トポロジカル量子現象の視点とトポロジカル超伝導

Topological Quantum Phenomena and Topological Superconductivity

前野 悦輝（京大院理）

Yoshiteru Maeno (Kyoto Univ.)

E-mail: maeno@scphys.kyoto-u.ac.jp

「トポロジカル絶縁体」の予言とその実験的検証に刺激され、より広範な物質や現象に対するトポロジカルな分類の基礎付けが急速に進んでいる[1]。それに伴い、超伝導体・超流動体の研究も新たな視点を得て活性化している。本講演ではまず、トポロジカル量子現象の視点による物質研究の最近の成果を概観する。特に、スピン・軌道相互作用の役割や、バルクのトポロジカル状態に対応して表面や界面に必ず出現するはずのスピン流や電流を伴う「エッジ状態」の検証と利用が重要となる。次に、トポロジカル超伝導に分類されるスピン三重項カイラル超伝導性の研究が進む Sr_2RuO_4 [2]での研究例を紹介する。

超伝導体におけるトポロジカル量子現象の典型例は磁束の量子化である。スピン三重項超伝導では、スピン状態の自由度のために、単一ドメインの超伝導体でも磁束量子の半分の単位の量子化が可能となる。実際、Sr_2RuO_4 の微小単結晶リングの磁化測定から半整数磁束量子を観測した[3]。半整数量子渦はマヨラナ準粒子を伴うはずで、制御性の良い素子構造で半整数量子渦を交換して特異な量子統計性を検証できれば、トポロジカル量子計算の原理につながると期待されている。

次に、 Sr_2RuO_4 単結晶の劈開面に強磁性金属 $SrRuO_3$ 薄膜をエピタキシャル成長させた系（図 1）での超伝導近接効果の研究の現状を紹介する[4]。従来型の超伝導体と強磁性金属の接合でも、界面でのスピン混成が可能な特殊な強磁性構造を作れば、強磁性体の中にスピン三重項成分が侵入することが知られている。一方、スピン三重項超伝導体を用いれば単純な構造の素子で磁化方向に依存する近接効果が期待できる。その際、トポロジカル超伝導特有の「奇周波数ペアリング」、すなわちスピン三重項の *s* 波状態が長距離近接効果をになう。また、超伝導スピン流の生成と操作も可能と考えられ、『Superspintronics』とも呼べるようなデバイス原理の開拓も期待される。

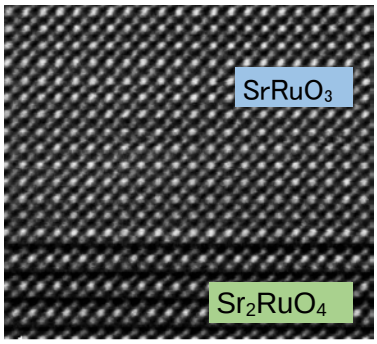

図 1. Sr_2RuO_4 単結晶の劈開面にエピキシャル成長させた強磁性体金属 $SrRuO_3$ 薄膜の TEM 像[4].

[1] 例えば："Topological Insulator Materials", Y. Ando, J. Phys. Soc. Jpn. **82** (2013) 102001-1-32.

[2] "Evaluation of Spin-Triplet Superconductivity in Sr_2RuO_4", Y. Maeno, S.Kittaka, T. Nomura, S. Yonezawa, and K. Ishida, J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 011009-1-29.

[3] "Observation of half-height magnetization steps in Sr_2RuO_4", J. Jang, D.G. Ferguson, V. Vakaryuk, R. Budakian, S.B. Chung, P.M. Goldbart, Y. Maeno, Science **331** (2011) 186-188.

[4] "Ferromagnetic $SrRuO_3$ thin-film deposition on a spin-triplet superconductor Sr_2RuO_4 with a highly conducting interface", M. S. Anwar, Y. Jae Shin, S. Ran Lee, S. Jin Kang, Y. Sugimoto, S. Yonezawa, T. Won Noh, Y. Maeno, Appl. Phys. Exp. **8** (2015) 015502-1-4.

© 2015年 応用物理学会