

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 後藤昌宏

高温超伝導体における不純物効果は、通常の超伝導体とは著しく異なっている。通常の超伝導体に非磁性の不純物を導入したとき、その超伝導臨界温度 T_c が殆ど影響を受けないのに対して、高温超伝導体では、僅か数%の非磁性元素 Zn 置換で T_c がゼロにまで減少してしまう。このような著しい不純物効果が何故起こるのか、未だに十分な理解が得られていない。本研究では、標準的な高温超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ 及び $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ を対象として、それらの不純物効果を、単結晶試料の合成、不純物導入、電子輸送現象及び帯磁率測定により研究したものである。Zn 不純物効果を基準として、磁性不純物 Ni 効果との違い、そして、非磁性不純物でも Zn とはイオン価の異なる Al や Li 不純物効果との差異を系統的かつ定量的に追求した初めての研究となっている。これらの結果に基づき、高温超伝導体の不純物効果に対する様々な理論モデルを検証し、キャリアーの非磁性不純物によるユニタリー極限の強い散乱が電気抵抗率を著しく増加させ、それに伴うクーパー対の位相ゆらぎが T_c 低下の主たる要因であるという結論を導いた。

本論文は、7つの章からなる。第1章では序として本研究の動機と不純物効果研究の基本戦術が述べられている。

第2章は、研究の目的と背景で、高温超伝導体の T_c -ドーピング相図、その電子構造、そして不純物効果のこれまでの研究結果がまとめられている。不純物効果は NMR, μSR , STM など多くの物性実験プローブで行われてきたが、それぞれの結果の意味、そこから導き出された。d 波超伝導における不純物効果、スイスチーズモデル等様々な不純物効果の理論的モデルを説明している。

第3章は、本研究で用いた実験手法について述べたものである。La 系、Y 系高温超伝導体単結晶成長法、そして各々の系でのドーピング、不純物量制御法が記述されている。

第4章は、非磁性(Zn)と磁性不純物(Ni)の電気抵抗率や帯磁率に与える効果を比較している。電気抵抗測定から得られた結果は、磁性不純物 Ni が Zn ほど強くキャリアーを散乱しないことを示している。帯磁率からみても、Ni はその周囲の Cu を Zn ほど強く磁気分極させていないと結論される。このような不純物とキャリアー及びその周囲の Cu スピンとの結合の弱さが、Zn に比べ Ni の T_c 抑制効果が小さい原因であると考察している。

第5章は、イオン価の異なる非磁性不純物の効果に関する実験結果と考察である。2 価の Zn とイオン価が1つだけ異なる Al^{3+} 及び Li^{1+} 不純物効果を Zn^{2+} の場合と比較している。実験上の困難は、Al や Li が単結晶中に充分はいりきらないことである。この問題を克服するために、比較的の不純物量が制御しやすい多結晶試料での T_c と不純物量との関係を決定し、それに基づいて、単結晶中の不純物量を評価した。その結果、Al も Li も Zn と同様、ユニタリー極限のキャリアー散乱体として働き、大きな残留抵抗を発生させていることを明らかにした。一方、Zn より1つ余分にある正孔や電子は、不純物原子の周りに局在して磁気モーメントを出すこと、その寄与を差し引いた帯磁率から、Zn と同じく周囲の Cu スピンを分極させ新たな磁気モーメントを誘起している事を示した。非磁性不純物は、そのイオン価に関係なく、全く同じ効果を高温超伝導に対して示すと結論している。

第6章及びまとめの第7章では、磁性、非磁性あるいは異なるイオン価の不純物の存在により生ずるミクロな局所的電子構造変化よりも、マクロな物理量である残留抵抗値が、少なくともアンダードーピング域での T_c の抑制を支配しているという結論が導かれている。アンダードー

領域では位相の固さの目安となる超伝導キャリア密度が小さく、クーパー対の位相ゆらぎが大きくなる。不純物による電気抵抗率の増大は、電子間のクーロン相互作用の遮蔽効果を弱くし、超伝導キャリア密度のゆらぎを抑制する。その結果、位相のゆらぎが増強され T_c が減少するという解釈がなされている。

以上を要するに、本論文では、高温超伝導体の特異な不純物効果を様々な不純物元素について研究し、電気抵抗率というマクロな物理量が T_c を制御している事を明らかにした。本研究は、諸説入り乱れている高温超伝導体の不純物効果メカニズムの解明を進展させた。基礎だけでなく応用研究にとっても有用な知見を与えるものであり、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。