

Bi 及び $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ 結晶電子状態の量子化とトポロジー

松田 巖

東京大学物性研究所

近年の著しい表面分析法の発展によって薄膜や表面の電子状態を詳細に調べることが可能となり[1]、その結果、トポロジカル量に基づく理論構築及び物質合成が実施されてきた。現代の物性物理学では多種多様な Bi 化合物が研究対象となっており、ビスマス(Bi)は紛れもなくその中心となっている元素である。Sb がドーピングされた Bi 単結晶 $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ($x \sim 0.1$) は世界初のトポロジカル絶縁体と提唱され、我々は世界に先駆けてその全スピン偏極バンド構造の決定に成功した[2]。さらに Sb ドーピングに伴う電子状態変化を明らかにし[3]、そして複数の劈開面の表面状態も観測した[4]。当時、発見からの約 1 年間、トポロジカル絶縁体は見向きもされなかったが、その後、世界中で爆発的に研究が実施されるようになった。一方、Bi 単体の電子状態のトポロジーについては、研究者の間で議論が続いていた。そこで、我々は Bi のエピタキシャル膜成長を駆使することで膜内に内在する電子状態の量子化を制御し、実験的に Bi 結晶のトポロジーを決定した[5]。さらにアルカリ吸着や膜厚に伴う Bi の電子状態変化を追跡し、その特殊な電子物性の起源も明らかにした[6]。本講演では、我々を含めた Bi 及び $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ の電子構造研究を振り返るとともに、これまでの議論の争点や今後の展開を解説する予定である。

参考文献

- [1] Iwao Matsuda ed., *Monatomic Two-Dimensional Layers: Modern Experimental Approaches for Structure, Properties, and Industrial Use*, (Elsevier, 2018)
- [2] A. Nishide, A. A. Taskin, Y. Takeichi, T. Okuda, A. Kakizaki, T. Hirahara, K. Nakatsuji, F. Komori, Y. Ando, and I. Matsuda, Direct mapping of the spin-filtered surface bands of a three-dimensional quantum spin Hall insulator, *Phys. Rev. B* **81**, 041309-1, 041309-4 (2010).
- [3] F. Nakamura, Y. Kousa, A. A. Taskin, Y. Takeichi, A. Nishide, A. Kakizaki, M. D'Angelo, P. Lefevre, F. Bertran, A. Taleb-Ibrahimi, F. Komori, S. Kimura, H. Kondo, Y. Ando, and I. Matsuda, Topological transition in $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ studied as a function of Sb doping, *Phys. Rev. B* **84**, 235308-1, 235308-8 (2011).
- [4] I. Matsuda, K. Yaji, A.A. Taskin, M. D'angelo, R. Yukawa, Y. Ohtsubo, P. Le Fèvre, F. Bertran, S. Yoshizawa, A. Taleb-Ibrahimi, A. Kakizaki, Yoichi Ando, and F. Komori, Surface state of the dual topological insulator Bi Sb (112), *Physica B* **516**, 100-104 (2017).
- [5] S. Ito, B. Feng, M. Arita, A. Takayama, T. Someya, W.-C. Chen, C.-M. Cheng, C.-H. Lin, S. Yamamoto, T. Iimori, H. Namatame, M. Taniguchi, S.-J. Tang, F. Komori, K. Kobayashi, and I. Matsuda, Proving nontrivial topology in pure bismuth by quantum confinement, *Phys. Rev. Lett.* **117**, 236402-1,-6 (2016).
- [6] S. Ito, B. Feng, M. Arita, T. Someya, W.-C. Chen, A. Takayama, T. Iimori, H. Namatame, M. Taniguchi, C.-M. Cheng, S.-J. Tang, F. Komori, and I. Matsuda, Alkali-metal induced band structure deformation investigated by angle-resolved photoemission spectroscopy and first-principles calculations, *Phys. Rev. B* **97**, 155423-1,-8 (2018).