

Hausarbeit

Drucksensoren

Duy Nguyen

Feinstaubsgruppe: Duy Nguyen, Ferris Fensky, Dennis Dick

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	2
1 Drucksensoren	3
1.1 Halbleiterdehnungsmessstreifen	3
1.1.1 Funktionsprinzip	3
1.1.2 Beispiel piezoresistiver Drucksensor	3
1.2 Piezoelektrische Drucksensor	7
1.2.1 Funktionsprinzip	7
1.2.2 Beispiel piezoelektrischer Drucksensor	7
Literatur	9
Eigenständigkeitserklärung	10

Abbildungsverzeichnis

1	Aufbau Halbleiter-DMS mit modifiziertem Polymidharz (Wu, 1992)	4
2	Anordnung von Piezowiderständen in Betrieb	4
3	Silicon Piezoresistive Absolute Pressure Sensor KPY43-A (Siemens, 2021)	4
4	Schaltung des piezoresistiven Drucksensor KPY43-A	5
5	Schaltung des piezoresistiven Drucksensor KPY43-A mit berechneten Wi- derstände	5
6	Piezoelektrischer Effekt mit Quarzstrukturverformung und Ladungsverteilung	7
7	Vergleich Temperaturbeständigkeit zwischen PZT-5A und PZT-5H (PIEZO.COM, 2021)	8
8	Piezoelektrische Drucksensor PZT-5J (PIEZO.COM, 2021)	8

Tabellenverzeichnis

1	Gewählte Parameter zur Berechnung der Auflösung des piezoresistiven Drucksensor	5
---	----------------------------------------------------------------------------------------------	---

1 Drucksensoren

In diesem Projekt ist möglich, dass einen Luftdrucksensor gebraucht wird. Dafür brauchen wir einen ziemlich empfindlichen Sensor. Der Messbereich liegt zwischen 925hPa und 1070hPa, da die Messstation sich unter normaler Atmosphärebedingung gestellt wird (wetter.de). Daher ist 2 unterschiedliche Drucksensoren vorgestellt: Halbleiterdehnungsmessstreifen (Halbleiter-DMS) und piezoelektrische Dehnungssensoren.

1.1 Halbleiterdehnungsmessstreifen

1.1.1 Funktionsprinzip

Dehnungsmessstreifen basieren vor allem auf geometrieabhängiger Widerstandsänderung (bei Metall-DMS) oder Anwendung des piezoresistiven Effekts (Halbleiter-DMS). Wird ein DMS gedehnt, nimmt die Länge des Leiters zu und dessen Querschnitt wird kleiner, daher steigt deren Widerstand an. Der k-Faktor zeigt die Empfindlichkeit des Dehnungsmessstreifens und beträgt bei Metall-DMS einen Wert von 2. Mit Halbleiter gemachte DMS beruhen auf piezoresistiven Effekt, dass die mechanische Deformation des Siliziumskristalls die mittlere Beweglichkeit der Ladungsträger und damit den elektrischen Widerstand ändert (Büttgenbach, 2016). Im Gegensatz haben Halbleiter-DMS größere (und nicht lineare) Temperaturempfindlichkeit im Vergleich mit Metall-DMS. (Heimann, n. d.) Halbleiter-DMS wird im Prinzip auch wie normale Metall-DMS auf einem Objekt drauf geklebt. Wegen ihres SiO_2 Kristalls haben Halbleiter-DMS hohe Empfindlichkeit und auch hohe k -Wert. Bei p-dotierte Halbleiter-DMS kann k über 150 groß sein. Bei n-dotierte Halbleiter-DMS trägt k einen Wert < -100 . Es wird häufig aufgetreten neben der Messung von Dehnungen, dass die DMSs als Sensorelement in Kraftmessdosen zur indirekten Kraftmessung eingesetzt. Da befindet sich ein Hohlzylinder, wobei die einwirkende Kraft F und die Dehnung an DMS transportiert werden. Die Vollbrückenschaltung dazu garantiert eine hohe Empfindlichkeit und sehr gute Temperaturkompensation. (Parthier, 2006). Aber eine gute Lösung könnte auch, dass daneben die Temperatur gleichzeitig gemisst wird, eine Temperaturkoeffizient wurde ermittelt und dann wird als Korrekturfaktor an Druckmesswerten angewendet. (Siemens, 2021)

1.1.2 Beispiel piezoresistiver Drucksensor

Damit es an allen Richtungen messbar ist, nutzt man die Anordnung in 2 Richtungen mit vier Halbleiter-DMS und eine Vollbrücke Wheat-stone Brücke Schaltung.

Werden 2 gegenliegende Piezowiderstände gedehnt, gibt es Widerstandsänderung und die Spannungsausgang U_{AB} wird hergestellt und berechnet durch Formel (1):

$$U_{AB} = U_0 \cdot \frac{\Delta R}{R} = U_0 \cdot \epsilon \cdot k \quad (1)$$

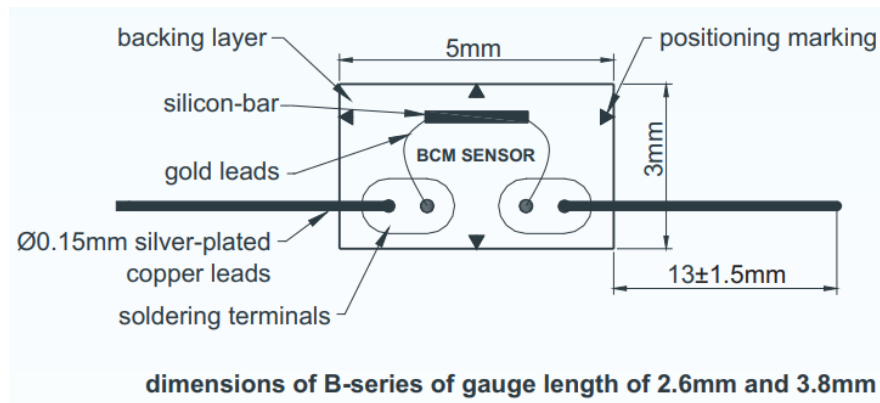


Abbildung 1: Aufbau Halbleiter-DMS mit modifiziertem Polymidharz (Wu, 1992)

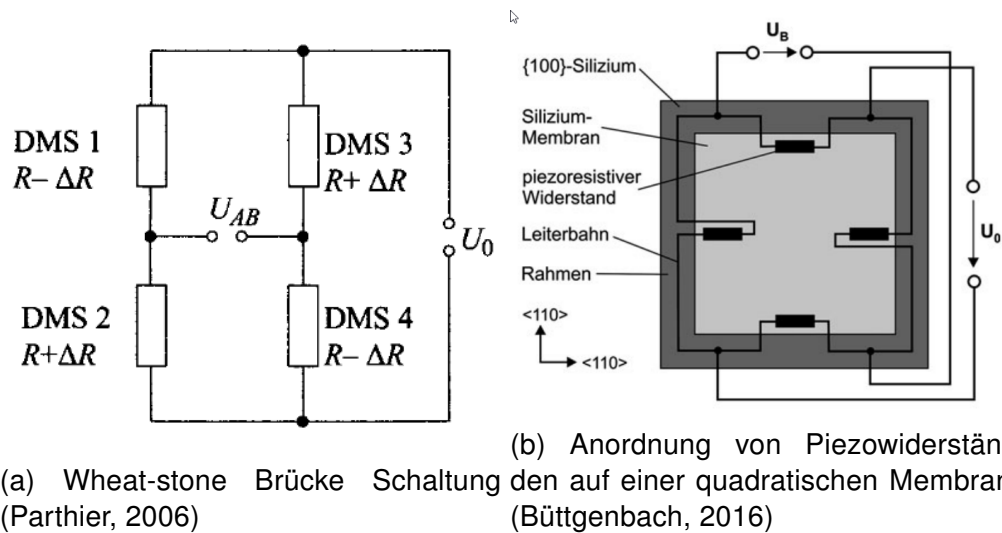


Abbildung 2: Anordnung von Piezowiderständen in Betrieb

Hier wurde der piezoresistive Widerstand KPY43-A gewählt. Datenblatt (Siemens, 2021)

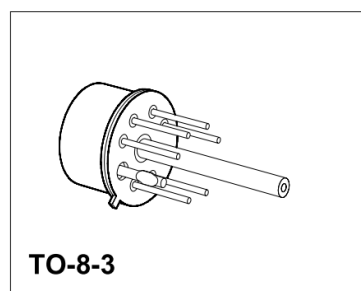


Abbildung 3: Silicon Piezoresistive Absolute Pressure Sensor KPY43-A (Siemens, 2021)

Eine Schaltung ist dafür geeignet:

Mit der maximal zulässige Dehnung ϵ_{max} , k und R haben wir aus der Formel 1:

$$\Delta R = \epsilon_{max} \cdot k \cdot R = 100 \cdot 5 \cdot 10^{-3} m/m \cdot 120 = 60 \Omega \quad U_{AB} = U_{INADC} = \frac{\Delta R}{R} \cdot U_0 = \frac{60}{120} \cdot 5 = 2.5V$$

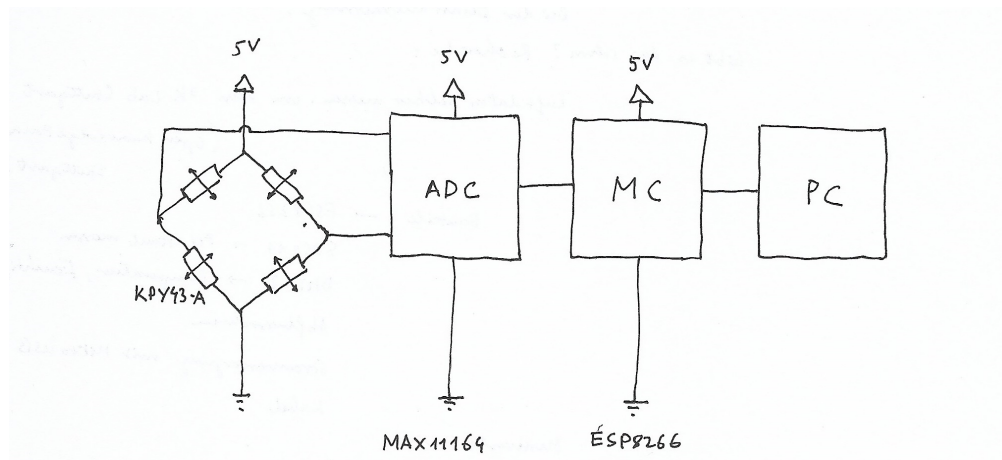


Abbildung 4: Schaltung des piezoresistiven Drucksensor KPY43-A

Tabelle 1: Gewählte Parameter zur Berechnung der Auflösung des piezoresistiven Drucksensor

Parameter	Wert
Widerstand $R_{KPY43-A}$	$120\ \Omega$
Maximal zulässige Dehnung ϵ_{max}	$5 \cdot 10^{-3}\ \text{m/m}$
k-Faktor	100
V_{IN}	5V

Die Schaltung sieht jetzt so aus mit den Werten:

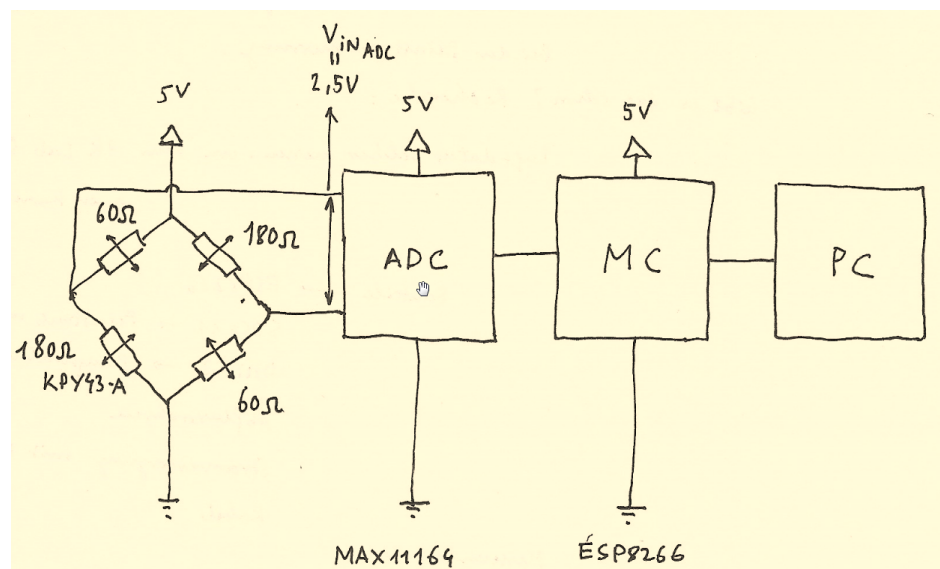


Abbildung 5: Schaltung des piezoresistiven Drucksensor KPY43-A mit berechneten Widerstände

Die 2.5V Spannung entspricht die größte Spannung, bei dem Grenzwert von der Schaltung möglich messbar wäre. Der Operationsbereich des Sensors ist von 0 bis 1,6bar (0

bis 1600hPa). Wir haben dann eine Auflösung von:

$$\frac{2,5V}{1600hPa} = 1,5625 \cdot 10^{-3} \frac{V}{hPa}$$

MAX11164 hat $\frac{4,096}{2^{16}} = 0,0625 \frac{mV}{bit}$ (Maxim Integrated Products, 2015)

Die Auflösung erfolgt durch:

$$6,25 \cdot 10^{-5} \frac{V}{bit} \cdot \frac{1}{1,5625 \cdot 10^{-3}} = 0,02 \frac{hPa}{bit}$$

Das erfüllt unsere erwartende Auflösung von 0,1hPa/bit und zeigt, dass in reale Praxis die Bauteile miteinander harmonisieren können.

1.2 Piezoelektrische Drucksensor

1.2.1 Funktionsprinzip

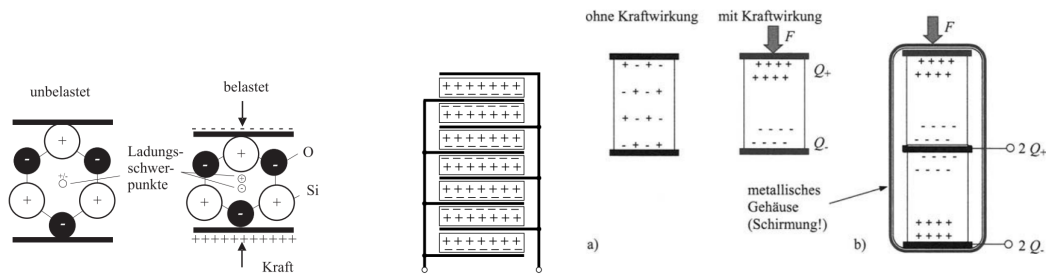


Bild 3.14 Links: Verformung eines Quarzkristalls unter Last; rechts: Reihenschaltung der Piezoelemente zur Erhöhung der Sensitivität

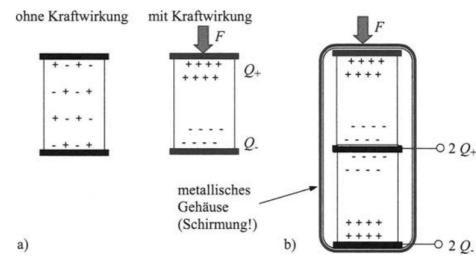


Bild 10-27 Piezoelektrischer Effekt (a) und Prinzipskizze eines piezoelektrischen Sensors (b)

- (a) Quarzkristall unter elastischer Verformung (Heimann, n. d.) (b) Piezoelektrische Ladungsverformung an Materialien (Parthier, 2006)

Abbildung 6: Piezoelektrischer Effekt mit Quarzstrukturverformung und Ladungsverteilung

Mit Gitterverschiebungen ist die Verteilung von Ionen in Quarzkristallstruktur verändert, führt zu einer Umwucht in Ladungsschwerpunkt. Wo mehr Sauerstoffatomen sich befinden, ist negativ geladen und gleichzeitig an Siliziumseite positiv. Durch Reihenschaltung von Piezoelementen ist die Sensitivität erhöht. Auf dem rechten Bild gilt es für alle Piezoelemente, nicht nur Quarzkristalle. (Heimann, n. d., Parthier, 2019)

Die Ladung wird durch die piezoelektrische Konstante und die Kraft bestimmt:

$$Q = k_p \cdot F$$

Bei Quarz(SiO_2) ist $k_p \approx 2,3 \cdot 10^{-12} As/N$ und bei Bariumtitanat(Keramik $BaTiO_3$) beträgt $k_p \approx 2,5 \cdot 10^{-10} As/N$

Piezoelemente wie PZT-5A haben gute Temperaturbeständigkeit und können während hoher Schwankung an Temperatur konstante Leistung geben. Andere wie PZT-5H können nur in bestimmten Temperaturbereich verwendet werden, sind aber sehr empfindlich.

1.2.2 Beispiel piezoelektrischer Drucksensor

Piezoelectric Bending Transducer is made from PZT-5J Material (Lead Zirconate Titanate), which is a compromise between PZT-5H and PZT-5A Material that is stable in mid range temperature. It can be operated from -60 to 120 grad celcius and has a capacity of 100nF.

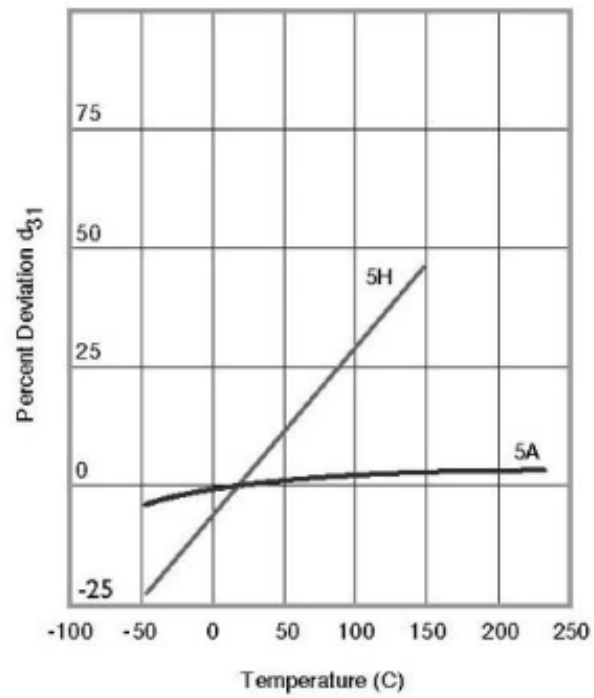


Abbildung 7: Vergleich Temperaturbeständigkeit zwischen PZT-5A und PZT-5H (PIEZO.COM, 2021)

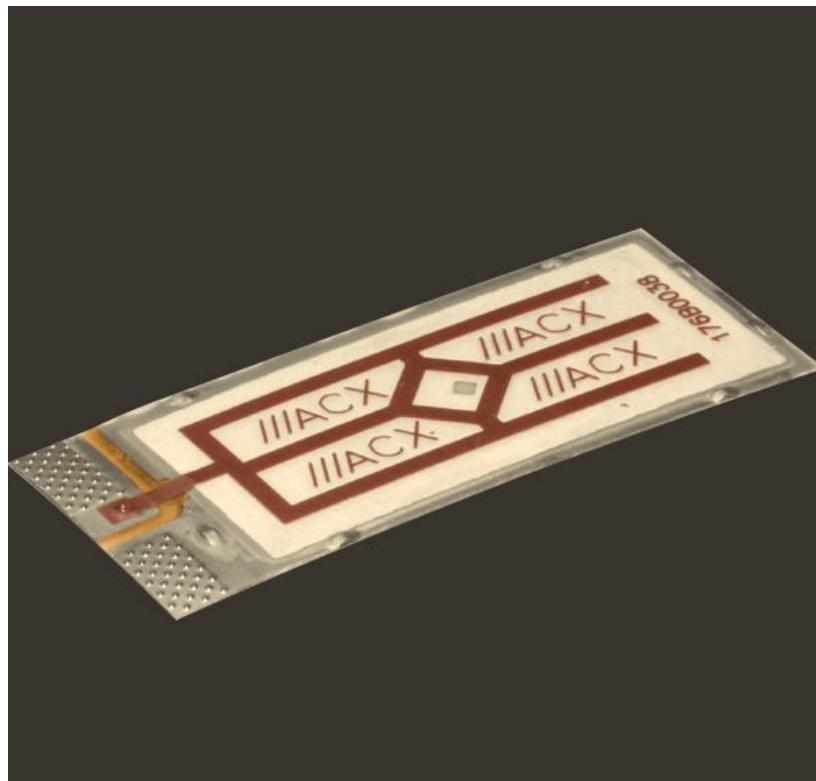


Abbildung 8: Piezoelektrische Drucksensor PZT-5J (PIEZO.COM, 2021)

Literatur

- Büttgenbach, S. (2016). *Mikrosystemtechnik: Vom Transistor zum Biochip*. Springer. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-3-662-49773-9.pdf>
- Heimann, B. (n. d.). Mechatronik. <https://www.hanser-elibrary.com/doi/pdf/10.3139/9783446445338.003>
- Maxim Integrated Products, I. (2015). MAX11164. <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX11164.pdf>
- Parthier, R. (2006). *Messtechnik: Grundlagen und Anwendungen der elektrischen Messtechnik für alle technischen Fachrichtungen und Wirtschaftsingenieure* (3., überarbeitete und ergänzte Auflage). Vieweg+Teubner. <https://doi.org/10.1007/978-3-8348-9083-2>
- Parthier, R. (2019). *Messtechnik: Vom SI-Einheitensystem über Bewertung von Messergebnissen zu Anwendungen der elektrischen Messtechnik / Rainer Parthier* (Ninth edition). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-27131-2>
- PIEZO.COM. (2021). Piezoelectric Bending Transducer (S118-J1SS-1808YB). <https://piezo.com/collections/piezoelectric-sensors/products/piezoelectric-bending-transducer-s118-j1ss-1808yb>
- Siemens. (2021). KPY43A, KPY43A Datasheet, KPY43A PDF - Siemens. <https://datasheet-pdf.com/PDF/KPY43A-Datasheet-Siemens-502030>
- Wu, Y. (1992). SEMICONDUCTOR STRAIN GAUGES. In M. E. Levinshtein & G. S. Simin (Hrsg.), *Getting to Know Semiconductors* (S. 113–130). WORLD SCIENTIFIC. <https://doi.org/10.1142/9789812815507\textunderscore0007>



Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich den vorliegenden Bericht selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe. Alle Passagen, die ich wörtlich aus der Literatur oder aus anderen Quellen wie z. B. Internetseiten übernommen habe, habe ich deutlich als Zitat mit Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

31. August 2021

Duy Nguyen