Universität Zürich[UZH]

Praktikumsbericht Festkörperphysik

Widerstandsmessung am Halbleiter

Nora Salgo, Manuel Sommerhalder, Fabian Stäger

Assistent: Kay Waltar

27. Juni 2017

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 μ_e und μ_h jeweils die Mobilität der Elektronen- bzw. Loch-Beiträge ist. Diese ist leicht temperaturabhängig, wobei diese vernachlässigbar klein gegenüber der Temperaturabhängigkeit der Ladungsträgerdichten n und p ist. 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:

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

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

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

(μ ist hier das chemische Potential) was sich mit der Näherung mu - ϵ ¿¿ 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:

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

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:

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

Der spezifische Widerstand ist somit nach einsetzen in Formel 1:

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

Der elektrische Widerstand ist somit:

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

mit A als Proportionalitätsfaktor.

2 Fabians komische Tabelle

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