

2021年度 第16回凝縮系科学賞受賞者業績紹介

「実験部門」

業績題目：ディラック半金属薄膜における量子化伝導状態の解明

受賞者：打田 正輝（うちだ まさき）氏（東京工業大学）

学歴

2007年3月 京都大学工学部 卒業

2009年3月 東京大学大学院工学系研究科 修士課程修了

2012年3月 東京大学大学院工学系研究科 博士課程修了（博士（工学））

職歴

2009年4月－2012年3月	日本学術振興会 特別研究員（DC1）
2012年4月－2013年8月	日本学術振興会 海外特別研究員
2013年9月－2018年6月	東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 助教
2018年7月－2020年8月	東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻 講師
2018年10月－現在	科学技術振興機構 さきがけ研究者（兼任）
2020年9月－現在	東京工業大学理学院物理学系 准教授

授賞理由

トポロジーの観点から物質の電子構造を理解し制御することは現代の物性物理学における重要なテーマです。ディラック半金属の特徴は、電子のエネルギーと運動量が線形な分散関係を示すことであり、二次元物質グラフェンはその代表例です。近年、その三次元版へと研究が拡張され、二次元の場合とは異なる新たな物理現象の開拓が進められています。しかし、これまで、三次元ディラック半金属の研究では理論が先行しており、量子輸送に関する実験的な研究は立ち遅れていました。

Cd_3As_2 は 2013 年にディラック半金属であることがバンド計算から見いだされた物質です。打田正輝氏は Cd_3As_2 の高品質薄膜成長技術を先駆的に確立し、バルク結晶にはない薄膜の利点を活かしながら、強磁場中で発現する量子化伝導状態を研究してきました。同氏は、固相エピタキシー成長技術に独自の工夫を加えた薄膜作製によって、精密組成制御による電子構造の制御を達成しました。さらに、電界効果によるキャリア制御技術と膜厚による次元制御技術の両方を確立しました。これらの技術を組み合わせて、同氏は、まず、強磁場における量子ホール効果の観測によって膜厚の薄い Cd_3As_2 薄膜が二次元的な電子構造を有していることを実証しました。続けて、より膜厚の厚い薄膜を用いて、三次元的なディラック

半金属状態においても量子ホール効果が生じることを示しました。三次元系における量子ホール効果の本質を理解するために、同氏は、薄膜試料の表裏のゲート電圧を独立に制御可能なデュアルゲート型デバイスを開発しました。その結果、観測された量子化伝導状態が、線形な分散関係に由来するカイラルゼロモードを介して電子が薄膜の表面と裏面を行き来する軌道（ワイル軌道）の存在を指し示す証拠であることを突き止めました。

上記の結論に至るまでの一連の研究は、材料科学に基づいた薄膜の高品質化とデバイス確立を基盤として一歩ずつ丁寧に成し遂げられてきたものです。特に、二次元系に特有の現象と考えられてきた量子ホール効果が、本質的に三次元的な物質においても生じうることを実験的に明確に示したことは、トポロジカル物性の研究を大きく発展させる成果であり、凝縮系科学賞に相応しい業績です。

参考文献

- [1] 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
“Quantum Hall states observed in thin films of Dirac semimetal Cd₃As₂,”
Nature Communications **8**, 2274 (2017) [Editors’ Highlights].
- [2] S. Nishihaya, M. Uchida, Y. Nakazawa, R. Kurihara, K. Akiba, M. Kriener, A. Miyake, Y. Taguchi, M. Tokunaga, and M. Kawasaki,
“Quantized surface transport in topological Dirac semimetal films,”
Nature Communications **10**, 2564 (2019).
- [3] S. Nishihaya, M. Uchida, Y. Nakazawa, M. Kriener, Y. Taguchi, and M. Kawasaki,
“Intrinsic coupling between spatially-separated surface Fermi-arcs in Weyl orbit quantum Hall states,”
Nature Communications **12**, 2572 (2021).