

第 570 回物性セミナー

ビスマスの薄膜・表面とトポロジ

講 師 伏屋 雄紀 氏
(神戸大学大学院理学研究科)

日 時 2025 年 11 月 13 日(木) 14:40 ~ 16:10

場 所 先端科学総合研究棟 401N

ビスマス (Bi) は固体物理学の歴史において長らく異彩を放ってきた。反磁性や熱電効果、量子振動が Bi で発見され、熱電効果はエネルギー変換の担い手として、量子振動は金属の電子状態を精密に測る手法として、現代固体物理学において極めて重要な役割を果たしている。

三次元トポロジカル絶縁体の最初の候補に挙げられたのも、Sb を少量ドープした Bi であった [1]。以来、Bi およびその Sb との合金はトポロジの観点から実験・理論の両面で精力的に研究されてきた。しかし、最初の提案からまもなく 20 年が経とうとしている現在においても、Bi のトポロジは未解決の点が残されている。

本セミナーでは、この Bi のトポロジに関する謎の解明に向けた、Bi 薄膜とその表面状態に関する研究を紹介する [2-4]。これらの結果は、Bi における表面状態の解釈とトポロジ判別に新たな視座を与えるとともに、実験条件の精密な制御の重要性を改めて強調するものである。

(1) まず、Bi および BiSb 合金の表面状態に対する解析解と、それに基づく統一的理解を示す [2]。Bi 中ディラック電子特有の性質により、薄膜の表と裏の表面状態が強く干渉し、膜厚が 80 nm に達しても表面状態に大きなギャップを開くことを見出した。これにより、表面状態の分散だけではトポロジの判別が困難となる。

(2) 一般的なトポロジカル絶縁体の理解に基づけば、トポロジの異なる物質間のヘテロ接合界面にはギャップレスの表面状態が現れる。しかし、Bi と BiSb のヘテロ接合では、そのような界面状態は現れず、双方の波動関数が相互に浸透することが分かった [3]。結果として、一方の表面に他方の表面状態が現れるという一見奇妙な現象が生じる。

(3) さらに、薄膜表面で不可避な表面緩和に着目する。密度汎関数理論に基づく構造最適化から、Bi では面間距離が最大 6% も拡張する顕著な緩和が生じ得ることを示した。そして、この表面緩和が本来の表面状態を覆い隠してしまう“トポロジカル・ブロッキング”を引き起こすことを見出した [4]。

[1] L. Fu, C. L. Kane, Phys. Rev. B **76**, 045302 (2007)

[2] Y. Fuseya, H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Jpn. **87**, 044710 (2018)

[3] Y. Asaka, T. Kikuchi, Y. Fuseya, Phys. Rev. B **106**, 245303 (2022)

[4] K. Koie, R. Yaguchi, Y. Fuseya, Phys. Rev. B **111**, L201303 (2025)

共同セミナー「理工学融合共同演習」(博士課程前期)の認定科目です。

担当: 鬼丸 孝博 (内線 7027)