

課題番号 : 1105041PF

PF 受理番号 : 2011G086

(様式第 2 号)

新鉄系超伝導体 $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Pt}_x)_2\text{-dAs}_2$ の放射光角度分解光電子分光

Angle-resolved photoemission spectroscopy study of the newly discovered iron-based superconductor $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Pt}_x)_2\text{-dAs}_2$

著者氏名

坪田幸士¹, 吉田力矢¹, 脇田高德¹, 長尾浩紀¹, 吉村大介², 瀬戸山寛之²,
岡島敏浩², 檀浦匡隆^{1,3}, 工藤一貴^{1,3}, 野原実^{1,3}, 平井正明^{1,3}, 村岡祐治^{1,3},
横谷尚睦^{1,3}

English

K. Tsubota¹, R. Yoshida¹, T. Wakita¹, H. Nagao¹, D. Yoshimura², H. Setoyama²,
T. Okajima², M. Danura^{1,3}, K. Kudo^{1,3}, M. Nohara^{1,3}, M. Hirai^{1,3}, Y. Muraoka^{1,3},
and T. Yokoya^{1,3}

著者所属

¹岡山大学大学院自然科学研究科
²佐賀県立九州シンクロtron光研究センター
³JST-TRIP

English

¹The Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University
²Kyushu Synchrotron Light Research Center
³JST-TRIP

※長期利用課題は、実施課題名の末尾に期を表す (I)、(II)、(III) を追記すること。

1. 概要

$\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Pt}_x)_2\text{-dAs}_2$ の関連物質である $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$ において報告されている Tetragonal(T)相-collapsed tetragonal(cT) 相転移に伴うフェルミ面形状の変化を観測するために、放射光角度分解光電子分光を行った。T 相および cT 相において光エネルギー依存角度分解光電子分光スペクトルを測定しフェルミ面形状の kz 依存性を観測した。その結果、T-cT 相転移に伴うフェルミ面形状の変化を観測することに成功した。

(English)

We have performed angle-resolved photoemission spectroscopy (ARPES) of $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$ in order to investigate change of Fermi surface topology that is supposed to be induced by the tetragonal-to-collapsed tetragonal structure transition. From photon energy dependent ARPES at T phase and cT phase, we observed change of Fermi surface topology across the transition.

2. 背景と研究目的:

鉄系超伝導体は銅酸化物に次ぐ高い超伝導転移温度を示す[1]。その超伝導転移のメカニズムの解明のために現在でも活発な研究が行われている。結晶構造の変化に伴う超伝導性の発現/消失は超伝導メカニズムを考える上で重要な情報を与えると考えられる。122 系の鉄系超伝導体の母物質 CaFe_2As_2 は超伝導転移を示さない[2]。しかし、圧力印加により超伝導体となり、最高 T_c は 12K まで上昇する[3]。超伝導転移を示した後、さらに圧力を増加すると超伝導が突如消失する。結晶構造から見ると、超伝導-非超伝導の転移は Tetragonal(T)相から collapsed Tetragonal(cT)相への相転移に対応

する[4]。T-cT相転移においては、c軸が6%近く減少し、a軸が2%近く増加する。結晶軸の変化は電子構造の変化をもたらす。理論的には、電子構造の次元性が二次元的から三次元的へと変化することが予測されている[5]。電子構造の次元性の低下はフェルミ面形状のネスティングの傾向を増加させる。鉄系超伝導体においては、フェルミ面間のネスティングが超伝導の発現と密接に関係していると考えられている。そのため、T-cT相転移による電子構造の次元性の変化の観測を行うことで、鉄系超伝導の超伝導転移のメカニズムに電子構造の次元性が関与しているかどうかを検証できると期待される。しかし、 CaFe_2As_2 は高压下においてのみcT相転移を示すので、実験的な検証は難しく、直接的にフェルミ面形状の変化を観測した例はなかった。

今回測定を行った $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$ [5]は、Rhをドーピングすることにより、低温においてOrthorhombic(O)相からT相、更にはcT相へと変化する(図1)。バルク超伝導はT相でのみ観測され

ている。この変化は、 CaFe_2As_2 に圧力を加えた時と似た変化であり、Rh置換が正の化学圧力効果を与えていることを示す。このことは、常圧下においても温度を変化させることによってcT相転移を観測することが可能となったことを意味する。

本研究では、T-cT構造相転移に伴うフェルミ面形状の変化を直接観測することを目的として、 $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$ の放射光角度分解光電子分光を行った。超伝導転移を示すT相と、示さないcT相のフェルミ面形状の変化を比較することによって、超伝導転移の起源にネスティングが関与しているかを示すことができると期待される。

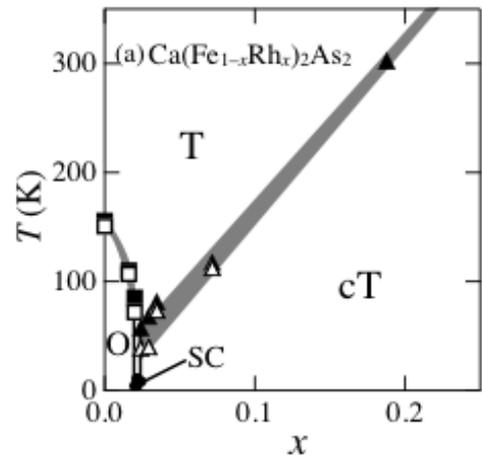


図1. $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$ の相図[6]

3. 実験内容 (試料、実験方法の説明)

測定試料は $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$ ($x=3.4\%$)の単結晶試料を用いた。この試料は、温度50K付近でT-cT相転移を示す。清浄試料表面は超高真空下において劈開で得た。

角度分解光電子分光は九州シンクロトロン光研究センター(SAGA-LS) 県有ビームラインBL10を用いた。入射光の偏光は円偏光、エネルギーは $h\nu=90-200\text{eV}$ とした。測定時の全エネルギー分解能は70-100meVに設定した。試料温度は20K(cT相)および200K(T相)である。

4. 実験結果と考察

図2, 3はそれぞれ $x=3.4\%$ の試料のT相、cT相におけるフェルミ準位近傍($-15\text{meV} < E_B < 15\text{meV}$)の光電子強度マップである。光電子強度の規格化は光強度とスキャン回数で行っている。白線で描かれている枠は格子定数から求めた $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$ のブリルアンゾーンである。光電子強度マップにおいて、色の濃い部分がフェルミ面に対応する。黒点は、 E_F 近傍の運動量分布関数(Momentum

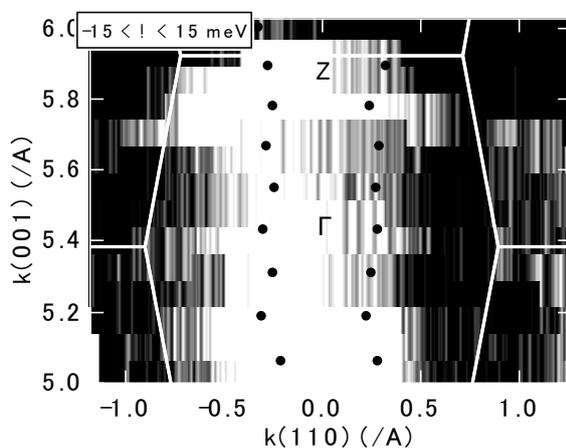


図2. T相における k_z 分散の様子

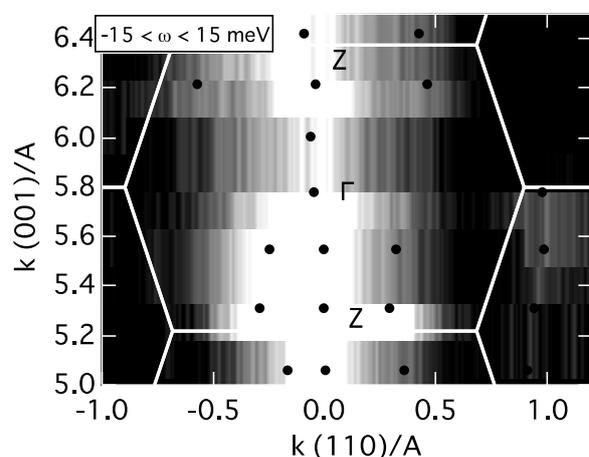


図3. cT相における k_z 分散の様子

Distribution Curve, MDC)におけるピーク位置であり、バンドがフェルミ準位を横切る位置（フェルミ運動量 k_F ）またはバンドがフェルミ準位極近傍に存在する位置に対応する。T相とcT相の強度分布の傾向を比較すると、T相では強度分布の k_z 依存性が少ないように見えるのに対して、cT相においては強度分布に k_z 依存性があり、 Γ 点近傍の強度が低く Z点近傍で強度が強くなっているように見える。強度分布の違いは、MDC解析の結果に顕著な違いとなって現れる。T相ではMDCに観測される構造はZ- Γ -Z線の両脇に存在し k_z 依存性はほとんどないように見える。その一方でcT相では、MDCに観測される構造の位置はZ- Γ -Z線付近に位置するとともに、Z点近傍ではその両側にも構造が存在する。外側の構造が顕著な k_z 依存性を持つように見える。これらの結果は、T相においては二次元なフェルミ面、cT相においては3次元的なフェルミ面が存在することを意味しており、超伝導の消失と電子構造の次元性の変化が関与していることを示唆している。

5. 今後の課題：

今回の実験で、T-cT相転移においてフェルミ面の次元性の変化を示唆するデータを得ることに成功した。しかしながら、測定時間の関係でS/Nが低く、 k_z 方向の測定点間隔が粗いデータとなってしまった。今後は k_z 分散において、より詳細な実験を行い転移前後の電子構造変化をより明瞭に観測するとともに、面内マッピングも行うことにより3次元運動量空間において具体的にフェルミ面の形状変化、より具体的にはネスティングの度合いがどのように変化するかを観測したいと考えている。

6. 論文発表状況・特許状況

Ca(Fe_{1-x}Rh_x)₂As₂の角度分解光電子分光

坪田幸士, 吉田力矢, 脇田高德, 長尾浩紀, 吉村大介, 瀬戸山寛之, 岡島敏浩, 檀浦匡隆, 工藤一貴, 野原実, 平井正明, 村岡祐治, 横谷尚睦

日本物理学会 2011年秋季大会

富山大学 平成23年9月21-24日

7. 参考文献

- 1) Y. Kamihara et al., J. Am. Chem. Soc. 130, 3296 (2008).
- 2) N. Ni et al., Phys. Rev. B 78, 014523 (2008).
- 3) T. Park et al., J. Phys.: Condes. Matter 20, 322204 (2008).
- 4) A. Kreyssig et al., Phys. Rev. B 78, 184517 (2008).
- 5) D. A. Tompsett, G.G. Lonzarich., Physica B 405, 2440-2443 (2010).
- 6) M. Danura et al., J. Phys. Soc. Jpn. 80, 103701 (2011).

8. キーワード（試料及び実験方法を特定する用語を2～3）

・角度分解光電子分光

試料に光を照射し、光電効果により飛び出した光電子の運動エネルギーと放出方向を観測することにより固体内電子の結合エネルギーおよび運動量を測定する実験手法。フェルミ面形状や、バンド分散を観測することが出来る。

・Ca(Fe_{1-x}Rh_x)₂As₂

122系の鉄系超伝導物質。Rhのドーパ量によって反強磁性相が抑制され、超伝導転移や、cT相転移をおこす物質である。