

が抑えられるような実験条件を見出して希薄ドーブから低ドーブの YBCO の角度分解光電子分光を行い、そのバンド分散を明らかにした。また、LSCO で見られていたような対角方向でフェルミ準位を横切る分散を見出し、この領域における異常な電気伝導度の振る舞いとの関連について議論した。

キャリアドーブによる電子構造の変化を見る方法としては他に、内殻準位の X 線光電子分光による化学ポテンシャルシフトの測定が有用であり、LSCO や Bi2212 等いくつかの物質において成果を上げてきた。本研究では YBCO および $\text{Ca}_{2-x}\text{Na}_x\text{CuO}_2\text{Cl}_2$ (Na-CCOC) についてこの測定を行い、その振る舞いから物質ごとの電子構造変化の違いを議論した。

希薄ドーブから低ドーブの YBCO における Bilayer Splitting の観測

我々は、表面状態の強度が入射光のエネルギーに強く依存することを利用し、その強度を抑えるような入射光エネルギーを用いて希薄ドーブから低ドーブ域の YBCO の角度分解光電子分光を行った。フェルミ準位から ± 20 meV の範囲でを積分したスペクトル強度を運動量空間にてマッピングしたものが図 1 (a)~(c) であり、近似的にフェルミ面の形状を現している。黒丸はフェルミ準位における運動量分布曲線 momentum distribution curve (MDC) のピーク位置である。これをまとめてプロットしたものが図 1 (d) であり、LDA 計算によるフェルミ面も共に示してある。測定結果は LDA の $k_z=0$ におけるフェルミ面に類似しており、バンド分散も LDA 計算とよく一致した。

これは今まで Bi2212 においてのみ観測されていた bilayer splitting が YBCO にも存在し、多層系において普遍的なものである事を示唆している

希薄ドーブ領域における金属的な振る舞い

YBCO は LSCO と同様に希薄ドーブ領域においても高温では電気伝導が金属的 ($dp/dT > 0$) な振る舞いを示す事が観測されている。希薄ドーブ LSCO の ARPES では、ブリルアン域の対角方向にフェルミ準位をよぎる準粒子の分散が観測されており、これが金属的な電気伝導を担っていると考えられている。一方 $(\pi, 0)$ 付近では擬ギャップが開いており、フェルミ面の形状は閉じていないアーク状となる。希薄ドーブの YBCO においても、対角方向で同様の準

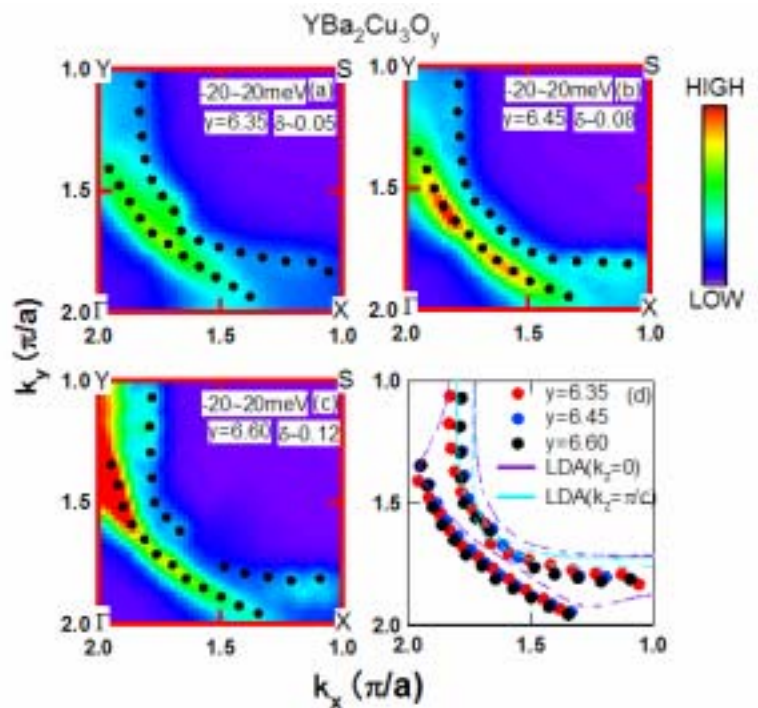


図 1 : (a)~(c)フェルミ準位近傍のスペクトル強度マップ、および MDC から決められたフェルミ運動量。(d) 観測されたフェルミ面と LDA による計算との比較

粒子の分散を観測することができた。図2は対角方向の光電子スペクトルのエネルギー - 運動量空間における強度プロットと、フェルミ準位におけるMDCである。y=6.30以上の組成で準粒子がフェルミ準位をよぎっているのがわかる。さらに、対角線方向のスペクトルから

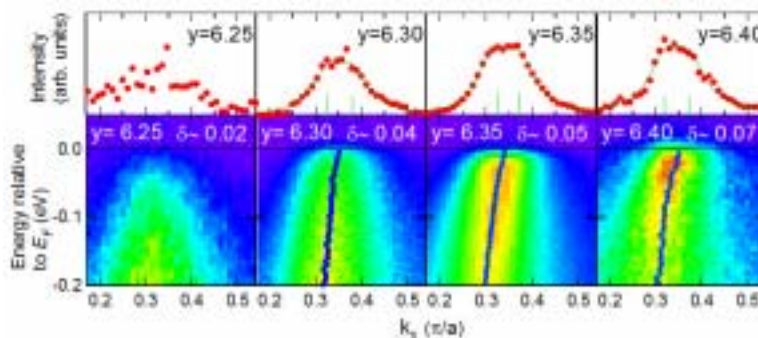


図2 対角方向のスペクトル強度プロットとフェルミ準位におけるMDC

ら得られた平均自由行程の値などを用いて電気抵抗率を見積もり抵抗率の実験値と比較した。y=6.30ではキャリア濃度 n をホール濃度 δ に等しいと仮定すると実験値とよく合うが、ホール濃度が増すと $n=1-\delta$ を仮定した方が実験値とよく合うようになる。これはアーク状のフェルミ面から (π, π) 中心の閉じたフェルミ面への移行を示唆している。

YBCO および Na-CCOC における化学ポテンシャルシフト

キャリアドーピングによる化学ポテンシャルのシフトは、フェルミ準位状態の電子状態の変化を反映して有益な情報を与える。我々はYBCO および Na-CCOC においてX線光電子分光による内殻準位の測定からこれを見積もった。LSCO では低ドーピング域で化学ポテンシャルのピン止めがおこることが報告されており、一方

Bi2212 ではLSCOほど強いピン止めが見られずLSCOより大きなシフトが観測されている。 $t-t'-t''-J$ モデルによると、Bi2212の大きなシフトは第2隣接ホッピング $|t''|$ が大きいこととして説明される。LSCOの強いピン止めについては $|t''|$ が小さいことに加え、周期の変化するストライプ型の電荷秩序があるためとされている。本研究で見積もったYBCOとNa-CCOCの化学ポテンシャルシフトを他の物質の結果と合わせて図3に示す。YBCOとNa-CCOCの大きなシフトは、これらが大きな $|t''|$ を持つとして説明できるが、他にも、YBCOは本研究で観測されたフェルミ面の形状から、Na-CCOCはフェルミ面にそったバンドの分散幅から、それぞれ $|t''|$ が大きいことが示唆される。STMによるとNa-CCOCには $4a_0$

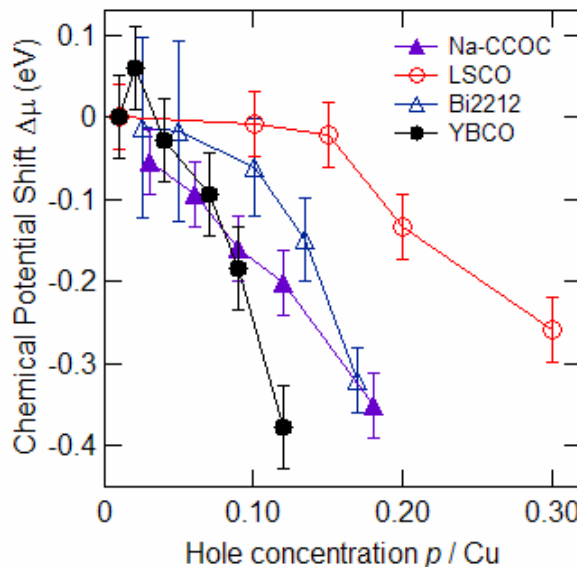


図3 YBCOとNa-CCOC、およびLSCO、Bi2212の化学ポテンシャルシフト

$\times 4a_0$ のチェッカーボード型の電荷秩序があり、これはドーピングによって周期を変えない。このような電荷秩序があると化学ポテンシャルはピン止めされず単調にシフトする事が予想され、測定結果とよく合っている。一方 YBCO では磁気抵抗や電気抵抗率からストライプ型の電荷秩序の存在が示唆されているが、化学ポテンシャルがピン止めされず大きくシフトすることからこれは LSCO の場合と異なり、ドーピングにより周期を変えないと推測される。

まとめ

希薄ドーブから低ドーブ域の YBCO の角度分解光電子分光を行い、そのバンド構造を明らかにした。これまで Bi2212 でしか見られなかった bilayer splitting が観測されたが、これは多層系の高温等伝導体で広いドーピング域で普遍的な振る舞いであると考えられる。また LSCO に見られるように YBCO でもキャリアドーブにより最初に対角方向に準粒子の分散が観測され、それがドーピングにより $(\pi,0)$ まで繋がった大きなフェルミ面となっていくことが示唆された。これらは高温超伝導体に共通の振る舞いであると考えられる。一方、内殻の X 線光電子分光からは YBCO および Na-CCOC の化学ポテンシャルシフトを見積もった。既存の LSCO や Bi2212 の結果と比較し、化学ポテンシャルシフトの物質間の違いは $|t'|$ の違い及び電荷秩序のタイプの違いから説明できることを示した。