

学 位 論 文 の 要 旨

論文題目 ナノ組織制御による $(Y_{1-x}Gd_x)Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 超伝導線材の磁場中超伝導特性に関する研究
氏 名 佐藤 迪夫

論 文 内 容 の 要 旨

高温超伝導体である $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (REBCO)超伝導体は、安価かつ無尽蔵である液体窒素温度(77 K)下でも他の銅酸化物系超伝導体に比べて高い磁場中臨界電流密度(J_c)特性を示すことから、線材化することで電力・医療機器に用いられる高磁場マグネット応用が期待されている。しかしながら、液体窒素温度下での REBCO 線材の磁場中 J_c 特性は、超伝導体内に侵入したナノサイズの量子化磁束が電流と磁場によるローレンツ力を受け運動するために既に電力・医療機器に実用されている NbTi(高価な液体ヘリウム温度(4.2K)下)線材に比べて低く、応用に必要とされている値に達していないという課題が存在する。そこで本博士論文では、REBCO 線材の液体窒素温度下高磁場マグネット応用に向けて、低コストプロセスである TFA-MOD (Trifluoro Acetates-Metal Organic Deposition)法を用いて、磁場中 J_c 特性向上の鍵である磁束運動抑制のために磁束ピンニング点としてサイズ・密度制御した $BaMO_3$ ($M = Nb, Sn, Zr, Hf$)ナノ粒子を導入した REBCO 線材を作製し、それらが REBCO 線材の磁場中超伝導特性に及ぼす影響について検討を行った。以下に各章の要約を示す。

第1章では、超伝導材料の歴史と代表的な性質について説明し、現状の REBCO 線材に用いられている磁束ピンニング点の形状や材料について説明した。また、現状の超伝導線材の開発状況を述べ、REBCO 線材の長尺化、実用化に向けた課題点を整理し本研究の目的を明確にした。

第2章では、本研究で用いた TFA-MOD 法の原理と特徴を述べた後、各章で作製した REBCO 線材の作製条件に付いて詳しく述べた。また、REBCO 線材の結晶性、表面、微細組織、組成及び超伝導特性などの評価方法について解説した。

第3章では、TFA-MOD 法 REBCO 線材の実用化に向けて作製条件の違いが異なる REBCO 超伝導線材の超伝導特性に及ぼす影響について明らかにした。また、後半では酸素アニール温度によるキャリア濃度の違いが $Y_{0.77}Gd_{0.23}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ((YGd)BCO)線材の自己磁場及び磁場中臨界電流密度(J_c)特性に及ぼす影響について明らかにした。

第4章では、磁場中 J_c 特性の向上を目的に磁束ピンニング点として $BaZrO_3$ (BZO)ナノ粒子を (Y,Gd)BCO 線材に導入し、BZO 添加量、中間熱処理、薄層化技術が BZO ナノ粒子のサイズ及び密度に及ぼす影響について明らかにした。また、BZO ナノ粒子のサイズ及び密度の違いが自己磁場及び磁場中 J_c 特性に及ぼす影響について明らかにした。

第5章では、更なる磁場中 J_c 特性の向上を目的に、第4章で得られた知見をもとに新たな磁束ピンニング点の材料として $BaHfO_3$ (BHO)ナノ粒子を用いて、BHO ナノ粒子を導入した(Y,Gd)BCO 線材の自己磁場及び磁場中超伝導特性について検討した。その結果、BHO ナノ粒子は、BZO ナノ粒子に比べて小さく高密度に(Y,Gd)BCO 線材で導入することに成功し、それらが有効に磁束の運動を抑制し、幅広い温度・磁場強度下で世界最高級の磁場中 J_c 特性を得ることに成功した。また、新たに磁束の熱振動を考慮した磁場中 J_c 解析手法を用いることで、実験結果を理論的に説明できることを明らかにした。第6章「総括」では、本研究を要約した。