

審査の結果の要旨

氏名 濱崎 拓

トポロジカル絶縁体は、バルクはバンドギャップを有するが、表面/エッジに特殊な金属状態が存在する物質である。この特殊な表面/エッジ状態は、i) スピン偏極したディラック電子からなる、ii) 電子の不純物散乱が抑制される、iii) 表面構造の乱れや汚れによって消失しない、といった特徴があり、スピントロニクスデバイスや高速電子デバイスなどへの応用が期待されている。近年、三次元トポロジカル絶縁体中の特定の条件を満たす転位に沿っても、同様な金属状態が実現されることが、理論的に予測された。

そのような転位に沿った特殊な一次元状態は、二次元トポロジカル絶縁体の一次元エッジ状態と本質的に同じであるが、後者を実現するには量子井戸の作製が必須であるのに対し、前者は、通常の結晶育成法で作製可能な三次元トポロジカル絶縁体を塑性変形するだけで得られるため、試料作製の簡便性の点で優れている。また塑性変形によって大量の転位を導入することが可能であり、この点でも大きなメリットがある。しかしながら、これまで三次元トポロジカル絶縁体中転位の金属状態については、理論的な研究がいくつか報告されているものの、実験的検証の試みは皆無であった。

本研究では、そのような三次元トポロジカル絶縁体中の転位に沿った金属状態の発現を、実験的に検証することを目的とした。転位を導入する物質として、物質のトポロジカル指数と導入される転位のバーガスベクトルの観点から、**Bi-Sb** を選択した。本論文は全四章で構成されている。

第一章は序論であり、研究背景として、トポロジカル絶縁体、トポロジカル絶縁体中転位、**Bi-Sb** について解説したのち、本研究の意義、目的および方法の概要を述べている。

第二章では、ミリメートルオーダーのマクロスコピックな系における **Bi-Sb** トポロジカル絶縁体中転位の電気伝導に関する研究について述べている。まず組成の均一な **Bi-Sb** トポロジカル絶縁体単結晶を作製し、圧縮変形することで転位を導入した。このとき金属状態の発現条件を満たすバーガスベクトルを持つ転位が導入されるように圧縮方位を選択した。実際にそのような転位が導

入されたことを透過型電子顕微鏡(TEM)観察により確認した。またこれらの転位は長い刃状成分をもつことを明らかにした。刃状転位線と平行、垂直方向の電気抵抗率の温度依存性を測定した結果、低温域において前者で電気抵抗率の減少が観測されたのに対し、後者では観測されなかった。Hall 測定によりバルクのキャリア密度を見積もり、転位の導入によりバルクキャリア密度は減少することがわかった。これにより、低温域における電気抵抗率の減少は、転位に沿った電気伝導に由来すると解釈される。

第三章では、転位が試料全体を貫通していると考えられるマイクロメートルオーダーのメゾスコピックな試料を作製し、伝導転位の効果をより直接的に観測することを目指した。圧縮変形により金属状態の発現条件を満たす転位を導入した試料 A、金属状態の発現条件を満たさない転位を導入した試料 B、圧縮変形を施さない試料 U を作製した。試料 A, B, U からそれぞれ、長さ約 10 μm の試料を収束イオンビームを用いて切り出し、電気抵抗率を測定した結果、A についてのみ低温域で大きな電気抵抗率の減少が観測された。TEM 観察により見積もった転位密度は、A と B で同程度、U についてはそれらより 3 桁以上小さかった。また A について測定された低温域での電気抵抗率の値は、転位伝導を仮定してランダウアー・ビュティカーの式を用いて見積もった値とよく合うことが示された。以上の結果より、A における低温域での大きな電気抵抗率の減少はトポロジカルに保護された転位伝導によるものであると結論できる。

第四章は総括であり、本論文全体の内容をまとめている。

以上のように、本研究はこれまで理論的に予測されるにとどまっていたトポロジカル絶縁体中転位の金属状態の形成を初めて実験的に示したものである。この成果は、これまで表面/エッジに限られていた特殊な金属状態の研究対象をバルク内の転位に広げるものであり、そのような金属状態の基礎的物性研究の進展に寄与するのみならず、その工学的応用に新たな道筋をつけるものとして高く評価できる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。