

## ホール効果測定システム

キーワード：ホール効果、比抵抗、キャリア密度、ホール移動度、温度依存性

### はじめに

本装置は、種々の方法で作製された試料（薄膜およびバルク）について、電流に対して垂直に磁場を印加し、電流と磁場の両方に直交する方向に発生する電位差（ホール起電圧）から、試料の電気特性（比抵抗、キャリアタイプ、キャリア密度、ホール移動度）を評価するホール効果測定装置です。ホール起電圧の検出限界を向上させる交流（AC）ホール測定法も備えており、さらに温度制御プログラムの利用により、電気特性の温度依存性も測定できます。近年では、従来使用されてきたSi等の半導体材料に加え、熱電材料等の低抵抗材料から SiC、GaN、ダイヤモンド等の高抵抗材料について、それらを利用したデバイス作製に必要な電気特性の評価方法として広く利用されています。

ここでは、AC ホール測定法、本装置の主な仕様、最後に本装置を用いた測定例について紹介します。

### AC ホール測定法

図 1 に、正方形の試料についてファン・デア・ポウ法を用いたホール効果測定を行った時、ホール起電圧の発生に関する模式図を示します。なお、電流は電極端子 1-3 方向に流れているとします。磁場が印加されていない場合（ $B=0$ ）、試料の電極端子 2-4 間は理想的には等電位となるため起電

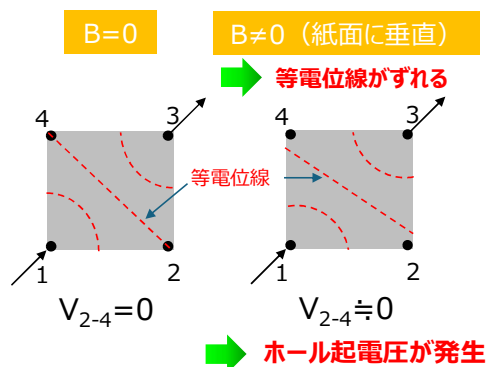


図 1 ホール起電圧の発生に関する模式図  
（電流は電極端子 1-3 方向に流れている）

公益財団法人 JKA 2023 年度  
機械設備拡充補助事業



圧は発生しません。次に、有限の磁場を紙面に対して垂直に印加した場合（ $B \neq 0$ ）、電極端子 2-4 間は等電位線からずれるため、電位差が生じます。この電位差がホール起電圧となります。しかし、実際の試料では試料の幾何学および電氣的な非対称性、試料の厚さの不均一性、測定系のノイズ等の様々な原因により、磁場が印加されていない場合においても試料の電極端子 2-4 間に電位差を生じます。この電位差をオフセット電圧と言います。

ホール効果測定において、より精度の高い結果を得るためには、ホール起電圧がオフセット電圧よりも十分大きいことが非常に重要となります。しかし、新規研究開発材料の中には、キャリア密度が高くかつホール移動度が低いためホール起電圧が小さい、あるいは抵抗率が高いためオフセット電圧が大きい試料が多々あります。このような特性を有する材料について、より精度の高い結果を得る方法として AC ホール測定法があります。本方法は、試料に印加する磁場の向きと大きさを一定の周期で変化させ、それと同期して試料に現れるホール起電圧をロックインアンプで検出することで、オフセット電圧の直流成分および高周波ノイズ等の影響を除去できます。そのため、ホール起電圧の検出限界を向上させることが可能です。

### 装置仕様

本ホール効果測定システムは、株式会社東陽テクニカ製 ResiTest8404-EMPAC です。本装置は、測定温度に合わせて 3 種類の試料ホルダー（室温用、低温冷却用、高温加熱用）を備えており、その他として電磁石ユニット、制御・計測ユニット、チラー 2 台（①電磁石冷却用、②低温冷却用冷凍機のコンプレッサーおよび高温加熱用ジャケットの冷却用）、真空排気ユニットから構成されています。図 2 に、装置の制御・計測ユニット、試料ホルダーおよび電磁石ユニットの外観写真を示します。

制御・計測プログラムには LakeShore 社製の MeasureLINK プログラムを使用しています。試料の抵抗値に応じて標準抵抗（Standard Resistance）モードおよび高抵抗（High Resistance）モードの 2 種類から選択し、オーミック（I-V）測定、比抵抗測定、DC

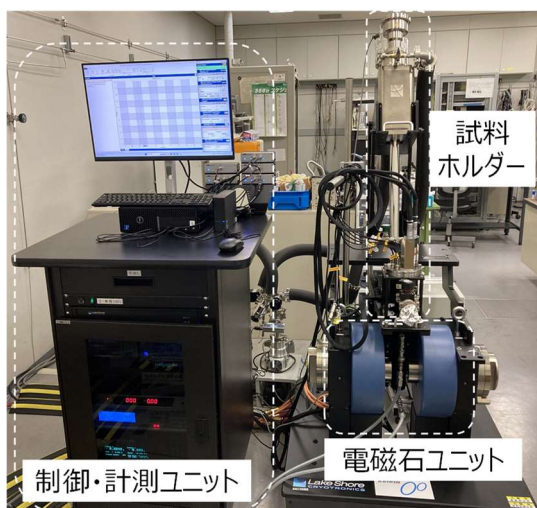


図2 ホール効果測定システムの制御・計測ユニット、試料ホルダーおよび電磁石ユニットの外観写真

あるいは AC ホール測定を実行できます。また、温度設定等も必要に応じて容易に組み合わせることができます。また、測定結果は csv 形式等で出力できます。表 1 に本装置の主な仕様を示します。

表 1 ResiTest8404-EMPAC の主な仕様

測定方法の種類	ファン・デア・ポウ法、ホールバー法
試料サイズ	最大 10 mm 角×1 mm <sup>t</sup>
印加磁場の種類	DC、AC(50 mHz、100 mHz)
印加磁場(DC)	最大 0.78 T(可変)
〃 (AC:100 mHz)	0.5445 T(固定)
〃 (AC:50 mHz)	0.5572 T(固定)
コンプライアンス電圧	最大 10 V
バイアス電流	最大 100 mA
測定温度範囲(低温:He)	10 K ~ 300 K
測定温度範囲(高温:大気)	室温 ~ 873 K
測定温度範囲(高温:真空)	室温 ~ 1073 K
抵抗測定範囲	5×10 <sup>-4</sup> Ω ~ 1×10 <sup>12</sup> Ω
比抵抗測定範囲 注)	5×10 <sup>-8</sup> Ω・cm ~ 1×10 <sup>8</sup> Ω・cm
キャリア密度測定範囲 注)	8×10 <sup>2</sup> cm <sup>-3</sup> ~ 8×10 <sup>23</sup> cm <sup>-3</sup>
ホール移動度測定範囲 注)	10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> ・(V・s) <sup>-1</sup> ~ 10 <sup>6</sup> cm <sup>2</sup> ・(V・s) <sup>-1</sup>

注) 試料の膜厚が 1 μm の場合

## 測定事例

イオンビームスパッタ装置を用いて、10 mm 角で厚さ 0.5 mm のガラス基板の上に La-Ni-O 系導電膜を製膜しました。試料の 4 角に Pt 電極薄膜を製膜した後、図 3 に示す室温測定用電極爪有りサンプルカードの所定位置にセットし、Pt 電極薄膜を電極爪で押さえて固定しました。次に、サンプルカードを差し込んだ室温測定用標準ロッドを測定ホルダーにセットし、測定ケーブルを接続しました。



図3 室温測定用電極爪有りサンプルカード

測定条件設定画面において試料の膜厚を入力後、±1.5 mA の電流範囲内でオーミック測定を行った結果、4ヶ所の電極端子(端子 1-2、2-3、3-4、4-1)間とも良好な直線関係が得られました。次に、バイアス電流を1.0 mA として、比抵抗測定、AC ホール測定法を実施しました。なお、AC ホール測定法に使用した周波数は 100 mHz で 10 回測定を行いました。得られた結果を表 2 に示します。

表 2 La-Ni-O 系導電膜の測定結果

キャリアタイプ	P
比抵抗	2.00 × 10 <sup>-3</sup> Ω・cm ± 7.20×10 <sup>-9</sup> Ω・cm
ホール起電圧	9.36×10 <sup>-7</sup> V ± 1.60×10 <sup>-8</sup> V
キャリア密度	4.57 × 10 <sup>22</sup> cm <sup>-3</sup> ± 2.47 × 10 <sup>21</sup> cm <sup>-3</sup>
ホール移動度	6.84 × 10 <sup>-2</sup> cm <sup>2</sup> ・(V・s) <sup>-1</sup> ± 3.70 × 10 <sup>-3</sup> cm <sup>2</sup> ・(V・s) <sup>-1</sup>

本試料は、キャリア密度が高くかつホール移動度が低いためホール起電圧が小さく、測定が困難な試料です。しかし、AC ホール測定法を用いることで安定に測定できることがわかりました。

## 終わりに

ここで紹介しましたホール効果測定システムは、非常に幅広い抵抗範囲の試料について、電気特性の情報を得ることができます。

本装置は、お客様からの御依頼による依頼試験およびお客様に装置を利用して頂く装置使用の両方に対応しております。本装置に御興味がございましたら、相談だけでもお気軽にお問い合わせ下さい。

発行日 2024年8月1日

作成者 電子・機械システム研究部 電子デバイス研究室 筧 芳治、玄地 真悟

Phone: 0725-51-2671 E-mail: kakehi@orist.jp