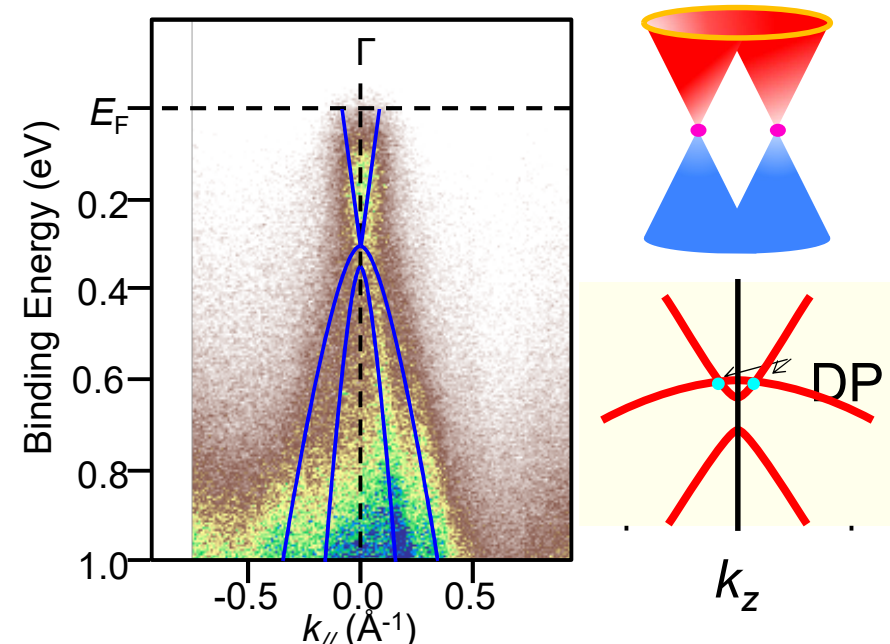


研究プロジェクト名: ワイル・ディラック半金属物質の探索と電子状態の研究

概要: 新たなトポロジカル物質相として大きく注目されているワイル半・ディラック半金属、および、縮退点が1次元線状となる線ノードトポロジカル半金属について、新たな物質の探索と開発を行うために、分子線エピタキシー法と高分解能スピン分解ARPESを用いて、候補物質の電子状態・輸送特性の研究とスピントクスチャの精密決定を行う。

コアメンバー: 相馬清吾、佐藤宇史、塚崎敦、野村健太郎、高橋隆(東北大)

期待される研究成果: 結晶のバルクおよび表面・界面電子構造におけるバンドの「点ノード」や「線ノード」を、分子線エピタキシー法により作成した試料を直接真空搬送して高分解能スピン分解ARPESによる精密に観測する。磁性転移による表面状態の変化を観測することで、磁性相のトポロジーを特徴付ける電子構造を明らかにできる。



研究プロジェクト名: ワイル・ディラック半金属物質の探索と 電子状態の研究

概要: 物質の対称性により、運動量空間内の「点」でのみバンドが縮退するワイル半金属とディラック半金属、およびその関連物質について、新たな物質の探索と開発を行うために、分子線エピタキシー法と高分解能スピン分解ARPESを用いて、候補物質の電子状態・輸送特性の研究とスピントクスチャの精密決定を行う。

研究成果(実施状況): 線ノード半金属候補物質CaAgAsについて、高分解能ARPESを行った。その結果、ディラック型の電子バンドのみがフェルミ面に寄与すること、そのディラック型電子バンドがトーラス型のフェルミ面を持っていることを明らかにした。以上の結果より、CaAgAsがバンド反転に由来したトポロジカル線ノード半金属であると結論した。

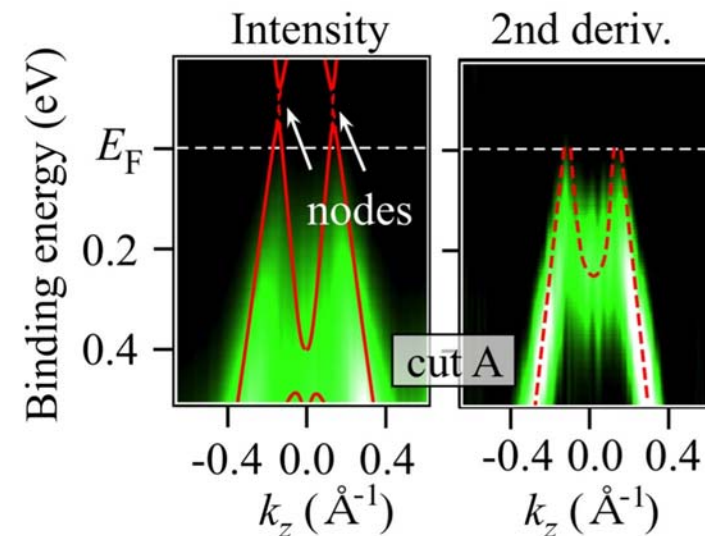


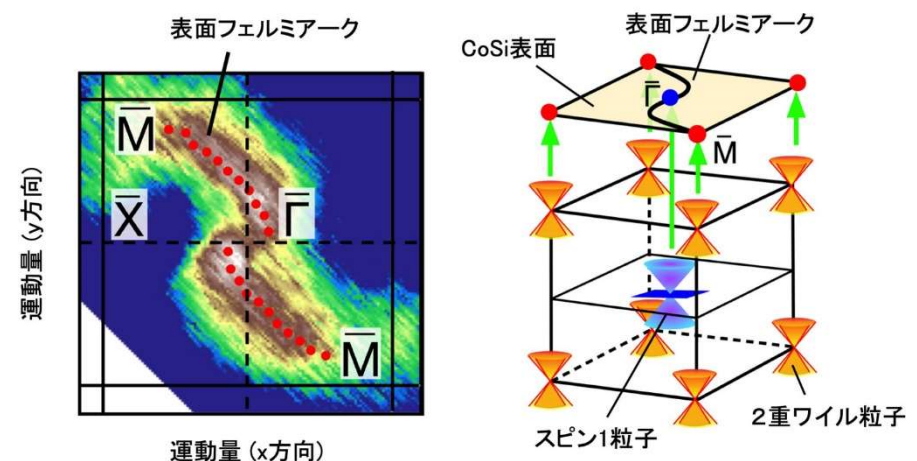
図: CaAgAsのノードライン近傍の電子バンド

主要発表論文等: [1] D. Takane et al., npj Quantum Materials, 3 (2018) 1-1-6.
[2] H. Oinuma et al., Phys. Rev. B, 96 (2017) 041120R-1-5.

研究プロジェクト名: ワイル・ディラック半金属物質の探索と 電子状態の研究

概要: 物質の対称性により、運動量空間内の「点」でのみバンドが縮退するワイル半金属とディラック半金属、およびその関連物質について、新たな物質の探索と開発を行うために、分子線エピタキシー法と高分解能スピン分解ARPESを用いて、候補物質の電子状態・輸送特性の研究とスピントクスチャの精密決定を行う。

研究成果(実施状況): カイラル結晶構造をもつ半金属物質CoSiについて、AREPS実験を行なった。その結果、スピン1粒子と2重ワイル粒子に対応するバンド分散構造を見出した。さらに、これらの粒子をつなぐ表面フェルミアークを観測した。以上より、CoSiはチャーン数2をもつ新型トポロジカル半金属物質であると結論した。



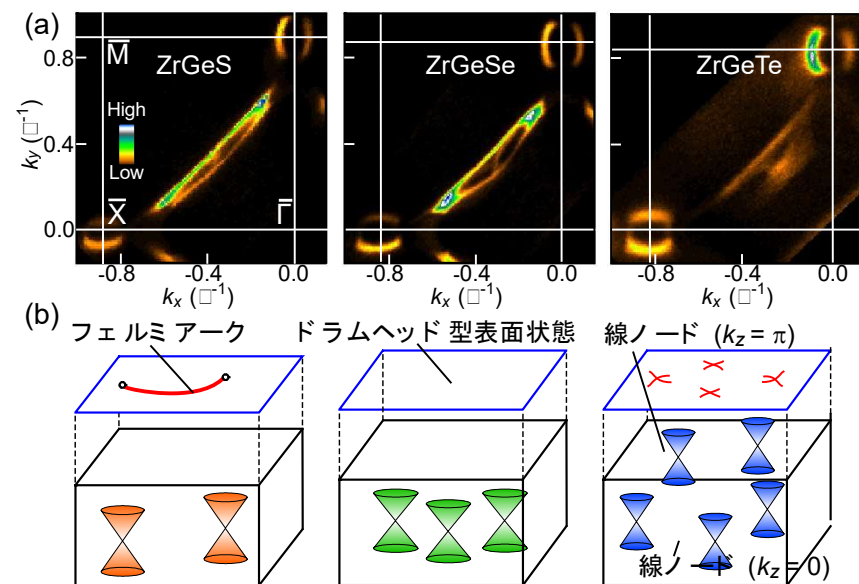
主要発表論文等:[1] D. Takane et al., Phys. Rev. Lett. 122 (2019) 076404.
[2] D. Takane et al., Phys. Rev. B 98 (2018) 041105(R).

研究プロジェクト名: ワイル・ディラック半金属物質の探索と電子状態の研究

概要: 新たなトポロジカル物質相として大きく注目されているワイル半・ディラック半金属、および、縮退点が1次元線状となる線ノードトポロジカル半金属について、新たな物質の探索と開発を行うために、分子線エピタキシー法と高分解能スピン分解ARPESを用いて、候補物質の電子状態・輸送特性の研究とスピントクスチャの精密決定を行う。

研究成果(実施状況):

トポロジカル線ノード半金属の表面電子状態とバルク線ノード電子状態との相関の解明を目的として、角度分解光電子分光による ZrGeX_c ($X_c = \text{S, Se, Te}$)の電子構造の研究を行った。その結果、 k_z の不確定性を解消したバルク敏感ARPES測定によって、映進対称性由来する線ノード型の電子構造を観測し、トポロジカル線ノード半金属であることを確立した。さらに、全ての X_c 組成において、理論では全く予測のない、線ノード近傍に広がる1次元的な縮退線を有する表面電子状態を観測し、その普遍性を見出した。以上の結果から、本成果はトポロジカル線ノード半金属の表面電子状態に新たな知見を付与するものと結論した。



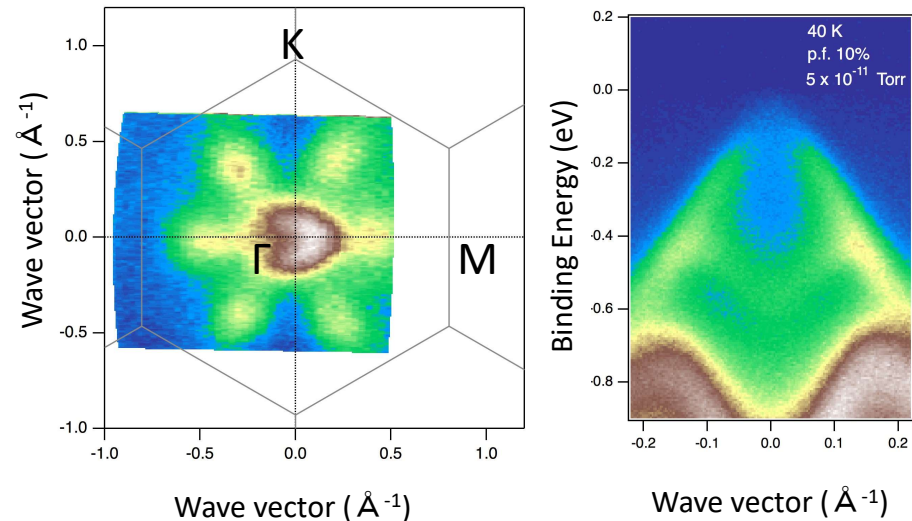
主要発表論文等: [1] T. Nakamura et al., Phys. Rev. B, 99, 245105 (2019).

研究プロジェクト名: ワイル・ディラック半金属物質の探索と電子状態の研究

概要: 新たなトポロジカル物質相として大きく注目されているワイル半・ディラック半金属、および、縮退点が1次元線状となる線ノードトポロジカル半金属について、新たな物質の探索と開発を行うために、分子線エピタキシー法と高分解能スピン分解ARPESを用いて、候補物質の電子状態・輸送特性の研究とスピントクスチャの精密決定を行う。

研究成果(実施状況): Feをドーブした磁性トポロジカル絶縁体 $(\text{Bi,Sb})_2\text{Se}_3$ 薄膜を作成しin-situでARPESを行った。その結果、表面状態のディラック点がEF近傍に位置することを明確に観測した。電荷補償点近傍でホール伝導度の顕著な増大が観測されたことから、磁場により整列したFeの磁気モーメントの内部磁場により、試料のバンド構造が巨大なZeeman分裂していると結論した。これはSe系のテトラジマイト構造のトポロジカル絶縁体で外部磁場による異常量子ホール絶縁相への転移の可能性を示唆する。

(a) $\text{Fe}-(\text{Bi,Sb})_2\text{Se}_3$ のフェルミ面 (b) バンド分散

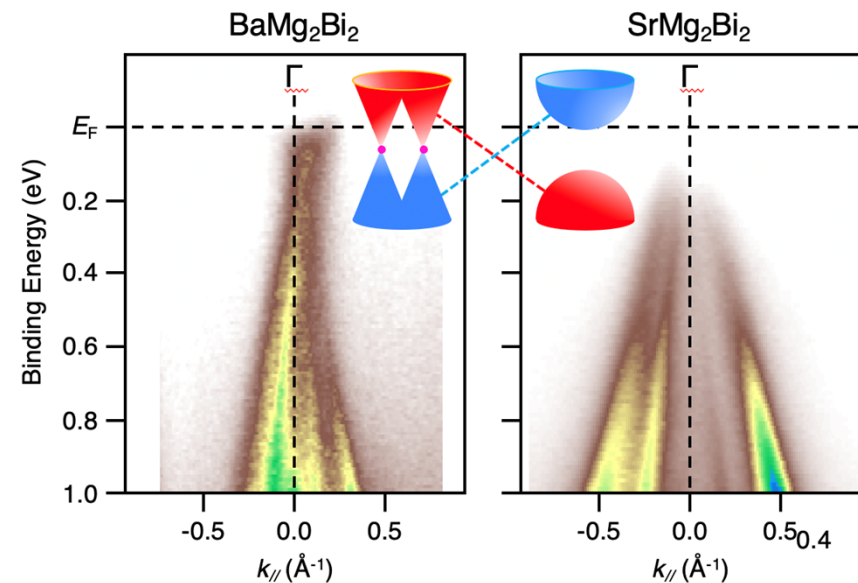


主要発表論文等: [1] J. Satake, J. Shiogai, G. P. Mazur, S. Kimura, S. Awaji, K. Fujiwara, T. Nojima, K. Nomura, S. Souma, T. Sato, T. Dietl, and A. Tsukazaki, Phys. Rev. Mater. **4**, 044202 (2020).

研究プロジェクト名: ワイル・ディラック半金属物質の探索と電子状態の研究

概要: 新たなトポロジカル物質相として大きく注目されているワイル半・ディラック半金属、および、縮退点が1次元線状となる線ノードトポロジカル半金属について、新たな物質の探索と開発を行うために、分子線エピタキシー法と高分解能スピン分解ARPESを用いて、候補物質の電子状態・輸送特性の研究とスピントクスチャの精密決定を行う。

研究成果(実施状況): 最近開発に成功した μ -ARPES装置により、新規ディラック半金属候補物質 XMg_2Bi_2 ($\text{X}=\text{Ba}, \text{Sr}$)の電子バンド構造を明らかにした。その結果、本物質がディラック電子状態以外にフェルミ面を構成しておらず、伝導物性はほぼ純粋にディラック電子を観測できること、BaとSrの組成比を調整することで、トポロジカル相転移近傍の物性も観測可能であることを見出した。



主要発表論文等: [1] D. Takane et al., Sci. Rep. 11, 21937 (2021).
[2] M. Endo et al., Phys. Rev. Mater. 5, 105002 (2021).