

新規 BiS₂系層状超伝導体のフェルミ面の直接観測 Direct observation of Fermi surface of new BiS₂-based layered superconductors

寺嶋健成¹, 砂川正典¹, 藤原弘和¹, 浜田貴裕¹, 園山純生¹, 組頭広志², 小野寛太², 長尾雅則³,
高野義彦⁴, 脇田高德¹, 村岡祐治¹, 横谷尚睦^{1,*}

¹岡山大学, 〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1

²放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

³山梨大学, 〒400-8511 山梨県甲府市宮前町 7-32

⁴物質材料研究機構, 〒305-0047 つくば市千現 1-2-1

Kensei Terashima¹, Masanori Sunagawa¹, Hirozaku Fujiwara¹, Takahiro Hamada¹, Junki Sonoyama¹,
Kanta Ono², Hiroshi Kumigashira², Masanori Nagao³, Yoshihiko Takano⁴,
Takanori Wakita¹, Yuji Muraoka¹, and Takayoshi Yokoya^{1,*}

¹Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Okayama 700-8530, Japan

²Photon Factory, 1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

³Yamanashi University, 7-32 Miyamae, Kofu, Yamanashi 400-8511 Japan

⁴National Institute for Materials Science (NIMS)

1-2-1 Sengen, Tsukuba 305-0047 JAPAN

1 はじめに

LaOBiS₂ は二次元性の高い BiS₂ 面とブロック相の LaO 面からなる層状のバンド絶縁体である。O を F で置換することで金属的伝導を示すようになり、これまで最高で $T_c = 10.6$ K の超伝導転移が報告されている[1]。この部分置換は格子定数の変化のみならず伝導面にキャリアを供給する役割を果たしていると考えられる。第一原理計算からは、ドーパされたキャリアが一次元性の高い Bi p バンドに入ることで、F 濃度 $x = 0.5$ 近傍で、ネスティング条件の良いフェルミ面形状の存在や($\pi/2$, $\pi/2$)付近の波数で高い状態密度を与えるバンドの鞍点の存在が予測されている[2]。理論的には、電荷密度波とフォノンを媒介とした超伝導の共存が提案される[3]一方、電子相関効果がある程度強い場合にはネスティングがスピンや軌道揺らぎを誘起しこれが電子対を媒介するとの提案もある[2]。

我々は、BiS₂系超伝導体のフェルミ面形状の直接観測を目的として、最適ドーパ近傍 ($x \sim 0.5$) の La(O,F)BiS₂ 単結晶試料に対し角度分解光電子分光測定 (ARPES) [4]を行った。

2 実験

測定試料は、最適ドーパ近傍の F 置換量 0.46 (T_c 3.1 K) の La(O,F)BiS₂ 単結晶試料である。ARPES 実験は Photon Factory の BL-28A において行い、励起光のエネルギーは 70 eV に、エネルギー分解能は約 30 meV に設定し、常伝導状態の $T = 10$ K にて測定を行った。

3 結果および考察

図 1 に、最適ドーパ近傍の La(O,F)BiS₂ に対してブリルアンゾーン Γ (Z)-X(R) 方向に測定した価電子帯の光電子スペクトル強度の-2 階微分のマッピングを示す。色の濃い部分がバンドに対応する。オレンジ色の破線は、 $x = 0.46$ に対するスピン軌道相互作用を取り入れたバンド計算の結果である。実験結果は、結合エネルギー 9 eV にほぼ分散を示さないバンド、2-6eV に密集した複数のバンド、フェルミ準位近傍では X(R) 点に電子ポケットが観測される。これらのバンドは、バンド計算の結果と良く対応するこ

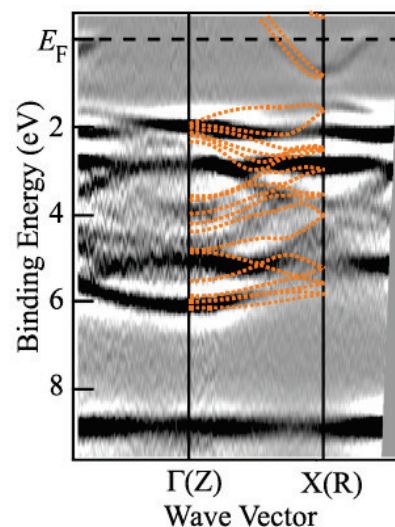


図 1 La(O,F)BiS₂ ($x = 0.4$) の ARPES 強度の-2 階微分マップ[4]

とがわかる。バンド計算との比較から、結合エネルギー9 eVの構造はF s、2-6 eVはOとSのp、X(R)点の電子ポケットはBi pを主たる軌道とするバンドであることがわかった。バンド計算との良い対応はこの物質における電子相関効果が顕著ではないことを示す。加えて、スピン軌道相互作用を取り入れた計算結果との良い対応は、この物質の電子状態を理解する上でスピン軌道相互作用の重要性を示す。

図2(a)に、フェルミ準位近傍におけるARPES強度マップを示す。濃い部分がフェルミ面に対応する。図1のバンド分散から観測されたX(R)点の電子ポケットはX(R)点を中心とした電子的フェルミ面を形成している。加えて、 $\Gamma(Z)$ を囲むように四角い強度分布も観測される。詳しいバンド分散の解析から、図2(b)に示すように、四角い強度分布の各辺の中点付近にファンホープ特異点(鞍点 saddle point)が存在することがわかった。

これらの結果は、X(R)点周りの電子的フェルミ面のみを報告しているアンダードープNd(O,F)BiS₂のARPESの結果とは異なる[4,5]。BiS₂系超伝導体では、高い状態密度を与えるファンホープ特異点がフェルミ準位に位置する時に最高T_cを与えることが期待される。それに対して、最適ドープLa(O,F)BiS₂のT_cはアンダードープNd(O,F)BiS₂のT_cより低い。BiS₂系超伝導体におけるT_cの希土類元素依存性を理解するには、T_cを決める他のファクターを明らかにすることが重要である。

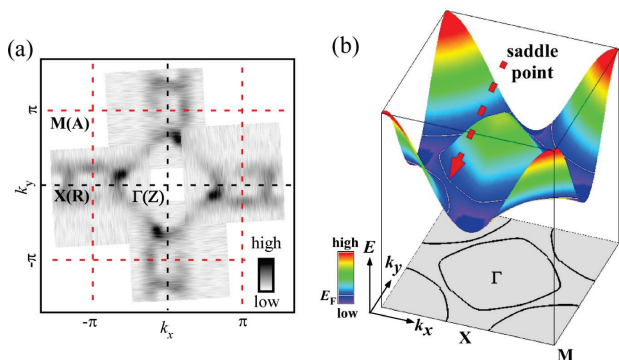


図2 (a) フェルミ準位近傍の ARPES スペクトル強度マップ[4]。 (b) バンド計算から予想される最適ドープ La(O,F)BiS₂ のバンド構造 (上) とフェルミ面形状 (下) の模式図。

4 まとめ

ARPES により最適ドープ近傍の La(O,F)BiS₂ 超伝導体の価電子帯およびフェルミ面を実験的に明らかにした。価電子帯の測定から、本物質は電子相関効果が弱いこと、スピン軌道相互作用が電子構造に大

きな影響を与えていることがわかった。フェルミ面形状としては、X(R)点の電子的フェルミ面に加えて、 $\Gamma(Z)$ 点を中心に四角形の強度分布が観測された。後者は、この試料がフェルミ面のトポロジカル転移近傍に位置することを示す。

謝辞 (オプション)

大阪大学の鈴木雄大氏、臼井秀知氏、黒木和彦氏からは、本研究を進める上でバンド計算等の理論的な支援を受けました。本研究は、科研費(25800205、15H03691)および研究大学強化促進事業により部分的に支援されています。

参考文献

- [1] Y. Mizuguchi *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.* **81**, 114725 (2012).
- [2] H. Usui *et al.*, *Phys. Rev. B* **86**, 220501(R) (2012).
- [3] X. Wan *et al.*, *Phys. Rev. B* **87**, 115124 (2013).
- [4] K. Terashima *et al.*, *Phys. Rev. B* **90**, 220512(R) (2014).
- [5] L. K. Zeng *et al.*, *Phys. Rev. B* **89**, 054512 (2014).
- [6] Z. R. Ye *et al.*, *Phys. Rev. B* **89**, 045116 (2014).

成果

Okayama Univ. e-BulletinにてResearch Highlightsとして取り上げられました。 http://www.okayama-u.ac.jp/user/kouhou/ebulletin/research_highlights/vol11/highlights_004.html

*yokoya@cc.okayama-u.ac.jp