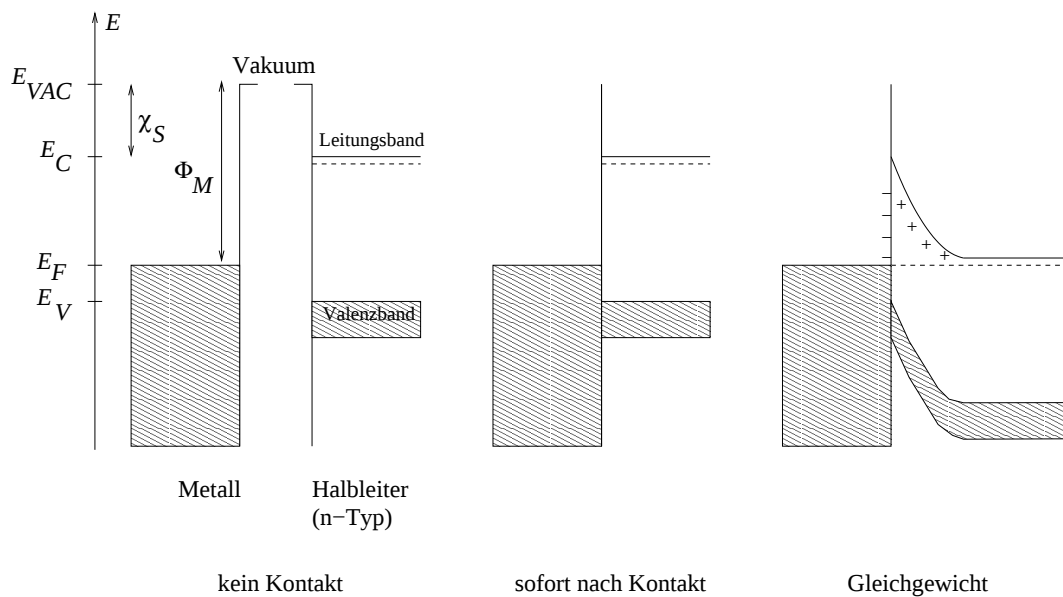


# Übungen zur Festkörperphysik I

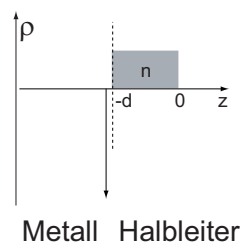
## Lösungen zu Serie 10

### 1 Schottky-Kontakt zwischen einem Metall und einem Halbleiter

a) Bandverlauf



b) Ladungsverteilung



c) Verlauf der Leitungsbandkante Die eindimensionale Poissonsgleichung lautet  $\frac{\partial^2}{\partial z^2} \varphi_c = -\frac{N_D e}{\epsilon \epsilon_0}$  und zweifache Integration liefert

$$\varphi_c = -\frac{N_D e}{2\epsilon \epsilon_0} z^2.$$

Die Integrationskonstanten können Null gewählt werden. Sei  $\Phi_b = \Phi_M - \chi_S$  ( $\Phi_b \approx E_C(0) - E_C(\infty)$ ). Aus der Bedingung  $-e\varphi_c(-d) = \Phi_b$  ergibt sich die Dicke der Verarmungsschicht.

$$d = \sqrt{\frac{2\epsilon \epsilon_0 \Phi_b}{N_D e^2}}$$

d) Für die angegebenen Parameter ist  $d \approx 60 \text{ nm}$ .

e) Wird zusätzlich eine kleine Spannung  $V$  angelegt, ersetzt man  $\Phi_b \rightarrow \Phi_b + eV$  und erhält

$$d = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{N_D e^2} \Phi_b} \sqrt{1 + \frac{eV}{\Phi_b}} = \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0}{N_D e^2} \Phi_b} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{eV}{\Phi_b}\right) + \mathcal{O}\left(\left(\frac{eV}{\Phi_b}\right)^2\right).$$

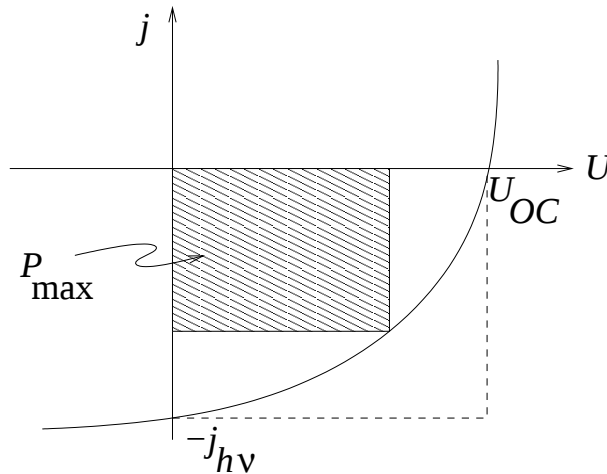
f) Die Kapazität ist  $C = \frac{\partial Q}{\partial V}|_{V=0}$ , also mit  $Q = N_D A d e$  ist

$$\frac{C}{A} = \frac{e}{2} \sqrt{\frac{2\varepsilon\varepsilon_0 N_D}{\Phi_b}}.$$

Für unsere Parameter ist  $C/A \approx 1.8 \text{ mF m}^{-2}$ . Eine Fläche von  $556 \text{ } \mu\text{m}^2$  ergibt eine Kapazität von  $1 \text{ pF}$ .

Die Lösung ist auch in *Kittel, Introduction to Solid State Physics* zu finden.

## 2 Theoretischer Wirkungsgrad einer Solarzelle



a) Der Kurzschluss-Strom, wie man in der  $j - V$  Charakteristik ablesen kann, ist genau der maximale Photostrom bei  $U = 0$ . Also:  $j_{h\nu} = 0.9en_{\text{ph}} = 0.058 \text{ Acm}^{-2}$ . Eine sehr grobe Abschätzung der maximalen Spannung bei offenem Stromkreis (OC: open circuit) erhält man mit der Energielücke:  $U_{OC} = E_{\text{gap}}/e = 1 \text{ V}$  für Silizium. Daraus berechnet man die maximale Leistungsabgabe  $P_{\max}$  wie folgt:

$$|P_{\max}| = |U_{OC} j_{h\nu}| = 0.058 \text{ Wcm}^{-2}$$

Die Abschätzung für den maximalen Wirkungsgrad ergibt damit:

$$\eta = \frac{P_{\max}}{S_0} = 43 \%$$

Der Flächeninhalt des Rechtecks, welches mit unterbrochener Linie in der Graphik dargestellt ist, stellt die maximale Leistung dar, wie sie hier abgeschätzt wurde.

- b) Da bei a) die maximale Leistung überschätzt worden ist (siehe Figur) berechnen wir jetzt das Maximum der Leistung aus der  $j - V$  Charakteristik:

$$P = jU = j_s U \left( \exp \left( \frac{eU}{k_B T} \right) - 1 \right) - j_{h\nu} U$$

Das Maximum der Leistung  $P$  findet man aus  $dP/dU = 0$ :

$$j_s \left( \exp \left( \frac{eU}{k_B T} \right) - 1 \right) + j_s U \left( \frac{e}{k_B T} \right) \exp \left( \frac{eU}{k_B T} \right) - j_{h\nu} = 0$$

Mit der Substitution  $x = \frac{eU}{k_B T}$  folgt:  $(1+x)e^x = 1 + j_{h\nu}/j_s = 5.8 \cdot 10^{11}$  Diese transzendente Gleichung ist numerisch lösbar und hat bei  $x = 23.8726$  eine Nullstelle, d.h. bei  $U_{\max} = 23.8726 \, k_B T / e = 0.618 \, \text{V}$  wird die Leistung maximal. Setzt man diesen Wert in der  $j - V$  Charakteristik ein so erhält man  $j_{\max} = 0.055 \, \text{Acm}^{-2}$ . Damit wird die maximale Leistung  $P_{\max} = 0.034 \, \text{Wcm}^{-2}$  und der maximale Wirkungsgrad beträgt:

$$\eta = \frac{|P_{\max}|}{S_0} = 25 \, \%$$

Der realisierbare Wirkungsgrad ist kleiner, da wir weitere Verluste zu berücksichtigen hätten. Was können wir von der Sonnenenergie im Idealfall erwarten? Eine grobe Abschätzung möge es verdeutlichen. Die Sonne bestrahlt uns beständig mit einer Leistung von  $1.7 \cdot 10^{17} \, \text{W}$ . Am Erdboden kommen unter günstigen Bedingungen (klare Luft) 70% davon an. 30% der Erdoberfläche sind Land, davon 0.2% Wüsten, die optimal bestrahlt und anderweitig nicht genutzt werden. Würde man die auf sie entfallende Leistung zu 20% nutzen können, so wären das

$$1.7 \cdot 10^{17} \, \text{W} \cdot 0.7 \cdot 0.3 \cdot 0.002 \cdot 0.2 = 14 \cdot 10^{12} \, \text{W} = 14 \, \text{Terawatt}$$

Das ist ungefähr so viel, wie heute schon verbraucht wird! Was bedeutet dies? Die Menschheit könnte allein mit Sonnenenergie im Prinzip beliebig lange existieren. Sie dürfte aber ihren Aufwand über das heutige Mass hinaus nicht mehr wesentlich steigern. Beachte, dass auch noch weitere Probleme, wie z.B. der Transport der erzeugten Energie, hier nicht berücksichtigt sind.