

Theoretische Grundlagen

Eine Halbleiterdiode besteht aus zwei Halbleitermaterialien, die unterschiedlich dotiert sind. Die Dotierung ist nötig, da sonst der Halbleiter einen sehr hohen Ohmschen Widerstand hätte. Dieser Widerstand ist dadurch zu erklären, daß in den Halbleitereinkristalle alle, die zur Bindung zur Verfügung stehenden Elektronen der Atome schon für die Bildung der Kristallstruktur verbraucht sind. Somit stehen keine „freien“ Elektronen mehr zur Verfügung, um Ladungen zu Transportieren. Die durch die Thermische Erregung des Halbleiters frei werdenden Elektronen reichen dann auch nicht aus, um einen hohen Strom zu befördern. Deshalb bringt man durch Dotierung freie Ladungsträger in den Einkristall. Dies geschieht üblicherweise dadurch, daß man entweder Atome mit Außenelektronen oder Atome mit 5 Außenelektronen in den Kristall einbaut. Wenn man in einen reinen Halbleiter Atome mit 3 Außenelektronen einbaut, also ein Atom, das ein Elektron zu wenig mitbringt für eine kovalente Bindung. Dann entsteht ein einzelnes Elektron, das für seine Bindung gerne noch ein zweites hätte. Bekommt es eines durch den Generationsprozeß, der thermisch bedingt ist, dann fehlt einem anderem Atom ein Elektron und es entsteht ein positiver Ladungsträger, der aber an seinen Platz im Kristallgitter gebunden ist, also ein *p*-Leiter.

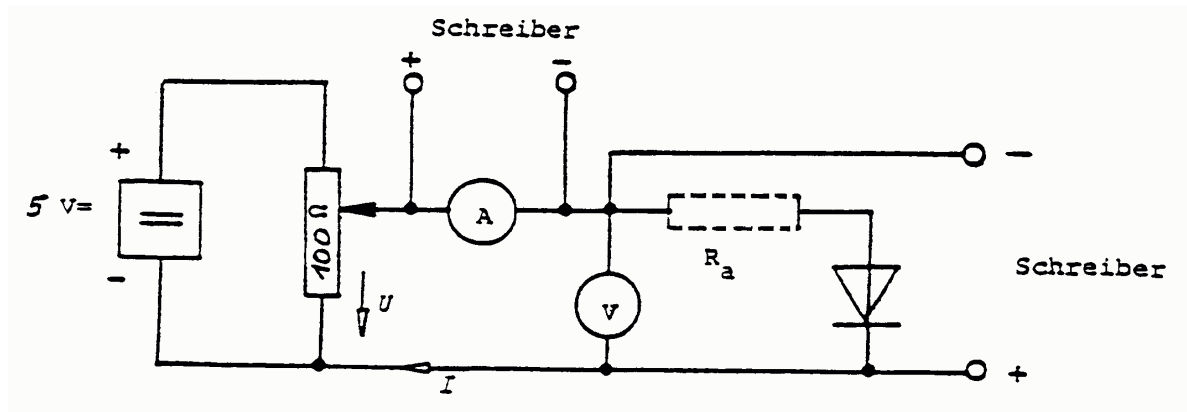
Wenn nun anstelle des dreiwertigen Atoms ein fünfwertiges Atom genommen wird, so entsteht dadurch leicht ein freies Elektron, das sich durch den Kristall bewegen kann, also ein negativer Ladungsträger, ein *n*-Leiter.

Bringt man diese beiden verschiedenen Leiter zusammen, dann können sich die „freien“ positiven und negativen Ladungsträger in einem kleinen Bereich ausgleichen und es entsteht zwischen den beiden elektrisch neutralen Leitern ein elektrisches Feld.

Dieses Feld wird je nach Polung entweder abgeschwächt (Betrieb in Durchlaßrichtung) oder verstärkt (Betrieb in Sperrichtung). Wenn die Diode in Durchlaßrichtung betrieben wird und die Spannung so groß wird, daß das elektrische Feld zusammenbricht, wird die Diode sehr niederohmig und ein großer Strom kann fließen. Die Spannung, die nötig, ist um die Diode leitend zu machen, liegt zwischen 0,3V und 1,9V. Die verschiedenen Durchbruchspannungen kommen durch die verschiedenen Halbleitermaterialien (z.B. Si, Ge) und die Bauart (z.B. Kurze-, Lange-, Leuchtdiode) zustande. Wenn eine Diode in Sperrichtung betrieben wird, gibt es auch noch zwei nennenswerte Effekte, und zwar den Zehner- und den Tunnel- Effekt, die bei den Zehnerdioden zum tragen kommen. Diese Bauteile werden ab einer bestimmten Spannung, die in Sperrichtung anliegt leitend. Diesen Effekt nutzt man oft, um in einer Schaltung die Spannung zu stabilisieren. Allen anderen Diodenarten würden bei einer solchen Belastung sofort zerstört werden.

Versuchsdurchführung

Für die Durchführung der einzelnen Versuche wurde die untenstehende Schaltung verwendet. Dabei wird der Strom durch die Dioden als Spannungsabfall am Amperemeter gemessen und kann daher nicht explizit angegeben werden, da der Innenwiderstand des Meßgerätes uns nicht bekannt war. Das angeführte Schaltschema stammt aus einem Internetprotokoll, ist aber vollkommen identisch mit dem Schema aus der Versuchsanleitung.



Aufnahme der Kennlinien

Bei der Durchführung dieses Teilversuches wurde die Schaltung gemäß Abb. 1 aufgebaut und der Widerstand R_a hatte den Wert 0Ω . Die Versorgungsspannung variierten wir dabei zwischen

$-5V$ und $+5V$ und wir achteten darauf, daß der Strom den Wert von $18mA$ nicht überschreitet, da sonst Leuchtdioden Schaden nehmen würden. Die Meßergebnisse hierzu sind in Schaubild 1 abgetragen, wobei die Auswertung in Tabelle 1 zu sehen ist.

Diode	Durchbruchspannung in V		Diodentyp
	negativer Bereich	positiver Bereich	
A			Schottkydiode
B	-2,65	0,65	Z-Diode (Zenersp. 2,65V)
C		0,20	Germanium Diode
D		0,55	Silizium Diode
E		0,72	Silizium Diode
F		1,85	Leuchtdiode
G		1,90	Leuchtdiode
H	-2,85	0,65	Z-Diode (Zenersp. 2,85V)

Tabelle 1

Aufnahme der Arbeitskennlinien

Bei der Durchführung dieses Teilversuches wurden die beiliegenden Widerstände als R_a in die Schaltung eingebaut und dann die Arbeitskennlinie für die Diode E aufgezeichnet. Dabei wurde die Spannung von $0V$ auf $5V$ langsam erhöht. Der Strom, der auf der Abszisse abgetragen ist, kann nicht mit Werten versehen werden, da die Schreibereinstellung für fast jeden Widerstand aufgrund der enormen Widerstandsunterschiede verstellt werden mußte, damit man ein einigermaßen anschauliches Bild erhielt. Ein weiteres Manko, das wir bei der Aufzeichnung hatten, ist die vergessene Aufnahme der Ströme für die einzelnen Endauschläge der Arbeitskennlinien. Diese kann man aber leicht errechnen, indem man von

den 5,15V Endauschlag die Durchbruchspannung der Diode abzieht und anschließend durch den entsprechenden Widerstandswert teilt. Die Ausführung dieses Teilversuches ist in Schaubild 2 dokumentiert.

Konstruktion der Arbeitskennlinie

Für die Konstruktion der Arbeitskennlinie haben wir als erstes den Graphen der Siliciumdiode E auf Millimeterpapier erneut abgetragen, und dabei die Auflösung der Ordinate vergrößert, um den Knickpunkt der Diodenkennlinie genauer zu sehen. Als nächstes haben wir die Kennlinie des 470Ω Widerstandes aufgetragen, damit wir die Skalierung, über das Ohmsche Gesetz, der Abszisse vornehmen können. Danach haben wir noch den Graphen der Arbeitskennlinie aufgenommen, um einen Vergleich zwischen dem theoretischen und dem tatsächlichen Verlauf der Kennlinie zu erhalten. Um nun die Arbeitskennlinie zu konstruieren, muß man die Widerstandskennlinie parallel zur Abszisse verschieben, bis man mit dem Nullpunkt der Widerstandskennlinie den Knickpunkt der Diodenkennlinie erreicht hat und sie dann dort abtragen.

Der Arbeitspunkt einer Arbeitskennlinie gibt nur die Spannungsverteilungen zwischen Widerstand und Diode an bei einer bestimmten anliegenden Spannung. Dabei ist die Kennlinie der Diode ohne Widerstand abzutragen, und anschließend wird die Kennlinie des Widerstandes mit negativer Steigung so abgetragen, daß diese die Ordinate bei der Betriebsspannung schneidet. Der resultierende Schnitt zwischen der Dioden- und Widerstandskennlinie ist der Arbeitspunkt.

Die entsprechenden Konstruktionen sind dem Schaubild 3 zu entnehmen.

Bestimmung der Temperaturspannung

Für die Bestimmung der Temperaturspannung werden die Werte der Diode E auf Halblogarithmisches Papier übertragen und zur Fehlerminimierung die lineare Regression angewandt. Jetzt kann aus der Steigung der Geraden die Temperaturspannung bestimmt

$$U_T = \frac{\Delta U_{Diode}}{\ln(\Delta I_{log})} = \frac{100mV}{\ln(6,7_{cm})} = \underline{\underline{52,6mV}}$$

werden.

Bestimmt man die Temperaturspannung mit Hilfe der Formel $U_T = kT/e$, so sieht man, daß diese um 100% abweicht, d.h. die bestimmte Temperaturspannung ist doppelt so groß, wie die Theoretische. Eine wahrscheinliche Fehlerursache liegt vielleicht darin, daß die Länge für I_{log} nicht korrekt interpretiert wurde, wenn man sie in mm und nicht in cm nimmt, bekommt man ein Ergebnis von 23,78mV, was dem theoretischen Wert von 25,85mV eher entspricht.

Verschiede Auflösung des Stromes bei Diodenkennlinie

In diesem Teilversuch wurde die Schaltung so umgebaut, daß der Strom direkt als Spannungsabfall am R_a mit 100Ω gemessen wurde, dies bedeutet, daß der Strom dieses Mal

separat an der Abszisse angetragen werden kann. Die Kennlinien kann man aus dem Schaubild 4 entnehmen.

Bei der Aufzeichnung mit verschiedenen Auflösungen im Strombereich kann man sehr schön die Schwellspannung ablesen und die Krümmung der Kurve betrachten, die in den meisten Betrachtungen der Dioden vernachlässigt wird und durch zwei Geraden dargestellt sind, die annähernd im rechten Winkel zueinander stehen.

Fehlerbetrachtung

Für die Fehlerbetrachtung wurde einmal die Diodenkennlinie für die Diode E so aufgezeichnet, wie unter dem ersten Teilversuch. Anschließend wurde die Schaltung so umgebaut, daß der xy_Schreiber die Diodenspannung direkt am Schiebewiderstand abgegriffen hat. Danach wurde die Kennlinie nochmals aufgenommen. Somit wurde die spannungsrichtige Messung zu einer stromrichtigen Messung umgebaut. Wenn man die beiden Kennlinien aus Schaubild 5 betrachtet, sieht man, daß die beiden Kennlinien deckungsgleich sind, was eigentlich ungewöhnlich ist, da an dem Amperemeter auch eine geringe Spannung abfallen müßte, die aber aller Wahrscheinlichkeit nach so gering ist, daß sie der Schreiber nicht darstellen kann. Das einzige, was man erahnen kann, ist der Fehlerstrom, der durch den Schreiber im Spannungsbereich fließt. Der ist in dem Sperrbereich der Diodenkennlinie zu sehen, da dort der Strich wesentlich dicker ist als im Durchlaßbereich.