

Hall 効果

Toshiya Tanaka

富山大学理学部物理学科

July 26, 2021

- 電気抵抗測定の手法である二端子法と四端子法の違いを学ぶ.
- 典型的半導体である Si の Hall 効果測定を行う.
- 金属と半導体の電気伝導特性を学ぶ.

Hall 効果

- 磁場と電流と垂直な方向には電圧 V_H が生じる.
- V_H は B と I に比例し, 試料の厚さ t に反比例する. すなわち

$$V_H = R_H \frac{IB}{t}$$

となり, 比例定数を Hall 係数 R_H という.

- Hall 係数は

$$R_H = \frac{1}{qn}.$$

- 半導体の性質を示すキャリア密度 n , 移動度 μ は

$$n = \frac{1}{qR_H}$$
$$\mu = \frac{1}{\rho ne}$$

で与えられる.

Hall 電圧測定

- 単に電圧を測定すると, Hall 電圧 V_H にくわえ, オームドロップ V_R と熱起電力 V_{therm} も加わる.
- 電流と磁場を反転させることで取り除くことが出来る.
- $I \rightarrow -I$ で V_H , V_R が反転, $B \rightarrow -B$ で V_H が反転するので,

$$V(I, B) = V_H + V_R + V_{\text{therm}}$$

$$V(-I, B) = -V_H - V_R + V_{\text{therm}}$$

$$V(-I, -B) = V_H - V_R + V_{\text{therm}}$$

$$V(I, -B) = -V_H + V_R + V_{\text{therm}}$$

ゆえ,

$$V_H = \frac{1}{4}(V(I, B) - V(-I, B) - V(I, -B) + V(-I, -B))$$

として, V_H のみが分かる.

- ① 電気抵抗測定
 - 二端子法
 - 四端子法
- ② ポテンショメータを用いた Hall 電圧測定
 - 電流, 磁場を反転
- ③ ポテンショメータを用いない Hall 電圧測定

二端子法と四端子法

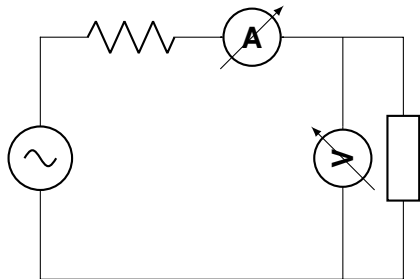


Figure 1: 二端子法による電気抵抗測定.

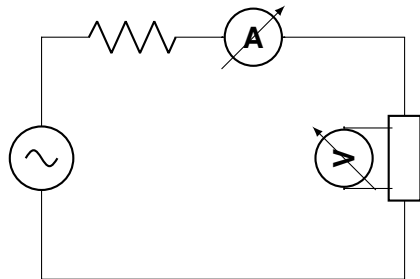


Figure 2: 四端子法による電気抵抗測定.

ポテンショメータありとなし

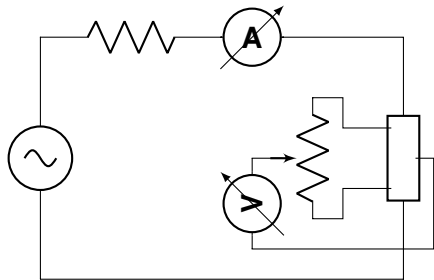


Figure 3: ポテンショメータを用いる電圧測定.

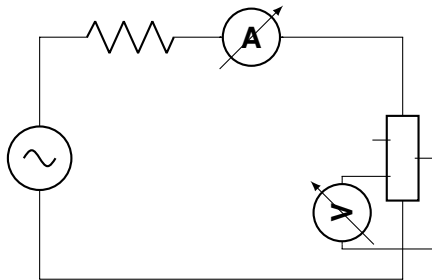


Figure 4: ポテンショメータを用いない電圧測定.

Table 1: 各測定法での抵抗値. 単位は $[\Omega]$ である.

	直接測定	二端子法	四端子法
試料 1	936.1	1035	246.0
試料 2	514.8	568.8	57.58

結果

二端子法

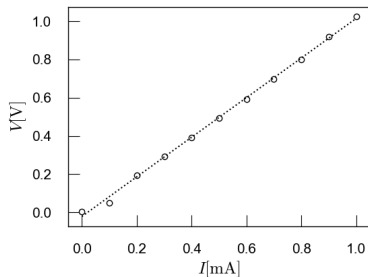


Figure 5: 試料 1 の二端子法による電圧測定.

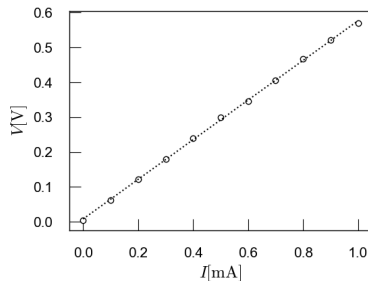


Figure 6: 試料 2 の二端子法による電圧測定.

結果

四端子法

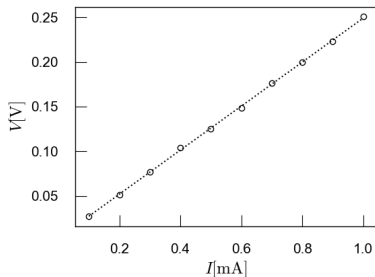


Figure 7: 試料 1 の四端子法による電圧測定.

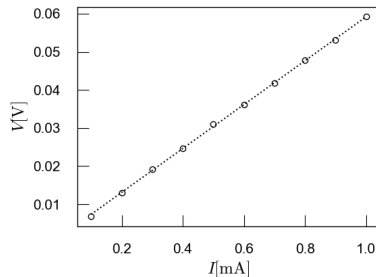


Figure 8: 試料 2 の四端子法による電圧測定.

結果

ポテンショメータあり

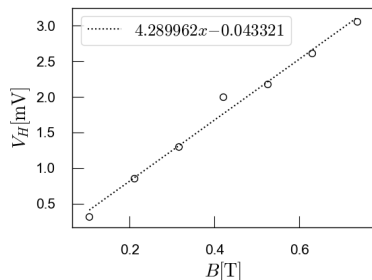


Figure 9: 試料 1, 電流 0.5[mA] の
磁場-Hall 電圧特性.

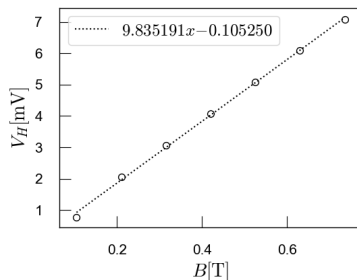


Figure 10: 試料 1, 電流 1.0[mA] の
磁場-Hall 電圧特性.

結果

ポテンショメータあり

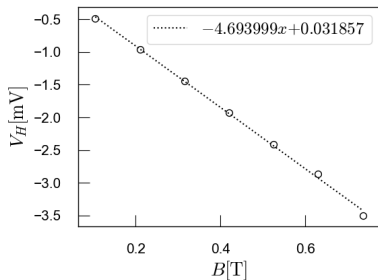


Figure 11: 試料 2, 電流 0.5[mA] の
磁場-Hall 電圧特性.

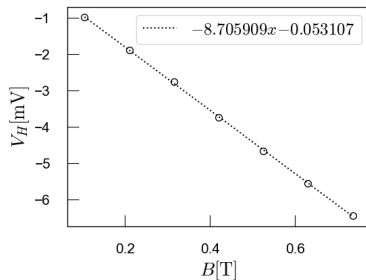


Figure 12: 試料 2, 電流 1.0[mA] の
磁場-Hall 電圧特性.

結果

ポテンショメータなし

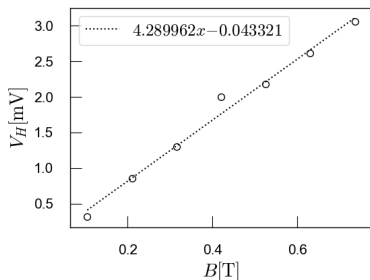


Figure 13: 試料 1, 電流 0.5[mA] の磁場-Hall 電圧特性.

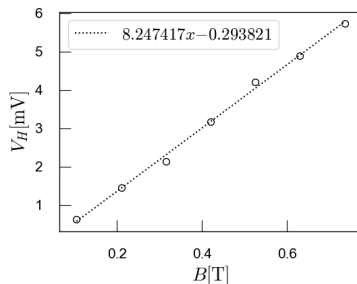


Figure 14: 試料 1, 電流 1.0[mA] の磁場-Hall 電圧特性.

結果

ポテンショメータなし

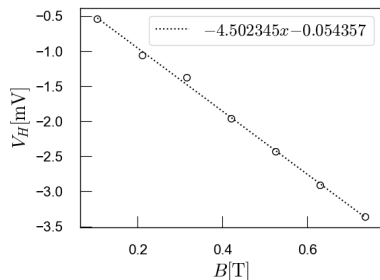


Figure 15: 試料 2, 電流 0.5[mA] の磁場-Hall 電圧特性.

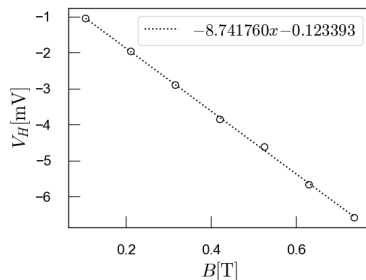


Figure 16: 試料 2, 電流 1.0[mA] の磁場-Hall 電圧特性.

課題への解答

- 電気抵抗測定において、順方向と逆方向の抵抗が違うのはなぜ？
 - ▶ 熱起電力がどちらかの方向に印加されたり、電圧計のゼロ点のずれのため。
- 電流電圧特性がオームの法則を満たしていることを確認せよ。
 - ▶ 表 5, 6, 7, 8 より Ohm の法則を満たしていることが分かる。
- マルチメータを使ったときの抵抗値、二端子法による抵抗値、四端子法による抵抗値の順に小さくなっているのはなぜか。
 - ▶ マルチメータを使ったときは、導線プラス接触の抵抗が、二端子法では、端子の接触抵抗が試料本来の抵抗に加わるため。四端子法では、電圧端子間の試料の電圧のみを測定する。

Table 2: 各測定法での抵抗値。単位は $[\Omega]$ である。

	直接測定	二端子法	四端子法
試料 1	936.1	1035	246.0
試料 2	514.8	568.8	57.58

- 抵抗率 ρ , ホール係数 R_H , キャリア密度 n , 移動度 μ を求め, 比較せよ.
 - ▶ 表 3 にまとめる. 試料 1 の Hall 係数の値は正, 試料 2 のそれは負であった. Hall 係数の符号からはキャリアが電子であるかホールであるかが分かる. また, 一般にホールの方が電子よりも移動度が一桁程度小さいことが知られており (参考: [Kit] など) それともあっている.

Table 3: 課題 4 の解答.

	抵抗率 $\rho[\Omega \cdot \text{m}]$	Hall 係数 $R_H[\text{m}^3/\text{C}]$	キャリア密度 $n[/math> \text{m}^{-3}]$	移動度 $\mu[\text{m}^2/(\text{V} \cdot \text{s})]$	キャリア
試料 1, 0.5[mA]	0.111	7.456×10^{-5}	8.383×10^{22}	6.699×10^{-4}	ホール
試料 1, 1.0[mA]	0.111	$0.7.776 \times 10^{-5}$	8.0484×10^{22}	6.6977×10^{-4}	ホール
試料 2, 0.5[mA]	0.03187	-7.4124×10^{-5}	-8.4317×10^{22}	-2.3260×10^{-3}	電子
試料 2, 1.0[mA]	0.03187	-6.8739×10^{-5}	-9.0923×10^{22}	-2.1567×10^{-3}	電子

課題への回答

- ポテンショメータでバランスをとったときととらなかったときの違いを答えよ。
 - ▶ ポテンショメータでバランスをとると、電圧測定がゼロ付近から始まる。
 - ▶ 電圧計の精度は電圧が小さいほどよく、電圧が高くなると桁落ちする、

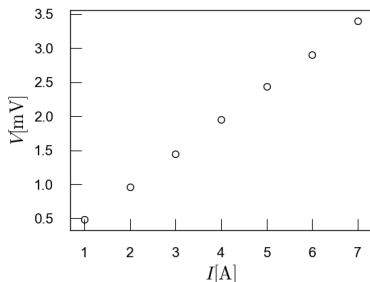


Figure 17: ポテンショメータありの例。試料 1 に 0.5mA の順方向。

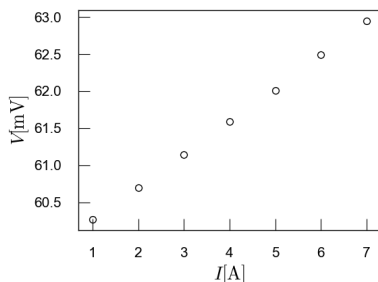


Figure 18: ポテンショメータなしの例。試料 1 に 0.5mA の順方向。



Kittel. 宇野良清他訳. “キッテル固体物理学入門” 第 8 版. 丸善.



Ashcroft, Mermin, Wei. “Solid State Physics” Revised edition.
Cengage Learning.



山下巖, 半導体物理学 <https://tinystones.net/intro2.html>



国立天文台 理科年表 2020 丸善出版

- 二端子法と四端子法について.
- Hall 係数により半導体の特徴量が分かる.
- オームドロップと熱起電力を消すために, 電流および磁場を反転して測定.
- 精度を上げるためにポテンショメータを使うとよい.
- Hall 係数でキャリアが分かる.
- ホールの方が電子より移動度が小さい.