

論文審査の結果の要旨

氏名 Lina Hafez Machtoub

銅酸化物高温超伝導体の物性研究は、ここ10数年にわたって固体物理の最重要課題の一つとして、様々な実験的手段、理論的手法を用いて行なわれてきた。なかでもラマン散乱は、格子振動の研究から、超伝導ギャップの観測、常伝導状態における電子励起の観測、反強磁性短距離秩序に由来するマグノン励起等の電子物性研究まで、多くの重要な情報を提供してきた。しかし、高温超伝導体のラマン散乱スペクトル、とくにBi系超伝導体のスペクトルには、現在でもその起源について一致した解釈が与えられていない構造がいくつかあり、それらの起源を明かにすることがラマン散乱を用いた高温超伝導体の研究を進める上で必要である。また、高温超伝導体におけるキャリアのダイナミクスを調べることも、高温超伝導機構の解明ばかりでなく将来の高温超伝導体の応用にも重要で、このようなダイナミクスの研究には時間分解ラマン散乱が有効な手法である。本論文では、アンダードープ領域を中心とするBi系高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ について共鳴ラマン散乱と時間分解ラマン散乱を行ない、超伝導ギャップ付近の構造の同定と電子励起の緩和ダイナミクスの研究を行なった。

本論文は5つの章からなる。第1章の導入に続いて、第2章でラマン散乱の一般論と、ラマン散乱を用いた高温超伝導体の研究例について述べる。とくに、本論文の前半の主題である 600 cm^{-1} ピークの起源についての論争点と、本論文の後半の主題である2マグノン・ピークに関するこれまでの研究例をまとめて紹介し、高温超伝導体におけるキャリア・ダイナミクスの研究の意義を述べている。

第3章では、共鳴ラマン散乱と時間分解ラマン散乱の実験装置、実験方法、測定条件、および測定に用いた高温超伝導体試料の作製方法とキャラクターゼーションについて述べられている。表面の汚染に起因する低温での測定の困難さと、それを克服する工夫についても記述されている。

続く第4章で、実験結果とその解釈が述べられ議論されている。まず、アンダードープのBi系超伝導体のスペクトルに見られる 600 cm^{-1} のピークについて共鳴ラマン散乱を行

ない、他のフォノンや電子励起による散乱強度と入射光エネルギー依存性を比較している。その結果、 600 cm^{-1} のピークが 630 cm^{-1} に現われる乱れに誘発されたモードと似たエネルギー依存性を示すこと、超伝導ギャップに由来する幅広いピークが同じく 600 cm^{-1} を中心に重畳し電子励起に特有のエネルギー依存性を示すことを見出している。これらの結果に基づいて、 600 cm^{-1} のピークの起源は、乱れにより誘起されたフォノンと超伝導ギャップによる構造が偶然に重なったものという説明を与え、長年の論争を収束させる合理的な説明を与えている。

続いて、高い入射光パワーやパルス状の入射光に対して、フォノンによるラマン散乱強度が非線型的に増加すること、2マグノン散乱の強度が非線型的に増加することを見出し、これらについて時間分解ラマン分光の測定を行なっている。フォノン散乱については非平衡フォノンの生成で説明し、2マグノン散乱については電荷移動による励起状態が複数のマグノンを生成して緩和するという機構を提案している。さらに、2マグノンピークと同じ位置に見られ同じ起源とも考えられていた、2マグノンとは異なる対称性成分に現われる構造が、マグノン成分とは全く異なった入射光パワー依存性、時間依存性を示すことを見出し、その起源が2マグノンとは異なることを示している。そして、最後の第5章で全体のまとめが述べられている。

以上のように本論文は、高温超伝導体のラマン散乱において従来からその起源について合意が得られていなかったいくつかのスペクトル構造について、共鳴ラマン散乱と時間分解ラマン散乱を用いて起源の同定に必要な情報を得ることに成功したことで高く評価された。また、時間分解ラマン散乱によるキャリアのダイナミックスの研究に関しても、新しい知見を与えたことでも高く評価された。本論文は、末元徹教授、岸尾光二教授、下山淳一助教授との共同研究であり、共著の形で一部すでに公表されているが、論文提出者が主体となって研究計画の立案および測定の遂行、実験結果の解析・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。従って、論文審査委員会は全員一致で博士(理学)の学位を授与できると認めた。