

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第1区分

【発行日】平成29年3月16日(2017.3.16)

【公表番号】特表2016-522534(P2016-522534A)

【公表日】平成28年7月28日(2016.7.28)

【年通号数】公開・登録公報2016-045

【出願番号】特願2016-505620(P2016-505620)

【国際特許分類】

H 01 B	12/06	(2006.01)
H 01 B	13/00	(2006.01)
H 01 L	39/24	(2006.01)
C 23 C	16/40	(2006.01)
C 01 G	1/00	(2006.01)
C 01 G	25/00	(2006.01)

【F I】

H 01 B	12/06	Z A A
H 01 B	13/00	5 6 5 C
H 01 L	39/24	B
C 23 C	16/40	
C 01 G	1/00	S
C 01 G	25/00	

【誤訳訂正書】

【提出日】平成29年2月13日(2017.2.13)

【誤訳訂正1】

【訂正対象書類名】特許請求の範囲

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

超電導体テープであって、前記超電導体テープは、

前記テープに垂直な配向を有する3Tの磁場下、30Kにおいて、3.0よりも大きいまたはそれに等しいリフトファクタを備え、

前記テープは、30Kにおける前記3Tの磁場下、800A/cm-幅よりも大きい臨界電流をさらに備える、超電導体テープ。

【請求項2】

全カチオンの32.0原子%よりも大きいバリウムおよびドーパント含有量をさらに備える、請求項1に記載の超電導体テープ。

【請求項3】

全カチオンの49.0原子%よりも小さい銅含有量をさらに備える、請求項2に記載の超電導体テープ。

【請求項4】

前記ドーパント含有量は、全カチオンの少なくとも1.65原子%であり、前記バリウム含有量は、全カチオンの少なくとも29.9原子%である、請求項2に記載の超電導体テープ。

【請求項5】

前記リフトファクタは、3Tの磁場下、30Kにおいて、4.0よりも大きいまたはそれに等しい、請求項1に記載の超電導体テープ。

**【請求項 6】**

全カチオンの 33.0 原子%よりも大きいバリウムおよびドーパント含有量をさらに備える、請求項 5 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 7】**

全カチオンの 49.0 原子%よりも小さい銅含有量をさらに備える、請求項 6 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 8】**

前記ドーパント含有量は、全カチオンの少なくとも 1.65 原子%であり、前記バリウム含有量は、全カチオンの少なくとも 30.5 原子%である、請求項 6 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 9】**

37.5%よりも大きいバリウム対バリウムおよびドーパントおよび銅の比率、2.0%よりも小さいドーパント対バリウムおよびドーパントおよび銅の比率、60.5%よりも小さい銅対バリウムおよびドーパントおよび銅の比率をさらに備える、請求項 1 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 10】**

0.58 よりも大きいまたはそれに等しいバリウム対銅の比率をさらに備える、請求項 1 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 11】**

0.62 よりも大きいまたはそれに等しいバリウムおよびドーパント対銅の比率をさらに備える、請求項 1 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 12】**

38.0%よりも大きいバリウム対バリウムおよびドーパントおよび銅の比率、2.5%よりも小さいドーパント対バリウムおよびドーパントおよび銅の比率、59.5%よりも小さい銅対バリウムおよびドーパントおよび銅の比率をさらに備える、請求項 5 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 13】**

0.62 よりも大きいまたはそれに等しいバリウム対銅の比率をさらに備える、請求項 5 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 14】**

0.65 よりも大きいまたはそれに等しいバリウムおよびドーパント対銅の比率をさらに備える、請求項 5 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 15】**

外部磁場の不在下、77Kにおいて、4.2 MA / cm<sup>2</sup> よりも小さいまたはそれに等しい臨界電流密度をさらに備える、請求項 1 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 16】**

外部磁場の不在下、77Kにおいて、3.8 MA / cm<sup>2</sup> よりも小さいまたはそれに等しい臨界電流密度をさらに備える、請求項 5 に記載の超電導体テープ。

**【請求項 17】**

REBCO 超伝導テープを製造する方法であって、

前記方法は、超伝導テープ基板に前駆体蒸気を印加することを含み、

前記前駆体蒸気は、

前記テープに垂直な配向を有する 3T の磁場下、30Kにおいて、3.0 よりも大きいまたはそれに等しいリフトファクタであって、前記テープは、30Kにおける前記 3T の磁場下、800A / cm - 幅よりも大きい臨界電流をさらに備える、リフトファクタと

全カチオンの 33.0 原子%よりも大きいバリウムおよびドーパント含有量と、

全カチオンの 49.0 原子%よりも小さい銅含有量と

を備えるフィルムをもたらす、方法。

## 【誤訳訂正 2】

【訂正対象書類名】明細書

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

## 【訂正の内容】

## 【発明の詳細な説明】

【発明の名称】低温における向上された磁束ピンニングを有する半導体

## 【技術分野】

## 【0001】

(関連出願の引用)

本願は、2013年4月1日に出願された、米国仮出願第61/807,142号に対する優先権を主張するものであり、該仮出願の全内容は、参照により本明細書中に援用される。

## 【0002】

(政府支援)

エネルギー省高等研究計画局助成(ARPA-E)DE-AR0000196号

## 【背景技術】

## 【0003】

いくつかの材料システムが、エネルギー発生、伝送、変換、貯蔵、および使用と関連付けられた迫り来る問題を解決しようと開発されている。超電導体は、広スペクトルのエネルギー問題を横断する解決策を提供する、ユニークなシステムである。超電導体は、発生器、電力伝送ケーブル、モータ、変圧器、およびエネルギー貯蔵内に高効率を可能にする。さらに、超電導体は、エネルギーを超えて、医学、粒子物理学、通信、および輸送まで用途が及ぶ。

## 【0004】

超伝導テープは、ますます一般的となりつつある。これは、部分的には、エピタキシャル単結晶薄フィルムを多結晶基板上に生成する加工技法の成功に起因するものである(Y. Iijima, et al., *Physica C* 185, 1959 (1991), X. D. Wu, et al., *Appl. Phys. Lett.* 67, 2397 (1995), A. Goyal, et al., *Appl. Phys. Lett.* 69 (1996) p. 1795, V. Selvamanickam et al., "High Performance 2G wire: From R&D to Pilot-scale Manufacturing", *IEEE Trans., Appl., Supercond.* 19, 3225 (2009))。本技法では、岩塩結晶構造(例えば、MgO)を有する材料の薄フィルムが、イオンビーム支援蒸着によって、可撓性多結晶基板を覆って蒸着される。本技法によって処理される超伝導フィルムは、単一結晶基板上に成長されるエピタキシャルフィルム内で達成されるものと匹敵する、臨界電流密度を呈する。本技法を使用して、いくつかの機関が、超伝導複合テープのパイロット規模製造を実証している。注目すべきことに、単結晶エピタキシャルフィルムは、多結晶基板ベースを使用して、1kmを超える長さで製造されている。

## 【0005】

超電導体の有意な短所の1つは、超電導体が磁場に暴露されるとき、電流を搬送するその能力が急低下することである。したがって、風発生器、モータ、高界磁石、またはエネルギー貯蔵システム等のある用途では、超電導体は、発生器コイルが、数テスラにおいて、磁場に暴露されるため、電位を搬送するその全電流を達成することができない。別の短所は、高温超電導体(HTS)では、超伝導が、Cu-O平面内に局在することである(E. M. Gyorgy, et al., "Anisotropic critical currents in  $Ba_2YCu_3O_7$  analyzed using an extended bean model" *Appl. Phys. Lett.*

. 55, 283 (1989)。本現象は、超電導体の電流搬送能力に効果をもたらす。例えば、図1は、金属有機化学蒸着(MOCVD)と呼ばれるプロセスによって作製される、標準的HTSテープの臨界電流における異方性を図示する。異方性効果は、HTSフィルム表面に対して異なる角度で磁場を整合させることによって可視化されることができる。臨界電流は、磁場が、フィルム表面から移動されるにつれて、急降下する。さらに、臨界電流は、磁場がテープ法線から0°角度(すなわち、テープ表面に垂直)に配向されると、低値に到達する。本磁場配向における臨界電流は、これらの標準的テープを用いて構築されるコイルの性能における限界値である。

#### 【0006】

過去10年にわたって、研究は、磁場に暴露される超電導体の電流搬送能力の改善に焦点が当てられている。有意な研究は、超電導体における磁束ピンニングを改善することに焦点を当てている。磁束ピンニングは、I型超電導体と異なり、磁場の部分的穿通を可能にする、2つの臨界磁場を有する、II型高温超電導体(HTS)の現象である。下部臨界磁場の上方では、2GHTSテープは、磁束が、磁束管を通した超伝導電流渦によって囲繞される量子化されたパケット内で超伝導フィルムを穿通することを可能にする。より低い電流では、磁束管は、定位置にピンニングされる。本ピンニング現象は、実質的に、超電導体内に望ましくない電気抵抗を生成し得る、任意の磁束クリーピングを低減させることができる。したがって、磁束ピンニングの改良は、超電導体が磁場内で被る前述の短所を最小限にすることができる(例えば、異方性、より低い臨界電流等)。

#### 【0007】

磁束ピンニングを改善するための最も追究されている戦略は、穿通された磁束線の側方サイズがコヒーレンス長の値の2倍に等しいため、超伝導コヒーレンス長と側方寸法が匹敵する、欠陥を超電導体の中に導入することである。2GHTSテープでは、欠陥は、種々の組成物および構造の酸素空孔、貫通転位、双晶面、不純物原子、照射誘導柱状欠陥、およびナノ構造含有を含む(V. M. Pan, et al., "Dimensional crossovers and related flux line-lattice states in  $YBa_2Cu_3O_7$ ," *Physica C* 279, 18 (1997); J. M. Huijbrechtse, et al., "Vortex pinning by natural defects in thin films of  $YBa_2Cu_3O_7$ ," *Supercond. Sci. Technol.* 15, 395 (2002)、G. Blatter, et al., "Vortices in high-temperature superconductors," *Rev. Mod. Phys.* 66 1125 (1994), L. Civale, "Vortex pinning and creep in high-temperature superconductors with columnar defects," *Supercond. Sci. Technol.* 10, A11 (1997)、C. J. van der Beek, et al., "Strong pinning in high-temperature superconducting film," *Phys. Rev. B* 66, 024523 (2003))。特に、照射誘導柱状欠陥は、磁束ピンニングを改善するために大きな潜在性を示している。研究グループは、近年、超伝導フィルムをBaZrO<sub>3</sub>(BZO)またはBaSnO<sub>3</sub>(BSO)で化学的にドープすることによって、柱状欠陥を導入するアプローチを開発している(J. L. Macmanus-Driscoll et al., "Strongly enhanced current densities in superconducting coated conductors of  $YBa_2Cu_3O_7-x + BaZrO_3$ ," *Nature Materials* 3, 439 (2004); S. Kang et al. "High-Performance High-T<sub>c</sub> Superconducting Wires," *Science* 311, 1911 (2006)、Y. Yamada et al., "Epitaxial nanostructure and def

ects effective for pinning in  $Y(Re)Ba_2Cu_3O_{7-x}$  coated conductors", *Appl. Phys. Lett.* 87, 132502 (2005); C. Varanasi, et al., "Thick  $YBa_2Cu_3O_7-x + BaSnO_3$  films with enhanced critical current density at high magnetic fields", *Appl. Phys. Lett.* 93092501, (2008)). BZOおよびBSOの含有は、超電導体フィルム成長の間の自己アセンブリプロセスによって、ナノサイズ柱(約5nmの直径)を形成し、フィルムのピン止め強度を有意に改良した(S. Kang et al. "High-Performance High-Tc Superconducting Wires", *Science* 311, 1911 (2006)、Y. Yamada et al., "Epitaxial nanostructure and defects effective for pinning in  $Y(Re)Ba_2Cu_3O_{7-x}$  coated conductors", *Appl. Phys. Lett.* 87, 132502 (2005); C. Varanasi, et al., "Thick  $YBa_2Cu_3O_7-x + BaSnO_3$  films with enhanced critical current density at high magnetic fields", *Appl. Phys. Lett.* 93092501, (2008); T. Horide, et al., "The crossover from the vortex glass to the Bose glass in nanostructured  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  films", *Appl. Phys. Lett.* 82, 182511 (2008), M. Mukaida, et al., "Critical Current Density Enhancement around a Matching Field in  $ErBa_2Cu_3O_7-x$  Films with  $BaZrO_3$  Nano-Rods", *Jpn. J. Appl. Phys.* 44, L952 (2005)).

#### 【0008】

図2は、ほとんどがフィルム平面に垂直に配向されるBZOナノ柱とともに、MOCVDによって成長された(Gd, Y)  $Ba_2Cu_3O_x$  (Gd-YBCO)フィルムの断面微小構造を表示する。図1に示されるように、BZOでドープされたフィルムは、特に、BZOナノ柱の方向に沿って(すなわち、テープに垂直に)配向される磁場に暴露されると、77K時、1テスラの磁場内で2倍の改良された性能を呈する。また、ナノ柱は、フィルム成長方向を中心として広がりを呈するため、改良されたピン止めが、磁場配向の範囲にわたって観察される。最後に、BZOドープフィルムは、有意により低い異方性を呈する(V. Selvamaniickam et al., "Influence of Zr and Ce Doping on Electromagnetic Properties of (Gd, Y)-Ba-Cu-O Superconducting Tapes Fabricated by Metal Organic Chemical Vapor Deposition", *Physica C* 469, 2037 (2009))。

#### 【0009】

BZOドープREBCO (RE = 希土類)テープに焦点を当てたほとんどの研究は、77K時、1~3テスラの磁場下、磁場内に臨界電流を報告している。少なくとも1つの研究グループは、4.2K時、最大30Tまで、高磁場内に臨界電流を報告している(V. Braccini, et al., "Properties of recent I BAD-MOCVD Coated Conductors relevant to their high field, low temperature magnetic use", *Superconductor Science and Technology* 24, 035001 (2011))。残念ながら、20~50Kの中間温

度において、数ステラの実践的磁場内で臨界電流を報告している研究は、殆どまたは全くない。しかし、風発生器、公益事業発生器、海洋モータ、および産業モータ等のいくつかの2G HTS用途は、これらの後者の磁場および中間温度範囲において開発されている(A. B. Abrahamsen, et al., "Feasibility study of 5 MW superconducting wind turbine generator", *Physica C*. 471, 1464-69 (2011); P. Kummeth, et al., "Development of synchronous machines with HTS rotor", *Physica C*. 426, 1358-64 (2005)).

#### 【0010】

最近、77K時、1T磁場下、REBCO性能に2倍の改良を達成するためには必要なZrのレベルは、20K~50K時、数テスラのより実践的磁場(以下「実践的条件」)では、同一改良を達成しなかったことが実証されている(V. Selvamaniickam, et al., "Enhanced critical currents in high levels of Zr-added (Gd, Y)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> superconducting tapes", *Supercond. Sci. Technol.* 26, 035006 (2013))。しかし、より高いレベルのZrは、実際、実践的条件下において、REBCO性能の改良につながることもまた、同一刊行物に示されている(V. Selvamaniickam, et al., "Enhanced critical currents in high levels of Zr-added (Gd, Y)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> superconducting tapes", *Supercond. Sci. Technol.* 26, 035006 (2013))。特に、フィルムの「リフトファクタ」(典型的には、30K、3Tで約2.1)は、実質的に、より高いレベルのZr添加によって改良される。「リフトファクタ」は、実践的条件下におけるテープの臨界電流対77K時ゼロ磁場下のテープの臨界電流の比率を指す。また、最近、高臨界電流密度(概して求められている超電導体性能目標)が、77K時、高レベルのZr添加でREBCOテープにおいて達成されることが実証されている(V. Selvamaniickam, et al., "Low-temperature, High Magnetic Field Critical Current Characteristics of Zr-added (Gd, Y)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> superconducting tapes", *Supercond. Sci. Technol.* 25, 125013 (2012))。これらの発見は、REBCOテープを実質的に高レベルのZrでドープすることが、実践的条件下、高臨界電流密度および高リフトファクタの両方を産生する可能性を切り開く。しかしながら、高レベルの添加Zrを伴うREBCOテープのリフトファクタは、実質的に、一貫しないことが見出されている。

#### 【0011】

したがって、当技術分野には、実践的動作条件下において、高リフトファクタおよび高臨界電流密度の両方を超電導体内で達成することができる、方法および組成物の必要性がある。

#### 【先行技術文献】

#### 【非特許文献】

#### 【0012】

【非特許文献1】Y. Iijima, et al., *Physica C* 185, 1959 (1991), X. D. Wu, et al., *Appl. Phys. Lett.* 67, 2397 (1995), A. Goyal, et al., *Appl. Phys. Lett.* 69 (1996) p. 1795, V. Selvamaniickam et al., "High Performance 2G wire: From R&D to Pilot-scale Manufacturing", *IEEE Trans., Appl., Supercond.* 19,

3 2 2 5 ( 2 0 0 9 )

【非特許文献 2】E. M. Gyorgy, et al., "Anisotropic critical currents in Ba<sub>2</sub>YCu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> analyzed using an extended bean model" Appl. Phys. Lett. 55, 283 (1989)

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0013】

本明細書に開示されるある実施形態の概要は、以下に記載される。本項は、単に、読者に、ある実施形態の簡単な概要を提供するために提示され、これらの説明は、本願の範囲を制限するために意図されないことを理解されたい。実際、本開示は、本明細書に記載されない場合がある、種々の実施形態を包含してもよい。

【0014】

超伝導テープは、約30K時、テープに垂直に印加される、約3T磁場下、高リフトファクタを達成するように加工されることができる。一実施形態では、超伝導テープは、約30K

においてREBCOテープに垂直に印加される、約3T磁場下、3.0を上回るまたは4.0を上回るリフトファクタを達成するように加工されることができる。

【0015】

別の実施形態では、超伝導テープは、外部磁場の不在下、77K時、約4.2MA/cm<sup>2</sup>未満またはそれと等しい臨界電流密度を含むように加工される。さらに別の実施形態では、超伝導テープは、c-軸に平行な配向を有する、約3Tの磁場下、約30K時、約1.2MA/cm<sup>2</sup>を上回るまたはそれと等しい臨界電流密度を含むように加工される。

例えば、本願発明は以下の項目を提供する。

(項目1)

約3Tの磁場下、約30K時、約3.0を上回るまたはそれと等しいリフトファクタを備える、超電導体テープ。

(項目2)

約32.0原子%を上回るバリウム+ドーパント含有量をさらに備える、項目1に記載の超電導体テープ。

(項目3)

約49.0原子%未満の銅含有量をさらに備える、項目1に記載の超電導体テープ。

(項目4)

前記ドーパント含有量は、少なくとも約1.65原子%であって、前記バリウム含有量は、少なくとも約29.9原子%である、項目2に記載の超電導体テープ。

(項目5)

前記リフトファクタは、約3Tの磁場下、約30K時、約4.0を上回るまたはそれと等しい、項目1に記載の超電導体テープ。

(項目6)

約33.0原子%を上回るバリウム+ドーパント含有量をさらに備える、項目5に記載の超電導体テープ。

(項目7)

約49.0原子%未満の銅含有量をさらに備える、項目6に記載の超電導体テープ。

(項目8)

前記ドーパント含有量は、少なくとも約1.65原子%であって、前記バリウム含有量は、少なくとも約30.5原子%である、項目6に記載の超電導体テープ。

(項目9)

約37.5%を上回るバリウム対バリウム+ドーパント+銅比率、約2.0%未満のドーパント対バリウム+ドーパント+銅比率、および約60.5%未満の銅対バリウム+ドーパント+銅比率をさらに備える、項目1に記載の超電導体テープ。

(項目10)

約0.58を上回るまたはそれと等しい、バリウム対銅比率をさらに備える、項目1に記載の超電導体テープ。

(項目11)

約0.62を上回るまたはそれと等しい、バリウム+ドーパント対銅比率をさらに備える、項目1に記載の超電導体テープ。

(項目12)

約38.0%を上回るバリウム対バリウム+ドーパント+銅比率、約2.5%未満のドーパント対バリウム+ドーパント+銅比率、および約59.5%未満の銅対バリウム+ドーパント+銅比率をさらに備える、項目5に記載の超電導体テープ。

(項目13)

約0.62を上回るまたはそれと等しい、バリウム対銅比率をさらに備える、項目5に記載の超電導体テープ。

(項目14)

約0.65を上回るまたはそれと等しい、バリウム+ドーパント対銅比率をさらに備える、項目5に記載の超電導体テープ。

(項目15)

外部磁場の不在下、77K時、約4.2MA/cm<sup>2</sup>未満またはそれと等しい臨界電流密度をさらに備える、項目1に記載の超電導体テープ。

(項目16)

外部磁場の不在下、77K時、約3.8MA/cm<sup>2</sup>未満またはそれと等しい臨界電流密度をさらに備える、項目5に記載の超電導体テープ。

(項目17)

c-軸に平行な配向を有する、約3Tの磁場下、約30K時、約12MA/cm<sup>2</sup>を上回る臨界電流密度を備える、超電導体テープ。

(項目18)

前記臨界電流密度は、前記c-軸に平行な配向を有する、約3Tの磁場下、約30K時、約15MA/cm<sup>2</sup>を上回る、項目17に記載の超電導体テープ。

(項目19)

前記超電導体テープは、少なくとも約0.9μmのフィルム厚を有する、超電導体フィルムを備える、項目17に記載の超電導体テープ。

(項目20)

REBCO超伝導テープを製造する方法であって、

超伝導テープ基板に前駆体蒸気を印加するステップであって、前記前駆体蒸気は、

約33.0原子%を上回るバリウム+ドーパント含有量と、

約49.0原子%未満の銅含有量と、

を備える、フィルムをもたらす、方法。

【図面の簡単な説明】【0016】

前述の概要ならびに以下の発明を実施するための形態は、添付の図面と併せて熟読されることによって、より深く理解されるであろう。例証目的のためだけに、図面に、ある実施形態が示される。しかしながら、本明細書に開示される本発明の概念は、図に示される精密な配列および器具類に限定されないことを理解されたい。

【図1】図1は、MOCVD HTSテープおよびBZOドープMOCVDテープに一般的磁場と基板テープとの間の角度の関数として、臨界電流密度を図示する。

【図2】図2は、MOCVDによって合成されたZrドープ超伝導フィルムの断面微小構造を図示する。

【図3】図3は、ある実施形態による、フィルムのICP分光法によって測定されるときの種々の組成物の15~25モル%Zr添加GdYBCOテープの30Kにおける3Tの磁場下、リフトファクタを図示する。

【図4】図4は、ある実施形態による、フィルム中の全カチオン(Gd、Y、Ba、Cu、Zr)の原子%として表されるバリウムの関数として、15~25モル%Zr添加GdYBCOテープの30Kにおける3Tの磁場下、リフトファクタを図示する。

【図5】図5は、ある実施形態による、フィルム中の全カチオン(Gd、Y、Ba、Cu、Zr)の原子%として表されるジルコニウムの関数として、15~25モル%Zr添加GdYBCOテープの30Kにおける3Tの磁場下、リフトファクタを図示する。

【図6】図6は、ある実施形態による、フィルム中の全カチオン(Gd、Y、Ba、Cu、Zr)の原子%として表されるバリウム+ジルコニウムの関数として、15~25モル%Zr添加GdYBCOテープの30Kにおける3Tの磁場下、リフトファクタを図示する。

【図7】図7は、ある実施形態による、フィルム中の全カチオン(Gd、Y、Ba、Cu、Zr)の原子%として表される銅の関数として、15~25モル%Zr添加GdYBCOテープの30Kにおける3Tの磁場下、リフトファクタを図示する。

【図8】図8は、ある実施形態による、フィルムのICP分光法によって測定されるときの種々の組成物の15~25モル%Zr添加GdYBCOテープの30Kにおける3Tの磁場下、リフトファクタを図示する。

【図9】図9は、ある実施形態による、フィルム内のバリウム対銅比率の関数として、15~25モル%Zr添加GdYBCOテープの30Kにおける3Tの磁場下、リフトファクタを図示する。

【図10】図10は、ある実施形態による、フィルム内のバリウム+ジルコニウム対銅比率の関数として、15~25モル%Zr添加GdYBCOテープの30Kにおける3Tの磁場下、リフトファクタを図示する。

【図11】図11は、ゼロ磁場下、77Kにおける臨界電流密度の関数として、15~20モル%Zr添加GdYBCOテープの30Kにおける3テスラの磁場下、リフトファクタを図示する。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0017】

少なくとも一実施形態を詳細に説明する前に、本明細書に記載される本発明の概念は、その用途において、以下の説明に記載され、または図面に図示される、構造詳細または構成要素配列に限定されないことを理解されたい。また、本明細書に採用される語句および専門用語は、単に、説明目的のためのものであって、限定と見なされるべきでないことも理解されたい。

##### 【0018】

さらに、説明される特徴のいずれかの1つは、別個に、または他の特徴と組み合わせて使用されてもよいことを理解されたい。他の判明システム、方法、特徴、および利点は、本明細書の図面および発明を実施するための形態を検討することによって、当業者に明白である、または明白となるであろう。全てのそのような付加的システム、方法、特徴、および利点は、付随の請求項によって保護されることが意図される。

##### 【0019】

本明細書に説明される実施形態の目的の1つは、REBCOテープに垂直に印加される、約30K時、約3T磁場下、少なくとも約3.0のリフトファクタを一貫して達成する、超伝導テープを加工することである。本明細書に説明される実施形態の別の目的は、REBCOテープに垂直に印加される、約30K時、約3T磁場下、少なくとも約4.0のリフトファクタを一貫して達成することができる、超伝導テープを加工することである。一実施形態では、REBCOテープは、MOCVDによって加工される。

##### 【0020】

ある実施形態では、REBCOテープは、基板と、基板を覆う緩衝層と、超伝導フィルムに続くキャッピング層(典型的には、貴金属)と、安定化層(典型的には、銅等の非貴金属)とを含んでもよい。緩衝層は、いくつかの別々のフィルムから成ってもよい。

##### 【0021】

一実施形態では、基板は、ニッケル系または鉄系合金等の高温に耐えることができる、金属合金を含んでもよい。実施例は、Hastelloy (R)、Inconel (R) 合金群、ステンレス鋼合金、またはニッケル-タンゲステン、およびニッケル-クロム合金が挙げられ得る。基板は、典型的には、薄いテープ、約 25 ~ 100 μm 厚、約 2 mm ~ 100 mm 幅、および約 1 ~ 10,000 メートルの長さの形態であってもよい。基板は、約 0.5 ~ 20 nm 表面粗度を伴う平滑表面を产生するために、研磨等の技法によって処理されることがある。加えて、別の実施形態では、基板は、公知の RABITS (圧延支援 2 軸方向テクスチャ化基板) 技法等によって、2 軸方向にテクスチャ化されるように処理されてもよい。代替として、さらに別の実施形態では、基板は、市販の Hastelloy (R)、Inconel (R) 合金群、およびステンレス鋼合金等の非テクスチャ化多結晶であってもよい。

#### 【0022】

別の実施形態では、緩衝層は、単一層であって、またはより一般には、いくつかのフィルムから作製されてもよい。さらに別の実施形態では、緩衝層は、概して、フィルムの平面内および平面外の両方の結晶軸に沿って整合される、結晶テクスチャを有する、2 軸方向にテクスチャ化されたフィルムを含んでもよい。そのような 2 軸方向テクスチャ化は、イオンビーム支援蒸着 (IBAD) によって遂行されてもよい。例えば、IBAD は、2 軸方向にテクスチャ化された緩衝層を形成し、超超伝導特性のための望ましい結晶学的配向を有する、超伝導層を产生するために使用されることがある。

#### 【0023】

ある実施形態では、酸化マグネシウムは、IBAD フィルムのためのフィルムとして使用することができ、かつ約 5 ~ 約 50 ナノメートル等、約 1 ~ 約 500 nm であってもよい。緩衝層はまた、IBAD フィルムおよび基板に直接接触し、その間に設置されるように提供される、障壁フィルム等の付加的フィルムを含んでもよい。本実施形態では、障壁フィルムは、アルミナまたはジルコニア酸 (例えば、イットリア安定化ジルコニア、ジルコン酸ガドリニウム等) 等の酸化物であってもよく、基板を IBAD フィルムから隔離するように機能することができる。障壁フィルムの典型的厚さは、約 1 ~ 約 200 nm の範囲内であってもよい。

#### 【0024】

なおもさらに、さらに別の実施形態では、緩衝層はまた、IBAD フィルムにわたって形成されるように、LaMnO<sub>3</sub>、SrTiO<sub>3</sub>、CeO<sub>2</sub> 等のエピタキシャルに成長されたフィルムを含んでもよい。エピタキシャルに成長されたフィルムは、MgO と REBCO との間の格子不整合に対応するのに役立ち得る。他の実施形態では、全ての緩衝フィルムは、種々の物理的蒸着、溶液コーティング、または化学蒸着技法によって蒸着されてもよい。

#### 【0025】

ある実施形態では、超伝導 REBCO フィルムは、イットリウム、ガドリニウム、ネオジミウム、エルビウム、ヨーロピウム、サマリウム、ジスプロシウム、ホルミウム等の単一希土類元素から成ってもよい。別の実施形態では、超伝導 REBCO フィルムは、任意の組み合わせにおいて、これらの希土類元素のうちの 1 つまたはそれを上回るものから成ってもよい。超伝導フィルムは、約 0.5 ~ 10 μm 厚であってもよい。なおも別の実施形態では、REBCO フィルムは、薄フィルム物理的蒸着技法 (例えば、パルス状レーザ蒸着 (PLD))、蒸発またはスパッタリング、化学蒸着 (CVD)、あるいは化学溶液蒸着 (CSD) を介して、蒸着されることがある。

#### 【0026】

成分 RE、Ba、Cu カチオンに加え、別の実施形態では、ドーパント材料が、超伝導フィルム内に組み込まれる出発源材料に添加され、磁束ピンニングを改善することができる。一実施形態では、超伝導フィルムが、PLD またはスパッタリングによって作製される場合、BaZrO<sub>3</sub>、BaSnO<sub>3</sub>、BaHfO<sub>3</sub>、BaTiO<sub>3</sub>、BaCeO<sub>3</sub>、REBa<sub>2</sub>NbO<sub>6</sub>、REBa<sub>2</sub>TaO<sub>6</sub>、CeO<sub>2</sub>、ZrO<sub>2</sub>、または YSZ 等の 1 つま

たはそれを上回るドーパントが、前駆体と混合され、焼灼のための標的を形成することができる。代替として、別の実施形態では、ドーパントは、標的の区画として作製されてもよく、または別個の標的の中に作製されてもよい。

#### 【0027】

ある実施形態では、エキシマーレーザ等の焼灼レーザが、標的にわたって走査するに付れて、REBCOおよびドーパント材料は、ともに蒸着され、フィルムを緩衝基板上に形成することができる。代替として、別の実施形態では、超伝導フィルムが、蒸発によって作製される場合、ドーパント材料は、Zr、Ce、Ti、Nb、Hf、Ta、およびSn等の別個の元素として、源内に添加されてもよい。

#### 【0028】

一実施形態では、超伝導フィルムは、金属有機化学蒸着(MOCVD)、金属有機蒸着(MOD)、または化学溶液蒸着(CSD)等の化学蒸着プロセスによって作製されてもよい。これらの実施形態では、Zr、Ce、Ti、Nb、Hf、Ta、およびSn等のドーパントが、出発前駆体中の金属有機物として添加されることができる。例えば、ドーパントは、MOCVDの場合、テトラメチルヘプタノディオネイト(thd)の形態において、あるいはMODまたはCSDの場合、酢酸またはアセチルアセトネートとして、添加されることができる。全前駆体の溶液は、MOCVDの場合、テトラヒドロフラン(THF)、およびMODまたはCSDの場合、トリフルオロ酢酸(TFA)等の溶媒を使用して作製されることができる。

#### 【0029】

ある実施形態では、MOCVDプロセスでは、REBCO前駆体溶液およびドーパント前駆体溶液が、ともに混合され、単一溶液として蒸発器内に送達されてもよい。代替として、REBCO前駆体溶液およびドーパント前駆体溶液は、別個の溶液として蒸発器内に送達されてもよい。別の実施形態では、RE、Ba、Cu、およびドーパントを含有する蒸発された前駆体は、アルゴン等の搬送ガスを用いて送達される。前駆体は、次いで、酸素ガスと混合され、シャワーヘッドを通して、MOCVD反応器の中にともに注入されることができる。さらに別の実施形態では、前駆体蒸気は、抵抗または放射加熱器を用いて加熱される、緩衝基板上に蒸着されることができる。結果は、ドーパント化合物の埋め込まれた酸化物を伴う、REBCOフィルムとなる。なおも別の実施形態では、Zrドーパントの使用は、BZOをREBCOフィルム内に形成させる。BZOおよび他のドーパント材料は、REBCOフィルム内のナノ柱または他のナノ構造として形成され、それによって、改良された磁束ピンニングを可能にすることが見出されている(V. Selvamanickam, et al., "Influence of Zr and Ce Doping on Electromagnetic Properties of (Gd, Y)-Ba-Cu-O Superconducting Tapes Fabricated by Metal Organic Chemical Vapor Deposition", Physica C 469, 2037 (2009); V. Selvamanickam, et al., "Enhanced critical currents in high levels of Zr-added (Gd, Y)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> superconducting tapes", Supercond. Sci. Technol. 26, 035006 (2013); V. Selvamanickam, et al., "Low-temperature, High Magnetic Field Critical Current Characteristics of Zr-added (Gd, Y)Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>x</sub> superconducting tapes", Supercond. Sci. Technol. 25, 125013 (2012))。

#### 【0030】

別の実施形態では、REBCOテープはまた、キャッピング層と、安定化層とを含んでもよく、これは、低抵抗界面および電気安定化を提供し、実践的使用の間の超電導体焼損を防止するのに役立つために実装されることができる。さらに別の実施形態では、貴金属

が、キャッピング層として使用され、安定化層と超伝導層との間の望ましくない相互作用を防止することができる。いくつかの貴金属として、金、銀、白金、およびパラジウムが挙げられ得る。ある実施形態では、キャッピング層は、約 0.01 μm ~ 約 20 μm の厚さ、または約 1 μm の厚さ ~ 約 3 μm の厚さであってもよい。キャッピング層は、スパッタリング、蒸発、または電気蒸着によって蒸着されることができる。

#### 【0031】

一実施形態では、安定化層は、保護 / シャント層として機能し、過酷な環境条件および超伝導性クエンチに対する安定性を向上させてもよい。層は、高密度および熱的かつ電気的に伝導性であってもよく、超伝導層の故障の場合または超伝導層の臨界電流を超える場合、電流をバイパスするように機能することができる。また、事前に形成された銅細片を超伝導テープ上に積層すること、またははんだ等の中間接合材料を使用すること等によって、種々の厚フィルムおよび薄フィルム形成技法のうちの任意の 1 つによって形成されてもよい。

#### 【0032】

一実施形態では、超伝導フィルム（キャッピングおよび安定化層を伴わない）の組成物は、ICP 分光法を介して、測定されることがある。別の実施形態では、超伝導テープの臨界電流密度は、77 K 時、ゼロ印加磁場下、かつ約 4.2 K ~ 77 K の温度時、種々の磁場の存在下、4 プローブ技法によって測定されることがある。別の実施形態では、磁場内臨界電流測定が、テープ法線に平行ならびに垂直な磁場の配向を用いて行われてもよい。加えて、さらに別の実施形態では、臨界電流密度は、中間磁場配向において測定されてもよい。任意の温度および磁場におけるリフトファクタが、その条件におけるテープの臨界電流とゼロ印加磁場下、77 K 時、臨界電流の比率として計算されることがある。

#### 【0033】

図 3 を参照すると、単なる一例として、一実施形態では、約 30 K 時、約 3 T 磁場下、種々の超電導体フィルム組成物のリフトファクタが、約 15.0 % ~ 約 24.5 % RE (Gd + Y)、約 29.0 % ~ 約 38.5 % Ba + Zr、および約 46.5 % ~ 約 56.0 % Cu の組成物範囲にわたって、マップされることがある。これらのフィルムは、THF 溶媒中で混合された Gd、Y、Ba、および Cu のテトラメチルヘプタノディオネイト前駆体を使用して、MOCVD プロセスによって加工されることがある。前駆体配合表は、付加的 15 ~ 25 モル % Zr を含むことができる。前駆体中の全チオニン (RE、Ba、Cu、Zr) が、フィルム内に組み込まれる場合、15 % Zr は、フィルム内の全チオニンの 2.4 原子 % に等しい Zr 含有量に対応し得る。溶液は、約 270 においてフラッシュ蒸発され、前駆体は、LaMnO<sub>3</sub> - 緩衝 I BAD MgO 系 Hastelloy 基板上に蒸着されることがある。蒸着は、圧力 2 ~ 3 トルにおいて、温度 750 ~ 850 で行われることができる。

#### 【0034】

図 3 に図示されるように、ある実施形態では、約 32.0 原子 % を上回るバリウム + ジルコニウム含有量および約 49.0 原子 % 未満の銅含有量を有する、超伝導テープは、約 30 K 時、約 3 T 磁場下、約 3.0 を上回るリフトファクタを呈することができる。一実施形態では、約 30 K 時、約 3 T 下で約 3.0 を上回るリフトファクタを呈するサンプルの場合、フィルム内の Zr 含有量は、少なくとも 1.65 原子 % であり得、バリウム含有量は、少なくとも 29.9 % であり得る。別の実施形態では、約 33.0 原子 % を上回るバリウム + ジルコニウム含有量、約 49.0 原子 % 未満の銅含有量を有する、超伝導テープは、約 30 K 時、約 3 T 磁場下で約 4.0 を上回るリフトファクタを呈することができる。一実施形態では、約 30 K 時、約 3 T 下、約 4.0 を上回るリフトファクタを呈するサンプルの場合、フィルム内の Zr 含有量は、少なくとも 1.65 原子 % であり得、およびバリウム含有量は、少なくとも 30.5 原子 % であり得る。

#### 【0035】

約 30 K 時、約 3 T 磁場下、約 3.0 および約 4.0 を上回るリフトファクタを達成す

るためのフィルム内のバリウム、ジルコニウム、バリウム+ジルコニウム、および銅の限界値が、単なる一例として、それぞれ、図4、5、6、および7に図示される。例えば、図4は、約30K時、約3T磁場下、約3.0を上回るリフトファクタを達成するために必要なバリウムの限界値を図示する。一実施形態では、約29.9原子%を上回るBa含有量は、3を上回るリフトファクタを達成することができる。別の実施形態では、約30.5原子%を上回るBa含有量は、4を上回るリフトファクタを達成することができる。図5は、単なる一例として、約30K時、約3T磁場下、約3.0および約4.0を上回るリフトファクタを達成するために必要なジルコニウムの限界値を図示する。一実施形態では、約1.65原子%を上回るZr含有量は、3および4の両方を上回るリフトファクタを達成することができる。図6、単なる一例として、約30K時、約3T磁場下、約3.0および約4.0を上回るリフトファクタを達成するために必要なバリウム+ジルコニウムの限界値を図示する。一実施形態では、約31.5原子%を上回るBa+Zr含有量は、3を上回るリフトファクタを達成することができる。別の実施形態では、約33.0原子%を上回るBa+Zr含有量は、4を上回るリフトファクタを達成することができる。図7は、単なる一例として、約30K時、約3T磁場下、約3.0および約4.0を上回るリフトファクタを達成するために必要な銅の限界値を図示する。一実施形態では、約51.0%原子%未満のCu含有量は、3を上回るリフトファクタを達成することができる。別の実施形態では、約50.0%原子%未満のCu含有量は、4を上回るリフトファクタを達成することができる。

#### 【0036】

図8を参照すると、単なる一例として、一実施形態では、Ba+Zr+Cu値に正規化された種々の超電導体フィルム組成物の、約30K時、約3T磁場下のリフトファクタが、約1.0%～約10.0%Zr、約34.0%～約43.0%Ba、および約56.0%～約65.0%Cuの組成物範囲にわたってマップされ得る。

#### 【0037】

図8に図示されるように、ある実施形態では、Ba+Cu+Zrの総含有量の約37.5%を上回るバリウム含有量、Ba+Cu+Zrの総含有量の約60.5%未満の銅含有量、およびBa+Cu+Zrの総含有量の約2%未満のジルコニウム含有量を有する、超伝導テープは、約30K時、約3T磁場下、約3.0を上回るリフトファクタを呈することができる。別の実施形態では、Ba+Cu+Zrの総含有量の約38%を上回るバリウム含有量、Ba+Cu+Zrの総含有量の約59.5%未満の銅含有量、およびBa+Cu+Zrの総含有量の約2.5%未満のZr含有量を有する、超伝導テープは、約30K時、約3T磁場下、約4.0を上回るリフトファクタを呈することができる。

#### 【0038】

約30K時、約3T磁場下、約3および約4を上回るリフトファクタを達成するためのフィルム内のバリウム対銅およびバリウム+ジルコニウム対銅の比率が、単なる一例として、それぞれ、図9および10に図示される。例えば、図9は、約30K時、約3T磁場下、約3.0を上回るリフトファクタを達成するために必要なバリウム対銅の比率を図示する。一実施形態では、少なくとも約0.58を上回るまたはそれと等しいBa対Cu比率は、3を上回るリフトファクタを達成することができる。別の実施形態では、少なくとも約0.62を上回るまたはそれと等しいBa対Cu比率は、4を上回るリフトファクタを達成することができる。図10は、単なる一例として、約30K時、約3T磁場下、約3および約4を上回るリフトファクタを達成するために必要なバリウム+ジルコニウム対銅の比率を図示する。一実施形態では、少なくとも約0.62を上回るまたはそれと等しいBa+Zr対Cu比率は、3を上回るリフトファクタを達成することができる。別の実施形態では、少なくとも約0.65を上回るまたはそれと等しいBa+ZrとCu含有量は、4を上回るリフトファクタを達成することができる。

#### 【0039】

図11は、77K時、0Tの磁場下、臨界電流密度( $J_c$ )の範囲(例えば、2～5MA/cm<sup>2</sup>)を有する、約30K時、約3Tの磁場下(テープに垂直に印加される)、約

15～25モル%Zr添加を伴ういくつかの(Gd、Y)-Ba-Cu-Oテープのリフトファクタを図示する。予想外にも、77K時、0T磁場下、4.2MA/cm<sup>2</sup>未満の臨界電流密度を有する、それらの超伝導テープのみ、約30K時、約3T磁場下、約3.0を上回るリフトファクタを呈し得る。さらに、77K時、0T磁場下、3.8MA/cm<sup>2</sup>未満の臨界電流密度を有する、それらの超伝導テープのみ、約30K時、約3T磁場下、約4.0を上回るリフトファクタを呈し得る。超電導体研究における傾向は、ゼロ磁場下、77K時、臨界電流密度を増加させることである。したがって、ゼロ磁場下、77K時、より高い臨界電流密度は、実践的条件において高リフトファクタを達成するという観点から望ましくない場合があるという発見は、予測外であって、以前には、当技術分野において予想されていない。

#### 【0040】

本願の別の目的は、約30K時、約3T磁場下、超電導体テープにおいて、約3.0を上回るリフトファクタおよび高絶対臨界電流密度値の両方を達成することである。一実施形態では、約77K時、約0T磁場下、テープの臨界電流密度は、約30K時、約3T磁場下、約800A/cm-幅にわたって臨界電流密度を達成するためには十分に高くあり得る。例えば、約30.17%Ba、約50.7%Cu、約8.86%Y、約7.5%Gd、および約1.77%Zrのカチオン組成物を伴う、約0.91μm厚の超伝導フィルムは、77K時、0T下、約2.76MA/cm<sup>2</sup>の臨界電流密度と、約30K時、約3T下、約3.4のリフトファクタとを呈し得る。故に、テープの臨界電流は、約30K時、約3T下、約851A/cmであり得る。なおもさらなる実施形態では、約31.5原子%を上回るバリウム+ジルコニウム含有量、約51原子%未満の銅含有量、および約19.5原子%未満の希土類(例えば、イットリウム+ガドリニウム)含有量を有する、超伝導テープは、約30K時、約3T磁場下、約800A/cm-幅にわたって臨界電流密度を呈し得る。

#### 【0041】

別の実施形態では、臨界電流密度とリフトファクタとの間の前述で識別された相関は、約60Kを下回る温度で観察され得る。例えば、約0.85μm厚の超伝導フィルムは、77K時、0T下、約3.16MA/cm<sup>2</sup>の臨界電流密度と、3T下、59K時、約1.25、54K時、1.57、49K時、1.90、38K時、2.99、30K時、4.1、25K時、4.64、および20K時、5.67のリフトファクタとを呈し得る。さらに別の実施形態では、約0.91μmのフィルム厚を伴う超伝導フィルムは、77K時、0T下、約4.66MA/cm<sup>2</sup>の臨界電流密度と、3T下、59K時、約0.61、54K時、0.77、49K時、0.92、39K時、1.29、30K時、1.68、25K時、1.90、および20K時、2.21のリフトファクタとを呈し得る。

#### 【0042】

さらに別の実施形態では、類似相関は、約60Kを下回る温度において、超伝導テープ組成物とリフトファクタとの間にも存在し得る。例えば、約31.49%Ba、約50.88%Cu、約8.56%Y、約7.3%Gd、および約1.75%Zrのカチオン組成物を伴う0.85μm厚の超伝導フィルムは、77K時、0T下、約3.16MA/cm<sup>2</sup>の臨界電流密度と、3T下、59K時、約1.25、54K時、1.57、49K時、1.90、38K時、2.99、30K時、4.1、25K時、4.64、および20K時、5.67のリフトファクタとを呈し得る。

#### 【0043】

Ba+Zr-Cu比率は、リフトファクタに最も強い影響を及ぼし得る。したがって、他の実施形態では、超伝導REBCOテープは、以下のRE元素：Y、Gd、Dy、Ho、Er、Tb、Yb、Eu、Nd、またはSmのうちの1つを含んでもよい。超伝導テープのタイプ毎に、図3および11に観察されるように、臨界電流密度とリフトファクタとの間に類似相関が存在し得る。例えば、Zrドープを伴う(Gd、Dy)-Ba-Cu-O組成物の約0.91μm厚の超伝導フィルムは、77K時、0T下、約2.61MA/cm<sup>2</sup>の臨界電流密度と、約30K時、約3T下、約3.0のリフトファクタを呈し得る。

。

## 【0044】

本願のさらに別の目的は、超電導体テープにおいて、約30K時、約3T磁場下、約4.0を上回るリフトファクタおよび高絶対臨界電流密度値の両方を達成することである。一実施形態では、約77K時、約0T磁場下、テープの臨界電流密度は、約30K時、約3T磁場下、約2160A/12mm幅にわたって臨界電流を達成するために十分に高くあり得る。例えば、以下の表1は、異なる概算カチオニン組成物を有する種々の0.9μm厚の超伝導フィルムの臨界電流密度およびリフトファクタを図示する。

## 【0045】

## 【表1】

テープ#	Cu%	Y%	Zr%	Ba%	Gd%	Jc(77K, 0T)	揚力係数(30K, 3T)	Jc(30K, 3T)
1	49.6	9.4	1.7	31.3	8.0	2.84	4.39	12.47
2	47.2	9.7	3	31.1	9.1	3.54	4.58	16.21
3	47.5	9.8	2.4	31.1	9.2	3.76	4.09	15.38
4	46.6	9.1	2.4	33.3	8.6	1.93	6.22	12.01
5	46.7	9.6	3.3	31.3	9.1	2.30	5.69	13.09
6	47.2	9.2	2.5	32.3	8.8	3.10	6.45	20.0

表1REBCO超伝導フィルムの揚力係数

## 【0046】

故に、テープ1の臨界電流は、約30K時、約3T下、約1346A/12mmであり得る。テープ2の臨界電流は、約30K時、約3T下、約1751A/12mmであり得る。テープ3の臨界電流は、約30K時、約3T下、約1661A/12mmであり得る。テープ4の臨界電流は、約30K時、約3T下、約1297A/12mmであり得る。テープ5の臨界電流は、約30K時、約3T下、約1413A/12mmであり得る。テープ6の臨界電流は、約30K時、約3T下、約2160A/12mmであり得る。

## 【0047】

他のドーパントも、Zrと同様に等しく機能し得る。したがって、さらに他の実施形態では、超伝導テープは、以下の成分：ニオブ、タンタル、ハフニウム、スズ、セリウム、およびチタンのうちの1つまたはそれを上回るものでドープされる。超伝導テープのタイプ毎に、図3および11に観察されるように、臨界電流密度とリフトファクタとの間に類似相関が存在し得る。

## 【0048】

前述の説明は、例証であって、限定ではないことが意図されることを理解されたい。材料は、任意の当業者が、本明細書に説明される本発明の概念を作製および使用することを可能にするために提示されており、特定の実施形態の文脈において提供され、その変形例は、当業者に容易に明白になるであろう（例えば、開示される実施形態のうちのいくつかは、相互に組み合わせて使用されてもよい）。多くの他の実施形態は、前述の説明の精査に応じて、当業者に明白となるであろう。本発明の範囲は、したがって、添付の請求項とともに、そのような請求項の権利が付与される均等物の全範囲を参照して判定されるべきである。添付の請求項では、用語「including」および「in which」は、個別の用語「comprising」および「wherein」の平易な英語均等物として使用される。

## 【実施例】

## 【0049】

アルミナおよびイットリア緩衝層を伴う、Hastelloy C-276テープが、室温において、イオンビーム支援蒸着（IBAD）によって、MgOでコーティングされ、2軸方向にテクスチャ化されたフィルムをもたらした。ホモエピタキシャルMgOおよびLaMnO<sub>3</sub>が、温度範囲600～800において、マグнетロンスパッタリングに

よって、I B A D M g O層上に蒸着された。緩衝テープが、Zr添加を伴うGdYBCOフィルムのMOCVDのために使用された。Zr<sub>0.15</sub>Gd<sub>0.6</sub>Y<sub>0.6</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>のカチオン組成物を伴うテトラメチルヘプタノディオネイト前駆体が、モル濃度0.05M/Lにおいて、テトラヒドロフランの溶媒中に溶解された。前駆体溶液が、流率2.5mL/分で送達され、270でフラッシュ蒸発され、アルゴンのガス中に搬送され、酸素と混合され、次いで、線形シャワーヘッドを使用して、反応器の中に注入された。前駆体蒸気は、約830の温度範囲において、反応器圧力2.3トルで、速度2.1cm/分で移動する緩衝I B A Dテープ上に蒸着された。超電導体フィルムの厚さは、0.925μmであると断面走査電子顕微鏡法によって測定された。フィルムのカチオン原子組成物は、31.35%Ba、49.57%Cu、8.03%Gd、9.36%Y、および1.69%ZrであるとICP分光分析によって判定された。テープの臨界電流密度は、77K時、0T下、2.84MA/cm<sup>2</sup>であると測定された。30K時、テープに垂直に印加される3T磁場下、リフトファクタ4.4が、1153A/cmの臨界電流に対応して達成された。

#### 【0050】

Zr<sub>0.15</sub>Gd<sub>0.6</sub>Y<sub>0.6</sub>Ba<sub>2</sub>Cu<sub>2</sub>のカチオン組成物を伴うテトラメチルヘプタノディオネイト前駆体が、モル濃度0.05M/Lにおいて、テトラヒドロフランの溶媒中に溶解された。前駆体溶液は、流率2.5mL/分で送達され、270でフラッシュ蒸発され、アルゴンのガス中に搬送され、次いで、酸素と混合され、線形シャワーヘッドを使用して、反応器の中に注入された。前駆体蒸気は、約800の温度範囲において、反応器圧力2.3トルで、速度2.1cm/分で移動する緩衝I B A Dテープ上に蒸着された。超電導体フィルムの厚さは、0.91μmであると断面走査電子顕微鏡法によって測定された。フィルムのカチオン原子組成物は、30.29%Ba、51.47%Cu、8.12%Gd、8.55%Y、および1.57%ZrであるとICP分光分析によって判定された。テープの臨界電流密度は、77K時、0T下、4.37MA/cm<sup>2</sup>であると測定される。30K時、テープに垂直に印加される3T磁場下、リフトファクタ1.8が、728A/cmの臨界電流に対応して達成された。

#### 【誤訳訂正3】

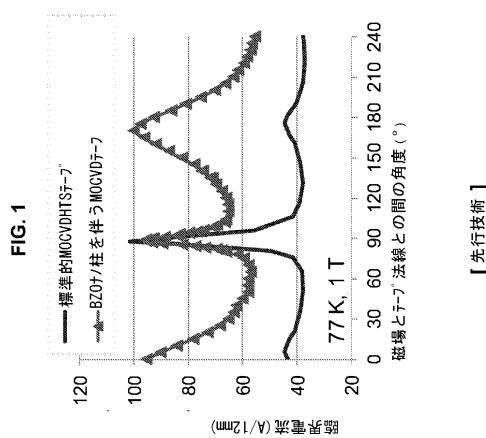
【訂正対象書類名】図面

【訂正対象項目名】全図

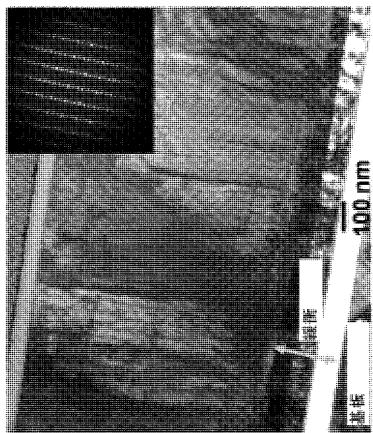
【訂正方法】変更

【訂正の内容】

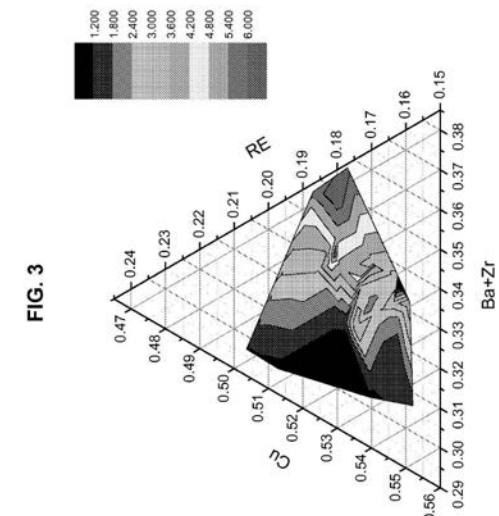
【 四 1 】



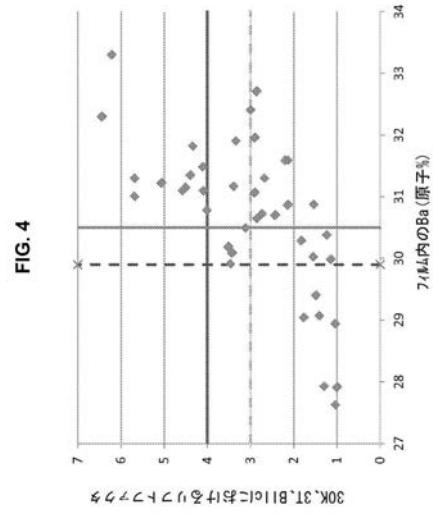
【 図 2 】



【図3】

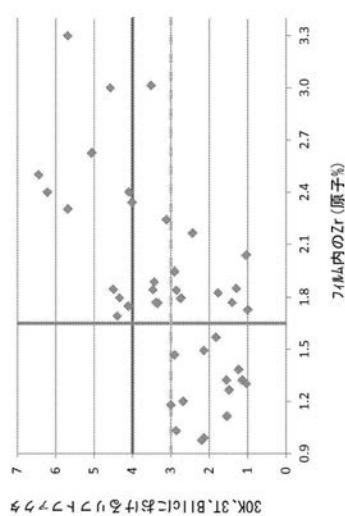


【 図 4 】



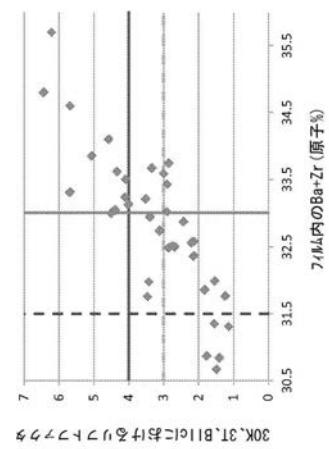
【図5】

FIG. 5



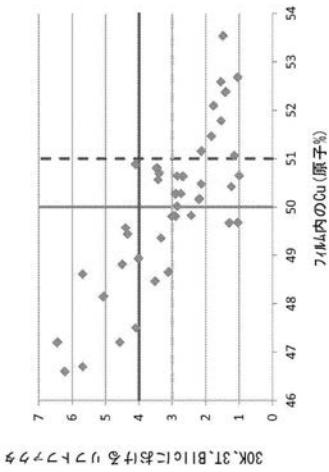
【図6】

FIG. 6



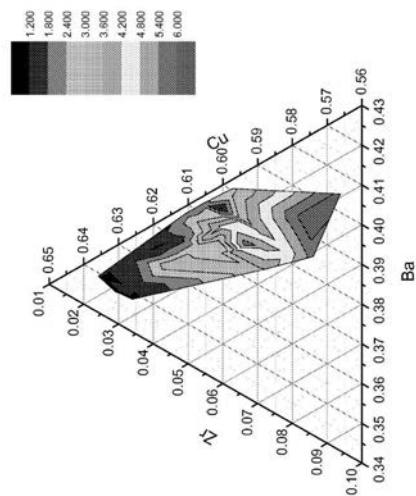
【図7】

FIG. 7



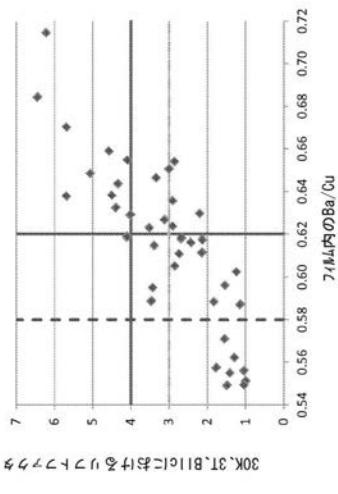
【図8】

FIG. 8

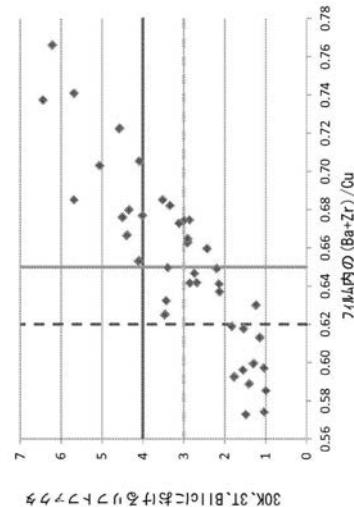


【図 9】

FIG. 9



【図 10】



【図 11】

FIG. 11

