

トポロジカル結晶絶縁体の電子物性評価とその応用

秋山了太

東京大学理学系研究科

トポロジカル絶縁体ではスピン軌道相互作用が強く、時間反転対称性の成り立つ系で表面状態が生じるが、トポロジカル結晶絶縁体 (TCI) では結晶の鏡映対称性が起源となって表面状態が与えられる。TCIは2012年に理論的にその存在が提唱され [1,2]、実験的には ARPES によって同年表面バンドが示された [3]。典型物質としては SnTe を含む $\text{Pb}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Te}$ 、 $\text{Pb}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Se}$ など

である。電気伝導によって弱反局在効果の観測などにより表面状態の探索が進められ [4,5]、伝導の二次元性も確かめられた [6]。

しかし、肝心の表面バンドについては、 $\text{Pb}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Se}$ は n 型になりうるため 2012 年に ARPES で観測されたが、SnTe は Sn 欠損が生じやすいことでハイドープな p 型になるためディラックコーン(DC)を直接観測することは難しく、詳細も不明であった。そこで我々は東大物性研辛研究室と共同でレーザー時間分解 ARPES(TARPES)によって非占有状態を観測することで表面バンドの全容解明を目指した。観測試料は SnTe(111)を CdTe/GaAs テンプレート上へ成長したもので [7]、それを真空ポータブルチャンバーによって輸送し、TARPES 観測を行った。その結果、図 1 のように DC が観測され、従来の外挿によって推測された報告と異なり価電子帯よりも下側にディラック点が来ていることが分かった。また同様のバンド分散は $\text{Pb}_x\text{Sn}_{1-x}\text{Te}$ においても観測され、TCI の表面バンドについて直接的に初めて観測に成功した。

トポロジカル絶縁体においてその表面バンドを利用し電子デバイス化しようという試みは多くなされており、 $\text{Bi}_{2-x}\text{Sb}_x\text{Te}_{3-y}\text{Se}_y$ におけるスピン非局所測定 [8]、マイクロ波を用いたスピン注入 [9]、FET 動作 [10] などが挙げられる。しかし TCI については、その表面状態が時間反転対称性に強い可能性があったり、表面状態を電圧変化などで制御できると期待されるなど特異な性質があるにもかかわらず、高品質な単結晶薄膜の作製技術が必要なことなどからデバイス化については未だほとんど報告はない。そこで我々は SnTe についてスピンポンピング実験を行い、SnTe に注入されたスピン流を逆スピンホール効果として観測した結果、スピンホール角は TI と同程度の ~ 0.013 と見積られた [11]。SnTe ではフェルミ準位が価電子帯と表面状態のオーバーラップ領域にあるため、スピンホール角などのパラメータは表面状態のみの寄与とは言えないが、TCI のデバイスへの応用可能性について示したと考えている。講演では、これらを中心に TCI の基礎物性と応用について触れたい。

参考文献

[1] L. Fu, Phys. Rev. Lett. **106**, 106802 (2011). [2] T. H. Hsieh *et al.*, Nature Commun. **3**, 982 (2012). [3] Y. Tanaka *et al.*, Nature Phys. **8**, 800 (2012). [4] B. A. Assaf *et al.*, Appl. Phys. Lett. **105**, 102108 (2014). [5] R. Akiyama *et al.*, J. Phys.: Conf. Ser. **568** 052001 (2014). [6] R. Akiyama *et al.*, Nano Research **9**, 490 (2016). [7] R. Ishikawa *et al.*, J Cryst. Growth **453**, 124 (2016). [8] Y. Ando *et al.*, Nano Lett., **14**, 6226 (2014). [9] Y. Shiomi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **113**, 196601 (2014). [10] D. Kong *et al.*, Nature Nanotech. **6**, 705 (2011). [11] S. Ohya *et al.*, Phys. Rev. B **96**, 094424 (2017).

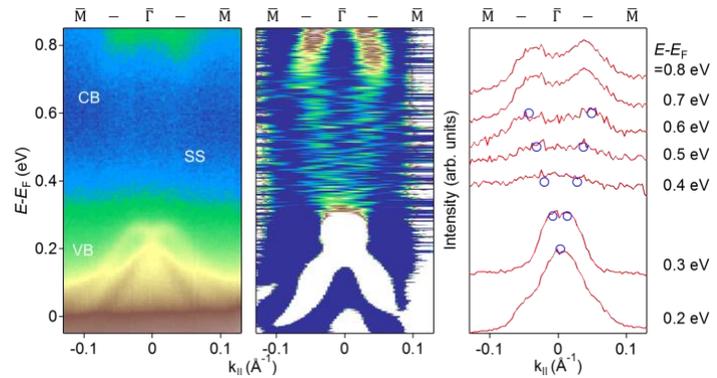


図 1 左 : TARPES による SnTe のバンド分散。中央 : 二階微分像、右 : ADC。伝導帯(CB)、表面バンド(SS)、価電子帯(VB)が見えている。SS はディラックコーンの上半分がギャップ中に来ている。