

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 2 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760288

研究課題名(和文)アシストピン導入による1次元ピン含有高温超伝導薄膜の高臨界電流密度化

研究課題名(英文) Enhancement of critical current density using assist pinning centers in high-Tc superconducting thin films with 1D pinning centers

研究代表者

末吉 哲郎 (Sueyoshi, Tetsuro)

熊本大学・自然科学研究科・助教

研究者番号：20315287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：BaZrO<sub>3</sub>ナノ粒子のサイズ、空間分布を制御したBaZrO<sub>3</sub>/YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub>擬似多層膜のc軸方向に対し、200 MeVのXeイオンを照射して、1次元ピンと3次元ピンの組み合わせからなる磁束ピンニングのハイブリッド効果について調べた。BaZrO<sub>3</sub>ナノ粒子のサイズが大きくなると、重イオン照射で形成される柱状欠陥にトラップされない磁束線や柱状欠陥から折れ曲がって外れる磁束線のキンクに対し、BaZrO<sub>3</sub>ナノ粒子が有効にピン止め作用することで、高温、高磁場領域での臨界電流密度J<sub>c</sub>が向上した。この結果は、ハイブリッド磁束ピンニングにおいて、3次元ピンのサイズが重要な因子の一つであることを意味している。

研究成果の概要(英文)：BaZrO<sub>3</sub>/YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> quasi-multilayered films, in which the size and the spatial distribution of BaZrO<sub>3</sub> nano-particles were controlled, were irradiated using 200 MeV Xe ions along the c-axis direction. When the BaZrO<sub>3</sub> nano-particles were larger in size, the flux lines not captured by CDs, such as interstitial flux lines between CDs and double kinks of flux lines, can be pinned more effectively by the BaZrO<sub>3</sub> nano-particles, so that the J<sub>c</sub> enhances for high magnetic fields and high temperature. In addition, the inverse correlation between J<sub>c</sub> and n-value appears at high temperature in increasing magnetic field for the film with correlated rows of the nano-particles which might be curved off the c-axis. These suggest that the hybrid flux pinning depends not only on the combination of one-dimensional (1D) and three-dimensional pinning centers (3D-PCs) but also on the size and the spatial distribution of the 3D-PCs.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 - 電子・電気材料工学

キーワード：高温超伝導体 臨界電流密度 ハイブリッド磁束ピンニング 重イオン照射 擬似多層膜 1次元ピン 3次元ピン

### 1. 研究開始当初の背景

希土類系高温超伝導体  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  の電力分野への応用では、超伝導材料の低ノイズおよび低電力損失での動作に必要な高  $J_c$  化が要求されるために、超伝導体内に侵入している磁束線を強くピンニングすることが重要となる。このために、有効なピンニングセンターとなり得るナノスケールの格子欠陥や不純物を、人工的に試料内へ導入する試みが近年数多く行われている。この中でも、磁束線と形状が同じである線状の格子欠陥や不純物、いわゆる 1 次元ピンは、その方向の印加磁場で  $J_c$  の飛躍的な向上を図ることができる。ただし、1 次元ピンによる磁束ピンニングは有効にピン止めできる磁場方向の範囲が狭く、磁束ピンニングに異方性を生じる。また、1 次元ピン固有に現れる磁束線のキンク変形から生じる顕著な熱活性運動のために、1 次元ピンを用いた高  $J_c$  化において頭打ちが生じているとの指摘もある。一方、球状の格子欠陥や不純物からなる 3 次元ピンは、ピン力は 1 次元ピンより劣るものの、磁束ピンニングに対して指向性を示さない形状のために、どの磁場方向にも等方的なピン力を示す。最近、MOD 法で作製した  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  薄膜において  $\text{BaZrO}_3$  を導入すると、 $\text{BaZrO}_3$  からなるナノ粒子が形成され、等方的に高  $J_c$  を示すことが報告されている。これらの異なる特徴をもつ 1 次元ピンと 3 次元ピンを同時に導入すると、磁束線のキンクもしくは傾斜磁場下で“階段状”に変形して 1 次元ピンにピン止めされる磁束線に対して、3 次元ピンが補助的にピン止めすることにより、広範囲の磁場方向にわたって更に高い臨界電流密度の実現を期待できる。この 1 次元ピンと 3 次元ピンを複合した磁束ピンニングのハイブリッド効果が、最近注目されている。

### 2. 研究の目的

本研究では、ハイブリッド磁束ピンニングにおける“要”である、1 次元ピンのアシスト役である 3 次元ピンに注目し、この 3 次元ピンの導入について積極的なチューニングを行うことより、さらなる高  $J_c$  化の実現を試みる。 $\text{BaZrO}_3/\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  擬似多層膜を作製することで、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  膜中に  $\text{BaZrO}_3$  ナノ粒子のサイズと空間分布を制御して導入を試み、これらの膜に重イオン照射により独立に 1 次元ピンを導入することで、ハイブリッド磁束ピンニングにおける 3 次元ピンのサイズと空間分布の影響について明らかにする。

### 3. 研究の方法

$\text{BaZrO}_3/\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  擬似多層膜は、PLD 法におけるターゲット切替法により  $\text{SrTiO}_3$  基板上に作製した。使用した KrF エキシマレーザーは、エネルギー密度  $1 \text{ J/cm}^2$ 、繰り返し周波数  $5 \text{ Hz}$  であり、酸素雰囲気ガス  $300 \text{ mTorr}$  の下で成膜を行った。基板温度  $T_s$  における擬似多層膜の作製において、YBCO 層を堆積し

た後に  $\text{BaZrO}_3$  を 1 パルスで堆積し、これを  $n$  回繰り返して積層した試料を  $T_s(1, n)$  と定義する。本稿では、 $n = 60$  の試料について議論を行う。ここで、全ての試料において YBCO 層の総堆積パルス数は  $3625$  パルス、多層膜全体の膜厚は約  $260 \text{ nm}$  である。成膜後は、 $600 \text{ Torr}$  の酸素雰囲気中で室温まで自然冷却した。

重イオン照射は、原子力機構のタンデム加速器にて  $200 \text{ MeV}$  の Xe イオンを用いて行った。ここで、Xe を用いた重イオン照射においては、電子的阻止能  $S_e = 2.9 \text{ keV/\AA}$  のとき、径が約  $8 \text{ nm}$  の円柱状欠陥を  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  薄膜内に形成し、 $5.0 \times 10^{11} \text{ ions/cm}^2$  の照射量まで  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  薄膜の超伝導性に大きなダメージを与えることなく、 $J_c$  の向上を図れることが報告されている。照射にあたり、擬似多層膜は、幅約  $40 \mu\text{m}$ 、長さ  $1 \text{ mm}$  のブリッジ状に加工した。入射イオンの方向は、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  薄膜の  $c$  軸に対して平行である。照射量は、全ての試料で  $1.45 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$  であり。これは、柱状欠陥と磁束線の密度が一致する磁場、すなわちマッチング磁場  $B_\phi$  に換算すると、 $B_\phi = 3 \text{ T}$  に相当する。

臨界電流密度  $J_c$  は、四端子法により電界基準  $10^{-4} \text{ V/m}$  を用いて定義した。印加電流の方向は磁場、 $c$  軸および柱状欠陥に常に垂直である。 $J_c$  の磁場角度依存性は、電流と磁場の方向は常に直交させ、磁場と  $c$  軸のなす角度を  $\theta$  として測定を行った。磁束線の熱活性運動に関するパラメータとして、電流 - 電圧特性を  $V \sim I^n$  で近似した時のべき指数  $n$  値があり、 $n \sim U_0/k_B T$  の関係が成り立つことが知られている。本研究では、 $1\text{-}10 \mu\text{V/cm}$  の範囲の電流 - 電圧特性を用いて  $n$  値の評価を行った。

### 4. 研究成果

図 1 に、 $65 \text{ K}$  における  $1 \text{ T}$ 、 $3 \text{ T}$  での照射前後の擬似多層膜の  $J_c$  と  $n$  値の磁場角度依存性について示す。照射前において、 $780 \text{ }^\circ\text{C}$  成膜の試料では  $\theta = 90^\circ$  を除いてどの方向にも  $J_c$ 、 $n$  値ともにピークが現れていないのに対し、 $810 \text{ }^\circ\text{C}$  の試料では  $\theta = 0^\circ$  を中心にブロードなピークが  $J_c$ 、 $n$  値の磁場角度依存性に出現している (図 1(a))。前者は、典型的なランダムピンによるものである。すなわち、 $780 \text{ }^\circ\text{C}$  成膜の試料内の  $\text{BaZrO}_3$  は、磁束ピンニングに対して指向性のない、ランダムに分布した球状のナノ粒子として分布しているものと考えられる。一方、後者は、 $c$  軸方向に相関した磁束ピンニングと同様の特徴が現れている。さらに興味深いことは、高磁場になると、この  $810 \text{ }^\circ\text{C}$  の試料での  $J_c$  と  $n$  値のブロードなピークは、 $\theta = 0^\circ$  で極小値を示すようなディップ構造に変化し、一方で  $\theta = 60^\circ$  付近にシヨルダールが生じるような振る舞いになる (図 1(e), (f))。 $\text{BaZrO}_3/\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  擬似多層膜では、 $\text{BaZrO}_3$  ナノ粒子は  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  層の上下で相関して配列しやすいことが、TEM による断面像観察により報告されている。さらに、

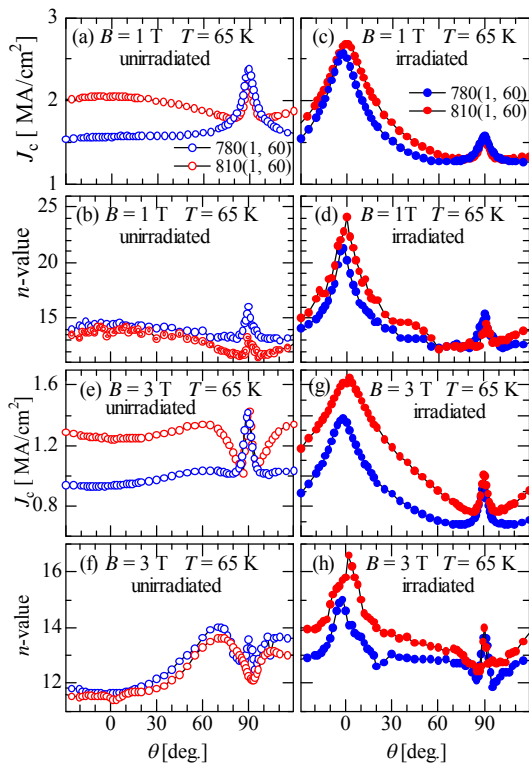


図1 照射前後の  $J_c$  と  $n$  値の磁場角度依存性 (65 K)。

BaZrO<sub>3</sub> の相関した析出物(ナノロッド)は、成膜温度を高くするとより真っ直ぐに成長する傾向がある。以上より 810 °C の試料では、BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子は膜厚方向に相関して配列していると考えられ、ただしその相関した配列は  $c$  軸方向から逸れている可能性がある。

照射後では、成膜温度にかかわらず、照射方向の  $\theta = 0^\circ$  あたりに顕著な  $J_c$  のピークが 1, 3T の両方において出現している(図 1(c), (g))。これは、照射によって形成された  $c$  軸方向に相関した格子欠陥、すなわち円柱状欠陥による磁束ピンニングに起因している。照射前において、 $\theta = 0^\circ$  付近の  $J_c$  の振る舞いは 780 °C と 810 °C の成膜試料間でかなり異なっていたが、照射後の 1T においては  $\theta = 0^\circ$  を中心とした  $J_c$  のピークの高さ、幅について両試料においてほとんど差はない。一方、磁場を増加すると、 $\theta = 0^\circ$  付近の  $J_c$  のピークの振る舞いに両試料の違いが現れてくる。

図 2 に、照射後の 5T における  $J_c$  と  $n$  値の磁場角度依存性について示す。810 °C の成膜試料における  $J_c$  は、 $\theta = 90^\circ$  付近を除く広い磁場角度範囲で、780 °C の試料と比較して明らかに高い  $J_c$  を示している。特に、 $\theta = 0^\circ$  と  $90^\circ$  間の磁場角度において、810 °C と 780 °C の試料間の  $J_c$  の差はより顕著になっているようであり、810 °C の試料の  $J_c$  の磁場角度依存性において  $\theta = 50^\circ$  付近にショルダーが生じている(図 2(a))。ノンドープの YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> 薄膜に対して  $c$  軸方向に平行に柱状欠陥を導入した場合、 $J_c$  の磁場角度依存性における、こ

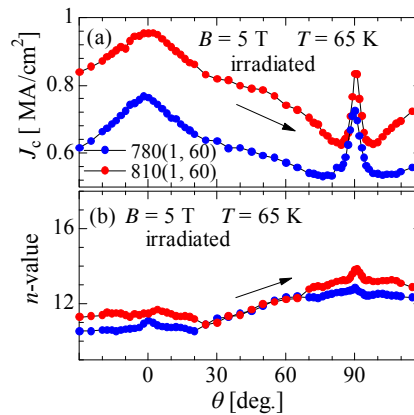


図 2. 照射後、5T における  $J_c$  と  $n$  値の磁場角度依存性 (65 K)。

のようなショルダーは観測されない。この振る舞いは、柱状欠陥に対して傾いている磁束線を 3 次元ピンが補助してピン止める、すなわちハイブリッド磁束ピンニングの 1 つの特徴である可能性がある。

照射後での 810 °C と 780 °C の試料間の  $J_c$  のピークの違いは、主に BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子のサイズに起因すると考えられる。成膜温度に対する BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子のサイズの変化は、結晶成長時の薄膜表面上の付着原子のマイグレーションに関係する。低い成膜温度では、薄膜表面上の原子レベルのキックやステップの密度が比較的高く、これが付着原子のより最適な吸着サイトへの移動(マイグレーション)を妨げる作用をし、結果として結晶核の断片化を促進する。このため、780 °C の試料では BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子は比較的小さく、810 °C の試料と比較して磁束線のキックをピン止めるための 3 次元ピンとしては有効に作用しにくいと考えられる。ゆえに、810 °C の試料では 780 °C の試料と比較して広範囲の磁場方向で  $J_c$  が高くなる。一方、マッチング磁場より低い低磁場では、磁束線はほとんど柱状欠陥にピン止めされ、BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子の影響は現れ難い。ゆえに、低磁場では 810 °C と 780 °C の試料間に  $J_c$  の差はほとんど生じないと考えられる。

810 °C の試料における BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子の膜厚方向に相関した配列の影響もまた、高磁場において柱状欠陥の間に侵入する磁束線に対する有効な磁束ピンニングとして寄与している可能性がある。また、810 °C の試料では膜厚方向に相関して配置した BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子が  $c$  軸方向から逸れている可能性があるために、これが傾斜磁場方向に対して有効なピンニングセンターとして作用し、 $J_c$  の磁場角度依存性にショルダーとして現れているのかもしれない。 $J_c$  の磁場角度依存性に与える BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子の空間分布の影響については、今後さらなる研究が必要である。 $J_c$  の磁場角度依存性においてさらに注意すべきは、どの磁場においても 810 °C と 780 °C の試料間で  $\theta = 90^\circ$  付近の  $J_c$  の振る舞いにほと

んど差は生じていない。これは、柱状欠陥と BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子のコンビネーション効果は、1次元ピン方向を中心とした磁場方向の磁束ピンニングにのみ寄与することを示唆している。

一般に、 $n$  値と  $J_c$  の値には正の相関がある。図 1(d), (h)に見られるように、照射後の 3T までの低磁場において、 $J_c$  と同様に  $n$  値は  $\theta = 0^\circ$  付近に鋭いピークを示している。一方、5 T になると、磁場が  $c$  軸方向から傾斜するにしたがって  $J_c$  は減少するが、 $n$  値は逆に増加する磁場角度範囲がある。すなわち、一部の磁場角度の範囲で  $J_c$  と  $n$  値に負の相関が現れる (図 2 中の矢印)。この現象は、また両試料において現れている。これまで、 $J_c$  と  $n$  値の負の相関については、固有ピンニングや双晶面によるピンニングのような周期的な磁束ピンニングが支配的な場合において観測されており、これらのピンニングセンターに磁束線が階段状に変形してピン止めされることにより生じると考えられている。また、この  $J_c$  と  $n$  値の負の相関は磁場が減少すると消失する傾向がある。今回の実験結果においては、以下のように推測される：図 2 の  $J_c$  と  $n$  値の負の相関は、磁場が柱状欠陥に対して傾斜すると、磁束線が階段状に変形し磁束線のキックを形成し、柱状欠陥に沿ってキックのスライディングが生じる。すなわち、磁束線は柱状欠陥に沿ってピン止めされるが、その状態でスライド運動する状況になる。このため、 $J_c$  と  $n$  値の振る舞いに負の相関が生じるものと考えられる。ここで、試料中により多くの 3次元ピンが存在すれば、磁束線のスライディング運動を抑制するものと期待できる。今回の測定試料においては、高磁場での階段状の磁束線の運動を抑制するための BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子の密度が不足していたために、5 T において  $J_c$  と  $n$  値に負の相関が現れたものと考えられる。

高温領域の  $J_c$  と  $n$  値は、65 K での振る舞いと異なってくる。図 3 に、77.3 K での  $J_c$  と  $n$  値の磁場角度依存性を示す。 $\theta = 0^\circ$  付近の  $J_c$  のピークは、65 K、1 T においては 810 °C と 780 °C の試料間でほとんど差は見られないが、77.3 K、1 T においては、810 °C の試料の方が明らかに高い値を示している。これは、810 °C の試料において BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子のサイズが大きいために、高温領域でさらに顕著になる磁束線のキック運動を有効に妨げていることによるものと考えられる。

さらに高温領域における興味深い現象として、810 °C の試料において磁場を高くすると  $\theta = 0^\circ$  付近の  $J_c$  と  $n$  値の振る舞いに負の相関が現れる (図 3(c), (d))。すなわち、1T においては  $J_c$ 、 $n$  値とともに  $\theta = 0^\circ$  付近に鋭いピークを示すが、3T になると  $J_c$  のピークは小さくなり、一方  $n$  値においては  $\theta = 0^\circ$  で極小値を示すようなディップ構造が現れる。810 °C の試料では、膜厚方向に相関して配置した BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子が  $c$  軸方向から逸れている可

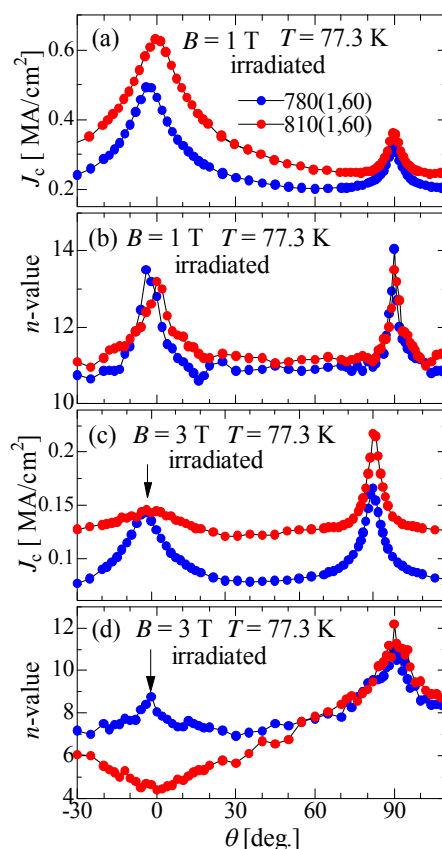


図 3. 照射前後の  $J_c$  と  $n$  値の磁場角度依存性 (77.3 K)。

能性があるために、 $\theta = 0^\circ, \pm 45^\circ$  の 3 方向に柱状欠陥を導入した試料と同様に、 $c$  軸方向から逸れて相関した BaZrO<sub>3</sub> ナノ粒子の配列に沿って、磁束線のスライディング運動が促進されているのかもしれない。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 12 件)

1. T. Sueyoshi, T. Koutaki, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, N. Ishikawa, “Angular dependence of critical current density in BaZrO<sub>3</sub> / YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> quasi-multilayered films with columnar defects”, Physica C 494 (2013) pp. 153-157 (査読有)
2. T. Sueyoshi, Yuuichi Furuki, Eiki Tanaka, Takanori Fujiyoshi, Fumiaki Mitsugi, Tomoaki Ikegami, and Norito Ishikawa, “Angular dependence of critical current density in YBCO films with columnar defects crossing at widespread angles”, IEEE. Trans. Appl. Supercond. 23 (2013) 8002404. (査読有)
3. T. Sueyoshi, M. Mori, K. Tsuchiya, K. Yonekura, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, “Influence of layer thickness and growth temperature on in-field  $J_c$  in BaZrO<sub>3</sub> /

- YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> quasi-multilayered films”, Physica C 484 (2013) pp.134-138 (査読有)
- 4 . K. Tsuchiya, T. Sueyoshi, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami and Y. Kim, “Superconducting properties of YBCO thin films fabricated by PLD method with underwater shock-compacted targets”, The proceedings of the 24th International Cryogenic Engineering Conference and the International Cryogenic Materials Conference 2012 (2012) pp. 899-902 (査読有)
  - 5 . T. Sueyoshi, T. Nishimura, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, N. Ishikawa, “Angular dependences of critical current density and *n*-value in YBCO thin films at high density of columnar defects”, The proceedings of the 24th International Cryogenic Engineering Conference and the International Cryogenic Materials Conference 2012 (2012) pp. 899-902 (査読有)
  - 6 . K. Yonekura, T. Fujiyoshi, T. Sueyoshi, K. Okita, T. Doi, K. Yoshihara, S. Awaji, K. Watanabe , “ MgB<sub>2</sub> thin films with high Jc fabricated on Al tape substrates by electron beam evaporation”, Physica C 480 (2012) pp. 108-110 (査読有)
  - 7 . K. Okita, M. Tanigawa, S. Kasahara, Y. Hatanaka, T. Sueyoshi, T. Fujiyoshi, “Influence of misorientation angle on third harmonic voltages V<sub>3</sub> induced by YBCO thin films on bi-crystal substrates”, Physics Procedia 27 (2012) pp. 292-295 (査読有)
  - 8 . T. Sueyoshi, T. Nishimura, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, N. Ishikawa, “Influence of multiple angled columnar defects on critical current density and *n*-value in YBCO thin films”, Physics Procedia 36 (2012) pp. 1570-1575 (査読有)
  - 9 .K. Okita, Y. Hatanaka, A. Adachi, T. Sueyoshi, T. Fujiyoshi, “Inductive measurement of in-field critical current density of YBCO thin film on a SrTiO<sub>3</sub> bicrystal substrate using the third harmonic voltage method”, Supercond. Sci. Technol., 24 (2011) 125004 (査読有)
  - 10 . K. Yonekura, T. Fujiyoshi, T. Sueyoshi, T. Doi, T. Nishikawa , “ Flux pinning properties of MgB<sub>2</sub> thin films on Al tape substrates deposited by electron beam evaporation ”, Physica C 472 (2011) pp. 1142-1144 (査読有)
  - 11 . M. Haruta, T. Sueyoshi, T. Fujiyoshi, M. Mukaida, H. Kai, K. Matsumoto, P. Mele, T. Maeda, S. Horii, “Growth temperature dependence of flux pinning properties in ErBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> thin films with nano-rods”, Physica C 472 (2011) pp. 944-946 (査読有)
  - 12 . T. Sueyoshi, T. Sogo, K. Yonekura, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, N. Ishikawa, S. Awaji, K. Watanabe , ” Influence of crossing angles of columnar defects on vortex glass transition in YBCO thin films”, Physica C 472 (2011) pp. 1029-1032 (査読有)
- [学会発表](計 23 件)
- 1 . 末吉哲郎, 古木裕一, 藤吉孝則, 光木文秋, 池上知顯, “YBCO 薄膜の抵抗率の磁場角度依存性に対する柱状欠陥の方向分散の影響”, 第60回応用物理学関係連合講演会, 2013年3月29日, 神奈川工科大学, 神奈川県厚木市
  - 2 . 藤吉孝則, 末吉哲郎, 吉村兆貢, 土屋啓輔, 松本明善, 北口仁, “スパッタリング法で作製した Bi,Pb2223 薄膜の超伝導特性”, 第60回応用物理学関係連合講演会, 2013年3月29日, 神奈川工科大学, 神奈川県厚木市
  - 3 . T. Sueyoshi, T. Koutaki, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, “Angular dependence of critical current density in BaZrO<sub>3</sub> / YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> quasi-multilayered films with columnar defects”, 25rd International symposium on superconductivity, December 4, 2012, TOWER HALL FUNABORI, Tokyo
  - 4 . 土屋啓輔, 吉村兆貢, 末吉哲郎, 藤吉孝則, 松本明善, 北口仁, “スパッタリング法により作製した Bi,Pb-2223 薄膜の臨界電流密度”, 第86回2012年度秋季低温工学・超電導学会, 2012年11月8日, いわて県民情報交流センター, 岩手県盛岡市
  - 5 . 末吉哲郎, 古木裕一, 藤吉孝則, 光木文秋, 池上知顯, “ 広範囲に方向分散した柱状欠陥を導入した YBCO 薄膜の磁束ピンニング特性 ”, 第86回2012年度秋季低温工学・超電導学会, 2012年11月9日, いわて県民情報交流センター, 岩手県盛岡市
  - 6 . T. Sueyoshi, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, N. Ishikawa, “Influence of anisotropically splayed columnar defects on angular dependence of critical current density in YBCO thin films”, 8th International Symposium on Swift Heavy Ions in Matter (SHIM 2012), October 26, 2012, Kyoto University Clock Tower Centennial Hall, Kyoto, Japan
  - 7 . T. Sueyoshi, Y. Furuiki, E. Tanaka, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, N. Ishikawa, “Angular dependence of critical current density in YBCO films with columnar defects crossing at widespread angles”, American Superconductivity Conference 2012, October 26, 2012, Oregon Convention Center, Portland, Oregon, USA
  - 8 . 末吉哲郎, 藤吉孝則, 光木文秋, 池上知顯, “柱状欠陥を導入した BZO/YBCO 擬似多層膜のピンニング特性”, 2012年第73回応用物理学学会学術講演会”, 2012年9月13日, 愛媛大学・松山大学, 愛媛県松山市
  - 9 . K. Tsuchiya, T. Sueyoshi, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami and Y. Kim, “Superconducting properties of YBCO thin

- films fabricated by PLD method with underwater shock-compacted targets”, 24th International Cryogenic Engineering Conference and the International Cryogenic Materials Conference 2012, May 16, 2012, Fukuoka International Congress Center, Fukuoka, Japan
10. T. Sueyoshi, T. Nishimura, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, N. Ishikawa, “Angular dependences of critical current density and  $n$ -value in YBCO thin films at high density of columnar defects”, 24th International Cryogenic Engineering Conference and the International Cryogenic Materials Conference 2012, May 15, 2012, Fukuoka International Congress Center, Fukuoka, Japan
  11. 藤吉孝則, 沖田健佑, 谷川将志, 笠原慎平, 末吉哲郎, “第三高調波電圧誘導法における SrTiO<sub>3</sub> バイクリスタル基板の傾斜角の効果”, 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 2012 年 3 月 17 日, 早稲田大学・早稲田キャンパス, 東京
  12. 末吉哲郎, 田中瑛貴, 藤吉孝則, 光木文秋, 池上知顯, “複数方向の柱状欠陥を導入した YBCO 薄膜の  $J_c$  の磁場角度依存性”, 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 2012 年 3 月 17 日, 早稲田大学・早稲田キャンパス, 東京
  13. 沖田 健佑, 谷川将志, 笠原慎平, 畠中 裕宅, 末吉哲郎, 藤吉 孝則, “第三高調波電圧誘導法における  $V_3$  の SrTiO<sub>3</sub> バイクリスタル基板傾斜角依存性”, 第 85 回 2011 年度秋季低温工学・超電導学会, 2011 年 11 月 11 日, 金沢歌劇座, 石川県金沢市
  14. 土屋啓輔, 末吉哲郎, 藤吉孝則, 光木文秋, 池上知顯, 金永国, “衝撃固化ターゲットを用いた PLD 法 YBCO 薄膜の超伝導特性”, 第 85 回 2011 年度秋季低温工学・超電導学会, 2011 年 11 月 11 日, 金沢歌劇座, 石川県金沢市
  15. K. Okita, Y. Hatanaka, T. Fujiyoshi, T. Sueyoshi, “Influence of crystal grain-boundary on in-field  $J_c$  in YBCO thin films measured by the third harmonic voltage method”, 24rd International symposium on superconductivity, October 26, 2011, TOWER HALL FUNABORI, Tokyo
  16. T. Sueyoshi, M. Mori, K. Tsuchiya, K. Yonekura, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, “Influence of layer thickness and growth temperature on in-field  $J_c$  in BaZrO<sub>3</sub> / YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> quasi-multilayered films”, 24rd International symposium on superconductivity, October 25, 2011, TOWER HALL FUNABORI, Tokyo
  17. T. Sueyoshi, T. Nishimura, T. Fujiyoshi, F. Mitsugi, T. Ikegami, N. Ishikawa, “Influence of multiple angled columnar defects on critical current density and  $n$ -value in YBCO thin films”, European Conference on applied superconductors 2011, September 20, 2011, World Forum, The Hague, The Neatherlands
  18. 藤吉孝則, 米倉健志, 末吉哲郎, 沖田健佑, 土井俊哉, 吉原和樹, 淡路智, 渡辺和雄, “EBE 法で作製した Al テープ基板上 MgB<sub>2</sub> 薄膜の磁束ピンニング特性”, 2011 年第 72 回応用物理学学会学術講演会, 2011 年 9 月 1 日, 山形大学・白川キャンパス, 山形市
  19. 沖田健佑, 畠中裕宅, 藤吉孝則, 末吉哲郎, “誘導法による結晶粒界上の  $J_c$  磁場依存性の評価”, 2011 年第 72 回応用物理学学会学術講演会, 2011 年 9 月 1 日, 山形大学・白川キャンパス, 山形市
  20. 末吉哲郎, 西村太宏, 米倉健志, 藤吉孝則, 光木文秋, 池上知顯, “YBCO 薄膜の  $J_c$  と  $n$  値に対する高密度の柱状欠陥の影響”, 2011 年第 72 回応用物理学学会学術講演会, 2011 年 9 月 1 日, 山形大学・白川キャンパス, 山形市
  21. 米倉健志, 藤吉孝則, 末吉哲郎, 土井俊哉, 吉原和樹, 淡路智, 渡辺和雄, “Al テープ基板上に作製した MgB<sub>2</sub> 超伝導薄膜の輸送特性”, 第 84 回 2011 年度春季低温工学・超電導学会, 2011 年 5 月 19 日, 物質材料研究機構, 茨城県つくば市
  22. 沖田健佑, 畠中裕宅, 藤吉孝則, 末吉哲郎, “第三高調波電圧誘導法によるバイクリスタル SrTiO<sub>3</sub> 基板上 YBCO 薄膜の  $J_c$  磁場依存性の測定”, 第 84 回 2011 年度春季低温工学・超電導学会, 2011 年 5 月 18 日, 物質材料研究機構, 茨城県つくば市
  23. 末吉哲郎, 森正吉, 土屋啓輔, 米倉健志, 藤吉孝則, 光木文秋, 池上知顯, “BaZrO<sub>3</sub>/YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> 擬似多層膜の磁場中  $J_c$  に対する層厚および成膜温度の影響”, 第 84 回 2011 年度春季低温工学・超電導学会, 2011 年 5 月 18 日, 物質材料研究機構, 茨城県つくば市
- 〔図書〕(計 0 件)
- 〔産業財産権〕
- 出願状況(計 0 件)
  - 取得状況(計 0 件)
- 〔その他〕
- ホームページ等 なし
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
末吉 哲郎 (SUEYOSHI Tetsuro)  
熊本大学・自然科学研究科・助教  
研究者番号: 20315287