

Chapter 11

Halbleiter

Charakteristika:

- Metallischen Glanz aber kein Metall
- Negativer Temperatur Koeffizient $\rho \uparrow \quad T \downarrow$
- Photoleitfähigkeit
- Eigenschaften können von Verunreinigungen empfindlich abhängen

Materialien: 4.hauptgruppe: Si,Se, Ga,Teller, P, B, Verbindungen III-V: GaAs, InSb II-VI: ZnS,CdS IV-IV: SiC
Elektrischer Widerstand

Metall $\rho = 10^{-7}$ bis $10^{-8} \Omega m$ isolator $\rho > 10^{12} \Omega m$ Halbleiter $\rho = 10^{-4}$ bis $10^7 \Omega m \exists$ Bandlücke, kleiner als bei Isolatoren bei $T=0$ Halbleiter sind Isolatoren $T \neq 0$ Wahrscheinlichkeit für eine Thermische Anregung $E_g > 0, 1 \dots 2 eV \quad E \propto e^{-\frac{E_g}{2kT}}$

Intrinsische Halbleiter: Eigenschaften werden durch Thermische anregung bestimmt Extrinsische Halbleiter: Eigenschaften werden durch Dotierung von Frembatomen bestimmt

1) Intrinsische HL

- a) Bandlücke und optische Abstände Indirekter Übergang Impuls wird durch Phonon gewährleistet;
Kristallimpulserhaltung Übergang hängt von Phononenspektrum ab und daher von der Temperatur abhängig. Photon: große Energie, kleiner Impuls; Phonon: kleine Energie, großer Impuls

Direkter Übergang

schwache Temperaturabhängigkeit (vgl $1500 nm \approx 0,8 eV$)

- b) Effektive Massen von Elektronen und Löchern

Bandkrümmung in der Nähe des Übergangs,; Parabolische Näherung:

$$E_n = E_L + \frac{\hbar^2 k^2}{2m^*}$$

mit n=Elektronen und p=Löcher. Elektronen im Leitungsband im

	Transversal	Longitudinal
Si	$\frac{m_t^*}{m_e} = 0,19$	$\frac{m_l^*}{m_e} = 0,19$
Ge	$\frac{m_t^*}{m_e} = 0,082$	$\frac{m_l^*}{m_e} = 1,57$

	Transversal	Longitudinal
Löcher im Valenzband	Si $0,16 m_e$	$0,49 m_e$
	leicht Loch	schweres Loch

	Transversal	Longitudinal
<i>GaAs</i> Löcher	$\frac{m_t^*}{m_e} = 0,12$	$\frac{m_l^*}{m_e} = 0,61$
	leicht	schwer
	leicht Loch	schweres Loch

- c) Metall-Halbleiter Übergang

Austrittsarbeit ϕ zum Vakuum. Die Austrittsarbeit bestimmt die el. Eigenschaft.

n-Dotiert: $\phi_{HL} > \phi_{ME}$ ohmscher Kontakt $\phi_{HL} < \phi_{ME}$ blockierender Kontakt (Schottky-Kontakt).
 An der Grenzfläche entsteht eine Hochohmige Verarmungszohne. Elektronen fließen ins Metall

p-Dotiert: genau andersherum

2) Dotierte HL

- a) Spezifischer Widerstand hängt von der Konzentration der Verunreinigung ab.
- b) Donatoren: liefern zusätzliche Elektronen ins Leitungsband: P, As, Sb; haben eine höhere Valenz
 Akzeptoren: liefern zusätzliche Löcher in Valenzband. niedrigere Valenz als das Wirtsmaterial:
 B, Al, Ga, In
- Modell: Donator verhält sich wie ein positiv geladenes Ion mit zusätzlichen Elektron. Bohr-Radius
 somit größer als beim H-Atom; Bindungsenergie $\approx 10 \text{ meV}$

3) Inhomogene HL

- a) p-n Übergang
- Angleichung des chem. Potentials (E_F)
 - Verarmung freier Ladungsträger im Bereich des Übergangs durch Rekombination mit Ladungsträgern von anderen Typ.
 - Geladenen Störstellen bleiben zurück, es entwickelt sich eine Raumladungszone

b) Schottky-Motell

Kastenförmiger Verlauf der Raumladungs-Zone; $V(x)$ = Potentialverlauf, in y, z ∞ ausgedehnt Poisson Gl:

$$\Delta V(x) = \frac{-\rho(x)}{\epsilon_0}$$

Selbstkonsistenzproblem: $\rho(x)$ hängt von $V(x)$ und umgekehrt ab. Iterativ $\rho(x) \rightarrow V(x) \rightarrow \rho(x)$

Dicke der Raumladungszone $eV_D \simeq E_g \approx 1 \text{ eV}$, $n = 10^{10}$ bis 10^{24} ; $d = 1 \mu\text{m}$ bis 10 nm ; vergl. Atom-Atom $\epsilon \approx 10^{10} \frac{\text{V}}{\text{m}}$

c) Ströme in Gleichgewicht

Diffusionsstrom. El aus dem n-HL rekombinieren mit Löchern p-HL \Rightarrow Ladungs

Feldstrom: Elektronen aus dem p-HL (Minoritätsladungsträger) werden durch das E-Feld in n-HL

Im Gleichgewicht heben sie sich auf.

Ph Übergang unter Spannung

- $E_F + eU$ muss ausgeglichen sein
- Durchlassrichtung U rec die Potentialdifferenz
- Sperrichtung Pot-Diff vergrößert
- Diode Durchlassrichtung große Leitfähigkeit; Sperrichtung kleine Leitfähigkeit