

磁壁を有する強磁性ナノワイヤにおけるトポロジカル超伝導体 Topological Superconductors in Ferromagnetic Nanowire with Domain Wall

日立研開¹、広島大工² ○市村 雅彦¹、廣川真男²

Hitachi R&D Gr.¹, Hiroshima Univ.², Masahiko Ichimura¹, Masao Hirokawa²

E-mail: masahiko.ichimura.jp@hitachi.com

近年、トポロジカル絶縁体/超伝導体に代表される一群のトポロジカル物質が注目を集めている。トポロジカル物質が（真空を含む）トポロジカルに自明な物質と接するとき、その界面においてトポロジカル不変量が不連続に変化し、ギャップが消失する。トポロジカル超伝導(TSC)の場合、超伝導特有の電子-ホール対称性を反映し Majorana 束縛状態(MBS)が出現することが理論的に予測されている[1,2]。MBS は安定な量子ビットとして機能し、トポロジカル量子計算と呼ばれる独特の量子計算を可能とすることが期待されている。

TSC のモデルとして多く用いられるのが、s-波超伝導体上に形成されたスピン軌道相互作用(SOI)の強い半導体ナノワイヤに外部磁場を印加した系である[3]。我々は、TSC 形成の容易さと MBS の制御性を勘案し、s-波超伝導体上に形成された磁壁を有する強磁性ナノワイヤを考察する。このモデルは、磁壁幅と以下に述べる TSC 領域の 2 つの長さのパラメータを持つ。有限サイズのナノワイヤに 2 つの長さスケールが導入されることにより、TSC 領域のエッジの効果に興味を持たれる。磁壁を有する強磁性体を記述するハミルトニアンは、ゲージ変換によりスピン軌道相互作用にマップされ、この有効スピン軌道相互作用の大きさは磁壁構造を反映し空間的に変化する[4]。空間変化を一様な値に置き換えれば Oreg らと等価なモデル[3]となる。有限サイズのナノワイヤにゲートを設け化学ポテンシャルを変調することで、TSC 領域を形成できる。

本講演では、有限サイズ系のエッジの効果を数値的に調べた結果、TSC 領域が磁壁幅の 3 倍程度の長さのとき、有効スピン軌道相互作用が十分大きければ TSC 領域のエッジに MBS が現れることを報告する。MBS の局所状態密度、および局所スピン密度を調べ、TSC 領域のエッジから中央に向かい指数関数的に減衰する MBS が対を成して形成され、その減衰長は有効スピン軌道相互作用が大きいほど短くなるがわかった。

[1] A. Yu Kitaev, Ann. Phys. (N.Y.) **303**, 2 (2003).

[2] Lian Fu and C. L. Kane, Phys. Rev. Lett. **100**, 096407 (2008).

[3] Yuval Oreg, Gil Refael, and Felix von Oppen, Phys. Rev. Lett. **105**, 177002 (2010).

[4] T.-P. Choy, J. M. Edge, A. R. Akhmerov, and C. W. J. Beenakker, Phys. Rev. B **84**, 195442 (2011).