

研究概要

「角度分解光電子分光による点および線ノードトポロジカル半金属の研究」

理学研究科物理学専攻 高根大地

絶縁体から始まった物質の電子波動関数のトポロジーによる分類の試みは近年、金属物質まで広がり、電子状態トポロジーに注目した新物質相と新物性の発見・確立をめざす研究が精力的に行われている。トポロジカル半金属は、ブリルアンゾーン中において価電子帯と伝導帯の交点がギャップレスな縮退ノードを有し、非自明なバルクトポロジーを持つ物質系である。なかでも、縮退ノードが1次元的に伸びる線ノードや3つ以上のバンドで構成される多重縮退ノードは、これまで発見されてきたトポロジカル絶縁体やディラック・ワイル半金属とも異なる新たな物質として注目されている。しかし、その電子状態が確立された物質が未だ少なく、特にトポロジカルな表面状態の性質については未解明である。本研究では、新たな3次元縮退ノードを持つ物質の実証とトポロジーの解明を目的として、線ノード半金属 HfSiS , CaAgAs , AlB_2 及び、多重縮退点ノード半金属 CoSi について高分解能角度分解光電子分光 (ARPES) による研究を行った。

線ノード半金属相実現に必要な結晶対称性の要請を明らかにする目的で、それぞれ異なる結晶構造をもつ HfSiS , CaAgAs , AlB_2 に対して ARPES 実験を行った。 HfSiS においては結晶の映進対称性に保護された2本の線ノードを有することを明らかにした。同時に、未解明であったバルクトポロジーを反映した表面状態として特異な線形分散をもつ Dirac node arc 型表面状態を提案した[1]。 CaAgAs では結晶の鏡映対称性に守られた1つの線ノードのみが伝導を担う理想的な電子状態を本物質が実現していることを見出した[2]。 AlB_2 においては蜂の巣格子の AB 副格子対称性によって保護された線ノードを見出した[3]。以上のように、 HfSiS , CaAgAs , AlB_2 に対する ARPES 実験によって、映進・鏡映・AB 副格子対称性に保護された線ノードの存在を実証した。

さらに、本研究では新たな粒子状態が物質中で電子の準粒子として実現していることを明らかにするとともに、その粒子状態がチャーン数と呼ばれるトポロジカル数で特徴づけられることを見出した[4]。物質内部の電子が真空中では実現しないスピン1粒子状態をとる物質相が新たなトポロジカル半金属として理論的に提案された。本研究では、候補物質である CoSi における ARPES によって表面・バルク電子状態を決定し、スピン1粒子状態と非自明なトポロジーを反映した表面状態の実証を行った。 CoSi のバルク電子状態決定のために、バルク敏感な高エネルギー光を用いた ARPES 測定を行った結果、スピン1粒子状態の存在を示す電子の特異な分散構造を見出した。また、表面敏感な真空紫外光を用いた ARPES 実験によってバルクのチャーン数を反映したフェルミアーク表面状態を見出した。

以上のように、本研究においてはトポロジカル半金属の実証を目的として、高分解能 ARPES により HfSiS , CaAgAs , AlB_2 , CoSi における電子構造の研究を行った。その結果、各物質において結晶対称性に依存した様々な点および線ノードが存在することを明らかにした。また、 HfSiS では線ノード半金属のトポロジーを反映した表面状態を、 CoSi ではチャーン数によって特徴づけられるフェルミアーク表面状態を見出した。

[参考文献]

- [1] D. Takane *et al.*, Phys. Rev. B, **94**, 121108(R) (2016).
- [2] D. Takane *et al.*, npj Quantum Materials **3**, 1 (2018).
- [3] D. Takane *et al.*, Phys. Rev. B, **98**, 041105(R) (2018).
- [4] D. Takane *et al.*, Phys. Rev. Lett. **122**, 076402 (2019).