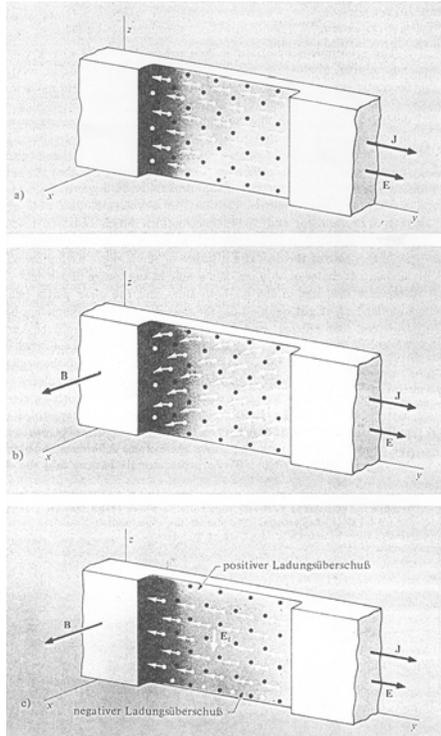


HALL - EFFEKT

GP II

Themen und Begriffe

Elektrisches Feld; *Coulombkraft*. Magnetisches Feld; *Lorentzkraft*.

Bändertheorie; Halbleiter, Valenzband, Leitungsband, Bandlücke; Eigenleitung.

Dotierung; negative und positive Ladungsträger (Elektronen und Löcher); Störstellenleitung.

Normaler und anomaler *Hall-Effekt*.

Besondere Ziele des Versuchs

Beobachtung des *Hall-Effekts* als gemeinsame Wirkung von elektrischen und magnetischen Feldern auf bewegte Ladungsträger in Festkörpern.

Untersuchung von Leitungsmechanismen und Nachweis von Art und Konzentration der Ladungsträger in Metallen und Halbleitern.

Literatur

[1]: Kapitel 7.1.2 mit 7.1.4, 16.3.5, 16.4.1, 16.4.2

[3]: Kapitel 8.1.2, 9.1, 9.2.1, 9.2.2

Skript *HALBLEITER* im allgemeinen Teil dieser Praktikumsanleitung.

Aufgaben

1. Beobachtung des *Hall-Effektes* an Germanium (n- oder p-Ge) als Funktion von Steuerstrom und Magnetfeld. Berechnung der *Hall-Konstanten* von Germanium. Bestimmung von Art und Konzentration der Ladungsträger.
2. Untersuchung der Temperaturabhängigkeit der *Hall-Spannung* bei Germanium und Berechnung der Bandlücke.
3. Aufgabe zur gemeinsamen Durchführung: Beobachtung des *Hall-Effektes* bei Cu und Zn. Abschätzung der *Hall-Konstanten* sowie von Art und Konzentration der Ladungsträger.

Physikalische Grundlagen

Zusätzlich zu den in der Literatur behandelten Grundlagen soll auf zwei Gesichtspunkte hingewiesen werden, die oft vernachlässigt oder nicht dargestellt werden:

- Die zum *Hall-Effekt* beitragenden Ladungsträger können, je nach Material, sowohl negativ (Elektronen) als auch positiv (Löcher) sein. Das führt zu unterschiedlichen Vorzeichen der *Hall-Spannung* und der *Hall-Konstanten* R :

- Bei dotierten Halbleitern sind bei niedrigen Temperaturen die Ladungsträger der Dotierstoffe für die Leitung verantwortlich (Störstellenleitung). Durch thermische Anregung werden zusätzlich Elektronen des eigentlichen Halbleitermaterials (Wirtsgitter) vom Valenzband in das Leitungsband angehoben (Eigenleitung). Bei genügend hohen Temperaturen dominiert diese Eigenleitung gegenüber der Störstellenleitung. Im Bereich der Eigenleitung tragen wegen der unterschiedlichen Beweglichkeit der Elektronen und der Löcher praktisch jedoch nur die Elektronen zum *Hall-Effekt* bei.

Darstellung der physikalischen Grundlagen

(zur Vorbereitung als Teil des Berichts): Darstellung des *Hall-Effekts* und Herleitung der *Hall-Spannung*. Kurze Angabe und Diskussion der Temperaturabhängigkeit der *Hall-Spannung*.

Apparatur und Geräte

Platinen mit Materialproben (n-Ge, p-Ge, Cu und Zn) zum *Hall-Effekt* und verschiedenen zusätzlichen Bauteilen zur experimentellen Untersuchung.

Elektromagnet aus zwei Spulen und einem U-förmigem Eisenkern mit Polschuhen. Verschiedene Stromquellen (Netzgeräte). Digitalmultimeter und ein Mikrovoltmeter zur Messung von Strömen und Spannungen.

Versuchsdurchführung und Auswertung

Bitte die Platinen sorgfältig behandeln. Ge-Kristalle sind spröde und bruchempfindlich, und Brüche der Kristalle durch Verbiegung machen die Platinen unbrauchbar (Preis der Platinen \approx 600 DM). Beim Einsetzen der Platinen in den Magneten und beim Anschluss der Kabel (Stecker) vorsichtig vorgehen. Einsteck- oder Ausziehkräfte der Bananenstecker durch Festhalten der Platinen im Steckbereich gut kompensieren.

Beschaltung

Die Beschaltung geht aus der Leiteranordnung auf den Platinen und aus der Beschriftung hervor.

Steuerstrom

Der Strom durch die Probe wird als *Steuerstrom* bezeichnet. Bei Halbleiter ist die Konstanthaltung des Steuerstroms von besonderer experimenteller Bedeutung, da sich der Widerstand in Abhängigkeit von der Temperatur stark ändert.

Auf den Halbleiterplatinen ist zu diesem Zweck ein Stromkonstanter eingebaut, der für einen gleichbleibenden Steuerstrom von ca. 30 mA unabhängig von der äußeren Spannung (12 bis 30 V) sorgt. Er wird durch die äußere der beiden (-)-Anschlussbuchsen für den Steuerstrom angeschlossen. Der eingebaute Stromkonstanter soll zur Messung der *Hall-Spannung* in Abhängigkeit vom Magnetfeld benutzt werden, da er einen Abgleich der Widerstands-Spannungsabfalls ermöglicht (siehe untenstehender Absatz zur *Hall-Spannung*).

Bei der Messung der *Hall-Spannung* in Abhängigkeit des Steuerstroms kann der eingebaute Konstanter nicht benutzt werden (innere der beiden (-)-Anschlussbuchsen für den Steuerstrom) und das Netzgerät für den Steuerstrom (*Voltcraft*) muss als Stromkonstanter eingesetzt werden (Spannungsbegrenzer auf Maximalwert und Strom mit Strombegrenzer einregeln). Dabei ist vorsichtig vorzugehen, so dass der Maximalwert von 50 mA für den Steuerstrom nicht überschritten wird (Netzgerät mit 200-mA-Strombegrenzung benutzen).

Bei den Metallproben wird der Steuerstrom direkt angeschlossen und darf maximal 20 A betragen.

Hall-Spannung

Quer zur Probe wird die *Hall-Spannung* abgegriffen. Da die beiden Abgriffe für die *Hall-Spannung* aufgrund fertigungsbedingter Toleranzen nicht direkt gegenüber liegen, tritt zusätzlich zur *Hall-Spannung* ein Widerstands-Spannungsabfall auf. Um diesen zu kompensieren, wird die Spannung auf der einer Seite etwas "oberhalb" und "unterhalb" des gegenüberliegenden Punkts abgegriffen und mittels eines Potentiometers abgeglichen. Diese Nullpunktkorrektur der *Hall-Spannung* ist jeweils ohne Magnetfeld vorzunehmen.

Bei den Halbleiterproben ist diese Schaltung nur bei Benutzung des eingebauten Stromkonstanters (s.o.) wirksam. Bei direktem Anschluss des Steuerstroms zur Messung der *Hall-Spannung* in Abhängigkeit vom Steuerstrom müssen der Nullpunkt gemessen und die Messwerte rechnerisch korrigiert werden.

Heizung und Thermoelement

Zur Untersuchung der Temperaturabhängigkeit sind die Proben (Platinen) zusätzlich mit einer Heizung und einem Thermoelement zur Temperaturbestimmung ausgerüstet.

Magnet

Beim Anschluss der Magnetspulen ist auf richtige Hintereinanderschaltung der beiden Spulen zu achten. Zur Stromversorgung ist ein Netzgerät vorhanden (*Voltcraft* 0...30 V, "2-A"-Gerät).

Im Platzskript ist eine Eichkurve für das Magnetfeld im Zentrum der Polschuhe in Abhängigkeit vom Magnetstrom vorhanden; der Magnetstrom darf maximal 2 A betragen.

Achtung: Zur Überprüfung der Polarität der *Hall-Spannung* in Hinsicht auf das Vorzeichen der Ladungsträger ist eine sehr sorgfältige Berücksichtigung und Dokumentation der Orientierung aller experimenteller Größen (Magnetfeld aus Windungs-Drehsinn der Spulen und Richtung des Magnetstroms, Richtung des Steuerstroms bzw. Anschlusspolarität der Steuerstromquelle, Polarität der *Hall-Spannung* bzw. Anschlusspolarität des Spannungs-Messgeräts). Zur Dokumentation ist eine Skizze des Versuchsaufbaus unerlässlich, die diese

Orientierungen und Anschlüsse der Messgeräte klar erkennen lässt! Bei den Werten der *Hall-Spannung* muss das Vorzeichen protokolliert werden!

Zu Aufgabe 1:

Als Steuerstromquelle wird ein zweites *Voltcraft*-Netzgerät ("200-mA"-Gerät) benutzt.

Für die Untersuchung der *Hall-Spannung* in Abhängigkeit des Magnetfeldes können der auf der Platine installierte Stromkonstanter (äußere (-)-Anschlussbuchse) und das Potentiometer (Drehstift) zum Abgleich des Widerstands-Spannungsabfalls benutzt werden.

Für die Messung bei veränderlichem Steuerstrom muss die innere, "direkte" Buchse angeschlossen werden; siehe dazu auch die allgemeinen Hinweise zu Steuerstrom und *Hall-Spannung* oben.

- Der Steuerstrom darf 50 mA nicht überschreiten.

Das Abgleichpotentiometer für den Widerstands-Spannungsabfall ist bei dem Anschluss ohne Stromkonstanter nicht wirksam, und zur Korrektur der Spannungswerte müssen die Spannungsabfälle für die einzelnen Steuerstromwerte bei abgeschaltetem Magnetfeld gemessen (Ausschalten des Magnetstrom-Netzgerätes am Netzschalter) und die Messwerte rechnerisch korrigiert werden.

Der Steuerstrom und die *Hall-Spannung* werden mit zwei Digitalmultimetern gemessen.

Zu Aufgabe 2:

Zusätzlich zu der Beschaltung von Aufgabe 1 werden die Heizspannungsquelle und ein weiteres Multimeter zur Messung der Thermospannung angeschlossen, und die *Hall-Spannung* in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen.

Die Heizung wird mit 6-V-Wechselspannung betrieben, der Heizstrom beträgt dann etwa 5 A. Der Temperaturkoeffizient des Thermoelements beträgt 40 μ V/K (Temperaturdifferenz zur Raumtemperatur).

- Die Temperatur der Platinen darf 150 °C entsprechend 5 mV Thermospannung nicht überschreiten!

Die Heizung (Stufentransformator) soll intermittierend (kurzzeitiges Einschalten mit Pausen) benutzt werden, um die Aufheizgeschwindigkeit zur sicheren Kontrolle und zur zuverlässigen Aufnahme der Messwerte nicht zu groß werden zu lassen.

Die Thermospannung kann (noch) mit den Digitalmultimetern gemessen werden. Die Messgenauigkeit ist durch die geringe Auflösung (0,1 mV entsprechend 2,5 K) zwar deutlich begrenzt, kann aber im Rahmen der übrigen Messbedingungen (z.B. Temperaturgradienten) und der Zielsetzungen des Praktikums als ausreichend betrachtet werden. Bei geeigneter logarithmischer Darstellung (siehe Gleichung 1 des Skripts *HALBLEITER* im allgemeinen Teil dieser Praktikumsanleitung) zeigt die *Hall-Spannung* im Bereich hoher Temperaturen (Eigenleitung) den erwarteten linearen Verlauf, aus deren Steigung sich der Bandabstand ΔE ermitteln lässt.

Zu Aufgabe 3

Für die Messung des *Hall-Effektes* an den Metallproben (Kupfer) ist ein 10-A-Netzgerät für die erforderlichen hohen Steuerströme vorhanden. Die *Hall-Spannung* bleibt dennoch vergleichsweise klein und muss mit einem empfindlichen Mikrovoltmeter (*HP 3457A*) oder zum Vergleich mit dem Digitalmultimeter (*HP 3457A*) gemessen werden.

Da die Messungen an den Metallproben wegen experimenteller Schwierigkeiten (Folien mit großen Toleranzen als dünne Proben; dennoch sehr kleine Werte für die Hall-Spannung) mehr qualitativen Charakter in Hinsicht auf das Vorzeichen haben, und auch nur ein Netzgerät für hohe Ströme und ein empfindliches Mikrovoltmeter vorhanden sind, sollen die Messungen gemeinsam in der 6-er-Gruppe durchgeführt werden. Die Messungen sind jedoch von allen Einzelgruppen zu protokollieren und auszuwerten.