

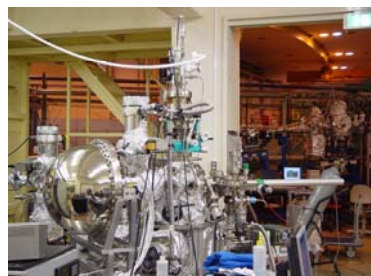
高分解能角度分解光電子分光による ディラック電子系の量子現象の解明

実験組織 研究代表者： 高橋 隆（東北大学原子分子材料科学高等研究機構）
相馬清吾、佐藤宇史、中山耕輔、菅原克明（東北大）、藤森淳、岡崎浩三（東大理）、吉田鉄平（京大）、斉藤智彦、大川万里生（東理大理）、小野寛太、組頭広志（PF物構研）

課題有効期間 平成24年4月 ~ 平成27年3月（3年間）

研究目的 本課題では、BL-28Aにおいて高分解能角度分解光電子分光法(ARPES)を用いてトポロジカル絶縁体やグラフェンなどを中心に、「ディラック電子系」と呼ばれている物質群の電子構造を精密に決定し、特異な量子現象の発現機構を解明することを目指す。フェルミ面、バンド分散、多体相互作用などの物性に関わるフェルミ準位近傍の基盤電子構造について、励起光や偏向の可変性を駆使することで電子状態の3次元性を解析し、ディラック電子系に重要な表面/バルクの区別も含めた電子構造の決定を行う。また、高温超伝導体や遷移金属化合物などのディラック電子系関連物質についても実験を行い、他のディラック電子系との相違点・類似点を明らかにする。

実験ステーション Photon Factory BL-28A 高分解能角度分解光電子分光装置



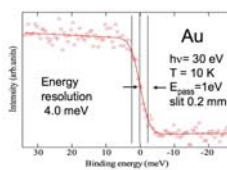
基本性能データ

SES-2002のエネルギー分解能:
0.9 meV (Pass energy 2eV)
角度分解能: ±0.1°
角度分解モード取り込み角: ±6°
アールデック社製2軸回転マニピュレータ



測定温度領域: 7~300 K
測定槽到達真空度:
1.0 x 10⁻⁸ Pa
LabViewによるx,y,z軸, 及び
θ, tilt軸の集中制御

エネルギー分解能



光源とアナライザーの全分解能は4 meVを達成
多軸回転測定により一つの試料面で広運動量領域のデータを一挙に測定可能

**ディラック電子系における
基盤電子構造と特異物性発現機構**

高輝度放射光による高分解能ARPES

**トポロジカル
絶縁体**

$\text{Bi}_2\text{Se}_3, \text{Bi}_2\text{Te}_3$
 $\text{TlBi}(\text{S}_2, \text{Se}_2), \text{TlSbTe}_2, \text{TlBiTe}_2, \text{Cu}_2\text{Bi}_2\text{Se}_3$

グラフェン

単層グラフェン, 多層グラフェン, C_6Ca ,
kish graphite, $\text{C}_3\text{CaC}_6, \text{C}_4\text{LiC}_6$

遷移金属化合物

$\text{Bi}_2\text{Zn}_2, \text{Bi}_2\text{Zn}_1, \text{BaFe}_2\text{As}_2$

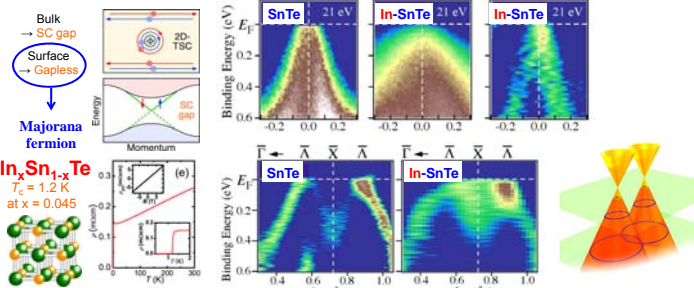
新規ディラック電子系

トポロジカル近藤絶縁体, トポロジカル
アンダーソン絶縁体, トポロジカル半金属

2013年度の研究成果・進捗状況

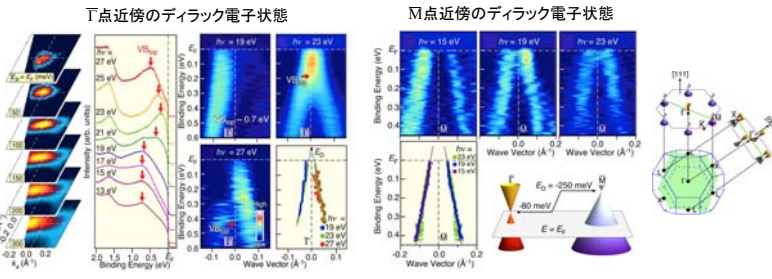
BL-28Aの角度分解光電子分光測定において、これまで様々なディラック電子系および関連化合物の電子状態の観測が行われ、新しいトポロジカル物質や表面/界面電子状態について知見が得られている。

トポロジカル超伝導体In-SnTe



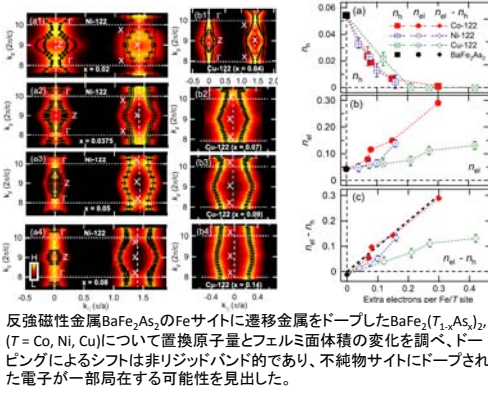
トポロジカル超伝導体の候補物質であるIn-SnTeにおいて、二重ディラックコーン表面状態を観測し、その電子構造そのものが非自明な性質（バンド反転）を持つことを見出した。マヨラナ準粒子の可能性として、トポロジカル超伝導による2次元マヨラナ状態、もしくは表面ディラック電子状態への超伝導近接効果によるエッジ状態、という二つの可能性があると結論した。

表面ディラック電子状態の面方位依存性



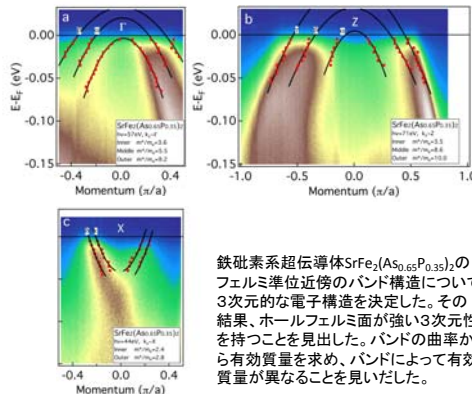
トポロジカル結晶絶縁体として注目を集めるSnTeについて、(111)の壁か面においてディラック型の電子バンドを観測し、異なる表面方位においても同一のトポロジカル数が反映されることを明らかにした。本実験によりバルクのトポロジと表面電子状態の幾何学的関連性が初めて実験的に明らかになった。

鉄系超伝導体物質BaFe₂As₂の不純物置換効果



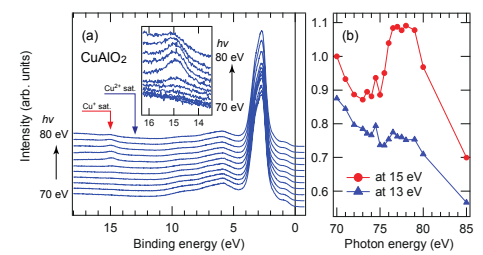
反強磁性金属BaFe₂As₂のFeサイトに遷移金属をドーピングしたBaFe₂(T_MAs₂)₂ (T = Co, Ni, Cu)について置換原子量とフェルミ面体積の変化を調べ、ドーピングによるシフトは非リジッドバンド的であり、不純物サイトにドーピングされた電子が一部局在する可能性を見出した。

鉄系高温超伝導体SrFe₂(As_{0.65}P_{0.35})₂のバンド構造



鉄系超伝導体SrFe₂(As_{0.65}P_{0.35})₂のフェルミ準位近傍のバンド構造について3次元的な電子構造を決定した。その結果、ホールフェルミ面が強い3次元性を持つことを見出した。バンドの曲率から有効質量を求め、バンドによって有効質量が異なることを見出した。

マルチフェロイック物質CuMO₂ (M=Cr, Fe, Al)



高熱能・multiferroic物質CuMO₂ (M=Cr, Fe, Al)について、その電子構造を共鳴光電子分光・角度分解光電子分光により測定した結果、Cu 3d-O 2p-M 3dの混成が可能なCrではCuの2価成分が存在する異常な価数状態であるのに対し、価数帯に混成相手のないAlでは通常通りCuが1価であることを見出した。

発表論文

- [1] T. Sato, Y. Tanaka, K. Nakayama, S. Souma, T. Takahashi, S. Sasaki, Z. Ren, A. A. Taskin, K. Segawa, and Y. Ando, PRL **110** (2013) 206804.
- [2] Y. Tanaka, T. Shoman, K. Nakayama, S. Souma, T. Sato, T. Takahashi, M. Novak, Kouji Segawa, Yoichi Ando, PRB **87** (2013) 155105.
- [3] S. Ideta, T. Yoshida, I. Nishi, A. Fujimori, Y. Kotani, K. Ono, Y. Nakashima, S. Yamaichi, T. Sasagawa, M. Nakajima, K. Kihou, Y. Tomioka, C. H. Lee, A. Iyo, H. Eisaki, T. Ito, S. Uchida, and R. Arita, PRL **110** (2013) 107007.
- [4] H. Suzuki, T. Kobayashi, S. Miyasaka, T. Yoshida, L. C. O. Ambolode II, S. Ideta, M. Yi, M. Hashimoto, D. H. Lu, Z.-X. Shen, K. Ono, H. Kumigashira, S. Tajima and A. Fujimori, arXiv:1312.4687.
- [5] T. Yokobori, M. Okawa, K. Konishi, R. Takei, K. Katayama, S. Oozono, T. Shinmura, T. Okuda, H. Wadati, E. Sakai, K. Ono, H. Kumigashira, M. Oshima, T. Sugiyama, E. Ikenaga, N. Hamada, and T. Saitoh, PRB **87** (2013) 195124.
- [6] M. Okawa, T. Yokobori, K. Konishi, R. Takei, K. Katayama, S. Oozono, T. Shinmura, T. Okuda, H. Wadati, E. Sakai, K. Ono, H. Kumigashira, M. Oshima, T. Sugiyama, E. Ikenaga, N. Hamada, and T. Saitoh, accepted to JPS Conf. Proc.