

審査の結果の要旨

氏名 飯島 康裕

イットリウム系高温銅酸化物超電導体 (YBCO) は MA/cm^2 オーダの臨界電流密度を有することで知られ線材として有望視されているが、磁場中では結晶粒界が弱結合になり易く実用化には高配向薄膜被服線材化技術開発が必須とされている。本論文は、イオンビーム支援蒸着法 (IBAD 法) を駆使した手法により、フレキシブル金属テープを基板とした高配向薄膜被服線材の製造法を世界に先駆けて提示した研究をまとめたものである。本論文は以下の六章から成る。

第一章は序論であり、酸化物超電導体発見の意義、超電導材料及び超電導線材開発の世界的動向及び将来市場等について詳述し、本研究の位置付け目的を明確化している。

第二章はイオンビーム支援蒸着法による 2 軸配向制御の基礎研究であり、2 元イオンビームスパッタ装置を用いて蛍石構造酸化物であるイットリア安定化ジルコニア (YSZ) の配向成膜を検討している。特に、 $150\text{-}200\text{eV}$ の Ar イオンを斜め照射することにより基板に垂直方向の $\langle 100 \rangle$ 軸配向を阻害することなく面内にも秩序が現れ、イオン入射角度が $\langle 111 \rangle$ 方位と一致する場合に最も配向性が顕著となることを見いだしたことは世界的にも本分野における画期的成果と認められている。このイオン照射による面内配向制御の機構については、イオンチャネリング現象に伴うスパッタイールドの違いに起因する優先方位選択成長によるものであるとし、本技術が中間層製膜の必須技術に成りうると結論している。

第三章は、前章を受け、YSZ よりも一層優れた特性を有する中間層探索を目的に、主として蛍石構造及びパイロクロア構造酸化物を対象としイオンビーム支援蒸着法による配向制御を適用した系統的実験をまとめている。結果として、 ZrO_2 と希土類酸化物 ; RE_2O_3 のほとんどの複合酸化物において、 $150\text{-}200\text{eV}$ の低エネルギー Ar イオンビームの衝撃下では 300°C 程度でも $\langle 100 \rangle$ 軸が垂直に配向しかつ面内にも 2 軸配向成長することを示した。特に、 ZrO_2 と RE_2O_3 の組成比依存性から、 $\text{ZrO}_2 : \text{RE}_2\text{O}_3 = 2 : 1$ のパイロクロア型に相当する一連の希土類系列を検討した結果、 $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 、 $\text{Eu}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ が中間層として最適であるとし、特に $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ では YSZ のほぼ半分の $0.5\mu\text{m}$ 堆積時に配向が進展することを明示し中間層としての優位性を示した。

第四章では上記中間層を施した基板を用い、レーザー蒸着法による YBCO 超電導膜堆積を検討している。YBCO 膜と中間層との格子整合性、界面反応制御の

観点から、中間層上に更に 100 nm 程度の薄い Y_2O_3 膜を形成することが有効であること、中間層の配向性向上に従って臨界電流密度が向上することなどを見だし、ほぼ単結晶 YBCO の場合と同程度の超電導特性を得ている。更に、外部磁場中特性評価により、単結晶薄膜で得られる特徴的な外部磁界依存性磁界角度依存性を確認するとともに、フレキシブルな金属基板を用いた YBCO 膜において世界に先駆けて高いピンニング特性が得られることを実証した。

第五章では 2 軸配向薄膜 YBCO 系超電導線材開発と題し、イオンビーム支援蒸着法とレーザー蒸着法を併用した reel-to-reel プロセスの開発を検討している。基板が移動する場合においても 2 軸配向中間層形成が可能であることを明示するとともに、実際に膜厚 $1.2\mu\text{m}$ の YBCO 超電導線材を 46m 長にわたって形成、全長にわたって $I_c=74\text{A}$, $J_c=0.6\text{MA}/\text{cm}^2$ の高特性が得られること、0.4% の引張り歪までこの特性は劣化しないことなどを確認している。以上から、本研究で開発した技術が超電導長尺線材プロセスとして実用化可能であると結論付けている。

第六章では本研究で得られた成果を総括している。

以上を要するに、本研究は YBCO 超電導長尺フレキシブル線材において液体窒素温度で $10^5\text{A}/\text{cm}^2$ を超える超電導臨界電流密度を初めて示し、実用化の観点から第二世代高温超電導線材研究の先導的役割を果たしたものであり、材料工学に対する貢献は大きい。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。