

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 樋口 天光

本学位論文は、「NdBa₂Cu₃O_y 超伝導体の作製および直流磁化特性に関する研究」と題して、高温高磁界領域で高い臨界電流密度を有する Nd-Ba-Cu-O バルク超伝導材料に関し、Nd-Ba 相互置換によって形成される Nd123ss 相の磁束ピンニング特性に及ぼす寄与の評価、さらに Nd123ss 相の分布を最適化する作製プロセスの検討、を行った研究であり、全 6 章で構成されている。

第 1 章では、最初に、第二種超伝導体における磁束の量子化や磁束ピンニングなど必要な基礎知識がまとめられている。次に、高温高磁界中で高い臨界電流密度を有する RE123 系バルク材料について、Y-Ba-Cu-O バルクから Nd-Ba-Cu-O バルクに至るまでの開発の経緯を解説し、最後に、Nd-Ba-Cu-O バルクが有している複数種のピンニングセンターのうち、磁化のピーク効果の起源と考えられている Nd123ss 相の磁束ピンニング特性に着目し、Nd123ss 相の寄与の評価および Nd123ss 相の分布を最適化する作製プロセスの検討を目的としたことを述べている。

第 2 章では、超伝導バルク体の電磁力応用に関わり最重要評価項目である直流磁化特性の評価手法を解説している。まず初めに SQUID 磁束計を用いた評価手法を解説し、次に、磁束の二次元分布を測定するホール素子および磁気光学効果を用いた評価手法について述べ、臨界状態モデルの適用可能性やバルク超伝導体の均質性の評価を行った例を紹介している。

第 3 章では、低酸素分圧下での Nd123 単結晶の作製および直流磁化特性の異方性の評価を行った結果に基づいて、Nd-Ba-Cu-O 超伝導体のピーク効果の起源について議論している。c 軸に平行および垂直な両方向の磁界中において磁化ヒステリシス曲線にピーク効果が観察されること、ピーク磁界、不可逆磁界ともに同一の規格化温度依存性を示すこと、ピーク磁界の異方性パラメータが不可逆磁界の異方性パラメータより大きいこと、から、ピーク磁界が臨界温度の高い Nd123 母相中に局在する臨界温度の低い Nd-Ba 置換領域の上部臨界磁界かまたは不可逆磁界に対応することを明らかにしている。

第 4 章では、Nd123 単結晶、Nd-Ba-Cu-O バルク、Y-Ba-Cu-O バルクとの直流磁化特性の比較結果に基づいて、材料の組織構造と各温度、磁界領域での主要な磁束ピンニング機構の相関について議論している。臨界電流密度 J_c 、磁化緩和率 S 、ピンニン

グエネルギーの電流依存性のべき数 μ 、べき乗則 $J_c \propto B^{\gamma-1}$ または $F_p \propto B^\gamma$ のべき数 γ の値によって整理することにより、温度磁界相図を常伝導点ピンニング、常伝導表面ピンニング、 $\Delta\kappa$ 点ピンニング、Kim-Anderson クリープ領域に分類し、Nd123 単結晶と Nd-Ba-Cu-O バルクのピーク磁界近傍に共通して見られる $\Delta\kappa$ 点ピンニングが、組織構造に共通な Nd-Ba 置換領域による磁界誘起型ピンニングであることを明らかにしている。

第5章では、第3章および第4章で明らかになった Nd-Ba-Cu-O 超伝導体のピーク効果の起源である Nd-Ba 置換領域、即ち Nd123ss 相の分布を最適化するような Nd123 単結晶の作製プロセスについて検討している。Nd123 単結晶を等温過程で成長させた結果、成長温度の低下に伴って、平均組成やオンセット T_c はほとんど変化しないものの、転移温度幅の増大、ピーク磁界および不可逆磁界の低下が見られることから、成長温度の低下に伴って Nd-Ba 組成ゆらぎが増大したことが示され、過冷度を抑えた作製プロセスが、Nd-Ba-Cu-O 超伝導材料の組成ゆらぎを抑制し、磁束ピンニング特性を向上できることを明らかにしている。

第6章では、各章で得られた知見を総括している。

以上、本研究は、Nd123ss 相の磁束ピンニング特性に及ぼす寄与の評価および Nd123ss 相の分布を最適化する作製プロセスの検討を行ったものであるが、本論文に述べられている新たな知見は、Nd-Ba-Cu-O バルクの材料研究の分野において大きな意味をもつ。特に第3章におけるピーク磁界と不可逆磁界の異方性パラメータの大小から得たピーク磁界の起源、第4章における磁束ピンニング機構の整理から得た Nd-Ba-Cu-O 系での $\Delta\kappa$ 点ピンニングの存在、また第5章における過冷度を抑え Nd-Ba 組成ゆらぎを抑制する Nd-Ba-Cu-O バルクの新たな結晶成長プロセスの提案、等は、超伝導材料の更なる臨界電流密度特性の改善に向けた指針として、高く評価することができ、超伝導工学の基礎ならびに応用分野の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は、博士（工学）学位論文として合格と認められる。