

Die Halbleiterdiode

Eine Halbleiterdiode besteht aus einem Halbleiterkristall, der zwei Zonen mit dreiwertigen (p-Zone) und fünfwertigen (n-Zone) Fremdatomen hat. In einer Halbleiterdiode grenzen eine n- und eine p-Zone direkt aneinander. Der Widerstand hängt dadurch von der Polung ab.

Bei einem fünfwertigen Fremdatom im Halbleiter, werden 4 Valenzelektronen für die Gitterbindung benötigt, das 5. bleibt als freies Elektron übrig und kann sich frei durch das Gitter bewegen. Es entsteht positives Ion, eine unbewegliche positive Ladung. Fünfwertige Fremdatome werden als Donatoren bezeichnet. Hier sind die Elektronen die Majoritätsträger.

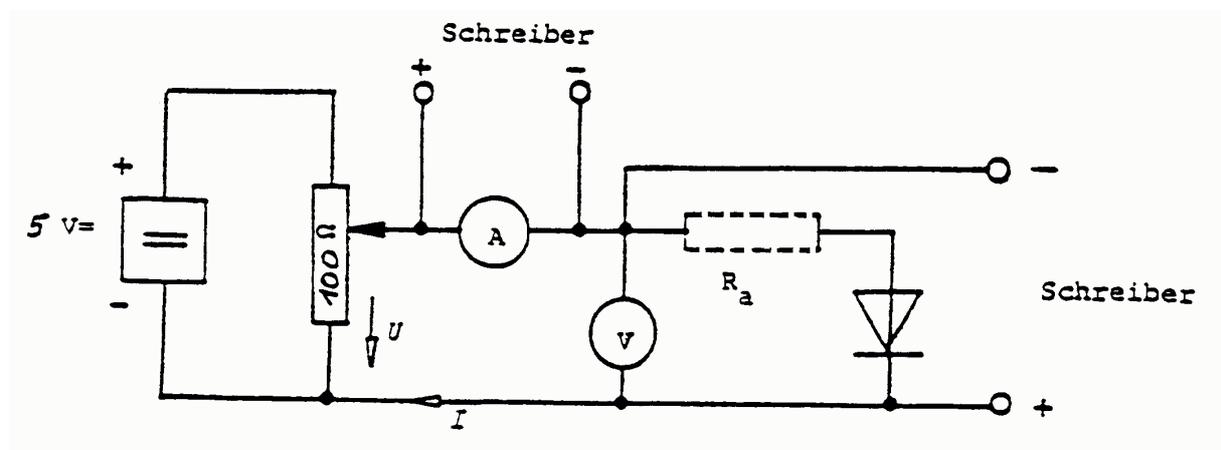
Bei einem dreiwertigen Fremdatom im Gitter, fehlt ein Elektron zur Absättigung der Gitterbindungen, deshalb tritt ein Elektron eines benachbarten Halbleiteratoms in die Bindung ein. Es entsteht ein Loch bei dem entsprechenden Halbleiteratom. Dieses Loch kann durch den Halbleiter wandern, es entsteht ein Defektelektron (positiver beweglicher Ladungsträger). Dreiwertige Fremdatome, die ein Elektron an sich binden nennt man Akzeptoren. Hier sind die Defektelektronen die Majoritätsträger.

Aufgrund der Wärmebewegung diffundieren die Defektelektronen in die n-Zone und rekombinieren dort mit freien Elektronen, umgekehrtes gilt für die Elektronen der p-Zone. Sie wandern in die n-Zone und rekombinieren mit den Defektelektronen. In der Grenzfläche des p-Bereichs entsteht so ein negativ geladener Bereich aus Akzeptor-Ionen und in der Grenzfläche des n-Bereichs entsteht ein positiv geladener Bereich aus Donator-Ionen. Es entsteht ein elektrisches Feld, die Spannung heißt Diffusionsspannung.

Legt man nun eine Spannung an den Halbleiter an, an die p-Zone positive Spannung, so schwächt diese das interne elek. Feld, wodurch Majoritätsträger von beiden Seiten in die Grenzschicht eingeschwämmt werden. Sie rekombinieren hauptsächlich hinter der Sperrschicht. Es fließt ein elektrischer Strom, die Diode ist in Durchlaßrichtung geschaltet.

Polt man nun das ganze um, so wird das interne elektrische Feld vergrößert. Die Majoritätsträger werden nach außen gezogen, die Grenzschicht wird von Majoritätsträgern entleert, die Raumladungszone verbreitert sich. Der Strom der Majoritätsträger wird dadurch unterbrochen, die Diode ist in Sperrichtung geschaltet.

In diesem Versuch ging es darum, mit Hilfe eines x-y-Schreibers, Kennlinien von verschiedenen Dioden aufzunehmen. Dazu verwendeten wir folgenden Versuchsaufbau.



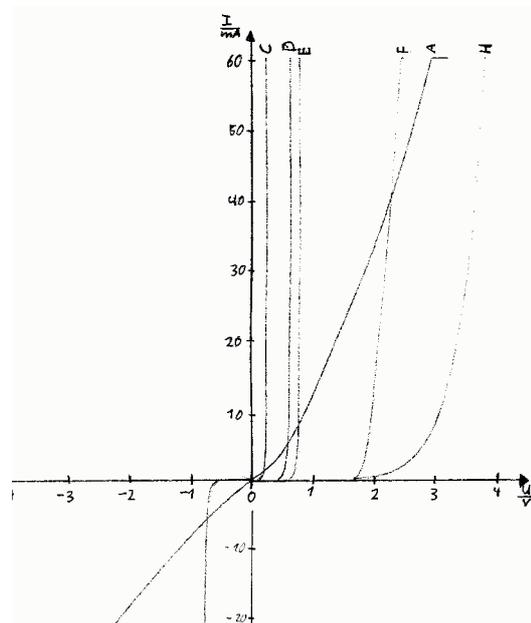
Geräteliste:

- 1x Netzteil im Tisch (Inventar-nr. 020000098)
- 1x Kästchen mit Widerständen (100, 470, 1k, 4k7, 10k, 18k)
- 1x Kästchen mit Dioden
- 2x Multimeter Voltcraft M3610D
- 1x ABB x-y-Schreiber (Inventar-nr. 020000230)
- 1x 100 Ohm Schiebewiderstand

1. Aufnahme der Kennlinien

Um die Kennlinien im Bereich von -5V und +5V aufzunehmen, bauen wir die Schaltung gemäß Plan ohne Ra auf. Dabei erhielten wir folgende Kennlinien.

Diode	Schwellen- / Zenerspannung	Diodenart
A		Schottkydiode
B	vermutlich defekt	
C	0,25 V	Germanium
D	0,6 V	Silizium
E	0,75 V	Silizium
F	1,9 V	Leuchtdiode
G	vermutlich defekt	
H	3,25	Z-Diode

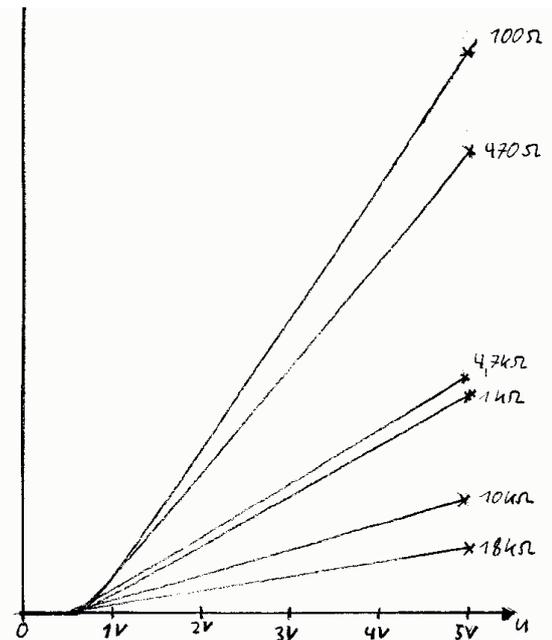


2. Aufnahme der Arbeitskennlinien

In diesem Teil des Versuchs sollen die Arbeitskennlinien für die sechs beigelegten Widerstände und einer Si-Diode aufgenommen werden. Wir wählten hierfür die Diode E, wobei folgende Kurven zustande kamen.

Leider war es aufgrund der stark unterschiedlichen Widerstände nötig die Meßbereich zu wechseln, deshalb die jeweiligen Ströme bei 5V.

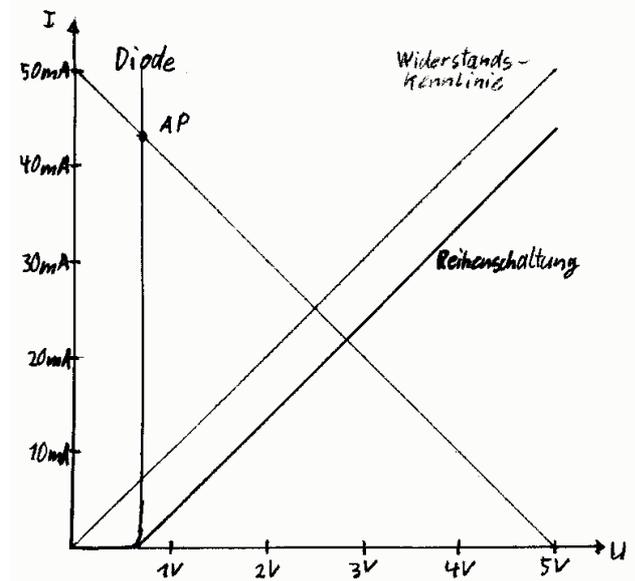
Widerstand	Strom bei 5V
100	55,2 mA
470	9,1 mA
1k	4,3 mA
4,7k	0,9 mA
10k	0,4 mA
18k	0,2 mA



Wenn man sich den Strom durch den 100-Ohm-Widerstand ansieht, so fällt auf, daß der Strom für 5V und 100 Ohm um 5,2mA zu groß ist. Dies resultiert einerseits daraus, daß durch den Schreiber und Voltmeter auch ein kleiner Strom fließt, andererseits (überwiegender Teil) der Widerstand nicht exakt 100 Ohm beträgt (kann man später noch genauer sehen).

3. Konstruktion der Arbeitskennlinie mit $R_a = 100 \text{ Ohm}$

Bei der Kennlinie für die Reihenschaltung von Diode E und dem 100 Ohm Widerstand, verschiebt sich die Kennlinie des Widerstandes um die Schwellenspannung.



4. Darstellung der Durchlaßkennlinie im halblogarithmischen Maßstab und Bestimmung der Temperaturspannung aus der Steigung

Die Temperaturspannung läßt sich wie folgt aus der Steigung bestimmen; dazu übertrug ich die Werte aus der 3. Kurve aus der 5. Aufgabe in halblogarithmisches Papier.

$$U_T = \frac{0,802V - 0,712V}{\ln 10} = 39mV$$

Nach der Formel

$$U_T = \frac{kT}{e} = \frac{1,38 \cdot 10^{-23} \frac{Ws}{K} \cdot 293K}{1,6021 \cdot 10^{-19} As} = 0,0259V$$

müßte diese aber bei Zimmertemperatur ca. 26mV betragen. Die Temperaturspannung von 39mV liegt also 50% über dem zu erwartenden Wert. Diese Abweichung ist aber nicht durch die Ungenauigkeit der Meßgeräte zu erklären. Der Strom wurde als Spannung am Widerstand aufgenommen, die Spannung direkt an der Diode abgegriffen. Zusätzlich wurde der Strom mit einem Amperemeter in Reihe zur Anordnung und die Spannung parallel zum Widerstand mit einem Voltmeter kontrolliert. Der angezeigte Strom, und damit der Strom durch die Diode, ist natürlich ein wenig größer, als der durch den Widerstand, da ein Voltmeter und der Schreiber dazu parallel dazu geschaltet sind. Die abgegriffene Spannung am Widerstand wird dadurch aber kaum geringer, da die Innenwiderstände des Voltmeters und des Schreibers einige Kiloohm bis Megaohm betragen dürften. Damit ist also die Abweichung nicht zu erklären.

Bleibt also noch, daß die Temperatur der Diode höher war als die Umgebungstemperatur im Raum (20°C), aber bei 39mV Temperaturspannung hätte die Diode eine Temperatur von 159°C haben müssen, was ebenfalls auszuschließen ist.

5. Aufnahme der Durchlaßkennlinie in vier verschiedenen Meßbereichen

Hierbei wird die Spannung über die Diode gemessen, sowie der Strom als Spannungsabfall am Widerstand. Die Kurven werden bei fester Einstellung für die Spannung aufgenommen, während sich die Meßbereiche für den Strom ändern. Wenn man sich die Kurven ansieht, scheinen sich die Schwellenspannung mit der Meßbereichsumschaltungen zu ändern. Das dem nicht so ist, kann man sehen, wenn man mal bestimmte Punkte in den Kurven vergleicht. Nimmt man zum Beispiel mal den 3mA-Punkt in der Kurve mit 10mV/cm und in der Kurve mit 100mV/cm so sieht man, daß die Punkte genau senkrecht übereinanderliegen, also bei der gleichen Spannung. Das gleiche gilt z.B. auch für 18mV in den letzten beiden Kurven. Es sind folglich identische Kennlinien, nur in unterschiedlichen Maßstäben aufgetragen. Hier ist auch deutlich zu sehen, daß der Strom nicht wirklich Null wird, auch wenn das auf den ersten Blick in den Kennlinien so aussieht. Der Grund hierfür liegt darin, daß der Strom sich nach der e-Funktion entwickelt und diese ja bekanntlich nie Null wird, sondern nur nahe Null.

6. Fehlerbetrachtung

Wie wirken sich Spannungsabfall am Amperemeter und Strom durch Voltmeter und Schreiber auf die Kennlinie aus?

Um dies herauszufinden nahmen wir einmal die Diodenkennlinie wie in Aufgabe 1 auf und einmal so, daß wir die Spannung direkt am Schiebewiderstand auf, also noch vor dem Amperemeter. Als Ergebnis bekamen wir 2 Kennlinien, wobei der Strom auf dem Blatt nicht erkennbar abweicht, die Spannung aber schon (um 0,05V). Diese 0,05V fallen am Amperemeter ab. Da es aber hauptsächlich darum ging die Schwellenspannungen zu bestimmen, ist es sinnvoller spannungsrichtig (also Spannungsmessung an der Diode) zu messen, zumal beim gewählten Maßstab der Stromfehler mit bloßem Auge eh kaum auszumachen ist.