

新奇電子機能物質の開拓
Exploration of Novel Electronic Functional Materials

笹川 崇男, 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所

【目的】

固体中の電子は、1つの粒子からは想像できないような様々な機能を生み出す多体量子状態を創発する場合がある。高温超伝導の舞台となる強相関電子系はその代表例である。そして近年、2016年のノーベル物理学賞に輝いたことと相まって、「トポロジカルな電子状態をもつ物質」が、超高速・超低消費電力・超巨大応答・スピン情報・量子演算などを実現する革新的デバイス材料として注目を集めている。本研究課題では、第一原理計算と単結晶試料を媒介に申請者が広げてきた「新奇電子機能物質」の研究に関する国際ネットワークを、WRHI国際共同研究推進支援のもとで更に強固なものへと発展させることにより、強相関電子系やトポロジカル電子系の新物質開発および新奇な量子現象や機能の探索を行うことを目的とした。

【研究成果】

国際共同研究の成果として、強い電子相関効果（電子電子相互作用）によって出現する高温超伝導体と強い相対論効果（スピン軌道相互作用）によって出現するトポロジカル絶縁体のそれぞれについて、メカニズム解明に向けて弾みとなる普遍的現象の発見と応用に向けて有望な新電子相の発見があった。これにより、Nature誌を筆頭に1年間に国際共著論文を8報発表することができた。

中でも特筆すべきは、新しい分類に属する「弱い」トポロジカル絶縁体の発見である（発表論文1：図1）。擬一次元の結晶構造を持つ

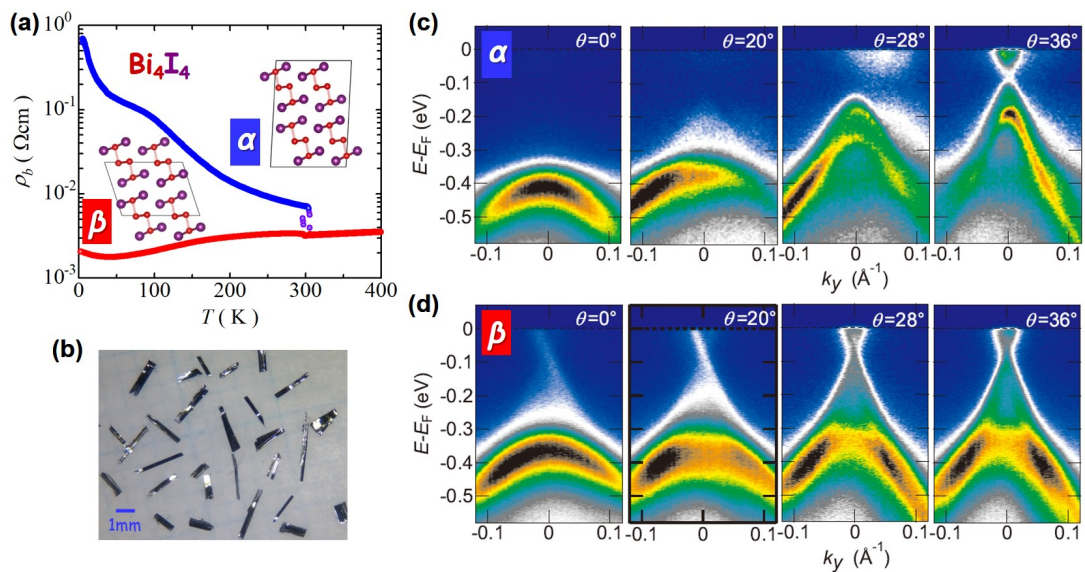


図1. (a) 低温 α 相と高温 β 相の結晶構造をもつ Bi_4I_4 の結晶構造と抵抗率の温度依存性。(b) 育成に成功した単結晶。(c)-(d) 角度分解光電子分光法で観察した α 相と β 相の電子構造。

ビスマスヨウ化物 Bi_4I_4 について、室温付近における構造相転移と、それに伴う輸送特性の顕著な変化を見出した。化学気相輸送法によって育成に成功した単結晶を用いて、角度分解光電子分光法による電子構造の詳細な直接観察を行ったところ、低温 α 相は通常の絶縁体なのに対して、高温 β 相は特定の結晶面だけにディラック錘型の表面電子状態が出現する「弱い」トポロジカル絶縁体であることを発見した。結晶の冷却速度を制御する事により、高温 β 相を凍結させて低温においても安定化させることが可能であることも実証することに成功した。通常絶縁体とトポロジカル絶縁体との間の電子相転移を、熱履歴によって ON/OFF 制御できることも実証した本成果は、表面電子状態がもつ無散逸なスピン流特性を利用するスピントロニクス分野への新たな技術として、今後の応用展開にも期待がもてる。

【 発表論文 】

- [1] R. Noguchi, M. Hoesch, A. Barinov, T. Sasagawa, T. Kondo *et al.*, "A Weak Topological Insulator State in Quasi-one-dimensional Bismuth Iodide", *Nature* **566**, 9 (2019).
- [2] D. Pelc, T. Sasagawa, M. Greven *et al.*, "Emergence of Superconductivity in the Cuprates via a Universal Percolation Process", *Nature Commun.* **9**, 4327 (2018).
- [3] G. Coslovich, T. Sasagawa, R.A. Kaindl *et al.*, "Ultrafast Multi-terahertz Probes of Symmetry Breaking in a Stripe-phase Correlated Oxide", *Proc. SPIE* **10756**, 107560K (2018).
- [4] J. S. Jeong, T. Sasagawa, M. Greven *et al.*, "Decomposition of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ into Several La_2O_3 Phases at Elevated Temperatures in Ultrahigh Vacuum inside a Transmission Electron Microscope", *Phys. Rev. Mater.* **2**, 054801 (2018).
- [5] P.G. Baity, T. Sasagawa, and D. Popovic, "Collective Dynamics and Strong Pinning in the Charge-Density-Wave-Ordered Phase in $\text{La}_{1.48}\text{Nd}_{0.4}\text{Sr}_{0.12}\text{CuO}_4$ ", *Phys. Rev. Lett.* **120**, 156602 (2018).
- [6] O.J. Clark, W. Meevasana, T. Sasagawa, P.D.C. King *et al.*, "Fermiology and Superconductivity of Topological Surface States in PdTe_2 ", *Phys. Rev. Lett.* **120**, 156401 (2018).
- [7] J. Hu, T. Sasagawa, K.G. Nakamura, O.V. Misochko *et al.*, "Femtosecond Study of A_{1g} Phonons in the Strong 3D Topological Insulators: From Pump-probe to Coherent Control", *Appl. Phys. Lett.* **112**, 031901 (2018).
- [8] M.S. Bahramy, T. Sasagawa, W. Meevasana, and P.D.C. King *et al.*, "Ubiquitous Formation of Bulk Dirac Cones and Topological Surface States from a Single Orbital Manifold in Transition-metal Dichalcogenides", *Nature Materials* **17**, 21 (2018).

【 国際会議発表 】

- [1] S.A. Ekahana, T. Sasagawa, Y. Chen *et al.*, "Intrinsic Fermi Arc Re-wiring in NbIrTe_4 ", American Physical Society March Meeting, Boston, USA (Mar.4-8, 2019).
- [2] P.G. Baity, Z. Shi, D. Popovic, T. Sasagawa, "Ground States of Striped Cuprates at High Magnetic Fields", American Physical Society March Meeting, Boston, USA (Mar.4-8, 2019).
- [3] R. Noguchi, M. Hoesch, A. Barinov, T. Sasagawa, T. Kondo *et al.*, "A Weak Topological Insulator State in Quasi-one-dimensional Bismuth Iodide Observed by Surface-selective Nano-ARPES", American Physical Society March Meeting, Boston, USA (Mar.4-8, 2019).
- [4] G. Coslovich, T. Sasagawa, R.A. Kaindl *et al.*, "Ultrafast Multi-terahertz Probes of Symmetry Breaking in a Stripe-phase Correlated Oxide", SPIE Optical Engineering and Applications, San Diego, USA (Aug.19-23, 2018).