

氏 名	鈴木 悠介
学 位 の 種 類	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 7671 号
学位授与年月日	平成 28 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
審 査 研 究 科	数理物質科学研究科
学 位 論 文 題 目	

テトラジマイト型 Bi 系トポロジカル絶縁体単結晶の輸送特性と超伝導に関する研究

主 査	筑波大学教授	理学博士	門脇 和男
副 査	筑波大学教授	理学博士	黒田 眞司
副 査	物質・材料研究機構主幹研究員	工学博士	茂筑 高士
副 査	筑波大学教授	工学博士	重川 秀実

論 文 の 要 旨

近年、従来の固体物理学における物質観に大きな変革を迫っている新しい概念である、トポロジカル絶縁体について、鈴木悠介君は、その概念の実証と確立を目指し、博士課程の 3 年間、最適物質の選択から合成、良質な単結晶育成にいたるまで自ら行い、実験的には主に電気的な輸送現象を中心として研究を行い、電子状態の解明を試みた。取り扱った物質は基本的にはテトラジマイト型物質である Bi_2Se_3 とそれを母物質として派生する $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$ (BTS)や $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ (BSTS)を取り上げ、良質な単結晶育成のプロセスの開拓を試行錯誤しながら成し遂げ、これらの物質キャリアドーピングの機構やそれに伴う電子状態の変化を、17 T までの磁場中で、磁気抵抗やホール抵抗の測定、STM などの実験をとおして実験的に解明した。これに加えて、 Bi_2Se_3 は Cu を添加すると超伝導になる事が報告されており、超伝導とトポロジカル絶縁体とが共存するトポロジカル超伝導体の可能性を実験的に追求した。特に、 Bi_2Se_3 の光電子分光によって直接的にトポロジカル超伝導体の表面状態を明らかにした点は強いインパクトを与えた。

トポロジカル超伝導体の研究はフランスのグルノーブルとの共同研究に於いて主に実施され、また、超伝導とトポロジカル絶縁体との接合特性についてはイタリアのナポリ大学、スウェーデンのチャルマース大学との共同研究で実施された。また、STM の実験に関しては筑波大学数理物質系重川研究室、アメリカ、テンプル大学のイアバローネグループとの共同研究である。また、55 T までの強磁場下における測定は、東京大学物性研究所の超強磁場施設、金道研との共同研究で実施された。このように、国内外の研究期間との強い連携を保ちながら実施された研究である事も鈴木悠介君の研究の特徴である。

トポロジカル絶縁体の概念は 2000 年代の中期から後半にかけて理論的に指摘され始めた新しい物質観であり、それを、特に表面状態の観測手段である ARPES(角度分解光電子分光)や STM といった実験

手段で実験的な検証がなされたのは主に 2010 年代に入ってからである。トポロジカル絶縁体の概念をデバイス化できれば、理想的なスピントロニクスデバイスが可能となると考えられることから、大きな注目を浴び、急速に発展してきている分野である。しかしながら、デバイスとして使うためには電気的な特性にトポロジカル性を反映することが重要であるが、電気的測定からトポロジカル絶縁体としての特性を明確に検証した実験はこれまでの所、皆無である。これは物質として表面だけを活用した電気的デバイスが作製できないためであり、純粋に対象物質の質、特にバルク体としての質のみならず、表面状態も高品質の物質を作成することが如何に重要であるかと言うことを物語っている。この点を積極的に追求した研究は残念ながら見当たらないのは現状で使われている物資の高品質の物質をえることが如何に難しいかを示しているとも言える。この点に関して、鈴木悠介君は高品質の物質合成に果敢に挑戦し、高品質物質の合成に多くの時間を費やし、遂に実験に耐えられる世界をリードする単結晶の合成法を確立し、高磁場における磁気抵抗の測定から、シュブニコフ・ドハース振動などを観測し、フェルミ面の異方性やキャリアに関する情報を、キャリア濃度を変えながら系統的に測定した。また、Cu を添加した Bi_2Se_3 において超伝導の発現が単にキャリア濃度によって規定されるのではないことを明らかにし、これまで主張されてきた超伝導発現に関する定説を覆した。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

上述のように、鈴木悠介君はトポロジカル絶縁体としての物性を明らかにするために各種の実験手法を用い、多角的に海外との共同研究を進め、特に、良質なバルク単結晶を用いて幅広い実験データを得ることに成功し、トポロジカル絶縁体の電子状態を明らかにする事を試み、キャリア濃度とフェルミ面の関係や電子状態について系統的な描像を得ることに成功したことはこれまでに無い研究成果であり、高く評価できる。特に、Cu をドーピングすることで発現する超伝導に関しては、最近の華々しいトポロジカル超伝導としての報告に対し、良質の単結晶を基にした地道な結果から、批判的な結論を導いたことは単なる主流は研究に迎合的な潮流に対し、自らのデータに基づき、毅然とした結論を導いた点は独立した研究者として高く評価できる。さらにそれに加えて、超伝導発現には単なるドーピング以上の機構が本質的に重要である点を指摘したことは大変意義深い。このように、総じて、鈴木悠介君の幅広い研究結果をまとめた博士論文は博士の学位に十分値すると評価される。

〔最終試験結果〕

平成 28 年 2 月 18 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。