

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

FORTGESCHRITTENEN PRAKTIKUM TECHNISCHE PHYSIK 1 & 2

PHY.M40 & PHY.M50

Übungstitel: Versuche zur Festkörperphysik

Betreuer: Krenn, Joachim, Ao.Univ.-Prof. Mag. Dr.rer.nat.

Name: Maximilian Pfandner / Daniel Unterhuber

Kennzahl: 678 Matrikelnummer: 12003925 / 12007444

Datum: 30.10.2022 WS 2022 /23 SS

Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	2
2 Voraussetzungen und Grundlagen	2
2.1 Halleffekt und Halbleiter	2
2.2 Bestimmung des Bandabstandes einer Germanium-Probe	3
2.3 Magnetfeld von Helmholtzspulen	3
3 Beschreibung der Versuchsanordnung	4
3.1 Halleffekt und Halbleiter	4
3.2 Bestimmung des Bandabstandes eines Germanium Halbleiters	5
3.3 Magnetfeld in Helmholtzspulen	5
4 Material- und Geräteliste	6
5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse	6
5.1 Halleffekt und Halbleiter	6
5.2 Bestimmung des Bandabstandes eines Germanium Halbleiters	7
5.3 Magnetfeld von Helmholtzspulen	7
6 Auswertung	8
6.1 Halleffekt	8
6.2 Bestimmung des Bandabstandes einer Halbleiterprobe	9
6.3 Helmholtzspulen	11
7 Diskussion und Zusammenfassung	12
8 Danksagung	12

Experimente der Festkörperphysik

1 Aufgabenstellung

1. Untersuchung des Halleffektes an einer dotierten Halbleiterprobe (n-, oder p-Ge) und Bestimmung der dazugehörigen Ladungsträgerkonzentrationen.
2. Untersuchung der Temperaturabhängigkeit des Widerstandes einer undotierten Germaniumprobe und daraus folgende Bestimmung des Bandabstandes in Germanium.
3. Homogenität des Magnetfeldes eines Helmholtzspulenpaars mithilfe einer Hallsonde.[2]

2 Voraussetzungen und Grundlagen

2.1 Halleffekt und Halbleiter

Steht ein Magnetfeld beziehungsweise eine Magnetische Flussdichte B normal zu einem Leiter, in welchem Ladungsträger durch eine Spannung U auf eine Geschwindigkeit v beschleunigt werden, so tritt eine Ablenkung der Ladungsträger normal zu B und v auf, die durch die Lorentzkraft F_L verursacht wird. Dies ist gleich bedeutend mit einer Spannung, die die Ladungsträger orthogonal zu B und v beschleunigt. Diese sogenannte Hallspannung U_H ist proportional zu d der Länge in Richtung des durch dieselbe verursachten Ladungsträgerstroms. Folgender Zusammenhang gilt hierfür, wobei R_H die materialabhängige Hallkonstante ist und I_Q der Querstrom (Strom, welcher durch den Leiter fließt und Ladungsträger mit der Geschwindigkeit v enthält):

$$U_H = \frac{R_H I_Q B_z}{d} \quad (1)$$

R_H hängt wiederum von der Konzentration der Ladungsträger, sowie deren Vorzeichen und deren Beweglichkeit ab. Da in einem dotierten Halbleiter je nach Dotierungsart unterschiedliche Majoritätsladungsträger vorhanden sind (bewegliche Defektelektronen beziehungsweise Lochleiter (Konzentration p) und Elektronen (Konzentration n) und diese samt ihren Beweglichkeiten μ_n beziehungsweise μ_p in die Hallkonstante R_H einfließen, ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$R_H = \frac{1}{e} \frac{(p - b^2 n)}{(p + bn)^2} \quad (2)$$

Hier ist b das Verhältnis der Beweglichkeiten $\frac{\mu_n}{\mu_p}$ und e der Betrag der Elementarladung. Ist ein Halbleiter überwiegend p- oder n-leitend so ist die Hallkonstante $R_{H_p} = -\frac{1}{ne}$ beziehungsweise $R_{H_p} = -\frac{1}{pe}$. Da die Ladungsträger durch komplementäre Vorzeichen zu gegenüberliegende Äquipotentialflächen zwischen denen U_H anliegt gezogen werden, kann man durch das Vorzeichen der Hallspannung auch die Dotierungsart eines Halbleiters feststellen (Näheres zu Halbleitern in 2.2).

2.2 Bestimmung des Bandabstandes einer Germanium-Probe

Halbleiter sind Stoffe die bei niedrigen Temperaturen wie Isolatoren wirken, sich jedoch mit steigender Temperatur im mehr dem eines metallischen Leiters annähern. Dies liegt an der speziellen Kristallstruktur mit vier kovalent gebundenen Valenzelektronen. Überschreitet die Temperatur einen gewissen Bereich so kommt es zu Schwingungen im Kristallgitter, die bei besonders hohen Amplituden zu einem Herauslösen von Elektronen führen. Diese Elektronen können sich nun im unbesetzten Leitungsband, nach dem die der Bandlücke (Energiebereich zwischen Valenz- und Leitungsband) entsprechende Energie aufgebracht wurde, frei bewegen und somit die Leitfähigkeit erhöhen. Gleichzeitig wirkt das im Valenzband zurückgelassene Loch (auch Defektelektron) wie eine bewegliche positive Ladung. Sowohl das Elektron im Leitungsband als auch das Defektelektron erhöhen die Leitfähigkeit des Halbleiters, die somit temperaturabhängig ist. Handelt es sich um einen reinen Halbleiter, so stellt sich ein temperaturspezifisches Gleichgewicht ein. Diese sogenannte Eigenleitfähigkeit kann durch das Einbringen von Fremdatomen (dem Dotieren) erhöht werden (siehe 2.1). Für die Leitfähigkeit σ_i (wobei i für die Art des Ladungsträgers steht) gilt somit folgender Zusammenhang:

$$\sigma_i = e_{Elem}(N \cdot P)^{1/2} \cdot e^{-\frac{E_g}{2kT}}(\mu_n + \mu_p)E \quad (3)$$

Hier ist e_{Elem} die Elementarladung und E die elektrische Feldstärke, E_g der Bandabstand (in Enegieeinheiten), k die Boltzmannkonstante und T die Temperatur. Wichtig ist hier, dass sowohl die effektiven Zustandsdichten von Leitungs- und Valenzband (hier N respektive P), als auch die Beweglichkeiten μ_n und μ_p (siehe 2.1) von der Temperatur abhängen. Näherungsweise ergibt sich somit unter Betracht der verschiedenen Temperaturabhängigkeit folgender Zusammenhang:

$$\sigma_i = \sigma_0 \cdot e^{-\frac{2kT}{E_g}} \quad (4)$$

Weiters kann die Leitfähigkeit unter Kenntnis der Spannung U_G und des Stroms I sowie aus den Objektanmessungen (a ist die Länge des Kristalls, b die Breite und c die Dicke) bestimmen. Gemeinsam mit der entsprechenden Temperatur T lässt sich somit der Bandabstand einer Halbleiterprobe bestimmen.

$$\sigma = \frac{a}{b \cdot c} \frac{I}{U} \quad (5)$$

2.3 Magnetfeld von Helmholtzspulen

Allgemein gilt für eine vom Strom I durchflossene Leiterschleife, dass das Magnetfeld im Inneren in e_ϕ Richtung zeigt. Wird die Schleife nun in der Form einer Spule erweitert deformiert sich das Magnetfeld im Vergleich zur einfachen Leiterschleife. Bei einer einfachen Leiterschleife ist das Feld im Mittelpunkt der Kreisfläche welche das Innere der Leiterschleife ausfüllt normal zu Flächennormalen dieser Fläche. Erweitert man diese Vorstellung auf eine Spule ist das Magnetfeld, je nach Windungsanzahl und Strom auch in einem Bereich oberhalb und um dem Mittelpunkt dieser gedachten Kreisfläche homogen. Bringt man nun zwei Spulen parallel in einem gewissen Abstand R zueinander, so überlagern sich die Magnetfelder ($B = \frac{H}{\mu}$ wobei H die Magnetische Feldstärke ist und B die Magnetische Induktion; μ ist hier die Magnetische Feldkonstante) beider Spulen nach dem Superpositionsprinzip. Bei korrekter Polung der Stromrichtungen und entsprechender Abstandswahl erhält man ein annähernd homogenes Magnetfeld im Zylindrischen Raum zwischen

den Spulen. Diese charakteristische Anordnung zweier dünner Spulen wird auch als Helmholtzspulenpaar bezeichnet (siehe Abbildung 1). [2]

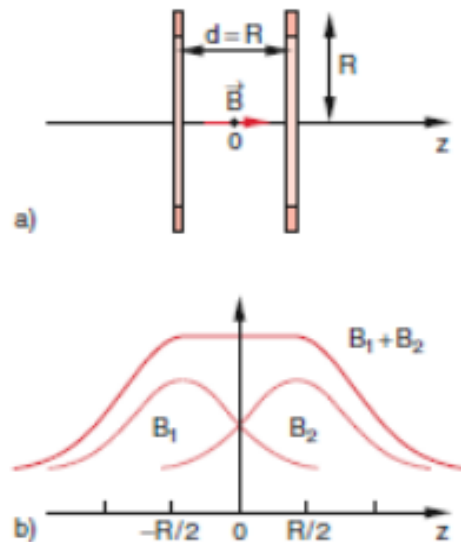


Abbildung 1: Zeigt die Räumliche Anordnung (a) und den Verlauf der magnetischen Induktion B (b) nach dem Superpositionsprinzip im Spulenzwischenraum[2]

3 Beschreibung der Versuchsanordnung

3.1 Halleffekt und Halbleiter

Zunächst ist das Halleffekt-Grundgerät in einem Stativ eingesteckt. Zudem ist eine dotierte Halbleiter-Steckplatte (dotiertes Germanium) in die Vielfachbuchse des Grundgerätes gesteckt. Weiters sind die Anschlüsse für die Heizspannung an ein EA-PS 3032-05b Netzgerät angeschlossen (Regelung auf $I_{Heiz} = 3$ A. Das Cassy-Modul ist ebenso mit dem dazugehörigen Stecker mit dem Stromnetz verbunden. Selbiges stellt auch die Versorgungsspannung $U_{VH} = 12$ V für das Halleffekt Grundgerät zu Verfügung (output); diese Spannung wird mittels Multimeter korrekt eingestellt. Inputseitig sind Leitungen für das Messen der Hallspannung und für das ermitteln der Heizspannung U_T mit dem Cassy-Modul verbunden. Das zweite EA-PS 3032-05b Netzgerät versorgt die für das Magnetfeld verantwortlichen Spulen mit einer Spannung von $U_m = 15$ V bei einem Strom von $I_m = 5$ A. Für die spätere Messung der Magnetischen Feldstärke wird auch die Hallsonde (Abbildung 2) mit der Messhardware in Verbindung gesetzt. Um die Temperatur während des Heizprozesses überwachen zu können, wird die zum Temperaturanstieg proportionale Spannung U_A gemessen ($T = 100K \cdot U_A[V] + 273,15K$). Überdies ist das Cassy-Modul per USB-Verbindung mit dem für die Auswertung vorhandenen PC verbunden. Das Programm "Cassy-Lab-2" wird geöffnet und der entsprechende Eingang ausgewählt. Nun sind die Eingangskanäle für die Hallsonde und für die Messung der Hallspannung ausgewählt.

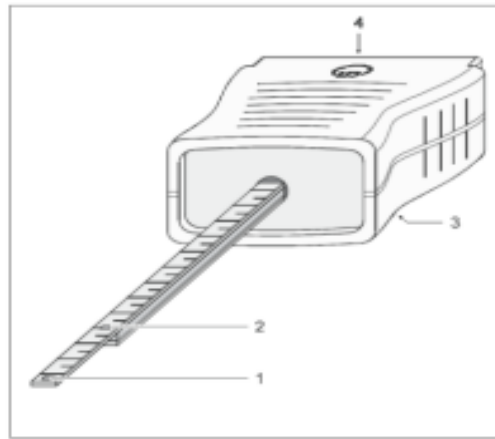


Abbildung 2: Zeigt die Hallsonde (1) Tangentialsonde, (2) Axialsonde[2]

3.2 Bestimmung des Bandabstandes eines Germanium Halbleiters

Zur Aufnahme der Temperatur T und des Spannungsabfalls U_G sind beide Anschlüsse mit inputseitig mit dem Cassy Modul verbunden. Um letzteren zu ermitteln wird eine Verbindung zwischen dem Masse-Ausgang und dem positiven Ausgang der Verbindung zum Halbleiterbaustein geschaltet. Da nun weder ein Magnetfeld benötigt, noch eine Hallspannung gemessen wird, sind die entsprechenden Steckverbindungen aus Gründen der Übersichtlichkeit beseitigt. Um eine neue Messung durchführen zu können sind die bisherig aufgenommen Daten gelöscht. Für die weitere Messung wird sowohl der Kanal für die Temperaturüberwachung (U_A nun über das Cassy-Modul gemessen) als auch der Kanal für die Spannung U_G ausgewählt.

3.3 Magnetfeld in Helmholtzspulen

Die Hallsonde ist nun wieder mit der Cassy-Hardware verbunden. Auch der zugehörige Messkanal wird in der Cassy-Lab-2 Software ausgewählt. Bisher eingerichtete Verbindungen mit dem Hall-Effekt Grundgerät und betreffende Versorgungseingänge werden aus Gründen der Übersichtlichkeit entfernt. Für das betreiben der beiden Helmholtzspulen ist eine Verkabelung zu einem der EA-PS 3032-05b Netzgeräte hergestellt. Der Versorgungsstrom ist auf $I_{Helm} = 1 \text{ A}$ begrenzt. Es ist auf eine parallele Ausrichtung des Spulenpaars zu achten. Ebenso muss die Polung der spulen entsprechend gewählt werden, sodass sich die Vektoren der Magnetischen Feldstärke konstruktiv überlagern und ein in guter Näherung homogenes Magnetfeld im Spuleninneren und im Raum zwischen den Spulen erzeugen. Der Spulenabstand soll hierbei zunächst $d = 67 \text{ mm}$ (entsprechend dem Spulenradius $R = 67 \text{ mm}$) betragen. (schematisch in Abbildung 1 (b) ersichtlich)

Tabelle 1: Auflistung der verwendeten Materialien und Gerätschaften

Gerätschaft/Material	Gerätenummer	Spezifikation	Unsicherheit
2 x Fluke 175 Multimeter	AP-12	Messbereich: (6.000-0.000) A als DC Amperemeter Messbereich: (60.00-00.00) V als DC Voltmeter	I : (1% + 3 dig) A U : (0.15% + 2 dig) V
2 x EA-PS 3032-05 B Netzgeräte	LNG-14/LNG-15	DC Ausgabebereich U : (0...32) V Ausgangsbereich I : (0...5) A	U : 10 mV I : 4 mA
Leybold Didactic Cassy Lab Modul 534013	Karl-Franzens -Uni-Graz 30002586	Ausgabespannungsbereich: (0...16) V	
Leybold Didactic Halleffekt Grundgerät 58681		Temperaturmessausgabe: 10 mV/ K	0.5 mV/K
Leybold Didactic Magnetfeldsonde 5240381		Tangentialmessung und Longitudinalmessung	0.05 mT
Leybold Didactic Helmholz- Spulen-Paar		Windungszahl 320, Spulenradius $R = 67$ mm, max $I = 2$ A	
Steckkabel		Lammelenstecker	
Leiterplatten mit Ge-Probe		Undotiertes, p-dotiertes und n-dotiertes Germanium	
Magnetfeldspulen mit Eisenkern			

4 Material- und Geräteliste

5 Versuchsdurchführung und Messergebnisse

An dieser Stelle gilt es darauf hinzuweisen, dass keiner der unter ”1.”beschriebenen Aufgaben erfüllt werden konnte, da einzelne Bauteile beziehungsweise das Cassy-Modul selbst fehlerhafte Werte lieferte. Im folgenden wird auf die Fehler der Messgeräte respektive auf nicht funktionierende Bauteile gekoppelt mit der ”theoretischen Durchführung” näher eingegangen.

5.1 Halleffekt und Halbleiter

Zunächst wird eine Offset-Kalibrierung durchgeführt, da aufgrund der Reminiszenz auch bei abgeschaltetem Strom durch die magnetfeldgenerierenden Spulen eine Restmagnetisierung vorhanden ist. Hierfür wird der Querstrom $I_Q = 25$ mA gesetzt. Der Strom an den Spulen (respektive Elektromagneten) wird auf $I_M = 0$ A reguliert und im weiteren so eingestellt, dass der Messwert für die

Magnetische Flussdichte $B = 0$ mT beträgt. Nun wird die der Hallspannung überlagernde Spannung U_{comp} so weit verstellt, dass die Hallspannung $U_H = 0$ mV beträgt. Hier gilt anzumerken, dass die Hallsonde einen Wert $B = (6 \pm 0,05)$ mT während des gesamten Versuchs angezeigt hat (wobei hier immer von einer tangentialen Messung ausgegangen wird und dementsprechend nur die Spitze der Hallsonde zur Messposition gebracht wird). Dies veränderte sich auch nicht nach dem die Spulen mit $I_M > 0$ A versorgt wurden. Auch weiteres Justieren, Resetten und Prüfen der Verkabelungen war nicht zielführend. Zudem war eine Regelung des Querstroms nur in einem Messbereich von (12 ± 2) mV. Auch weitere Versuche die Kompensation doch noch durchführen zu können vielen erfolglos aus. Im korrespondierenden Auswertungskapitel werden zu Verfügung gestellte Ergebnisse aus dem Vorjahr präsentiert und diskutiert.

Auch die Messung für eine fixierte Magnetische Flussdichte unter gleichzeitiger Aufnahme der Hallspannung U_H des Querstroms I_Q (Messbereich: (2...30) mA; in 5 mA Schritten) bei Magnetischen Flussdichten zwischen (-250...250) mT mit jeweiligem Anstieg in 50-mT-Schritten war aufgrund der zuvor dargestellten Fehlfunktionen nicht möglich. Glücklicherweise wurden Unterlagen aus dem Vorjahr zur Verfügung gestellt um den Versuch und das Experiment qualitativ beschreiben zu können.

Für den dritten Teil des Versuchs soll $B = 200$ mT betragen und $I_Q = 25$ mA. Nun ist die Heizung (bis maximal 120° C) zu aktivieren und die zum Temperaturanstieg proportionale Spannung U_A auf der x-Achse im Cassy Programm und U_H auf der Y-Achse. Da weder der Querstrom noch die magnetische Flussdichte reguliert werden konnten, war auch dieser Versuchsteil nicht durchführbar.

5.2 Bestimmung des Bandabstandes eines Germanium Halbleiters

Für die spannungsvermittelte Temperaturmessung U_A gegen den Spannungsabfall U_G werden betreffend x- und y-Achse im Cassy Modul gewählt. Wiederum soll die Heizung aktiviert und die obigen Messgrößen aufgezeichnet werden. Hierfür ist weiters "Nullpunkt links", "Messbereich: (0...3) V" sowie bei automatischer Aufnahme Intervall: 0.5 s einzustellen. Unterschreitet U_G die 1 V Marke, so ist der Messbereich auf (0...1) V zu verstellen. Fällt der Wert unter 0,3 V so wird dieser abermals geändert ((0,0...0,3) V). Auch hier war eine korrekte Aufnahme der Daten nicht möglich. Hier wird wiederum auf ein analog durchgeführtes Experiment aus dem Vorjahr verwiesen.

5.3 Magnetfeld von Helmholtzspulen

Der durch die Spulen fließende Strom I soll auf 1 A eingestellt werden. danach wird die Tangentialkomponente an 5 Punkten pro Ebene in Ebenen mit unterschiedlichen Normalabständen ermittelt (Abstand $1/4, 1/2, 3/4$ des Spulenabstands $d = R = 67$ mm). Dies wird für $d = \frac{R}{2}$ und $d = 2R$ wiederholt. Zudem wird das auch das magnetische Feld außerhalb der Spulen an 5 Punkten auf einem Halbkreis mit $r = 2R$ bei $d = R$ mit dem Schnittpunkt der Streckenhalbierenden des Abstandsvektors der Spulenmittelpunkte als Bezugspunkt vermessen. Die tatsächliche Versuchsdurchführung war auch hier aufgrund der weiterhin defekten Hallsonde nicht möglich.

6 Auswertung

Hier ist anzumerken, dass hier der theoretische Auswertvorgang respektive zu erwartende Ergebnisse präsentiert werden. Dementsprechend treffen folgende Aussagen nur näherungsweise auf die tatsächlichen Ergebnisse einer Ausführung bei funktionstüchtigen Gerätschaften zu.

6.1 Halleffekt

Bei der Untersuchung der Hallspannung U_H als Funktion des Querstroms I_Q bei unterschiedlichen Magnetischen Feldstärken sollte folgender Zusammenhang experimentell bestätigt werden:

$$U_H = \frac{I_Q R_H B}{c} \quad (6)$$

wobei hier c die Dicke des Halbleiterelements ist (siehe 2.3). Vergleicht man hier das Ohm'sche Gesetz $U = R \cdot I$ so könnte man die Terme $\frac{R_H}{B}c$ als magnetfeldabhängigen spezifischen Widerstand der Probe auffassen. Diese Vorstellung bestätigt sich auch in Abbildung 3:

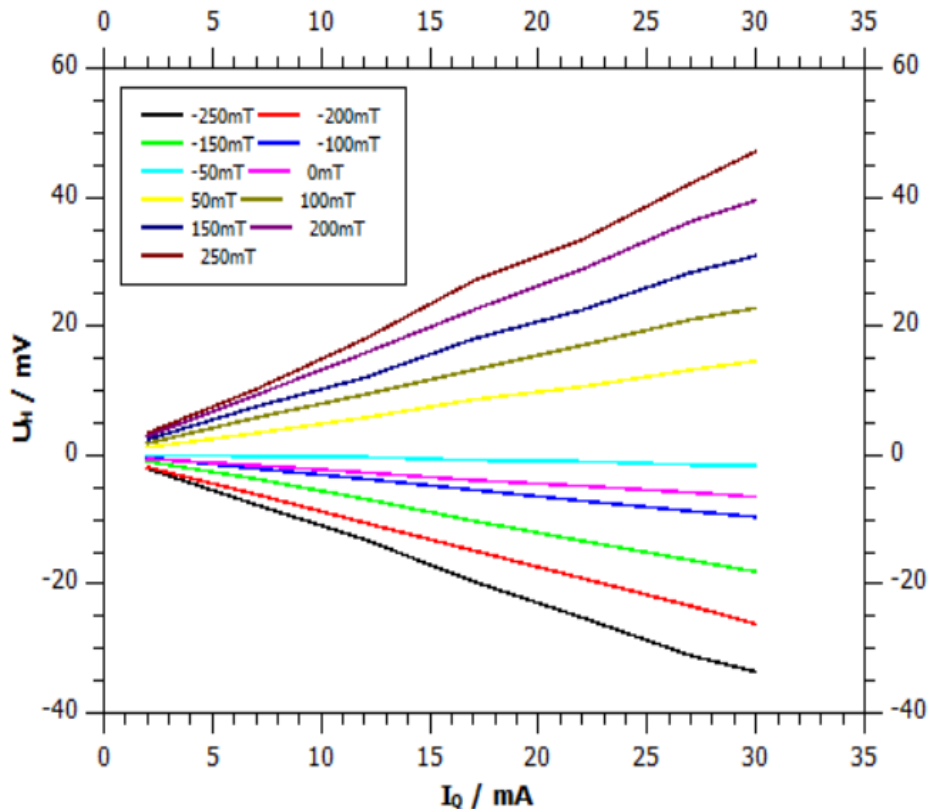


Abbildung 3: Zeigt verschieden I_Q - U_H -Verläufe für verschieden magnetische Feldstärken (siehe Legende)[3]

Aus Gleichung (6) lässt sich auch nun R_H durch lineares Fitten der I_Q - U_H -Kennlinie ermitteln. Dies ist in Abbildung 4 veranschaulicht. Für die Hallkonstante ergibt sich somit ein Wert von

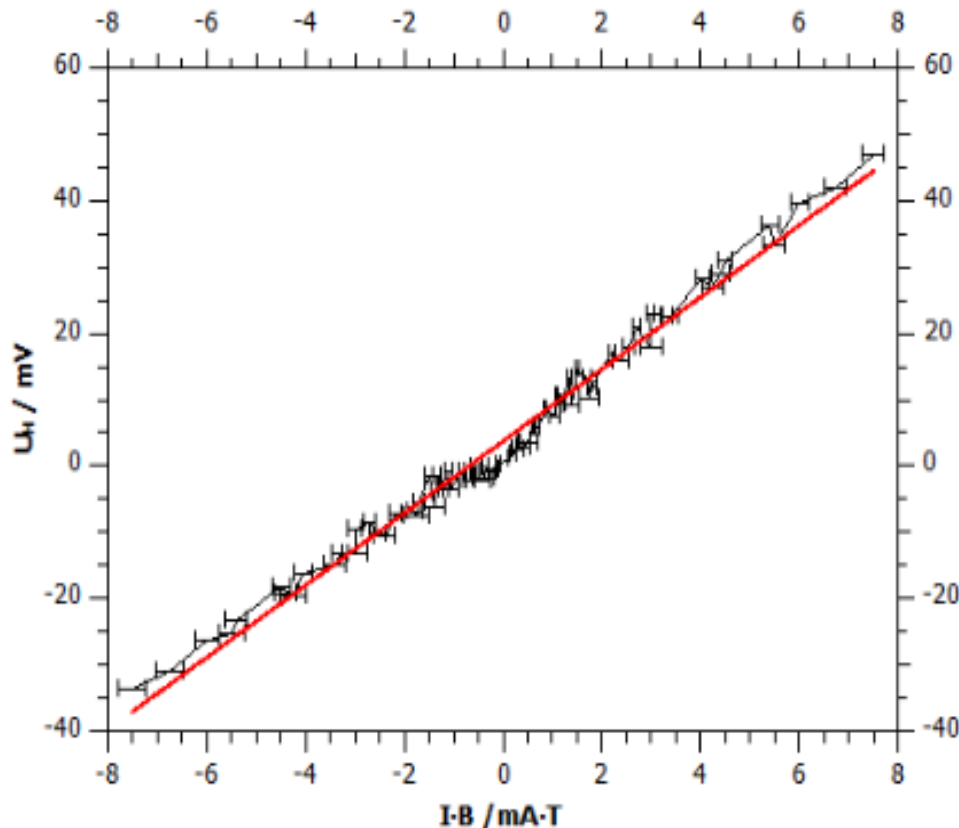


Abbildung 4: Zeigt den Fit zur Bestimmung der Hallkonstante [3]

$R_H = (5,43 \pm 0,08) \text{ m}^3/\text{As}$ Bezüglich der Temperaturabhängigkeit von R_H bei festem B und I_Q könnte man vermuten, dass mit steigender Temperatur die Ladungsträgerkonzentration n_i mit $i = n$ respektive b nach:

$$R_H = - \frac{1}{e_{\text{Elem}} (N \cdot P)^{1/2} \cdot e^{-\frac{E_g}{2kT}}} \quad (7)$$

zusammenhängt. (N und P sind die effektiven Zustandsdichten von Valenz- beziehungsweise Leitungsband; k die Boltzmannkonstante, E_{Elem} die Elementarladung, E_g der Bandabstand zwischen Valenz und Leitungsband und T die Temperatur)

6.2 Bestimmung des Bandabstandes einer Halbleiterprobe

Mit der zur Temperatur proportionalen Spannung U_A (Zusammenhang: $T = 100 \text{ K} \cdot U_A [\text{V}] + 273,15 \text{ K}$) und der Leitfähigkeit σ_i (mit i wird auch hier wieder die Zugehörigkeit zu einer Ladungsträgerart indiziert) (5), welche man aus den Abmessungen der Probe und der aufgezeichneten Spannung U_G erhält (der zugehörige Strom soll während der Messung annähernd konstant gehalten werden) man nach einigen Umformungen aus (3) den Bandabstand (ersichtlich in Abbildung 6; σ gegen T in Abbildung 5 dargestellt). Hier entfiel es sich für die Leitfähigkeit eine logarithmische Achse (genauer $\ln(\sigma)$) zu verwenden (Arrhenius Plot in Abbildung 6). So kann durch lineares Fitten der Temperatur gegen die Leitfähigkeit aus der Steigung $K = \frac{-2kT}{E_g}$ der Bandabstand E_g bestimmt

werden. Erhalten wird hier ein Wert von $E_g = (0,721 \pm 0,002)$ eV (Fit in Abbildung 5 dargestellt). Vergleicht man diesen Wert mit einem Literaturwert von $E_{g(literatur)} = (0,66 \pm 0,005)$ eV [1] so ist der berechnete Wert als plausibel einzuschätzen, weicht aber dennoch signifikant vom Literaturwert ab.

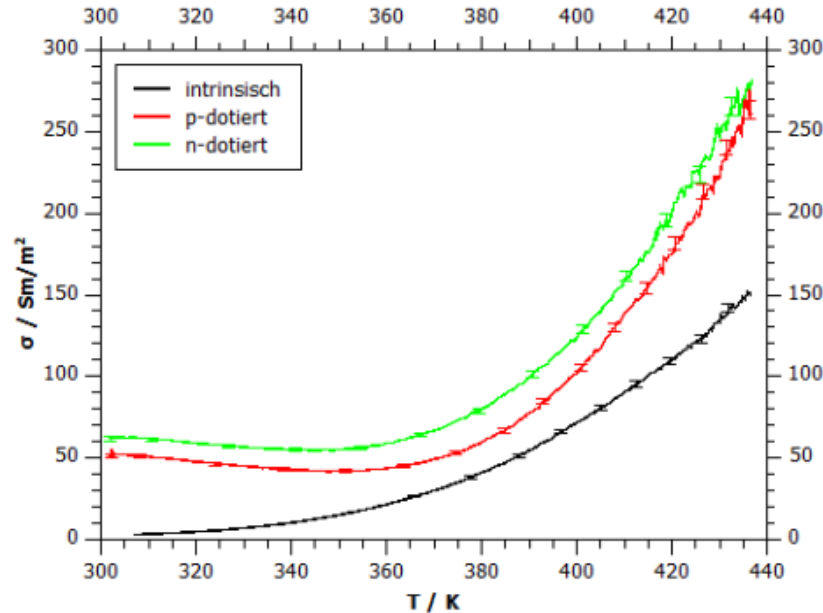


Abbildung 5: Zeigt die Abhängigkeit der Leitfähigkeit (logarithmisch) von der Temperatur für einen undotierten (intrinsischen) Halbleiter und einem n- beziehungsweise p-dotierten[3]

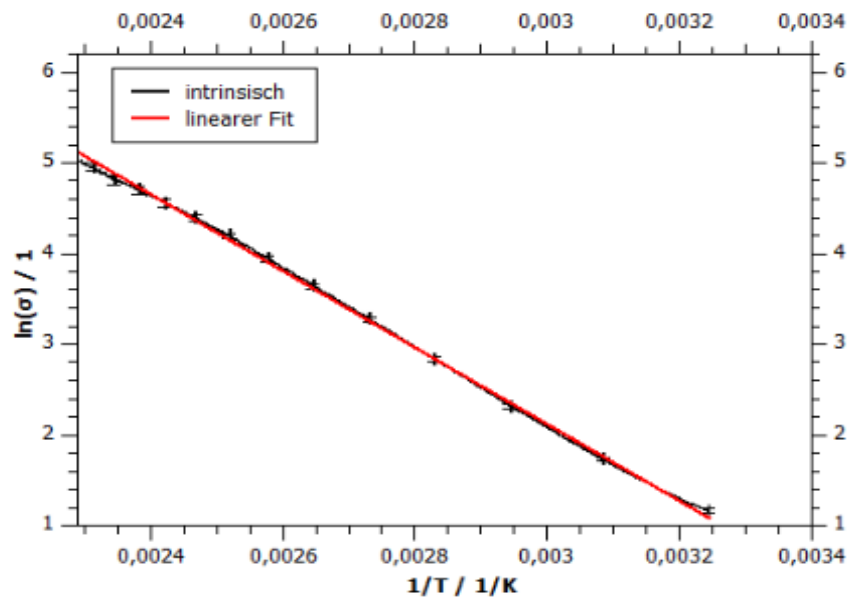


Abbildung 6: Zeigt den Arrhenius-Plot für einen intrinsischen Halbleiter mit einem linearen Fit (rot)[3]

Zu beachten gilt hier, dass für die Berechnungen und das Fitten eine Temperaturunsicherheit von $\Delta_T = 0,1 \text{ K}$ angenommen wurde.

6.3 Helmholtzspulen

Entsprechend des Superpositionsprinzips sollte das Magnetfeld im Mittelpunkt des zylindrischen Spulenzwischenraums annähernd homogen sein. Dementsprechend sollte die tangentiale Messung einen hohen Wert, verglichen zu einem außerhalb des Zwischenraumes führen. Eine leichte Zunahme respektive Abnahme wäre potentiell bei den Ebenen $1/4R$ und $3/4R$ erwarten, da der Spulenabstand nur mit endlicher Genauigkeit gewählt werden kann und das Magnetfeld vor allem in spulennahen Bereichen (bezogen auf den Zwischenraum) eine starke Homogenität aufweisen sollte. Bei dem halben Spulenabstand sollte der höchste Tangentialwert des B -Feldes im Zylinderzentrum zu erwarten sein und mit zunehmender Annäherung in Spulenrichtung abfallen. Außerhalb der Spulen sollte die tangentialkomponente deutlich geringer als im Spuleninneren sein. (Zu erwähnen ist hier, dass nur von einer Tangentialmessung mit parallel zu den Spulen ausgerichteter Sonde ausgegangen wurde, somit bedeutet eine hoher Betrag Tangentialkomponente gleichzeitig eine niedrige Axialkomponenten (Ausnahme: Sonde steht in einem Winkel von 45° auf das B -Feld)) Schematisch in Abbildung 7 ersichtlich.[2]

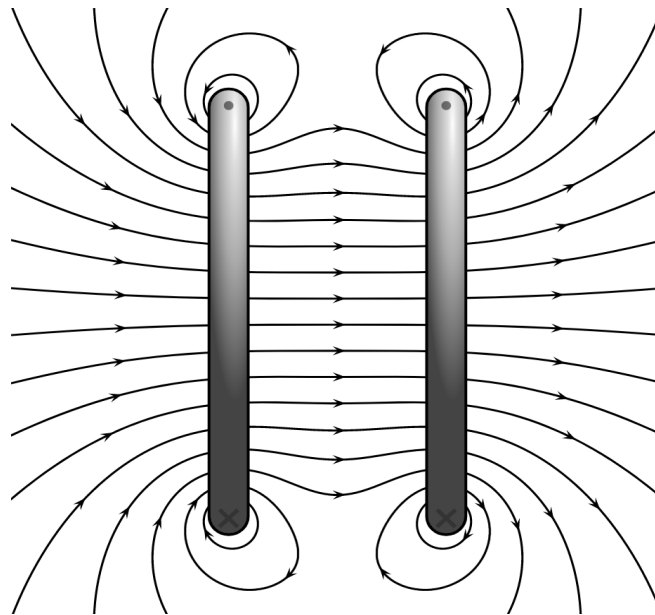


Abbildung 7: Schematische Darstellungen der Feldlinien des Magnetfelds zweier Helmholtzspulen[4]

7 Diskussion und Zusammenfassung

Aufgrund der fehlerhaften Hardware können hier nur Vermutungen hinsichtlich der Defekte angestellt werden. Da sowohl die Hallsonde als auch das Halleffekt Grundgerät als auch die indirekte Temperaturmessung alle über das Cassy-Lab-Modul mit derselben USB-Schnittstelle in den PC gespeist werden, wäre es naheliegend, dass eine Fehlfunktion an besagtem Modul zu unsinnigen Messwerten (weit unter- oder außerhalb des angegebenen Bereichs) oder zu einer grundsätzlichen Unempfindlichkeit (Hallsonde) geführt hat.

8 Danksagung

An dieser Stelle soll Dank für das Zur-Verfügung-Stellen der Ergebnisse für die Berechnung von R_H und E_g und entsprechende Grafiken an Martin Klotz ausgesprochen werden.

Literatur

- [1] Brandenburgische Technische Universität. „Bandabstand von Germanium“. Diss. Cottbus, Senftenberg: Brandenburgische Technische Universität. URL: <https://www-docs.b-tu.de/ag-experimentalphysik/public/versuchsanleitungen/F02-Bandabstand-von-Germanium.pdf>.
- [2] Georg Koller. „Experimente der Festkörperphysik Versuch 1: Hall-Effekt und Bestimmung der Ladungsträgerkonzentration Versuch 2: Bestimmung des Bandabstandes in Germanium Versuch 3: Homogenität des Magnetfeldes eines Helmholtzspulenpaares“. Diss. Graz: Karl Franzens Universität Univesität Graz, 2022. URL: https://moodle.uni-graz.at/pluginfile.php/1950309/mod_resource/content/1/Versuche%20zur%20Festk%C3%B6rperphysik-Halleffekt%20-%20Nr5.pdf.
- [3] Martin Klotz. „Bandabstand Germanium“. Diss. Graz: Karl Franzens Universität Univesität Graz, 6.05.2022.
- [4] physikbuch.schule. *Magnetfelder durch Stromfluss*. 2022. URL: <https://physikbuch.schule/magnetic-fields-of-currents.html>.