

2013 年度 修士論文要旨  
共鳴非弾性 X 線散乱の高エネルギー分解能化と強相関電子系への応用

関西学院大学大学院理工学研究科  
物理学専攻 水木研究室 黒岡 雅仁

遷移金属酸化物を代表とする強相関電子系は、多くの特異な物性が現れることで知られており、その物性発現の機構解明は固体物理の重要なテーマの 1 つである。これら物性の機構を解明するためには強相関電子の電子状態を調べることが重要であり、その中でも、電子の自由度の 1 つである電荷の動的相関を観測するに当たって強力な手法が、共鳴非弾性 X 線散乱(RIXS: Resonant Inelastic X-ray Scattering)である。RIXS とは、入射 X 線によって励起された内殻電子の緩和過程で放出される X 線を分光する手法であり、入射光と散乱光の差としてそのエネルギー、運動量空間の情報を得ることが出来る。非弾性散乱は強度が非常に弱く、球状のアナライザー結晶によるブラッグ反射を利用して検出器へ集光し、強度を稼ぐ必要があり、加えてこの際のエネルギー分解能を向上させるためには後方散乱に近づける必要がある。しかし、アナライザー結晶がある程度の大きさの完全結晶が得られるものに限られることと、利用する吸収端エネルギーに合わせた面が必要であることから、ブラッグ角は制限を受け自由に選択することは出来ない。そのためにエネルギー分解能の低下を甘受することとなる。しかしエネルギー分解能の向上は、物質の物性に深く関わるフェルミレベル近傍の電子の励起を観測するために必要不可欠であり。そのために我々は光学系を改良することで、観測強度を維持しつつ RIXS 実験の高エネルギー分解能化を目指した。RIXS の光学系では単色化された X 線をサンプルに照射し、その散乱光を上記で述べたようにアナライザーによって集光し、検出器で計測する。これら光学系の装置の中で、エネルギー分解能に大きく影響するのが、アナライザーと検出器である。アナライザーと検出器はサンプルと共にローランド円と呼ばれる円上に配置することで、アナライザーのブラッグ反射によって検出器へと集光する役割を果たす。本研究では新たにアナライザーを作製し、位置分解能を持つピクセル検出器と組み合わせた光学系を用いることで RIXS 実験の高エネルギー分解能化を行った。アナライザー作製の際には湾曲時にかかる負荷を軽減するために賽の目状に加工するが、それだけでは結晶のブロック 1 つ 1 つの表面が湾曲されず、場所によってブラッグ角の違いが生じる。そこで、位置分解能のあるピクセル検出器を用いることで、そのブラッグ角の違いを検出器上で認識してやることでブロックサイズの寄与をなくすることが出来る。本研究では、作製したアナライザーを用いて銅酸化物高温超電導体の関連物質である  $\text{Ca}_{2+x}\text{Y}_{2-x}\text{Cu}_5\text{O}_{10}$  (CYCO) に対して RIXS 実験を行い、過去のデータとの比較、運動量依存性の測定を行った。またアナライザー結晶の形状測定を行いその作製精度を評価した。

結果として、今回の実験では過去の湾曲結晶を用いた実験と比べて格段にエネルギー分解能を向上させることに成功した( $400\text{meV} \rightarrow 130\text{meV}$ )。図 1 の矢印部分に注目すると弾性散乱の裾が抑えられ、 $0.8\text{eV}$  のピークの低エネルギー側がよりはっきりと観測出来ていることがわかる。また、主に測定を行った低温下では  $105\text{meV}$  とさらに高い分解能が達成された。この物質では新たな励起は観測されなかったが、他の銅酸化物系物質についても同様に測定を行うことで、今まで観えていなかったより低エネルギー励起の観測が期待出来る。また、アナライザー結晶については精度に改善の余地があり、加えて新たなピクセル検出器の導入も控えており、今後更なる高分解能化も見込まれる。

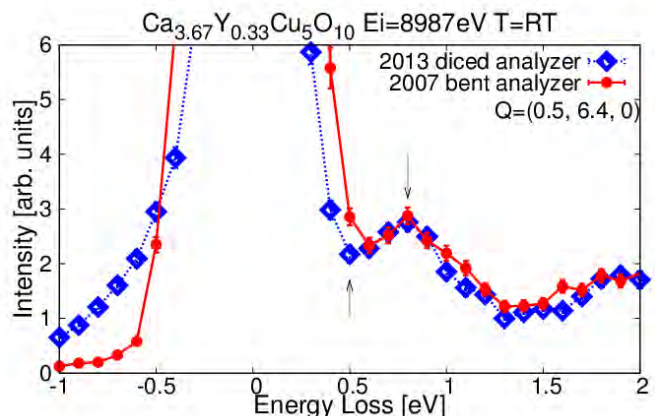


図 1. CYCO の RIXS スペクトル