

# VORBEREITUNG: ELEKTRISCHE WIDERSTÄNDE

FREYA GNAM, TOBIAS FREY

## VORÜBERLEGUNGEN

**Halbleiter.** Ein Festkörper, meist aus Silizium, der je nach Temperatur sowohl als Leiter, als auch als Nichtleiter wirken kann, wird als Halbleiter bezeichnet. Die elektrische Leitfähigkeit eines Halbleiters ist stark temperaturabhängig und nimmt mit steigender Temperatur zu. Durch Einbringen von Fremdatomen, was als Dotieren bezeichnet wird, kann man die elektrische Leitfähigkeit verändern. Dotierte Halbleiter finden auch in der Mikroelektronik Anwendung, weil durch Anlegen einer Steuerspannung ebenfalls die Leitfähigkeit des Bauelements beeinflusst werden kann.

**Funktionsweise einer Diode.** Eine Diode besteht aus einem n- und einem p- dotierten Halbleiterkristall. Der p-n Übergang ist eine Zone, die frei von beweglichen Ladungen ist, da die positiven Ladungen mit den negativen Ladungen des n- Kristalls rekombinieren. Die ebenfalls vorhandenen allerdings ortsfesten Ladungen haben nicht die Möglichkeit zu rekombinieren. Es herrscht also ein elektrisches Feld vor, welches den Ladungstransport unterbindet. Durch eine von außen angelegte Spannung kann je nach Polung dieses Feld kompensiert werden und die Diode wird leitend oder das Feld wird verstärkt und die Diode bleibt nicht leitend.

**Elektrischer Widerstand.** Die Eigenschaften eines elektrischen Widerstandes hängen von vielen Faktoren ab. In diesem Versuch geht es hauptsächlich um die Temperaturabhängigkeit und die Spannungsabhängigkeit des Widerstandes.

### 1. R(T)-ABHÄNGIGKEIT EINES HALBLEITERWIDERSTANDES

Mit Hilfe der Wheatstoneschen Brückenschaltung soll die R(T)-Abhängigkeit eines Halbleiterwiderstandes im Bereich von Zimmertemperatur bis 200 °C bestimmt werden. Um eine möglichst genaue Messung durchzuführen, wird das Verstärker-Multimeter, das als Brückeninstrument dient, in der empfindlichsten Einstellung benutzt. Man verändert den regelbaren Widerstand  $R_1$  solange bis die Brücke abgeglichen ist, also kein Strom mehr durch diese fließt. Dann berechnet sich der Halbleiterwiderstand R zu:

$$R = R_1 \cdot \frac{R_3}{R_4}$$

1

Die Konstante  $a$  und  $b$  aus der Formel  $R = a \cdot e^{\frac{b}{T}}$  bestimmt man, indem man  $\ln R$  über  $1/T$  aufträgt. Aus dieser Auftragung erhält man  $a$  und  $b$  folgendermaßen: Logarithmiert man die Gleichung, so ergibt sich  $\ln R = \ln a + \frac{b}{T}$ . Die Geradengleichung aus der Auftragung  $\ln R$  über  $1/T$  hat folgende Gestalt:  $y = c \cdot x + d$ . Mittels eines Koeffizientenvergleichs erhält man, dass  $b = c$  und  $a = e^d$  ist. Die Konstante  $b$  stellt also die Steigung des Diagramms dar und  $a$  kann aus dem y-Achsenabschnitt ermittelt werden.

### Anwendungen des NTC-Widerstandes. :

- **Temperaturmessung:** Ist die Temperaturabhängigkeit des NTC-Widerstandes bekannt, so kann man aus dem gemessenen Widerstand mittels der oben angegebenen Formel auf die Temperatur schließen.

$$T = \frac{b}{\ln(R) - \ln(a)}$$

- **Füllstandsanzeige:** Befindet sich ein NTC-Widerstand teilweise in einer Flüssigkeit, so nimmt er die Temperatur der Flüssigkeit an. Wenn sich nun die Füllhöhe ändert, verändert sich auch die Kontaktfläche mit der Flüssigkeit und damit die Temperatur des NTC-Widerstandes. Dadurch ändert sich der elektrische Widerstand. Der messbare Widerstand ist also ein Maß für den Füllstand.
- **Strombegrenzung:** Um ein Bauteil vor hohen Strömen zu schützen, schaltet man den NTC-Widerstand parallel zum zu schützenden Bauteil. Bei hohen Strömen erwärmt sich der NTC-Widerstand und sein Widerstand wird geringer. Das heißt der größte Teil des Stromes fließt über den NTC-Widerstand ab und nicht über das zu schützende Bauteil.

## 2. BESTIMMUNG VERSCHIEDENER WIDERSTÄNDE

**2.1. I(U)-Abhängigkeit eines Edelmetallwiderstandes (oszillographisch).** Mittels der Halbwellenschaltung des Experimentiergerätes soll die I(U)-Abhängigkeit eines Edelmetallwiderstandes bei Zimmertemperatur bestimmt werden. Wir vermuten einen linearen Zusammenhang zwischen Spannung und Strom, so dass das ohmsche Gesetz  $\frac{U}{I} = R$  angewendet werden kann. Bei der Durchführung der Messung ist zu überprüfen, ob die Erwärmung durch den Messtrom einen beobachtbaren Effekt bewirkt. Um eine möglichst genaue Messung durchzuführen, muss das Oszilloskop gegebenenfalls mit Wechselspannungen des Experimentiergerätes geeicht werden.

**2.2. Vergleich von Heiß- und Kaltwiderstand einer 60 W-Birne.** Mit dem Ohmmeter soll der Kaltwiderstand einer Glühbirne gemessen werden und mit dem Betriebswiderstand verglichen werden. Den Betriebswiderstand erhält man aus den Nenndaten

über folgende Beziehung:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P} = \frac{(220 \text{ V})^2}{60 \text{ W}} \approx 807 \Omega$$

Der hohe Einschaltstrom schadet der Glühbirne nicht, da er nur sehr kurz fließt. Durch den hohen Strom erwärmt sich der Widerstand recht schnell und somit wird der Widerstand der Glühbirne größer und damit der Strom kleiner.

**2.3. Kaltwiderstand einer 50 W-Kohlefadenlampe.** Wie in der vorherigen Aufgabe messen wir den Kaltwiderstand der Kohlefadenlampe mit dem Ohmmeter und vergleichen diesen mit dem Betriebswiderstand der Kohlefadenlampe. Dieser ermittelt sich wieder aus den Nenndaten zu:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{U^2}{P} = \frac{(220 \text{ V})^2}{50 \text{ W}} = 968 \Omega$$

Als Grund dafür, dass die Kohlefadenlampe bei gleicher Leistung dunkler als die Glühbirne aus Wolframdraht ist, nehmen wir an, dass der Wolframdraht sich stärker erwärmt und deshalb heller leuchtet.

### 3. OSZILLOGRAPHISCHE BESTIMMUNG DER I(U)-ABHÄNGIGKEIT VERSCHIEDER DIODEN UND DES VARISTORS

Unter Verwendung der Halbwellenschaltung soll die I(U)-Abhängigkeit der Dioden und des Varistors bestimmt werden. Um den thermischen Einfluss qualitativ bestimmen zu können, werden die Bauelemente mit warmer Luft angeblasen. Symmetrische Wechselspannung ist für den Versuch nicht geeignet, da dann die Kennlinien für Sperr- und Durchlassrichtung nicht getrennt untersucht werden können. Der Arbeitswiderstand einer Diodengleichrichterschaltung darf nicht zu groß gewählt werden. Anderenfalls fällt an der Diode eine zu geringe Spannung ab. Falls diese Spannung unterhalb der Schwellspannung liegt, sperrt die Diode und die Schaltung leitet also überhaupt nicht.

**3.1. Siliziumdiode.** Wir erwarten den charakteristischen Strom/ Spannungsverlauf einer Diode. Das heißt, dass die Diode in Durchlassrichtung erst ab einem bestimmten Spannungswert leitend wird und darunter sperrt. In Sperrrichtung wird kein Stromfluss beobachtbar sein, da die Spannung der Halbwellenschaltung laut Aufgabenblatt unterhalb der Durchbruchspannung bleibt.

3.2. **Zenerdiode.** In Durchlassrichtung erwarten wir das gleiche Verhalten wie bei der Siliziumdiode. In Sperrichtung wird die Zenerdiode ab einer gewissen Spannung (Zenerspannung) niederohmig, also sehr gut leitend. Mittels einer Zenerdiode kann ein Spannungsstabilisator realisiert werden, denn bei der Zenerdiode bleibt die Spannung an der Diode für einen größeren Strombereich unverändert. Zur Realisierung schaltet man die Zenerdiode parallel zum Verbraucher. Durch einen Vorwiderstand wird die Spannung an der Diode festgelegt. Für den Vorwiderstand ergibt sich:

$$R = \frac{U - U_Z}{I_Z + I_V}$$

3.3. **Germaniumdiode.** Wir nehmen an, dass die Germaniumdiode ein ähnliches Verhalten wie die Siliziumdiode zeigen wird, wahrscheinlich aber mit einer zur Siliziumdiode unterschiedlichen Schwellspannung.

3.4. **Varistor.** Ein Varistor besteht aus vielen kleinen Siliziumkarbidkristallen, die ohne Vorzugsrichtung wie viele in Reihe und parallel geschaltete Dioden wirken. Bei kleinen Spannungen fließt kein Strom, wohingegen er sich für größere Spannungen wie eine gewöhnliche Diode in Durchlassrichtung verhält. Er kann somit als Überspannungsschutz gegen beispielsweise induzierte Spannungen dienen, denn im Normalbetrieb ist der Widerstand des Varistors sehr groß, während bei Überspannung der Widerstand fast verzögerungsfrei sehr klein wird und somit Ladung ableitet.

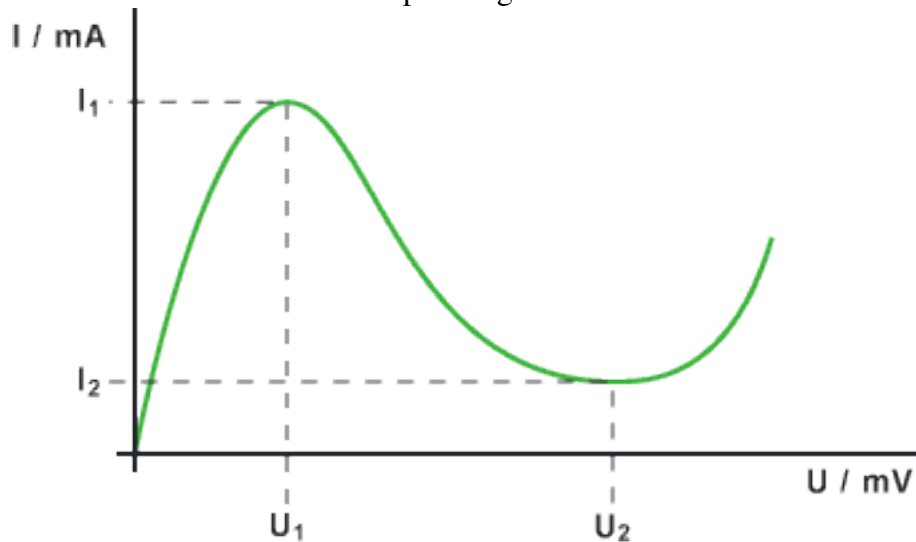
#### 4. WIEDERHOLUNG DER $I(U)$ -ABHÄNGIGKEIT DES VARISTORS DURCH PUNKTWEISE STROM- UND SPANNUNGSMESSEUNG

Es wird wieder die Kennlinie des Varistors bestimmt, diesmal aber durch punktweise Strom- und Spannungsmessung mittels der dafür vorgesehenen Schaltung auf dem Experimentiergerät. Die zu erwartende U-I-Messkurve ist von der Form  $U = c \cdot I^b$ . Logarithmiert man diese Gleichung wieder so erhält man:  $\ln U = b \cdot \ln I + \ln c$ . Trägt man nun  $\ln U$  über  $\ln I$  auf, so stellt  $b$  die Steigung im Diagramm dar,  $c$  kann aus dem y-Achsenabschnitt bestimmt werden. Die Messmethode in dieser Aufgabe ist genauer als die oszillographische Darstellung. Der Vorteil der oszillographischen Messung liegt in der kurzen Messdauer. Beim Oszilloskop erhält man in kurzer Zeit einen graphischen Verlauf, durch den man sich einen Überblick über das Verhalten des Bauteils verschaffen kann. Die Messwerte werden durch die Innenwiderstände der Messinstrumente beeinflusst.

#### 5. TUNNELDIODE

Eine Tunneldiode ist ein Hochfrequenz-Halbleiterbauelement. Die Tunneldiode hat ein hochdotiertes n-leitendes Germanium-Plättchen in das eine ebenfalls hochdotierte kleine Schicht Indium einlegiert ist. Wegen der hohen Dotierung wirkt die Sperrschicht

ABBILDUNG 1. Strom-Spannungskennlinie der Tunneldiode



nicht. Die Sperrschicht wird durch die Elektronen mit hoher Geschwindigkeit durch-tunnelt. Die Elektronen durchfliegen nahezu mit Lichtgeschwindigkeit diesen Tunnel. Schon bei einer kleinen Durchlassspannung fließt ein Strom, obwohl die Sperrschicht noch nicht abgebaut ist. Wird die Spannung an einer Tunneldiode erhöht, steigt zu-nächst der Strom (bis  $U_1 / I_1$ ). Bei weiterer Spannungserhöhung fällt der Stromwert wieder ab (ab  $U_1 / I_1$ ). Die Tunneldiode wirkt in diesem Bereich wie ein negativer Widerstand. Bei steigender Spannung wird der Strom kleiner (zwischen  $U_1 / I_1$  und  $U_2 / I_2$ ). Wird die Spannung weiter erhöht, steigt auch der Strom weiter an (ab  $U_2 / I_2$ ). Ist eine Tunneldiode in Sperrrichtung geschaltet, zeigt sie nahezu keine Sperrwirkung. Schon bei kleinen Spannungen fließen hohe Ströme. Da die Sperrschicht sehr dünn ist tritt der Zenerdurchbruchzustand schon bei kleinen Spannungen auf.

**5.1. I(U)-Abhängigkeit der Tunneldiode durch punktweise Strom- und Spannungs-messung.** Um die I(U)-Abhängigkeit der Tunneldiode zu bestimmen, wird die Span-nungsteilerschaltung am Experimetiergerät verwendet. Der Strom soll  $200 \mu\text{A}$  nicht übersteigen und mittels des  $300 \mu\text{A}$ -Bereichs des Multizet-Instrumentes bestimmt wer-den. Über der Spannung soll der Strom, der Widerstand und der differentielle Wider-stand aufgetragen werden.

**5.2. Sprungverhalten des Stromes bei der Tunneldiode.** Es soll der Messbereich des Strommessgerätes auf  $100 \mu\text{A}$  herabgesetzt werden und die Spannung erneut von  $0 \text{ V}$  hochgeregelt werden. Es soll dabei Sprungverhalten des Stromes auftreten. In das U(I)-Diagramm sollen die Arbeitsgeraden ( $I = \frac{U_0 - U}{R}$ ) der beiden Innenwiderstän-de eingezeichnet werden. Für die Innenwiderstände gilt: Messbereich  $300 \mu\text{A}$ :  $600 \Omega$ ,

100  $\mu\text{A}$ : 1700  $\Omega$ . Dabei soll besondere Aufmerksamkeit auf die Schnittpunkte mit der Diodenkennlinie gelegt werden.

**5.3. Oszilloskopische Beobachtung der Spannung der Tunneldiode.** Dem Schaltkreis soll eine Spule hinzugefügt werden, so dass beim “Springen“ des Stromes Spannungsüberhöhung stattfinden wird. Die Spannung an der Tunneldiode soll oszillosgraphisch beobachtet werden, während die Spannung am Spannungsteiler hochgeregelt wird. Bei dieser Messung werden sonst keine weiteren Messgeräte verwendet. Es sollen Schwingungen oberhalb der Höckerspannung entstehen. Steigt die Spannung über den Höcker, so verändert sich der Strom sehr schnell. Nach der Lenzschen Regel wird durch die Spule eine Gegenspannung induziert. Diese bewirkt, dass die Spannung an der Diode unter die Höckerspannung fällt. Die dadurch auftretenden schnelle Stromänderung erzeugt wieder eine induzierte Spannung, die entgegen wirkt und die Spannung über Höckerspannung hebt. Durch Wiederholung dieses Vorgangs sollten Schwingungen entstehen.