

異なる Gd/Ba 置換量で作製した BaHfO₃ 添加 Gd_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y 薄膜の磁束ピンニング特性 Flux pinning properties of BaHfO₃ doped Gd_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y thin films with various Gd/Ba composition

名大工¹, ISTECSRL², JFCC³ 樋川 一好¹, 吉田 隆¹, 一野 祐亮¹,
吉積 正晃², 和泉 輝郎², 塩原 融², 加藤 丈晴³

Nagoya Univ.¹, Superconductivity Research Lab.², JFCC³, Kazuyoshi Hikawa¹, Yutaka Yoshida¹,
Yusuke Ichino¹, Masateru Yoshizumi², Teruo Izumi², Yuh Shiohara², Takeharu Kato³,
E-mail: hikawa-kazuyosi12@ees.nagoya-u.ac.jp

【はじめに】

近年、IBAD-MgO 基板上において BaHfO₃ (BHO) ナノロッドを導入した GdBa₂Cu₃O_y 薄膜に関する報告がされている^{[1][2]}。その中で、IBAD-MgO 基板上の BHO ナノロッドは短く切れた形状が特徴となっている。一方、我々は比較的高い温度で成膜することで、GdBa₂Cu₃O_y 薄膜中に直線的な BHO ナノロッドを導入することにより、6 T 付近という高磁場で高い J_c を示すことを報告した^[3]。しかし、前回の報告では BHO ナノロッドの数密度が少なくにもかかわらず高磁場で高い J_c が得られており、BHO ナノロッド以外のピンニングセンターが働いている可能性が考えられる。そこで本研究では IBAD-MgO 基板上に直線的な BHO ナノロッドを導入した Gd_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y (GdBCO) 薄膜において、Gd/Ba 置換量 x を変化させた薄膜を作製し、置換量に対する磁場中超伝導特性及び BHO ナノロッドの密度・形状の評価を行った。

【実験方法】

KrF エキシマレーザーを用いたパルスレーザー蒸着法により IBAD-MgO 基板上に BHO を導入した GdBCO 薄膜を作製した。試料は基板温度 780 °C、酸素分圧 53 Pa、ターゲット - 基板間距離 60 mm、繰り返し周波数 10 Hz の条件の下で作製した。薄膜中 x の組成制御は GdBCO ターゲットの x を変化させることで行った。また、BHO の導入方法は GdBCO 焼結体上に扇状に加工した薄い BHO 焼結体を乗せて成膜を行う修飾ターゲット法を用い、異なる x の薄膜において BHO を 2.2 vol.% 添加した。膜厚は約 400 nm とした。

作製した薄膜は結晶構造を X 線回折(XRD)法で、超伝導特性は直流四端子法を用いて評価を行った。また薄膜の微細構造観察に透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた。

【実験結果及び考察】

Fig. 1 に 2.2 vol.% BHO を添加した Gd_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y 薄膜における x に対する T_c 及び c 軸長を示す。Fig. 1 において x の増加に伴い T_c は 88.0 K から 89.2 K と向上しているのに対して、 c 軸長は置換量 $x=0.117$ において 11.78 Å と短くなった。また、Table 1 に GdBCO 薄膜の表面 AFM 像より測定した成長表面の二乗平均表面粗さ(RMS)及び、Br メタノールエッチングをすることで測定した BHO ナノロッドの数密度を示す。この RMS 値が小さいほど成長表面が平坦であることを表している。Table 1 より BHO 添加量は一定であるが、Gd/Ba 置換量の増加に伴ってナノロッドの数密度は 2000 / μm^2 から 1600 / μm^2 と減少した。また RMS 値は

置換量 x に対して小さくなる傾向を示した。

以上より、 x が大きい GdBCO 薄膜においては表面の平坦性の向上により、成膜時の薄膜表面の温度低下が抑制されたと考えられる。その結果、BHO の表面拡散距離が長くなり、核生成頻度が少なくなることによって BHO ナノロッドの数密度が減少したと考えられる。また BHO ナノロッドの数密度の減少により、GdBCO-BHO 界面積密度が減少し、BHO との格子ミスフィットにより母相が受けるストレスが軽減され、 T_c が向上し、 c 軸長の伸長が抑制されたと考えられる。これらのことから、高磁場での高い J_c は Gd/Ba 固溶体のピンニングセンターではなく、転移や GdBCO-BHO 界面の弱結合などが考えられる。

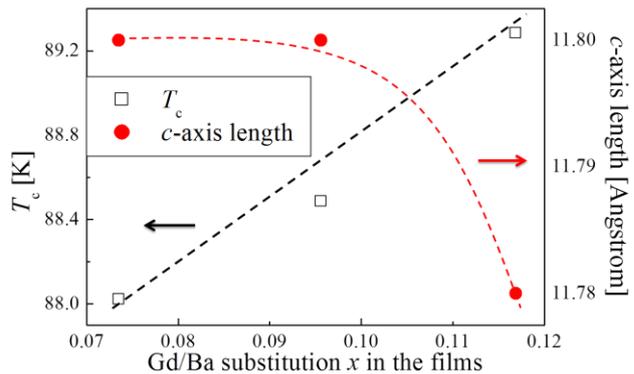


Fig. 1 Gd/Ba substitution x in the films dependence of T_c and c -axis length for the 2.2 vol.% BaHfO₃ doped Gd_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y films.

Table 1 Gd/Ba substitution x in the films dependence of number density of BHO nanorods and RMS for the 2.2 vol.% BaHfO₃ doped Gd_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y films.

	Substitution x in films		
	0.073	0.096	0.117
Number density of BHO nanorods [μm^2]	-	2000	1600
Root mean square surface roughness (RMS) [nm]	5.6	5.1	4.4

【謝辞】

本研究の一部は、科学研究費補助金(23226014, 19676005, 25289358)からの助成及び、ISTEC を通じて NEDO から委託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. vol. 25 062002 (2012)
- [2] T. Matsushita, *et al.*: Supercond. Sci. Technol. vol. 25 125003 (2012)
- [3] 樋川ら: 第 74 回応用物理学会春季学術講演会 29P-G3-1 (2013)