

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名：鉄ニクタイト系高温超伝導体における臨界電流密度の高精度な評価
2. 研究代表者名及び主たる研究参加者名（研究機関名・職名は研究参加期間終了時点）：

研究代表者

小田部 荘司（九州工業大学大学院情報工学研究院 教授）

主たる共同研究者

倪宝荣（福岡工業大学 教授）

馬衍偉（中国科学院 教授）

3. 研究実施概要

本研究課題は、超伝導体が実際に利用されるためには電流密度の最大値である臨界電流密度が大きいことが重要であるという観点から、まず臨界電流密度の正確な測定を行い、そしてなぜ臨界電流密度が低いのかということをつまららかにし、これを製造プロセスに活かすことにより臨界電流密度の改善を図ることを目的とした。併せて将来どのくらいまで臨界電流密度を向上させることができるかどうかを、凝縮エネルギー密度を正確に評価することにより判断した。その結果、まず、多結晶試料に独特な 2 種類の臨界電流密度を正確に分離して評価する方法を確立し、次にこれらの 2 種類の臨界電流密度の存在による影響の顕著な効果である履歴効果について解明した。さらに臨界電流密度を決定している凝縮エネルギー密度を重イオン照射の結果から評価し、鉄系超伝導体が高い可能性があることを示した。最後に、これらの結果から PIT 法による線材の開発が順調に進み、現在では粒間の臨界電流密度で 108 A/m² で臨界電流では 180 A に達した。

4. 事後評価結果

4-1. 研究の達成状況及び得られた研究成果

本研究課題では次のような成果が得られた。

① 粒内と粒間の 2 種類の臨界電流密度の正確な測定方法の確立

焼結法で作られる鉄系超伝導体は多結晶であり、粒内では高い臨界電流密度があるものの、粒間では臨界電流密度が制限される。これらの大きさは 100 倍から 1000 倍にもなり、これを正確に分離して測定できる方法を確立した。その結果、粒内は 1011A/m² におよぶような高い臨界電流密度があるものの、粒間は 108 A/m² 程度とかなり低い値であることを確認した。

② 鉄系超伝導体の凝縮エネルギー密度の評価

臨界電流密度は凝縮エネルギー密度、ピン濃度、ピン体積、ピン効率の積に比例する。したがって、凝縮エネルギー密度を正確に測定することにより、将来どのくらいまで臨界電流密度が向上するかどうかを判断できる。そこで鉄系超伝導体において評価をおこなった。その結果、凝縮エネルギー密度は従来の銅系酸化物超伝導体と同程度の大きさを持ち、さらに異方性が小さいことから臨界温度付近まで高い値を保つよい性質を持つことを明らかにした。

③ 鉄系超伝導における線材の開発

超伝導材料を実用的な応用に用いるためには線材化が不可欠である。ここでは数種類の鉄系超伝導体において線材化を試み、最終的に臨界電流が 4.2K において 180A におよぶ線材の開発に成功した。

4-2. 総合的評価

本研究課題では、工学上重要な指標である臨界電流密度に関する研究を実施した。結晶粒内の電流と結晶粒間の電流をそれぞれモデル化し、評価する方法を提案した。そして、増磁過程と減磁過程で異なる磁

化履歴効果の検討から、結晶粒内と結晶粒間の2種類の臨界電流密度に関する考察を行い、提案した評価方法の妥当性を検証したことは評価できる。また、重イオン照射の結果から材料の凝縮エネルギー密度を評価した結果、鉄系超伝導体における凝縮エネルギー密度は銅系酸化物超伝導体に匹敵しさらに、異方性が小さいことにより、臨界温度付近まで凝集エネルギー密度が低下しないことなどの理由から実用的に優れていることを示唆した。一方、PIT法による線材開発の結果、最終的に結晶粒間の臨界電流密度 10^8A/m^2 、臨界電流値 180A を達成した。報告書では、結晶粒内と結晶粒間の臨界電流密度の分離について正確な評価法を確立したとされているが、これは、難しい問題であり、特に、結晶粒間の臨界電流は粒界の性質によって大きく変化することが予想される。評価の妥当性についてさらに注意深い検討を行い、より高精度な臨界電流値評価法を確立することを期待したい。