

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。