文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞して

極限コヒーレント光科学研究センター　　近藤 猛

この度、科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞を受賞する栄誉に恵まれました。本受賞の対象となった「酸化物高温超伝導体における擬ギャップ状態の研究」は、水谷宇一郎先生の研究室(名古屋大学)において、竹内恒博先生指導の学生として単結晶試料を作成し、それを用いて辛埴先生のグループと共同研究を開始したことが発端となり花開いた研究です。水谷宇一郎先生、竹内恒博先生、辛埴先生、Eric Hudson先生、Adam Kaminski先生、をはじめとする数多くの方々との協力により結実した成果であり、この場を借りて皆様に深く感謝申し上げます。以下、その研究内容について簡単にご紹介いたします。

絶縁体である銅酸化物にキャリアを注入したときに発現する高温超伝導は、20世紀後半の物理学の最大の発見の1つであり、過去 30 年にわたって世界中で精力的な研究が行われてきました。特に、他の超伝導体と異なる著しい特徴として、超伝導転移温度よりも高温から電子系のフェルミエネルギー近傍の状態密度が抑制される「擬ギャップ」と呼ばれる現象が注目を集めています。キャリア濃度が低い場合により顕著になるこの擬ギャップ現象について、二つの説の間で長年にわたって論争が繰り広げられてきました。第1は、擬ギャップの原因は超伝導の前駆現象である電子対生成にあるという考え方です。通常は電子対が生成されると位相が全てそろって超伝導が発現しますが、銅酸化物では、超伝導が消失する高温においても位相のそろわない電子対が存在する温度領域があり、この領域で超伝導状態と同様な電子対生成によるエネルギーギャップが観測されていると考えます。第2は、擬ギャップは電荷密度波など超伝導とは異なる電子系の秩序によって発生するという考え方で、この場合、擬ギャップ状態は超伝導と競合すると考えられます。我々は、キャリア濃度の異なる一連のビスマス系銅酸化物に対して詳細かつ精密な角度分解光電子分光実験を行い、この問題を解決しました。

我々はまず、超伝導転移温度 T_c と擬ギャップが現れる温度 T^*が大きく異なる単層物質(単位胞中に 1 層の銅酸素面を含む物質)を対象として、低温の超伝導状態におけるエネルギーギャップをフェルミ面上のさまざまな方向に対して測定しました。そしてエネルギーギャップの異常な方向依存性から、 d波対称性を持つ超伝導ギャップとは別に、これより遥かに大きなギャップが存在すること、即ちエネルギーギャップに 2 成分あることを見出し[1]、後者が高温(T^*)まで残る擬ギャップであることを示しました。また、擬ギャップが発達する方向(アンチノード方向)で、超伝導を特徴づける光電子スペクトルのコヒーレンスピークの強度が著しく抑制されることから、超伝導と擬ギャップが互いに競合しつつ、フェルミ面上の異なる領域で発達することを明らかにしました[2]。次に、単層、及び 2 層の物質系について光電子スペクトルから得られる状態密度の温度変化を系統的に調べることにより、電子対生成によるギャップが T_c より高温(T_{pair})で生じていることを突き止め、ギャップの 2 成分描像を更に強固なものとしました[3]。即ち、上記の二つの考え方は相反するものではなく、共存する2種類のギャップのそれぞれの特徴をとらえたものであるという結論です。更に最近、2 層物質系において、擬ギャップが現れないノード方向近傍の光電子スペクトルの詳細な解析を行い、T_cの約 1.5 倍の温度を境に、フェルミ面上のノード近傍のかなり広い領域において d 波対称性を持つ電子対ギャップが発生することを見出しました。この電子対ギャップは T_c 以下で連続的に超伝導ギャップにつながり、このことから、T_c より高温から位相のそろわない電子対が存在するという銅酸化物超伝導体の著しい特徴が微視的に証明されました［4］。我々は同時に、電子間の散乱確率によって T_c が決定される機構に関する現象論的なモデルを提案しました。この結果は、レーザーを光源とする光電子分光によって、従来に比べてエネルギー分解能を一桁近く改善することで初めて得られた超精密なデータに基づいています。

[関連論文]

[1] T. Kondo *et al.*, *Physical Review Letters* **98,** 267004 (2007).

[2] T. Kondo *et al.*, *Nature* **457**, 296 (2009).

[3] T. Kondo *et al.*, *Nature physics* **7**, 21 (2011).

[4] T. Kondo *et al.*, *Nature communications* **6**, 7699 (2015).