

高分解能角度分解光電子分光による 高機能物質における新たな量子物質相の探索

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）
佐藤宇史、相馬清吾、中山耕輔、菅原克明(東北大)、藤森淳、堀尾真史(東大理)、吉田鉄平(京大)、齊藤智彦、大川万里生(東理大理)、石坂香子、下志万貴博(東大工)、組頭広志、小野寛太(PF物構研)

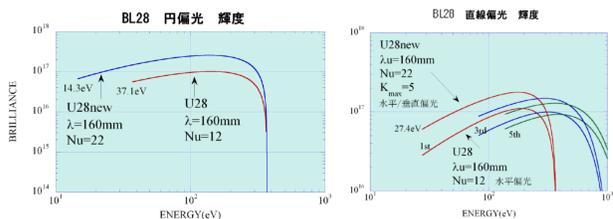
課題有効期間 平成27年4月 ~ 平成30年3月(3年間)

研究目的 本課題では、物質の背後にある空間反転・時間反転・結晶点群対称性などの様々な対称性が、如何にして新たな量子物質相の発現と関わるかを明らかにするために、BL28において偏光可変高輝度光を利用した高分解能角度分解光電子分光エンドステーションを新たに建設する。これを用い、トポロジカル絶縁体、グラフェン、鉄系高温超伝導体、ラッシュバ系物質などの物質群における基盤電子状態を高精度で直接決定することによって、物質の対称性と電子構造の関連を明らかにし、特異物性発現機構を解明することを目的とする。

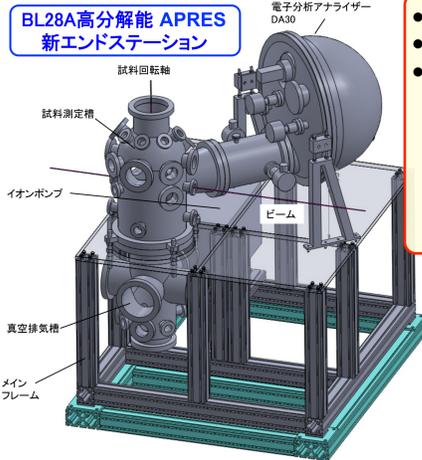
実験ステーション Photon Factory BL-28A 高分解能角度分解光電子分光装置

BL28 アンジュレーター光源の更新 2015年3月~

BL28 横、左右円偏光 → 縦、横、左右円偏光
アンジュレーター更新 マグネットの増強 → 輝度 2倍
新しい偏光特性・高輝度を活かすことができる
新たな高分解能ARPESエンドステーションの建設



BL28A高分解能 APRES 新エンドステーション



- 高分解能 $E/\Delta E \sim 4000, \Delta E < 1\text{meV}$
 - 取り込み角の向上 $14^\circ \rightarrow 34^\circ$
 - 光電子イメージの2次元マップ
分析器の取り込みポイント角度を電子偏向により操作
角度イメージ 20° (スリットの動作範囲)
 34° (スリットの取込範囲)
- 試料を回転させずにARPES測定
光の入射角固定 真の偏光依存性

- 建設スケジュール —
- 2016年3月 メイン真空槽&フレーム製作
 - 2016年5月 分析器インストール、ペーキング
 - 2016年9月 分解能調整、試料マニピュレーター設計&製作
 - 2017年3月 ビームラインドッキング、全体調整

高機能物質群における特異物性の解明と 新たな量子物質相の探索

高輝度放射光による高分解能ARPES

トポロジカル絶縁体

$\text{Bi}_2\text{Se}_3, \text{Bi}_2\text{Te}_3$
 $\text{TlBi}(\text{S}_{1-x}\text{Se}_x)_2, \text{TlSbTe}_2, (\text{Pb,Sn})\text{Te}, (\text{Pb,Sn})\text{Se}$

鉄系高温超伝導体

$(\text{Ba,K})\text{Fe}_2\text{As}_2, \text{BaFe}_2(\text{As,P})_2, \text{Fe}(\text{Se,Te}), \text{FeSe}/\text{STO}, \text{FeSe}/\text{CaF}_2, \text{LiFeAs}$

グラフェン

単層および多層グラフェン, 単層および多層シリセン, $\text{MoX}_{0.99}, \text{WX}_{0.99}$ ($\text{X}_0=\text{S,Se,Te}$)

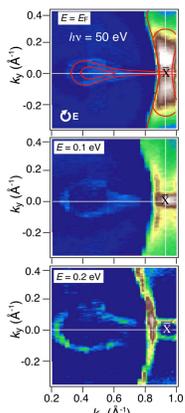
ラッシュバ系物質

Bi, Sb, BiTeX ($\text{X}=\text{I, Cl, Br}$)

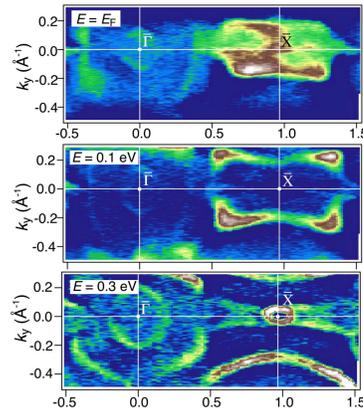
2015年度の研究成果・進捗状況

空間反転対称性の破れたワイル半金属NbP

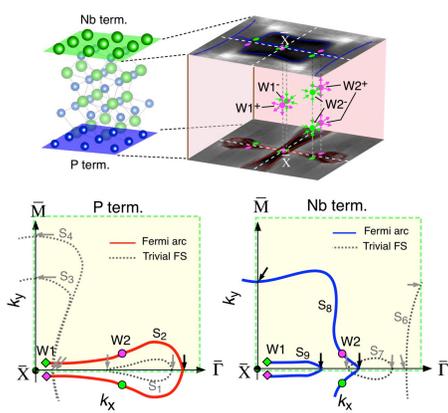
P表面の電子構造



Nb表面の電子構造



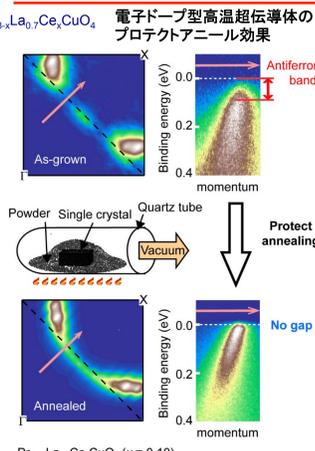
ワイルノードとフェルミアーク



空間反転対称性を破ることで実現するワイル半金属の候補物質であるNbPの高分解能ARPESを行い、ワイル半金属相を特徴付ける表面フェルミアークを観測した。結晶が反転中心を持たないことに起因して、Nb表面とP表面ではフェルミアークの電子構造は全く異なることを見出した[1]。

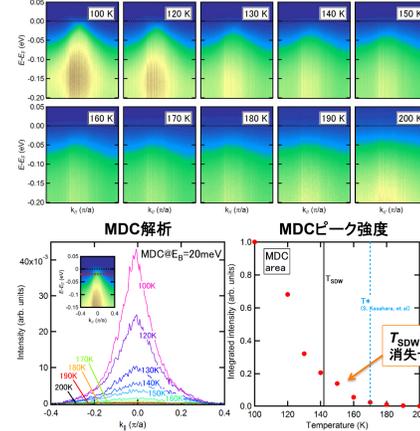
高温超伝導体の磁気秩序と電子構造

$\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_x\text{Ce}_x\text{CuO}_4$



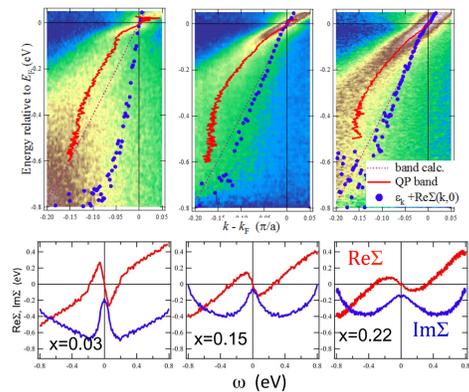
“プロテクト・アニール”を施した電子ドープ型銅酸化物高温超伝導体 $\text{Pr}_{1.3-x}\text{La}_x\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ についてARPESを行い、 T_c が従来より広い範囲でドープ量依存性が余りないことを見出した[5]。

BaFe_2As_2 ディラックバンドの温度依存性



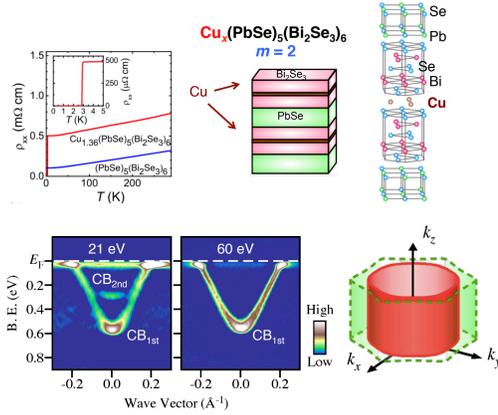
鉄系高温超伝導体の母体反強磁性 BaFe_2As_2 についてARPESを行い、反強磁性により出現するディラック・コーンが、反強磁性転移温度より10 K上まで消失しないことを見出した。

銅酸化物高温超伝導体の準粒子バンド



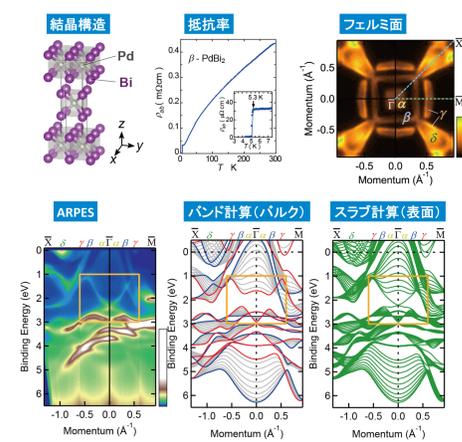
銅酸化物高温超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ において、波数に依存した自己エネルギーを求めた(上図の青い点)。その結果、アンダードープ領域で波数依存性が強くなることが分かった。下図は自己エネルギーの ω 依存性。アンダードープ領域でポゾンの結合が強くなっていることが分かる。

新型トポロジカル超伝導体候補物質 $\text{Cu}_x(\text{PbSe})_5(\text{Bi}_2\text{Se}_3)_6$



トポロジカル超伝導体の候補物質である $\text{Cu}_x(\text{PbSe})_5(\text{Bi}_2\text{Se}_3)_6$ において、励起光を変えた測定により2次元的な円柱状のバルクフェルミ面を見出し、対称性の議論から超伝導ペアリング対称性がトポロジカルに非自明であると結論した[2]。

超伝導体 $\beta\text{-PdBi}_2$ のトポロジカル表面状態



新規超伝導体 $\beta\text{-PdBi}_2$ ($T_c=5.3\text{ K}$)において、バルクバンドギャップ内に、X字型の分散を示す表面バンドを観測した。バンド計算からトポロジカル指数を求めた結果、この表面バンドはトポロジカルに非自明な電子状態に由来したものであることを見出した。バルクの超伝導からの近接効果により表面においてエキゾチックな超伝導現象を観測できる可能性がある。[4]

投稿準備中

発表論文

[1] S. Souma, Z. Wang, H. Kotaka, T. Sato, K. Nakayama, Y. Tanaka, H. Kimizuka, T. Takahashi, K. Yamauchi, T. Oguchi, K. Segawa, and Y. Ando, arXiv:1509.07465 (2015).
[2] K. Nakayama, H. Kimizuka, Y. Tanaka, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, S. Sasaki, K. Segawa, and Y. Ando, Phys. Rev. B **92** (2015) 100508(R).
[3] T. Shoman, A. Nakayama, T. Sato, S. Souma, T. Takahashi, T. Oguchi, K. Segawa, and Y. Ando, Nat. Commun. **6**:6547 doi: 10.1038/ncomms7547 (2015).
[4] M. Sakano, K. Okawa, M. Kanou, H. Sanjo, T. Okuda, T. Sasagawa and K. Ishizaka. Nat. Commun. **6**:8595 doi: 10.1038/ncomms9595 (2015).
[5] 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, Nat. Commun. **7**:10567 doi: 10.1038/ncomms10567 (2016).