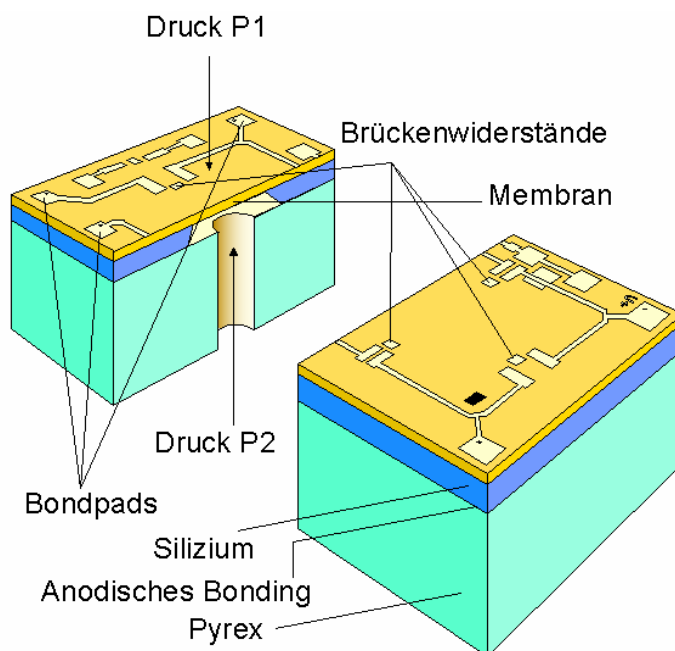


Medienkompatibilität bei Siliziumdrucksensoren am Beispiel des AMS 5812

Drucksensoren mit Siliziummesszellen sind empfindlich gegen Flüssigkeiten und eine Vielzahl von aggressiven Medien. Wie dies umgangen werden kann, wird in dem Artikel am Beispiel des AMS 5812 [1] erläutert.

Der Artikel beschreibt mit welchen Vorkehrungen es möglich ist, die gefürchtete Medienempfindlichkeit bei piezorestitiven Relativ- bez. Differenzdrucksensoren drastisch zu reduzieren. Doch zunächst sollen einige Grundlagen zum Aufbau der piezoresistiver Siliziummesszellen (Druck-Die) vermittelt werden.



Die Abmessungen der Siliziummesszellen sind abhängig von dem Druckbereich und von ihrer Herstellungstechnologie. Sie können sich von ca. $1,5 \times 1,5 \times 0,5 \text{ mm}^3$ beim Standarddruckbereich (300mbar bis 10bar) bis $4,5 \times 4,5 \times 1 \text{ mm}^3$ bei Niederdruckmesszellen (10 bis 250mbar) erstrecken. Die Messzellen bestehen aus dem Pyrex-Glassockel (grün), dem Siliziumkörper (blau) und der Membranschicht (gelb), die ebenfalls aus Silizium besteht..

Abbildung 1: Typischer Aufbau einer Siliziummesszelle für die Relativ- oder Differenzdruckmessung

Mikromechanischen Druckmesszellen aus Silizium

Da die mikromechanischen Wandlerelemente auf Siliziumbasis (siehe *Abbildung 1*) 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 in Halbleiterprozessen lokal Fremdatome in das Siliziumkristallgitter implantiert, so dass Zonen mit geänderter 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

Medienkompatibilität bei Siliziumdrucksensoren am Beispiel des AMS 5812

molekulare Gitterstruktur 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, so erhält man bei Strom- oder Spannungseinprägung ein druckabhängiges, differentielles Signal im Millivoltbereich, das mit einer geeigneten Verstärkerschaltungen elektronisch gut erfasst und aufbereitet werden kann.

In *Abbildung 2* wird schematisch gezeigt, wie man sich die Membranauslenkung der Differenzdruckmesszellen bei verschiedenen Druckverhältnissen vorzustellen hat. Der Vorzeichenwechsel im Ausgangssignal bedeutet nichts anderes als die Richtungsumkehrung der Membranauslenkung bei Änderung der Druckverhältnisse.

Die Frage, ob $P_1/P_2 \geq 1$ oder $P_1/P_2 \leq 1$ erfasst wird, hat unter dem Aspekt der Medienempfindlichkeit bei piezoresistiven Messzellen eine zentrale Bedeutung, auf die später eingegangen wird.

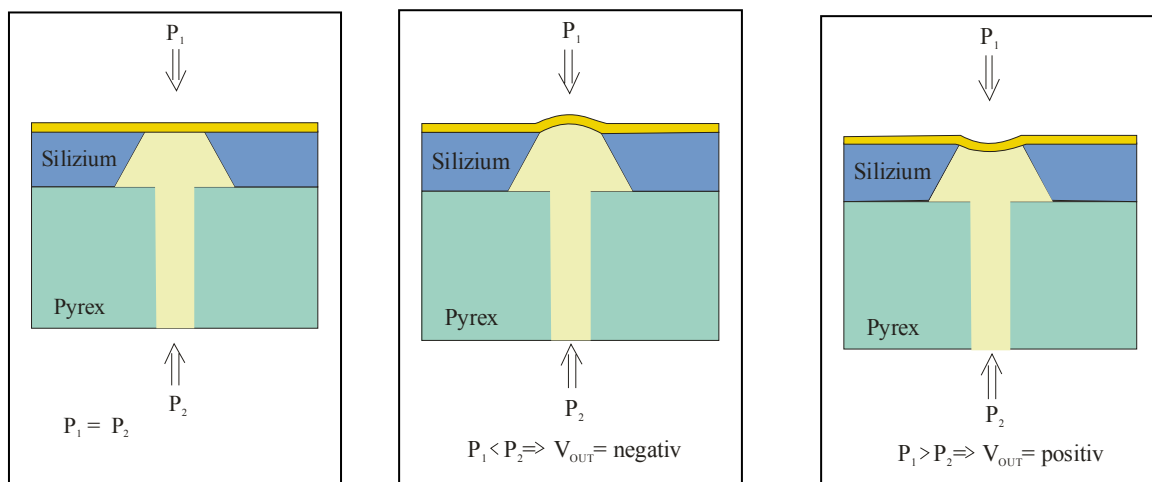


Abbildung 2: Funktionsweise einer piezoresistiven Messzelle zum Messen von Differenz- oder Relativdrücken

Relativdruckmessung

Entspricht einer der beiden anliegenden Drücke P_1 oder P_2 dem wirkenden Umgebungsdruck, so spricht man von Relativdruckmessung, die nur eine Variante der Differenzdruckmessung ist.

Signalaufbereitung

Da die Siliziummesszellen bei der üblichen Wheatstone'schen Brückenschaltung bei Druckbeaufschlagung ein Differenzsignal von typisch $\leq 100\text{mV}$ (abhängig von der Membranempfindlichkeit) als Full Scale Signal erzeugen können, ist zur Signalverarbeitung zunächst ein Instrumentenverstärker notwendig, der das differentielle Signal verarbeiten kann (*Abbildung 3*). Dieser soll das Signal mit möglichst geringem Offset und Offsetdrift und optimiertem Signal/Rauschverhältnis verstärken. In der nachfolgenden Single-Ended-Conversion-Stufe wird das Differenzsignal auf ein festes Potential, in der Regel auf den

Medienkompatibilität bei Siliziumdrucksensoren am Beispiel des AMS 5812

Nullwert, bezogen. Die nachfolgende Signalbearbeitung digitalisiert den verstärkten Wert oder kalibriert ihn mit Hilfe einer Spannungs- oder Stromendstufe auf den gewünschten Nullpunktwert in Volt oder mA, so dass bei Differenzmesszellen ohne Druckbeaufschlagung als Ausgangssignal z.B. der Wert 0V oder im Beispiel der der 2-Draht Stromschleifenanwendung der Wert 4mA gemessen werden kann.

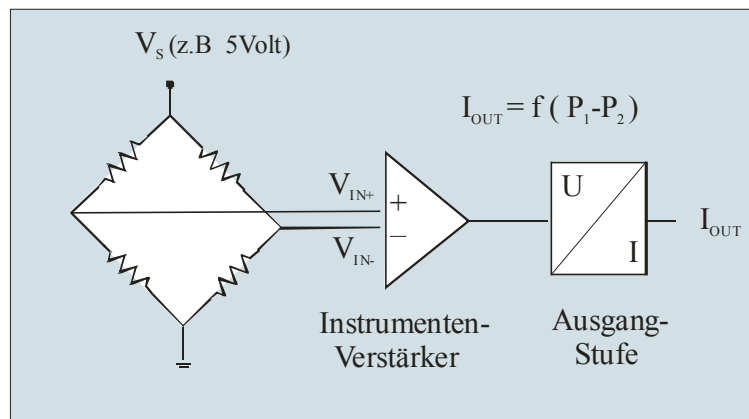


Abbildung 3: Elektronik zur Signalverarbeitung mit analoger Stromausgangsstufe

Wenn das größere Brückensignal V_{IN+} an den positiven Eingang und das kleinere Signal V_{IN-} an den negativen Eingang des Instrumentenverstärkers angeschlossen wird und wenn der Verstärker so ausgelegt ist, dass er nur positive Eingangsspannungen verstärken kann, liegt mit $P_1 \geq P_2$ (Deformation der Membran in Richtung Cavity) ein positives Signal an und es ergibt sich die Übertragungskennlinie in *Abbildung 4*.

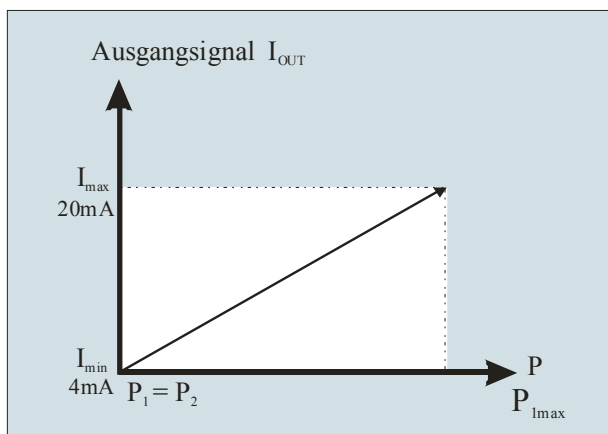


Abbildung 4: Übertragungskennlinie bei positivem Eingangssignal $P_1/P_2 \geq 1$

Wichtig: Bei der beschriebenen Konfiguration werden negative Eingangssignale mit $P_1 < P_2$ vom Instrumentenverstärker nicht verstärkt. In diesem Falle bleibt das Ausgangssignal des Verstärkers auf Null und das Ausgangssignal des Sensors täuscht die Situation $P_1 = P_2$ vor.



Medienkompatibilität bei Siliziumdrucksensoren am Beispiel des AMS 5812

Medienkompatibilität

Die Membranoberseite der Siliziummesszelle hat zur Kontaktierung mit dem Substrat kleine Metallflächen (Bondpads) aus hochreinem Aluminium (siehe *Abbildung 1 und 5*), die jedoch nicht korrosionsbeständig sind. Zum Schutz werden diese Kontaktflächen nach dem Anbringen der Golddrähte (Drahtbonden) mit einem Überzug aus weichem Silicongel überzogen. Es gibt Gele, die z.B. gut gegen Wasser oder Öle oder Alkohole usw. schützen, aber es gibt kein Gel, das einen weitgehend universellen Schutz gegen beliebige Medien gewährleistet. Der Schutzüberzug muss also an die jeweilige Anwendung angepasst sein.

Ein weiterer Nachteil der Gelmaterialien ist ihr hygroskopisches Verhalten. In den Gelen wird durch direkten Kontakt mit Flüssigkeiten oder durch Kondensation Feuchtigkeit eingelagert, die im Laufe der Zeit bis auf die Siliziumschicht durch diffundieren kann. Hier verursacht sie neben der erwähnten Korrosion eine hochohmige Verbindung zwischen den auf verschiedenen Potentialen liegenden Leiterbahnen, wodurch die Messwerte verfälscht werden.

Bei Niederdruckmesszellen hat der Gelüberzug zudem noch einen beachtlichen Einfluss auf die Sensitivität und auf die Temperaturkoeffizienten der Messzelle, weshalb man sehr oft in diesem Druckbereich auf einen solchen Schutz verzichtet.

Messzellen ohne Gelüberzug können aus den erwähnten Gründen nur zur Messung von trockenen, nicht aggressiven Gasen wie z.B. Luft benutzt werden.

Diese offensichtlichen Nachteile der Siliziummesszelle können für die geforderte Medienkompatibilität umgangen werden, indem man entweder die Messzelle in eine ölgefüllte Kapsel einbaut (was erhebliche Mehrkosten verursacht) oder den medienbehafteten Druck auf die unempfindliche Rückseite der Messzelle appliziert (Rückseitenbeaufschlagung).

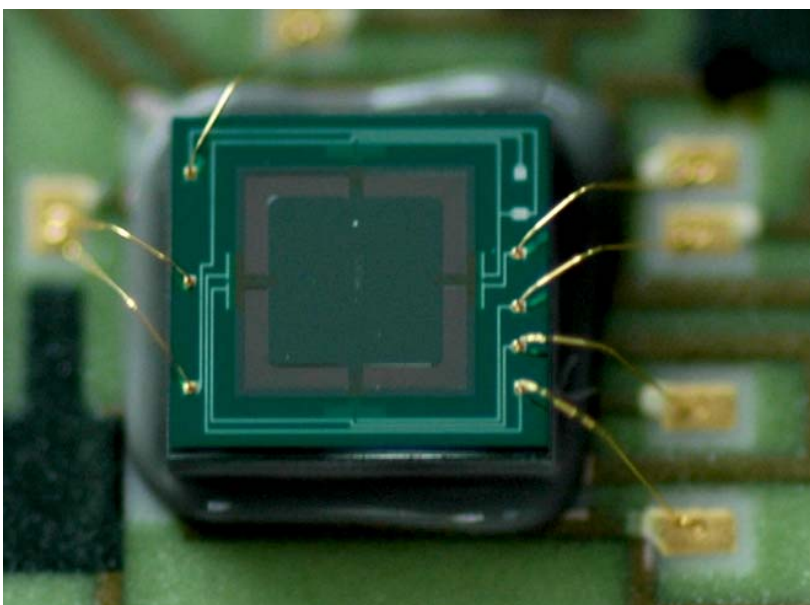


Abbildung 5: Golddraht gebondeter Niederdruckdice

Medienkompatibilität bei Siliziumdrucksensoren am Beispiel des AMS 5812

Rückseitenbeaufschlagung

Die Rückseite der Siliziummesszellen (Unterseite in *Abbildung 1*) ist wegen der fehlenden Alu-Bondpads gegenüber der Oberseite wesentlich besser mediengeschützt. Hier kommen nur Siliziumoxid, Pyrex-Glas, Keramik und in einem schmalen Fügspalt Silicon- oder Epoxikleber mit den Messmedien in Berührung. Bei der Rückseitenbeaufschlagung mit kritischen Medien gibt es also weder Korrosion noch hochohmige Verbindungen.

Rückseitenbeaufschlagung bedeutet für die Messzelle, dass der wirkende (höhere) Druck = P_2 (*Abbildung 1* und *Abbildung 6*). Damit ändert sich die Bedingung $P_1/P_2 \geq 1$ in $P_2/P_1 \geq 1$, was die Umkehrung der Membranauslenkung und den Vorzeichenwechsel des differentiellen Brückensignals zu Folge hat. Am negativen Eingang des Instrumentenverstärkers würde damit ein höherer Wert als am positiven Eingang anliegen, was für den Verstärker ein negatives Eingangssignal bedeutet. Negative Eingangssignale werden aber von der Standardanordnung des Instrumentenverstärkers nicht als Signal erkannt. In diesem Falle bliebe das Ausgangssignal des Instrumentenverstärkers Null.

Polt man aber den Eingang des Instrumentenverstärkers um, so sieht dieser unter der Bedingung $P_2/P_1 \geq 1$ ein positives Signal und verstärkt das Signal in vorgegebener Weise.

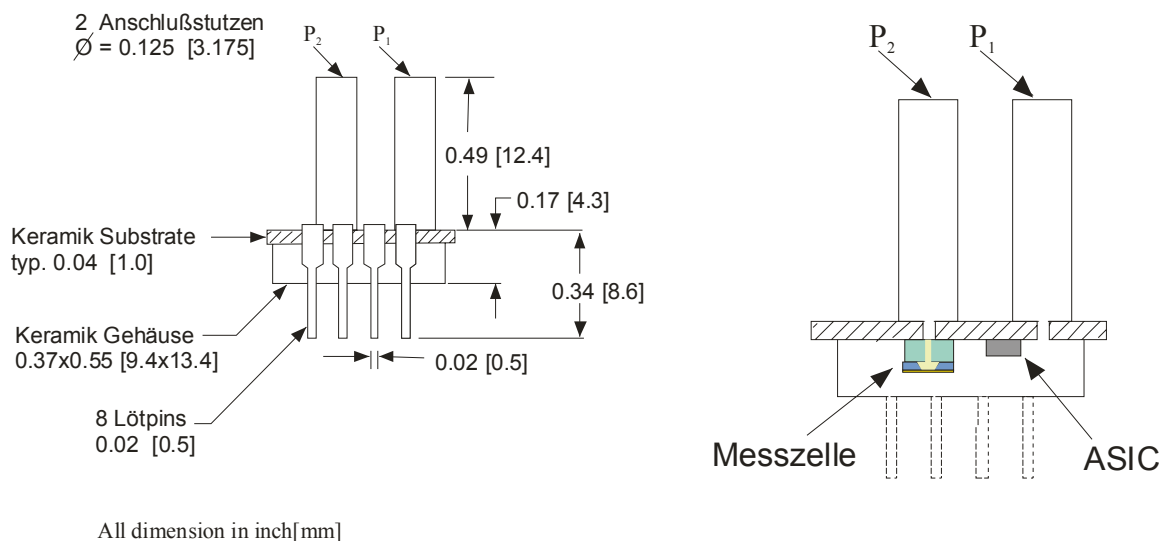


Abbildung 6: Aufbau des AMS 5812

Nachteil der geschilderten Methode ist die Tatsache, dass der höhere Druck P_2 gegen die verwendeten Klebeverbindungen wirkt. Daher muss die Materialverbindung Pyrex – Keramiksubstrat und Pyrex – Silizium (siehe *Abbildung 1*) mit entsprechenden Klebern gut beherrscht werden. Bei den modernen Klebern ist dies eine Frage der Materialvorbereitung und des Qualifizierungsaufwandes. AMSYS hat bei seinen Drucksensoren u.a. Kleber im Einsatz, die eine Druckbeaufschlagung von weit mehr als 60 bar im Temperaturbereich von -45 bis 125°C erlauben.



Medienkompatibilität bei Siliziumdrucksensoren am Beispiel des AMS 5812

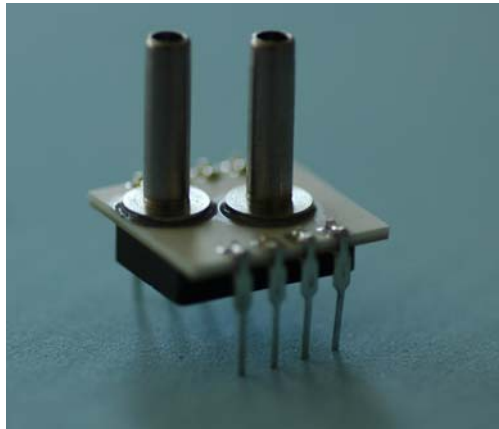


Abbildung 7: AMS 5812

Die angesprochene Modifikation der Verstärkerelektronik (Umpolung des Instrumentenverstärkers) kann bei dem AMS 5812 auf Kundenwunsch für alle Druckbereiche (5mbar bis 7Bar) während der Herstellung [2] vorgenommen werden. Damit wird erreicht, dass der leiterplattenmontierbare AMS 5812 weitgehend medienresitiv wird und z.B. für Füllstandmessungen in Flüssigkeitsbehälter geeignet ist.

Zusammenfassung

Man kann moderne Siliziumdrucksensoren durch Rückseitenbeaufschlagung und Verpolung des Eingangs des Instrumentenverstärkers weitgehend gegen aggressive Gase und eine Vielzahl von Flüssigkeiten schützen. Füllstandsanzeige in Flüssigkeiten sowie Druckkontrolle in Nassgassystemen werden damit für Drucksensoren mit Siliziummesszellen möglich.

Für nahezu alle Messaufgaben im Bereich der Differenz- und Relativdruckmesstechnik erhält man mit der beschriebenen Modifikation kostengünstige, weitgehend mediengeschützte Drucksensoren.

Weiterführende Informationen

[1] Detaillierte Informationen zum AMS 5812: <http://www.amsys.de/products/sm58x2.htm>

[2] Kundenspezifische Modifikationen: <http://www.amsys.de/info/service.htm>

Kontaktaufnahme

AMSYS GmbH & Co. KG
An der Fahrt 13, D – 55124 Mainz
Internet: <http://www.amsys.de>

Telefon: +49 (0) 6131/469875 – 0
Telefax: +49 (0) 6131/469875 – 66
E-Mail: info@amsys.de