

InSb-Detektoren unter uniaxialem und hydrostatischem Druck

R. Bischof, I. Maran, W. Seidenbusch
Institut für Experimentalphysik, Universität Innsbruck
6020 Innsbruck

InSb-Zyklotronresonanzdetektoren sind Photoleitungsdetektoren für den fern infraroten Spektralbereich (FIR). Bei einer Temperatur von 4.2 K zeigen sie im magnetischen Feld zwei Resonanzen: die Zyklotronresonanz (CR) der freien Elektronen und eng benachbart dazu eine höherenergetische Störstellenresonanz (ICR). Verringert man die Temperatur, so frieren die freien Elektronen aus und der CR-Peak verschwindet, womit sich die spektrale Auflösung, gegeben durch die Einhüllende der beiden Resonanzen, erhöht. Gebräuchliche Detektoren, die mit CP4A (Chemical Polishing etchant Nr. 4A) geätzt wurden, zeigen eine Linienbreite von 8-10 cm⁻¹ bei 4.2 K und 4 cm⁻¹ bei 2 K [1]. Strasser et al. konnten [2] mit einer chemischen Poliermethode Linienbreiten von 1.3 cm⁻¹ bei 2 K erzielen.

Wasilewski et al. [3] zeigten mit einer Druckmeßzelle, daß hydrostatischer Druck ein Ausfrieren der Elektronen bewirkt. Man kann also bei höheren Temperaturen eine Verringerung des CR-Peaks und damit der Linienbreite erzielen.

Die aufwendige Druckmeßzelle läßt sich vermeiden, wenn die Detektoren auf Substrate mit unterschiedlichem Ausdehnungskoeffizienten aufgeklebt oder in geeignete Materialien eingebettet werden [4]. Das Abkühlen erzeugt dann einen annähernd uniaxialen bzw. hydrostatischen Druck.

Der Fall des uniaxialen Drucks ist theoretisch schwerer zu behandeln, weil die Bandstruktur geändert wird: die Valenzbänder spalten auf und die Differenzenergien wachsen an. Für die Änderung des Magnetfeldes für die Zyklotronresonanz (CR) ergibt sich [5],[6]

$$\frac{B_{res}(p)}{B_{res}(0)} = 1 + p \left[(B_x / B)^2 (A_{yy} + A_{zz}) + z. p. \right] + p^2 \left[(B_x / B)^2 A_{yy} A_{zz} + z. p. \right]$$

Für die Druckrichtung [110] ist

$$A_{xx} = -0.013/\text{kbar} \quad A_{yy} = -0.011/\text{kbar} \quad A_{zz} = 0.005/\text{kbar}.$$

Damit ergibt sich z.B. für eine Wellenlänge des eingestrahlt Lichts von 70 µm und B||[001] eine Verschiebung von ca. 30 mT/kbar.

Abb. 1 zeigt die Verschiebung der Zyklotronresonanz (CR) für verschiedene Substratmaterialien. Die Meßkurven "Alu1" und "Alu2" sind beide für das Substratmaterial Aluminium, nur war der "Alu2"-Detektor fast auf der ganzen Fläche aufgeklebt, "Alu1" hingegen nur an den Stirnflächen. Auch bei den übrigen Detektoren wurde darauf geachtet, die Klebefläche so klein wie möglich zu halten.

Für den Teflon-Detektor wurde der Druck aus den Ausdehnungskoeffizienten von InSb und Teflon zu 5 kbar abgeschätzt. Eine Rechnung mit obiger Formel ergab in guter Übereinstimmung 3.7 kbar.

Die Linienbreite der CR wuchs vermutlich durch Inhomogenitäten im Druck bis um einen Faktor 1.8 an. Für einen Druck oberhalb von 3.5 kbar sank die CR-Linienbreite, es konnte

aber kein Wert unter der Linienbreite eines freitragend montierten Detektors gefunden werden.

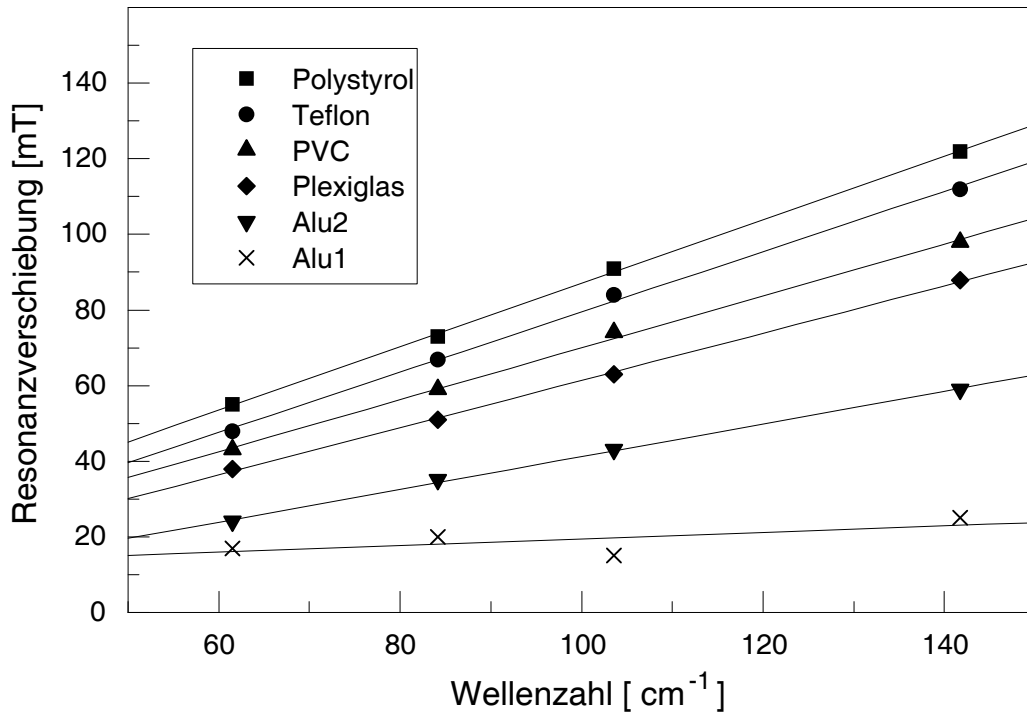


Abb. 1: Relative Verschiebung der CR-Position für InSb-Detektoren, die auf verschiedene Substratmaterialien aufgeklebt wurden, bezogen auf den freitragenden Detektor, für verschiedene Wellenzahlen.

Im Fall des hydrostatischen Drucks ist die Rechnung erheblich einfacher, weil die Kristallsymmetrie erhalten bleibt. Es genügt, nur das druckbedingte Anwachsen der Gapenergie zu berücksichtigen, das bei 15 meV/kbar liegt. Mit den Ergebnissen der kp-Theorie für das unverspannte System folgt:

$$g^*(p) = g^*(0) \frac{\varepsilon_g(0)(\Delta + \varepsilon_g(p))}{\varepsilon_g(p)(\Delta + \varepsilon_g(p))} \quad m^*(p) = m^*(0) \frac{(2\Delta + 3\varepsilon_g(0))\varepsilon_g(p)(\Delta + \varepsilon_g(p))}{(2\Delta + 3\varepsilon_g(p))\varepsilon_g(0)(\Delta + \varepsilon_g(0))}$$

Die Energie der Leitungsbandsubbänder im magnetischen Feld ist:

$$E(n, k_z, \pm) = -\varepsilon_g(p) / 2 + \sqrt{\varepsilon_g(p)^2 / 4 + \varepsilon_g(p) D(n, k_z, \pm)}$$

mit

$$D(n, k_z, \pm) = \hbar \omega_c (n + 1/2) + \frac{\hbar^2 k_z^2}{2m^*(p)} \mp |g^*| \mu_B B$$

Für $\lambda = 70 \mu\text{m}$ erhält man z.B. eine Verschiebung des CR-Peaks um 120 mT/kbar.

Abb. 2 vergleicht das Signal eines eingebetteten Detektors mit dem Signal eines freitragend montierten Detektors bei einer Wellenlänge des eingestrahlt Lichts von $70 \mu\text{m}$. Aus der Verschiebung des CR-Peaks ergibt sich ein Druck von 1 kbar.

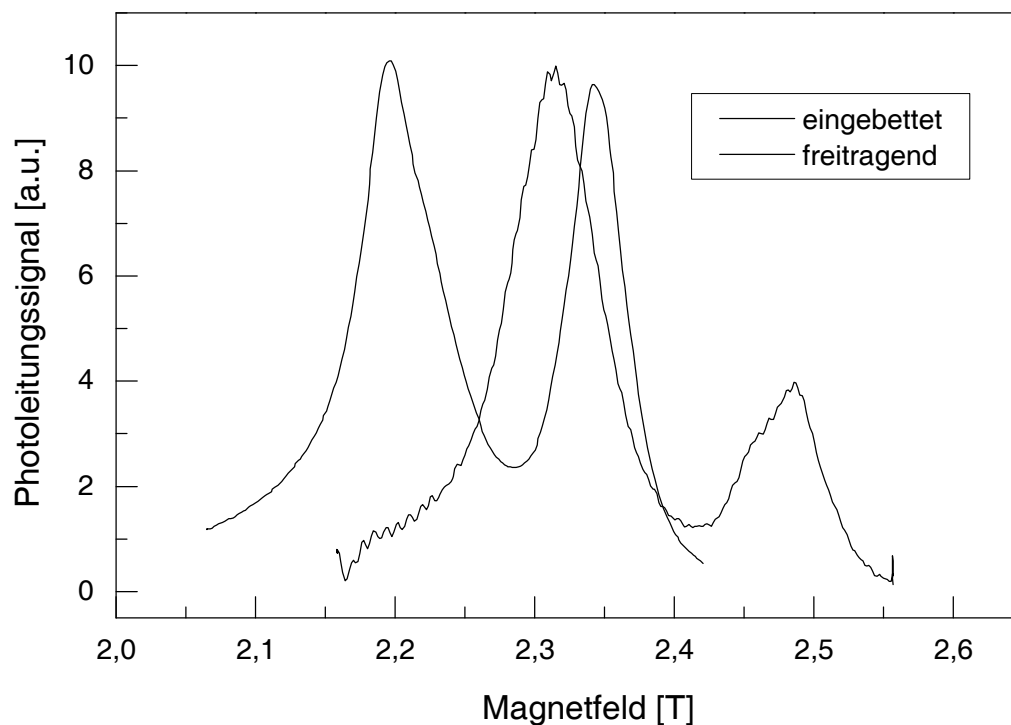


Abb. 2: Die durchgezogene Linie zeigt das Photoleitungssignal eines eingebetteten InSb-Detektors bei 4.2 K. Zum Vergleich gibt die strichlierte Linie das um das zwanzigfache verkleinerte Signal des freitragenden Detektors wieder.

Eingebettete Detektoren sind also durchaus aufgrund des zusätzlichen Ausfriereffektes bei 4.2 K für eine Erhöhung der spektralen Auflösung von Interesse. Die verringerte Empfindlichkeit des Detektors aufgrund der starken Absorption im Einbettungsmaterial sollte durch die Wahl eines anderen Materials erhöht werden können. Dies ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

Literaturverzeichnis

- [1] E. Gornik, *Physica* **127B**, 95(1984)
- [2] G. Strasser, K.Bochter, M.Witzany und E. Gornik, *Infrared Phys.* **32**,439(1991)
- [3] Z. Wasilewski, A.M.Davidson, P.Knowles, S. Porowski, R.A.Stradling in "Physics of Narrow Gap Semiconductors", ed. E. Gornik et al, Springer, 183(1991)
- [4] R. Bischof, I. Maran, W. Seidenbusch, wurde in *Infrared Physics* zur Veröffentlichung angenommen
- [5] H. Biernat, M. Kriechbaum, *Acta Physica Austriaca*, **51**,73(1979)
- [6] P. Buchberger, Diplomarbeit, Universität Innsbruck, 1993