

TEMPERATURABHÄNGIGKEIT DES ELEKTRISCHEN WIDERSTANDES (TEM)

DANIEL DOLINSKY UND JOHANNES VRANA

INHALTSVERZEICHNIS

1. Bemerkungen.....	1
2. Versuchsaufbau.....	2
3. Messungen.....	2
3.1. Messungen an Probe 1 (Platin).....	2
3.2. Messungen an Probe 2 (Konstantan).....	2
3.3. Messungen an Probe 3 (Germanium).....	3
3.4. Messungen am Präzessionswiderstand (HELIPOT).....	3
4. Auswertungen.....	3
4.1. Platinprobe.....	4
4.2. Konstantanprobe.....	5
4.3. Germaniumprobe.....	6
5. Beantwortung der Fragen.....	8

1 BEMERKUNGEN

VORSICHT: Fehlerrechnung komplett FALSCH und $R_0 \neq 1$ (Tip: beides durch Ausgleichsgeraden bestimmen - ist auch deutlich weniger Arbeit)

2 VERSUCHSAUFBAU

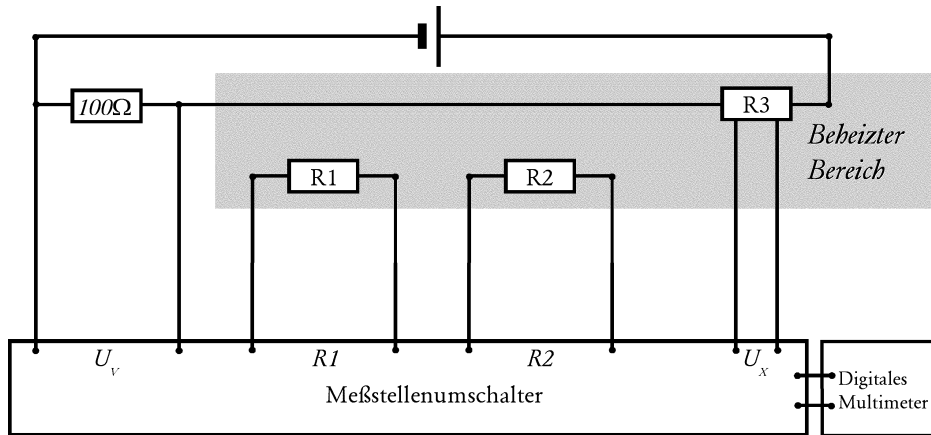


ABBILDUNG 1. Versuchsaufbau

Beschreibung: Die Proben, an denen die Widerstandsmessungen durchgeführt werden, befinden sich in einem Ölbad, dessen Temperatur geregelt und gemessen werden kann. Ein HELIPOT-Präzisionswiderstand mit $(100 \pm 1) \Omega$ dient zur Bestimmung des Widerstands der Probe 3 (Germanium) durch Messung des Spannungsabfalls. Ein Meßstellenumschalter ermöglicht eine rasche Meßfolge mit einem Digitalmultimeter.

3 MESSUNGEN

3.1 Messungen an Probe 1 (Platin)

$T/^\circ\text{C}$	R_1/Ω
22	$108,7 \pm 0,1$
45	$115,6 \pm 0,1$
67	$122,8 \pm 0,1$
89	$130,6 \pm 0,1$
104	$136,5 \pm 0,1$
120	$143,3 \pm 0,1$

3.2 Messungen an Probe 2 (Konstantan)

$T/^\circ\text{C}$	R_2/Ω
22	$99,7 \pm 0,1$
45	$99,3 \pm 0,1$
67	$99,2 \pm 0,1$
89	$99,4 \pm 0,1$
104	$98,7 \pm 0,1$
120	$99,6 \pm 0,1$

3.3 Messungen an Probe 3 (Germanium)

$T/^\circ\text{C}$	U_X/V
22	$0,55 \pm 0,01$
45	$0,31 \pm 0,01$
67	$0,171 \pm 0,001$
89	$0,088 \pm 0,001$
104	$0,058 \pm 0,001$
120	$0,038 \pm 0,001$

3.4 Messungen am Präzessionswiderstand (HELIPOT)

$T/^\circ\text{C}$	U_V/V
22	$1,035 \pm 0,001$
45	$1,249 \pm 0,001$
67	$1,397 \pm 0,001$
89	$1,493 \pm 0,001$
104	$1,529 \pm 0,001$
120	$1,554 \pm 0,001$

4 AUSWERTUNGEN

$$R = \varrho \frac{l}{q} = \varrho_0 \frac{l}{q} + \varrho_0 \frac{l}{q} \beta T = a + mT$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{m}{a}$$

$$m_i = \frac{R_{i+1} - R_i}{T_{i+1} - T_i}$$

$$a_i = R_i - m_i T_i$$

$$\beta_i = \frac{m_i}{a_i} = \frac{m_i}{R_i - m_i T_i} = \frac{1}{\frac{R_i}{m_i} - T_i}$$

$$= \frac{1}{\frac{R_i(T_{i+1} - T_i)}{R_{i+1} - R_i} - T_i}$$

$$\sigma = ne\mu$$

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{\frac{-E_g}{2k_B T}}$$

$$\ln \frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{-E_g}{2k_B T}$$

$$R_X = \frac{U_X}{U_V} R_V$$

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{R_0}{R_X}$$

$$\begin{aligned}
 R_0 = 1 \Omega &\Rightarrow \ln \frac{\sigma_0}{\sigma} = -\ln \frac{R_X}{1 \Omega} \\
 -\ln \frac{R_X}{1 \Omega} &= \frac{-E_g}{2k_B T} \\
 E_g &= T \cdot 2 \cdot k_B \cdot \ln \frac{R_X}{1 \Omega} \\
 E_g &= T \cdot 2 \cdot k_B \cdot \ln \left(\frac{U_X R_V}{U_V 1 \Omega} \right)
 \end{aligned}$$

4.1 Platinprobe

Die Ergebnisse sind nur abgeschnitten, nicht gerundet.

$$\begin{array}{ccc}
 \frac{1}{\frac{6,21}{7,1} - 21} = & \frac{1}{\frac{108,7 \cdot 23}{6,9} - 22} = & \frac{1}{\frac{108,8 \cdot 25}{6,7} - 23} = \\
 0,003330 & 0,002938 & 0,002611 \\
 & +0,0004 & \\
 & -0,0004 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc}
 \frac{1}{\frac{115,6 \cdot 20}{7,4} - 44} = & \frac{1}{\frac{115,6 \cdot 22}{7,2} - 45} = & \frac{1}{\frac{115,7 \cdot 24}{7,0} - 46} = \\
 0,003729 & 0,003244 & 0,002851 \\
 & +0,0005 & \\
 & -0,0004 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc}
 \frac{1}{\frac{122,7 \cdot 20}{8,0} - 66} = & \frac{1}{\frac{122,8 \cdot 22}{7,8} - 67} = & \frac{1}{\frac{122,9 \cdot 24}{7,6} - 68} = \\
 0,004153 & 0,003579 & 0,003123 \\
 & +0,0006 & \\
 & -0,0005 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc}
 \frac{1}{\frac{130,5 \cdot 13}{6,1} - 88} = & \frac{1}{\frac{130,6 \cdot 15}{5,9} - 89} = & \frac{1}{\frac{130,7 \cdot 17}{5,7} - 90} = \\
 0,005259 & 0,004114 & 0,003335 \\
 & +0,0012 & \\
 & -0,0008 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc}
 \frac{1}{\frac{136,4 \cdot 14}{7,0} - 103} = & \frac{1}{\frac{136,5 \cdot 16}{6,8} - 104} = & \frac{1}{\frac{136,6 \cdot 18}{6,6} - 105} = \\
 0,005889 & 0,004604 & 0,003737 \\
 & +0,0013 & \\
 & -0,0009 &
 \end{array}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= (0,0029 \pm 0,0004) \frac{1}{^\circ\text{C}} \\
 \beta_2 &= (0,0032 \pm 0,0005) \frac{1}{^\circ\text{C}} \\
 \beta_3 &= (0,0036 \pm 0,0006) \frac{1}{^\circ\text{C}} \\
 \beta_4 &= (0,0041 \pm 0,0012) \frac{1}{^\circ\text{C}} \\
 \beta_5 &= (0,0046 \pm 0,0013) \frac{1}{^\circ\text{C}}
 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^5 \beta_i = 0,00368 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$f = \pm 0,0013$$

$$n = 5$$

$$\begin{aligned} s &= \sqrt{\frac{1}{4}(0,00078^2 + 0,00048^2 + 0,00008^2 + 0,00042^2 + 0,00092^2)} \\ &= 0,000683 \\ &\approx 0,0007 \end{aligned}$$

$$\frac{t}{\sqrt{n}} = 0,51 \Rightarrow u_s = 0,0003485 \approx 0,0004$$

$$u = \sqrt{u_s^2 + f^2} = 0,001331 \approx 0,0014$$

$$\Rightarrow \beta = (0,0037 \pm 0,0014) \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

4.2 Konstantanprobe

Die Ergebnisse sind nur abgeschnitten, nicht gerundet.

$$\begin{array}{ccc} \frac{1}{\frac{99,6 \cdot 21}{-0,6} - 21} = & \frac{1}{\frac{99,7 \cdot 23}{-0,4} - 22} = & \frac{1}{\frac{99,8 \cdot 25}{-0,2} - 23} = \\ -0,0002851 & -0,0001737 & -0,00008001 \\ & -0,00012 & \\ & +0,00009 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \frac{1}{\frac{99,2 \cdot 20}{-0,3} - 44} = & \frac{1}{\frac{99,3 \cdot 22}{-0,1} - 45} = & \frac{1}{\frac{99,4 \cdot 24}{0,1} - 46} = \\ -0,0001502 & -0,00004468 & 0,00004199 \\ & -0,00011 & \\ & -0,00009 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \frac{1}{\frac{99,1 \cdot 20}{0,4} - 66} = & \frac{1}{\frac{99,2 \cdot 22}{0,2} - 67} = & \frac{0}{99,3 \cdot 24} = \\ 0,0002045 & 0,00009220 & 0 \\ & +0,00012 & \\ & -0,00010 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \frac{1}{\frac{99,3 \cdot 13}{0,5} - 88} = & \frac{1}{\frac{99,4 \cdot 15}{0,3} - 89} = & \frac{1}{\frac{99,5 \cdot 17}{0,1} - 90} = \\ 0,0004009 & 0,0002048 & 0,00004953 \\ & +0,00020 & \\ & -0,00015 & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} \frac{1}{\frac{99,6 \cdot 14}{-0,1} - 103} = & \frac{1}{\frac{99,7 \cdot 16}{0,1} - 104} = & \frac{1}{\frac{99,8 \cdot 18}{0,3} - 105} = \\ -0,00007118 & 0,00006309 & 0,0001699 \\ & -0,00014 & \\ & +0,00011 & \end{array}$$

$$\begin{aligned}\beta_1 &= (-0,00017 \pm 0,00012) \frac{1}{^\circ\text{C}} \\ \beta_2 &= (-0,00004 \pm 0,00011) \frac{1}{^\circ\text{C}} \\ \beta_3 &= (+0,00009 \pm 0,00012) \frac{1}{^\circ\text{C}} \\ \beta_4 &= (+0,00020 \pm 0,00020) \frac{1}{^\circ\text{C}} \\ \beta_5 &= (+0,00006 \pm 0,00014) \frac{1}{^\circ\text{C}}\end{aligned}$$

$$\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^5 \beta_i = 0,000028 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

$$\begin{aligned}f &= \pm 0,00020 \\ n &= 5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &= \sqrt{\frac{1}{4}(-0,000198)^2 + (-0,000068)^2 + 0,000062^2 + 0,000172^2 + 0,000088^2} \\ &= 0,000145 \\ &\approx 0,00015\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{t}{\sqrt{n}} &= 0,51 \Rightarrow u_s = 0,0000743 \approx 0,00008 \\ u &= \sqrt{u_s^2 + f^2} = 0,001331 \approx 0,0014 \\ &\Rightarrow \beta = (0,000028 \pm 0,00022) \frac{1}{^\circ\text{C}}\end{aligned}$$

4.3 Germaniumprobe

$T/^\circ\text{C}$		E_g/eV	Meßabweichung / eV
22	Höchstes Ergebnis	0,01586	+0,0008
	Mittleres Ergebnis	0,01506	
	Niedrigstes Ergebnis	0,01427	-0,0008
45	Höchstes Ergebnis	0,02579	+0,0009
	Mittleres Ergebnis	0,02490	
	Niedrigstes Ergebnis	0,02402	-0,0009
67	Höchstes Ergebnis	0,02954	+0,0007
	Mittleres Ergebnis	0,02892	
	Niedrigstes Ergebnis	0,02830	-0,0007
89	Höchstes Ergebnis	0,02785	+0,0007
	Mittleres Ergebnis	0,02721	
	Niedrigstes Ergebnis	0,02656	-0,0007
104	Höchstes Ergebnis	0,02462	+0,0008
	Mittleres Ergebnis	0,02389	
	Niedrigstes Ergebnis	0,02316	-0,0008
120	Höchstes Ergebnis	0,01940	+0,0010
	Mittleres Ergebnis	0,01849	
	Niedrigstes Ergebnis	0,01757	-0,0010

$$\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^6 E_{gi} = 0,0231 \text{ eV}$$

$$f = \pm 0,0010$$
$$n = 6$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{5}(-0,008)^2 + 0,0018^2 + 0,0058^2 + 0,0041^2 + 0,0008^2 + (-0,0046)^2}$$
$$= 0,005282$$
$$\approx 0,006$$

$$\frac{t}{\sqrt{n}} = 0,45 \Rightarrow u_s = 0,002377 \approx 0,0024$$

$$u = \sqrt{u_s^2 + f^2} = 0,002549 \approx 0,0026$$
$$\Rightarrow \beta = (0,0231 \pm 0,0026) \text{ eV}$$

5 BEANTWORTUNG DER FRAGEN

1. *Wie ist der spezifische Widerstand eines Leiters definiert?*

$$(1) \quad \boxed{\varrho := R \cdot \frac{q}{l}}$$

sowie

$$(2) \quad \boxed{\varrho = \frac{1}{\sigma}}$$

Einheit für ϱ :

$$(3) \quad \boxed{[\varrho] := \Omega \text{ m}}$$

ϱ : spezifischer Widerstand

q : Leiterquerschnitt

l : Leiterlänge

σ : elektrische Leitfähigkeit

2. *Was versteht man unter der Beweglichkeit von Ladungsträgern?*

Die Beweglichkeit eines Ladungsträgers ist seine Driftgeschwindigkeit im Verhältnis zum angelegten elektrischen Feld.

3. *Wie unterscheiden sich die Energiebänder von Halbleiter, Metall und Isolator bei $T = 0 \text{ K}$?*

Die Leitungsbänder der Isolatoren und Halbleiter sind völlig leer, daher nichtleitend; das Leitungsband des Metalls ist teilweise besetzt.

4. *Warum bestimmt man den Widerstand des Halbleiters mit der 4-Kontaktmethode?*

Wie funktioniert diese?

Die Widerstandsmessung an Halbleitern kann durch den Übergangswiderstand zwischen Halbleiter und Metallkontakt beträchtlich verfälscht werden. Bei der 4-Kontaktmethode wird durch zwei äußere Kontakte ein Strom durch den Halbleiter geschickt und an zwei inneren Kontakten der Spannungsabfall ermittelt. Der sehr hohe Innenwiderstand des Voltmeters ist im Vergleich zu evtl. Kontakt- oder Zuleitungswiderständen so groß, daß diese vernachlässigt werden können. Über den Spannungsabfall an einem HELIPOT-Präzisionswiderstand kann der Widerstand des Halbleiters errechnet werden.