

## 審査の結果の要旨

氏 名 山 本 明 保

本学位論文では、工学的見地からの重要課題である  $\text{MgB}_2$  (二ホウ化マグネシウム) 超伝導材料の実用化と、基礎科学的観点からの多結晶超伝導体の磁束ピンニング機構およびコネクティビティ抑制機構の総合的な解明を目指している。 $\text{MgB}_2$  超伝導体における臨界電流制限機構の理解から期待される高性能化を具体的な目標に置き、高臨界電流密度化手法の材料科学的な開発、局所的な超伝導性と微細組織の直接観察を試みるとともに、巨視的な電磁特性の評価と伝導機構の数式化といった問題に取り組んでいる。

論文は全 8 章から構成されておりその概要は以下のとおりである。

第 1 章では、論文全体を通じて必要な予備知識をまとめるとともに、研究の着眼点、研究方針および特色、そして研究の目的を述べている。

第 2 章では、実験手順を中心に多結晶試料の作製法と、試料の分析・評価法について記述している。とくに、平衡蒸気圧が高く化学的反応性に富む金属マグネシウム量を精密制御する高品位試料合成法について詳しく説明している。

第 3 章では、異なる合成条件で作製した  $\text{MgB}_2$  について、臨界電流特性に及ぼす微細組織の影響を調べ、結晶粒径、粒間の結合の強さ、結晶性が臨界電流特性の支配因子であることを報告している。また、微細組織の最適化には金属マグネシウムの融点以下の低温での長時間の熱処理が有効であることを明らかにしている。とくに付録 A 章では、 $\text{MgB}_2$  の生成機構、及び生成にともなう体積変化と超伝導特性への影響について考察している。

第 4 章では、系統的に炭素置換量を変化させた  $\text{Mg}(\text{B}_{1-x}\text{C}_x)_2$  試料の合成を通じて、ホウ素サイトへの炭素元素置換により  $\text{MgB}_2$  の高磁場下の臨界電流特性が飛躍的に改善されることを報告し、その改善機構を考察している。また、炭素置換  $\text{MgB}_2$  の合成条件の最適化を行い、炭素置換  $\text{MgB}_2$  の超伝導特性にみられる種々の普遍的な法則を明らかにしている。

第 5 章では、多様な微細組織を有する試料について磁気光学測定を行い、 $\text{MgB}_2$  の臨界電流を制限する電流阻害因子を直接観察により明らかにしている。また、本物質で初めて観測に成功した粒状化現象を報告し、多結晶体でのコネクティビティの抑制を示す直接的証拠を提出している。

第 6 章では、 $\text{MgB}_2$  多結晶体の電気抵抗率を平均場理論により解析し、 $\text{MgB}_2$  の電気伝導モデルを提案するとともに、コネクティビティの低下が空隙と結晶粒界における絶縁酸

化膜による電流のパーコレーションに起因することを定量的に明らかにしている。また、コネクティビティと臨界電流密度の関係を磁束ピンニング力と関連付けて考察を行っている。

第7章では、磁化測定によりコネクティビティと局所的な臨界電流密度の評価を行い、本系で初めてマクロな電磁気的评价によるコネクティビティの抑制を示す結果を報告している。また、 $MgB_2$ においては高臨界電流密度を持つ局所的な超伝導電流の循環領域が複数の結晶粒に及んでいることを明らかにし、コネクティビティが低下する特徴的長さスケールの概念を考案して、それを実験的に見積もっている。

最後に、第8章では、研究の全体を総括し、本研究で得ることのできた  $MgB_2$  超伝導体の臨界電流制限機構に関する知見と今後の研究への提言を記している。

本論文の特徴は、種々の物性パラメータを精密に制御した系統的な試料合成を通じて、 $MgB_2$  の臨界電流制限機構を明らかにするとともに、それを克服する高臨界電流特性化指針を具体的に示している点である。とくに、第4章で述べられている炭素置換は、現在  $MgB_2$  において唯一有効と認められている化学組成制御法である。また、従来理解されていた磁束ピンニング力だけでなく、体系的な理解がなされていなかったコネクティビティが  $MgB_2$  の臨界電流特性に対して支配的であることを主張し、その評価法と制限機構を新しく提案している。このように多角的に超伝導材料の臨界電流を評価した研究は他に例が少なく、本研究で開発されたコネクティビティの解析手法は他の実用超伝導材料に応用されており、基礎科学の立場からも幅広い研究展開が期待され、今後の超伝導材料実用化研究に資するところ大である。

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。