

低温成膜手法により作製した BaHfO₃ 添加 SmBa₂Cu₃O_y 薄膜線材の 低測定温度域における臨界電流特性

Critical current properties at low measurement temperatures on BaHfO₃-doped SmBa₂Cu₃O_y tapes fabricated by low-temperature growth technique

三浦 峻, 吉田 隆, 一野 祐亮, 土屋 雄司, 徐 千語, 道木 裕也(名大工); 淡路 智(東北大); 一瀬 中(電中研);
松本 要(九工大); 衣斐 颯, 和泉 輝郎(産総研)

MIURA Shun, YOSHIDA Yutaka, ICHINO Yusuke, TSUCHIYA Yuji, XU Qianyu, DOKI Yuya(Nagoya Univ.);
AWAJI Satoshi (Tohoku Univ.); ICHINOSE Ataru (CRIEPI); MATSUMOTO Kaname (Kyushu Inst. Tech.);
IBI Akira, IZUMI Teruo (AIST)

E-mail: miura-syun12@ees.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

これまでの研究で、低温成膜(LTG)手法により SmBa₂Cu₃O_y (SmBCO)超伝導膜中の BaHfO₃(BHO)ナノロッドの形態を短く、かつ細く高密度に制御することで、測定温度 4.2 K において最大巨視的ピン力密度 $F_p = 1.6 \text{ TN/m}^3(B//c)$ を達成した[1]。今後、LTG 手法で作製した試料(以下 LTG 膜)が低温域で高特性を示す原因を検討する必要がある。そこで本研究では、LTG 膜の低温域の磁束ピンニング特性を詳細に検討する為に、低温域における広範囲な磁場下(1-15 T)での臨界電流密度 J_c の磁場印加角度依存性を詳細に測定した。さらに高基板温度で作製した異なる形状の BHO ナノロッドを有する SmBCO 薄膜(以下 HTG 膜)の臨界電流特性と比較することで、ナノロッド形態の違いが低温域の磁束ピンニングに与える影響を明らかにする。

2. 実験方法

LTG 膜及び HTG 膜は SmBCO と BHO の 2 つのターゲットを使用し、KrF エキシマレーザーを用いた PLD 法により CeO₂ ($\Delta\phi = 1.8^\circ$) / LaMnO₃ / IBAD-MgO / Gd₂Zr₂O₇ / hastelloy テープ上に作製した。LTG 膜は、基板温度 (T_s)840°C で SmBCO シード層を膜厚約 30 nm で作製し、その上に $T_s^{\text{upper}} = 750^\circ\text{C}$ で 3.8 vol.% BHO を添加した SmBCO アッパー層を膜厚 300 nm 作製した。比較検討に用いた HTG 膜は LTG 手法を用いず、 $T_s = 840^\circ\text{C}$ で BHO 添加量は 3.8 vol.% で作製した。作製した薄膜の超伝導特性を直流四端子法で測定した。磁場中臨界電流特性の測定には東北大金属材料研究所の 20 T 超伝導マグネットを用いた。

3. 実験結果及び考察

Fig. 1 に両試料の 4.2 K 及び 77.3 K(内挿図)における F_p の磁場依存性を示す。77.3 K における F_p は全磁場で、HTG 膜が大きく上回っており、その最大値は 26 GN/m^3 であった。一方、4.2 K における F_p は 5 T 以下の磁場中では同程度であるが、より強磁場中では LTG 膜が上回っている。LTG 膜の最大 F_p はこれまでに報告されている最高値 1.7 TN/m^3 [2] と同程度の 1.6 TN/m^3 であった。

両試料の J_c の磁場印加角度依存性を温度 4.2 K、磁場 1-15 T において測定した。有効質量モデルを用いて、 J_c へのランダムピンの寄与(J_c^{rand})を見積もった。さらに J_c から J_c^{rand} の値を差し引いて、それ以外のピンの寄与(J_c^{corr})を求めた。Fig. 2 の内挿図に LTG 膜の 4.2 K、15 T における J_c 、 J_c^{rand} 及び J_c^{corr} の磁場印加角度依存性を示す。

Fig. 2 に LTG 及び HTG 膜の上記の方法で見積もった J_c^{rand} 及び J_c^{corr} の 4.2 K、 $B//c$ における磁場依存性を示す。両試料ともに全磁場領域で J_c^{rand} の寄与が大きいことが分かる。例えば 15 T に注目すると、 J_c^{corr} の値は両試料ともに 3 MA/cm^2 程度であった。 J_c^{rand} の値は、HTG 膜が 3.6

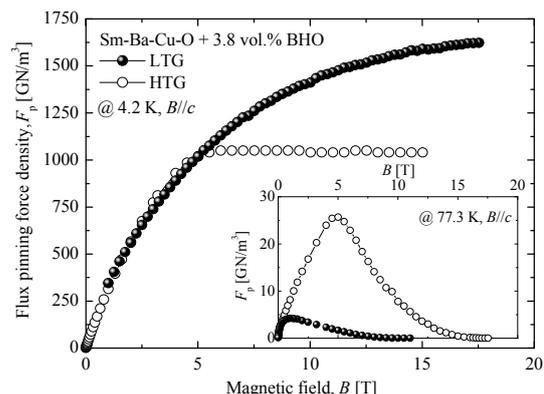


Fig. 1 Magnetic field dependence of flux pinning force density ($B//c$) for the LTG and HTG films at 4.2 K and 77.3 K (inset).

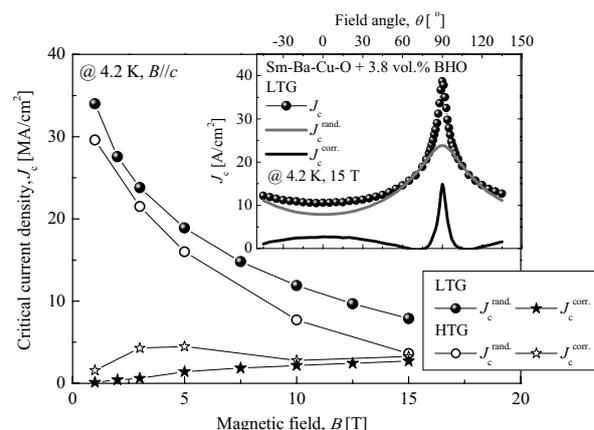


Fig. 2 Magnetic field dependence of J_c^{rand} and J_c^{corr} for LTG and HTG films at 4.2 K for $B//c$. The inset shows field angular dependence of J_c , J_c^{rand} , and J_c^{corr} at 4.2 K under 15 T for the LTG film.

MA/cm^2 であるのに対して LTG 膜は 7.9 MA/cm^2 であった。以上の結果から、ナノロッドの形状の違いに依らず、4.2 K における支配的なピンはランダムピンであることが明らかになった。また、LTG 膜の J_c^{rand} が HTG 膜と比較して大きいため、LTG 膜の強磁場中における J_c が HTG 膜を上回ることが分かった。今後、LTG 膜のランダムピンが増大した原因を検討する為に、透過型電子顕微鏡を用いた微細構造観察を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(23226014, 25289358, 15K14301, 15K14302, 16H04512)、JST-ALCA、及び特別研究員奨励費(16J02416)の助成を受けて実施したものである。

参考文献

1. S. Miura *et al.*: APL Mater. **4**, 016102 (2016)
2. A. Xu *et al.*: APL Mater. **2**, 046111 (2014)

低温成膜手法により作製した BaHfO₃ 添加 SmBa₂Cu₃O_y 薄膜線材の 低温強磁場中磁束ピンニング特性

Flux pinning property at low temperatures and high magnetic fields in BaHfO₃ doped SmBa₂Cu₃O_y superconducting films fabricated by the low-temperature growth technique

土屋雄司, 三浦 峻, 道木 裕也, 一野 祐亮, 吉田 隆 (名大); 淡路 智, 渡辺 和雄(東北大); 松本 要(九工大)

TSUCHIYA Yuji, MIURA Shun, DOKI Yuya, ICHINO Yusuke, YOSHIDA Yutaka (Nagoya Univ.);

AWAJI Satoshi, WATANABE Kazuo (Tohoku Univ.); MATSUMOTO Kaname (Kyutech)

E-mail: tsuchiya@nuee.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

高温超伝導 REBa₂Cu₃O_{7-δ}(REBCO, RE:Y または希土類)線材は、低温超伝導線材に比べて強磁場中特性が優れることから、超伝導マグネット応用が期待されている。近年、人工ピンとして BaMO₃(BMO, M=Zr, Sn, Hf など)ナノロッドを成膜時の自己組織化により導入することで、強磁場中でのピン止め力をさらに増強する手法の開発が精力的に行われている。特に、低温成膜(LTG)法によって細く短い BMO ナノロッドを高密度に導入することが可能となった[1]。また、LTG 法によって作製した BaHfO₃(BHO)ナノロッド添加 SmBCO 薄膜での低温での巨視的ピン力密度 F_p は、1.6 TN/m³ 程度と、従来報告されている中で非常に高い。しかし、LTG 試料における低温域での F_p は 17.5 T 以下で未だ飽和しておらず、磁束ピンニング特性について議論するためには、より広い磁場・温度・磁場印加角度に対して輸送測定を行う必要がある。そこで本研究では、LTG 試料における低温域の強磁場中磁束ピンニング特性を理解するため、東北大学において新規に開発した強磁場超伝導マグネットを用いて輸送測定を行った。

2. 実験方法

LTG 法を用いて IBAD テープ基板の上に 3.0-4.5vol.%BHO を添加した SmBCO 薄膜を成膜した。中間層 CeO₂ ($\Delta\phi = 1.8^\circ$)上に、エキシマレーザーを用いた PLD 法により、シード層(基板温度 840°C、SmBCO、膜厚 30 nm)、アッパー層(基板温度 750°C、SmBCO+BHO、膜厚 300 nm)の順で成膜した。薄膜をブリッジ加工し、東北大学金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センターにおける 20 T 超伝導マグネット(20T-SM)、25 T ハイブリッドマグネット、新規開発の 25 T 無冷媒超伝導マグネット(25T-CSM)と大電流回転プローブを用いて、25 T 以下の磁場、4.2 K 以上の温度領域で直流四端子法による輸送測定を行った。

3. 実験結果および考察

図 1 に、3.8vol%BHO 添加 SmBCO 薄膜における 4.2 K、 c 軸方向に磁場を印加したときの F_p の磁場依存性を示す。過去の報告から、LTG 試料のマッチング磁場は高々 10 T であるが、25 T 以下の磁場領域では c 軸相関のあるピンニング中心に特徴的なマッチング的振る舞いは見られなかった。内挿図に、20 T 付近の拡大図を示す。磁場 21.5 T において F_p はピークを示すことが明らかとなり、最大 $F_p = 1.65 \text{ TN/m}^3$ であった。図 2 に、4.2 K、24.4 T 以下の各磁場中での臨界電流密度 J_c の磁場印加角度依存性を示す。すべての磁場において、磁場を c 軸方向へ印加する場合に J_c が最小であった。図 3 に、最大 F_p と、最大 F_p を示す磁場 B_{max} の温度依存性を示す。最大 F_p は、60 K 以上の高温域において温度に対して急激に低下した。また、 B_{max} は、20-30 K と 60-80 K の 2 領域で温度に対して急激に低下した。以上の結果は、LTG 試料が低温超強磁場の条件下での応用に向いていることを示している。

本講演では、透過電子顕微鏡による微細構造観察についての報告とともに、磁束ピンニング特性の磁場・温度・磁場印加角度依存性の起源について議論する予定である。

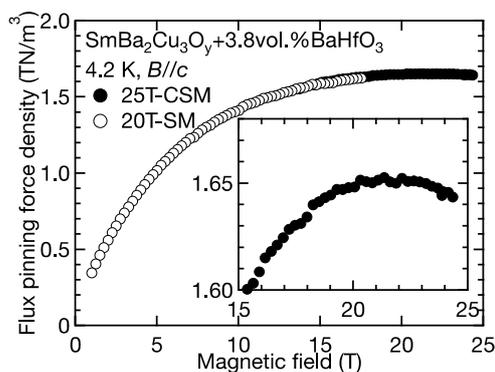


Fig. 1 Field dependence of flux pinning force density in a 3.8vol.%BHO doped SmBCO film at 4.2 K.

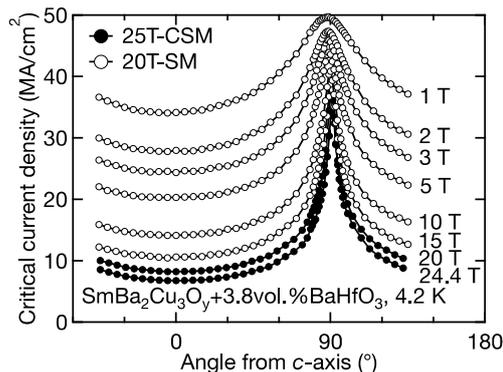


Fig. 2 Field angular dependence of the critical current density in a 3.8vol.%BHO doped SmBCO film at 4.2 K.

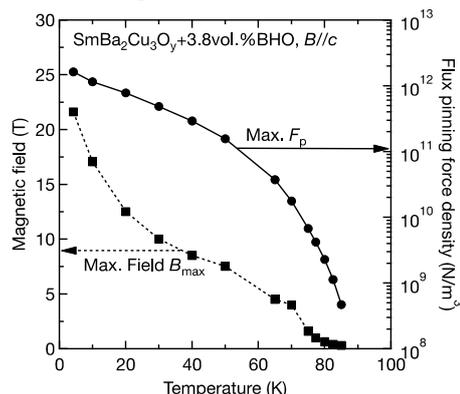


Fig. 3 Temperature dependences of maximum F_p and maximum field B_{max} in a 3.8vol.%BHO doped SmBCO film

謝辞 本研究は、科学研究費補助金(23226014,25246032, 25289358,26889005,15K14301,16K20898)、先端的低炭素化技術開発(ALCA)の助成を受けて行いました。産業用超伝導線材・機器技術研究組合(現 産業技術総合研究所)和泉輝郎氏、衣斐顕氏からテープ基板の提供を受けました。

参考文献

1. S. Miura *et al.*, APL Materials 4, 016102 (2016).

LTG 法を用いて Reel-to-Reel Nd:YAG-PLD システムで作製した BaHfO₃ 添加 SmBa₂Cu₃O_y 超伝導線材の臨界電流特性 Critical current characteristics in BaHfO₃-doped SmBa₂Cu₃O_y superconducting coated conductors deposited by Reel-to-Reel Nd:YAG-PLD system adopting LTG technique

道木 裕也, 吉田 隆, 一野 祐亮(名古屋大学); 衣斐 颯, 和泉 輝郎(産総研)
DOKI Yuuya, YOSHIDA Yutaka, ICHINO Yusuke(Nagoya University); IBI Akira, IZUMI Teruo(AIST)
E-mail: doki-yuya15@ees.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

BaMoO₃ (BMO: M = Zr, Sn, and Hf) 添加 REBa₂Cu₃O_y (REBCO) 超伝導薄膜の液体窒素温度以下における超伝導特性は多くの研究がされてきた。これまで我々の研究グループでは、BaHfO₃(BHO) 添加 GdBa₂Cu₃O_y(GdBCO) 中尺線材における磁場中超伝導特性及び機械特性について報告してきた[1-2]。また、低温成膜(LTG)手法を用いて単結晶基板上に作製した BHO 添加 SmBa₂Cu₃O_y(SmBCO) 超伝導薄膜が優れた磁場中超伝導特性を示すことについても報告してきた[3-4]。しかし、これまでの LTG 法を用いた報告は短尺試料においてであり、中尺化プロセスの検討が必要である。そこで本研究では、LTG 法を用いた BHO 添加 SmBCO 超伝導線材の作製を目的とし、中尺化プロセス及び中尺線材の超伝導特性について検討した。

2. 実験方法

BHO 添加 SmBCO 超伝導線材は、IBAD-MgO 基板上にパルスレーザー蒸着(PLD)法により成膜した。10 Hz の Nd:YAG レーザー(266 nm) Reel-to-Reel システムを用いて成膜中の酸素分圧は 90 Pa、ターゲット-基板間距離は 55 mm とした。作製手法としては LTG 法を用いた。Seed 層の厚さは 50 nm、Upper 層の厚さは 200 nm とし、成膜温度は Seed 層が $T_s^{\text{seed}}=770^\circ\text{C}$ 、Upper 層を $T_s^{\text{upper}}=600^\circ\text{C} \sim 770^\circ\text{C}$ の温度範囲で成膜した。線材搬送速度は Seed 層成膜時が 0.08 mm/sec、Upper 層成膜時は 0.02 mm/sec とし、線材の長さは 30 mm とした。比較のため PLD 法でも 0.02 mm/sec で成膜した。BHO の添加には SmBCO と BHO 焼結体を 4 vol.% の比率で混合したターゲットを用いた。

作製した線材の超伝導特性は、直流四端子法を用いて計測した。表面形態は AFM 像、結晶構造は XRD を用いて測定した。上記は線材中央部分において評価した。

3. 実験結果及び考察

Fig. 1 に T_s^{upper} に対する LTG-SmBCO 線材の a 軸混在率を示す。また、比較のために通常の PLD 法で作製した PLD-SmBCO 線材の T_s に対する a 軸混在率を示す。Fig. 1 より PLD-SmBCO 線材では 690°C 以上では a 軸配向相は混在していないが、 690°C 以下では T_s の低下に伴い a 軸混在率が高くなっているのが確認できる。一方、LTG-SmBCO 線材では本検討で作製した全ての温度範囲で a 軸配向相が混在していないことが確認できる。以上より LTG 法を用いて作製した線材において c 軸配向温度領域を拡大することができた。

Fig. 2 に無添加 LTG 線材と BHO 添加 LTG 線材の 77 K における $B//c$ に対する磁場中 J_c を示す。無添加線材では自己磁場 $J_c(J_c^{\text{self}}) = 2.3 \text{ MA/cm}^2$ 、BHO 添加 LTG 線材では $J_c^{\text{self}} = 1.0 \text{ MA/cm}^2$ を示した。一方、 $B=3 \text{ T}$ 付近で BHO 添加 LTG 線材の J_c は上昇していることが確認できる。中尺線材においても、短尺線材同様の磁場中での J_c 向上が確認できた。

当日は測定温度依存性や添加量依存性、均一性評価についても議論を行う予定である。

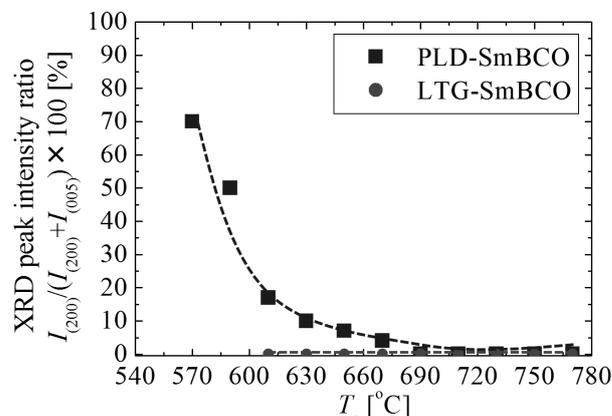


Fig. 1 a -axis gains ratio to c -axis grains of LTG and PLD coated conductors as a function of the T_s^{upper}

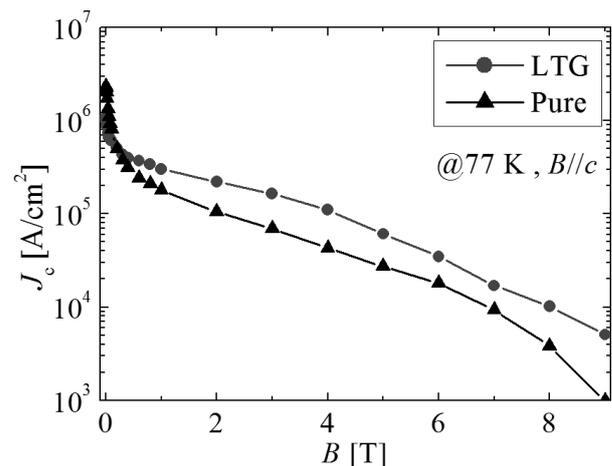


Fig. 2 Magnetic field dependence of J_c at the measurement temperature of 77 K in BHO doped SmBCO superconducting coated conductors

4. 謝辞

本研究は、JST-ALCA 及び科学研究費補助金(23226014、25289358、15H04252、15K14301、15K14302)からの助成金を受けて実施したものである。

参考文献

1. T. Usami *et al.*: IEEE Trans. Appl. Supercond. Vol. 26 (2016) 8400104
2. T. Usami *et al.*: TEIONKOU GAKU Vol.50 (2015) p.409
3. S. Miura *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 53 (2014) 090304
4. S. Miura *et al.*: Supercond. Sci. Technol. Vol. 28 (2015) 65013

Ba₂SmNbO₆及びBaHfO₃添加SmBa₂Cu₃O_y薄膜の 超伝導特性及び薄膜構造の評価

Superconducting properties and thin film structures of Ba₂SmNbO₆ and BaHfO₃ co-doped SmBa₂Cu₃O_y thin film

草深 佑真, 一野 祐亮, 吉田 隆 (名大); 一瀬 中 (電中研)

KUSAFUKA Yuma, ICHINO Yusuke, YOSHIDA Yutaka (Nagoya Univ.); ICHINOSE Ataru(CRIEPI)

E-mail: kusafuka-yuma15@ees.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

REBa₂Cu₃O_y(REBCO)薄膜の磁場中超伝導特性を改善するために、Ba-M-O(BMO: M=Zr, Sn, Hfなど)ナノロッドを添加する手法が挙げられる[1]。我々は、SmBa₂Cu₃O_y(SmBCO)薄膜中でダブルペロブスカイト構造を持つBa₂SmNbO₆(BSNO)が40 nm程度の太いナノロッドを形成し、低数密度なBSNOナノロッドが主に低磁場で強いピンニングセンターとして機能することを報告した[2]。一方で、BHOは10 nm程度の細く高数密度のナノロッドを形成し、高磁場で有効なピンニングセンターとして機能することが知られている。そこで、本研究ではSmBCO薄膜中に、太く低数密度に形成されるBSNOと、細く高数密度に形成されるBHOを混在させることで、低磁場及び高磁場で有効な薄膜構造の作製を試みた。また、作製した試料の微細構造観察及び超伝導特性の評価を行った。

2. 実験方法

BSNO+BHO添加SmBCO薄膜は、Nd:YAGレーザーを用いたPLD法により、成膜温度880°C、ターゲット-基板間距離42 mm、繰り返し周波数2 Hzで膜厚300 nm程度成膜した。基板は、SmBCOとの格子ミスフィットの小さい(100)LaAlO₃(LAO)基板を用いた。BSNO及びBHOの添加はターゲット交換法を用い、添加量はEnergy Dispersive X-ray spectroscopy (EDX)を用いて測定した組成比から算出した。このとき、検出したNb, Hfは全てBSNO、BHOを生成していると仮定した。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。BSNO 32 vol.%+BHO 8.5 vol.%添加SmBCO薄膜については、TEMを用いた微細構造評価を行った。

3. 実験結果

Fig. 1にBSNO 32 vol.%+BHO 8.5 vol.%添加SmBCO薄膜の(a)平面TEM像と(b)ナノロッド直径のヒストグラムを示す。Fig. 1(a)より、薄膜中に太いナノロッドと細いナノロッドが形成されていることが確認される。また、Fig. 1(b)より、ナノロッド直径の分布に二つのピークがあることが分かる。ナノロッドの直径はそれぞれ約29 nm, 7.5 nmであり、数密度はそれぞれ、390/μm², 180/μm²程度であった。また、EDXマッピングより、太いナノロッドと細いナノロッドはBSNOとBHOが混晶となっていることが確認されている。

Fig. 2にBSNO 32 vol.%+BHO 8.5 vol.%添加SmBCO薄膜及びBSNO 32 vol.%添加薄膜、BHO 8.5 vol.%添加薄膜の不可逆磁場曲線を示す。BSNO+BHO添加薄膜では、BSNO添加薄膜、BHO添加薄膜とほぼ同様の磁場において2つの立ち上がりが確認された。このことから、BSNO+BHO薄膜では、低磁場において主に太いナノロッドが、高磁場において主に細いナノロッドがそれぞれ量子化磁束をピンニングしていると推察される。また、BHO添加薄膜と比較して、高磁場での立ち上がりにおける規格化温度が上昇していることが確認される。これらの結果は、BHO添加薄膜と比較して、BSNO+BHO添加薄膜では低磁場における超伝導特性が向上したことを示している。

当日は、BSNO+BHO添加SmBCO薄膜のBSNO及びBHOの添加量を制御した薄膜の超伝導特性について報告する。

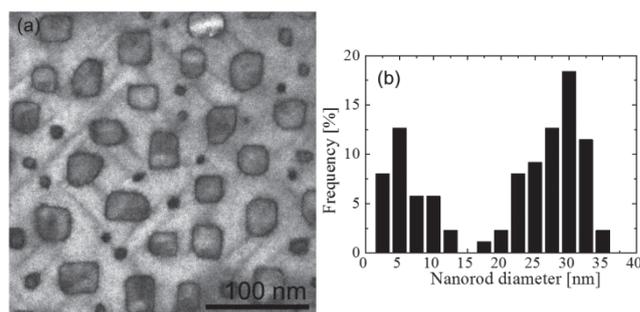


Fig. 1 (a)Planar TEM image and (b) histogram of nanorods diameter of the 32 vol.% BSNO and 8.5 vol.% BHO co-doped SmBCO film.

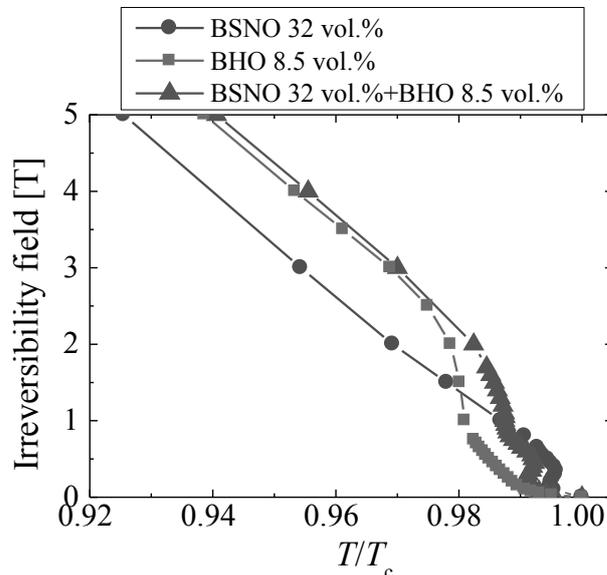


Fig. 2 Temperature dependence of irreversibility field for the BSNO-doped SmBCO film, BHO-doped SmBCO film, and BSNO and BHO co-doped SmBCO film.

謝辞

本研究の一部は、JST-ALCA及び科学研究費補助金(23226014, 25289358, 15H04252, 15K14301及び15K14302)からの助成を受けて実施したものである。

参考文献

1. P. Mele, et al. Supercond. Sci. Technol. 21 (2008) 032002
2. Y. Kusafuka, et al. J. Jpn. Inst. Met. 80 (2016) in press.

PrBa₂Cu₃O_yをseed層に用いたBaHfO₃添加 SmBa₂Cu₃O_y線材の磁場中J_c特性

Critical current densities in magnetic fields of BaHfO₃-doped SmBa₂Cu₃O_y coated conductors with PrBa₂Cu₃O_y as the seed layers

西山 淳一, 三浦 峻, 一野 祐亮, 吉田 隆 (名大); 衣斐 颯, 和泉 輝郎 (産総研)
NISHIYAMA Junichi, MIURA Shun, ICHINO Yusuke, YOSHIDA Yutaka (Nagoya University)
IBI Akira, IZUMI Teruo (AIST)
E-mail: nishiyama-junichi16@ees.nagoya-u.ac.jp

1. はじめに

BaMO₃(BMO: M = Metal)を添加した REBa₂Cu₃O_y (REBCO: RE = Rare Earth)超伝導体は、無添加の試料と比べて磁場中 J_cの低下を抑制することができる。超伝導体の機器応用を想定すると、広い磁場範囲で高いピンニング特性を示す超伝導線材が望ましいことが知られている。我々の研究グループでは低温成膜(LTG)法を用いることで、細く高数密度に成長した BaHfO₃(BHO)ナノロッドによって高磁場中 J_cが向上することを報告してきた。一方で、LTG 法を用いて作製した薄膜は低磁場で J_cが大きく低下することが報告されている[1]。この J_c低下は、seed 層の無添加 SmBCO 薄膜内での磁束の運動により upper 層で磁束キックが発生してしまうことが原因であると考えられている。そこで本研究では、常伝導体である PrBCO seed 層上に BHO 添加 SmBCO 薄膜を作製することで、seed 層内の磁束が与える影響を抑制し、磁場中 J_cを向上させることを目的とした。初めに、seed 層に PrBCO を用いた場合の無添加 SmBCO upper 層において c 軸配向が得られる基板温度範囲を検討した。さらに、seed 層条件の異なる BHO 添加 SmBCO 薄膜の磁場中の J_cを評価した。

2. 実験方法

SmBCO 超伝導線材は、IBAD-MgO 基板上に KrF エキシマレーザーを用いたパルスレーザー蒸着(PLD)法により作製した。酸素分圧は 53 Pa とし、作製した試料の超伝導特性は直流四端子法により測定した。seed 層は成膜基板温度 T_sを放射温度計で 740°C、SmBCO upper 層は 600°C~740°C の範囲で変化させた。Seed 層は無添加であるが、SmBCO upper 層には BHO を混合ターゲット法により 0~3 vol.% 添加し、SmBCO upper 層の膜厚は 300 nm とした。

3. 実験結果及び考察

試料名は seed 層の種類(Sm 又は Pr)と総膜厚に対する seed 層の割合 x%、さらに SmBCO upper 層中の BHO 添加量 y vol.%を用いて、(y vol.%)/Sm(x%)のように表記する。

Fig. 1 に(0 vol.%)/Pr(15%)及び(0 vol.%)/Sm(0%)の T_s^{upper}に対する a 軸配向粒混在率を示す。(0 vol.%)/Sm(0%)は T_s^{upper} = 680°C 以下で a 軸配向粒混在率が 1%以上となったのに対し、(0 vol.%)/Pr(15%)は T_s^{upper} = 640°C においても a 軸配向粒混在率は 1%未満であった。したがって、PrBCO seed 層を用いることで SmBCO upper 層の c 軸配向基板温度を 40°C 程度低下させることができた。

Fig. 2 に seed 層の条件が異なる BHO 添加 SmBCO 薄膜の J_c 磁場依存性を示す。ここでは、upper 層の BHO 形状を統一するため、T_s^{upper} = 740°C で作製した。(3 vol.%)/Pr(25%)は、他の seed 層条件の薄膜と比べて磁場中 J_cの低下を抑制することができた。また、挿入図に示した規格化 J_c-B 曲線より、(3 vol.%)/Sm(25%)及び Sm(100%)(無添加 SmBCO)は、1 T における J_c/J_c^{self}がそれぞれ約 22%、10%となった。一方で、(3 vol.%)/Pr(25%)は磁場中で(3 vol.%)/Sm(0%)と同様な J_c

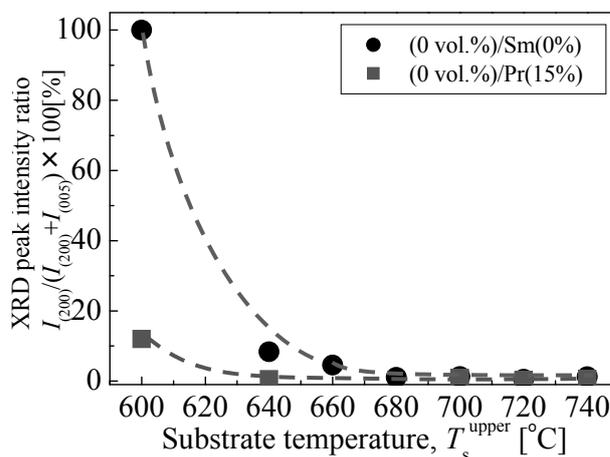


Fig. 1 Ratio of grains which oriented a-axis to the c-axis grains for the SmBa₂Cu₃O_y coated conductors with or without PrBa₂Cu₃O_y seed layer.

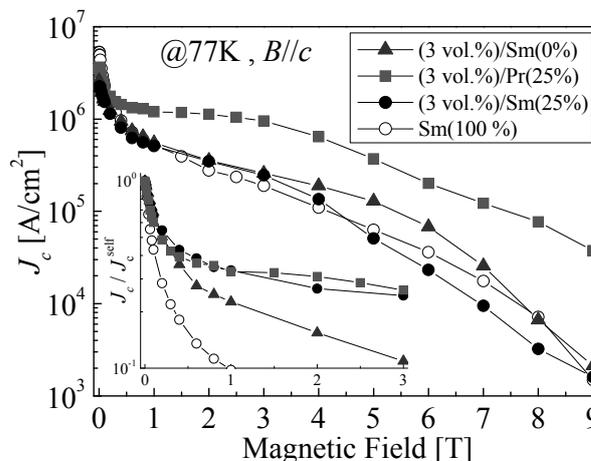


Fig. 2 Magnetic field dependence of the J_c and the normalized J_c at 77 K for the BaHfO₃-doped SmBa₂Cu₃O_y coated conductors with different seed layers.

特性を示し、1 T における J_c/J_c^{self}は約 33%となった。seed 層が PrBCO である薄膜は seed 層内に量子化磁束が生じず、upper 層の磁場中 J_cの低下を抑制することができた。

謝辞

本研究の一部は、JST-ALCA 及び科学研究補助金 (23226014、25289358、15H04252、15K14301、15K14302、16H04512)により行われた。

参考文献

[1] S. Miura, *et al.*: Jpn. J. Appl. Phys. 53, 090304 (2014)