

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 石井 悠衣

本学位論文は、「Superconducting Properties of RE123 Bulk Material Tuned in Chemical Composition and Local Crystal Structure (化学組成と局所結晶構造を制御した RE123 バルク材料の超伝導特性)」と題して、精密な化学組成の制御による局所結晶構造の変化が RE(希土類)Ba₂Cu₃O_{7-δ} 系超伝導材料の磁束ピンニング特性に与える影響とその機構について詳細に述べたものであり、全 6 章で構成されている。

第 1 章では、研究内容を論じる上で必要となる超伝導の基本的性質や熱力学的性質、電磁的性質の解析方法についてまとめた後、論文でのキーワードとなる磁束ピンニング現象について解説している。さらに、希土類 RE123 バルク材料開発の意義と課題について現状を総括し、研究の動機付けを行なっている。

第 2 章では、本材料に対する異種元素の化学ドーピングが、超伝導面（銅酸素面）における銅サイトに限定されている現状に対し、高い臨界温度を損なうことなく他の結晶サイトへのドーピングが本質的に優れることを明らかにしている。これまで酸化物超伝導体への元素置換は基礎物理的な興味でのみ行われており、臨界温度、臨界電流特性を低下させるものと一般的に認識されてきたが、本研究によって、置換量が希薄で超伝導コヒーレンス長よりも十分に遠い間隔で置換元素が分布する場合には、臨界温度の低下なく、局所的な結晶格子の歪みによって磁場下での臨界電流特性が著しく改善すること、この効果が銅酸素面以外の結晶サイトへのドーピングにおいても有効であることが明白となった。

さらに第 3 章では、RE123 材料の捕捉磁場強度を決定づける臨界電流密度が、わずかな化学組成の変化によっても大きく影響を受ける可能性があることから、化学組成の変化による材料の臨界電流密度の変化を明らかにする必要性を指摘している。そのうえで、本バルク材料の化学組成が臨界電流特性に与える影響について、実験結果に基づき、これを普遍的に理解する方法について検討している。本章においては、鋭いピンニングポテンシャルの形成を化学的に設計可能であることを実証し、結晶内の固体化学的に決まるイオン配置がこの物質の臨界電流密度に対する決定因子となって

いることを明らかにしている。

第 4 章では、幅広い温度での利用が見込まれる本材料において、臨界電流密度 J_c の温度依存性に対する支配因子を明らかにする必要性を指摘している。それに対し、酸素量を精密に制御した RE123 単結晶を用い、本系における J_c の温度依存性を詳細に比較している。これまで高温で強いピニングセンターはどの温度においても普遍的に強いと考えられてきたが、本論文で述べられている結果は、 T_c 付近で有効なピニングセンターが必ずしも低温でも有効であるとは限らないことを明確に示している。

第 5 章では、第 4 章で明らかになった事実について、希土類 123 の J_c の温度依存性が支配的ピニングセンターによって異なる理由を詳細に議論している。実効的な体積が非常に小さいと考えられる点欠陥による磁束ピニング現象について、その要素的ピニング力の温度依存性を導く方法を提案し、それに基づいて求められた要素的ピニング力の温度依存性の実験結果との対応を検討している。それらを通して、コヒーレンス長の温度変化が主要因となり、点欠陥的ピニングセンターの実効的な大きさの違いが大きく温度依存性の変化させる機構を明らかにしている。

第 6 章では、希土類 123 超伝導バルク材料に関しての本研究の成果を総括し、その次世代材料としての可能性に言及し、また本研究成果が他の超伝導材料へ与える波及効果について著している。

以上要約したように、本研究は、希土類 RE123 バルク超伝導材料の高捕捉磁場特性化を主願とし、本材料が持つ高いポテンシャルを最大限に引き出すための指針を固体化学的側面から打ち出したものとして高く評価することができ、高磁界発生磁石など広い工学応用分野への発展さらには磁束ピニング理論の基礎的な発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。