

氏名(本籍)	藤井宏樹(三重県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博乙第1828号
学位授与年月日	平成14年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
審査研究科	数理物質科学研究科
学位論文題目	Bi-2212及び新超伝導材料の組織と臨界電流密度
主査	筑波大学教授 理学博士 門脇和男
副査	筑波大学教授 理学博士 浅野肇
副査	筑波大学教授 工学博士 滝田宏樹
副査	筑波大学教授 工学博士 吉崎亮造
副査	筑波大学併任教授 工学博士 戸叶一正 (物質・材料研究機構)

論文の内容の要旨

高温超伝導体は発見当初からその高い超伝導転位温度のため、電気工学的な応用分野で実用化が進み、社会生活に大きな影響を及ぼすであろうことが容易に推測され、大きな社会的期待感をもって激しい研究競争が行われたことは記憶に新しい。現在、発見から15年が経ち、一時の加熱された社会現象は失せたものの、超伝導実用化の研究は、依然、重要な研究分野として継続されており、物性物理と工学とが一つに融合した研究分野として確立されてきたといえるであろう。我が国においては、特に、産業基盤の重要研究課題の一つとして取り上げられており、世界を先導する多くの研究がこの分野ではなされている。このような現況で、本論文は、当人が所属している研究機関において行われた大型研究プロジェクトの成果の重要な一部分をなしている。

超伝導体の特性で応用上最も重要な特性の一つの、伝送可能な電流容量である。これは臨界電流密度と呼ばれ、超伝導を実用化する際、きわめて重要なパラメーターである。高温超伝導体の応用が遅れている理由はまさにこの臨界電流密度が高温で急速に小さくなり、最も重要な温度領域においてはもはや超伝導体としての特性が損なわれてしまうほどの劣化現象を未だ解決できないことにある。この原因としてはいくつか挙げられ、その対策も考案されてはいるものの抜本的な改善には至っていないのが現状である。このような高温における特性劣化の原因を、微視的な物質の組織構造に踏み込んで明確にし、その改善策を提案したところに本論文の中心的位置づけがなされている。物質としては、典型的な高温超伝導体である $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 系を中心として、最近発見され、特に注目されている MgB_2 、さらに硼化炭化物 Y-Pd-B-C 系など多岐にわたるが、その基本的姿勢は一貫している。その結果、 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$ 系のテープ線材では臨界電流密度が結晶の粒界に強く依存し、粒界が通常、ピン留め中心として作用し、臨界電流密度を向上させる原因と考えられてきた金属系超伝導体の常識を否定した。これは、電子顕微鏡による組織構造の詳細な解析の結果から導かれたものである。粒界にはねじれ粒界、傾界粒界、突き合わせ粒界の3種類に分類されるが、これらの内、粒界の微細結晶構造、特に、粒界内部に不純物相や組成のずれた物質などが析出する場合は特に臨界電流密度の劣化が激しい。このような不純物相や組成ずれた物質の生成を如何に制御するかが高い臨界電流密度を得るために決定的な条件であることを明らかにした。これによって、この物質が持つ本来の超伝導特性まで特性改善が期待できることを示した。これは本材料の特性の限界がどこにあ

るかを明らかにしたことであり、高く評価される成果であると考えられる。しかしながら、このような詳細な組織観察により原因が解明されたが、現実はこの粒界の特性をどのようにして改善するか、その具体的な方法の確立には至っておらず、臨界電流密度改善の技術的な課題は未解決である。

同様な手法を金属系の新高温超伝導体 MgB_2 の線材に適用し、臨界電流密度を支配している要因を解明した。 MgB_2 は超伝導転移温度が 39K と金属系の超伝導体としては格段に高く、材料コストも安く、しかも軽く（密度 2.6g/cm^3 ）、臨界磁場も比較的高いので 10T 程度の磁場を 20K 程度で容易に実現できるため、現在、多用されている NbTi 合金材料をしのぐ新しい材料となりうるものである。特に、現在、20K 程度の冷却は小型冷凍機で容易に実現できることから、液体ヘリウムが不要となる点、実用化できれば多様な用途に簡便に利用できるため、きわめて重要な材料となりうる。

試料はパウダーインチューブ法で市販の粉末試料を用いている。シース材として銅など、高電気伝導材料を用いると予想に反して臨界電流密度はきわめて低く、実用レベルは達成できないが、高強度材である炭素網を用いると臨界電流密度が高くなる結果が得られている。その原因は電子顕微鏡による微細組織の観察により、原料粉末の粒界結合が高強度シース材で作成することによって改善することが明らかにされた。薄膜においてはすでに 20K で 10^6A/cm^2 程度の比較的高い臨界電流密度が得られているが、バルク線材で高強度炭素網を用いても、磁場中での特性劣化が依然大きい。この理由は、薄膜などにおいては組織が微細化することによって粒界の数やその占める割合も増え、さらにその粒界が不純物などの無いきれいな粒界であればむしろピン留め中心として働き、臨界電流向上に貢献するのであるが、バルク線材においては粒界が不純物などによって汚染されているので逆に超伝導電流の障害となるためである。この点を著者は新超伝導体である MgB_2 において詳細な組織観察を通して初めて明らかにした。このことは、今後、この材料を実用化する上での技術的方法を検討する重要な指針を与えるものである。

審 査 の 結 果 の 要 旨

高温超伝導体に代表されるように、できる限り高温で超伝導材料を実用化しようとする社会的要請は最近ますます強くなってきている。東京－大阪間を 1 時間程度で結ぶ超伝導磁気浮上列車がその代表である。本研究の内容は、このような技術開発の一端を担い、その成果は社会的に重要な意味を持っている。

この論文は、高温超伝導体や、最近特に注目されている金属系高温超伝導体 MgB_2 などの新しい超伝導材料の線材の実用化を目指した研究に関するものであり、試料の合成、線材の作成から電子顕微鏡や X 線回折、熱分析など高度な実験手段を用いて、目的とする超伝導体の実用化に対する諸問題点を明らかにし、今後の技術開発に指針を与えており、高く評価される。

本論文の審査に当たり、超伝導の専門的研究内容の深さや質、問題を解決する実験装置や手法の適切性、そこから得られる結論や推論の妥当性、また、本研究内容が与える社会への影響など幅広い視点から 5 名の審査委員により審査を行った。その結果、本研究において、高温超伝導体 $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ 系における線材開発において、長い間問題とされてきた臨界電流密度の劣化現象の原因を詳細な電子顕微鏡観察により、粒界の弱結合にあることを突き止め、臨界電流密度の阻害要因を初めて実験的に明らかにし、その改善に対する技術的方策に指針を与えた。また、最近発見された金属間化合物である高温超伝導体 MgB_2 において、線材の臨界電流密度の劣化現象の原因が粒界にある不純物であることを明らかにし、粒界の不純物制御により粒界の特性を改善することにより、この物質の持つ潜在的な臨界電流密度に近い値まで向上できる可能性を示唆した。また、このほか、最近話題の超伝導物質である硼化炭化物 Y-Ni-B-C 系の高温度超伝導相の同定や単相化の研究を世界に先がけて行った。これらの内容は、その量と質においても世界的な研究レベルにあり、高度で最先端の実験手法を用いた本研究はこの分野の発展に大きな貢献をしたものと評価される。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。