

キーワード：極低温、無冷媒、温度可変、電気抵抗測定、磁気抵抗測定

概要

電気抵抗測定は、材料の物性を知る上で重要な測定手段です。特に、試料の温度を変化させて極低温から室温までの電気抵抗測定を行えば、様々な物性を知ることができます。室温では熱的な雑音が大きく観測することのできなかつた信号が、極低温では観測できることも多々あります。このため、極低温での測定は物性を知る上で特に重要です。通常試料の温度を極低温まで下げるには、液体ヘリウムを使用する必要があります。しかし、液体ヘリウムは取り扱いが難しく、また高価なものです。

当研究所では、新製品の開発や新技術の開発支援のために、液体ヘリウムを使うことなく、極低温から室温まで電気抵抗を測定できる装置（JMTR-4/300K：株式会社神戸製鋼所製）を導入いたしました。この電気抵抗測定装置は液体ヘリウムを使用しないので、操作が簡便で、またランニングコストを抑えることができます。

この電気抵抗測定装置は、すでに当所に導入済みの強磁場発生装置と組み合わせて使用することができます。そのことにより、通常の電気抵抗測定だけでなく、ホール効果測定や最大10テスラ（10万ガウス）の磁場を印加した状態での極低温下における電気抵抗の測定を行うこともできます。ここでは、この強磁場発生装置と組み合わせて行ったInSb薄膜の磁気抵抗測定の研究事例を紹介します。

装置の概要

図1に電気抵抗測定装置、図2に強磁場発生装置の写真を示します。試料は、図1の下側にある円筒部分の中に取り付けます。試料は、同時に複数個取り付けることも可能です。温度は4.0Kから300Kまでの任意の温度に設定することができます。温度制御にはPID制御を用いており、設定温度に対して、1%以内を1時間以上保持することが可能です。



図1 電気抵抗測定装置



図2 強磁場発生装置

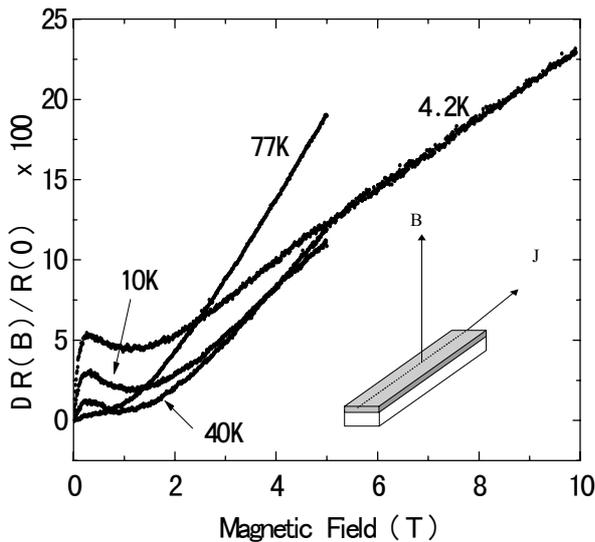


図3 InSb 薄膜の磁気抵抗測定
磁場の引加方向は InSb 薄膜に対して垂直

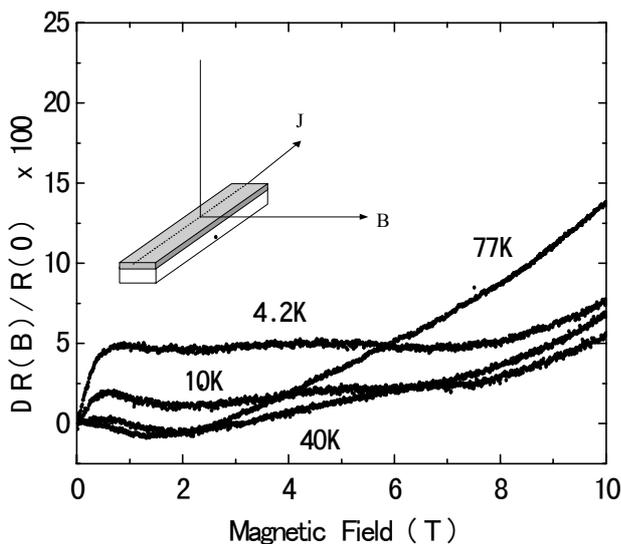


図4 InSb 薄膜の磁気抵抗測定
磁場の引加方向は InSb 薄膜に対して平行

(100)基板上にMBE(分子線エピタキシー)の手法を用いて形成した厚み1 μm のInSb薄膜です。測定は、4端子法を用いて行いました。

図3は磁場をInSb薄膜に対して垂直に印加した場合の磁気抵抗測定の結果です。77Kを除いて、0.3テスラ付近にピークを持つことがわかります。特に、4.2Kにおいては、0から0.3テスラにかけて大きな磁気抵抗の変化を示しています。図4は、印加する磁場の方向をInSb薄膜に対して平行にしたときの磁気抵抗測定の結果です。図3と図4から、InSb薄膜の磁気抵抗の様子が印加する磁場方向によって大きく異なることがわかります。

InSbとGaAsは14%の大きな格子不整合があります。この格子不整合のため、InSb薄膜をGaAs基板上に作製すると界面にキャリアが蓄積する層が存在することが知られています。この蓄積層の厚みは十分に薄いため、この層に存在する電子は2次元性を有すると考えられます。磁気抵抗がInSb薄膜に対する印加磁場の方向に依存することから、InSbの電気伝導機構にはこの蓄積層に閉じ込められた2次元電子が強く関わっていることがわかります。つまり電子は2次元性を有しているので、InSb薄膜に対して垂直に磁場を印加したときと平行に磁場を印加したときでは状態が異なるため、磁気抵抗の様子が変化したと考えられます。また4.2Kの低磁場領域において、磁気抵抗が大きな変化率を示すこともこの2次元電子の存在を考えると説明できることがわかりました。この大きな磁気抵抗の変化率を用いれば、極低温、低磁場領域で動作する磁気センサーとして応用することが期待できます。

装置の利用例

当研究所では、GaAs基板上に作製したInSb薄膜を磁気センサーとして応用することを目的とし、InSb薄膜の様々な温度での磁気抵抗の測定を行いました。今回実験に用いた試料は、GaAs

まとめ

以上のように、当所に導入された極低温から室温まで測定可能な電気抵抗測定装置は、各種材料やデバイスの評価に広く利用できます。