

# 新規高温超伝導体および関連化合物の 高分解能角度分解光電子分光

## 実験組織

研究代表者： 藤森淳（東京大学大学院理学系研究科）  
吉田鉄平（東大理）、中山耕輔、相馬清吾、佐藤宇史、高橋隆（東大理）、大川万里生、齋藤智彦（東大理）、小野寛太（PF物構研）

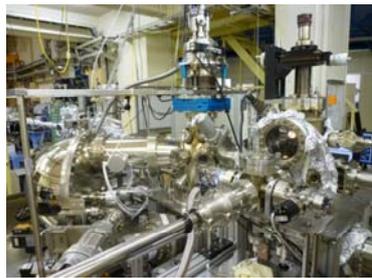
課題有効期間 平成21年4月～平成24年3月（3年間）

## 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(ARPES)を用いて鉄系超伝導体を中心に、新規高温超伝導体の電子状態を精密に決定し、超伝導発現機構の解明を目指した研究を行う。フェルミ面、バンド分散、エネルギーギャップ、準粒子スペクトルの微細構造の精密測定を行い、電子状態の基礎的理解を構築する。また、鉄系超伝導体、銅酸化物、グラファイト超伝導体などの新規超伝導物質の比較を行い、電子構造の類似点、相違点を明らかにする。

## 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



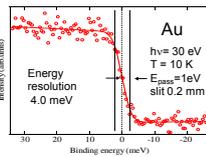
#### 基本性能データ

SES-2002のエネルギー分解能:  
0.9 meV (Pass energy 2 eV)  
角度分解能: ±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  
i-GONIOにより試料角度を2軸回転可能  
測定温度領域: 7 ~ 300 K  
測定槽到達真空度: 1.0 × 10<sup>-8</sup> Pa

#### 試料多自由度回転機構

i-GONIO  
(アールデック社、  
産総研共同開発)  
Y. Aizawa et al., Rev. Sci. Instrum., 74, 3177 (2003).

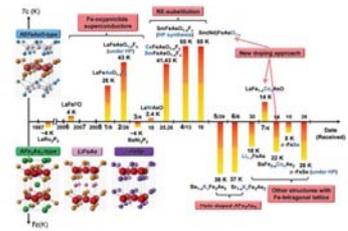
#### エネルギー分解能評価



•光源とアナライザーを合わせたエネルギー分解能は4meVを達成している  
•超高真空中で低温10K以下を保ちつつ試料を多自由度で回転できるため運動量空間の走査を効率よく行うことができる。

## 鉄系高温超伝導体

鉄系超伝導体の発見と物質探索の経過



2008年2月の鉄系高温超伝導体の発見以来、様々な類似した超伝導物質が見つかった。超伝導メカニズムを明らかにするために、電子構造の研究が必要とされている。

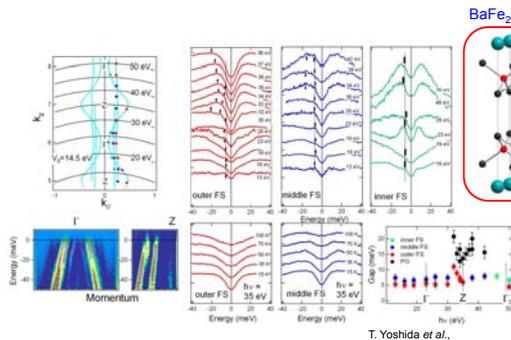
## 2011年度の研究成果・進捗状況

BL-28Aの角度分解光電子分光測定において、これまでに様々な鉄系高温超伝導体および関連化合物の電子状態の観測が行われ、フェルミ準位近傍の電子が受ける相互作用について新たな知見が得られている。

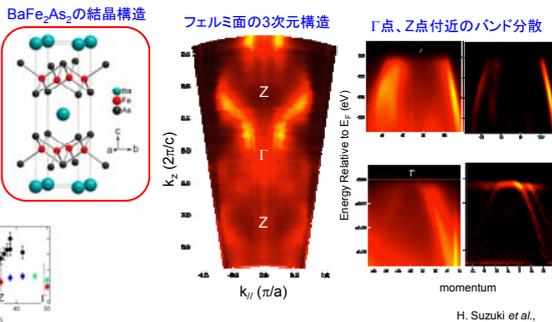
### BaFe<sub>2</sub>(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>)<sub>2</sub>の超伝導ギャップ異方性

### SrFe<sub>2</sub>(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>)<sub>2</sub>の3次元的フェルミ面

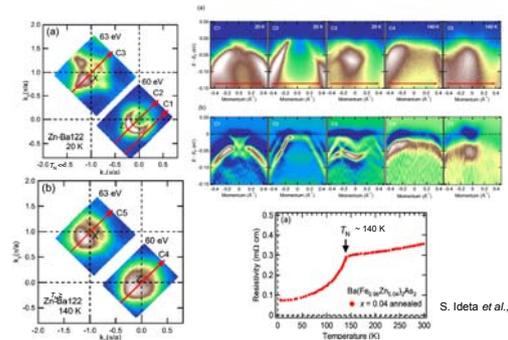
### BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>における遷移金属置換効果



T. Yoshida et al.,



H. Suzuki et al.,



S. Ideta et al.,

BaFe<sub>2</sub>(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>)<sub>2</sub>において、ノードの観測を試みた。ノードの存在が理論的に予想されている。Z点付近の外側ホール面に、ノードは観測されなかった。一方、電子面において、強い異方性を持つ超伝導ギャップが観測された。

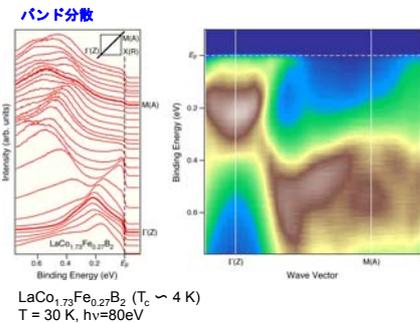
SrFe<sub>2</sub>(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>)<sub>2</sub>のフェルミ面の3次元形状を決定した。BaFe<sub>2</sub>(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>)<sub>2</sub>のフェルミ面と比較した結果、SrFe<sub>2</sub>(As<sub>1-x</sub>P<sub>x</sub>)<sub>2</sub>の方がホール面の3次元性が強いことが明らかになった。このことは面間距離の違いに対応している。

BaFe<sub>2</sub>As<sub>2</sub>のFeサイトをZnで4%置換した系の電子状態を調べた。母物質とほぼ同様に、反強磁性による折りたたまれたフェルミ面、バンド分散が観測された。このことは、Zn置換をしても、フェルミ準位付近のバンドに電子が供給されず、増加した電子のほとんどが不純物準位に局在していることを示している。

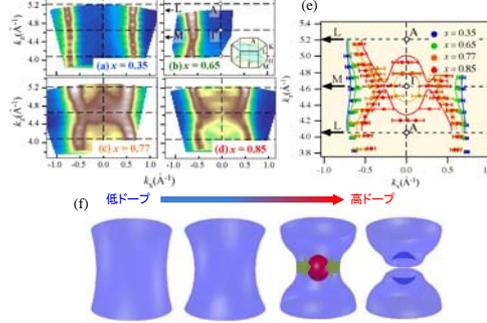
### 新型超伝導体LaCo<sub>2</sub>B<sub>2</sub>のバンド分散、フェルミ面

### Na<sub>x</sub>CoO<sub>2</sub>のバンド構造のk<sub>y</sub>依存性

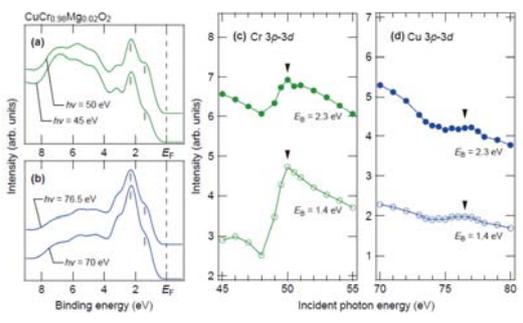
### 熱電材料CuCr<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O<sub>2</sub>の共鳴光電子分光



LaCo<sub>0.73</sub>Fe<sub>0.27</sub>B<sub>2</sub> (T<sub>c</sub> ~ 4 K)  
T = 30 K, hv=80eV



Na<sub>x</sub>CoO<sub>2</sub>のバンド構造のk<sub>y</sub>依存性を決定した。Naドーパ量の増加とともに、二次元的だったフェルミ面が、三次元的なフェルミ面へと変化するのを見出した。また、a<sub>g</sub>ホールバンドがM字型の分散をしており、この特徴的なバンド構造がNa<sub>x</sub>CoO<sub>2</sub>における特異物性の発現と密接に関係していることを明らかにした。



熱電材料として有望なCuCr<sub>1-x</sub>Mg<sub>x</sub>O<sub>2</sub>の価電子帯電子構造を明らかにするために、3p-3d領域で共鳴光電子分光を行った。価電子帯トップは、一部のバンド計算による予測とは異なり、主にCr 3dが寄与していることが解った。但しCu 3dの寄与もある程度あることも判明し、Cr-O-Cuの間のp-f混成が重要であることがわかった。

## 発表論文

- [1] I. Nishi, M. Ishikado, S. Ideta, W. Malaeb, T. Yoshida, A. Fujimori, Y. Kotani, M. Kubota, K. Ono, M. Yi, D. H. Lu, R. Moore, Z.-X. Shen, A. Iyo, K. Kihou, H. Kito, H. Eisaki, S. Shamoto, and R. Arita, "Angle-resolved photoemission spectroscopy study of PrFeAsO<sub>0.7</sub>: Comparison with LaFePO", Phys. Rev. B **84**, 014504 (2011).
- [2] T. Arakane, T. Sato, T. Takahashi, T. Fujii, and A. Asamitsu, "Angle-resolved photoemission study of doping evolution of three-dimensional Fermi surface in Na<sub>x</sub>CoO<sub>2</sub>", New J. Phys. **13**, 043021 (2011).
- [3] T. Qian, N. Xu, Y.-B. Shi, K. Nakayama, P. Richard, T. Kawahara, T. Sato, T. Takahashi, M. Neupane, Y.-M. Xu, X.-P. Wang, G. Xu, X. Dai, Z. Fang, P. Cheng, H.-H. Wen, and H. Ding, "Quasi-nested Fe orbitals versus Mott-insulating V orbitals in superconducting Sr<sub>2</sub>VO<sub>3</sub>FeAs as seen from angle-resolved photoemission", Phys. Rev. B **83**, 140513(R) (2011).