

審査の結果の要旨

氏名 瀬戸山 結衣

本学位論文「REBCO バルクにおける金属組成の精密制御と超伝導特性」は、強力超伝導磁石の開発にむけて、応用する温度や磁場を考慮したREBCO (RE-Ba-Cu-O; RE = 希土類元素)溶融凝固バルクの臨界電流特性改善指針の確立を目的とした研究をまとめたものであり、全9章で構成されている。

第1章では、超伝導現象およびRE123系高温超伝導体について詳述したうえで、REBCO溶融凝固バルクの現状と課題をまとめ本論文の目的・方針を述べている。

第2章では、REBCO溶融凝固バルクの作製手法や各種物性評価手法など、本論文の研究に共通する実験手法について記述している。

第3章では、前駆体ペレットの高密度化がREBCO溶融凝固バルクにおける残存ボイドの密度や臨界電流特性に与える影響を評価している。微細なRE123原料粉末の使用や高圧でのCIPによる前駆体ペレットの高密度化が、バルク内部に残存したボイドの低減および低磁場領域での臨界電流密度 J_c の向上に繋がることを明らかにした。

第4章では、77 Kやより低温における J_c 特性のさらなる改善に向け、REBCO溶融凝固バルクの磁束ピンニング特性に対するRE混合効果を、RE123母相におけるREのBaサイトへの部分固溶 (RE/Ba固溶) の量を系統的に評価して、低温・高磁場応用に向けてはYや重希土類元素を含むRE混合バルクがより適することを指摘している。優れたピンニング特性を維持しつつ高磁場まで高 J_c を示すバルク開発は、RE混合により最適固溶組成に調節することで可能となることも明らかにしている。

第5章では、ピンニング力向上にはRE211粒子の粗大化の抑制が重要であることを踏まえ、RE混合REBCO溶融凝固バルクにおけるRE211粒子のサイズの支配因子の解明を目的に、部分溶融過程の最高保持温度から急冷させた試料の微細組織やRE分布を評価した。その結果、最終組織におけるRE211粒子のサイズの大小関係は部分溶融状態の時点で決定していることを明白にした。また、RE123原料粉末の包晶温度が高いほど、もしくは、RE211原料粉末のREの液相への溶解度が小さいほど、部分溶融状態でのRE211粒子の成長が抑制されることを示した。これを通じ、RE123とRE211の初期原料粉末の間で異なるREを用いる際は、イオン半径の大きなREをRE123原料に、イオン半径の小さなREをRE211原料に用い

ることが、最終組織でのRE211粒子の粗大化を抑制し高 J_c の達成につながることを指摘している。

第6章では、REBCO溶融凝固バルクの磁束ピンニング特性向上のポテンシャルを評価するため、RE/Ba固容量の異なる5種類の試料片に対して35 MeVという高エネルギーの電子線照射を行った。その結果、照射欠陥が導入されたことでいずれの試料でも低磁場での J_c が劇的に向上したが、その中でもRE/Ba固容量の少ないRE123母相を有する試料の方が電子線照射による J_c 特性改善効果が大きいことを明らかにしている。

第7章では、機械的強度改善のためにAgを添加した試料においても磁束ピンニング特性改善にRE混合が有効であること、低温・高磁場応用にはYや重希土類元素を含むRE混合バルクが適するという指針はAg添加試料にも当てはまることを明確に示している。

第8章では、大型バルク育成に向けた「バッファーペレットの導入」、捕捉磁場向上に向けた「組成勾配をもつバルク育成」、高 J_c 化に向けた「BaO₂添加」についてまとめている。例えば、BaO₂添加によりRE/Ba固容量の多い中軽希土類のREBCOバルクに対しては超伝導特性改善に有効であることを明らかにしている。

第9章「総括」では、第3–8章の結果・考察を総括し、REBCO材料全般にあてはまる高機能化指針を確立した。

以上、本論文は「組織制御」からのアプローチとしては「前駆体ペレットの高密度化」および「イオン半径の大きなREをRE123原料に、イオン半径の小さなREをRE211原料に用いたRE混合」が有効であると提案している。また「RE123母相の組成制御」および「磁束ピンニングセンターの導入」からのアプローチでは、母相のRE/Ba固容量がピンニング特性の重要な因子であり、温度や磁場ごとに最適なREが異なることを明らかにした。近年、77 Kで優れた特性を示すGdやDyといった中軽希土類のREBCO材料がより低温でも高特性を示すという仮定の下で特性改善が試みられてきたが、強力超伝導磁石としての応用にむけた低温・高磁場という条件ではYや重希土類元素の使用が望ましいことが本文において初めて指摘されている。

本論文で確立した組成制御による高 J_c 化指針は、溶融凝固バルクに限らず、薄膜や線材などのREBCO材料全般に適用できることも見込める。新たな固体化学的な指針として高く評価できるものであり、高温超伝導材料の工学応用分野の発展に大きく寄与することが期待できる。

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。