

# 高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ の超伝導状態の自己エネルギー Self-energy of the high- $T_c$ superconductor $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ in superconducting states

吉田鉄平<sup>1,\*</sup>, 大槻太毅<sup>1</sup>, 山脇一真<sup>1</sup>, 下中大也<sup>1</sup>, 柴田大輔<sup>1</sup>, 藤森淳<sup>2</sup>,  
小野寛太<sup>3</sup>, 組頭広志<sup>3</sup>, 笹川崇男<sup>4</sup>, 永崎洋<sup>5</sup>

<sup>1</sup>京都大学大学院人間・環境学研究科, 〒606-8501 京都市左京区吉田二本松町

<sup>2</sup>東京大学大学院理学系研究科, 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1

<sup>3</sup>物質構造科学研究所, 放射光科学研究施設, 〒305-0801 つくば市大穂 1-1

<sup>4</sup>東京工業大学フロンティア材料研究所, 〒226-8503 横浜市緑区長津田町 4259

<sup>5</sup>産業技術総合研究所, 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1

Tepei Yoshida<sup>1</sup>, Daiki Ootsuki<sup>1</sup>, Kazuma Yamawaki<sup>1</sup>, Daiya Shimonaka<sup>1</sup>, Daisuke Shibata<sup>1</sup>, Atsushi Fujimori<sup>2</sup>,  
Kanta Ono<sup>3</sup>, Hiroshi Kumigashira<sup>3</sup>, Takao Sasagawa<sup>4</sup>, Hiroshi Eisaki<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Human and Environmental Studies, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501, Japan

<sup>2</sup>Department of Physics, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

<sup>3</sup>Institute of Materials Structure Science, Photon Factory, Tsukuba, 305-0801, Japan

<sup>4</sup>Laboratory for Materials and Structures, Tokyo Institute of Technology, Yokohama 226-8503, Japan

<sup>5</sup>National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba 305-8568, Japan

## 1 はじめに

銅酸化物高温超伝導の角度分解光電子分光 (ARPES) による研究では、超伝導ギャップが開閉しているノード方向を中心に自己エネルギー解析が行われてきた。しかし、ペアリング機構を探るには超伝導ギャップが開いている電子状態の情報が重要である。超伝導ギャップをもつ電子状態の自己エネルギー解析は報告例が少ない [1]。最近、クーパ対を表す異常自己エネルギーの解析が行われボズンを示す構造が示唆されている [2]。そこで本研究では高温超伝導体  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$  ( $\text{Bi}2212$ ) の ARPES スペクトルから、超伝導状態の自己エネルギーを求め、さらに異常自己エネルギーを求めることを試みた。

## 2 実験

最適ドーピング  $\text{Bi}2212$  ( $T_c = 92$  K) の単結晶試料は floating-zone 法によって作製された。ARPES 測定は PF BL-28A の SES2002 を用いて  $h\nu = 54$  eV で行われた。測定温度は  $T_c$  上下の  $T = 20$  K, 130 K である。

## 3 結果および考察

図 1 (a) に  $T = 20$  K の off-node 方向の ARPES スペクトルを示す。超伝導状態の全自己エネルギー  $\Sigma_{\text{tot}}(k, \omega)$  は正常自己エネルギー  $\Sigma_{\text{nor}}(\omega)$  および異常自己エネルギー  $\Sigma_{\text{ano}}(\omega)$  を含む形で以下の式で与えられる。

$$\Sigma_{\text{tot}}(\omega) = \Sigma_{\text{nor}}(\omega) + \frac{\Sigma_{\text{ano}}(\omega)^2}{\omega + \varepsilon_k + \Sigma_{\text{nor}}(-\omega)^*}$$

フェルミ波数のスペクトルに電子-ホール対称性を仮定してクラマース・クロニッヒ変換を行うことで  $\Sigma_{\text{tot}}(\omega)$  を求めた [図 1 (b)]。さらにカット方向に積分したスペクトルが  $\Sigma_{\text{nor}}(\omega)$  によって繰り返されたギャップ関数  $\Delta(\omega)$  を含むことを利用して、 $\Sigma_{\text{nor}}(\omega)$  と  $\Sigma_{\text{ano}}(\omega)$  を分離して求めた [図 1 (c)(d)]。  $\Sigma_{\text{tot}}(\omega)$  の  $\sim 70$  meV のキंकとは異なり、 $\Sigma_{\text{nor}}(\omega)$ ,  $\Sigma_{\text{ano}}(\omega)$  には  $\sim 30$

meV の構造が見られている。とくに  $\Sigma_{\text{ano}}(\omega)$  はペアリングを表す関数で、超伝導の起源と関連していると考えられる。 $\Sigma_{\text{nor}}(\omega)$ ,  $\Sigma_{\text{ano}}(\omega)$  は同一のエネルギーに構造を持つが、 $\Sigma_{\text{tot}}(\omega)$  のエネルギーと異なる。この特徴は CDMFT 計算の結果と定性的に一致している [3,4]。

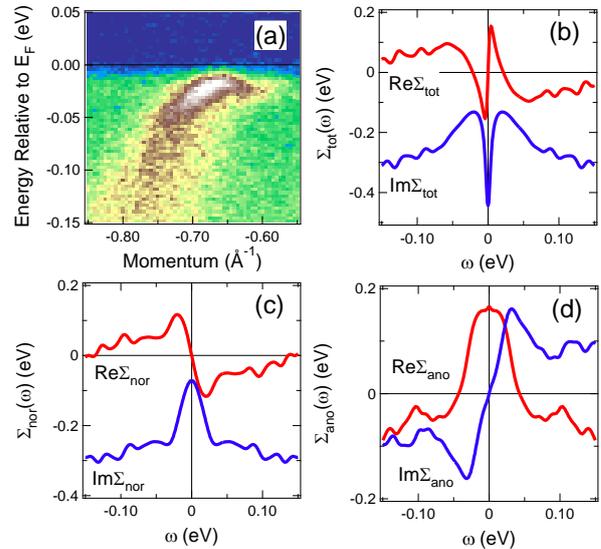


図 1 : off-node 方向における  $\text{Bi}2212$  の自己エネルギー。  
(a) ARPES スペクトル ( $T = 20$  K), (b) 全自己エネルギー  $\Sigma_{\text{tot}}$ ,  
(c) 正常自己エネルギー  $\Sigma_{\text{nor}}$ , (d) 異常自己エネルギー  $\Sigma_{\text{ano}}$

## 参考文献

- [1] M. R. Norman et al. Phys. Rev. B **60**, 7585 (1999).
- [2] J. M. Bok et al., Sci. Adv. **2**, e1501329 (2016).
- [3] S. Sakai, M. Civelli, and M. Imada, Phys. Rev. Lett. **116**, 057003 (2016).
- [4] S. Sakai, M. Civelli, and M. Imada, Phys. Rev. B **94**, 115130 (2016).

\* yoshida.tepei.8v@kyoto-u.ac.jp