

審査の結果の要旨

中 島 隆 芳

本論文は「希土類 123 系超伝導大型結晶材料の組織制御と臨界電流特性」と題し、RE123 ($\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$; RE = Rare Earth elements) 溶融凝固バルク体の捕捉磁場特性を決定づける臨界電流密度 (J_c) の支配因子と改善指針に関する研究結果をまとめたものであり、全 8 章で構成されている。

第 1 章では、RE123 を中心とした高温超伝導体における磁束ピンニング特性、RE123 溶融凝固バルクの特徴についてまとめ、RE123 溶融凝固バルクを実用化するにあたって高 J_c 化を図る意義とそのための課題を明確にし、本研究の目的及び方針を示した。

第 2 章では、本研究で用いた RE123 溶融凝固バルクの作製手法が記述されている。また、測定試料の酸素量精密制御と準備及びその基礎物性評価手法について述べている。

第 3 章では、金属不定比性のない Y123 溶融凝固バルクを用いて、種結晶から鉛直方向に成長した『 c -growth 領域』と動径方向に成長した『 a -growth 領域』を対比させて RE123 溶融凝固バルクにおける J_c 特性の決定因子について議論している。転位が発生しても粒界形成に至りにくい c -growth 領域に対し、 a -growth 領域では刃状転位の弾性的性質に由来してサブグレイン界面が不可避免的に形成されることを初めて明らかにした。形成されたサブグレイン界面は弱結合となり a -growth 領域における磁場中 J_c 特性を低減させていると考察している。

第 4 章では、前章で得られた知見をもとに c -growth 領域を主相とした円柱状 Dy123 溶融凝固バルクを作製し、本手法の有効性を検証している。 c -growth 領域では結晶成長とともに Dy211 粒子の析出量が増加することで、ゼロ磁場近傍の J_c 特性が向上し、その結果全磁場領域において a -growth 領域よりも高い J_c 特性を有すること、さらに a -growth 領域の 2 倍の体積ピンニング力を示すことを明らかにしている。 a -growth 領域を主相とする従来の扁平な RE123 溶融凝固バルクと比べて本章で作製した円柱状溶融凝固バルクでは大幅な捕捉磁場特性の向上が期待できる。

第 5 章では、重希土類系の Dy123, Ho123 溶融凝固バルクを制御された酸素分圧下で作製し、Ba サイトへの RE 固溶が起こる可能性を検証した。育成酸素分圧による系統的なキャリア濃度や磁化特性の変化から、これら重希土類系の RE123 溶融凝固バルクにおいても酸化雰囲気での結晶育成により Ba サイトへの RE 固溶が促進され、さらに RE/Ba 固溶領域がピンニングセンターとなり磁場中 J_c が向上することを明らかにしている。

第 6 章では、機械的強度向上のために添加されている Ag が母相の超伝導特性に与える影響を議論している。添加された Ag は 1 価の状態 Cu-O 鎖の Cu サイトを置換し、それに付随してキャリア濃度の低下や RE/Ba 固溶の抑制をもたらすことを明らかにした。点欠陥的なピンニングセンターを導入するために様々な置換元素の探索が行われて

きたが、Ag は自動的に置換量を調整して均一な組成分布が得られるとともに磁場中 J_c を大きく向上させる理想的な置換元素であることを報告している。

第7章では、原料粉末や大気中に含まれる炭素が作製した Y123 溶融凝固バルクのキャリア濃度に与える影響を議論している。作製過程上試料内に残留する炭素は Y123 母相内や粒界に偏析し、オーバードープ状態におけるキャリアの導入を抑制していることを指摘した。また、残留炭素を除去してキャリア濃度が上昇することで粒界の弱結合が軽減し、磁場中 J_c 特性が向上する可能性を見出している。

第8章では、各章で得られた知見を総括し、本研究で得られた結論の工学的重要性和展望について述べている。

以上、本論文は RE123 溶融凝固バルクにおける微細組織、結晶配向性、酸素量と超伝導特性の相関を初めて精密かつ総合的に評価し、 J_c の支配因子を明らかにした。本論文でまとめた研究は従来行われてきた高 J_c 化手法に致命的な問題点があることを顕わにし、捕捉磁場特性の改善につながらない原因を明確にしている。同時に、特別な高 J_c 化手法を施さずとも、適切なアニール処理等を行うだけで飛躍的に J_c 特性を向上しうることを実証している。本論文は今後の RE123 溶融凝固バルクの高 J_c 化に向けて重要な指針を与え、同様な課題を抱える薄膜材料など周辺分野への発展にも寄与すると考えられ、高く評価できる。

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。