
北海道大学大学院理学研究院
物理学部門
高圧物理学研究室
High Pressure Physics Laboratory, Department of Physics,
Graduate School of Science, Hokkaido University

(1) 研究室の概略

北海道大学大学院理学研究院・物理学部門・高圧物理学研究室では、銅酸化物における高温超伝導の発現機構の解明を目指して、その代表的な物質である $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (La214) や $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ (Bi2212) 等の電子物性の研究に取り組んでいます。研究室名は高圧下での物性研究を行う研究室として発足した当時の名称を引き継いでいますが、現在の主力測定手段は原子スケールの高い空間分解能を有する走査型トンネル顕微鏡 (STM) 用いたトンネル分光 (STS) であり、常圧下での研究が中心です。研究室には (H24 年 9 月現在)、3 名のスタッフ (伊土政幸、黒澤 徹、小田 研) に加え、6 名の学生が在籍しており、これらのメンバーで銅酸化物高温超伝導体の単結晶作製、STM/STS 実験、電子比熱測定等を行っています。また、運動量空間での電子状態に関する情報が得られる角度分解光電子分光 (ARPES) 装置を立上中であり、将来的には STM/STS と ARPES を合せて実空間と運動量空間の双方から電子物性の研究が出来るようにしたいと考えています。

(2) これまでの成果、最近のトピックス

銅酸化物高温超伝導体の大きな特徴の一つは、擬ギャップと呼ばれるギャップ様構造が T_c より高温の T^* 付近から低温で電子系のエネルギー・スペクトルに形成されることです。擬ギャップは、その発見当初 (1990 年代初め) から最近に至るまで、「超伝導ギャップの前駆的な現象か、あるいは、超伝導とは競合する新たな秩序 (隠れた秩序) によるか」を巡って活発に議論されてきました。これまでの ARPES 実験から、擬ギャップは k -空間のゾーン境界に位置する $(\pi, 0)$ 近くのフェルミ面に T^* 付近から形成され、擬ギャップ状態 ($T_c < T < T^*$) でのフェルミ面は $(\pi/2, \pi/2)$ 付近を中心とするアーク状 (フェルミ・アーク) になることが知られています。10 年以上前になりますが、私達のグループは、Bi2212 の STM/STS 実験で、擬ギャップが $(\pi, 0)$ 付近のフェルミ面に開くのに対して、超伝導転移に実効的な d 波の超伝導ギャップ (有効超伝導ギャップ) は主にフェルミ・アークに形成されることを指摘しました。このような 2 種類のギャップが一つのフェルミ面を分けて形成されること (フェルミ面の二分性) は、ARPES の結果とコンシステントです。また、最近の STM/STS 実験では、ギャップの空間的不均一や新奇な電荷秩序が観測されており、これらの現象は “フェルミ面の二分性” との関係から精力的に研究されています。

私達のグループは、Bi2212 における最近の STM/STS 実験で、 $(\pi, 0)$ 付近のフェルミ面に形成される大きなエネルギー・スケール (超伝導ギャップの数倍) の擬ギャップは電荷秩序に由来すること、また、電荷秩序が著しく発達する試料では、擬ギャップがナノメータ・スケールで空間的に不均一であることを示しました。不均一な擬ギャップを伴った電荷秩序は、 T_c より低温でも存続し、フェルミ・アークで起こる均一な超伝導と実空間で共存します。さらに、フェルミ面を二分して形成される擬ギャップと超伝導ギャップは競合関係にあり、このことが擬ギャップ/電荷秩序の発達が顕著となるアンダードープ領域における T_c 低下の原因であることも分かりました。一方、最近行った Bi2212 の光誘起超伝導-非超伝導転移における準粒子ダイナミクスに関するポンプ・プローブ分光実験 (北大・応物 (戸田グループ)、ヨゼフ・ステファン研究所 (ミハイロヴィッチ・グループ) との共同研究) では、高強度のポンプ光超短パルスを試料表面の一部に照射すると、超伝導が局所的に破壊され、同時に擬ギャップ/電荷秩序もある程度抑制されますが、その後の超伝導の形成は擬ギャップ/電荷秩序が元の状態にほぼ回復した時点から始まることを示唆する結果が得られました。したがって、擬ギャップ/電荷秩序は、超伝導と単なる競合関係にあるのではなく、超伝導の発現に必要な電子系の性質と考えられ、その起源の解明は銅酸化物における高温超伝導の発現機構を理解する上で重要と言えるわけです。

(3) 連絡先

〒060-0810 札幌市北区北12条西8丁目 北海道大学大学院理学研究院・物理学部門・高圧物理学研究室
小田 研
e-mail: moda@sci.hokudai.ac.jp Tel: 011-706-3575