

研究主論文抄録

論文題目 MgB₂超伝導薄膜の磁束ピンニング特性と電力ケーブル応用を目指した
Al基板上 MgB₂超伝導薄膜に関する研究
(A study on flux pinning properties of MgB₂ superconducting thin films and MgB₂
superconducting thin films fabricated on Al substrates for application of
a superconducting power cable)

熊本大学大学院自然科学研究科 情報電気電子工学専攻 機能創成エネルギー講座
(主任指導 藤吉孝則 教授)

論文提出者 米倉 健志
(by Kenji Yonekura)

主論文要旨

本論文は、MgB₂超伝導薄膜の磁束ピンニングの解析およびその特性向上を目的として行った研究についてまとめたものである。超伝導体は極低温下で電気抵抗が完全に零になる物質であるが、無限に電流を流せるわけではない。電気抵抗が零の状態を保ったまま流すことのできる最大の電流密度を臨界電流密度 J_c と呼ぶ。磁場を印加した状態で超伝導体に電流を流すと、超伝導体内に侵入した磁束線にローレンツ力が働き、これにより磁束線が運動することにより電圧が生じてしまうからである。しかし、磁束線の動きを止めることができれば J_c は向上する。これを磁束ピンニングといい、この役割を果たすものをピンニングセンターという。磁場中の J_c を向上させるためには磁束ピンニングについて解析し、向上させることが重要となる。

第1章では、MgB₂超伝導薄膜に関する研究の背景と目的について述べる。第2章では、MgB₂超伝導薄膜に膜面に対して平行な磁場が印加された時の J_c 向上を試みた。電子ビーム蒸着法 (EBE法) により MgB₂ 層と数 nm オーダーの Ni 層から成る MgB₂/Ni 多層膜を作製した。Ni は強磁性体なので、有効なピンニングセンターとして作用することが期待できる。その結果、超伝導に転移する臨界温度 T_c は大きく低下したが、膜面に対して平行な磁場に対して、Ni 層は非常に有効なピンニングセンターとして作用した。

第3章では、基板にバッファ層を堆積させることで MgB₂ の結晶性に変化を及ぼすことで磁場中の J_c を向上させることを試みた。第2章で研究を行った MgB₂/Ni 多層膜では、高磁場での使用には Ni 層の層数を多くする必要があり、超伝導性の低下が懸念される。これに対して、この方法は磁性材料を導入しないため、超伝導性を大幅に低下させることがない。MgB₂ 薄膜は分子線エピタキシー法 (MBE法) によりエピタキシャル成長させて作製した。このとき、結晶粒界がピンニングセンターとして作用するため、基板やバッファ層の変化に

より結晶粒の大きさが変わり、磁束ピンニングへ影響を与えることが考えられる。MBE法でTiバッファを堆積させた複数の基板上に MgB_2 薄膜を作製したところ、今回作製した試料では高磁場中での J_c が以前の研究で作製した MgB_2 薄膜に比べ向上していた。しかし、バッファ層を導入したにも関わらず基板物質が MgB_2 薄膜内に拡散している可能性が考えられた。

第4章および第5章では、 MgB_2 超伝導体の電力ケーブル応用を目指して無配向のAlテープ基板上に MgB_2 薄膜をEBE法で作製した。従来の MgB_2 線材は磁場中で高い J_c を有するものが得られていない。第4章では MgB_2 の組成比を化学量論的な場合とB過剰な組成比での2種類で作製したが、どちらも単結晶基板上にEBE法で作製した MgB_2 薄膜と同等かそれ以上の J_c を有していた。また、無配向基板であっても、単結晶基板上に作製した場合と同様に結晶粒界がピンニングセンターとして作用していることが確認できた。また、高磁場ではB過剰な試料の方が高い J_c を有していた。しかしながら、作製した MgB_2 薄膜の結晶性はあまり良くないことも確認され、内部観察により基板と MgB_2 薄膜の間に中間層が存在することや、基板物質と薄膜で相互拡散が起きていることもわかった。

次に、第5章では、Alテープ基板上 MgB_2 薄膜のさらなる J_c 向上を目指して、B過剰な組成の MgB_2 薄膜について調査を行った。またBバッファ層を導入することで結晶性の改善も試みた。Bバッファ層を導入した MgB_2 薄膜が結晶性が最も良く、基板物質と薄膜での相互拡散も起きていないことが予測された。これらの MgB_2 薄膜において、10K、自己磁場で $10^7 A/cm^2$ オーダーの J_c を示した。これは結晶性の改善が J_c の向上につながったと考えられる。よって、Al基板上に MgB_2 薄膜を作製することは線材作製法として有用であり、さらにバッファ層の導入などで特性を向上させることも可能であることを示した。