



SUS***mobil***

Modul 1: Funktionsweise eines
Halbleiter-Gassensors

Theorie

Inhalt

1. Allgemeines	3
2. Theoretische Grundlagen	4
a) Konstante Temperatur	4
1. Fall: Sensor ohne äußere Atmosphäre	4
2. Fall: Sensor in Luft	4
3. Fall: Sensor in Luft mit Zielgas	5
Reaktionsrate	5
b) Veränderliche Temperatur	6
1. Fall: Sensor ohne äußere Atmosphäre	6
2. Fall: Sensor in Luft	6
3. Fall: Sensor in Luft mit Zielgas	7

1. Allgemeines

Ein Metalloxid-Halbleiter Gassensor besteht aus einem halbleitenden Material (z.B. *Zinndioxid* oder *Wolfram(III)-oxid*). Halbleiter nehmen eine Zwischenstellung zwischen elektrischen Leitern und Isolatoren ein. Ihre Leitfähigkeit steigt mit zunehmender Temperatur.

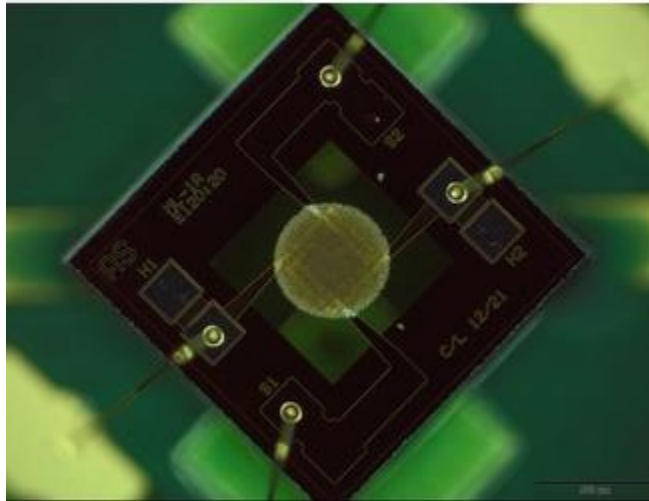
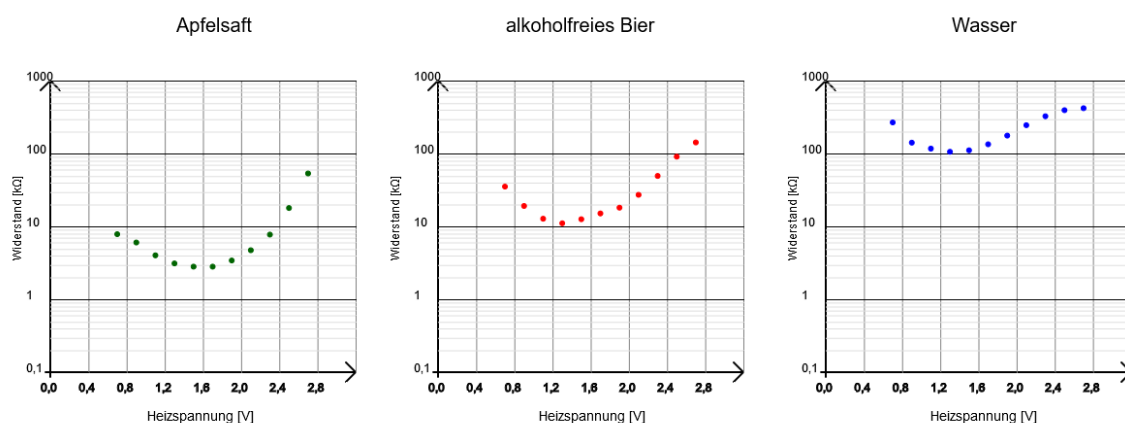


Abb. 1: Mikroskopaufnahme eines Halbleiter Gassensors

Die Funktionsweise beruht auf der Änderung des elektrischen Widerstands, in Anwesenheit eines Gases. Durch Reaktionen der Sensoroberfläche mit dem umgebenen Sauerstoff und des Zielgases, ändert sich der elektrische Widerstand.

Durch die Variation der Sensortemperatur, kann die Reaktionsrate beeinflusst werden, was zu einem charakteristischen Profil („Fingerabdruck“) der Sensorreaktion führt. So können verschiedene Stoffe und auch Konzentrationen voneinander unterschieden werden.



→ Der Widerstands-Temperatur-Verlauf ist charakteristisch für jeden Stoff!

Abb. 2: „Fingerabdruck“ verschiedener Stoffe

Die Variation der Sensortemperatur erfolgt durch eine Änderung der sogenannten Heizspannung. Dadurch kann man den fließenden Strom durch das Sensormaterial beeinflussen. Aufgrund der Wärmewirkung des elektrischen Stroms, kann so die Temperatur eingestellt werden.

Sowohl die Heizspannung, als auch die Sensorreaktion (elektrischer Widerstand) kann durch Multimeter ausgelesen werden.

2. Theoretische Grundlagen

a) Konstante Temperatur

Um das Verhalten der Sensorreaktion bei konstanter Sensortemperatur zu beschreiben, nutzen wir ein einfaches Modell. Dieses besteht aus folgenden Komponenten:

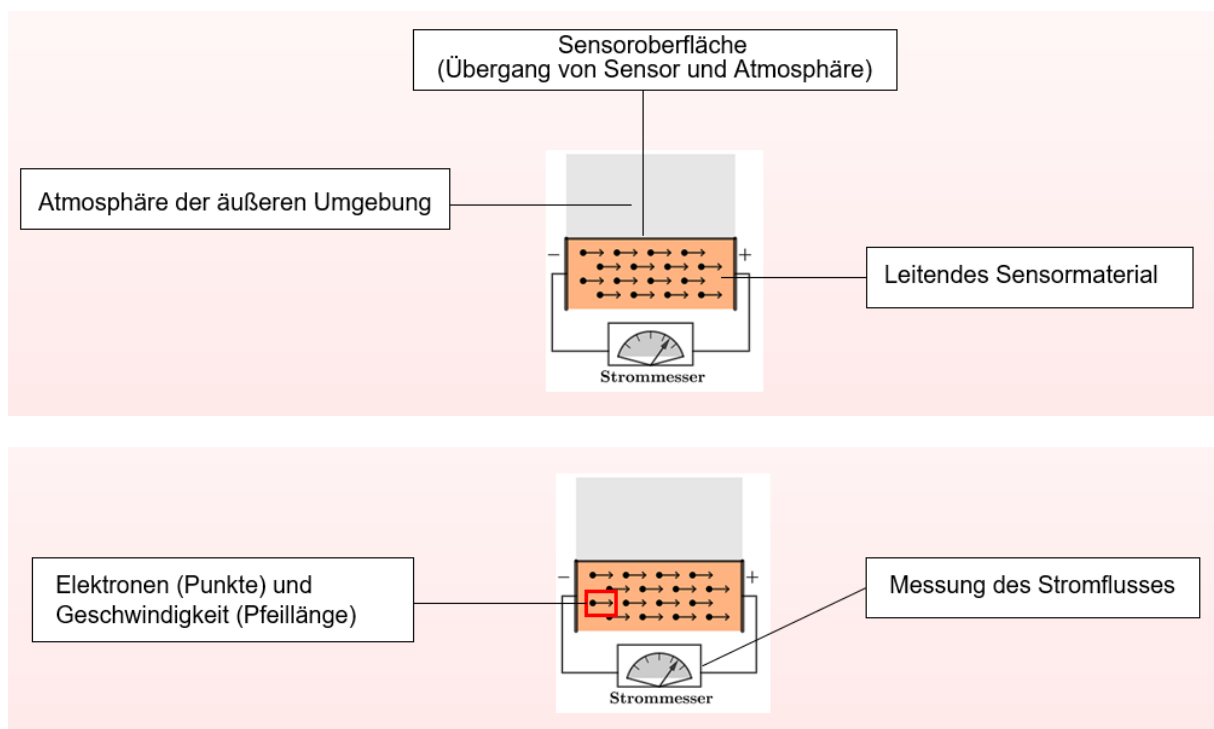


Abb. 3: Komponenten des Modells zur Erklärung des Sensorverhaltens

1. Fall: Sensor ohne äußere Atmosphäre

Man legt eine äußere Spannung U an das halbleitende Sensormaterial an. Befindet sich der Sensor in einer Atmosphäre ohne Gasmoleküle, trägt eine gewisse Anzahl freier Elektronen zum Ladungstransport bei. Dabei beeinflusst nicht nur die Anzahl der Elektronen, sondern auch deren kinetische Energie den Stromfluss positiv.

2. Fall: Sensor in Luft

Befindet sich der Sensor in gewöhnlicher Luft (blaue Färbung der Umgebung), so kommt es zu einer Bedeckung der Sensoroberfläche mit Sauerstoff (blaue Kreise).

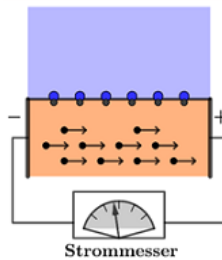


Abb. 4: Gassensor in einer Luftatmosphäre

Der Sauerstoff geht nun eine Verbindung mit der Oberfläche des Sensors ein, und bindet dadurch einige, ursprünglich freie, Elektronen. Diese stehen nun nicht mehr zum Ladungstransport zur Verfügung. Der Strom I sinkt.

Nach dem Ohm'schen Gesetz ($R = \frac{U}{I}$) ist dies als steigender elektrischer Widerstand R zu verstehen.

3. Fall: Sensor in Luft mit Zielgas

Enthält die Luft einen besonderen, zu messenden gasförmigen Stoff („Zielgas“, angedeutet durch rote Kreise, bzw. einen violetten Hintergrund), so kann dieser mit dem gebundenen Sauerstoff auf der Oberfläche reagieren. Dadurch löst sich der Sauerstoff von der Oberfläche, die gebundenen Elektronen werden wieder frei und stehen für den Ladungstransport zur Verfügung. Der Strom I steigt und der elektrische Widerstand R sinkt.

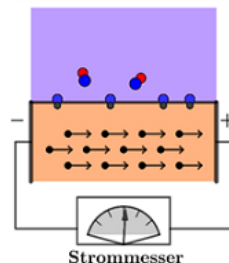


Abb. 5: Gassensor in „Zielgas“-Atmosphäre

Reaktionsrate

Wieviel gebundener Sauerstoff mit der äußeren Atmosphäre reagiert, lässt sich durch die sogenannte Reaktionsrate beschreiben. Je höher die Reaktionsrate, desto stärker ist der Effekt des 3. Falls.

Die Reaktionsrate hängt maßgeblich von vier Faktoren ab:

1) Konzentration des Zielgases

→ Je mehr Zielgas vorhanden ist, desto wahrscheinlicher finden Reaktionen mit dem Sauerstoff auf der Oberfläche statt.

2) Sauerstoffbedeckung auf der Sensoroberfläche

→ Je stärker die Oberfläche mit Sauerstoff bedeckt ist, desto wahrscheinlicher finden Reaktionen mit dem Zielgas statt.

3) Art des Zielgases

- ➔ Bei gleicher Konzentration und Sauerstoffbedeckung, besitzen reaktionsfreudigere (mit dem Oberflächensauerstoff) Zielgase eine höher Reaktionsrate.

4) Temperatur des Sensormaterials

- ➔ Der Einfluss der Temperatur des Sensormaterials ist sehr komplex. Nicht nur gibt es einen direkten Einfluss auf die Reaktionsrate (bei höheren Temperaturen finden Reaktionen wahrscheinlicher statt). Dazu kommt, dass die Temperatur auch Auswirkungen auf die Sauerstoffbedeckung und die Anzahl freier Ladungsträger hat.

b) Veränderliche Temperatur

Um das Verhalten der Sensorreaktion bei variabler Sensortemperatur zu beschreiben, widmen wir uns wieder dem Modell. Die Temperatur der Sensoroberfläche wird durch die Farbe angedeutet. Gelb bedeutet (relativ) kalt, orange bedeutet (relativ) warm, und rot bedeutet (relativ) heiß.

1. Fall: Sensor ohne äußere Atmosphäre

Erhöht man die Sensortemperatur, so erhöht man dadurch auch die kinetische Energie der Ladungsträger. Dadurch bewegen sie sich schneller und sorgen für einen höheren Strom I und gleichzeitig einen kleineren elektrischen Widerstand R .

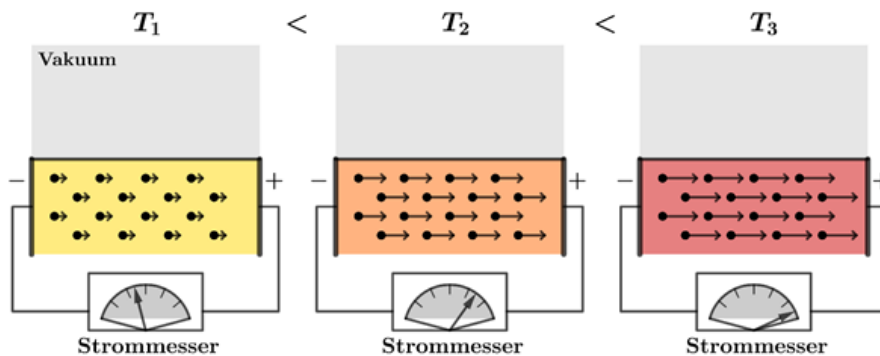


Abb. 6: Sensorverhalten bei verschiedenen Temperaturen im Vakuum

2. Fall: Sensor in Luft

T_1

Befindet sich der Sensor in Luft, so geht der Sauerstoff erneut eine Bindung mit der Sensoroberfläche ein, und bindet so auch freie Elektronen, die nun nicht mehr für den Ladungstransport zur Verfügung stehen. Dadurch sinkt der Strom I und der elektrische Widerstand R steigt.

$$T_2$$

Erhöht man die Sensortemperatur, so hat dies zwei Effekte. Zunächst wird die kinetische Energie der Elektronen erhöht, was zu einem Stromanstieg führt. Gleichzeitig erhöht sich aber auch die Reaktionsrate des Sauerstoffs mit der Sensoroberfläche, wodurch mehr freie Ladungsträger an diesen gebunden werden. Dadurch sinkt der Strom.

In der Summe beider Effekte überwiegt jedoch der Stromanstieg durch die erhöhte kinetische Energie der freien Ladungsträger.

$$T_3$$

Erhöht man die Sensortemperatur weiter, so verstärken sich die beiden Effekte weiter. Jedoch überwiegt in diesem Fall die Bindung der freien Ladungsträger an den Sauerstoff. Dadurch sinkt der Strom erneut.

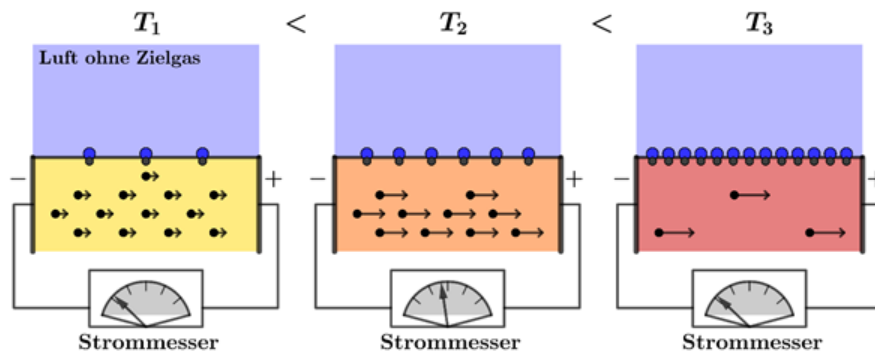


Abb. 7: Vergleich der Sensorreaktion in Luftatmosphäre bei verschiedenen Sensortemperaturen

Als Resultat erhält man eine Art Parabelform des Sensorwiderstands, den ihr bei euren Messungen auch gesehen habt.

3. Fall: Sensor in Luft mit Zielgas

Das Verhalten des Sensors bei Anwesenheit eines Zielgases und veränderlicher Temperatur, ist stark von der Reaktionsrate abhängig. Die typische Parabelform kann jedoch auch hier beobachtet werden.

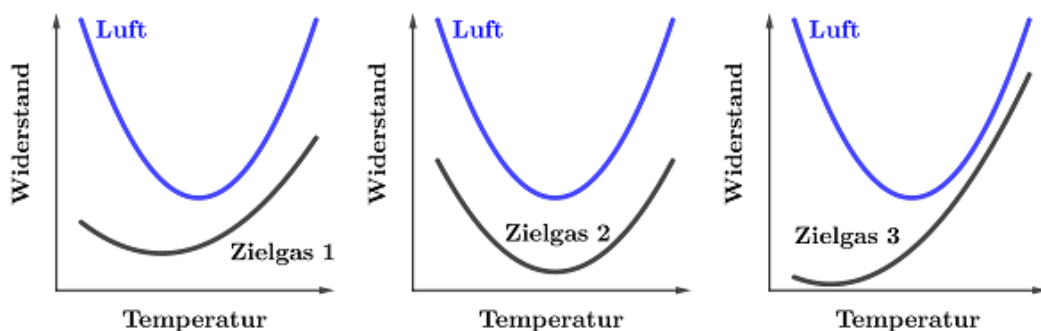


Abb. 8: Widerstandsverlauf bei unterschiedlichen Stoffen und unterschiedlichen Sensortemperaturen