

戦略的創造研究推進事業
ナノテクノロジー分野別バーチャルラボ

研究領域「エネルギーの高度利用に向けたナノ構造材料・システムの創製」
研究課題「ナノ組織制御による高臨界電流超伝導材料の開発」

研究終了報告書

研究期間 平成14年11月～平成20年3月

研究代表者：松本 要
((国)九州工業大学大学院
工学研究科、教授)

1 研究実施の概要

本研究においては、ナノ組織制御により高温超伝導薄膜中に工学的にデザインされたナノスケールの結晶欠陥(人工ピン: APC)を導入し、これらによって量子化磁束を強力にピン止めして高温超伝導薄膜の臨界電流密度 J_c を飛躍的に向上させ、その産業化・商業化を促進することを通じてエネルギーの高度利用に資することを目的としている。これまでの研究によって高品質なエピタキシャル高温超伝導薄膜中に、次元性を考慮したナノスケールの人工ピンを導入することに成功した。この方法によって液体窒素温度(77 K)における J_c が磁場中において、従来値に比べて1桁以上向上することを実現した。以下に、これまでの研究概要について述べる。

(1) 研究の背景

20世紀末に発見された高温超伝導体は臨界温度 T_c がきわめて高く、液体窒素温度 77 K でゼロ抵抗、永久電流、ジョセフソン効果といった巨視的量子現象を実現する。このため高温超伝導体は、当初、種々の産業に革命を起こす『夢の材料』であると考えられた。しかしその後、高温超伝導の応用研究は停滞期を迎える。それは高温超伝導体にゼロ抵抗を保ったまま流せる電流の上限値である J_c が極端に低かったためである。この理由は、この物質が従来型の超伝導体と異なりセラミクスであって結晶の2次元性が強く、その結果として、超伝導電流が結晶粒界を横切って大変流れにくく、かつ J_c を決定する量子化磁束の『ピン止め』が弱い、という難問を抱えていたからである。

しかし発見後20年が経過し、近年、ようやく高温超伝導体を用いた長尺線材が製造されるようになってきた。これは多くの超伝導材料研究者達の長年にわたる地道な努力の賜物である。現在では $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ (Bi系: Bi2223)と $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (Y系: Y123 あるいは YBCO) が実用化されつつある。Bi系線材ではすでに、1.6 km 長の長尺線材が製造されて、Y系も近年急速に進展し、0.5 km 長の線材が試作され 1 km 長も目前となっている。これらを用いて、送電ケーブルや時速 550 km 以上で走行するリニアモーターカー等々の実証試験が次々と行われるまでになっており、まさに高温超伝導が長い研究開発の時を経て、夢の材料として再び表舞台に姿を現してきたといえる。エネルギー・環境・経済のトリレンマ克服が議論される中で、多くの可能性を秘めた高温超伝導が成人となって登場してきたのは朗報である

しかし開発中の高温超伝導線材には解決すべき大きな課題がある。図1は、4.2 Kにおける金属系超伝導線材(NbTi, Nb₃Sn)、および77 Kにおける高温超伝導体(図中 Y123, Bi2223)の磁場中 J_c 特性を比較したものである。これより、77 K における高温超伝導体の磁場中の J_c 特性は実用的な金属系超伝導線材の特性に比べて極めて低く、不十分であることが分かる。そのため磁場中特性の低いBi系においては、77 K では磁場のかからない電力ケーブル応用に限られ、磁場応用には20 K近傍まで温度を下げなければならない。磁場中特性に優れたY系でも、77 Kでの磁場応用を目指すには、10倍以上の J_c 特性向上が必要であることが示唆されていた(もちろん、人工ピンをY系に導入することで大幅な J_c 向上が実現できている。これに関して後述する)。

ここで一気にクローズアップされてきたのが、のピン止めに関わる J_c 制御の問題である。我々はこの問題を 2000 年頃から予見し、高

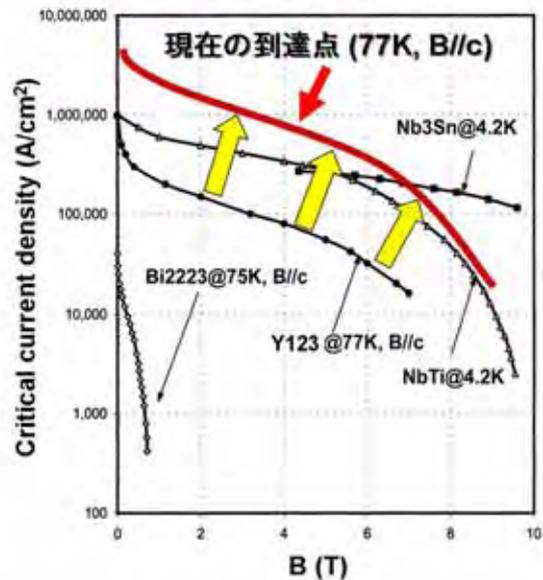


図1 高温超伝導体(Bi2223, Y123)と金属系超伝導体(NbTi, Nb₃Sn)の磁場中 J_c 特性の比較。人工ピンによって到達した現在の値も同時に示している。約一桁の J_c 向上が実現された。

高温超伝導体,特に磁場中特性の優れた Y 系に着目し, Y 系におけるピン止めに工夫を施すことでこの問題を解決する手法の探索を開始した。幸い, 2002 年度から我々のプロポーザルが CREST 藤嶋領域のプロジェクトとして採択され, 本格的な基礎検討を開始するに至った。研究チームとしては, 京都大学・松本グループ(現:九州工業大学)を代表として, 名古屋大学・吉田グループ, 九州大学・向田チーム, 東京大学・堀井チーム, 電力中央研究所・一瀬チーム, 静岡大学・喜多チーム, そして首都大学東京・三浦チームの 6 大学・1 研究所から構成されるものとなった。これは, 米欧に先駆けての研究開始であった。我々が用いた手法は, ナノ組織制御(ナノテク)を利用して高温超伝導体中に量子化磁束の強力な人工ピンを導入し, J_c 制御を行おうというものである。現在では, この手法を用いることで, 飛躍的な特性向上が達成されることが明らかになり, 『夢の材料』の実現に向けて大きな一歩を踏み出している。

(2) 研究の実施方法および成果

超伝導体に磁場を印加すると, 磁場はひも状の量子化磁束に分割されて超伝導体に侵入する。量子化磁束は超伝導体を上下に貫通し, 直径が数 nm で, 5 テスラの磁場下では平均間隔は 20 nm 程度になる。これら量子化磁束は電流が流れない場合は静止しているが, ひとたび電流が流れると動き出しゼロ抵抗状態を壊してしまう。そのため, 量子化磁束を動かなくするピン止めが必要となる。従来の金属系超伝導線材においては, 析出物や結晶粒界などの結晶欠陥が有効なピン止め点として利用されている。現状の高温超伝導体のピン止め点は材料作製時に自然に導入される酸素欠損, 転位, 双晶粒界などである。しかしながら 77 K においては, 転位を除いて, これらは実用的に十分なピン止め力を持たない。そのため現状の高温超伝導線材の 77 K の磁場中 J_c 特性は, 高温超伝導の潜在力を十分発揮したものとは言えない。

我々の戦略は, 粒界のないエピタキシャル Y 系超伝導薄膜に, ナノテクを利用して人工的に設計されたナノスケールの結晶欠陥・ナノ組織を導入し, これらを人工ピンとすることで量子化磁束を強力にピン止めして J_c 制御を行おうというものである。重要なのは, 基本的な超伝導部分は粒界のない単結晶とし, その中に人工ピンを高密度に導入することである。エピ膜中に人工ピンを多量に導入することは, 膜の結晶性を劣化させ, J_c の大幅な低下を引き起こすと考えられるが, そこをうまく回避するのがナノテクの腕の見せ所である。図 2 は我々が提案してきた人工ピンの概念図である。人工ピンの設計においては次元性が重要となる。これは量子化磁束がひも状であり, ピン止めエネルギーが人工ピンと量子化磁束との相互作用体積に比例するからである。

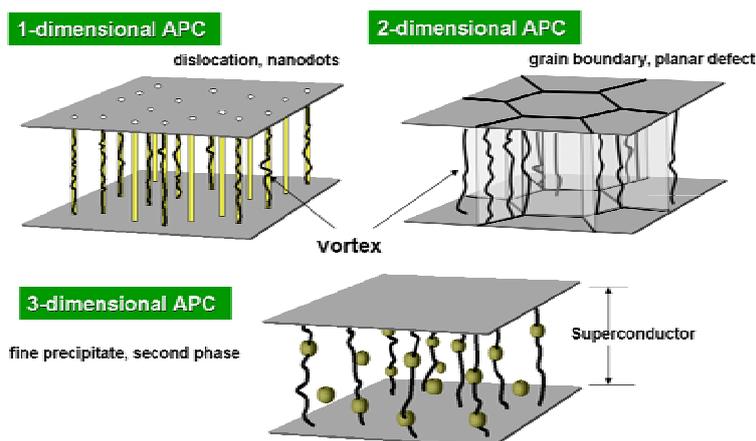
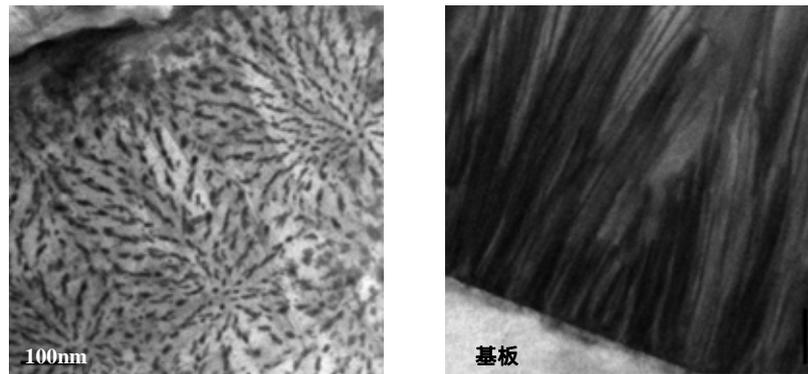


図 2 次元性を考慮した各種の人工ピン構造(1 次元, 2 次元, および 3 次元人工ピン)

原理証明として, 我々が最初に試みたのは, 基板修飾法による転位(1 次元人工ピン)の密度制御である。この方法によって実際に J_c が大幅に向上することが確認された。また試行錯誤の中から $BaZrO_3$ を Y 系薄膜中に微量にドーピングすると, この物質が高密度のナノロッド状に自己組織化



(a) plan-view

(b) cross section

図3 BaZrO₃ ナノロッドを用いた1次元人工ピンの例。(a)ナノロッドを含むY系薄膜を上面観察したもの。細かな粒子状のものがナノロッド。(c)Y系薄膜を横から見たもの。多数のナノロッドが膜面に垂直に成長している。

することも発見した。ナノロッドは、図3に示すように、直径10 nm、平均間隔が20 nm程度で膜面に垂直に導入され、理想的な1次元人工ピンになる。その形成機構はまだ不明であるが材料科学的にも大変興味深いものである。一方、1次元人工ピンは磁場の方向を傾けるとピン止め力が低下するが、3次元人工ピンでは磁場の方向に関係なく等方的に働くので線材応用には有効である。この手法ではY₂O₃ ナノドットや、YBa₂Cu₃O_{7-x}のYサイトをSmで置換したSmBa₂Cu₃O_{7-x}(Sm系)における低T_cナノドット等がある。

これまでの研究で、我々は77 Kの磁場中で、4.2 Kで動作するNbTi線材の磁場中J_cを凌駕する値を得ることに世界で初めて成功した。NbTiは広く用いられている実用超伝導材料である。高温超伝導材料が、77 Kにおいて4.2 KのNbTiの特性を上回る潜在力を有することは意義深い。従来、超伝導普及の足かせは超伝導現象が極低温を必要とすることであった。しかし、ひとたび高温超伝導へのピン止め導入に成功すると、従来極低温でしか実現できなかった性能が77 Kという比較的手軽な環境で実現できたのである。NbTiの特性を上回る結果を最初に得たのは、上記のSm系における低T_cナノドットによるものであった。

より具体的にはこの材料において、77 K、5 T、B//cという磁場条件において、J_c = 0.37 MA/cm²が達成されている。この値は通常のY123材料のJ_c = 0.03 ~ 0.05 MA/cm²を大幅に上回る値であり、また4.2 KのNbTiのJ_c = 0.3 MA/cm²をも凌駕するものである。現在ではBaZrO₃の代わりにBaSnO₃をY系にドーピングして多数の1次元人工ピンを導入することで、さらにSm系の特性を大幅に上回るJ_c特性を引き出すことに成功している。このように、大幅なJ_c向上がより一般的な材料であるY系においても実現できたことは、人工ピンを用いた手法が材料の特性を押し上げるのに大変有効であり、かつ広い汎用性を有していることを意味しており価値がある。

人工ピン研究はまだ始まったばかりであるが、現在、日米欧を中心として開発競争が激しくなっている。しかし、得られた特性はまだ理論的限界の数%であり、その片鱗を見せたにすぎない。今後ピン止めの最適設計とナノテク導入技術を高めていくことでさらなる特性向上が可能となると考えられる。

(3) 今後の展望

従来の金属系超伝導体はT_cが9~18 Kと低く、液体ヘリウム温度4.2 Kで使用されるが、金属であるため塑性加工法によって長尺化することが容易であり、数10 km級の超伝導線材がすでに市販されている。これより高磁場発生可能な超伝導コイルが作られ、医療用診断装置MRI、理化学分析装置NMR、単結晶引き上げ装置、素粒子加速器、リニアモーターカー、実験用核融合装置など幅広い分野で利用されている。しかし液体ヘリウム冷却による制約は超伝導技術の本格的な普及においては、これまで大きな障害となっていた。

高温超伝導体はこの制約を一息に取り去り、コストの低い液体窒素中で超伝導現象を実現する

ものであり、その発展が大いに期待されていた。発見後 20 年が経過し、現在、高温超伝導応用の機運が世界で高まりつつある。77 K で動作する大電流通電可能な高温超伝導線材が実用化されれば、低コストで前述の超伝導応用機器の利用が可能となり、さらにこれまでは不可能であった磁場応用も実現する。地球上のあらゆる国々でエネルギー消費が増えつつある 21 世紀においては、エネルギーの高効率利用は地球環境保護に直結して不可欠である。高温超伝導体はこの問題を解決する大きな可能性を秘めている。

2 研究構想及び実施体制

ここでは、当研究の研究構想と、具体的な研究の実施体制について述べる。

(1) 研究構想

1986 年の高温超伝導体の発見以来、この物質の極めてパラエティーに富んだ物性の解明が進んで強相関電子系と呼ばれる分野が切り開かれ、また液体窒素温度である 77 K での高温超伝導応用を目指して多くの目をみはる材料技術の進歩があった。超伝導体は電気抵抗がゼロでエネルギー損失がほとんどないこと、またそれが従来の液体ヘリウムに比べてはるかに安価でかつ無尽蔵な液体窒素で実現できるため、冷却コストを考慮してもトータルシステムとしてエネルギーの高度利用が可能となる。一方、21 世紀を迎えて、エネルギー・環境問題がより顕在化してきており、地球環境に負荷をかけず高効率で電力エネルギーを貯蔵・送電したり、産業機器を駆動したりするなどの高度な技術の出現が強く望まれている。このような社会の要請に応える技術は高温超伝導体を用いた超伝導技術において他になく、この材料の発見は、環境保全・エネルギー高度利用を実現するために 21 世紀の人類に与えられた大きなチャンスであると考えられる。

しかしこのような目的に不可欠な高温超伝導線材の長尺化は進んでいるものの、通電可能な電流容量は実用化に必要な量の数分の 1 程度に過ぎず、幅広い応用の足枷となっているのが現状であった。磁場中における線材の J_c が高ければ高いほどコイルに高密度の電力エネルギーを貯蔵でき、また低コストでの大量のエネルギー輸送や各種応用製品のコンパクト化ができる。高温超伝導線材を魅力的な商品として実用化するためには、 J_c を現在の数倍向上させて少なくとも液体ヘリウム下での実用 NbTi 超伝導線材なみに引き上げることが必要である。これが実現できれば、77 K での高温超伝導応用を大きく促進するものと考えられた。

本研究ではナノ微細構造の精巧な制御の立場に立って、高温超伝導体中に人工的にデザインされた結晶欠陥を高密度に導入するプロセス開発を行うことを目指した。これら結晶欠陥により強相関電子系における量子化磁束をピン止めすることによって、高温超伝導線材の、磁場中 $J_c(77\text{ K})$ を飛躍的に向上させ NbTi の、磁場中 $J_c(4.2\text{ K})$ を凌駕する値を実現することを目指した。我々はこの手法を人工ピン(Artificial Pinning Center: APC) 導入法と呼んでいる。超伝導体への APC 導入では薄膜作製プロセスを利用したナノ組織制御が中心となる。

APC としては線状(1 次元)、面状(2 次元)あるいは粒状(3 次元)結晶欠陥を用いる。構造デザインされた結晶欠陥は、結晶成長・自己組織化プロセスを用いて、高温超伝導薄膜中に導入される。また高温超伝導体は層状ペロブスカイト構造を持つが、このような複雑な結晶中にナノ構造の APC を導入するためには原子・分子レベルからの物質の組織・構造の制御が要求される。このためナノスケールでの in-situ モニタリング技術の開発と同時に、進展著しい計算科学的手法も APC 構造の設計・解析、あるいは APC のピン止め力算出などに多いに利用する。

高温超伝導線材の J_c をあと数倍向上させることは高温超伝導の実用化・商業化には不可欠であり、ひいては環境保全・エネルギーの高度利用へとつながる。高温超伝導線材の高 J_c 化の問題は避けて通れないハードルであり、APC はこれを低コストで実現する最重要技術である。本研究で APC の有効性が証明されれば、外国との熾烈な競争が始まるのは必至である。日本から先に基礎研究で優れた成果を生み出せばこの分野で完全に主導権を握ることも可能であろう。さらに、APC 技術はナノスケールの結晶欠陥・組織を結晶成長・自己組織化プロセスで制御する技術であり、ナノテクノロジー分野にも多くの新しい知見を提供すると考えられた。

本研究は、大きく次の4つのテーマから成り立つ。すなわち。 APC 構造デザイン， APC 作製プロセス， APC 構造・特性評価，そして線材応用を目指した APC 応用技術である。最初に，5年間の研究スケジュールを表1に示す。

表1 5年間の具体的な研究スケジュール

項目	平成14年度 (5ヶ月)	平成15年度	平成16年度	平成17年度	平成18年度	平成19年度
設備の整備	↔ H14年度分	↔ H15年度分	↔ H16年度分	↔ H17年度分	↔ H18年度分	
APC構造デザイン	← デザイン	→ シミュレーション	→ 技術開発	← APCデザイン	→ 技術確立	
APC構造理論・モデル化			← ナノ構造第一原理	→ デザイン・理論モデル		
APC作製プロセス	← 各種導入	→ プロセス開発		← プロセス最適化	→	
APC構造・特性評価	← ex-situおよびin-situ	→ 構造評価		← APCマクロ・ミクロ評価	→ In-situ評価	
APCの線材応用検討			← ショートサンプル	→ への導入		
まとめ			← 中間報告			← 最終報告

また、続いて ~ の研究項目ごとに、その研究実施体制を具体的に記す。

ナノ微細組織からなる APC 構造のデザイン

「APC デザイングループ」

・九州工業大学 工学研究科 物質工学専攻 (代表: 松本 要)

研究実施項目: APC 構造のデザイン技術

強相関電子系における量子化磁束の挙動の理解とともに、これらを効果的にピン止めする最適な APC 物質や APC 構造を検討する。異方性を考慮したギンツブルグ・ランダウ(GL)理論やピンニング理論に基づいて線状(1次元)、面状(2次元)、および粒状(3次元)APC と量子化磁束との相互作用を調べ、これら APC の最適な空間的配置や分布を検討する。

APC 導入のための薄膜作製プロセスの開発

「APC 作製プロセスグループ」

・九州工業大学 工学研究科 物質工学専攻 (代表: 松本 要)

- ・名古屋大学 工学研究科 エネルギー理工学専攻 (グループ員: 吉田 隆)
- ・九州大学 工学研究院 材料工学部門 (グループ員: 向田昌志)
- ・(財)電力中央研究所 電力技術研究所 (グループ員: 一瀬 中)
- ・静岡大学 創造科学技術大学院 ナノマテリアル部門(グループ員: 喜多隆介)

研究実施項目: 基板修飾法による1,2次元 APC の導入プロセス
 三次元 APC 導入プロセス
 ナノ加工による非超伝導-超伝導界面 APC 導入プロセス

高温超伝導体中に APC 構造を導入するための薄膜成長プロセスを開発する。APC としては(i)転位を用いた線状ピン, (ii)転位列や各種結晶粒界などによる面状ピン, (iii)ナノサイズの異相・析出物などによる粒状ピン, などの結晶欠陥を想定する。転位や転位列などは基板表面へのナノ構造の修飾を起点として導入される。結晶粒界としては, まず a 軸配向ドメインと c 軸配向したマトリクスとの界面を検討する。ナノスケールの a 軸配向ドメイン導入のためには, 基板修飾に基づく a 軸ドメインの選択成長技術を開発する。基板表面修飾法としては基板表面エッチング, 微傾斜基板, 自己組織化ナノドットなど各種方法が試される。またナノサイズの異相, 析出物は微細な a 軸粒や組成ずれから生じる微細な異相を APC として制御することで実現する。粒状 APC の導入には, スピノ-ダル分解など利用した自己組織化プロセスなども検討される。

ナノ組織・超伝導特性評価

「APC 構造・特性評価グループ」

- ・名古屋大学 工学研究科 エネルギー理工学専攻 (代表: 吉田 隆)
- ・(財)電力中央研究所 電力技術研究所 (グループ員: 一瀬 中)
- ・東京大学 工学系研究科 応用化学専攻 (グループ員: 堀井 滋)
- ・首都大学東京 理工学研究科 電気電子工学専攻 (グループ員: 三浦大介)
- ・京都大学 工学研究科 材料工学専攻 (グループ員: 足立大樹)

研究実施項目: APC の ex-situ 評価技術の検討
 局所的超伝導特性評価と微細組織観察
 APC を導入した RE123 薄膜の J_c と磁束挙動

透過型電子顕微鏡(TEM)や高分解能走査型電子顕微鏡(HRSEM)などを用いて, 導入された APC 構造を調べる。またナノプローブ顕微鏡(AFM, STM)等による表面分析も行う。高温 AFM に蒸着装置を装備したシステムでは, 核形成や結晶成長の in-situ モニタリングが可能となり, APC 構造が形成されていくプロセス理解のための貴重な情報が入手できる。これらはナノサイエンスにも新しい知見を与える。APC を導入した高温超伝導薄膜の特性評価には, 磁気光学イメージング(MOI)法で実際の量子化磁束の振る舞いや局所的なピンニング状態を調べる。また 77 K 近傍の J_c 測定に加えて, 磁場下での磁束融解温度やグラス転移温度の変化を, APC の種類や次元性, キャリアドープレベル, RE/Ba 固溶量をパラメーターとして調べる。以上の評価で得られた新しい知見を, APC デザインおよび APC 作製プロセスグループにフィードバックする。

APC 応用技術検討

「APC 応用技術グループ」

- ・九州工業大学 工学研究科 物質工学専攻 (代表: 松本 要)
- ・名古屋大学 工学研究科 エネルギー理工学専攻 (グループ員: 吉田 隆)
- ・九州大学 工学研究院 材料工学部門 (グループ員: 向田昌志)

- ・(財)電力中央研究所 電力技術研究所 (グループ員: 一瀬 中)
- ・東京大学 工学系研究科 応用化学専攻 (グループ員: 堀井 滋)
- ・首都大学東京 理工学研究科 電気電子工学専攻 (グループ員: 三浦大介)

研究実施項目: 金属基板上への APC 技術の適用検討

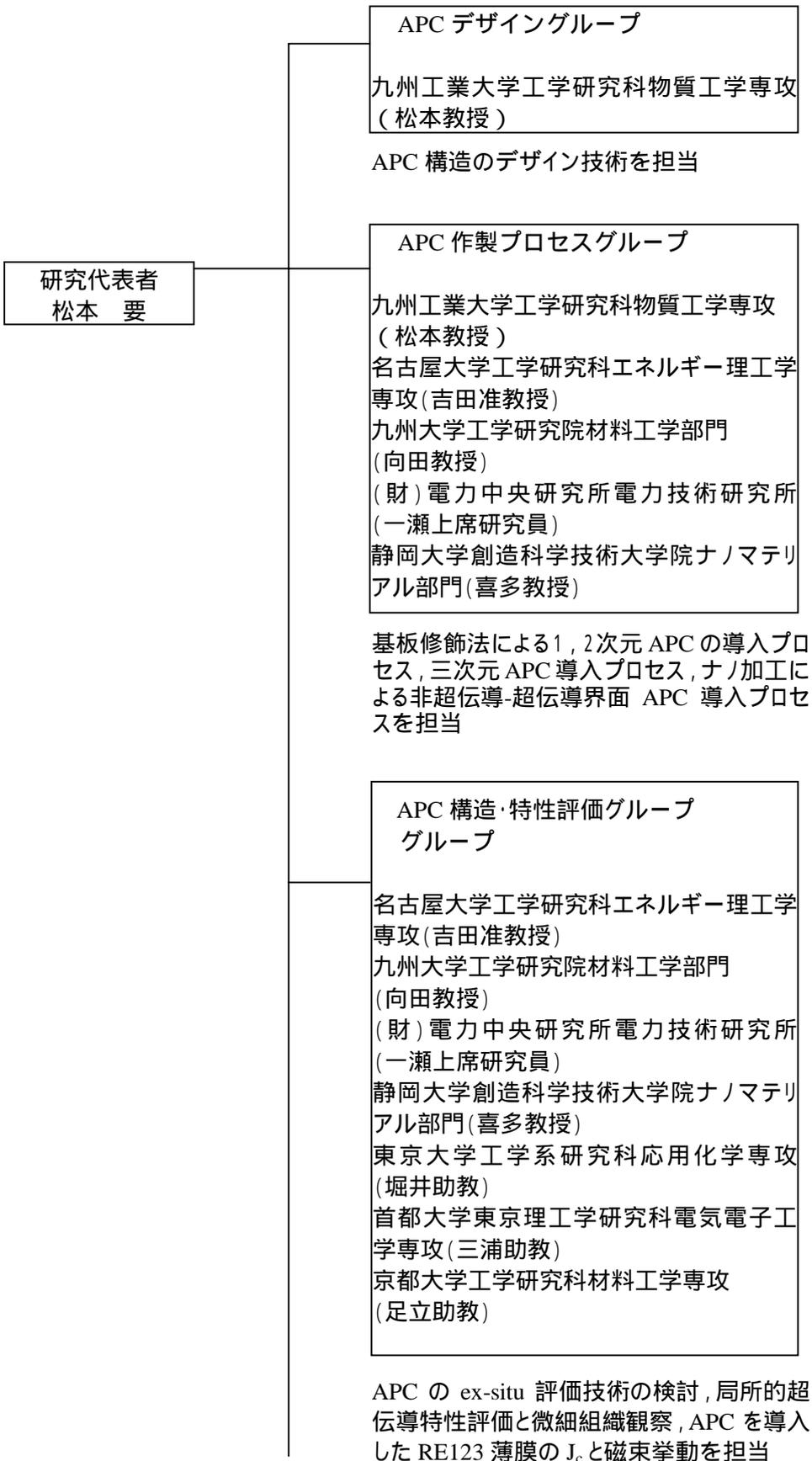
本研究は高温超伝導薄膜への APC 導入法を基本としており, 応用のひとつである線材への適用は薄膜法に基づくテープ形状線材を想定する。ここでは ~ で得られた知見に基づき, 高温超伝導テープ線材へ適用する基礎検討を行う。これは金属テープ上に形成された 2 軸配向酸化物バッファ層表面へ, APC 導入のための表面修飾を施すことを基本とし, 各種 APC と線材との相性を調べる。実際に短尺線材を試作し, その磁場中特性等を評価して APC 導入法のプロセス開発に反映させていく。なお線材化研究は平成 17 年度を目処に開始する。

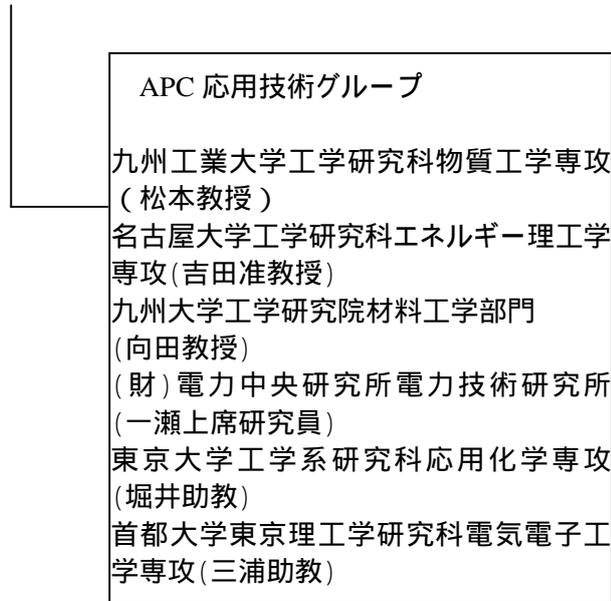
(2)実施体制

実施体制に関して, 図 4, 5 に研究チームの構成を図示する。各研究グループの研究機関・部署名に関しても記した。



図 4 具体的な実施体制の概略図





金属基板上への APC 技術の適用検討

図 5 研究実施体制の詳細図

3 研究実施内容及び成果

3.1 サブテーマ： APC デザイン(九州工業大学・松本グループ)

強相関電子系における量子化磁束の挙動の理解とともに、これらを効果的にピン止めする最適な APC 物質や APC 構造を検討した。ギンツブルグ・ランダウ(GL)理論やピン止め理論に基づいて線状(1次元)、面状(2次元)、および粒状(3次元)APC と量子化磁束との相互作用を調べ、これら APC の最適な空間的配置や分布の検討を行った。

3.1.1 九州工業大学工学研究科物質工学専攻 松本グループ

(1)研究実施内容及び成果

このサブテーマの中では、ピン止め構造の検討、時間依存 GL 方程式を用いた最適ピン止めシミュレーションを実施し APC デザインの検討を進めた。

ピン止め構造の検討

ナノアイランドによって $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ (YBCO)薄膜の c 軸方向に平行に導入された転位(a)、成膜条件を変化させることによって $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ (GdBCO)薄膜中に形成された結晶粒界(b)、およびナノリソグラフィーによって YBCO 薄膜中に導入された平行結晶粒界(c)、これらの巨視的ピン止め力 $F_p = J_c \times B$ 特性を調べ、そのピン止め機構を理論的解釈に基づき比較検討した。図 6 はそれぞれの系における F_p の磁場依存性を両対数プロットして比較したものである。ピン止め曲線は $F_p \propto B$ となる低磁場領域、すなわち単一磁束ピン止めの領域と、 $F_p \propto B^{1/2}$ となる中磁場領域、つまり塑性的ピン止めの領域に分けられ、さらに高磁場側では F_p は急激に減少していく。単一磁束ピン止め

から塑性的ピン止めへと移り変わる磁場をクロスオーバー磁場 B^* と呼び、ピン止めの解釈には大変重要である。単一磁束ピン止め領域が広いことは、高磁場側まで高い F_p が得られることが期待される。実際、 B^* が最も高い試料の F_p は比較試料の中で最大の F_p を示した。

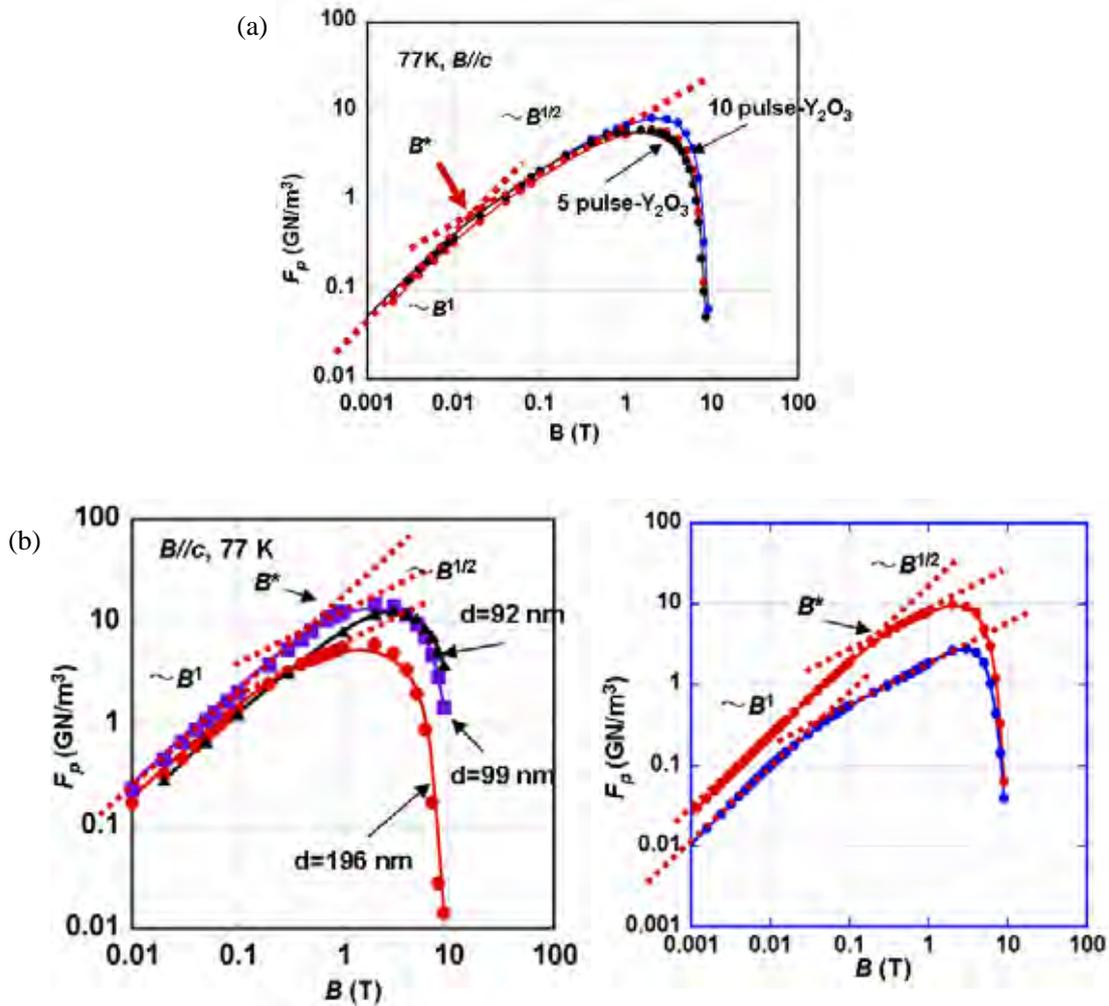


図6 (a) 転位によるピン止め力, (b) 粒界によるピン止め力, (c) 平行粒界によるピン止め力で, この場合, 赤は粒界に平行電流, 青は粒界に垂直電流を流したときに対応する。

ここで転位、通常結晶粒界、平行粒界の B^* を比較すると、それぞれ $B^* = 0.02 \text{ T}$, 0.6 T , および 0.2 T となって粒界の B^* は転位のそれに比べて一桁以上高くなることから分かる。この違いは図7に示すようにピン止め構造の違いに起因しており、転位の場合には転位と転位間のピン止めされていない磁束量子が動き易いため、 B^* の低下が起きると考えられる。一方、粒界の場合は、粒界にピン止めされていない量子化磁束はピン止めされている量子化磁束からの弾性的相互作用を受けて大変動きにくくなっていると考えられ、このため B^* が高くなっていると考えられる。なおこれらの考察から、平行粒界の B^* がもっと高くなるべきと予想されるが、実験に用いた平行粒界の間隔が 500 nm とまだ非常に大きく、粒界と粒界の間に多数の量子化磁束が存在し、ピン止めされていない磁束量子の運動を十分抑えることができないためと考えられる。今後、粒界の間隔を小さくできれば F_p および B^* はさらに向上するものと期待できる。このように B^* が高くなるような構造を実現することが、ピン止め構造のデザインにおいて重要なひとつの指針であることが明らかとなった。

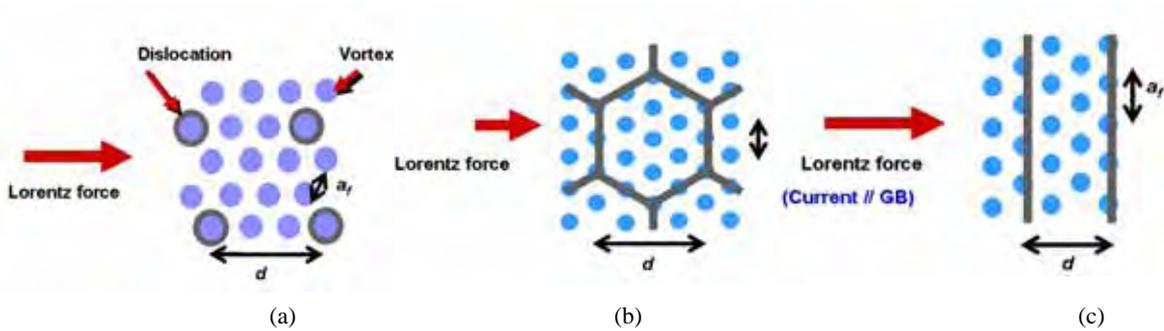


図7 (a) 転位によるピン止め構造、(b)粒界によるピン止め構造、(c)平行粒界によるピン止め構造。

時間依存 GL 方程式を用いた最適ピン止めシミュレーション

APC 設計の指針を得るには、理論やシミュレーションを用いた検討が必要である。ここでは、時間依存の GL 方程式を数値的に解くことで、ピン止め配置の最適構造の予測を行った。最近のコンピュータの計算能力の発展は、複雑な量子化磁束のピン止め現象の可視化および解析において大変有望である。時間依存 GL 方程式とマクスウェル方程式を結合し、量子化磁束のピン止め状態を見ることは過去にスパコンを使った研究があるが、現在ではパソコンレベルでも可能となりつつある。図 8 はここで行ったシミュレーション結果の一部である。シミュレーションでは、先の平行粒界のような通電方向に平行な APC が、 J_c の最適化に有効であることを示唆する。これは 2 次元シミュレーションではあるが、いずれデスクトップでの 3 次元シミュレーションも可能となり、将来的には完全な APC 設計も可能との感触を得ている。

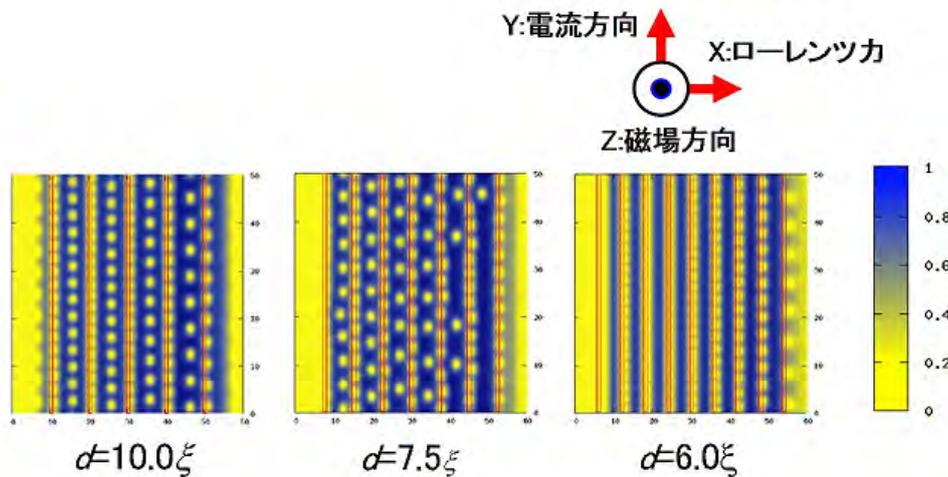


図 8 時間依存 GL 方程式に基づいた量子化磁束のピン止めシミュレーション。サイズは $60\xi \times 50\xi$ で、通電方向に平行なピン止め点が入れてある。d はその間隔。ピン止め点のサイズ、配置によって J_c が大きく異なることが示される。

(2) 研究成果の今後期待される効果

量子化磁束のピン止め現象は古くて新しい問題である。これは基礎物理と応用物理に直結しており、現在でも毎年、続々と多数の新しい研究報告がなされている。人工ピン技術はこの分野に、新しい切り口、すなわち設計されたピン止め構造というパラメータを持ち込む。その目指すところは定量的なピン止め力の設計である。その道筋は長い。ナノ構造制御技術、磁束観察技術、ピン止め理論、計算機シミュレーション等の発展によって遠からず実現できるものと考えている。

3.2 サブテーマ： APC 作製プロセス(九州工業大学・松本グループ, 名古屋大学・吉田グループ, 九州大学・向田グループ, (財)電力中央研究所・一瀬グループ, 静岡大学・喜多グループ)

このサブテーマは, 高温超伝導体中に APC 構造を導入するための薄膜成長プロセス開発を目的としており, 本プロジェクトの中核をなすもので多くの勢力が注がれてきた。5 つのチームが相互に連携を取り, 実験・解析を進めてきた。APC としては 1 次元~3 次元(0 次元も含む)の結晶欠陥を検討した。

3.3.1 九州工業大学 松本グループ

ここでは, パルスレーザー蒸着法(PLD)法を主体とし, 基板表面修飾法, 混合ターゲット, およびターゲット表面修飾法の 3 つの観点から 1 次元~3 次元の APC 導入プロセスを検討した。

1 次元 APC の検討

1 次元 APC を高温超伝導薄膜中に導入するため, Y_2O_3 ナノアイランドを用いる基板表面修飾法の検討を行った。この方法は基板上にあらかじめ Y_2O_3 ナノアイランドを形成し, これらを起点として YBCO 高温超伝導薄膜中に c 軸平行な転位を導入し, これらを高密度な 1 次元 APC とするものである。図 9 に $SrTiO_3$ 上に, PLD 法を用いて形成した Y_2O_3 ナノアイランドと, その上に成膜した YBCO 薄膜中の転位の分布を示した。転位は YBCO 薄膜表面をエッチングすることにより観察したものである。アイランドと転位の分布がほぼ一致しており, アイランド上に転位が導入されていることが分かる。転位密度は $90 \mu m^{-2} \sim 150 \mu m^{-2}$ の間で変化させたが, この値は自然に導入される転位密度よりかなり大きなものである。

図 10 は 1 次元 APC を含む YBCO 薄膜と, natural pinning center のみを含む純 YBCO 薄膜の 77 K の磁場中 J_c 特性を示したものである。この薄膜の B_{irr} は 7 T (77 K, $B//c$) であるが, ナノアイランド形成により J_c が 2~5 倍向上した。これは超伝導薄膜中に導入された転位が, 磁束量子を有効

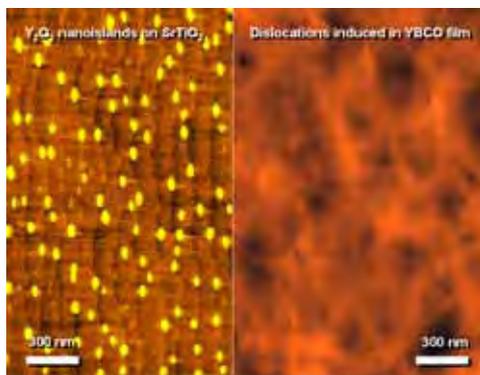


図 9 $SrTiO_3$ 基板上に形成された Y_2O_3 ナノアイランド(左図)。アイランドのサイズは 20~30 nm で $SrTiO_3$ 基板の原子ステップが見える。右図は導入された YBCO 薄膜中の転位(エッチピット)を示している。

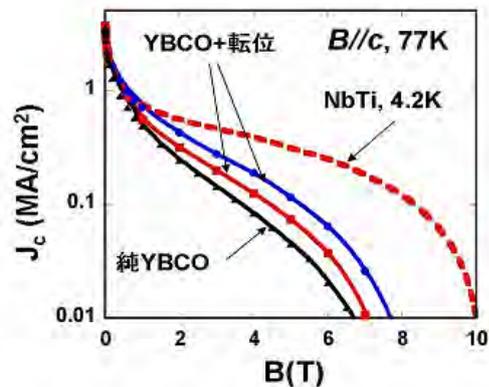


図 10 1 次元 APC を持つ YBCO 薄膜の J_c -B 特性。 Y_2O_3 ドープ量と共に J_c が増大する。比較のために 4.2 K における NbTi の J_c -B 特性も示してある。

にピン止めし, その結果として磁場中での J_c 増大を引き起こしたためである。図 11 は 1 次元 APC を含む YBCO 薄膜と純 YBCO 薄膜における J_c の磁場印加角度依存性 $J_c(\theta)$ を比較したものである。APC を導入することで $\theta = 0^\circ$ ($B//c$) 近傍にブロードな J_c ピークが現れ, いずれの磁場下においても上昇している。我々はこの J_c 上昇を転位導入によるものと考えている。なお $\theta = 90^\circ$ ($B//c$) に現れる鋭い J_c ピークはイントリンシックピンニング, あるいは積層欠陥に起因するものである。

YBCO 薄膜の磁場中における J_c の異方性の背景には B_{c2} の異方性がある。c 軸方向と a/b 軸方

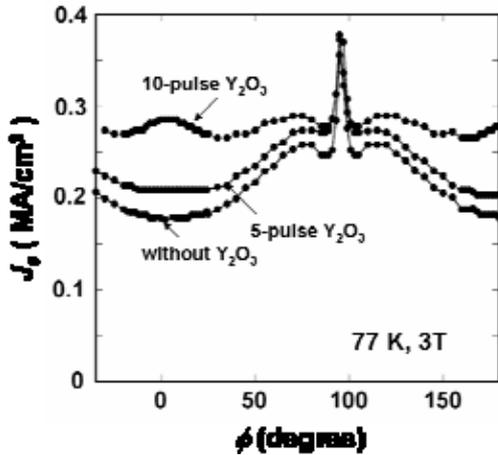


図 11 1次元 APC を持つ YBCO 薄膜の J_c の磁場印加角度依存性。B//c の J_c が Y_2O_3 量にしたがって増大している。

向の電子の有効質量をそれぞれ m_c 、 m_{ab} として異方性パラメータを $\gamma=(m_c/m_{ab})^{1/2}$ と定義すると、層状結晶構造に由来して YBCO で $\gamma=5\sim 7$ に達する。これらの物質の B_{c2} の磁場印加角度依存性は c 軸からの角度を θ とすれば、 $\varepsilon(\theta)=[\cos^2\theta + \gamma^2\sin^2\theta]^{1/2}$ として $B_{c2}(\theta)=B_{c2}(0)/\varepsilon(\theta)$ と表わされる。 B_{irr} の磁場印加角度依存性もこれとほぼ同じ振る舞いを持つことが知られており、このことは多くの YBCO 試料において、磁束液体状態から磁束固体へと遷移する臨界点近傍で確認されている。ただし c 軸方向に伸びた転位、つまり c 軸方向に相関のある強いピン止めを有する試料においては、磁場印加方向が B//c の場合に $B_{irr}(\theta)$ 依存性にピークが現れてくる。これはボーズグラス転移の証拠とされる。図 11 の結果は臨界点よりも低温・低磁場側であり、より転位の影響が現れていると考えられる。

しかしこれまでのところ、YBCO 薄膜の J_c の角度依存性や温度依存性は通常のピン止めのスケールリング側では説明できていない。これは磁場や温度ごとに異なるピン止めが優先的になり、それらのピン止めの磁場依存性や温度依存性が異なるためと考えられる。完全な解明には優先的なピンニングを同定し、そのピン止めの密度や分布を制御して J_c の磁場依存性や温度依存性を詳しく調べる必要があり、APC によってこれらが実現できると期待できる。

これ以外にも、1次元 APC に関しては、ターゲット表面修飾法と混合ターゲット法によって、YBCO 薄膜中への $BaZrO_3$ および $BaSnO_3$ ナノロッド導入を試み、成功した。現在では、後述する Sm 系薄膜に次いで、2 番目に 4.2 K における NbTi 超伝導線材の磁場中 J_c を大きく凌駕する値を実現できた。1次元 APC による J_c 増大は、角度依存性において解決すべき課題があるが、大幅な J_c 向上を行うためには大変有望な手法であることが明らかになっている。

2次元 APC の検討

2次元 APC として期待されるのは薄膜中の結晶粒界である。高温超伝導体における結晶粒界は、隣接する結晶のミスオリエンテーション角度が 10 度以上になるとジョセフソン結合的になって、 J_c が急激に低下する弱結合の原因となるものである。しかしその角度が 10 度以下の小傾角粒界では、粒界はむしろ転位列とみなせ、強いピン止め点として作用する可能性がある。これら粒界を有効なピン止め点として利用するため、基板上に高温超伝導薄膜を成膜する際に、その成膜条件を変化させることで、結晶粒径の異なる薄膜を作製することを試みた。なお薄膜形成は PLD 法にて行い、基板温度を 700 とし、その他の成膜パラメータを固定して酸素分圧だけを 200 mTorr から 700 mTorr まで変化させて行った。図 12 は $GdBa_2Cu_3O_{7.8}$ (GdBCO) を用いて結晶粒径を変化させた時の、表面 SEM 写真である。GdBCO の粒径が 196 nm から 92 nm まで連続的に変化しているのがわかる。この時の粒界は(001)チルト粒界である。断面 TEM によれば、結晶は基板表面からコラムナー成長しており、酸素分圧を変えることで成長モードが変化して粒径が連続的に変化したものと考えられる。X 線回折によれば隣接する結晶粒のなす角度は 1 度以下であり、これは粒界が数 10 nm 間隔で並んだ転位列からなる強いピン止め点として作用することを示唆する。

図 13 は粒径を変化させた時の、GdBCO 薄膜の 77 K、B//c における J_c -B 特性を示したものであ

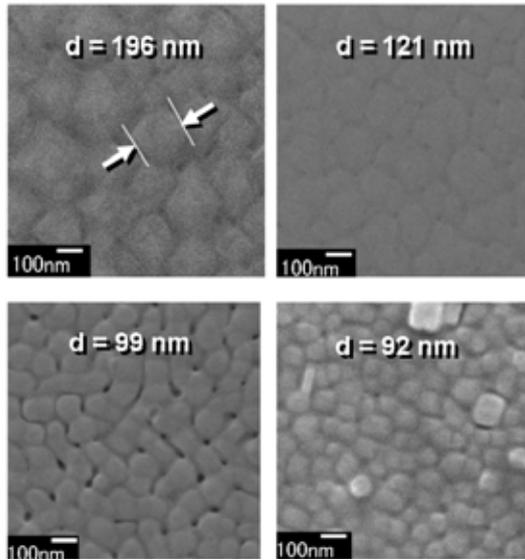


図 12 成膜条件の調整で制御した GdBCO 薄膜の粒径変化。

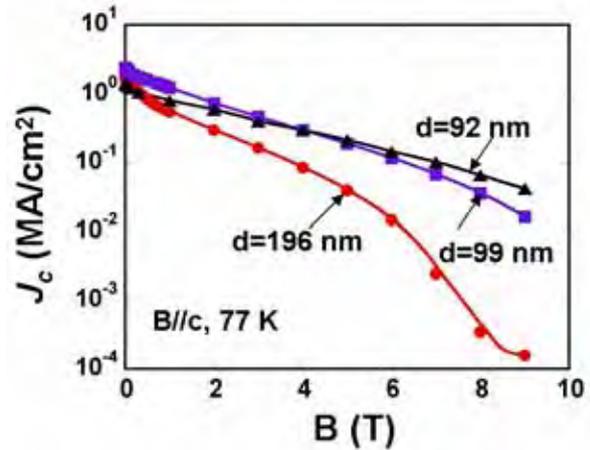


図 13 粒径を変化させた時の GdBCO 薄膜の J_c -B 特性。

る。粒径が小さくなるにつれて低磁場側の J_c がやや低下するが、高磁場側の J_c は逆に増大する傾向にある。これを巨視的ピンニング力 $F_p = J_c \times B$ で示すと粒径の縮小とともに F_p の最大値が増大し、かつ F_p のピーク位置が高磁場側にシフトしていくことが見て取れる。これは粒界がピン止め点として作用しており、粒径が小さくなるにつれてピン止め点の密度が増大し、 F_p の増大を引き起こしたものと考えられる。

このように薄膜の結晶粒界を制御することで J_c を制御できることが明らかになった。粒界がピンニング点として作用するのは実用材料である Nb_3Sn 線材でよく知られていることで、最近では MgB_2 材料においても粒界が J_c の決定因子になっていることが明らかになってきている。高温超伝導薄膜でもこの事実が確認されたことで、今後、高温超伝導薄膜の J_c 制御の重要な因子となっていくものと考えられる。

3次元 APC の検討

PLD 法によって 3 次元 APC の導入を行った。導入方法としては、従来法である混合ターゲット法とともに、新たに開発したターゲット表面修飾法を用いた。前者は、所望の濃度となる APC 混合物質と、化学量論組成の高温超伝導物質を混合させて焼結させて作製した PLD 用ターゲットを用

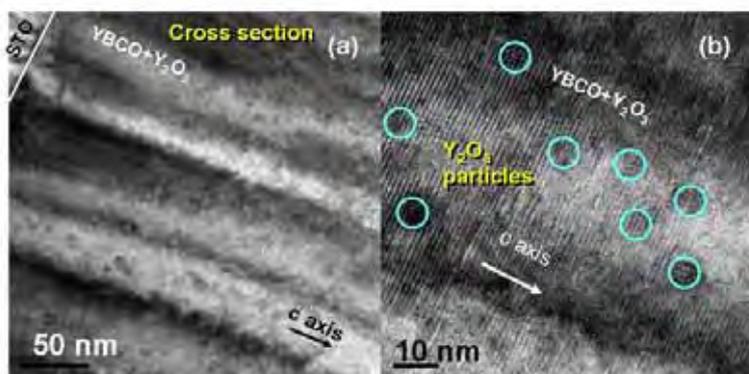


図 14 (a),(b)ターゲット表面修飾法で YBCO 中に導入した Y_2O_3 ナノ粒子。簡便な方法で高い特性が実現できるので有望。

(a) Y_2O_3 ナノ粒子

(b) 拡大像

いる。一方、後者は化学量論組成の高温超伝導物質からなるターゲット上に、所望の APC 導入物質の焼結体(あるいは単結晶)の小片を貼り付け、そのまま通常の PLD に利用するものである。われわれは、これをターゲット表面修飾法と呼んでいる。この方法は、エピタキシャル薄膜中に、簡便な方法でナノ構造を導入する手法として有効である。なお 3 次元 APC 物質としては Y_2O_3 を選択した。図 14 はこの手法で導入した YBCO 薄膜中の Y_2O_3 3 次元 APC (ナノ粒子) の TEM 写真である。ナノ粒子は直径が 10 nm 程度で高密度に分散しているのが分かる。

なお 3 次元 APC は、図 11 に示すように、1 次元 APC のような B//c 方向の J_c ピークは現れないが、全体的にいずれの角度においても J_c が増大するのが特徴である。この意味で、3 次元 APC は将来の線材応用においては有利に立つ可能性を持つ。

(2) 研究成果の今後期待される効果

表 2 は、ここで得られた結果と、他の手法とのピン止め力 F_p の大きさを比較したものである。 F_{pmax} ($=J_c \times B$) は、与えられた温度下における F_p の最大値を示す。ここで、我々が常に比較に用いる実用 NbTi 超伝導線材の、4.2 K における F_{pmax} は、約 16 GN/m³ であることを指摘しておく。これと比較して、1 次元、3 次元 APC を導入した高温超伝導薄膜の F_{pmax} は 77 K においてそれを凌駕するものがあり、65 K や 40 K まで冷却すると 10 倍以上に大きくなるが見取れよう。この値は、今後の高温超伝導応用を考えるに当たって、大変勇気付けられる値であると言える。

表 2 各種製法による APC によるピン止め特性

構成	基板	製法	ピン種類	c 軸長 (nm)	T_c (K)	J_c (77K, 0T, MA/cm ²)	J_c (77K, 5 T, B//c, MA/cm ²)	F_{pmax} (77K, B//c, GN/m ³)	F_{pmax} (65K, B//c, GN/m ³)	F_{pmax} (40K, B//c, GN/m ³)
純 YBCO	STO/MgO	PLD	自然ピン	1.1684	90.5	2.3	0.04	5.7	18.2	48.8
YBCO+YSZ	STO/MgO	PLD (表面修飾)	1 次元	1.1707	87	1.1	0.32	15.9	49	135
YBCO+BaSnO ₃	STO/MgO	PLD (表面修飾)	1 次元	-	89	1.6	0.38	27.9	93.4	241
YBCO+Y ₂ O ₃	STO/MgO	PLD (表面修飾)	3 次元	1.1681	89.3	2.6	0.09	7.8	54.5	189
SmBCO	MgO	PLD (Sm リッチ)	3 次元	-	93	8	0.37	23	-	-

3.2.1 名古屋大学 吉田グループ

(1) 研究実施内容及び成果

ここでは、高温超伝導薄膜中への 3 次元 APC 導入プロセスの開発を目指した。ナノ組織制御によって、高温超伝導薄膜中へ微細な面状・粒状 APC を導入することを行った。面状・粒状 APC は非超伝導体であるか、あるいはマトリクスと超伝導特性が異なるためピンニング点として作用する。ここではあらかじめ設計された固溶体を形成するレアース(RE)系高温超伝導体ターゲットを用意し、薄膜法を用いて基板上に超伝導薄膜を形成した。面状・粒状 APC は薄膜形成過程で導入される場合と、成膜後の後熱処理で導入される場合の 2 種類のプロセスが検討される。後熱処理ではスピノーダル分解等の自己組織化プロセスの利用も検討する。主な検討課題として、固溶体を形成する RE123 系高温超伝導薄膜中の APC 制御を目的とした。

RE 系高温超伝導膜の高品質化

$Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_{6+\delta}$ (SmBCO) 薄膜は YBCO 薄膜を超える高い J_c 特性を持ち、組成ゆらぎにより c

軸相の中に微細な a 軸相が分散している可能性がある。そこで、上記の微細な a 軸相を 3 次元 APC として有効に活用するため、a 軸相を均一よく成長制御することを検討した。ここでは基板上にあらかじめ c 軸配向 SmBCO シード層(数 10 nm)を作製し、その上に SmBCO を作製するシード層を用いた成膜プロセス、特に低温成膜プロセスを用いた SmBCO 膜の配向性や超伝導特性の検討を行った。実験方法は、PLD 法を用いて c 軸配向した SmBCO シード層を MgO(100)基板上に膜厚約 50 nm 程度成膜し、その上に低温で SmBCO 膜を 0.5 μm 厚程度作製した。得られた SmBCO 膜は、350 酸素気流中でアニール処理を施した。評価方法は、XRD、AFM、ICP、pole-figure などの薄膜評価、4 端子測定による T_c 及び J_c などの電気特性評価を行った。さらに、微細構造は TEM 観察により検討した。その結果、SmBCO シード層を用いると、シード層を用いない場合に比べ、約 100 低い成膜温度においても c 軸配向となることが確認された。図 15 に示した低温成膜プロセスにより得られた膜の断面 TEM 観察像から、シード層と低温成膜層の界面には、異相や転位などは確認されなかった。図 16 に SmBCO シード層を用い低温成膜プロセスで作製した膜、及び従来報告しているシード層を用いない膜の基板温度と J_c 特性(77 K, 自己磁場下)の関係を示す。成膜温度を低下させるにしたがい、 J_c が上昇し、 $T_c=760$ で最大値を得た。成膜温度の低温化が、膜内部の組成などの微細組織に影響していると推察している。

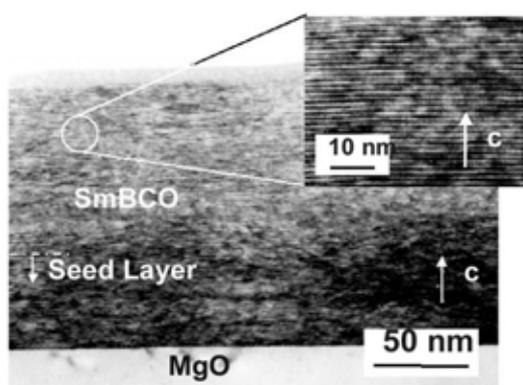


図 15 SmBCO/MgO の断面 TEM 写真

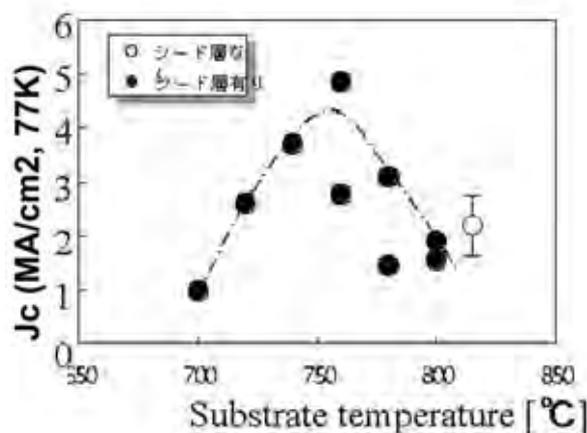


図 16 J_c 特性と基板温度の関係

低温成膜法を用いて作製した SmBCO 膜の磁場中高 J_c 化

図 17 に PLD 法で作製した YBCO 膜、SmBCO 膜、及び Sm/Ba 置換量 x を変化させて低温成膜プロセス(LTG: Low temperature growth)を用いて作製した SmBCO 膜の J_c - B 特性(77K $B//c$)を示す。比較に 4.2 K で報告されている Nb-Ti 線材の特性も併記する。低温成膜プロセスを用いた SmBCO 薄膜の磁場中での J_c 特性が、通常の PLD 法で作製した膜に比べ飛躍的に向上していることが確認される。さらに、置換量 x により変化しており、SmBCO($x=0.04$)でもっとも高い特性を示しており、 $J_c=0.28 \text{ M/cm}^2$ ($B=5 \text{ T}$, $B//c$, 77 K)であることが分かる。この LTG-SmBCO の 77 K における特性は、4.2 K で実用化されている NbTi 線材の特性と比較して $B=5 \text{ T}$ 付近の磁場中の特性が同じレベルまで向上していることが分かる。

図 18 に磁場方向を変化させた SmBCO 膜の J_c 特性を示す。成膜温度の低下、さらに磁場が大きくなるに従い、 J_c の角度依存性が小さくなっていることが分かる。SmBCO 膜の強磁場での高 J_c の要因であるピンニング点が、結晶方向、磁場方向に対して等方的であることが推察される。現在、微細組織なども含め(a) a 軸ピン、(b)欠陥、及び(c)Sm/Ba の組成揺らぎに関して考察している。微細構造評価を行った結果、それらの TEM-EDX 分析及び S-TEM 観察から a/b 面方向には Sm/Ba 置換量 x が化学量論組成よりも多い領域が約 100 nm サイズで、 c 軸方向には約 50 nm サイズで生成していることを確認にした。

さらに、薄膜 X 線回折装置を用いて、置換量 x の違いによる a 軸長、b 軸長の変化、すなわち斜方晶性の変化を検討した結果を図 19 に示す。この場合、LTG-SmBCO ($x=0$)に比べ、

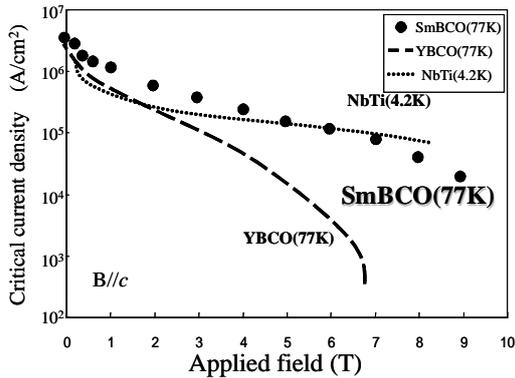


図 17 SmBCO の 77K での J_c 特性

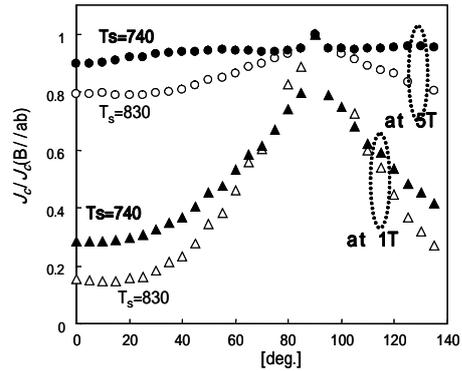


図 18 SmBCO の 77K での J_c 角度依存性

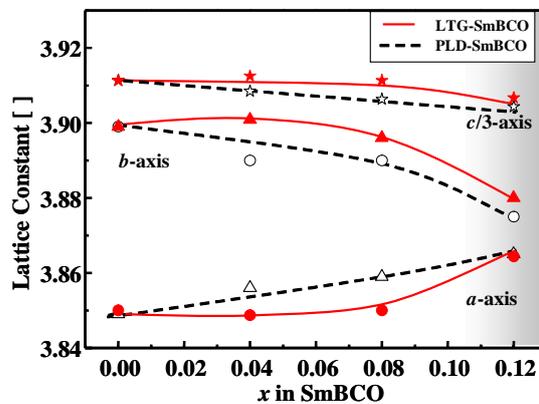


図 19 SmBCO 薄膜の格子定数の変化

LTG-SmBCO ($x=0.04$)および LTG-SmBCO ($x=0.08$)の斜方晶性が大きくなっていることが確認された。一般的に、斜方晶性と T_c は相関関係があることから、置換量の変化による斜方晶性及び T_c の向上、さらに不可逆磁場 B_{irr} の向上により磁場中での高い J_c が得られたと推察している。

ナノ組成コントロール技術を用いた SmBCO 膜の磁場中高 J_c 化

T_c や B_{irr} が高い $REBa_2Cu_3O_y$ (REBCO; RE = Nd, Sm, Gd 等) 薄膜は磁場中での高特性化が期待される。我々は、PLD 法を用いた低温成膜(Low Temperature Growth: LTG)プロセスを開発し、LTG 法で作製した SmBCO 薄膜が優れた超伝導特性を持つことを見出した。LTG プロセスを用いた SmBCO 薄膜は、PLD 法で c 軸配向した SmBCO シード層を MgO(100)基板上に膜厚約 50 nm 成膜し、その上に低温で Sm/Ba 置換量 x を 0 ~ 0.12 と変化させた SmBCO 膜を 0.7 μm 厚程度作製することで得られる。

図 20 に PLD 法で作製した YBCO 膜、SmBCO 膜、及び Sm/Ba 置換量 x を変化させて LTG 法を用いて作製した SmBCO 膜の J_c - B 特性 (77 K, $B//c$)を示す。比較として、4.2 K で報告されている Nb-Ti 線材の特性も併記する。LTG 法を用いた SmBCO 薄膜の磁場中での J_c 特性が、通常の PLD 法で作製した膜に比べ飛躍的に向上していることが確認される。さらに、置換量 x に対しても変化し、SmBCO ($x=0.04$)で $J_c=0.28 \text{ MA/cm}^2$ ($B=5 \text{ T}$, $B//c$, 77 K) と最も高い特性を示した。LTG-SmBCO の 77 K における特性は、4.2 K で実用化されている NbTi 線材の特性と比較して $B = 5 \text{ T}$ 付近の磁場中の特性が同じレベルまで向上していることが確認される。薄膜 X 線回折によれば、置換量 x の違いによる a 軸長、 b 軸長の変化から、LTG-SmBCO($x=0$)に比べ、LTG-SmBCO($x=$

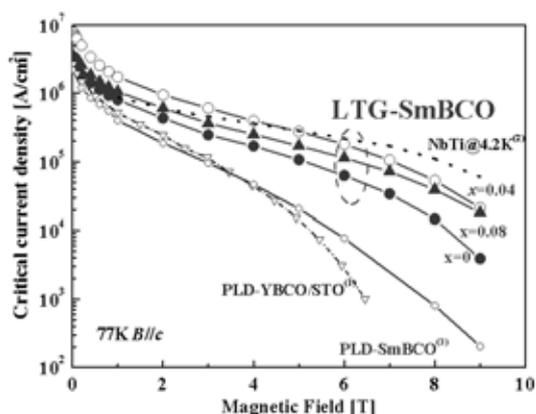


図 20 各種超伝導薄膜の磁場中 J_c 特性の比較

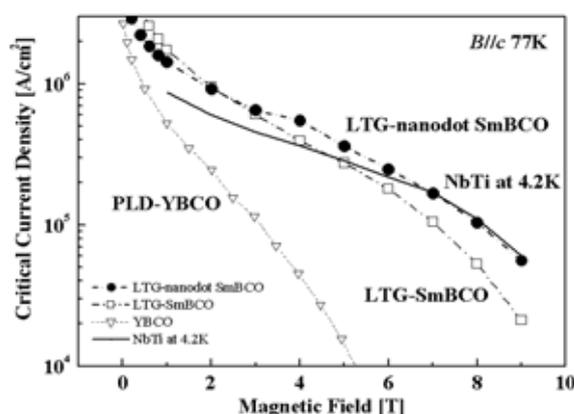


図 21 ナノ析出物を導入した SmBCO 薄膜の J_c -B 特性

0.04)及び LTG-SmBCO($x=0.08$)の斜方晶性が大きくなっていることが確認された。一般的に、斜方晶性と T_c は相関関係があることから考察して、置換量の変化による斜方晶性及び T_c の向上、さらに不可逆磁場 B_{irr} の向上により磁場中での高い J_c が得られたと推察している。

YBCO 膜において、BZO や Y_2O_3 などのドーピングがピンニング向上に効果があることが報告されている。ここでは、更なる高磁場中での高 J_c 化を目的として、低 T_c 相($Sm_{1.2}Ba_{1.8}Cu_3O_{7.8}$)のナノドットを作製し、その上に LTG-SmBCO 膜を形成することを試みた。作製には PLD 法を用いて、 c 軸配向した SmBCO シード層を MgO(100)基板上に約 100 nm 成膜し、その上にナノサイズに分散した低 T_c 相($Sm_{1.2}Ba_{1.8}Cu_3O_{7.8}$)のナノドットを作製する。さらにその上に低温で SmBCO 膜(置換量 $x = 0.04$)を 0.3-0.6 μm 厚積層して作製した。AFM 表面観察から、基板上に成長したナノドットは、16 nm 高、100 nm 幅のサイズで 270 nm 間隔で(約 15 個/ μm^2)成長していることが確認された。図 21 に PLD 法で作製した YBCO 膜、LTG-SmBCO 膜、及びナノドット上に成長した LTG-SmBCO 膜(LTG-nanodot SmBCO)の J_c -B 特性(77 K, B//c)を示す。比較に 4.2 K で報告されている Nb-Ti 線材の特性も併記する。前述した LTG-SmBCO 薄膜に比べ LTG-nanodot SmBCO 膜の磁場中での J_c 特性が、 $B=3$ T 以上の高磁場領域で向上していることが確認される。その結果、 $J_c=0.37$ MA/cm² (77 K, B//c, $B=5$ T)、 $J_c=0.1$ MA/cm² (77 K, B//c, $B=8$ T)と今回測定した $B=9$ T までの磁場領域では、4.2 K で実用化されている Nb-Ti 線材の特性を凌駕するレベルまで向上していることが分かる。TEM や組成マッピングなどの微細構造観察から $B=4$ T 以上の高磁場領域で高 J_c 化には、膜中の Sm/Ba 組成揺らぎによる低 T_c 相で構成させる 3 次元的なナノ析出物とともに、ナノネットワーク状の新たな APC が導入されたことに起因すると考えられる。

(2) 研究成果の今後期待される効果

エネルギー、環境、医療、輸送分野に向けた液体窒素作動高温超伝導システムに用いる高温超伝導線材におけるナノ組織制御技術の構築は、その有用性が実証され実用化レベルの磁場中特性を有していることが確認された。さらに、実用化レベルの低コスト化や長尺化などとともに大電流化のための厚膜化、交流応用のための超伝導テープの細線化技術など多くの課題があると考えられる。線材メーカーや電機メーカーなどの産業界の研究開発者とともに、ナノ組織制御を用いた Sm123 厚膜化技術の構築を図り、高温超伝導線材の実用化に貢献していきたいと考えている。

さらに、高温超伝導薄膜をはじめとする機能性薄膜の更なる特性向上のため、ナノテクノロジー技術の構築は必要不可欠であると考えられ、実用化レベルに達するまでの基盤研究として人工ピンなどの知見を深めていきたいと考えている。

3.2.2 九州大学 向田グループ

(1) 研究実施内容及び成果

ここでは、新しい手法による 2 次元人工ピンニングセンターの導入と、Y123 よりも特性の優れた $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (Er123) 薄膜への 1 次元人工ピンニングセンターの導入を試したので報告する。

2 次元人工ピンニングセンターの導入

これまで我々は、2 次元 APC を導入した膜として、図 22、図 23 に示す構造をボトムアップで作成することを目指してきた。しかしながら、完全な 2 次元人工ピンニングセンターを持つ膜の実現には至らなかった。今回、図 26 に示すように、 c -軸方向に絶縁層を層状に導入した 2 次元人工ピンニングセンターを持つ超伝導膜の実現に成功したので報告する。

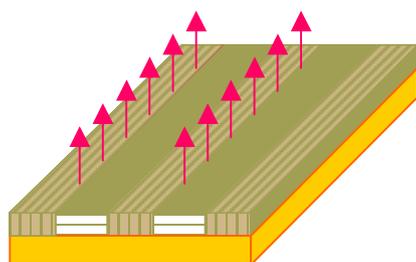


図 22 a -軸/ c -軸界面 2 次元 APC

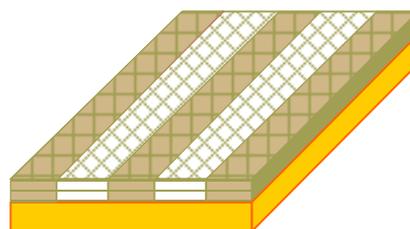


図 23 $0/45^\circ$ 粒界面 2 次元 APC

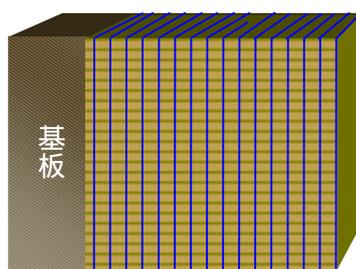


図 24 新しい 2 次元 APC の構想

図 24 は基板が図面下部にあれば、 c -軸方向に人工ピンニング層を導入した c -軸配向膜となる。それを側面の基板からボトムアップ的に、 a -軸配向膜を成長させ、規則的に絶縁層を挟むことにより、 a -軸配向多層膜を実現できる。実際、レーザー蒸着法のターゲット形状を工夫することにより、その構造を実現させた。さらに、膜厚の最適化を図ることにより、当初問題であった低い超伝導転移温度を液体窒素温度以上に上昇させた膜の実現に成功した。この膜の断面透過電子顕微鏡像を図 25 に示す。5 nm と 15 nm の層が交互に積層された a -軸配向膜であり、その 5 nm の膜が絶縁層の Pr123 膜、15 nm の超伝導層が Y123 膜であることが、走査透過電子顕微鏡による組成分析から分かった。このことから、超伝導膜の膜厚として、少なくともコヒーレンス長の 2 倍以上の領域が必要であると分かった。また、この膜の間隔からマッチングフィールドは約 4.5 T と計算された。

次に、 c -軸方向に絶縁層を層状に導入した構造が、ピンニングセンターとして機能するかどうかを調べるために、磁場中での臨界電流密度の磁場方位依存性を測定した。その結果を図 26 に示す。ここで、縦軸は a -軸方向に磁場が印可された時の臨界電流密度で規格化した。さらに図 26 には、比較のために、 c -軸方向に絶縁層が導入されていない、純粋な a -軸配向膜の特性を同時に示した。純粋な a -軸配向膜は通常の c -軸配向膜の時と同様に、磁場中で a -軸方向に磁場が印加された時に最も臨界電流密度の低下が少なく、 c -軸方向に磁場が印加された時に最も臨界電流密度が低下した。ところが、 c -軸方向に絶縁層を層状に導入した a -軸配向膜では、 c -軸方向に磁場が印加された時の臨界電流密度の低下が最も少なくなることがわかった。このことは、 c -軸相関ピン

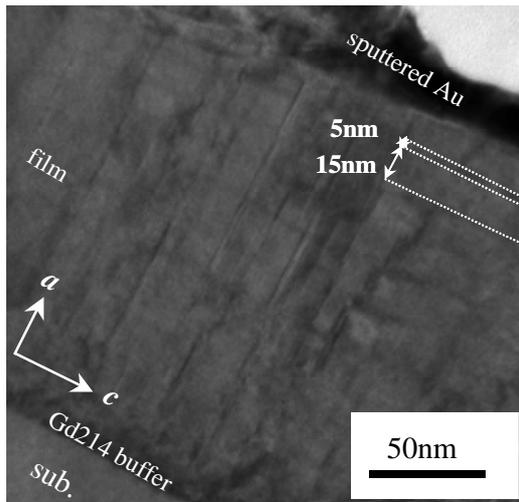


図 25 断面透過電子顕微鏡像。5nm と 15nm の層が交互に積層された a -軸配向膜であると分かった。

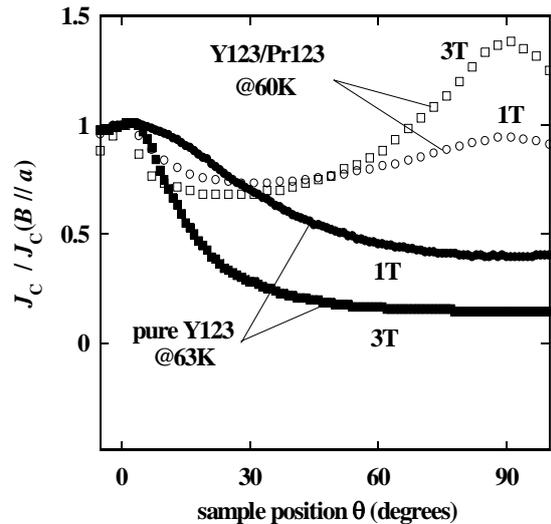


図 26. c -軸方向に絶縁層を層状に導入した a -軸配向膜の 1T と 3T の磁場中での臨界電流密度の磁場角度依存性。

リングセンターの存在を示しており、まさに c -軸方向に層状に導入した絶縁層が人工ピンニングセンターとなっていると判断できる。

1 次元人工ピンニングセンター

これまでの研究により、数%以上の $BaZrO_3$ を導入すると、超伝導転移温度の低下を招き、臨界電流密度の低下を引き起こすことが明らかになった。そこで昨年度は、 $BaZrO_3$ よりも高濃度にドーブしても転移温度の低下が少ない新材料として $BaSnO_3$, $BaNb_2O_6$ に着目し、研究を進めた。それぞれの薄膜中に形成された 1 次元ピンニングセンター(ナノロッド)を透過電子顕微鏡法によって解析したので、その成果を以下に示す。

(i) $BaSnO_3$ ドープ Er123 膜

超伝導膜はターゲットに 2 wt% $BaSnO_3$ をドーブした Er123 焼結体を用い、基板温度 730°C 、酸素圧 400 mTorr で作製した。断面透過電子顕微鏡観察用試料は、集束イオンビーム法により作製した。Er123 薄膜中に形成されたナノロッドに対し、まず明視野法や暗視野法による観察を行い、またエネルギー分散型 X 線分光法(EDX)による点分析、更に制限視野電子回折法による構造解析を試みた。使用した透過電子顕微鏡は、電力中央研究所の JEM-2100F、九州大学超高压電子顕微鏡室の JEM-3200FSK および Tecnai-20 である。

まず、代表的な明視野像を図 27 に示す。 $SrTiO_3$ 基板と Er123 膜との界面を起点として c -軸方向に沿って成長し、かつ縞模様を伴った幅約 10 nm のナノロッドが観察された。ナノロッドに出現した縞模様については、後述する。次に、膜中に形成されたナノロッドの構成元素を調査するために、エネルギー分散型 X 線分光分析を行った。取得された EDX スペクトルを図 28 に示す。Er123 膜のスペクトル(a)からは、その構成元素(Er, Ba, Cu, O)の存在が確認された。一方、スペクトル(b)から、ナノロッドは Sn-rich であることが分かった。

そこで、ナノロッドの結晶構造や軸長を調査するために、制限視野電子回折図形の解析を行った。 $SrTiO_3$ 基板および Er123+ナノロッドから得られた電子回折図形、またナノロッドからの回折斑点のみを抽出した電子回折図形を図 29 に示す。まず、 $SrTiO_3$ 基板(a)とナノロッド(c)の電子回折図形を比較すると、それらは類似した回折斑点の配置であることから、ナノロッドは立方晶ペロブスカイト構造を有することが分かった。次に、軸長の算出を試みた。ここで、電子回折図形結像時のカメラ長(L)、電子の波長(λ)、回折斑点間の距離(r)、および格子面間隔(d)の関係は、次式のように表される。

$$L\lambda = rd \quad (1)$$

(1)

つまり、カメラ定数($L\lambda$)と回折斑点間の距離が分かると、格子面間隔を算出できる。 SrTiO_3 の格子定数($a = 0.3905 \text{ nm} = d_{100}$)は既知であり、図 29(a)の回折斑点間の距離を測定することにより、カメラ定数は決定できる。そのカメラ定数とナノロッドからの回折斑点間の距離を用い、ナノロッドの(100)面間隔、すなわち軸長を算出した結果、 $a = 0.414 \text{ nm}$ と求められた。したがって、Er123 膜中に形成されたナノロッドは、 BaSnO_3 (立方晶ペロブスカイト構造、 $a = 0.412 \text{ nm}$)の可能性が高いと判断した。以上のエネルギー分散型 X 線分光法や制限視野電子回折法を用いた解析結果より、Er123 膜中に形成されたナノロッドは、ドーピング材料の BaSnO_3 と同定された。

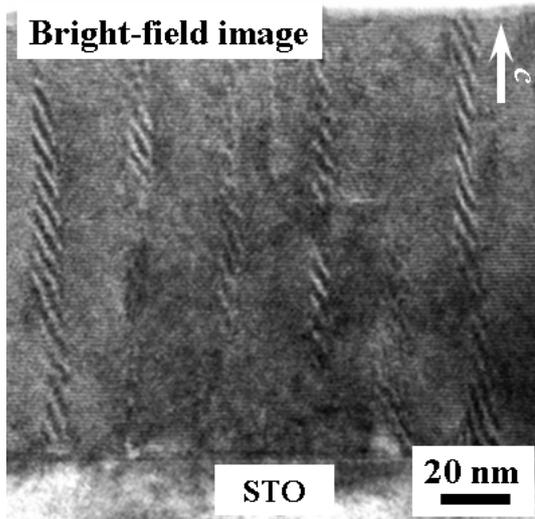


図 27 BaSnO₃ ドープ Er123 膜に形成されたナノロッドを示す明視野像。

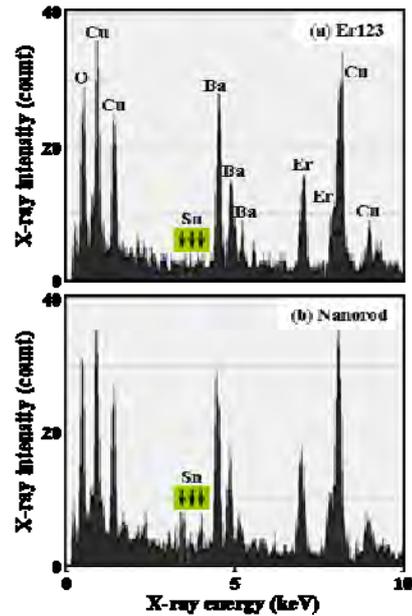


図 28 Er123 相(a)およびナノロッドを含む(b)領域から取得された EDX スペクトル。

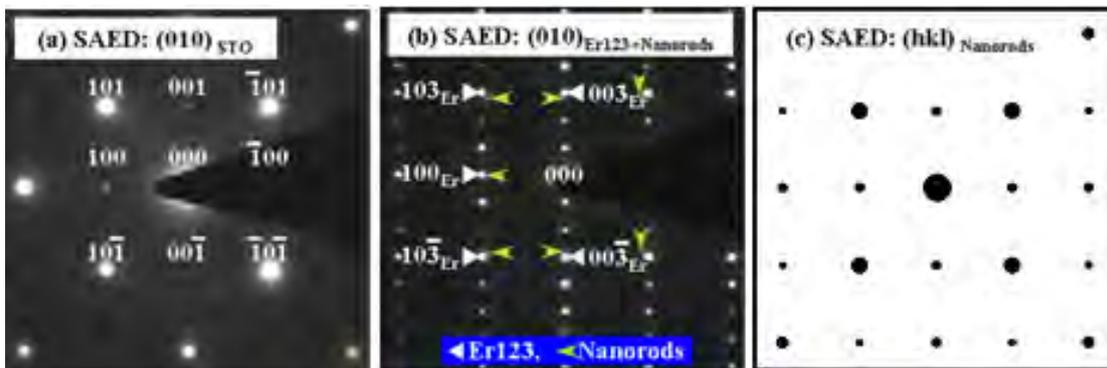


図 29 SrTiO_3 基板(a)、Er123 相とナノロッドの 2 相領域(b)の制限視野電子回折図形、および(b)からナノロッドの回折斑点を抽出した電子回折図形の模式図。

つづいて、ナノロッドに出現した縞模様について考察する。透過電子顕微鏡像で観察される代表的な縞模様は、等厚干渉縞をはじめ、バンドコンター(等傾角干渉縞)やフレネル干渉縞などである。まず、干渉縞の種類を決定するために、種々の回折ベクトル(g)を用いた明視野像観察を行った。その観察結果を図 30 に示す。観察された縞模様の特徴は、その方向が回折ベクトルに対して垂直ということである。また、プラグ条件や焦点の位置を変化させても、干渉縞の周期と位置の変化

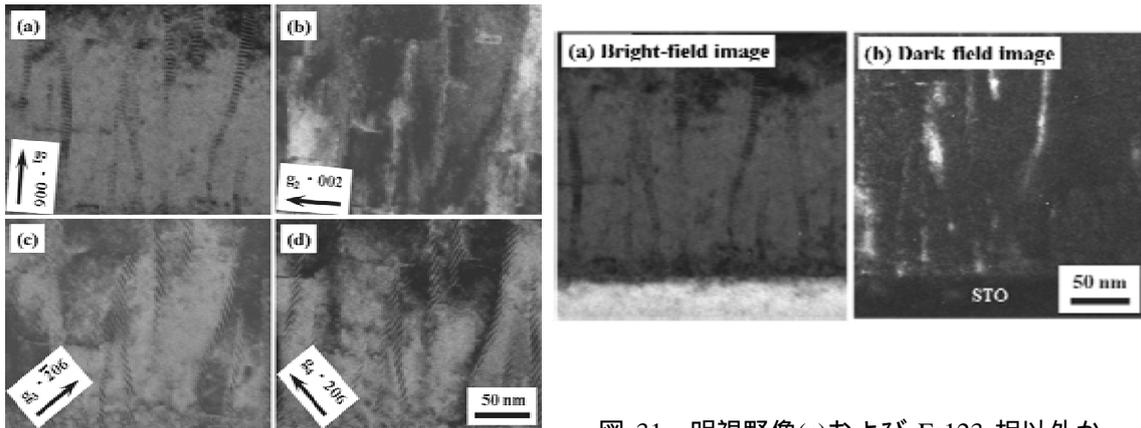


図 30 ナノロッドの縞模様と回折ベクトル ($g_1 \sim g_4$) との関係を示す明視野像。

図 31 明視野像(a)および Er123 相以外からの回折斑点で結像した同一視野の暗視野像。

やコントラストの消滅は観察されなかった。次に、ナノロッドの明視野像および同一視野において Er123 以外の回折斑点を用いた暗視野像を図 31 に示す。暗視野像(b)のコントラストは明視野像(a)と比較するとほぼ反転し、ナノロッドが明るく観察された。これらの明視野像および暗視野像より、観察された干涉縞は、Er123 と BaSnO₃ との格子面間隔の相違に起因した、平行モアレであることが分かった。そのことを確認するために、平行モアレ縞の解析を行った。Er123 と BaSnO₃ の面間隔をそれぞれ d_1 、 d_2 とおくと、平行モアレ周期(D)は式(2)のように表される。

$$D = d_1 d_2 / (d_2 - d_1) \quad (2)$$

理論計算値、および明視野像に出現した平行モアレ周期の実測値を表 3 に示す。例えば、図 30(a)の平行モアレは、Er123 の(006)面と BaSnO₃ の(002)面との干涉縞であることが分かる。

表 3 Er123 と BaSnO₃ の格子面間隔から算出された平行モアレ周期および明視野像から測定された平行モアレ周期の実測値。

Er123		BSO		Moiré fringes	
$h_1 k_1 l_1$	d_1 (nm)	$h_2 k_2 l_2$	d_2 (nm)	D_{cal} (nm)	D_{meas} (nm)
006	0.1560	002	0.2870	3.685	3.8 (μ)
200	0.1915	200	0.2870	2.555	2.3 (μ)

ii) BaNb₂O₆ ドープ Er123 膜

これまで薄膜内に導入する材料はペロブスカイト構造の材料がほとんどであった。今回シーライト構造の BaNb₂O₆ の導入を試みた。超伝導膜はターゲットに 1.5 wt% BaNb₂O₆ をドープした Er123 焼結体を用い、基板温度 760°C、酸素圧 400 mTorr で作製した。断面透過電子顕微鏡観察用試料は、集束イオンビーム法により作製した。Er123 薄膜中に形成されたナノロッドに対し、まず明視野法や暗視野法による観察を行い、またエネルギー分散型 X 線分光法による面分析、更に制限視野電子回折法による構造解析を試みた。使用した電界放射型透過電子顕微鏡は、電力中央研究所の JEM-2100F、および九州大学超高压電子顕微鏡室の JEM-3200FSK である。

まず、代表的な明視野像を図 32 に示す。幅 5nm~25nm のナノロッドが基板界面から母相の c-軸方向に沿って成長し、かつ縞模様を伴っていることが分かった。縞模様の解析結果について

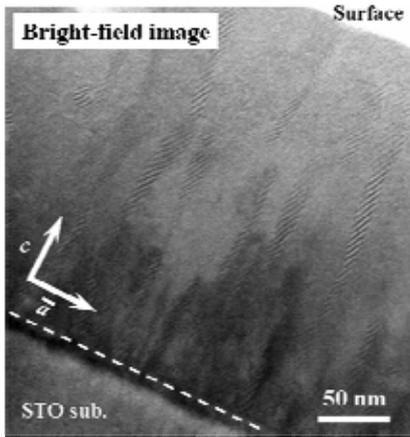


図 32 BaNb₂O₆ドープEr123膜に形成されたナノロッドを示す明視野像。

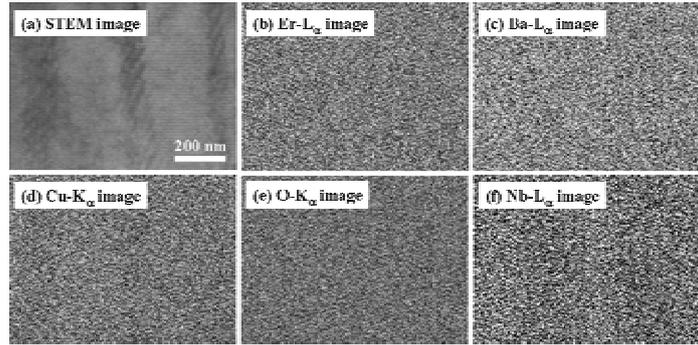


図 33 ナノロッドを含む領域の走査透過電子顕微鏡像(a), および同領域から取得された Er(b), Ba(c), Cu(d), O(e), Nb(f)の特性 X 線像。

は、後述する。次に、膜中に形成されたナノロッドの構成元素を調査するために、エネルギー分散型 X 線分光法による面分析を行った。走査透過像(STEM)および取得された特性 X 線像を図 33 に示す。特性 X 線像より、ナノロッドは Nb-rich, Cu-poor であると明瞭に分かった。また、ナノロッドでは、Er123 単相の領域に比べ僅かに Er-rich と示唆された。つまり、ナノロッドは、Nb や Er を含む化合物と考えた。

そこで、ナノロッドの結晶構造や格子定数(軸長)を調査するために、制限視野電子回折図形の解析を行った。SrTiO₃ 基板および Er123+ナノロッドから得られた電子回折図形、またナノロッドからの回折斑点のみを抽出した電子回折図形の模式図を図 34 に示す。まず、SrTiO₃ 基板(図 37(a))とナノロッド(c)の電子回折図形を比較すると、それらは類似した回折斑点の配置であることから、ナノロッドは立方晶ペロブスカイト構造を有することが示唆された。次に、前述の式(1)を用いて軸長の算出を試みた。SrTiO₃ の電子回折図形から求めたカメラ定数、およびナノロッドからの回折斑点間の距離を用いて軸長を算出した結果、 $a = 0.841 \text{ nm}$ と求められた。したがって、Er123 膜中に形成されたナノロッドは、Ba(Er_{0.5}Nb_{0.5})O₃ (立方晶ペロブスカイト構造、 $a = 0.8427 \text{ nm}$)の可能性が高いと判断した。ナノロッドは、エネルギー分散型 X 線分光法や制限視野電子回折法によって同定されたが、これはターゲット材に混合された BaNb₂O₆ とは異なる物質である。その理由を簡単に考察する。Er123(ペロブスカイト構造)と BaNb₂O₆(シーライト構造)は、結晶構造や軸長の相違による格子整合性が低い。したがって、界面エネルギーや格子ミスマッチを緩和するために、成膜時に Er が Nb の一部と置換することにより、母相と同じペロブスカイト構造の Ba(Er_{0.5}Nb_{0.5})O₃ として形成されたと推察できる。

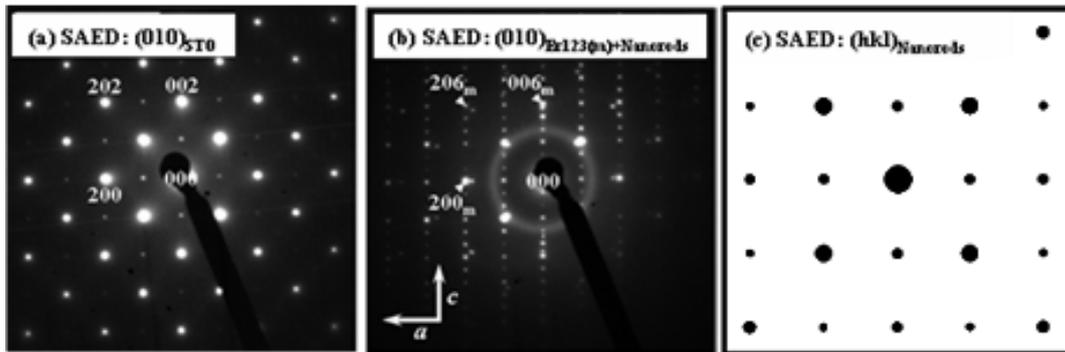


図 34 SrTiO₃ 基板(a), Er123 相とナノロッドの 2 相領域(b)の制限視野電子回折図形, および (b)からナノロッドの回折斑点を抽出した電子回折図形の模式図。

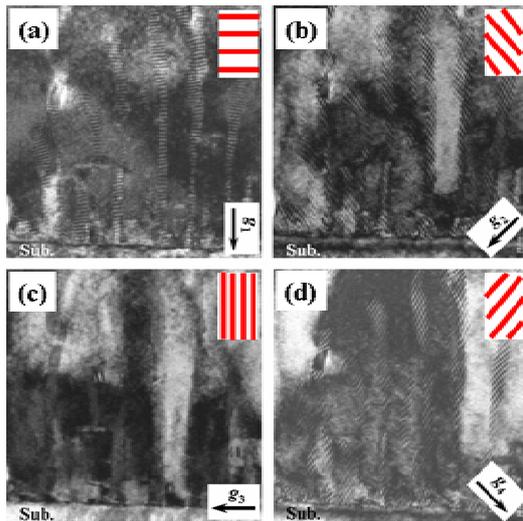


図 35 ナノロッドの縞模様と回折ベクトル ($g_1 \sim g_4$) との関係を示す明視野像。

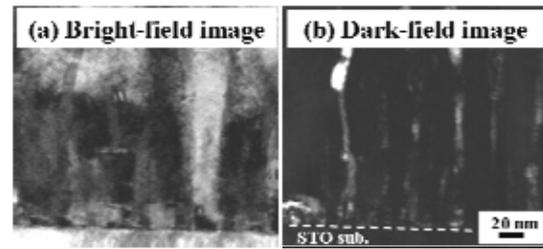


図 36 明視野像(a)および Er123 相以外からの回折斑点で結像した同一視野の暗視野像。

つづいて、ナノロッドに出現した縞模様について、考察する。まず、干渉縞の種類を決定するために、種々の回折ベクトルを用いた明視野像観察を行った。その観察結果を図 35 に示す。観察された縞模様の特徴は BaSnO_3 と同様に、その方向が回折ベクトルに対して垂直であり、またブラッグ条件や焦点の位置を変化させても干渉縞の周期と位置の変化やコントラストの消滅は観察されなかった。次に、ナノロッドの明視野像および同一視野において Er123 以外の回折斑点を用いた暗視野像を図 36 に示す。暗視野像(b)のコントラストは明視野像(a)と比較するとほぼ反転し、ナノロッドが明るく観察された。これらの明視野像および暗視野像より、観察された干渉縞は、Er123 と $\text{Ba}(\text{Er}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ との格子面間隔の相違に起因した、平行モアレであることが分かった。そのことを確認のために、平行モアレ縞の解析を行った。式(2)を用いた理論計算値、および明視野像に出現した平行モアレ周期の実測値を表 4 に示す。例えば、図 35(a)の平行モアレは、Er123 の(006)面と $\text{Ba}(\text{Er}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ の(004)面との干渉縞であることが分かる。

表 4 Er123 と $\text{Ba}(\text{Er}_{0.5}\text{Nb}_{0.5})\text{O}_3$ の格子面間隔から算出された平行モアレ周期および明視野像から測定されたモアレ周期の実測値。

Er123		BENO		Moiré fringes	
$h_1 k_1 l_1$	d_1 (nm)	$h_2 k_2 l_2$	d_2 (nm)	D_{cal} (nm)	D_{meas} (nm)
004	0.2103	006	0.1966	3.020	3.6 (g_1)
400	0.2103	200	0.1917	2.165	2.3 (g_3)

(2) 研究成果の今後期待される効果

今回の解析では、Er123 と同一の結晶構造(ペロブスカイト構造)を有した物質が、優先的に形成される傾向を示唆した。この理由は、格子ミスマッチ(界面エネルギー)の小さい、より安定な構造をとるためと推察できる。また、 CuO_2 面(a/b 面)に平行にナノメートルのスケールで途切れたモアレ縞は、研究では確認されていない。つまり、ナノロッドは、単一の物質と考えられる。しかし、現在の解析データだけでは、局所的な原子置換の可能性を否定できない。したがって、サブナノメートル(原子スケール)での構造解析が、今後の課題といえる。

3.2.3 静岡大学 喜多グループ, (財)電力中央研究所 一瀬グループ
 首都大学東京 三浦グループ

ここでは,特に低コスト化を目指した超伝導薄膜線材作製プロセスの開発を行った。

(1) 研究実施内容及び成果

次世代超伝導線材開発には,高磁場中で高い J_c を有する線材作製プロセスの開発と同時に,実用化・量産化を目指した低コストの線材作製プロセスの開発も重要である。高磁場中高 J_c 線材の開発では PLD 法による特性向上が目覚しく,特にナノ構造の導入により飛躍的な特性向上が図られた。また低コスト化プロセスについては,アメリカの ORNL, BNL, ANL, AMSC, IGC, ヨーロッパでは UAB(スペイン)を始め,世界的に低コスト線材プロセス開発が活発化している。表 5 に現在研究されている主な薄膜作製プロセスを示す。大きく分けて,真空装置を用いるプロセスと,非真空プロセスがある。当然ながら,真空装置を用いる場合,量産化には設備投資コストが高くなり,不利となる。また,製造方法として,長尺連続巻き取り式かバッチ式か,どちらを選択するかによってもコストに影響を及ぼす。量産設備の大きさや製造速度の観点からはバッチ式プロセスが有利な点が多い。また,量産化する上で重要なポイントは,特性の再現性,プロセスの簡易性や環境負荷の問題も考慮すべき課題である。本研究では,上述の課題を鑑み,低コスト薄膜作製プロセスとして,2つの方法を選択した。1つは,真空装置を用いず,プロセスの簡易性や環境負荷が少ない,フッ素フリーの塗布原料を用いた有機金属塗布法(Metal-Organic Deposition:MOD 法)である。もう1つは,バッチ式プロセスが可能である,いわゆる BaF₂ プロセスによる薄膜作製を検討した。また,高 J_c 膜を達成するためには,超伝導相中で安定な APC 材料を用いることは極めて重要である。このため,本研究では,新規 APC 材料の探索についても検討した。

表 5 超伝導薄膜作製プロセスの比較。

作製法	プロセス		コスト (設備)	ナノ構造 導入・制御	磁場中 J_c 特性
	非平衡	真空			
PLD法	非平衡	真空			
MOD法	平衡	非真空		難?	?
MOCVD法	平衡	真空		難?	?
BaF ₂ 法	平衡	真空		難?	?

フッ素フリー原料を用いた MOD 法による超伝導薄膜作製プロセス

本研究では,塗布原料溶液として,すでに工業用原料として量産化されている金属ナフテン酸塩を用いて超伝導薄膜の作製を検討した。MOD 法は先に述べたとおり,生産設備としては,大規模の真空装置を用いないため,量産化の際には最も低コスト化が期待される方法である。しかしながら,表 4 に示すとおり,PLD 法と異なり,現状ではナノ構造制御が難しいという問題点を有する。その理由は図 37 に示すように,PLD 法では,高エネルギー粒子の表面拡散により,結晶粒は基板に垂直に成長しやすい特徴をもっている(columnar 状)。このため,PLD 法では,超伝導相中にナノロッド状の異相(APC 相)が成長しやすい。一方,MOD 法では,非晶質前駆体薄膜から,基板に平行に成長(lateral 成長)しやすいため,PLD 法のようにナノロッドの成長が難しい。これは MOD プロセスの今後の検討課題である。

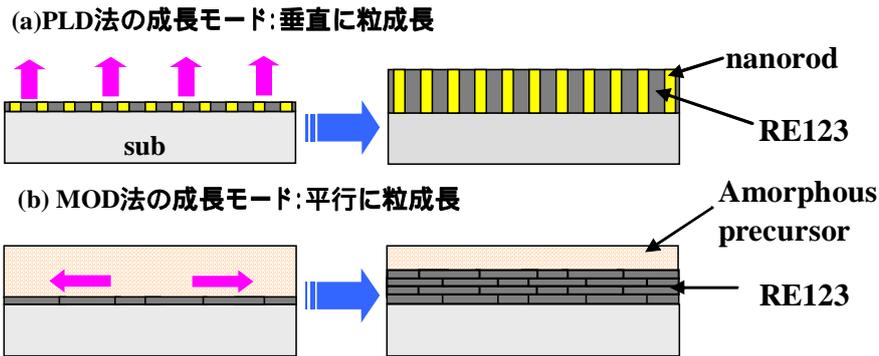


図 37 PLD 法と MOD 法の成長模式図。

酸化物高温超伝導体材料には、多くの希土類元素の種類がある。この中でどの希土類元素を含む超伝導体を線材用材料として選択すべきかは、重要な問題である。しかしながら MOD 法による超伝導薄膜作製においては、希土類元素 (RE) の違いについては十分な報告例がない。特にナフテン酸塩を用いた薄膜作製では、配向性や結晶成長に関する報告例があったが、特に超伝導特性に関しては Y 系, Yb 系以外には報告されていなかった。本研究では、まず RE 元素の違いによる超伝導特性 (超伝導転移温度) について詳細に検討した。図 38 に本研究で明らかにした MOD 膜における超伝導転移温度と希土類元素との関係を示す。RE 元素はランタニド収縮のため原子番号が大きくなるに従い、イオン半径が小さくなる。この図から、MOD 膜作製には RE 元素として Gd が最も T_c が高く、ついで Er, Yb, Eu となっている。また、高い J_c 特性を得るには結晶粒の配向性が重要であることから、これについても RE 元素依存性を調べた。図 39 に SrTiO₃ 基板上に作製した RE123 薄膜の結晶配向挙動を示す。この図から Gd123 が最も広い温度範囲で c 軸配向性および面内配向性が良好であることがわかった。したがって、本研究では MOD 膜用の RE 元素として Gd を選択して、これについて作製パラメータを詳細に検討し、高特性化を図った。図 40 に MOD-Gd123 膜の SEM 像を、図 41 に AFM 像を、図 42 に断面 TEM 像を示す。SEM 像より一部基板表面の結晶粒が緻密に成長していることが観察される。AFM 像より析出物がみられるものの、薄膜のマトリックスは 100 nm 程度の平坦性があり、塗布膜と

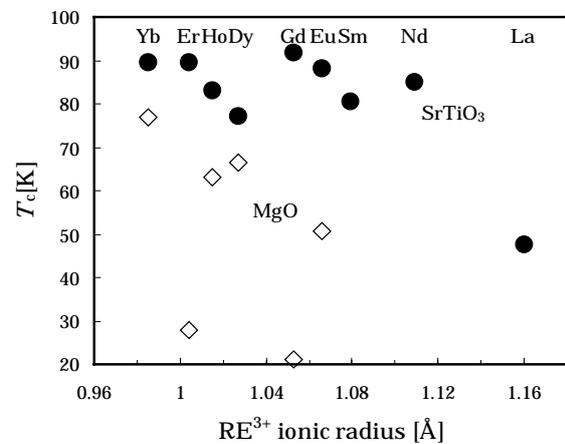


図 38 MOD 薄膜の超伝導転移温度と希土類元素との関係。

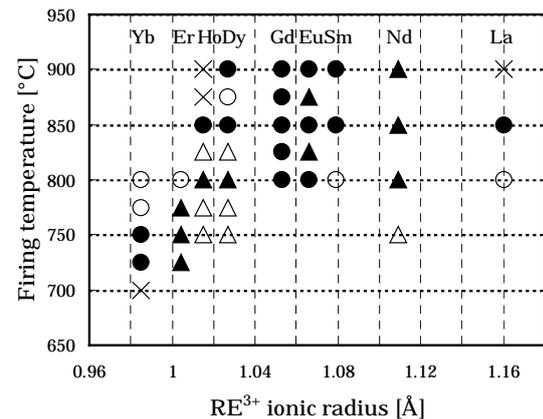


図 39 SrTiO₃基板上に作製したRE123薄膜の結晶配向挙動(; c軸配向膜、 ; 面内配向が確認されたc軸配向膜、 ; a軸配向が混在したc軸配向膜、 ; a軸配向が混在し面内配向が確認されたc軸配向膜、× ; RE123が成長していないあるいは不純物相が含まれた膜を表す)。

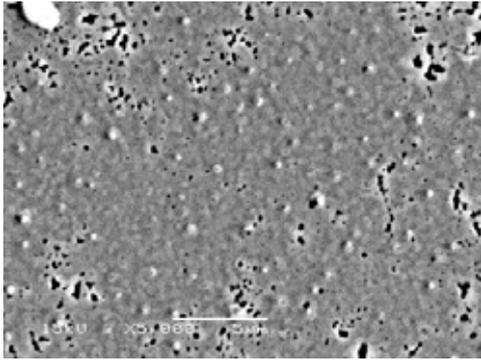


図 40 MOD-Gd123 薄膜表面 SEM 像。

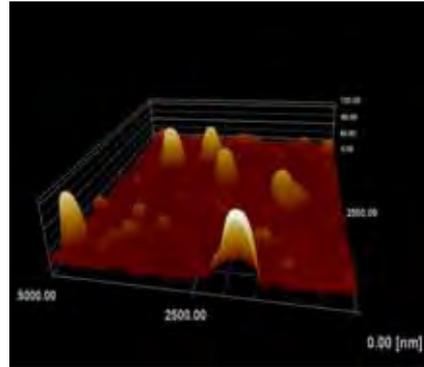


図 41 MOD-Gd123 薄膜表面 AFM 像。

してはかなり平坦性が高いものが得られた。また断面 TEM 像からは Gd123 が基板界面からエピタキシャルに c 軸配向成長しており、高品質の薄膜が得られたことがわかった。図 43 にこの MOD-Gd123 膜の J_c 特性を示す。MOD-Gd123 膜は 77 K、自己磁場で 0.65 MA/cm^2 の J_c を示した。この値はナフテン酸塩原料を用いて報告されている中で最も高い値を示している(従来は Y123 膜の 0.1 MA/cm^2)。しなしながら、実用化には少なくとも 1 MA/cm^2 以上の J_c が必要であること、また APC を導入し、磁場中特性も改善する必要があること等が今後の課題となる。現在は熱処理条件の最適化や新規塗布原料の検討などによる J_c 特性向上を検討している。

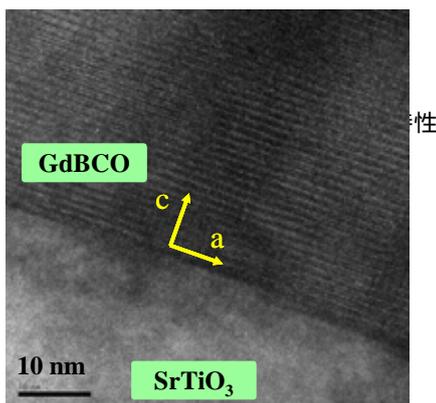


図 42 MOD-Gd123 薄膜断面 TEM 像。

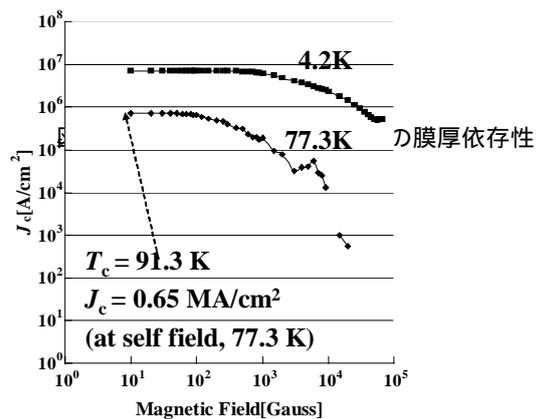


図 43 MOD-Gd123 薄膜の磁場中 J_c 特性。

水蒸気を用いない BaF_2 プロセスによる超伝導薄膜の作製

一般的な BaF_2 プロセスでは、超伝導薄膜作製には F を除去するため、水蒸気の導入が必要である。しかし、本研究では、 Gd 、 BaF_2 、 Cu の真空蒸着により作製した非晶質前駆体薄膜を、酸素分圧をコントロールして熱処理することにより、水蒸気を導入せずに高品質の超伝導薄膜の作製に成功した。本プロセスは水蒸気を導入しないことにより、作製パラメーターが減るためコントロールがより容易となり、再現性が高いこと、また薄膜の面内均一性が高くバッチ処理にも対応可能であることから低コスト化プロセスとして有利である。図 44 に従来法の BaF_2 プロセスと、本研究で開発した BaF_2 プロセスによる超伝導薄膜作製の模式図を示す。

この新規 BaF_2 プロセスでは、熱処理時の加熱速度により、超伝導特性が大きく異なることが明らかとなった。図 45 に新規 BaF_2 プロセスで作製した Gd123 膜(BaF_2 -Gd123)の超伝導特性の加熱速度依存性を示す。加熱速度が大きくなるにつれて、 T_c および J_c が向上した。速い加熱速度でも高品質な薄膜が得られることは、プロセス時間の短縮化に繋がり、その結果低コスト化に繋がるといえ

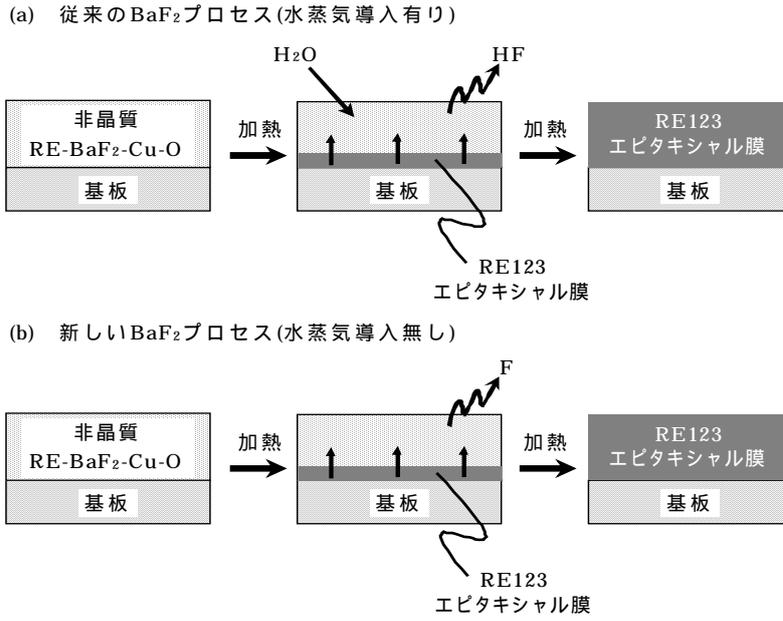


図44 (a)従来のBaF₂プロセスと(b)本研究で用いた新しいBaF₂プロセスの模式図。

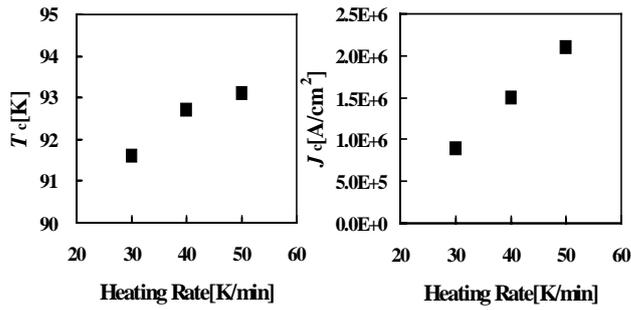


図45 BaF₂-Gd123 薄膜の超伝導特性の加熱速度依存性。

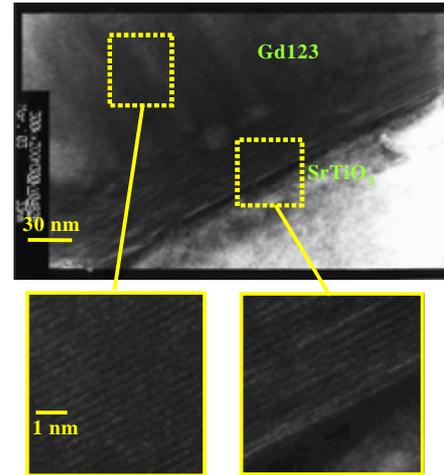


図46 BaF₂-Gd123 薄膜断面 TEM 像。

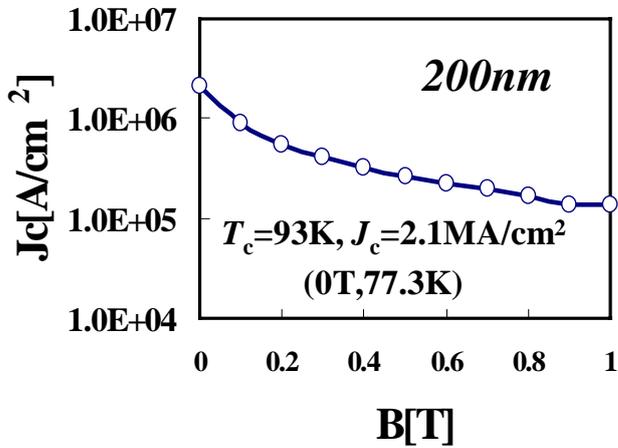


図47 BaF₂-Gd123 薄膜の J_c 特性

る。BaF₂-Gd123 薄膜の断面 TEM 写真を図 46 に示す。基板直上から高品質の超伝導相がエピタキシャル成長していることがわかった。最適化された BaF₂ プロセスにより得られた BaF₂-Gd123 薄膜の J_c 特性を図 47 に示す。77 K、自己磁場中で 2.1 MA/cm²、1 T 中で 0.1 MA/cm² 達成した。また、厚膜化は実用化の観点から重要であるため、BaF₂-Gd123 薄膜の J_c の膜厚依存性を調べた(図 48)。その結果、膜厚増加とともに J_c が減少するという一般的な傾向が見られた。しかし、基板を SrTiO₃ 基板から LaAlO₃ 基板に変更することにより、膜厚増加による J_c 低下が見られない(300nm)という結果が得られた。この膜の断面 TEM 写真(図 49)から、300 nm に膜厚が増加しても高品質の Gd123 薄膜が得られたことがわかった。より厚膜での J_c 特性向上は今後の検討課題である。

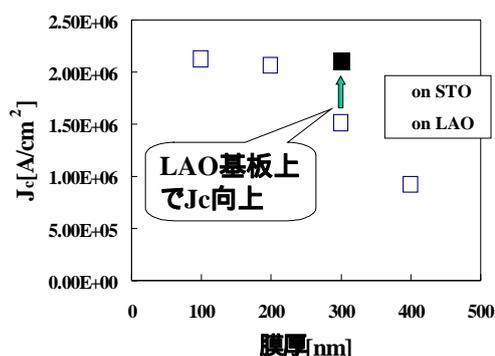


図 48 BaF₂-Gd123 薄膜の J_c の膜厚依存性

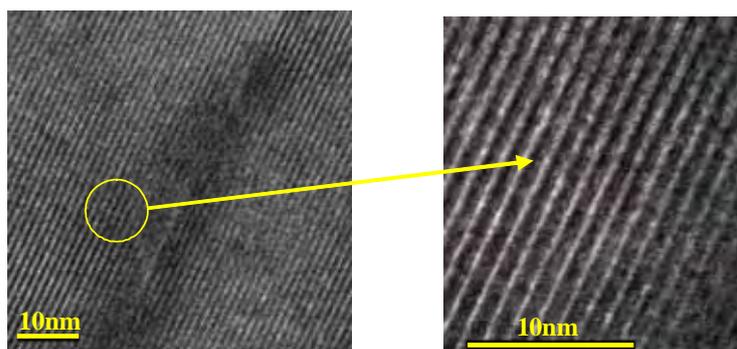


図 49 LaAlO₃ 基板上の BaF₂-Gd 薄膜断面 TEM 像。

新規人工ピニングセンター(APC)材料の探索

超伝導体における磁場中 J_c の向上には、要求される磁場に対して効果に働くピニングセンターが必要不可欠である。本研究では、人工的に導入可能な APC として、非超伝導材料について検討した。これまで APC 材料としては、高磁場補足を目的とした溶融凝固バルク材料において 211 相が精力的に研究されてきた。その後、PLD 薄膜でも 211 相の導入が有効であることが NRL (米) で実証され、その後本研究でも BaZrO₃ が薄膜用 APC 材料として極めて有効であることが示された。しかしながら、薄膜に適した BaZrO₃ 以外の APC 材料については報告例がほとんど無かった。本研究では、薄膜用新規 APC 材料として、多数の非超伝導体材料を検討し、新たに、BaSnO₃、BaTiO₃、BaWO₄、BaNb₂O₅ が APC 材料として有効であることを示した。図 50 に各種 APC 材料と、バルクにおいて 90K 以上の T_c を示す最大添加量について示す。

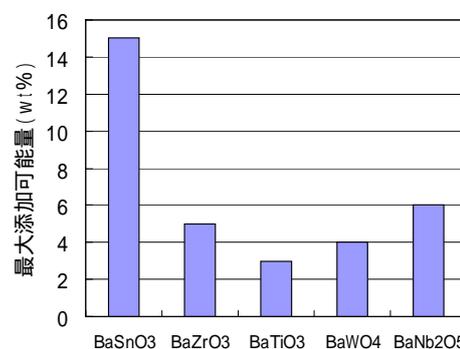


図 50 各種 APC 材料と 90K 以上の T_c を示す最大添加量

この図より、APC 材料として BaSnO₃ 材料が超伝導相中で最も安定であることが明らかになった。

また BaSnO₃ を添加した Y123 バルク試料の SEM 写真 (図 51) より, 添加したサブミクロンの BaSnO₃ 粒子が Y123 の 2 次元的な結晶成長を阻害することなく安定に結晶粒中に存在していることがわかった。本研究では, PLD 薄膜中に APC 材料を導入する1つの手法として, 焼結体ターゲット中に APC 材料を混合しておくという方法を用いている。そのためには薄膜中でどのような APC 材料が安定であるかを知ることが必要である。我々は様々な APC 材料の超伝導相中における安定性を検討し, 薄膜中における安定性とバルク体における安定性に明瞭な相関性があることを見出した。図 52 および図 53 に現在最も有望な APC 材料である BaZrO₃ と BaSnO₃ のバルク中 (焼結体中) および薄膜中における添加量と T_c の関係を示す。上記のようにバルク中において T_c の低下が少ないほど, 薄膜でも T_c の低下が少ない。これらの結果から, 図 50 に示す5つの APC 候補材料を初めて見出した。

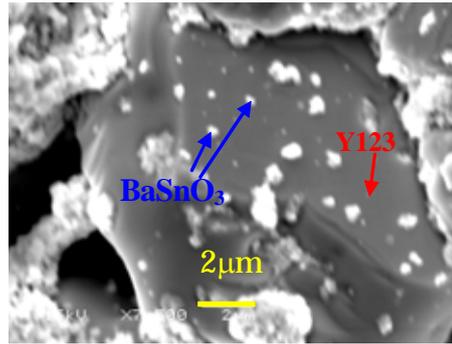


図 51 BaSnO₃ 添加 Y123 試料の SEM 像

現在のところ, 最も有望な APC 材料は BaSnO₃ である。また, 本研究結果から, 安定な酸化物 APC 材料としては次の5つの条件を有している必要があるという指針を得た。すなわち, 1) Ba を構成元素に含むこと, 2) ペロブスカイト構造を有すること, 3) 超伝導相と格子定数が近いこと, 4) 格子エネルギーあるいは結合エネルギーが大きいこと, 5) BaCuO₂ との反応性が低いこと, である。

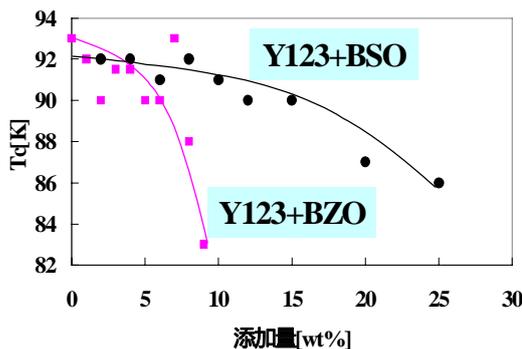


図 52 BaZrO₃ および BaSnO₃ 添加 Y123 バルク試料における添加量と T_c の関係

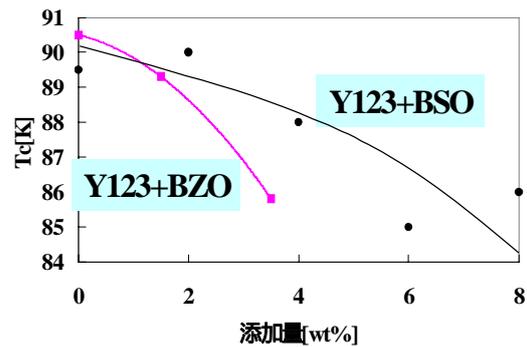


図 53 BaZrO₃ および BaSnO₃ 添加 Y123 薄膜における添加量と T_c の関係

(2) 研究成果の今後期待される効果

低コストの超伝導薄膜作製プロセスが達成されることにより, 超伝導薄膜線材の実用化を早期に実現でき, エネルギーの高効率利用に大きく貢献できると考えられる。また, 非超伝導材料と超伝導材料のナノ制御技術と, 新しい作製プロセスが達成されたことにより, 本技術を他の電子材料, 例えば磁性体材料, 誘電体材料, 光材料や生体材料などに応用することにより, 新しい高機能材料の創製に貢献できると考えられる。

3.3 サブテーマ: APC 構造・特性評価(名古屋大学・吉田グループ, (財) 電力中央研究所 電力技術研究所・一瀬グループ, 東京大学・堀井グループ, 首都大学東京・三浦グループ, 京都大学・足立)

ここでは, APC 構造を代表とするナノ組織の微細組織観察技術, および輸送特性の評価技術に関する研究を進めた。多くの作業は参加グループの共同の元で実施された。

3.3.1 (財) 電力中央研究所 電力技術研究所 一瀬グループ, 名古屋大学 吉田グループ, 京都大学 足立グループ

(1) 研究実施内容及び成果

収束イオンビーム(FIB)装置を用いて, マイクロサンプリング法により数 μm 四方の比較的大面積の観察視野を有する透過型電子顕微鏡(TEM)用観察試料を作製し, 超伝導膜内の APC 構造の微細構造および分布状況等を解析した。さらに, TEM においては, 微細組織の観察とともに, 電子線回折, 2 次元組成マッピングを行うことにより, 微細組織の構造および組成を求め, どのような APC が形成しているかを明らかにした。これらの成果は, 磁場中の超伝導特性測定結果とともに, APC デザイングループ, APC 作製プロセスグループに迅速にフィードバックされ, より有効な APC の作製に反映された。また, 局所的な J_c 分布および磁束の進入の様子を調べるため, 磁気光学像(MOI)観察を実施した。

1 次元 APC 構造の観察

i) ボトムアップ手法による転位の導入

ボトムアップ手法に基づく APC 技術の適用により, 大幅な J_c の向上を達成するために高温超伝導薄膜への 1 次元 APC の導入を検討した。この方法は基板上にあらかじめ Y_2O_3 ナノアイランドを形成し, これらを起点として $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) 高温超伝導薄膜中に c 軸に平行な転位を導入し, これらを高密度な 1 次元 APC とするものである。この方法により, 磁場中の J_c はナノアイランド形成により 2~5 倍に向上した。これは超伝導薄膜中に導入された転位が, 磁束量子を有効にピンニングし, その結果として磁場中での J_c 増大を引き起こしたためであると考えられた。そこで, ナノアイランドの形成状況およびナノアイランドを起点とする転位等が膜内に形成していることを確認するため, 微細構造評価を実施した。図 54 に Y_2O_3 ナノアイランドを作製した SrTiO_3 単結晶基板の断面 TEM 像を示す。これは基板上に超伝導膜を作製する前段階の状態, 膜表面の反応を防止するためにナノアイランドを作製した直後に金の保護膜を作製した。原子間力顕微鏡より求めた平均粒子径, 平均高さとはほぼ同じナノアイランドが確認された。このようなナノアイランドを形成した基板上に作製した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜の断面 TEM 像を図 55 に示す。基板界面から膜表面まで転位と見られる欠陥が生成していることを確認した。

これらの成果は, APC が磁場中 J_c の向上に

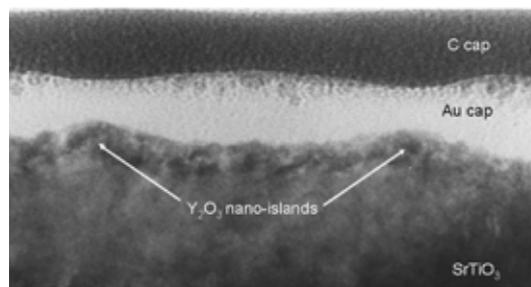


図 54 Y_2O_3 ナノアイランドの断面透過電子顕微鏡像

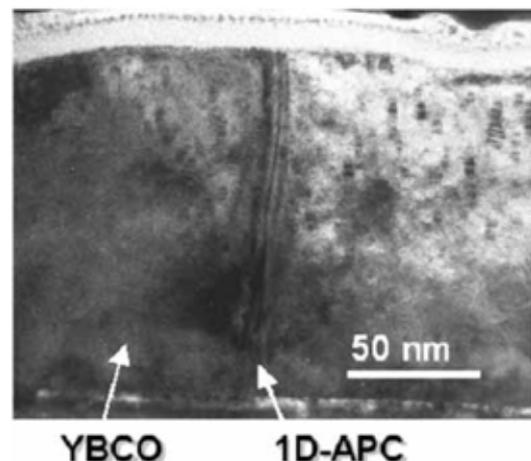


図 55 転位が導入された $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜の断面透過電子顕微鏡像

大きく寄与することを我々のグループで最初に確認したもので、その後の様々な APC の導入研究が加速されるものになったとともに、国際的に APC 研究の広がりを生むことになった。

ii) 常伝導ナノロッドの導入

一般に、超伝導膜の作製時に不純物が混入すると、超伝導材料と不純物の界面エネルギーの関係に従って、不純物がある大きさに凝集し、超伝導膜内に分散すると考えられる。しかし、超伝導膜の作製方法の一つであるパルスレーザー蒸着(PLD)法において、常伝導不純物の粉末を分散させた超伝導材料のターゲットを用いて作製した膜の内部に常伝導不純物が自己配向してナノロッド(幅 10 nm 程度の柱)が形成することがわかった。今までに、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜に BaZrO_3 がナノロッドを形成することが知られていた。これと同様な手法を用いて、常伝導材料のナノロッドを超伝導膜内に作製し、1次元のピンニングセンターとした。まず初めに、高品質な $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜に BaZrO_3 がナノロッドを形成することを TEM で確認した。図 56 に BaZrO_3 を混合したターゲット(BaZrO_3 の超伝導材料に対する重量比 1.5 wt%)を用いて作製した $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜の断面 TEM 像を示す。層状構造を有する超伝導材料に対応する細かい横縞が観察されたところに、垂直方向に直径約 10 nm の柱状のコントラストが異なる領域が存在する。 BaZrO_3 を混入しない $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜には、このような構造は観察されなかったため、これが BaZrO_3 の混入により生成した構造であることは明らかである。

図 56 で断面構造を観察した超伝導膜の平面 TEM 像を図 57 に示す。斜めの縞は Rear Earth (RE) 系超伝導材料特有の双晶(ツウイン)構造で、双晶構造は RE 系超伝導材料の結晶構造の a 軸と b 軸の僅かな差に起因している。双晶構造以外に細かい点が点在している。これが BaZrO_3 ナノロッドを横から切った時の構造に対応している。平面観察よりナノロッドの密度は 2.7×10^{10} 本/cm² と見積もられ、そこに磁束が全て収まったと仮定した磁場の大きさは 0.56 T となる。この磁場に対応して臨界電流密度が向上することが確認され

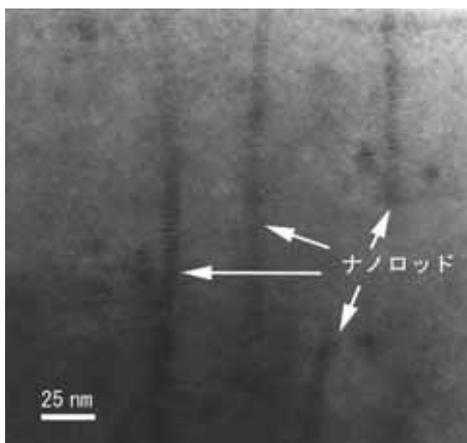


図 56 ナノロッドを含む $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜の断面透過電子顕微鏡像

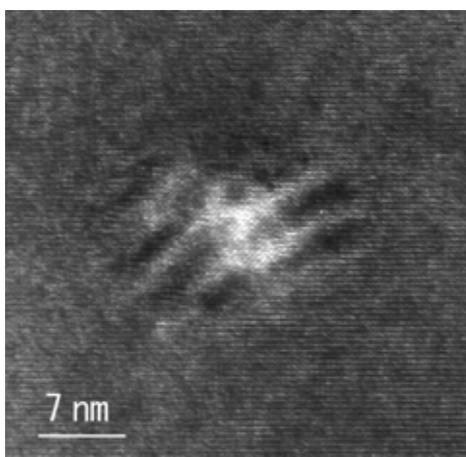


図 58 ナノロッド部分の拡大平面透過電子顕微鏡像

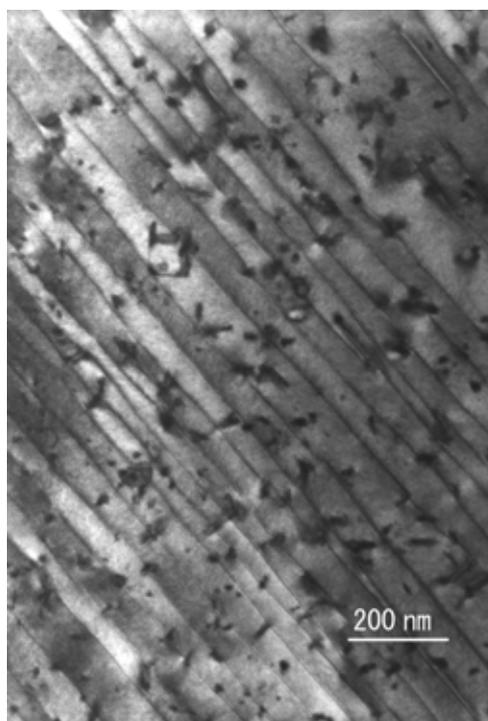
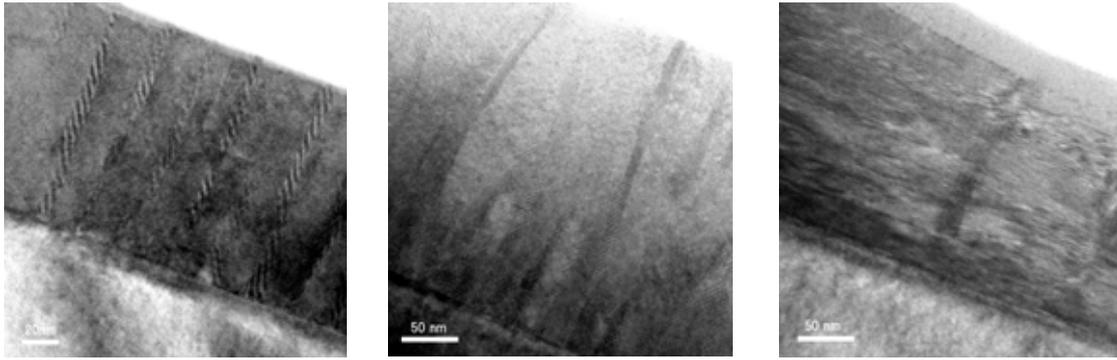


図 57 ナノロッドを含む超伝導膜の平面透過電子顕微鏡像



BaSnO₃ BaNb₂O₆ BaWO₄
 図 59 各種材料によって作製した高温超伝導薄膜中の 1 次元 APC(ナノロッド)

だ超伝導材料でピンニングセンターと磁束密度が 1 対 1 に対応したマッチングフィールドにおいて臨界電流密度の向上を示したのは世界で初めてであった。また、1 つのナノロッドの拡大図を図 58 に示す。ナノロッドの断面は約 10 nm の円状であり、ナノロッドが円柱状の構造を有していることを確認した。さらに、ナノロッドと超伝導膜の界面はきれいに接合しており、ピンニングセンターとして重要なポテンシャル場の急峻な変化が期待できる。この結果より、ナノロッドがピンニングセンターとして有効に働くことが示唆された。

BaZrO₃ はナノロッドを形成する材料としてよく知られていたが、他の常伝導材料をナノロッド材料として用いた超伝導膜の作製実験により、BaZrO₃ 以外にもナノロッドを形成する物質が存在することがわかった。BaSnO₃、BaWO₄、BaNb₂O₆ の粉末を超伝導材料に混合したターゲットを用いて PLD 法で超伝導膜を作製すると、超伝導膜内部にナノロッドが形成することを構造評価により確認した。さらに、BaWO₄ と BaNb₂O₆ においては、電子線回折像から、ターゲットに混ぜた材料と異なる材料がナノロッドを形成していることが示唆された。詳細の構造解析から BaWO₄、BaNb₂O₆ と ErBa₂Cu₃O_y を混合したターゲットを用いた場合、ナノロッドはそれぞれ Ba(Er_{1/2}Ba_{1/2})O₃、Ba(Er_{2/3}Nb_{1/3})O₃ が形成していると考えられ、Ba を共有する単純ペロブスカイト構造を有する材料がナノロッドを形成することが分かった。図 59 に原料に BaSnO₃、BaWO₄、BaNb₂O₆ を添加した超伝導膜の断面 TEM 像を示す。

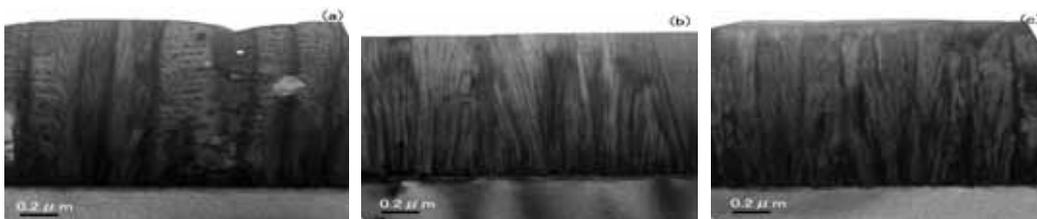


図 60 ナノロッドを含んだ YBCO 膜の断面透過電子顕微鏡像
 (a) BaZrO₃ 3 wt%、(b) BaSnO₃ 3 wt%、(c) BaSnO₃ 4 wt%

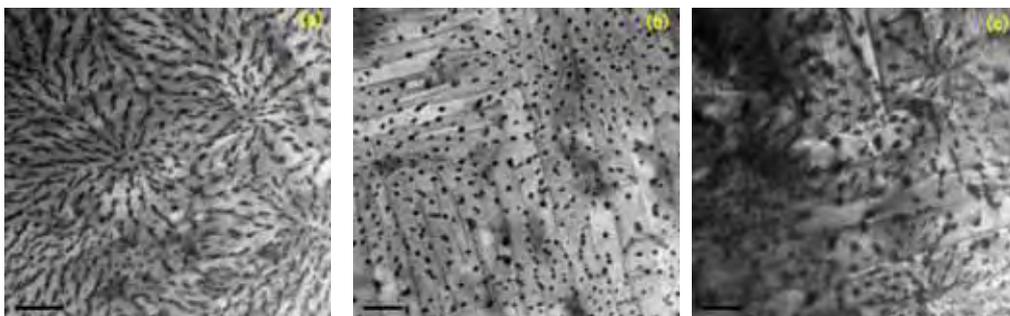


図 61 ナノロッドを含んだ YBCO 膜の平面透過電子顕微鏡像
 (a) BaZrO₃ 3 wt%、(b) BaSnO₃ 3 wt%、(c) BaSnO₃ 4 wt%

また、膜厚およびナノロッドの密度を変えた場合に、ナノロッドの分状況の変化を調べるために、透過型電子顕微鏡を用いて BaZrO₃, BaSnO₃ ナノロッドを含んだ超伝導膜の断面構造、平面構造を観察した。断面構造観察からナノロッド長が長い場合(超伝導膜の膜厚が厚い場合)、ナノロッドの密度が増加するにしたがい、表面近傍でナノロッドが曲がる傾向が見られた。図 60(a), 61(a)に BaZrO₃ の添加量が 3.0 wt% で、膜厚が約 1 μm の超伝導膜の断面 TEM 像、平面 TEM 像をそれぞれ示す。平面構造観察からナノロッドの分布状況が明確に分り、高密度ナノロッドではある点を中心に放射状にナノロッドが傾いて成長していることがわかった。その放射状の領域は直径約数 100 nm で、それらが隣接して分布していることが分った。これは、添加量が 1.5 wt% と少なく、膜厚が 300 nm と薄い超伝導膜の平面 TEM 像を示した図 57 のナノロッドの分布状況と形態と大きく異なる。また、同様のナノロッドを形成する BaSnO₃ において、平面 TEM 像を観察し、同様にナノロッドがある点を中心に放射状に広がった領域が分布することを確認した。図 60(b, c), 図 61 に BaSnO₃ の添加量

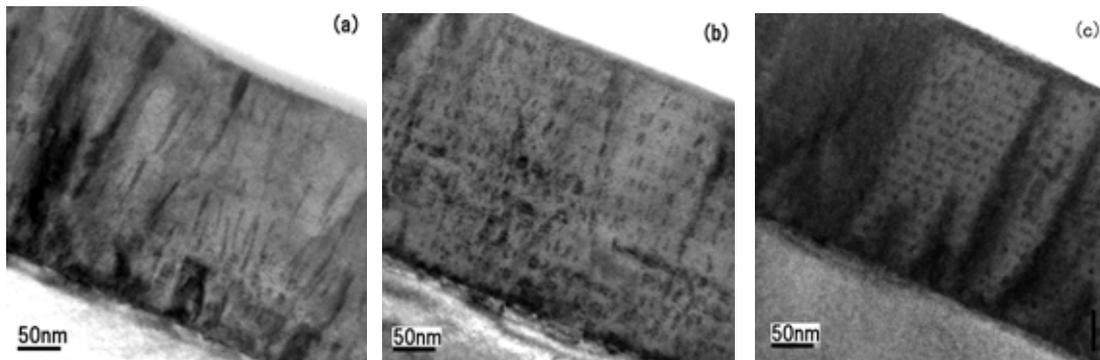


図 62 ナノロッド長を制御した超伝導膜の断面透過電子顕微鏡像

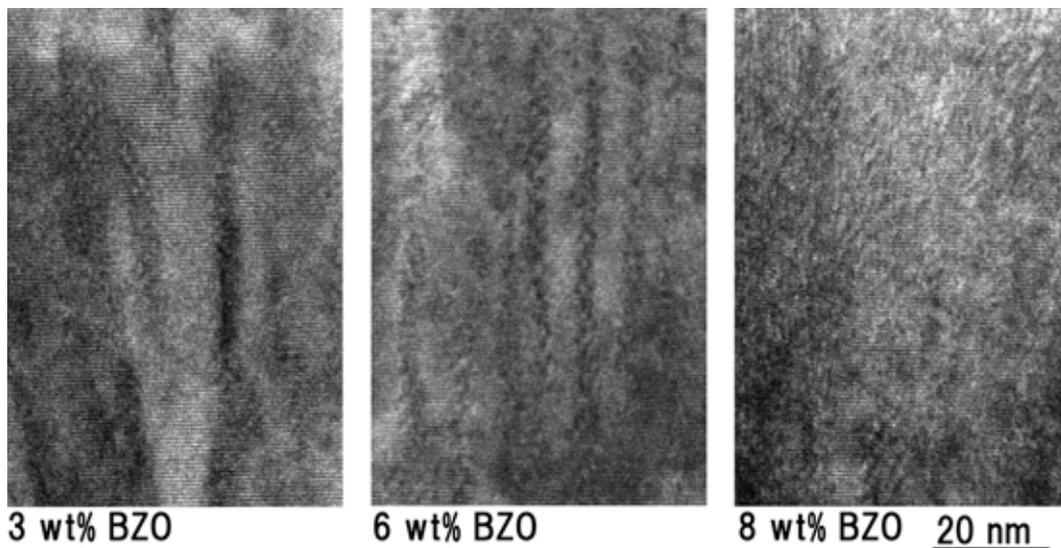


図 63 ナノロッド密度を制御した超伝導膜の断面透過電子顕微鏡像

を変えた超伝導膜の断面 TEM 像、平面 TEM 像をそれぞれ示す。添加量が増すとナノロッドの放射状の広がりも顕著になり、さらに、ナノロッドの材料によって曲がる度合いも変化し、BaZrO₃ ナノロッドは BaSnO₃ ナノロッドに比べてナノロッドが膜に垂直報告から曲がることを確認された。

iii) ナノロッドの構造制御

ナノロッドは 77 K において有効なピンニングセンターであることが分かったので、ナノロッドの長さおよび密度を制御し、これらがピンニング特性にどのように影響するのか調べた。ナノロッドの長さを短くすることは 1 次元 APC から 3 次元 APC に変化させることを意味する。このようにナノロッドの長さを制御することにより、APC の次元性とピンニング機構の議論が可能となった。また、ナノロッドを任意の長さで制御したのは、世界で我々だけである。

図 62 にナノロッドの長さを制御した超伝導膜の断面 TEM 像を示す。図 62(a) はナノロッド長を 60 nm でナノロッドの無い領域 15 nm で 3 分割している。図 62(b) はナノロッド長を 15 nm にした場合、図 62(c) はナノロッド長を 8 nm にした場合である。それぞれの断面 TEM 像から任意の長さでナノロッド長が制御されている。ナノロッドの密度は不純物添加量を変えることにより、容易に制御できることがわかった。図 63 にナノロッド密度を制御した超伝導膜の断面 TEM 像を示す。

2 次元 APC

i) 結晶粒界による APC の導入

2 次元ピンニングセンターの典型的な例は結晶粒界である。MgO 基板上に成膜した $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜において、成膜時の圧力を制御することにより、結晶粒の大きさを制御できることを見出した。結晶粒が小さくなることは、単位面積当たりの結晶粒界の数が増すことを意味する。この結晶粒界は、隣同士の結晶の傾きが小さい場合には転位が並んだものと考えられ、この転位がピンニングセンターとして磁束の動きを止める。結晶粒界を通して結晶内に進入した磁束は、量子化磁束間の相互作用により三角格子を組み、弾性的に止められる。したがって、結晶粒が小さくなると結晶粒界の密度が増加し、転位に止められる磁束の数が増えてピンニング力が向上すると考えられる。

圧力を変えて作製した $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜の表面の走査電子顕微鏡像から見積もった結晶粒サイズは 92 nm から 196 nm に変化した。それに伴い、ゼロ磁場の臨界電流密度はほとんど変わらないが、磁場中の臨界電流密度は大幅に向上し、結晶粒サイ

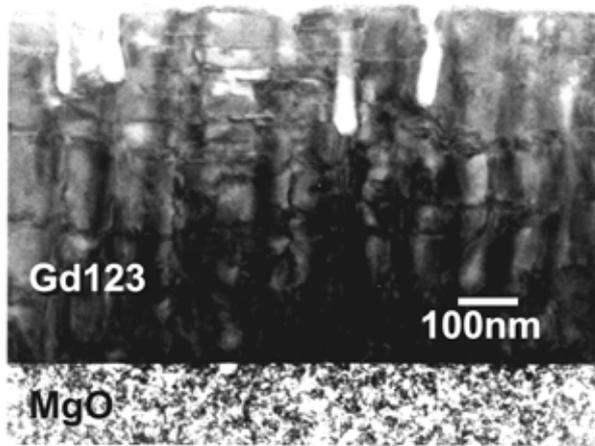


図 64 $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜の断面透過電子顕微鏡像

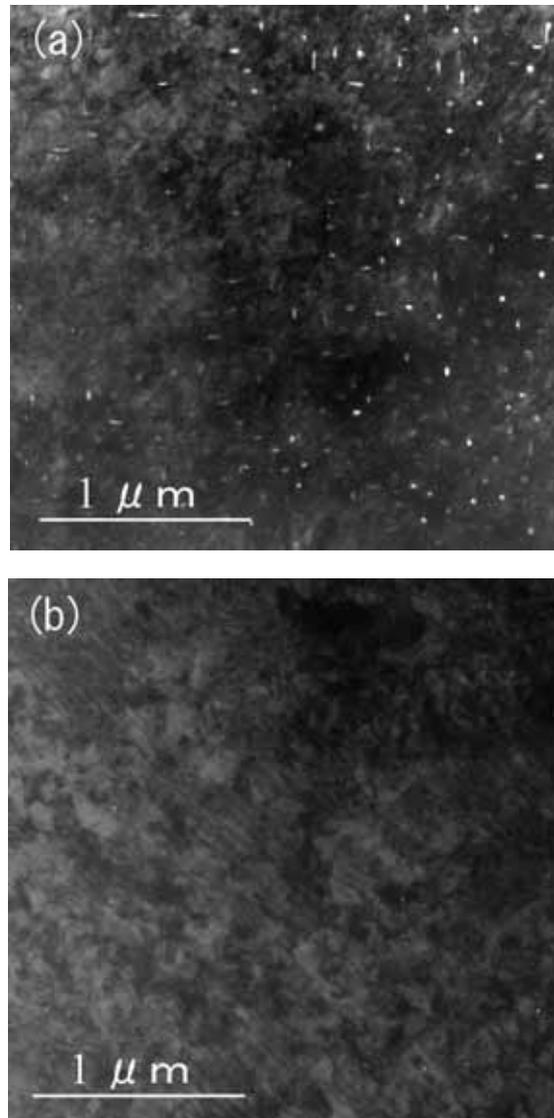


図 65 $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜の平面透過電子顕微鏡像

ズが 196 nm の超伝導膜は 5 T の磁場中で臨界電流密度は 0.04 MA/cm^2 であるが、結晶粒サイズが 99 nm, 92 nm の膜では約 0.2 MA/cm^2 で、約 1 桁高い値である。この値は実用化線材の NbTi 超伝導材料の温度 4.2 K の特性に匹敵するものである。

そこで、この結晶粒界の内部構造を確かめるために、透過電子顕微鏡で断面微細構造を観察した。超伝導膜の断面透 TEM 像を図 64 に示す。走査電子顕微鏡で観察された表面状態から見積もった結晶粒と同じ大きさで基板界面から表面まで繋がったコントラストの違う領域が観察され、結晶粒界が基板界面から垂直に膜表面に達していることが確認された。さらに、図 64 においても表面から結晶粒界に沿って穴の形成が確認できた。一般に、このような穴は形状、および、深さによっては超伝導電流を阻害する。そこで、同じ試料で、膜表面付近、および、基板界面付近の 2 箇所から切り出した膜の平面 TEM 像を観察した。大視野の平面 TEM 像を図 12 に示す。図 65(a) 膜表面付近で、図 65(b) は基板界面付近である。図 65(a) には穴が形成しているが、図 65(b) では穴が無くなる。これより、穴は膜の表面のみに形成されており、超伝導電流を完全に遮断するものではないことが確認され、穴が存在しない部分では結晶は緻密に接合していることが分った。

この成果より、結晶粒のサイズが 2 倍変化するだけで臨界電流特性が約 10 倍変わることから、磁束量子のピンニング現象のシミュレーション結果より示唆されるように、2 次元 APC は強力なピンニングセンターであることが予想される。

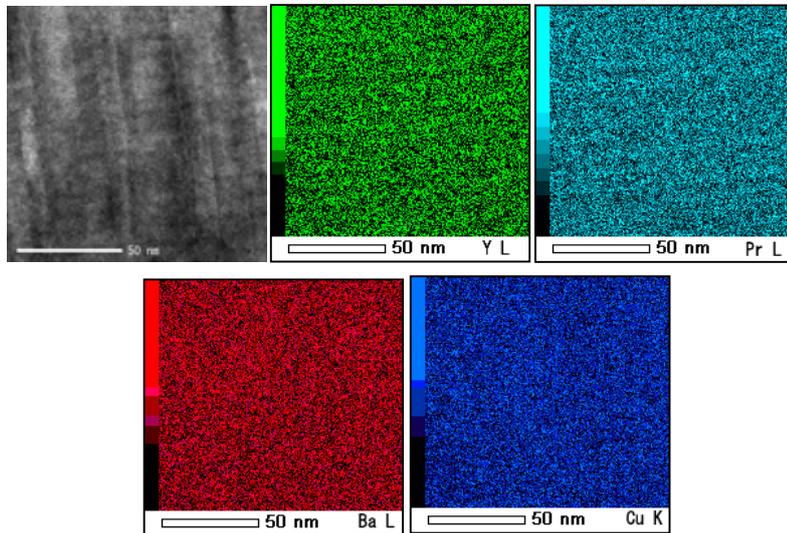


図 66 新規手法による高温超伝導薄膜中の 2 次元 APC 構造。 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (超伝導材料) と $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (非超伝導材料) の積層構造からなる

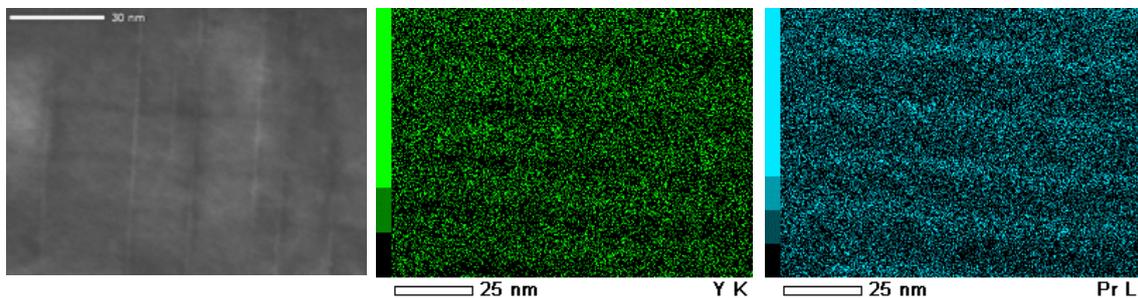


図 67 断面透過電子顕微鏡像とそれに対応する Y、Pr の組成マップ

ii) 新規 2 次元 APC 構造の提案

新しい 2 次元人工ピン作製法の検討として、超伝導層と非超伝導層の積層構造を有する膜の構

造評価を実施し、約 10 nm 間隔の積層構造の生成を確認し、界面による 2 次元 APC の可能性を示した。ここでは、 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (超伝導材料) と $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (非超伝導材料) の積層構造の界面からなる新しい 2 次元 APC の断面 TEM および EDX 写真を図 66 に示す。構造解析により $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 、 $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ の厚さは 6 nm, 2 nm と見積もられ、超伝導層の厚さが薄すぎることがわかった。そのため、臨界温度が 70 K 以下となった。一方、4 K の低温では積層界面がピンニングセンターとして機能していることが確認された。そこで、図 67 に示すように $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 、 $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ の厚さは 15 nm, 5 nm にそれぞれ厚くすることにより超伝導層と非超伝導層の相互拡散の影響を少なくした。その結果、臨界温度は 70 K を超えるとともに、60 K で明瞭に積層界面がピンニングセンターとして機能していることが確認された。この結果から、新規 2 次元 APC 構造は確立できたが、これを実用線材に適用するには、さらにブレードスルーが必要である。

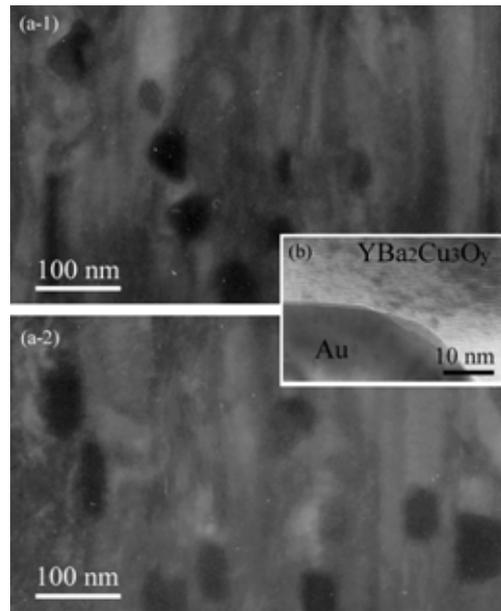


図 68 金を含んだ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜の断面透過電子顕微鏡像

等方的 APC(3 次元, 0 次元)

i) Au 粒子の分布状況の解析

Au は作製条件により超伝導膜内部にナノロッドを形成したり、粒子を形成したりすることが分かった。Au ナノ粒子が超伝導膜内部に分布した試料を用いて、SPring8 の放射光による小角散乱測定結果から金属の形状、大きさ、分布、金属と超伝導膜の界面の状況等の解析結果と透過電子顕微鏡を用いて実際の試料内の金属粒子分布を測定した結果の比較を行った。以下に述べるように、放射光による膜内部の平均的な情報と透過型電子顕微鏡による局所的な直接観察法の結果がほぼ一致し、放射光を用いた解析方法の妥当性を示すとともに、透過型電子顕微鏡観察が超伝導膜内部の構造を反映していることを示した。

SPring8 の放射光による小角散乱測定結果から、金と超伝導膜の界面は急峻で、金の形状粒子の半径および間隔は散乱強度のフィッティングにより、それぞれ 18 nm および 161 nm と求まった。図 68 に小角散乱を測定した膜の断面 TEM 像を示す。図 68(b) は金と超伝導膜の界面の高倍率 TEM 像である。図 68 より金は粒状に導入され、サイズおよびその間隔は小角散乱測定で得られた値とほぼ同じである。また、図 68(b) に示したように、金と超伝導膜の界面は急峻な界面で、構造の大きな乱れは観察されなかった。以上のことから、小角散乱測定、透過電子顕微鏡観察の異なった 2 つの解析方法から金粒子は数 10 nm レベルで超伝導膜に均一に分散していることが分かり、超伝導膜に 3 次元ピンニングセンターとして金属粒子導入が可能なことを示した。

ii) Y_2O_3 粒子の等方的 APC の導入

超伝導膜内に添加した Y_2O_3 はナノ粒子を形成した。図 69 に Y_2O_3 を添加した超伝導膜の断面 TEM 像を示す。図 69 内部に 1 つの Y_2O_3 ナノ粒子を青矢印で示した。同様にコントラストが黒く見える部分が Y_2O_3 であることは、組成分析より確認した。図 69 に示したように、 Y_2O_3 はナノ粒子を形成し、典型的な 3 次元 APC である。それに対応するように、臨界電流密度の磁場角度依存性は磁場が結晶軸の ab 方向に印加された時に見られる RE 系超伝導材料特有のピーク以外、磁場角度に対して等方的な特性を示した。このような 3 次元 APC(等方的 APC) の作製に成功したことより、 BaZrO_3 のナノロッド長制御とともに、APC 構造とピンニング機構の関係解明の研究成果へと繋がった。

磁束分布の直接観察

超伝導膜内への磁束の侵入の様子を調べるために磁気光学膜と光学顕微鏡を用いた磁気光学像(MOI)観察方法がある。この観察方法は試料表面に存在する磁場の大きさにより、磁気光学膜で光がファラデー回転することを用いたものである。この方法により、磁束の超伝導内への侵入の様子が分るため、局所的な J_c の分布、結晶欠陥の分布、超伝導特性の均質性等を調べることができる。その一例として、 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 膜の酸素アニール効果の MOI の観察結果を図 70 に示す。720 で作製した $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 膜を酸素アニールすると、3 T 以上の磁場中では J_c は変化しないが、ゼロ磁場近傍の J_c は 1 桁向上し、77 K で 2 MA/cm^2 となり、弱磁場中での J_c に大きく影響を与えることが示されている。MOI の結果は、酸素アニールにより超伝導特性の均質性が向上し、超伝導膜のエッジの部分での磁束の侵入が無くなり、超伝導遮蔽電流が均一に流れていることを示す。これより、720 で作製した $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超伝導膜の弱磁場中の J_c の向上は、酸素アニールによる超伝導特性の均質性の向上によるものであることが明らかになった。MOI 観察法は、超伝導内部の磁束

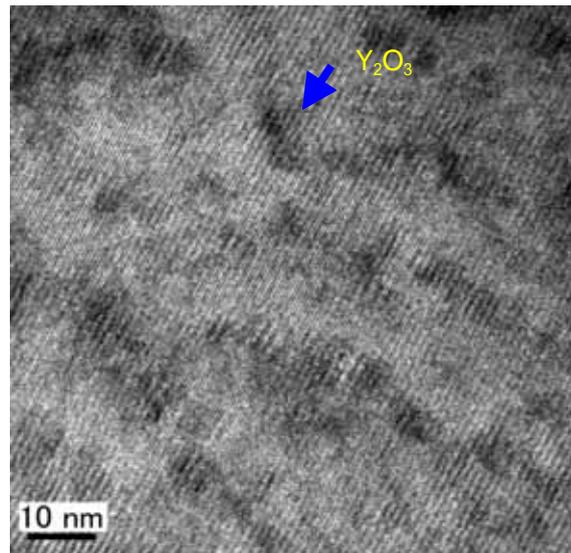


図 69 Y_2O_3 を添加した超伝導膜の断面透過電子顕微鏡像

の侵入状況は観察可能であるが、量子磁束の分布を観察するための分解能がないために、作製した超伝導膜の特性の均一性を調べるために使用した。

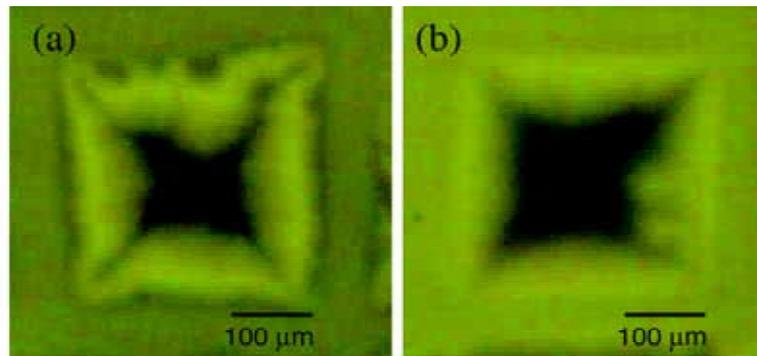


図 70 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の磁気光学像(MOI)。(a)アズデポ膜、(b)酸素アニール後。

(2) 研究成果の今後期待される成果

APC の超伝導膜への導入は、超伝導膜内部に欠陥を導入することを意味するため、欠陥の形状、分布状況等の解析が必要不可欠である。APC の微細構造解析は透過型電子顕微鏡を用いた直接観察により実施した。透過型電子顕微鏡による直接観察は、APC の存在を示す明らかな証拠となり、さらに、結晶成長を考察する上で多くの情報を与えた。これらの技術は、超伝導膜内部の APC の構造解析以外にも材料評価において共通であり、内部構造の解析は材料開発において重要な解析技術である。透過型電子顕微鏡の欠点として局所的な観察に留まることであるが、今回、開発した超伝導材料に限っては、X 線による膜全体の平均的な解析結果、および、電磁気的解析結果と合わせることで、局所的な情報が全体を反映することが分かった。このような場合、透過型電子顕微鏡は材料評価の点で非常に有効な手段となる。

APC の研究成果として、APC が磁場中の特性向上に大きく寄与すること、および、様々な APC

が考えられることを示した。実用超伝導線材への APC の導入において、超伝導線材をどのような状況で使用するかが重要である。線材の使用状況によって APC の種類、導入方法が決まると考えられる。現在、長尺の RE 系超伝導線材の開発は経済産業省の主導のもとに進められ、成果も出始めている。また、開発した線材でケーブル、変圧器、SMES といった超伝導機器の開発が進められようとしている。このように、線材の使用状況が示されることにより、具体的な APC の作製方法が検討され、高性能な超伝導線材が開発されるであろう。

3.3.2 東京大学・堀井グループ

RE123 薄膜の高品質化およびナノ APC 導入効果の電気的評価を行った。

(1) 研究実施内容および成果

PLD-RE123 薄膜の均質化・高品質化

目的: RE123 線材作製法の有効な候補であるパルスレーザー蒸着法(PLD 法)は、プラズマ状態を利用した非平衡プロセスとされている。したがって、成膜後の RE123 薄膜には、膜内の化学組成、特に超伝導性を制御する酸素量に成膜条件が大きな影響を与えるとともに、膜内の酸素量の空間的な不均質も導入される可能性もある。また、磁束のピンニング力もキャリア量に大きく依存することから、導入した APC を有効に働かせるためにも均質性は重要な問題である。しかし、バルク材では当然のように行われてきたが、PLD 薄膜については膜内の酸素量に対する認識が不十分であった。そこで、バルク材での研究からアニールによるキャリア量制御の容易であることが判明した $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (Er123)を対象物質に、PLD 薄膜におけるアニール効果を明らかにした。

方法: 実験に用いた $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ (EBCO) 薄膜は PLD 法を用いて SrTiO_3 単結晶基板上に作製した。これらの試料に種々の条件において酸素アニールを行い、 J_c 、 T_c 、 H_{irr} の変化を電気的測定によって調べた。

結果: 図 71 は T_c 、 $\rho(95\text{K})$ 、自己磁場 $J_c(77\text{K})$ の成膜温度依存性であり、酸素アニール処理前後で比較した結果である。なお、成膜温度が 760 以下るとき、表面形態および配向性が良好な c 軸配向膜が得られている。これは中段の図にあるように電気抵抗率の変化から明らかである。このような良好な Er123 膜が得られる成膜条件でも、 T_c はアニール前でも 90K を示しているにもかかわらず、酸素アニール工程の導入により J_c が 2~8 倍向上することがわかった。また、アニール効果による J_c 向上は磁気光学像にも現れる。図 72 は酸素アニールの有無の違いがゼロ磁場冷却後に磁場印加したときの磁気光学像にどのように変化を与えるのか調べた結果である。アニール試料においては、磁束の侵入が起っていない黒色の領域がアニール無し試料に比べて広いことがわかった。このことはアニールによって超伝導

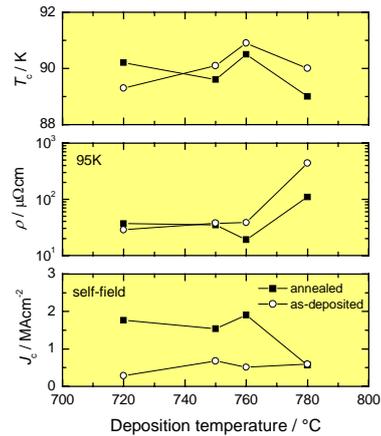


図 71 Er123 薄膜の成膜温度に対する T_c 、電気抵抗率、 J_c の変化

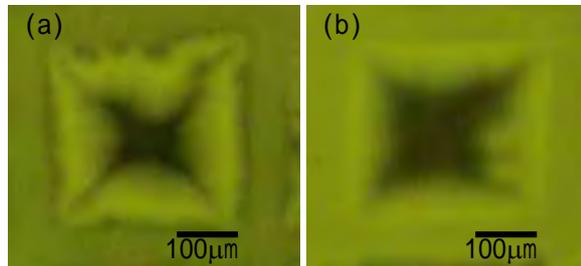


図 72 Er123 薄膜の MO 像。(a)酸素アニール無(b)アニール有

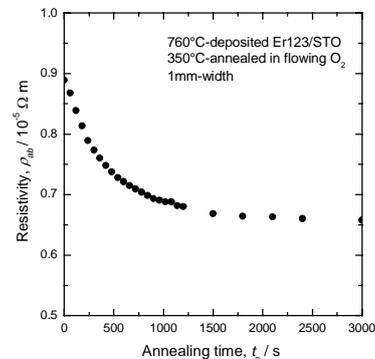


図 73 Er123 薄膜のアニール時間に対する電気抵抗率の変化

膜の磁束排除能力すなわち臨界電流特性の向上を意味する。さらに、In-situ でも酸素アニール効果は明らかとなっており、図 73 に示したようにアニール温度での酸素気流中での抵抗の時間変化からアニール時間とともに顕著な抵抗低減効果が観測できた。これらの一連のアニール効果からアニール前後で PLD-Er123 膜の様子が図 74 のように表されることがわかった。すなわち、アニール前試料では、非平衡プロセスでの成膜により酸素量(y)が欠損した領域(低 T_c 領域、図中の黒点)が数多く存在し、かろうじてパーコレーション的な高 T_c 領域の伝導により、見かけ上 $T_c \sim 90K$ を維持している状態である。この酸素アニールにより臨界電流密度(J_c)は測定した全磁場領域で向上する。図 75 にさまざまな条件でアニールを施した Er123/STO 薄膜の J_c の磁場依存性を示す。明らかにアニール無しの試料に比べて 1~2 桁 J_c が向上していることがわかる。 T_c は見かけ上変わらなくても高臨界電流特性を有する領域を酸素アニールによって有効的に拡大させることがかのである。このように酸素アニールは、この低 T_c (低 J_c) 領域を高 T_c (高 J_c) 領域に転換することで、膜全体の高品質化および均質化を実現する役割を果たしている。また、PLD 膜での新規 APC の役割を明らかにする上で、適切なアニールプロセスの導入は重要であることも意味する。

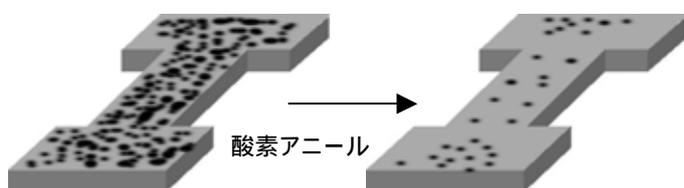


図 74 Er123 薄膜における酸素アニール効果の模式図

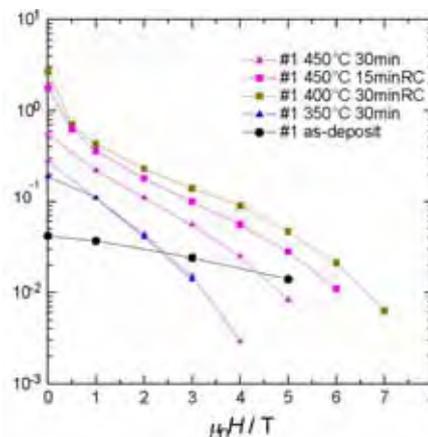


図 75 酸素アニールした Er123/STO の J_c -B カーブ。RC はアニール後急冷を施したことを示す。

固溶型 APC の開拓とその臨界電流特性

目的: Co は RE123 中の主に Cu-O 1次元チェーンに固溶する固溶型不純物である。超伝導性への直接的な影響はプレーン内の Cu サイトと置換した場合であるが、チェーンサイトでの固溶を通じて間接的に超伝導性を抑制できる可能性がある。局所的な低 T_c 領域(あるいは T_c 消失領域)が発生し、この領域の間隔がコヒーレンス長よりも長い場合には、アトミックレベルの点欠陥的なピンニングセンターとしての役割が期待できる。本プロジェクトでは上述したような定量的に酸素アニール効果が明らかになった Er123 に対して 77 K でのコヒーレンス長を考慮して 0.5% の Co 置換を行い、Co ドープがピンニングセンターとしてどのような役割を果たすのか検討した。

方法: Co ドープした $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (EBCO) 薄膜は PLD 法を用いて SrTiO_3 単結晶基板上に成膜温度 (770~850) を変化させ作製した。これらの試料について酸素アニールを行い、 J_c 、 T_c 、 H_{irr} の変化を電気的測定によって調べた。組織観察を、TEM を

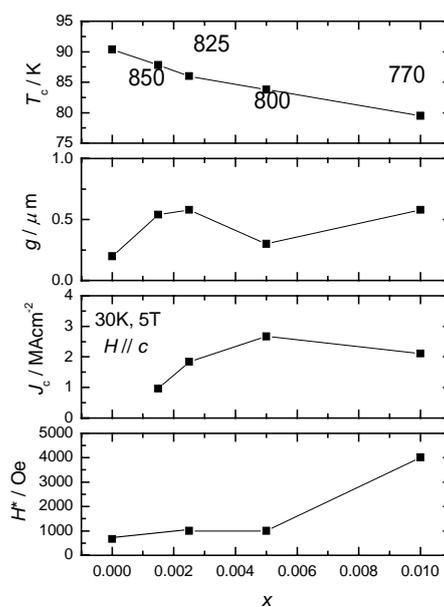


図 76 Co ドープ Er123 薄膜の Co ドープ量に対する T_c 、グレインサイズ、 J_c 、 H_{irr} の変化。

用いて行った。

結果: 図 76 上段図に示すように、成膜温度の低下とともに T_c が低下する。なお、図中の数字が成膜温度である。この結果は、Co イオンはチェーンサイトだけでなく超伝導性を担う 2 次元 CuO_2 面にも固溶し、成膜温度で T_c を制御できることを意味する。これら 4 種類の異なる T_c をもつ Co ドープ Er123 薄膜を作製し、その臨界電流特性の評価を行った。図 76 の中上段図以下にそれぞれ、 T_c の変化から見積もった CuO_2 面の Co 固溶量(x)の変化を横軸とした超伝導膜の平均粒径、30 K での $J_c(5 \text{ T})$ および H^* の変化を示す。なお、 H^* は $0.9J_c$ となる磁場を表し、これまでの報告からこの値が大きいほど転位などによる 1 次元的ピンニングセンターの密度が高いとされる。 H^* および J_c は、 x の増加とともに系統的に増加した一方で、グレインサイズには顕著な変化は見られなかった。つまり、 J_c と H^* の増加は結晶粒の密度の増加による転位密度の増加によるものではなく、Co ドープによる新規 APC の導入によることを示唆している。また、図 77 にこれらの Co ドープ Er123 薄膜について T_c で規格化した温度($T=0.86T_c$)での $J_c(\theta)/J_c(\theta=90^\circ)$ の磁場印加角度依存性(θ 依存性)を示す。なお、規格化温度 $0.86T_c$ は $T_c=90 \text{ K}$ のとき 77 K の温度に相当する。明らかに成膜温度の低下 (T_c の低下あるいは Co ドープ量の上昇)とともに、 $H//c$ で極大を示すような角度依存性を示すようになる。ここで導入されている欠陥密度を H^* から見積ると、 $H^*=0.4 \text{ T}$ である 770°C では ~ 400 個/ μm^2 となる。このうち、転位による欠陥密度は粒径が成膜温度に対して大きな変化を示していないことから pure Er123(図中の $x=0$ に相当)の H^* から見積ると ~ 100 個/ μm^2 である。従って、Co ドープによって導入された欠陥密度は 300 個/ μm^2 程度である。一方、固溶した Co イオンがすべて欠陥として働くとすると欠陥密度は数万個/ μm^2 となり、 H^* からの見積もりと比べて 2 桁大きい。このことから、Co イオンが個々に磁束ピンとして働いているという当初予想していた点欠陥的(0D 的)な APC の描像とは異なり、Co ドープによって c 軸方向に向けたピンニングセンター(c 軸相関ピン)が誘起され、その数は Co ドープ量(成膜温度の低下)とともに増加していくことが示唆された。このメカニズムを理解するために、図 78 に 770°C 成膜および 850°C 成膜試料の平面 TEM 像を示した。Co ドープが進んでいない 850°C 成膜試料では、 $50 \text{ nm} \sim 100 \text{ nm}$ 幅の明瞭な双晶組織が確認できる一方、Co の固溶が進んだ 770°C 成膜試料では明瞭なストライプ様は姿を消し、双晶組織は 10 nm 程度の細かいものとなっている。断面 TEM にも双晶組織の変化による組織変化が現れている。図 79 に 770°C 成膜および 850°C 成膜試料の断面 TEM 像を示した。Co ドープが進んでいない 850°C 試料では明瞭かつ幅の大きな双晶組織を反映して粒界の少ない断面組織が観測されている。しかし、Co の固溶が進んだ 770°C 試料では、 $\sim 10 \text{ nm}$ 間隔で粒界と思われる成長方向($//c$ 軸)に沿う筋を確認している。現在のところ、この 10 nm オーダーの粒界の存在が c 軸方向の臨界電流特性を向上させたと考えており、このような組織は、6 配位をとりやすい Co ドープによって 123 相内のチェーン部の酸素導入形態が変化する(具

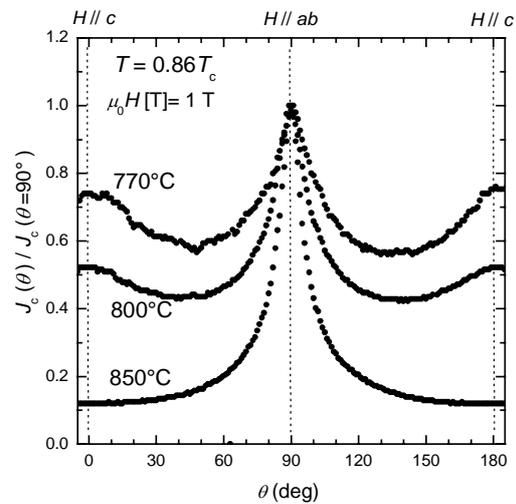


図 77 Co ドープ Er123 薄膜における J_c の角度依存性 (規格化温度 = $0.86T_c$)

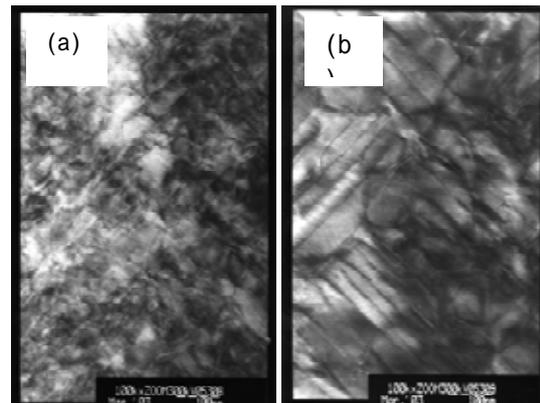


図 78 770°C (a) および 850°C (b) で成膜した $\text{Co}_{0.5}\%$ ドープ Er123 薄膜の平面 TEM 像。

体的に、 b 軸だけでなく a 軸方向にも酸素イオンの配位を可能にする)ことによって双晶組織の形成が大きく乱された結果であると推測している。つまり、 c 軸方向に有効な 1 次元的な APC の形成が Co ドーピングという固溶型不純物の導入によって実現されており、化学組成による双晶組織の制御によって APC の導入が可能であることを示した。

この結果を踏まえ、点欠陥的な 0 次元人工ピンの導入を目指し、 T_c 低下を起こさないように Co ドーピング量を 0.5% から 0.1% にしたターゲットを用いて 800 および 850 で成膜を行った。Co0.5% ドープのときと成膜条件は同じであるが若干の成膜環境の変化があり、平面 TEM からいずれの試料も 50 nm 幅の一般的な双晶組織とチェーンサイトへの Co ドープを示唆する 10 nm 幅の微細な双晶組織が混在する組織を呈した。しかし、 T_c の低下は見られなかった。その結果、図 80 に示すように 77 K においても Co0.1% ドープ Er123 薄膜は Er123 薄膜と比較すると 5 T までの磁場領域で高い J_c を示すことが明らかになった。点欠陥的な人工ピンの存在は現在のところ明らかではないが、少なくとも希薄 Co ドープによって導入された微細な双晶組織の存在により上述のような新規固溶型ピンが導入され低磁場での J_c が著しく向上したと判断している。このような結晶化学的操作による超伝導マトリクスの組織制御に関する研究はこれまでにない成果であり、固溶による T_c の低下抑制と膜全体にわたる組織制御が実現できればマトリクス自体の著しい臨界電流特性向上につながると思われる。

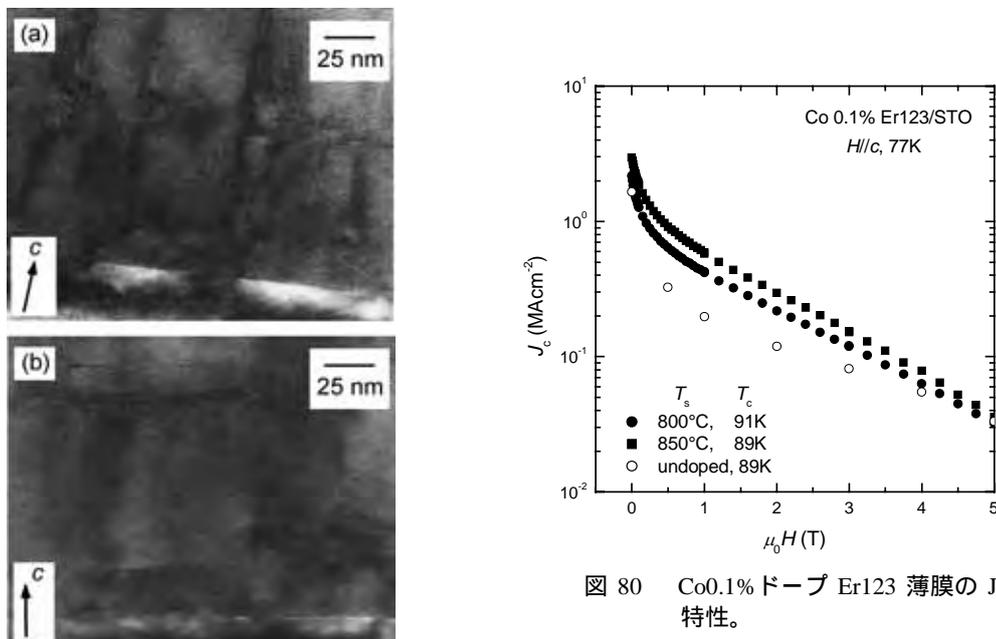


図 79 770 (a)および 850 (b)で成膜した Co0.5% ドープ Er123 薄膜の断面 TEM 像。

図 80 Co0.1% ドープ Er123 薄膜の J_c -B 特性。

非固溶型 APC の臨界電流特性の評価(BaZrO₃·BaNb₂O₆ ドープ)

目的:九州大学・向田グループおよび電中研・一瀬グループの報告書で詳細な微細組織については述べているが、Er123 膜に添加した BaZrO₃ (BZO)は自己組織化した柱状欠陥が c 軸方向に導入される。この BZO 導入効果を臨界電流特性から明らかにした。

方法: 0.5, 1.0 および 1.5wt.% の BZO を添加した Er123 薄膜を作製し、450 での酸素アニールを行った後、これらの T_c 、不可逆磁界、 J_c の特性を調べた。

結果: まず、電気抵抗の温度依存性から決定したゼロ抵抗となる T_c は BZO ドープ量に依存せず 90K 級であった。しかし、 J_c には BZO ドープ量に大きな影響を与える。図 81 に 3 種類の異なる BZO ドープ量をもつ Er123 薄膜の 77 K での J_c -B 特性を示した。比較として、通常の成膜法で育成した pure の Er123 の J_c -B 特性も併せて示した。BZO ドープ量とともに明らかに高磁場での J_c が向上している様子が見て取れる。BZO ドープ効果が系統的かつ確実に Er123 薄膜の臨界電流特性にポジティブな効果をもたらしていることを示している。この BZO 効果を明らかにするために、こ

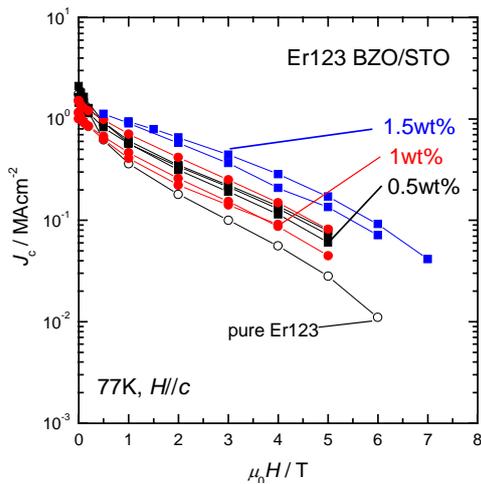


図 81 さまざまな BZO ドープ量をもつ Er123 薄膜の J_c -B 特性

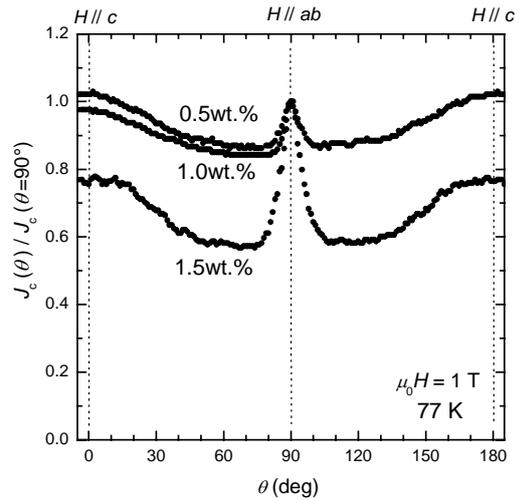


図 82 さまざまな BZO ドープ量をもつ Er123 薄膜の J_c の角度依存性

これらの 77 K における J_c の角度依存性を図 82 に示した。なお、縦軸は $J_c(H//ab)$ で規格化している。いずれの BZO ドープ試料でも J_c の角度依存性に c 軸ピークが現れ、BZO ドープによって c 軸方向に特有の 1 次元 APC が導入されていることがわかった。TEM からの組織観察と併せると、Er123 母相に導入された柱状欠陥が c 軸相関ピンとしての本質的な役割を果たしており、わずか 0.5 wt%(1.4 mol%)でのドープ量でも $H//c$ 方向の J_c の向上に効果であることがわかった。

さらに非固溶型 APC の物質的バリエーションの拡大やナノロッド型 APC を含んだ超伝導薄膜の磁束状態の理解を目的に、バリウム-ニオブ系酸化物($BaNb_2O_6$ (BNO))を添加した $ErBa_2Cu_3O_y$ 薄膜について J_c の磁場印加角度依存性や T_c (or T_{irr})近傍の電気伝導現象を明らかにした。

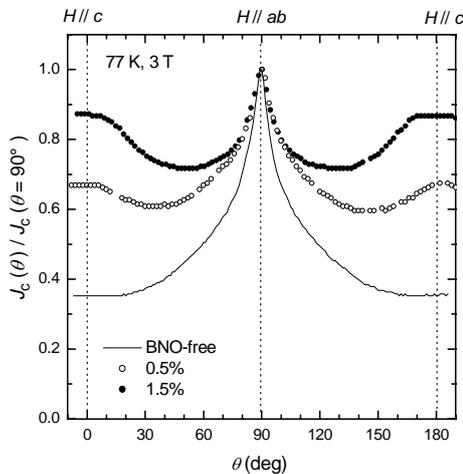


図 83 Er123 および BNO ドープ Er123 薄膜の規格化 J_c の磁場印加角度依存性。

Er123 ターゲットに含まれる BNO 添加量を 0, 0.5, 1.5 wt% とし、PLD 法で作製した BNO ドープ Er123 薄膜の 77 K, 3 T における規格化 J_c の磁場印加角度依存性を図 83 に示す。BNO 添加量の増加とともに $H//c$ 方向の J_c は相対的に上昇することがわかった。実際の $H//c$ の J_c の絶対値も BNO ドープとともに増大することからも、BNO 添加に由来する c 軸相関ピンが導入されていることが示唆される。断面 TEM 観察からも Ba-Nb-O 系のナノロッドが導入されていることがわかり、この結果を支持する。導入された Ba-Nb-O 系ナノロッドが磁束状態にどのように影響を及ぼすのかが明らかにするために、 T_c (or T_{irr})近傍の電気抵抗の温度依存性を、印加磁場方向を変えて行った。この結果を図 84 に示す。なお、 $\theta = 0$ が $H//c$ 、 $\theta = 26$ は $H//c$ から 26 度 a 軸方向に磁場が傾いて印加されていることを意味する。BNO-free 試料の温度変化に対する電気抵抗の変化は、磁場印加方向

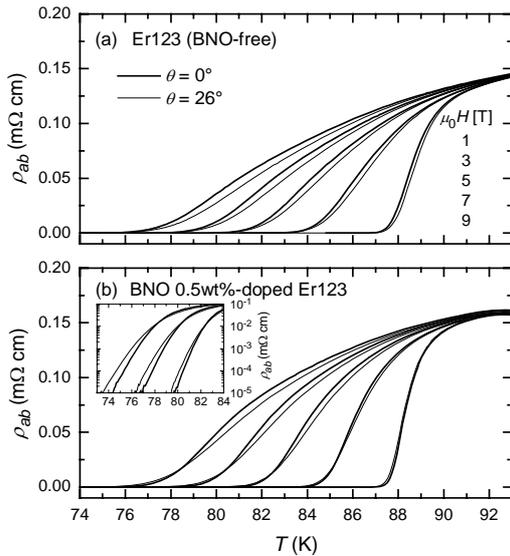


図 84 Er123 および BNO ドープ Er123 薄膜の電気抵抗率の温度依存性。

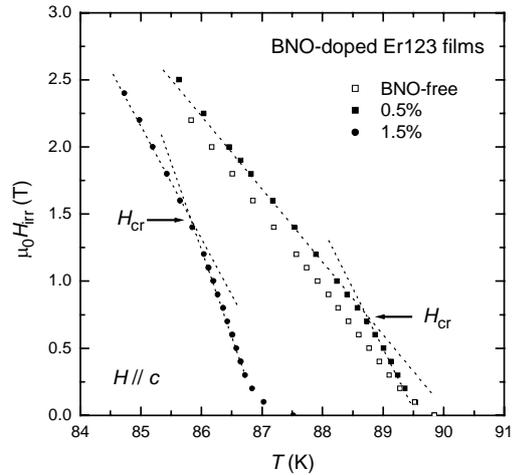


図 85 Er123 および BNO ドープ Er123 薄膜の不可逆曲線。

を a 軸寄りにするほど T_{irr} は上昇する傾向を示し、異方的ランダムピンモデルに従う。一方、BNO ドープ試料では、 T_{irr} 近傍で $\theta=0$ の電気抵抗の温度係数の上昇が著しくなる結果、 $T_{irr}(\theta=0) > T_{irr}(\theta=26)$ となる。異方的ランダムピンモデルでは説明できない現象であり、c 軸相関ピンの影響による現象と考えられる。このナノロッド c 軸相関ピンが与える磁束状態の変化は不可逆線にも現れる。図 85 はこれらの不可逆線をプロットしたものである。明らかに BNO ドープ試料の不可逆線は H_{cr} を境に傾きが変化している。このような特異な不可逆線は重イオン照射した RE123 単結晶や薄膜で見られているそれらと類似していることから、導入されたナノロッドは重イオン照射と同様なコラムナ欠陥としての c 軸相関ピンの役割を果たし、Bose グラス的な磁束状態を形成していることがわかった。 H_{cr} はマッチング磁場と相関があり、コラムナ欠陥(ここではナノロッド)の密度を見積もることができる。BNO ドープ量が 0.5 wt% および 1.5 wt% のとき H_{cr} はそれぞれ ~ 0.7 T および 1.5 T であり、導入されたナノロッドの密度はそれぞれ $\sim 4 \times 10^{10}$ 、 $\sim 7 \times 10^{10}$ となる。一方、断面 TEM 写真から BNO 1.5 % 試料の欠陥密度を見積もると $\sim 8 \times 10^{10}$ となり、 H_{cr} からのそれと非常によく一致を示した。

このように BZO および BNO ドーピングはいずれもナノロッドの導入に有効であり、いずれも c 軸相関 APC としての機能を示すことが明らかとなった。また、いずれも Ba を含む酸化物であることから、BZO や BNO だけが特別ではなく Ba 系複合酸化物系は広くナノロッドの導入に適する材料であると思われる。通常 RE123 薄膜の J_c は単結晶などのバルク材に比べて 1~2 桁高く、薄膜には相当数の欠陥が導入されていると考えられている。これにより薄膜系では欠陥が主たるピンとなり磁束状態を決めることになるが、本プロジェクトにおける磁束状態の研究結果からナノロッドの導入による大きな不可逆曲線の変化が明らかとなり、ナノロッドは系の磁束状態を変えるほどの強い APC であることが初めて明らかとなった。

(2)研究成果の今後期待される効果

当研究グループでは、上述のように APC を受け入れる母材となる超伝導相の高品質化および新規で新奇な APC の探索を行ってきた。国内外のさまざまな研究グループで RE123 線材の開発が行われているが、超伝導相の高品質化に関する研究から、線材製造プロセスへの In-situ あるいは ex-situ での適切なアニール処理プロセスの導入が進められることが期待される。また、希土類の種類によって適切なアニール条件が異なることも周知されつつあり、線材のタイプに応じたアニールプロセスが構築されると思われる。ナノロッドとなる非固溶型 APC については、導入方法が簡便でありさらには思いのほか物質的バリエーションが豊富であることがわかってきており、線材製造に不

可欠な工程として導入されると考えられる。一方で、ナノロッドの導入に伴う T_c の低下が課題であることから、 T_c 低下のないナノロッド導入法の開発が広がっていくと期待される。一方、固溶型 APC については、深刻な T_c 低下を伴う問題は抱えているが、化学的操作により超伝導相内の双晶組織を微細にし新たな APC を付加できることから、今後の最適化に向けた研究が進めばマトリクス機能性向上手法として補完的な役割として利用される可能性がある。

3.4 サブテーマ: APC 応用技術(九州工業大学・松本グループ, 名古屋大学・吉田グループ, 九州大学・向田グループ, (財)電力中央研究所・一瀬グループ, 東京大学・堀井グループ, 首都大学東京・三浦グループ)

エネルギー応用を目指した 77 K 使用の酸化物系超伝導薄膜や超伝導線材の研究は、我々が検討している磁場中高特性とともに、長尺化や厚膜化などの検討が必要である。ここでは、次に記す線材化を目指した APC 技術の基礎検討を行った。

(1) 研究実施内容および成果

粒界のピン止め力検討

超伝導線材のような実用材料においては結晶粒界をなくすことは極めて困難であり、必ず粒界の影響が残る。このため結晶粒界における磁束量子の挙動を知ることは、APC の導入のためにも大変重要なことである。ここでは異なる(001)チルト粒界角度を持つバイクリスタル SrTiO₃ 基板上に YBCO 薄膜を形成して、2 度から 10 度までの粒界角度を持つ試料を作製し、そのピン止め特性の実験的解析を行った。

図 86 は粒界の無い SrTiO₃ 基板上に形成した YBCO 薄膜と、5 度の粒界を持つ YBCO 薄膜の J_c - B 特性(77 K, $B//c$)を比較したものである。5 度の粒界の J_c は粒界のない試料の J_c に比べて磁場中で急激に低下するが、0.3 T からその低下は緩やかになり、4 T 以上では両者の J_c は完全に一致するようになる。この磁場を交差磁場 B_{cr} とする。このような奇妙な振る舞いの解釈に、我々はアプリコソフ・ジョセフソンボルテックス(AJV)モデルの適用し検討した。これは粒界に位置する磁束量子は図 87 のように楕円形に変形し、粒界に沿って動き易くなるというもので、通電時の電流 - 電圧特性の解析から AJV の存在を示唆するデータを得ている。AJV のピンニングは周りの通常の磁束量子(アプリコソフボルテックス)からの弾性相互作用によるもので、このように考えると、高磁場で 5 度粒界の J_c と粒界のない試料の J_c が一致することを説明できる。また AJV の形成は粒界角度に大変敏感で、2 度程度の粒界では AJV の兆候はなく、10 度以上の粒界では AJV よりもむしろジョセフソン接合的になり対破壊電流が粒界の J_c を支配すると考えられる。

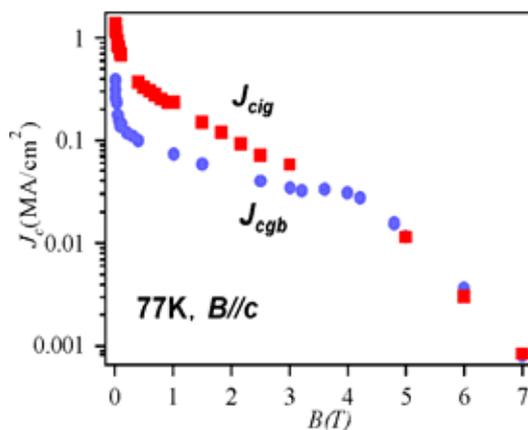


図 86 5 度粒界 J_c (J_{cgb}) と粒界の無い試料の J_c (J_{cig}) の比較。

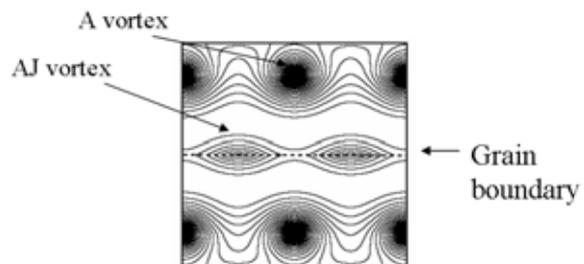


図 87 粒界とアプリコソフ・ジョセフソンボルテックス(AJV)。

これより粒界を APC に利用するには、2 度以下程度の小傾角粒界を利用すること、またローレンツ力の方向と粒界の長手方向が垂直になるような配置を選択すべきことが明らかになってきた。また、上記のバイクリスタル YBCO 薄膜に APC を導入した実験では、 B_{cr} 以上において APC は有効に働くことが分かった。これからも、APC を有効に作用させるためには少なくとも粒界角度を 10 度以下とし、可能な限り 2 度程度に近づけることが必要であることが示唆された。現在の最新の高温超伝導線材では粒界角度が 2 度程度のものできつつあり、APC を有効に働かせるのに大変有望であると考えられる。

金属基板上における 3 次元 APC 導入線材

本研究では、磁場中 J_c 特性が高い 3 次元 APC を有する SmBCO 薄膜の金属基板上における有効性を検討するために PLD-CeO₂/IBAD-YSZ/金属基板上に通常の PLD-SmBCO 薄膜を作製し、表面観察及び磁場中超伝導特性の評価を行った。図 88 は線材短尺試作用に開発した PLD 装置を示したものである。中央部分にヒーターがあり、短尺金属基板テープを設置することができる。金属基板上の PLD-SmBCO 薄膜は、XRD 測定結果より基板上に 2 軸配向していることが確認された。ダイナミックフォース顕微鏡(DFM)により観察した結果より、スパイラル模様が確認できる。スパイラル模様は螺旋転位を中心としてスパイラル成長していることを示している。また、スパイラルの 1 ステップ高さは 1.2 nm と SmBCO の c 軸長と一致することから、金属基板上の SmBCO 薄膜は 1 ユニットセル単位とする単一ステップ成長であることが確認できる。また、テラス幅は ~95 nm と広く、表面が平坦であることが分かる。

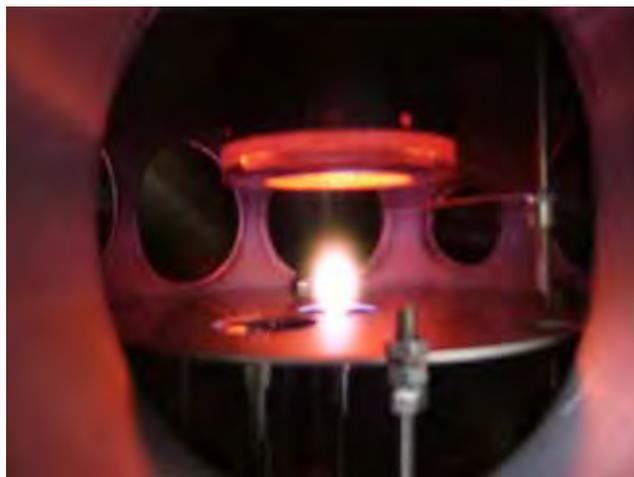


図 88 線材の短尺試作に開発した PLD 装置の内部。ヒーターとレーザーブルームが観測される

図 89 に、金属基板上の PLD-SmBCO 薄膜の J_c - B 特性を示す。比較のために 4.2 K における NbTi 及び 75.5 K における金属基板上の PLD-YBCO 薄膜の特性も示す。PLD-SmBCO 薄膜は、自己磁場 J_c は、3 MA/cm² と高い値を示し、 $B=5$ T において 0.2 MA/cm² ($B//c$, 77 K) を超える高い値を示すことが確認された。この理由として、Sm/Ba 固溶領域などの磁束ピン止め点の増加や不可逆磁場の向上が考えられる。本測定結果は、当チームで初めて行った APC の線材適用可能性を検討したもののだが、予想通りの高い J_c が得られており、APC の高い可能性を実証したものとなったと言える。

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究により、APC 技術の線材への適用性は一応確かめられた。4.2 K の NbTi の J_c に匹敵する値が、線材の基板となる金属基板上においても確認されたことで、この手法の妥当性が確認できた。すでに APC を線材に適用する研究は、内外でも進められているが、今回の特性に匹敵する報

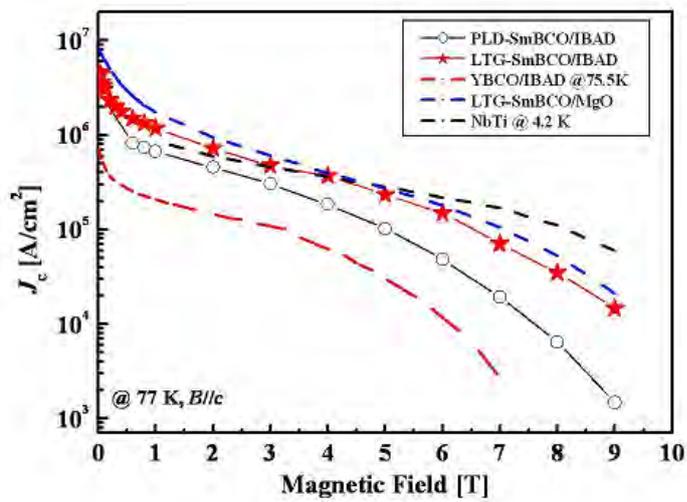


図 89 LTG-SmBCO/IBADが現在のベストデータ。比較のために記した NbTi@4.2 K とほぼ匹敵する値となった。APC 法の有効性を示す結果である。

告はまだなく、今後、競争が激しくなっていくことが予想される。しかし、線材研究が盛んになることは、高温超伝導の普及の促進にとって有効であり、今後もこの分野をリードしていく所存である。

4 研究参加者

研究グループ名： APC デザイングループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
松本 要	京都大学工学研究科 九州工業大学工学研究科	助教授 教授	APC デザイン検討 APC デザイン検討	H14,11 ~ H19,3 H19,4 ~ H20,3
田中 功	京都大学工学研究科	教授	APC 構造シミュレーション検討	H14,11 ~ H19,3
Paolo Mele	京都大学工学研究科 科学技術振興機構	ポスドク ポスドク	APC デザイン検討 APC デザイン検討	H16,4 ~ H17,4 H17,4 ~ H20,3

研究グループ名： APC 作製プロセスグループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
松本 要	京都大学工学研究科 九州工業大学工学研究科	助教授 教授	1, 2次元 APC 導入プロセス 1, 2次元 APC 導入プロセス	H14,11 ~ H19,3 H19,4 ~ H20,3
武智 篤	京都大学工学研究科	博士前期 2 年	1, 2次元 APC 導入プロセス	H14,1 ~ H15,3
小野友昭	京都大学工学研究科	博士前期 2 年	1, 2次元 APC 導入プロセス	H14,1 ~ H15,3
堀出朋哉	京都大学工学研究科	博士後期 3 年	1, 2次元 APC 導入プロセス	H15,4 ~ H20,3
志井秀行	京都大学工学研究科	博士前期 1 年	1, 2次元 APC 導入プロセス	H15,4 ~ H16,3
高原大樹	京都大学工学研究科	博士前期 2 年	1, 2次元 APC 導入プロセス	H15,11 ~ H18,3
二見俊介	京都大学工学研究科	博士前期 2 年	1, 2次元 APC 導入プロセス	H17,4 ~ H20,3
Paolo Mele	京都大学工学研究科 科学技術振興機構	ポスドク ポスドク	1, 2次元 APC 導入プロセス 1, 2次元 APC 導入プロセス	H16,4 ~ H17,4 H17,4 ~ H20,3
奥野 良和	京都大学工学研究科	博士前期 2 年	1, 2次元 APC 導入プロセス	H18, 4 ~ H20,3

一瀬 中	電力中央研究所	上席研究員	1, 2次元 APC 導入プロセス	H16,4 ~ H20,3
喜多隆介	静岡大学工学研究科	教授	1, 2次元 APC 導入プロセス	H16,4 ~ 19,3
	静岡大学 創造科学技術大学院	教授	1, 2次元 APC 導入プロセス	H19,4 ~ H20,3
吉田 隆	名古屋大学工学研究科	准教授	3次元 APC 導入プロセス	H14,11 ~ H20,3
須藤公彦	名古屋大学工学研究科	博士後期 2年	3次元 APC 導入プロセス	H14,11 ~ H15,3
一野祐亮	名古屋大学工学研究科	助教	3次元 APC 導入プロセス	H14,11 ~ H20,3
伊藤正和	名古屋大学工学研究科	博士前期 2年	3次元 APC 導入プロセス	H14,11 ~ H16,3
三浦正志	名古屋大学工学研究科	博士後期 1年	3次元 APC 導入プロセス	H15,11 ~ H20,3
本田竜士	名古屋大学工学研究科	博士前期 2年	3次元 APC 導入プロセス	H15,4 ~ H17,3
船木修平	名古屋大学工学研究科	博士前期 2年	3次元 APC 導入プロセス	H15,11 ~ H20,3
黒岩朋広	名古屋大学工学研究科	博士前期 2年	3次元 APC 導入プロセス	H16,4 ~ H20,3
井上晃一	名古屋大学工学研究科	博士前期 1年	3次元 APC 導入プロセス	H19,4 ~ H20,3
山口俊輔	名古屋大学工学研究科	博士前期 1年	3次元 APC 導入プロセス	H19,4 ~ H20,3
向田昌志	山形大学工学部	教授	ナノ加工 APC 導入プロセス	H14,11 ~ H17,3
	九州大学工学研究院	教授	ナノ加工 APC 導入プロセス	H17,4 ~ H20,3
安達学人	山形大学工学部	博士前期 2年	ナノ加工 APC 導入プロセス	H14,11 ~ H15,3
新海優樹	山形大学工学部	博士後期 1年	ナノ加工 APC 導入プロセス	H14,11 ~ H17,3
	九州大学工学研究院	博士後期 3年	ナノ加工 APC 導入プロセス	H17,4 ~ H19,3
山寄裕弥	山形大学工学部	博士前期 2年	ナノ加工 APC 導入プロセス	H15,4 ~ H16,3
大狭間徹	山形大学工学部	博士前期 2年	ナノ加工 APC 導入プロセス	H15,4 ~ H17,3
三浦正樹	山形大学工学部	博士前期 2年	ナノ加工 APC 導入プロセス	H15,11 ~ H17,3
	九州大学工学研究院	博士前期 2年	ナノ加工 APC 導入	H17,4 ~ H20,3

伊藤正志	山形大学工学部	博士前期1年	プロセス ナノ加工 APC 導入	H16,4 ~ H17,3
野村佳代	山形大学工学部	博士前期1年	プロセス ナノ加工 APC 導入	H16,4 ~ H17,3
甲斐英樹	九州大学工学研究院	博士前期2年	プロセス ナノ加工 APC 導入	H18.4 ~ H20,3
後藤剛輔	九州大学工学研究院	博士前期2年	プロセス ナノ加工 APC 導入	H18.4 ~ H20,3
安永周平	九州大学工学研究院	博士前期2年	プロセス ナノ加工 APC 導入	H18.4 ~ H20,3
寺西亮	九州大学工学研究院	助教	プロセス ナノ加工 APC 導入	H18.4 ~ H20,3
久恒善美	九州大学工学研究院	助教	プロセス ナノ加工 APC 導入	H19.4 ~ H20,3
高村真琴	九州大学工学府	博士前期1年	プロセス ナノ加工 APC 導入	H19.4 ~ H20,3
田中陽介	九州大学工学府	博士前期1年	プロセス ナノ加工 APC 導入	H19.4 ~ H20,3

研究グループ名： APC 構造・特性評価グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
吉田 隆	名古屋大学工学研究科	准教授	ex-situ 評価技術の 検討	H14,11 ~ H20,3
一瀬 中	(財)電力中央研究所	主任研究員	組織観察と局所磁 場測定の見直し	H14,11 ~ H20,3
堀井 滋	東京大学工学系研究科	助教	輸送特性・磁気的 特性評価	H14,11 ~ H20,3
三浦大介	首都大学東京 理工学 研究科	助教	輸送特性・磁気的 特性評価	H16.4 ~ H20,3
足立 大樹	京都大学工学研究科	助教	組織観察評価技術 の見直し	H18.4 ~ H20,3

研究グループ名： APC 応用技術グループ

氏名	所属	役職	担当する研究項目	参加時期
松本 要	京都大学工学研究科 九州工業大学工学研究科	助教授 教授	線材応用 線材応用	H14,11 ~ H19,3 H19,4 ~ H20,3
吉田 隆	名古屋大学工学研究科	准教授	線材応用	H14,11 ~ H20,3
一瀬 中	(財)電力中央研究所	上席研究員	線材応用	H14,11 ~ H20,3
向田昌志	九州大学工学研究院	教授	デバイス応用	H14,11 ~ H20,3
堀井 滋	東京大学工学系研究科	助教	線材、デバイス応用	H14,11 ~ H20,3
三浦大介	首都大学東京 理工学研究科	助教	線材、デバイス応用	H16.4 ~ H20,3

J S T が雇用し派遣する研究員等

氏名	現職	派遣先	担当する研究項目	参加時期
鈴木みどり	研究チーム 事務員	京都大学工学研究科	事務	H15,5 ~ H16,5
竹中弘子	研究チーム 事務員	京都大学工学研究科	事務	H16,5 ~ H16,9
荒木垂矢	研究チーム 事務員	京都大学工学研究科	事務	H16,10 ~ H19,6
Paolo Mele	研究チーム 研究員	京都大学工学研究科	研究	H17,4 ~ H19,3
	研究チーム 研究員	九州工業大学工学研究科	研究	H19,4 ~ H20,3

5 招聘した研究者等

氏名(所属、役職)	招聘の目的	滞在先	滞在期間
Hanns-Ulrich Habermeier (独マックスプランク研究所, 教授)	NVLS2006 に参加・講演を行うため	京都市	2006/12/9-16
Bernhard Holzapfel (独 IFW ドレスデン, 教授)	NVLS2006 に参加・講演を行うため	京都市	2006/12/9-15
Sung-Hun Wee (米オークリッジ国立研, サイエнтиスト)	NVLS2006 に参加・講演を行うため	京都市	2006/12/9-16
James Russell Thompson Jr. (米国テネシー大学, 教授)	NVLS2005 に招聘して、招待講演をしてもらう	淡路島	2005/12/18-23
Alexander V. Gurevich (米国ウイスクンシン大学, シニアサイエンティスト)	NVLS2005 に招聘して、招待講演をしてもらう	淡路島	2005/12/18-23
David C. Larbalestier (米国ウイスクンシン大学, 教授)	NVLS2005 に招聘して、招待講演をしてもらう	淡路島	2005/12/18-23

6 成果発表等

(1) 原著論文発表 (国内誌 19 件、国際誌 117 件)

(国内誌)

1. 松本 要, "ナノテクで量子化磁束を制御する—人工ピンの導入—", 応用物理, **77**, p p 19-25, 2008.
2. 松本 要, "高温超伝導材料の高性能化と電力エネルギー貯蔵", OHM, **94**, pp. 25-32, 2007.
3. 向田昌志, 松本 要, 吉田 隆, 一瀬 中, 堀井 滋, 喜多隆介, 山田和宏, 寺西 亮, 森 信幸, "REBa₂Cu₃O_{7-δ} 系線材とその高 J_c 化", までりあ, **46**, pp. 581-586, 2007.
4. 三浦正志, 吉田 隆, 一野 祐亮, 高井吉明, 松本 要, 一瀬 中, 堀井 滋, 向田 昌志, "LTG を用いて作製した Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y 薄膜の配向性と成長様式", 低温工学, **42**, pp. , 2007.
5. 三浦正志, 吉田 隆, 一野 祐亮, 高井吉明, 松本 要, 一瀬 中, 堀井 滋, 向田 昌志, "LTG を用いて作製した Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y 薄膜の配向性と成長様式", 低温工学, **42**, pp. , 2007
6. 山田 穰, 松本 要, "磁界下での臨界電流向上 - ナノ組織によるマクロな特性改善", 電気学会誌, **126**, pp. 280, 2006
7. 向田昌志, 新海優樹, 堀出朋哉, 齋藤 敦, 伊藤正志, 喜多隆介, 松本 要, 吉田 隆, 一瀬 中, 堀井 滋, 山田和広, 森 信行, "BaZrO₃ 導入 ErBa₂Cu₃O₇ 膜の磁場中超伝導特性", 低温工学, **41**, pp.123- 130, 2006
8. 三浦正志, 吉田隆, 一野祐亮, 伊藤正和, 高井吉明, 松本要, 一瀬中, 堀井滋, 向田昌志, "Sm/Ba 組成比が Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y 薄膜の磁場中 J_c 特性に及ぼす影響", 低温工学, Vol.40 No.12、2005
9. 向田昌志, 新海優樹, 堀出朋哉, 齋藤敦, 伊藤正志, 喜多隆介, 松本要, 吉田隆, 一瀬 中, 堀井滋, 山田和広, 森信幸, "BaZrO₃ 導入 ErBa₂Cu₃O₇ 膜の磁場中超伝導特性", 低温工学, Vol.41 No.3, 2005
10. 重森雅直, 内田智史, 堀井滋, 下山淳一, 岸尾光二, "3d 遷移金属置換 Bi(Pb)2212 単結晶の磁束ピンニング特性", 低温工学, **39**, p 155-160, 2004.
11. 伊藤正和, 吉田 隆, 一野祐亮, 三浦正志, 高井吉明, 松本 要, 一瀬 中, 向田昌志, 堀井 滋, "磁場中高 J_c 線材を目指した REBa₂Cu₃O_y 薄膜の作製", 低温工学, **39**, p.523-528, 2004.
12. 吉田 隆, 須藤公彦, 一野祐亮, 伊藤正和, 高井吉明, "高 J_cSm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+y} 膜の表面形状", 低温工学, **39**, p.483-487, 2004.
13. 松本 要, 志井秀行, 一瀬 中, 足立大樹, 吉田 隆, 堀井 滋, 向田昌志, 長村光造, "2 軸配向金属基板上に成膜した CeO₂ 薄膜の結晶配向と微細組織", 日本金属学会誌, **68**, p.730-736, 2004 [0.486].
14. 吉田 隆, 松本 要, 須藤公彦, 一野祐亮, 宮路幸司, 一瀬 中, 堀井 滋, 向田昌志, 高井 吉明, "レーザ蒸着法で作製した RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+y} 膜の高磁場中 J_c 特性", 日本金属学会誌, **68**, p.737-741, 2004 [0.486].
15. 堀井 滋, 向田昌志, 松本 要, 大狭間徹, 一瀬 中, 吉田 隆, 齋藤 敦, 下山淳一, 岸尾光二, "パルスレーザー蒸着法で作製した ErBa₂Cu₃O_y 薄膜の超伝導特性に与える酸素アニール効果", 日本金属学会誌, **68**, p.748-755, 2004 [0.486].
16. 長村光造, 松本 要, "実用超伝導線材の開発状況と展望", 応用物理, **73**, p.3-13, 2004.
17. 向田昌志, 山寄裕弥, 深海優樹, 楠 正暢, 松本 要, 吉田 隆, 一瀬 中, 堀井 滋, 齋藤 敦, 大嶋重利, "マイクロ波デバイス用各種バッファー層上の YBa₂Cu₃O_{7-d} 薄膜の結晶性", 低温工学, **38**, p. 546-553, 2003.
18. 一野祐亮, 須藤公彦, 吉田 隆, 高井吉明, 向田昌志, 松本 要, "Pulsed Laser Deposition

法で作成した $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の配向性と超伝導特性 (RE=Nd, Sm, Gd, Y, and Yb) ” ,
低温工学, **38**, p.672-679, 2003.

19. 松本 要, ”薄膜法を用いた高温超伝導テープ線材の開発”, 表面技術, **54**, p.997-999, 2003.

(国際誌)

1. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, R. Kita, “Ultra-high flux pinning properties of BaMO_3 -doped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ thin films (M=Zr, Sn)”, Supercond. Sci. Technol., **21**, 2008, in press.
2. Kazuhiro Yamada, Ataru Ichinose, Shuhei Yasunaga, Ryo Teranishi, Masashi Mukaida, Shigeru Horii, Ryushuke Kita, Shingo Kato, Yutaka Yoshida, Kaname Matsumoto, “TEM Analysis of Nanorods in BaSnO_3 -Doped $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ Films”, Jpn. J. Appl. Phys., **47**, 2008, in press.
3. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, R. Kita, “Incorporation of double artificial pinning centers in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ films”, Supercond. Sci. Technol., **21**, pp. 015019-015026, 2008.
4. S. Horii, K. Yamada, H. Kai, A. Ichinose, M. Mukaida, R. Teranishi, R. Kita, K. Matsumoto, Y. Yoshida, J. Shimoyama, K. Kishio, “Introduction of c-axis-correlated 1D pinning centers and vortex Bose glass in Ba-Nb-O-doped $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films”, Supercond. Sci. Technol., **20**, pp. 1115-1119, 2007 [1.440].
5. Ataru Ichinose, Kazuaki Naoe, Tomoya Horide, Kaname Matsumoto, Ryusuke Kita, Masashi Mukaida, Yutaka Yoshida and Shigeru Horii, “Microstructures and critical current densities of YBCO films containing structure-controlled BaZrO_3 nanorods”, Supercond. Sci. Technol. **20**, pp. 1144-1150, 2007 [1.440].
6. T. Horide, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Magnetic-field-induced crossover from flux-flow to Josephson-junction behavior in a highly transparent weak link”, Phys. Rev. B, **75**, pp. 020504-020507, 2007 [3.107].
7. T. Horide, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Matching field effect of the vortices in $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin film with gold nanorods”, Supercond. Sci. Technol., **20**, pp. 303-306, 2007 [1.440].
8. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Enhanced high-field performance in PLD films fabricated by ablation of YSZ-added $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ target”, Supercond. Sci. Technol., **20**, pp. 244-250, 2007 [1.440].
9. S. Awaji, M. Namba, K. Watanabe, M. Miura, Y. Yoshida, Y. Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, “C-axis correlated pinning behavior near the irreversibility fields”, Appl. Phys. Lett., **90**, pp. 122501-122503, 2007 [3.977].
10. Kazuhiro Yamada, Ataru Ichinose, Yoshitsugu Tomokiyo, Yuki Shingai, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ryusuke Kita, Shoichi Toh, Kenji Kaneko, Nobuyuki Mori, and Masashi Mukaida, “Moiré Fringe Analysis of BaZrO_3 Nanorods in $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ Films”, Jpn. J. Appl. Phys., **46**, pp. 708-711, 2007.
11. Masashi Miura, Yutaka Yoshida, Toshinori Ozaki, Yusuke Ichino, Yoshiaki Takai, Kaname Matsumoto, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Masashi Mukaida, “Enhanced Critical Current under a Magnetic Field in $\text{Sm}_{1+x}\text{B}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ Thick Films Prepared Using Low-temperature Growth Technique”, Jpn. J. Appl. Phys., **46**, pp. L807-L809, 2007.
12. T. Horide, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Vortex pinning by gold nanorods in $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin films”, IEEE Trans. Appl. Supercond., 2007, **17**, pp.3729-3732, 2007.
13. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Fabrication of thick $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films on optimized SrTiO_3 buffered-MgO single crystals”, IEEE Trans. Appl. Supercond., **17**, pp.3713-3716, 2007.
14. A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, R. Kita, K. Matsumoto, Y. Yoshida, “Microstructures of high- T_c superconducting films introduced zero-dimensional and one-dimensional artificial pinning centers”, IEEE Trans. Appl. Supercond., **17**, pp.3701-3704, 2007.
15. T. Horide, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Matching field effect

- of the vortices in $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin film with gold nanorods”, *Supercond. Sci. Technol.*, **20**, pp. 303-306, 2007 [1.440].
16. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Enhanced high-field performance in PLD films fabricated by ablation of YSZ-added $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ target”, *Supercond. Sci. Technol.*, **20**, pp. 244-250, 2007 [1.440].
 17. R. Kita, A. Anma, T. Nakamura, A. Ichinose, O. Miura, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii, “Growth of $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films prepared by BaF_2 process without water vapor”, *Mod. Phys. Lett. B*, **21**, pp. 1377-1382, 2007..
 18. Y. Ichino, Y. Yoshida, M. Miura, Y. Takai, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, S. Awaji and K. Watanabe, “Flux pinning properties in high magnetic field and low temperature of $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 639-643
 19. S. Funaki, Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida and S. Horii, “Enhancement of dislocation density in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films prepared by low temperature growth technique”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 644-648
 20. T. Ozaki, Y. Yoshida, M. Miura, Y. Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii and M. Mukaida, “Current-carrying property and microstructure of multilayered $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ thick films”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 649-652
 21. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida and S. Horii, “ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x} + \text{YSZ}$ mixed films with enhanced critical current densities in magnetic field”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 653-656
 22. A. Ichinose, M. Mukaida, P. Mele, T. Horide, K. Matsumoto, R. Kita, Y. Yoshida and S. Horii, “Microstructures of BaZrO_3 -doped $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films fabricated by different BaZrO_3 supply”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 657-660
 23. S. Awaji, M. Namba, K. Watanabe, M. Miura, Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai and K. Matsumoto, “ J_c and B_i properties of $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ films with nano-particles”, *Physica C*: **463-465**, 1 October 2007, Pages 669-673
 24. T. Horide, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose and S. Horii, “The limitation mechanism of J_c - θ characteristics in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ thin film with a single low angle grain boundary”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 678-681
 25. S. Futami, K. Matsumoto, A. Ibi, Y. Yamada and Y. Shiohara,, “EBSP observation of oriented textures in Y-based coated conductors”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 727-731
 26. H. Kai, M. Mukaida, S. Horii, A. Ichinose, R. Kita, S. Kato, K. Matsumoto, Y. Yoshida, R. Teranishi, K. Yamada, et al., “Superconducting properties and microstructure of PLD- $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ film with BaNb_2O_6 ”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 895-899
 27. S. Yasunaga, M. Mukaida, S. Horii, R. Kita, S. Kato, A. Ichinose, Y. Yoshida, K. Matsumoto, R. Teranishi, K. Yamada, et al., “Pulsed laser deposition of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films with BaZrO_3 nano-particles by using a novel target”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 900-903
 28. M. Takamura, M. Mukaida, Y. Shingai, R. Teranishi, K. Yamada, N. Mori, S. Horii, A. Ichinose, R. Kita, S. Kato, et al., “A new approach to a two-dimensional artificial pinning center”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 904-908
 29. Y. Shingai, T. Numasawa, M. Mukaida, R. Teranishi, R. Kita, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, S. Awaji, et al., “Characteristics of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films with BaWO_4 doping”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 909-913
 30. S. Horii, A. Ichinose, Y. Ichino, T. Ozaki, Y. Yoshida, K. Matsumoto, M. Mukaida, J. Shimoyama and K. Kishio, “Critical current properties and microstructures in impurity-doped $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films”, *Physica C* **463-465**, 1 October 2007, Pages 922-926
 31. M. Mukaida, T. Horide, Y. Shingai, A. Ichinose, K. Matsumoto, S. Horii, R. Kita, Y. Yoshida, S. Awaji, K. Watanabe, T. Teranishi, K. Yamada, N. Mori, Microstructure and J_c characteristics of Er123 films with artificial pinning centers”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **17**, pp.3688-391, 2007.
 32. S. Awaji, M. Namba, K. Watanabe, M. Miura, Y. Ichinose, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, “Irreversibility field and c -axis correlated pinning in high- J_c SmBCO films”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **17**, pp.3656-3659, 2007.
 33. T. Ozaki, Y. Yoshida, M. Miura, Y. Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M.

- Mukaida, “Enhancement of critical current in $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ multilayer films with the insertion of Sm-rich phase”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **17**, pp.3270-3273, 2007.
34. M. Miura, Y. Yoshida, T. Ozaki, Y. Ichino, M. Masakazu, S. Funaki, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, S. Awaji, K. Watanabe, “Magnetic field dependence of critical current density and microstructure in $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ films on metallic substrates”, *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **17**, pp.3247-3250, 2007.
 35. S. Horii, A. Ichinose, Y. Ichino, T. Ozaki, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, J. Shimoyama, and K. Kishio, “Critical current properties and microstructures in impurity-doped $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films”, *Physica C* **463-465**, pp. 922-926 (2007).
 36. S. Horii, K. Yamada, H. Kai, A. Ichinose, M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, R. Kita, J. Shimoyama, and K. Kishio, “Introduction of c-axis correlated 1D pinning centers and vortex Bose glass in Ba-Nb-O-doped $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films”, *Supercond. Sci. Technol.*, **20**, pp. 1115-1119, 2007 [1.440].
 37. T. Horide, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, “Combined effect of a single grain boundary and artificial pinning centers on the critical current density in a $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ thin film”, *Appl. Phys. Lett.*, **89**, pp.172505- 172507, 2006 [3.977].
 38. Yusuke Ichino, Hisayoshi Matsuo, Yutaka Yoshida, Yoshiaki Takai, Kaname Matsumoto, Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, “Possibility of high deposition rate in $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films prepared using the vapor-liquid-solid growth mode”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **45**, p.758-760, 2006 [1.222].
 39. Masashi Miura, Yutaka Yoshida, Yusuke Ichino, Yoshiaki Takai, Kaname Matsumoto, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Masashi Mukaida, “Enhancement of flux-pinning in epitaxial $\text{Sm}_{1-x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ films by introduction of low- T_c nanoparticles”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **45**, L11-L13, 2006 [1.222].
 40. Shigeru Horii, Yusuke Ichino, Toshiki Ozaki, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Jun-ichi Shimoyama, Koji Kishio, “c-axis Correlated Vortex Pinning Center Induced by Dilute Co-doping in Pulsed-Lase-deposition- $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **45**, pp.L617-L620, 2006 [1.222].
 41. Masakazu Haruta, Takanori Fujiyoshi, Tetsuro Sueyoshi, Kimitaka Desaki, Masashi Mukaida, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, “Flux Pinning Properties of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films with BaZrO_3 nanorods”, *Supercond. Sci. Technol.*, **19**, pp. 803–807, 2006 [1.440].
 42. K. Yokoyama, R. Kita, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaidad, S. Horii, A. Ichinose, Superconducting properties and orientation behavior of $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (RE = Yb, Er, Sm, Nd and La) films by metal-organic deposition, *Modern Phys. Lett. B*, Vol. 20, No. 12 (2006) 705-713 [0.569].
 43. M. Miura, Y. Yoshida, Y. Ichino, T. Ozaki, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, “Dislocation density and critical current density in $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ films prepared by various fabrication processes.”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **45**, pp. L701-L704, 2006 [1.222].
 44. T. Horide, K. Matsumoto, H. Adachi, D. Takahara, K. Osamura, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida and S. Horii, “Evaluation of Metallic Nanoparticles in $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (RE=Y, Gd) Thin Films by Small Angle X-Ray Scattering”, *Physica C* **445-448**, pp. 652-655, 2006 [0.792].
 45. P. Mele , K. Matsumoto, T. Horide , O. Miura, A. Ichinose, M. Mukaida , Y. Yoshida and S. Horii, “Critical current enhancement in PLD $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films using artificial pinning centers”, *Physica C* **445-448**, pp. 648-651, 2006 [0.792].
 46. Y. Yoshida, K. Matsumoto, M. Miura, Y. Ichino, Y. Takai, A. Ichinose, M Mukaida, S. Horii, “Controlled nanoparticulate flux pinning structures in $\text{RE}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ films”, *Physica C*, **445-448**, pp. 637-642, 2006 [0.792].
 47. Y. Ichino, T. Ozaki, Masashi Miura, Yutaka Yoshida, Yoshiki Takai, Kaname Matsumoto, Masashi Mukaida , Ataru Ichinose, Shigeru Horii, “Comparative study of carrier concentration and reciprocal space mapping in $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films with high critical current density”, *Physica C* **445-448**, pp. 689–693, 2006 [0.792].
 48. S. Horii, Y. Ichino, Y. Yoshida, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, J. Shimoyama, K. Kishio, “Dilute Co-doping effects on critical current properties in PLD- $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films”, *Physica C* **445-448**, pp. 837-840, 2006 [0.792].

49. M. Miura, Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, "ADDITION OF LOW- T_c -NANOPARTICLES DISPERSIONS TO ENHANCE FLUX PINNING OF $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ FILMS", *Physica C* **445-448**, pp. 845-848, 2006 [0.792].
50. R. Kita, T. Naito, A. Shiraishi, K. Oidaira, T. Nakamura, O. Miura, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii and A. Ichinose, "Effect of Ta_2O_5 addition on the superconducting properties of $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ ", *Physica C* **445-448**, pp. 391-394, 2006 [0.792].
51. K. Yokoyama, R. Kita, A. Ichinose, O. Miura, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii, "SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (RE=Y and Gd) FILMS PREPARED BY THE BaF_2 PROCESS", *Physica C* **445-448**, pp. 587-589, 2006 [0.792].
52. M. Mukaida, A. Saito, R. Kita, K. Matsumoto, A. Ichinose, Y. Yoshida, S. Horii, K. Yamada and N. Mori, "Surface resistance of RE123 films with artificial pinning centers", *Physica C*: **445-448**, pp. 828-832, 2006 [0.792].
53. K. Yamada, A. Ichinose, Y. Shingai, K. Matsumoto, Y. Yoshida, S. Horii, R. Kita, S. Toh, K. Kaneko, N. Mori, M. Mukaida, "TEM observation of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films with BaZrO_3 artificial pinning centers", *Physica C* **445-448**, pp. 660-664, 2006 [0.792].
54. Y. Shingai, T. Abe, M. Mukaida, R. Kita, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, K. Matsumoto, A. Saito, K. Yamada, N. Mori, "Improvement of superconducting properties by BaTiO_3 doping into $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films", *Physica C* **445-448**, pp. 841-844, 2006 [0.792].
55. M. Miura, M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, R. Kita, A. Saito, K. Kaneko, K. Yamada, N. Mori, "Effects of BaZrO_3 dispersion into $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ superconducting thin films", *Physica C* **445-448**, pp. 845-848, 2006 [0.792].
56. S. Horii, Y. Ichino, Y. Yoshida, M. Mukaida, K. Matsumoto, T. Horide, R. Kita, A. Ichinose, J. Shimoyama, K. Kishio, "Impurity-doping effects on critical current properties in $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films", Published by CD-ROM 2006, Proceedings of the 6th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology,
57. Kazuhiro YAMADA, Ataru ICHINOSE, Yoshitsugu TOMOKIYO, Yuki SHINGAI, Kaname MATSUMOTO, Yutaka YOSHIDA, Shigeru HORII, Ryusuke KITA, Shoichi TOH, Kenji KANEKO, Nobuyuki MORI, and Masashi MUKAIDA, "Moiré Fringe Analysis of BaZrO_3 Nanorods in $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ Films", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **46**, pp. 708-711, 2006 [1.222].
58. Y. Ichino, H. Matsuo, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, "Possibility of High Deposition Rate in $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Films Prepared Using the Vapor-Liquid-Solid Growth Mode", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **Vol. 45**, No. 2A, pp. 758-760, 2006 [1.222].
59. M. Miura, Y. Yoshida, Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, "Enhancement of Flux-Pinning in Epitaxial SmBCO Films by Introduction of Low- T_c Nanoparticles.", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **Vol. 45**, No. 1, pp. L11-L13, 2006, Dec.28 [1.222].
60. Yutaka YOSHIDA, Kaname MATSUMOTO, Masashi MIURA, Yusuke ICHINO, Yoshiaki TAKAI, Ataru ICHINOSE, Shigeru HORII and Masashi MUKAIDA, "High-Critical-Current-Density $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Films Induced by Surface Nanoparticle", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **Vol. 44**, L 546-L 548, 2005 [1.096].
61. K. Matsumoto, D. Takahara, T. Horide, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, M. Mukaida, K. Osamura, "High- J_c Gd-Ba-Cu-O Epitaxial Films Prepared by Pulsed Laser Deposition", *IEEE Trans. Applied. Supercond.*, *IEEE Trans. Applied. Supercond.*, **Vol.15**, pp.2719 - pp.2722, 2005 [1.071].
62. Yutaka Yoshida, Yusuke Ichino, Masashi Miura, Yoshiaki Takai, Kaname Masumoto, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, M. Mukaida, "High Critical Current Density in High Field in $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+y}$ Thin Films", *IEEE Trans. Applied. Supercond.*, **Vol.15**, pp.2727 - pp.2730, 2005 [1.071].
63. Y. Shingai, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, F. Hirose, K. Koike, A. Saito, S. Ohshima, "Fabrication of a/c Axes Oriented Grain Boundaries in YBCO Films by Selective Growth", *IEEE Trans. Applied. Supercond.*, **Vol.15**, pp.2935 - pp.2938, 2005 [1.071].
64. Y. Nakamura, Y. Isozaki, M. Miura, T. Kuroiwa, Y. Yoshida, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, S. Ohshima, "YBCO Thin Films on TiO_2 Buffer Layer Deposited by RF Magnetron Sputtering", *IEEE Trans. Applied. Supercond.*, **Vol.15**, pp.3028 - pp.3030, 2005 [1.071].

65. O. Miura, Y. Ono, D. Ito, K. Matsumoto, "Critical Current Density Characteristics in YBCO Films on MgO Substrates by Pulsed Laser Deposition", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp.3042 - pp.3045, 2005 [1.071].
66. Masashi Miura, Masakazu Itoh, Yusuke Ichino, Yutaka Yoshida, Yoshiaki Takai, Kaname Matsumoto, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Masashi Mukaida, "Effect of Sm/Ba Substitution on the J_c in Magnetic Field of SmBCO Thin films by Low Temperature Growth Technique", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp.3078 - pp.3081, 2005 [1.071].
67. Ataru Ichinose, Kaname Matsumoto, Masashi Mukaida, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Shirabe Akita, "Microstructure of High- T_c Superconducting Films Having Artificial Pinning Centers", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp.3718 - pp.3721, 2005 [1.071].
68. Y. Ichino, R. Honda, M. Miura, M. Itoh, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, "Microstructure and Field Angle Dependence of Critical Current Densities in REBa₂Cu₃O_y Thin Films Prepared by PLD Method", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp.3730 - pp.3733, 2005 [1.071].
69. T. Horide, K. Matsumoto, A. Ichinose, Y. Yoshida, S. Horii, M. Mukaida, K. Osamura, "Angular Dependence of Critical Current Density in Y-Ba-Cu-O Thin Films", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp.3734 - pp.3737, 2005 [1.071].
70. K. Matsumoto, T. Horide, P. Mele, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, M. Mukaida, K. Osamura, " J_c Enhancement in YBa₂Cu₃O_x Thin Films by Introduction of One-Dimensional Artificial Pinning Centers", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp.3774 - pp.3777, 2005 [1.071].
71. S. Sugai, N. Kaji, A. Osuka, K. Takenaka, S. Horii, and H. Ikuta, "Tomonaga-Luttinger Liquid-Fermi Liquid Transition in chain of PrBa₂Cu₄O₈", J. Phys. Soc. Jpn. **Vol. 74**, pp. 871-874 (2005) [1.760].
72. T. Nakashima, T. Maruyama, M. Honzumi, S. Horii, J. Shimoyama, and K. Kishio, "Control of microstructure in Er123 melt-solidified bulks for enhanced critical current properties", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp.3176 - pp.3179, 2005 [1.071].
73. S. Ohshima, K. Takeishi, A. Saito, M. Mukaida, Y. Takano, T. Nakamura, I. Suzuki, M. Yokoo, "A simple measurement technique for critical current density by using a permanent magnet", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp. 2911-pp.2914, 2005 [1.071].
74. S. Ohshima, M. Shirakawa, T. Nishimura, A. Saito, M. Mukaida, "Hetero-epitaxial growth of YBCO thin films on the A-cut plane sapphire substrates", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp. 2985-pp.2988, 2005 [1.071].
75. A. Saito, M. Shirakawa, K. Kitamura, Y. Noguchi, M. Mukaida, H. Yamasaki, Y. Nakagawa, S. Ohshima, "Dependence of surface resistance in HTS thin films on a DC magnetic field", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp. 3692-pp.3695, 2005 [1.071].
76. A. Saito, M. Shirakawa, K. Kitamura, Y. Noguchi, M. Mukaida, H. Yamasaki, Y. Nakagawa, S. Ohshima, "Relationship between surface resistance and critical current density of HTS thin films in a DC magnetic field", IEEE Trans. Applied. Supercond., **Vol.15**, pp. 3696-pp.3699, 2005 [1.071].
77. F. Hirose, K. Kurita, Y. Takahashi, M. Mukaida, "Operation mechanism on SiGe/Si/Si PIN diodes explained using numerical simulation", ELECTROCHEMICAL AND SOLID STATE LETTERS 8 (7): **G160-G163**, 2005
78. M. Mukaida, T. Horide, R. Kita, S. Horii, A. Ichinose, Y. Yoshida, O. Miura, K. Matsumoto, K. Yamada, N. Mori, "Critical Current Density Enhancement Around a Matching Field in ErBa₂Cu₃O_{7-δ} Films with BaZrO₃ Nano-Rods", Jpn. J. Appl. Phys., **Vol. 44**, L952 - L954, 2005 [1.096].
79. K. Matsumoto, T. Horide, P. Mele, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, "Effects of artificial pinning centers on critical currents in high-temperature superconducting films", Physica C, **Vol. 426-431**, Pages 1091-10951, 2005 [0.948].
80. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, O. Miura, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, "Control of Y₂O₃ nanoislands deposition parameters in order to induce defects formation and its influence on the critical current density of YBCO films", Physica C, **Vol. 426-431**, Pages 1108-1112, 2005 [0.948].
81. Y. Yoshida, K. Matsumoto, M. Miura, Y. Ichino, Y. Takai, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii,

- “ J_c characteristics in high magnetic field and microstructure of $RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_{6+y}$ films”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 1043-1050, 2005 [0.948].
82. M. Miura, M. Itoh, Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, “In-plane alignment and superconducting properties in high- J_c $Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu_3O_y$ thin films”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 985-989, 2005 [0.948].
 83. R. Honda, Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, “Effect of substituted rare earth element in $(Yb_{1-x}Nd_x)Ba_2Cu_3O_y$ thin films on growth orientation and superconducting properties”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 1005-1009, 2005 [0.948].
 84. M. Mukaida, M. Miura, A. Ichinose, S. Horii, K. Matsumoto, Y. Yoshida, F. Hirose, K. Koike, Y. Takahashi, A. Saito, S. Ohshima, “Crystal distortion associated with ortho-tetra transition of $REBa_2Cu_3O_x$ films”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 1010-1014, 2005 [0.948].
 85. M. Ito, M. Mukaida, R. Kita, A. Ichinose, S. Horii, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Saito, S. Ohshima, F. Hirose, “Microstructure of $ErBa_2Cu_3O_y$ films with $BaZrO_3$ dispersion pinning centers for high- J_c applications”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 1415-1418, 2005 [0.948].
 86. Y. Shingai, M. Mukaida, T. Ohazama, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, K. Koike, F. Hirose, A. Saito, S. Ohshima, “Growth and characterization of a-axis oriented $ErBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ films using double buffer layers”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 1424-1428, 2005 [0.948].
 87. M. Miura, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, A. Saito, F. Hirose, S. Ohshima, “Growth of $EuBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ films under an ozone atmosphere”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 1429-1433, 2005 [0.948].
 88. T. Ohazama, M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, F. Hirose, A. Saito, S. Ohshima, “Low surface resistance Zn-doped $ErBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thin films”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 1611-1615, 2005 [0.948].
 89. S. Horii, M. Mukaida, Y. Ichino, K. Matsumoto, T. Ohazama, A. Ichinose, Y. Yoshida, J. Shimoyama, K. Kishio, “Oxygen post-annealing effects on critical current properties of PLD- $ERBa_2Cu_3O_y$ films grown at several substrate temperature”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 1015-1020, 2005 [0.948].
 90. R. Kita, K. Nezu, K. Yokoyama, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii, A. Ichinose, “Effect of $AZrO_3$ ($A=Ca, Sr, Ba$) addition on the superconducting properties of $ErBa_2Cu_3O_y$ ”, *Physica C*, **Vol. 426-431**, Pages 550-555, 2005 [0.948].
 91. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, O. Miura, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida and S. Horii, “Tuning of critical current in $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ thin films by control of Y_2O_3 nanoislands size and density on annealed $SrTiO_3$ substrates”, *Supercond. Sci. Technol.* **Vol. 19**, page. 44–50, 2005 [1.440].
 92. Kaname Matsumoto, Tomoya Horide, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, “Critical current control in $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ films by artificial pinning centers”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**, L246-248, 2005 [1.096].
 93. Yutaka Yoshida, Kaname Matsumoto, Yusuke Ichino, Masashi Itoh, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Masashi Mukaida, Yoshiaki Takai, “High-critical-current density epitaxial films on $SrBa_2Cu_3O_{7-x}$ in high field”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**, L129-L132, 2005 [1.096].
 94. Tomoya Horide, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Kozo Osamura, “Anisotropy and Lorentz-force dependence of critical current density in the c-axis oriented $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thin film”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, **44**, L111-L113, 2005 [1.096].
 95. A. Yamamoto, J. Shimoyama, S. Ueda, Y. Katsura, S. Horii, and K. Kishio, “Improved critical current properties observed in MgB_2 bulks synthesized by low temperature solid-state reaction”, *Supercond. Sci. Technol.*, **18**, p.116-121, 2005 [1.896].
 96. K. Matsumoto, T. Horide, K. Osamura, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Enhancement of Critical Current Density of YBCO Films by Artificial Pinning Centers due to the Distributed Nano-Scaled Y_2O_3 Islands on Substrates”, *Physica C* **412-414**, p.1267-1271, 2004 [1.072].
 97. T. Horide, K. Matsumoto, K. Osamura, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Flux pinning properties of YBCO films deposited on $SrTiO_3(100)$ and $MgO(100)$ substrates”, *Physica C* **412-414**, p.1291-1295, 2004 [1.072].

98. S. Horii, M. Mukaida, K. Matsumoto, T. Ohazama, A. Ichinose, Y. Yoshida, J. Shimoyama, K. Kishio, "Post-annealing effects of superconducting properties on $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films fabricated by pulsed laser deposition", *Physica C* **412-414**, p.1306-1309, 2004 [1.072].
99. M. Ito, Y. Ichino, T. Miura, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, "Low temperature growth of high- J_c $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ films", *Physica C* **412-414**, p.833-837, 2004 [1.072].
100. A. Ichinose, Y. Yamamoto, M. Mukaida, A. Kikuchi, K. Tachikawa, S. Akita, K. Inoue, K. Matsumoto, Y. Yoshida, S. Horii, "Preparation of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films on cap-layer-buffered MgO substrates using precursor films deposited from Y, BaF_2 and Cu", *Physica C* **412-414**, p.1321-1325, 2004 [1.072].
101. Y. Yamamoto, M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, A. Saito, S. Oshima, "Evaluation of buffer materials for fluorine contained solid phase epitaxy of 123 film on MgO substrates", *Physica C* **412-414**, p.1316-1320, 2004 [1.072].
102. Y. Shingai, M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, A. Saito, S. Oshima, "Selective preferred orientation control of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films on a substrates", *Physica C* **412-414**, p.1296-1300, 2004 [1.072].
103. T. Ohazama, M. Mukaida, A. Ichinose, K. Matsumoto, Y. Yoshida, S. Horii, A. Saito, S. Oshima, "Growth of high-quality $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ thin films", *Physica C* **412-414**, p.1301-1305, 2004 [1.072].
104. Masashi Mukaida, Masashi Ito, Ryusuke Kita, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Atsushi Saito, Kunihiro Koike, Fumihiko Hirose, Shegetoshi Ohshima, "Reduction of surface resistance of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films by BaZrO_3 nano-particle inclusion", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**, p.L1623-L1625, 2004 [1.142].
105. Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, Kaname Matsumoto, Tohru Ohazama, Yutaka Yoshida, Jun-ichi Shimoyama, Kohji Kishio, "Enhancement of critical current density on $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films by a post-annealing process", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **43**, p.L1223-1225, 2004 [1.142].
106. A. Yamamoto, J. Shimoyama, S. Ueda, Y. Katsura, S. Horii, and K. Kishio, "Synthesis of high J_c MgB_2 bulks with high reproducibility by modified powder-in-tube method", *Supercond. Sci. Technol.*, **17**, p. 921-925, 2004 [1.556].
107. S. Ueda, J. Shimoyama, A. Yamamoto, S. Horii, and K. Kishio, "Enhanced critical current properties observed in Na_2CO_3 doped MgB_2 ", *Supercond. Sci. Technol.*, **17**, p.926-930, 2004 [1.556].
108. Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, H. Ikuta, U. Mizutani, "Influence of oxygen pressure and substrate temperature on $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ thin film qualities by pulsed laser deposition", *Supercond. Sci. Technol.*, **17**, p.775-780, 2004 [1.556].
109. K. Matsumoto, A. Takechi, T. Ono, I. Hirabayashi and K. Osamura, "Effect of perovskite oxide cap layer on superconducting properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ films grown on mechanically polished SOE substrates, *Physica C* **392-396**, p. 830-834 , 2003 [1.192].
110. A. Takechi, K. Matsumoto and K. Osamura, " $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films on oxide buffer layer with perovskite structure prepared by metal-organic deposition method", *Physica C* **392-396**, p. 895-899, 2003 [1.192].
111. Y. Ichino, R. Honda, K. Sudoh, Y. Yoshida, K. Matsumoto, R. Kita and Y. Takai, "The advantages of $\text{YbBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films for superconducting wire application", *Physica C* **392-396**, p. 1250-1255, 2003 [1.192].
112. A. Takechi, K. Matsumoto, K. Osamura, "Oxide buffer layer with perovskite structure for $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ coated conductors prepared by metal-organic deposition method", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **13**, p. 2551 -2554, 2003 [1.223].
113. K. Osamura, M. Sugano, K. Matsumoto, "Mechanical properties and their influence to transport property of multifilamentary Bi2223 tape", *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, **13**, p. 3540 -3543, 2003 [1.223].
114. Kozo Osamura, Michikazu Sugano, and Kaname Matsumoto, "Mechanical property and its influence on the critical current of Ag/Bi2223 tapes", *Supercond. Sci. Technol.*, **16**, p. 971-975, 2003 [2.247].
115. T. Ono, K. Matsumoto, K. Osamura, I. Hirabayashi, "Crystal growth of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ thin films

prepared by TFA-MOD method , IEEE Trans. Appl. Supercond., **13**, p. 2512 -2515, 2003 [1.223].

116. Tomoaki Ono, Kaname Matsumoto, Kozo Osamura and Izumi Hirabayashi , "Microstructural observation of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ thin films prepared by TFA-MOD method", Physica C**392-396**, p. 917-921, 2003 [1.192].
117. K. Matsumoto, A. Takechi, T. Ono, I. Hirabayashi, K. Osamura, "High critical current density $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films grown on mechanically polished surface-oxidized NiO/Ni substrates", IEEE Trans. Appl. Supercond., **13**, p. 2535 -2538, 2003 [1.223].

(2) その他の著作物 (総説、書籍など)

1. K. Matsumoto and Y. Yoshida, "Surface Decoration of Substrate to Increase Flux Pinning in YBCO and SmBCO films" "Flux Pinning and AC loss Studies on YBCO Coated Conductors" edited by M. P. Paranthaman and V. Selvamanickam, Nova Science Publishers (印刷中, 2007年発刊予定)
2. J. Shimoyama and S. Horii, "Chemical Doping in HTS materials to improve flux pinning" "Flux Pinning and AC loss Studies on YBCO Coated Conductors" edited by M. P. Paranthaman and V. Selvamanickam, Nova Science Publishers (印刷中, 2007年発刊予定)
3. 松本 要, "高温超伝導材料の高性能化と電力エネルギー貯蔵", OHM, **94**, pp. 25-32, 2007.
4. 松本 要(分担執筆), "ナノとエネルギー":丸善, 2006年発行
5. 松本 要(分担執筆), "超電導エネルギー工学":オーム社, 2006年
6. 堀井滋、松本要、一野祐亮、吉田隆、向田昌志、一瀬中、下山淳一、岸尾光二、"不純物ドーピングを利用した $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜への人工ピンの導入", 電気学会金属・セラミックス・マグネティクス合同研究会・資料, 2006/11/28
7. "表面・界面工学大系 <下巻> 応用編", 松本 要(分担執筆), フジテクノシステムズ, 2005
8. "強磁場環境を利用した高機能性酸化物の開発", 堀井滋, 綿打敏司, セラミックス, Vol. 40 No.3, p.178-183, 2005
9. "高温超伝導材料", 下山淳一、堀井滋, 日刊工業新聞社刊「工業材料」, 2006年1月号 (Vol.54, No.1)
10. "1次元人工ピン導入によるYBCO薄膜の J_c 制御", 松本 要, FSST NEWS(未踏科学技術協会), 104, p.9, 2005
11. 松本 要"ナノ組織制御による高温超伝導体の磁束ピンニング", 京都大学低温物質科学研究センター誌, 第6号, p.21-27, 2005
12. 長村光造, 松本 要, "実用超伝導線材の開発状況と展望", 応用物理, 73, p.3-13, 2004.
13. 松本 要, "YBCO 導体, バルクと応用", FSST NEWS (未踏科学技術協会), **100**, p.88, 2004.

(3) 学会発表(国際学会発表及び主要な国内学会発表)

招待講演 (国内会議 20 件、国際会議 36 件)

(国内会議)

1. 松本 要、超電導エネルギー貯蔵研究会・第 19 回超電導電力貯蔵研究発表会、霞ヶ関ビル・東海大学交友会館、2007。
2. 松本 要、(独)科学技術振興機構 2007 第 1 回基礎研究報告会「次世代エネルギー研究最前線」環境低負荷社会の創設に向けて、東京大学安田講堂、2007
3. 吉田 隆、“RE 系薄膜への人工ピンニングセンターの導入”、低温工学超電導学会 第 3 回材料研究会 / 九州・西日本支部 合同研究会、熊本大学、2006/11/19
4. 松本 要、“金属系超電導線材における高 J_c 化技術”、低温工学超電導学会 第 3 回材料研究会 / 九州・西日本支部 合同研究会、熊本大学、2006/11/19
5. 松本 要、未踏科学技術協会・超伝導科学技術研究会第 63 回ワークショップ、化学会館、2006。
6. 松本 要、電気学会東海支部若手セミナー(第 3 回)、名古屋大学、2006。
7. 三浦正志、2006 年度低温工学協会褒賞優良発表表彰受賞講演、2006 年度低温工学・超電導学会、大阪、2006 年 5 月 16 日。
8. 寺西 亮、応用物理学会講演奨励賞受賞講演、応用物理学会、滋賀、2006 年 8 月 29 日。
9. 寺西 亮、日本金属学会第 16 回奨励賞受賞講演、2006 年 9 月 16 日
10. 松本 要、低温工学九州・沖縄支部超伝導ワークショップ、沖縄コンベンションセンター、2005。
11. 吉田 隆、低温工学九州・沖縄支部超伝導ワークショップ、沖縄コンベンションセンター、2005。
12. 松本 要、低温工学関西支部第一回講演会・見学会、京都大学桂キャンパス、2005。
13. 一野祐亮、第 16 回応用物理学会講演奨励賞受賞講演、2004 年 9 月 1 日。
14. 松本 要、応用物理学会超伝導分科会主催第 29 回研究会「高温超伝導材料の高度化と強磁場応用」、東京海洋大学、2004。
15. 松本 要、秋季応用物理学会「応用物理における超伝導研究の新展開」シンポジウム、福岡大学、2003。
16. 松本 要、低温工学超電導応用研究会/東北・北海道支部「エレクトロニクス・線材応用のための高温超電導薄膜」、長岡技術科学大学、2003。
17. 松本 要、春季応用物理学関係連合講演会「超伝導膜から広がる次世代技術」シンポジウム、神奈川大学、2003。
18. 松本 要、電気学会関西支部「超伝導技術の現状と今後の展望」、大阪電気クラブ、2003。
19. 松本要(京大工)、向田 昌志(山形大工)、吉田隆(名大工)、一瀬中(電中研)、堀井滋(東大工)、“高 J_c 超伝導材料をめざした人工ピンニング技術とナノ組織制御(招待講演)”,平成 15 年秋季応用物理学会、福岡大学、平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
20. 松本 要:新しい超伝導テープ線材作製技術、第 50 回応用物理学関係連合講演会「超伝導膜から広がる次世代技術」シンポジウム、神奈川大学、2003 年 3 月 27 日(木)~30 日(日)

(国際会議)

1. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, “Nano-engineered high temperature superconductors: route to advanced superconductivity applications”, Materials Research Society (MRS) Spring Meeting, San Francisco, USA, March 2008.
2. Kaname Matsumoto, “Do-it-yourself flux pinning engineering in high T_c superconductors”, Nano-Virtual-Labs Joint Workshop on Superconductivity (NVLS2007-CC), Kitakyushu, Japan,

- December 2007.
3. Yutaka Yoshida, "Progress towards nanostructured SmBCO film for controlling pinning properties", Nano-Virtual-Labs Joint Workshop on Superconductivity (NVLS2007-CC), Kitakyushu, Japan, December 2007.
 4. Masashi Mukaida, "Perovskite structure as required for nanorods in REBCO films", Nano-Virtual-Labs Joint Workshop on Superconductivity (NVLS2007-CC), Kitakyushu, Japan, December 2007.
 5. Yutaka Yoshida, "Development of advanced PLD process for high J_c REBCO coated conductors", International Workshop on Coated Conductors for Applications (CCA2007), Jeju, Korea, November 2007.
 6. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, "Artificial pinning centers to maximize flux pinning in high temperature superconductors", 20th International Superconductivity Symposium (ISS'07), Tsukuba, Japan, November 2007.
 7. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, "Nano-engineered high temperature superconductors to control flux pinning", The 13th US-Japan Workshop on High Temperature Superconductors, Gifu, Japan, November 2007.
 8. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, "Artificial pinning centers to maximize flux pinning in high temperature superconductors", Campbell Conference in Flux Pinning and Related Effects-A Commemoration of the Career of Professor Archie Campbell, Cambridge, UK, September 2007.
 9. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, "Challenges to maximize flux pinning by nanoengineering", Nano-Virtual-Labs Joint Workshop on Superconductivity (NVLS2006), Kyoto, Japan, December 2006.
 10. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, "Critical current control using nanostructured high- T_c superconductors", Materials Science & Technology 2006 Conference and Exhibition (MS&T'06), Ohio, USA, October 2006.
 11. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, "Nanostructure Control of High-Temperature Superconductors to Improve Critical Current", Materials and Mechanism of superconductivity (M2S), Dresden, Germany, July 2006.
 12. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, "Nanostructure Control of High-Temperature Superconductors to Improve J_c ", Stanford-Wisconsin workshop on Coated Conductors, Palo Alto, USA, April 2006.
 13. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, "Artificial Pinning Center Technology: Critical Current Control Using Nanostructured High- T_c Superconductors", Nano-Virtual-Labs Joint Workshop on Superconductivity (NVLS2005), Awaji, Japan, December 2005.
 14. M. Mukaida, Y. Shingai, R. Teranishi, K. Yamada, and N. Mori, T. Horide, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, R. Kita, S. Horii, "Artificial Pinning control for Coated Conductors", Schlosshotel Monrepos, Ludwigsburg, Germany, CCA2006, 2006/7/5
 15. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, "Nanostructure control of high temperature superconductors to improve critical current", Dresden Congress Center, Germany, M2S-HTSC 2006, 2006/7/13
 16. Kaname Matsumoto; Yutaka Yoshida; Masashi Mukaida; Ataru Ichinose; Shigeru Horii, "Critical Current Control Using Nanostructured High- T_c Superconductors", Duke Energy Center, Cincinnati, Material Science and Technology 2006, 2006/10/16
 17. Y. Yoshida, M. Miura, T. Ozaki, Y. Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, S. Awaji, K. Watanabe, "Recent efforts to improve J_c in high magnetic field of nano structure controlled SmBCO films", Duke Energy Center, Cincinnati, Material Science and Technology 2006, 2006/10/16
 18. Kaname Matsumoto, Tomoya Horide, Paolo Mele, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, "Nanostructure control of REBCO films for enhancing flux pinning properties", 名古屋国際会議場, ISS2006, 2006/11/1
 19. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, T. Ozaki, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, "ENHANCED SUPERCONDUCTING PERFORMANCES IN NANOSTRUCTURED SmBCO COATED CONDUCTOR", 名古屋国際会議場, ISS2006, 2006/11/1

20. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Tomoya Horide, Masashi Mukaida, Shigeru Horii and Ataru Ichinose, "Flux pinning in nanostructured high-temperature superconductors (Invited)", PacRim6, Kapalua, Maui, USA, September 2005
21. Yutaka Yoshida, Kaname Matsumoto, Masashi Miura, Yusuke Ichino, Yoshiaki Takai, Ataru Ichinose, Shigeru Horii and Masashi Mukaida, "High- J_c of REBa₂Cu₃O_{6+y} films grown on surface nanoparticle dispersions (Invited)", PacRim6, Kapalua, Maui, USA, September 2005
22. Ichinose, M. Ichikawa, H. Suzuki, T. Takahashi, S. Torii, S. Akita, T. Okamoto, S. Mukoyama, A. Kimura, K. Yasuda, "R & D of 500m High- T_c Superconducting Power Cable in the Japanese National Project (Invited)", PacRim6, Kapalua, Maui, USA, September 2005
23. M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, R. Kita, "RE123films with 0, 1, 2, 3-dimensional pinning centers. -Concept and recent results (Invited)", 12th US-Japan Workshop on High Performance Superconductors, Lake Delavan, WI, USA, October 2005
24. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, "Controlled Nanoparticulate Flux Pinning Structures in RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+y} Films (Invited)", ISS2005, Tsukuba, Japan, October 2005
25. M. Mukaida, A. Saito, R. Kita, K. Matsumoto, A. Ichinose, Y. Yoshida, S. Horii, K. Yamada, N. Mori, "Surface resistance of RE123 films with artificial pinning centers (Invited)", ISS2005, Tsukuba, Japan, October 2005
26. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Tomoya Horide, P. Mele, D. Takahara, Masashi Mukaida, Shigeru Horii and Ataru Ichinose, "Artificial Pinning Centers to Control Flux pinning in High-Temperature Superconductors (Invited)", ISS2005, Tsukuba, Japan, October 2005
27. Masashi Mukaida, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Ataru Ichinose Shigeru Horii, Ryusuke Kita, Kazuhiro Yamada and Nobuyuki Mori, "ErBa₂Cu₃O_{7- δ} high critical temperature superconducting films with artificial pinning centers (Invited)", The 7th International Symposium on Materials Science and Engineering between Chonbuk National University and Kyushu University, Chonbuk National University, Korea, November 2005
28. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, "Dispersion of Nanoparticulate Pinning Center in High- J_c SmBaCuO Films (Invited)", CCA2005, Santa Fe, New Mexico, USA, December 2005
29. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, "Controlled nanostructure to enhance flux pinning in REBCO superconducting film (Invited)", NVLS2005, Awaji-shima, Japan, December 2005
30. M. Mukaida, T. Horide, A. Saito, A. Ichinose, K. Matsumoto, S. Horii, R. Kita, Y. Yoshida, K. Yamada, N. Mori, "ErBa₂Cu₃O_{7- δ} films with zero-dimensional pinning centers (Invited)", NVLS2005, Awaji-shima Japan, December 2005
31. K. Matsumoto, T. Horide, Paolo Mele, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, "Artificial Pinning Center Technology: Critical Current Control Using Nanostructured High- T_c Superconductors (Invited)", NVLS2005, Awaji-shima Japan, December 2005
32. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Shigeru Horii and Ataru Ichinose, "High Critical Current Densities in High Fields in the Epitaxial RBa₂Cu₃O_x (R=Sm, Gd, Er) Films", 106th Annual Meeting & Exposition of The American Ceramic Society, 2004/4/18-21
33. Kaname Matsumoto, Tomoya Horide, Paolo Mele, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Shigeru Horii and Ataru Ichinose, "Introducing of Artificial Pinning Center into HTS Films for Jc Enhancement", CCA2004, 2004/11/18-20
34. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Nagoya University, JST; Y. Takai, Nagoya University; K. Matsumoto, Kyoto university, JST; A. Ichinose, Central Research Institute of Electric Power Industry, JST; S. Horii, University of Tokyo, JST; M. Mukaida, Yamagata Univ., "Jc Characteristics in High Magnetic Field and Microstructure of RE_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+y} Films", CCA2004, 2004/11/18-20
35. K. Matsumoto, T. Horide, P. Mele, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii and K. Osamura, "Effects of Artificial Pinning Centers on Critical Currents in High-temperature Superconducting films", 第 17 回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
36. Kaname Matsumoto, T. Horide, P. Mele, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose and S. Horii, "Effects of Artificial Pinning Centers on Vortex Pinning in High-Temperature Superconducting Films.", 2005 MRS Spring Meeting, 2005/3/28-4/1, Moscone West (SF)

(国内会議)

1. 加藤辰吾, 中村達徳, 喜多隆介, 三浦大介, 松本 要, 向田昌志, 一瀬 中, 吉田 隆, 堀井 滋, Y123 相における BaSnO_3 の安定性, 第68回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007年9月6日
2. 中村達徳, 喜多隆介, 三浦大介, 一瀬 中, 松本 要, 吉田 隆, 向田昌志, 堀井 滋, ナフテン酸塩を用いたMOD-GdBCO膜配向性の膜厚依存性, 第68回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007年9月6日
3. 瀧野訓康, 喜多隆介, 三浦大介, 一瀬 中, 松本 要, 吉田 隆, 向田昌志, 堀井 滋、金属オクチル酸塩を用いたMOD-SmBCO膜の作製及び評価, 第68回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007年9月6日
4. 鶴飼英亮, 喜多隆介, 三浦大介, 一瀬 中, 松本 要, 吉田 隆, 向田昌志, 堀井 滋、オクチル酸塩を用いたMOD法による $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜へのTFA添加効果, 第68回応用物理学会学術講演会、北海道工業大学、2007年9月6日
5. 松本 要、メレ パオロ、堀出朋哉、一瀬 中、吉田 隆、喜多隆介、向田昌志、堀井 滋、“種々の次元性の人口ピンによる磁束量子のピン止め”, 2007年春季低温工学・超電導学会, 千葉大学, 2007/5/17
6. MELE Paolo, 松本 要, 堀出 朋哉, 一瀬 中, 向田 昌志, 吉田 隆, 堀井 滋, “Critical current enhancements in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films incorporating nanoparticulate Y_2O_3 Artificial Pinning Centers”, 2007年春季低温工学・超電導学会, 千葉大学, 2007/5/17
7. 一瀬 中, 直江和明, 堀出朋哉, P. Mele, 松本 要, 向田昌志, 喜多隆介, 吉田 隆, 堀井 滋, “ BaZrO_3 ナノロッドを含む超電導膜の微細組織制御と超電導特性”, 2007年春季低温工学・超電導学会, 千葉大学, 2007/5/17
8. 尾崎壽紀、吉田隆、一野祐亮、三浦正志、高井吉明、松本要、向田昌志、一瀬中、堀井 滋, “PLD- $\text{CeO}_2/\text{IBAD-YSZ}$ テープ上における $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 厚膜の高 I_c 化”, 2007年春季低温工学・超電導学会, 千葉大学, 2007/5/17
9. K. Inoue, Y. Yoshida, Y. Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, “低温成膜法で作製した $(\text{Nd, Eu, Gd})_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の磁場中超伝導特性”, 2007年春季低温工学・超電導学会, 千葉大学, 2007/5/17
10. 淡路 智, 難波雅史, 渡辺和雄, 野島 勉, 岡安 悟, 三浦正志, 一野祐亮, 吉田 隆, 高井吉明, 堀出 朋哉, Paolo Mele, 松本 要, 向田 昌志, “異なるc軸相関ピンが磁束ピンニング状態図に及ぼす影響”, 2007年春季低温工学・超電導学会, 千葉大学, 2007/5/17
11. 甲斐 英樹, 向田 昌志, 寺西 亮, 森 信幸, 山田 和広, 堀井 滋, 一瀬 中, 松本 要, 吉田 隆, 喜多 隆介, 加藤辰吾, “PLD法で作製した BaNb_2O_6 ドープ $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜の超伝導特性と微細構造”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8
12. 向田昌志、安永周平、堀出朋哉、一瀬中、寺西亮、山田和広、森信幸、松本要、喜多隆介、吉田隆、堀井滋, “PLD法による BaSnO_3 導入 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 超伝導薄膜の作製と評価”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8
13. 山田和広、向田昌志、寺西 亮、甲斐英樹、一瀬 中、喜多隆介、加藤辰吾、堀井 滋、吉田 隆、松本 要、藤 昇一, “Ba-Nb-O 添加 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜における1次元APCのTEMによるナノ構造解析”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8
14. 寺西亮、向田昌志、山田和広、森信幸、安永周平、甲斐英樹、藤吉孝則、堀井滋、一瀬中、松本要、吉田隆*、喜多隆介、淡路智, “PLD法によるRE123膜中への BaZrO_3 の導入と超伝導特性”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8
15. 高村 真琴, 向田 昌志, 寺西 亮, 森 信幸, 山田 和広, 堀井 滋, 一瀬 中, 松本 要, 吉田 隆, 喜多 隆介, 加藤辰吾, “ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜中への2次元人工ピンニングセンターの導入”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8

16. 堀井滋、甲斐英樹、向田昌志、一野祐亮、松本要、吉田隆、一瀬中、下山 淳一、岸尾光二、“不純物を添加した PLD-ErBa₂Cu₃O_y 薄膜の臨界電流特性”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/27
17. 寺西 亮、向田昌志、山田和広、森 信幸、新海優樹、安永周平、甲斐英樹、堀井 滋、松本要、吉田 隆、一瀬 中、喜多隆介、“PLD 法による BaZrO₃ 導入 RE123 膜の作製”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
18. 甲斐 英樹、向田 昌志、寺西 亮、山田 和広、森 信幸、堀井 滋、一瀬 中、松本要、吉田 隆、喜多 隆介、加藤 辰吾、“PLD 法で作製した BaNb₂O₆ ドープ ErBa₂Cu₃O_{7-δ} 薄膜の超伝導特性と微細構造”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
19. 後藤剛輔、向田昌志、寺西亮、森信幸、田和広、吉田隆、一瀬中、松本要、堀井滋、喜多隆介、“規則的に配列された BaZrO₃ ナノパーティクル上に成長したナノロッドの微細構造”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
20. 安永周平、向田昌志、堀出朋哉、一瀬中、加藤辰吾、寺西亮、山田和広、森信幸、松本要、喜多隆介、吉田隆、堀井滋、“PLD 法による BaSnO₃ 導入 ErBa₂Cu₃O_{7-δ} 超伝導薄膜の作製と評価”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
21. 高村真琴、向田昌志、堀井滋、一瀬中、喜多隆介、加藤辰吾、松本要、吉田隆、寺西亮、新海優樹、山田和広、森信幸、“2次元人工ピンニングセンター導入に対する新しい試み”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
22. 山田和広、向田昌志、甲斐英樹、喜多隆介、加藤辰吾、一瀬 中、堀井 滋、吉田 隆、松本要、藤 昇一、“ErBa₂Cu₃O_{7-δ} 薄膜における BaNb₂O₆ ナノロッドの透過電子顕微鏡法による微細構造解析”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
23. 中村達徳、喜多隆介、三浦大介、一瀬中、吉田 隆、松本 要、向田昌志、堀井滋、“MOD 法による GdBCO 膜作製における前駆体膜組成の影響”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
24. 一瀬 中、新海優樹、甲斐英樹、安永周平、向田昌志、喜多隆介、松本 要、吉田 隆、堀井滋、“Ba 複合酸化物による人工ピンニングセンターを含む ErBa₂Cu₃O_y 膜の微細構造”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
25. 難波 雅史、淡路 智、渡辺 和雄、堀出 朋哉、Mele Paolo、松本 要、吉田 隆、向田 昌志、堀井 滋、一瀬 中、喜多 隆介、“BaZrO₃ 添加 YBa₂Cu₃O_y 膜の磁束相図”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学 相模原キャンパス、2007 年 3 月 28 日
26. 堀出 朋哉、松本 要、一瀬 中、喜多 隆介、向田 昌志、吉田 隆、堀井 滋、“長さを制御した BaZrO₃ ナノロッドのピンニングメカニズム”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
27. 松本 要、メレ パオロ、堀出朋哉、一瀬 中、吉田 隆、喜多隆介、向田昌志、堀井 滋、“種々の次元性の人工ピンによる磁束量子のピン止め”、2007 年春季低温工学・超電導学会、千葉大学、2007/5/17
28. MELE Paolo、松本 要、堀出 朋哉、一瀬 中、向田 昌志、吉田 隆、堀井 滋、“Critical current enhancements in YBa₂Cu₃O_{7-x} films incorporating nanoparticulate Y₂O₃ Artificial Pinning Centers”、2007 年春季低温工学・超電導学会、千葉大学、2007/5/17
29. 一瀬 中、直江和明、堀出朋哉、P. Mele、松本 要、向田昌志、喜多隆介、吉田 隆、堀井 滋、“BaZrO₃ ナノロッドを含む超電導膜の微細組織制御と超電導特性”、2007 年春季低温工学・超電導学会、千葉大学、2007/5/17
30. 尾崎壽紀、吉田隆、一野祐亮、三浦正志、高井吉明、松本要、向田昌志、一瀬中、堀井滋、“PLD-CeO₂/IBAD-YSZ テープ上における Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y 厚膜の高 Ic 化”、2007 年春季低温工学・超電導学会、千葉大学、2007/5/17
31. K. Inoue, Y. Yoshida, Y. Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, “低温成膜法で作製した(Nd, Eu, Gd)_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y 薄膜の磁場中超伝導特性”、2007 年春季低温工学・超電導学会、千葉大学、2007/5/17
32. 淡路 智、難波雅史、渡辺和雄、野島 勉、岡安 悟、三浦正志、一野祐亮、吉田 隆、高井

- 吉明, 堀出 朋哉, Paolo Mele, 松本 要, 向田 昌志, “異なるc軸相関ピンが磁束ピンニング状態図に及ぼす影響”, 2007 年春季低温工学・超電導学会, 千葉大学, 2007/5/17
33. 甲斐 英樹, 向田 昌志, 寺西 亮, 森 信幸, 山田 和広, 堀井 滋, 一瀬 中, 松本 要, 吉田 隆, 喜多 隆介, 加藤辰吾, “PLD 法で作製した BaNb_2O_6 ドープ $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜の超伝導特性と微細構造”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8
 34. 向田昌志, 安永周平, 堀出朋哉, 一瀬中, 寺西亮, 山田和広, 森信幸, 松本要, 喜多隆介, 吉田隆, 堀井滋, “PLD 法による BaSnO_3 導入 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 超伝導薄膜の作製と評価”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8
 35. 山田和広, 向田昌志, 寺西 亮, 甲斐英樹, 一瀬 中, 喜多隆介, 加藤辰吾, 堀井 滋, 吉田隆, 松本 要, 藤 昇一, “Ba-Nb-O 添加 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜における 1 次元 APC の TEM によるナノ構造解析”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8
 36. 寺西亮, 向田昌志, 山田和広, 森信幸, 安永周平, 甲斐英樹, 藤吉孝則, 堀井滋, 一瀬中, 松本要, 吉田隆, 喜多隆介, 淡路智, “PLD 法による RE123 膜中への BaZrO_3 の導入と超伝導特性”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8
 37. 高村 真琴, 向田 昌志, 寺西 亮, 森 信幸, 山田 和広, 堀井 滋, 一瀬 中, 松本 要, 吉田 隆, 喜多 隆介, 加藤辰吾, “ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜中への 2 次元人工ピンニングセンターの導入”, 金属学会九州支部講演会, 熊本大学, 2007/6/8
 38. 三浦正志, 武藤正和, 尾崎壽紀, 一野祐亮, 吉田隆, 高井吉明, 松本要, 一瀬中, 堀井滋, 向田昌志, “金属基板上 $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の表面形態と磁場中 J_c 特性”, 2006 年春季低温工学・超電導学会, 大阪大学, 2006/5/15
 39. 尾崎壽紀, 吉田隆, 三浦正志, 一野祐亮, 高井吉明, 松本要, 向田昌志, 一瀬中, 堀井滋, “Sm-rich 層を積層した SmBCO 多層膜の磁場中超伝導特性”, 2006 年春季低温工学・超電導学会, 大阪大学, 2006/5/15
 40. 堀出 朋哉, 松本 要, 吉田 隆, 向田 昌志, 一瀬 中, 堀井 滋, “単一粒界を有する YBCO 薄膜の J_c 制限因子”, 2006 年春季低温工学・超電導学会, 大阪大学, 2006/5/15
 41. 田中孝幸, 多田圭祐, 森信幸, 山田和広, 寺西亮, 向田昌志, “改良型 TFA-MOD 法による Y123 膜の組織形成過程と特性”, 日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部共催 平成 18 年度 合同学術講演大会, 九州工業大学, 2006/6/10
 42. 一野祐亮, 吉田隆, 三浦正志, 高井吉明, 松本要, 向田昌志, 一瀬中, 堀井滋, “ナノ構造制御による高性能超伝導材料の開発”, ナノテクノロジー分野バーチャルラボ成果報告会, 「ナノテクは進歩する」, 東京国際フォーラム ホールB7, 2006/7/15
 43. 末吉哲郎, 春田正和, 藤吉孝則, 宮原邦幸, 池上知顯, 蛭原健治, 宮川隆二, 知見康弘, 石川法人, 向田昌志, 堀井滋, 一瀬中, 吉田隆, 松本要, “人工ピンを導入した高温超伝導薄膜における磁束ピンニング特性”, 平成 18 年度電気・材料共通部門大会, 熊本大学, 2006/8/21
 44. 藤吉孝則, 春田正和, 末吉哲郎, 出崎公崇, 向田昌志, 松本要, 吉田隆, 一瀬中, 堀井滋, 淡路智, 渡辺和雄, “ BaZrO_3 添加 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の磁束ピンニング特性”, 2006 年秋季第 66 回応用物理学会学術講演会, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス, 2006/8/29
 45. 安間章人, 喜多隆介, 一瀬中, 三浦大介, 吉田 隆, 松本 要, 向田昌志, 堀井滋, “ BaF_2 プロセスにより作製した GdBCO 膜の厚膜化の検討”, 2006 年秋季 第 66 回応用物理学会学術講演会, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス, 2006/8/3
 46. 堀井滋, 一野祐亮, 松本要, 吉田隆, 向田昌志, 一瀬中, 下山淳一, 岸尾光二, “PLD- $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜における超伝導特性の希薄 Co ドープ効果(III)”, 2006 年秋季 第 66 回応用物理学会学術講演会, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス, 2006/8/31
 47. 中村達徳, 喜多隆介, 一瀬中, 三浦大介, 吉田 隆, 松本 要, 向田昌志, 堀井滋, “MOD 法による GdBCO 膜作製における仮焼条件の検討”, 2006 年秋季 第 66 回応用物理学会学術講演会, 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス, 2006/8/31
 48. 老平圭吾, 喜多隆介, 一瀬中, 三浦大介, 吉田 隆, 松本 要, 向田昌志, 堀井滋, “金属オクチル酸塩を用いた MOD 法による REBCO 膜の作製”, 2006 年秋季 第 66 回応用物理学会

- 学術講演会、立命館大学 びわこ・くさつキャンパス、2006/8/31
49. 一瀬 中, P. Mele, 松本 要, 向田昌志, 吉田 隆, 堀井 滋, 喜多隆介, “SrTiO₃ 中間層を挿入した多層 YBa₂Cu₃O_y 超電導膜”, 2006 年秋季 第 66 回応用物理学学会学術講演会、立命館大学 びわこ・くさつキャンパス、2006/8/31
 50. 一野 祐亮, 吉田 隆, 三浦 正志, 高井 吉明, 松本 要, 向田 昌志, 一瀬 中, 堀井 滋, 淡路 智, 渡辺 和雄, “低温・強磁場条件下における SmBa₂Cu₃O_y 薄膜の磁束ピンニング特性”, 2006 年度秋季低温工学・超電導学会、熊本大学、2006/11/20
 51. 藤吉孝則, 春田正和, 末吉哲郎, 出崎公崇, 一期崎大輔, 向田昌志, 松本要, 吉田隆, 一瀬中, 堀井滋, 淡路智, 渡辺和雄, “BZO ナノロッドを導入した ErBCO 薄膜の磁束ピンニング特性(2)”, 2006 年度秋季低温工学・超電導学会、熊本大学、2006/11/21
 52. 一瀬 中, 向田昌志, P. Mele, 堀出朋哉, 松本 要, 喜多隆介, 吉田 隆, 堀井 滋, “構造を制御した BZO ナノロッドを有する超電導膜の微細構造”, 2006 年度秋季低温工学・超電導学会、熊本大学、2006/11/22
 53. MELE Paolo, 松本 要, 堀出 朋哉, 吉田 隆, 向田 昌志, 一瀬 中, 堀井 滋, “Enhanced in-field critical current densities in YSZ-mixed YBa₂Cu₃O_{7-x} films”, 2006 年度秋季低温工学・超電導学会、熊本大学、2006/11/22
 54. 堀出 朋哉, 松本 要, 長村 光造, 一瀬 中, 向田 昌志, 吉田 隆, 井 滋, “X 線小角散乱及び逆格子マッピングを用いた REBa₂Cu₃O_{7-x} 薄膜中の金ナノロッドの評価”, 2006 年度秋季低温工学・超電導学会、熊本大学、2006/11/22
 55. 淡路 智, 難波雅史, 渡辺和雄, 三浦正志, 一野祐亮, 吉田隆, 高井吉明, 松本要, “LTG-SmBCO 膜における c 軸相関ピンと磁束状態”, 2006 年度秋季低温工学・超電導学会、熊本大学、2006/11/22
 56. 堀井滋, 松本要, 一野祐亮, 吉田隆, 向田昌志, 一瀬中, 下山淳一, 岸尾光二, “不純物ドーピングを利用した ErBa₂Cu₃O_y 薄膜への人工ピンの導入”, 2006 年電気学会 金属・セラミックス・マグネティクス合同研究会、横浜国立大学、2006/11/28
 57. 一野祐亮, 吉田 隆, 三浦正志, 舩木修平, 尾崎壽紀, 高井吉明, 松本 要, 向田昌志, 一瀬 中, 堀井 滋, 淡路 智, 渡辺 和雄, “REBa₂Cu₃O_y 超伝導薄膜の成長制御によるナノ組織と超伝導特性”, 2006 年電気学会 金属・セラミックス・マグネティクス合同研究会、横浜国立大学、2006/11/28
 58. 堀井滋, 甲斐英樹, 向田昌志, 一野祐亮, 松本要, 吉田隆, 一瀬中, 下山 淳一, 岸尾光二, “不純物を添加した PLD-ErBa₂Cu₃O_y 薄膜の臨界電流特性”, 2007 年春季応用物理学学会、青山学院大学、2007/3/27
 59. 寺西 亮, 向田昌志, 山田和広, 森 信幸, 新海優樹, 安永周平, 甲斐英樹, 堀井 滋, 松本 要, 吉田 隆, 一瀬 中, 喜多隆介, “PLD 法による BaZrO₃ 導入 RE123 膜の作製”, 2007 年春季応用物理学学会、青山学院大学、2007/3/28
 60. 甲斐 英樹, 向田 昌志, 寺西 亮, 山田 和広, 森 信幸, 堀井 滋, 一瀬 中, 松本 要, 吉田 隆, 喜多 隆介, 加藤 辰吾, “PLD 法で作製した BaNb₂O₆ ドープ ErBa₂Cu₃O_{7-δ} 薄膜の超伝導特性と微細構造”, 2007 年春季応用物理学学会、青山学院大学、2007/3/28
 61. 後藤剛輔, 向田昌志, 寺西亮, 森信幸, 田和広, 吉田隆, 一瀬中, 松本要, 堀井滋, 喜多隆介, “規則的に配列された BaZrO₃ ナノパーティクル上に成長したナノロッドの微細構造”, 2007 年春季応用物理学学会、青山学院大学、2007/3/28
 62. 安永周平, 向田昌志, 堀出朋哉, 一瀬中, 加藤辰吾, 寺西亮, 山田和広, 森信幸, 松本要, 喜多隆介, 吉田隆, 堀井滋, “PLD 法による BaSnO₃ 導入 ErBa₂Cu₃O_{7-δ} 超伝導薄膜の作製と評価”, 2007 年春季応用物理学学会、青山学院大学、2007/3/28
 63. 高村真琴, 向田昌志, 堀井滋, 一瀬中, 喜多隆介, 加藤辰吾, 松本要, 吉田隆, 寺西亮, 新海優樹, 山田和広, 森信幸, “2 次元人工ピンニングセンター導入に対する新しい試み”, 2007 年春季応用物理学学会、青山学院大学、2007/3/28
 64. 山田和広, 向田昌志, 甲斐英樹, 喜多隆介, 加藤辰吾, 一瀬 中, 堀井 滋, 吉田 隆, 松本 要, 藤 昇一, “ErBa₂Cu₃O_{7-δ} 薄膜における BaNb₂O₆ ナノロッドの透過電子顕微鏡法による微

- 細構造解析”, 2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
65. 中村達徳、喜多隆介、三浦大介、一瀬中、吉田 隆、松本 要、向田昌志、堀井滋、“MOD 法による GdBCO 膜作製における前駆体膜組成の影響”, 2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
 66. 一瀬 中、新海優樹、甲斐英樹、安永周平、向田昌志、喜多隆介、松本 要、吉田 隆、堀井滋、“Ba 複合酸化物による人工ピンニングセンターを含む $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 膜の微細構造”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
 67. 難波 雅史、淡路 智、渡辺 和雄、堀出 朋哉、Mele Paolo、松本 要、吉田 隆、向田 昌志、堀井 滋、一瀬 中、喜多 隆介、“ BaZrO_3 添加 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 膜の磁束相図”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学 相模原キャンパス、2007 年 3 月 28 日
 68. 堀出 朋哉、松本 要、一瀬 中、喜多 隆介、向田 昌志、吉田 隆、堀井 滋、“長さを制御した BaZrO_3 ナノロッドのピンニングメカニズム”、2007 年春季応用物理学会、青山学院大学、2007/3/28
 69. 松本 要、P. Mele、堀出朋哉、吉田 隆、向田昌志、一瀬 中、堀井 滋、三浦大介、“1 次元ピンによる YBCO 薄膜の J_c 制御”、2005 年春季低温工学・超電導学会、東京大学 2005/6/1
 70. 松本 要、高原大樹、二見俊介、吉田 隆、向田昌志、一瀬 中、堀井 滋、“粒径制御された Gd123 薄膜の磁束ピンニング”、2005 年春季低温工学・超電導学会、東京大学 2005/6/1
 71. 堀出朋哉、松本 要、長村光造、吉田 隆、向田昌志、一瀬 中、堀井 滋、“YBCO 薄膜における小傾角粒界のピンニングメカニズム”、2005 年春季低温工学・超電導学会、東京大学、2005/6/1
 72. 向田昌志、伊藤正志、堀出朋哉、喜多隆介、堀井滋、一瀬中、吉田隆、松本要、森信幸、“ BaZrO_3 導入 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 膜の磁場中超伝導特性”、2005 年春季低温工学・超電導学会、東京大学、2005/5/31-6/2
 73. 堀井滋、吉田隆、向田昌志、松本要、一野祐亮、喜多隆介、一瀬中、下山淳一、岸尾 光二、“不純物ドーブした PLD - $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の超伝導特性”、2005 年春季低温工学・超電導学会、東京大学、2005/6/1
 74. 吉田隆、三浦正志、一野祐亮、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志、“ナノドット上に成長させた高 J_c -SmBCO 膜の超伝導特性と微細組”、2005 年春季低温工学・超電導学会、東京大学、2005/6/1
 75. 一野 祐亮、三浦 正志、尾崎 壽紀、吉田 隆、高井 吉明、松本 要、向田 昌志、一瀬 中、堀井 滋、“逆空間マッピングを用いた低温成膜法 $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の膜厚に対する結晶構造の評価”、2005 年春季低温工学・超電導学会、東京大学、2005/6/1
 76. 三浦正志、船木修平、一野祐亮、吉田 隆、高井吉明、松本 要、一瀬 中、堀井 滋、向田昌志、“Sm/Ba 組成比の異なる $\text{LTG-Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の転位密度と臨界電流密度”、2005 年春季低温工学・超電導学会、東京大学、2005/6/1
 77. 向田昌志、堀出朋哉、新海優樹、松本要、吉田隆、一瀬中、堀井滋、喜多隆介、山田和広、森信幸、“ $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜中への BaZrO_3 の導入と臨界電流の磁場角度依存性”、日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部、平成 17 年度合同学術講演会、2005/6/10
 78. 向田昌志、堀出朋哉、新海優樹、松本要、吉田隆、一瀬中、堀井滋、喜多隆介、山田和広、森信幸、“希釈 Zn ドープによる $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜の表面抵抗低減”、日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部、平成 17 年度合同学術講演会、2005/6/10
 79. 三浦正樹、向田昌志、松本要、吉田隆、一瀬中、堀井滋、喜多隆介、齊藤敦、山田和広、森信幸、“オゾン中成長による $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 膜の特性改善”、日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部、平成 17 年度合同学術講演会、2005/6/10
 80. 新海優樹、向田昌志、松本要、吉田隆、一瀬中、堀井滋、喜多隆介、齊藤敦、山田和広、森信幸、“オゾン中成膜による $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta} + \text{BaCeO}_3$ 膜の超伝導特性改善”、日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部、平成 17 年度合同学術講演会、2005/6/10
 81. 一野 祐亮、船木修平、三浦 正志、吉田 隆、高井 吉明、松本 要、向田 昌志、一瀬 中、堀井 滋、“低温成膜法を用いて作製した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の結晶性および超伝導特性”、2005

- 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
82. 吉田 隆、三浦正志、一野祐亮、高井吉明、松本要、向田昌志、堀井 滋、一瀬 中、“高 J_c -RE123 膜の微細構造と組成分布”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 83. 一瀬中、喜多隆介、堀井滋、菊池章弘、松本要、向田昌志、吉田隆、“BaF₂ を含んだ前駆体膜の減圧酸素中での熱処理による GdBa₂Cu₃O_y 膜の作製”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 84. 堀井 滋、一野祐亮、吉田隆、松本要、向田昌志、一瀬中、下山淳一、岸尾光二、“PLD-ErBa₂Cu₃O_y 薄膜における超伝導特性の希薄 Co ドープ効果”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 85. 横山浩一、喜多隆介、一瀬中、吉田 隆、松本 要、向田昌志、堀井滋、“BaF₂ プロセスにより作製した REBa₂Cu₃O_y 薄膜の超伝導特性”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 86. 中村嘉孝、一野祐亮、吉田隆、松本要、一瀬中、堀井滋、喜多隆介、向田昌志、大嶋重利、“MgO 基板上 GdBa₂Cu₃O_y 薄膜の作製と評価”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 87. 堀出 朋哉、松本 要、長村 光造、吉田 隆、向田 昌志、一瀬 中、堀井 滋、“YBCO 薄膜の小傾角粒界における磁束の運動とそのピンニングメカニズム”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 88. 鈴木隆広、横山浩一、喜多隆介、松本 要、吉田 隆、向田昌志、堀井滋、一瀬中、“MOD 法による(Nd_{0.33}Eu_{0.33}Gd_{0.33})Ba₂Cu₃O_{7-δ} 超伝導薄膜の作製”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 89. 内藤健司、白石明弘、喜多隆介、松本 要、吉田 隆、向田昌志、堀井滋、一瀬中、“Er123 超伝導体への Ta₂O₅ 添加効果”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 90. 白石明弘、喜多隆介、松本 要、吉田 隆、向田昌志、堀井滋、一瀬中、“RE123(RE=La,Nd,Sm,Eu)への Ta₂O₅ 添加効果”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 91. 新海優樹、安部稔洋、向田昌志、喜多隆介、吉田隆、一瀬中、堀井滋、松本要、齋藤敦、山田和広、森信幸、“BaTiO₃ がドープされた ErBa₂Cu₃O_{7-x} 膜の超伝導特性”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 92. 三浦正樹、向田昌志、松本 要、吉田 隆、一瀬 中、堀井 滋、喜多隆介、齋藤 敦、山田和広、森 信幸、“BaZrO₃ 添加による EuBa₂Cu₃O_{7-δ} 薄膜特性への影響”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 93. 三浦正志、一野祐亮、吉田隆、船木修平、高井吉明、松本要、向田昌志、堀井滋、一瀬中、“Sm_{1.04}Ba_{1.96}Cu₃O_y 薄膜の磁場中 J_c 特性に及ぼすナノサイズ低 T_c 相の影響”、2005 年秋季応用物理学会, 徳島大学, 2005/9/7
 94. 一瀬 中、松本 要、向田昌志、吉田 隆、堀井 滋、喜多隆介、“REBa₂Cu₃O_y 超電導膜(RE: 希土類元素)の高臨界電流密度化のための微細構造制御”、第42回日本電子材料技術協会秋期講演大会、日立金属(株) 高輪和彊館, 2005/10/27-28
 95. 松本要、吉田隆、向田昌志、堀井滋、一瀬中、堀出朋哉、高原大樹、“各種ナノ構造高温超伝導薄膜のピンニング特性”、2005 年秋季低温工学・超電導学会、朱鷺メッセ 新潟, 2005/11/22
 96. 堀出朋哉、松本要、長村光造、吉田隆、向田昌志、一瀬中、堀井滋、“YBCO 薄膜における単一粒界の磁場特性への影響”、2005 年秋季低温工学・超電導学会、朱鷺メッセ 新潟, 2005/11/22
 97. 三浦正志、一野祐亮、吉田隆、尾崎壽紀、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志、“異なる成膜プロセスにより作製した Sm_{1+x} Ba_{2-x}Cu₃O_y 薄膜の転位密度と臨界電流密度”、2005 年秋季低温工学・超電導学会、朱鷺メッセ 新潟, 2005/11/22
 98. 吉田隆、三浦正志、一野祐亮、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志、“TEM 組成マッピングによる高 J_c -SmBCO 膜のピンニング機構の解明”、2005 年秋季低温工学・超電導学会、朱鷺メッセ 新潟, 2005/11/22

99. 一野祐亮、舩木修平、武藤正和、三浦正志、吉田隆、高井吉明、松本要、向田昌志、一瀬中、堀井滋、“低温成膜法で作製した $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の磁場中超伝導特性”、2005 年秋季低温工学・超電導学会、朱鷺メッセ 新潟、2005/11/22
100. 向田昌志、堀出朋哉、堀井滋、齊藤敦、一瀬中、喜多隆介、松本要、吉田隆、山田和広、森信幸、“人工ピンを入れた Er123 膜の臨界電流密度と表面抵抗”、2005 年秋季低温工学・超電導学会、朱鷺メッセ 新潟、2005/11/22
101. 吉田隆、一野祐亮、三浦正志、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志、淡路智、渡辺和雄、“低温成膜プロセスにより作製した Sm123 膜の低温高磁場特性”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
102. 堀出 朋哉、松本 要、一瀬 中、吉田 隆、向田 昌志、堀井 滋、“ $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ 薄膜への金ナノロッドの導入”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
103. 三浦正志、吉田隆、一野祐亮、尾崎壽紀、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志、“ナノサイズ低 T_c 相導入 $\text{LTG-Sm}_{1.04}\text{Ba}_{1.96}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜のピンニング特性”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
104. 尾崎壽紀、吉田隆、三浦正志、一野祐亮、高井吉明、松本要、向田昌志、一瀬中、堀井滋、“Sm-rich 層の積層化による $\text{Sm}_{1.04}\text{Ba}_{1.96}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の臨界電流の向上”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
105. 二見 俊介、松本 要、一瀬 中、吉田 隆、向田 昌志、堀井 滋、“金属基板上における酸化バフター層および $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ 層の配向挙動”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
106. 横山浩一、喜多隆介、一瀬中、三浦大介、吉田隆、松本要、向田昌志、堀井滋、“水蒸気を導入しない BaF_2 プロセスによる高 J_c - $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の作製”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
107. 中村達徳、横山浩一、喜多隆介、三浦大介、松本要、吉田隆、向田昌志、堀井滋、一瀬中、“金属ナフテン酸塩を用いた MOD 法による $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の作製及び評価”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
108. 向田昌志、一瀬中、堀出朋哉、堀井滋、松本要、喜多隆介、吉田隆、山田和広、森信幸、“0 次元人工ピン導入 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ 膜の微細構造と超伝導特性”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
109. 一瀬 中、喜多隆介、三浦大介、松本 要、吉田 隆、堀井 滋、向田昌志、“水蒸気を導入しない BaF_2 プロセスにより作製した $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 超電導膜の微細構造”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
110. 堀井 滋、一野祐亮、吉田隆、松本要、向田昌志、一瀬中、下山淳一、岸尾光二、“PLD- $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜における超伝導特性の希薄 Co ドープ効果(II)”、2006 年春季応用物理学会、武蔵工業大学、2006/3/25
111. 吉田隆、伊藤正和、三浦正志、一野祐亮、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志、“高 J_c - $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ 膜の微細組織と組成分布”、2004 年春季低温工学・超電導学会 横浜国立大学、2004/5/24-26
112. 佐藤慶治、工藤晋、中村嘉孝、向田昌志、堀井滋、一瀬中、吉田隆、松本要、大嶋重利、“アモルファスバフター層上の YBCO 薄膜の結晶性と表面モフォロジー”、2004 年度春季低温工学・超電導学会、2004/5/24-26
113. 三浦正志、舩木修平、伊藤正和、一野祐亮、吉田隆、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志、“高 J_c - $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ 膜の面内配向性と超伝導特性”、2004 年度春季低温工学・超電導学会 横浜国立大学、2004/5/24-26
114. 一野祐亮、三浦正志、本田竜士、吉田隆、高井吉明、松本要、堀井滋、一瀬中、向田昌志、“ $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の特性向上に向けての酸素アニール効果”、2004 年度春季低温工学・超電導学会、2004/5-24-26
115. 三浦正樹、向田昌志、一瀬中、堀井滋、吉田隆、松本要、廣瀬史彦、齊藤敦、大嶋重利、“高品質 $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ 薄膜の作製と評価”、2004 年度春季低温工学・超電導学会、

- 2004/5/24-26
116. 松本 要, 堀出朋哉, 一瀬 中, 堀井 滋, 吉田 隆, 向田昌志, 長村光造, “1 次元人工ピン導入による YBCO 薄膜の J_c 制御”, 2004 年春季低温工学・超電導学会 2004/5/24-26
 117. 野村佳代, 山崎裕弥, 松本要, 吉田隆, 堀井滋, 一瀬中, 向田昌志, 廣瀬文彦, 齊藤敦, 大嶋重利, “リソグラフィを用いた人工ピンニングセンタの作製と評価” 2004 年度春季低温工学・超電導学会 2004/5/24-26
 118. 大狭間徹, 新海優樹, 松本要, 吉田隆, 堀井滋, 一瀬中, 向田昌志, 大嶋重利, “ a -軸配向 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜の作製と評価”, 2004 年度春季低温工学・超電導学会 2004/5/24-26
 119. 伊藤正志, 向田昌志, 新海優樹, 一瀬中, 堀井滋, 松本要, 吉田隆, 廣瀬文彦, 齊藤敦, 大嶋重利, “高 J_c 用 BaZrO_3 分散ピンニングセンタを持つ $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 薄膜の作製”, 2004 年度春季低温工学・超電導学会 2004/5/24-26
 120. 一瀬 中, 松本 要, 志井秀行, 足立大樹, 吉田 隆, 堀井 滋, 向田昌志, 長村光造 “2 軸配向金属基板上に成膜した CeO_2 膜の結晶配向と微細組織” 2004 年春季低温工学超電導学会 2004/5/24-26
 121. 一瀬 中, 菊池章弘, 太刀川恭治, 秋田 調, 井上 廉, 松本 要, 向田昌志, 吉田 隆, 堀井 滋 “ BaF_2 を含む前駆体膜により作製した YBCO 膜の多層成膜” 2004 年春季低温工学超電導学会 2004/5/24-26
 122. 根津啓祐, 喜多隆介, 松本要, 吉田 隆, 向田昌志, 堀井 滋, 一瀬 中, “Er123 超伝導体への AZrO_3 材料添加効果” 2004 年秋季 第 65 回応用物理学会学術講演会、2004/9/1-4
 123. 黒岩朋広, 三浦正志, 氏原憲人, 一野祐亮, 吉田 隆, 高井吉明, 松本要, 一瀬 中, 堀井 滋, 向田昌志, “CVD 法で作製した $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+}$ 薄膜の微細構造”, 2004 年秋季 第 65 回応用物理学会学術講演会 2004/9/1-4
 124. 一野祐亮, 三浦正志, 本田竜士, 吉田隆高井吉明, 松本要, 向田昌志, 一瀬中, 堀井滋, “ $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の酸素アニールに対するキャリア濃度変化” 2004 年秋季第 65 回応用物理学学術講演会 2004/9/1-4
 125. 三浦正志, 舩木修平, 一野祐亮, 吉田 隆, 高井吉明, 松本要, 一瀬 中, 堀井 滋, 向田昌志, “低温成膜 $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ 薄膜の結晶構造と超伝導特性” 2004 年秋季 第 65 回応用物理学会学術講演会 2004/9/1-4
 126. 本田竜士, 三浦正志, 一野祐亮, 吉田隆, 高井吉明, 松本要, 一瀬中, 向田昌志, “ $(\text{Nd}_{1-x}\text{Yb}_x)\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の配向性及び超伝導特性に対する Yb 置換量の影響” 2004 年秋季 第 65 回応用物理学会学術講演会 2004/9/1-4
 127. 堀出朋哉, 松本要, 長村光造, 吉田隆, 向田昌志, 一瀬中, 堀井滋, “臨界電流密度の角度依存性によるピンニングセンターの解析” 2004 年秋季 第 65 回応用物理学会学術講演会 東北学院大学 2004/9/1-4
 128. 松本 要, 堀出朋哉, Paulo Mele, 長村 光造, 吉田 隆, 向田 昌志, 一瀬 中, 堀井 滋, “1 次元 APC を有する YBCO 薄膜の磁場中 J_c 特性”, 2004 年秋季 第 65 回応用物理学会学術講演会 2004/9/1-4
 129. 高原 大樹, 松本 要, 長村 光造, 吉田 隆, 向田 昌志, 一瀬 中, 堀井 滋, “ $\text{Gd}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 薄膜における臨界電流密度の磁場依存性” 2004 年秋季 第 65 回応用物理学会学術講演会、2004/9/1-4
 130. 伊藤正志, 向田昌志, 新海優樹, 一瀬中, 堀井滋, 松本要, 吉田隆, 喜多隆介, 齊藤敦, 大嶋重利, “高 J_c 用 BaZrO_3 分散ピンニングセンタを持つ $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 薄膜の微細構造”, 秋季 第 65 回応用物理学会学術講演会、2004/9/1-4
 131. 新海優樹, 向田昌志, 松本要, 吉田隆, 一瀬中, 堀井滋, 齊藤敦, 大嶋重利, “超伝導薄膜中の a - c -2 次元界面ピンニングシートの特性” 秋季 第 65 回応用物理学会学術講演会、2004/9/1-4
 132. 三浦正樹, 向田昌志, 一瀬中, 堀井滋, 吉田隆, 松本要, 喜多隆介, 廣瀬文彦, 齊藤敦, 大嶋重利, “酸素アニールによる $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ 超伝導薄膜の構造相転移” 秋季第 65 回応用

- 物理学会学術講演会, 2004/9/1-4
133. 野村佳代, 向田昌志, 松本要, 吉田隆, 一瀬中, 堀井滋, 廣瀬文彦, 齊藤敦, 大嶋重利, “2次元ピンニングセンタ用面内選択配向膜の微細構造” 第65回 秋季応用物理学会 2004/9/1-4
 134. 松本 要, 堀出朋哉, P. Mele, 一瀬 中, 堀井 滋, 三浦 大介, 吉田 隆, 向田昌志, 長村光造, “YBCO 薄膜に導入された人工ピンと J_c に与える影響”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 135. 吉田隆, 三浦正志, 一野祐亮, 高井吉明, 松本要, 一瀬中, 堀井滋, 向田昌志, “ $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+y}$ 膜の微細組織と J_c 特性”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 136. 一野祐亮, 本田竜土, 三浦正志, 吉田隆, 高井吉明, 松本要, 向田昌志, 一瀬中, 堀井滋, “ $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の臨界電流密度に及ぼす磁場印加角度と温度の影響”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 137. 三浦正志, 一野祐亮, 吉田隆, 黒岩朋広, 尾崎壽紀, 高井吉明, 松本要, 一瀬中, 堀井滋, 向田昌志, “高 J_c - $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の厚膜化に向けた表面平坦性の改善”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 138. 新海 優樹, 大狭間 徹, 向田 昌志, 堀井 滋, 一瀬 中, 松本 要, 吉田 隆, 小池 邦博, 廣瀬 文彦, 齊藤 敦, 大嶋 重利, “a-軸配向 $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ 薄膜の作製と特性評価”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 139. 野村佳代, 向田昌志, 松本要, 吉田隆, 一瀬中, 堀井滋, 廣瀬文彦, 齊藤敦, 大嶋重利, “同一基板上における 2 次元人工ピンニングセンタ用バッファ層の検討”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 140. 水戸 俊喜, 西村 健, 野口 洋祐, 齊藤 敦, 向田 昌志, 大嶋 重利, “m 面サファイア基板上における $\text{CeO}_2/\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ 薄膜の作成と評価”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 141. 近藤 旭, 加藤 祐介, 齊藤 敦, 向田 昌志, 大嶋 重利, “電力送信用超伝導アンテナの設計・試作・評価”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 142. 西村 健, 水戸 俊喜, 野口 洋祐, 齊藤 敦, 向田 昌志, 大嶋 重利 全員, 山形大学, “ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}/\text{CeO}_2/\text{a-Al}_2\text{O}_3$ 薄膜における CeO_2 バッファ層の膜厚と表面抵抗の関係”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 143. 武石健太, 齊藤敦, 高野祥暢, 中村健, 横尾政好, 向田昌志, 大嶋重利, “永久磁石を用いた非接触型臨界電流密度測定システム III”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1 ~ 3
 144. 野口 洋祐, 齊藤 敦, 北村 一大, 向田 昌志, 大嶋 重利, “YBCO, DyBCO 薄膜の強磁場中における表面抵抗測定”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 145. 三浦正樹, 向田昌志, 齊藤敦, 一瀬中, 堀井滋, 喜多隆介, 吉田隆, 松本要, 大嶋重利, “オゾン中成膜による $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ 薄膜の超伝導特性の向上”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 146. 大狭間 徹, 向田 昌志, 喜多 隆介, 松本 要, 吉田 隆, 堀井 滋, 一瀬 中, 齊藤 敦, 大嶋 重利, “希釈 Zn ドープ Er_{123} 薄膜の作製と評価”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 147. 伊藤正志, 向田昌志, 一瀬中, 堀井滋, 喜多隆介, 齊藤敦, 松本要, 吉田隆, 大嶋重利, “ $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ 薄膜への BaZrO_3 添加量依存性”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1-3
 148. 古津 友也, 三浦 大介, 伊藤 大佐, 松本 要, 吉田 隆, 向田 昌志, “A P C 導入型 1 2 3 系超伝導薄膜の臨界電流密度特性 (1)”, 2004 年秋期低温工学 超電導学会, 2004/11/1 ~ 3
 149. 山本陽一郎, 向田昌志, 齊藤敦, 大嶋重利, “塗布熱分解法による YBCO 薄膜の大面积化プロセスの検討”, 応用物理学会東北支部, 2004/12/9-10

150. 高原大樹、松本要、長村光造、吉田隆、向田昌志、一瀬中、堀井滋, “GdBa₂Cu₃O_{7-x} 薄膜における臨界電流密度の磁場依存性と微細組織”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
151. 堀出朋哉、松本要、長村光造、吉田隆、向田昌志、一瀬中、堀井滋, “J_c の角度依存性に及ぼす小傾角粒界の影響”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
152. 吉田隆、一野祐亮、三浦正志、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志, “人工ピン導入による RE123 膜の高特性化”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
153. 三浦正志、一野祐亮、吉田隆、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志, “ナノサイズの低 T_c 相を導入した Sm_{1.04}Ba_{1.96}Cu₃O_y 薄膜の磁場中 J_c 特性”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
154. 一野 祐亮, 三浦 正志, 吉田 隆, 高井 吉明, 松本 要, 向田 昌志, 一瀬 中, 堀井 滋, “低温成膜 SmBa₂Cu₃O_y 薄膜の逆空間マッピングによる結晶構造の評価”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
155. 船木修平、一野祐亮、三浦正志、黒岩朋広、吉田隆、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志, “低温成膜法により作製した Nd_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y 超伝導薄膜の配向性及び超伝導特性”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
156. 黒岩朋広、三浦正志、船木修平、尾崎壽紀、一野祐亮、吉田隆、高井吉明、松本要、一瀬中、堀井滋、向田昌志, “PLD 法で作製した Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+δ} 超伝導厚膜の微細構造”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
157. 伊藤正志、向田昌志、喜多隆介、齊藤敦、一瀬中、堀井滋、三浦大介、堀出朋哉、松本要、吉田隆、大嶋重利, BaZrO₃ ドープによる ErBa₂Cu₃O_{7-δ} 薄膜の臨界電流密度増大”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
158. 武田伸弥、大狭間徹、向田昌志、堀井滋、喜多隆介、齊藤敦、松本要、吉田隆、一瀬中、大嶋重利, “ErBa₂Cu₃O_{7-δ} 薄膜の表面抵抗に及ぼす希釈 Zn ドープ効果”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
159. 野口洋祐、北村一大、齊藤敦、平野悟、向田昌志、大嶋重利, “誘電体共振法による 38GHz 表面抵抗測定に関する検討”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
160. 輪島寿夫、向田昌志、小池邦博、齊藤敦、松本要、吉田隆、一瀬中、堀井滋、廣瀬文彦、大嶋重利, “95MHz-DC ハイブリッドスパッタリング法による NdBa₂Cu₃O_{7-δ} 薄膜の表面抵抗”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
161. 齊藤敦、原田善之、高橋輝一、北村一大、野口洋祐、平野悟、向田昌志、吉沢正人、大嶋重利, “誘電体共振法による as-grown MgB₂ 薄膜の表面抵抗測定”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
162. 横山浩一、喜多隆介、松本要、吉田 隆、向田昌志、堀井 滋、一瀬 中, “BaF₂ を含む前駆体膜を用いた GdBa₂Cu₃O_y 膜の作製”, 2005 年春季応用物理学会, 2005/3/29-4/1, 埼玉大学
163. 松本要(京大工), 三浦大介(都立大工), 堀出朋哉(京大工), 志井秀行(京大工) 向田昌志(山形大工) 吉田隆(名大工), 一瀬中(電中研), 長村光造(京大工)” Y系線材用超伝導薄膜の磁場中ピンニング特性”, 2003 春季低温工学・超伝導学会, 産業技術総合研究所 つくばセンター, 平成 15 年 5 月 21 日~23 日
164. 吉田隆(名大工), 伊藤正和(名大工), 一野祐亮(名大工), 向田昌志(山形大工), 一瀬中(電中研), 松本要(京大工), 高井吉明(名大工), ” 低温成膜プロセスによる Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+x} 薄膜の高特性化”, 2003 春季低温工学・超伝導学会, 産業技術総合研究所 つくばセンター, 平成 15 年 5 月 21 日~23 日
165. 一野 祐亮(名大工), 本田 竜士(名大工), 吉田隆(名大工), 喜多隆介(静岡大工) 向田昌志(山形大工), 松本要(京大工), 高井吉明(名大工), ” (Yb_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_y 薄膜の超伝導特性に及ぼす Nd 置換量の影響”, 2003 春季低温工学・超伝導学会, 産業技術総合研究所 つくばセンター, 平成 15 年 5 月 21 日~23 日
166. 大狭間 徹(山形大工), 山崎 裕弥(山形大工), 新海優樹(山形大工), 三浦正志(山形大工),

- 松本要(京大工),吉田隆(名大工),堀井滋(東大工),一瀬中(電中研),楠正暢(山形大工),向田昌志(山形大工),大嶋重利(山形大工),”ErBa₂Cu₃O_{7-x} 薄膜の作製と評価”,2003 春季低温工学・超電導学会,産業技術総合研究所 つくばセンター,平成 15 年 5 月 21 日~23 日
167. 松本要(京大工),向田昌志(山形大工),吉田隆(名大工),一瀬中(電中研),堀井滋(東大工),”高 J_c 超伝導材料をめざした人工ピンニング技術とナノ組織制御(招待講演)”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
168. 堀出朋哉(京大工),松本要(京大工),長村光造(京大工),吉田隆(名大工),向田昌志(山形大工),一瀬中(電中研),”SrTiO₃(100)及び MgO(100)基板上に成膜した YBCO 薄膜のピンニング特性”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
169. 志井秀行(京大工),松本要(京大工),長村光造(京大工),向田昌志(山形大工),吉田隆(名大工),”Ni 及び Ni 合金基板上的 2 軸配向酸化物バッファ層の作製”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
170. 向田昌志(山形大工),大狭間徹(山形大工),山寄裕弥(山形大工),新海優樹(山形大工),松本要(京大工),吉田隆(名大工),一瀬中(電中研),堀井滋(東大工),齋藤敦(山形大工),大嶋重利(山形大工)”ナノ技術リソグラフィを用いた薄膜中への人工ピンニング導入”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
171. 山寄裕弥(山形大工),向田昌志(山形大工),松本要(京大工),吉田隆(名大工),一瀬中(電中研),堀井滋(東大工),齋藤敦(山形大工),大嶋重利(山形大工),”BaSnO₃と CeO₂を用いた同一基板上における面内方位選択配向膜の作製”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
172. 大狭間徹(山形大工),向田昌志(山形大工),松本要(京大工),吉田隆(名大工),一瀬中(電中研),堀井滋(東大工),齋藤敦(山形大工),大嶋重利(山形大工),”人工ピンニング導入用高品質 ErBa₂Cu₃O_{7-x} 薄膜の作製”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
173. 新海優樹(山形大工),向田昌志(山形大工),松本要(京大工),吉田隆(名大工),一瀬中(電中研),堀井滋(東大工),齋藤敦(山形大工),大嶋重利(山形大工),”同一基板上における方位選択配向膜の作製”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
174. 吉田隆(名大工),一野祐亮(名大工),伊藤正和(名大工),高井吉明(名大工),松本要(京大工),向田昌志(山形大工),”高温 AFM 観察法による Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+y} 薄膜の表面観察”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
175. 吉田隆(名大工),一野祐亮(名大工),伊藤正和(名大工),高井吉明(名大工),松本要(京大工),向田昌志(山形大工),堀井滋(東大工),一瀬中(電中研),”低温成膜プロセスで作成した Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+y} 薄膜の磁場中特性”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
176. 一野祐亮(名大工),伊藤正和(名大工),本田竜士(名大工),吉田隆(名大工),高井吉明(名大工),向田昌志(山形大工),松本要(京大工),”PLD 法で作成した REBa₂Cu₃O_y 薄膜における J_c の磁場印加角度依存性”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
177. 本田竜士(名大工),一野祐亮(名大工),吉田隆(名大工),高井吉明(名大工),向田昌志(山形大工),松本要(京大工),”(Yb_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_y 薄膜の配向性及び超伝導特性に対する Nd 置換量の影響”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
178. 伊藤正和(名大工),吉田隆(名大工),一野祐亮(名大工),高井吉明(名大工),松本要(京大工),一瀬中(電中研),向田昌志(山形大工),堀井滋(東大工),”高 J_c-Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_{6+y} 薄膜の微細構造観察”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
179. 堀井滋(東大工),向田昌志(山形大工),松本要(京大工),大狭間徹(山形大工),一瀬中(電中研),吉田隆(名大工),下山淳一(東大工),岸尾光二(東大工),”ErBa₂Cu₃O_y 薄膜における超伝導特性のポストアニール効果”,平成 15 年秋季応用物理学学会,福岡大学,平成 15 年 8 月 30 日~9 月 2 日
180. 向田昌志(山形大工),大嶋重利(山形大工),齋藤敦(山形大工),楠正暢(近畿大),山寄裕弥(山

- 形大工),新海優樹(山形大工),大狭間徹(山形大工),松本要(京大工),吉田隆(名大工),一瀬中(電中研),堀井滋(東大工),” レザーアブレーション法による LnBCO 薄膜の作製”, 低温工学研究会,長岡技術科学大学,平成 15 年 8 月 3 日~8 月 4 日
181. 松本 要(京都大学),” SOE 法による Y 系テープ線材の作製”, 低温工学研究会,長岡技術科学大学,平成 15 年 8 月 3 日~8 月 4 日
182. 松本要(京大工),” 超電導材料の基礎” 電気四学会関西支部専門講習会,平成 15 年 11 月 20 日~11 月 21 日
183. 吉田隆(名大工),堀井滋(東大工),一野祐亮(名大工),伊藤正和(名大工),高井吉明(名大工),松本要(京大工),一瀬中(電中研),向田昌志(山形大工),” 高 J_c -RE $_{1+x}$ Ba $_{2-x}$ Cu $_3$ O $_{6+y}$ 膜の磁場中特性と微細組織”, 2003 秋季低温工学・超電導学会,島根県民会館,平成 15 年 12 月 3 日~12 月 5 日
184. 向田昌志(山形大工),大狭間徹(山形大工),堀井滋(東大工),一瀬中(電中研),松本要(京大工),吉田隆(名大工),楠正暢(近畿大),齋藤敦(山形大工),大島重利(山形大工),” 酸素制御 ErBa $_2$ Cu $_3$ O $_x$ 膜”, 2003 秋季低温工学・超電導学会,島根県民会館,平成 15 年 12 月 3 日~12 月 5 日
185. 松本要(京大工),堀出朋哉(京大工),長村光造(京大工),一瀬中(電中研),向田昌志(山形大工),吉田隆(名大工),堀井滋(東大工),” ナノスケール Y $_2$ O $_3$ アイランドを用いた YBCO 薄膜への人工ピン導入”, 2003 秋季低温工学・超電導学会,島根県民会館,平成 15 年 12 月 3 日~12 月 5 日
186. 一瀬中(電中研),向田昌志(山形大工),菊池章弘(物材機構),太刀川恭治(東海大工),秋田調(電中研),井上 廉(物材機構),松本要(京大工),” 種々の基板上に作製した BaF $_2$ を含む前駆体膜の減圧酸素処理による YBCO 膜の結晶配向” 2003 秋季低温工学・超電導学会,島根県民会館,平成 15 年 12 月 3 日~12 月 5 日
187. 松本要(京大工),高原大樹(京大工),長村光造(京大工),吉田隆(名大工),堀井滋(東大工),一瀬中(電中研),向田昌志(山形大工),” PLD 法によるエピタキシャル Gd $_1$ Ba $_2$ Cu $_3$ O $_{7-x}$ 薄膜の作製” 2004 春季応用物理学会,東京工科大学,平成 16 年 3 月 28 日~3 月 31 日
188. 4.2. 松本 要(京大工),堀出朋哉(京大工),長村光造(京大工),堀井 滋(京大工),一瀬 中(京大工),吉田 隆(京大工), 向田昌志(山形大工),” 1 次元人工ピンを導入した YBCO 薄膜の超伝導特性” 2004 春季応用物理学会,東京工科大学,平成 16 年 3 月 28 日~3 月 31 日
189. 堀出朋哉(京大工),松本要(京大工),長村光造(京大工),吉田隆(京大工),向田昌志(京大工),一瀬中(京大工),堀井滋(京大工),” YBCO 薄膜における臨界電流密度の磁場方向依存性” 2004 春季応用物理学会,東京工科大学,平成 16 年 3 月 28 日~3 月 31 日
190. 吉田隆(名大工),伊藤正和(名大工),三浦正志(名大工),一野祐亮(名大工),高井吉明(名大工),松本 要(京大工),堀井滋(東大工),一瀬中(電中研),向田昌志(山形大工),” 高 J_c -Sm $_{1+x}$ Ba $_{2-x}$ Cu $_3$ O $_{6+y}$ 薄膜の微細組織とピンニング特性” 2004 春季応用物理学会,東京工科大学,平成 16 年 3 月 28 日~3 月 31 日
191. 一野祐亮(名大工),伊藤正和(名大工),本田竜士(名大工),吉田隆(名大工),高井吉明(名大工),堀井滋(東大工),一瀬中(電中研),向田昌志(山形大工),松本要(京大工),” PLD 法で作製した REBa $_2$ Cu $_3$ O $_y$ 薄膜の酸素アニール中抵抗率の in-situ 測” 2004 春季応用物理学会,東京工科大学,平成 16 年 3 月 28 日~3 月 31 日
192. 三浦正志(名大工),伊藤正和(名大工),一野祐亮(名大工),吉田隆(名大工),高井吉明(名大工),松本要(京大工),一瀬 中(電中研),堀井滋(東大工),向田昌志(山形大工),” Sm/Ba 組成比の異なる低温成膜 Sm $_{1+x}$ Ba $_{2-x}$ Cu $_3$ O $_{6+\delta}$ 薄膜の磁場中 J_c 特性” 2004 春季応用物理学会,東京工科大学,平成 16 年 3 月 28 日~3 月 31 日
193. 本田竜士(名大工),一野祐亮(名大工),吉田隆(名大工),高井吉明(名大工),松本要(京大工),一瀬中(電中研),向田昌志(山形大工),” (Yb $_{1-x}$ Nd $_x$)Ba $_2$ Cu $_3$ O $_y$ 薄膜の磁場中超伝導特性及び微細構造観察” 2004 春季応用物理学会,東京工科大学,平成 16 年 3 月 28 日~3 月 31 日
194. 船木修平(名大工),三浦正志(名大工),伊藤正和(名大工),坂貞 慶(名大工),一野祐亮(名大工),吉田隆(名大工),高井吉明(名大工)松本 要(京大工),堀井 滋(東大工),一瀬 中(電中研),

- 向田昌志(山形大工), ” PLD 法で作製した CeO_2/YSZ 上 SmBCO 薄膜の磁場中特性” 2004 春季応用物理学会, 東京工科大学, 平成 16 年 3 月 28 日 ~ 3 月 31 日
195. 堀井滋(東大工), 向田昌志(山形大工), 松本要(京大工), 大狭間徹(山形大工), 一瀬中(電中研), 吉田隆(名大工), 下山淳一(東大工), 岸尾光二(東大工), ” $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜における超伝導特性のポストアニール効果 ” 2004 春季応用物理学会, 東京工科大学, 平成 16 年 3 月 28 日 ~ 3 月 31 日
196. 一瀬中(電中研), 菊池章弘(物材機構), 太刀川恭治(東海大工), 秋田調(電中研), 井上廉(物材機構), 松本要(京大工), 向田昌志(山形大工), 吉田隆(名大工), 堀井滋(東大工), ” Y_2O_3 バッファ層厚の YBCO 膜の結晶配向および結晶性への影響” 2004 春季応用物理学会, 東京工科大学, 平成 16 年 3 月 28 日 ~ 3 月 31 日
197. 新海優樹(山形大工), 向田昌志(山形大工), 松本要(京都大工), 吉田隆(名大工), 一瀬中(電中研), 堀井滋(東大工), 齋藤敦(山形大工), 大嶋重利(山形大工), ” a-/c- 2 次元界面ピンニングシートを持つ超伝導薄膜の作製” 2004 春季応用物理学会, 東京工科大学, 平成 16 年 3 月 28 日 ~ 3 月 31 日
198. 三浦正樹(山形大工), 向田昌志(山形大工), 堀井滋(東大工), 一瀬中(電中研), 吉田隆(名大工), 松本要(京大工), 齋藤敦(山形大工), 大嶋重利(山形大工), ” $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ 超伝導薄膜の結晶性向上” 2004 春季応用物理学会, 東京工科大学, 平成 16 年 3 月 28 日 ~ 3 月 31 日
199. 松本 要(京大) 武智 篤(京大) 志井秀行(京大) 向田昌志(山形大) 吉田 隆(名大) 長村光造(京大): ペロブスカイトバッファを用いた YBCO 薄膜の配向制御 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 神奈川大学, 2003 年 3 月 27 日(木) ~ 30 日(日)
200. 一野祐亮(名大) 吉田隆(名大) 向田昌志(山形大) 松本要(京大) 高井良昭(名大): NVLS 法を用いた高 $T_c(85.8\text{K})$ を有する $\text{LaBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の作製, 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 神奈川大学, 2003 年 3 月 27 日(木) ~ 30 日(日)
201. 伊藤正和(名大) 一野祐亮(名大) 須藤公彦(名大) 吉田隆(名大) 一瀬中(電中研) 向田昌志(山形大) 松本要(京大) 高井吉明(名大): c 軸配向シード層上に作製した $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+}$ 薄膜の配向性及び超伝導特性, 第 50 回応用物理学関係連合講演会, 神奈川大学, 2003 年 3 月 27 日(木) ~ 30 日(日)

(国際会議)

1. Paolo Mele, Kaname Matsumoto, Tomoya Horide, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, Yutaka Yoshida and Shigeru Horii, “Enhanced High-field Performances in PLD Films Fabricated by YSZ-added $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ Targets”, 2007 Materials Research Society Spring Meeting, Moscone West | San Francisco Marriott, San Francisco, CA, USA, 2007/4/11
2. Yutaka Yoshida, Yusuke Ichino, Masashi Miura, Toshinori Ozaki, Yoshiaki Takai, Kaname Matsumoto, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, Shigeru Horii, Satoshi Awaji and Kazuo Watanabe, “Flux Pinning Enhancement in SmBCO Coated Conductor with Artificial Pinning Center”, 2007 Materials Research Society Spring Meeting, Moscone West | San Francisco Marriott, San Francisco, CA, USA, 2007/4/11
3. Toshinori Ozaki, Yutaka Yoshida, Yusuke Ichino, Masashi Miura, Yoshiaki Takai, Kaname Matsumoto, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Masashi Mukaida, “Superconducting property and microstructure in SmBCO superconducting film with multilayered structure”, 2007 Materials Research Society Spring Meeting, Moscone West | San Francisco Marriott, San Francisco, CA, USA, 2007/4/12
4. Matsumoto, Kaname, Horide, Tomoya, Paolo, Mele, Yoshida, Yutaka, Mukaida, Masashi, Horii, Shigeru, Ichinose, Ataru, “Enhanced Flux Pinning Properties in High-Temperature Superconductor Films by Introduction of Artificial Pinning Centers”, MRS2006 Spring Meeting, San Francisco Moscone Center, 2006/4/19
5. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, “Recent progress in artificial pinning center enhancement by controlling nanostructure in SmBCO films”, MRS2006 Spring Meeting, San Francisco Moscone Center, 2006/4/21

6. Yuki Shingai, Masashi Mukaida, Ryo Teranishi, Kazuhiro Yamada, Nobuyuki Mori, Ataru Ichinose, Ryusuke Kita, Shigeru Horii, Yutaka Yoshida, Kaname Matsumoto, Toshihiro Abe, Atsushi Saito, "Fabrication and evaluation of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films with BaTiO_3 ", CCA2006, Schlosshotel Monrepos, Ludwigsburg, Germany, 2006/7/14
7. M. Mukaida, A. Saito, R. Kita, T. Horide, K. Matsumoto, A. Ichinose, Y. Yoshida, S. Horii, R. Teranishi, K. Yamada, N. Mori, "Effect of 0-D Artificial Pinning Centers on Surface Resistance of Er123 Films", PIERS2006, 中央大学, 2006/8/4
8. Y. Shingai, M. Mukaida, R. Teranishi, K. Yamada, N. Mori, A. Ichinose, R. Kita, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, T. Abe, A. Saito, "Improvement of Surface Resistance Property of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ Films with BaTiO_3 ", PIERS2006, 中央大学, 2006/8/4
9. A. Akiba, H. Zhu, T. Endo, M. Mukaida, "Field Sweep-Rate Dependence of Microwave Absorption in c -Oriented YBCO Superconductors", PIERS2006, 中央大学, 2006/8/4
10. M. Miura, Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Mutoh, T. Ozaki, S. Funaki, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, S. Awaji, K. Watanabe, "Magnetic field dependence of critical current density and microstructure in $\text{Sm}_{1-x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ films on metallic substrate", ASC2006, the Washington State Convention and Trade Center, in Seattle, 2006/8/29
11. T. Horide, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, "Vortex pinning by gold-nanorods in $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$ films", ASC2006, the Washington State Convention and Trade Center, in Seattle, 2006/8/29
12. K. Matsumoto, D. Takahara, T. Horide, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, "Two-Dimensional Artificial Pinning Centers: Grain Boundary Pinning in $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ Films", ASC2006, the Washington State Convention and Trade Center, in Seattle, 2006/8/31
13. Y. Yoshida, M. Miura, T. Ozaki, Y. Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, S. Awaji, K. Watanabe, "Recent progress for high potential SmBCO coated conductor", ASC2006, the Washington State Convention and Trade Center, in Seattle, 2006/8/31
14. Masashi Mukaida; Ataru Ichinose; Tomoya Horide; Masakazu Haruta; Kaname Matsumoto; Takanori Fujiyoshi; Shigeru Horii; Ryusuke Kita; Yutaka Yoshida; Kazuhiro Yamada; Ryo Teranishi; Nobuyuki Mori, "Microstructures and superconducting properties of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films with artificial pinning centers", Material Science and Technology 2006, Duke Energy Center (Cincinnati), 2006/10/16
15. S. Awaji, M. Namba, K. Watanabe, Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, "Jc and Bi properties of $\text{Sm}_{1+m}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ films with nano-particles", ISS2006, 名古屋国際会議場, 2006/10/31
16. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, T. Ozaki, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, "Enhanced superconducting performances in nanostructured SmBCO coated conductor", NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
17. Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Tomoya Horide, Masakazu Haruta, Takanori Fujiyoshi, Shigeru Horii, Ryusuke Kita, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Kazuhiro Yamada, Ryo Teranishi, Nobuyuki Mori, "Effects of matching field on the superconducting properties of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7\pm}$ Films", NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
18. K. Matsumoto, T. Horide, Paolo Mele, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, "Challenges to Maximize Flux Pinning by Nanoengineering", NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/13
19. K. Matsumoto, Y. Yoshida, T. Horide, M. Mukaida, S. Horii and A. Ichinose, "Flux pinning in nanostructured high-temperature superconductors", Mechano-Electromagnetic Property of Composite Superconductors(MEM05), Kyoto University, 2005/7/20
20. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, O. Miura, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, and S. Horii, "On the analysis of Flux Pinning and grain boundary effects in coated conductors", Mechano-Electromagnetic Property of Composite Superconductors(MEM05), Kyoto University, 2005/7/20
21. Shigeru Horii, Masashi Mukaida, Yutaka Yoshida, Yusuke Ichino, Kaname Matsumoto, Ataru Ichinose, Ryusuke Kita, Jun-ichi Shimoyama, and Kohji Kishio, "Impurity doping effects on critical current properties in $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films", PacRim6, Kapalua, Maui, USA, 2005/9/14
22. Tomoya Horide, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Shigeru Horii and Ataru Ichinose, "Anisotropic Flux Pinning at Low Angle Grain Boundaries in YBCO Thin

- Films”, PacRim6, USA, 2005/9/14
23. K. Matsumoto, “Artificial Pin Introduction to High Temperature Superconductor Films for the Enhancement of Flux Pinning”, CCA2005, 2005/12/6, Santa Fe, New Mexico, USA
 24. M. Mukaida, T. Horide, S. Horii, R. Kita, K. Matsumoto, A. Ichinose, Y. Yoshida, K. Yamada, N. Mori, “Dilute zinc doping as artificial pinning centers”, CCA2005, 2005/12/6, Santa Fe, New Mexico, USA
 25. Y. Ichino, M. Miura, S. Funaki, T. Ozaki, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, “Reciprocal space mapping of $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films prepared by the low-temperature growth technique”, CCA2005, Santa Fe, New Mexico, USA, 2005/12/6
 26. P. Mele, K. Matsumoto, D. Takahara, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Artificial pinning centers technology development to control critical current in $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ thin films”, SATT13, Convento dell' Annunziata Sestri Levante (GENOVA), 2006/3/30
 27. Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Shigeru Horii and Ataru Ichinose, “High Critical Current Densities in High Fields in the Epitaxial $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ (R=Sm, Gd, Er) Films”, 106th Annual Meeting & Exposition of The American Ceramic Society, 2004/4/18-21
 28. K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, M. Mukaida and K. Osamura, “Jc enhancement in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ thin films by introduction of one-dimensional artificial pinning centers”, Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
 29. K. Matsumoto, D. Takahara, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, and K. Osamura, “High-Jc $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ Epitaxial Films Prepared by Pulsed Laser Deposition”, Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
 30. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii and M. Mukaida, “High critical current density in high field in $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+y}$ thin films”, Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
 31. Kaname Matsumoto, Tomoya Horide, Paolo Mele, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Shigeru Horii and Ataru Ichinose, “Introducing of Artificial Pinning Center into HTS Films for Jc Enhancement”, CCA2004, 2004/11/18-20
 32. M. Mukaida, M. Ito, R. Kita, A. Saito, S. Horii, A. Ichinose, Y. Yoshida, K. Matsumoto, K. Koike, F. Hirose, S. Ohshima, “Microstructure and surface resistance of $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films with dispersed BaZrO_3 nano-rods”, CCA2004, 2004/11/18-20
 33. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Nagoya University, JST; Y. Takai, Nagoya University; K. Matsumoto, Kyoto university, JST; A. Ichinose, Central Research Institute of Electric Power Industry, JST; S. Horii, University of Tokyo, JST; M. Mukaida, Yamagata Univ., “Jc Characteristics in High Magnetic Field and Microstructure of $\text{RE}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+y}$ Films”, CCA2004, 2004/11/18-20
 34. K. Matsumoto, T. Horide, P. Mele, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii and K. Osamura, “Effects of Artificial Pinning Centers on Critical Currents in High-temperature Superconducting films”, 第 17 回国際超電導シンポジウム (ISS2004), 2004/11/23-25
 35. Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Nagoya University, JST; Y. Takai, Nagoya University; K. Matsumoto, Kyoto university, JST; A. Ichinose, Central Research Institute of Electric Power Industry, JST; S. Horii, University of Tokyo, JST; M. Mukaida, Yamagata un, “Jc Characteristics in High Magnetic Field and Microstructure of $\text{RE}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{6+y}$ Films”, 第 17 回国際超電導シンポジウム (ISS2004), 2004/11/23-25
 36. Kaname Matsumoto, T. Horide, P. Mele, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose and S. Horii, “Effects of Artificial Pinning Centers on Vortex Pinning in High-Temperature Superconducting Films.”, 2005 MRS Spring Meeting, 2005/3/28-4/1, Moscone West (SF)
 37. K. Matsumoto (Kyoto Univ), M. Mukaida (Yamagata Univ), Y. Yoshida (Nagoya Univ), A. Ichinose (CRIEPI) and S. Horii (Univ of Tokyo), "ARTIFICIAL PINNING TECHNOLOGY AND NANO STRUCTURE ENGINEERING FOR HIGH JC SUPERCONDUCTING FILMS" 2003 MRS fall meetings, 2003/12/1- 12/5
 38. K. Matsumoto (Kyoto Univ), T. Horide (Kyoto Univ), K. Osamura (Kyoto Univ), A. Ichinose (CRIEPI), M. Mukaida (Yamagata Univ), Y. Yoshida (Nagoya Univ) and S. Horii (Univ of Tokyo), " Enhancement of Critical Current Density of YBCO Films by Introduction of Artificial Pinning Centers due to the Distributed Nano-Scaled Y_2O_3 Islands on Substrates" ,

- International Symposium on Superconductivity 2003 (ISS2003), Tsukuba, 2003/10/27-29
39. K. Matsumoto (Kyoto Univ), "Magnetic flux pinning properties of YBCO thin films grown on SrTiO₃(100) and MgO(100) substrates", 11th IWCC, 日本大学 文理学部, 平成 15 年 7 月 29 日 ~ 7 月 31 日
 40. K. Matsumoto (Kyoto Univ), "Orientation Control of YBCO Films on SOE-Ni Substrates with Oxide Cap Layers", CCA2003 Italy, 2003/9/12-13
 41. M. Mukaida (Yamagata Univ), Y. Yamazaki (Yamagata Univ), Y. Shingai (Yamagata Univ), T. Ohazama (Yamagata Univ), S. Horii (Univ of Tokyo), A. Ichinose (CRIEPI), Y. Yoshida (Nagoya Univ), K. Matsumoto (Kyoto Univ), M. Kusunoki (Kinki University), A. Saito (Yamagata Univ) and S. Ohshima (Yamagata Univ) "Orientation control of HTS Films", IUMRS-ICAM2003, 2003/10/8-10/13
 42. K. Matsumoto (Kyoto Univ), T. Horide (Kyoto Univ), K. Osamura (Kyoto Univ), M. Mukaida (Yamagata Univ), Y. Yoshida (Nagoya Univ), A. Ichinose (CRIEPI) and S. Horii (Univ of Tokyo) "Artificial Pinning Technology and Nano Structure Engineering for High J_c Coated Conductors", 第 11 回日米高温超伝導ワークショップ, 湘南国際村センター, 平成 15 年 10 月 31 日 ~ 11 月 2 日

ポスター発表 (国内会議 7 件、国際会議 104 件)

(国内会議)

1. 船木 修平, 一野 祐亮, 三浦 正志, 吉田 隆, 高井 吉明, 松本 要, 一瀬 中, 堀井 滋, 向田 昌志, "低温成膜法により作製した YBa₂Cu₃O_y 薄膜の転位密度及び磁場中超伝導特性", 2006 年春季低温工学・超電導学会, 大阪大学, 2006/5/16,
2. 武藤正和, 吉田隆, 三浦正志, 一野祐亮, 高井吉明, 松本要, 向田昌志, 一瀬中, 堀井滋, "表面形状の異なる酸化物中間層上に作製した REBCO 薄膜の超伝導特性", 2006 年春季低温工学・超電導学会, 大阪大学, 2006/5/16
3. 甲斐英樹, 向田昌志, 森信幸, 山田和広, 寺西亮, 新海優樹, 松本要, 吉田隆, 喜多隆介, 堀井滋, 一瀬中, 齊藤敦, 淡路智, 渡辺和雄, "レーザー蒸着法による希釈超伝導キラー系人工ピンニングセンター導入", 日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部共催 平成 18 年度 合同学術講演大会, 九州工業大学, 2006/6/10
4. 安永周平, 向田昌志, 森信幸, 山田和広, 寺西亮, 新海優樹, 松本要, 吉田隆, 喜多隆介, 堀井滋, 一瀬中, 齊藤敦, 淡路智, 渡辺和雄, "PLD 法により作製した BaZrO₃ 導入 REBa₂Cu₃O_{7-δ} 薄膜の評価", 日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部共催 平成 18 年度 合同学術講演大会, 九州工業大学, 2006/6/10
5. 多田圭祐, 田中孝幸, 森信幸, 山田和広, 寺西亮, 向田昌志, "改良型 TFA-MOD 法による Y 系超伝導参加物薄膜の試料作製と組織観察", 日本金属学会九州支部・日本鉄鋼協会九州支部共催 平成 18 年度 合同学術講演大会, 九州工業大学, 2006/6/10
6. 藤吉孝則, 春田正和, 末吉哲郎, 出崎公崇, 向田昌志, 松本要, 吉田隆, 一瀬中, 堀井滋, 淡路智, 渡辺和雄, "BZO 添加量の異なる ErBCO 薄膜の磁束ピンニング特性", 第 1 回九州・西日本支部 研究会, 鹿児島大学, 2006/7/20-22 中村嘉孝, 一野祐亮, 吉田隆, 松本要, 一瀬中, 堀井滋, 喜多隆介, 向田昌志, 大嶋重利, "Pt ドープ GdBa₂Cu₃O_y 薄膜の作製と評価", 2005 年春季低温工学・超電導学会, 東京大学, 2005/6/1
7. 船木修平, 一野祐亮, 三浦正志, 吉田 隆, 高井吉明, 松本要, 一瀬 中, 堀井 滋, 向田昌志, "シード層の平坦性が及ぼす LTG-NdBCO 薄膜の J_c 特性", 2005 年春季低温工学・超電導学会, 東京大学, 2005/6/1

(国際会議)

1. Y. Ichino, Y. Yoshida, K. Inoue, Y. Takai, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, "Effect of RE/Ba substitution ratio on (Nd,Eu,Gd)Ba₂Cu₃O_y films fabricated by low temperature growth technique", 2007 Materials Research Society Spring Meeting, Moscone West | San Francisco Marriott, San Francisco, CA, USA, 2007/4/11
2. Shuhei Funaki, Yutaka Yoshida, Yusuke Ichino, Masashi Miura, Yoshiaki Takai, Kaname Matsumoto, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida and Sigeru Horii, "Thickness Dependence of Orientation and Superconducting Properties of YBa₂Cu₃O_y Thick Films Fabricated by Low Temperature Growth Technique", 2007 Materials Research Society Spring Meeting, Moscone West | San Francisco Marriott, San Francisco, CA, USA, 2007/4/11
3. Masashi Mukaida, Tomoya Horide, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Kazuhiro Yamada, Nobuyuki Mori, "Magnetic Field Angular Dependence of Zero Dimensional Pinning Centers", MRS2006 Spring Meeting, San Francisco Moscone Center, 2006/4/20
4. M. Miura, Y. Ichino, Y. Yoshida, M. Mutoh, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, S. Awaji, K. Watanabe, "Enhanced the pinning properties in Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y + nanoparticles films", MRS2006 Spring Meeting, San Francisco Moscone Center, 2006/4/20
5. A Ichinose, M Mukaida, S Horii, R. Kita, K Matsumoto, Y Yoshida, "Microstructures of High-Tc Superconducting Films Introduced 0-Dimensional and 1-Dimensional Artificial Pinning Centers", ASC2006, Washington State Convention & Trade Center, 2006/8/29
6. M. Mukaida, Y. Shingai, A. Ichinose, K. Matsumoto, S. Horii, Y. Yoshida, R. Kita, S. Awaji, K. Watanabe, N. Mori, K. Yamada, "Microstructure and Jc characteristics of Er123 films with artificial pinning centers", ASC2006, Washington State Convention & Trade Center, 2006/8/29
7. R Teranishi, N Mori, M Mukaida, J Matsuda, K Nakaoka, Y Aoki, T Izumi, Y Shiohara, "High Production Rate Process of YBCO Coated Conductors by TFA-MOD Process", ASC2006, Washington State Convention & Trade Center, 2006/8/29
8. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, "Artificial pinning centers technology development to control critical current in YBa₂Cu₃O_{7-x} PLD thin films", ASC2006, Washington State Convention & Trade Center, 2006/8/29
9. T. Ozaki, Y. Yoshida, M. Miura, Y. Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, "Enhancement of critical current in Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y multilayer films with the insertion of Sm-rich phase", ASC2006, Washington State Convention & Trade Center, 2006/8/31
10. Y. Shingai, M. Mukaida, T. Numasawa, S. Awaji, K. Watanabe, R. Kita, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, A. Saito, N. Mori, K. Yamada, "Fabrication and evaluation of ErBa₂Cu₃O_{7-f} films with BaWO₄ doping", ASC2006, Washington State Convention & Trade Center, 2006/9/1
11. O Miura, T Watase, D Ito, K Taki, K Matsumoto, A Ichinose, "Characteristics of high-critical current density Gd123 films by no-water post-annealing of precursor films including BaF₂", ASC2006, Washington State Convention & Trade Center, 2006/9/1
12. Y. Ichino, Y. Yoshida, M. Miura, Y. Takai, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, S. Awaji, K. Watanabe, "FLUX PINNING PROPERTIES IN HIGH MAGNETIC FIELD AND LOW TEMPERATURE OF SmBa₂Cu₃O_y THIN FILMS", ISS2006, 名古屋国際会議場, 2006/10/31
13. S. Funaki, Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, T. Ozaki, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, "Enhancement of dislocation density in YBa₂Cu₃O_y thin films prepared by low temperature growth technique.", ISS2006, 名古屋国際会議場, 2006/10/31
14. T. Ozaki, Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, T. Ozaki, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, "Current-carrying property and microstructure of multilayered Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y thick films", ISS2006, 名古屋国際会議場, 2006/10/31
15. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, "YBa₂Cu₃O_{7-x} + YSZ films with enhanced critical current densities in magnetic fields", ISS2006, 名古屋国際会議場, 2006/10/31
16. T. Horide, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, and S. Horii, "Limitation

- mechanism of J_c in YBCO thin films with single low angle grain boundary”, ISS2006, 名古屋国際会議場, 2006/10/31
17. A. Ichinose, M. Mukaida, T Horide, K. Matsumoto, R. Kita, Y. Yoshida, S. Horii, “MICROSTRUCTURES OF $BaZrO_3$ -DOPED $REBa_2Cu_3O_y$ FILMS FABRICATED BY DIFFERENT $BaZrO_3$ SUPPLY”, ISS2006,名古屋国際会議場, 2006/10/31
 18. R. Kita, A. Anma, T. Nakamura, A. Ichinose, O. Miura, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii, “GROWHT OF $GdBa_2Cu_3O_y$ FILMS PREPARED BY BaF_2 PROCESS WITHOUT WATER VAPOR”, ISS2006,名古屋国際会議場, 2006/11/1
 19. T. Nakamura, R. Kita, O. Miura, A. Ichinose, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii, “Fabriation of $GdBa_2Cu_3O_y$ films by metal-organic deposition using metal naphthenates”, ISS2006,名古屋国際会議場, 2006/11/1
 20. H. Kai, M. Mukaida, N. Mori, R.Teranishi, K. Yamada, K. Matsumoto, Y. Yoshida, R. Kita, S.Kato, S. Horii, A. Ichinose, “Superconducting properties and microstructure of PLD- $ErBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ films with $BaNb_2O_6$ ”, ISS2006,名古屋国際会議場, 2006/11/1
 21. G. Goto, M. Mukaida, R. Teranishi, N. Mori, K Yamada, Y Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, K. Matsumoto, R. Kita, S. Kato, “MICROSTRUCTURE OF NANO RODS GROWM ON ARRANGED $BaZrO_3$ NANO PARTICLES”, ISS2006,名古屋国際会議場,2006/11/1
 22. S.Yasunaga, M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, R.Kita, S. Kato, R. Teranishi, K. Yamada, N. Mori, “Improvement of superconducting properties by $BaZrO_3$ doping into $ErBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ thin films”, ISS2006,名古屋国際会議場,2006/11/1
 23. M. Mukaida, M. Takamura, Y. Shingai, R. Teranishi, K. Yamada, N. Mori, A. Ichinose, R. Kita, S. Kato, K. Matsumoto, Y. Yoshida, S. Horii, “A NEW APPROACH TO A 2-DIMENSIONAL ARTIFICIAL PINNING CENTER”, ISS2006,名古屋国際会議場, 2006/11/1
 24. Y. Shingai, M. Nukaida, R Teranishi, N. Mori, K. Yamada, R. Kita, S Kat, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, S. Awaji, K. Watanabe, M. Namba, A. Saito, “INFLUENCE OF AMOUNT OF $BaZrO_3$ DOPING INTO $ErBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ FILMS”, ISS2006,名古屋国際会議場, 2006/11/1
 25. Shigeru Horii, Yusuke Ichino, Yutaka Yoshida, Kaname Mtsumoto, Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Jun-ichi Shimoyama, Koji Kishio, “critical current properties and microstructures in impurity-doped $ErBa_2Cu_3O_y$ fims”, ISS2006,名古屋国際会議場, 2006/11/1
 26. A. Ichinose, S. Yasunaga, M. Mukaida, P. Mele, K. Matsumoto, R. Kita, Y. Yoshida, S. Horii, “Microstructures of $REBa_2Cu_3O_y$ films including $BaZrO_3$ ”, NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 27. S. Funaki, Y. Yoshida, Y. Ichino, M. Miura, Y. Takaia, K. Mastumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, “Superconducting properties and growth mechanism of the $YBa_2Cu_3O_y$ films fabricated by low temperature growth technique”, NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 28. Kazuhiro Yamada, Kenji Kaneko, Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ryusuke Kita, “Transmission electron microscopy studies of $BaZrO_3$ nanorods in $Er123$ films”, NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 29. R. Kita, A. Anma, T. Nakamura, A. Ichinose, O. Miura, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii, “Heating rate and thickness dependence of J_c for $GdBa_2Cu_3O_y$ thin films by BaF_2 process without water vapor”, NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 30. Tomoya Horide, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, “Limitation mechanism of J_c in YBCO thin films with a single low angle grain boundary”, NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 31. P Mele, K Matsumoto, T Horide, A Ichinose, M Mukaida, Y Yoshida, S Horii, “Critical current enhancement in YSZ-doped $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ films”, NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 32. M. Takamura, M. Mukaida, Y. Shingai, R. Teranishi, K. Yamada, N. Mori, S. Horiib., A. Ichinose, R. Kita, S. Kato, K. Matsumoto, Y. Yoshida, “A NEW APPROACH TO A 2-DIMENSIONAL ARTIFICIAL PINNING CENTER”, NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 33. Hideki Kai, Masashi Mukaida, Shigeru Horii, Ataru Ichinose, Ryusuke Kita, Shingo Katou,

- Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Kazuhiro Yamada, Ryo Teranishi, Nobuyuki Mori, "Superconducting properties and microstructure of PLD-ErBa₂Cu₃O_{7-δ} film with BaNb₂O₆", NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
34. Yuki Shingai, Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Ryusuke Kita, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Kazuhiro Yamada, Ryo Teranishi, Nobuyuki Mori, "Fabrication and evaluation of ErBa₂Cu₃O_{7-δ} films with BaWO₄ doping", Kyoto Research Park, NVLS2006, 2006/12/12
 35. S. Horii, A. Ichinose, Y. Ichino, T. Ozaki, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, J. Shimoyama, K. Kishio, "Minute impurity-doping effects on critical current properties and microstructures in PLD-Er123 thin films", NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 36. T. Ozaki, Y. Yoshida, M. Masashi, Y. Ichino, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii, M. Mukaida, "Superconducting property in magnetic field of multilayered Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y thick films", NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 37. Y. Ichino, Y. Yoshida, M. Miura, Y. Takai, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, S. Awaji, K. Watanabe, "Enhancement of flux pinning properties at low temperature for SmBa₂Cu₃O_y films grown by LTG technique", NVLS2006, Kyoto Research Park, 2006/12/12
 38. M. Mukaida, A. Saito, R. Kita, K. Matsumoto, A. Ichinose, Y. Yoshida, S. Horii, K. Yamada, N. Mori, "Surface resistance of high quality ErBa₂Cu₃O_{7-δ} films with dilute zinc addition", EUCAS2005, Vienna, Austria, 2005/9/11-15
 39. M. Miura, Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, "ADDITION OF LOW-T_c-NANOPARTICLES DISPERSIONS TO ENHANCE FLUX PINNING OF Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y FILMS", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 40. Y. Ichino, T. Ozaki, Masashi Miura, Yutaka Yoshida, Yoshiki Takai, Kaname Matsumoto, Masashi Mukaida, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, "Comparative study of carrier concentration and reciprocal space mapping in SmBa₂Cu₃O_y thin films with high critical current density", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 41. S. Horii, Y. Ichino, Y. Yoshida, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, J. Shimoyama, K. Kishio, "Dilute Co-doping effects on critical current properties for PLD-ErBa₂Cu₃O_y thin films", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 42. R. Kita, T. Naito, A. Shiraiishi, K. Oidaira, O. Miura, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii, A. Ichinose, "EFFECT OF Ta₂O₅ ADDITION ON THE SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF REBa₂Cu₃O_y", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 43. K. Yokoyama, R. Kita, A. Ichinose, O. Miura, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii, "SUPERCONDUCTING PROPERTIES OF REBa₂Cu₃O_y (RE=Y and Gd) FILMS PREPARED BY THE BaF₂ PROCESS", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 44. Kazuhiro Yamada, Tomoya Horide, Yuuki Shingai, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Ryusuke Kita, Kenji Kaneko, Nobuyuki Mori, Masashi Mukaida, "TEM OBSERVATION OF ErBa₂Cu₃O_{7-δ} FILMS WITH BaZrO₃ ARTIFICIAL PINNING CENTERS", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 45. Y. Shingai, T. Abe, M. Mukaida, R. Kita, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, K. Matsumoto, A. Saito, K. Yamada, N. Mori, "IMPROOVMENT OF SUPERCONDUCTING PROPERTIES BY BaTiO₃ DOPING IN ErBa₂Cu₃O_{7-δ} FILMS", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 46. M. Miura, M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, R. Kita, A. Saito, K. Kaneko, K. Yamada, N. Mori, "Effects of BaZrO₃ doping into EuBa₂Cu₃O_{7-δ} superconducting thin films", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 47. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, and S. Horii, "Critical current enhancement in PLD YBCO films using artificial pinning centers", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 48. T. Horide, H. Adachi, K. Matsumoto, K. Osamura, A. Ichinose, Y. Yoshida, M. Mukaida, S. Horii, "The introduction and evaluation of metallic nanoparticles in REBa₂Cu₃O₇ thin films", ISS2005, Tsukuba, 2005/10/25
 49. M. Miura, Y. Ichino, Y. Yoshida, T. Ozaki, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, "Dislocation density and J_c value in SmBCO thin films prepared by various fabrication process.", CCA2005, Santa Fe, New Mexico, USA, 2005/12/6
 50. S. Funaki, Y. Ichino, M. Miura, M. Mutoh, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, M.

- Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, "Crystallinity and superconducting properties of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films prepared by low temperature growth technique", CCA2005, Santa Fe, New Mexico, USA, 2005/12/6
51. Y. Ichino, T. Ozaki, M. Miura, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, "Evolution of reciprocal space maps in $\text{SmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films grown by low temperature growth technique", NVLS2005, Awaji-shima, 2005/12/21
 52. Masashi Miura, Yusuke Ichino, Yutaka Yoshida, Yoshiaki Takai, Kaname Matsumoto, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Masashi Mukaida, "High J_c $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ films prepared by the low temperature growth technique", NVLS2005, Awaji-shima, 2005/12/21
 53. Kazuhiro Yamada, Ataru Ichinose, Yuuki Shingai, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Shigeru Horii, Ryusuke Kita, Shoichi Toh, Kenji Kaneko, Nobuyuki Mori, Masashi Mukaida, "Transmission electron microscopy studies of nano-rods in $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ thin films", NVLS2005, Awaji-shima, 2005/12/21
 54. Y. Shingai, T. Abe, M. Mukaida, R. Kita, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, K. Matsumoto, A. Saito, K. Yamada, N. Mori, "Improvement of superconducting properties by BaTiO_3 doping into $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ films", NVLS2005, Awaji-shima, 2005/12/21
 55. Ryusuke Kita, Kouichi Yokoyama, Ataru Ichinose, Kaname Matsumoto, Yutaka Yoshida, Masashi Mukaida, Shigeru Horii, "Gd $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films prepared by BaF_2 process without water vapor", NVLS2005, Awaji-shima, 2005/12/21
 56. Ataru Ichinose, Ryusuke Kita, Osuke Miura, Shigeru Horii, Kaname Matsumoto, Masashi Mukaida, Yutaka Yoshida, "Microstructures of $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ films prepared by annealing of precursor films including BaF_2 ", NVLS2005, Awaji-shima, 2005/12/21
 57. S. Horii, Y. Ichino, M. Mukaida, K. Matsumoto, A. Ichinose, Y. Yoshida, J. Shimoyama, K. Kishio, "Dramatic J_c Enhancement in PLD- $\text{ErBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Films by Oxygen and Impurity Dopings", NVLS2005, Awaji-shima, 2005/12/21
 58. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, O. Miura, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, "Critical current enhancement in PLD $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ films using artificial pinning centers", NVLS2005, Awaji-shima, 2005/12/21
 59. T. Horide, K. Matsumoto, K. Osamura, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, "Evidence of field induced Josephson coupling at low angle grain boundary in YBCO thin film", NVLS2005, Awaji-shima, 2005/12/21
 60. S. Horii, K. Matsumoto, M. Mukaida, Y. Yoshida, A. Ichinose, J. Shimoyama, K. Kishio, "Development of High-Tc Superconductor by control of Nano-Microstructure", The 5th International Symposium on Nanotechnology JAPAN NANO 2006, Tokyo Big Sight, Conference Tower, 2006/2/20
 61. T. Horide, K. Matsumoto, A. Ichinose, Y. Yoshida, S. Horii, M. Mukaida and K. Osamura, "Angular Dependence of Critical Current Density in YBCO Thin Films", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
 62. Y. Ichino, R. Honda, M. Itoh, Y. Yoshida, Y. Takai, S. Horii, A. Ichinose, M. Mukaida and K. Matsumoto, "Field angle dependence of critical current densities and microstructure in $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ thin films prepared by PLD method", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
 63. M. Miura, M. Itoh, Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, S. Horii and M. Mukaida, "Effect of Sm/Ba substitution on the J_c in magnetic field of SmBCO thin films by low temperature growth technique.", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, Oct./3-8
 64. M. Mukaida, Y. Yamazaki, K. Nomura, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, F. Hirose, A. Saito and S. Ohshima, "2-dimensional artificial pinning centers for controlling the vortex movement", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
 65. Y. Shingai, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, F. Hirose, A. Saito and S. Ohshima, "Fabrication of a/c axes oriented grain boundaries in YBCO films by selective growth", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
 66. S. Ohshima, K. Takeishi, A. Saito, M. Mukaida, Y. Takano, T. Nakamura, T. Suzuki, and M. Yokoo, "A Simple Measurement Technique for Critical Current Density by Using a Permanent Magnet", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8

67. S. Ohshima, M. Shirakawa, T. Nishimura, A. Saito and M. Mukaida, "Hetero-Epitaxial Growth of YBCO Thin Films on the A-cut Plane Sapphire Substrates", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
68. A. Saito, M. Shirakawa, K. Kitamura, Y. Noguchi, M. Mukaida, H. Yamasaki, Y. Nakagawa, and S. Ohshima Yamagata, Univ., "Dependence of Surface Resistance in HTS Thin Films on a DC Magnetic Field", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
69. A. Saito, M. Shirakawa, K. Kitamura, Y. Noguchi, M. Mukaida, H. Yamasaki, Y. Nakagawa, and S. Ohshima, "Relationship between Surface Resistance and Critical Current Density of HTS Thin Films in a DC Magnetic Field", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
70. S. Horii, Y. Ichino, M. Mukaida, K. Matsumoto, T. Hazama, A. Ichinose, Y. Yoshida, J. Shimoyama and K. Kishio, "Oxygen Post-Annealing Effects on Superconducting Properties of PLD ErBa₂Cu₃O_y films", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
71. A. Ichinose, K. Matsumoto, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii and S. Akita, "Microstructures of High-T_c Superconducting Films Having Artificial Pinning Centers", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
72. Yoshitaka Nakamura, Yuta Isozaki, Masashi Miura, T. Kuroiwa, Yutaka Yoshida, Kaname Matsumoto, Ataru Ichinose, Shigeru Horii, Masashi Mukaida and Shigetoshi Ohshima, "YBCO Thin Films on TiO₂ Buffer Layer Deposited by RF Magnetron Sputtering", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
73. O. Miura, Y. Ono, D. Ito, and K. Matsumoto, "Critical Current Density Characteristics in YBCO Films on MgO Substrates by Pulsed Laser Deposition", Applied Superconductivity Conference®, ASC 2004, 2004/10/3-8
74. T. Horide, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii and K. Osamura, "Magnetic field angular dependence of critical current density in YBa₂Cu₃O_{7-x} thin film", 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
75. D. Takahara, K. Matsumoto, Y. Yoshida, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii and K. Osamura, "Magnetic field dependence of critical current density in GdBa₂Cu₃O_{7-x} thin films", 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
76. R. Honda, Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose and M. Mukaida, "Effect of substituted rare earth element in (Yb_{1-x}Nd_x)Ba₂Cu₃O_y thin film on growth orientation and superconducting properties", 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
77. M. Mukaida, M. Miura, Yamagata University, JST; Y. Yoshida, Nagoya University, JST; K. Matsumoto, Kyoto university, JST; A. Ichinose, CRIEPI, JST; S. Horii, University of Tokyo, JST, "CRYSTAL DISTORTION ASSOCIATED WITH ORTHO-TETRA TRANSITION OF REBa₂Cu₃O_x FILMS", 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
78. T. Ohazama, M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, H. Fumihiko, A. Saito and S. Ohshima, "LOW SURFACE RESISTANCE ErBa₂Cu₃O_{7-δ} THIN FILMS", 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
79. M. Miura, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, A. Saito, F. Hirose and S. Ohshima, "HIGH-QUALITY EuBa₂Cu₃O_{7-δ} FILMS UNDER HIGH TEMPERATURE AND HIGH OXYGEN PRESSURE", 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23 ~ 25
80. Y. Shingai, M. Mukaida, K. Matsumoto, Y. Yoshida, A. Ichinose, S. Horii, A. Saito and S. Ohshima, "GROWTH OF A -AXIS ORIENTED ErBa₂Cu₃O_{7-δ} FILMS USING YBa₂Cu₃O_{7-δ} BUFFER LAYER", 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
81. K. Nomura, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, Y. Yoshida, K. Matsumoto, A. Saito, F. Hirose and S. Ohshima, "Microstructure of selective 0-45° in-plane orientation films for 2D pinning centers", 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
82. M. Itoh, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, K. Matsumoto, Y. Yoshida, R. Kita, A. Saito, S. Ohshima, "MICROSTRUCTURE OF ErBa₂Cu₃O_{7-δ} FILMS WITH BaZrO₃ DISPERSION PINNING CENTERS FOR HIGH JC APPLICATIONS", 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
83. Naoto Sekiya, Masashi Mukaida, Satoru Hirano, Atsushi Saito, Shigetoshi Ohshima,

- “Examination of the Josephson mixer for a high sensitivity microwave receiving system”, 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
84. A. Saito, M. Shirakawa, K. Kitamura, Y. Noguchi, M. Mukaida, H. Yamasaki, Y. Nakagawa, S. Hirano and S. Ohshima, “Temperature and dc magnetic field dependence of the surface resistance in HTS films”, 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
 85. A. Saito, K. Takeishi, Y. Takano, T. Nakamura, M. Yoko, M. Mukaida, S. Hirano, and S. Ohshima, “Rapid and simple measurement of critical current density in HTS thin films using a permanent magnet method”, 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
 86. S. Horii, M. Mukaida, Y. Ichino, K. Matsumoto, T. Ohazama, A. Ichinose, Y. Tshida, J. Shimoyama, K. Kishio, “Oxygen Post-annealing effects on Critical Current Properties of PLD-ErBa₂Cu₃O_y films Grown at Several Deposition Temperatures”, 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
 87. K. Yokoyama, R. Kita, K. Matsumoto, Y. Tshida, M. Mukaida, S. Horii, A. Ichinose, “SUPERCONDUCTING PROPERTIES AND ORIENTATION BEHAVIOR OF REBa₂Cu₃O_y (RE=Yb, Er, AND Nd) FILMS BY METAL-ORGANIC DEPOSITION”, 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
 88. R. Kita, K. Nezu, K. Yokoyama, K. Matsumoto, Y. Tshida, M. Mukaida, S. Horii, A. Ichinose, “Effect OF AZrO₃ (A=Ca, Sr, Ba) Addition On the Superconducting Properties of ErBa₂Cu₃O_y”, 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
 89. M. Miura, M. Itoh, Y. Ichino, Y. Yoshida, Y. Takai, K. Matsumoto, A. Ichinose, M. Mukaida, S. Horii, “In-Plane Alignment and Superconducting Properties in High-J_c Sm_{1+x}Ba_{2-x}Cu₃O_y Thin Films”, 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
 90. P. Mele, R. Vaccarone, G.A. Costa, N. Chikumoto, M. Oishi, M. Murakami, “Magnetic Imaging of a Drilled YBCO Crystal”, 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
 91. P. Mele, K. Matsumoto, T. Horide, A. Ichinose, M. Mukaida, Y. Yoshida, S. Horii, “Control of Y₂O₃ Nanoislands Deposition Parameters in Order to Induce Artificial pinning Centers Formation in YBCO Thin Films”, 第17回国際超電導シンポジウム(ISS2004), 2004/11/23-25
 92. S. Horii, M. Mukaida, Y. Ichino, K. Matsumoto, T. Ohazama, A. Ichinose, Y. Tshida, J. Shimoyama, K. Kishio, “Superconducting properties of oxygen post-annealed PLD-ErBa₂Cu₃O_y films”, MRS Fall Meeting 2004, 2004/11/29-12/-3
 93. Y. Ichino, H. Matsuo, Y. Tshida, Y. Takai, K. Matsumoto, M. Mukaida, A. Ichinose, S. Horii, “Rapid growth of SmBa₂Cu₃O_y thin film grown by vapor-liquid-solid growth mode”, MRS Fall Meeting 2004, 2004/11/29-12/3
 94. Paolo Mele, Kaname Matsumoto, Tomoya Horide, Osuke Miura, Ataru Ichinose, Masashi Mukaida, Yutaka Yoshida and Shigeru Horii, “Progress on Control of Y₂O₃ Nano-Islands Density in Order to Induce Artificial Pinning Centers Formation in YBCO”, 2005 MRS Spring Meeting, 2005/3/28-4/1, Moscone West (SF)
 95. M. Mukaida (Yamagata Univ), T. Ohazama (Yamagata Univ), S. Horii (Univ of Tokyo), K. Matsumoto (Kyoto Univ), Y. Yoshida (Nagoya Univ), A. Ichinose (CRIEPI), A. Saito (Yamagata Univ) and S. Ohshima (Yamagata Univ), " FABRICATION AND TRANSPORT PROPERTIES OF HIGH QUALITY ErBa₂Cu₃O_{7-x} FILMS BY PULSED LASER DEPOSITION", 2003 MRS fall meetings, 2003/12/1-12/5
 96. T. Horide (Kyoto Univ), K. Matsumoto (Kyoto Univ), K. Osamura (Kyoto Univ), A. Ichinose (CRIEPI), M. Mukaida (Yamagata Univ), Y. Yoshida (Nagoya Univ) and S. Horii (Univ of Tokyo), " Flux Pinning Properties of YBCO Thin Films Deposited on SrTiO₃(100) and MgO(100) Substrates", International Symposium on Superconductivity 2003 (ISS2003), Tsukuba, 2003/10/24-27
 97. Y. Shingai (Yamagata Univ), M. Mukaid (Yamagata Univ), K. Matsumoto (Kyoto Univ), Y. Yoshida (Nagoya Univ), A. Ichinose, (CRIEPI), S. Horii (Univ of Tokyo), A. Saito (Yamagata Univ) and S. Ohshima (Yamagata Univ), " Selective Preferred Orientation control of YBa₂Cu₃O_{7-x} Films on a Substrate", International Symposium on Superconductivity 2003 (ISS2003), Tsukuba, 2003/10/24-27

98. Y. Yamamoto (Yamagata Univ), M.Mukaid(Yamagata Univ), K.Matsumoto(Kyoto Univ), Y. Yoshida(Nagoya Univ), A. Ichinose (CRIEPI), S. Horii(Univ of Tokyo), A. Saito (Yamagata Univ) and S.Ohshima(Yamagata Univ), " Evaluation of Buffer Materials for Fluorine Contained Solid Phase Epitaxy of 123 Films on MgO Substrates" , International Symposium on Superconductivity 2003 (ISS2003), Tsukuba , 2003/10/24-27
99. Y.Yamazaki(Yamagata Univ), M. Mukaida, (Yamagata Univ), K.Matsumoto(Kyoto Univ),Y.Yoshida (Nagoya Univ), A.Ichinose(CRIEPI), S.Horii(Univ of Tokyo), A.Saito (Yamagata Univ) and S.Ohshima (Yamagata Univ), " Fabrication of selective in-plane orientation films on one substrate on one substrate by BaSnO₃ and CeO₂" , International Symposium on Superconductivity 2003 (ISS2003), Tsukuba , 2003/10/24-27
100. T.Ohazama(Yamagata Univ), M.Mukaida(Yamagata Univ), K.Matsumoto(Kyoto Univ), Y.Yoshida(Nagoya Univ), A.Ichinose(CRIEPI),S.Horii(Univ of Tokyo), A.Saito (Yamagata Univ) and S.Ohshima (Yamagata Univ), " Growth of High-Quality ErBa₂Cu₃O_{7-x} Thin Films for The Introduction of Artificial Pinning Centers" , International Symposium on Superconductivity 2003 (ISS2003), Tsukuba , 2003/10/24-27
101. M. Itoh(Nagoya Univ), Y. Ichino(Nagoya Univ), Y. Yoshida(Nagoya Univ), Y. Takai(Nagoya Univ), K. Matsumoto(Kyoto Univ), A. Ichinose(CRIEPI),M. Mukaida(Yamagata Univ) and S. Horii(Univ of Tokyo), " Microstructure of SmBCO films deposited by low temperature growth technique " , International Symposium on Superconductivity 2003 (ISS2003), Tsukuba , 2003/10/24-27
102. S. Horii(Univ of Tokyo), M. Mukaida(Yamagata Univ),Matsumoto(Kyoto Univ), T.Ohazama (Yamagata Univ), A. Ichinose(CRIEPI),Y. Yoshida(Nagoya Univ), J. Shimoyama(Univ of Tokyo) and K. Kishio(Univ of Tokyo) , "Post-annealing Effects of Superconducting Properties on ErBa₂Cu₃O_y Films Fabricated by Pulsed Laser Deposition" , International Symposium on Superconductivity 2003 (ISS2003), Tsukuba , 2003/10/24-27
103. A.Ichinose (CRIEPI), Y.Yamamoto(Yamagata Univ), M.Mukaida(Yamagata Univ), A.Kikuchi(NIMS), K. Tachikawa (Tokai Univ), S.Akita(CRIEPI), K.Inoue(NIMS), K.Matsumoto(Kyoto Univ), Y.Yoshida(Nagoya Univ) and S.Horii (Univ of Tokyo), "Preparation of YBa₂Cu₃O_{7-x} films on cap-layers-buffered MgO substrates using precursor films deposited Y, BaF₂ and Cu " , International Symposium on Superconductivity 2003 (ISS2003), Tsukuba , 2003/10/24-27
104. M.Mukaida,(Yamagata Univ), T.Ohazama(Yamagata Univ), S.Horii(Univ of Tokyo), A.Ichinose(CRIEPI),K.Matsumoto(KyotoUniv),Y.Yoshida(NagoyaUniv),M.Kusunoki(KinkiUniversity)A.Saito(YamagataUniv), and S. Ohshima(Yamagata Univ)" High-T_c Ln123 films for microwave devices", 第 11 回日米高温超伝導ワークショップ,湘南国際村センター,平成 15 年 10 月 31 日 ~ 11 月 2 日

(4)特許出願

国内出願 (7 件)

1. 発明の名称:超電導体膜及びその製造方法,発明者:一瀬 中、松本 要、堀出朋哉、向田 昌志、吉田 隆、堀井 滋、喜多 隆介、財団法人電力中央研究所・国立大学法人京都大学・国立大学法人九州大学・国立大学法人名古屋大学・国立大学法人東京大学・国立静岡大学学、平成 18 年 11 月 17 日出願、特許 2006-312038 号
2. 発明の名称:超伝導薄膜,その製造方法,およびそれを用いた超伝導線材,超伝導デバイス,発明者:吉田 隆、堀井 滋、松本 要、向田昌志、一瀬 中、出願日:平成16年8月31日、特願2004 - 253273
3. 発明の名称:酸化物超電導薄膜およびその製造方法、発明者:堀井滋、向田昌志、松本要、一瀬中、吉田隆、岸尾光二、下山淳一、出願日:平成16年3月4日、特願 2004-061414
4. 発明の名称:酸化物超電導薄膜およびその製造方法、発明者:吉田隆、松本要、向田昌志、一瀬中、堀井滋、高井吉明、出願日:平成15年10月9日、特願 2003-351165
5. 発明の名称:高臨界電流超電導素子、発明者:向田昌志、松本要、吉田隆、一瀬中、堀井滋、出願日:平成15年8月29日、特願 2003-308019
6. 発明の名称:超電導膜およびその製造方法、発明者:松本要、向田昌志、吉田隆、一瀬中、堀井滋、出願日:平成15年8月29日、特願 2003-308020、APC 基本特許
7. 発明の名称:結晶軸の面内回転高臨界電流超伝導配線、発明者:向田昌志、松本要、吉田隆、一瀬中、堀井滋、出願日:平成15年8月29日、特願 2003-308021

海外出願 (2 件)

1. 発明の名称:「超伝導薄膜、その製造方法、およびそれを用いた超伝導線材、超伝導デバイス」、国際出願番号:PCT/JP2005/015423、国際出願日:平成 17 年 8 月 25 日、出願人:科学技術振興機構、APC 基本特許
2. 発明の名称:「超伝導薄膜、その製造方法、およびそれを用いた超伝導線材、超伝導デバイス」、発明者:吉田隆、高井吉明、一野祐亮、三浦正志、松本要、向田昌志、堀井滋、一瀬 中、国際出願番号:PCT/JP2005/015423、国際出願日:平成 17 年 8 月 25 日、出願人:科学技術振興機構

(5)受賞等

受賞

1. 2006年度低温工学協会褒賞 優良発表賞、名古屋大学 三浦正志研究員、「異なる成膜プロセスにより作製した $\text{Sm}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_y$ 薄膜の転位密度と臨界電流密度」、2006年5月16日
2. 応用物理学会 講演奨励賞 九州大学 寺西 亮助手、「TFA-MOD 法による YBCO 膜の高 I_c 化」、2006年8月29日
3. 日本金属学会 第16回奨励賞 材料プロセッシング部門 九州大学 寺西 亮助手、2006年9月16日
4. 第19回秋季応用物理学会、発表奨励賞、三浦 正志、名古屋大学
5. 松本 要(京都大学), Fellow of The Institute of Physics, 受賞理由「Institute of Physics (英国), 超伝導分野での貢献」, 2004年9月1日, The Institute of Physics(英国)
6. 一野祐亮(名古屋大学), 第16回応用物理学会講演奨励賞, 受賞理由「優れた学会口頭発表」, 2004年9月1日, 応用物理学会

新聞報道

日本経済新聞「高温超伝導物質、京大が世界最高性能、リニア実用での低コスト化へ道」、平成 15 年 3 月 13 日
日経産業新聞, 京都新聞, 電気新聞, その他掲載,

その他

7 研究期間中の主な活動(ワークショップ・シンポジウム等)

(平成 19 年度)

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2007/12/17-18	NVLS2007	北九州国際会議場	約 70 名	異なるナノバーチャルラボ NVL に属する3つの CREST チームが「超伝導」と「ナノテクノロジー」を共通のキーワードとし合同主催するという初めての国際会議。その第 3 回目。
2007/5/17	チーム戦略会議	千葉大学	5 名	チーム内での進捗確認・情報交換と戦略立案

(平成 18 年度)

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2006/12/11-13	NVLS2006	京都リサーチパーク	約 90 名	3 つのチームは、ナノテクノロジーをベースとした実験手法、高い Tc を持つ材料、超伝導接合などの共通点があることから、一堂に会して集中して議論することで、今後の研究を効率的に推進し、研究の方向性を探る。また、成果の公表を通して日本のみならず世界の超伝導研究を刺激し、研究の活性化を図る。
2006/5/26	チーム戦略会議	JST 八重洲	5 名	チーム内での進捗確認・情報交換と戦略立案
2007/2/6	チーム戦略会議	名古屋大学	7 名	チーム内での進捗確認・情報交換と戦略立案

(平成 17 年度)

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2005/4/18	チーム戦略会議	JST 八重洲	5 名	チーム内での進捗確認・情報交換と戦略立案
2005/10/3	チーム戦略会議	京都大学	5 名	チーム内での進捗確認・情報交換と戦略立案
2005/12/20-22	NVLS2005	淡路夢舞台国際会議場	109 名	異なるナノバーチャルラボ NVL に属する3つの CREST チームが「超伝導」と「ナノテクノロジー」を共通のキーワードとし合同主催するという初めての国際会議。
2006/2/24	チーム戦略会議	名古屋大学	5 名	チーム内での進捗確認・情報交換と戦略立案

(平成 16 年度)

年月日	場所	趣旨	内容	参加人数
4月14日～15日	京都大学	チーム戦略会議	平成15年度の全体計画打ち合わせ 各種プロセスの方針議論 評価グループとの試料交換計画	8名
5月16日	名古屋大学	チーム戦略会議	名大グループの実験設備見学と研究打ち合わせ 各グループの進捗報告	10名
6月27日	電力技術研究所	チーム戦略会議	電力中央研究所の実験設備見学と研究打ち合わせ 各グループの進捗	5名
8月6日	名古屋大学	オンサイトミーティング	藤嶋領域の3チーム集まったオンサイト会議に参加 研究交流と情報収集	20名
9月26日	八重洲	チーム戦略会議	各グループ研究進捗 今後の研究計画のすり合わせ	5名
1月30日～31日	山形大学	チーム戦略会議	平成15年度進捗報告と平成16年度に向けた研究計画すり合わせ	15名

(平成 15 年度)

年月日	場所	趣旨	内容	参加人数
平成 14 年 11 月 19 日 (火)	JST 研究事務所・ 会議室 (東京・八 重洲)	キックオフを兼 ねた研究計画作 成のための打合 せ	1. 全体研究計 画書検討 (5 年) 2. 今後の研究 運営・管理につ いて 3. 外部発表、論 文、パテント 対策	4 人
平成 14 年 12 月 16 日 (月)	JST 研究事務所・ 会議室 (東京・八 重洲)	本年度予算が明 らかに。全体的 にかなり緊縮予 算となり対策を 検討	1. 緊縮予算対 策 2. 藤嶋領域ス タートアップミ ーティング 用資料検討 3. 各グループ 研究計画 4. ナノリソグ ラフィー設備仕 様の打合せ	5 人
平成 15 年 3 月 9 日 (日) ~ 10 日 (月)	京都大学会議室 (京都)	松本チームの全 体キックオフミ ーティング、全 員顔合わせ	1. 全体顔合わ せ 2. 全体研究計 画説明 3. 各グルー プの研究進捗 4. 今後の研究 計画 5. 外部発表、パ テント対策	10 名
平成 15 年 3 月 29 日 (土)	神奈川大学応用 物理学会会場 (横 浜)	応用物理学会出 席後の研究打合 せ	1. 平成 15 年度 研究計画 2. 平成 15 年度 予算措置と設備 3. 試料引き渡 しの打合せ	5 名

(平成 14 年度)

年月日	場所	趣旨	内容	参加人数
4月28日～29日	名古屋大学	チーム戦略会議	平成16年度の全体計画打ち合わせ 各種プロセスの方針を議論 名大施設見学	5名
7月14日	八重洲	チーム戦略会議	各グループの進捗報告 今後の研究計画のすり合わせ	6名
8月3日～4日	名古屋大学	チーム戦略会議	オンサイト会議 向け報告会議 最新の情報を盛り込むため議論	5名
8月10日～11日	京都大学	オンサイトミーティング	藤島領域の3チームが集まったオンサイト会議を京大にて実施	54名
9月13日～14日	京都大学	チーム戦略会議	秋の国際会議に向けた発表対策、情報交換	5名
11月12日	京都大学	チーム戦略会議	各グループの進捗会議 情報交換と研究計画すり合わせ	5名
12月6日～7日	名古屋大学	チーム戦略会議	全体会議向け、最新成果の交換と今後の研究計画	5名
12月17日～18日	学士会館	藤嶋グループCREST会議	藤島領域の全体会議 最新の成果を発表報告	5名
H17年 3月22日	京都大学	ワークショップ*	第1回 ナノ構造超伝導体の渦糸ピンニングに関するCRESTワークショップを開催	23名

8 研究成果の展開

(1)他の研究事業への展開

APC 導入実現に向けて開発したナノ組織制御技術の、他材料への展開を検討している。例えば、ナノスケールの微細組織は熱電材料の熱伝導率 λ 低減に効果がある(科研費)。また制御されたナノ組織は磁性材料や誘電材料などへの展開も興味深い。

(2)実用化に向けた展開

経産省が進める超電導応用基盤技術プロジェクトに参加し、線材作製技術の進展に参加している(NEDO)。現在は技術移転等を行っていないが、将来的には、APC 技術の中で応用に近いものは実用材料へと展開されていくべきと考える。

9 他チーム、他領域との活動とその効果

(1)領域内の活動とその効果

特になし

(2)領域横断的活動とその効果

榊領域・藤巻チーム、福山領域・石田チームと共同で超伝導技術関連の国際ワークショップを実施(2007年度は予定)した。

・2005年度第1回 NVLS-CREST 国際ワークショップ(淡路島)

・2006年度第2回 NVLS-CREST 国際ワークショップ(京都)

・2007年度第4回 NVLS-CREST 国際ワークショップ(北九州)

*2007年度第3回は別テーマで実施予定(大阪)

国際ワークショップ開催で、APC の認知度を高めるとともに、この技術の普及に貢献した。

10 研究成果の今後の貢献について

(1)科学技術の進歩が期待される成果

本プロジェクトで進めてきた APC 技術は、日米欧の各国で盛んに研究されるようになり、高温超伝導線材の性能向上に不可欠な技術となった。高 J_c を有する高温超伝導線材によって超伝導技術の普及が一層促進されると期待できる。

(2)社会・経済の発展が期待される成果

環境への負荷が小さく、省エネ、大容量送電、電力貯蔵、等に関わる高温超伝導は 21 世紀に要求される新しいエネルギーネットワークの根幹技術に育っていくであろう。またその優れた特性は新たな磁場応用(例えば核融合)への展開も期待される。本研究の成果は高温超伝導技術を支える重要技術と認識されるようになってきた。今後の展開が大いに期待される。

11 結び

当チームではこれまでの研究により、実用 NbTi 超伝導線材の液体ヘリウム温度における磁場中

J_c 特性を凌駕する値を、液体窒素温度下において実現することに成功した。これらの成果に関しては内外で大きな反響があり、同分野の研究者達の多くの関心を呼んだ。当チームでは結晶成長・薄膜成長技術とナノ技術の融合による APC 導入によって上記技術に先鞭をつけたことになる。その後、高温超伝導にナノ材料創製手法を適用して飛躍的特性向上を実現する分野に、国内外の研究機関(米国・オークリッジ国立研, 米国・ロスアラモス国立研, 米国・空軍研究所, 日本・超電導工学研究所など)も参入し競争が始まり、現在に至っている。

当チームは、線材やデバイスへの展開が可能な高温超伝導薄膜において、ナノ材料創製手法を適用して応用上最も重要な J_c 特性の飛躍的特性向上を実現する研究分野に先鞭をつけたと自負している。以下にグループ毎の自己評価を示す。

(自己評価)

(1) APC デザイン	APC デザインの指針を構築。今後の APC 技術の展開において重要。GL 方程式によるシミュレーションができるように。達成度は全体で 75%。
(2) APC 作製プロセス	APC を用いた基礎特性では世界記録を維持し、その後も更新している。新たな技術創出の意味では成果は大きい。ナノ構造作製技術として、大きな進展があった。達成度は 100%。
(3) APC 構造・特性評価	微細組織観察や組成分布観察で一定の成果。また薄膜 X 線や小角散乱など新技術にもチャレンジしている。評価技術としては高まってきた。達成度は 90%。
(4) APC 応用	平成 17 年度線材応用のための基礎検討を実施。原理証明に成功した。達成度 80%。

高温超伝導を用いた電力・産業応用は Bi 系 ($(\text{Bi}, \text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$) が先行し、Y 系 ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-d}$) がこれに続いている。Bi 系は長尺化が進みすでに 1.6 km 級線材が実現しているが、磁場中の J_c が十分でなく、77 K では磁場のかからない電力ケーブル応用のみで、磁場応用は 20 K 程度まで冷却する必要がある。一方、Y 系は磁場中の J_c が高く幅広い応用が期待され、日米欧を中心に開発が進んでいる。

今後、これらの材料を用いて作製されるコンパクト、低コストな高磁場発生コイルの実現により電力・産業分野への応用が進展するだろう。金属系超伝導体が用いられている従来の基礎科学用、医療用、輸送装置の高度化・低コスト化はもとより、SMES 等の電力貯蔵装置も今後ますます重要となると考えられ、磁場による水質改善の磁気分離装置や CO₂ 回収・除去、あるいは水素エネルギーと超伝導モーターの組み合わせ、生命科学への適用、等々、新規応用が今後進むものと期待できる。

このようなハイテク競争の中にあって、JST-CREST のナノテクプロジェクトのご支援を受けて、APC 技術の創製と開発に携わることができたのは大変幸運であった。当チームの成果は世界でも注目されており、様々な会議でも多数の招待講演を受けてきている。米欧との競争の中でも前線に立って、当チームは奮闘してきたつもりである。大きな成果も得られており、もし JST のご援助がなかったら、この分野における日本の技術は米欧に比べて格段に遅れを取ったに違いない。

その意味でも、藤嶋プロジェクトの一つのテーマとして、選定していただいた藤嶋先生をはじめアドバイザーの諸先生方、そして関係する JST の皆様の先見の明とご尽力に深く感謝申し上げる次第である。

21 世紀に入って、現在我々は環境・エネルギーなどの人類史的問題に直面しつつあるが、環境への負荷が小さく、省エネ、大容量送電、電力貯蔵、等に関わる高温超伝導は問題解決に直結す

る重要な技術である。この技術は今後、21 世紀に要求される新しいエネルギーネットワークや産業技術の根幹技術に育っていくのではないだろうか。その中でも、ここで紹介したナノテクを使った人工ピン技術は高温超伝導の電流特性を制御する最重要技術であり、今後の高温超伝導技術進展を支えるものとなっていっだろう。当チームとしても、今後も引き続きこの技術の建設に向けて努力を続けていく所存である。

以下は当チームにおけるスナップ写真である。



