

# 論文審査の結果の要旨

氏名 藤田 和博

銅酸化物高温超伝導体は化学的ドーピング操作などにより必然的に乱れをその結晶中に内包している。半導体の基礎物性と応用に乱れ（不純物）の制御と理解が不可欠であったように、高温超伝導体においても、例えば、その超伝導臨界温度  $T_c$  を向上させるために乱れの理解が本質的に重要と考えられるようになってきている。これまで、乱れが高温超伝導体の電子状態と超伝導特性にどのような影響を与えるかについて、系統的かつマイクロなレベルからの実験は行われていなかった。本研究は、この問題に物質・物性の両面から取り組んだものである。

本論文は8章からなる。第1章は序論で、研究の背景となる高温超伝導研究の現状と問題の認識、本研究がどのような目的で行われ、論文がどう構成されているかが述べられている。第2章及び第3章は、本研究が高温超伝導の問題に対して、結晶の乱れに注目し、それを切り口としてどのような実験手法で問題にアプローチするかが述べられている。

第3章は、様々な結晶サイトで起こる乱れのうち頂点酸素を含む原子層の乱れが  $T_c$  に大きな影響を与えることを  $\text{CuO}_2$  面が1枚のBi系物質  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CuO}_{6+\delta}$  ( $\text{Bi}2201$ ) で示したものである。これを理解するためには乱れが電子状態に及ぼす影響を微視的に調べる必要があることを述べている。

第4章は、前章の結果と議論をうけて、米国コーネル大学で行った走査型トンネル顕微電子分光 (STM/S) の結果を示したものである。 $\text{Bi}2201$  結晶の乱れを軽減し  $T_c$  を向上させた試料においてもナノメートルスケールで見れば、電子状態に乱れ、不均一性が強く残っていることが示され、不均一性は Sr と置換された La とのイオン価の違いによる乱れに起因すると推定されている。さらに、トンネルコンダクタンスが空間変調を受けていることを見出し、チェッカーボード状の規則的な変調パターンを形成する別の秩序が乱れによって誘起され超伝導秩序と共存していることが示された。

第5章は、 $\text{CuO}_2$  面を2枚持つ Bi 系高温超伝導体 ( $\text{Bi}2212$ ) に対する STM/S 実験結果で、第4章で観測された超伝導と共存・競合する秩序の存在を確認するために行われた実験結果である。正孔ドーピング量を低く抑え、超伝導秩序を弱めた結晶を合成し、トンネルコンダクタンスの空間変調を調べた結果、チェッカーボードパターンが主成分となっていることを発見した。 $\text{Bi}2201$  においてその存在が示唆された秩序がドーピング量を減らすことによって出現することを示したものである。

第6章は、 $\text{Bi}2212$  結晶の超伝導トンネルコンダクタンス特性を詳細に調べた結果で、超伝導電子と強く結合するボソンモードの存在をつきとめたものである。酸素の同位体置換効果から、このボソンはフォノンであろうと推定している。このボソンエネルギーも結晶

乱れの影響を強く受けており、これが局所的に強い電子間引力を作り出し、超伝導クーパ対形成の接着剤の役目を果たしている可能性を論じている。

第7章及び第8章は、前章までの結果に対する総合的な考察・議論と結論である。乱れ、ドーピング量の減少、更には磁場の印加などにより超伝導秩序を弱めたとき STM/S のトンネルコンダクタンスに必ずチェッカーボード状の変調パターンが現われる。従って、高温超伝導体には超伝導秩序とは別の秩序が競合しており、両者は必ずしも排他的ではなく同じ  $\text{CuO}_2$  面内に共存していると結論している。

以上のように、本研究は高温超伝導研究の主要課題、 $T_c$  の決定因子と超伝導メカニズム、に乱れを切り口として高度な実験手法を用いて挑んだものであり、これらの問題の解答への重要な知見を得たものと認められる。本論文の第3章から第6章までの研究内容は指導教員（内田）、コーネル大学 J. C. Davis 教授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及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が充分であると判断される。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。