

Halbleiter Notes

Dotierung

n-Dotierung, z.B. Phosphor (5-wertig) in Silizium:

- Donatoratome:
- Ein Elektron mehr als in den Bindungen zu den Siliziumatomen notwendig:
- 5tes Elektron der Phosphoratome hat Ionisierungsenergie leicht unterhalb des Leitungsbandes des Gitters:
- Elektron geht bereits bei Raumtemperatur in das LB über und trägt zur (Elektronen-)Leitfähigkeit bei:
- Eigenleitungsdichte wird erst bei höheren Temperaturen ausgelöst, die Dichte der durch die Ionisierung entstandenen Elektronen überwiegt daher:
- Dichte der Dotieratome ist daher etwa der Dichte der Freien Elektronen. z.B. Phosphor (5-wertig) in Silizium:
- Thermodyn. Gleichgewicht .. Generierungsrate = Rekombinationsrate.. Massenwirkungsgesetz

p-Dotierung, z.B. Bor (3-wertig) in Silizium:

- Akzeptoratome:
- Ein Elektron weniger als in den Bindungen zu den Siliziumatomen notwendig:
- Ionisierungsenergie der Boratome leicht überhalb des Valenzbandes des Halbleitergitters

- Elektron des Valenzbandes kann bereits bei Raumtemperatur (Energiezufuhr) zum Elektron des Boratoms werden und es damit negativ ionisieren
- Es bleibt ein Loch im Valenzband übrig
- Loch trägt im Valenzband wie ein Elektron im Leitungsband zur Leitfähigkeit des Halbleiters bei
- Rest siehe n-Dotierung

Massenwirkungsgesetz

Im thermodynamischen Gleichgewicht (Rekombinationsrate = Generierungsrate) gilt:

$$n_i^2 = p_0 \cdot n_0$$

Da die Zunahme der Anzahl von z.B. Elektronen im Halbleiter (über die Gleichgewichtslage hinaus) eine Erhöhung der Rekombinationsrate nach

$$R(T) = r(T) \cdot n \cdot p$$

hervorruft, die Löcherdichte jedoch nicht geändert wurde, wird auch die Anzahl der Löcher/ Die Löcherdichte geringer (Rekombinationsrate steigt durch Erhöhung der einen Ladungsträgerart → andere Ladungsträgerart wird stärker 'verbraucht')

Note!

Massenwirkungsgesetz: Eine Zunahme der einen Ladungsträgerart/dichte führt zur Abnahme der anderen (im thermodyn. Gleichgewicht)

Ferminiveau

Lage des Ferminiveaus (relativ zum Intrinsic-Niveau/ Mitte zwischen beiden Bandkanten)

n-Leiter:

$$W_F = kT \cdot \ln \frac{N_D}{n_i}$$

p-Leiter:

$$W_F = -kT \cdot \ln \frac{N_A}{n_i}$$

Note!

Das Ferminiveau liegt umso näher an der Leitungsbandkante, je stärker der HL mit Donatoratomen dotiert ist (analog für p-Dotierung)

Der Begriff des Ferminiveaus ist nur im thermodynamischen Gleichgewicht sinnvoll, jedoch kann man auch bei Störungen des Gleichgewichts das Ferminiveau als Bezugspunkt verwenden. Das anlegen einer Spannung führt demnach zu einer Verschiebung des Ferminiveaus. Liegt dieses nicht waagerecht, so fließt ein Strom durch den Halbleiter.

Elektronen- und Löcherstrom

Die Gesamtstromdichte im HL setzt sich aus Elektronen- und Löcherstromdichte zusammen

$$j = j_n + j_p$$

Elektronen- und Löcherstrom bestehen im HL aus dem *Drift*- und dem *Diffusionsstrom*.

Driftstrom:

$$j_{Drift,n} = -q \cdot n \cdot v_n$$

$$j_{Drift,p} = q \cdot n \cdot v_p$$

$$j_{Drift,gesamt} = \sigma \cdot E$$

$$\sigma = q[\mu_n \cdot n + \mu_p \cdot p]$$

Diffusionsstrom:

Durch **thermische** Konzentrationsausgleichsvorgänge von Teilchen. Diese Teilchen sind im HL Löcher oder Elektronen, somit also bewegte Ladung und damit ein el. Strom. Dieser Diffusionsstrom ist proportional zum Gradienten der Ladungsträgerkonzentration

$$j_{Diff,n} = q \cdot D_n \cdot \frac{dn}{dx}$$

Wobei D_n der Diffusionskoeffizient (Einsteinbeziehung) ist. (analog für Löcher mit umgekehrten Vorzeichen)

Die gesamten Stromdichten sind damit:

$$j_n = q \cdot E \cdot \mu_n \cdot n + q \cdot D_n \cdot \frac{dn}{dx}$$

$$j_p = q \cdot E \cdot \mu_p \cdot p - q \cdot D_p \cdot \frac{dp}{dx}$$

Note!

Driftstrom: Durch el. Feld verursacht, steigt mit der Größe des el. Feldes und der Ladungsträgerdichte

Diffusionsstrom: Durch Konzentrationsunterschiede der Ladungsträgerdichte verursacht, vom el. Feld unabhängig.

Beweglichkeit

Die Beweglichkeit μ beschreibt das Streuverhalten bzw. die *Ungehindertheit driftender Ladungsträger*.

Note!

$$v_D = \mu \cdot E$$

Für Elektronen und Löcher gibt es im HL unterschiedliche Beweglichkeiten (μ_n, μ_p). Die Beweglichkeit ist temperatur- und feldstärkeabhängig. Die Driftgeschwindigkeit geht bei hohen Feldstärken in Sättigung, weshalb die Beweglichkeit nicht konstant ist.

Injektionen

Betrachtet wird der Fall der Störung des thermodynamischen Gleichgewichts des Halbleiters

Schwache Injektion

(Mit Beispiel eines n-Leiters) Die Minoritätsträgerdichte (p_n) ist gegenüber der Majoritätsträgerdichte (n_n) sehr gering. Die Majoritätsträgerdichte ist nur leicht höher als die Majoritätsträgerdichte im Gleichgewichtszustand (n_0)

$$n_n \approx n_0, \quad n_n \gg p_n$$

Starke Injektion

Majoritätsträgerdichte und Minoritätsträgerdichte liegen deutlich über den Gleichgewichtswerten.

$$n_n \approx p_n, \quad n_n \gg N_D$$