

**3. Übung (Abgabe Di. 15. November 2011 zu Beginn der Vorlesung oder spätestens bis 16:00 im Briefkasten im Sekretariat bei Frau Badow)**

---

**9. Zyklotronresonanz-Messung**

Die Äquivalenzflächen im Leitungsband von Germanium (siehe Folien 05 vom 01.11.2011, Seite 1) liegen entlang der [111]-Richtung. Ihre sphäroidale Form (= Rotationsellipsoid) kann im lokalen  $x$ - $y$ - $z$ -Koordinatensystem (d.h.  $z$ -Achse entlang [111]-Richtung) folgendermaßen beschrieben werden:

$$E(\vec{k}) = \hbar^2 \left( \frac{k_x^2 + k_y^2}{2m_t} + \frac{k_z^2}{2m_l} \right)$$

- (a) Zeigen Sie mit Hilfe der Bewegungsgleichung, dass für ein statisches Magnetfeld  $\vec{B}$  in der **lokalen**  $x$ - $y$ -Ebene die Zyklotronresonanz gegeben ist durch:  $\omega_c = e|\vec{B}|/\sqrt{m_l m_t}$ .
- (b) Bestimmen Sie nun aus der Messung (siehe Folien 05 vom 01.11.2011, Seite 2) die longitudinale effektive Masse  $m_l$  sowie die transversale Masse  $m_t$ .

*Hinweis: Siehe Online-Übungsblatt mit Hinweisen.*

(4 Punkte)

**10. Chemisches Potential**

Die effektive Masse von Elektronen  $m_e^*$  im Minimum des Leitungsbandes eines intrinsischen direkten Halbleiters sei dreimal kleiner als die effektive Masse von Löchern  $m_h^*$  im Maximum des Valenzbandes. Die Bandlücke sei  $E_g = 0.6$  eV. Bei welcher Temperatur liegt das chemische Potential  $\mu(T)$  gerade bei einer Energie, die um  $E_g/3$  unterhalb der Leitungsbandkante liegt?

(4 Punkte)

**11. Dotierung von Halbleitern**

In der Vorlesung wurde gesagt, dass die Leitfähigkeit eines Halbleiters bei Raumtemperatur um mehr als den Faktor  $10^3$  ansteigt, wenn nur jedes  $10^5$ -te Atom durch ein Fremdatom ersetzt wird. Prüfen Sie diese Behauptung für Silizium mit Phosphor-Dotierung nach! Die kubische Gitterkonstante von Si beträgt  $a_{Si} = 5.43$  Å, die Energielücke  $E_g = 1.1$  eV, die mittlere effektive Masse der Elektronen sei  $m_e^* = 0.32 m_e$ , die der Löcher  $m_h^* = 0.34 m_e$  und das Donator-Niveau von P sei 45 meV; weiter soll gelten, dass sich die Beweglichkeit  $\mu$  durch das Dotieren nicht ändere.

(4 Punkte)

**12. Bedingung für Störstellenband in  $n$ -dotiertem InSb**

InSb hat eine Bandlücke von  $E_g = 0,23$  eV und eine statische Dielektrizitätskonstante  $\epsilon = 18$ . Die Elektronen haben im Leitungsband eine effektive Masse  $m_e^*/m_e = 0.015$ .

- (a) Berechnen Sie die Anregungsenergie und den Bahnradius von Donator-Zuständen.
- (b) Bei welcher kritischen Dotierung können Überlappeffekte zwischen benachbarten Elektronenbahnen der Donator-Atome nicht mehr vernachlässigt werden? Dieser Überlapp führt in der Regel zu einem Störstellenband, durch das ein zusätzlicher Beitrag zur Leitfähigkeit entsteht, wobei sich die Elektronen durch einen *Hopping*-Mechanismus (*hopping* = hüpfen) von einer Störstelle zur benachbarten bewegen können.

(4 Punkte)