

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 30 日現在

機関番号：32629

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2014～2016

課題番号：26709076

研究課題名(和文)人工欠陥導入鉄系超伝導薄膜線材は水素社会の創エネ・蓄エネに貢献するだろうか？

研究課題名(英文)Is iron based superconductors possible to use for sustainable hydrogen community?

研究代表者

三浦 正志 (Miura, Masashi)

成蹊大学・理工学部・准教授

研究者番号：10402520

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人工欠陥導入鉄系超伝導薄膜の液体水素応用に向け、人工欠陥導入鉄系超伝導薄膜の磁場中臨界電流密度(J_c)向上を目的として研究を行った。密度・サイズ制御したナノ粒子を最適組成の鉄系超伝導薄膜中に導入した。その結果、過冷却液体水素で世界最高レベルの高い磁場中 J_c を得ることに成功した(Nature Communications)。この要因を解明するために、量子化磁束の磁束クリープ(熱振動)へのBZOの影響を調べた。その結果、ナノ粒子導入線材は、永久電流モードで電磁石として使用可能なほど熱振動が小さいことを明らかにした(Nature Materials)。

研究成果の概要(英文)：In this work, we studied the effect of systematically-controlled size and density of strong-pinning random BaZrO₃ nanoparticles (NPs) by engineering of their inclusion in BaFe₂(As_{0.66}P_{0.33})₂ films. The critical current density (J_c) gradually increases from that of pure Ba122:P to that of 3mol.%BZO with the increasing density of NPs. The nearly isotropic J_c values for BZO doped Ba122:P films are well over 1.5 MA cm⁻² at 15 K and 1 T. The flux-creep rate measures the rate at which vortices exit pinning centers as a result of fluctuations. These fluctuations enable vortex depinning via different types of excitations, thus effectively reducing J_c . We find that S is significantly reduced with respect to that of Ba122:P when NPs are included. The maximum improvement produced by the NP additions in $J_c(H)$ occurs when the elastic energy is minimized and thermal activation effects reduced by the strong pinning of a high density of BZO NPs.

研究分野：機能性材料創成

キーワード：鉄系超伝導 磁束ピンニング点 人工欠陥 ナノ粒子

1. 研究開始当初の背景

東工大の細野秀雄教授のグループにより発見された鉄系超伝導体の中でも BaFe₂As₂(Ba122)は、臨界温度(T_c)が高いだけでなく、磁場応用上重要となる高い臨界磁場(H_{c2})や小さい異方性(γ)を示すため、実用線材 NbTi (4.2 K)等と置き換える材料として、世界中で注目されている。申請者は、比較的 T_c が高い BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂ (Ba122:P)に着目し、パルスレーザー蒸着(PLD)法を用い薄膜作製を行ってきた。その結果、As/P 組成、薄膜作製条件を最適化することで $T_c=28.9$ K、臨界電流密度(J_c)=3 MA/cm² と高い超伝導特性を示す Ba122:P 薄膜の作製に成功した[参考論文①]。

現在、燃料電池自動車の開発により水素ステーションに水素を液体水素(20 K)で貯めることが計画されている。もし、Ba122:P 線材の 20 K における磁場中 J_c が NbTi (4.2 K)と同程度の特性を得ることができれば、水素社会に貢献する創エネ: 風力用発電機、蓄エネ: 電力貯蔵装置(SMES)が可能と考えられる。しかし、現状、Ba122 系薄膜の磁場中 J_c 特性は、NbTi に比べ非常に低い。この原因は、磁場下では磁場の増加に伴い超伝導体内に侵入する磁束(ナノサイズ)の密度が増加し、それらがローレンツ力を受け運動し、超伝導状態が壊れるためである。磁束の運動抑制には、磁束と同程度のサイズの磁束ピンニング点(人工欠陥)導入が有効であることは、NbTi、REBa₂Cu₃O_y(RE123)超伝導線材で実証されてきた。

Ba122 薄膜では、唯一 Wisconsin 大[参考論文②]と申請者が人工欠陥導入により磁場中 J_c 向上に成功している。申請者は、予備実験において Ba122:P 薄膜内部に BaZrO₃(BZO)ナノ粒子の導入を試みた。その結果、図 2 に示すように 15 K において Wisconsin 大の薄膜の 7 倍以上、また、実用線材 NbTi(4.2 K)、MgB₂(15 K)を超える世界最高(申請時点)の磁場中 J_c を得ることに成功した[参考論文③]。

本申請では、人工欠陥導入 Ba122:P 薄膜のまだ解明されていない基礎研究を完成し、水素社会における Ba122:P 線材を利用した創エネ・蓄エネ応用に展開するための基盤研究を行う。

2. 研究の目的

上記の背景及びこれまでの研究成果をもとに、液体水素における磁場中 J_c 向上に向け、人工欠陥導入 Ba122:P 薄膜のまだ解明されていない基礎的研究を完成し、20 K において NbTi(4.2 K)以上の磁場中 J_c を目指す。これにより水素社会における Ba122:P 薄膜線材を利用した創エネ、蓄エネ応用に展開するための基盤研究を行う。期間内には以下のことを明らかにすることを目的とした。

(1) 高磁場での磁場中 J_c を得るためには、より高密度なナノ粒子の導入が必要と考えられる。そこで、添加する BZO の wt % を変

化させ、密度の異なる BaZrO₃ ナノ粒子導入 Ba122:P 薄膜の作製及び特性評価を行う。

(2) 磁場中特性に影響を及ぼす磁束クリープ(磁束の熱振動)低減に BaZrO₃ ナノ粒子導入が及ぼす影響を明らかにする。

3. 研究の方法

PLD 法に用いるターゲットは、BaFe₂(As_{0.66}P_{0.33})₂、BaFe₂(As_{0.66}P_{0.33})₂+1 mol.% BaZrO₃、BaFe₂(As_{0.66}P_{0.33})₂+3 mol.% BaZrO₃ の 3 種類を作製した。Ba 金属(99.99%, chunk)、Fe 金属(99.9%, #300 mesh pass)、As 粉末(99.9999%, ~3 μm grain) と P 粉末(99.999%, #600 mesh pass) をグローブボックス内で調合し、真空中石英管に封入し 650 °C で 10 時間、その後、900 °C で 24 時間焼成した。

Ba122:P 薄膜(~80 nm 膜厚)は、MgO(100) 基板上に PLD 用ターゲットを用いて第二高調波 Nd:YAG レーザ(wavelength: 532 nm)を用いて 10 Hz、10⁻⁴ Pa、800 °C で成膜した。

作製した Ba122:P 薄膜の結晶構造及び超伝導特性評価に X 線回折(X-ray diffraction, XRD)法を用いた。 T_c 、 J_c は四端子法を用いて、電気抵抗率の温度依存性および電流-電圧特性(閾値 1 μV/cm) から算出した。上部臨界磁場(H_{c2}) と不可逆磁場(H_{irr}) は、それぞれ 0.90 ρ_N and 0.01 ρ_N 閾値した(ρ_N は、常伝導状態の抵抗率)。薄膜表面観察には、高解像度光学顕微鏡、微細構造観察には走査透過型電子顕微鏡(Scanning transmission electron microscopy, STEM)、組成分析をエネルギー分散型 X 線分光法(Energy dispersive X-ray spectroscopy, EDX)を用いて行った。

4. 研究成果

(1) BZO 粒子密度が Ba122:P+BZO 薄膜の構造と磁場中超伝導特性に及ぼす影響

① 微細構造

図 1 に PLD 法により作製した Ba122:P+3 mol.% BZO 薄膜の TEM 及び EDS を用いた断面微細構造観察結果を示す[参考論文③]。図 1b の EDS 分析結果よりナノサイズかつ高密度に BZO ナノ粒子が高密度に分散していることが分かる。また、高倍 TEM 像より BZO ナノ粒子は、約 8nm 程度のサイズ(図 2a)、68×10²¹ /m³ の高密度で分布していることが確認された。超伝導相は、MgO 基板に対して 2 軸方向が揃ったエピタキシャル薄膜であることが確認された。また、XRD や回折パターン(図 2b)より BZO ナノ粒子は、Ba122:P 超伝導相に対してインコヒーレントに成長していることが確認された。

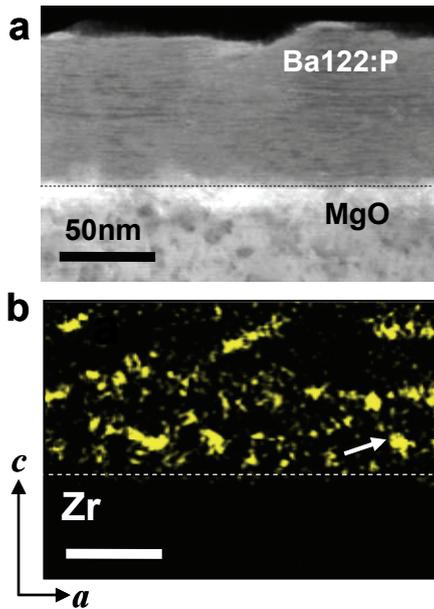


図1 Ba122:P+BaZrO₃薄膜の(a)断面TEM及び(b)EDS分析結果[参考論文③].

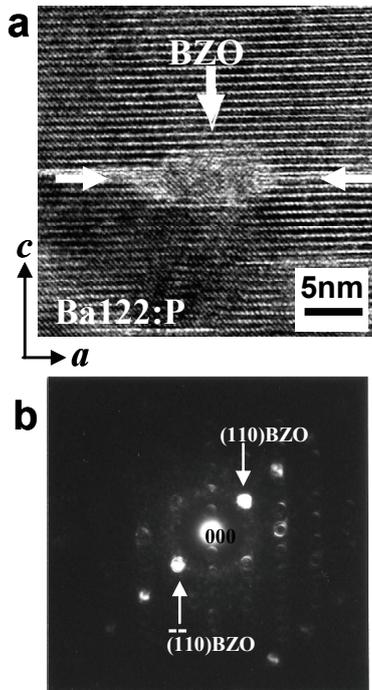


図2 Ba122:P+BaZrO₃薄膜の(a)高倍TEM及び(b)回折パターン結果[参考論文③].

②結晶性及び超伝導特性

図3にBa122:P+BZO薄膜の面内配向性及び超伝導転移温度にBZO添加量が及ぼす影響を示す。図よりBZO添加量を増やしてもBa122:P超伝導相の結晶性が低下していないことが確認された。また、 T_c もいずれの薄膜においてもほぼ同程度であることからBZO導入による超伝導相の組成やキャリアに影響を及ぼしていないことが確認された。

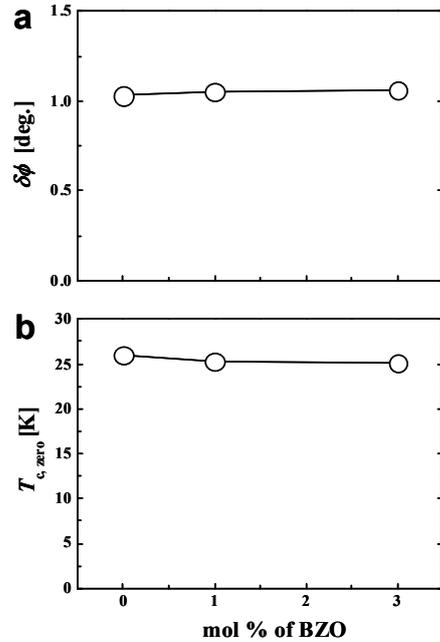


図3 Ba122:P+BaZrO₃薄膜の(a)面内配向性及び(b)超伝導転移温度にBaZrO₃添加量が及ぼす影響.

③磁場中超伝導特性

図4にBa122:P+3 mol.% BZO薄膜の15Kにおける磁場中 J_c 特性を示す[参考論文③]。図より通常のBa122:P薄膜は、Wisconsin大[参考論文②]のBa122:Co+超格子構造薄膜(16K)より高い磁場中特性を示すが、4.2Kの実用線材であるNbTiに比べて特性が低いことが分かる。一方、Ba122:P+3 mol.% BZO薄膜は、Ba122:P薄膜だけでなくNbTi(4.2K)、MgB₂(15K)よりも高い世界最高レベルの高い磁場中 J_c 特性を示すことが確認された。

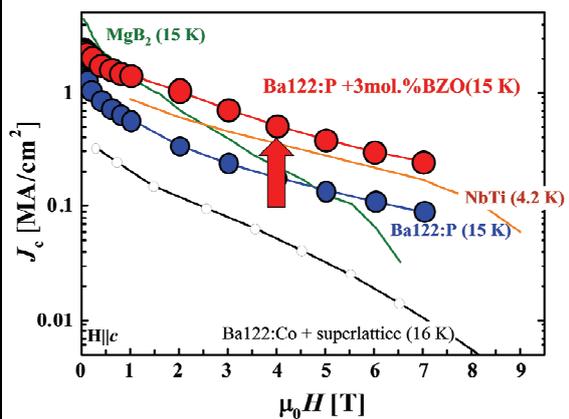


図4 Ba122:P+3mol.%BaZrO₃薄膜の15Kにおける磁場中 J_c 特性[参考論文③].

(2) BZO 粒子密度が Ba122:P+BZO 薄膜の磁束クリープに及ぼす影響

一般的に、超伝導体における J_c は時間とともに減少する。この時、磁束クリープレート(磁束の熱振動) S は $S = -d\ln(J) / d\ln(t)$ と表すことができ、実験的に求めることができる。この値が小さいほど、超伝導マグネットを作った際に、永久電流モードで使用することができ、応用上重要なパラメータとなる。

図5に本研究で作製した Ba122:P 薄膜の 0.3 T における磁束クリープ特性[参考論文④]を示す。これまで、鉄系超伝導体は、図5に示すように磁束クリープレートが高いため、いくら T_c や J_c が高いとしても永久電流モードでのマグネット应用到に使用は難しいとされてきた。しかし、本研究で作製した Ba122:P 薄膜は、永久電流モードで応用されている NbTi(4.2K)や MgB₂(4.2K)とほぼ同程度の低い磁束クリープを実現することに成功した。

図6に各種超伝導体におけるの 1T における磁束クリープ特性[参考論文④]を示す。図よりギンツブルグ数と磁束クリープレートに相関があることが分かる。この発見は、世界で初めて我々が見出した相関であり Nature Materials に掲載され世界中で注目されている。更に、BZO ナノ粒子を導入することにより更に磁束クリープレートの低減が可能であることを見出した。

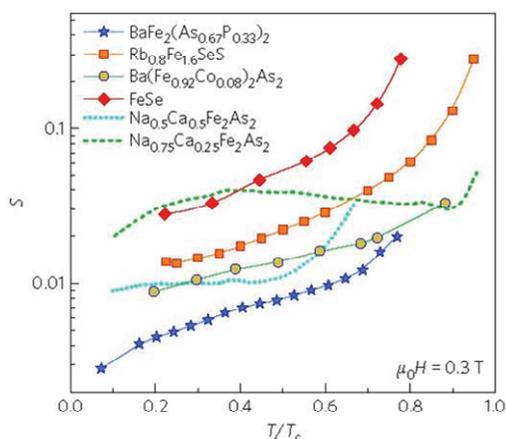


図5 Ba122:P薄膜の0.3 Tにおける磁束クリープ特性[参考論文④].

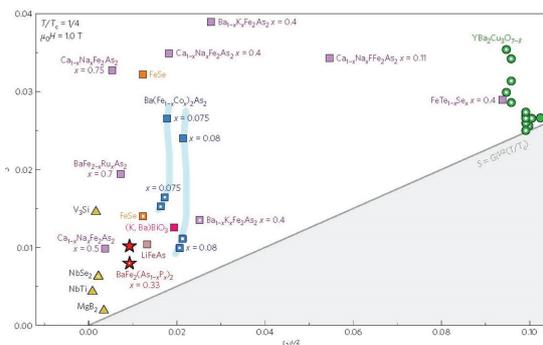


図6 各種超伝導体におけるの1Tにおける磁束クリープ特性[参考論文④].

<引用論文>

① **M. Miura**, S. Adachi, et al., “Anisotropy and superconducting properties of BaFe₂(As_{1-x}P_x)₂ films with various phosphorus contents” **Appl. Phys. Express** **6** (2013) 093101

② S. Lee, et al. Artificially engineered superlattices of pnictide superconductors. *Nature Mater.* **12**, (2013) 392-396

③ **M. Miura**, B. Maiorov, et al., “Strongly enhanced flux pinning in one-step-deposition of BaFe₂(As_{0.66}P_{0.33})₂ superconductor films with uniformly dispersed BaZrO₃ nanoparticles” **Nature Communications** **4** (2013) 2499

④ S. Eley, **M. Miura**, B. Maiorov, L. Civale, “Universal lower limit on vortex creep in superconductors” **Nature Materials**, **16** (2017) 409-413

5. 主な発表論文等
〔雑誌論文〕(計4件)

① S. Eley, **M. Miura**, B. Maiorov, L. Civale, “Universal lower limit on vortex creep in superconductors” **Nature Materials**, vol. **16**, 2017, p.409-413
DOI:10.1038/NMAT4840

② **M. Miura**, B. Maiorov, F. F. Balakirev, T. Kato, M. Sato, Y. Takagi, T. Izumi, L. Civale 「Upward shift of the vortex solid phase in high-temperature-superconducting wires through high density nanoparticle addition」, **Scientific Reports**, vol. **6**, 2015, p 20436, 査読有
DOI: 10.1038/srep20436

③ M. Sato, K. Agatsuma, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi 「Effects of the grain-boundary angle of the buffer layer on the in-field critical current density in (Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O₇+BaZrO₃ nanoparticle coated conductors」 **IEEE Trans. Appl. Supercond.**, vol. **27**, 2017, p.6602304
DOI: 10.1109/TASC.2016.2635799

〔学会発表〕(計27件)

① A. Okubo, M. Sato, **M. Miura**, T. Tanabe, “The angler dependence of irreversibility field in BaZrO₃ nanoparticles doped BaFe₂(As_{0.66}P_{0.33})₂ films ” International Conference on Advanced Materials 2017, Kyoto, Japan, 2017/8/27

② T. Murakami, M. Sato, K. Sakuma, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “The influence of intermediate heating treatment on in-field J_c in TFA-MOD high vol.% of BZO doped

(Y,Gd)BCO wires” International Conference on Advanced Materials 2017, Kyoto, Japan, 2017/8/27

③K. Agatsuma, M. Sato, K. Sakuma, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “The effect of carrier density control on in-field critical current density in TFA-MOD $(Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba_2Cu_3O_y$ coated conductor” International Conference on Advanced Materials 2017, Kyoto, Japan, 2017/8/27

④大久保亮紀, 佐藤迪夫, **三浦正志**, 田辺圭一 “BaZrO₃ ナノ粒子が BaFe₂(As_{0.66}P_{0.33})₂ 薄膜の不可逆磁場に及ぼす影響” 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, パシフィコ横浜, 2017/3/14

⑤A. Okubo, M. Sato, **M. Miura**, T. Tanabe “The angular dependence of irreversibility line in BaZrO₃ nanoparticles doped BaFe₂(As_{0.66}P_{0.33})₂ films ” International Symposium on Superconductivity 2016, Tokyo, Japan, 2016/12/13

⑥T. Murakami, M. Sato, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “The effect of intermediate heating treatment on in-field J_c in TFA-MOD BaZrO₃ doped $(Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba_2Cu_3O_y$ CCs ” International Symposium on Superconductivity 2016, Tokyo, Japan, 2016/12/13

⑦T. Kusama, M. Sato, K. Sakuma, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “Effect of BaZrO₃ nanoparticle on critical current density in the longitudinal magnetic field in REBa₂Cu₃O_y wires by TFA-MOD” International Symposium on Superconductivity 2016, Tokyo, Japan, 2016/12/13

⑧K. Agatsuma, M. Sato, K. Sakuma, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “The effect of oxygen annealing temperature on in-field J_c of TFA-MOD (Y,Gd)BCO CCs ” International Symposium on Superconductivity 2016, Tokyo, Japan, 2016/12/13

⑨T. Kusama, M. Sato, K. Sakuma, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “Effect of the longitudinal magnetic field on critical current density in TFA-MOD REBa₂Cu₃O_y+BaZrO₃ wires” Coated Conductors for Applications 2016, Aspen, Colorado, U.S.A, 2016/9/12

⑩K. Agatsuma, M. Sato, K. Sakuma, M. Miura, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “Enhanced in-field J_c in nanoparticle-doped (Y,Gd)BCO CCs by using improved buffer layer” Coated Conductors for Applications 2016, Aspen, Colorado, U.S.A, 2016/9/12

⑪M. Sato, T. Murakami, K. Sakuma, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “Influence of intermediate heating treatment on in-field J_c in BaZrO₃ doped $(Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba_2Cu_3O_y$ CCs by TFA-MOD” Coated Conductors for Applications 2016, Aspen, Colorado, U.S.A, 2016/9/12

⑫A. Okubo, M. Sato, **M. Miura**, T. Tanabe “Irreversibility line and upper critical field in BaZrO₃ nanoparticles doped BaFe₂(As_{0.66}P_{0.33})₂ films ” Applied Superconductivity Conference 2016, Denver, Colorado, U.S.A, 2016/9/07

⑬T. Murakami, M. Sato, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “Influence of single-coating film thickness on in-field field J_c in TFA-MOD BaZrO₃ doped $(Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba_2Cu_3O_y$ wires ” Applied Superconductivity Conference 2016, Denver, Colorado, U.S.A, 2016/9/07

⑭M. Kanai, M. Sato, **M. Miura**, K. Nakaoka, T. Izumi “ Superconducting properties in TFA-MOD (RE123/RE123+BaZrO₃) multilayer wires ” Applied Superconductivity Conference 2016, Denver, Colorado, U.S.A, 2016/9/07

⑮M. Sato, K. Agatsuma, **M. Miura**, A. Ibi, K. Nakaoka, T. Izumi “ The effect of the grain-boundary angle of buffer layer on in -field critical current density in $(Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba_2Cu_3O_y$ +BaZrO₃ nanoparticle CCs ” Applied Superconductivity Conference 2016, Denver, Colorado, U.S.A, 2016/9/07

⑯**三浦正志**, 金井基樹, 佐藤迪夫, 中岡晃一, 和泉輝郎 “BaMO₃ ナノ粒子導入による TFA-MOD (Y,Gd)Ba₂Cu₃O_y 線材の高特性化” 第 92 回低温工学・超電導学会, 姫路商工会議所, 2015/12/3

⑰T. Seki, M. Sato, Y. Ebata, **M. Miura**, Y. Takagi, K. Nakaoka, T. Izumi “Effect of oxygen annealing temperature on the in-field properties in TFA-MOD $(Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ +BaZrO₃ CCs ” International Symposium on Superconductivity 2015, Tokyo, Japan, 2015/11/17

⑱N. Niwa, **M. Miura**, Y. Takagi, K. Nakaoka, T. Izumi “ The effect of density BaZrO₃ nanoparticle on superconducting properties in TFA-MOD $(Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba_2Cu_3O_y$ coated conductors ” International Symposium on Superconductivity 2015, Tokyo, Japan, 2015/11/17

⑲M. Sato, T. Seki, **M. Miura**, Y. Takagi, K. Nakaoka, T. Izumi “ Influence of the grain-boundary angle on the in-field J_c for

BaZrO₃-doped (Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_y CCs ”
International Symposium on Superconductivity
2015, Tokyo, Japan, 2015/11/17

㊫M. Kanai, N. Niwa, **M. Miura**, Y. Takagi, K. Nakaoka, T. Izumi “Superconducting properties for (Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_y+BaHfO₃ coated conductors derived from TFA-MOD process”
International Symposium on Superconductivity
2015, Tokyo, Japan, 2015/11/17

㊬M. Kanai, N. Niwa, **M. Miura**, Y. Takagi, K. Nakaoka, T. Izumi “Superconducting properties for (Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_y+BaHfO₃ coated conductors derived from TFA-MOD process”
International Symposium on Superconductivity
2015, Tokyo, Japan, 2015/11/17

㊭丹羽信博, 佐藤迪夫, **三浦正志**, 高木裕司, 中岡晃一, 和泉輝郎 “BaZrO₃ 添加量が TFA-MOD (Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_y +BaZrO₃ 線材の結晶性及び超伝導特性に及ぼす研究” 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 2015/9/01

㊮佐藤迪夫, 関翼, **三浦正志**, 高木裕司, 中岡晃一, 和泉輝郎 “バッファ層の面内配向性が TFA-MOD (Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_y +BaZrO₃ 線材の磁場中超伝導特性に及ぼす影響” 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 2015/9/01

㊯金井基樹, 佐藤迪夫, **三浦正志**, 高木裕司, 中岡晃一, 和泉輝郎 “成長速度が BaHfO₃ ナノ粒子導入 TFA-MOD (Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_y +BaHfO₃ 線材の超伝導特性に及ぼす影響” 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 2015/9/01

㊰関翼, 丹羽信博, 佐藤迪夫, **三浦正志**, 高木裕司, 中岡晃一, 和泉輝郎 “酸素アニール温度が TFA-MOD (Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_{7-δ} 線材の磁場中超伝導特性に及ぼす影響” 第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学
2015/3/01

㊱丹羽信博, 佐藤迪夫, **三浦正志**, 高木裕司, 中岡晃一, 和泉輝郎 “昇温速度が TFA-MOD(Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_y 線材の結晶性及び超伝導特性に及ぼす影響” 第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学
2015/3/01

㊲佐藤迪夫, 関翼, **三浦正志**, 高木裕司, 中岡晃一, 和泉輝郎 “バッファ層の面内配向性が TFA-MOD (Y_{0.77}Gd_{0.23})Ba₂Cu₃O_y 線材の磁場中超伝導特性に及ぼす影響” 第 62 回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学
2015/3/01

〔産業財産権〕(計 1 件)

○取得状況 (計 1 件)

名称: 「鉄系超電導材料、及びこれからなる鉄系超電導層、鉄系超電導テープ線材、鉄系超電導線材」

発明者: **三浦正志**, 安達成司, 田辺圭一, 細野秀雄

権利者: 東京工業大学・超電導工学研究所

種類: 特許

番号: 特許第 5757587 号

取得年月日: 平成 27 年 6 月 12 日登録

国内外の別: 日本

〔その他 受賞〕(計 4 件)

①平成 29 年 4 月 19 日、平成 29 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 若手科学者賞、「ナノ人工欠陥導入高磁場特性超伝導線材作製の研究」(受賞者: **三浦正志**)

②平成 28 年 6 月 15 日、平成 28 年度全国発明表彰 21 世紀発明賞「ナノ粒子導入高磁場特性超電導線材の製造技術の発明」、(公社)発明協会 (受賞者: **三浦正志**、中西尚達、須藤泰範、和泉輝郎、塩原融)

③平成 26 年 10 月 4 日、2014 年度教職員表彰 学術研究功績表彰「超伝導線材の開発に関する研究」、学校法人成蹊学園 (受賞者: **三浦正志**)

④平成 26 年 6 月 12 日、第 28 回 先端技術大賞 フジサンケイビジネスアイ賞「ナノ組織制御による人工欠陥導入次世代超電導線材の開発」、フジサンケイビジネスアイ (受賞者: **三浦正志**、吉積正晃、和泉輝郎、塩原融、木村一成、小泉勉)

6. 研究組織

(1)研究代表者

三浦正志 (MIURA, Masashi)

成蹊大学・理工学部・准教授

研究者番号: 10402520