

論文審査結果の要旨

氏名 平原 徹

本論文は、角度分解光電子分光実験による電子構造解析、マイクロプローブによる電子伝導測定などの表面敏感な実験によって、ビスマス Bi 超薄膜の構造と表面電子状態にあらわれる量子サイズ効果、スピン軌道相互作用の特徴、両者の相関を明らかにした研究であり、全6章からなる。第1章はイントロダクションで、本論文の目的が述べられている。第2章では、研究の背景について述べている。ナノスケール物質の電子状態でみられる量子サイズ効果とスピン軌道相互作用の概要について解説し、最近開発された質の良い Bi 超薄膜の作製法について述べている。第3章は、この研究でおこなった実験の詳細を述べている。光電子分光実験による価電子帯構造解析、マイクロ4端子プローブ法による表面電気伝導測定法の確立など、これまで平原氏が中心となって構築してきた実験装置群について簡潔に要領よくまとめられている。

続く第4章では、実験によって明らかになった Bi 超薄膜の表面電子状態について詳しく記述されている。近年、キャリアの電荷だけでなくスピンの自由度を駆使して新しい機能を持つ電子デバイスを開発しようとするスピントロニクスが注目されている。強磁性体の印加磁場、電場を制御することが行われているが、非磁性体でも非対称な閉じ込めポテンシャルを用いることでスピン分裂した2次元自由電子状態を作り出せることが明らかになり、金 Au(111)表面などで最表面層付近に局在したスピン軌道分裂した表面電子状態が観測されている。本研究では、表面電子状態に大きなスピン軌道相互作用が期待される Bi に着目し、シリコン Si(111)7x7 表面上に 2.7nm・16nm の Bi (001) 超薄膜を作成してその表面電子状態を光電子分光によって調べた。その結果、Bi 超薄膜の表面電子状態がバルクに比べて格段に大きいフェルミ面を持つことを確認し、バンド分散が大きな膜厚依存性を持つことを見いだした。また、表面で並進対称性が破れることによって生じる表面電子状態のスピン分裂 (Rashba 効果) をスピン分解光電子分光によって確認した。Γ点における分裂幅は、半導体界面における2次元電子ガスの場合の約10倍、Au(111)に比べても2倍以上ある。また、量子サイズ効果と Rashba 効果の競合も観測した。さらに、第一原理計算によ

るバンド計算も行ってこれらの表面電子状態の特徴の詳細を明らかにした。

第5章では、Bi 超薄膜の表面電気伝導の膜厚依存性、温度依存性の測定結果が記述されており、第4章で得られた表面電子状態と電気伝導度との関係を議論している。マイクロ4端子プローブ法によってBi 超薄膜の表面電気伝導度を測定した結果、表面電気伝導が室温から15 Kの低温まで金属的で、第4章で得た表面電子状態の寄与が支配的であることを明らかにした。第6章では、本研究で得た結論が述べられている。

物質の微細化が進むとともに物性への表面状態の寄与が重要になっている。本論文では、これまで良質な薄膜作成ができないために研究が遅れていたBi 超薄膜について、表面敏感なさまざまな実験手法を用いてその構造と電子状態の特徴を初めて明らかにし、表面電子状態が膜全体の特性を決めてしまうほど大きな役割を果たしていることを見いだす研究成果を得ている。この研究成果は、表面電子状態のRashba効果の特性を生かして、Bi 超薄膜がスピン電解トランジスタをはじめとするスピントロニクスデバイスに応用することができる可能性を示したという点でも評価に値する。

なお、本論文の第4、5章は、長谷川修司氏らとの共同研究の結果であるが、論文提出者が主体となって実験方法を確立して実験をし、結果を解析して研究を遂行したものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。本論文は、審査員全員が十分納得する研究成果であり、論文提出者の表面物理学に対する学識も博士（理学）の学位を受けるに十分である。

したがって、博士（理学）の学位を授与できるものと認める。