

読者の広場

Q&A

Q: 「最近、高温超伝導体で電子と格子振動が強く結合する仕組みが解明されたと聞きましたが、より高温での超伝導実現の可能性はあるのでしょうか？」

A: 一般に、超伝導は、電子と電子の間に何らかの引力がはたらいて電子対が形成され、その電子対が凝縮することで発現します。鉛やニオブなどの通常の超伝導体では、格子振動が電子と電子をつなぐ「のり」の役割をしていることが判明しています。銅酸化物系の超伝導体でも、格子振動は「のり」の有力候補と考えられていますが、もしそうだとすると、電子と格子振動が通常の数倍の強さで結合していないかぎり、超伝導転移温度の「高さ」を説明できません。



図1 広島大学放射光科学センター (HiSOR)

そこで私たちは、角度分解光電子分光という手法で、銅酸化物系の高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ から直接電子を取り出して分析し、電子と結合する振動の周波数分布を調べました。光源として、広島大学放射光科学センターの高輝度シンクロトロン放射光を利用することで、従来より格段に高い精度で実験することができました(図1)。その結果、キャリア濃度が低下して絶縁体相に近づくとともに、格子振動の低周波成分と電子の結合が、急激に増大し十分な強さに達することがわかりました。図2に示すように、通常の金属では、電荷が周りの電子の素早い動きによってほとんど遮蔽されてしまうため格子振動との結合は弱いですが、高温超伝導体では、絶縁体相の近くで電子による遮蔽が急減することが観測され、これが電子と低周波格子振動が強く結合する原因であると解明されました。

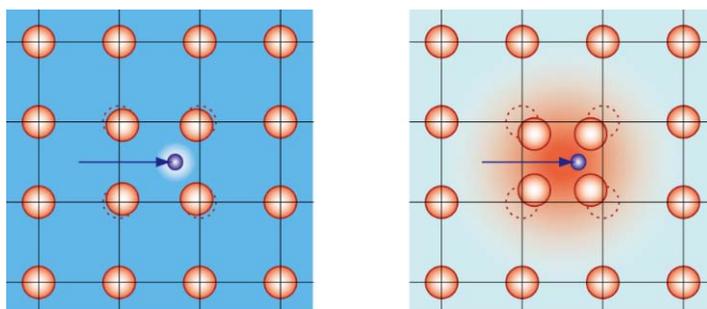


図2 電子と格子振動の結合の模式図。(左) 通常の金属の場合。(右) キャリヤー濃度が低い場合。

さて、より高温での超伝導実現についてです。今回、電子と格子振動の結合強度は、キャリア濃度を下げるほど大きくなることがわかりました。しかし、実際の超伝導転移温度は、キャリア濃度が銅原子当たり 16 %くらいで最大となり、それ以下の濃度では逆に転移温度が下がってしまいます。電子格子結合は十分に強いのですから、他に超伝導発現を阻害している要因があるはずで、それを取り除くことができれば転移温度は上がるはずで、今のところ、電子対の密度の不足が原因で凝縮できないという説が有力です。そうすると、低いキャリア濃度で実現する強い電子格子結合を残しつつ、電子対の密度を増やそうというのは、非常に難しい課題です。しかし、個人的には、これらを両立できる可能性はあると思います。具体的には、例えば、強結合層と高濃度電子対層を組み合わせたヘテロ接合を、エピタキシャル多層膜などの形で作製することができれば、より高温での超伝導実現が期待できると考えています。

回答者：広島大学 大学院理学研究科 助教 井野明洋 様

[超電導 Web21 トップページ](#)