

トポロジカル半金属 Cd_3As_2 薄膜における量子化表面伝導の観測

東京大学大学院工学系研究科 附属量子相エレクトロニクス研究センター 打田 正輝
物性研究所 国際超強磁場科学研究施設 徳永 将史

はじめに

波数空間においてバンド構造にねじれをもつトポロジカル物質は、新たな電子構造の理論的提案と具体的な物質の発見が相俟いながら研究領域が拡大し続けている。近年盛んに研究されているトポロジカル半金属は、トポロジカル絶縁体と同様に、バンド反転に由来するヘリカルな表面状態をもつ。一方で、対称性に守られた一部の波数ではバンド交差が解けずに残るため、三次元的なディラックまたはワイルコーンをバルク状態にもつ[1]。トポロジカル半金属において提案されている新しい輸送現象は、これらの三次元分散が磁場下において特異なランダウ準位(カイラルゼロモード)をもつことに強く由来している。また、特に単純なバンド構造をもつトポロジカルディラック半金属は、対称性や次元性を制御することにより様々なトポロジカル相を実現できるという特徴も備えており、この観点からの研究も盛んになりつつある。一方で、トポロジカル絶縁体等と比較すると、上記で挙げたような量子輸送特性の検証はいまだに立ち遅れていると言える。

本研究では、前稿[2]に引き続き、トポロジカルディラック半金属の典型物質[3,4]である Cd_3As_2 を対象としている。本物質は、高い電子移動度と長い平均自由行程をもち、その異方性は小さい。さらに、ディラック点を守る回転対称軸と安定な結晶成長方位が異なるため、トポロジカル半金属の表面軌道運動を調べる上で非常に理想的な系であるといえる。我々は、パルスレーザー堆積法と固相エピタキシー法を組み合わせた成膜手法を開発することで、薄膜の蒸発を防ぎながら非常に高温でのアニールを可能とし、既報のバルク試料を超える非常に高い結晶性をもつ Cd_3As_2 単結晶薄膜の作製に成功した[5,6]。また、この成膜手法は、トポロジカル半金属の輸送特性の研究において重要な膜厚制御性や平坦性にも優れていることがわかってきた。 Cd_3As_2 の薄膜化による利点には、膜厚変化による次元性の制御[5]、電界効果によるフェルミ準位の制御[7]、Zn 等の元素置換によるパラメータの制御[7]、ヘテロ構造や近接効果の利用による相制御、等が挙げられる。現在、これらの利点を存分に活かすことで、トポロジカルディ

ラック半金属の輸送特性の研究を精力的に進めている。

その中で、本稿では、系統的な測定によって明らかになってきたトポロジカル半金属表面における伝導状態とその量子化について紹介する[8]。半金属と強磁場は、量子極限物性の研究において非常に良い相性をもつが、トポロジカルな表面伝導の検出においても強磁場下における輸送測定がその威力を発揮した。図1に示すように、トポロジカル半金属の表面状態は途中で途切れているため一方の面だけでは量子化を起こさず、バルク内部のカイラルゼロモードを介して表(おもて)面と裏面を行き来する特異な伝導状態が実現していると考えられる。

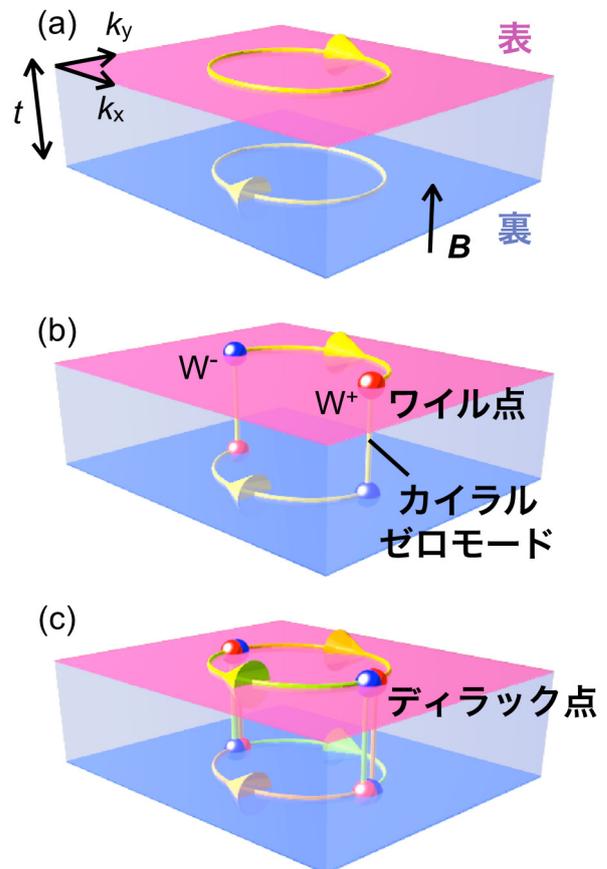


図1. (a)トポロジカル絶縁体・(b)ワイル半金属・(c)ディラック半金属の各表面における軌道運動。

がけ(No. JPMJPR18L2)・CREST(No. JPMJCR16F1)及び日本学術振興会科学研究費(No. JP18H01866、JP15K05140)の支援の下に行われた。

REFERENCES

- [1] S. Murakami, *New Journal of Physics* **9**, 356 (2007).
- [2] 打田 正輝、徳永 将史、物性研だより **58-2**, 11 (2018年7月)
- [3] Z. Wang, H. Weng, Q. Wu, X. Dai, and Z. Fang, *Physical Review B* **88**, 125427 (2013).
- [4] Z. K. Liu, J. Jiang, B. Zhou, Z. J. Wang, Y. Zhang, H. M. Weng, D. Prabhakaran, S-K. Mo, H. Peng, P. Dudin, T. Kim, M. Hoesch, Z. Fang, X. Dai, Z. X. Shen, D. L. Feng, Z. Hussain, and Y. L. Chen, *Nature Materials* **13**, 677-681 (2014).
- [5] M. Uchida, Y. Nakazawa, S. Nishihaya, K. Akiba, M. Kriener, Y. Kozuka, A. Miyake, Y. Taguchi, M. Tokunaga, N. Nagaosa, Y. Tokura, and M. Kawasaki, *Nature Communications* **8**, 2274 (2017).
- [6] Y. Nakazawa, M. Uchida, S. Nishihaya, M. Kriener, Y. Kozuka, Y. Taguchi, and M. Kawasaki, *Scientific Reports* **8**, 2244 (2018).
- [7] S. Nishihaya, M. Uchida, Y. Nakazawa, M. Kriener, Y. Kozuka, Y. Taguchi, and M. Kawasaki, *Science Advances* **4**, eaar5668 (2018).
- [8] S. Nishihaya, M. Uchida, Y. Nakazawa, R. Kurihara, K. Akiba, M. Kriener, A. Miyake, Y. Taguchi, M. Tokunaga, and M. Kawasaki, *Nature Communications* **10**, 2564 (2019).
- [9] Y. Nakazawa, M. Uchida, S. Nishihaya, S. Sato, A. Nakao, J. Matsuno, and M. Kawasaki, *APL Materials* **7**, 071109 (2019).

