

Reductie van behuizingsspanningen in een micro-mechanische druksensor

Reductie van behuizingsspanningen in een micro-mechanische druksensor

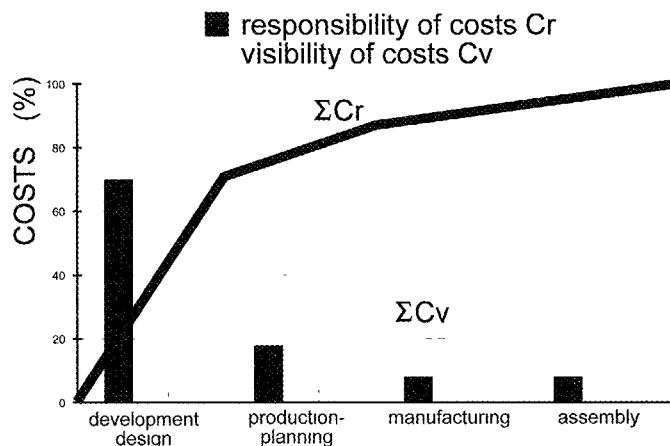
V.L. Spiering

In een micromechanische sensor wordt een zeer kleine flexibele structuur mechanisch vervormd als gevolg van een te meten grootte. Volgens verscheidene transductie principes is het mogelijk om deze vervorming om te zetten in een elektrisch signaal. Dit meetsignaal is dus een waarde voor de te meten grootte, een drukverschil in dit artikel. Het is van groot belang dat de mechanische vervorming alleen door het drukverschil bepaald wordt en niet door storingsverschijnselen wordt beïnvloed. Het behuizen van gevoelige micro-mechanische sensoren blijkt vaak dergelijke hinderlijke storingen te introduceren. Veel gevallen zijn bekend waarbij de microsensoren na het plaatsen in de behuizing niet meer correct bleek te werken, of zelfs volledig kapot ging. In dit artikel zal een oplossing voor het reduceren van behuizingsspanningen worden aangedragen. Een mechanische ontkoppelingzone wordt geïntroduceerd, die de behuizingsspanningen reduceert, maar de spanningen als gevolg van het drukverschil niet beïnvloedt.

Het behuizen van sensoren is lange tijd een onderschat onderdeel van de microsysteemtechnologie geweest. In de ontwerpfase werd nog niet aan de behuizing gedacht. Inmiddels weten veel bedrijven dat het behuizen van een sensor een cruciale (en vaak ook de meest kostbare) fase is. Anders dan het inpakken van een elektronische component maakt de diversiteit van toepassingen voor sensoren, en het feit dat een sensor aan de buitenwereld opengesteld moet worden, een standaard hermetisch gesloten of kunststofbehuizing onmogelijk [1, 2].

Figuur 1 illustreert het feit dat beslissingen in het ontwerpproces sterk de uiteindelijke kostprijs van een micro-mechanisch product bepalen, hoewel

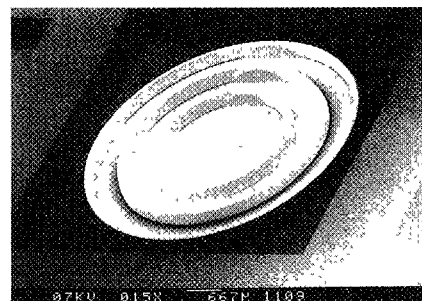
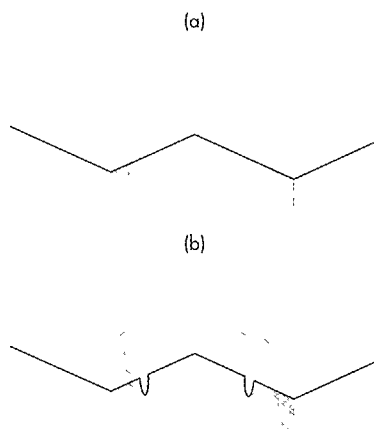
Figuur 1 De relatieve kosten in een micro-mechanisch product voor verschillende fases van het fabricageproces [1]



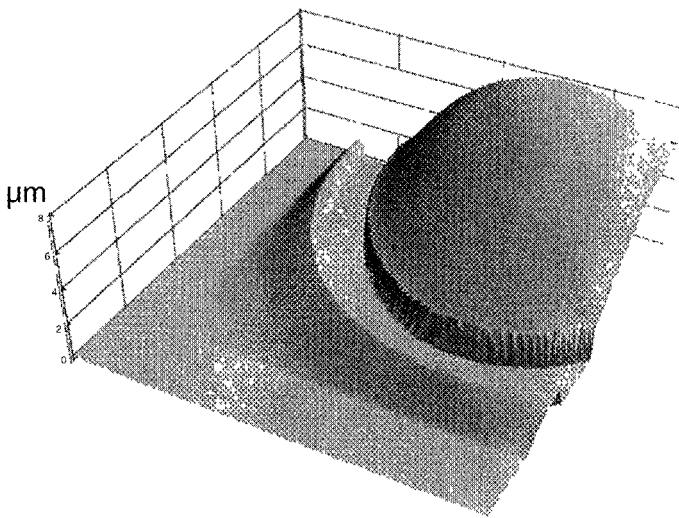
dat pas tot uitdrukking komt tijdens de assemblage [3].

Aan het MESA Research Instituut binnen het micromechanische thema van de vakgroep TransDuktie techniek en Materiaalkunde wordt daarom onderzoek gedaan aan de reductie van behuizingsspanningen voor micromechanische sensoren en de toepassing in een druksensor. De uitdaging van dit onderzoek is het behuizen van zeer gevoelige micromechanische sensoren te vereenvoudigen. Het belangrijkste doel is het vinden van een oplossing voor het probleem dat de behuizing van een sensor ongewenste mechanische storingen veroorzaakt die het sensorsignaal beïnvloeden. Deze storingen worden niet alleen door het behuizingproces zelf veroorzaakt, maar kunnen ook tijdens het gebruik van de sensor optreden. Dit laatste is het gevolg van onderling afwijkende materiaaleigenschappen van behuizing en sensor. De gevolgde koers is gericht op het vinden van een oplossing tezamen met ontwerpregels om een bepaalde reductie van deze storingen te verkrijgen, en niet zozeer het modelleren van het probleem zelf. Dus niet de vraag "welke spanningsreductie is nodig?" wordt beantwoord, maar de vraag "welke spanningsreductie is mogelijk?" is onderzocht. De behuizingstrategie stelt dat het noodzakelijk is om de behuizing en de sensor tegelij-

vloeden. Deze storingen worden niet alleen door het behuizingproces zelf veroorzaakt, maar kunnen ook tijdens het gebruik van de sensor optreden. Dit laatste is het gevolg van onderling afwijkende materiaaleigenschappen van behuizing en sensor. De gevolgde koers is gericht op het vinden van een oplossing tezamen met ontwerpregels om een bepaalde reductie van deze storingen te verkrijgen, en niet zozeer het modelleren van het probleem zelf. Dus niet de vraag "welke spanningsreductie is nodig?" wordt beantwoord, maar de vraag "welke spanningsreductie is mogelijk?" is onderzocht. De behuizingstrategie stelt dat het noodzakelijk is om de behuizing en de sensor tegelij-



Figuur 2 Basisgeometrie van (a) een conventionele druksensor en (b) een druksensor die een membraan met ronde, verdiepte liggende ontkoppelingzone bevat (c) toont een SEM-foto van de achterkant van een gerealiseerd vierkant membraan dat drie dergelijke zones bevat



Figuur 3 Driedimensionale presentatie van een op druk (P) belast vierkant membraan met ontkoppelzone, gemeten met de fase-stap-interferometrie methode ($P=2850$ Pa)

kertijd te ontwerpen [1]. In overeenstemming hiermee wordt in het volgende niet alleen een on-chip voorziening om behuizingsspanningen te reduceren voorgesteld, maar wordt tevens het ontwerp van een piezoresistieve druksensor, inclusief deze voorziening als onderdeel van het sensorsysteem, getoond.

Een ontkoppelzone als oplossing voor een druksensor

De mechanisch flexibele structuur in een druksensor is een dun membraan. Bij drukverschillen over het membraan bolt dit op, en deze vervorming kan bijvoorbeeld door middel van piezoresistieve rekstrookjes gemeten worden. De gebruikelijke basisgeometrie van een micromechanische druksensor is weergegeven in figuur 2a. Het membraan is vierkant en diktes variëren zoal tussen 0,5 en 300 μm . Figuur 2b toont de gekozen oplossing: een ronde, verdiepte liggende zone in het sensormembraan

ontkoppelt de behuizingsspanningen van het binnenste gedeelte waar de rekstrookjes geplaatst worden. De reductie van externe behuizingsspanningen wordt groter naarmate de zone dieper en dunner is [4]. Het blijkt mogelijk te zijn de zone zo te ontwerpen dat de gevoeligheid van de sensor voor een drukverschil niet wordt aangetast [4, 5].

De structuur onder druk

Om het gedrag van het membraan met zone onder druk te bestuderen is de fase-stap-interferometrie methode toegepast. Deze methode is ook al besproken door Wegdam, Visman en Podzimek in een vorig nummer van Mikroniek [6]. Intensiteitsverdelingen van een structuur onder druk op drie verschillende faseniveaus zijn met een CCD-camera opgenomen en bewerkt tot een driedimensionale vorm. Figuur 3 toont een voorbeeld. De zone zelf, die geen goede meetgegevens levert, is door middel van patroonherkenningssoftware weg-

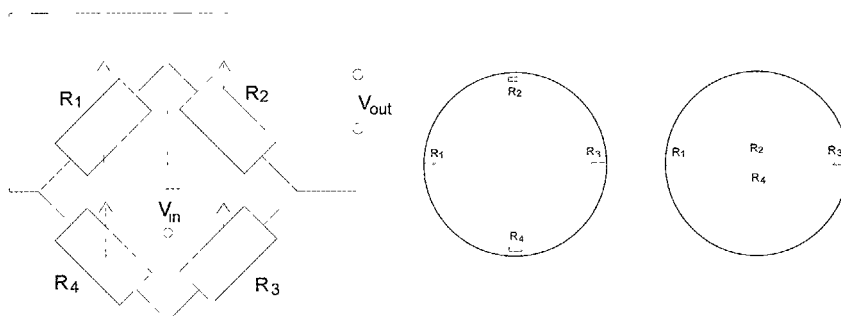
gefilterd. De hoogtes zijn daar op 0 gesteld. Dit heeft tot gevolg dat van het middelste gedeelte ergens een vaste hoogte gekozen moet worden ter referentie. Van belang is echter alleen de vervorming van het middelste ronde membraan, en niet zozeer de absolute hoogte van dit gedeelte ten opzichte van de buitenrand. De fase-stap-methode biedt dus een uitstekende mogelijkheid voor het bestuderen van de vorm van de structuur onder druk.

De rekstrookjes

Als de vorm van het membraan bekend is kunnen de posities van de rekstrookjes geoptimaliseerd worden. Als rekstrookjes fungeren kleine polykristallijne weerstanden, waarvan de waarde bij vervorming verandert. Het is dus zaak de weerstanden daar te plaatsen waar de vervormingen maximaal zijn. Bovendien kan er nauwkeuriger gemeten worden wanneer vier weerstanden een volledige Wheatstone-brug vormen. Voor deze schakeling dienen twee weerstandwaarden groter te worden en twee kleiner, bij eenzelfde drukverschil. Figuur 4 toont een Wheatstone-brug en twee mogelijke configuraties van de rekstrookjes op het membraan

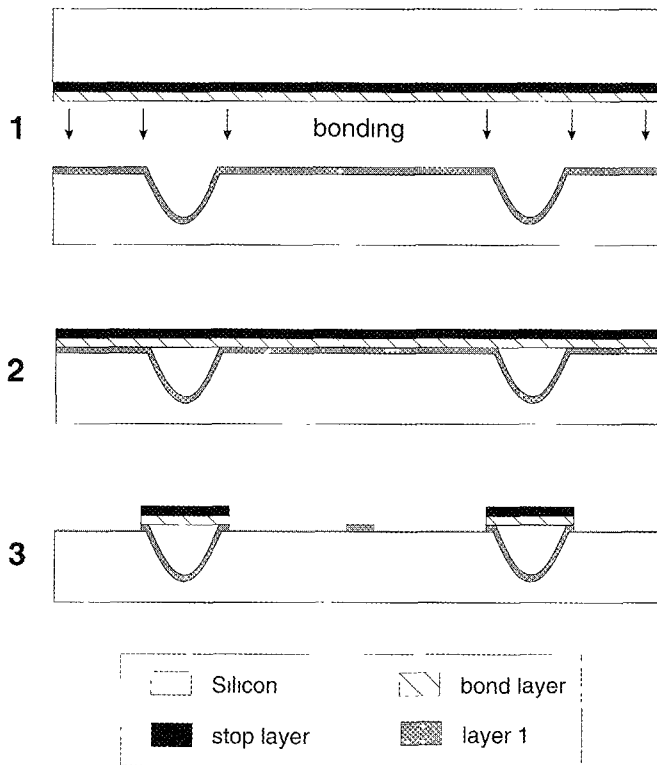
Elektrische verbinding naar buiten

Het laatste probleem vormt nu nog de elektrische verbinding van buitenaf naar de rekstrookjes op het in het midden liggende ronde membraan. Hiervoor dient de verdiepte liggende zone overgestoken te worden. Normaal gesproken wordt aluminium opgedampt en daarna volgens de standaard fotolithografische methode een patroon aangebracht. Voor het aanbrengen van fotolak is echter een enigszins vlakke ondergrond vereist, die er niet is als gevolg van de verdiepte zone. Daarom is een speciale technologie ontwikkeld, die een tijdelijk vlakke ondergrond creëert: sacrificiaal wafer bond techniek [7] (opoffering-schijf-verbinden). Hierdoor wordt het wel mogelijk fotolak op de gebruikelijke wijze aan te brengen en bruggetjes te fabriceren over gaten of diepe groeven. Zodoende kunnen met deze methode elektrische verbindingen

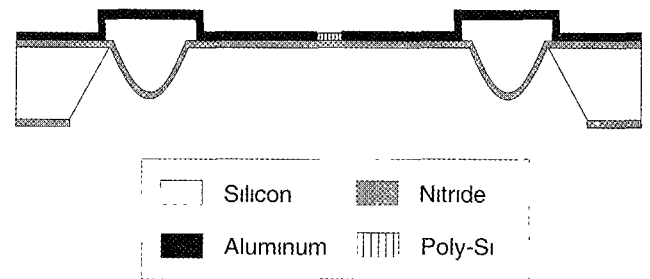
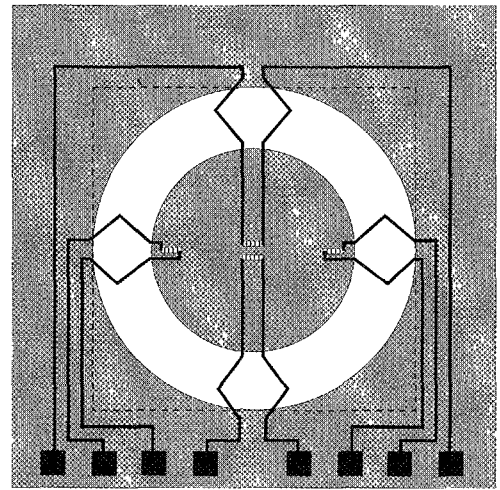


Figuur 4 Representatie van een Wheatstone-brug met constante voedingsspanning V_{in} en twee mogelijke ontwerpen voor de posities van de rekstrookjes op het membraan

Reductie van behuizingsspanningen in een micro-mechanische druksensor



Figuur 5 Belangrijkste stappen van de sacrificial wafer bonding methode
 1 het bonden van een siliciumschijf met een stoplaag op de sensorschijf,
 2 het etsen van deze schijf tot op de stoplaag,
 3 in de verkregen vlakke laag kunnen nu patronen geëtsd worden



Figuur 6 Boven-aanzicht en doorsnede van een membraan-druksensor met een ontkoppelzone

dingen gelegd worde tussen de rekstrookjes binnen de corrugatie en de bondflappen erbuiten.

Bij deze methode worden twee siliciumschijven via hun verbindingslaag met elkaar verbonden. Eén van de schijven bevat een laag die direct op de andere kan worden aangebracht en overblijft als het silicium van de schijf wordt weggeëtsd (opgeofferd); zie figuur 5, die de belangrijkste stappen toont van deze methode.

In deze toepassing gaat het om een sensorschijf waaraan de tweede schijf wordt verbonden, die niet allen een verbindingslaag, maar ook een stoplaag (dikte circa 1 μm) bevat. Na wegetsen van het silicium blijft de vlakke stoplaag over als een dun dekseltje, waarin nu op de gebruikelijke wijze patronen aangebracht kunnen worden. Het aanbrengen van nieuwe lagen is ook mogelijk. Desgewenst kunnen ook de stoplaag en de verbindingslaag verwijderd worden: de methode offert dan zowel de schijf als de tussenlagen op, zodat al-

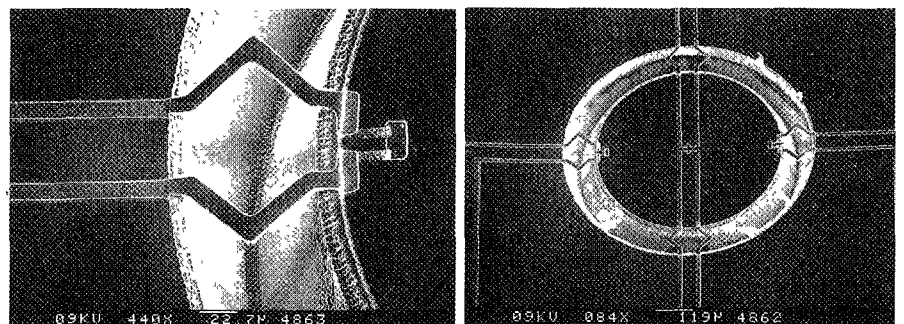
leen de originele schijf met de brugverbindingen over kan blijven.

De complete sensor

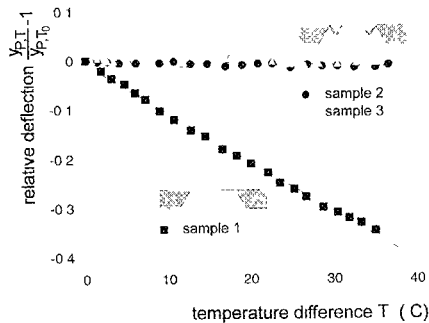
In figuur 6 staat het ontwerp van de definitieve sensor afgebeeld. Het membraanmateriaal is 1 μm dik siliciumnitride met daaraan polysilicium rek-

strookjes die met aluminium bruggetjes naar buiten verbonden worden. Het siliciumoxyde dient als bescherming in één van de fabricageprocessen.

Figuur 7 laat SEM-foto's van de gerealiserte sensoren zien. Als verbindingslaag is een polymeer gebruikt, die later is opgeofferd.



Figuur 7 Boven-aanzicht van een membraan druksensor met aluminium bruggetjes over een verdiept liggende zone om te voorzien in het elektrisch contact met de polysilicium rekstrookjes. Zichtbaar zijn wat polymeerresten die nog niet geheel zijn weggeëtsd (SEM foto's). Afmetingen: diameter binnenmembraan 600 μm , breedte van de verdiept liggende zone 100 μm , diepte van deze zone 100 μm



Figuur 8 De relatieve verandering van de uitwijking van het middelpunt van het membraan bij een constante druk (30 kPa) als een functie van het aangebrachte verschil in omgevingstemperatuur, y_{PT} is de uitwijking bij de begintemperatuur en y_{PT0} die bij hogere temperaturen

Resultaten

Metingen met druksensoren met en zonder geïntegreerde ont koppelingszone hebben de reductie van behuizingsspanningen aangetoond. Daartoe werden de sensoren op staal bevestigd en opgewarmd, zodat door de verschillende thermische uitzettingscoëfficiënten in de sensor ontstaat. Bij een constante druk van 30 kPa werden vervolgens de

uitwijking van het middelpunt van het membraan als gevolg van deze trekspanning geregistreerd, zie figuur 8. De verandering van deze uitwijking is een maat voor de geïntroduceerde behuizingsspanning. De ont koppelzone blijkt de thermoelastische spanningen goed te reduceren. de spanningsreductie was in dit geval ongeveer een factor 100.

Slotwoord

Aangetoond is dat een ont koppelzone de behuizingsspanningen in een druksensor kan reduceren. De sensor vindt zijn toepassing in het zeer nauwkeurig meten van kleine drukverschillen.

De ont koppelzone kan in principe toegepast worden voor alle sensoren waar het meetprincipe niet beïnvloed wordt door de zone. Ook andere microcomponenten kunnen uitgerust worden met de ont koppelzone. Het ziet er echter niet naar uit dat de zone een standaard toevoeging zal worden: alleen voor hoogwaardige componenten – dat wil zeggen die met veeleisende, strenge specificaties – zal deze extra investering de moeite waard zijn.

Literatuur

- [1] S D Senturia and R L Smith Microsensor packaging and system partitioning, Sensors and Actuators, 15 (1988) pp 221-234
- [2] W H Ko, Packaging of microsensors, Proc Micro System Technologies 94, Berlin, Germany, Oct 19-21 1994, pp 477-480
- [3] G Stauffert, A Reber, and H Hieber, Packaging, Course Manual 'Packaging', Besançon, France, Oct 26-27 1993
- [4] V L Spiering, S Bouwstra and R M E J Spiering, On-chip decoupling zone for package-stress reduction, Sensors and Actuators A, 39 (1993), pp 149-156
- [5] V L Spiering, S Bouwstra, J F Buiger and M Elwenspoek, Membranes fabricated with a deep single corrugation for package stress reduction and residual stress relief, J Micromech Microeng, 3 (1993), pp 243-246
- [6] A M F Wegdam, R Visman, en O Podzimek, Opto-elektronisch meten van driedimensionale vormen, Mikroniek 4 (1994), pp 102-105
- [7] V L Spiering, J W Berenschot, M Elwenspoek and J H J Fluitman, Low temperature sacrificial wafer bonding for planarization after very deep etching, 7th IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 94), Oriso, Japan, Jan 25-28 1994, pp 69-74

Auteursnoot

Ir V L Spiering is verbonden aan het MESA Research Instituut van de Universiteit Twente te Enschede. In december 1994 verwacht hij te promoveren. Dit artikel is een gedeeltelijke weergave van het werk dat beschreven staat in het proefschrift 'Package stress reduction for micro-mechanical sensors application in a pressure sensor'. Het proefschrift is te verkrijgen door overmaking van fl 40,- op postgroot 4279449 ten name van V L Spiering te Enschede onder vermelding van naam, adres en de opmerking "Proefschrift".



DENK NOU NIET DAT U MET UW HOOGGLANS- EN OPTISCH POLIJSTWERK BIJ ONS NIET WELKOM BENT

Polgron Optics and Polishing Techniques is de enige onderneming in Nederland die zelfstandig hoognaauwkeurig polijstwerk verricht. Het polijsten van producten met een oppervlakteruwigheid van Ra 0,001 tot 0,002 micrometer en een vormnauwkeurigheid van 0,03 micrometer is met de door ons ontwikkelde techniek niet alleen haalbaar voor vlakke, maar zelfs voor sferische en a-sferische vormen. Dit kunst laten we niet afkijken. Evenmin gunnen we u een blik op prototypes of matrijzen van de meest gerenommeerde bedrijven die bij ons op de werkbank kunnen staan. Wellicht voor u juist de verzekering dat uw opdracht bij Polgron in goede handen is.



POLGRON
OPTICS & POLISHING TECHNIQUES
Het grove onderscheid op 0.002 micrometer

Zernikepark 2 t 9747 AN Groningen tel. 050-715780 fax 050 654596

hft

DEN HARTOG

fijnmechanische techniek b.v.

vervaardiging en reparatie van
fijnmechanische onderdelen

kunststofmatrijzen

snijstempels

buigstempels

prototypen

bewerken van

kunststofonderdelen

Nijverheidsweg 8
3481 MB Harmelen
Tel.: 03483 - 3504
Fax: 03483 - 4187

Met adverteren
in Mikroniek
bereikt u de
Fijnmechanische
bedrijven en
produktontwikkelaars