

Vorbereitung: Eigenschaften elektrischer Bauelemente

Marcel Köpke & Axel Müller

15.06.2012

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen	3
2 Aufgaben	7
2.1 Temperaturabhängigkeit	7
2.2 Kennlinien	7
2.2.1 Überlegungen	7
2.2.2 Kennlinien	8
2.3 Phototransistor	8
2.4 Piezoelement	8
2.5 Hochtemperatursupraleiter	9

1 Grundlagen

Zunächst sollen einige Stichworte erklärt werden, um den Aufbau der später verwendeten Bauelemente etwas genauer zu verstehen.

- *Wheatstonesche Brückenschaltung*: Die *Wheatstonesche Brückenschaltung* kann dazu verwendet werden, Gleichstromwiderstände zu messen bzw. um kleine ohmsche Widerstandsänderungen zu ermitteln. Sie ist aus vier Widerständen aufgebaut, die zu einem Quadrat zusammengeschaltet sind. In einer Diagonalen ist eine Spannungsquelle zwischengeschaltet, in der anderen ein Spannungsmessgerät. Drei dieser Widerstände müssen bekannt sein und so variiert werden, dass in Kombination mit dem vierten Widerstand kein Strom mehr über die Brücke fließt. Dann gilt:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

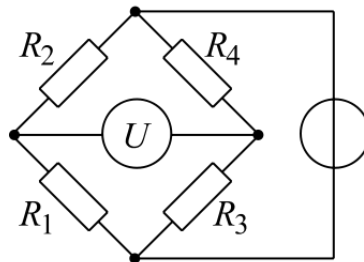


Abbildung 1.1: Wheatstonesche Brückenschaltung

- *Bändermodell und Dioden*: Das *Bändermodell* beschreibt die Elektronenanordnung in Festkörpern. Während bei einzelnen Atomen die Elektronen diskrete Energieniveaus annehmen, bewirken Wechselwirkungen im Kristallgitter eine Aufspaltung der scharfen Energieniveaus. Im Festkörper entstehen somit viele Energieniveaus, die man Energiebänder nennt. Die Breite der Energiebänder hängt davon ab, wie nahe sich die beteiligten Elektronen am zugehörigen Atomkern befinden. Nahe, also stärker gebundene Elektronen führen zu schmälere Energiebändern. Zur Leitfähigkeit im Festkörper tragen nur teilweise besetzte Bänder bei, da nur hier freie Energieniveaus vorhanden sind, die die Energie aus einem elektrischen Feld aufnehmen können. Das erste teilweise besetzte Band mit der geringsten Energie wird Leitungsband genannt. Die Valenzelektronen der Atome im Gitter befinden sich

im Valenzband. Sie können keinem Atom zugeordnet werden und werden deshalb auch oft als frei bewegliches Elektronengas bezeichnet. *Metalle* sind nun deshalb gute Leiter, weil generell nicht zwischen Leitungs- und Valenzband unterschieden werden kann. Somit gibt es bereits bei sehr tiefen Temperaturen Elektronen, die bei angelegter Spannung in einen höheren Zustand springen. Bei hohen Temperaturen nimmt allerdings die Leitfähigkeit wieder ab, da die Elektronen zunehmend gestreut werden. Das Gegenstück zum Metall ist der *Isolator*. Das Leitungsband ist hierbei nicht besetzt und der Abstand zwischen Leitungs- und Valenzband kann von den Elektronen nicht überwunden werden. Es kann also keine Ladung transportiert werden. Als *Halbleiter* werden Stoffe benannt, deren Leitfähigkeit bei Zimmertemperatur zwischen der von Metallen und Isolatoren liegen. Durch thermische Anregung werden Elektronen aus dem voll besetzte Valenzband in das unbesetzte Leitungsband transportiert, wodurch beide Bänder teilweise besetzt sind. Die Elektronen bewegen sich dann im Leitungsband, die "Löcher" im Valenzband. Dies nennt man *Eigenleitung*. Bisher wurden höchst reine Stoffe betrachtet. Verunreinigungen durch Fremdatome im Kristall können jedoch die elektrischen Eigenschaften stark verändern, indem ein Ladungsüberschuss generiert wird. Die *n-Dotierung* bewirkt einen relativen Überschuss an Elektronen. Dazu werden Atome in den Kristall eingebaut, die mehr Elektronen aufweisen als die Kristallatome. Zum Beispiel fünfwertiges Phosphor in einen Silizium-Kristall(vierwertig). Eines der fünf Phosphor-Valenzelektronen kann hierbei also keine Bindung eingehen und bildet somit ein Energieniveau knapp unter dem Leitungsband. Bei der *p-Dotierung* werden beispielsweise dreiwertige Atome wie Aluminium in den Siliziumkristall eingebaut. Dieses dreiwertige Element nimmt schnell ein Elektron auf und bildet ein Loch an einem Siliziumatom. Somit ergibt sich eine Verschiebung von Löchern, was ebenfalls einen Ladungstransport bewirkt. Dadurch bildet sich ein Energieniveau knapp über dem Valenzband, in dem es dann zur p-Leitung kommt. Beim *pn-Übergang* grenzen nun ein p-dotiertes und ein n-dotiertes Material aneinander.. Dabei gerät ein Diffusionsprozess in Gang, bis ein Gleichgewicht mit der entstehenden Gegenspannung entsteht. Es entsteht also eine Raumladungszone, in der sich keine freien Ladungsträger befinden. Eine *Halbleiterdiode* besteht aus dieser Grenzschicht. der Anschluss am n-dotierten Teil nennt man Kathode, am p-dotierten Teil Anode. Wird nun an der Kathode eine positive Spannung angeschlossen und an der Anode eine negative, so fließt nur ein sehr geringer Strom, da keine Ladungsträger durch die freie Raumladungszone gelangen. Diese wird dabei jedoch noch zusätzlich breiter. Eine Diode, die auf diese Weise angeschlossen wurde, wird in Sperrrichtung betrieben. Je nach Material fließt jedoch ab genügend hoher Spannung doch ein Strom. Diese Spannung nennt man *Durchbruchspannung*. Die entgegengesetzte Anschlussrichtung wird Durchlassrichtung genannt. Hierbei fließen die freien Ladungsträger durch die Raumladungszone und es entsteht ein spannungsabhängiger Strom. Die Eigenschaften einer Diode werden mit einer Diodenkennlinie illustriert. Diese kommt zustande, wenn man den durch die Diode fließenden Strom über die angelegte Spannung aufträgt.

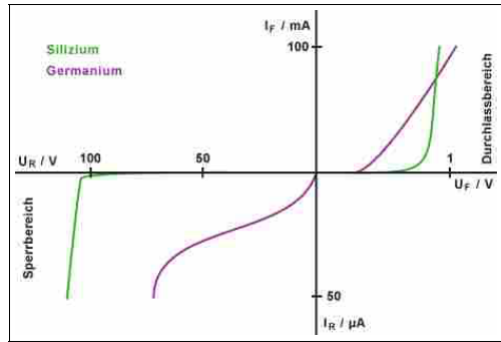


Abbildung 1.2: Diodenkennlinien von Si und Ge

Im ersten Quadranten befindet sich dabei der Durchlassbereich. Die Diode wird hier betrieben, wenn die Durchlassspannung erreicht wurde. Im dritten Quadranten befindet sich der Sperrbereich. Die Diode sperrt, wenn die Kathode mit dem Pluspol verbunden ist. Auch der Durchbruchbereich ist hier deutlich zu erkennen. Im Folgenden wird nun die Zener-Diode und ihre Effekte betrachtet. Bei *Zener-Dioden* handelt es sich um besonders hoch dotierte Silizium-Dioden. Sie besitzen einen schmalen pn-Übergang und eine spezifische Durchbruchspannung. Sie sind somit für den andauernden Betrieb in Sperrrichtung ausgelegt und werden bei der Spannungsstabilisierung und der -begrenzung eingesetzt. Wird die Zener-Diode in Sperrrichtung betrieben, wird ab einer gewissen angelegten Spannung der *Zener-Effekt* deutlich. Dieser Effekt ist dadurch charakterisiert, dass ab einer gewissen Spannung Elektronen aus der Kristallbindung geschlagen werden, die dann den Strom I_Z bilden. Die freigewordenen Ladungsträger werden durch die Spannung beschleunigt und schlagen weitere Elektronen aus der Kristallbindung. Dies stellt den *Lawineneffekt* dar. Im Schaubild sind Sperrbereich und Durchbruchbereich eindeutig zu erkennen.

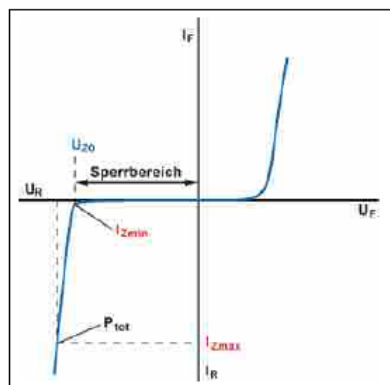


Abbildung 1.3: Z-Diode

- *Effekte und Eigenschaften:* Der *Photoeffekt* wird bei Photobau-elementen ausge-

nutzt. Die Energie, die zum Wechsel vom Valenzband ins Leitungsband nötig ist wird durch Absorption eines Photons geleistet. Dies geschieht wie beim bekannten Photoeffekt. Dazu muss die Energie des Photons größer sein als die Bandlücke. Der *Piezoelektrische Effekt* bewirkt eine Ladungsträgertrennung in bestimmten Kristallen durch Druckänderung. Die *direkte piezoelektrische Eigenschaft* bewirkt das Auftreten von Spannungen an Festkörpern, wenn sie durch eine gerichtete Kraft verformt werden. Der *indirekte piezoelektrische Effekt* hingegen beschreibt die Verformung eines Kristalls bei angelegter Spannung. Beide Effekte beruhen auf der Bildung von Dipolen. Eine weitere Eigenschaft von Stoffen ist die *Supraleitung*. Dies bedeutet, dass die Supraleiter unterhalb einer gewissen Temperatur ihren Leitungswiderstand verlieren. Der Effekt erklärt sich durch die Bildung von Cooper-Paaren in der Gitterstruktur die zu Wechselwirkungen führen. Die Cooper-Paare bestehen aus Elektronen, die Fermionen sind. Über der Sprungtemperatur zerfallen die Cooper-Paare wieder zu zwei normalen Elektronen und der Stoff ist wieder normal leitend.

- *Vierleitermessung*: Die Vierleiterschaltung dient zur Messung von elektrischen Widerständen, wenn Leitungs- und Anschlusswiderstände die Messung beeinflussen. Hierbei fließt über zwei Leitungen ein bekannter Strom durch den Widerstand. Die dort abfallende Spannung wird über zwei weiteren Leitungen hochohmig gemessen und daraus der Widerstand berechnet.

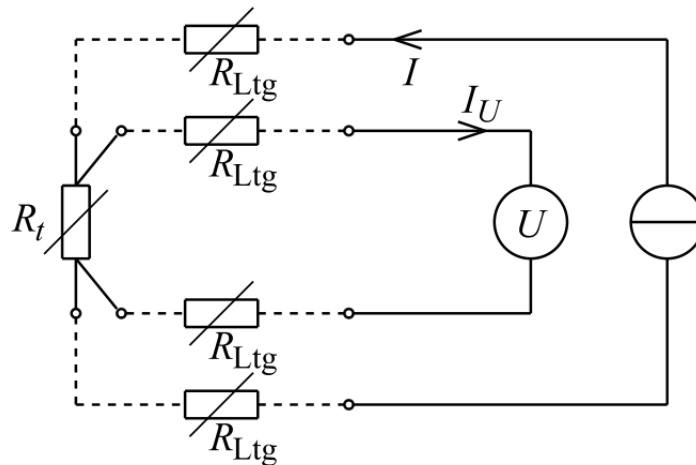


Abbildung 1.4: Vierleiterschaltung

2 Aufgaben

2.1 Temperaturabhängigkeit

In diesem Versuch soll die Temperatur verschiedener Halbleiterwiderstände (NTC und PT100) mit einer Wheatstoneschen Brückenschaltung gemessen werden. Diese Methode bietet sich hier an, da die Widerstände sehr genau bestimmt werden können, ohne durch den Innenwiderstand eines Messgeräts verfälscht zu werden. Nun sollen also heißleitende und kaltleitende Widerstände untersucht werden. Um bei den Messungen keine Temperatureffekte an den anderen Widerständen zu erzeugen, verwendet man einen Taster um die Spannung nur kurzzeitig anzulegen. Heißleitende Widerstände können etwa zur Strombegrenzung bei Einschaltvorgängen verwendet werden. Die beim Einschalten entstehenden Strom- und Spannungsspitzen können so reguliert werden, da der Widerstand anfangs noch kalt und somit hochohmig ist. Im weiteren Verlauf leitet er dann besser. NTC und PTC Widerstände kann man auch zur Temperaturmessung verwenden, wenn man eine Referenztabelle für die Temperatur und die Spannung zugrunde legt. Außerdem kann man die Widerstände auch zur Füllstandsanzeige verwenden, wenn die Flüssigkeit und die Umgebung verschiedene Temperaturen besitzen.

2.2 Kennlinien

2.2.1 Überlegungen

Um eine Zener-Diode zur Spannungsstabilisierung zu verwenden kann folgende Schaltung verwendet werden:

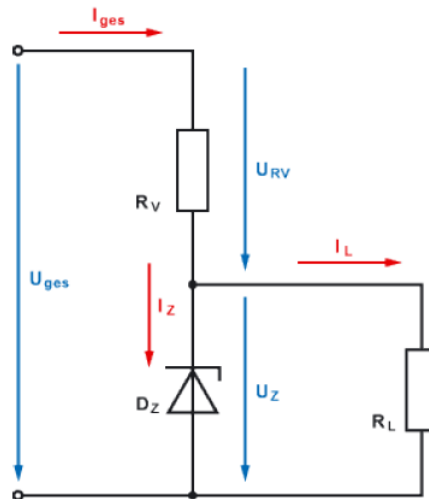


Abbildung 2.1: http://www.irisium.de/upload/Studium/Anfaengerpraktika/P2/elektrische_Bauelemente.p

Bei genügend hoher Eingangsspannung wird die Sperrspannung der Diode überwunden und es fließt ein Strom in Sperrrichtung, wodurch nicht die gesamte Spannung an der Last abfällt.

Um eine Induktivität zu schützen, muss ein Varistor parallel zu dieser geschaltet werden. Nun fließt bei zunehmender Spannung ein großer Teil des Stroms an diesem ab.

2.2.2 Kennlinien

Um die Eigenschaften eines Bauteils zu bestimmen, trägt man den Strom gegen die angelegte Spannung auf. Die entstehende Kurve nennt man Kennlinie.

2.3 Phototransistor

Bei einem Phototransistor wird der Photoeffekt am pn-Übergang zwischen Basis und Emitter hervorgerufen, wodurch ein Photostrom entsteht. Dieser kleine Basisstrom steuert den größeren Kollektorstrom. Somit erhält man eine Verstärkung des Photostroms. Also ist ein Phototransistor deutlich empfindlicher als eine Photodiode.

2.4 Piezoelement

Die Eigenschaften und Wirkungsweise des Piezoelements wurden bereits oben erwähnt. In diesem Versuch sollen diese nun experimentell beobachtet werden. Einsatzgebiete für Piezokristalle sind einerseits in der Zeitmessung beim direkten Piezoeffekt zu finden. Ein konstanter Strom ruft eine gleichförmige Schwingung des Kristalls hervor, die dann mechanisch umgesetzt wird. Der indirekte Piezoeffekt kann zur Druckmessung verwendet

werden, indem man die durch Kraft hervorgerufene Spannung über dem Piezoelement misst.

2.5 Hochtemperatursupraleiter

In diesem Versuch soll die Sprungtemperatur eines Hochtemperatursupraleiters bestimmt werden. Während des Versuchs wird der Strom durch den Supraleiter konstant gehalten und die Temperatur langsam von Zimmertemp. auf ca. 77K verringert. Durch Messung der Spannung über dem Supraleiter kann auf dessen Widerstand geschlossen werden. Da der Widerstand des Supraleiters sehr klein ist, kann zur Messung der Widerstand der Kabel vernachlässigt werden. Diese Messmethode stellt die Vierleiterschaltung dar.