

18p-D4-1

(LaAlO₃)₆(Sr₂AlTaO₆)₇ 単結晶基板上における BaHfO₃ 人工ピンを添加した SmBa₂Cu₃O_y 薄膜の超伝導特性

Superconducting properties of BaHfO₃ doped SmBa₂Cu₃O_y epitaxial films on (LaAlO₃)₆(Sr₂AlTaO₆)₇ single crystalline substrates

渡邊 俊哉, 三浦 峻, 一野 祐亮, 吉田 隆(名大)

WATANABE Shunya, MIURA SHUN, ICHINO Yusuke, YOSHIDA Yutaka (Nagoya Univ.)

E-mail: watanabe-syunya13@ees.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

SmBa₂Cu₃O_y (SmBCO) 超伝導薄膜の磁場中超伝導特性の向上手段として基板の選択や BaMO₃ (BMO : M=Zr, Sn, Hf) ナノロッドの導入などがある。BaHfO₃ (BHO) は、厚膜時の臨界電流密度(J_c)の低下が少なく、低温において強いピンニング力を持つことが報告されている [1]。REBa₂Cu₃O_y (REBCO) 薄膜の J_c は、REBCO の結晶配向性に依存するため、ミスフィットや基板の構造相転移などの影響を大きく受ける。そこで本研究では、高い配向性かつ磁場中で優れた超伝導特性を持つ SmBCO 薄膜の作製を行うために、基板には成膜後の降温時に構造相転移が発生しない (LaAlO₃)₆(Sr₂AlTaO₆)₇ (LSAT) (100) 単結晶を使用し、広い温度範囲でエピタキシャル薄膜の作製が可能な低温成膜法 (LTG 法) を用いた。さらに、BHO 人工ピンの導入とその添加量の制御を行い、磁場中超伝導特性についての評価を行った。

2. 成膜条件と評価方法

KrF エキシマレーザー (波長 248 nm) を用いた PLD 法によって、LSAT (100) 単結晶基板上に BHO-SmBCO 薄膜を作製した。BHO-SmBCO 薄膜の作製に用いた LTG 法は以下に述べる。LSAT 基板上に SmBCO 薄膜がエピタキシャル成長かつ c 軸配向する基板温度 T_s^{seed} (910 °C) で seed layer を作製し、その後 T_s^{seed} より低い基板温度 T_s^{upper} (860 °C) により upper layer の作製を行った。BHO 添加量は 0 ~ 7.4 vol.%, レーザーエネルギー密度は 1.7 J/cm², 繰り返し周波数は 10 Hz, 成膜酸素分圧は 400 mTorr とし、膜厚は 350~400 nm とした。作製した薄膜の表面形状は原子間顕微鏡 (AFM)、配向性は X 線回折法、磁場中の超伝導特性は直流四端子法を用いて評価した。また、ブロムメタノールエッチングした BHO-SmBCO 薄膜表面を AFM 観測することにより BHO ナノロッド数密度を見積もった。

3. 実験結果と考察

BHO 添加量を変化させ SmBCO 薄膜を作製し、超伝導特性を評価したところ、BHO 添加は SmBCO 薄膜の c 軸長と超伝導特性に大きく影響を与えることが分かった。Fig. 1 に BHO 添加量に対する超伝導転移温度(T_c)と BHO-SmBCO 薄膜の c 軸長を示す。図より、BHO-SmBCO 薄膜に比べて pure-SmBCO 薄膜は T_c (93.2 K) が最も高く、BHO 添加量が 7.4 vol.% の BHO-SmBCO 薄膜の T_c (91.7 K) は他の薄膜に比べて 0.4 ~ 1.5 K 低下した。また、BHO-SmBCO 薄膜の c 軸長は BHO 添加量に比例して伸びた。BHO ナノロッドが形成されたことで、SmBCO 薄膜に歪が発生し、導電面 (CuO₂ 面) のキャリア密度が低くなり T_c が低くなったと考えられる。Fig. 2 に BHO 添加量に対する BHO ナノロッド数密度と 77 K における自己磁場中の臨界電流密度(J_c^{self})を示す。BHO ナノロッドの数密度は、BHO 添加量が 3.8 vol.% までは単調増加しているが、それ以上の添加量ではエラーバーの範囲内でほぼ一定の値を取った。この結果より、3.8 vol.% 以上では添加量の増加と共にナノロッドの直径が大きくなっていると考えられる。過飽和度が高いほど BHO の核生成頻度は高くなるため、添加量が

増加すると BHO ナノロッドはより高密度に形成される。しかし、ある一定値以上で過飽和度が高い場合、BHO 核の間隔が飛来した BHO 構成元素の表面拡散距離と同程度になる。これにより、新たに核が形成されるよりも核に取り込まれる BHO 分子の数が増え、ナノロッドが太くなると推察される。また、 J_c^{self} は BHO 添加量に対して上に凸の傾向にあり、BHO 添加量が 1.7 vol.% のとき極大値 (3.4 MA/cm²) を取った。磁場中 J_c 特性を評価した結果、 $B=1$ T (@ 77 K, $B \parallel c$) における pure-SmBCO 薄膜の J_c は、0.3 MA/cm² であったが、BHO 添加量が 0.8 vol.% のとき 1.0 MA/cm², 1.7 vol.% のとき 1.1 MA/cm², 2.3 vol.% のとき 0.69 MA/cm² と磁場中 J_c が向上することが確認された。

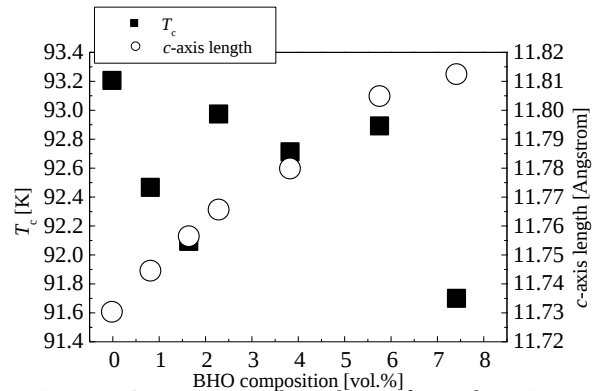


Fig. 1 BHO composition dependence of T_c and c-axis length for SmBCO films on LSAT

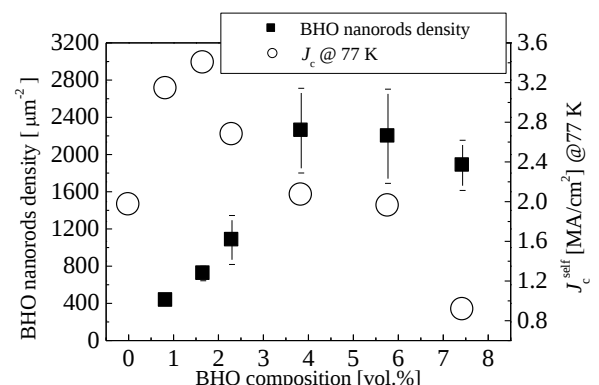


Fig. 2 BHO composition dependence of BHO nanorods density and J_c^{self} @ 77 K

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(19676005, 20686065, 23226014 及び 25289358) からの助成を受けて実施したものである。

参考文献

1. H. Tobita, et al.: Supercond. Sci. Technol, 25 (2012) 062002