

氏名	モハメド ナシム ハサン Mohammed Nasim Hasan (バングラデシュ)
学位の種類	博士(情報工学)
学位記番号	情工博甲第207号
学位授与の日付	平成19年6月30日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Flux pinning properties of (Nd, Eu, Gd)Ba ₂ Cu ₃ O _y (NEG-123) superconductors with 211 phase particles (211相粒子添加(Nd, Eu, Gd)Ba ₂ Cu ₃ O _y (NEG-123)超伝導体の磁束ピンニング特性に関する研究)
論文審査委員	主査 教授 松下 照 男 " 古 川 昌 司 " 堀 江 知 義 " 小 森 望 充 准教授 小田部 莊 司

学位論文内容の要旨

高温超伝導体の中でも NEG-123 ((Nd, Eu, Gd)Ba₂Cu₃O_y) 超伝導体は臨界電流密度 J_c が磁界の増加とともに緩やかなピークをもち、そのピーク値 J_{cp} と J_c がゼロになる不可逆磁界 B_i が極めて高いことから応用が期待されている。しかし、応用を促進するためには J_{cp} や B_i をさらに高める必要があり、そのためにそうした特性をもたらす欠陥(ピン)の実体と具体的な磁束線との相互作用の機構を明らかにすることが重要であり、本論文ではこれを目的とする。

第1章では超伝導現象、超伝導材料、RE-123 超伝導体の磁束ピンニング特性について一般的な説明を行い、RE-123 超伝導体のピーク効果や不可逆磁界についての最近の研究に関して記述するとともに、本論文で取り扱う事項について記述している。

第2章では Nd-123 超伝導体の結晶構造について説明するとともに、実験に用いる Nd-123 単結晶試料や 211 相粒子を添加した (Nd_{0.33}Eu_{0.38}Gd_{0.28})Ba₂Cu₃O_y バルク(塊)試料の製法について記述している。また、これらの試料の特性を測定するための方法ならびに使用する装置について記述している。

第3章ではピーク効果をもたらす機構を明らかにするために、Nd-123 単結晶試料の臨界電流密度と磁化の時間緩和率から評価した見かけのピン・ポテンシャルについて磁束クリープ・フロー・モデルを用いて解析を行い、磁束バンドル中の磁束線数(g^2)、ピン力の最頻値(A_m)および分布幅(σ^2)を求めた。その結果、ピーク効果に際して A_m と σ^2 はピークをもつが、この振る舞いはこれまでに提案されている磁界誘起型ピンニング機構によっても、また磁束線の秩序-無秩序転移によっても説明でき、機構を特定するには至らなかった。しかし、ここでは g^2 の減少が確認され、これは磁束線の秩序-無秩序転移によってのみ説明される。また、磁界誘起型ピンニング機構を仮定した場合、ピーク磁界などの温度依存性が説明できないこともあり、磁束線の秩序-無秩序転移がピーク効果をもたらしていると結論した。

第4章では最も将来性がある (Nd_{0.33}Eu_{0.38}Gd_{0.28})Ba₂Cu₃O_y 超伝導体に EG-211 相または NEG-211 相粒子を添加し、それが J_{cp} と B_i に及ぼす影響を調べた。その結果、どちらの 211 相粒子も大きな違いはなく、一般に添加により J_{cp} は増加する一方で B_i は減少した。211 相粒子の添加により J_{cp} が増加するのは 211 相によるピンニングか、添加で生じる新たな欠陥によるピンニングに起因するものである。この中で 211 相による凝縮エネルギー相互作用はそのピン力が磁界の増加とともに単調に減少するために直接にはピーク効果は説明できず、また、磁束線の秩序-無秩序転移をもたらすにはサイズが大きすぎる。一方、同様な試料で添加により NEG 成分濃度が変化するラメラ構造が生じることが確認されており、この組織も直接にはピーク効果は説明できないが、そのサイズが 3,

4nm と微細なことから、磁束線の秩序-無秩序転移によってピーク効果をもたらしていると結論される。そうしたピンニングがあるにもかかわらず、添加により B_1 が減少するのは、添加により超伝導特性が劣化するためであると考え、実際に添加により上部臨界磁界 B_{c2} が減少することを実験的に確かめ、それが微細なラメラ構造と超伝導母相の間の近接効果によるものと結論した。

第5章では以上の結果をまとめるとともに、明らかになった機構から、将来の NEG-123 超伝導体の特性改善に関する提案を行っている。

学位論文審査の結果の要旨

RE-123(RE は希土類元素)高温超伝導体は磁界の増加とともに臨界電流密度が緩やかなピークをもつことが知られているが、本研究ではその中で高いピーク臨界電流密度を示す NEG-123 ((Nd, Eu, Gd)Ba₂Cu₃O_y) 高温超伝導体における特性の一層の向上を目指して、とくにピーク効果および臨界電流密度がゼロとなる不可逆磁界を決定する機構についての解明を目指したものである。

ピーク効果の機構についてはこれまでに弱い超伝導による欠陥の磁界誘起型ピンニング機構とピン止めされる磁束線の秩序-無秩序転移の二つが提案されているが、それを決定する決め手に欠けていた。ここでは NEG-123 単結晶についての実験結果を磁束クリープ・フロー・モデルによって理論解析をし、とくに磁化の緩和率を決定するピン・ポテンシャルから磁束バンドルサイズに着目し、その値がピーク効果が生じる磁界より高磁界側で減少することを初めて見出した。これは磁束線格子が分布するピンにマッチするように剪断変形をしていることを示しており、これから磁束線の秩序-無秩序転移が生じていることを明らかにした。また、磁束線の秩序-無秩序転移をもたらす欠陥としては添加した 211 相粒子そのものと添加により生じる新たな欠陥として最近注目されるラメラ構造があるが、転移を誘引する欠陥として重要な欠陥のサイズから、原因となっている欠陥が微細なラメラ構造であることを明らかにした。これにより、ピーク効果の原因となる欠陥およびその機構について完全な解明が行われた。

さらにピーク臨界電流密度を高める目的で一般的に行われている NEG-123 超伝導体への 211 相粒子の添加を行ったとき、添加によりピンニングを強化したにもかかわらず不可逆磁界が逆に減少してしまうことが一般的に知られているが、ここでも磁束クリープ・フロー・モデルを用いて不可逆磁界を決定している要因を探索した。理論上、不可逆磁界が減少するのは超伝導特性の劣化が起こっていないから、添加によって臨界温度は変化しないものの、上部臨界磁界が減少することを突き止めた。これは欠陥と超伝導母相の間に近接効果が生じて超伝導体中の超伝導電子が欠陥部分にトンネルするために起こる特性劣化であり、近接効果が生じるのも添加によって生じたラメラ構造が数 nm の微細な欠陥であるからである。こうした添加により生じた欠陥そのもののピンニング効果のプラスの面と超伝導特性の劣化というマイナスの面の二つの要因を取り入れて理論的に不可逆磁界が漸減することを世界で初めて示し、実験結果を説明した。

以上の研究結果をベースにして今後の一層の特性改善方向についても提案している。すなわち、今回の 211 相添加量は 10mol% までであるが、中磁界領域での応用を目指す場合にはもっと多くの 211 相を添加し、その領域での最適添加量を探索する必要性を明らかにしている。また、もっと高磁界での応用を目指す場合には逆に 3 mol% 以下での最適添加量の探索を推奨している。

本論文に関し、調査委員からピンとして観測されているラメラ構造や、新しく提案している機構が従来考えられていた機構とどのように違うかなどについて質問がなされたが、いずれも著者から満足な回答が得られた。また、公聴会においても、多数の出席者があり、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士(情報工学)の学位に十分値するものであると判断した。