

鉄を含む新型高温超伝導体の超伝導ギャップと擬ギャップの直接観測に成功

今年 2 月に東京工業大学の細野秀雄氏らによって発見された鉄系新型超伝導体 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ (図 1) は、その高い超伝導転移温度 ($T_c=32\text{K}$, 圧力下では 43K) に加え、これまで超伝導を壊すと考えられてきた鉄を主成分とする化合物で超伝導が発現したという点から、大きな注目を集めている。細野氏の報告を受けて、現在、世界中でより高い T_c を持つ類似物質の開拓とその超伝導機構解明の研究が爆発的に進んでいる。発見後 3 ヶ月の現時点において、 T_c は既に 50K を越え、超伝導物質としては、7 年前に同じく日本で発見された金属系高温超伝導体 MgB_2 ($T_c=39\text{K}$) を遙かに越え、22 年前に発見され超伝導フィーバーを引き起こした銅酸化物高温超伝導体に次ぐ高い T_c を実現している。この急上昇を続ける T_c の一方で、鉄の磁性と高い T_c との関係はまだよく分かっていない。基礎科学的立場からも、また、今後より高い T_c を持つ物質を開発する産業応用の立場からも、この新鉄系高温超伝導体の超伝導機構の解明が急がれている。

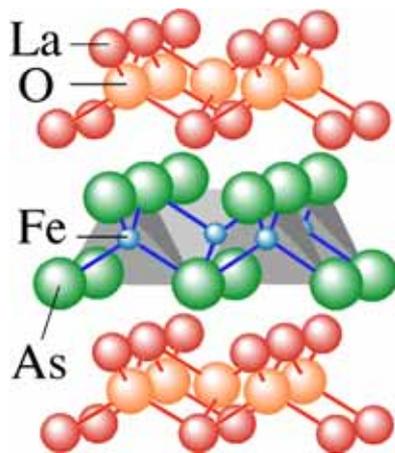


図 1: 鉄系新高温超伝導体の母物質 LaFeAsO の結晶構造。酸素の一部をフッ素で置換する事によって超伝導が発現する。

超伝導機構を解明するためには、超伝導電子対の対称性を決定する事が不可欠である。その点で、物質の表面に高輝度紫外線を照射して外部光電効果により物質外に放出される電子のエネルギーを精密に測定する光電子分光(図 2)は、非常に強力な実験手法である。東北大学大学院理学研究科の佐藤宇史氏と同原子分子材料科学高等研究機構の高橋隆氏らの研究グループは、東工大の細野氏のグループと共同で、 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ の超高分解能光電子分光を行い、超伝導ギャップの直接観測に初めて成功して、ギャップ形状が従来型の等方的 s 波対称性では説明できないことを見出した。この結果は、日本物理学会発行の英文学術誌 *Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)* の 2008 年 6 月号に掲載される。

本研究では、東北大学において建設改良を進めてきた超高分解能光電子分光装置を用いて、 $\text{LaFeAs}(\text{O}_{1-x}\text{F}_x)$ 超伝導体 ($x=0.07, T_c=24\text{K}$) のフェルミ準位近傍の電子状態を精密に決定した。実験的に決定した状態密度とバンド計算との比較の結果、フェルミ準位近傍の電子は主

に Fe の 3d 軌道によって構成されていることが分かった。このことは、超伝導と相性が悪いと考えられてきた鉄の電子自体が超伝導を担っていることを示している。また、 T_c 以下で約 4 meV の超伝導ギャップを直接観測することに成功し、ギャップ形状が従来型金属系超伝導体の示す s 波対称性とは明確に異なっていることを見出した。このことから、超伝導機構が従来型 BCS モデルの枠組みでは説明できないと結論した。さらに、 T_c 以上において温度変化を測定した結果、状態密度が結合エネルギー 15-20 meV から急激に抑制される「擬ギャップ」が観測され、 T_c より遥か上の 100 K 程度まで残っていることが明らかになった。類似の擬ギャップは銅酸化物高温超伝導体でも観測され、その高い T_c を実現している超伝導の前駆現象とも考えられており、この結果は、今後、鉄系超伝導体の機構解明とより高い T_c を持つ物質探索に大きな指針を与えると考えられる。

今回の研究は、これまで超伝導と縁がないと考えられてきた鉄の電子自身が高い T_c を持つ超伝導を実現し、さらにその超伝導機構が非従来型であることを示したものとして研究者の大きな注目を集めている。今後は、今回の研究結果に基づいて、この鉄系超伝導体において磁性と超伝導の競合/共存と高い T_c との関係についての研究が進むものと期待される。

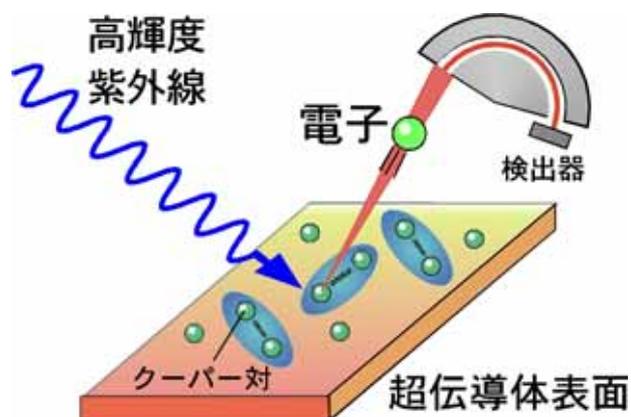


図 2: 超伝導体の光電子分光の概念図。

論文掲載誌: J. Phys. Soc. Jpn. 77 (2008) No. 6, p. 063708

電子版: <http://jpsj.jpap.jp/063708> (6月10日公開)

< 情報提供: 佐藤宇史、高橋 隆 (東北大学) >