

1P017 偏光・寿命幅フリーX線吸収分光の銅高温超伝導体への応用

(東北大多元研¹・東大生研²・JASRI³・東北大金研⁴) ○武田留美¹, 林久史¹, 川田雅輝¹, 佐藤敦¹, 宇田川康夫¹, 七尾進², 河村直己³, 池内和彦⁴, 上藤哲嗣⁴, 山田和芳⁴

【序】 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ と $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ は、それぞれ代表的なホールドーピング型と電子ドーピング型の銅酸化物高温超伝導体であり、その電子状態、とりわけCuまわりの電子状態を詳細に理解することは、材料科学、固体物理学の大きなテーマのひとつである。こうした局所的な電子構造の研究には、X線吸収端微細構造(XANES)分光法が有効で、実際、超伝導体についてもこれまで多くの測定がなされている。^{1,2)} しかし、その電子状態はいまだ十分解明できていない。この原因のひとつとして、XANESの分解能が、内殻寿命幅(Cu1sで約1.6eV³⁾)で制限されていることが挙げられる。最近我々は、共鳴X線非弾性散乱(Resonant Inelastic X-ray Scattering: RIXS)を利用することで、寿命幅による分解能制限のない、高分解能 XANES(寿命幅フリーXANES)を得る方法を開発した。^{4,5)} 今回、この方法を上記の超伝導物質の単結晶に応用したので報告する。

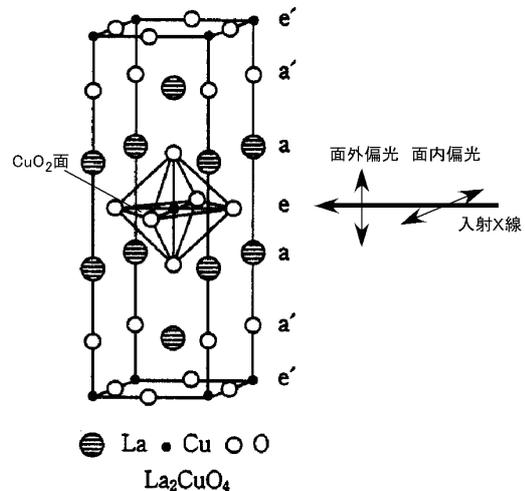


図1 入射X線の偏光方向

【実験】 RIXS 測定は、SPring-8 のビームライン BL39XU に、高分解能 X 線分光器^{4,6)}を持ち込んで行った。図 1 の通り、銅超伝導体が共通に有している CuO_2 面に対して、入射 X 線の偏光方向を変え、面外・面内の 2 方向について RIXS を測定した。実験の詳細は当日報告する。

【理論】 1s 電子の励起に伴う、 $2p \rightarrow 1s$ 領域の RIXS の散乱断面積 $I(\omega_1, \omega_2)$ は、Kramers-Heisenberg 式より、次式で与えられる。⁴⁾

$$I(\omega_1, \omega_2) \propto \int \frac{(dg_{1s}/d\omega)}{\left((\Omega_{1s} + \omega - \omega_1)^2 + \Gamma_{1s}^2 / 4\hbar^2 \right) \left((\Omega_{2p} + \omega_2 + \omega - \omega_1)^2 + \Gamma_{2p}^2 / 4\hbar^2 \right)} d\omega \quad (1)$$

ここで $\hbar\omega_1$ と $\hbar\omega_2$ は入射 X 線と散乱 X 線のエネルギー、 $\hbar\Omega_{1s}$ と $\hbar\Omega_{2p}$ はそれぞれ寿命幅 Γ_{1s} と Γ_{2p} をもつ 1s と 2p 準位のエネルギー、 ω は励起電子のエネルギー、 $(dg_{1s}/d\omega)$ は 1s からの励起電子の振動子強度分布で、これが寿命幅フリーXANES に相当する。本研究の基本方針は、さまざまな $\hbar\omega_1$ で RIXS スペクトル $I(\omega_1, \omega_2)$ を測定し、それを再現する単一の $(dg_{1s}/d\omega)$ を見出すことにある。

【結果】 図 2a と 2b に、 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ ($x=0.20$) の面外・面内それぞれの偏光方向についての、通常の XANES と、図 2a の矢印のエネルギー位置で測定した RIXS スペクトル、ならびに励起エネルギー 9100eV で測定した通常の $\text{CuK}\alpha$ 線を示す。XANESにも RIXSにも、顕著な偏光依存性が見られる。

図 2b の「計算値」は、得られた RIXS スペクトルを再現するよう、(1)式によるシミュレーションを行った結果、得られたものである。計算値が、実験値を大体再現できているのがわかる。

図 2c に、図 2b の「計算値」を導いた $(dg_{1s}/d\omega)$ を、通常の XANES と併せて示す。8990eV より高いエネルギー領域の XANES は、RIXS の形状にほとんど影響しなかったため、ここでは表示していない。どちらの偏光方向でも、 $(dg_{1s}/d\omega)$ は通常の XANES に大体対応しているが、様々なスペクトル構造が、よりはっきりと現れている。例えば、面外遷移成分を比べてみると、8983eV 付近のショルダーが、 $(dg_{1s}/d\omega)$ ではテラスを形成している。また面内遷移成分では、通常法ではぼんやりとしかみえない 8976eV 付近の構造が、明確なピークとして現れている。こうした結果は、通常法では困難な^{1,2)} Cu K-XANES の微妙な濃度依存性を、寿命幅フリー分光によって追いうることを示唆している。当日は、 $x=0.11, 0.25, 0.27, 0.29$ について、上記と同様の測定・解析から得られた $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の寿命幅フリー-XANES を、 $\text{Nd}_{2-x}\text{Ce}_x\text{CuO}_4$ の結果⁵⁾と比較しながら、詳しく報告したい。

【参考文献】

- 1) J. M. Tranquada et.al. Nature, 337, 720 (1989).
- 2) G. Liang et.al. Phys. Rev. B, 51, 1258 (1995).
- 3) M. O. Krause et.al. J. Phys. Chem. Ref. Data, 8, 329 (1979).
- 4) H. Hayashi et.al. Phys. Rev. B, 68, 45122 (2003).
- 5) H. Hayashi et.al. J. Electron Spectrosc. Relat. Penom., 136, 199 (2004).
- 6) H. Hayashi et.al. J. Electron Spectrosc. Relat. Penom., 136, 191 (2004).

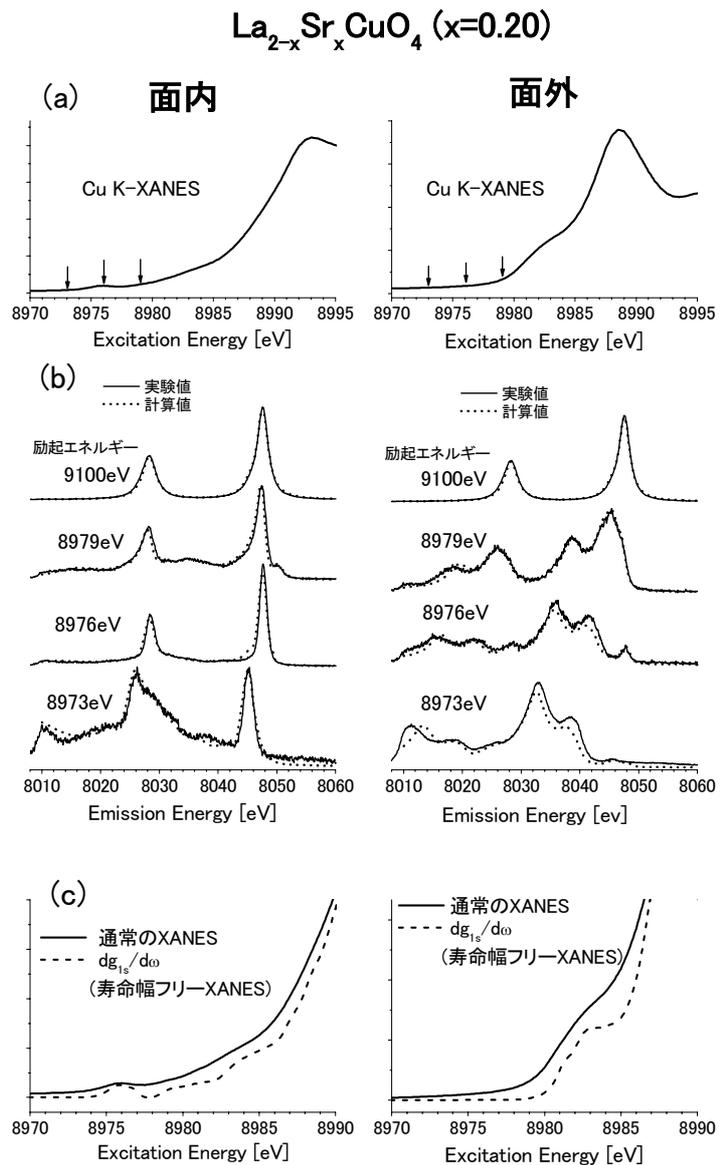


図 2 $\text{La}_{1.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CuO}_4$ の XANES、RIXS、寿命幅フリー-XANES