Praktikum Materialwissenschaft – Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Metallen und Halbleitern

André Schwöbel 1328037,
Max Fries 1407149,
Jörg Schließer 1401598,
Tobias Brink 1400670
(Gruppe 17)
e-Mail: m.fries@stud.tu-darmstadt.de

Betreuer: Eric Mankel

19. Dezember 2006

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

Ziel des Versuches ist es die Temperaturabhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit von Metallen und Halbleitern zu bestimmen.

1.1 Aufbau und Versuchsdurchführung

Wir benutzten Molybdän als Metall und Germanium als Halbleiter. Diese wurden mittels einer Heizplatte[1] erwärmt. Die Messung der Leitfähigkeit erfolgte mit der Vierpunktmessmethode[2].

Wir erhöhten die Temperatur[3] des Molybdäns von $30°C$ auf $150°C$ und maßen die Spannung in $10\,K$ Abständen. Bei der Abkühlung maßen wir in $5\,K$ Abständen. Das Germanium erwärmten wir von $80°C$ auf $220°C$ und maßen in $5\,K$-Schritten.

2 Auswertung

2.1 Metall

Um den linearen Widerstandskoeffizienten α des Molybdäns zu bestimmen, betrachten wir zunächst die Funktion des spezifischen Widerstands in Abhängigkeit der Temperatur:

$$\rho(T) = \rho_0(1 + \alpha T)$$
$$\rho(T) = \rho_0 + \rho_0 \cdot \alpha T$$

Aus der allgemeinen Geradengleichung $y = ax + b$:

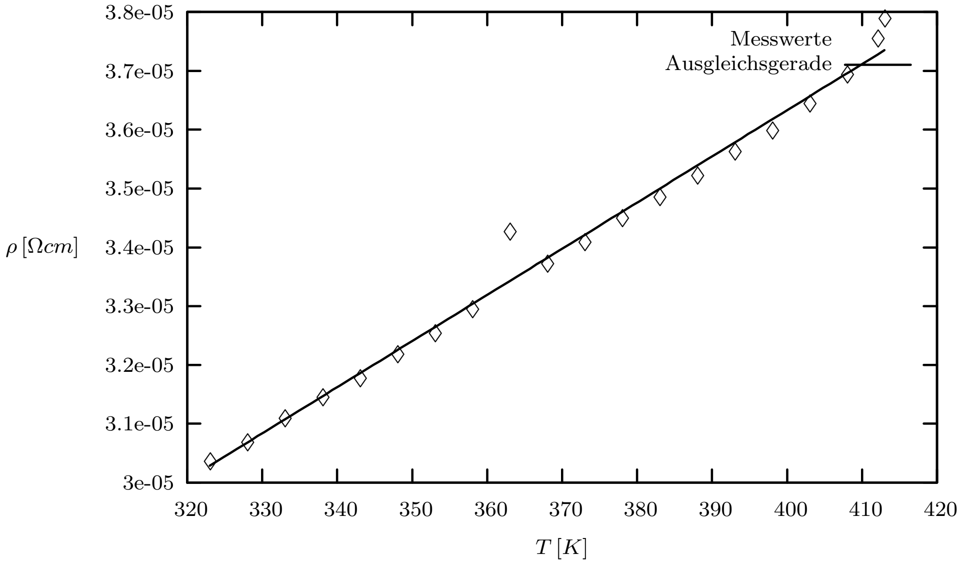
$$a = \rho_0 \cdot \alpha$$
$$b = \rho_0$$

Zur Bestimmung des linearen Widerstandskoeffizienten α:

$$\alpha = \frac{a}{\rho_0}$$

[1] Kika Labortechnik RCT-Basic
[2] Keithley-Geräte als Volt- und Amperemeter
[3] Messung mittels Greisinger GTH 1150 (NiCr-Ni) Thermometer

Nach Eingabe der Werte für das Abkühlen des Molybdäns in Gnuplot[4] erhielten wir folgende Ausgleichsgerade und Werte für die Steigung a und den y-Achsenabschnitt b:



Gnuplot Ausgabe:

```
Final set of parameters            Asymptotic Standard Error
=======================            ==========================

a               = 7.84655e-08      +/- 2.22e-09      (2.829%)
b               = 4.94326e-06      +/- 8.192e-07     (16.57%)
```

Daraus folgt:

$$\rho_0 = b = 4.94 \cdot 10^{-6}\,\Omega cm$$
$$\alpha = \frac{a}{\rho_0} = \frac{7.85 \cdot 10^{-8}}{4.94 \cdot 10^{-6}} \approx 0.0159\,K^{-1}$$

2.1.1 Aus der Praxis

Wir berechnen welche Leistung P ein Molybdänkabel der Länge $l = 2500\,km$ bei der Temperatur $T = -35°C$ an die Umgebung abgibt. Das Kabel hat einen Durchmesser $d = 0.9\,cm$ und der Spannungsabfall U beträgt $1.4\,kV$

[4] Gnuplot Version 4.0, http://gnuplot.info

Gegebene Größen:

$$
\begin{aligned}
l &= 2500\,km = 2.5 \cdot 10^8\,cm \\
T &= -35°C = 238\,K \\
d &= 0.9cm \\
\text{Radius } r &= 0.45\,cm \\
U &= 1400\,V \\
\alpha &= 0.0159\,K^{-1} \\
\rho_0 &= 4.94 \cdot 10^{-6}\,\Omega cm
\end{aligned}
$$

Rechnung:

$$
\begin{aligned}
\rho(t) &= \rho_0 \cdot (1 + \alpha T) \\
\rho(238K) &= 4.94 \cdot 10^{-6}\,\Omega cm \cdot (1 + 0.0159\,K^{-1}) = 2.36 \cdot 10^{-5}\,\Omega cm \\
A &= \pi r^2 = \frac{81}{400}\pi\,cm^2 \\
\rho &= \frac{A}{l}R \\
R &= \frac{\rho l}{A} = 9.286 \cdot 10^3\,\Omega
\end{aligned}
$$

Aus dem Ohmschen Gesetzt folgt:

$$
\begin{aligned}
I &= \frac{U}{R} = \frac{1400\,V}{9,286 \cdot 10^{-3}\,\Omega} \approx 0.151\,A \\
P &= U \cdot I = 211.07\,W
\end{aligned}
$$

Die Leistung des Kabels beträgt ca. 14% der Leistung des Föhns (ca. $1500\,W$). Damit wird man folglich nicht das ewige Eis aufschmelzen können.

2.2 Halbleiter

Wir bestimmen die Bandlücke des Germaniums mit Hilfe der Funktion der Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Temperatur.

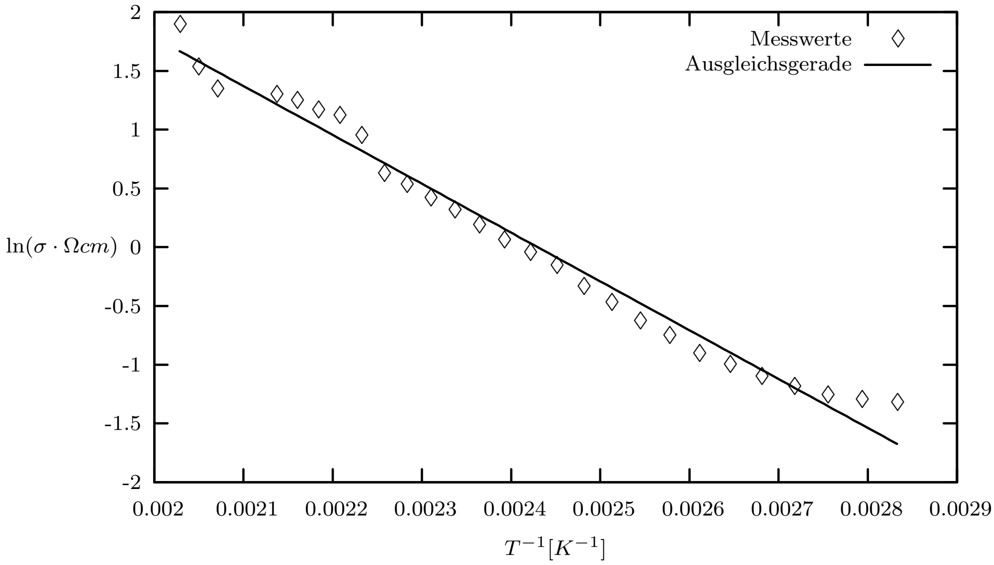
Umformen der σ-Funktion ergibt:

$$
\begin{aligned}
\sigma(T) &= \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_G}{2k_B T}\right) \\
\ln\sigma(T) &= \ln\sigma_0 - \frac{E_G}{2k_B T}
\end{aligned}
$$

Aus der allgemeinen Geradengleichung $y = ax + b$:

$$
x = \frac{1}{T} \qquad\qquad a = -\frac{E_G}{2k_B}
$$

Nach Eingabe der Werte[5] in Gnuplot erhielten wir folgende Ausgleichsgerade und Werte für die Steigung a und den y-Achsenabschnitt b:



Gnuplot Ausgabe:

```
Final set of parameters            Asymptotic Standard Error
=======================            ==========================

a               = -4153.58 [K]     +/- 118.5          (2.854%)
b               = 10.093           +/- 0.2869         (2.842%)
```

Daraus folgt für die Bandlücke des Germaniums

$$E_G = -2k_B \cdot a = -2k_B \cdot -4154 \approx 1.15 \cdot 10^{-19}\,J = 0.72\,eV.$$

2.2.1 Vergleich mit Kupfer

Aus der allgemeinen Geradengleichung $y = ax + b$:

$$\ln \sigma_0 = b = 10.093$$

[5]Wir logarithmierten und invertierten die Werte vorher um eine lineare Ausgleichsfunktion erstellen zu können.

Wir erhalten als Funktion $\sigma(T)$:

$$\begin{aligned}
\sigma(T) &= \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{1.15 \cdot 10^{-19}\,J}{2k_B T}\right) \\
ln\,\sigma(T) &= b - \frac{1.15 \cdot 10^{-19}\,J}{2k_B T} \\
\frac{1.15 \cdot 10^{-19}\,J}{2k_B T} &= b - ln\,\sigma(T) \\
T &= \frac{1.15 \cdot 10^{-19}\,J}{2k_B \cdot (b - ln\,\sigma(T))}
\end{aligned}$$

$\sigma(T)$ für Kupfer:

$$\begin{aligned}
\rho_{Cu} &= 1.67 \cdot 10^{-6}\,\Omega cm \\
\sigma_{Cu} &= 5.988 \cdot 10^{5}\,\Omega^{-1} cm^{-1}
\end{aligned}$$

Einsetzen:

$$\begin{aligned}
T &= \frac{1.15 \cdot 10^{-19}\,J}{2k_B \cdot (10.093 - ln\,(5.988 \cdot 10^{5}))} \\
T &\approx -1297.5\,K
\end{aligned}$$

Es ist nicht möglich Germanium soweit zu erhitzen, dass es die gleiche Leitfähigkeit wie Kupfer bei Raumtemperatur hat.