

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05006

研究課題名(和文)希土類系高温超伝導体配向材料の後熱処理による積層欠陥制御手法の確立と実証

研究課題名(英文) Establishment and demonstration of the control of stacking faults for rare-earth based textured high temperature superconducting materials

研究代表者

元木 貴則 (MOTOKI, Takanori)

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号：00781113

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：液体窒素温度を超える高い臨界温度を有する希土類系高温超伝導体の配向材料(単結晶、溶融凝固バルク、薄膜)について、含水蒸気雰囲気中で後熱処理することにより定量的に積層欠陥を導入する手法の開発に成功した。本研究の成果として、既製の材料に対する後熱処理という汎用的な方法で臨界電流特性の改善や酸素拡散の高速化を可能とし、様々な配向材料に対してその効果を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

500 以下の低温の含水蒸気熱処理を行うことで、汎用的に希土類系高温超伝導体配向材料に対して積層欠陥を定量的に導入する手法を確立した。本手法の成果として、単結晶や溶融凝固バルク磁石材料に対しては、積層欠陥導入によって従来数百時間を要していた酸素アニール過程の高速化が実現し、薄膜材料に対しては200 以下の含水蒸気後熱処理による超伝導特性(特に臨界電流特性)の大幅な改善が可能となった。本手法は後熱処理による高機能化手法であるため、既製の超伝導薄膜線材に対して汎用的に適用可能である点で非常に有用であると考えている。

研究成果の概要(英文)：We have succeeded in developing a versatile method for quantitatively introducing stacking faults into textured materials (single crystals, melt-solidified bulk, and thin films) of rare-earth-based high-T_c superconductors by post heat-treatment containing a water vapor. As a result of this study, improvement of critical current characteristics and faster oxygen diffusion were achieved by the versatile method of post-heat treatment for existing materials, and the effectiveness of this method was demonstrated for various oriented materials.

研究分野：材料科学

キーワード：希土類系高温超伝導体 後熱処理 積層欠陥 薄膜 単結晶 水蒸気

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

REBa₂Cu₃O_{7-δ} (RE123, RE:希土類)で表される希土類系高温超伝導体は 90 K 級の臨界温度を有することから、液体窒素浸漬(77 K)下や冷凍機など液体 He フリーでの応用が可能である。抵抗ゼロで通電できる電流密度の上限(臨界電流密度, J_c)が最も重要な特性であるが、 c 軸に長い層状の結晶構造であるため異方性が大きく、 $J_c^{//ab} \gg J_c^{//c}$ である。そこで、粒間にわたって a, b 軸と c 軸の揃った、いわゆる 2 軸配向組織の形成が実用材料には不可欠である。例えば、無配向の焼結体は 20 K で $J_c \sim 10^3$ A/cm² 程度であるのに対し、2 軸配向させたバルクや薄膜材料では 77 K においても $J_c \sim 10^4\text{--}10^6$ A/cm² という非常に優れた特性を示す。この特性を活かした強力超伝導バルク磁石や大電流輸送ケーブル、高磁場発生コイルなどの応用に向けて RE123 配向材料の研究開発が世界的に盛んに行われている。高 J_c 化にはこの 2 軸配向組織の形成に加えて、ピンニングセンターと呼ばれる数 nm 程度の微細な不純物や欠陥を導入することが重要である。超伝導体内に侵入した量子化磁束(直径数 nm)が同程度のサイズのピンニングセンターによって強く捕捉されるため、 J_c 特性が大きく改善する。ピンニングセンターの導入としては、微細な不純物添加が一般的であるが、材料の形態や育成手法に合わせた導入手法の最適化が必要なことに加え、一般に不純物添加量の増大とともに RE123 母相の配向性や臨界温度が低下しやすい傾向にあり、汎用的に適用可能なピンニングセンターの導入手法は確立していない。

これまでの申請者らの研究で、水蒸気を含む雰囲気中で 500°C 程度までの低温でアニールすることで RE123 材料中に積層欠陥を導入可能であることを見出し、本研究ではピンニングセンターとしての積層欠陥の制御に着目した。

2. 研究の目的

本研究では、様々な RE123 配向材料(単結晶・溶融凝固バルク体・薄膜)の作製手法を確立し、このような RE123 配向体中に共通して RE124 や RE247 と呼ばれる類縁物質が積層欠陥として存在することに着目し、配向体の形態を問わず後熱処理によって普遍的に適用可能な積層欠陥制御手法を確立し、磁束ピンニング機構への寄与の定量的な理解と欠陥制御による高機能化を目的とした。

3. 研究の方法

欠陥や不純物の少ない方法で RE123 配向材料(単結晶・溶融凝固バルク体・薄膜)を作製し、含水蒸気雰囲気下での後熱処理を行うことで積層欠陥の導入を行い、定量的な欠陥量の評価手法を考案するとともに超伝導特性や酸素拡散係数等の物性との関係性を評価した。RE123 単結晶はフラックス法で、薄膜は SrTiO₃(100)単結晶基板および複合金属基板上にフッ素フリー有機金属塗布熱分解法で、溶融凝固バルク体は Nd123 単結晶を種結晶とした Top-Seeded Melt Growth 法でそれぞれ作製した。また、バルク体の育成に関しては、研究を進める中で再現性や組織の均一性を高めるための新規育成法である Single-Direction Melt Growth(SDMG)法を開発した。本手法は、従来法の 3 次元的な結晶成長を一方向のみの成長に単純化することにより均質性や再現性が改善するとともに、形状の自由度が高く、大型化に関わらず短時間育成が可能である革新的なバルク育成方法である。

含水蒸気雰囲気は、乾燥酸素ガスを 25 の純水にバブリングすることで実現しており、水蒸気分圧(P_{H_2O})は約 2 kPa である。

4. 研究成果

本研究で得られた成果を材料別にそれぞれまとめる。

(1) RE123 単結晶に対する含水蒸気酸素アニール効果

希土類として Eu を用いて、Eu123 単結晶をフラックス法で作製した。この単結晶を高温で熱処理し酸素量を統一した後、400 の乾燥酸素(Dry O₂)もしくは含水蒸気酸素(Wet O₂)中でアニールを繰り返し、超伝導特性および微細組織の変化を調べた。図 1 に Dry O₂(左)および Wet O₂(右)雰囲気中でのアニール時間と臨界温度 T_c の関係をまとめて示す。含水蒸気雰囲気中では約 2 時間という極めて短時間で 90 K 級の鋭い超伝導転移が観測されたことから、単結晶全体に十分に酸素拡散が進行したことが分かる。Dry O₂ の結果と比較すると、大まかに見積もった拡散係数にして 15 倍程度向上することが明らかになった。また、どちらも初期に 1%O₂/Ar 気流中、800、24h の還元熱処理を行っているが、Eu/Ba 固溶の抑制を目的にしており、この還元熱処理を行っていない場合は、さらに 10 倍程度拡散係数が低下することを見出している。

図 2 に Dry もしくは Wet O₂ 気流中で長時間アニール前後の Eu123 単結晶 ac 面の TEM 像と電子線回折パターンを示す。初期状態ではほとんど欠陥は観察されず、Dry O₂ 中の長時間アニール後もごく少量の積層欠陥のみが観察された。一方、Wet O₂ アニール後の微細組織では、単結晶内部まで一様に多数の積層欠陥が導入されている様子が観察された。電子線回折パターンからも Wet O₂ アニール後試料では、2 軸配向組織は全く乱れていないものの c^* 軸方向にわずかなストリークが観察されており、これは積層欠陥を反映したものと考えている。

以上の単結晶を用いた基礎的な研究により、含水蒸気雰囲気下において 400 程度の低温でア

ニールすることで RE123 結晶中に配向を乱すことなく、また臨界温度を低下させることなく積層欠陥を導入できることを明らかにした。

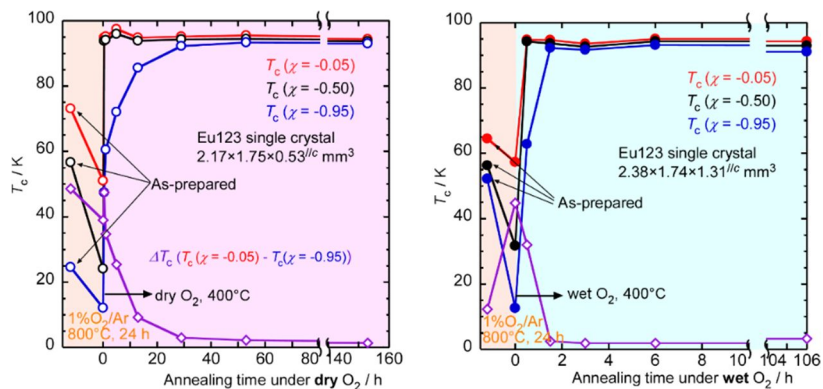


図 1. Eu123 単結晶の酸素アニール時間と臨界温度 T_c の変化の関係
左：乾燥酸素雰囲気下、右：水蒸気含有酸素雰囲気下

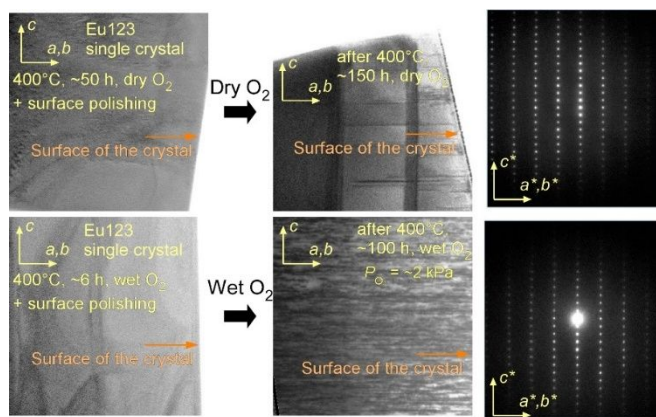


図 2. Eu123 単結晶の乾燥酸素および水蒸気含有酸素アニール前後の ac 面の透過電子顕微鏡像および電子線回折パターン

(2) REBCO 溶融凝固バルクに対する含水蒸気酸素アニール効果

続いて実用材料である、溶融凝固バルク体に対する含水蒸気アニール効果を調べた。溶融凝固バルク体は、RE123 と RE_2BaCuO_5 (RE211) を混合したペレットを部分溶融状態にした後に徐冷により冷却して得た大型の擬単結晶であり、永久磁石を超える高い磁場を捕捉することができる。以後、RE123 と RE211 の混合物である本バルク体を組成式の頭文字をとって REBCO バルクと称する。図 3 に Nd123 単結晶を種結晶として Top-Seeded Melt Growth (TSMG) 法で作製した YBCO バルクの外観を

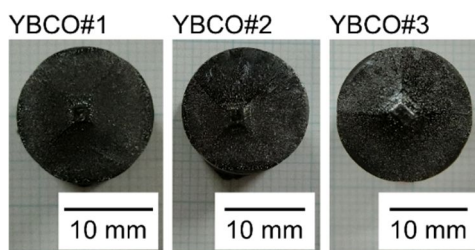


図 3. TSMG 法で作製した YBCO バルク

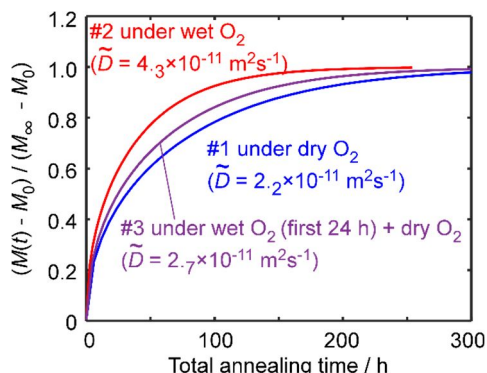


図 4. アニール時間と規格化した質量変化の関係

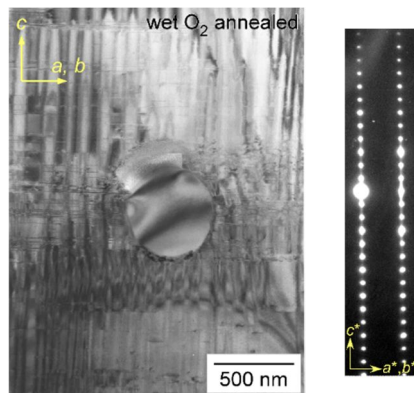


図 5. Wet O_2 アニール後バルク ac 面の TEM 像と電子線回折パターン

示す。同条件で作製した 3 つの YBCO バルクを順に #1, #2, #3 とし、#1 では Dry O_2 、#2 は Wet O_2 、#3 は短時間 Wet O_2 の後 Dry O_2 アニールを徐々に追加し、それぞれ質量変化を調べた。図 4

にそれぞれの平衡状態における質量を 1 となるよう規格化した質量のアニール時間依存性を示す。青で示す Dry O₂ アニールのみバルクに対し、赤で示す Wet O₂ のみのバルクでは大幅な酸素アニール時間の短縮ができており、質量変化から推定した拡散係数は約 2 倍向上していることを明らかにした。これは、含水蒸気アニールで導入した積層欠陥が有効な酸素拡散パスとして寄与していることを示唆している。さらに、最初の 24 h だけ Wet O₂ アニールした試料でも、同様に酸素拡散の高速化が見られており、積層欠陥導入による酸素拡散高速化の傍証となるものである。図 5 に長時間の Wet O₂ アニール後の YBCO バルクの *ac* 面の TEM 像および電子線回折パターンを示す。中央観察される球状の不純物は Y₂O₃ であり、その周囲に特に集中して積層欠陥が導入されている様子が観察された。また、電子線回折パターンも *c** 方向に強いストリークが観察され、高濃度で積層欠陥が導入されていることを明らかにした。

(3) REBCO 溶融凝固バルクの新規育成法の確立

REBCO 溶融凝固バルクは、(2) で記述したようにこれまではバルク育成で典型的な TSMG 法を用いて作製していたが、わずかな熱処理環境の違いや種結晶の品質に最終的なバルクの性質が大きく左右されてしまい再現性が低いことから、新たな溶融凝固バルク育成手法の開発に取り組んだ。部分溶融状態となる包晶温度(T_p)が REBCO の希土類元素によって異なることに着目し、既製の高 T_p の REBCO 溶融凝固バルクを板状に切り出して種基板とし、その上に低 T_p の REBCO ペレットを置いて溶融凝固する手法を開発した(図 6)。ここで、最高保持温度をペレットの T_p 以上かつ種基板の T_p 以下にすることが重要である。商用バルクとして GdBCO や EuBCO が入手可能であり、例えば EuBCO を種基板に用いることで、それよりも包晶温度の低い GdBCO, DyBCO, YBCO などの溶融凝固バルクを育成できることを明らかにした。鉛直方向に成長することから、以後本手法を Single-Direction Melt Growth(SDMG)法と称する。本手法の発想は単純であるが、これまで溶融凝固バルクは小型の種結晶を核として成長させなければならないという固定観念があり、このような一方向溶融成長による単一ドメインのバルク育成の報告は世界初である。SDMG 法は、従来法である TSMG 法と比較して、大型の種基板を起点とした 1 次元の結晶成長であるため全体が単一結晶成長領域のみからなるバルクが得られることに加え、径方向の大型化が結晶成長時間に全く影響しない点、リング形状を含む自在な形状のバルクを直接育成できる点、種基板は切り離し研磨後に何度でも再利用できる点などで大きな優位性を有する。図 7 に、SDMG 法で作製した YBCO バルク超伝導特性のバルク内位置依存性を示す。TSMG 法では径方向に結晶成長領域が異なるため位置依存性が大きいことが一般的であるが、SDMG 法で作製したバルクは場所にほとんど依存せず同等の超伝導特性を示していることが分かる。さらに、図 8 に示す捕捉磁場特性から、非常に円形度の高かつ小型にもかかわらず強磁場の捕捉が可能であることが示された。これは、バルク内が単一結晶成長領域かつ均質であることを反映しており、従来法に対する優位性を実証した。

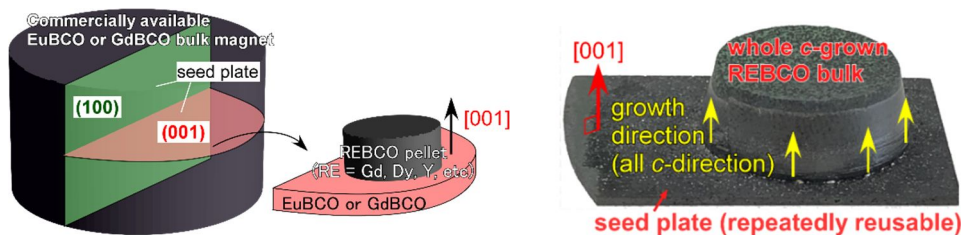


図 6. SDMGM 法の模式図と作製した SDMGM バルクの外観

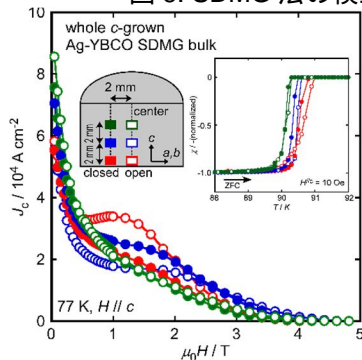


図 7. SDMGM 法 YBCO バルク超伝導特性のバルク内位置依存性

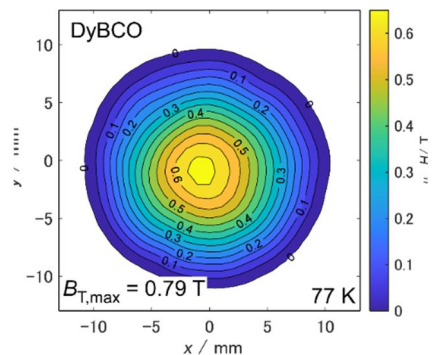


図 8. SDMGM 法 DyBCO バルクの 77 K における捕捉磁場特性

(4) RE123 薄膜に対する含水蒸気酸素アニール効果

最後に、RE123 薄膜に対する含水蒸気雰囲気中アニール効果を調べた。図 9(左)に温度を 200 で固定し、水蒸気分圧と熱処理時間を変えた Y123 薄膜のアニール前後の XRD パターンを示す。Y247 や Y124 は Y123 に対して Cu-O 鎖が 2 重に挿入された結晶構造を有しており、積層欠陥は 123 中に局所的に 247 や 124 構造が存在しているとみなすことができる。アニール時間の増加および水蒸気分圧の増大に伴って系統的に Y123 の 00*l* ピーク位置が青帯、赤帯でそれぞれ示す Y247, Y124 ピーク位置へシフトしていることが観察される。これは、多数の積層欠陥が生成することで、積層欠陥が主相とみなせるほど多く導入されていることを示している。この XRD パターンを Hendriks & Teller 法を用いてフィッティングすることで積層欠陥量(SFs)を半定量的に評価した。SFs は Y123 単相のとき 0, Y124 単相のとき 1 となるように定義している。温度・水蒸気分圧・アニール時間を様々に変化させて後熱処理した薄膜の SFs のアニール条件依存性を図 9(右)にまとめる。アニール温度は 300 付近に SFs の極大値を持つ、すなわち 300 程度でのアニールで最も積層欠陥の導入が進行しやすいことを見出した。また、水蒸気分圧とアニール時間の増加に従って単調に SFs も増加することを明らかにした。

続いて、SFs が 0.1 を超える条件では超伝導特性が大きく劣化することが分かったので、200 以下の温和な条件で含水蒸気アニールを行い超伝導特性の変化を調べた。図 10(左)に含水蒸気低温アニール前後の 77 K および 40 K における J_c の磁場依存性を示す。特に 1 T 以下の低磁場で顕著に J_c の改善が見られた。図 10(右)に、100 での含水蒸気後熱処理後の薄膜の様々な温度・磁場中での J_c の改善率をまとめて示す。図上のカラーバーは熱処理後の J_c を熱処理前の J_c で除したもので、1 を上回る場合 J_c が改善していることを示している。温度に依らず低磁場では J_c の改善効果が顕著であることが明らかになった。また、低温では高磁場まで J_c 改善が見られた。これは、導入した積層欠陥の端部がピンニングセンターとして有効に寄与したことを示唆する結果である。後熱処理による高 J_c 化は報告が少なく、本研究課題を通じてこのような単純な後熱処理行程を追加するだけで J_c を大きく改善する手法の開発に成功した。RE123 薄膜線材のケーブル応用などに向けて、既存の線材製造工程後に汎用的に適用可能であり非常に有用であると考えている。実際に、長尺の市販 RE123 線材に対しても含水蒸気後熱処理を行うことで図 9(左)に見られるような XRD パターンのブロードニングが見られており、積層欠陥の導入が可能であることを見出ししている。今後、希土類の種類に応じた後熱処理条件の最適化を通じて、実際の Gd123 等市販薄膜線材に対する後熱処理による汎用的な高機能化の実証を進めていきたい。

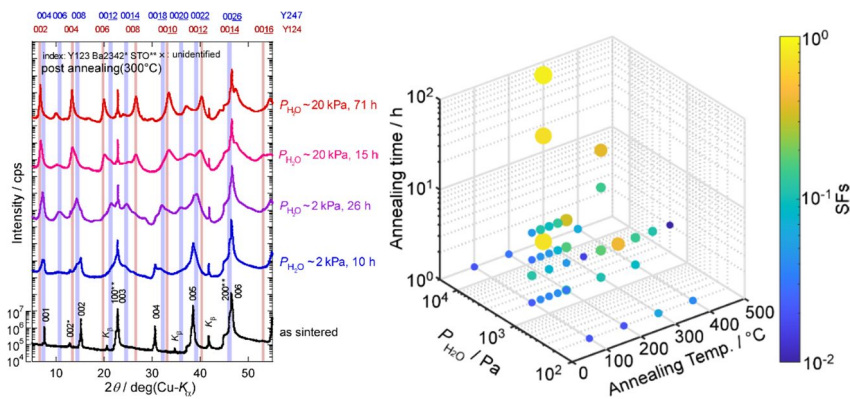


図 9. Y123 薄膜に対する含水蒸気アニール前後の XRD パターン(左)と推定した積層欠陥生成量(SFs)のアニール条件依存性(右)

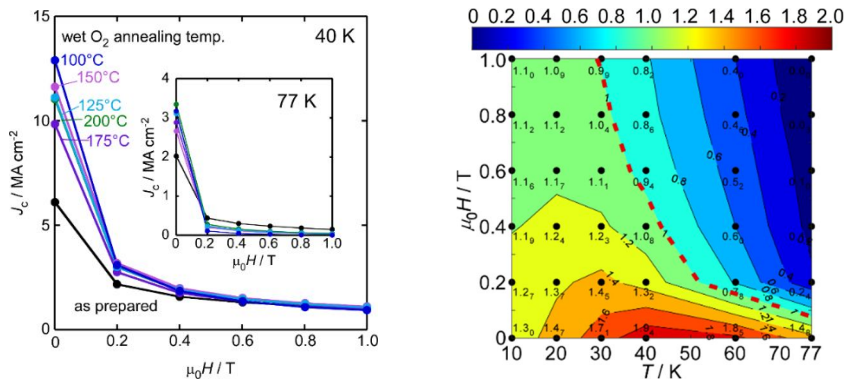


図 10. 低温含水蒸気雰囲気中アニール前後の Y123 薄膜の J_c - B 特性(左)と 100 での水蒸気アニール前後の $J_c(B, T)$ の改善率(右)

赤い破線より下の領域では水蒸気アニールによって J_c が改善していることを示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Motoki Takanori, Yanai Yu, Nunokawa Kota, Shimoyama Jun-ichi	4. 巻 13
2. 論文標題 Fabrication of high-performance YBa2Cu3Oy melt-textured bulks with selective grain growth	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Express	6. 最初と最後の頁 093002 ~ 093002
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1882-0786/abad72	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Motoki T, Yanai Y, Nunokawa K, Gondo S, Nakamura S, Shimoyama J	4. 巻 33
2. 論文標題 Breakthrough in the reduction of oxygen-annealing time for REBCO melt-textured bulks under an oxygen atmosphere containing water vapor	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Superconductor Science and Technology	6. 最初と最後の頁 034008 ~ 034008
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-6668/ab6ec2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計33件（うち招待講演 4件/うち国際学会 13件）

1. 発表者名 元木 貴則, 布川 航太, 笹田 廉陸, 富久 琢磨, 中村 新一, 下山 淳一
2. 発表標題 REBCO 溶融凝固バルクにおける酸素拡散機構についての再考
3. 学会等名 第99回春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元木 貴則, 小塩 剛史, 瀬川 雄大, 金泉 莉大, 下山 淳一
2. 発表標題 フッ素フリーMOD 法による様々な希土類を用いた REBCO 配向膜の作製と物性
3. 学会等名 第99回春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元木 貴則, 箭内 優, 布川 航太, 笹田 廉陞, 下山 淳一
2. 発表標題 均質性に優れた単一結晶成長領域からなるREBCO溶融凝固バルク材料の開発
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元木 貴則, 布川 航太, 笹田 廉陞, 富久 琢磨, 下山 淳一
2. 発表標題 均質で形状の自由度に優れた単一結晶成長領域からなるREBCO溶融凝固バルクの作製
3. 学会等名 第100回秋季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元木 貴則, 布川 航太, 笹田 廉陞, 富久 琢磨, 中村 新一, 下山 淳一
2. 発表標題 一方向溶融成長(SDMG)法を用いた大型REBCO溶融凝固バルクの短時間育成
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金泉 莉大, 元木 貴則, 小塩 剛史, 瀬川 雄大, 小澤 美弥子, 中村 新一, 本田 元気, 永石 竜起, 下山 淳一
2. 発表標題 フッ素フリーMOD法RE123薄膜における積層欠陥制御と高Jc化
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名 T. Motoki, Y. Yanai, K. Nunokawa, S. Gondo, S. Nakamura, J. Shimoyama
2 . 発表標題 Greatly enhanced oxygen diffusion in REBCO melt-textured bulks by annealing under oxygen atmosphere including water vapour
3 . 学会等名 11th International Workshop on Processing and Application of Superconducting (RE)BCO Large Grain Magnets (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Yanai, K. Nunokawa, T. Motoki, J. Shimoyama
2 . 発表標題 Crystal growth and physical properties of Y123 grown on Gd123 melt-solidified bulks as seed crystals
3 . 学会等名 11th International Workshop on Processing and Application of Superconducting (RE)BCO Large Grain Magnets (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Motoki, Y. Yanai, K. Nunokawa, S. Gondo, J. Shimoyama, S. Nakamura
2 . 発表標題 Introduction of fast oxygen diffusion paths in REBCO melt-textured bulks effective for reducing annealing time
3 . 学会等名 10th ACASC/2nd Asian ICMC/CSSJ Joint Conference (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 T. Koshio, S. Gondo, T. Motoki, J. Shimoyama
2 . 発表標題 Synthesis of La123 and La124 thin film by fluorine-free MOD method
3 . 学会等名 10th ACASC/2nd Asian ICMC/CSSJ Joint Conference (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Yanai, K. Nunokawa, T. Motoki, J. Shimoyama
2. 発表標題 Crystal growth and physical properties of textured Y123 bulks grown on Gd123 melt-textured bulks as template crystals
3. 学会等名 10th ACASC/2nd Asian ICMC/CSSJ Joint Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 S. Gondo, T. Koshio, T. Motoki, J. Shimoyama, S. Nakamura, G. Honda, T. Nagaishi
2. 発表標題 Superconducting properties of Y123 thin films with controlled stacking faults by post annealing
3. 学会等名 10th ACASC/2nd Asian ICMC/CSSJ Joint Conference (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J. Shimoyama, K. Nunokawa, Y. Yanai, T. Motoki, S. Nakamura
2. 発表標題 Strategies to improve quality of RE123 melt-solidified bulks
3. 学会等名 10th ACASC/2nd Asian ICMC/CSSJ Joint Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元木 貴則, 箭内 優, 布川 航太, 権藤紳吉, 下山淳一
2. 発表標題 REBCO溶融凝固バルクにおける水蒸気含有酸素気流中での酸素拡散
3. 学会等名 第98回春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 権藤 紳吉, 元木 貴則, 下山 淳一, 中村 新一, 本田 元気, 永石 竜起
2. 発表標題 フッ素フリーMOD法Y123配向膜への後熱処理による積層欠陥濃度の制御とJc特性の改善
3. 学会等名 第98回春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 元木 貴則, 箭内 優, 布川 航太, 権藤 紳吉, 中村 新一, 下山淳一
2. 発表標題 水蒸気含有酸素雰囲気下アニールによるREBCO溶融凝固バルクにおける酸素拡散高速化機構の解明
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 権藤 紳吉, 元木 貴則, 中村 新一, 本田 元気, 永石 竜起, 下山 淳一
2. 発表標題 後熱処理により積層欠陥を導入したY123薄膜の超伝導特性
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 元木 貴則, 箭内 優, 布川 航太, 権藤 紳吉, 中村 新一, 下山 淳一
2. 発表標題 [講演奨励賞受賞記念講演] REBCO溶融凝固バルクにおける高速酸素アニールプロセスの開発と酸素拡散機構の考察
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 下山 淳一, 権藤 紳吉, 小塩 剛史, 金泉 莉大, 岡村 行泰, 板東 茉祐子, 元木 貴則, 中村 新一
2. 発表標題 RE-Ba-Cu-Oにおける多様なCuO二重鎖層
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 元木 貴則, 笹田 廉陞, 富久 琢磨, 中村 新一, 下山 淳一
2. 発表標題 Single-Direction Melt Growth法によるREBCO溶融凝固バルクの結晶成長機構と超伝導特性
3. 学会等名 第101回春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 元木 貴則, 中村 新一, 下山 淳一
2. 発表標題 EuBCO単結晶における含水蒸気酸素雰囲気下熱処理による酸素拡散の高速化
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 元木 貴則, 笹田 廉陞, 富久 琢磨, 中村 新一, 下山 淳一
2. 発表標題 複雑形状REBCO溶融凝固バルクの直接育成と物性
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 元木 貴則, 金泉 莉大, 中村 新一, 本田 元気, 永石 竜起, 下山 淳一
2. 発表標題 含水蒸気後熱処理によるRE123薄膜線材の汎用的な高Jc化手法の開発
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Motoki, R. Sasada, T. Tomihisa, S. Nakamura, J. Shimoyama
2. 発表標題 Direct preparation of homogeneous REBCO bulks in various shapes using Single Direction Melt Growth method
3. 学会等名 12th International Workshop on Processing and Application of Superconducting Bulk Materials (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 J. Shimoyama, R. Sasada, T. Tomihisa, T. Motoki
2. 発表標題 A new synthesis method for high quality RE123 bulks, SDMG
3. 学会等名 12th International Workshop on Processing and Application of Superconducting Bulk Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Motoki, R. Sasada, T. Tomihisa, S. Nakamura, J. Shimoyama
2. 発表標題 Short-time fabrication and trapped field distributions of large REBCO melt-textured bulks made by Single-Direction Melt Growth method
3. 学会等名 27th International Conference on Magnet Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 R. Sasada, T. Motoki, T. Tomihisa, J. Shimoyama
2. 発表標題 Fabrication of all c-grown RE123 melt-textured bulks with homogeneous trapping field distributions using Single-Direction Melt Growth method
3. 学会等名 27th International Conference on Magnet Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Tomihisa, T. Motoki, R. Sasada, J. Shimoyama
2. 発表標題 Physical properties of all c-grown Gd123 bulks starting from various metal compositions
3. 学会等名 27th International Conference on Magnet Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Motoki, R. Kanaizumi, Y. Segawa, M. Kozawa, S. Nakamura, J. Shimoyama
2. 発表標題 Versatile method of improving Jc for REBCO coated conductors through post heat-treatment
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 笹田 廉隆, 元木 貴則, 富久 琢磨, 三輪 将也, 下山 淳一
2. 発表標題 SDMG法による捕捉磁場の均一性に優れたall c-growth RE123溶融凝固バルクの育成
3. 学会等名 第101回春季低温工学・超電導学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金泉 莉大, 元木 貴則, 瀬川 雄大, 大崎 瑛介, 中村 新一, 本田 元気, 永石 竜起, 小林 慎一, 下山 淳一
2. 発表標題 フッ素フリーMOD法RE123薄膜に対する低PH20下での積層欠陥導入効果
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 瀬川 雄大, 元木 貴則, 小澤 美弥子, 中村 新一, 本田 元気, 永石 竜起, 小林 慎一, 下山 淳一
2. 発表標題 IBAD基板を用いたFF-MOD法RE123薄膜の作製
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仙波 実怜, 元木 貴則, 笹田 廉陞, 富久 琢磨, 三輪 将也, 下山 淳一
2. 発表標題 結晶成長方位の異なるRE123溶融凝固バルクの物性
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>青山学院大学下山研究室WEBページ http://www.phys.aoyama.ac.jp/~w3-shimo/</p> <p>Research map https://researchmap.jp/t_motoki</p> <p>Research Gate https://www.researchgate.net/profile/Takanori-Motoki-2</p>
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	下山 淳一 (Shimoyama Jun-ichi) (20251366)	青山学院大学・理工学部・教授 (32601)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関