ÜBUNGSBLATT 9

Beispiel 32 (Flache Störstellen in Halbleitern):

Die Einelektronen-Schrödingergleichung für einen Kristall, in welchem ein Gitteratom durch ein Fremdatom ersetzt wird (punktförmige Störung), kann durch eine Reihe von vereinfachenden Voraussetzungen in eine Effektivmassengleichung überführt werden.
In einem isotropen Zweibandmodell lautet diese z.B. für Donatorzustände (ein zusätzliches Valenzelektron des Dotieratoms):

$$\left(-\frac{\hbar^2}{2m_c^*}\Delta - \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r r}\right)F_c(r) = (E - E_g)F_c(r)$$

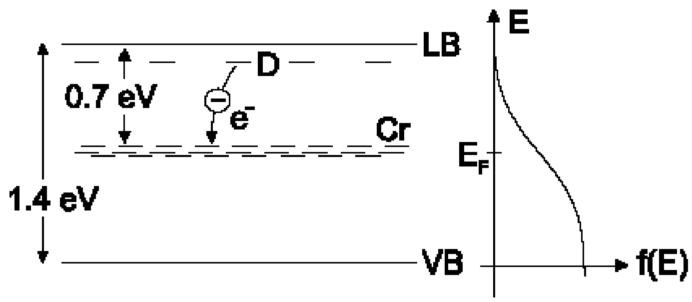
wobei $F_c(r)$ die Einhüllende der Wellenfunktion des Elektrons im Halbleiter ist.

(a) Schätzen Sie für wasserstoffähnliche Donatorzustände die Bindungsenergien nahe dem Leitungsband und die dazugehörigen Bohrradien für InSb (ε_r=17, m_c^*= 0.014) für GaAs (ε_r=13, m_c^*= 0.067) und für Si (ε_r=11.9, $m_{c.t}^*$= 0.19, $m_{c.l}^*$= 0.92) ($m_{c.t}^*$ und $m_{c.l}^*$ sind die transversale und longitudinale Massen) ab.

(b) Vergleichen Sie die so erhaltenen Bindungsenergien mit experimentell bestimmten Werten typischer Donatoren (Literatur). Womit lassen sich bei Si die Abweichungen zum Wasserstoff-Modell qualitativ erklären ?

Beispiel 33 (Substrate in der Mikroelektronik):

Halbleitersubstrate in der Mikroelektronik sollen eine möglichst geringe Leitfähigkeit haben, um Leckströme zwischen benachbarten Bauelementen zu minimieren. Verschiedene Dotierungen (in GaAs) verändern die spezifische Leitfähigkeit.



(a) Berechnen sie die spezifische Leitfähigkeit $\sigma = e(\mu_n n+\mu_p p)$ von *reinem* GaAs bei Raumtemperatur (T=300K).

(b) In der Praxis haben aus der Schmelze gezogene GaAs-Kristalle typisch 10^{14} Störstellen/cm^3. Nehmen Sie an, dass es sich dabei um Donatoren (wenige meV unterhalb der Leitungsbandkante) handelt und dass alle Störstellen ionisiert sind. Wie hoch ist dann die spezifische Leitfähigkeit?

(c) In GaAs bringt man daher Cr als tiefe Akzeptoren ein, um die unbeabsichtigt vorhandenen flachen Donatoren zu kompensieren und das Substrat „semi-isolierend“ zu machen. Dabei wird Cr so hoch gewählt (~ 10^{18} cm^{-3}), dass alle Elektronen eingefangen werden. Aus der Ladungsneutralität ergibt sich unter Berücksichtigung der Besetzungsstatistik für die Akzeptoren, dass das Ferminiveau aufgrund der hohen Cr-Dichte in der Bandmitte (0,7 eV unter der Leitungsbandkante) „gepinnt“ wird. Berechnen Sie die spezifische Leitfähigkeit.

Beispiel 34 (Fermi's goldene Regel):

Gegeben sei ein eindimensionaler, unendlich tiefer Potentialtopf der Breite L. Wird der Quantentopf mit Laserlicht der Energie $\hbar\omega = E_2 - E_1$ bestrahlt, so werden Elektronen aus dem Grundzustand φ_1 in den angeregten Zustand φ_2 gehoben. Die Übergangswahrscheinlichkeit kann mittels Fermi's goldener Regel berechnet werden. Sie ist proportional zum Quadrat des sog. Dipol-Matrixelements

$$\mu_{1\to 2} = e\int \varphi_2^*(x)x\,\varphi_1(x)dx$$

Ist das Matrixelement Null, so bezeichnet man den Übergang als verboten.

(a) Berechnen Sie $\mu_{1\to 2}$ (unendlich tiefer Potentialtopf , eindimensional).

(b) Berechnen Sie den Übergang $\varphi_1 \to \varphi_3$.

(c) Um die relative Stärke optischer Übergänge in einem System vergleichen zu können, definiert man in der Quantenmechanik die sogenannte ***Oszillatorstärke*** $f_{i\to j} = \frac{2m(E_j - E_i)}{\hbar^2 e^2}\left|\mu_{i\to j}\right|^2$.

Sie erfüllt die sog. ***Thomas-Reiche-Kuhn-Summenregel*** $\sum_j f_{i\to j} = 1$.

Berechnen Sie hier $f_{1\to 2}$ und interpretieren Sie das Ergebnis.

Beispiel 35 (Photoleitungsdetektor):

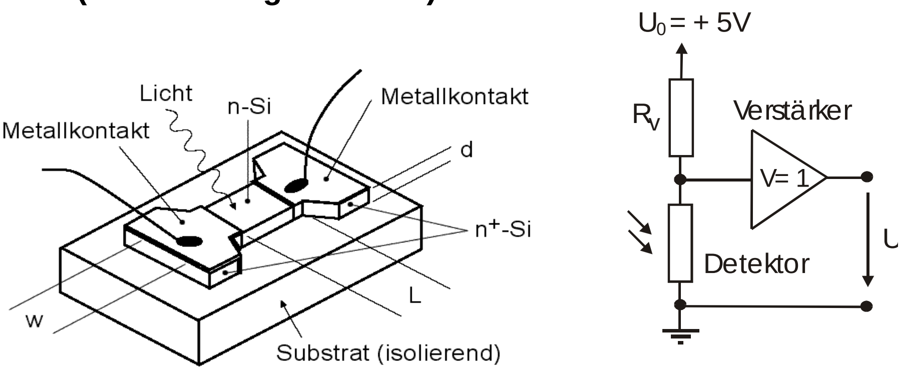


Abbildung: Aufbau und Beschaltung eines Silizium-Photoleitungsdetektors. Das Detektorelement besteht aus n-dotiertem Si ($N_D = 5\cdot 10^{15}$ cm^{-3}); die Abmessungen betragen: $w = L = 100$ µm und $d = 1$ µm. Der elektrische Widerstand der n^+-Kontaktschichten und der Metallkontakte kann vernachlässigt werden.

(a) Wie groß ist der elektrische Widerstand R des Detektors bei Raumtemperatur (T = 300 K) ohne Beleuchtung?

Das Detektorelement wird homogen ausgeleuchtet (800 nm Wellenlänge). Die optische Leistung beträgt 0.1 mW. Mit einer Quanteneffizienz von 20% ergibt sich ein Generationsrate G [s^{-1}cm^{-3}] von 8 10^{21} cm^{-3}s^{-1} .

(b) Wie groß ist der elektrische Widerstand R des Detektors (T = 300 K) bei Beleuchtung? Die Rekombinationszeit beträgt τ_{rec} = 10 µs.

(c) Wie ist der Vorwiderstand R_V zu wählen, damit der Spannungshub $\Delta U = U_{(\text{ohne Licht})} - U_{(\text{mit Licht})}$ am Ausgang des Verstärkers (V = 1, Eingangswiderstand $\to \infty$) bei gegebener Beleuchtung maximal wird?