

BaHfO₃ 添加 SmBa₂Cu₃O_y 多層薄膜における縦磁場中磁束ピンニング機構

Flux pinning mechanism in the longitudinal magnetic field in BaHfO₃-doped-multilayered SmBa₂Cu₃O_y films

名大工¹, 電中研², [○]杉原 和樹¹, 一野 祐亮¹, 土屋 雄司¹, 一瀬 中², 吉田 隆¹
 Nagoya Univ.¹, CRIEPI², [○]Kazuki Sugihara¹, Yusuke Ichino¹, Yuji Tsuchiya¹, Ataru Ichinose², Yutaka Yoshida¹
 E-mail: sugihara-kazuki14@ees.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

縦磁場効果は電流と磁場が平行である状態 ($B//I$) において観察される様々な超伝導電磁現象である。なかでも、磁場中臨界電流密度 (J_c) が自己磁場下 J_c (J_c^{self}) と比較して向上する現象 (J_c gain) がある。我々はこれまでに、BaHfO₃ (BHO) ナノロッド導入 SmBa₂Cu₃O_y (Sm123) 層と無添加 Sm123 層による多層薄膜において J_c gain を報告してきた[1]。多層薄膜において、縦磁場中で有効なピン止め点は積層界面及び BHO ナノロッドであるが、それらによる縦磁場中 J_c への磁束ピンニングの寄与は詳細に議論する必要がある。本報告では、多層構造を変化させた場合の 77 K における積層界面[2]の磁束ピンニングが縦磁場中 J_c に与える影響を評価する。

2. 実験方法

パルスレーザー蒸着 (PLD) 法により、LaAlO₃ (LAO) 単結晶または IBAD-MgO 金属基板上に BHO 添加 Sm123 多層薄膜を作製した。基板直上は無添加 Sm123 層とし、無添加 Sm123 層と BHO 添加 Sm123 層を交互に積層した。BHO 添加 Sm123 層において、BHO 添加量は 2 または 5 vol% 程度である。各層厚はレーザーパルス数により制御した。作製した薄膜の超伝導特性は直流四端子法により測定した。

3. 実験結果及び考察

評価したすべての多層薄膜の臨界温度は 90 K 以上、77 K における J_c^{self} はおよそ 1 MA/cm² であった。縦磁場中 J_c 特性を 77 K において評価した[2, 3]。積層界面を定量的に評価する指標として、単位膜厚の積層数を積層界面密度 [planes/μm] と定義する。LAO 単結晶基板上において、積層界面密度がおよそ 80 planes/μm 以上の多層薄膜では再現性良く J_c gain を観察できる[2]。一方、IBAD-MgO 金属基板上では 230 planes/μm の積層界面密度が必要であった[3]。 J_c gain の発現条件の差異は、主に BHO ナノロッド直径とそのピンニングの差異により生じていると推察される。

これまでに、縦磁場中 J_c はピン止め点の数密度 N_p 及びピン間隔 $d_p = N_p^{-1/3}$ とすると $N_p^{2/3}$ に比例することが報告されている[4]。これより、Fig. 1 に LAO 単結晶上多層薄膜の、積層界面密度 (N_p) の 2/3 乗に対するある磁場の縦磁場中規格化 J_c を示す。1 T 以上の高磁場領域では $N_p^{2/3}$ に対して縦磁場中 J_c は比例して増加している。それ以下の磁場領域では、十分に高い積層界面密度の多層薄膜において J_c gain が観察されるため比例関係から外れる傾向が見られた。一方、IBAD-MgO 金属基板上では同様に高磁場領域におい

てより正の相関が見られたが、LAO 単結晶基板上よりばらつきが大きい結果が得られた。これは IBAD-MgO 金属基板上では多層構造の乱れが多く、電流の流れが阻害されているためと推察される[3]。以上より、積層界面による磁束ピンニングは縦磁場中 J_c の決定要因の一つであることが示された。

また、以前の報告[4]では、 $N_p = 0$ の場合に J_c がゼロとなるが、Fig. 1 では $N_p = 0$ の場合に $J_c = 0$ とはならず、オフセットが存在する。これより、多層薄膜における縦磁場中 J_c はオフセット項を α として下式のように表せる。

$$J_c = 6\eta \frac{N_p^{2/3} f_p}{Ba_f} + \alpha \quad (1)$$

η はピンニング効率、 f_p は要素的ピン力、 a_f は量子化磁束間隔である。ここでは積層界面のみの磁束ピンニングに注目したが、実際には多層薄膜内の BHO ナノロッドの分布やその大きさが磁束ピンニングに寄与することが考えられる。これより、 α は BHO ナノロッドに関連する磁束ピンニングの項と推察される。

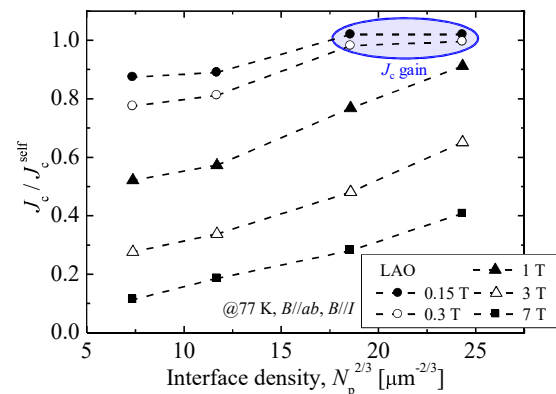


Fig. 1 Interface density vs. normalized J_c at 77 K in the longitudinal magnetic field of BHO-doped-multilayered Sm123 films on LAO single-crystalline substrates.

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金 (16K20898, 17J11158) 及び JST-ALCA からの助成を受けて実施した。IBAD-MgO テープに関して、産総研和泉輝郎氏、衣斐顕氏及び町敬人氏のご協力を得た。本研究を検討する上で、九州工業大学松下照男名誉教授、小田部莊司教授、木内勝准教授には有意義な御議論、御指南をいただいた。

参考文献

- [1] A. Tsuruta et al.: *Jpn. J. Appl. Phys.* **53** (2014) 078003.
- [2] K. Sugihara et al.: *Supercond. Sci. Technol.* **28** (2015) 104004.
- [3] K. Sugihara et al.: *J. Japan Inst. Met. Mater.* (2018) accepted.
- [4] T. Matsushita et al.: *Jpn. J. Appl. Phys.* **25** (1986) L725.