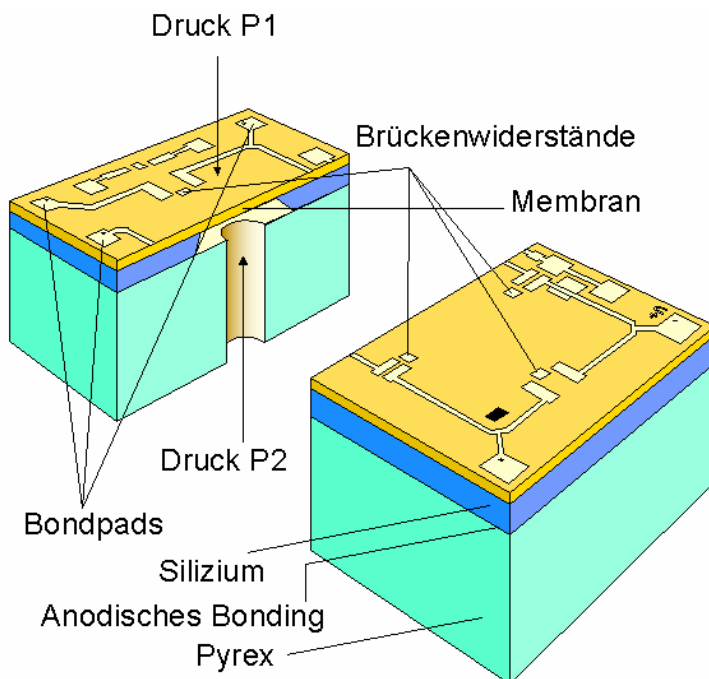


Die verschiedenen Aufbauformen der Drucksensoren: Von der Silizium-Messzelle bis zum Druck-Transmitter

In der Druckmesstechnik werden von der Siliziummesszelle bis zum einbaufertigen Messwerterfassungssystem unter dem Begriff „Sensoren“ die verschiedensten Aufbauformen angeboten. Welche Ausführungsstufen zu unterscheiden sind und was vom Anwender berücksichtigt werden muss, ist Inhalt dieses Artikels.

Der nachfolgende Artikel behandelt die verschiedenen Varianten von Drucksensoren; von der einfachen, auf einem Substrat aufgebauten Messzelle bis zur abgeglichenen und verstärkten Messzelle, die im geeigneten Gehäuse mit der entsprechenden Elektronik als gebrauchsfertige Sensoren mit normierten Ausgangssignalen eingesetzt werden (Transmitter).



Die Abmessungen der Siliziummesszellen sind abhängig von dem Druckbereich und von der Herstellungstechnologie. Sie erstrecken sich von typ. $1,5 \times 1,5 \times 0,5 \text{ mm}^3$ beim Standarddruckbereich (300mbar bis 10bar) bis $4,5 \times 4,5 \times 1 \text{ mm}^3$ bei Niederdruckmesszellen (10 bis 250mbar). Die Messzellen bestehen aus einem Glassockel (grün), dem Siliziumkörper (blau) und der Membran (gelb).

Abbildung 1: Typischer Aufbau einer Siliziummesszelle

Piezoresistive mikromechanischen Druckmesszellen aus Silizium

Da die mikromechanischen Wandlerelemente auf Siliziumbasis (siehe *Abbildung 1 und 2*) mit den Methoden der Halbleitertechnologie hergestellt werden, genügen sie den hohen Ansprüchen in Bezug auf Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit, durch die sich z.B. integrierte Schaltungen (IC) auszeichnen. Alle mikromechanischen Druckmesszellen aus Silizium haben als druckempfindliches Element eine dünne Membrane, die vorwiegend anisotrop aus dem Siliziumchip ausgeätzt wird (Cavity). An geeigneten Stellen der Membrane werden im Halbleiterprozess lokal Fremdatome in den Siliziumkristall implantiert, so dass Zonen mit geänderter

Die verschiedenen Aufbau- formen der Drucksensoren: Von der Silizium-Messzelle bis zum Druck-Transmitter

elektrischer Leitfähigkeit entstehen, die die Eigenschaften von Widerständen besitzen. Sobald ein Druck auf die Membran wirkt, deformiert sich mit der Durchbiegung der dünnen Siliziummembran die molekulare Struktur des Kristalls. Insbesondere in den Widerstandsgebieten finden starke Kristallverschiebungen statt, die zu einer messbaren Änderung ihres Widerstandwertes führen (Piezoresistiver Effekt). Werden diese integrierten Widerstände zu einer Brücke geschaltet (*Abbildung 3*), so erhält man bei Strom- oder Spannungseinprägung ein druckabhängiges, differentielles Ausgangssignal im Millivoltbereich, das mit einer geeigneten Verstärkerschaltung elektronisch gut erfasst und aufbereitet werden kann.

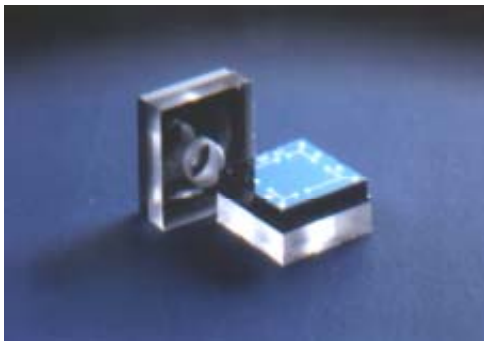


Abbildung 2: Siliziummesszelle

Für die Weiterverarbeitung der Siliziumdruckmesszellen zu Drucksensoren benötigt man zwingend einen Reinraum und das entsprechende Halbleiterequipment. Als besonders sensibel hat sich die Aufbau- und Verbindungstechnik erwiesen, die von der Vereinzelung des Drucksensorchips (Die-Down) aus dem Waferverbund, über die Klebung und das Bonding bis zur Abdeckung des Dies mit einem geeigneten Schutzgel reicht. Jeder Arbeitsschritt hat Einfluss auf die Spezifikationen des späteren Sensors und muss sorgfältig kontrolliert und gut beherrscht sein.

Anwendungstip:

Es ist ersichtlich, dass die notwendigen Investitionen zur Siliziumverarbeitung nur bei Großvolumenprojekten sinnvoll und daher die Siliziummesszellen für die meisten Anwender als Bauelement nicht geeignet sind.

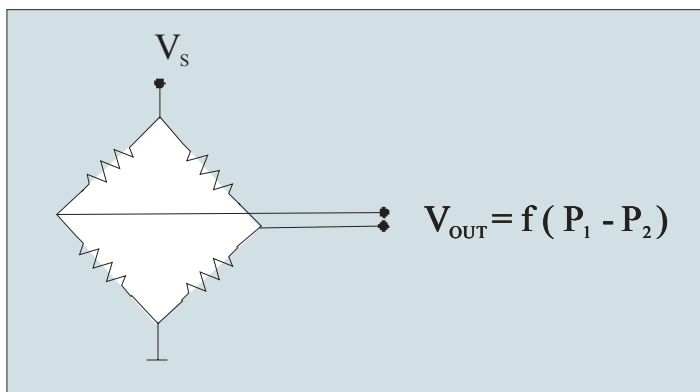


Abbildung 3: Brückenschaltung der Piezowiderstände

Die verschiedenen Aufbauformen der Drucksensoren: Von der Silizium-Messzelle bis zum Druck-Transmitter

Unter Abgleich versteht man im Bereich der Sensorik die Anpassung der Übertragungsfunktion an einen festen Fuß- und Endpunkt, ihre Linearisierung sowie die Korrektur der Störgrößen wie zum Beispiel die Temperaturabhängigkeit.

Die Drucksensoren, die auf fest vorgegebene Ausgangswerte im Offset und in der Spanne abgeglichen sind, nennt man kalibriert. Temperatur korrigierte Sensoren nennt man kompensiert.

Nicht abgeglichene Drucksensoren

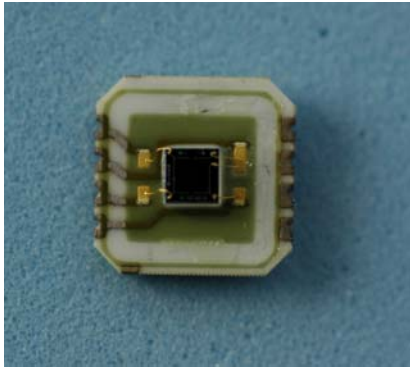


Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau einer Siliziumdruckmesszelle auf einem Keramik-Substrat ohne Abdeckung

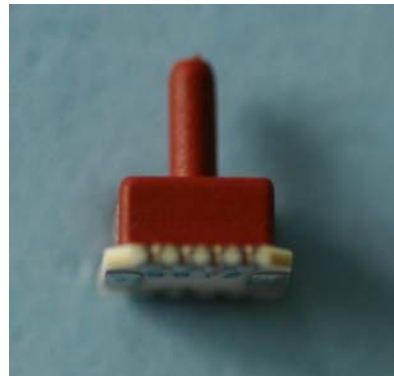


Abbildung 5: Typischer Aufbau einer Siliziumdruckmesszelle auf einem Keramik-Substrat mit Kunststoffkappe

Die nicht abgegleichenen Messzellen mit Schutzgehäuse bestehen aus einer Siliziumdruckelement, das in den meisten Fällen wegen des erforderlichen Temperaturmatchings auf einem Keramiksubstrat (Al_2O_3) aufgebaut und zum Schutz mit einer Kunststoff- oder Metallkappe abgedeckt sind (*Abbildung 4* und *5*). Oft wird der Druckmesszelle zusätzlich mit einem Silikon-Gel gegen Korrosionsschäden geschützt. Durch diesen Aufbau kann der Sensor wie ein elektronisches Bauelement in der Fertigung gehandhabt werden.

Die aufgebauten Messzellen erzeugen abhängig vom Druckbereich ein Full Scale Signal im Bereich von 20 bis max. 200mV, müssen aber wegen ihrer starken Temperaturabhängigkeit individuell unter Temperatur kompensiert, zusätzlich verstärkt und auf die Normwerte kalibriert werden. (Abgleich). Das bedeutet, man braucht neben der nicht abgegleichenen Messzelle eine geeignete Signalelektronik, eine abgleichbare Struktur, einen Abgleichalgorithmus und eine Abgleichvorrichtung (Druckmessplatz mit Temperaturschrank und Druckkalibratoren).

Anwendungstip:

Bei nicht abgegleichenen Drucksensoren muss der Anwender den aufwendigen Sensorabgleich selbst durchführen. Da die Messzellen stark temperaturabhängig und ihre Ausgangswerte individuell schwanken, muss in allen Fälle ein solcher individuelle Abgleich durchgeführt werden.

Die verschiedenen Aufbauformen der Drucksensoren: Von der Silizium-Messzelle bis zum Druck-Transmitter

Dazu benötigt der Anwender eine einstellbare Auswerteschaltung, eine Abgleichstruktur, eine Abgleichvorrichtung und einen Abgleichalgorithmus.

Je niedriger der Druck, je höher die Genauigkeitsanforderung und je weiter der Temperaturbereich, desto größer wird der Abgleichaufwand.

Abgegliche (unverstärkte) Drucksensoren

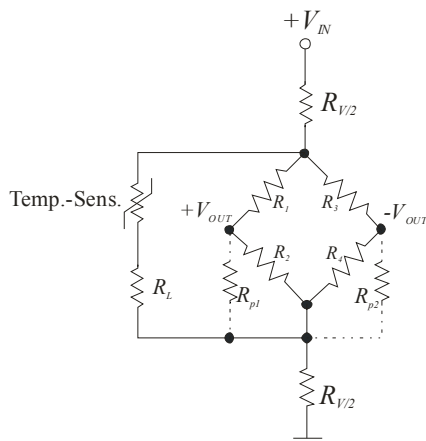


Abbildung 6: Prinzipieller Aufbau eines resistiven Abgleichnetzwerkes

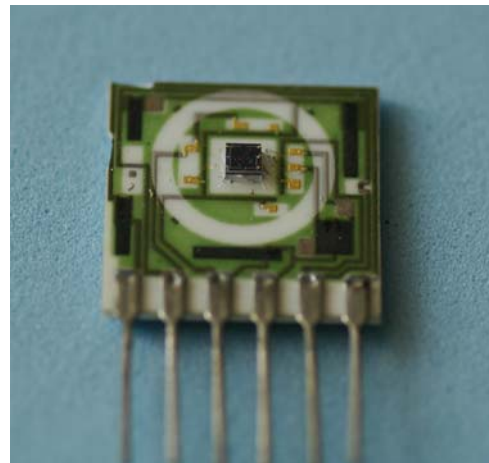


Abbildung 7: Typischer Aufbau einer abgeglichenen unverstärkten Messzelle

Da Siliziumdruckmesszellen eine starke Temperaturabhängigkeit zeigen, ist für abgegliche Sensoren eine Temperaturkompensation unumgänglich. In Abhängigkeit der erforderten Genauigkeit muss der Sensor bei zwei oder mehreren Temperaturen charakterisiert werden. Das bedeutet, man nimmt bei verschiedenen Temperaturen und Drücken die Ausgangskennwerte des Sensors auf. Anschließend ermittelt man die Abgleichkoeffizienten für Offset, Full Scale-Signal und den entsprechenden Temperatureinwirkungen (TCO und TCS) und korrigiert die Messwerte auf die gewünschten Sollwerte. Das kann mittels eines Widerstandsnetzwerkes (*Abbildung 6 und 7*) oder über eine geeignete Abgleichelektronik geschehen.

Der Temperaturabgleich wird bei dieser Art von Sensoren herstellerseitig während der Produktion durchgeführt, so dass der Anwender keine Temperatur-Korrekturen mehr vornehmen muss. Meistens werden die Sensoren vom Hersteller auch auf einen einheitlichen Wert kalibriert.

Der Anwender muss bei den abgeglichenen, nicht verstärkten Sensoren letztlich seine spezifische Signalelektronik anfügen, die, falls gefordert, die Sensorausgangsspannung in die gewünschten Ausgangswerte (z.B. 4-20mA) umwandelt.

Die verschiedenen Aufbauformen der Drucksensoren: Von der Silizium-Messzelle bis zum Druck-Transmitter

Anwendungstip:

Die abgeglichenen Sensoren sind für Anwender geeignet, die keine Temperaturkompensation durchführen möchten, die aber über eine einstellbare Auswerteelektronik (Offset-, Spann- und Linearitätseinstellmöglichkeit) verfügen oder im Vergleich zu Standardausgängen spezielle Anforderungen an die Ausgangskennwerte haben.

Verstärkte (OEM) Drucksensoren (kalibriert und kompensiert)

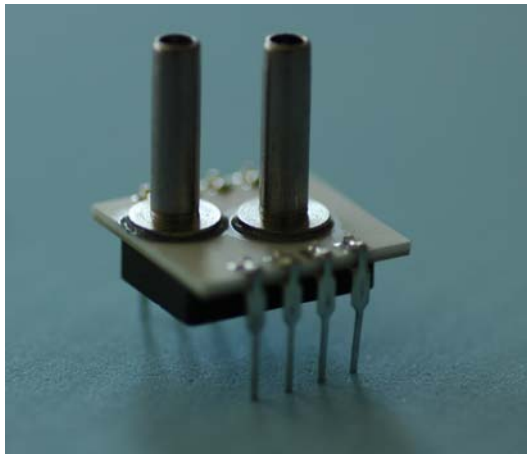


Abbildung 8: Typischer Aufbau einer abgeglichenen und verstärkten Messzelle mit Schutzgehäuse am Beispiel des AMS 5812 [1]

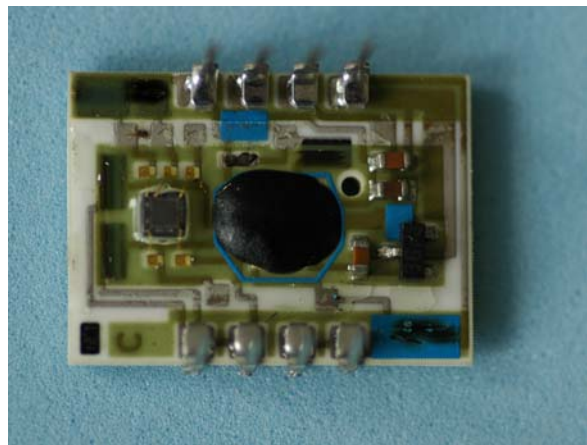


Abbildung 9: Aufsicht Keramiksubstrat mit Messzelle und Elektronik, ohne Kappe

Kalibrierte, kompensierte und verstärkte (OEM)Drucksensoren haben ein Standardausgangssignal (Spannung, Strom oder ein digitales Signal), aber kein Gehäuse im herkömmlichen Sinne haben. Sie sind für die Montage auf Leiterplatte vorgesehen und bestehen aus einem Keramiksubstrat, auf der sich die Messzelle und die Elektronik befinden (*Abbildung 9*). Der zu messende Druck wird z.B. über zwei Röhrchen zugefügt (*Abbildung 8*).

Diese Versionen sind zu bevorzugen, wenn der Drucksensor in einen größeren elektronischen Verbund, wie z.B. Steuerung oder Regelung auf eine Leiterkarte eingebaut werden soll.

Diese Sensoren (z.B. AMS 5812 der AMSYS [1]) werden in einem Druckbereich von 5mbar bis 7bar angeboten.

Man findet solche Sensoren für Absolutdruck, Relativdruck und Differenzdruckmessung. Neuerdings werden von AMSYS auch Sensoren für den bidirektionalen Differenzdruck angeboten, die es erlauben, sowohl Über- als auch Unterdruck zu bestimmen.

Durch eine geeignete Anordnung kann der Druck auch in Flüssigkeiten gemessen werden.



Die verschiedenen Aufbauformen der Drucksensoren: Von der Silizium-Messzelle bis zum Druck-Transmitter

Anwendungstip:

Bei diesen verstärkten Drucksensoren braucht der Anwender keine zusätzlichen Arbeiten (außer das Auflöten auf seine Platine) vorzunehmen. Daher sind sie geeignet für Anwender, die sich nicht mehr um den Sensor und seine Signalerzeugung kümmern möchten, aber ein eigenes Gehäuse bevorzugen oder den Sensor auf ihre Leiterplatte aufbringen möchten.

Druck-Transmitter (Bauformen)



Abbildung 9: Drucksensor im Metallgehäuse (Transmitter) am Beispiel des Präzisionssensors U5100 [2]



Abbildung 10: Drucksensor im Kunststoffgehäuse (Transmitter) am Beispiel des AMS 4712 [4]

Transmitter sind verstärkte Sensoren, die in einem Gehäuse eingebaut sind und die mit der entsprechenden Elektronik während der Kalibration auf die Standard-Ausgangswerte (z.B. 0 – 10V, 4 – 20mA usw.) abgeglichen wurden. Sie sind nach Anbringen des Kabels ohne weitere Bearbeitung einsatzbereit.

Die Transmitter z.B. Der U5100 [2] sind für eine spezielle Anwendung konzipiert und in ihrer Bauform auf diese Anwendung hin optimiert. In der Vergangenheit wurden die „klassischen“ Transmitter im Maschinenbau in einem Metallgehäuse angeboten. Hier gibt es druckseitig eine Vielzahl von Anschlüssen und Gewindearten. Auf der Anschlussseite werden die verschiedensten Möglichkeiten z.B. Bendix Bajonett Stecker, Din-Stecker oder Packard Stecker von den verschiedenen Herstellern angeboten.

Für weniger robuste Anwendungen werden aus Kostengründen mehr und mehr Transmitter im Kunststoffgehäuse angeboten. Dazu gehört z.B. die neue Serie der AMSYS mit dem AMS 4711 [3] oder dem AMS 4712 [4]. Diese Transmitter sind gemäß IP67 geschützt und im Temperaturbereich von -25 bis 85°C einsetzbar.

Anwendungstip:

Diese Sensoren (Transmitter) sind einbaufertig und benötigen keine zusätzlichen Bearbeitung.



Die verschiedenen Aufbau- formen der Drucksensoren: Von der Silizium-Messzelle bis zum Druck-Transmitter

Zusammenfassung

Spezifische Varianten	Druckmesszellen	Druckmesszellen mit Gehäuse	Abgeglichene unverstärkte Drucksensoren	Abgeglichene u. verstärkte Drucksensoren	Transmitter
Anwender Aufwand	Sehr groß	Groß	Mittel	Kein	Kein
Besondere Bearbeitungseinrichtung	Reinraum	Saubere Industrieumgebung	Saubere Industrieumgebung	Keine	Keine
Voraussetzung	Halbleiter Know how	Elektronik Erfahrung	Elektronik Erfahrung	keine	Keine
Externe Bauelemente	Viele	Viele	Mittel	Keine	Keine
Medienempfindlichkeit	Sehr groß	Groß	Mittel	Gering	Sehr Gering
Genauigkeit*	Gering	Gering	Mittel	Sehr gut	Sehr gut
Elekt. Schutzfunktionen	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
Standardausgang	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
Niederdruck < 100mbar	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein
Hochdruck > 30bar	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Druckanschlüsse	Keine	Stutzen, O-Ring	Stutzen, O-Ring	Stutzen	Gewinde,
Elektrische Anschlüsse	Bond Pads	Löt Pads	Lötkontakte	Stecker, Kabel	Stecker, Kabel
Einbaufertig	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
Außenmontage	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
Schutzart IP67	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Normzulassung	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
Abmessung	Sehr klein	Sehr klein	Klein	Mittel	Mittel/Groß
Kosten	Sehr gering	Gering	Mittel	Mittel	Hoch

* Fehler über alles

Tabelle 1: Vergleich der verschiedenen Aufbauformen

[1] <http://www.amsys.de/products/sm58x2.htm>

[2] <http://www.amsys.de/sheets/u5100.pdf>

[3] <http://www.amsys.de/products/ams4711.htm>

[4] <http://www.amsys.de/products/ams4712.htm>

Weitere Informationen: www.amsys.de