

# 論文審査の結果の要旨

氏名     パク    ヨンオク

          朴    瑛玉

ビスマス (Bi) のナノ構造では、小さな有効質量と大きなスピン-軌道相互作用に起因して量子閉じ込め効果が現れる。また、キャリア密度も通常の金属に比べ4-5桁低いため、長いフェルミ波長やキャリアの平均自由行程といった、異常な輸送現象が観測される。低次元 Bi ナノ構造は応用上も注目を集めており、特に熱電変換材料への適用が検討されている。これまで、低次元 Bi ナノ構造の研究には、主に薄膜やナノワイアが用いられてきたが、一つの系で次元性を広範囲に制御するのが困難であった。本論文では、ナノスケールの細孔 (ナノポア) が規則的に配列したアンチドット構造を有する Bi 薄膜に着目し、膜厚やポア壁幅といったナノ構造の形状と次元性との関係について調べ報告している。

本研究は以下の6章より構成されている。

第1章は序論であり、本論文の背景および目的が述べられている。この章では、まず Bi の特異な電子状態と次元性との関係について述べ、低次元系 Bi に現れる反弱局在現象について解説している。さらに、これまでの Bi ナノ構造に関する研究を概観した上で、本論文で研究対象とするアンチドット構造の特徴についてまとめている。

第2章は実験手法とその原理の説明である。Bi アンチドット薄膜の作製には、基板上への平坦なアルミニウム (Al) 薄膜の蒸着、Al の陽極酸化によるナノポア構造の導入、陽極酸化ナノポア膜上への Bi 薄膜の堆積の3つの過程からなる。陽極酸化技術、Al の蒸着法である RF スパッタリング、Bi の蒸着法である熱蒸着法について詳しく解説している。また、輸送特性の測定法である6端子測定についても述べている。

第3章は作製した Bi アンチドット薄膜の構造について述べている。ナノポアの秩序配列に影響を及ぼす重要な因子が Al 薄膜の平坦性であり、まず平坦な Al 薄膜を得るためのスパッタ条件について検討している。その結果として、連続的に蒸着するよりも、90 nm の堆積と30分間の冷却とを交互に繰り返す交互蒸着の方が有効であると結論している。続いて、陽極酸化条件とポア壁幅との関係について調べ、ポア壁幅はフェルミ波長 (~40nm) 前後の30 nm から60 nm の範囲で制御可能であることを見出している。その上に蒸着した Bi 薄膜のポア壁は、横方向への成長のため陽極酸化膜のそれよりも厚くなる傾向を示したが、膜厚25 nm の Bi 薄膜でポア壁幅38 nm を達成している。

第4章は Bi アンチドット薄膜の次元性について述べている。膜厚が薄い Bi アンチドット薄膜で、低温、低磁場部において顕著な非線形性が観測されたことから、これは反弱局在効果によるものと結論している。また、観測された磁気抵抗を Hikami-Larkin-Nagaoka モデルを用いて解析し、コヒーレンス長を見積もっている。さらに、コヒーレンス長の温度依存性から次元性を評価し、膜厚 25 nm、ポア壁幅 38 nm の試料では、6–7 K 以下の温度で、1次元と2次元の中間的な状態にあると述べている。様々な膜厚、ポア壁幅の試料に対する結果を総合し、1次元性は膜厚がコヒーレンス長よりも短く、かつ膜厚、ポア壁幅ともにフェルミ波長よりも短い場合に出現すると結論している。

第5章は Bi アンチドット薄膜におけるキャリアの挙動について述べている。ホール抵抗の磁場依存性から、3キャリアモデルを用いて電子、ホール濃度、移動度を独立に評価したところ、膜厚が減少するほど電子の濃度が増大したことから、表面準位による電気伝導は電子が支配的であると結論している。

第6章は結論と総括である。

以上のように、本論文は、Bi アンチドット薄膜の作製法を提案するとともに、同薄膜の磁気輸送現象に対する詳細な解析から同薄膜の次元性を明らかにしたものである。これらの研究は理学の展開に大きく寄与する成果であり、博士（理学）に値する。なお本論文は複数の研究者との共同研究であるが、論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与は十分であると判断する。

したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。