

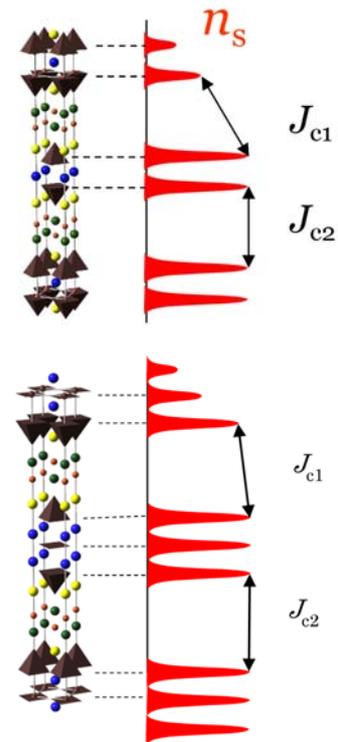
集積機能工学講座

<http://sk.kuee.kyoto-u.ac.jp>

「固有ジョセフソン特性で見た銅酸化物高温超伝導体の銅-酸素原子面多層構造」

1986年に発見された銅酸化物高温超伝導体は実現が容易な液体窒素の沸点程度の温度で超伝導になることから、様々な超伝導現象の工学的な応用を現実的にしました。一方学術的な意義として、超伝導・電子相関現象に関する数多くの真実が明らかになっただけでなく、実験技術の飛躍的な向上が物質科学全般における新発見・新概念をもたらしました。物質を構成する単位胞をさらに細かく分割して、それぞれの機能を元に物質を設計する手法は、化学と物理が強く結びついた結果であり、最近実用化されつつある新素材は、高温超伝導の発見と深く関係しています。層状の結晶構造を有する銅酸化物高温超伝導体において、超伝導キャリアは ab 面方向に広がる CuO_2 層に局在しています。 CuO_2 層が積層する c 軸方向の超伝導は、トンネル現象であるジョセフソン効果が担っており、ジョセフソン結合の強さが超伝導異方性を決定しています。このように、超伝導体の結晶構造に由来するジョセフソン接合を固有ジョセフソン接合と呼び、BSCCO ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+\delta}$, $n=1-3$) など異方性の高い超伝導体で、 c 軸伝導はジョセフソン効果に由来する多彩な振る舞いを示し、超伝導現象に関する知見だけでなく、デバイス応用への可能性を提供します。BSCCOには、単位胞あたりの CuO_2 原子面の枚数 n が 1-3 と異なる、3種類の物質があります。私たちは、これら3種類のBSCCO超伝導体を用いて、 CuO_2 原子面の枚数によって本質的に異なる現象を解明しました。

私たちの研究室で独自に開発した、原子レベルでの制御が可能な微細加工法を用いて作製した試料の超伝導転移における電気抵抗のふるまいや、電流電圧特性を詳細に調べてみると、 CuO_2 原子面が2枚である Bi2212 ($T_c < 90\text{K}$) と3枚である Bi2223 ($T_c < 110\text{K}$) では、明らかな違いがあることがわかりました。超伝導体に超伝導でない常伝導金属を蒸着法などによりマイクロに密着させると、超伝導体中の超伝導電子が常伝導金属に染み出します。この近接効果の影響が Bi2212 に比べて Bi2223 は顕著に弱くなり、 n の増加に伴う超伝導層の厚さの増加から推測される量を大きく上回る減少となることがわかりました。このことは、超伝導電子は複数の CuO_2 原子面から構成される超伝導層全体に一様に分布しているのではなく、 CuO_2 原子面内に局在していると考えられることで説明ができます。また、ジョセフソン接合における位相のトンネル現象にもこのモデルで説明できる現象が観測されています。超伝導層の薄い $n=1, 2$ の場合は、隣接する接合における位相差の強い結合を示す量子トンネル現象が観測されました。一方で、 $n=3$ の場合には、隣接する接合間の強い結合を示す結果は得られませんでした。このような、超伝導層内部に、超伝導電子の局在が顕著に表れている例は、これまでに報告されておらず、今後、固有ジョセフソン現象の説明には、超伝導層内部の構造を取り入れた詳細な理論の構築が必要であることが提案されました。



図： Bi2212 (左) および Bi2223 (右) の結晶構造と超伝導電子濃度 n_s の分布と最大ジョセフソン電流 J_c の関係