

共鳴非弾性 X 線散乱を利用した銅酸化物の電子励起観測

量子科学技術研究開発機構放射光科学研究センター

石井賢司

SPring-8 などの第三世代放射光施設からの高輝度光源を利用した共鳴非弾性 X 線散乱 (Resonant Inelastic X-ray Scattering, RIXS) は、主にはエネルギー分解能の向上により、この二十数年の間に著しい発展を遂げてきた。最近では、NanoTerasu において世界最高のエネルギー分解能を有する装置[1]が稼働を開始し、さらなる飛躍が期待されている。

RIXS は運動量分解能、元素選択性、バルク敏感性などの特長を有する電子状態の観測手法として遷移金属化合物を中心に様々な系に適用されている。中でも RIXS を用いた研究が数多く行われてきたものの一つが銅酸化物である。物性に興味を持たれる多くの銅酸化物中に含まれる+2 価の銅はスピン 1/2 を持ち、高温超伝導体の母物質は二次元正方格子上でそのスピンの秩序化した反強磁性体である。そこに電気伝導を担うキャリアを導入することでスピンとキャリアが協力して超伝導が発現すると考えられている。RIXS のエネルギー分解能向上に合わせてキャリアの動きに対応する電荷励起[2-5]およびスピンの動きに対応するスピン励起[6,7]を調べていくことで、100 meV 以上のエネルギースケールにある電子ダイナミクスの階層性が明らかになった。今後、NanoTerasu を活用してさらに低エネルギー側、銅酸化物では超伝導のエネルギースケールに相当する 10-100 meV の励起の観測が期待される。

銅酸化物は低次元磁性の研究対象としても RIXS の測定が行われている。反強磁性相互作用が働くスピン 1/2 一次元系のスピン励起は、ある運動量に対して様々なエネルギーをとることができる連続帯となり、運動量に対してエネルギーが定まったマグノンとなる二次元、三次元系とは大きく異なる。これまで一次元系の連続帯はスピン反転励起が可能な中性子非弾性散乱や L 吸収端 RIXS で観測が行われてきたが、最近我々が行った一次元スピンを有する Sr_2CuO_3 の研究では、スピンを 2 つ反転させ全スピンを保存する銅 K 吸収端の RIXS でも同じ連続帯が観測でき、スピンを 1 つ反転させる中性子非弾性散乱や L 吸収端 RIXS とは励起強度の運動量依存性が異なることを見出した[8]。この結果は、銅 K 吸収端 RIXS ではマグノンが禁制となる二次元、三次元系のスピン励起とは対照的である。

参考文献

- [1] <https://www.qst.go.jp/site/press/20240918.html> [2] K. Ishii et al., Phys. Rev. Lett. **94**, 207003 (2005). [3] S. Wakimoto, K. Ishii et al., Phys. Rev. B **87**, 104511 (2013). [4] K. Ishii et al., Phys. Rev. B **96**, 115148 (2017). [5] K. Ishii et al., J. Phys. Soc. Jpn. **88**, 075001 (2019). [6] K. Ishii et al. Nat. Comm. **5**, 3714 (2014). [7] S. Wakimoto, K. Ishii et al., Phys. Rev. B **91**, 184513 (2015). [8] K. Ishii et al., arXiv:2507.22492.