

鉄系超伝導体  $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$  の放射光角度分解光電子分光  
Synchrotron angle-resolved photoemission spectroscopy study of  
iron-based superconductor  $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$

坪田幸士<sup>1\*</sup>, 脇田高德<sup>1</sup>, 長尾浩樹<sup>1</sup>, 吉村大介<sup>2</sup>, 瀬戸山寛之<sup>2</sup>, 岡島敏浩<sup>2</sup>,  
村岡祐治<sup>1</sup>, 横谷尚睦<sup>1</sup>

<sup>1</sup>岡山大学大学院自然、〒700-8530 岡山市北区津島中 1-1-1

<sup>2</sup>佐賀シンクロトロン光研究センター 841-0005 佐賀県鳥栖市弥生が丘 8-7

## 1 はじめに

122 系の鉄系超伝導体の母物質  $\text{CaFe}_2\text{As}_2$  は、圧力を加えることにより、一旦超伝導を示すが、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[1]。T-cT 相転移は、c 軸の減少を伴う。理論的には、電子構造の次元性が二次元的から三次元的に変化することが予測されている[2]。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減少させる。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。しかし、 $\text{CaFe}_2\text{As}_2$  は高圧下においてのみ T-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実験はなかった。

今回測定を行った  $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$  [3]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 相へと変化させることができる(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、 $\text{CaFe}_2\text{As}_2$  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 T-cT 相転移の観測が可能となった。

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。

## 2 実験

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 BL 10 を用いた。入射光の偏光は円偏光、エネルギーは  $h\nu = 90$

-200 eV とした。測定時の全エネルギー分解能は 70-100 meV に設定した。試料温度は 20 K (cT 相) および 200 K (T 相) である。

## 3 結果および考察

図 1、2 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 ( $-15\text{meV} < \text{結合エネルギー} - (E_B) < 15\text{meV}$ ) の光電子強度マップである。光電子強度の規格化はフェルミ準位 ( $E_F$ ) より高  $E_B$  の強度で行っている。白線で描かれている枠は格子定数から

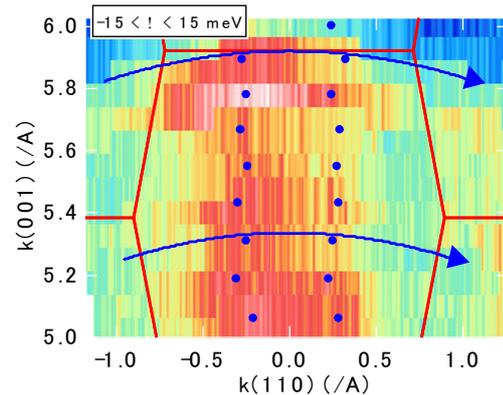


図 1: T 相における  $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$  の  $E_F$  近傍の光電子強度マップ

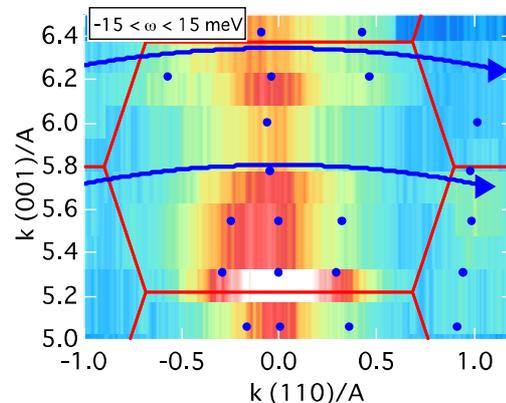


図 2: cT 相における  $\text{Ca}(\text{Fe}_{1-x}\text{Rh}_x)_2\text{As}_2$  の  $E_F$  近傍の光電子強度マップ

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。黒点は、 $E_F$  近傍の運動量分布関数 (Momentum 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、 $\Gamma$  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 の構造は Z- $\Gamma$ -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 の構造の位置は Z- $\Gamma$ -Z 線付近にプロットされとともに、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  $k_z$  依存性を持つことを示唆している。これらの結果は、T 相においてはフェルミ面形状が二次元的であるのに対して、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示唆している。超伝導の消失と電子構造の次元性の変化が関連していることを示唆している。

#### 4 まとめ

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 および測定点において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。

#### 謝辞

本研究は、岡山大学大学院自然科学研究科、壇浦匡隆氏、工藤一貴助教、野原実教授との共同研究です。ここに感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) A. Kreyssig, et al., Phys. Rev. B 78, 184517 (2008).
- 2) D. A. Tompsett and G. G. Lonzarich, Physica B 405, 2440-2443 (2010).
- 3) M. Danura, et al., J. Phys. Soc. Jpn. 80, 103701 (2011).

\* sc19221@s.okayama-u.ac.jp