

## 審査の結果の要旨

氏名 児玉一宗

本学位論文は、「微細組織制御に基づく  $\text{MgB}_2$  超伝導線材の高臨界電流密度化の研究」と題して、 $\text{MgB}_2$  超伝導線材の製造プロセスの改良により微細組織を制御して臨界電流密度の改善を図るとともに、その改善機構について論じたものであり、全7章から構成されている。

第1章では、研究内容を論じる上で必要となる超伝導体の基本的性質、超伝導線材とその応用、臨界電流密度と磁束ピンニング現象についてまとめた後に、表題物質である二ホウ化マグネシウム ( $\text{MgB}_2$ ) の実用超伝導体としての位置付け、化学的性質、臨界電流密度の決定因子、 $\text{MgB}_2$  線材の性能改善に関する先行研究とその応用展開を述べ、研究の動機付けをしている。

第2章では、実用的な  $\text{MgB}_2$  線材の製造において必要不可欠な強加工(高い断面減少率の加工)が臨界電流密度に多大な影響を与えることを明らかにしている。強加工を施して *in situ* 法により作製した  $\text{MgB}_2$  線材からフィラメントを取り出して密度と輸送特性を詳細に評価することにより、線材中の  $\text{MgB}_2$  フィラメントがバルク試料と比較して、約30%高い充填率、2-3倍の電気的結合度(試料断面における実効的な電流路割合)をもち、このことにより線材では高い臨界電流密度が実現していることを明確にしている。

第3章では、出発原料に  $\text{Mg}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{MgB}_2$  粉末を用いるプレミックス法により作製した線材に対して  $\text{MgB}_2$  添加量の影響を詳細に評価し、 $\text{Mg} + 2\text{B} \rightarrow \text{MgB}_2$  の化学変化時の物質移動と体積変化が  $\text{MgB}_2$  の充填率と焼結性に及ぼす影響、粉末粒子の線材加工時の変形挙動が粉末充填率に与える影響、 $\text{MgB}_2$  への格子欠陥の導入過程の差異が  $\text{MgB}_2$  の電子散乱に与える影響について論じている。

第4章では、出発原料としてのホウ素の性状(粒径、結晶構造、純度)が *in situ*  $\text{MgB}_2$  線材の臨界電流密度に及ぼす影響を調べている。その結果、微細なホウ素の使用は、 $\text{MgB}_2$  生成時に結晶粒内に導入される格子欠陥密度を高めることで電

子散乱を強め、結晶粒界の磁束ピンニングと上部臨界磁場を高める効果があることを明確に示している。また、低コストホウ素の改良による臨界電流密度の改善を確認している。この技術は、 $\text{MgB}_2$  線材の出発原料としてのホウ素粉末の選択の幅を広げ、性能とコストバランスに優れた  $\text{MgB}_2$  線材の製造を可能にする。

第 5 章では、 $\text{MgB}_2$  線材の高磁場応用に必要不可欠なホウ素サイトの炭素置換について検討している。既に有効性が報告されている炭素添加材であるコロネン ( $\text{C}_{24}\text{H}_{12}$ ) に対し、本研究では精密な組成制御を図るとともに熱処理の長時間化に着目することで、*in situ* 法による  $\text{MgB}_2$  線材としては十分に高い水準の臨界電流密度を得ることに成功している。

第 6 章では、メカニカルミリングにより合成した前駆体粉末を利用して  $\text{MgB}_2$  の充填率と臨界電流密度を劇的に高める方法について提案している。典型的な *in situ* 法では、たとえ強加工を加えても硬度が高く微細なホウ素粒子の間に隙間が生じる。一方、本手法における前駆体粉末は、ホウ素粒子がマグネシウムのマトリクスに分散した特徴的な構造を有し、線材加工時の塑性変形によりほぼ完全に緻密な粒子の充填が達成される。結果として、電氣的結合度が 1.5 倍に高まり、十分に製造条件が最適化された *in situ* 法による線材に対して優位な臨界電流密度を得ることに成功している。

第 7 章では、 $\text{MgB}_2$  超伝導線材に関する本研究の成果を総括している。特に、各章における臨界電流密度の改善の機構について横断的な議論をするとともに、本研究による臨界電流密度の改善がもたらす実用上の意義について著している。

以上要約したように、本研究は、 $\text{MgB}_2$  超伝導線材における微細組織と電磁気的特性の普遍的な関係性を明確にしておき、超伝導体における磁束ピンニング理論の発展に寄与するものである。また、本研究を通じた臨界電流密度の改善は、動作温度の高温化による超伝導技術のより広い工学応用分野への発展を切り拓くものであり、高く評価することができる。

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。