

# 論文審査の結果の要旨

氏名 勝見 恒太

本博士論文は、高温超伝導を示す層状銅酸化物のテラヘルツ周波数領域の時間分解分光を主題とする。超伝導秩序に付随するヒッグスモードやジョセフソンプラズマモードの観測を通じて、超伝導揺らぎや非平衡超伝導の検出を試みた。その結果、超伝導転移温度  $T_c$  よりもはるか高温から出現する擬ギャップ相は必ずしも超伝導揺らぎに由来するものではないこと、及び、Y系超伝導体の面間光誘起応答は寿命の長い準粒子によるもので、超伝導に由来するものではないことを明らかにした。論文は英文で全8章からなる。

第1章では、高温超伝導層状銅酸化物の電子相図に現れる擬ギャップ相と超伝導揺らぎの関係の解明、光誘起応答の超伝導性の検証が、本研究の主な目的として記述されている。

第2章では、本研究において超伝導を探る手掛かりとなるヒッグスモード、ジョセフソンプラズマについて、背景の物理と、それが非線形光学応答にどのように現れるのか、が記述されている。

第3章でヒッグスモードやジョセフソンプラズマを検出するための実験技術、テラヘルツパルスの発生と検出、時間領域分光、光波長変換、の原理と実験の詳細が述べられている。

第4章では、Bi系超伝導体のテラヘルツポンプ光に対する光学応答測定をもとに、超伝導揺らぎの詳細を明らかにしている。カー効果信号をヒッグスモード由来と同定し、幅広い正孔濃度の試料についてその温度依存性の詳細を調べた。その結果と二流体モデルを用いて平衡状態の光学応答から求めた超伝導電子対濃度の温度依存性を比較することにより、超伝導相転移温度よりはるかに高い温度からヒッグスモード由来と考えられるカー信号が見出されることを確認した。転移温度以上でカー効果信号が観測される状態は、超伝導秩序パラメータの振幅は発達するが、位相のコヒーレンスが失われた超伝導揺らぎ状態と見なすことができる。超伝導揺らぎが発達する特徴的の温度は、これまでに報告された擬ギャップが発達する温度  $T^*$  より低正孔濃度

(アンダードープ) 領域で明らかに低く、またその正孔濃度依存性も  $T^*$  と異なっている。このことから、少なくとも低正孔濃度領域での擬ギャップの起源は超伝導揺らぎではないと結論した。

第 5 章では Y 系超伝導体の面間光学応答を測定し、光誘起超伝導の主張に疑問を呈した。 $T_c$  以下で、平衡状態の面間応答にジョセフソンプラズマ構造が現れることが知られている。面間偏光励起により、 $T_c$  以上でもジョセフソンプラズマを想起させる構造が面間光応答に出現し、先行研究において光誘起超伝導の兆候であると指摘された。本研究では、 $T_c$  以下で現れるジョセフソンプラズマは面間偏光励起により赤色偏移し超伝導の抑制を示す、面内偏光励起でも  $T_c$  以上で同様の構造が出現する、面内応答に超伝導を示唆する構造が現れない、ことを確認した。これらをもとに、転移温度以上の光誘起の面間応答は超伝導由来ではなく、擬ギャップを介した長寿命の準粒子励起に起因すると推論した。

第 6 章では上記の推論を検証すべく、面内  $1.4 \mu\text{m}$  ポンプ光に誘起されるヒッグスモードの検出を試みた。 $1.4 \mu\text{m}$  ポンプ光が無い状態で、低正孔濃度試料の一つにヒッグスモードに由来すると考えられるカー効果信号が  $T_c$  以下で観測された。この  $T_c$  以下の信号は  $1.4 \mu\text{m}$  ポンプ光照射とともに抑制される。一方、 $T_c$  以上では有意な誘起信号が観測されなかった。これらの事実は第 5 章の結果と整合する。

第 7 章では、面間の非線形ジョセフソン効果に対応する第三高調波が  $T_c$  以下で観測されることを確認した上で、面間  $800 \text{ nm}$  プロブ光に誘起される非線形ジョセフソン信号の変化を探った。 $T_c$  以下の信号強度が抑制されるのに対し、 $T_c$  以上では有意な誘起信号は観測されなかった。この結果も第 5 章の結果と整合する。

第 8 章では、実験結果と考察についてのまとめ、及び、将来展望が述べられている。

以上のように、本論文はテラヘルツ非線形光学の手法を高温超伝導の物理の解明に応用し、超伝導揺らぎと擬ギャップの関係、光誘起キャリアのダイナミクスを解明した。本研究は、指導教員らとの共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験の遂行や結果の解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断した。

したがって、審査委員全員が博士（理学）の学位を授与できると認める。