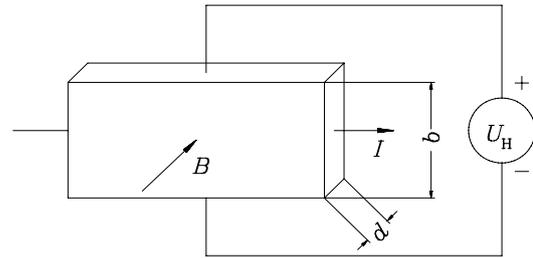


## Elektronische Eigenschaften der Festkörper

1. Wie groß sind die Wellenlängen der Linien der BALMER-Serie beim Wasserstoffatom? Welche liegen im sichtbaren Spektralbereich?
2. Wie groß ist die minimale Energie, die von einem Wasserstoffatom im Grundzustand absorbiert werden kann?
3. Die Dichte von Lithium beträgt  $\rho = 0,534 \text{ g/cm}^3$ . Wie groß ist die FERMI-Energie  $E_F$  von Lithium ?
4. Die FERMI -Energie von Kupfer beträgt  $E_F = 7 \text{ eV}$ . Mit welcher Wahrscheinlichkeit wird das Energieniveau bei  $E_1 = 7,1 \text{ eV}$  über der Leitungsbandkante besetzt? Zeichnen Sie die Wahrscheinlichkeit für die Besetzung dieses Zustandes auf als Funktion der Temperatur für  $0 \leq T \leq 1000 \text{ K}$ . Ermitteln Sie auch die Wahrscheinlichkeit, mit der das Energieniveau  $E_2 = 6,9 \text{ eV}$  besetzt ist.
5. Wie groß ist bei  $T_1 = 300 \text{ K}$  und  $T_2 = 350 \text{ K}$  die Wahrscheinlichkeit für die Besetzung von Energieniveaus an der Leitungsbandkante des Halbleiters Silicium mit Elektronen, wenn das FERMI-Niveau
  - a) in der Mitte des verbotenen Bandes liegt (Eigenleitung),
  - b)  $0,05 \text{ eV}$  unterhalb der Leitungsbandkante (n-Dotierung)?
6. Nach halbklassischen Vorstellungen bewegt sich das schwach gebundene fünfte Elektron eines Donators auf einer BOHRschen Bahn um seinen Kern. Dabei wird die Abschirmung der COULOMBSchen Bindungskraft infolge der Rumpfelektronen durch die Einführung einer Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon_r$  beschrieben. Dem Einfluß des Kristallgitters auf die Bewegung des Elektrons wird dadurch Rechnung getragen, dass anstelle der Ruhemasse  $m_e$  des Elektrons die effektive Masse  $m^*$  benutzt wird. Berechnen Sie den BOHRschen Radius  $r_1$  und die Bindungsenergie für die Werte  $\epsilon_r = 4$  und  $m^* = 0,1 m_e$ .
7. An einer Si-Halbleiterprobe der Länge  $l = 2 \text{ cm}$  und des Querschnitts  $A = 1 \text{ cm}^2$  mit einer Dotierung von  $n_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  Sb-Atomen wird bei Raumtemperatur der Widerstand  $R = 10 \Omega$  gemessen. Wie groß ist die Beweglichkeit der für den Stromtransport verantwortlichen Ladungsträgersorte?
8. Ein Germaniumkristall ist mit  $2,8 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  Phosphor-Atomen dotiert.
  - a) Wie groß ist der mittlere Abstand zwischen den P-Atomen?
  - b) Welcher Bruchteil der Ge-Atome ist durch P-Atome ersetzt?
9. Infolge der unterschiedlichen Beweglichkeiten von Elektronen und Löchern wird der maximale spezifische Widerstand von Germanium nicht bei Eigenleitung sondern bei schwacher p-Dotierung erreicht. Bei welcher Akzeptorkonzentration wird der spezifische Widerstand von Ge bei Raumtemperatur maximal?

10. Ein dotierter Ge-Kristall soll als Temperatursensor bei tiefen Temperaturen verwendet werden. Zur Kalibrierung mißt man seinen Widerstand bei der Temperatur flüssigen Heliums und flüssigen Wasserstoffs. Folgende Werte wurden gemessen:  
 $R(4,2 \text{ K}) = 538 \text{ k}\Omega$ ,  $R(20,4 \text{ K}) = 0,45 \Omega$ .
- Bestimmen Sie die Ionisierungsenergie der Störstelle. Mit welcher Substanz wurde der Halbleiter dotiert? Nehmen Sie zur Berechnung an, daß sich die Beweglichkeit mit der Temperatur nicht ändert.
  - Welche Temperatur herrscht in einem Kryostaten, in dem der Widerstand des Sensors  $R = 15 \text{ M}\Omega$  beträgt?
11. Bei einem Zyklotronresonanzexperiment an einem Halbleiter tritt Resonanz auf bei einer Flussdichte  $B = 0,11 \text{ T}$ . Die Frequenz des eingestrahlten HF-Feldes beträgt  $f = 24 \text{ GHz}$ . Wie groß ist die effektive Masse  $m^*$  der beweglichen Ladungsträger?
12. Ein Ge-Kristall wird mit monochromatischem Licht bestrahlt, für welches der Absorptionskoeffizient  $\alpha = 100 \text{ cm}^{-1}$  beträgt. Die im Vergleich zu  $\alpha^{-1}$  dünne Probe wird einem Lichtquantenfluss von  $I_0 = 10^{16} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ausgesetzt. Die Minoritätsträgerlebensdauer beträgt  $\tau = 100 \mu\text{s}$ , die Gleichgewichtsdichte der Majoritätsträger ist  $n_0 = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ . Wie groß ist die relative Änderung  $\Delta\kappa/\kappa$  der Leitfähigkeit?
13. Gegeben ist ein abrupter p,n-Übergang in Ge mit  $n_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  und  $n_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ , die Lebensdauer betrage  $\tau = 5 \mu\text{s}$ . Berechnen Sie jeweils für  $U = 0$ ,  $+0,2 \text{ V}$  sowie  $-0,2 \text{ V}$ :
- Die Minoritätsträgerkonzentrationen am p- und n-seitigen Rand der Raumladungszone,
  - die Minoritätsträgerdiffusionsströme an den Rändern der RLZ,
  - den Majoritätsträgerstrom an den Rändern der RLZ sowie in einer Entfernung von mehr als  $1000 \mu\text{m}$  von der RLZ.
14. Legt man an einen p,n-Übergang die Vorwärtsspannung  $U = 0,1 \text{ V}$  an, so ist sein Widerstand  $R_V = 10 \Omega$ . Wie groß ist der Widerstand, wenn die Spannung umgepolt wird?
15. Zeichnen Sie eine ideale Diodenkennlinie auf, wenn der Sperrsättigungsstrom  $I_S = 500 \text{ pA}$  beträgt. Zeichnen Sie dazu zwei Diagramme mit verschiedenen Spannungsbereichen:
- $-100 \text{ mV} \leq U \leq +50 \text{ mV}$ ,
  - $-200 \text{ mV} \leq U \leq +500 \text{ mV}$ .
16. Ein Metall emittiert Photoelektronen mit Energien bis zu  $E_{\text{max}} = 3 \text{ eV}$ , wenn es Photonen der Energie  $hf = 7 \text{ eV}$  absorbiert. Die maximale kinetische Energie der Leitungselektronen beträgt  $5 \text{ eV}$ .
- Wie groß ist die FERMI -Energie?
  - Wie groß ist die Austrittsarbeit?
  - Wie tief ist der Potentialtopf?
  - Wie viel kinetische Energie  $\Delta E_{\text{kin}}$  verliert ein Elektron beim Verlassen des Metalls?

17. An einer Halbleiterprobe mit den Abmessungen  $b = 1 \text{ mm}$  und  $d = 0,25 \text{ mm}$  wird bei einem Strom von  $I = 0,1 \text{ A}$  und der Induktion  $B = 1 \text{ T}$  die Hallspannung  $U_H = 0,8 \text{ V}$  gemessen. Wie groß ist die Trägerdichte, wenn nur eine Trägersorte in Betracht gezogen wird, und um welche Trägersorte handelt es sich?



18. Enthält ein Halbleiter beide Ladungsträgersorten in vergleichbarer Konzentration, so ergibt sich durch die Überlagerung der Ströme  $j_n$  und  $j_p$  folgende HALL-Konstante:

$$A_H = \frac{1}{e} \frac{p\mu_p^2 - n\mu_n^2}{(p\mu_p + n\mu_n)^2}$$

- Bei welcher Löcherkonzentration  $p$  dreht sich das Vorzeichen der HALL-Konstante um? Berechnen Sie ein Zahlenbeispiel für Germanium.
- Wie groß ist dafür die erforderliche Akzeptorenkonzentration  $n_A$ ?
- Wie lautet die Beziehung für die HALL-Konstante für einen p-Halbleiter mit  $p \gg n$ ?