

Praktikumsbericht Festkörperphysik

## Widerstandsmessung am Halbleiter

Nora Salgo, Manuel Sommerhalder, Fabian Stäger

Assistent: Kay Waltar



Abbildung 1: Setup of the first part

## 1 Physikalischer Hintergrund

Für das Experiment wird der Widerstand einer Siliziumprobe bei verschiedenen Temperaturen gemessen. Bei reinem Silizium handelt es sich um einen intrinsischen Halbleiter. Somit besteht die Ladungsträgerdichte zu gleichen Teilen aus einem Elektronenanteil n und einem Lochanteil p. Die elektrische Leitfähigkeit eines Halbleiters ist gegeben durch die Formel:

$$\sigma = ne\mu_e + pe\mu_h,\tag{1}$$

wobei  $\mu_e$  und  $\mu_h$  jeweils die Mobilität der Elektronen- bzw. Loch-Beiträge ist. Diese ist leicht temperaturabhängig. Die Elektronenladungsdichte n errechnet sich aus der Formel:

$$n = \int_{E_c}^{\infty} D_e(E) f_e(E) dE \tag{2}$$

mit der Zustandsdichte:

$$D_e(E) = \frac{1}{2\pi^2} \left(\frac{2m_e}{\hbar^2}\right)^{3/2} (E - E_c)^{1/2}$$
 (3)

 $(m_e$  ist die effektive Masse,  $\hbar$  die reduzierte Planck-Konstante und  $E_c$  die niedrigste Energie des Leitungsbandes) und der Fermi-Dirac-Statistik:

$$f(E,T) = \frac{1}{\exp\left(\frac{\mu - E}{k_B T}\right) + 1} \tag{4}$$

 $(\mu \text{ ist hier das chemische Potential})$  was sich mit der Näherung mu -  $\epsilon$  ;;  $k_B$  T integrieren lässt zu:

$$n = 2\left(\frac{m_e k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} \exp\left(\frac{\mu - E_c}{k_B T}\right) \tag{5}$$

Ganz analog errechnet sich die Lochdichte mit derselben Näherung zu:

$$p = 2\left(\frac{m_h k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} \exp\left(\frac{E_v - \mu}{k_B T}\right) \tag{6}$$

 $(E_v$  ist die höchste Energie des Valenzbandes). Das Produkt von n und p ist somit nur von der Temperatur abhängig:

$$np = 4\left(\frac{k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^3 (m_e m_h)^{3/2} \exp\left(\frac{-E_g}{k_B T}\right)$$
 (7)

Wobei  $E_g = E_c - E_v$  die Energiebandlücke ist. Da die beiden Ladungsdichten im intrinsischen Fall gleich gross sind, lassen sie sich durch Folgende Formel in Abhängigkeit der Bandlücke und der Temperatur beschreiben:

$$n = p = 2\left(\frac{k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{3/2} (m_e m_h)^{3/4} \exp\left(\frac{-E_g}{2k_B T}\right)$$
 (8)

Der spezifische Widerstand ist somit nach einsetzen in Formel 1:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{2(\mu_e + \mu_h)e} \left(\frac{k_B T}{2\pi\hbar^2}\right)^{-3/2} (m_e m_h)^{-3/4} \exp\left(\frac{E_g}{2k_B T}\right)$$
(9)

Der elektrische Widerstand ist somit:

$$R = A(T)T^{-3/2} \exp\left(\frac{E_g}{2k_B T}\right) \tag{10}$$

mit A(T) als leicht temperaturabhängiger Proportionalitätsfaktor.

## 2 Auswertung

Formel 10 in Kapitel 1 vereinfacht sich im Temperaturbereich des Experiments näherungsweise

$$R \approx B \exp\left(\frac{E_g}{2k_B T}\right) \tag{11}$$

mit einer thermostatischen Proportionalitätskonstante B da die Temperaturanhängigkeit der Exponentialfunktion sehr gross gegenüber dem Beitrag von  $T^{-3/2}$  und den Mobilitäten  $\mu_e$  und  $\mu_h$  ist.

Der Logarithmus der Gleichung 11 ist dann:

$$\ln(R) = \ln(B) + \frac{E_g}{2k_B}T^{-1} \tag{12}$$

Aufgrund der linearen Abhängigkeit von  $T^{-1}$  ist es sinnvoll, die Messwerte in einem Plot mit  $T^{-1}$  in der x-Achse und  $\ln(R)$  in der y-Achse darzustellen. Der dadurch entstandene Graph ist grösstenteils näherungsweise linear. Bei kleinen Temperaturen bzw grossem  $T^{-1}$  scheitert die Näherung, die in Formel 11 getroffen wurde. Die Steigung a eines linearen Fits durch den näherungsweise linearen Bereich hängt aufgrund von Gleichung 12 direkt mit der Bandlücke zusammen:

$$a = \frac{E_g}{2k_B} \quad \Rightarrow \quad E_g = 2k_B a \tag{13}$$

Dies führten wir einmal für die Messung während des Aufheizens der Probe und einmal für die Messung während des Abkühlens durch:

Der rot eingefärbte Bereich der Messkurve steht für denjenigen Bereich, den wir als näherungsweise linear angenommen haben. Der lineare Fit in der Messung während des Aufheizens hat eine Steigung von  $a_1 = \text{WERTWERTWERT}$  und einen y-Achsenabschnitt von  $b_1 = \text{WERTWERTWERT}$ . Beim Abkühlen beträgt die Steigung  $a_2 = \text{WERTWERTWERT}$ . WERT und der y-Achsenabschnitt  $b_2 = \text{WERTWERTWERT}$ .

Erstere Messung führt sodann nach Formel 13 zu einer Bandlücke von  $E_{g,1}$  = WERT-WERTWERT und letztere  $E_{g,2}$  = WERTWERTWERT.

## 3 Fabians komische Tabelle

#	m	~	$\omega_z$	$t_p$	$\omega_p$
1	$0.1\mathrm{kg}$	$0.707\mathrm{s}$	$8.89  s^{-1}$	$43.3\mathrm{s}$	$0.145  s^{-1}$
2	$0.5\mathrm{kg}$	$0.907\mathrm{s}$	$6.93  s^{-1}$	$12.1\mathrm{s}$	$0.521  s^{-1}$
3	$1.0\mathrm{kg}$	$0.566\mathrm{s}$	$11.1  s^{-1}$	$7.06\mathrm{s}$	$0.890  s^{-1}$
4	$0.1\mathrm{kg}$	$1.08\mathrm{s}$	$5.83  s^{-1}$	$62.8\mathrm{s}$	$0.100  s^{-1}$
5	$0.5\mathrm{kg}$	$0.523\mathrm{s}$	$12.0s^{-1}$	$13.8\mathrm{s}$	$0.457s^{-1}$