

放射光を用いたトポロジカル半金属の研究

相馬 清吾

東北大学スピントロニクス学術連携研究教育センター(CSRN)

(兼) 材料科学高等研究所 (AIMR)

トポロジカル絶縁体の存在が実証されて以降、トポロジーによる物質の指数付けは、準粒子の励起スペクトルにエネルギーギャップのある系に集中しており、ここ数年の短い間に、トポロジカル結晶絶縁体やトポロジカル超伝導体などの新物質が報告された。近年、励起スペクトルにギャップのない半金属においてもトポロジカル物質相の存在が予測され、大きく注目されている。トポロジカル半金属は、伝導帯と価電子帯が交差するエネルギー縮退点の電子構造により、3つの異なる物質相「ディラック半金属」「ワイル半金属」「線ノード半金属」に分類される。トポロジカル半金属は、異常ホール伝導、カイラル量子異常など、数々の巨視的量子効果を引き起こす。その一方で、フェルミ準位近傍における線形なバンド分散は、超高キャリア移動度、非飽和巨大磁気抵抗などの特異な物性をもたらす。このような新たな物質相を実現する物質の探索・開発は、世界的に熾烈な競争状態にある。

これらトポロジカル半金属の電子構造に共通するのは、3次元ブリュアンゾーンにおいて伝導帯と価電子帯のエネルギー準位が反転している領域をもつことであり、そのとき物質はトポロジカルに非自明な指数をもつ。この非自明な指数に起因して、物質の表面にはトポロジカルに保護された金属的電子状態が発現する。したがって、トポロジカル半金属の物質開発と探索には、バルクにおけるフェルミ準位近傍のエネルギー縮退の電子構造と、表面におけるトポロジカルな電子状態の両方を精密に調べる必要がある。この状況において、国内外の放射光施設においてトポロジカル半金属の電子構造についての高分解能 ARPES は、トポロジカル絶縁体と同様に盛んに行われている。

本講演では、幾つかのトポロジカル半金属の候補物質について、国内の放射光施設を用いて行なった研究を紹介する[1-3]。図1は、線ノード半金属候補物質 HfSiS の(a)2次元波数マッピングの結果と、(b)表面状態の模式図である。 HfSiS は2次元正方格子によるダイヤモンド型のフェルミ面が、伝導帯の $\text{Hf}5d$ バンドと価電子帯の $\text{Si}3p$ バンドの両方で形成される。これらがフェルミ準位近傍で重なる時、スピン軌道相互作用を無視すると結晶のもつ映進対称性によりその縮退が保護され、ダイヤモンド型の線ノード構造が形成される。興味深いのは、このフェルミ面の内部の波数領域に観測された表面バンド $X1, X2$ (図1b)である。これらはスラブ計算などでも予測されておらず、その起源がトポロジカルなものであるかどうかは、さらに精密な実験と理論解析を要する。

当研究は、佐藤宇史、高根大地、中山耕輔、中村剛慶、追沼暉、C.-X. Trang、高橋隆(東北大)、山内邦彦、小鷹浩毅、小口多美夫(大阪大)、瀬川耕司(京産大)、Z. Wang、安藤陽一(ケルン大)の各氏との共同研究である。

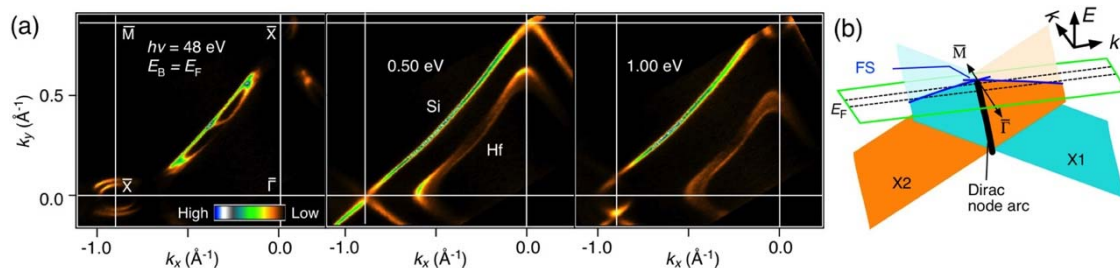


図1(a) HfSiS のいくつかの結合エネルギーにおけるARPES強度の2次元マッピング。(b)表面バンド $X1, X2$ の模式図。

- [1] S. Souma *et al.*, Phys. Rev. B **93**, 161112R (2016). [2] D. Takane *et al.*, Phys. Rev. B **94**, 121108R (2016). [3] K. Nakayama *et al.*, Phys. Rev. B **95**, 125204 (2017). [4] H. Oinuma *et al.*, Phys. Rev. B **95**, 041120R (2017). [5] D. Takane *et al.*, arXiv:1708.06874.