

論文内容の要旨

論文題目 磁場中マイクロ4端子プローブ法による
金属量子薄膜の輸送現象の研究
(Transport Study of Quantum Metal Films by
Micro-Four-Point Probe under Magnetic Field)

氏名 宮田 伸弘

電気伝導におけるスピン軌道相互作用の効果として、反局在効果と呼ばれる正の磁気抵抗効果が知られている。この現象は大まかに言って次の2つの要因、すなわちスピン軌道相互作用の強い重原子の不純物と系の反転対称性の破れによる電子状態のスピン分裂によって起こる。反局在効果は初期の研究では、主に前者の観点から研究が進められてきたが、次いで半導体ヘテロ界面において後者の観点から精力的に研究が進められるようになった。特に、次世代デバイスの一つと目されているスピンFET素子の実現という研究の方向性は応用科学的な注目も集めている。一方、近年の光電子分光の実験技術の目覚ましい発展により、上記のスピン分裂した電子状態が固体表面の表面状態で実現していることが明らかになってきた。また表面状態だけでなく、金属量子薄膜内に形成された量子井戸状態もスピン分裂していることも明らかになりつつある。特にこれからのスピン角度分解光電子分光によるスピン状態の直接測定技術の発展は、スピン軌道相互作用を定量的に扱う強力な手段となると思われる。

そのような研究背景の中で磁気輸送測定が持つ現代的な意義を見出すならば、次のようになるだろう。すなわち、同一の条件で作成した試料に対して行ったその場測定と、光電子分光法によって得られたスピン軌道相互作用に関する情報との比較を通じて、スピン軌道相互作用が絡んだ電子輸送のメカニズムを電子構造の観点から定量的に明らかにすることである。

本研究では、金属量子薄膜内の量子井戸状態のスピン軌道相互作用を研究するために、従来からの手法である電気伝導測定を選び、そのための測定装置を開発した。この装置は超高真空・低温・強磁場の複合環境の下で動作し、試料作成から測定まで試料を大気汚染させることなくその場測定を可能にする。測定する系としてSi(111) 表面に原子レベルで成長させたAg(111) 超薄

膜およびAg(111) $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Bi超薄膜を選んだ. 両者の比較から, 表面のBiによるスピン軌道相互作用の変化を電気伝導測定から定量的に明らかにすることを旨とした.

論文の構成は主に次のようになる. 第1章, 第2章でそれぞれ本研究の導入, 背景を概説した後, まず第3章において, 測定装置の開発について述べる. 特に, 後の章で示す測定値の微小変化に対して, 値のばらつきを抑えるための対策について詳しく触れてある. 続く第4章では, Bi(001)超薄膜の磁気抵抗についての測定について述べる. Si(111)表面上に成長させた試料で5 Tにおいて1,000%の磁気抵抗比を得た(図1). この結果を先行研究と比較することで簡単な議論を行った. 加えて, 磁気抵抗比の膜厚依存性を0原子層まで外挿することによって, 表面状態の磁気抵抗効果の見積りを試みた(図1).

最後に, 第5章では本論分の主要部分, Ag(111)超薄膜およびAg(111) $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Bi超薄膜の磁気抵抗効果について述べる. 両薄膜とも反局在効果を示し, さらに表面のBiによって反局在効果が増大するのを観測した(図2, 図3). 解析においては光電子分光によるバンド構造から求めた物性値を用いながら, 薄膜内の各々の量子井戸状態のスピン散乱時間を定量的に見積もることを試みた. 最後に, 系のスピン緩和機構がRashba効果によって起こる伝導帯のスピン分裂に起因すると仮定して, 系のRashba相互作用定数を各々の量子井戸状態に対して求めた. 以上の研究によって, 上記の複合環境で動作する磁気輸送測定装置を開発することで, 磁気輸送現象における金属量子薄膜のスピン軌道相互作用を調べる手段を確立した.

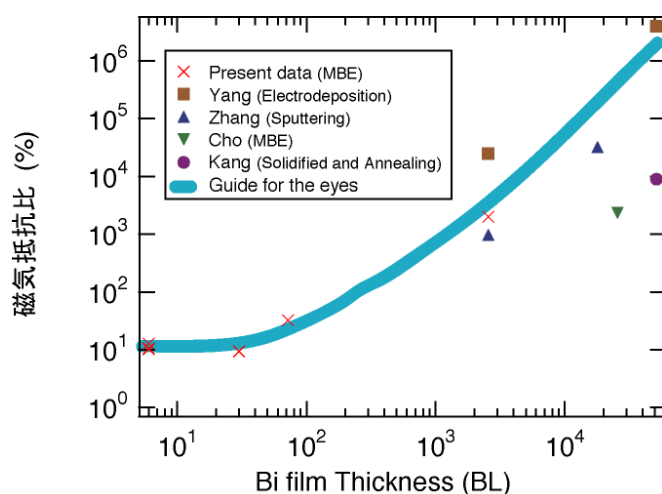


図1. Bi(001)超薄膜の磁気抵抗を過去の文献の結果とあわせてプロットしたもの.

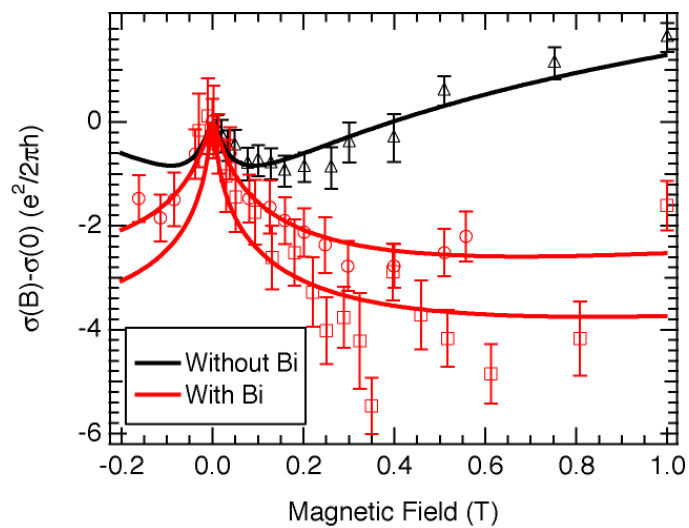


図 2. 15 ML Ag(111)超薄膜および Ag(111) $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Bi 超薄膜の対角伝導度の磁場依存性.

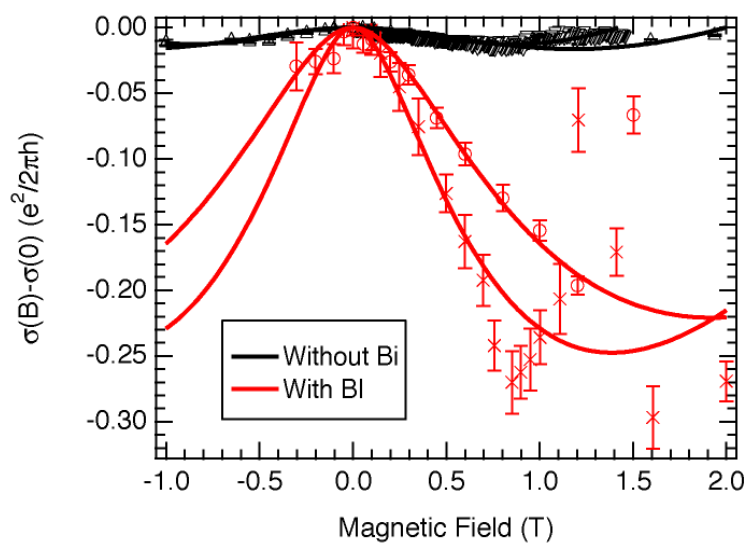


図 3. 6 ML Ag(111)超薄膜および Ag(111) $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Bi 超薄膜の対角伝導度の磁場依存性.