

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 掛下 照久

本研究の対象となった T\*型銅酸化物超伝導体は、正孔ドーパ型の  $T-La_{2-x}Sr_xCuO_4$  と電子ドーパ型  $T-Nd_{2-x}Ce_xCuO_4$  と並んで最も単純な結晶構造を有している。しかしながら、その物性面での研究は、1989 年の発見以来、殆ど進展していない。その理由は、単結晶試料作製とドーピング制御が極めて困難であったからである。本研究では、T\*型物質  $SmLa_{1-x}Sr_xCuO_4$  及び  $Nd_{2-x}Sr_xCe_yCuO_4$  の単結晶作製技術を TSFZ (溶媒移動浮遊帯域溶融) 法を用いて確立させるとともに、高圧酸素アニールによりドーピング量を制御し、優れた超伝導特性を示す試料を作成することに成功した。これらの試料を用いて、サブミリ波、遠赤外波長領域、いわゆるテラヘルツ帯の超伝導光学応答を測定し、理論的に予想されていたジョセフソン・プラズマの横励起モードの存在を検証、解析した。

本論文は、7 つの章からなる。第 1 章では、序章として、本研究の動機として、T\*型超伝導体研究がこれまで殆ど行われてこなかった背景、その実験場の困難さが述べられている。

第 2 章は、研究の目的で、この T\*型超伝導体を用いて何を研究しようとしたのか、特に、T\*型構造の特徴である 2 種の異なったブロック層の存在が、特異な超伝導光学応答をもたらすという理論的予測について述べられている。T\*型物質は積層方向 (c 軸方向) からみると 2 種のジョセフソン接合が交互に積層したジョセフソン超格子となっており、光と直接接合するジョセフソン・プラズマの横励起が存在すると予想されていた。この励起を T\*型単結晶を用いて検証、直接観測をすることが本研究の主たる目的である。

第 3 章は、本研究の一般的背景として、現在、高温超伝導物性研究において何が問題となっているか、その  $T_c$  の決定因子、ストライプ秩序、ジョセフソン・プラズマ、が概観されており T\*型物質の研究が、これらの問題の解決や研究の発展に、どのような寄与をなしうるかが述べられている。

第 4 章は、T\*型銅酸化物の単結晶成長法、アニール条件、そして遠赤外、サブミリ波領域での光学測定法を述べたものである。SmLaSrCuO, NdSrCeCuO それぞれについて、その単結晶成長条件、T\*が単相で成長する組成域と成長時における高圧酸素雰囲気必要性が述べられており、T\*型超伝導体研究の発展のために必要な単結晶作製法に関する重要な知見を提供している。

第 5 章は、実験結果で、作製した試料の基本的な電気抵抗及び超伝導特性が示されている。電気抵抗率は、面内で金属的特性を示しており、面内と c 軸方

向とでかなり大きな異方性を有している。超伝導転移幅は狭く、磁化特性からも、結晶全体が優良な超伝導特性を示していることが明らかにされた。テラヘルツ帯の c 軸偏光光学反射測定においては、超伝導応答の証しとなるジョセフソン・プラズマが観測され、本研究の最大の目標であった、T\*型構造に特徴的な横励起モードの検証に成功している。

第 6 章では、実験結果に基づき、横励起プラズマモードの周波数とその振動子強度を決定する因子が考察されている。電気抵抗率測定から判明した大きな異方性を反映して、ジョセフソン・プラズマモードはサブミリから遠赤外のテラヘルツ域に発生することが明らかにされた。一方、振動子強度は理論の予測よりもかなり小さく、その理由として、電荷が面間を跳び移るときに生ずる帯電効果の影響を指摘している。また、プラズマモードのドーピング依存性、物質間の差についても考察し、周波数、振動子強度の決定因子を推定している。

第 7 章は、研究のまとめと研究を発展させてゆくための展望である。横励起ジョセフソン・プラズマが光と直接結合する励起であることから、テラヘルツ領域の光検知器あるいは発光素子としての応用面での可能性を指摘し、電子状態の考察から、T\*型超伝導体の  $T_c$  が低い理由すなわち未解明の超伝導抑制機構の存在を示唆している。

以上を要するに、本論文では T\*型銅酸化物超伝導体の単結晶成長技術を確立し、アニール条件の最適化により優良な超伝導特性を示す試料作製法を明らかにした。これにより、横励起ジョセフソン・プラズマの存在を検証するとともに、高温超伝導の基礎・応用研究に強力な新しい材料を提供したもので、超伝導工学の進展に寄与するところ大であると判断される。

よって本研究は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。