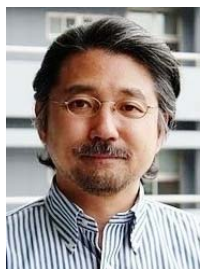


【基盤研究（S）】

理工系（数物系科学）



研究課題名 トポロジカル絶縁体・超伝導体における新奇な量子現象の探求

大阪大学・産業科学研究所・教授 **安藤 陽一**

研究分野： 物理学
キーワード： 半導体

【研究の背景・目的】

トポロジカル絶縁体・超伝導体は最近数年で大きな注目を集めるようになった物質であり、その波動関数が形成するヒルベルト空間の位相幾何学的性質のために、表面に特殊なギャップレス状態（トポロジカル絶縁体ではディラック粒子、トポロジカル超伝導体ではマヨラナ粒子）が現れるという顕著な特徴を持っている。その応用上の大きな可能性に加え、これらの物質は「トポロジカル量子現象」という新しいテーマを研究する舞台となるため、いま世界中で多くの物理学者がその研究に取り組み始めている。

本研究は、これらの物質のバルク単結晶及びエピタキシャル薄膜の作製と、それらを用いた精密物性測定の方を、それぞれ世界トップレベルで行うことによって、トポロジカル物質に特有の新奇な量子現象を世界に先駆けて検証・解明することを目的とする。特にディラック電子系特有の物性の解明とマヨラナ粒子の検証に注力する。

【研究の方法】

トポロジカル絶縁体が理論的に議論され始めたのは2005年頃からだ。研究代表者らは2008年からいち早くその物質開発と輸送特性測定に取り組み、この新しい分野をリードしてきた。本研究ではこれまでの実績を活かして、世界最高品質のバルク単結晶試料とMBE法薄膜試料を作製し、それを用いた極低温磁場中物性測定を行う。その実験を通して、トポロジカル絶縁体・超伝導体に特有の新奇な量子現象を探求する。

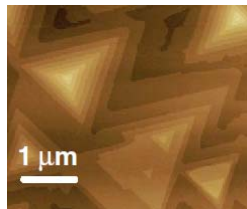


図1 トポロジカル絶縁体のバルク単結晶試料（左）とMBE法薄膜試料（右）

【期待される成果と意義】

1) トポロジカル絶縁体におけるスピン偏極した表面ディラック電子系の物性解明

特有のヘリカルなスピン偏極をもたらす無散逸のスピン流とそれに伴う新奇物性、ホール係数の半整

数量子化、ディラック粒子の相関による分数量子ホール効果など、トポロジカル絶縁体に宿るディラック電子系に関しては様々な新奇現象が予想されている。本研究では表面電子移動度の高い試料を用いた実験によって、これらの予想を検証する。

2) トポロジカル表面状態における超伝導近接効果

トポロジカル絶縁体を介した超伝導電流の起源と性質を解明し、さらにこの近接効果系において量子化磁束中に現れると予測されている局在マヨラナ粒子の存在を明らかにする。

3) トポロジカル電気磁気効果

トポロジカル絶縁体の表面状態にギャップを開けて試料全体を絶縁体状態にすると、磁場による電気分極の誘起及びその逆過程が、量子化された巨大効果として現れると予想されている。その実験的観測は、トポロジカル絶縁体がひき起こす全く新しい量子化現象の実証として極めて重要である。

4) トポロジカル超伝導体候補物質の物性解明

研究代表者らが時間反転対称トポロジカル超伝導体である可能性が高いことを発見した $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$ と $\text{Sn}_{1-x}\text{In}_x\text{Te}$ の詳細な超伝導対称性を解明する。さらにトポロジカル超伝導体と普通の超伝導体のジョセフソン接合で期待される新奇な電流位相関係を観測し、表面マヨラナ粒子の存在を検証する。

上記の結果、量子力学におけるトポロジーの役割の理解が実証的に進展するとともに、トポロジカル量子現象という新しい概念の確立が進むことが期待される。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- A. A. Taskin, S. Sasaki, K. Segawa, and Y. Ando, Manifestation of Topological Protection in Transport Properties of Epitaxial Bi_2Se_3 Thin Films, Phys. Rev. Lett. 109, 066803 (2012).
- S. Sasaki, M. Kriener, K. Segawa, K. Yada, Y. Tanaka, M. Sato, and Y. Ando, Topological Superconductivity in $\text{Cu}_x\text{Bi}_2\text{Se}_3$, Phys. Rev. Lett. 107, 217001 (2011).

【研究期間と研究経費】

平成25年度－29年度
171,700千円

【ホームページ等】

<http://www.sanken.osaka-u.ac.jp/labs/fmc/>