

Halbleiter Notes II: Diode

gr. diodos - 'Übergang'

Entstehung/ Einstellung des TGG

- p und n Halbleiter verbunden
- Diffusionsbewegung aufgrund der Konzentrationsunterschiede (mangel an Elektronen im p-HL, Überschuss an Elektronen im n-Leiter etc)
- Ladungsträger hinterlassen ionisierte, ortsfeste Atomrümpfe der Akzeptor-(p-Gebiet) bzw. Donatoratome (n-Gebiet), also ortsfeste Ladungen
- rechter Rand des p Gebiets ist negativ geladen
- linker Rand des n Gebiets ist positiv geladen
- → Es entsteht ein elektrisches Feld durch die ionisierten und nicht kompensierten Donator- und Akzeptoratome über den Übergangsbereich/Grenze
- Dieses Feld (DRIFT) kompensiert/verhindert die weitere Diffusionsbewegung der Elektronen aus dem n in das p-Gebiet und der Löcher aus dem p- in das n-Gebiet
- Im pn-Übergang entsteht ein Bereich, in dem keine freien Ladungsträger (e- oder Löcher) vorhanden sind. In diesem Bereich sind nur die ionisierten und ortsfesten Dotieratome vorhanden
- Dieser Bereich heißt *Raumladungszone*

Über dem pn-Übergang/der Raumladungszone liegt eine Spannung ($\int E \cdot dx$), das **Diffusionspotential**. Typischerweise im Bereich von

0.6...0.7 V

$$\phi_i = \underbrace{\frac{kT}{q}}_{\text{Temp.sp. } U_T} \cdot \ln \frac{N_A \cdot N_D}{n_i^2}$$

Bei Raumtemperatur: $U_T \approx 26 \text{ mV}$

ÄuSSere Spannung

Positive Spannung (Durchlass)

Durch die von Außen angelegte Spannung entsteht ein elektrisches Feld über dem pn-Übergang, das in die entgegengesetzte Richtung zum Feld, das durch die ionisierten Dotieratome entstanden ist, zeigt. Das äußere Feld wirkt also dem inneren entgegen und hebt damit den Einfluss des inneren auf die Driftbewegung/ die Verhinderung der Diffusion auf. Die Diffusionsbewegung kann dann wieder stattfinden. Die Löcher des p-Gebiets können in das n-Gebiet und die Elektronen des n- in das p-Gebiet diffundieren und dort rekombinieren, 'neue' Ladungsträger kommen dann aus den neutralen Gebieten. Es fließt ein Strom.

Bei in Durchlassrichtung angelegter Diodenspannung verringert sich das (innere) elektrische Feld über dem pn-Übergang und die Diffusion von Ladungsträgern wird nicht mehr durch das elektrische Feld kompensiert.

Negative Spannung (Sperrung)

Da das von außen angelegte elektrische Feld in die gleiche Richtung wie das innere Feld, das die Diffusionsbewegung aufhält, zeigt, verstärkt es

dieses und damit die Driftbewegung und die Diffusion wird weiter verhindert. Es fließt ein **Driftstrom aus Minoritätsladungsträgern**. Die Elektronen des p-Gebiets und die Löcher des n-Gebiets driften in das jeweils andere Gebiet. Der resultierende Strom ist aufgrund der geringen Minoritätsträgerdichten jedoch sehr gering.

In beiden Fällen ändert sich die Breite der Raumladungszone

Diodengleichung

$$I_D = I_S \cdot \left(e^{\frac{U_{pn}}{U_T}} - 1 \right)$$

Der Diodenstrom ist Temperaturabhängig, der Sperrstrom auch

Die theoretische Kennlinie der Diode weicht für sehr geringe Ströme von der realen Kennlinie ab, da die Rekombination der Ladungsträger in der Raumladungszone berücksichtigt werden muss. Für sehr große Ströme weicht sie ab, da die Annahme/Vorraussetzung der Schwachen Injektion nicht mehr gegeben ist. Abhilfe schafft der *Emissionskoeffizient*. Die Funktion wird dann bereichsweise beschrieben.

Kapazität

Sperrschichtkapazität

Durch Anlegen einer Spannung ändert sich die Breite der Raumladungszone und damit die Menge der eingeschlossenen Ladung (unkompensierte

Dotieratome).

Ladungsänderung durch Spannungsänderung = Kapazität

$$C_j = \frac{dQ_j}{dU_{pn}}$$

Diese ist Spannungsabhängig! (Steigt mit zunehmender Spannung U_{pn}) Die Sperrschichtkapazität dominiert im Sperrbereich

Diffusionskapazität

dominiert im Durchlassbereich

Großsignalersatzschaltung

Spannungsgesteuerte Stromquelle parallel Kapazität (Diffusionskapazität + Sperrschichtkapazität)

Transitzeit

Dioden schalten nicht unendlich schnell von Durchlass in Sperrichtung, da bei Umpolung zuerst die in der Diode befindliche Ladung (Kapazität, Diff. oder Sperrschicht) ausgeräumt werden muss. Ein Maß dafür ist die *Transitzeit*.

Kleinsignalersatzschaltung

Beschreibt das Verhalten bei **kleinen Aussteuerungen um einen festen Arbeitspunkt** Dazu annäherung der Werte um den Arbeitspunkt durch eine Gerade, dessen Steigung der Leitwert

$$g_D = \frac{dI_D}{dU_{pn}}$$

an der Stelle des Arbeitspunktes ist. Damit ist

$$i_D = g_D \cdot u_{pn}$$

Me-HL-Kontakte

Metall-Halbleiterkontakte können Schottky-Kontakte sein, wenn die Austrittsarbeit der Elektronen im Halbleiter geringer ist als die im Metall oder Ohmsche Kontakte sein, wenn die Austrittsarbeit der Elektronen im Halbleiter höher ist als die im Metall. Vom Material mit der geringeren Austrittsarbeit gelangen Elektronen einfacher in das Material mit höherer Austrittsarbeit. Ohmsche Kontakte können an Metall-Halbleiter-Kontaktstellen erreicht werden, indem man den Halbleiter an den Kontaktstellen sehr hoch dotiert, da so die Raumladungszone der Metall-HL-Diode sehr klein wird und Elektronen diese einfach durchtunneln können. Dadurch entsteht ein ohmscher Charakter des Übergangs.