

光電子立体写真と Auger パターンによる  
Bi2201 と Bi2212 の局所構造解析  
Local structure analysis of Bi2201 and Bi2212  
by using photoelectron stereophotographs and Auger patterns

酒井智香子<sup>a</sup>, 松井文彦<sup>a,b,c</sup>, 竹内恒博<sup>d</sup>, 松下智裕<sup>c</sup>,  
加藤有香子<sup>a</sup>, 成川隆史<sup>a</sup>, 大門寛<sup>a,b,c</sup>  
C. Sakai<sup>a</sup>, F. Matsui<sup>a,b,c</sup>, T. Takeuchi<sup>d</sup>, T. Matsushita<sup>c</sup>,  
Y. Kato<sup>a</sup>, T. Narikawa<sup>a</sup>, and H. Daimon<sup>a,b,c</sup>

<sup>a</sup>奈良先端大物質, <sup>b</sup>CREST-JST, <sup>c</sup>JASRI/SPring-8, <sup>d</sup>名大エコトピア  
<sup>a</sup>NAIST, <sup>b</sup>CREST-JST, <sup>c</sup>JASRI/SPring-8, <sup>d</sup>ESI, Nagoya Univ.

光電子立体写真と Auger パターンを用いると表面での立体的な構造解析を元素選択的に行うことができる。これらの方法を用い、変調構造をもつ Bi2212 と、変調構造をもたない Pb-doped Bi2201 の局所構造解析を行った。Bi2212 の Cu LMM Auger パターンのピークには *b* 軸に沿った 5 倍周期の変調構造による異方性が観測され、Bi2201 には観測されなかった。この結果は、変調構造を元素の組み合わせごとに観測することができたことを示している。

We can analyze the three-dimensional structure of surface by using element specific photoelectron stereophotographs and Auger-electron patterns. We have analyzed the local structures of Bi2212 that has a modulated structure along *b* axis and Pb-doped Bi2201 that does not have it. The Cu LMM Auger pattern from Bi2201 did not show anisotropy but that from Bi2212 showed anisotropy due to the modulation structure. This result indicates that we succeeded to observe the modulation structure for each pair of atoms.

キーワード : Bi2201, Bi2212, 光電子立体写真, Auger パターン, 局所構造解析

Key words : Bi2201, Bi2212, photoelectron stereophotography, Auger pattern, local structure analysis

【背景と目的】銅酸化物高温超伝導体はその超伝導転移温度( $T_c$ )の高さから、工業的な応用が期待されている物質である。Bi 系高温超伝導体に鉛(Pb)をドーピングすることにより、臨界磁場を上げる、光電子分光測定等に弊害を及ぼすウムクラップ散乱を引き起こす *b* 軸に沿った変調構造を無くす等の効果が考えられている。今回、Pb をドーピングしていない Bi2212 と、Pb ドーピングにより変調構造を抑制した Bi2201 を試料に用い、元素の組み合わせごとの変調構造について、光電子立体写真と Cu LMM Auger パターンを用いて研究を行った。原子立体写真法は SPring-8 BL25 SU の円偏光

軟 X 線を用い、表面の三次元原子構造を直接観察できる手法である [1]。X 線を原子に照射すると光電子が飛び出す。特に光電子の運動エネルギーが数百 eV 以上の時には、光電子を放出した原子と散乱を引き起こす原子を結ぶ方向に前方散乱ピーク (FFP) という強いピークが現れる。光電子放出強度角度分布 (PIAD) 中の FFP の方向は周囲の原子の方向に、そのピーク位置シフト (円二色性) は距離 (視差角) に対応する。この理論を用いて、PIAD パターンに現れる FFP がどの原子によるものか特定した。また Auger パターンにより構造解析を行った。

【実験】試料は、Bi2212 単結晶試料と Pb ドープ Bi2201 単結晶試料を用いた。(どちらも数 mm<sup>2</sup>) 試料は大気中にて劈開を行い、直ちに真空中に導入した。試料上の光スポットは約 300×500 μm<sup>2</sup> である。分析器の取込角は±60°。一つの PIAD パターンは 30 分、Auger パターンは 100 秒で測定した。

【結果及び考察】Figure 1(a)に左回り、1(b)に右回りの円偏光励起光を用いて得られた Bi2201 Cu3p PIAD パターン (原子立体写真) を示す。

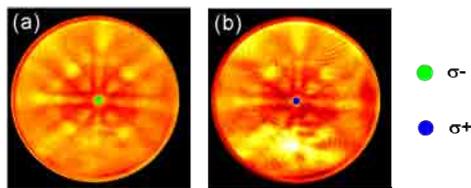


Fig.1 (a) and (b) PIAD patterns from Cu 3p core level of Bi2201 using right (σ+) and left (σ-) circularly polarized light, respectively. FFPs that appear at the center of PIAD patterns were plotted on each figure.

どちらも、光のエネルギー $h\nu=883$  eV、運動エネルギー $E_k=800$  eV で測定した。PIAD パターンに現れる中心の FFP の位置をそれぞれの図にプロットした。この 2 点のピーク位置シフト( $\Delta\phi$ ) と励起された銅原子から散乱原子までの距離(R)の実験値と計算値を Table 1 に示す。

Table 1. Calculated and experimental values of  $\Delta\phi$  (°) and R(Å).

	$\Delta\phi$ (°) (計算値)	$\Delta\phi$ (°) (実験値)	R(Å) (計算値)	R(Å) (実験値)
Cu から見た Bi	±2.27	±2.38	4.47	4.44
Cu から見た O	±4.99		2.03	

Table 1 より、実験値が Cu から見た Bi の値に近く、Bi の原子番号が直上にある O の 10 倍大きくて散乱振幅が格段に大きいことを考え合わせ、PIAD パターンの中心の FFP は、励起された銅原子の[001]方向にある Bi によるものであると結論した。次に、Figure 2(a)に Bi2201 の、3(a)に Bi2212 の Cu LMM Auger パターンを示す。どちらも、光のエネルギー $h\nu=932$  eV、運動エネルギー $E_k=914$  eV で測定した。Auger パターンにも前方散乱ピーク(FFP)が現れることが確認できた。前述の様にパターンの中心の FFP は、励起された

銅原子の[001]方向にある Bi によるものである。Bi2201 ではこの FFP の形状は円形であるのに対し、Bi2212 では、b 軸に沿って伸びた楕円の形状をしている。Figure 2(b)と 3(b)はそれぞれ Bi2201 と Bi2212 の Auger パターンの中心の FFPs の a, b 軸方向の断面を示す。Bi2212 では Figure 3(b)に示す様に FFP に異方性が現れており、b 軸に沿った FFP のピーク幅が a 軸よりも広がっている。我々はこの異方性が Bi2212 にのみ見られ、鉛ドープにより変調構造を抑制した Bi2201 には現れていないことから、BiO 面に現れる b 軸に沿った 5 倍周期の変調構造によるものと考察した。この結果は、変調構造を元素の組み合わせごとに観測できたことを示している。

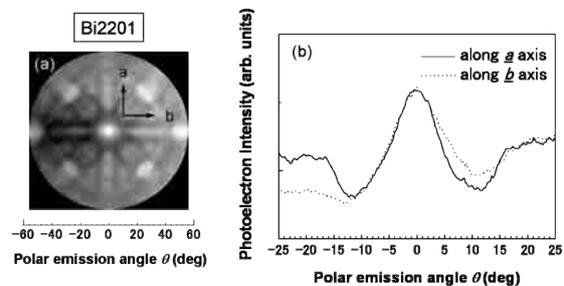


Fig.2 Bi2201 (a) Cu LMM Auger pattern (b) Cross section of central FFP in Auger pattern.

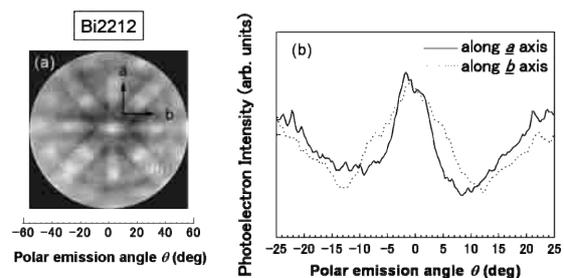


Fig.3 Bi2212 (a) Cu LMM Auger pattern (b) Cross section of central FFP in Auger pattern.

【今後の課題】異なる内殻準位の PIAD パターンには異なる前方散乱ピークの角度分布が現れる。今回の実験では、Pb 4d 内殻準位からの光電子パターンも測定した。Pb 置換位置を決定するため解析を進めているところである。

参考文献

[1] H. Daimon, Phys. Rev. Lett, **86** (2001) 2034.