

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 石 原 篤

高温超伝導体は 1986 年の発見以降、薄膜、線材、バルクなどの様々な形状での材料開発が進められており、特にバルク体はコンパクトでテスラ級の磁場が発生可能な超伝導バルク磁石としての応用が期待されている。本学位論文は、「高温超伝導バルク磁石の高品質化」と題して、高温超伝導バルク磁石の各種応用に向け、磁石特性として「磁場強度」、「磁場均一性」、「磁場安定性」など、機器材料として「加工性」、「形状自由度」、「生産性」などの多角的な観点から、高温超伝導バルク磁石の創製・高品質化を実施している。

第 1 章は本論文の序論として、研究内容を論じる上で必要となる超伝導特性の一般論を述べた後に、本研究で扱った  $\text{RE123}$  超伝導体と  $\text{MgB}_2$  超伝導体の特徴について述べている。また磁場発生観点から、永久磁石、超伝導コイル、超伝導バルク磁石について現状を総括し、研究の動機付け、目標設定を行っている。

第 2 章では、多結晶  $\text{RE123}$  超伝導バルク磁石の実現を目指し、磁場を用いた配向制御を試みている。目的とする磁場配向度や配向方向の実現のためには、磁化容易軸や磁気異方性の制御が必要であり、本研究では  $\text{RE123}$  の磁気異方性に与える結晶化学的な支配因子の解明を行い、2 軸配向体の作製を試みた結果について述べられている。

第 3 章では、多結晶  $\text{MgB}_2$  バルク体による新規高温超伝導バルク磁石の創製を目的とし、熱処理条件の最適化、ヒステリシス曲線による磁石特性評価などを行った結果について述べられている。そして粉末の成形・焼結という簡便な製法で作製可能な無配向の多結晶体においても、 $\text{MgB}_2$  は超伝導バルク磁石として機能し、理想的な磁石曲線を有する“擬似永久磁石”であることを明らかにしている。

第 4 章では、“擬似永久磁石”として使用可能であることが明らかになった多結晶  $\text{MgB}_2$  超伝導バルク磁石の磁石特性の高特性化を目的とし、具体的な開発数値目標として、磁場強度は永久磁石の自発磁化の最大値 (2.5 T) 以上、磁場均一性は永久磁石の円形度以上、磁場安定性は永久磁石と同等で、かつ冷凍機応用を想定し 10 年で減衰率 1 % 以下という目標設定をし、開発を行った結果について

て述べられている。そして全ての目標値を達成し、**MgB<sub>2</sub>** 超伝導バルク磁石は”高品質磁場”を有していることを明らかにしている。

第 5 章では、“擬似永久磁石”として“高品質磁場”を有していることが明らかにになった多結晶 **MgB<sub>2</sub>** 超伝導バルク磁石に対し、任意の磁場空間を創製するのに必要な任意形状の超伝導バルク磁石の実現を目的に、大型化、汎用機械加工による任意形状化などを試みた結果について述べられている。そして **MgB<sub>2</sub>** 超伝導バルク磁石は試料のサイズ・形状に関わらず同じ熱処理条件で作製できること、汎用機械加工によりダメージを与えることなく、任意形状に加工ができることを明らかにしている。

第 6 章では、高温超伝導バルク磁石の構造や運用方法を工夫することで、均一磁場空間を創製することを検討している。具体的には磁場均一性が悪く、個体間の差も大きい **RE123** 超伝導バルク磁石を用い、磁場空間の均一化を試みており、リング状超伝導バルク磁石を多層化することにより磁場安定性を維持したまま、磁場均一性、磁場強度とも向上できることを解析により明らかにし、実際にリング状超伝導バルク磁石を 10 層積層することで、1 層に比べ、磁場強度を約 3.5 倍、磁場均一性を約 18 倍向上できることを実証している。またリング状超伝導バルク磁石を多層化する際に、バルク磁石間に適切なギャップを設けることで、磁場強度は低下するが、磁場均一性を向上できることを解析により明らかにし、実際にリング状超伝導バルク磁石を 2 層積層し、バルク磁石間に適切なギャップを設けることで、磁場強度は約 0.75 倍になるが、磁場均一性は 4 倍向上できることを実証している。さらに多層化したリング状超伝導バルク磁石を冷凍機で冷却することで、磁場均一性を維持したまま、磁場強度を向上できることを明らかにし、例えば 50 K まで冷却することで、磁場強度を 77 K の約 4 倍向上できることを実証している。

第 7 章では、本研究で得られた知見を総括・討論し、今後の課題と展望について述べている。本研究で得られた全ての知見は、**MgB<sub>2</sub>** 超伝導バルク磁石の礎となるものであり、磁場均一性に優れ、高い生産性で作製できるという多結晶 **MgB<sub>2</sub>** 超伝導バルク磁石ならではの特徴を最大限生かしつつ、小型冷凍機で機器システムを成立させることが、**MgB<sub>2</sub>** 超伝導バルク磁石の各種応用機器の実現に繋がると結論している。

以上要約したように、本研究は、高温超伝導バルク磁石の高品質化を主眼とし、特に新規超伝導体バルク磁石として、磁場特性に優れた多結晶 **MgB<sub>2</sub>** 超伝導バルク磁石の創製に成功しており、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。