

九州大学中央分析センター

78

センター
ニュース

平成 14 年 10 月

目 次

分析機器解説シリーズ (76)	1
ホール効果測定による半導体の電気特性評価	
お知らせ.....	5
お尋ね、希望調査.....	5

ホール効果測定による半導体の電気特性評価

九州大学大学院総合理工学研究院

吉 武 剛

1. はじめに

現在の情報化社会を支える電子デバイスには、ほぼすべて半導体材料が使用されている。集積回路にはシリコン、オプトエレクトロニクスにはガリウムヒ素系が主たる材料である。今後の科学技術もその延長線上に発達していくことは疑いないが、大電力や宇宙などでの高温動作が可能なシリコンカーバイド¹やダイヤモンド²、また環境に優しいオプトエレクトロニクス材料としてベータ鉄シリサイド^{3,4,5}などが次世代材料として研究されている。

半導体の材料開発を行う上で、光・電気特性の評価は必要不可欠である。光特性の評価としては、分光光度計やFT-IRを用いた吸収スペクトル測定により吸収係数と光学バンドギャップが、発光特性がフォトルミネッセンス測定装置により測定される。一方、基本的な電気特性であるp型かn型か、キャリア密度、移動度は、ホール効果測定により調べることができる。ここでは、そのホール測定について紹介する。

2. ホール効果測定の基本原理

金属や半導体に電流を流し、これに垂直方向から磁界を加えると、電流と磁界の方向を含む面に対して垂直な方向に起電力を発生する。この現象は、1879年にホール (E. H. Hall) によって発見されたので、ホール効果 (Hall Effect) と呼ばれる。

半導体の性質を決める基本量であるキャリア密度と移動度が、ホール効果測定により実験的にどのようにして求められるかを示していく。図1のように、長さ L に比べて厚み t の十分小さい板状のn型半導体試料に、x軸方向に電界 E_x が印可され、試料の断面一様に電流密度 J_x の電流がx方向に流れているとする。

電界 E_x と磁場 B の下を速度 v で運動する1個の電子(電荷 $-e$)が受ける力 F は電界から受ける力とローレンツ力との和で

$$F = -e(E + v \times B) \quad \text{①}$$

である。図1のように、z軸方向に磁場 B_z が加えられると、ドリフト速度 $v_x = -\mu_y E_x$ で電界とは

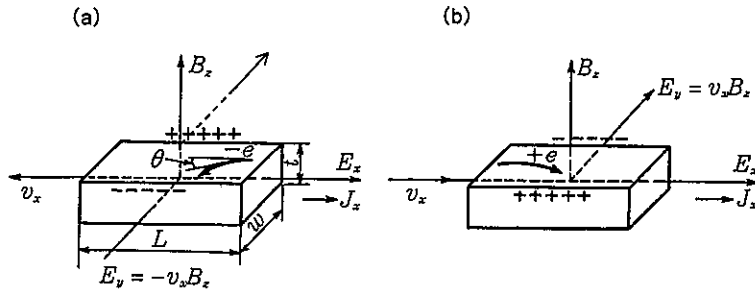


図1 ホール効果の概念図、(a) n型半導体、(b) p型半導体

反対方向に移動している電子はy軸の負方向にローレンツ力 $-ev_x B_z$ を受け曲げられる。このため、y軸のプラス方向面は電子が不足して正に、マイナス方向面は電子が過剰に集まって負に帯電するので、y軸の正方向の力 $-eE_y$ を受け押し戻される。定常状態ではこれらの二つの力がつり合ってy軸方向の力 F_y はゼロであるから

$$F_y = -eE_y + ev_x B_z = 0 \text{ または } E_y = v_x B_z \quad (2)$$

となる。このように、電流と磁場の双方に垂直に誘起された電界 E_y をホール効果という。また、磁場によって電子のドリフト方向が曲げられる角度 θ は、式②と $v_x = -\mu_e E_x$ との関係から

$$\theta = \tan\theta = E_y / E_x = -\mu_e B_z \quad (3)$$

である。この角 θ はホール角と呼ばれる。

電流密度 J_x は電子密度を n とすると、

$$J_x = (-e) n v_x = en\mu_e E_x = \sigma E_x \quad (4)$$

であるから、式②と式④からホール電界は

$$E_y = -\frac{J_x B_z}{ne} = R_H J_x B_z \quad (5)$$

となり、電流と磁場の積に比例する。比例係数

$$R_H = -\frac{1}{ne} \quad (6)$$

はホール係数で、電流密度 n だけに関係する定数である。試料のy軸方向の幅を w とすると、ホール効果によって誘起される電圧（ホール電圧） V_H は $E_y w$ である。ホール電圧 V_H 、電流 I_x 、および磁場 B_z が実験的に求められるので、ホール係数 R_H は

$$R_H = -\frac{E_y}{J_x B_z} = \frac{t(E_y w)}{(J_x w t) B_z} = \frac{t V_H}{I_x B_z} \quad (7)$$

となる。

式⑥と導電率 $\sigma = ne\mu_e$ とから

$$R_H \sigma = \frac{ne\mu_e}{-ne} = -\mu_e \quad (8)$$

となり、電子の移動度 μ_e が求まる。このように求められた移動度は、一般に導電率に関係した伝導度移動度 μ_e とは少し異なっているので、ホール移動度と呼ばれる。

荷電キャリアが正孔であるときには、単に符号を変えるだけで電子の場合と全く同様な計算ができる。図1(b)のようにホール電界の向きが電子の場合と反対で、正孔密度を p とすると、ホール係数は $\frac{1}{pe}$ となる。したがって、ホール電界の向きあるいはホール係数の符号から、試料中のキャリアが電子あるいは正孔であるかを、すなわち、n型半導体かp型半導体かを決定できる。

式⑧は少数キャリアが無視できるような明確なp型またはn型半導体の場合のホール係数であるが、真性半導体に近い半導体の場合には正孔と電子の両者を考慮に入れなければならない。このときのホール係数 R_H は

$$R_H = \frac{p\mu_h^2 - n\mu_e^2}{e(p\mu_h + n\mu_e)^2} \quad (9)$$

となる。

3. ファン・デル・パウ (van der Pauw) の方法によるホール効果測定

前節で述べた基本原理に基づく方法では、試料の形状が直方体の棒状でなければならない。絶縁体の基板に作製した薄膜試料の場合にはファン・デル・パウの方法が用いられる。この測定でよく使用される2つの試料形状を図2に示す。この方法は、形状のきちんとしていない板状の試料に適用でき便利である。電流は電極3と4の間に流し、ホール電圧は電極1と2の間で測定する。図2(b)に示すようなクローバー型試料は、金属と半導体の接触部分を試料中の電流から

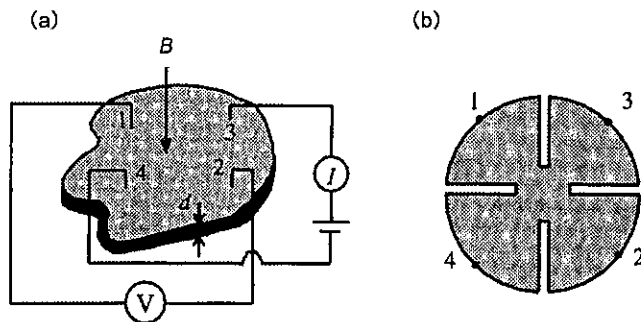


図2 薄膜試料のファン・デル・パウ配置 (a)、一般型 (b) クローバー型

離すことで正確な測定が出来る利点がある。電極 1 と 2 を結ぶ直線は必ずしも電流に垂直でないため、ホール電圧に通常の抵抗成分がのってしまふ。これを避けるために、通常は磁場中での電圧 $V_{12}(\pm B)$ とゼロ磁場での電圧 $V_{12}(0)$ を測定する。ホール係数は以下のように与えられる⁶。

$$R_H = \frac{[V_{12}(B) - V_{12}(0)]d}{I_{34}B} = \frac{[V_{12}(B) - V_{12}(-B)]d}{2I_{34}B} \quad (10)$$

但し、 d ：膜厚、 B ：磁場、 I_{34} ：電極 3 から 4 へ流れる電流。

抵抗率 ρ の測定は、まず並んでいる 2 つの電極、例えば 2 と 3 の間に電流を流し (I_{23})、残りの 2 つの電極で電圧降下を測定する (V_{41})。その結果測定される抵抗を $R_{41,23}$ とする。

$$R_{41,23} = \frac{|V_{41}|}{I_{23}}$$

次に、電流を電極 1 と 3 の間に流し、電極 2 と 4 の間の電圧を測定する。この結果得られる抵抗 $R_{24,13}$ と先の $R_{41,23}$ とから、 ρ は次のように表される。

$$\rho = \frac{\pi d(R_{24,13} + R_{41,23})f}{2 \ln 2} \quad (11)$$

ここで、 f は抵抗の比 $R_{24,13}/R_{41,23}$ に依存する係数で、この比がちょうど 1 であれば f も 1 である⁷。例えば、この比が 10 になると、 f は 0.7 へと減少する。この比が大きくなるのは測定上好ましくなく、たいていは電極の接触が悪い、試料のドーピングが一様でないなどの実験に問題がある。

参考文献

- 1 “SiC系セラミック新材料—最近の展開”、日本學術振興会高温セラミック材料第124委員会編、内田老鶴圃 (2001)。
- 2 H. Okushi, “High quality homoepitaxial CVD diamond for electronic devices”, *Diamond Relat. Mater.*, 10 (3-7): pp. 281-288 (2001)。
- 3 三宅 潔、牧田雄之介、吉武 剛、“最近の環境半導体の動向”、レーザー研究、第28巻、第2号、pp. 77-81 (2000)。
- 4 三宅 潔、前田佳均、“将来の光応用技術に向けたシリサイド半導体環境半導体の研究の現状”、OPTRONICS、pp. 1-7 (2000)。
- 5 末益 崇、長谷川文夫、“環境に優しい直接遷移型半導体 β -FeSi₂ の研究の現状と将来展望”、応用物理、第69巻、第7号、804-810頁 (2000)。
- 6 L. van der Pauw, “A method of measuring specific resistivity and Hall effect of discs of arbitrary shape”, *Philips Res. Rep.*, 13, pp. 1-9 (1958)。
- 7 K. Seeger, “Semiconductor Physics”, 5th edn., Springer Ser. Solid-State Sci., Vol. 40 (Springer, Berlin, Heidelberg 1991)。

★ お 知 ら せ ★

- (1) 顕微赤外分光分析装置（日本分光製MFT2000）の修理を行いました。
 - ① 下側カセグレイン位置ずれの修正。
 - ② ニクロム光源の交換。
- (2) 赤外分光分析装置（日本分光FT-IR550）の修理を行いました。
 - ① TGS検出器の交換。
 - ② ビームスプリッターの交換。
- (3) 高周波2極スパッタ装置（日電アネルバ製 SPF-210HRF）の修理を行いました。
 - ① 基盤加熱用ヒータ部の取り替え。
 - ② 基盤加熱用回路系の修理。
 - ③ プラズマ集束のためのマグネットの装着。
 - ④ 水パイプの交換。
 - ⑤ ニードルバルブの交換。

★ お 尋 ね、 希 望 調 査 ★

分析センターでは右記の調査を分析センター運営委員、幹事委員を通して行っております。重複するかとは思いますが、広く学内に周知するため、その書類を掲載します。センター利用の先生方、研究者の方のご協力をお願いします。

登録装置の充実にご協力をお願いします。

中央分析センターでは、全学的な分析機器の共同利用の一層の充実を図るため、新たに分析センター登録装置の拡充を行いたいと存じます。

つきましては下記の内容にご賛同いただけましたら、ぜひ登録装置としてご登録下さいますようお願い致します。

「登録装置」とは？

分析センターの機器は、センター所属の「所管装置」と各研究室所属の「登録装置」に分類されます。「登録装置」に関する一定の手続き（注1）を行うことによって、分析センターの「所管装置」と同様に全学からの共同利用が可能になります。

1) 登録装置の条件

- ・分析及び計測機器類でしたら、特に限定はありません。

2) 登録装置のメリット

- ・各研究室所属の装置をビジネスライクに研究室以外の方が使用可能です。
装置利用に関わる消耗品、維持費及び人件費を含めて利用料金は自由に設定可能です。利用料金は100%研究室の収入となります。（校費及び委任経理金）
- ・利用料金の計算及び移算手続きは分析センターが代行します。
3ヶ月毎に利用状況調査を行い、利用経費をご連絡します。但し、使用記録はその都度研究室で記録して下さい。
- ・装置を効率的に利用できます。

3) 登録装置申請手続き（注1）

- ・所定の用紙に必要事項をご記入の上、分析センターまでお送り下さい。

平成 年 月 日

中央分析センター工学分室
装置登録依頼書

下記の装置の新規登録依頼書を提出しますのでよろしくお取り計らい下さい。

所属 氏名 印

装置名	
型式	
設置場所	
管理講座	
装置管理者	
装置責任者	
担当オペレータ	
登録開始時期	
利用料金	
装置の性能	

中央分析センター運営委員各位

九州大学中央分析センター長 筒井 哲夫

新規設備に対する希望調査のお願い

中央分析センター及び工学分室の学内研究支援体制の一層の強化を図るため、学内でどのような分析や実験の設備・機器が必要あるいは要望されているかの調査を下記の要領で行いますのでご協力をお願い致します。

この調査は、概算要求だけでなく、各種の学外、学内の可能な予算措置に対応して随時、設備・機器の新設要求を立案し、要求するための基礎資料と致します。また、今後中央分析センターとしての中期目標等を策定し、具体化するためにも活用致します。

記

1. 希望調査の対象：

設備・機器の大・中・小は問いませんし、要求の切実性や予算獲得の実現性の大きさなどについては、特に考慮いただく必要はありません。設備・機器の名称と仕様の概要、必要な予算概算額、想定されるユーザーグループ等について記入下さい。

なお、本調査は具体的にすぐ予算措置を請求するための資料ではなく、中央分析センターの役割を強化するための基礎資料の調査であることをご理解ください。

2. 調査範囲：

部局、部門、専攻、研究室などの研究組織として、こういう設備、機器を分析センターで利用したい、新たに設置してほしいという要望の調査を出来るだけ研究室レベルまで周知いただき、部局で集約してください。要求の優先順位の調整の必要性、既有設備との重複の可能性などについては、今回は配慮には及びません。潜在的な要求を掘り起こすことが主目的です。

3. 記入様式：

添付のエクセルの表、あるいは同封の様式に適宜記入の上、部局毎にまとめて、提出ください。必ずしもすべての欄を記入いただく必要はありません。

4. 期 限：

11月15日（金）と致します。

なお、本件についてはその後も随時受け付けますので、各部局の運営委員を通しての連絡をお待ちしています。

5. 提出先（連絡先）

分析センター 坂下 寛文 助教授 sakashit@mm.kyushu-u.ac.jp

部局名

No.	設備機器の名称	主な仕様と概算価格	主なユーザーグループ名	備考（必要性の説明など）

