



Die piezoresistive Druckmesstechnik

© KELLER Pressure

Die piezoresistive Technologie wird oft in einem Atemzug mit Druckmessung genannt. Doch was genau ist der piezoresistive Effekt? Und warum wird diese Technologie in der Druckmesstechnik angewendet?

Der Druck

Zusammen mit der Temperatur ist der Druck ein wesentlicher Parameter in vielen technischen Systemen. Zudem verlangen verschiedenste industrielle Prozesse nach genau kontrollierten Druckbedingungen. Daher ist neben der Temperaturmessung die Druckmesstechnik die wichtigste und am häufigsten eingesetzte Technik zur Überwachung und Steuerung von Maschinen und Anlagen. Dazu stellt der atmosphärische Luftdruck eine wichtige

Umweltgrösse dar und über die Messung des Schwerdrucks der Flüssigkeitssäule lassen sich zum Beispiel Grundwasserpegel oder Füllstände ermitteln. Für die elektronische Druckmessung ist ein Sensor erforderlich, der den zu messenden Druck aufnimmt und in ein elektrisches Signal umwandelt. Bei der resistiven Druckmessung ist das Herzstück ein elektrischer Widerstand, dessen Widerstandswert sich in Abhängigkeit von dem zu messenden Druck ändert.

Resistive Druckmessung

Die klassische resistive Druckmessung funktioniert im einfachsten Fall mit einem dünnen Metallstreifen, dessen Widerstandswert sich bei Verformung verändert. Bei Dehnung wird der Streifen länger und dünner, sodass sein elektrischer Widerstand steigt; bei Stauchung wird der Streifen kürzer und sein Querschnitt steigt, sodass sich sein Widerstand verringert. Um den zu messenden Druck in eine kontrollierte mechanische Verformung zu übersetzen, wird der Dehnungsmessstreifen (DMS) auf eine elastische Membran aufgebracht. Normalerweise erfolgt diese Verbindung mittels Klebstoff. Wirkt nun auf eine Seite dieser Membran ein Druck, verformt sich diese und führt – je nach Position des DMS auf der Membran – zu einer Stauchung oder Dehnung (siehe Abbildung 1). Je grösser der Druck ist, umso stärker verformt sich die Membran, sodass das Ausmass der Widerstandsänderung direkt vom Druck abhängt. Zur genaueren Messung werden mehrere DMS zu einer Brückenschaltung zusammengefasst und die Widerstandsänderung als Spannungssignal erfasst.

Piezoresistive Druckmessung

Wie das altgriechische Wort *piezein* («drücken», «pressen») sagt, handelt es sich bei der piezoresistiven Technologie um ein Verfahren, das mit Druck arbeitet.

Das Grundprinzip der piezoresistiven Druckmessung entspricht im Wesentlichen dem der resistiven Druckmessung. Auch hier bewirkt eine Verlängerung bzw. Verkürzung eine Änderung des Widerstands. Zusätzlich führt in einem piezoresistiven Material die mechanische Spannung, die bei Dehnung oder Stauchung auftritt, aber auch zu einer Änderung der elektrischen Leitfähigkeit. Dieser piezoresistive Effekt beruht auf Verschiebungen der Atompositionen zueinander, die sich direkt auf den elektrischen Ladungstransport auswirken. Die aus der Änderung der elektrischen Leitfähigkeit resultierende Widerstandsänderung kann deutlich grösser ausfallen als jene, die durch reine Verformung bedingt ist.

Typische piezoresistive Materialien, die einen ausgeprägten piezoresistiven Effekt zeigen, sind Halbleiter. Als Halbleiter gelten Materialien, deren elektrische Leitfähigkeit zwischen der von elektrischen Leitern (Metalle wie z.B. Silber, Kupfer, Aluminium) und der von Nichtleitern (z.B. Glas) liegt. Zur Herstellung von piezoresistiven Druckmesszellen wird typischerweise Silizium verwendet, wie es auch in der Fabrikation von elektronischen Schaltkreisen zum Einsatz kommt. Daher werden die daraus hergestellten Sensoren auch als Sensorchips bezeichnet.

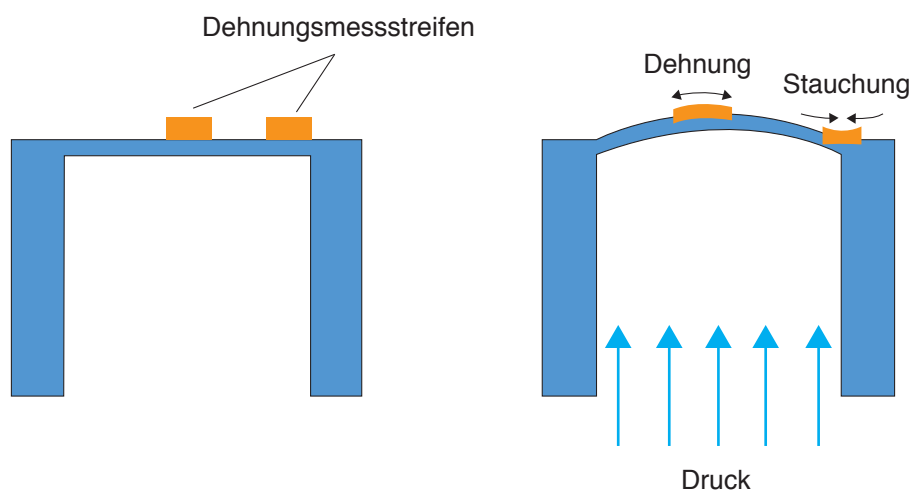


Abb. 1: Positionierung von Dehnungsmessstreifen auf einer druckempfindlichen Membran. © KELLER Pressure

Grundlage für einen piezoresistiven Sensorchip sind weniger als einen Millimeter dünne, kristalline Siliziumscheiben, sogenannte Wafer (siehe Abbildung 2). In dessen Oberfläche werden an bestimmten Stellen Fremdatome eingebracht, die örtlich gezielt die Leitfähigkeit beeinflussen. Dieser Prozess ist das sogenannte Dotieren und diese dotierten Gebiete im Silizium bilden die piezoresistiven Widerstände. In einem nachfolgenden Prozessschritt wird dann der Siliziumwafer örtlich so abgedünnt, dass Membranen direkt im Silizium entstehen und die piezoresistiven Widerstände, ähnlich wie in Abbildung 1 gezeigt, an bestimmten Positionen liegen. Wirkt nun auf eine Seite dieser Membran ein Druck, verformt sich diese und bewirkt so eine mechanische Spannung in den piezoresistiven Widerständen. Je nach Position nimmt der Widerstandswert zu oder ab. Über die Dicke der verbleibenden Membran lässt sich die Druckempfindlichkeit des Sensorchips einstellen.

Anschliessend wird die Rückseite des Siliziums noch fest mit einem Glas verbunden (siehe Abbildung 3). Dabei entsteht für Absolutdrucksensoren ein abgeschlossener Referenzraum unter Vakuum. Für die Messung eines Relativdrucks enthält das rückseitige Glas ein Referenzloch. Bei piezoresistiven Druckmesszellen sind die Messwiderstände also im Gegensatz zu DMS in die Membran inte-

griert. Bei dieser Technologie entfällt somit das Aufkleben und damit auch die Schwachstelle des Klebstoffs, was eine wichtige Voraussetzung für Alterungs- und Temperaturbeständigkeit sowie Hysteresefreiheit (Hysterese = Nachwirkung des vorherigen Verformungszustands) ist. Dazu führt der piezoresistive Effekt zu einer bis zu 50-fach grösseren Widerstandsänderung als dies mit metallischen DMS erreicht werden kann.

Um die Sensorchips von dem zu messenden Medium zu isolieren, werden sie druckdicht in ein Metallgehäuse eingebaut, das ölgefüllt und frontseitig mit einer dünnen Membran verschlossen ist (siehe Abbildung 4). Der Druck wirkt dann über diese Membran und das Öl als Übertragungsmedium auf den Sensorchip. Mit dieser isolierten Messzelle ist die Druckmessung auch in aggressiven Flüssigkeiten und Gasen möglich.

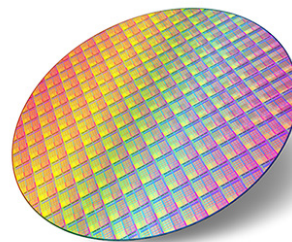


Abb. 2: Wafer aus Silizium, auf dem verschiedene Metallstrukturen aufgebracht sind. © KELLER Pressure

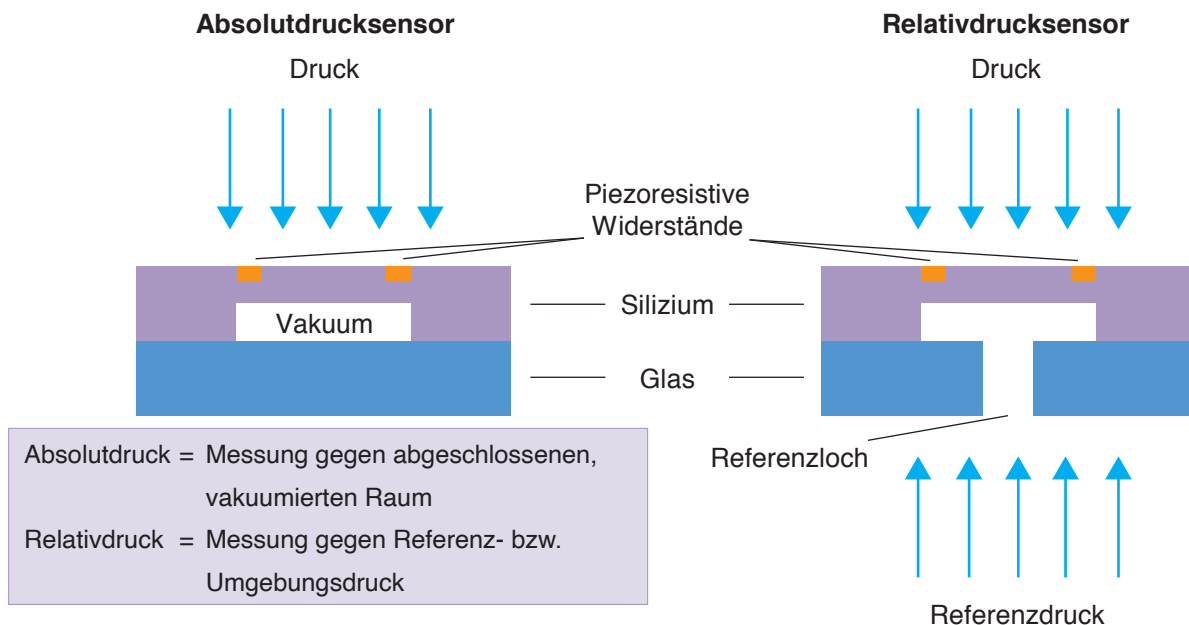


Abb. 3: Aufbau des piezoresistiven Sensorchips. © KELLER Pressure

Warum piezoresistiv in der Druckmesstechnik?

Aufgrund des grossen Ausgangssignals und der etablierten Herstellungsprozesse hat sich die piezoresistive Technologie in der Druckmesstechnik durchgesetzt. Ein weiterer grosser Pluspunkt ist das Entfallen des für die Stabilität kritischen Aufklebens der DMS.

Das kristalline Silizium des Sensorchips verformt sich im Betrieb rein elastisch, sodass auch nach vielen Druckzyklen keine Ermüdungserscheinungen oder Stabilitätsprobleme auftreten. Die Sensorchips können in etablierten Prozessen der elektronischen Halbleitertechnologie produziert werden und die Integration der für die Druckmessung relevanten Membran in den Sensorchip ermöglicht die Herstellung von äusserst kompakten und langzeitstabilen Druckmesszellen. Da piezoresistive Druckaufnehmer ohne bewegliche Teile gebaut werden, sind sie sehr robust gegenüber Erschütterungen und Beschleunigungen. Die wesentlich grössere Änderung des Widerstands in piezoresistiven Messzellen gegenüber konventionellen Metall-DMS führt zu einem grossen Ausgangssignal und ermöglicht so eine rauscharme elektronische Auswertung mit hoher Auflösung. In Kombination mit analogen oder digitalen Kompensationslösungen steht so ein äusserst präzises, temperaturunabhängiges Drucksignal zur Verfügung.

Die isolierte piezoresistive Druckmesszelle sticht durch ihre vielseitigen Einsatzmöglichkeiten hervor: sie ist mit verschiedensten Medien kompatibel und deckt weite Druckbereiche ab. Die gezielte Konstruktion des Gehäuses erreicht grosse Flexibilität für viele industrielle Anwendungen auch in kritischen Umgebungen. KELLER Pressure zeichnet sich durch das dafür essentielle Wissen im Entwerfen und Herstellen von isolierten Messzellen aus. Dank 45-jähriger Unternehmenserfahrung in der piezoresistiven Druckmesstechnik können auch Spezialanwendungen kompetent umgesetzt werden. Die isolierten piezoresistiven Druckmesszellen von KELLER Pressure werden in anspruchsvollen Industrieanwendungen und in der Forschung eingesetzt.



Abb. 5: Isolierter, piezoresistiver Drucksensor für universelle Anwendungen.
© KELLER Pressure

Author: Dr. Sören Boyn

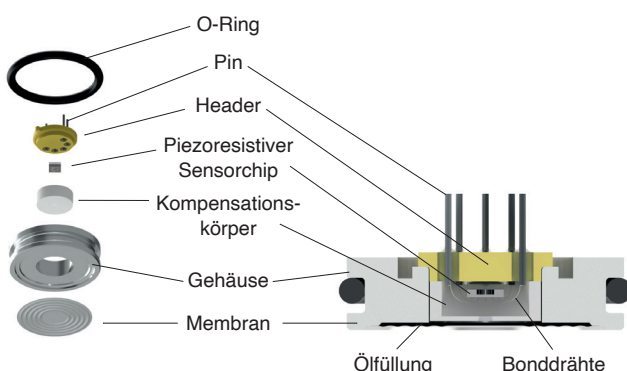


Abb. 4: Aufbau eines isolierten, ölgefüllten piezoresistiven Drucksensors.
© KELLER Pressure

Vor- und Nachteile der piezoresistiven Technologie

- + Etablierte Prozesse in der Herstellung der piezoresistiven Sensorchips, lange Erfahrung mit piezoresistiver Technologie
- + Abdeckung weiter Druckbereiche
- + Sehr gute Langzeitstabilität
- + Keine Ermüdungserscheinungen auch nach vielen Druckzyklen
- + Hohe Überlastfestigkeit
- + Keine Hysterese des Silizium-Sensorchips
- + Kompakte Druckmesszellen
- + Gute Schock- und Vibrationsfestigkeit
- + Zur Messung von Relativ- und Absolutdrücken geeignet
- + Isolierte Messzelle für grosse Medienkompatibilität
- + In einer Vielzahl von industriellen Anwendungen einsetzbar
- + Grosses Ausgangssignal ermöglicht einfache Auslese-Elektronik mit hoher Auflösung
 - Temperaturkompensation erforderlich
 - Entwurf und Herstellung der isolierten Messzelle erfordert viel Know-how
- Messung sehr kleiner Drücke beschränkt (< 0,01 mbar)
- Zusätzliche Massnahmen bei sehr hohen Medientemperaturen (> 200 °C) nötig