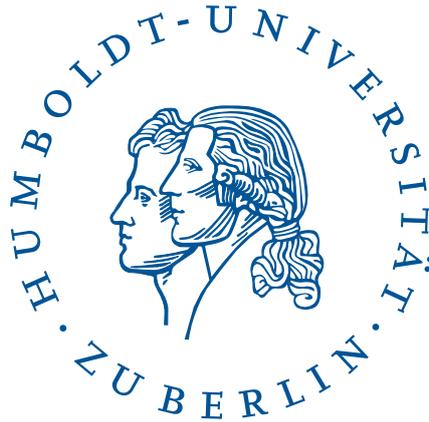


Fortgeschrittenenpraktikum
Bestimmung des relativen und absoluten
Seebeck-Koeffizienten einer dünnen Platinschicht

Prof. Saskia F. Fischer und Maximilian Kockert
AG Neue Materialien



Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät I
Institut für Physik
Humboldt-Universität zu Berlin

Version 1.10 15.02.2018

1 Einleitung

1821 entdeckte Thomas Johann Seebeck einen thermoelektrischen Effekt, welcher später als Seebeck-Effekt bekannt wurde [1]. Dieser Effekt beschreibt die Umwandlung von thermischer Energie in elektrische Energie und kann gemessen werden, sobald man zwei elektrisch leitfähige Materialien miteinander verbindet und entlang dieser Materialien einen Temperaturgradienten erzeugt. Ein Großteil der Leistung, welche heutzutage in der Welt erzeugt wird, wird durch Maschinen gewonnen, welche eine geringe Effizienz besitzen. Dies bedeutet, dass ein Teil der erzeugten Leistung nicht sinnvoll genutzt werden kann, weil ein erheblicher Teil ungenutzt an die Umwelt abgegeben wird [2]. Dieser ungenutzte Teil kann durch thermoelektrische Generatoren teilweise wieder in sinnvoll nutzbare elektrische Energie umgewandelt werden. Ein Maß für die Qualität dieser thermoelektrischen Umwandlung ist die Gütezahl ZT .

$$ZT = \frac{S^2 \sigma}{\lambda} T, \quad (1)$$

ZT ist eine temperaturabhängige Funktion des Seebeck-Koeffizienten S , der elektrischen Leitfähigkeit σ und der Wärmeleitfähigkeit λ . Bisherige Anwendungen greifen hauptsächlich auf Volumenmaterialien zurück. Die steigende Miniaturisierung in der Industrie führt zu einem Interesse an mikro- und nanostrukturierten thermoelektrischen Materialien. Diese Strukturierung führt aber im Allgemeinen auch zu einer Veränderung der Materialparametereigenschaften. Die Art der Änderung ist für die Industrie und Wissenschaft interessant.

Das Ziel dieses Fortgeschrittenenpraktikums ist die Bestimmung des relativen und absoluten Seebeck-Koeffizienten einer dünnen Platinschicht. Weiterhin soll der Temperaturkoeffizient α einer Platinschicht bestimmt werden. Die erforderlichen Messungen werden in einem Kryostaten durchgeführt, welcher mit flüssigem Stickstoff gefüllt ist. Dies ermöglicht es temperaturabhängige Messungen in einer kontrollierten Atmosphäre durchzuführen.

Um den Versuch erfolgreich durchzuführen, sind Grundkenntnisse in Festkörperphysik erforderlich.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Seebeck-Koeffizient

In einem elektrischen Leiter besitzen die Ladungsträger eine temperaturabhängige Geschwindigkeitsverteilung. Liegt nun ein Temperaturgradient entlang des Materials an, haben die Ladungsträger auf der heißen Seite eine höhere mittlere Geschwindigkeit als auf der kalten Seite. Aus diesem Grund entsteht ein Nettostrom von Ladungsträgern in Richtung der kalten Seite des Materials. Dies bezeichnet man als Thermomodiffusion. Durch Thermomodiffusion sammeln sich immer mehr Ladungsträger auf der kalten Seite des Materials an, dadurch entsteht ein elektrisches Feld \vec{E} , welches den Diffusionsstrom kompensiert. Die dabei auftretende Spannung wird auch als Thermospannung U_S bezeichnet und hat eine Größe zwischen einigen Mikrovolt (Metalle) bis Millivolt (Halbleiter) [3].

Diese Thermospannung kann mit Hilfe eines Thermopaars gemessen werden. Ein Thermopaar besteht aus zwei verschiedenen elektrischen Leitern A und B , dessen Kontaktstellen auf unterschiedliche Temperaturen gebracht werden. Durch den Temperaturgradienten entlang der Materialien kann die relative Thermospannung zwischen dem Material A und B gemessen werden, um daraus den relativen Seebeck-Koeffizienten $S_{A,B}$ bestimmen zu können. Der Seebeck-Koeffizient S ist somit ein material- und temperaturabhängiger thermoelektrischer Parameter mit der Maßeinheit $[S] = \text{V/K}$.

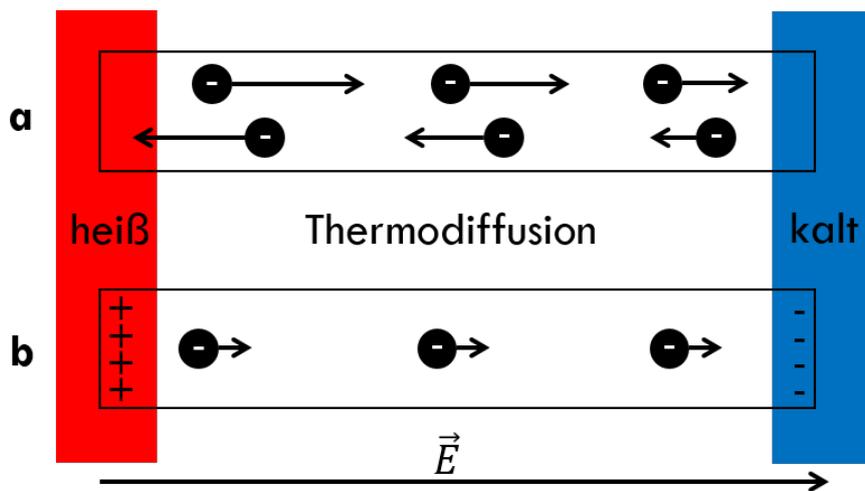


Abbildung 1: In dieser Abbildung wird schematisch der Thermomodiffusionsvorgang in einem elektrischen Leiter dargestellt. In Abbildung a ist dargestellt, dass es aufgrund eines Temperaturgradienten zu einer temperaturabhängigen Geschwindigkeitsverteilung der Ladungsträger kommt, welche auf das kalte Ende des Leiter gerichtet ist. In Abbildung b ist der resultierende Diffusionsstrom dargestellt, welcher zur Ausbildung eines elektrischen Feldes mit der Thermospannung U_S führt.

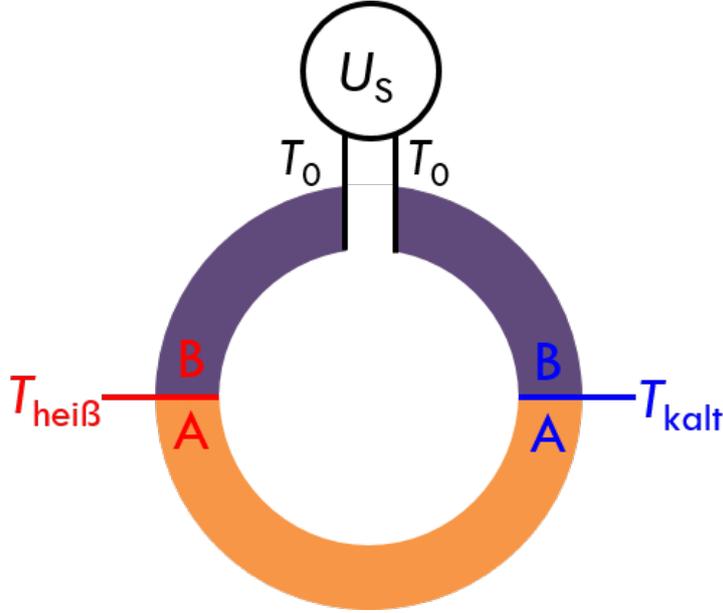


Abbildung 2: In dieser Abbildung ist ein Thermopaar bestehend aus zwei verschiedenen elektrischen Leitern schematisch dargestellt. Die Kontaktpunkte der beiden Materialien A und B liegen auf unterschiedlichen Temperaturen. Die Thermospannung U_S kann bei der mittleren Temperatur T_0 gemessen werden.

$$U_S = - \int \vec{E} \cdot d\vec{r} = - \int S \frac{\partial T}{\partial r} dr. \quad (2)$$

Die Thermospannung ist laut [4][S. 271] gegeben durch das Integral über den Stromkreis. Um einheitliche Messergebnisse zu erhalten, wird der Seebeck-Koeffizient wie folgt definiert

$$U_S = - \int S dT, \quad (3)$$

dabei ist das Vorzeichen negativ, weil laut Definition [5][S. 23-9] das kalte Thermometer mit dem niedrigen Potential der Thermospannungsmessung identifiziert wird. Die Thermospannung ergibt sich dann nach Abbildung 2 für ein Thermopaar zu

$$U_{S_{A,B}} = - \left(\int_{T_0}^{T_{\text{kalt}}} S_B dT + \int_{T_{\text{kalt}}}^{T_{\text{heiB}}} S_A dT + \int_{T_{\text{heiB}}}^{T_0} S_B dT \right), \quad (4)$$

$$U_{S_{A,B}} = - (S_B T_{\text{kalt}} - S_B T_0 + S_A T_{\text{heiB}} - S_A T_{\text{kalt}} + S_B T_0 - S_B T_{\text{heiB}}), \quad (5)$$

$$U_{S_{A,B}} = - (S_A - S_B) (T_{\text{heiB}} - T_{\text{kalt}}) = -S_{A,B} (T_{\text{heiB}} - T_{\text{kalt}}). \quad (6)$$

$S_{A,B}$ ist der relative Seebeck-Koeffizient von Material A relativ zu Material B , dabei sind S_A und S_B entsprechend die absoluten Seebeck-Koeffizienten der jeweiligen Materialien. Für hinreichend kleine Temperaturgradienten δT ist der relative Seebeck-Koeffizient gegeben durch

$$S_{A,B} = - \frac{U_{S_{A,B}}}{T_{\text{heiB}} - T_{\text{kalt}}} = - \frac{U_{S_{A,B}}}{\delta T}. \quad (7)$$

Im Allgemeinen ist der Seebeck-Koeffizient S eines Metalls die Summe aus zwei Anteilen. Der erste Term ist der Thermodiffusionsanteil S_{diff} , welcher aufgrund eines Temperaturgradienten entlang des Leiters und der daraus resultierenden Nichtgleichgewichtsverteilung der Ladungsträger entsteht. Der zweite Term resultiert aus dem Phononen-Drag-Anteil S_{ph} , welcher durch die Wechselwirkung zwischen Elektronen und Phononen entsteht und zu einem Mitführungseffekt von Ladungsträgern durch Phononen führt [6, 9, 10]:

$$S = S_{\text{diff}} + S_{\text{ph}}. \quad (8)$$

Der diffusive Anteil des Seebeck-Koeffizienten eines Metalls ist gegeben durch die Mott-Formel [7, 9, 10]

$$S_{\text{diff}} = \frac{\pi^2 k_{\text{B}}^2 T}{3e} \left(\frac{\partial \ln \sigma(\epsilon)}{\partial \epsilon} \right) \Big|_{\epsilon_F} \quad (9)$$

mit der Boltzmann-Konstante k_{B} , der Temperatur T , der Elementarladung e und der Ableitung der logarithmischen elektrischen Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Energie an der Fermi-Energie $\left. \frac{\partial \ln \sigma(\epsilon)}{\partial \epsilon} \right|_{\epsilon_F}$ [7, 9, 10].

S_{ph} ist der Beitrag des Phononen-Drag-Effekts. Ein Impulsübertrag von Phononen an Elektronen führt zu einer Vergrößerung des Seebeck-Koeffizienten insbesondere bei tiefen Temperaturen, weil dort die Elektronen-Phononen-Wechselwirkung im Vergleich zur Phononen-Phononen-Wechselwirkung größer ist [6]. Der Phonon-Drag-Anteil des Seebeck-Koeffizienten ist mit der spezifischen Wärmekapazität der Phononen verknüpft [6]. Die spezifische Wärmekapazität ist gegeben durch [12][S. 75]

$$C_{\text{ph}}(T) = 9nk_{\text{B}} \left(\frac{T}{\Theta_{\text{D}}} \right)^3 \int_0^{\frac{\Theta_{\text{D}}}{T}} \frac{x^4 \exp(x)}{(\exp(x) - 1)^2} dx \quad (10)$$

mit n der Anzahl an Ladungsträger pro Volumen. Weiterhin ist $x = \frac{\hbar\omega_{\text{D}}}{k_{\text{B}}T} = \frac{\Theta_{\text{D}}}{T}$, dabei ist \hbar die Dirac-Konstante und ω_{D} die Debye-Frequenz. Zur Beschreibung der Temperaturabhängigkeit des Seebeck-Koeffizienten gibt es einen Tief- und einen Hochtemperaturansatz um den Phononen-Drag-Anteil zu bestimmen.

Der Tieftemperaturansatz kann durch $S_{\text{ph}} = \frac{C_{\text{ph,tief}}}{3ne}$ beschrieben werden. Laut dem Debye-Modell geht die spezifische Wärmekapazität $C_{\text{ph,tief}}$ mit $T \rightarrow 0$ gegen $C_{\text{ph,tief}} \propto T^3$ und aus diesem Grund ist $S_{\text{ph,tief}} \propto T^3$ [6]. Der resultierende Seebeck-Koeffizient kann geschrieben werden als

$$S_{\text{tief}} = S_{\text{diff}} + S_{\text{ph,tief}} = aT + bT^3. \quad (11)$$

Der Hochtemperaturansatz muss gegenüber dem Tieftemperaturansatz angepasst werden, weil die Phononen-Phononen-Streuzeit τ_{pp} und die Streuzeit der Elektronen-Phononen-Wechselwirkung τ_{pe} mit in Betracht gezogen werden müssen [6]. Das Debye-Modell sagt eine konstante spezifische Wärmekapazität ($C_{\text{ph,hoch}} \approx 3nk_{\text{B}}$) für Temperaturen oberhalb der Debye-Temperatur Θ_{D} voraus. Aufgrund von Umklapp-Streuung ist der Phononen-Drag-Anteil gegeben durch $S_{\text{ph,hoch}} \propto \frac{1}{T}$ [6]. Dies hat

$$S_{\text{hoch}} = S_{\text{diff}} + S_{\text{ph,hoch}} = cT + d\frac{1}{T} \quad (12)$$

zur Folge.

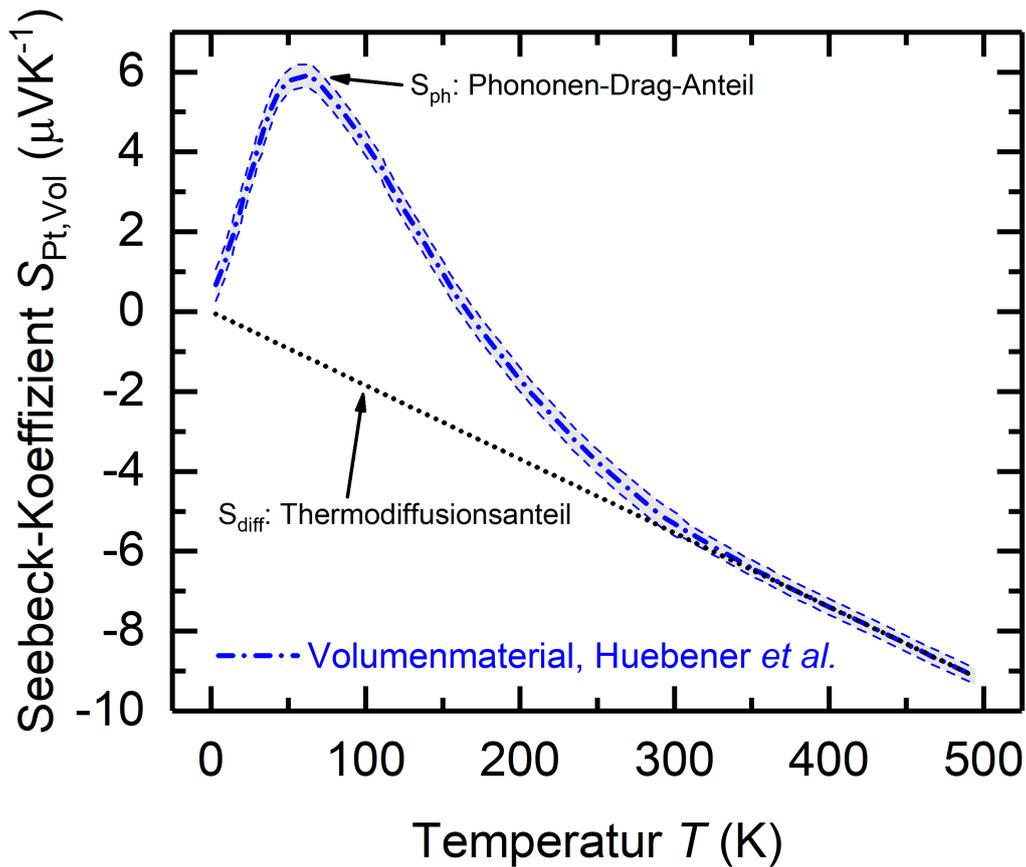


Abbildung 3: In dieser Abbildung ist der absolute Seebeck-Koeffizient von Volumenmaterial Platin als blau gestrichelte Linie dargestellt [9, 10]. Der grau markierte Bereich ist durch die Unsicherheit bestimmt. Die schwarz gepunktete Linie beschreibt den zu erwartenden Anteil der Thermodiffusion am Seebeck-Koeffizienten, wenn kein Phononen-Drag-Anteil vorhanden wäre. Den Einfluss des Phononen-Drags kann man bei etwa 80 K deutlich erkennen.

2.2 Temperaturkoeffizient

Der Widerstand R eines Metalls wird durch verschiedene Streueignisse der Ladungsträger bestimmt. Wenn die Temperatur T des Metalls ansteigt, steigt auch die Anzahl der Streueignisse, sodass es zu einer Erhöhung des elektrischen Widerstandes R kommt, wobei $R(T) \propto T$ für hohe Temperaturen. Das Verhältnis zwischen Widerstand und Temperatur ist bei Metallen durch den Temperaturkoeffizienten α gegeben. Der Temperaturkoeffizient ist material- und temperaturabhängig und wird definiert durch die Relation [13]

$$\alpha = \frac{1}{R(T)} \frac{\partial R(T)}{\partial T}. \quad (13)$$

Der Temperaturkoeffizient kann verwendet werden, um den Widerstand eines Metalls in Abhängigkeit von der Temperatur und des Temperaturunterschieds ΔT zu bestimmen. Diese Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur ist gegeben durch

$$R(T + \Delta T) = R(T) + \alpha \cdot \Delta T \cdot R(T). \quad (14)$$

3 Funktionsweise der Seebeck-Plattform

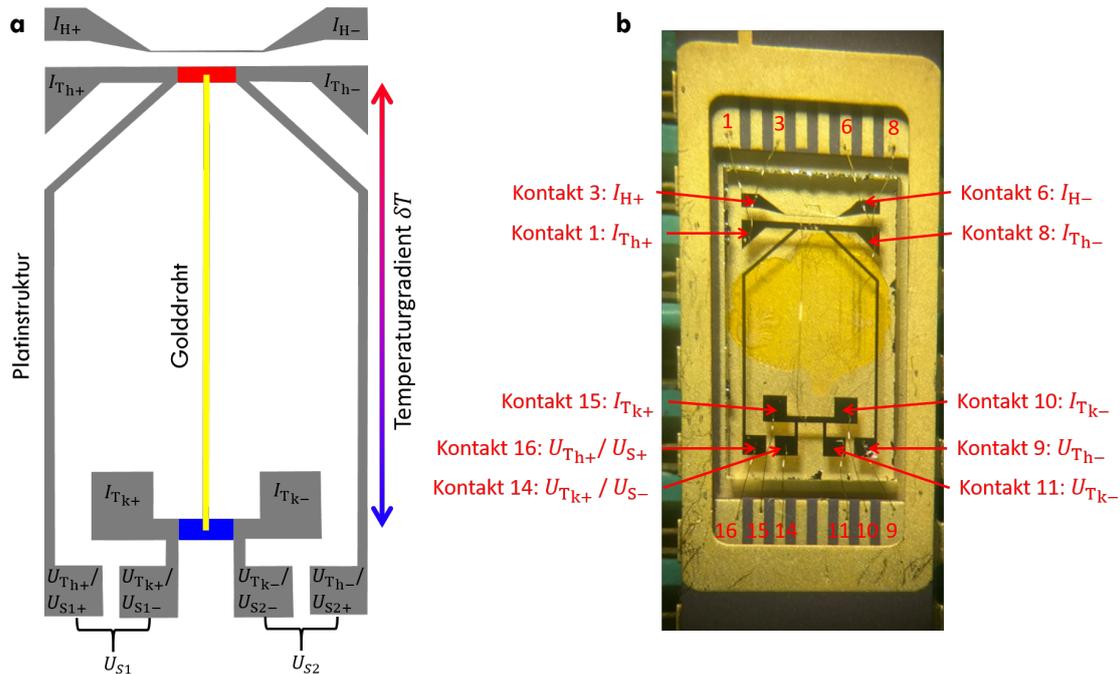


Abbildung 4: In Abbildung a ist eine schematische Darstellung der Seebeck-Plattform gezeigt. Die Seebeck-Plattform besteht aus einer dünnen Platinstruktur (grau), dessen heiße Seite (rot) und kalte Seite (blau) durch einen Golddraht (gelb) miteinander verbunden ist. Ein Mikroheizer erzeugt einen Temperaturgradienten δT entlang der Probe. Die Stromkontakte des Mikroheizer sind I_{H+} und I_{H-} . I_{Th+} und I_{Th-} sind die Stromkontakte und U_{Th+} und U_{Th-} sind die Spannungskontakte des heißen Thermometers. I_{Tk+} und I_{Tk-} sind die Stromkontakte und U_{Tk+} und U_{Tk-} sind die Spannungskontakte des kalten Thermometers. Die Thermospannungskontakte sind U_{S1+} und U_{S1-} oder U_{S2+} und U_{S2-} . + und - sind das hohe bzw. niedrige Potential. Abbildung b zeigt eine optische Mikroskopaufnahme der Seebeck-Plattform, welche in einem Chipcarrier eingeklebt ist. Die Golddrähte stellen eine elektrische Verbindung zwischen Probe und Chipcarrier her. Die Zahlen an den Kontakten der Seebeck-Plattform entsprechen den Kontakten am Chipcarrier.

Die Probe ist ein Thermopaar, welches aus einer dünnen gesputterten Platinschicht (Ausgangsmaterial: 99,9% Reinheit) und einem Goldbonddraht (99,99% Reinheit, $25 \mu\text{m}$ Durchmesser) besteht. Diese Messstruktur ist auf einem $5 \text{ mm} \times 9 \text{ mm}$ großen Glassubstrat aufgebracht. Die Seebeck-Plattform ist in einem Chipcarrier eingeklebt. Dies ist in Abbildung 4 b dargestellt. Die elektrischen Verbindungen von der Probe bis zum Chipcarrier bestehen aus Golddrähten. Den Chipcarrier kann man wiederum in einen Probenhalter einsetzen, welcher die Verbindung zu den Messgeräten herstellt.

Im Folgenden wird die Funktionsweise der Seebeck-Plattform erklärt. Eine schematische Abbildung der Plattform ist in 4 a dargestellt. Um einen Temperaturgradienten entlang der Probe zu erzeugen, wird ein Mikroheizer verwendet. Dieser besteht aus

einer dünnen Platinleiterbahn, die aufgrund des hohen Widerstands, im Vergleich zum Rest der Probenstruktur, eine relativ große Leistung durch den angelegten Strom erzeugen kann. Diese Leistung wird in Joulsche Wärme umgewandelt. Dies führt zu einer lokalen Temperaturerhöhung am heißen Thermometer (roter Bereich in 4 a) und am kalten Thermometer (blauer Bereich in 4 a), wobei die Temperaturerhöhung am heißen Thermometer größer ist als am kalten Thermometer. Der Strom für den Mikroheizer wird an den Kontakten I_{H+} und I_{H-} eingeprägt. Die beiden Thermometer werden jeweils in Vierpunktkonfiguration vermessen. Die Stromkontakte am heißen Thermometer sind I_{Th+} und I_{Th-} , wobei $+$ das hohe Potential ist und $-$ das niedrige Potential. Die Spannung wird an den Kontakten U_{Th+} und U_{Th-} gemessen. Die entsprechenden Kontakte für das kalte Thermometer sind I_{Tk+} , I_{Tk-} , U_{Tk+} und U_{Tk-} . Die Thermospannung kann an den Kontakten U_{S1+} und U_{S1-} oder U_{S2+} und U_{S2-} gemessen werden. Bezogen auf diesen Versuch und die Abbildung 4 wird zur Bestimmung des Temperaturgradienten δT entlang der Probe noch die Leistung des Mikroheizers P benötigt, welche sich durch den angelegten Heizstrom I_H und dem Widerstand des Mikroheizers R_H ergibt, $P = I_H^2 R_H$.

$$R(T + \Delta T, P) = R(T, P = 0) + \alpha \cdot \Delta T \cdot R(T, P = 0), \quad (15)$$

hierbei ist $R(T + \Delta T, P)$ der Widerstand eines Materials bei einer bestimmten Temperatur mit Temperaturerhöhung und bei einer bestimmten Mikroheizerleistung. Mit dem Temperaturkoeffizienten

$$\alpha = \frac{1}{R(T, P = 0)} \frac{\partial R(T, P = 0)}{\partial T} \quad (16)$$

und Gleichung 15 kann nun der Temperaturunterschied $\Delta T = T(P) - T(P = 0)$ eines Widerstandsthermometers durch die Widerstandsänderung ΔR bestimmt werden. Man erhält

$$\Delta T = \frac{\Delta R}{\alpha R(T, P = 0)} = \frac{R(T, P) - R(T, P = 0)}{\alpha R(T, P = 0)} = \frac{R(T, P) - R(T, P = 0)}{\frac{\partial R(T, P = 0)}{\partial T}}. \quad (17)$$

Entsprechend ist die Temperaturerhöhung auf der heißen Seite

$$\Delta T_{\text{heiß}} = \frac{R_{\text{heiß}}(P) - R_{\text{heiß}}(P = 0)}{\frac{\partial R_{\text{heiß}}(P=0)}{\partial T}} \quad (18)$$

und auf der kalten Seite

$$\Delta T_{\text{kalt}} = \frac{R_{\text{kalt}}(P) - R_{\text{kalt}}(P = 0)}{\frac{\partial R_{\text{kalt}}(P=0)}{\partial T}}. \quad (19)$$

Daraus ergibt sich schließlich der Temperaturgradient entlang der Probe zu

$$\delta T = \Delta T_{\text{heiß}} - \Delta T_{\text{kalt}}. \quad (20)$$

Aus der gemessenen Thermospannung und dem ermittelten Temperaturgradienten lässt sich nun der Seebeck-Koeffizient berechnen:

$$S_{A,B} = -\frac{U_{S_{A,B}}}{\delta T}. \quad (21)$$

4 Versuchsdurchführung

Die Probe ist mit Hilfe eines Messstabes in einem Konti-Kryostaten von CryoVac eingebaut. Dieser Kryostat dient dazu die thermoelektrischen Messungen in einer kontrollierten Umgebung durchzuführen. Dies bedeutet, dass die Probe sich in einer Heliumatmosphäre befindet und die Temperatur sich über einen weiten Bereich von etwa 300 K bis hin zu etwa 80 K mit flüssigem Stickstoff einstellen lässt. Um die Probe mit den Messgeräten verbinden zu können werden Koaxialkabel mit BNC-Stecker (BNC - Byonet Neill Concelman) am Kopf des Messstabes angeschlossen. Während des Versuches müssen verschiedene Messungen nacheinander durchgeführt werden. Um die Probe und das Messzubehör mechanisch nicht zu stark in Anspruch zu nehmen, wird eine Keithley 7001 Switchmatrix verwendet. Diese ermöglicht es mehrere Messkonfigurationen durchzuführen, ohne dabei die Kabel umzustecken. Für die Durchführung der Messung werden verschiedene Messprogramme für LabVIEW verwendet. Um unterschiedliche Temperaturen ansteuern zu können, wird das Programm *CryoControl* benutzt. Während der Versuchsdurchführung sollen Messungen bei vier verschiedenen Temperaturen mit jeweils 4 K Abstand zum nächsten Temperaturwert durchgeführt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Anstieg der Temperatur über der Messzeit unter $0,04 \frac{\text{K}}{\text{min}}$ liegt, erst dann leuchten auch alle fünf Kontrolllampen im Programm dauerhaft grün. Dies stellt sicher, dass es während der Messung nur zu minimalen Temperaturschwankungen kommt.

CryoControl ist in Abbildung 5 dargestellt. In Abbildung 6 a ist das Programm *F-Praktikum-Seebeck-Thermometerwiderstände* dargestellt. Mit diesem Programm werden nacheinander die Widerstände des heißen und kalten Thermometers gemessen. Dazu werden Spannungs-Strom-Kennlinien aufgenommen und aus dem Anstieg der Widerstand bestimmt.

Abbildung 6 b zeigt das Messprogramm *F-Praktikum-Seebeck-Thermospannung* für die Thermospannung. Nach dem Start des Programms werden zehn Werte für die Thermospannung aufgenommen. Bei beiden Programmen ist darauf zu achten, dass die korrekten Nummern der Messkontakte gewählt werden.

Die Messung wird wie folgt durchgeführt: Mit dem Messgerät Keithley 2401 Low Voltage Sourcemeter wird ein Heizstrom von $I_H = 0$ bis $I_H = +I_{H,\max}$ in zehn äquidistanten Schritten eingestellt, wobei nach jedem Schritt 30s zur Temperaturstabilisierung gewartet werden müssen. Wenn $+I_{H,\max}$ erreicht ist, dann wird der Heizstrom von $I_H = 0$ bis $I_H = -I_{H,\max}$ gefahren. Nachdem ein Heizstrom eingestellt worden ist, wird zuerst die Thermospannung gemessen, danach erfolgt die Bestimmung der Thermometerwiderstände. Im Anschluss wird der nächste Wert für den Heizstrom angefahren. Die Messungen werden mit dem Keithley 6221 Current Source und dem Keithley 2182 Nanovoltmeter durchgeführt.

Probe	Name	Maximaler Heizstrom $I_{H,\max}$
1	Seebeck-Plattform-Au-Pt-300nm	30 mA
2	Seebeck-Plattform-Au-Pt-101nm-400C	15 mA
3	Seebeck-Plattform-Au-Pt-200nm	20 mA
4	Seebeck-Plattform-Au-Pt-101nm	15 mA

Tabelle 1: Maximaler Heizstrom $I_{H,\max}$ für die jeweilige Probe.

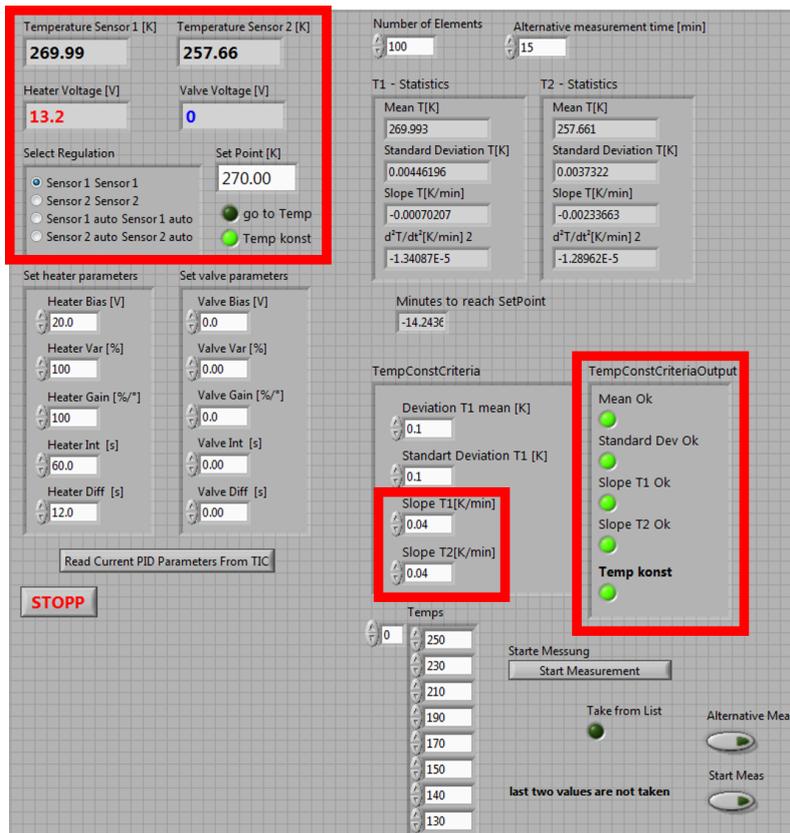


Abbildung 5: In der Abbildung ist das Programm CryoControl gezeigt. Dieses Programm wird benötigt um verschiedene Temperaturen anzusteuern und um die Temperaturkontrollparameter einzustellen.

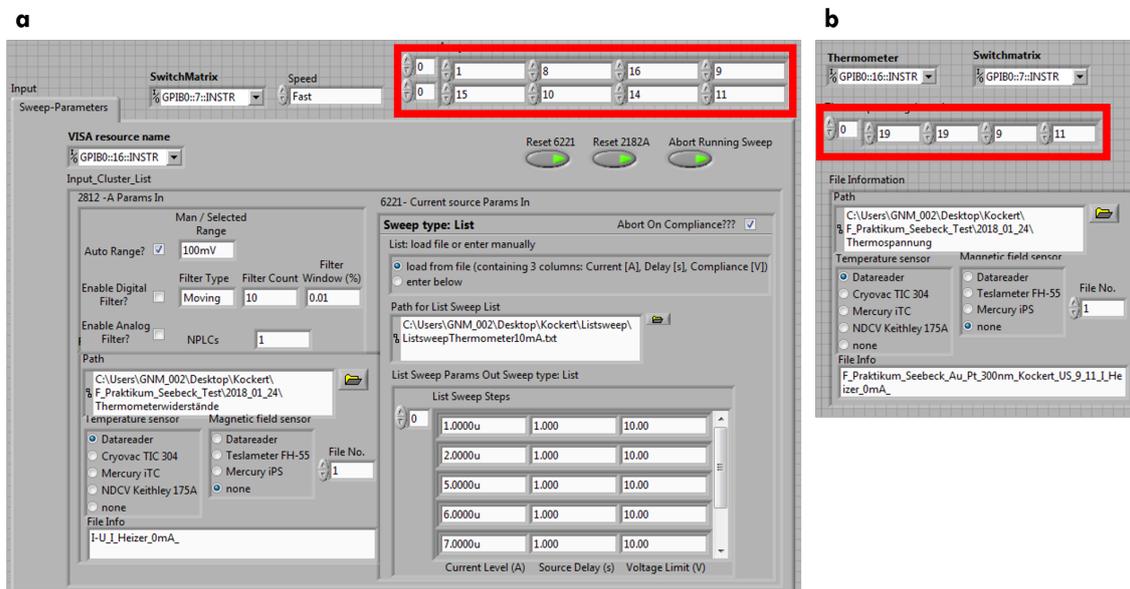


Abbildung 6: Abbildung a zeigt das Programm für Aufnahme der Thermometerwiderstände. Abbildung b zeigt das Programm für die Aufnahme der Thermospannung. Bei beiden Programmen kann die Kontaktkonfiguration angepasst werden.

5 Aufgaben

Aufgabe 1

Bestimmen Sie den relativen Seebeck-Koeffizienten $S_{\text{Au,Pt}}$ zwischen einer dünnen Platinschicht und einem Golddraht für vier verschiedene Temperaturen T . Fertigen Sie für diese Aufgabe folgende grafische Darstellungen an:

- Spannung in Abhängigkeit des Stroms für die Bestimmung des Widerstands für das heiße $U_{\text{Th}}(I_{\text{Th}})$ und kalte Thermometer $U_{\text{Tk}}(I_{\text{Tk}})$ bei $I_{\text{H}} = 0$ bei allen vier Temperaturen
- Widerstand des heißen $R_{\text{heiß}}(T)$ und kalten Thermometers $R_{\text{kalt}}(T)$ in Abhängigkeit von der Temperatur bei $I_{\text{H}} = 0$
- Thermospannung $U_{\text{S};\text{Au,Pt}}(I_{\text{H}})$ in Abhängigkeit des Heizstromes für alle vier Temperaturen
- Thermospannung $U_{\text{S};\text{Au,Pt}}(\delta T)$ in Abhängigkeit des Temperaturgradienten für alle vier Temperaturen
- Relativer Seebeck-Koeffizient $S_{\text{Au,Pt}}(T)$ in Abhängigkeit von der Temperatur

Aufgabe 2

Bestimmen Sie den absoluten Seebeck-Koeffizienten einer dünnen Platinschicht für vier verschiedene Temperaturen. Sie benötigen dazu den absoluten Seebeck-Koeffizienten von Gold. Dieser kann in der Veröffentlichung von R. P. Huebener [11] gefunden werden und ist im Anhang als Textdatei beigelegt.

Vergleichen Sie den absoluten Seebeck-Koeffizienten der dünnen Platinschicht mit dem absoluten Seebeck-Koeffizienten des Volumenmaterials und diskutieren Sie mögliche Ursachen für auftretende Unterschiede. Fertigen Sie für diese Aufgabe folgende grafische Darstellung an:

- Absoluter Seebeck-Koeffizient der dünnen Platinschicht $S_{\text{Pt}}(T)$ und absoluter Seebeck-Koeffizient des Volumenmaterials $S_{\text{Pt,Vol}}(T)$ in Abhängigkeit von der Temperatur

Aufgabe 3

Bestimmen Sie den Temperaturkoeffizienten der dünnen Platinschicht α_{Pt} für vier verschiedene Temperaturen und vergleichen Sie die Werte mit dem Temperaturkoeffizienten des Volumenmaterials $\alpha_{\text{Pt,Vol}}$. Fertigen Sie für diese Aufgabe folgende grafische Darstellungen an:

- Temperaturkoeffizient der dünnen Platinschicht $\alpha_{\text{Pt}}(T)$ in Abhängigkeit von der Temperatur

Literatur

- [1] Seebeck, T. J. Ueber die magnetische Polarisierung der Metalle und Erze durch Temperaturdifferenz. *Annalen der Physik* **82**, 253 (1826).
- [2] Hochbaum, A. I. *et al.* Enhanced thermoelectrics of rough silicon nanowires. *Nature* **451**, 163 (2008).
- [3] Pelster, R. *et al.* Thermospannungen - Viel genutzt und fast immer falsch erklärt! *PhyDid*, 10 (2005).
- [4] Ziman, J. M. *Electrons And Phonons: The Theory of Transport Phenomena in Solids*. Oxford University Press, USA (2001).
- [5] Tritt, T. M. *Electrical and Thermal Transport Measurement Techniques for Evaluation of the Figure-of-Merit of Bulk Thermoelectric Materials*, Thermoelectrics Handbook - Macro to Nano. CRC Press (2005).
- [6] MacDonald, D. K. C. *Thermoelectricity - An introduction to the principles*. Dover Publications, Mineola, New York (2006).
- [7] Cutler, M. and Mott, N. F. Observation of Anderson Localization in an Electron Gas. *Physical Review* **181**, 1336 (1969).
- [8] Huebener, R. P. Thermoelectric Size Effect in Pure Gold. *Physical Review* **136**, A 1740 (1964).
- [9] Huebener, R. P. Size effect on phonon drag in platinum. *Physical Review* **140**, 490 (1965).
- [10] Huebener, R. P. Phonon scattering by lattice vacancies in platinum. *Physical Review* **146**, A 1834 (1965).
- [11] Huebener, R. P. Thermoelectric Power of Lattice Vacancies in Gold. *Physical Review* **135**, A 1281 (1964).
- [12] Kittel, C. *Introduction to Solid State Physics*. John Wiley and Sons, Inc. , New York (1953).
- [13] Leonard, W. F. and Ramey, R. L. Temperature Coefficient of Resistance in Thin Metal Films. *Journal of Applied Physics* **37**, 3634 (1966).