

はじめにお読みください

この文章は、研究室に所属する学生が研究活動の一環として作成してくれたものです。研究室セミナーの時間に輪番で発表してもらい、研究に関連した事項の基礎知識の向上をはかりました。内容・文章ともに未だ不完全なものもありますが、2018 年度に調査してくれたものを公開いたします。

※学生の作成してくれたファイルをそのまま公開しております。ところどころ誤った記述もあるため、内容については保証いたしかねます。ご注意ください。
(2019 年度以降、少しずつ改訂していく予定です。)

2018 年 3 月 名古屋工業大学 川崎・石井研究室
<http://kawasaki.web.nitech.ac.jp/jp/tips/index.shtml>

【執筆者一覧】

・ 卒研生

伊達 怜実、堀之内 理紗、山田 えみり、吉谷 駿、渡邊 裕介

・ M1

浅井 七海、亀岡 真祐子、近藤 航平、長谷川 毅、横井 和真、高橋 実夏子

・ M2

石亀 弘基、久野 潤也、中村 元海、林 遼治、松下 一樹、眞鍋 駿

・ D3

李 蒼昊

【半導体物理】

4. ホール効果測定とゼーベック係数測定について解説してください。半導体の p 型と n 型の判定はどうすればできますか？キャリア密度を算出する方法について教えてください。

作成日： 2018 年 4 月 16 日

担当者： 近藤 航平

1. ホール効果測定

ホール効果とは、半導体試料に流れる電流に垂直方向に磁界を作用させると、電流と磁界に垂直な方向に電界が生じる現象である。まず、正孔がキャリアの多数を占める p 型半導体を用いてホール効果の原理を説明する。また、ホール効果の概略図を Fig. 1-1 に示す。p 型半導体試料に電流を流し垂直方向に磁界を加えると、フレミング左手の法則より、正孔がローレンツ力の影響を受けて、正孔は片側にたまる。すると半導体内で電位差が生じ、電界が生じる。また、この電界により正孔が受ける力とローレンツ力が受ける力が釣りあうことで定常状態となる。このとき発生した電界をホール電界と呼び、それにより発生する電圧をホール電圧と呼ぶ。一方、n 型半導体では、キャリアである電子がローレンツ力の影響を受ける。すると、p 型半導体の場合と逆の方向にホール電界が生じる。よって、ホール電圧を測定しその正負を見ることで、電界の方向がわかるため、p 型 n 型の判別をすることができる。

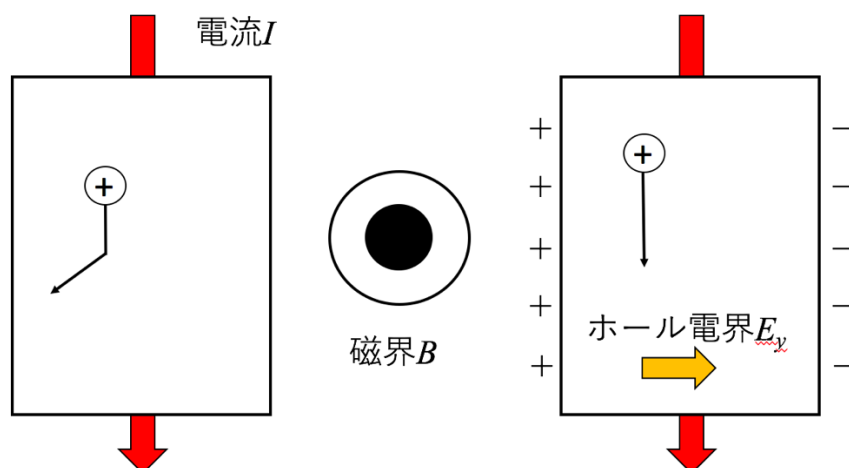


Fig. 1-1 p 型半導体におけるホール効果の概略図 (a)磁界を加えたとき (b)磁界を加えてから定常状態となったとき

次にキャリア密度を算出する方法について説明する。まず、ホール電界 E_y 、電流密度 J_x 、磁束密度 B を用いてホール係数 R_H が以下の式で与えられる。

$$R_H = E_y / J_x B \quad (1.1)$$

ここで、未知の値である磁束密度 B の値は、ホール素子を用いることにより求めることができる。ホール素子とは、ホール効果を利用して磁界を電気信号に変換して出力する磁気センサーである。これを用いて磁束密度 B を求めると、(1.1)式よりホール係数 R_H を算出できる。また、キャリア密度 n に対するホール係数 R_H は以下の式で与えられる。

$$R_H = 1 / nq \quad (1.2)$$

ここで、 q はキャリアの電荷（正孔の場合は正、電子の場合は負）である。つまり、(1.2)式より、キャリアの種類とホール係数 R_H の値が求められれば、半導体試料中のキャリア密度 n を求めることができる。

2. ゼーベック係数測定

ゼーベック係数測定はゼーベック効果という現象を利用する。ゼーベック効果は、異なる金属や半導体に温度差をつけると電位差が生じる現象である。これは高温側で発生したキャリアが低温側へ移動するために起こる。高温側の温度と電位を T_1, V_1 、低温側の温度と電位を T_2, V_2 とすると、温度差 ΔT と電位差 ΔV は $\Delta T = T_1 - T_2, \Delta V = V_1 - V_2$ と表すことができる。すると、ゼーベック係数 α の値は以下の式から求めることができる。

$$\alpha = -\Delta V / \Delta T$$

(2.1)

ここで、ゼーベック係数 α の符号からキャリアの種類を特定することができる。ゼーベック係数 α の値が正であればキャリアは正孔、負であればキャリアは電子である。ゼーベック効果の概略図を Fig. 2-1 に示す。

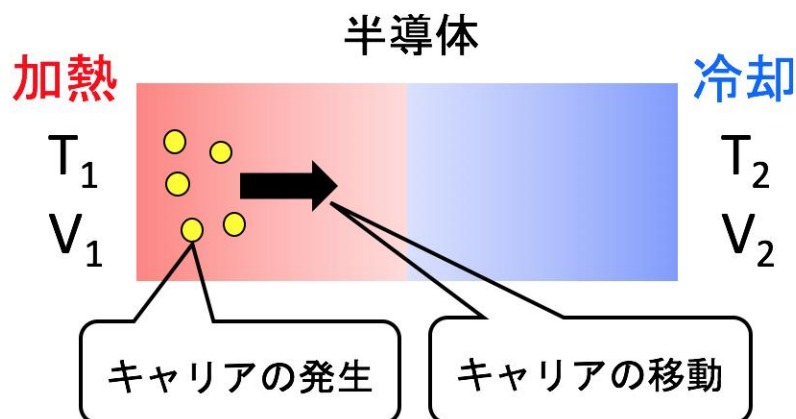


Fig. 2-1 ゼーベック効果の概略図

我々の研究室では温度差 ΔT を以下のように求めている。クロメル-アルメル熱電対のゼーベック係数の値は室温において $\alpha = 40 \mu\text{V K}^{-1}$ であると報告されている。^[1] 試料近くに設置したクロメル-アルメル熱電対の電位差 ΔV_{CA} を測定することで、(2.1) 式から温度差 ΔT を求めることができる。電位差 $\Delta V, \Delta V_{CA}$ の測定装置には Model 2182A Nanovoltmeter (KEITHLEY) を用いている。

測定に用いるゼーベック係数測定装置は自作した。Fig. 2-2 に装置図を示す。

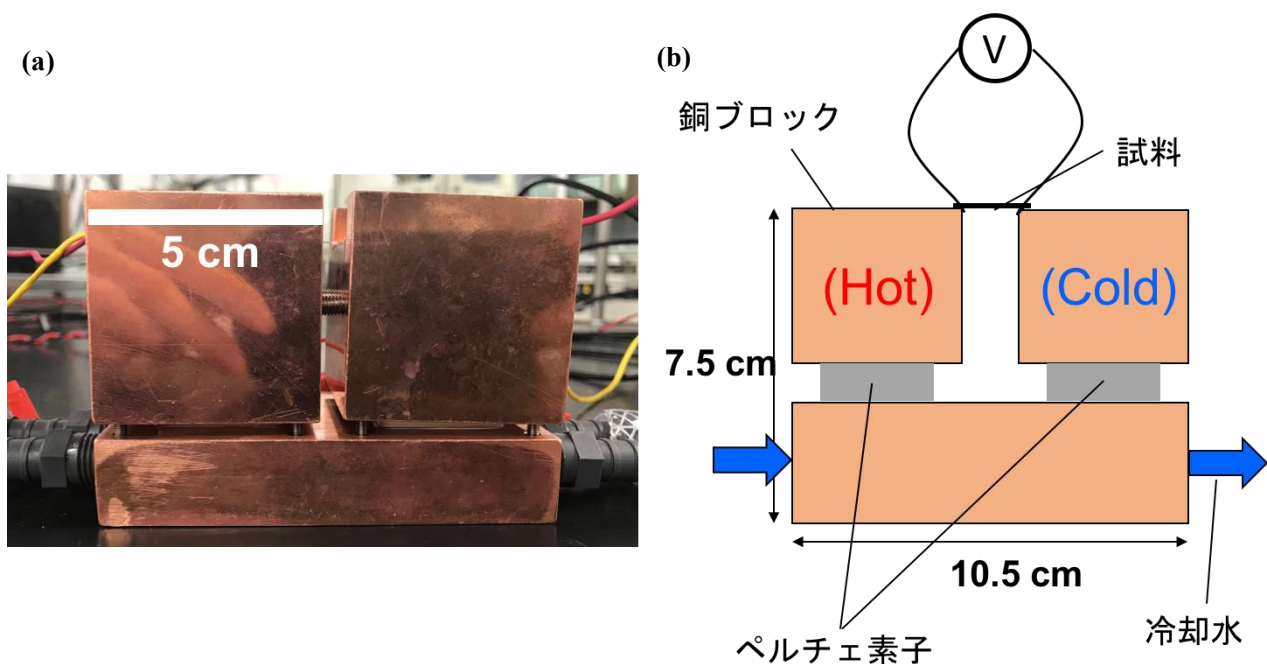


Fig. 2-2 ゼーベック係数測定装置図 (a)写真 (b)模式図

次に、キャリア密度 n を算出する方法について説明する。ヨッフエの古典近似式より、キャリア密度 n に対するゼーベック係数 α は以下の式で与えられる。

$$\alpha = (k/q) \{ \ln(N_c/n) + C \} \quad (2.2)$$

ここで、 k はボルツマン定数、 q はキャリアの電荷（正孔の場合は正、電子の場合は負）、 N_c は有効状態密度、 C は定数（ ≈ 1 ）である。有効状態密度は、すべてのキャリアが伝導帯の下端または価電子帯の上端にあるとしたときに、キャリアが存在することができる密度である。ここで、有効状態密度 N_c が未知の値である場合、参照試料（同一組成のもの）としてキャリア密度がわかっている試料についてゼーベック係数を測定すれば、有効状態密度 N_c の値の見積もりができ、(2.2)式からキャリア密度 n を求めることができる。

参考文献

- [1] L. E. J. Cowles and L. A. Dauncey, *J. Sci. Instrum.* **39**, 16 (1962)