

交流電流を用いた低抵抗試料のホール効果測定

キーワード：ホール効果、交流電流、低抵抗試料、温度依存性

はじめに

ホール効果測定装置は、種々の方法で作製された試料（薄膜およびバルク）の電気特性（導電性）を評価する装置です。試料中に流れる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します。キャリア密度が高く、かつホール移動度が低い次世代の磁気抵抗材料や熱電材料等においては、比抵抗およびホール起電圧が小さくなり、精度良く測定するには大きな測定電流が必要となります。しかし、測定電流を増加させると試料が発熱し、正確な電気特性の評価が困難となる場合があります。

この課題を解決するために、測定電流として交流(AC)電流を用いた低抵抗試料の電気特性の測定方法、および測定例について紹介します。

AC 電流を用いた電気特性の測定方法

本装置では、測定中の試料の発熱の影響を抑制するために、測定電流として AC 電流を使用することが可能です。また、試料の電圧測定にはロックインアンプ(LIA)を利用しています。図 1 に、入力信号と参照信号の位相差(ϕ)がゼロの場合について、LIA による信号検出方法を示します。LIA は、入力信号に対して同じ周波数を有する正弦波 $[\sin(\omega t)]$ の参照信号を掛け合わせることによって、出力信号は直流(DC)成分と AC 成分(入力信号の 2 倍の周波数)の和に変換されます。ここで、適切なローパスフィルターを使用して AC 成分を除去し、DC 成分のみを取り出すことで入力信号の振幅(A)を検出できます。なお、入力信号と参照信号の位相差(ϕ)がゼロでない場合は、入力信号 $[\sin(\omega t + \phi)]$ に対して別途同じ周波数を有する余弦波 $[\cos(\omega t)]$ の参照信号も掛け合わせます。これにより、参照信号として正弦波 $[\sin(\omega t)]$ および余弦波 $[\cos(\omega t)]$ を使用した場合の各々の DC 成分を X および Y とすると、以下のように表されます。

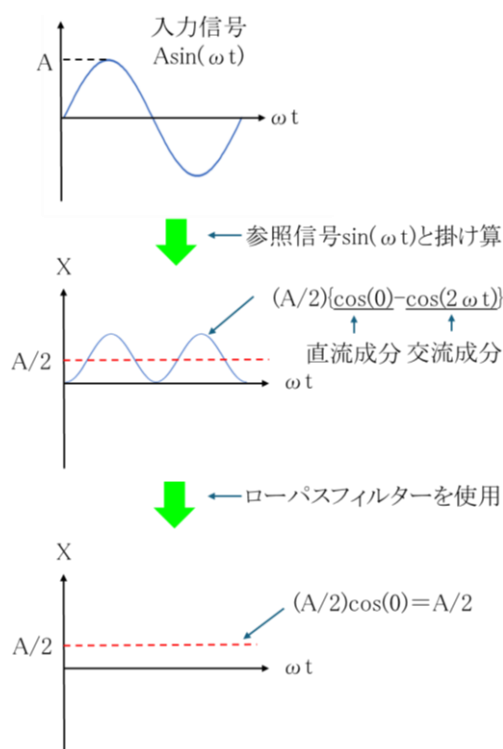


図 1 LIA による信号検出方法
(入力信号と参照信号の位相差 $\phi = 0$ の場合)

$$X = A \cos \phi$$

$$Y = A \sin \phi$$

従って、この場合振幅(A)および位相差(ϕ)は

$$A = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

$$\phi = \tan^{-1}(Y/X)$$

と表されます。

実際に入力信号では、電源や測定器からのノイズ等、様々な周波数成分を含む信号が入ってきます。しかし、掛け算後の信号が DC 成分となるのは参照信号と同じ周波数成分のみであるというLIAの特長を利用することで、それ以外の信号成分を除去することができます。

本装置では、AC 電流および LIA(周波数は固定)を用い、DC 磁場印加の有無の条件で測定を行い、試料の電気特性を評価します。

公益財団法人 JKA 2023 年度
機械設備拡充補助事業



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）を備えています。他の仕様の詳細については、テクニカルシート No.24-07 を参照ください。

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。測定設定画面から、低抵抗 (Low Resistance) モードを選択し、オーミック (I-V) 測定 (本装置では、DC 電流のみとなります)、比抵抗測定、DC 磁場を印加したホール測定を実行できます。また、測定温度の設定等も柔軟に組み合わせることができます。さらに、測定結果は CSV 形式等で出力できます。なお、他の測定モード (標準抵抗モードおよび高抵抗モード) と異なる低抵抗モードのみの主な仕様を表 1 に示します。

表 1 低抵抗モードのみの主な仕様

バイアス電流(RMS 値)	最大 100 mA (可変)
印加磁場の種類	DC のみ
DC 印加磁場	最大 0.78 T (可変)
使用信号周波数	23.7 Hz (固定)
時定数	0.4579 s (固定)
減衰傾度	12 (dB/oct) (固定)

測定事例

測定試料として、代表的なカルコゲナイド系熱電材料である p 型 BiTe 系化合物のバルク体 (厚さ 1mm) を用いました。リン青銅製爪電極を用いて試料の電極部を押さえ、低温冷却用ホルダーの所定位置に試料を固定しました。次に、真空排気ユニットを用いて測定室内部を He ガスに置換した後、冷凍機を用いて試料を冷却しました。

温度 20 K において、測定条件設定画面内にある試料厚さを入力した後、 ± 15 mA の電流範囲内でオーミック測定を行いました。その結果、4 ヶ所の電極端子間で良好なオーミックコンタクトが取れていることを確認できました。次に、測定電流を 10 mA、DC 印可磁場を 0.5 T として、20 K ~ 280 K 間の各測定温度において、比抵抗測定および DC 磁場を印加したホール効果測定を 3 回ずつ行い、測定結果の平均値および標準偏差を求めました。なお、比較のため、AC 電流 (低抵抗モード) に加え、DC 電流 (標準抵抗モード) の両モードで測定を行いました。図 2 に、その結果を示します。

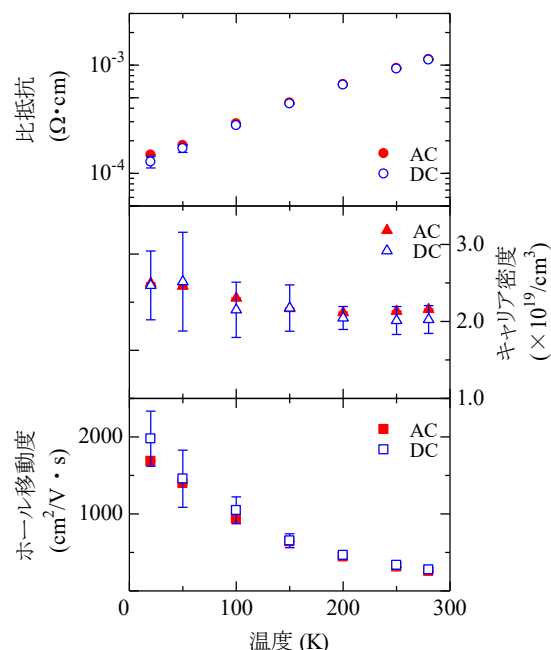


図 2 p 型 BiTe 系化合物の比抵抗およびホール効果測定の温度依存性

図 2 より、50 K 以下の温度範囲内では、DC 電流を用いて測定した場合よりも、AC 電流を用いて測定した場合の比抵抗の方が、標準偏差は小さいことがわかりました。また、ホール効果測定において、すべての測定で両モードとも正のホール起電圧が得られ、キャリアタイプが正孔である p 型を示しました。さらに、比抵抗と同様に、キャリア密度およびホール移動度においても、測定温度範囲内では、DC 電流を用いて測定した場合よりも AC 電流を用いて測定した場合の方が、標準偏差は小さいことがわかりました。

以上の結果から、AC 電流および LIA を組み合わせた低抵抗モードを利用することで、低抵抗試料に対して安定に電気特性を評価できることがわかりました。

おわりに

ここで紹介しましたホール効果測定システムは、低抵抗試料から高抵抗試料まで広範な抵抗範囲の試料の電気特性を、低温から高温までの幅広い温度範囲で測定可能です。

また、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ください。

※ テクニカルシートの内容の一部または全部を転載する場合には、前もって大阪技術研に連絡の上、了解を得てください。

発行日 2026 年 2 月 1 日

作成者 電子機械システム研究部 知能機械研究室 笥 芳治