



Physikalisches Praktikum II

Bachelor Physikalische Technik: Lasertechnik
Prof. Dr. H.-Ch. Mertins, MSc. M. Gilbert

FK03 Magnetfeldmessung: Hall-Effekt

(Pr_PhII_FK03_Halleffekt_7, 24.10.2015)

Name	Matr. Nr.	Gruppe	Team
1.			
2.			
Protokoll ist ok	O	Datum	Abtestat
Folgende Korrekturen nötig	O		

Hinweis

Lesen Sie die Versuchsanleitung (inkl. Versuchsdurchführung & Auswertung!) gründlich durch und machen sich mit den Begrifflichkeiten vertraut. Die Teilnahme am Praktikum erfordert das erfolgreiche Beantworten der Zulassungsfragen am Versuchstag (siehe Anleitung) oder alternativ eine kurze Vorstellung eines Themengebietes an der Tafel.

1. Ziel

Um 1879 beobachtete E. Hall zum ersten Mal den nach ihm benannten Effekt. Heute ist er von großer Bedeutung in der Messtechnik. Er findet Anwendung in Magnetfeldsensoren und zur Bestimmung der Dichte und Beweglichkeit von Ladungsträgern in Halbleitermaterialien.

In diesem Praktikum kalibrieren Sie einen Hallsensor und vermessen das Magnetfeld einer Spule.

2 Theorie

Der Halleffekt beruht auf dem Einfluss des Magnetfeldes auf die Ladungsträgerbewegung in Festkörpern. Befindet sich ein stromdurchflossener Leiter im Magnetfeld, so beobachtet man senkrecht zur magnetischen Flussdichte B und senkrecht zur Stromrichtung die Hallspannung U_H . Zum Verständnis des Halleffektes betrachten wir einen Strom I , der durch einen Leiter, hier den Hallsensor, fließt (Abb. 1). Das entspricht einer Driftbewegung der Ladungsträger mit der Geschwindigkeit v . Die Lorentzkraft F_L auf bewegte Ladung steht senkrecht auf v und B und zeigt im hier skizzierten Fall nach oben. Der Betrag der Lorentzkraft ist

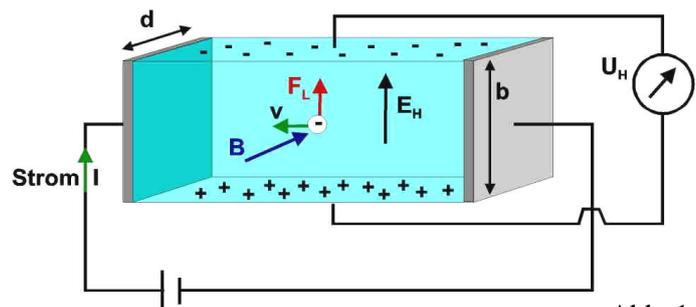


Abb. 1

$$(1) \quad F_L = e(v \cdot B)$$

In dem hier skizzierten Fall sind die Elektronen die Ladungsträger und sammeln sich nahe dem oberen Rand. Genau genommen ist es nur eine leichte Ladungsverschiebung. Als Folge baut sich zwischen oberem und unterem Rand ein elektrisches Hall-Feld E_H auf, das der Lorentzkraft so lange entgegen wirkt, bis sich ein Gleichgewicht der Kräfte einstellt

$$(2) \quad F_L = F_e = eE_H = e \frac{U_H}{b}.$$

Aus dem Hallfeld ergibt sich mit der Breite b des Leiters die Hall-Spannung U_H . Der Strom I durch den Leiter mit Querschnitt A hängt von der Driftgeschwindigkeit v und von der Dichte n der Ladungsträger ab

$$(3) \quad I = n e v A.$$

Aus den Gl. 1) – 3) folgt der lineare Zusammenhang zwischen der zu messenden Hallspannung und dem daraus zu bestimmenden B-Feld

$$(4) \quad U_H = \frac{1}{ne} \frac{I}{d} B, \quad R_H = \frac{1}{ne}.$$

Die Hallkonstante R_H bestimmt die Messempfindlichkeit des Materials. Sind positive Löcher die den Strom tragenden Ladungsträger, so sammeln diese sich oben (Abb. 1) und die Hallspannung ändert ihre Polarität. Man kann also aus dem Vorzeichen der Hallspannung auf die Art der Ladungsträger schließen. Metalle mit großer Ladungsträgerdichte n sind demnach schlecht zum Bau einer Hallsonde geeignet, die bei kleinem B-Feld ein großes Messsignal U_H liefern soll. Gut geeignet sind dagegen leicht dotierte Halbleiter wie Germanium. Mit ihnen erreicht man Werte von einigen V/T für U_H/B . Die Hallspannung kann weiter maximiert werden, indem die Dicke d des Leiters verringert wird oder der „Arbeitsstrom“ I vergrößert wird. Allerdings setzt der Strom selbst dieser Optimierung eine Grenze. Aufgrund der relativ kleinen Beweglichkeit der Ladungsträger ist der Widerstand des Leiters relativ groß, was zur Erzeugung von Wärme führt. Das führt letztlich zur Zerstörung des Hallsensors.

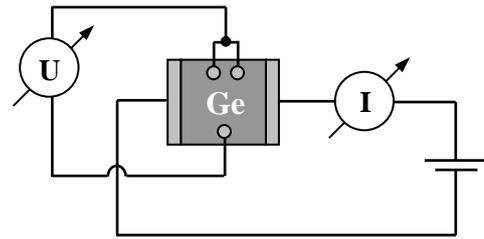
Zum Betrieb eines Hallsensors lässt man also einen Arbeitsstrom fließen und misst quer zur Stromrichtung die Hallspannung $U_H(I, B)$ als Funktion des Stroms und des wirkenden B-Feldes. Zur praktischen Messung des B-Feldes muss der Sensor kalibriert werden, d.h. die Werte n , d und I müssen bekannt sein. Andererseits kann bei bekanntem B-Feld die Ladungsträgerkonzentration n , eine wichtige Halbleitergröße, ermittelt werden. Für die praktische Messung des B-Feldes mit einer Hallsonde sind die Werte mit einer Korrekturspannung (Offset) abzugleichen, denn selbst bei $B = 0$ tritt eine Spannung auf (Offsetspannung). Die Ursache liegt in der Kontaktierung der Drähte, womit U_H gemessen wird (Abb. 1). Meist liegen diese nicht exakt gegenüber, und somit nicht auf ein und derselben Äquipotenzialfläche des elektrischen Längsfeldes welches den Arbeitsstrom treibt. Die dadurch entstehende Potenzialdifferenz muss durch eine Korrekturspannung ausgeglichen werden.

Fragen zur Zulassung

- Erklären Sie die Begriffe: Halbleiter, Driftgeschwindigkeit von Ladungsträgern
- Wie sind Lorentzkraft und elektrische Kraft auf Ladungen definiert?
- Erklären Sie den Halleffekt.
- Skizzieren Sie die Schaltung zum Halleffekt.

3. Durchführung

3.1 Machen Sie sich mit der Kontaktierung des Germanium-Halbleiters vertraut. Notieren Sie Material und Größe. Bauen Sie die Hall-Schaltung auf und skizzieren Sie diese. Fragen Sie den Betreuer nach dem maximal erlaubten Strom (ca. 40 mA). Bestimmen Sie den Widerstand R des Hallsensors.



3.2 Messen Sie die Hall-Offsetspannung, die ohne Magnetfeld auftritt. Um diesen Wert müssen die späteren Messwerte vorzeichenrichtig korrigiert werden.

3.3 Experimentieren Sie qualitativ mit dem Permanentmagneten und bestimmen Sie die Position, Winkel, Abstand des Magneten, für welche maximale Hallspannung auftritt.

3.4 Bauen Sie nun die Doppelspule auf und platzieren Sie den Hallsensor in der Spulenmitte. Lassen Sie den Aufbau vom Betreuer überprüfen. Messen Sie die Hallspannung als Funktion des Spulenstroms ($-1\text{A} < I < +1\text{A}$) in 0,2 A Schritten. Notieren Sie die gesamte Spulenlänge L und Wicklungszahl N .

3.5 Zur Kalibrierung des Halbleiters als Hallsensor, bestimmen Sie das Magnetfeld der Spule am Ort des Halbleiters rechnerisch aus den Daten der Spule.

4. Auswertung

4.1 Beschreiben Sie kurz in 3 – 5 Sätzen die Wirkungsweise des Hallsensors.

4.2 Bestimmen Sie das B-Feld im Zentrum der Spule aus dem fließenden Strom I mit

$$B(I) = \mu_0 N I / L$$

Tragen Sie diese Werte für den Messbereich aus 3.4 in ein Diagramm ein. Erstellen

4.3 Erstellen Sie aus den Daten von 3.4 und 4.2 die Kalibrierkurve $U_H(B)$ für den Hallsensor. Ziehen Sie dazu vorher die Offsetspannung $U_H(B = 0)$ ab und tragen die korrigierten Werte in ein Diagramm ein. Machen Sie hierzu die Fehlerrechnung.

4.4 Bestimmen Sie die Ladungsträgerdichte des Halbleiters und vergleichen Sie mit Literaturwerten für Germanium. Welche Materialien eignen sich besonders als Hallsensor?