

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月 5日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(S)

研究期間：2007～2011

課題番号：19676005

研究課題名（和文）

ナノ組織制御によるハイブリッドエネルギー材料の創生

研究課題名（英文）

Creation of hybrid energy materials with highly ordered nano-structure

研究代表者

吉田 隆 (YOSHIDA YUTAKA)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：20314049

研究成果の概要（和文）：エネルギー材料として期待される熱電変換材料や超伝導材料などの機能性材料の高性能化のため、薄膜結晶成長技術や新規ナノ制御技術を駆使した新規な薄膜成長プロセス、微細な組織を創生する組成や組織の制御、薄膜特有の結晶成長、膜積層技術などをナノ技術、界面制御技術などの観点から融合することにより新たな機能を生成するための知見を得た。

研究成果の概要（英文）：In order to develop highly efficient energy materials, especially functional thin film, in this study we developed and investigated a thin film growth mechanism that produced thin films with “new functions”. We achieved this by integrating the control of interface technology by (i) using an advanced thin film growth process that uses nano-technology, (ii) controlling the growth of interface, (iii) controlling the compositions and micro-structures of the films, and (iv) using multilayer technology. Furthermore, using these thin film growth processes and controlling of the interface, we intend to develop evaluation technology and composite technology for produced highly effective thermoelectric materials using nano-wire and oxide/non-oxide materials.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	24,100,000	7,230,000	31,330,000
2008年度	28,900,000	8,670,000	37,570,000
2009年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
2010年度	9,000,000	2,700,000	11,700,000
2011年度	8,600,000	2,580,000	11,180,000
総計	79,200,000	23,760,000	102,960,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・エネルギー学

キーワード：エネルギー効率利用・電気電子材料・結晶成長・薄膜物性・エピタキシャル成長

## 1. 研究開始当初の背景

酸化物系超伝導材料は、発見されてから約20年が経ち、単結晶材料などを用いた物性的研究などの基礎的研究とともに、薄膜、単結晶などのプロセス技術開発、超伝導線材やデバイスなどへの応用技術を念頭にいた研

究など多くの研究成果が報告されている。例えば、薄膜は高温超伝導体発見当初、デバイス応用を目的としてプロセス技術構築 Vapor-Liquid-Solid (VLS) 成長など薄膜結晶成長過程に関する知見が蓄積されている。

一方、エネルギーなどの超伝導応用システムにおいて、超伝導の最大の長所である「抵抗ゼロ」、すなわち大電流を流し大きな磁場を作る技術は、NbTi 金属系超伝導材料などを用いて液体ヘリウム温度(4.2K)で実用化されているが、高温超伝導材料では未だ為されていない。図1に磁場中における各種超伝導材料の臨界電流密度  $J_c$  を比較して示す。高温超伝導材料は、4.2K 作動システムとして実用化されている金属系超伝導線材に比べ特性が低いことが確認される。これは磁場中においては、超伝導体に磁束線にローレンツ力が働き、磁束線が動き超伝導状態の破壊に繋がるため、磁束線の運動を止める必要(ピン止め点の導入)がある。77K 作動超伝導マグネット用線材として研究開発が最も進んでいる  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  高温超伝導薄膜中にナノサイズの

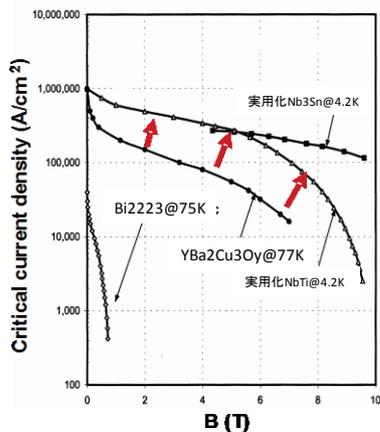


図1 磁場中における各種超伝導材料の臨界電流密度  $J_c$

ピン止め点を制御導入し、磁場中超伝導特性を実用化レベルに向上することが期待される。一方、熱電変換材料に関する研究は数十年前から行われており、BiTe や SbTe などの金属系熱電材料の実用化にまで至った。これらの材料の熱電性能の目安として  $ZT$  (性能指数  $Z$ , 使用温度  $T$ (K)) で表され、一般的には  $ZT=1$  が実用化の目安といわれている。現在新たに確認された p 型酸化物系単結晶材料は 700K 以上の高温領域で  $ZT$  が 1 を超えており、熱電性能の向上などが検討されている。

## 2. 研究の目的

エネルギー材料として期待される超伝導や熱電変換材料の高性能化のため、薄膜結晶成長技術や新規ナノ制御技術を駆使した新規な薄膜成長プロセス、微細な組織を創生する組成や組織の制御、薄膜特有の結晶成長、膜積層技術などをナノ技術、界面制御技術などの観点から融合することによる、新たな機能を生成することが期待されている。

現在、報告されている機能性薄膜に関する多くの研究は、より結晶性が高く、きれいな薄膜を作ることが基本となっている。我々のグループもエネルギー変換の骨格となるエネルギー材料薄膜に関して「結晶性が高く」「不純物の少ない」材料をつくってきた。

しかし、新たな性能や特性を得るためには、界面制御技術を使った非常にきれいな薄膜 + ナノ組織制御技術 = 新規な飛躍的な特性 (新たな性能や特性) を目指す必要がある。

具体的には、「超伝導や熱電変換などの機能性薄膜」の高性能化のため、以下の方法で磁束線やフォノンの制御をより厳密に制御技術を確立する。

(1) ナノ陽イオン組成制御：化学量論組成からずらした薄膜を作製することにより、第三の組成を有するナノ材料を薄膜中に晶出させ、新たな性能を創生する。

(2) ナノ欠陥、転移制御：目的機能を有しない析出物を微細に薄膜中に導入する、または結晶途中に混入することにより欠陥や転移を整列配置し、新たな性能を生み出す。

(3) ナノ陰イオン組成制御：酸化物と窒化物の融合など、目的薄膜の陰イオンの組成制御を行い、あらたな機能を生み出す。

(4) ナノ組織傾斜機能：薄膜の組成や組織混入量を膜厚方向に変化させ新規な機能を創生する。

これらのナノ制御技術の確立、融合を検討することにより、新たな飛躍的な特性を導くことを目的とした。

## 3. 研究の方法

酸化物系機能性材料、例えば超伝導性、高性能熱電変換特性を有する材料は、単結晶基板上に  $c$  軸配向した薄膜を作製することで  $ab$  面方向の電気伝導性が飛躍的に向上すると考え、薄膜を成長させる基板選択、作製条件の最適化などを考慮に入れて結晶性が良好な  $c$  軸配向薄膜の作製を行った。また、薄膜作製技術は単結晶作製技術よりもデバイス化、モジュール化の生産性において圧倒的に有利であることも考慮した。薄膜作製方法として、物理気相蒸着法の一つである PLD 法を中心に作製する。ナノ組織技術の構築は、本来の目的の減少を最小限に抑えるために、ナノ (究極に小さく、しかも均一に分散) 技術の確立が必要である。図2にナノ組織制御技術を用いた機能性薄膜及び平面概念図を示す。例えば、超伝導分野に必要な磁場とは、ナノサイズに分散した磁束線の制御であり、熱電分野では熱、すなわちフォノンの制御であることから、

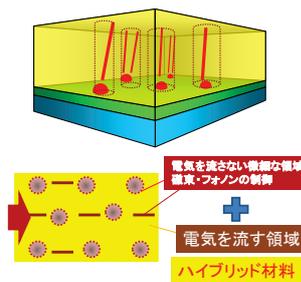


図2 ナノ組織制御技術を用いた機能性薄膜及び平面概念図

ナノ組織や組成の制御が重要である。さらに低温成膜法 (LTG 法) や VLS 法などの界面制御技術の構築は、新たな性能を生み出すだけでなく、

一般的な気相膜に比べ、結晶粒界が少ない単結晶材料に近い膜を基板上に簡単に作製することができる。それらを比較することにより、物性面からナノ組織を制御する指針が得られると期待される。

#### 4. 研究成果

##### (1) 磁束線の制御：超伝導

超伝導薄膜に関しては、界面制御技術とナノ組織制御技術の融合を行い、エネルギー応用に向けたハイブリッド材料薄膜の技術開発を構築した。界面制御技術は、PLD法、Layer by Layer法（積層法）などの成膜方法以外に我々が提案してきた新たな成膜方法であるLTG法やVLS法などを用いる。さらにナノ組織制御は、例えばナノ陽イオン組成制御（RE元素過剰相（低 $T_c$ 相）、BaZrO<sub>3</sub>ナノロッド、BaZrO<sub>3</sub>ナノアイランドなど）、ナノ欠陥、転移制御、ナノ陰イオン組成制御（低酸素相など）などに関してその一例を報告する。

##### ①LTG法+積層欠陥+低 $T_c$ 相：

PLD法およびLTG法を用いたナノ陽イオン組成制御とナノ欠陥制御技術の融合を検討した。透過型電子顕微鏡や原子間力顕微鏡などの微細構造観察や電磁氣的超伝導特性評価などの観点から考察した結果、図3で示すような微細に分散したRE元素組成が過剰な低い超伝導特性を示す領域（低 $T_c$ 相）と膜厚方向に成長途中で導入された積層欠陥が磁束線の動きの抑制・制御に効果的であることが確認され、その結果高磁場中での磁場中の超伝導特性が飛躍的に向上した。

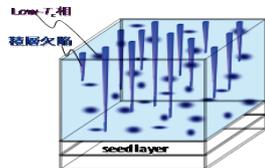


図3 LTG法を用いたナノ陽イオン組成制御およびナノ欠陥制御技術の融合

御に効果的であることが確認され、その結果高磁場中での磁場中の超伝導特性が飛躍的に向上した。

##### ②VLS法+BaZrO<sub>3</sub>ナノロッド+低 $T_c$ 相

薄膜成長の途中にごく薄い液層を介在させるVLS成長は積層欠陥などが少なく単結晶レベルの薄膜の作製が可能となることが確認されている。そのため、PLD膜やLTG膜で確認される積層欠陥などが少なく、微細析出物のナ

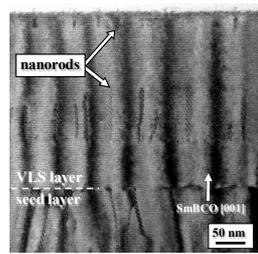


図4 VLS法を用いたBaZrO<sub>3</sub>ナノロッド、低 $T_c$ 相融合膜の微細構造観察

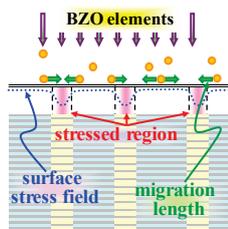


図5 ナノ欠陥などの成長メカニズム

ノロッド（ナノサイズの棒状の析出物）と低 $T_c$ 相の組織を導入することができた。さらに、成長初期にナノアイランドを成長させ、図4の微細構造観察で示すような人工的にナノロッドの成長場所を制御することも可能とした。これらの結果を薄膜成長や結晶成長なども踏まえてナノ欠陥などの人工ピンの成長メカニズムに関する概念図（図5）などを論文で発表してきており、これらの成果は多くの分野に波及しつつある。

##### ③LTG法+BaZrO<sub>3</sub>ナノロッド

ナノロッドの添加量を変えずに数密度や直径を変化させることでピンニング特性を制御するため、LTG法により作製し、ナノロッドの成長と超伝導特性に及ぼす影響について検討した。その結果、基礎的超伝導物理現象やナノロッドの成長機構を考察するに至った。図6に不可逆磁場曲線、これより得られた異なる量子化磁束線の振る舞いに関する概念図を示す。磁場の大きさにより、磁束が結晶欠陥などのランダムなピンニング・センターにピン止めされる場合と重イオン照射などでみられる柱状欠陥のような場合に変化していることが分かった。すなわち、新たな界面制御技術、微細組織評価によりナノロッドの成長機構と超伝導物理現象の相関関係が明らかにできた。

さらに、ナノロッドの成長機構に関しては、表面・断面組織観察から多くの知見を得て、

成長機構の提案に至った。通常のPLD-及びLTG-SmBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub>超伝導薄膜（SmBCO）+BZO薄膜の結晶成長面におけるステップは、波状の形状を示した。平面TEM観察により、SmBCO+BZO薄膜表面にはBZOが均一に分布し

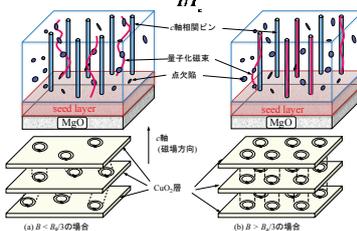
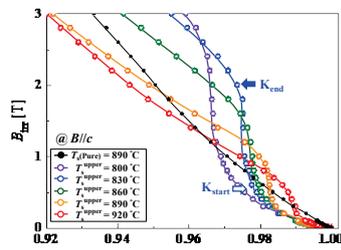


図6 BZOナノロッドを導入したLTG法を用いたSmBCO膜の不可逆曲線及び異なる量子化磁束線の振る舞いに関する概念図

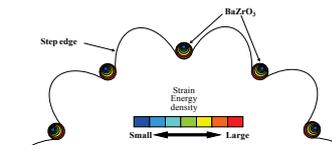


図7 人工ピン導入超伝導薄膜の表面成長像から考察した成長メカニズム

ており、ナノロッドの間隔とステップの波状の間隔がほぼ等しいことから、BZOナノロッドがSmBCO+BZO薄膜における結晶表面のステップ

の前進を抑制しているため花びらのような表面形態をすることが分かった。

また、断面 TEM 像などから、 $c$  軸に対する傾きを制御することも可能であることが確認された。ナノロッドにおける歪みエネルギーの偏り及び成長温度の制御に伴うステップ幅の減少が関係していると推察される。さらに、吸着原子の表面拡散モデルを用いた実験結果の解析から、BZO ナノロッドの核生成には拡散過程が寄与していることが示された。

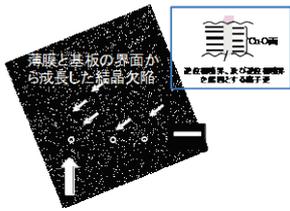


図8 微細構造観察から確認されるYBCO膜中の結晶欠陥

④ ナノ欠陥・転移制御・ナノ陰イオン組成制御

ナノ欠陥・転移制御・ナノ陰イオン組成

制御を目的として SrTiO<sub>3</sub> 単結晶基板上に YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> 超伝導薄膜を作製した。磁場中超伝導特性の角度依存性から、 $c$  軸方向に向かって強い異方性を有するピンニング力が確認された。これまで報告されているナノ析出物を導入した RE123 薄膜と比較しても遜色のない高い特性を有していることが確認された。断面 TEM 観察から、YBCO 薄膜には  $c$  軸方向に伸びた結晶欠陥が観察され、それらは Cu-O 面がずれた逆位相境界であることが分かった。さらに STO 基板表面のステップが、逆位相境界の生成に寄与していることが確認された(図 8、微細組織および概念図参照)。

⑤ 世界最高のピンニング力を有する ALT 法 + BaMnO<sub>3</sub> ナノロッド (Mn:Sn, Hf) 技術の構築

等方的に磁束ピンニング特性を向上させることを目的として、Sm<sub>1.04</sub>Ba<sub>1.96</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> (SmBCO) 層と BaSnO<sub>3</sub> (BSO) 添加 SmBCO 層の多層積層膜を作製し、1 次元 PC である BSO を 3 次元 PC として導入し、 $J_c$  の磁場印加角度に対する異方性の改善を報告してきた。このように様々な方法や材料を用いた人工ピン (APC) 導入技術が改善されてきている。しかし、APC として BMO を用いたターゲット材料などに混合して導入する場合、導入量により臨界温度  $T_c$  及び  $J_{c, sf}$  が低下することが報告されている。

新たに、超伝導材料ターゲットと BMO 材料ターゲットを交互にアブレーションする交換ターゲット法 (Alternated Target

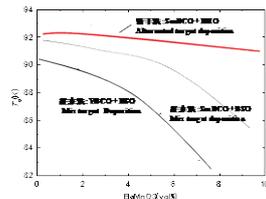


図9 APC導入超伝導膜の添加量と  $J_c$

Deposition) を提案し、APC 導入による自己磁場及び磁場中の超伝導特性、結晶構造などを評価し、磁場中高  $J_c$  化をめざした。

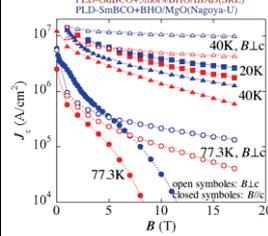


図10 ALT法を用いたBMOナノロッド導入超伝導膜の磁場中  $J_c$

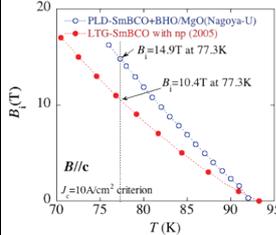


図11 ALT法を用いたBMOナノロッド導入超伝導膜の不可逆磁場  $B_1$

混合ターゲット法で BMO を 4vol% 程度添加した SmBCO+BSO および YBCO+BSO 膜の  $T_c$  は、それぞれ 91K および 89K 程度まで約 1.5K 程度低下する。一方、交換ターゲット法では SmBCO+BSO および SmBCO+BHO 膜はそれぞれ 92.7K および 92.5K とほとんど低下していない(図 9)。図 10 に 77K—20K、 $B//c$  における SmBCO+4.32vol.%BHO 膜の  $J_c$  磁場依存性を示す。磁場中  $J_c$  (77K, self field) 特性は、SmBCO+BHO 膜は、 $J_c = 6.20 \text{ MA/cm}^2$  であり、pure-SmBCO の  $J_c = 3.43 \text{ MA/cm}^2$  や SmBCO + BSO の  $J_c = 3.58 \text{ MA/cm}^2$  と自己磁場および低磁場下における特性が大幅に向上した。77K における全磁場領域において、SmBCO + BHO の  $J_c$  が pure-SmBCO の  $J_c$  に比べ大きく向上しているとともに低温高磁場中の  $J_c$  特性も非常に高い値を示していることが確認される。ピンニング力  $F_p^{\text{MAX}}$  を算出するとそれぞれ pure-SmBCO で  $3.1 \text{ GN/m}^3$ 、SmBCO + BSO で  $24.5 \text{ GN/m}^3$  であるのに対し、SmBCO + BHO では  $28.0 \text{ GN/m}^3$  と高い特性を示した。さらに不可逆磁場を測定した結果(図 11)、高いと報告されている LTG-SmBCO 薄膜の 10.4T を大きく超える 14.9T という高い値を有していることが確認された。

これらの検討・知見を踏まえて、BMO ナノロッドの導入量、形状を制御した結果、図 12 に各種 BMO ナノロッド導入超伝導膜の磁場中  $J_c$  特性を、図 13 にそれから求めた 77K におけるピンニング力を示す。磁場中超伝導特性は当初の

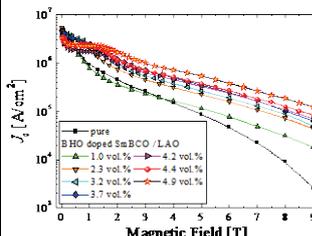


図12各種BMOナノロッド導入超伝導膜の磁場中  $J_c$

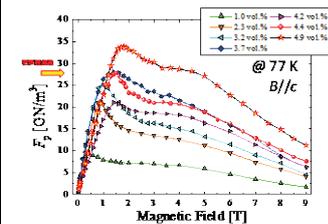


図13各種BMOナノロッド導入超伝導膜のピンニング力

目標(図1)を大きく超え、ピンニング力  $F_p^{MAX}$  は **世界最高値の  $33GN/m^3$  を有することが確認**された。

## (2)フォノンの制御：熱電変換

超伝導体と同様にエネルギー材料と期待される熱電変換材料薄膜に関して、ナノ組織制御によるフォノンの動きの抑制を検討した。具体的には、高品質な熱電薄膜を作製した上で更なる熱電特性の向上を目指すために、熱伝導率の低減、特にフォノン熱伝導率の低減に着目した。

フォノン熱伝導率の低減には、欠陥の導入により格子振動を乱すことが有効であると考えられるが、同時にキャリアの伝導を妨げないことも重要となってくる。つまり、適切な大きさ・間隔を持ったナノサイズの

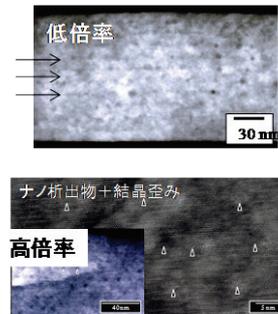


図14人工欠陥導入積層SbTe熱電薄膜の微細構造観察

の欠陥を熱電変換材料内部に導入することで、フォノンの熱伝導率のみを低減させることが可能であると考えられる。界面制御技術としてPLD法およびLTG法、ナノ組織制御としてCeO<sub>2</sub>、BaZrO<sub>3</sub>などの酸化物ナノアイランド、積層欠陥、転移など、さらに薄膜の熱伝導率測定技術の構築を行ってきた。

図14にCeO<sub>2</sub>ナノアイランド導入SbTe薄膜の微細構造観察、図15に添加量に伴うZTの変化を示す。人工欠陥が積層して成長しているとともに、それらから生じた結晶歪みが観察された。また、添加量の増加に伴いZTも向上し、従来の特性の約5倍のZT値まで向上した。

さらにBZOナノアイランを酸化物熱電薄膜Sm<sub>1.98</sub>Ce<sub>0.02</sub>Cu<sub>4</sub>及び[Ca<sub>2</sub>CoO<sub>3</sub>]<sub>x</sub>[CoO<sub>2</sub>]<sub>1-x</sub>の一種である

Ca<sub>3</sub>Co<sub>4</sub>O<sub>9</sub> (以下CCO)などに添加した。CCO薄膜及びBZO添加CCO薄膜の熱拡散率

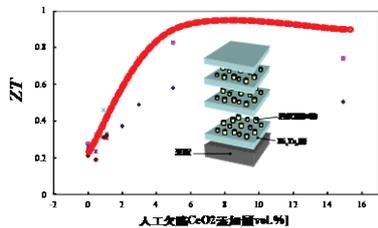


図15人工欠陥導入積層SbTe熱電薄膜と添加量に対するZTの変化

の熱拡散率はそれぞれ  $4.13 \times 10^{-7} (m^2/sec)$   $3.23 \times 10^{-7} (m^2/sec)$  であることが確認された。レーザフラッシュ法などで求められた単結晶材料は  $10^{-6} (m^2/sec)$  程度である。薄膜と単結晶材料の熱拡散率評価方法が異なるが、薄膜積層欠陥などを多く含んでいる薄膜材料

が相対的に熱拡散率が小さな値であることが分かる。

BZO添加により熱拡散率の値が小さな値に

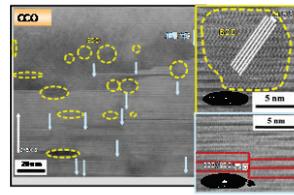


図16ナノ人工欠陥を導入したCCO熱電薄膜の微細構造観察

変化したことは、薄膜内での熱伝導、例えばフォノン熱伝導率が変化したことが推察される。図16にBZO+CCO薄膜の断面TEM像を示す。CCO格子内にナノサイズのBZOや積層欠陥が多数確認された。さらに積層欠陥はc軸方向に格子面がずれた欠陥であることが分かった。未だ熱電変換膜の熱伝導率の低減に関する詳細なことは明らかではないが、微細なナノ析出物による効果があると推察される。

## (3)自己成長機構及び界面制御技術を用いたハイブリッドエネルギー材料の応用

本研究テーマのエネルギー応用などへの展開を図るためには、長尺化を図った超伝導分野応用の金属基板や熱電変換分野応用の多結晶基板などの基材上における

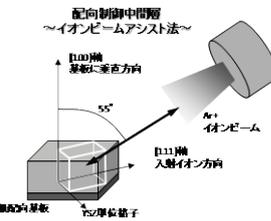


図17 IBAD法による結晶配向技術の構築

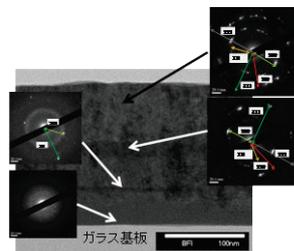


図18 IBAD YSZ膜の電子線回折及び微細構造観察

界面制御技術などを構築する必要がある。そこで、図17に示すイオンビームアシストデポジション法

(IBAD法)を用いることにより

金属基板や多結晶基板などの基材上に

イットリウム安定化ジルコニアなどの酸化物材料の結晶が面内配向化する技術を構築した。図18にIBAD法により作製したガラス基板上YSZ薄膜の微細構造観察及び電子線回折を示す。成長初期はアモルファスの結晶、さらに成長の進行に伴い結晶が揃い(配向化)さらに多結晶化する状況が観察され、材料探索およびプロセス・

界面制御技術を検討し、高品質な新規薄膜結晶作製成長技術・自己成長材料技術の構築が図れた。

(4)ナノワイヤ集合による高効率熱電変換素子の作製とその熱伝導率評価技術の構築

の構築

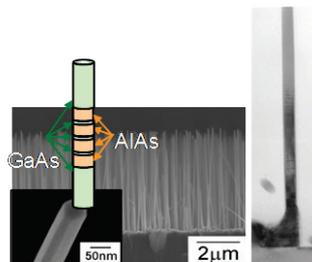


図19 ナノワイヤの微細構造観察像

薄膜形状以外の様々な形状のナノ析出物導入機能性材料に関して検討した。積層状態で成長したAlAsを含んだGaAs単結晶(ナノワイヤー)を作製し、その微細構造を評価した。さらに3 $\omega$ 法を用いた熱伝導率評価、微小領域の温度分布測定など検討した。ナノワイヤーは、一次元構造に周期構造を組み込まれていることが確認され、さらにナノワイヤーの太さの制御、高密度化を計ることにより熱電デバイスとして期待される。

#### (5) ナノ組織制御したハイブリッドエネルギー材料の更なる展開

機能性エネルギー材料の高性能化のために、界面制御技術や組織制御技術、各種プロセス、評価技術を駆使して、「結晶性が高く」「不純物の少ない」薄膜にナノサイズの超微細な磁束線やフォノンの制御する新たな組織を導入する技術を構築した。その結果、結晶成長、薄膜工学、超伝導工学、熱電変換などの分野にとって非常に興味深い結果を構築するだけでなく、将来のエネルギー工学にとって重要となる、例えば、先端的低炭素化技術開発事業、希少金属代替材料開発プロジェクト、超電導応用機器用線材の技術開発などの分野への展開や、薄膜法によるFe系新規超伝導薄膜およびその周辺超伝導物質の探索などの更なる物理分野への展開を図ってきた。本研究で得られた多くの基礎的なデータを更に詳細に解析することで、エネルギー材料工学の更なる応用展開に活かしている知見が得られると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計25件)

①吉田 隆他、Vapor-Liquid-Solid 成長を用いて作製した人工ピン導入 REBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> 膜の微細組織、日本金属学会誌、74、pp.416-421、(2010)、査読有り。

②尾崎壽紀、吉田 隆他、SmBCO 薄膜におけるBaZrO<sub>3</sub> ナノロッドの成長機構に関する考察、日本金属学会誌、74、pp.422-427、(2010)、査読有り、<http://www.jim.or.jp/journal/j/pdf3/74/07/422.pdf>。

③Y. Yoshida 他、Improvement of thermoelectric characteristic of [Ca<sub>2</sub>CoO<sub>3</sub>]<sub>x</sub>[CoO<sub>2</sub>] thin films by controlling their microstructures、Jpn. J. Appl. Phys. 49 010210(2pages)、(2010)、査読有り、DOI: 10.1143/JJAP.49.010210。

④Y. Yoshida 他、Improved flux pinning in nanostructured REBCO films controlling the APC growth mechanism、IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY、19、pp.3262-3265、(2009)、査読有り、DOI: 10.1109/TASC.2009.2018737。

⑤尾崎壽紀、吉田 隆他、BaZrO<sub>3</sub> ナノロッドを導入したSmBaCuO 薄膜における磁束ピンニング特性と微細構造観察、低温工学論文誌、44、pp.549-557、(2009)、査読有り。

〔学会発表〕(計91件(うち招待・基調講演11件))

①招待講演: Y. Yoshida 他、Flux pinning enhancement in SmBCO film prepared by alternate target for coated conductor application、The 9<sup>th</sup> International Meeting of Pacific Rim Ceramic Societies on Ceramic and Glass Technology、Cairns、Australia、July 12 (2011)。

②招待講演: Y. Yoshida 他、Strong c-axis correlated pinning by natural liner defects in REBCO coated conductors、The 22<sup>th</sup> International Symposium on Superconductivity、Tukuba、Japan、November 3 (2009)。

③招待講演: Y. Yoshida 他、Growth mechanism of nano BaZrO<sub>x</sub> structure in oxide functional film、The 21<sup>th</sup> International Symposium on Superconductivity、Tukuba、Japan、October 28 (2008)。

④基調講演: 吉田隆、ナノ組織制御を用いた熱電変換デバイス、2009年度日本金属学会九州支部会、九州工業大学、June 6 (2009)。

〔図書〕(計3件)

①吉田 隆、ナノ薄膜構造熱電変換材料、熱電変換技術の基礎と応用(シーエムシー出版編集)、2011、pp.92-97。

②吉田 隆、ナノ欠陥導入酸化物材料、機能材料(シーエムシー出版編集) 2009年2月号 pp.25-pp.30。

③吉田 隆、酸化物系薄膜、熱電変換技術ハンドブック(エヌティーエス出版編集)、2008、pp.419-424。

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

吉田 隆 (YOSHIDA YUTAKA)  
名古屋大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 20314049

##### (2) 研究分担者なし

##### (3) 連携研究者なし

##### (4) 研究協力者

宮崎 康次 (MIYAZAKI YASUJI)  
九州工業大学・工学研究科・教授  
研究者番号: 70315159

淡路 智 (AWAJI SATOSHI)  
東北大学・金属材料研究所・准教授  
研究者番号: 102227700

山口 雅史 (YAMAGUCHI MASAFUMI)  
名古屋大学・工学研究科・准教授  
研究者番号: 20273261

一野 祐亮 (ICHINO YUSUKE)  
名古屋大学・エコトピア研究所・准教授  
研究者番号: 90377812

船木 修平 (FUNAKI SHUHEI)  
名古屋大学・工学研究科・博士課程後期課程  
(H19→H21)

尾崎 壽紀 (OZAKI TOSHINORI)  
名古屋大学・工学研究科・博士課程後期課程  
(H19→H22)