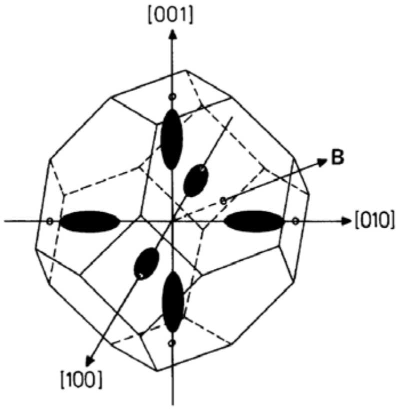
Übung 7:
Ue07_HTNS_PT_WS14

<table>
<tr><td>1</td><td>
Zyklotron-Resonanz in Silizium



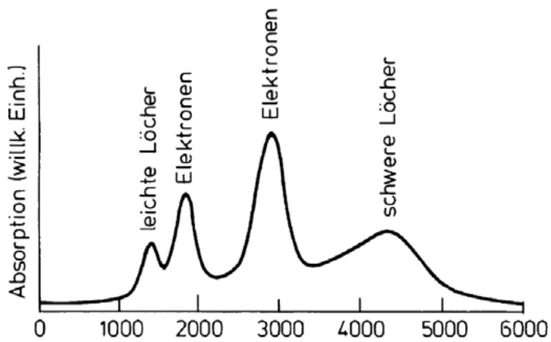


Abb. links: Flächen konstanter Energie um das Minimum des Leitungsbandes in Silizium. Rechts: Zyklotron-Resonanz-Absorption für Si bei einer Orientierung des Magnetfeldes in der (110)-Ebene und einem Winkel von 30° zur [001]-Richtung, in Einheiten von Gauss = 10-4 Tesla. (Zyklotronfrequenz: ω = 1.5 x 10^{11} Hz)

a) Erklären Sie, bezugnehmend auf die gezeigten Zyklotron-Resonanzdaten von Silizium und die Geometrie der entsprechenden Leitungsband-Ellipsoide, warum nur zwei Elektronen-Resonanzpeaks auftreten, obwohl es sechs Elektronentaschen gibt!

b) Aus einer Veröffentlichung von Dresselhaus et al. aus dem Jahre 1955 entnimmt man eine Bedingung für die Zyklotronresonanzfrequenz eines Halbleiters mit longitudinaler effektiven Masse m_l und einer transversalen effektiven Masse m_t gemäß folgender Formel:

$\omega^2 = \omega_t^2 \cos^2(\theta) + \omega_t\omega_l \sin^2(\theta)$ mit Zyklotronresonanzfrequenzen $\omega_t = \frac{eB}{m_t}$ und $\omega_l = \frac{eB}{m_l}$

Bestimmen Sie hieraus die effektive Zyklotronresonanzmasse.

(Ergebnis: $\left(\frac{1}{m*}\right)^2 = \frac{\cos^2(\Theta)}{m_t^2} + \frac{\sin^2(\Theta)}{m_t m_l}$) Der Winkel θ entspricht dem Verkippungswinkel zur longitudinalen Achse der Brilloin Zone.
</td></tr>
<tr><td>2</td><td>
Ein Halbleiter ist mit Donatoren der Dichte N_d=1E17cm^{-3} dotiert. Die Bindungsenergie der entsprechenden Wasserstoffartigen Bindung beträgt Ed=45 meV.

a) Bestimmen Sie die Besetzungsdichte n_d für zwei Fälle a1) Die Lage des Fermi-Niveaus liegt 3kT unterhalb des Donatorzustandes. A2) Die Lage des Fermi-Niveaus liegt 3kT oberhalb des Donatorzustandes. Erstellen Sie ein Skizze der Lage der Niveaus im Bänderchema. Geben Sie in diesen Fällen an wie hoch die Elektronendichte im Leitungsband dann jeweils wäre.

b) Betrachten Sie das Ergebnis für sehr kleine Temperaturen, d. h. nehmen Sie an die Temperatur ist nur 0,1K, dann ist kT=8,6E-6 eV. Interpretieren Sie mit dieser Annahme das Ergebnis von Aufgabe a).

c) Bestimmen Sie die Zustandsdichte Nc bei Raumtemperatur. Die effektive Masse
</td></tr>
</table>

für Si ist 0.98 m_e mit der Elektronenmasse m_e.

d) Bestimmen Sie für die Lage des Fermi-Niveaus E_f=E_D-78meV die Konzentration der Elektronen im Leitungsband bei T=300K nach der Formel $n = N_c e^{-(Ec-Ef)/(kT)}$. Sie stellen fest, dass diese Konzentration zu hoch ist!

e) Für welche Temperatur T ist bei der Lage des Fermi-Niveaus von E_f=E_D-3kT die Elektronenkonzentration n identisch mit der Elektronenkonzentration aufgrund der nicht besetzten Donator-Niveaus? Sie erhalten eine transzendente Gleichung, die sie nur mit einem Rechner graphisch bzw. durch probieren lösen können. Mit einem programmierbaren Taschenrechner geht's auch.

3 Betrachten Sie einen Metall GaAs-Übergang (Schottky-Kontakt).

Der Halbleiter ist n-dotiert mit einer Konzentration N_d. Das Fermi-Niveau ist an der Grenzfläche gepinnt, d. h. es bildet sich eine feste Schottky-Barriere aus.

a) Bestimmen Sie in der Schottky-Näherung den Potentialverlauf V(x) und den Feldstärkeverlauf E(x) im Halbleiter mit Hilfe der Poisson-Gleichung ($\Delta V = \frac{\rho}{\varepsilon}$): Im 1D-Fall lautet sie: $\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = \frac{-\rho}{\varepsilon}$

Das E-Feld ergibt sich als $E = -grad(V)$ im 1-D-Fall gilt also $E = -\frac{\partial V}{\partial x}$

Hinweis: ρ=Ladungsdichte, ε=Dielektrizitätskonstante des Halbleiters, Schottky-Näherung bedeutet, Die Ladung ist bis zur Ausdehnung der Raumladungszone w konstant eN_d und fällt dann abrupt auf null. Setze $E(w)$=0 und auch $V(w)$=0 als Randbedingung. Aus der willkürlichen Bedingung $V(w)$=0 folgt, dass $V(0)$=V_{bi} sein muss.

b) Gehen Sie vom Ergebnis aus Aufgabe a) aus. Aus der Festlegung V(w)=0 folgt, dass V(0) dem Betrage nach die built-in-Spannung ist d. h. |V(0)|=V_{bi}. Stellen Sie die Formel nach w um. Sie sollten dann die Formel für die Raumladungszonenenweite als Funktion von V_{bi} in folgender Form erhalten:

$w = \sqrt{\frac{2\varepsilon V_{bi}}{eN_d}}$, im Falle einer zusätzlich an den Schottky-Kontakt angelegten Gegenspannung V_r ersetzt man V_{bi} durch V_{bi}+V_r. Dann lautet die Raumladungszonenweite:

$$w = \sqrt{\frac{2\varepsilon(V_{bi} + V_r)}{eN_d}}$$

c) Zeichen Sie die Potentielle Energie E_{pot} eines Elektrons in diesem Potential aus Aufg. b qualitativ als Epot(x) Diagramm.

4 Bestimmen Sie die Raumladungsweiten und Kapazitäten eines GaAs-Schottky Kontaktes bei den angelegten Rückwärtsspannungen (Sperrspannungen) von 0V, 5V und 10V bei folgenden Dotierungen: (V_{bi}=0,6V, ε_r=12,9)

a) Nd=1E16 cm-3,
b) Nd=1E17 cm-3
c) Nd=1E18 cm-3

Wie sieht die C-V-Kurve (Kapazitäts-Spannungs-Kurve) qualitativ aus für Spannungen im Bereich zwischen V_r=0 und V_r=10V?