

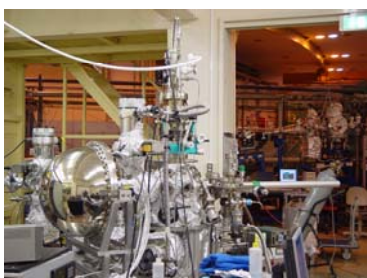
高分解能角度分解光電子分光による ディラック電子系の量子現象の解明

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、鈴木博人（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）

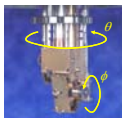
研究目的 本課題では、BL-28Aにおいて高分解能角度分解光電子分光法(ARPES)を用いてトポロジカル絶縁体やグラフェンなどを中心に、「ディラック電子系」と呼ばれている物質群の電子構造を精密に決定し、特異な量子現象の発現機構を解明することを目指す。フェルミ面、バンド分散、多体相互作用などの物性に関わるフェルミ準位近傍の基盤電子構造について、励起光や偏光の可変性を駆使することで電子状態の3次元性を解析し、ディラック電子系に重要な表面/バルクの区別も含めた電子構造の決定を行う。また、高温超伝導体や遷移金属化合物などのディラック電子系関連物質についても実験を行い、他のディラック電子系との相違点・類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



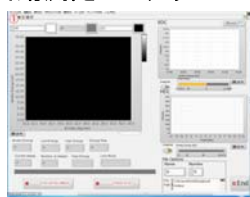
基本性能データ

SES-2002のエネルギー分解能:
0.9 meV (Pass energy 2 eV)
角度分解能: $\pm 0.1^\circ$
角度分解モード取り込み角: $\pm 6^\circ$
アールデック社製2軸回転コンピュータ



測定温度領域: 7~300 K
測定槽到達真空度:
1.0 x 10⁻⁸ Pa
LabView制御
x, y, z 軸, θ , ϕ 角

自動測定プログラム



- プログラム製作 東大工 石坂研 下志万氏、KEK 井波氏
- 一つのプログラム下で試料角度・位置・アナライザー・光源を制御
- ARPES測定自動化による測定効率向上

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

Bi₂Se₃, Bi₂Te₃,
TlBi(S_{1-x}Se_x)₂, TlSbTe₂, TlBiTe₂, Cu₂Bi₂Se₃

グラフェン

単層グラフェン, 多層グラフェン, C₆Ca,
kish graphite, C₆CaC₆, C₆LiC₆

遷移金属化合物

Bi2212, Bi2201, BaFe₂As₂

新規ディラック電子系

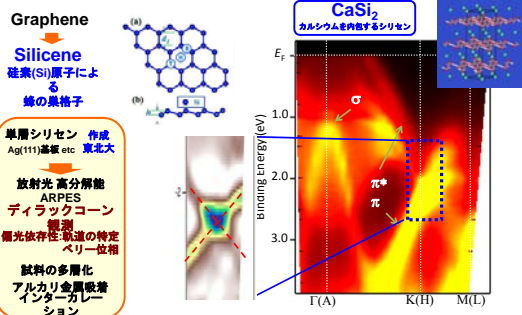
トポロジカル近藤絶縁体, トポロジカル
アンダーソン絶縁体, トポロジカル半金属

2015年度の研究成果・進捗状況

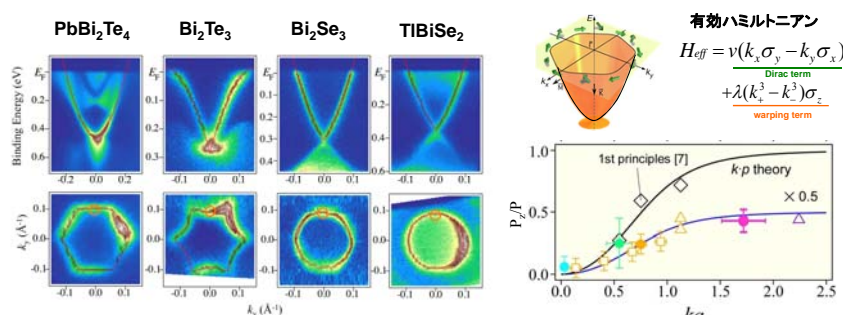
BL-28Aの角度分解光電子分光測定において、これまで様々なディラック電子系および関連化合物の電子状態の観測が行われ、新しいトポロジカル物質や表面/界面電子状態について知見が得られている。

CaSi₂における「シリセン」由来のバンド構造

表面ディラック電子のワーピング効果



シリコンで構成される蜂の巣格子である「シリセン」を結晶構造内に含むCaSi₂のバンド構造を決定し、パイ軌道により形成されるシリセンのディラック電子状態の観測に成功した。[1]

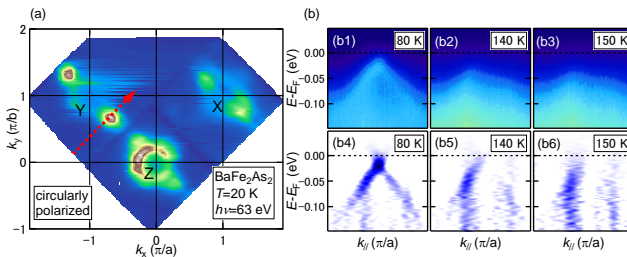
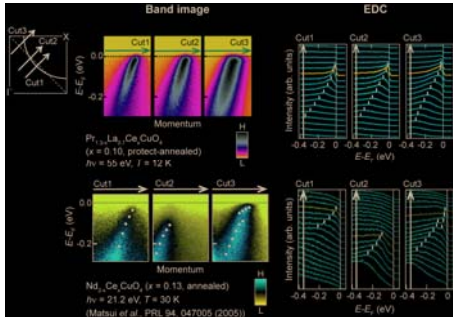


3次元トポロジカル絶縁体において、様々な種類の物質の表面ディラックバンドを高精度で決定し、バンド構造のワーピングの強さ($a=|v|/\lambda$)の物質依存性を求めた。その結果をスピン分解ARPESの結果と比較し、スピン直成分の大きさ(P_z)とワーピングの強さにユニバーサルな相関があることを明らかにした。[2]

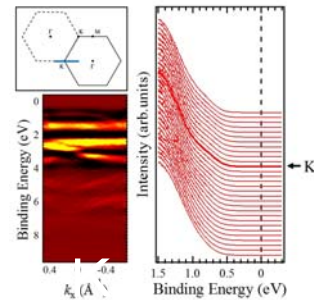
電子ドープ系高温超伝導体Pr_{1-3x}La_{0.7}Ce_xCuO₄

鉄系超伝導体BaFe₂As₂の電子ネマティック状態

デラフォサイト型酸化物CuCrO₂



鉄系超伝導体の母物質であるBaFe₂As₂について、構造転移温度以上で4回対称性が破れると考えられている電子ネマティック状態のARPESを行い、反強軌道秩序を示唆する結果を得た。(a) 低温相におけるBaFe₂As₂のフェルミ面。(b) 折り畳まれたバンドの温度変化。上段には生データ、下段には2回微分した結果を示す。カットは(a)中の赤矢印。



デラフォサイト型酸化物CuCrO₂はホールドープにより高い熱電性能を示すことから、熱電材料の候補物質として注目されている。この物質のARPESを試みたところ、初めてバンド分散の測定に成功した。その結果、フェルミ準位近傍の比較的フラットなバンド分散がブリルアン領域のk点付近で極大となり、高熱電性能の起源となる「プリンの型」形状のバンドが存在することを確認した。

発表論文

- [1] E. Noguchi, K. Sugawara, R. Yaokawa, T. Hitosugi, H. Nakano, and T. Takahashi, *Advanced Materials* **27** (2014) 856.
- [2] M. Nomura, S. Souma, A. Takayama, T. Sato, T. Takahashi, K. Eto, K. Segawa, and Y. Ando, *Phys. Rev. B* **89** (2014) 045134.
- [3] K. Nakayama, Y. Miyata, G. N. Phan, T. Sato, Y. Tanabe, T. Urata, K. Tanigaki, and T. Takahashi, *Phys. Rev. Lett.* **113** (2014) 237001.
- [4] E. Ieki, K. Nakayama, Y. Miyata, T. Sato, H. Miao, N. Xu, X.-P. Wang, P. Zhang, T. Qian, P. Richard, Z.-J. Xu, J. S. Wen, G. D. Gu, H. Q. Luo, H.-H. Wen, H. Ding, and T. Takahashi, *Phys. Rev. B* **89** (2014) 140506R.
- [5] S. Paul, A. Ghosh, T. Sato, D. D. Sarma, T. Takahashi, E. Wang, M. Greenblatt, and S. Raj, *Europhys. Lett.* **105** (2014) 47003.
- [6] M. Horio, T. Adachi, Y. Mori, A. Takahashi, T. Yoshida, H. Suzuki, L. C. C. Amalode II, K. Okazaki, K. Ono, H. Kumigashira, H. Anzai, M. Arita, H. Namatame, M. Taniguchi, D. Ootsuki, K. Sawada, M. Takahashi, T. Mizokawa, Y. Koike, and A. Fujimori, arXiv:1502.03395