

論文審査の結果の要旨

氏名 石角元志

本論文は全8章からなり、第1章は序、第2章は背景、第3章目的、第4章は実験方法と試料評価、第5章は実験結果及び解析、第6章は考察、第7章は結論、第8章は付録が書かれている。

内容は、銅酸化物高温超電導体の光学応答について以下の様に述べられている。

近年、高温超伝導体の特異な物性としてナノメートルスケールの電子状態の不均一性が注目されている。2000年頃から、卓越したSTM/STS技術を持つ米コーネル大 J. C. Seamus Davis グループは内田研究室との共同研究で高温超伝導体 $\text{Bi2212}(\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta})$ のナノメートルスケール不均一電子態を明らかにしてきた。 CuO_2 面の高温超伝導状態はコヒーレンス長程度の長さで超伝導領域と擬ギャップ領域に相分離しているように見える。ところが、STM/STS 測定は表面敏感なプローブであり、観測された不均一電子状態は表面状態のみを反映し、バルクの性質ではない、という疑問が常に存在する。光学測定はバルクなプローブであり、不均一電子状態がバルクの性質なのか検証することが出来る。そこで本研究ではこの Bi2212 をバルクプローブ(赤外分光)で観測し、このことを検証することを目的とした。 Bi2212 は非常にへき開性の良い物質であり、表面敏感なSTM/STS やARPES などの測定に適しており、これまでの多くの蓄積された研究データがある。一方、ドーピング量が狭い範囲までしか振れない、カチオン組成の不安定性があり結晶の乱れを含んでいる、という問題がある。本研究では、この問題を克服したドーピング量と面外乱れの二つをパラメータとした試料を作成し、以下の方針に従って研究を遂行した。

- (1) 単結晶試料作成とドーピング制御、
- (2) STM/STS の測定(共同研究)
- (3) 作成した試料の光学測定を行い、STM/STS 測定結果と合わせて比較・検討する。

以下、実験結果・考察及び結論を示す。

(1) 試料作製に関して

Bi2212 でアンダードーピング域～オーバードーピング域まで広くドーブ量を振った単結晶試料 ($0.10 < n_h < 0.24$) が作成出来ることを実証した。

(2) STM/STS 観測

これらの試料に対してSTM/STSを用いたミクロな電子状態の観測が米国コーネル大学 Davis グループ(Bi2212)及び産総研 AIST の柏谷-杉本 グループ(Bi2201)で行われ、i)ドーピング量の増加とともに超伝導領域の割合が増大し、非超伝導擬ギャップ領域が減少していく。ii) ギャップの不均一性は面外の乱れ、過剰酸素及び、Sr サイトに置換された Bi が作り出していると考えられる。iii) SrO 層の乱れは、より大きな影響を CuO_2 面に与える、という不均一電子状態のドーピング・面外乱れの依存性を明らかにした。

(3) 光学スペクトルと STM/STS の比較

Bi2212 のアンダードーピング域～オーバードーピング域の試料を用意し光学測定を行った。常

伝導状態では、ノード準粒子の作るDrude 項の成分の重さがドーピングとともに急激に増大し、電気抵抗率等の輸送現象のドーピング依存性に対応し、一方超伝導状態での残留伝導度は同じ試料に対してSTM/STSで観測されたナノメートル不均一性と相関している。その理由は、不均一性の長さスケールが超伝導コヒーレンス長(10-30 Å)とほぼ同じであり、不均一超伝導状態はランダムなジョセフソン接合ネットワークとみなせるのではないかという考察を行った。

Bi2212、Ln-Bi2201両物質系の最適組成において面外乱れの光学伝導度に及ぼす影響を調べた。面外乱れの光学伝導度に及ぼす影響はBi2212の場合、超伝導状態では遠赤外領域において見られ、Ln-Bi2201の場合は常伝導状態においても違いが観測され、超伝導状態のスペクトルは残留伝導度に支配されている。この違いは導入された乱れの程度は同じでもCuO₂面二枚の場合は一枚に比べ乱れが与える影響が半減しているためだと考えられる。

Bi2212 のアンダードーピングされた試料を用いて、CuO₂ 面へのドーピングを減らしたときに面外乱れの影響を調べた。面外乱れが軽減されている試料の方が、乱れの入っている試料に比べ残留光学伝導度成分が小さくなる。又、光学伝導度がゼロに近づいている様子が見られ、超伝導応答が見られた。これらの結果より、不均一ジョセフソン接合モデルから残留光学伝導度STM/STS観測を反映していると解釈し、不均一電子状態はバルクの性質であることを検証した。

以上のように、本論文で行われた研究は、Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+δ}物質系超伝導体について、ドーピング量による超伝導特性の変化と面外乱れの関係を初めて明らかにした。結果は Bi2212 および Bi2201 系超伝導の機構解明に重要な知見を提供するばかりでなく、広く銅酸化物高温超伝導体の理解の基礎を与えるものである。なお、本論文の一部は、藤田和弘、小島健児および内田慎一との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験および考察を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（理学）を授与できると認める。

最終試験の結果の 要 旨

氏名 石 角 元 志

成績 合 格

本委員会は、論文提出者に対し平成 19 年 2 月 1 日、学位論文の内容及び関連事項について、口述試験を行った。

その結果、論文提出者は、物理学特に固体物理学について博士(理学)の学位を受けるにふさわしい十分な学識を持つ者と認め、審査委員全員により合格と判断した。