

人工ピンを導入した RE-Ba-Cu-O 超伝導薄膜のピーク効果の起源

The origin of peak effect in RE-Ba-Cu-O superconducting film with artificial pinning center

名大・工 吉田 隆, 一野 祐亮, 船木 修平, 尾崎 壽紀
東北大・金研 淡路 智, 渡辺 和雄

Y. Yoshida¹, Y. Ichino¹, S. Funaki¹, T. Ozaki¹, S. Awaji², K. Watanabe²

¹ Faculty of Engineering, Nagoya University

² Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

REBa₂Cu₃O_y(REBCO)高温超伝導体は液体窒素中(77 K)で超伝導状態に転移することから、超伝導体のなかでも、より幅広い応用が期待されている。しかし REBCO は高磁場下において臨界電流密度(J_c)が著しく減少するという課題がある。その課題を克服するため、薄膜の結晶性を向上させる、薄膜内に磁束ピンニングセンター(PC)を導入するなどの研究が行なわれている。その中において我々が提案した低温成膜(Low Temperature Growth)法を用いて作製した SmBCO 薄膜は低い基板温度(T_s)でも 2 軸配向し、さらに Sm/Ba 置換に起因した Sm-Rich 相の PC が薄膜内で微細分散されることにより、磁場中 J_c が向上することを報告している[1]。

本研究では GdBa₂Cu₃O_y(GdBCO)を薄膜材料とした。GdBCO は REBCO の中でも固溶限界が低いいため RE/Ba 置換が起こりにくく、比較的組成の制御が容易とされている。LTG-GdBCO 薄膜を作製し、評価することで RE/Ba の固溶限界の差が LTG 法で作製した薄膜に与える影響について検討した。また、LTG 法で用いた GdBCO の seed-layer の代わりに、GdBCO とは異なる中間層を用いることにより seed-layer の役割について検討した。本研究では GdBCO と格子定数の近い SrTiO₃ 中間層を用いて格子ミスフィットの緩和が配向性に与える影響を検討した。さらに GdBCO と格子定数が近く、結晶構造内に BaO 面を持つ BaTiO₃ 中間層を用いることで、格子ミスフィットの緩和に加えて BaO 面を共有することによる界面エネルギーの低減が配向性に与える影響を検討した。

さらに、本研究では、 $B=20$ T 付近までの高磁場及び測定温度 65K の低温での J_c 測定及びピンング力の評価により、酸化物系超伝導膜における人工ピンのメカニズムの解明及び人工ピン導入技術の向上を図る。

2. 実験方法

本研究では薄膜作製に Pulsed Laser Deposition(PLD)法を用いた。中間層は高い T_s (900 °C)で作製し、GdBCO の upper-layer は低い T_s (800 ~ 900 °C)で作製した。作製した薄膜の配向性を X 線回折(XRD)法、表面構造を原子間力顕微鏡(AFM)、

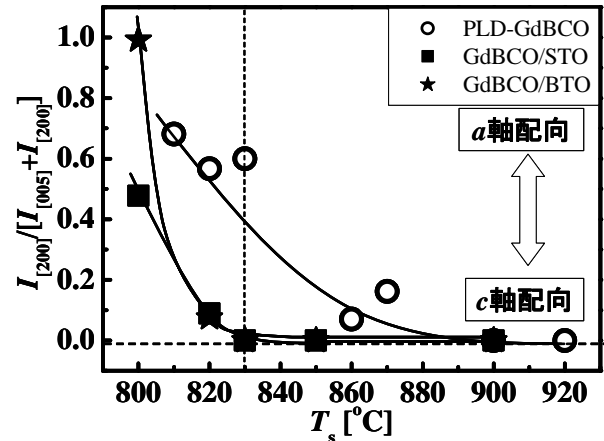


図1 GdBCO/STO及びGdBCO/BTO薄膜における a 軸混在率の T_s 依存性

超伝導特性は直流四端子法を用いてそれぞれ評価した。また、測定には東北大 金属材料研究所 強磁場超伝導材料研究センター内の 20T-SM を用い測定を行った。

3. 結果と考察

—GdBCO/STO 及び GdBCO/BTO 薄膜の配向性及び超伝導特性—

図1に GdBCO/STO 及び GdBCO/BTO 薄膜における a 軸混在率の T_s 依存性を示す。GdBCO/STO、GdBCO/BTO 薄膜ともに PLD-GdBCO 薄膜と比較して c 軸単相配向する温度領域が拡大している。また、GdBCO/STO、GdBCO/BTO 薄膜ともに $T_s = 820$ °C 以下において a 軸が混在するのがわかる。

この結果より、BaO 面を共有して界面エネルギーを低減させることに比べ格子ミスフィットを緩和することが、より低い T_s における 2 軸配向に寄与していることがわかった。

図2に GdBCO/STO 及び GdBCO/BTO 薄膜における 77 K で測定した J_c の磁場依存性を示す。この結果より GdBCO/STO、GdBCO/BTO 薄膜共に PLD-GdBCO より磁場中 J_c が向上していることがわかる。AFM で GdBCO の結晶粒の大きさを評価した結果、PLD-GdBCO、GdBCO/STO、

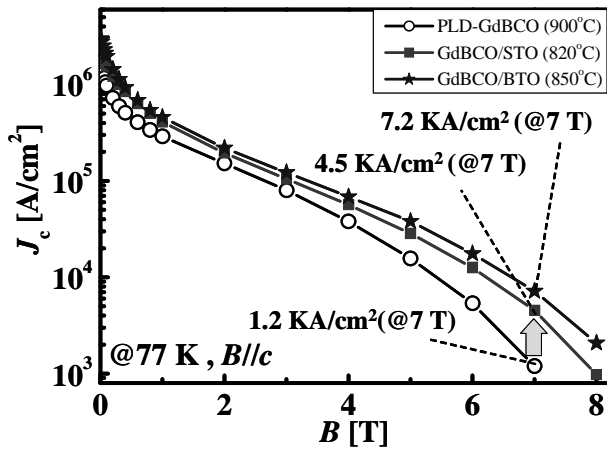


図2 GdBCO/STO及びGdBCO/BTO薄膜における J_c の磁場依存性

GdBCO/BTO 薄膜の粒径はそれぞれ 281 nm、157 nm、210 nm であった。GdBCO は粒径が小さいほど結晶粒界が増加し、これが金属超伝導体材料における粒界ピンと同様に PC として働くため、ピンニング力が強くなるという報告があり [2]、本研究においてもその傾向が現れたと考えられる。

図3に、GdBCO/STO及びGdBCO/BTO薄膜における77 K及び65 Kで測定した J_c の磁場依存性を示す。磁場は c 軸に水平に印加した。図4に、これらから求めた77 K、65 Kにおけるピンニング力 $F_p (=J_c \times B)$ 値を示す。65 Kにおける F_p 値では、最高値がそれぞれ1 GN及び1.25 GNとBTO及びSTO中間層を用いた時の違いが確認された。今後、65 K以下の低温磁場角度依存性などを詳細に検討することにより中間層材料の違いにおけるピン止め機構を明らかにしていきたいと考えている。

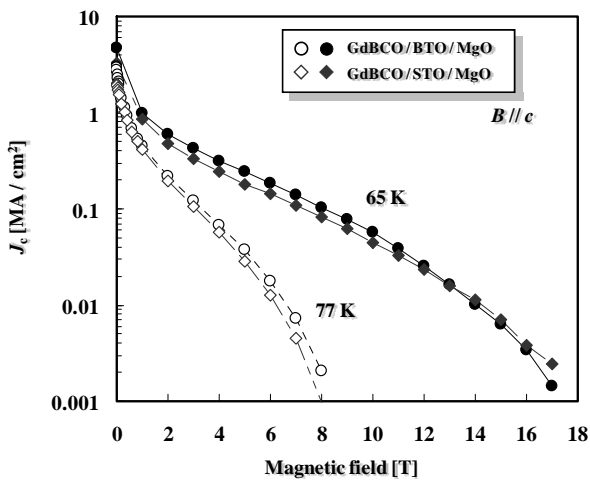


図3 GdBCO/STO及びGdBCO/BTO薄膜における65 Kにおける J_c の磁場依存性

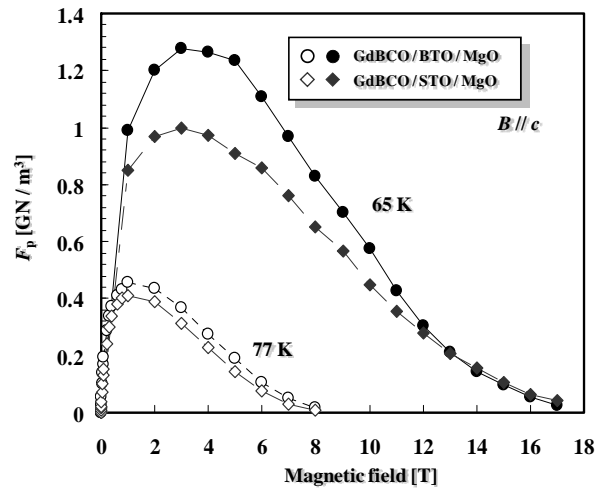


図4 GdBCO/STO及びGdBCO/BTO薄膜における65 Kにおけるピンニング力の磁場依存性

4. まとめ

LTG法の配向機構を検討するためにLTG-GdBCO、GdBCO/STO、GdBCO/BTO薄膜を製作、評価した。その結果、seed-layerの主な役割は格子ミスフィットの緩和であると考えられた。また、中間層を用いてGdBCO薄膜を製作することにより77 K、7 Tの磁場中 J_c が約5倍向上することが確認された。さらに65 Kにおけるピンニング力は、BTO中間層及びSTO中間層を用いる場合で異なることが確認された。今後、低温高磁場中における J_c の角度依存性なども評価することによりピン止め機構を明らかにする。

参考文献

- [1] Y. Yoshida et al. : Jpn. J. Appl. Phys. **44** (2005) L129
- [2] K. Matsumoto et al. : IEEE. Tran. Appl. Supercond. **15** (2005) 2719