

二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出
平成 28 年度採択研究代表者

H28 年度
実績報告書

川崎 雅司

東京大学大学院工学系研究科
教授

トポロジカル絶縁体ヘテロ接合による量子技術の基盤創成

§ 1. 研究実施体制

(1)「作製」グループ

- ① 研究代表者:川崎 雅司 (東京大学大学院工学系研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・トポロジカル絶縁体ヘテロ構造の作製と雛形デバイスの構築

(2)「物性」グループ

- ① 主たる共同研究者:十倉 好紀 (東京大学大学院工学系研究科、教授)
- ② 研究項目
 - ・トポロジカル絶縁体量子機能実証とスピントロニクス応用

(2)「理論」グループ

- ① 主たる共同研究者:江澤 雅彦 (東京大学大学院工学系研究科、講師)
- ② 研究項目
 - ・トポロジカル界面を用いた量子機能設計と新奇トポロジカル・デバイス原理構築

§ 2. 研究実施の概要

磁性層と非磁性層を交互に積み重ねたトポロジカル絶縁体積層薄膜を作製することで、特殊な電気磁気効果の発現が期待される新しい量子状態を実現することに成功した。トポロジカル絶縁体に磁性元素を添加した磁性トポロジカル絶縁体では、試料端だけに電流が流れる量子異常ホール効果[図 1(a)]が発現するが、理論研究によればこの他にも、磁場を加えると電気分極が生じる「電気磁気効果」が起こることも予測されている。電気磁気効果が実現できれば、将来の省電力メモリー素子や再構成可能な論理回路への応用が期待できる。電気磁気効果は特殊な磁性体でも観測されるが、トポロジカル絶縁体の電気磁気効果は巨大であり、その大きさが物質中の欠陥や不純物の量に左右されない、ある決まった値をとるという特徴がある。電気磁気効果を観測するには、磁化を表面から外向き方向[図 1(b)]に揃える必要がある。しかし、これまでの磁性トポロジカル絶縁体では、このように磁化方向を制御するのが技術的に困難であった。

そこで、分子線エピタキシー装置を用いた「磁気変調ドーピング」法を開発し、磁性/非磁性/磁性の3層にわたる積層構造を作製した。磁性層の保磁力(磁性体の磁化を反転させるのに必要な外部磁場の大きさ)に差を持たせることで、2つの磁性層の磁化方向の制御を可能にした。磁場を加えて片方の磁化だけを反転させると、2つの磁性層の磁化が反平行になると同時に薄膜試料に電流が流れなくなることを実験的に確認した。この結果は、磁性トポロジカル絶縁体の磁化方向制御によって、特殊な電気磁気効果観測のための物質基盤を確立したことになる。

今後は、電気磁気効果の直接的な観測を目指すとともに、新規な磁気変調ドーピングの手法をより広く展開し、様々なスピントロニクス新機能の設計と実証に繋げる[1]。

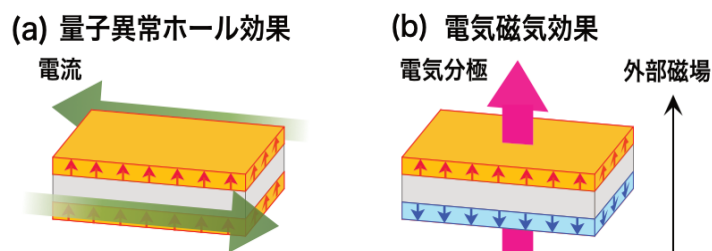


図 1 量子異常ホール効果と電気磁気効果の概念図

図 1(a) 磁化(小さな矢印)が一方向に揃っているときには、試料の端にだけ電流が流れる量子異常ホール効果が現れる。(b) 磁化が反平行になったときには、電流が流れなくなり、電気磁気効果が期待できる状態が実現する。

代表的な原著論文

[1] M. Mogi, M. Kawamura, R. Yoshimi, A. Tsukazaki, Y. Kozuka, N. Shirakawa, K. S. Takahashi, M. Kawasaki, Y. Tokura, *Nature Materials* **16**, 516-521 (2017).