

論 文 要 旨

2024 年 1 月 10 日

※報告番号	甲第 3 4 3 号	氏 名	竹村 賢人
主論文題名 ErBCO 超伝導接合材を用いた GdBCO 接合バルク超伝導体の作製とパルス着磁への応用			
内容の要旨 超伝導体は超伝導転移温度 (T_c) まで冷却すると電気抵抗がゼロという特殊な性質を持つことから、損失を抑えた送電や強力な磁場源などとしての発展が期待されている材料である。REBCO ($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ RE: Rare earth) バルク超伝導体は 90 K 付近の T_c を示す。現在までに、REBCO バルクは 29 K で 17 T を超える捕捉磁場を達成されている。この性能は、Nd-Fe-B 系永久磁石の表面磁束密度の約 0.5 T よりもはるかに高い。そのため、磁気分離システム、小型 NMR、強いトルクを発生する超伝導バルクモーターなど、多くの新しい応用が提案されている。ここで、バルク超伝導体に捕捉される磁場を増大させるためには、臨界電流密度 (J_c) の増大とバルクの大型化が必要である。しかし、大きくて均一な高品質の超伝導バルクを作製することは非常に困難である。これは、結晶成長速度が遅いため、結晶成長中に偏析や組成変化などの組織変化が起こりやすく、その結果、超伝導特性が劣化してしまうためである。そこで、大型化への手法の一つとして、小型で良質なバルク体を接合する部分溶融接合法が考案されている。REBCO の包晶分解温度 (T_p) は、RE 元素によって約 880–1090 °C と大きく変化する。REBCO よりも低い T_p を持つ RE'BCO の薄板を REBCO バルクの間に設置し、REBCO の T_p 以下で熱処理することで RE'BCO 部分のみを局所溶融成長させることができ、超伝導的に接続された大きな REBCO バルクを得ることが可能となっている。しかし、部分溶融接合法はマトリックスの接合方向が接合部の超伝導特性に強く影響することが報告されている。マトリックスの接合面が互いに (110) 面である場合 ((110)/(110))、良好な超伝導接合が得られたが、接合面を (100) 面同士にした場合 ((100)/(100)) では、接合部の中心に第二相などが集中し、超伝導特性の劣化が見られた。これまでの報告を確認すると、溶融条件で -0.5 °C/h の徐冷速度を採用していた。これは超伝導接合部のような微小領域の溶融成長には最適でない可能性がある。したがって、接合条件の影響を調べることで、接合部の超伝導特性を向上させることができる。また、バルク超伝導体を超伝導磁石として応用機器に利用する場合、超伝導体を着磁する必要がある。パルス磁場着磁 (PFM) は、バルク超伝導体を T_c 以下に冷却し、ソレノイドコイルなどを用いてパルス磁場で着磁する方法である。この方法は大型の磁石を必要とせず、装置内で着磁が可能なコンパクトなシステムである。しかし、PFM 中の急激な磁束移動による発熱のため、高い捕捉磁場が得られにくいという欠点がある。そのため、従来の方法では、バルク周辺部の捕捉磁場がバルク中心部の捕捉磁場よりも高くなることがあった。			

※印欄記入不要

論 文 要 旨

2024 年 1 月 10 日

※ 報告番号	第	号	氏 名	竹村 賢人
内容の要旨 PFM ではバルク内での超伝導特性の差異が顕著に磁場の動きに現れる。そのため、PFM を接合バルク超伝導体に適用させ、接合部の超伝導特性を制御することで、接合部が優先的な磁場侵入経路となり、バルク超伝導体の着磁効率向上と様々な分野への応用が期待される。 本論文は、GdBCO バルクの大型化を目指し、ErBCO 超伝導接合材を用いた GdBCO 接合バルク超伝導体を作製し、溶融条件を変更することで、超伝導接合特性を向上させる重要な因子の解明を試みた。部分溶融法による超伝導接合の重要な条件である接合方向、最高温度、最高温度保持時間、冷却速度が組織や超伝導接合特性に及ぼす影響を明らかにした。また、超伝導体の着磁方法で有用な PFM を接合バルク超伝導体に適用させた際の熱・磁場挙動を測定することで捕捉磁場の向上、PFM 時のヨーク形状の変更による着磁の効率化を図る。最後に、FEM 解析により PFM 時の熱・磁場挙動の詳細確認を目的とした。 第 3 章「接合バルク超伝導体の溶融条件変更による超伝導特性の評価」では従来の報告で、(100)/(100)接合は良好な超伝導接合が得られなかったが、冷却速度を速くすることで、不純物の偏析を抑制することができ、接合方向による差異はほとんど見られなかった。特に J_c-B の低磁場領域はマトリックスの GdBCO と同等であった。また、溶融成長条件によって接合部中の Gd 量と相互固溶領域の長さが異なることが確認され、超伝導特性に影響を与えることが確認された。最高温度を下げ、最高温度保持時間を短く、冷却速度を速くすることで接合部中の Gd 量を低下、MSS 長さを減少、超伝導特性を向上させることが可能であることが確認された。第 4 章「接合バルク超伝導体に対するパルス着磁における磁場挙動の評価」では PFM で高い印加磁場では接合部の侵入磁場はマトリックスの侵入磁場より高い値を取ることが確認されたことから、接合バルク超伝導体の PFM により接合部は優先磁場侵入経路であることが明らかになった。また、PFM で接合バルク超伝導体に 50 K で 5 T 印加させると試料の 4 mm 上部で最大捕捉磁場が 0.52 T を示す単一のピークが得られた。さらに、PFM を接合前後のバルク超伝導体に適用した結果では捕捉磁場の差異が最小限であったことから、接合部は PFM で劣化原因とならないことが示された。マトリックスの GdBCO、接合部の ErBCO の J_c-B 曲線から、いずれの温度でも 1.0 T 以下では ErBCO が GdBCO より高く、1.0 T 以上では GdBCO が ErBCO よりも高い値を取ったことから、接合部が優先磁場侵入経路となったことが確認された。第 5 章「ヨーク形状を変更したパルス着磁における接合バルク超伝導体の磁場挙動の評価」では、接合バルク超伝導体へ PFM 時のヨーク形状を変更し、接合部にロングパルスを集中させた場合の効果を確認した。棒状ヨークを使用することで接合部にロングパルスを集中させることはできたが、ヨーク自体の体積が減少してしまったため、低磁場では捕捉磁場が減少した。第 6 章「FEM 解析による接合バルク超伝導体に対するパルス着磁の磁場挙動のシミュレーション評価」では、マトリックスと接合部に実測値から換算した異なる J_c-B を導入した。50 K で 5 T の印加磁場では 8 ms から接合部に急激に発熱と磁場が集中し、実際の実験と同様に接合部が優先磁場侵入経路となることを確認した。また、超伝導接合の有無による着磁結果の違いを比較したところ、ほぼ同等の捕捉磁場分布が得られた。これにより、バルク超伝導体の大型化における技術の重要な鍵である超伝導接合法の発展に寄与できると考えられ、これまで複雑であったパルス着磁を効率的な着磁方法とする可能性がある。				

※印欄記入不要