

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^{1,*}, 大槻太毅¹, 山脇一真¹, 下中大也¹, 柴田大輔¹, 藤森淳²,
小野寛太³, 組頭広志³, 笹川崇男⁴, 永崎洋⁵

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

²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

³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

⁴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

⁵産業技術総合研究所, 〒305-8568 つくば市梅園 1-1-1

Tepei Yoshida¹, Daiki Ootsuki¹, Kazuma Yamawaki¹, Daiya Shimonaka¹, Daisuke Shibata¹, Atsushi Fujimori²,
Kanta Ono³, Hiroshi Kumigashira³, Takao Sasagawa⁴, Hiroshi Eisaki⁵

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

²Department of Physics, University of Tokyo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-0033, Japan

³Institute of Materials Structure Science, Photon Factory, Tsukuba, 305-0801, Japan

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

⁵National 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、クーパー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 ~ 70 meV のキックとは異なり、 $\Sigma_{\text{nor}}(\omega)$, $\Sigma_{\text{ano}}(\omega)$ には ~ 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]。

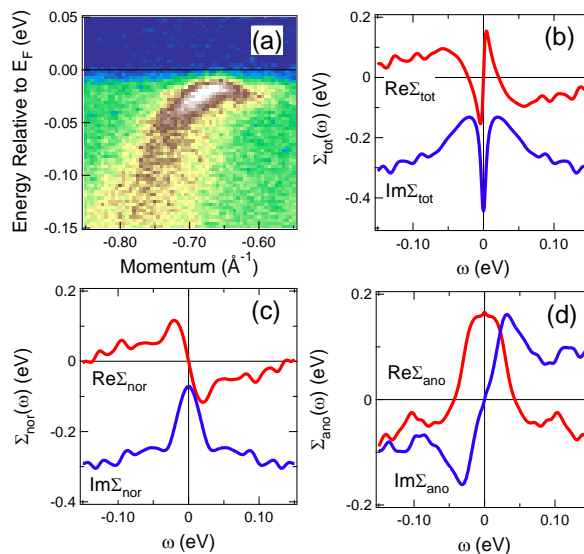


図 1 : off-node 方向における $\text{Bi}2212$ の自己エネルギー。
(a) ARPES スペクトル ($T = 20$ K), (b) 全自己エネルギー Σ_{tot} ,
(c) 正常自己エネルギー Σ_{nor} , (d) 異常自己エネルギー Σ_{ano}

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