck z.B. bei Drehratensensoren innerhalb eines Zeitraums von 15 Jahren maximal verdreifachen, also von 0,1 mbar auf 0,3 mbar ansteigen.

Ultra-Fine-Lecktest

Sehr schnelle Aussagen über die Prozesszuverlässigkeit, also vor allem über die Dichtigkeit, lassen sich mit dem am Fraunhofer-Institut entwickelten und patentierten Ultra-Fine-Lecktest treffen. Dabei wird die effektive Luftleckrate der gefertigten Mikrosensoren gemessen und anschließend berechnet, wie viel Luft der Getter aufnimmt bzw. wann er gesättigt ist. Mit dieser zerstörungsfreien Prüfung können bereits auf Waferebene, noch vor der Auslieferung der Sensoren an die Kunden, die Ausfallkandidaten ausselektiert werden.

Ausblick

Der international zum Patent angemeldete Vakuum-Bonding-Prozess wurde in Itzehoe bereits mit verschiedenen Sensordesigns auf unterschiedlichen Wafern getestet. Wolfgang Reinert zeigt sich mit den bisherigen Ergebnissen sehr zufrieden: „Die Versiegelung der Mikrosensoren ist absolut feuchteresistent und im Bereich 10^{-16} mbar l/s leckdicht.“ Zukünftig wollen die Experten des

Fraunhofer-Instituts für Siliziumtechnologie ISIT deshalb auch nicht nur mikromechanische Sensoren für den Einsatz im Automotive-Bereich, sondern darüber hinaus für Anwendungen in der Avionik, der Medizintechnik und in Consumer-Produkten herstellen.

((Kasten))

Vorteile des eutektischen AuSi-Wafer-Bondings

- hohe mechanische Festigkeit
- hohe Temperaturwechsel- und Hochtemperaturbelastbarkeit
- hohe Vakuumdichtigkeit
- geringe Ausgasung bei Vakuumbondierung
- geringe Bondrahmenbreite
- hohe Toleranz für kleine Partikel oder Kratzer im Bondrahmen
- Ausgleich von Oberflächentopografien durch Bildung einer Schmelze
- kein Aufladungseffekte des Deckels
- Integration in Standard-Fertigungsprozesse
- hohe Bauteilausbeute

Ihr Kontakt:

Wolfgang Reinert
Fraunhofer Institut für Siliziumtechnologie ISIT
Fraunhoferstraße 1
25524 Itzehoe
Tel.: 04821/17-4617
Fax: 04821/17-4690
wolfgang.reinert@isit.fraunhofer.de
www.isit.fraunhofer.de

((Bilder))

Wolfgang Reinert

((Gyro_rund_Detail.jpg))

Abb. 1 Die feinen beweglichen Kammstrukturen des Drehratensensors sind nur wenige Mikrometer breit.

((MEMS-Konstruktion mit Getter.jpg))

Abb. 2 Aufbau des mikromechanischen Sensorsystems

((Deckelwafer.jpg))

Abb. 3 Der Kapfen-Wafer weist eine matrixförmige Anordnung von Kavitäten (Taschen) auf

((Gekapselter Sensorwafer.jpg))

Abb. 4 Gekapselter Wafer mit Drehratensensoren