

Elektrische Druckmessung auf piezoresistiver Basis

1. Einleitung

Die Erfordernisse der Prozesstechnik, Automatisierung und Mess- und Prüftechnik verlangen nach Messgeräten mit elektrischem Ausgangssignal. Die erste Stufe war die Ausrüstung konventioneller Druckmessgeräte mit einem elektrischen Zusatz, der die Deformation des federnden Elements in ein elektrisches Signal bewerkstelligte. Dies kann z.B. auf kapazitivem, induktivem oder resistivem Weg geschehen, indem die Deformation auf einem Kondensator mit variablem Plattenabstand, auf ein Spulensystem mit verschiebbarem Kern oder auf ein Potentiometer bzw. einen deformationsabhängigen Widerstand übertragen wird. Die zweite Stufe war die Entwicklung integrierter Sensoren, die einen Verbund von Druckaufnehmer und Druck-Signal-Wandler darstellen. Zu ihnen gehören auch die piezoresistiven Messverfahren.

Bei resistiven Druckaufnehmern wird durch einen Druck ein Widerstand bzw. mehrere Widerstände verändert. Es handelt sich in den meisten Fällen nicht um das Verstellen eines Potentiometers, sondern um die Veränderung der Leitfähigkeit eines Dehnmessstreifens. Solche Druckaufnehmer sind sowohl für statische als auch dynamische Anwendungen geeignet. Sie sind passiv, benötigen also eine Speisung. Je nachdem, welche Widerstände verwendet werden und nach welchem Fertigungsprinzip der Druckaufnehmer hergestellt ist, wird er unterschiedlich bezeichnet.

Metallische Dehnmessstreifen (DMS) verändern ihren Widerstand durch eine Deformation. Normale DMS sind aus einer auf einen Trägerfilm aufgetragenen Metallfolie (z.B. Constantan) herausgeätzt und werden zur Messung von Deformationen aller Art eingesetzt. Die Widerstandsveränderung resultiert aus zwei überlagerten Effekten. Zum einen bewirkt eine Dehnung des Messkörpers eine Querschnittsverringering und dadurch eine Erhöhung des Widerstandes. Zum anderen verändert sich auch der spezifische Widerstand mit der Dehnung. Dieser zweite Effekt wird piezoresistiver Effekt genannt. Ihm sind etwa 20% der Widerstandsveränderung beim normalen DMS zuzuschreiben.

Bei Halbleitermaterialien ist der piezoresistive Effekt sehr viel ausgeprägter als bei Metallen. Er hängt von der Orientierung des Halbleiter-Einkristalles und von der Dotierung ab (Art, Dichte und Verteilung der Fremdatome, welche die Leitfähigkeit bestimmen). Bei ausgeführten Halbleiter-DMS

ist der piezoresistive Effekt etwa 50 mal stärker als bei metallischen DMS. Halbleiter-DMS werden zur Druckmessung entweder ebenfalls auf eine solche Struktur aufgeklebt oder das Halbleitermaterial ist direkt aufgesputtert, so dass eine intensive Verbindung gewährleistet ist, was die Voraussetzung für Hysteresefreiheit, Alterungs- und Temperaturbeständigkeit ist. Obwohl der piezoresistive Effekt nicht allein dieser Gruppe vorbehalten ist, hat sich die Bezeichnung piezoresistiver Druckaufnehmer für diejenigen eingebürgert, bei denen die elastische, sich unter Druck deformierende Struktur und die Widerstände in einem Chip integriert sind.

Resistive Druckaufnehmer können klein und (abgesehen von der Membrane) ohne bewegliche Teile gebaut werden. Ihre Herstellung beruht auf den normalen (auf Massenproduktion ausgerichteten) Halbleiterfabrikationsmethoden. Gleichzeitig eröffnet sich die Möglichkeit, Widerstände und die elastische, sich unter Druck deformierende Struktur (die Membrane) in einem Chip zu integrieren und damit eine Druckmesszelle in Chipgröße herzustellen.

Die Abmessungen des Druckaufnehmers sind weitgehend dadurch bestimmt, dass die Messzelle für viele Anwendungen vor dem zu messenden Medium geschützt, d.h. in ein Gehäuse eingebaut werden muss. Solch komplett in rostfreiem Stahl (oder anderen Materialien) gekapselte piezoresistive Druckaufnehmer als Einbaumesselemente sind bereits seit Jahrzehnten fertig entwickelt und werden heute in Aufbau und Form praktisch unverändert in vielen tausend Stück pro Monat von industriellen Anwendern eingesetzt. Die Weiterentwicklung auf dem Gebiet der piezoresistiven Druckaufnehmer wird sich nicht so sehr in einer weiteren Verkleinerung auswirken. Vielmehr werden Herstellung, hier vor allem die Kapselung in das Gehäuse sowie die Auswertung und die Kompensation von modernen, voll automatisierbaren Verfahren profitieren, wodurch sich die Herstellkosten auch auf dieser Seite beträchtlich reduzieren lassen.

2. Grundlagen piezoresistiver Druckmessung

2.1 Halbleitertechnische Grundlagen

2.1.1 Leitfähigkeit von Halbleitermaterialien

Halbleiter sind Elemente mit speziellen elektrischen Eigenschaften, die weder die gute Leitfähigkeit der Leiter noch die ausserordentlich hohe Isolation von Isolatoren haben. Reine Halbleiter isolieren bei Raumtemperatur sehr gut, jedoch nimmt die Leitfähigkeit mit zunehmender Temperatur ebenfalls zu, so dass sie im Gegensatz zu Isolatoren schon im festen Zustand leitend werden. Dies hat damit zu tun, dass die Elektronen weniger stark an den Atomkern gebunden sind, oder anders gesagt, dass weniger Energie zugeführt werden muss, um ein Elektron loszureissen als bei Isolatoren. Wesentlicher ist im Moment aber folgender Aspekt: Die Leitfähigkeit kann auch durch kontrollierten Zusatz anderer Elemente beeinflusst werden. Dotierte Halbleiter erhalten bei der Herstellung kontrollierte Mengen von Dotierungs- bzw. Verunreinigungselementen. Diese Elemente haben entweder ein Elektron mehr oder ein Elektron weniger als das Halbleiterelement. Werden sie in das Kristallgefüge des Silizium-Einkristalles eingefügt, bleibt entweder das überschüssige Elektron für die Bindungen unbenutzt oder das fehlende Elektron führt dazu, dass ein sogenanntes Loch in der Kristallstruktur bleibt. Ein überschüssiges Elektron ist ein relativ freier, negativer Ladungsträger, der im Kristall wandern kann, wenn ein entsprechender Potentialunterschied vorhanden ist, d.h. eine Spannung bzw. elektrisches Feld anliegt. Je mehr solche freien Ladungsträger im Kristall vorhanden sind, d.h. je höher die Dotierungsdichte ist, desto höher ist auch die Leitfähigkeit des Halbleiters. Wie gesagt, es können auch fehlende Elektronen, sogenannte Löcher, als Ladungsträger benutzt werden. Während ein Elektron die Ladung -1 hat, also eine negative Ladung (deshalb n dotiert bzw. n-leitend, wobei n für negativ steht), entspricht einem Loch die Ladung $+1$, also eine positive Ladung (deshalb p-dotiert bzw. p-leitend, wobei p für positiv steht). Die Leitfähigkeitsmechanismen sind also leicht unterschiedlich für n- und für p-dotiertes Silizium, weshalb sich auch Unterschiede in den mit der Leitfähigkeit zusammenhängenden Effekten ergeben.

2.1.2 Halbleiterherstellung

Als Grundmaterial wird ein Silizium-Einkristall gezüchtet, wofür verschiedene Prozesse zur Verfügung stehen. Die Herstellung völlig reiner Silizium-Einkristalle ist praktisch nicht möglich. Der Einkristall wird in Scheiben, sogenannte Wafern, geschnitten. Die Orientierung der Kristallstruktur und der Schnittebenen ist wesentlich, da sich Einkristalle anisotrop verhalten, d.h. in verschiedenen Richtungen verschiedene Eigenschaften aufweisen. In die polierte Oberfläche des Wafers können am gewünschten Ort lokal begrenzt Fremdatome eingelagert werden. Dazu muss vorerst an der zu dotierenden Stelle die Oxydschicht von der Waferoberfläche entfernt werden. Mittels photochemischer

Prozesse wird eine lichtempfindliche Schicht aufgebracht, die gewünschte Maske aufbelichtet, die nicht belichtete Stelle dieser Schicht weggelöst und die darunterliegenden Stellen der Oxydschicht weggeätzt.

Die Einlagerung der Fremdatome erfolgt mittels Diffusion in Gasatmosphäre bei hohen Temperaturen oder mittels Ionenimplantation. Bei der Diffusion ergibt sich die höchste Konzentration von Dotierungsatomen an der Oberfläche. Bei der Ionenimplantation werden die Dotierungsatome regelrecht in den Wafer hineingeschossen, wodurch sich ein Maximum in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche ergibt. Da die Ionenimplantation durch den Beschuss die Kristallstruktur verletzt, ist eine Nachdiffusion zum Ausheilen der Gitterfehler erforderlich. Das Dotierungsprofil hängt also vom Herstellungsprozess ab und beeinflusst ebenfalls die späteren Eigenschaften des Halbleiterprodukts. Je nach der Komplexität der zu erzeugenden Halbleiterschaltung, muss dieser Prozess des Maskierens und Dotierens nur einmal durchgeführt werden (Dioden, Widerstände), während komplexe Schaltungen wie Operationsverstärker, Mikroprozessorschaltungen etc. eine Vielzahl von Masken und Prozessen erfordern. Als letzter Schritt der Herstellung werden die Kontaktierungen (Aluminiumleiterbahnen) und eine Schutzschicht (Siliziumoxyd) aufgebracht. Da die Wafer inzwischen sehr gross und die Schaltungen verhältnismässig klein sind, kann die gleiche Schaltung auf einem Wafer einige tausend Mal nebeneinander angeordnet werden.

2.1.3 Halbleiterwiderstand

Ein Halbleiterwiderstand ist nichts weiter als das Halbleitergrundmaterial mit eingelagerten Dotierungsatomen. Der Widerstandswert hängt von der Fläche des Widerstandes, der Dotierungsdichte und dem Dotierungsprofil ab. Zudem ist der Widerstandswert wie alle Halbleitereigenschaften stark temperaturabhängig. Der Widerstandswert ändert sich auch bei einer mechanischen Deformation des Widerstandes: Dieser piezoresistive Effekt, der unter geeigneten Bedingungen sehr viel grösser ist als derjenige von Metallen, wird für die piezoresistive Druckmessung benutzt. Da sich ein einzelner Halbleiterwiderstand eines piezoresistiven Druckaufnehmers sowohl infolge mechanischer Deformation (durch Druck oder Zug) als auch unter Temperatureinfluss verändert, muss geklärt werden, was jeweils die Ursache der Veränderung ist. Die Lösung liegt in der Anordnung mehrerer Widerstände in einer Wheatstone-Brückenschaltung. Dazu müssen mehrere – mindestens zwei – Widerstände in den gleichen Chip integriert werden. Da auch das Grundmaterial des Wafers vordotiert ist und die beiden Widerstände in dieses gemeinsame, leitende Grundmaterial eingelagert sind, stellt sich die Frage: Was verhindert nun einen Kurzschluss zwischen diesen beiden Widerständen via Grundmaterial? Dazu benötigen wir das Verständnis der Halbleiterdiode.

2.1.4. Halbleiterdiode

Die Diode ist ein zweipoliges Element, das in die eine Richtung leitet und in die andere Richtung sperrt. In der Halbleitertechnik lässt sich eine Diode einfach als p-n-Übergang herstellen. Der p-Bereich ist derjenige mit den überschüssigen positiven Ladungsträgern, den Löchern. Der n-Bereich ist derjenige mit den überschüssigen negativen Ladungsträgern, den Elektronen. An der Stelle, wo sich die beiden Bereiche berühren, herrscht in einer gewissen Zone ein Mangel an freien Ladungsträgern, da sich die freien Löcher mit den freien Elektronen kombinieren und einander aufheben. Diese Zone heisst Sperrschicht, auf englisch „depletion layer“.

Fall 1: Diode ohne elektrisches Feld

Kein Effekt

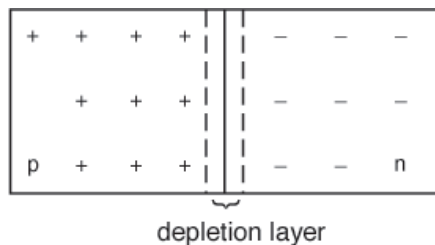


Abbildung 1

Fall 2: Elektrisches Feld in Leitrichtung

Die freien Ladungsträger bewegen sich, müssen dafür aber zuerst die Sperrschicht überwinden, was einen Spannungsabfall von typisch 0,7 Volt verursacht.

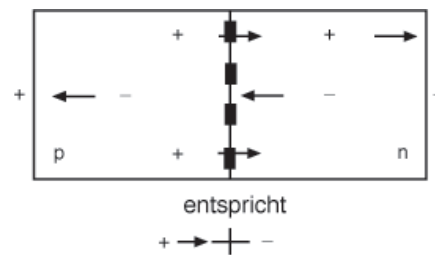


Abbildung 2

Fall 3: Elektrisches Feld in Sperrrichtung

Die freien Ladungsträger entfernen sich von der Sperrschicht, die breiter wird. Die freien Ladungsträger bleiben dann stehen, da kein Nachschub kommt; es fließt kein Strom, der Widerstand ist sehr hoch.

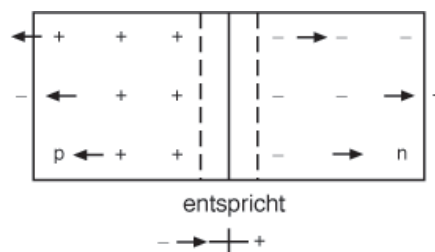
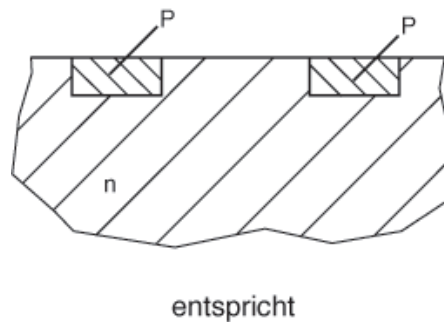


Abbildung 3

2.1.5. Mehrere Widerstände auf dem gleichen Chip

Am Beispiel zweier p-dotierter Widerstände in einem n-dotierten Grundmaterial erkennen wir, dass wohl jeder Übergang von Widerstand zu Grundmaterial eine in Leitrichtung gepolte Diode ist, durch die ein Strom in das Grundmaterial fließen könnte. Allerdings kann er dies nicht, denn die anderen Übergänge sind für diesen Strom in Sperrrichtung gepolt. Es ist also möglich, mehrere Widerstände in das gleiche leitende, aber anders dotierte Grundmaterial zu integrieren und alle für die Wheatstone-Brückenschaltung erforderlichen Widerstände auf dem gleichen Chip zu integrieren.



entspricht

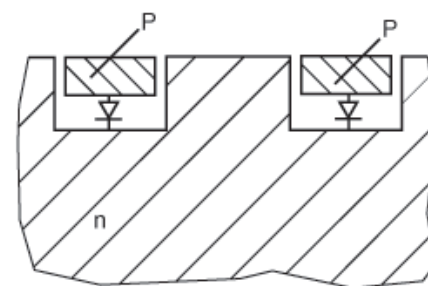


Abbildung 4

2.1.6. Temperaturverhalten der Halbleitereigenschaften

Die Halbleitereigenschaften sind sehr stark temperaturabhängig. Insbesondere verändert sich auch die Sperreigenschaft der Halbleiterdiode, da mit zunehmender Temperatur die Mobilität der freien Ladungsträger sich erhöht und auch die Eigenleitung des Siliziums stark zunimmt. Damit wird die Isolation zwischen den einzelnen Widerständen auf dem Chip schlechter und erreicht bald eine Grenze, bei der der sogenannte Leckstrom ein unzulässig hohes Mass erreicht und die Messsignale merklich verfälscht. Für Druckmesszellen, die bei Temperaturen über ca. 180 °C eingesetzt werden, muss deshalb eine andere Technik benutzt werden, beispielsweise SOI (Silicon on Insulator), bei der die Widerstände nicht in ein Siliziumsubstrat eindiffundiert, sondern auf einem Isolator aufgebracht sind. Damit bleibt die Isolation zwischen den einzelnen Widerständen auch bei hohen Temperaturen bestehen. Das Verhalten im Temperaturbereich von ca. -50 bis +150 °C, bei dem piezoresistive Druckaufnehmer eingesetzt werden, wird später noch behandelt.

2.2. Piezoresistiver Effekt

2.2.1. Allgemein

In der praktischen Anwendung muss berücksichtigt werden, dass der piezoresistive Effekt abhängt von:

- Dotierungsart, -dichte und -profil
- Temperatur
- Richtung des Siliziumkristalls
- Richtung der Deformation

2.2.2. Kristallstruktur von Silizium

In der Natur kommt Silizium in riesigen Mengen vor, aber meist als Oxyd in kleinen Stücken (Sand). Für die Halbleitertechnik wird möglichst reines oder mit einer genau definierten Anzahl Fremdatomen versehenes Silizium benötigt. Dafür wird es als grosser Einkristall gezüchtet, so dass alle Atome in perfekter Anordnung zueinander ausgerichtet sind. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass die Halbleitereigenschaften optimal zur Geltung kommen und dass die Prozesse der integrierten Schaltungsherstellung gleichmässig ablaufen. Ein einzelner Kristall zeigt ein anisotropes Verhalten, d.h. seine Eigenschaften sind richtungsabhängig. Insbesondere ist auch der piezoresistive Effekt richtungsabhängig. Die Orientierung des Halbleiterkristalls ist also wesentlich. Silizium hat (etwas vereinfacht gesehen) ein einfaches, kubisches Gitter; an jeder Ecke eines Kubus sitzt ein Atom. Setzt man an eine dieser Ecken den Ursprung eines räumlichen Koordinatensystems, so können Kristallrichtungen bzw. -ebenen wie folgt bezeichnet werden:

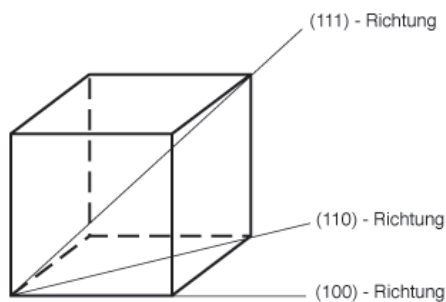


Abbildung 5

- (100) als Richtung längs einer Würfelkante
- (110) als Richtung längs einer Flächendiagonale
- (111) als Richtung längs einer Raumdiagonale

2.2.3. Beanspruchungsarten

Zug und Druck, Biegung und Torsion können in jeder beliebigen Richtung einzeln oder einander überlagernd auf eine Struktur angreifen. Für einen Würfel innerhalb dieser Struktur ergibt sich infolge eines solchen Belastungsfalls eine Beanspruchung, die als Zugspannungen und Schubspannungen auf die Oberflächen dieses Würfels reduziert werden können.

2.2.4. Richtungsabhängigkeit des piezoresistiven Wirkungsfaktors

Ein piezoresistiver Widerstand reagiert abhängig seiner Orientierung im Siliziumeinkristall und der Orientierung der angreifenden mechanischen Spannung (Zug- oder Schubspannung) unterschiedlich. Der Zusammenhang zwischen der relativen Widerstandsänderung und den angreifenden Spannungen ist im allgemeinen Fall durch Tensoren darstellbar. Damit lässt sich berechnen, wie ein beliebig orientierter Widerstand auf einen beliebigen Spannungs- bzw. Deformationszustand reagiert.

2.2.5. Auslegung piezoresistiver Widerstände zur Druckmessung

Es gibt eine überschaubare Anzahl von Varianten, nach denen ein integrierter piezoresistiver Druckaufnehmer ausgelegt werden kann: Als elastische Struktur zur Messung einer Deformation kommen beispielsweise Biegebalken oder Membranen in Frage. Aber nur letztere ermöglichen die Herstellung einer voll integrierten Struktur, in der im selben Element sämtliche erforderliche Funktionen vereint sind:

- die Umwandlung von Druck in Kraft
- die gegenwirkende Rückstellkraft
- das elastisch deformiert werdende Element
- die piezoresistiven Widerstände zur Messung der Deformation

Entscheidet man sich für das Prinzip der Membrane, legt man sich auf einen bestimmten Typ von Spannungs- und Deformationszuständen fest. Als Widerstände zur Erfassung dieser Spannungen kommen nur solche in Frage, die in der Membranebene liegen, da andere kaum herstellbar sind. Es ist nunmehr nur noch zu entscheiden, in welcher Kristallebene und -richtung und an welchem Ort auf der Membrane die Widerstände angeordnet werden müssen, damit sich eine linear arbeitende und möglichst empfindliche Druckmesszelle ergibt. Diese Arbeit kann rechnerisch durchgeführt werden, wenn der Tensor der piezoresistiven Wirkungsfaktoren bekannt ist.

2.3. Integrierte Membrane

Dank den Eigenschaften von Silizium bietet es sich an, die Siliziummembranen im Verbund durch rückseitiges Ätzen aus einem relativ dicken Wafer herzustellen. Die einzelnen Messelemente werden dann nachträglich durch Zersägen des Wafers hergestellt. Dadurch sind für die Membranen auch definierte Randbedingungen gegeben. Dies ist wesentlich dafür, dass die sich durch die druckbedingten Deformationen ergebenden Spannungszustände genau und stabil festgelegt sind. Die gesamte Struktur, Membrane, Einspannung am Rand und eindiffundierte piezoresistive Widerstände, bilden eine aus einem Einkristall bestehende Einheit.

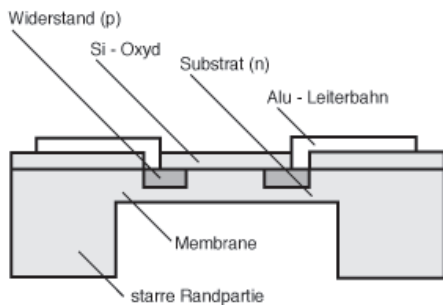


Abbildung 6

2.3.1. Anordnung der Widerstände

Für die Anordnung der Widerstände auf (genauer in) der Membrane bestehen verschiedene Möglichkeiten. Der allgemeine Fall ist ein Widerstand, irgendwo so angeordnet, dass der Spannungszustand der durch Druck ausgelenkt werdenden Membrane sich als Widerstandsveränderung bemerkbar macht. In der Praxis wünscht man sich jedoch eine möglichst grosse Empfindlichkeit, eine gute Linearität und wegen des Temperaturverhaltens des piezoresistiven Wirkungsfaktors ergänzende Widerstände zur Beschaltung zu einer Wheatstoneschen Brücke. Dabei wird für eine hohe Empfindlichkeit des Druckaufnehmers angestrebt, dass alle vier Widerstände der Brücke aktiv sind, sich also unter Druck verändern (zwei dieser Widerstände müssen sich bei der gleichen Deformation der Membrane vergrössern und zwei verkleinern).

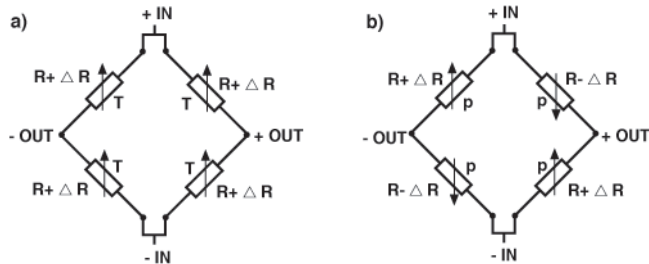


Abbildung 7

In der Abbildung 7b (Druckbeaufschlagung) ändern jeweils zwei Widerstände ihren Wert in die gleiche Richtung. Dadurch wird die Messspannung (+out – out) beeinflusst. Unter Temperatureinfluss (alle Widerstände ändern sich in die gleiche Richtung) wird die Messspannung nicht beeinflusst – bei idealer Betrachtung. Je nach der gewählten Orientierung des Silizium-Kristall-Gitters bestehen verschiedene Möglichkeiten für die Anordnung der Widerstände, z. B.

- vier Widerstände im Randbereich der Membrane
- vier Widerstände im Zentrum der Membrane
- zwei im Randbereich und zwei im Zentrum

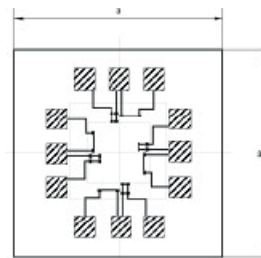


Abbildung 8

Bei der Anordnung im Randbereich ist eine Auslegung dergestalt möglich, dass zwei der Widerstände vorwiegend auf Radialspannungen (r) und zwei vorwiegend auf Tangentialspannungen (t) reagieren, da der jeweils andere Spannungsverlauf an einer bestimmten Stelle einen Nulldurchgang hat (es reagiert ja jeder Widerstand entsprechend der Grösse der entsprechenden piezoresistiven Koeffizienten, alle Komponenten des jeweiligen lokalen Spannungszustandes).

2.3.2. Eindiffundierte Widerstände

Die eindiffundierten Widerstände müssen von den Abmessungen her genügend klein sein, damit sie sich auf einen bestimmten Bereich beschränken, innerhalb dessen der Spannungszustand einigermaßen homogen ist. Bei gegebener Dotierungsdichte lässt sich durch die Wahl der Abmessungen (Länge, Breite) der Widerstandswert bestimmen. Mit der Dotierungsdichte verändert sich auch der piezoresistive Wirkungsfaktor, der Temperaturkoeffizient des Widerstandes sowie der Temperaturkoeffizient des piezoresistiven Wirkungsfaktors.

Der Wirkungsfaktor (G) und der Brückenwiderstand sind von der Dotierungsdichte und von der Temperatur abhängig.

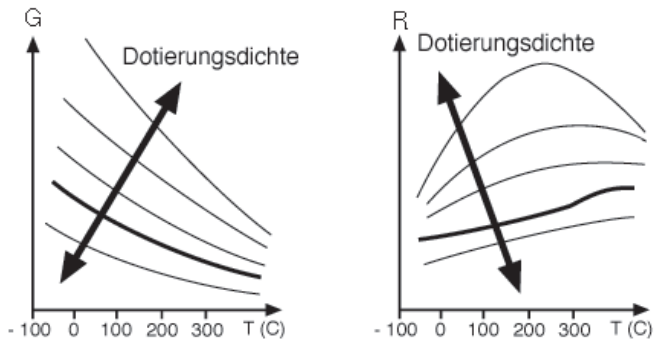


Abbildung 9

Durch geschickte Auslegung ist es möglich, den Temperaturkoeffizienten des Widerstandes und den Temperaturkoeffizienten des piezoresistiven Wirkungsfaktors so aufeinander

abzustimmen, dass man durch Einfügen eines Kompensationswiderstands in Serie (Speisung mit Konstantspannung) oder parallel (Speisung mit Konstantstrom) zur Widerstandsbrücke eine über einen weiten Temperaturbereich gleichbleibende Empfindlichkeit des Druckaufnehmers erhält.

Da beide Temperaturkoeffizienten von der Dotierungsdichte abhängen, ist diese auf einen bestimmten Wert festgelegt. Somit kann auch nicht der höchstmögliche piezoresistive Wirkungsfaktor erzielt werden, sondern man muss sich mit demjenigen begnügen, der bei dieser Dotierungsdichte vorliegt.

Das Dotierungsprofil, nämlich die Verteilung der Dotierungsatome in die Tiefe, ist von der Charakteristik her weitgehend durch den Herstellprozess (Diffusion oder Ionenimplantation) festgelegt.

2.4. Integrierte Messzelle

2.4.1. Messzelle

Der Chip mit der geätzten Membrane kann zu einer Absolut-, Referenz oder Differenz-Druckmesszelle montiert werden (in jedem Fall reagiert die Membrane auf eine Druckdifferenz zwischen Vorder- und Rückseite der Membrane). Diese drei Typen von Druckmesszellen sind Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1

Absolutdruck	Relativdruck	Differenzdruck
Messung gegen einen abgeschlossenen Raum, Vakuum.	Messung des Drucks gegen den Umgebungsdruck.	Zwei Druckanschlüsse für die Messung der Differenz.

Die Rückseite des geätzten Wafers wird mittels eines elektrochemischen Verfahrens mit einer Glasplatte verbunden. Im Fall von Absolutdrucksensoren wird dieser Prozess unter Vakuum ausgeführt, bei Relativ- und Differenzdrucksensoren wird eine im Membranraster gelochte Glasplatte verwendet und der Prozess bei Umgebungsdruck ausgeführt. Anschliessend wird der Wafer zersägt.

Die Glasplatte auf der Rückseite des Chips (Backplate) bietet einige Vorteile:

- Absolutdrucksensoren sind relativ einfach herzustellen
- Mechanische Entkopplung des Chips bei der nachfolgenden Montage (das Glas hat einen ähnlichen thermischen Ausdehnungskoeffizient wie Silizium)
- Das Silizium ist auch bei einer nachfolgenden Montage auf z.B. einer Metallplatte elektrisch isoliert

Dieses Verfahren wird standardmässig in der Herstellung der Druckmesselemente angewendet.

2.4.2. Verschluss und Montage

Die Referenz- und Differenzdruckzellen müssen so montiert werden, dass der Messdruck nur auf die eine und der Mess- oder Bezugsdruck nur auf die andere Seite der Membrane wirkt. Bei den Absolutdruckmesszellen muss der Messdruck nur auf die Vorderseite der Membrane wirken. Eine solche Druckmesszelle funktioniert auch, wenn sie allseitig vom Messdruck umgeben ist, da sie ihren Bezugsdruck enthält. Zudem müssen auch die elektrischen Anschlüsse aus dem mit Druck beaufschlagten Raum herausgeführt werden. Dazu wird die Messzelle auf ein mit Glasdurchführungen der elektrischen Anschlüsse versehenes Bauelement, kurz Glasdurchführung genannt, aufgebaut. In jedem Fall muss es vermieden werden, dass der Chip mit der Siliziummembrane und den Messwiderständen durch eine solche Montage verspannt wird oder sich temperaturbedingte Deformationen der umgebenden Struktur auf den Chip übertragen können.

Die Druckzellen müssen trotz Backplate (das Glas ist standardmässig relativ dünn) bei der Montage mechanisch von der Glasdurchführung entkoppelt werden, da sich ansonsten die thermische Ausdehnung der Glasdurchführung auf das Messelement überträgt.

Für Referenz- und Differenzdruckaufnehmer hat sich in der Praxis eine Montage mit einem hochelastischen Klebstoff bewährt, der genügend dicht ist, um die beiden druckbeaufschlagten Seiten voneinander zu trennen und, zwar nur beschränkt wenn auf Zug beansprucht, auch den entsprechenden Belastungen standhält. Das gleiche gilt für die Absolutdruckmesszellen.

3. Zusammenfassung

Piezoresistive Drucksensoren machen sich den piezoresistiven Effekt zunutze. Dieser beschreibt eine Widerstandsänderung eines Materials unter Einwirkung mechanischer Spannung. Wird auf ein Element Druck ausgeübt, ändert sich dessen Querschnitt und Länge. Durch diese Veränderung wird die Kristallstruktur des verwendeten Elements so stark beeinflusst, dass sich der spezifische Widerstand des Elements ändert. Zwar ist der piezoresistive Effekt bei allen Elementen zu beobachten, allerdings ist er bei Metallen vernachlässigbar gering. Anders ist das bei Halbleitern. Für piezoresistive Sensoren wird daher in der Regel Silizium verwendet.

In piezoresistiven Drucksensoren wird eine sehr dünne Siliziummembran benutzt, in die vier DMS integriert sind. Wölbt sich die Membran unter der Einwirkung von Druck, werden

2.4.3. Elektrische Kontaktierung

Der Chip muss noch elektrisch kontaktiert werden. Die Verbindung zwischen den „bond-pads“ aus Aluminium auf dem Chip und den in die Glasdurchführung eingeschmolzenen Anschlussstifte kann mit Gold- oder Aluminiumdraht hergestellt werden. Für die Kontaktierung werden Ultraschallbondverfahren eingesetzt. Golddraht ist aufwendiger zu verarbeiten, hat jedoch den Vorteil, wesentlich weniger spröde zu sein und auch bei Vibrationen und Erschütterungen nicht zu brechen. Ein Beispiel einer fertig aufgebauten und kontaktierten Messzelle ist nachstehend dargestellt.



Abbildung 10

die DMS entsprechend verformt. Die Verformung durch Dehnen oder Stauchen wirkt sich in einer Änderung des spezifischen Widerstands aus. Zur exakten Messung der Widerstandsänderung werden die DMS zu einer Wheatstoneschen Messbrücke verschaltet.

Dank der hohen Empfindlichkeit eignen sich piezoresistive Sensoren auch zur Messung sehr geringer Drücke. Aufgrund der sehr geringen Grösse der Siliziummembran mit einer Fläche von nur wenigen Quadratmillimetern können sehr kleine Druckmesszellen hergestellt werden.

Impressum

STS Sensor Technik Sirnach AG

Rütihofstrasse 8
8370 Sirnach
Switzerland

Phone: +41 71 969 49 29
Fax: +41 71 969 49 20

www.stssensors.com
sales@stssensors.com

