

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2009-507358

(P2009-507358A)

(43) 公表日 平成21年2月19日 (2009.2.19)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
H O 1 B 12/06 (2006.01)	H O 1 B 12/06 Z A A	4 G O 4 7
H O 1 B 13/00 (2006.01)	H O 1 B 13/00 5 6 5 D	5 G 3 2 1
C O 1 G 3/00 (2006.01)	C O 1 G 3/00	
C O 1 G 1/00 (2006.01)	C O 1 G 1/00 S	
H O 1 F 6/06 (2006.01)	H O 1 F 5/08 B	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 35 頁)		

(21) 出願番号 特願2008-535523 (P2008-535523)
 (86) (22) 出願日 平成18年7月28日 (2006.7.28)
 (85) 翻訳文提出日 平成20年3月25日 (2008.3.25)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2006/029684
 (87) 国際公開番号 W02008/036073
 (87) 国際公開日 平成20年3月27日 (2008.3.27)
 (31) 優先権主張番号 60/703,815
 (32) 優先日 平成17年7月29日 (2005.7.29)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 500093292
 アメリカン・スーパーコンダクター・コー
 ポレーション
 アメリカ合衆国マサチューセッツ州015
 81-1727, ウェストバロ, トゥー・
 テクノロジー・ドライブ
 (74) 代理人 110000659
 特許業務法人広江アソシエイツ特許事務所
 (72) 発明者 コーデンカンドス, トーマス
 アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O
 1536-1119, エヌ. グラフトン,
 ロードベイル ブルバード 11

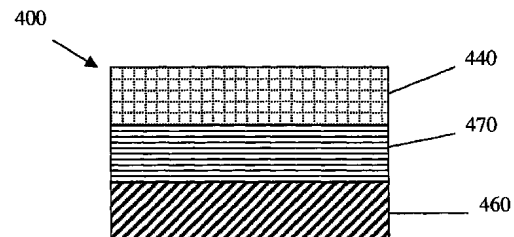
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高温超電導ワイヤ及びコイル

(57) 【要約】

【解決手段】 超電導線（ワイヤ）は、積み重ねられた関係の1つまたは複数の基板に配置される第1の超電導層と第2の超電導層を含み、第1の超電導層は第1の構成物の高温酸化物超電導体を備え、第2の超電導層は第2の構成物の高温超電導層を備え、第1の構成物と第2の構成物は異なっている。第1の超電導体層は、超電導層の表面に垂直な磁場（ $H \perp c$ ）の存在下で強化された臨界電流（ $I_c(c)$ ）を提供すべく選択された高温超電導体構成物を任意的に含む。第2の超電導体層は、超電導層の表面に平行な磁場の存在下で強化された臨界電流（ I_c ）を提供すべく選択された高温超電導体構成物を任意的に含む。

【選択図】 なし



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

積み重ねられた関係で 1 つまたは複数の基板の上に配置された第 1 の超電導層及び第 2 の超電導層を少なくとも備えてなる超電導ワイヤであって、

前記第 1 の超電導層は、当該超電導体層の表面に平行な臨界電流の、当該超伝導体層の表面に直角な臨界電流に対する第 1 の所定比率 ($I_c(a,b) / I_c(c)$) を提供すべく選択された第 1 の高温超電導酸化物を備えており、

前記第 2 の超電導層は、当該超電導体層の表面に平行な臨界電流の、当該超電導体層の表面に直角な臨界電流に対する第 2 の所定比率 ($I_c(a,b) / I_c(c)$) を提供すべく選択された第 2 の高温超電導層を備えており、

前記第 1 の超電導層と第 2 の超電導層とが組み合わされて、選択された磁場配向で所定の全体的な臨界電流 I_c を提供する、超電導ワイヤ。

【請求項 2】

前記第 1 又は第 2 の高温超電導体が、超電導層の表面に直角に配向された磁場 ($H // c$) の存在下で強化された臨界電流 ($I_c(c)$) を提供するように選択されている、請求項 1 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 3】

$I_c(a,b) / I_c(c)$ の前記第 1 の所定比率が、1 テスラ以上の適用磁場において 2.6 以下である請求項 2 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 4】

$I_c(a,b) / I_c(c)$ の前記第 1 の所定比率が、1 テスラ以上の適用磁場において 2.0 未満である請求項 2 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 5】

$I_c(a,b) / I_c(c)$ の前記第 1 の所定比率が、1 テスラ以上の適用磁場において 1.5 未満である請求項 2 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 6】

前記適用磁場が、約 1 テスラから約 6 テスラの範囲内にある請求項 3、4 または 5 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 7】

前記高温超電導体が、希土類 - アルカリ土類 - 銅の酸化物を備え、当該希土類が 2 つ以上の希土類元素を備える、請求項 2 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 8】

前記希土類 - アルカリ土類 - 銅の酸化物が、化学量論的な希土類 - アルカリ土類 - 銅に必要とされる量を超過したイットリウムを備える、請求項 7 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 9】

前記希土類元素が、エルビウムとホルミウムのうちの 1 つまたはそれ以上を備える、請求項 7 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 10】

ホルミウムとエルビウムのうちの 1 つまたはそれ以上が、希土類 - アルカリ土類 - 銅の酸化物の中の希土類の化学量論量の 25% から 150% の範囲内の量で存在する、請求項 9 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 11】

前記希土類元素がさらにイットリウムを備える、請求項 10 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 12】

前記高温超電導体が、希土類 - アルカリ土類 - 銅の酸化物と、該酸化物超電導体の粒子内に位置する金属含有化合物を備える少なくとも 1 つの第 2 の位相ナノ粒子とを備える、請求項 2 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 13】

前記第 2 の位相ナノ粒子が、希土類元素、アルカリ土類金属、及び遷移金属のうちの 1 つまたは複数を備える、請求項 12 に記載の超電導ワイヤ。

10

20

30

40

50

【請求項 14】

前記第2の位相ナノ粒子が、酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、 $Y_2Cu_5O_5$ 、 Y_2BaCuO_4 、酸化マグネシウム、 $BaZrO_3$ 、銀、及び CeO_2 からなる群から選択されるものである、請求項12に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 15】

前記第1または第2の高温超電導体構成物が、超電導層の表面に平行に向けられた磁場 ($H // ab$) の存在下で強化された臨界電流 (I_c) を提供すべく選択されている、請求項2に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 16】

$I_c(ab) / I_c(c)$ の前記第2の所定比率が、1テスラ以上の適用磁場において2.5を超える、請求項15に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 17】

$I_c(ab) / I_c(c)$ の前記第2の所定比率が、1テスラ以上の適用磁場において3.5を超える、請求項15に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 18】

$I_c(ab) / I_c(c)$ の前記第2の所定比率が、1テスラ以上の適用磁場において5.5を超える、請求項15に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 19】

前記適用磁場が約1テスラから約6テスラの範囲内にある、請求項16、17又は18に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 20】

前記高温超電導体が、希土類 - アルカリ土類 - 銅の酸化物を備え、銅対アルカリ土類の比率が1.5を超える、請求項15に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 21】

前記第1及び第2の超電導層の厚さが異なる、請求項1に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 22】

前記第1及び第2の超電導層の厚さが、選択された磁場配向で所定の全体的な臨界電流を提供すべく選択されている、請求項1に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 23】

選択された磁場配向が、 0° ($H // c$) と 90° ($H // ab$) の間である、請求項1に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 24】

前記第1の超電導層が基板の上面に配置され、前記第2の超電導層が基板の下面に配置されている、請求項1に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 25】

少なくとも1つの第1の緩衝層が、前記基板の上面と前記第1の超電導層の間に配置されると共に、少なくとも1つの第2の緩衝層が、前記基板の下面と前記第2の超電導層の間に配置されている、請求項24に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 26】

前記第2の超電導層が前記第1の超電導層の上に重なっている、請求項1に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 27】

前記第1の超電導層と第2の超電導層の間には、導電層が配置されている、請求項26に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 28】

前記導電層は銅を備える、請求項27に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 29】

1つまたは複数の緩衝層が前記基板と前記第1の超電導層の間に配置されている、請求項26に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 30】

10

20

30

40

50

請求項 1 に記載の超電導ワイヤは更に、

第 1 の基板、当該第 1 の基板上に配置され且つ前記第 1 の超電導層を支持する少なくとも 1 つの第 1 の緩衝層、及び、前記第 1 の超電導層に配置された第 1 の金属製保護層を備えてなる第 1 のコーティングされた素子、並びに、

第 2 の基板、当該第 2 の基板上に配置され且つ前記第 2 の超電導層を支持する少なくとも 1 つの第 2 の緩衝層、及び、前記第 2 の超電導層に配置された第 2 の金属製保護層を備えてなる第 2 のコーティングされた素子、
を備える請求項 1 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 3 1】

前記第 1 及び第 2 のコーティングされた素子が前記第 1 及び第 2 の基板で接合されるように、前記第 1 のコーティング素子と第 2 のコーティング素子の間に配置された介在バインダ層を更に備える、請求項 3 0 に記載の超電導ワイヤ。

10

【請求項 3 2】

前記第 1 及び第 2 のコーティングされた素子が前記第 1 の及び第 2 の金属製保護層で接合されるように、前記第 1 のコーティング素子と第 2 のコーティング素子の間に配置された介在バインダ層を更に備える、請求項 3 1 に記載の超電導ワイヤ。

【請求項 3 3】

高温超電導装置を製造する方法であって、

高い $I_c(c)$ の高温超電導体構成物を備えた第 1 の領域と、高い $I_c(ab)$ の高温超電導体構成物を備えた第 2 の領域と、前記高い $I_c(c)$ の高温超電導体構成物および前記高い $I_c(ab)$ の高温超電導体構成物の混合物を備えた第 3 の領域とを備える 1 本の超電導ワイヤを提供することと、

20

前記第 1 の領域が前記ワイヤに対し直角 (0°) な磁場配向を経験する当該装置内の位置を占め、前記第 2 の領域が前記ワイヤに対し平行 (90°) な磁場配向を経験する当該装置内の位置を占め、前記第 3 の領域が 0° と 90° の間の磁場配向を経験する当該装置内の位置を占めるように、当該装置内に超電導体を配置することと、
を備えた方法。

【請求項 3 4】

前記装置がコイルである、請求項 3 3 に記載の方法。

【請求項 3 5】

30

前記高温超電導体ワイヤの前記第 1 の領域が該コイルの端部に位置している、請求項 3 4 に記載の方法。

【請求項 3 6】

前記高温超電導体ワイヤの前記第 2 の領域が該コイルの内部に位置している、請求項 3 5 に記載の方法。

【請求項 3 7】

前記高温超電導体ワイヤの前記第 3 の領域が前記第 1 の領域と第 2 の領域の間に位置している、請求項 3 6 に記載の方法。

【請求項 3 8】

40

高温超電導体層を備えた超電導ワイヤを具備する製品であって、

その製品が、当該製品内のさまざまな位置で異なる配向の磁場を経験すると共に、前記高温超電導体層の構成物が、既定の位置での磁場の配向に対処するようにその長さに沿って変化する製品。

【請求項 3 9】

前記製品はコイルを備えており、

動作時に当該コイルが、前記超電導体層の平面に略平行から前記超電導体層の平面に略直角までの変化範囲を持った誘起磁場を経験する、請求項 3 8 に記載の製品。

【請求項 4 0】

前記超電導体ワイヤの構成物が、動作中に前記超電導層の表面に直角な磁場を経験する前記コイルの第 1 の領域において、主に高い $I_c(c)$ の高温超電導体構成物を備えてい

50

る、請求項 39 に記載の製品。

【請求項 41】

前記超電導体ワイヤの構成物が、動作中に前記超電導層の表面に対しほぼ平行である磁場を経験する前記コイルの第 2 の領域において、主に高い $I_c(a, b)$ の高温超電導体構成物を備えている、請求項 40 に記載の製品。

【請求項 42】

前記超電導体ワイヤの構成物が、動作中に前記超電導層の表面に対して 0 度と 90 度の間の角度となる磁場を経験する前記コイルの領域内に、高い $I_c(c)$ の高温超電導体構成物と、高い $I_c(a, b)$ の高温超電導体構成物との混合物を備えている、請求項 41 に記載の製品。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[関連出願について]

本願は、参照することによりその全体として本書に組み込まれる「高温超電導ワイヤ及びコイル (High Temperature Superconducting Wires and Coils)」と題されている 2005 年 7 月 29 日に出願された米国仮特許出願番号第 60/703,815 号の、米国特許法第 119 条 (e) の下での利益を主張するものである。

【0002】

20

本願は、全体的な内容が参照することにより本書に組み込まれている、2005 年 7 月 29 日に出願され、「高温超電導体ワイヤのためのアーキテクチャ (Architecture For High Temperature Superconductor Wire)」と題されている同時係属中の米国特許出願番号第 11/193,262 号に関連する。

【0003】

[発明の技術分野]

本発明は概して、高温超電導線 (ワイヤ) に関する。特に本発明は、第二世代とも呼ばれている被覆導体、つまり高温の超電導体ワイヤ及びテープに関する。本発明は、変化する磁場配向で定電流を維持できる超電導構造にも関する。

30

【背景技術】

【0004】

高温超電導 (HTS) 材料 (77 K という液体窒素温度を超えた超電導) が発見されて以来、このような HTS 材料を使用して多様な工学応用を開発する努力が重ねられてきた。薄膜超電導体装置及びワイヤでは、 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (以下 Y123 と称する) の周知の基本組成において、イットリウム、バリウム、銅、及び酸素を含む酸化物超電導体を活用する装置の製造で最も進歩が見られてきた。また、Y を部分的に置き換えた希土類元素 (「RE」) を含む組成でも進歩が見られてきた。Y123 等の二軸ラクスチャ加工済み超電導金属酸化物は、被覆導体アーキテクチャで高臨界電流密度を達成した。多くの場合第二世代の HTS 線と呼ばれているこれらのワイヤは、軍事、高エネルギー物理学、材料加工、輸送及び医療用の、ケーブル、モータ、発電機、同期相進機、変換器、電流制限器及び磁石システムを含む多くの応用例にとっての好適な材料である。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

HTS 材料の通電能力は、その結晶配列、つまりテクスチャに強く関連している。酸化物超電導体粒子は、通常は、ワイヤ表面の平面とワイヤ表面に平行な a, b 面に垂直なそれらの c 軸に位置合わせされている。隣接する結晶 HTS 粒子のずれによって形成される結晶粒子境界が、超電導電流の流れの障害を形成することが知られているが、この障害は配列つまりテクスチャの程度が増すにつれて減少する。したがって、材料を、例えば HTS

50

線等の採算の合う製品に作るためには、H T S 材料は相対的に長い距離に渡って高度の結晶構造配列つまりテクスチャを維持しなければならない。それ以外の場合、超電導通電容量（臨界電流密度）は制限される。

【 0 0 0 6 】

H T S 材料は、それがその表面で高度の結晶学的組織を有するように製造された可撓性のテープ形状の基板の上部で材料の薄膜をエピタキシャルに成長させることによって大きな面積で高度の結晶学的配列、つまりテクスチャで製造できる。結晶 H T S 材料がこの表面上でエピタキシャルに成長すると、H T S 材料の結晶配列は基板のテクスチャに適合するように成長する。言い換えると、基板テクスチャは、結晶 H T S 材料のエピタキシャル成長のためのテンプレートを提供する。更に基板は H T S 層に構造的完全性を与える。

10

【 0 0 0 7 】

基板は、エピタキシャル H T S 層を生じさせるテンプレートを提供するためにテクスチャ加工することができる。とりわけ、ニッケル、銅、銀、鉄、銀合金、ニッケル合金、鉄合金、ステンレス鋼合金、鋼合金を使用できる。基板は、基板を圧延し、再結晶焼きなましをすることを必要とするプロセス等の変形プロセスを使用してテクスチャ加工することができる。このようなプロセスの例は、圧延支援 2 軸テクスチャ基板（R a B i T S）プロセスである。この場合、大量の金属が、変形処理と焼きなましによって経済的に処理され、高度のテクスチャを達成できる。

【 0 0 0 8 】

1 つまたは複数の緩衝層が、その上で H T S 材料を成長させるために適切な結晶学的テンプレートのある基板表面に蒸着させる、あるいは成長させることができる。また、緩衝層は、基板材料から H T S 材料の結晶格子の中への原子の、あるいは基板材料の中への酸素の拡散を妨げるという追加の利点を提供できる。この拡散、つまり「汚染」は、結晶構造の配列を乱し、それによって H T S 材料の電気特性を劣化させることがある。緩衝層は、基板と H T S 層の間での接着の強化も提供できる。さらに、緩衝層（複数の場合がある）は、超電導体材料の熱膨張係数によく適合される熱膨張係数を有することがある。ワイヤが応力にさらされることのある商業的な応用例での技術の実現の場合、この特長は、それが基板からの H T S 層の層間剥離を妨げるのに役立つために望ましい。

20

【 0 0 0 9 】

代わりに、ハステロイ等のテクスチャ加工を行っていない基板を使用し、イオンビーム支援蒸着（I B A D）または傾斜基板蒸着（I S D）等の手段によってテクスチャ加工を行った緩衝層を蒸着させることができる。任意的に、追加の緩衝層が、H T S 層のエピタキシャル蒸着のための最終的なテンプレートを提供するために I B A D 層または I S D 層でエピタキシャルに蒸着されてもよい。

30

【 0 0 1 0 】

基板と 1 つまたは複数の緩衝層の適切な組み合わせを、テンプレートとして使用することにより、H T S 層は、テンプレート表面に対するやはり優れた接着を有する、優れた結晶配列またはテクスチャを備えて、あるいは基板からの原子による汚染に対する十分な障壁を備えてエピタキシャルに成長させることができる。H T S 層は、有機金属付着（M O D）プロセス、有機金属化学蒸着（M O C V D）、パルス化レーザ蒸着（P L D）、熱蒸発または e - ビーム蒸発、あるいは他の適切な方法を含む種々の方法のいずれかによって蒸着できる。最後に、キャップ層を多層アセンブリに加えることができ、上記からの H T S 層の汚染及び H T S 層に対する損傷を妨げるのに役立つ。キャップ層は、例えば銀である場合があり、H T S 層の上に例えばスパッタリングできる。

40

【 0 0 1 1 】

H T S 線の開発は、臨界電流密度、特に高い電磁場及び温度（ $J_c(H, T)$ ）での臨界電流密度の改善を求め続ける。この改善は、H T S 材料における高臨界電流密度 J_c のための根本的な機構である超電導ボルテックスの「ピンニング」を改善することにより実現できる。超電導体においてピンニングを達成するには、局所的な電位エネルギー差のサイズが、可能な限り密接に超電導磁束線つまりボルテックスの通常のコアのサイズに一致

50

しなければならない。断面のコアは、高温超電導銅酸化物において数ナノメートルであり、温度とともに成長するコヒーレンス長と類似するサイズを有する。したがって、ナノメートルサイズの欠陥が、磁束線を固定し、磁場の通電容量特性を改善するために、酸化物超電導体粒子の中に導入される。

【 0 0 1 2 】

酸化物超電導体の結晶学的に配列された層の通電特性は、磁場配向に依存している。図 1 は、磁場が膜の平面的な面に平行且つ垂直に向けられた、酸化物緩衝金属基板に対する、有機金属が蒸着された (MOD) Y 1 2 3 の典型的な場依存を示す。磁場配向が膜の平面的な面に垂直な 2 7 K と 7 5 K の両方において、平行配向の値からの I_c の大きな減少があり、Y 1 2 3 ワイヤの多くのコイル応用例における有用性を制限する。多くの予測される出願が、性能が大きく低下する条件である、膜の平面的な面に垂直に向けられる 1 から 3 テスラの磁場の中の 5 5 から 6 5 K の領域での温度について計画されている。磁場における Y 1 2 3 ワイヤの水平性能と垂直性能に加えて、図 2 に示されているような中間角度での場の性能を調べることが重要である。図 2 で分かるように、拡張された平面的なまたは線形の欠陥 (例えば、双晶境界、結晶粒子境界、 a -軸粒子) の存在を通して強化できる、Y 1 2 3 膜は、通常は、(Y 1 2 3 膜の平面的な面に 0° と 180° または垂直な) c 軸の小さなピークを示す。

10

【 0 0 1 3 】

モータ及び磁気コイルなどの多くの応用例では、HTS 線は磁場配向の局所的な変動を経験し、その結果、ワイヤのある領域で経験される磁場は別のワイヤ領域で経験される磁場ときわめて異なることがある。このような応用例では、Y 1 2 3 ワイヤ性能は、垂直配向での磁場配向によってだけでなく、任意の磁場配向での最小性能によって決定される。このようにして、HTS 線は、磁場が最適配向から逸脱する領域の電流密度の削減を立証する。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

ワイヤまたは装置内のさまざまな場所で異なる磁場配向を経験する応用例及び装置で使用されてよい、高温超電導 (HTS) ワイヤ (線) が説明されている。HTS 線は、少なくとも 2 つの超電導層を含み、そのそれぞれはある特定の磁場配向でのその性能について選択される。超電導層の組み合わせを選択することにより、HTS 線はワイヤ表面に平行 ($H // ab$) に、あるいはワイヤ表面に垂直 ($H // c$) に、あるいは中間配向で向けられた磁場で最適性能を示す。

30

【 0 0 1 5 】

本発明の一態様では、超電導線は、積み重ねられた関係性で 1 つまたは複数の基板上に配置されている、少なくとも第 1 の超電導層と第 2 の超電導層とを含む。第 1 の超電導層は、超電導体層の表面に平行な臨界電流対超電導体層の表面に垂直 (直角) な臨界電流に対する第 1 の所定の率 ($I_c(ab) / I_c(c)$) を提供するために選択される第 1 の高温超電導酸化物を含み、第 2 の超電導層は、超電導体層の表面に平行な臨界電流対超電導体層の表面に垂直 (直角) な臨界電流に対する第 2 の所定の率 ($I_c(ab) / I_c(c)$) を提供するように選択される第 2 の高温超電導層を含む。第 1 の及び第 2 の超電導体層は、組み合わせられて、選択された磁場配向での所定の全体的な臨界電流 I_c を提供する。

40

【 0 0 1 6 】

1 つまたは複数の実施形態では、第 1 のまたは第 2 の高温超電導体が、超電導層の表面に垂直に向けられた磁場 ($H // c$) の存在下で強化された臨界電流 ($I_c(c)$) を提供するために選択される。 $I_c(ab) / I_c(c)$ のための第 1 の所定の率は 2 . 6 未満または 2 . 6 に等しく、例えば約 1 テスラから約 6 テスラの範囲の、1 テスラ以上の適用磁場では 2 . 0 未満または 1 . 5 未満である。

【 0 0 1 7 】

1 つまたは複数の実施形態では、高温超電導体は、2 つまたは 3 つ以上の希土類元素、

50

例えば、エルビウムとホルミウムの１つまたは複数を含み、希土類 - アルカリ土類 - 銅の酸化物を含む。ホルミウム及び / またはエルビウムは、希土類 - アルカリ土類 - 銅の酸化物の化学量論的量の 25 % から 150 % の範囲内の量で存在する。

【 0 0 1 8 】

１つまたは複数の実施形態では、高温超電導体は、希土類 - アルカリ土類 - 銅の酸化物と、酸化物超電導体の粒子の中に位置する金属を含有する化合物を備える少なくとも１つの第２の位相ナノ粒子とを含む。

【 0 0 1 9 】

１つまたは複数の実施形態では、超電導層の表面に平行に向けられた磁場 ($H // ab$) の存在下で強化された臨界電流 (I_c) を提供するために第１のまたは第２の高温超電導体組成が選択される。 $I_c(ab) / I_c(c)$ に対する第２の所定の率は、2.5 を上回り、または 3.5 を上回り、あるいは例えば約 1 テスラから約 6 テスラの範囲の、1 テスラ以上の適用磁場において 5.5 より大きい。

10

【 0 0 2 0 】

１つまたは複数の実施形態では、高温超電導体は、希土類 - アルカリ土類 - 銅の酸化物を含み、銅対アルカリ土類の比率は 1.5 を上回る。

【 0 0 2 1 】

１つまたは複数の実施形態では、第１の超電導体層と第２の超電導体層の厚さは異なり、第１の超電導体層と第２の超電導体層の厚さは、選択された磁場配向で所定の全体的な臨界電流を提供するために選択される。超電導体層の表面に平行または垂直のどちらかの磁場における臨界電流密度を強化する追加の層が含まれてよい。

20

【 0 0 2 2 】

１つまたは複数の実施形態では、選択された磁場配向は、 0° ($H // c$) と 90° ($H // ab$) の間である。

【 0 0 2 3 】

１つまたは複数の実施形態では、超電導体ワイヤは、第１のコーティングされた素子を含む。第１のコーティングされた素子は第１の基板と、第１の基板に配置され、第１の超電導層を支える少なくとも１つの第１の緩衝層と、第１の超電導体層の上に配置される第１の金属性の保護層とを含む。第２のコーティングされた素子は、第２の基板と、第２の基板に配置され、第２の超電導層を支える少なくとも１つの第２の緩衝層と、第２の超電導体層に配置される第２の金属性の保護層とを含む。

30

【 0 0 2 4 】

１つまたは複数の実施形態では、超電導線は、第１の及び第２のコーティングされた素子が第１の及び第２の基板で接合されるように第１のコーティングされた素子と第２のコーティングされた素子の間に配置される介在するバインダ層、あるいは第１のコーティングされた素子と第２のコーティングされた素子が第１の及び第２の金属性の保護層で接合されるように第１のコーティングされた素子と第２のコーティングされた素子の間に配置される介在するバインダ層も含む。

【 0 0 2 5 】

本発明の別の態様は、高温超電導装置を製造する方法を含む。その方法は、高い $I_c(c)$ 高温超電導体組成を備える第１の領域と、高い $I_c(ab)$ 高温超電導体組成から成る第２の領域と、高い $I_c(c)$ 高温超電導体組成と高い $I_c(ab)$ 高温超電導体組成の混合物を備える第３の領域とを備える超電導線の長さを提供することと、第１の領域が高温ワイヤに垂直 (0°) の磁場配向を経験する装置内での位置を占有し、第２の領域が高温ワイヤに平行 (90°) な磁場配向を経験する装置内での位置を占有し、第３の領域が 0° と 90° の間の磁場配向を経験する装置内での位置を占有するように、装置内で超電導体の長さを配置することを含む。

40

【 0 0 2 6 】

１つまたは複数の実施形態では、装置はコイルである。つまり、高温超電導体ワイヤの第１の領域はコイルの端部に配置される。高温超電導体ワイヤの第２の領域はコイルの内

50

部に配置され、高温超電導体ワイヤの第3の領域は、第1の領域と第2の領域の間に配置される。

【0027】

本発明の別の態様では、製品は、高温超電導体層を備える超電導線を含み、製品は製品内のさまざまな位置でさまざまな配向の磁場を経験し、高温超電導体層の組成は既定の位置で磁場の配向に対応するためにその長さに沿って変えられる。

【0028】

1つまたは複数の実施形態では、製品はコイルであり、動作中、コイルは、超電導体層の平面に実質的に平行から、超電導体層の平面に実質的に垂直の範囲となる誘起磁場を経験する。

10

【0029】

1つまたは複数の実施形態では、超電導体ワイヤの組成は、おもに、動作中に超電導層の表面に垂直な磁場を経験するコイルの第1の領域内の高い $I_c(c)$ 高温超電導体組成であり、超電導体ワイヤの組成は、動作中、超電導層の表面に実質的に平行である磁場を経験するコイルの第2の領域におもに高い $I_c(ab)$ 高温超電導体組成を備え、超電導体ワイヤの組成は、動作中、超電導層の表面に0度と90度の間の角度となる磁場を経験するコイルの領域内に、高い $I_c(c)$ 高温超電導体組成と、高い $I_c(ab)$ 高温超電導体組成の混合物を備える。

【0030】

異なる磁場で異なる通電性能の超電導体層を選択することにより、 $H//ab$ 方向と $H//c$ 方向に沿った I_c 異方性が改変される。特に、 I_c 、したがって J_c は、 $H//ab$ に沿って I_c 容量を削減することなく $H//c$ に沿って増加する。

20

【0031】

「積み重ねられた関係」(stacked relationship)により、素子が例えば互いの上にかぶさる関係性等の積み重ねて配列されることが意味され、層は接触している、あるいは層はそれらの間に1つまたは複数の介在する層を有してよい。積み重ねの順序は示唆または暗示されていない。

【0032】

[図面についての簡単な説明]

本発明は、同じ参照符号が同じ要素を指し示すと共に、説明のためだけに提示され、本発明の制限になることが意図されない以下の図を参照しつつ説明される。

30

【0033】

図1は、強度が高まり、磁場が26Kと75Kで膜の平面的な面に平行に($H//ab$ 、 $\theta = 90^\circ$)、及び垂直に($H//c$ 、 $\theta = 0^\circ$)向けられる、磁場(H)の中のY-123 HTS線の臨界電流(I_c)を描く。

【0034】

図2は、1から7Tの適用磁場での、図1のHTS線のために中間磁場配向($0^\circ < \theta < 90^\circ$)での磁場性能(I_c)を描く。

【0035】

図3は、ソレノイド電磁石の端部回転の回りの磁場分布を描く。

40

【0036】

図4は、2つの超電導体層を有する2層HTS線の断面図であり、(A)は高い $I_c(ab)$ 、(B)は高い $I_c(c)$ 、及び(C)は高い $I_c(ab)$ と $I_c(c)$ のそれぞれ1つの層であり、図4Dは、銅の層間を有する2つの層HTS線の断面図である。

【0037】

図5は、(A)が高い $I_c(ab)$ であり、(B)が高い $I_c(c)$ であり、(C)が高い $I_c(ab)$ と $I_c(c)$ のそれぞれ1つの層である、2つの超電導体層を有する両面HTS線の断面図である。

【0038】

図6は、1Tと3Tで測定された多様な組成の酸化物超電導体のための75Kでの臨界

50

電流 I_c (c) 対磁場配向 () のプロットである。

【0039】

図7は、そのそれぞれの基板で接合される2つのHTSアセンブリの断面図であり、第1のアセンブリは高い I_c (ab) を有する超電導体層を有し、第2のアセンブリは高い I_c (c) を有する第2の超電導体層を有する。

【0040】

図8は、そのそれぞれのキャップ層で接合された2つのHTSアセンブリの断面図であり、第1のアセンブリは高い I_c (//ab) を有する超電導体層を有し、第2のアセンブリは高い I_c (//c) を有する第2の超電動体層を有する。

【0041】

図9は、そのそれぞれの基板で接合され、導電性構造によって取り囲まれている2つのHTSアセンブリの断面図である。

【0042】

図10は、本発明の1つまたは複数の実施形態による積層されたHTS線を製造するために使用される積層プロセスの絵で表した説明図である。

【0043】

図11は、本発明の1つまたは複数の実施形態によるHTSを製造するために使用される例示的なプロセスの流れ図を示す。

【0044】

図12は、例3に説明されているHTS船の77K及び1テスラでの臨界電流 (I_c) 対磁場配向 () の図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0045】

図3は、電界強度 (H) (図3のサイドバーで示される、電界強度に対応するさまざまな色の矢印で示されている) 及び電場配向 () (矢印の向きで示される) が、コイル内のさまざまな位置で劇的に変化することを示すところの、ソレノイド電磁石310の端部回転 (エンドターン) 300の回りの磁場分布の二次元プロットを示す。特定の電場での通電特性のために最適化されているHTS線は、コイルの各領域が異なる配向の磁場を経験するので、コイルのさまざまな領域におけるさまざまな電流 (I_c)、したがってさまざまな電流密度 (J_c) を示す。コイルの性能はワイヤの最小性能によって制限されている。したがって、ワイヤの全体的な電流は長い数本のワイヤを通して削減され、長い数本のワイヤでその通電容量の一部だけで機能する。通電容量がワイヤのそれらの標準以下の領域のために高めることができる場合、全体としての全体的なワイヤの電流を改善できる。

【0046】

RE123超電導酸化物粒子は、通常は磁場で強力な異方性を示し、(エピタキシャルHTS層の表面に沿った)酸化物粒子の(ab)平面で向けられる磁場の電流は、HTS層に垂直に向けられる磁場の電流よりもはるかに高い。 I_c (ab) は I_c (c) よりも二倍、三倍、及び十倍以上大きいことがあり、異方性はさらに高い磁場強度でさらに顕著になる。特定のHTS材料は磁場異方性を削減することが観測されてきたが、 I_c (c) の改善は通常は I_c (ab) を犠牲にして得られる。

【0047】

本発明の一態様では、HTS線は従来のHTS線よりも高いパーセンテージの総通電容量で動作する。1つまたは複数の実施形態では、HTS線はほぼ完全な電流負荷で動作する。通電特性は、HTS線または装置のさまざまな領域でさまざまな性能特性のHTS材料を使用することによって改善される。HTS材料は、予想される局所的な磁場配向での最適性能のために選択される。したがって、一例として、HTS線は、局所的な適用磁場において最適性能を提供するために選択される2つの超電導層を含む。2つの層は任意の順序で配列されてよい、または積み重ねられてよい。HTS線が超電導体層の平面 (H // abつまり $\theta = 90^\circ$) に平行に向けられている適用磁場を経験する領域では、両方の

10

20

30

40

50

層は、 $H // ab$ に沿って最適電流、つまり $I_c(ab) >> I_c(c)$ を提供する組成と構造を有する超電導体層を含んでよい。 HTS 線が超電導体層の平面($H // c$ つまり $= 0^\circ$)に垂直に向けられる適用磁場を経験する領域では、両方の層は、 $H // c$ に沿って最適電流を提供する、つまり I_c 異方性が所望されるレベルまで削減される組成と構造を有する超電導体層を含んでよい。その配向が $H // ab$ と $H // c$ の間である適用磁場を HTS 線が経験する領域では、第1の層は $H // ab$ に沿った最適電流性能を提供する組成と構造を有する超電導体層を含んでよく、第2の層は $h // c$ に沿って最適電流を提供する組成と構造を有する超電導体層を含んでよい。2つの層の相対的な厚さは、 $I_c(c)$ 及び $I_c(ab)$ 性能の所望されるバランスを提供すべく選択される。 HTS 線は、例えば所望される電流負荷等の、所望される性能の全体的な臨界電流を提供する。

10

【0048】

1つまたは複数の実施形態では、 HTS 線は少なくとも $80 A/cm$ 幅のその長さの少なくとも一部で全体的な $I_c(c)$ を伝搬し、 $I_c(ab)/I_c(c)$ は 2.0 より大きい、つまり約 2 から 3 である、あるいは $I_c(c)$ は約 120 から $150 A/cm$ 幅であり、 $I_c(ab)/I_c(c)$ は 2.0 より大きい、つまり約 2 から 3 である、あるいは $I_c(c)$ は約 150 から $180 A/cm$ 幅であり、 $I_c(ab)/I_c(c)$ は 2.0 より大きい、つまり 2 から 3 である。全体的な $I_c(c)$ は、2つの超電導層の添加電流性能によって達成される。高い $I_c(c)$ を指定すると、層の少なくとも1つが垂直な磁場でうまく機能することが確実になる。 $I_c(ab)$ は 2 以上の $I_c(c)$ の倍数であることを指定すると、平行な場の電流がさらに高くなることが確実になる。全体的な電流性能は、適度な $I_c(c)$ と適度な $I_c(ab)$ を有する2本のワイヤを結合する等の種々の組み合わせで達成されてよい。代わりに、優れた $I_c(c)$ のワイヤは、お粗末な $I_c(c)$ であるが良好な $I_c(ab)$ の線と結合できる。

20

【0049】

高い $I_c(ab)$ の超電導体層と高い $I_c(c)$ 超電導体層の所望される組み合わせを提供することに加えて、2つの層 HTS 線は、 HTS 線の超電導体材料の体積を実質的に倍増することによって同程度の単一層の超電導体線で臨界電流密度を高める。

【0050】

1つまたは複数の実施形態では、超電導層は、基板の同じ側でコーティングされてよい。図4Aは、最適 $I_c(ab)$ を有する1つの超電導層 440 と、最適 $I_c(c)$ を有する1つの超電導層 470 が基板 460 の同じ側でコーティングされる、二重層 HTS 線 400 を描いている。この図及びすべての以後の図では、寸法は原寸に比例していないことが留意される必要がある。基板は、テクスチャ加工された金属基板、あるいはテクスチャ加工された基板を含み、一般的に約 $0.05 mm$ から $0.2 mm$ の範囲の厚さである金属基板であってよい。 Ni 、 Ag または Ni の合金(例えば、 NiW または他のハステロイ金属)等の金属基板は、ワイヤに可撓性を与え、長い長さ及び大きな面積で製造できる。超電導層は、 $H // ab$ または $H // c$ のどちらかでもその良好な性能のために選択される材料を備える。加えて、超電導体層は、酸化物超電導体の ab 平面がワイヤ表面に平行になるように結晶学的に配列される。各超電導層は、一般的には約 $0.5 \mu m$ から約 $2.0 \mu m$ の範囲にあり、さらに大きい場合もある。図4Aに描かれているような HTS ワイヤは、通常は、ワイヤまたは中間配向、つまり $0^\circ < < 90^\circ$ の磁場を経験するワイヤの領域で有効である。

30

40

【0051】

が約 0° であるワイヤの領域では、図4Bが描くように、最適 $I_c(c)$ を有する2つの超電導層 470 が基板 460 の同じ側でコーティングされる二重層 HTS 線 410 が使用されてよい。図4Cは、最適 $I_c(ab)$ を有する2つの超電導層 440 が基板 460 の同じ側でコーティングされる二重層 HTS 線 420 を描く。 HTS 層は、 $H // ab$ で最適性能を示す。さまざまな磁場配向を経験する装置で最適性能を有するワイヤを提供するために、ワイヤはさまざまな場配向に対応する装置内のさまざまな位置にこれらのアーキテクチャのどれか1つを含んでよい。

50

【0052】

1つまたは複数の実施形態では、導電層または絶縁層490が、図4DのHTS線430について描かれているような第1の超電導体層と第2の超電導体層の間に配置されてよい。導電層は、2つの層の間で電氣的な接続を提供し、例えば銅と銀である場合がある。例示的な絶縁層は、 Y_2O_3 、 CuO 及び CeO_2 等の金属酸化物を含む。任意の中間層は、HTS材料と構造上及び化学的に適合性がなければならず、例えばエピタキシャルHTS層の蒸着を可能にするテクスチャ加工された結晶構造を有さなくてはならない。中間層の厚さは、一般的には20nmから200nmの範囲であり、例えばスパッタリング、蒸発、蒸着またはパルス化蒸着または他の従来の方法によって蒸着される。

【0053】

1つまたは複数の実施形態では、超電導体層は基板の対向する側面でコーティングされる。図5Aは、最適 I_c (//ab)を有する1つの超電導層440と最適 I_c (//c)を有する1つの超電導層470が基板460の各反対側にコーティングされる二重層HTS線520を描く。図5Bは、最適 I_c (//c)を有する2つの超電導層470が基板460の各反対側にコーティングされる二重層HTS線510を描く。図5Cは、最適 I_c (//ab)440を有する2つの超電導層が基板の各反対側にコーティングされる二重層HTS線500を描く。追加の超電導層は、基板のどちらかの側面に含まれてよく、 I_c (c)または I_c (ab)のどちらかを強化してもよい。

【0054】

図4Aから図4D及び図5Aから図5C、並びにこの明細書の他の箇所に描かれているHTS線は、基板と超電導体層の間に配置される1つまたは複数の緩衝層(不図示)と、超電導体の上にかぶさる1つまたは複数のキャップ層(不図示)とを含む。1つまたは複数の実施形態では、導電性材料も使用できるが、緩衝層は電気絶縁材料から構成されている。緩衝層は、例えば、金属元素または希土類元素の不活性金属、酸化物、ジルコン酸塩、チタン酸塩、ニオブ酸塩、ナイトライド、タンタル酸塩、アルミン酸塩、銅酸化物、マンガ酸塩、またはルテニウム酸塩等から構成されている(例えば、 Al_2O_3 、 CeO_2 、 Y_2O_3 、 MgO 、 Gd_2O_3 、チタン酸ストロンチウム、ジルコン酸ガドリニウム、イットリア安定化ジルコニア、 AlN 、 Si_3N_4 、 $LaMnO_4$ 、 $La_2Zr_2O_7$ 、または $La_{2-x}Ce_xZr_2O_7$)。緩衝層は、物理的及び化学的な蒸着方法を含む任意の公知の方法を使用して蒸着されてよい。キャップ層は超電導層の上にかぶさり、化学分解及び機械的分解からの超電導層の保護を提供する。キャップ層は導電性であってよい。キャップ層は、スパッタリングされたAgまたは他の不活性金属であってよい。

【0055】

1つまたは複数の層では、高い I_c (ab)または高い I_c (c)を有する超電導材料は、層の選択的な処理によって得られる。同じ基板に2つの超電導体層が蒸着されている前記例では、これはプロセスの間に超電導体を形成するために使用される処理条件を変更することによって達成できる。通常は、超電導体を形成するための反応は下にある緩衝層との界面で開始され、超電導体はその界面から外向きに成長する。このようにして、プロセスの途中で高い I_c (c)を材料好む条件から、高い I_c (ab)を好む条件に条件を変更することにより、さまざまな通電特性のある層化構造が生じる。代わりに、2つの超電導体層は、性能を最適化するために別々に処理され、HTS形成後に接合できる。

【0056】

H//abで優れた性能を有する例示的な超電導材料は、金属が実質的には化学量論的な割合である、希土類(RE)-アルカリ土類-銅の酸化物を含む。したがって、一例によって、希土類元素、バリウム及び銅が実質的に1:2:3の割合であるRE-123は、ab平面に平行に向けられる磁場で最適な電流を示すことが判明している。例示的な酸化物超電導体は $YBa_2Cu_3O_7$ である。

【0057】

銅で豊富(リッチ)な、あるいはアルカリ土類金属で欠乏している超電導材料は高い I_c (ab)も示す。1つまたは複数の実施形態では、超電導酸化物は、銅対バリウムの比

10

20

30

40

50

率が 1.5 を超えている希土類バリウム酸化銅である。Cu : Ba の比率は、酸化物超電導体内でのバリウムの量を削減することにより達成され、つまりバリウムの割合は 2.0 未満であるか、あるいは銅含有量を増加することにより達成され、つまり銅の割合は RE - 123 組成の中で 3.0 を超えている。いくつかの実施形態では、酸化物超電導体は、化学量論的な RE - 123 を調製するために必要とされる銅の量と比べて、例えば最高 5 % の超過分、または最高 10 % の超過分、または最高 20 % の超過分の銅等の銅の超過分を含有する。他の実施形態では、酸化物超電導体は、化学量論的な RE - 123 を調製するために必要とされる銅の量と比べて、例えばバリウムの最高 5 % の不足分、または最高 10 % の不足分または最高 20 % の不足分を含む。

【0058】

1 つまたは複数の実施形態では、銅の中間層は、過剰な銅を供給するために全体としてまたは部分的に使用される。例えば、銅の層は、図 4 A から図 4 D においてのように、二重層ワイヤの 2 つの超電導体層の間で中間層として蒸着される。酸化物超電導体を形成するために必要な熱処理の間、銅は両方の超電導体層 440、470 に拡散し、銅が豊富な HTS 層を形成する。銅が豊富な HTS 線の処理における銅中間層の使用に関する追加の情報は、その全体的な内容が参照することにより組み込まれている 2006 年 5 月 4 日に公開され、「性能が改善された厚い超電導体膜 (Thick Superconductor Films With Improved Performance)」と題される同時係属中の、共同所有された米国特許公開番号第 2006 - 0094603 号に記載されている。

【0059】

特定の実施形態では、最高 20 % までの過剰な Cu の Cu 濃度の上昇が $I_c(a,b)$ を高める。図 6 は、多様な組成の酸化物超電導体の臨界電流 (I_c) 対磁場配向 ()、75 K) の図である。曲線 610 と 610' は、7.5 % の過剰な銅を含有する Y - 123 層の場合の、それぞれ 1 T と 3 T での の範囲での電流を測定する。曲線は、90° (H // ab) で強力な最大と、0° (H // c) での最小を示し、このようにして H // ab でのこの超電導体組成の最適性能を立証する。銅が豊富な Y - 123 も、H // ab と H // c の間の強力な電流異方性を示し、 $I_c(a,b)$ と $I_c(c)$ の比率は 1 T で約 2.4、3 T で 6 である。1 つまたは複数の実施形態では、高い $I_c(c)$ の超電導体は 3 T で 20 から 55 A/cm - 幅 65 K の $I_c(c)$ と、2.5 を超える $I_c(a,b) / I_c(c)$ 比率、つまり少なくとも 1 テスラの磁場での 3.5 を超えるまたは 5.5 を超える $I_c(c)$ を有する。このような比率は、6 テスラまでの磁場強度について取得されており、このような比率がさらに高い磁場でも適切である可能性があるとして予想される。

【0060】

H // c で良好な性能を有する例示的な超電導材料は、化学量論的割合の、あるいは化学量論的割合を超えた、希土類元素または 2 つまたは 3 つ以上の希土類元素の超過分を含む希土類 (RE) - アルカリ土類 - 銅の酸化物を含む。任意の特定の動作モードに縛られるのではなく、過剰な希土類元素は、フラックスピンニング中心として働くナノスケール欠陥を形成することによって $I_c(c)$ を改善すると考えられている。原子的欠陥は、Y - 123 超電導体にさまざまな希土類元素を導入することによって達成されてよい。1 つまたは複数の実施形態では、例えば、イットリウムを含有する組成物に対する約 25 % までの添加、あるいは希土類元素の約 150 % の置き換えが熟慮される。1 つまたは複数の実施形態では、希土類元素はホルミウム及び / またはエルビウムである。2 つまたは 3 つ以上の希土類元素の、酸化物超電導体層の中への導入は、 $I_c(c)$ を上昇させるだけではなく、それは $I_c(a,b)$ と $I_c(c)$ の間の差異 (異方性) も減少させる。図 6 を参照すると、曲線 620 と 620' は、例えば Y : Er = 4 : 1 のような、超電導体組成に対する 25 % のエルビウム添加を含む Y - 123 層の、それぞれ 1 T と 3 T での の範囲での電流を測定する。曲線 630 と 630' は、例えば Y : Er = 2 : 1 等の 50 % の追加のエルビウムを含む Y - 123 層の、それぞれ 1 T から 3 T での磁場配向の範囲での電流を測定する。0° (H // c) での臨界電流が増加し、このようにして超電導層の組成

10

20

30

40

50

が、 $I_c(a b)$ と $I_c(c)$ の間の電流異方性を削減するためだけではなく、 $H // c$ での臨界電流を絶対的に改善するためにも選択できることを立証する一方で、 90° での臨界電流($H // a b$)は大幅に減少した。 50% のエルビウム補足 $Y-123$ の場合の $H // a b$ 対 $H // c$ の比率は $1 T$ で約 1.2 、及び $3 T$ で約 1.6 である一方、 25% のエルビウム補足 $Y-123$ の $I_c(a b)$ 対 $I_c(c)$ の比率は、 $1 T$ で約 1.8 、及び $3 T$ で約 2.6 である。これは、高い $I_c(a b)$ 線の電流異方性に大幅に満たない。銅が豊富な $Y123$ の $2.4(1 T)$ と $6.0(3 T)$ の $I_c(a b) / I_c(c)$ を比較する。 1 つまたは複数の実施形態では、高い $I_c(c)$ の超電導体層は、 2.6 未満、つまり少なくとも 1 テスラの磁場で 2.0 未満または 1.5 未満の $I_c(a b) / I_c(c)$ 比率を有する。このような比率は、最高 6 テスラの磁場強度について得られ、このような比率がさらに高い磁場でも適切である可能性があることが予想される。

10

【0061】

1 つまたは複数の実施形態では、高い $I_c(c)$ 超電導体材料は、酸化物超電導体の粒子内に第 2 の位相ナノ粒子を含む。ナノ粒子は、金属含有化合物から構成され、希土類元素、アルカリ土類金属、及び遷移金属の 1 つまたは複数を含んでよい。第 2 の位相ナノ粒子は、酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、 $Y_2Cu_2O_5$ 、 Y_2BaCuO_4 、酸化マグネシウム、 $BaZrO_3$ 、銀及び CeO_2 の 1 つまたは複数であってよい。磁束線を固定し、磁場の通電特性を改善するために酸化物超電導体粒子内でナノメートルサイズの欠陥を形成するために適した他の組成物は、その全体が参照することにより組み込まれている、 2005 年 1 月 16 日に出願され、「ナノドットフラックスピンニング中心のある酸化膜(Oxide Films with Nanodot Flux Pinning Centers)」と題される同時係属の、共同所有された出願米国出願番号第 $10/758,710$ 号に記載されている。

20

【0062】

1 つまたは複数の実施形態では、高い $I_c(a b)$ と高い $I_c(c)$ の層の厚さは、磁場配向で事前に選択された性能を提供するために選択されてよい。したがって、一例によって、テープ表面に対して配向 45 度の磁場で機能するために最も適切なテープまたはワイヤを製造するために、高い $I_c(c)$ の超電導体層と高い $I_c(a b)$ の超電導体層の両方を使用することができ、図 6 に提示されているようなデータに基づき、 $I_c(c)$ 層は $I_c(a b)$ 層を基準にしてさらに薄い。 2 つの層の相対的な厚さは、例えば $I_c(c) > 80 A/cm$ -幅と 2 を超える $I_c(a b) / I_c(c)$ 、または $I_c(c) > 120$ から $150 A/cm$ -幅と 2 を超える $I_c(a b) / I_c(c)$ 、または $I_c(c) > 150$ から $180 A/cm$ -幅と 2 から 3 の $I_c(a b) / I_c(c)$ を得るために調整できる。

30

【0063】

1 つまたは複数の実施形態では、超電導体層は、有機金属蒸着(MOD)によって蒸着される。第 1 の酸化物超電導体層の構成元素を含む前駆体溶液が蒸着され、前駆体層は、第 2 の超電導体層の塗布の前に中間メタロキシ層に分解される。第 2 の酸化物超電導体層の構成金属元素を含む第 2 の前駆体溶液が次に蒸着され、中間メタロキシ層に分解される。 2 つの中間層は、次にHTS層に完全に変換される。一例として、前駆体溶液は、フッ化物を含む金属塩を含んでよく、前駆体は中間金属オキシフルオライド層を形成するために分解されてよい。金属オキシフルオライド層は、酸化物超電導体を形成するためにさらに熱処理されてよい。他の実施形態では、第 1 の前駆体層が蒸着され、酸化物超電導体層に完全に変換される。次に第 2 の前駆体層が蒸着され、また酸化物超電導体層に完全に変換される。それぞれの超電導体層は約 $0.6 \mu m$ から約 $1.5 \mu m$ 、またはさらに大きい厚さになることがある。超電導層の総厚さは、約 $0.6 \mu m$ から約 $2.0 \mu m$ の範囲となり、一般的には約 $3 \mu m$ を超えない。

40

【0064】

他の実施形態では、各超電導層は別の基板、つまりHTSアセンブリに蒸着される。次にコーティングされた基板は、 2 つの基板/超電導体層アセンブリを含むHTS線を形成

50

するために接合される。本書に使用されるように、表現「HTSアセンブリ」は、基板と、1つまたは複数の緩衝層と、超電導体層、及び1つまたは複数のキャップ層とを含む多層構造を示す。

【0065】

HTSアセンブリはそのそれぞれの基板で接合されてよく、その結果、図7に示されているように頂上を覆われた超電導体層は外側に向く。HTSワイヤ700は、2つのHTSアセンブリ710と720から構成される。これらのアセンブリのそれぞれは、技術で公知の、さらに詳細に本書に説明される技法を使用して製造される。アセンブリ710は、金属基板760を含む。基板760は、緩衝層750とHTS層740に結晶テンプレートを提供するために少なくとも1つの二軸テクスチャ加工されている表面を含む。緩衝層750は基板760の上にかぶさり、1つまたは複数の層を備えてよい。HTS層740は緩衝層750の上にかぶさり、任意のHTS材料であってよい。1つまたは複数の実施形態では、HTS層は、Y-123等の、H/a bまたはH/cのどちらかでの性能のために最適化されている希土類-アルカリ土類-銅の酸化物を含む。キャップ層730は、HTS層740の上に位置し、化学分解及び機械的分解からのHTS層の保護を提供する。インサート720'は、基板760'と、緩衝層750'と、HTS層740'と、キャップ層730'とを含み、同一または類似した構造を有してよい。図7に描かれている実施形態では、超電導体層740は高いI_c(c)超電導体材料として示され、超電導体層740'は高I_c(a b)材料として示されているが、両方の超電導体層とも高いI_c(a b)材料または高いI_c(c)材料であってよいことは容易に明らかである。

10

20

【0066】

接着剤780は、そのそれぞれの基板でアセンブリ710をアセンブリ720に結合し、HTSアセンブリ700を作成する。キャップ層730と730'は、アセンブリ700内で外を向き、基板760と760'はアセンブリ700の内部に位置する。この構成は、例えば外部電流源との効率的な電氣的接触と、超電導体ワイヤの長さの効率的な接合とを提供する。アセンブリの外表面は導電性キャップ層730と730'である。これらの層は、それぞれのHTS層740と740'に便利な導電性の経路を提供する。HTS層の中に電流を導入するために、電流源とアセンブリ間の接続は、アセンブリの外表面のどこで行うことができる。

【0067】

HTSアセンブリ710と720間の結合を容易にするために、任意で、例えばAgまたはCu等の湿潤層(不図示)が基板760と760'の上にコーティングできる。これらの湿潤層は、各アセンブリの接着剤層780への結合を容易にするため、核アセンブリの他方への結合を容易にする。1つまたは複数の実施形態では、接着剤層780は、はんだ、樹脂、エポキシ、または他の非導電性材料から構成される。例示的なはんだはPb-Sn-Agである。処理中、金属性の基板の裏面(つまり、緩衝層に向かない表面)は、電気絶縁体である天然の酸化物層として成長してよい。この酸化物層は通常は、濡れはんだしない、つまりはんだに結合しない。Ag湿潤層を基板760と760'に加えると、裏面が可溶性になる、つまりはんだ接着剤層780に結合可能になる。したがって、結合は、基板の天然の酸化物面に結合される湿潤層をはんだ付けすることによって達成することができる。

30

40

【0068】

基板の間の良好な電氣的接触が望ましい応用例に適切な別の手法では、基板760と760'の上の電氣的に絶縁する天然の酸化物層が最初に除去されてよい。除去は、例えばエッチング、電子研磨、スパッタリングまたはショットブラストによって行うことができる。例えば、AgまたはCu等の金属性の湿潤層は、基板表面上の天然の酸化物の再成長を防止するために、基板760と760'のそれぞれの裏面にコーティングされる。しかしながら、本発明の1つまたは複数の実施形態によるHTS線を提供するために、天然の酸化物層を厳格に取り除くことは必要とされていない。本発明の1つまたは複数の実施形態で使用するためのHTSアセンブリについての追加詳細は、その文脈がその全体として

50

参照することにより組み込まれている、2005年7月29日に提出され、「高温超電導体ワイヤのためのアーキテクチャ (Architecture For High Temperature Superconductor Wire)」と題されている同時係属中の、共同所有されている米国特許出願第11/193,262号に見いだされてもよい。

【0069】

本発明の別の実施形態では、HTSアセンブリは、図8に描かれているように、頂上を覆われた超電導体層が内を向くようにそのそれぞれのキャップ層で接合されてよい。HTS線800は、2つのHTSアセンブリ810と820から構成されている。これらのアセンブリのそれぞれは、技術で公知の技法を使用して製造され、さらに詳しく後述される。アセンブリ810は、金属基板830を含む。基板830は、緩衝層840とHTS層850に結晶テンプレートを提供するために、少なくとも1つの二軸テクスチャ加工されている表面を含む。緩衝層840は基板830の上にかぶさり、1つまたは複数の層から成ってよい。HTS層850は緩衝層840の上にかぶさり、任意のHTS材料であってよい。1つまたは複数の実施形態では、HTS層は、例えばY123のような、H//a bまたはH//cのどちらかでの性能のために最適化される希土類-アルカリ土類-銅の酸化物を含む。キャップ層860はHTS層850の上に位置し、化学分解及び機械的分解からのHTS層の保護を提供する。インサート820は、基板830'と、緩衝層840'と、HTS層850'と、キャップ層860'とを含む同一のまたは類似した構造を有してよい。図8に示されている実施形態では、超電導体層840は高いIc(c)超電導体材料として示され、超電導体層840'は高いIc(ab)材料として示されているが、両方の超電導体層とも、高いIc(ab)材料または高いIc(c)材料であってよいことは容易に明らかである。種々の方法の1つを使用して、個々のHTSアセンブリはキャップ層860、860'で接合される。例えば、例示的な接合技法は、はんだ付け及び拡散結合を含む。例示的なはんだ層800は、2つのHTSアセンブリ810、820を接合する図8に示されている。HTSアセンブリに関する追加の情報は、参照することによりその全体として組み込まれている、共同所有されている米国特許第6,828,507号に記載されている。

【0070】

1つまたは複数の実施形態では、2つの超電導体層HTS線の電氣的安定性は、例えば図7と図8に示されているワイヤのような超電導体ワイヤを、図9に描かれているような導電性構造900で取り囲むことによってさらに強化される。導電性構造は、ある超電導体層から別の超電導体層への電流の移動を可能にする。これは冗長な電流経路を提供し、それによってワイヤの安定性を焼き入れまで改善し、ワイヤの感度を局所的な欠陥と性能の変動まで削減する。導電性構造はHTSアセンブリ710と720と電氣的接触する上部導電性ストリップと下部導電性ストリップ910、910'を含んでよい。実質的に非多孔性導電性の充填剤920、920'は、HTSアセンブリを環境から隔離するため、及び2つの超電導体層の間、及び外部電氣接続に電機接続性を提供するために、超電導体ワイヤアセンブリの側面に沿って第1の導電性ストリップと第2の導電性ストリップの間に広がる。

【0071】

ワイヤ900では、充填剤920、920'は、HTSアセンブリ710、720の間で電氣的な通信を提供する。基本的に、充填剤920、920'は導電管、つまりブリッジとして動作する。充填剤920、920'は導電性であるが、電流がワイヤ900を流れて流れるにつれ、電流は、一方または両方のHTSアセンブリ710、720を通る、一般的には抵抗が最も少ない経路を辿る。電流のための冗長性のある電氣経路の存在により、ワイヤの電氣的安定性は高まり、ワイヤ900の通電容量は単一アセンブリまたは2つの隔離されたアセンブリの通電容量を超えて拡大する。最後に、充填剤920、920'は、HTSアセンブリ710、720の一方または両方に電流を導入するための手段を提供する。充填剤920、920'に電流源を接触させるだけで、電流は充填剤を介して

HTSアセンブリに流れ込む。充填剤920、920'は導電性のスタビライザストリップ910、910'と接触するため、電流源をストリップ910、910'の1つまたは両方に接触させることでHTSアセンブリ710、720の一方または両方にも電流が導入される。

【0072】

材料920、920'は、それが非多孔性で、十分な強度を有し、ワイヤ900を実質的に取り囲み、密封するのに十分な厚さまで被覆可能となるように選択される。またワイヤ900の両側での充填剤920、920'の厚いコーティングは、ワイヤに機械的強度を加え、曲げまたは潜在的な損傷の他の原因に起因するワイヤ900の層間剥離を防止するのに役立つことがある。材料920、920'は追加の熱容量を提供することによりワイヤに熱的安定性を加える。1つまたは複数の実施形態では、ワイヤはワイヤ900の機械的強度と耐久性の要件に合うために十分な充填剤の幅を有するが、あまり変わらない。典型的な個々の充填剤幅は0.025mmから0.2mmの範囲となるが、さらに高いまたはさらに低い(例えば、0.005mmから1mm)場合がある。

10

【0073】

スタビライザストリップ910と910'は、ワイヤ900の機械的安定性、電気的安定性、及び熱的安定性をさらに改善する。ストリップ910、910'は、結果として生じるワイヤの所望される特性に応じて同じまたは異なることがある。ストリップの厚さは、例えば0.05mmから0.075mmから1mmと同じくらいの厚さの、あるいは1mmより厚くまで、所望される応用例に応じて約0.01mmから2mmの幅広い範囲全体で変えることができる。ストリップ910と910'は、例えばアルミニウム、銅、銀、ニッケル、鉄、ステンレス鋼、アルミニウム合金、銅合金、銀合金、ニッケル合金、ニッケルタンゲステン合金、または鉄合金等の金属のような一般的には可撓性の導電性材料である。大部分の応用例の場合、銅のような高導電率の金属が好ましい。限流器応用例の場合、例えばステンレス鋼等の機械的に強く、高い抵抗率の合金が好ましい。

20

【0074】

いくつかの実施形態では、スタビライザストリップ910と910'は、HTSアセンブリ710と720の幅より大きい幅を有する。この余分な幅、つまり突き出た部分により、充填剤920、920'の層または隅肉が、毛管作用によってワイヤの側面に沿って形成できる。一般的には、ストリップ910、910'の幅はHTSアセンブリ710、720の幅より0.01mmから2mm大きい範囲に入る。例えば、幅が約4.3mmのスタビライザストリップは、幅4.0mmまたは4.1mmの超電導インサートともに使用できる。

30

【0075】

例えばワイヤ1000のようなHTS線は、図10に描かれているように製造されてよい。HTSワイヤアセンブリは、幅広い(例えば幅約4cmから10cmの)多層ストリップとして製造され、次にHTSアセンブリ1010、1020を形成するいくつかの狭い(例えば、幅4cmのストリップから、幅約0.4cmの約10個のストリップ)ストリップに縦方向に細長く切られる。図11のステップ1190を参照すること。導電性スタビライザストリップ1060、1060'は、狭いHTSストリップの幅よりも幅広くてよく、その結果スタビライザストリップは両側面でHTSストリップの上に突き出ている。細長く切った後に、ワイヤは充填剤材料の浴1000の中でスタビライザストリップ1060、1060'と狭いHTSインサートストリップ1010、1020を接合することにより形成される。多層HTSインサート1010、1020は、例えば、リール1010、1010'から充填剤浴の中に送り込まれてよい。スタビライザストリップ1060、1060'は、材料の長さが積み重ねられた形状を形成するようにHTS1010、1020のフィードインリール1010、1010'の上下に置かれたリール1020、1020'から送り出されてよい。充填剤は、HTSアセンブリ1010、1020を同時に取り囲み、また、導電性スタビライザストリップ1060、1060'にそれらを積層する。金型1030はインサート1010、1020とスタビライザストリップ10

40

50

60、1060'を1つの超電導線1000の中に統合し、強固にする。HTSインサートを製造し、細長く切った後にスタビライズトリップをワイヤに積層することにより、スタビライズトリップはインサートより容易に幅広く作ることができる。上に突き出る造作は、充填剤の厚く、機械的に堅牢な隅肉をワイヤの側面に設けるために、上部スタビライズトリップと下部スタビライズトリップ1060、1060'の間ではんだの毛細血管のウィッキングを促進する。

【0076】

本発明のHTS線の1つまたは複数の実施形態と使用するための導電性構造に関する追加の詳細は、その内容が参照することによりその全体として組み込まれている2005年7月29日に出願され、「高温超電導体ワイヤのためのアーキテクチャ(Architecture For High Temperature Superconductor Wire)」と題される同時係属中の、共同所有されている米国特許出願第11/193,262号に記載されている。

10

【0077】

さまざまな性能特性を有するワイヤは、その長さに沿って性能が変わるHTS線を得るために端と端を接して接合できる。これは、図9に描かれているような、酸化物超電導層との電気接触を提供する導電性外側構造を有するHTS線の使用により容易になる。

【0078】

本書に説明されているようなHTS線は、電磁石コイルまたは巻き線で使用されてよい。したがって、HTS線は、強いH//ab成分の磁場を経験するコイルの領域内のHTS線が、高い $I_c(ab)$ を有するHTS線から構成されるようにコイルを形成するために巻き付けられる。同様に、強力なH//c成分の磁場を経験するコイルの領域内のHTS線は、高い $I_c(c)$ と、任意で、所望される比率 $I_c(ab)/I_c(c)$ とを有するHTS線から構成される。中間配向の磁場を経験するコイルの領域は、所望される $I_c(c)$ と任意で所望される比率 $I_c(ab)/I_c(c)$ を得るために、高い $I_c(ab)$ と高い $I_c(c)$ の超電導層の所望される組み合わせを有するHTS線から構成されている。加えて、2つの層の厚さは、テープ表面に水平な且つ垂直な電流密度の所望される組み合わせを得るために選択されてよい。

20

【0079】

図11は、本発明の多様な実施形態によるHTS線を製造するために使用される例示的なプロセスの流れ図を示す。第1のステーション1110では、ワイヤ基板が、二軸のテクスチャを得るために処理される。好ましくは、基板表面は相対的に明確な結晶方位を有する。例えば、表面は二軸テクスチャ加工表面(例えば、(113)[211]面)または立方体テクスチャ加工表面(例えば、(100)[011]面または(100)[001]面)である場合がある。好ましくは、表面のX線回折極図のピークは、約20°未満(例えば約15°未満、約10°未満、または約5°から約10°)のFWHMを有する。

30

【0080】

例えば、圧延及び焼きなましによって表面を作成できる。また、表面は、例えばランダムに配向した多結晶または無定形表面に二軸テクスチャ加工表面を形成するために、イオンビーム支援蒸着、傾斜基板蒸着、及び技術で公知の他の真空技法等の真空プロセスを使用して作成することもできる。特定の実施形態(例えば、イオンビーム支援蒸着が使用されるとき)では、基板の表面はテクスチャ加工される必要はない(例えば、表面は、ランダムに配向した多結晶である場合がある、あるいは表面が無定形である場合がある)。

40

【0081】

基板は、緩衝層スタック及び/または超電導体材料層を支えることができ、且つ最終的なワイヤに必要とされる機械特性を提供できる任意の材料から形成されることがある。基板として使用できる基板材料の例は、例えばニッケル、銀、銅、亜鉛、アルミニウム、イオン、クロミウム、バナジウム、パラジウム、モリブデン及び/またはそれらの合金のような金属及び/または合金を含む。いくつかの実施形態では、基板は超合金から形成でき

50

る。特定の実施形態では、基板は相対的に大きな表面積（例えば、ワイヤまたはウェハ）を有するオブジェクトという形を取ることがある。これらの実施形態では、基板は好ましくは相対的に可撓な材料から形成される。

【0082】

これらの実施形態のいくつかでは、基板は、以下の金属、つまり銅、ニッケル、クロム（クロミウム）、バナジウム、アルミニウム、銀、鉄、パラジウム、モリブデン、タングステン、金及び亜鉛の内の2つを含む二元合金である。例えば、二元合金はニッケルとクロム（例えば、ニッケルと多くても20原子パーセントのクロム、ニッケルと約5から約18原子パーセントのクロム、またはニッケルと約10から約15原子パーセントのクロム）から形成できる。別の例として、二元合金は、ニッケルと銅（例えば、銅と約5から約45原子パーセントのニッケル、銅と約10から約40原子パーセントのニッケル、あるいは銅と約25から約35原子パーセントのニッケル）から形成されることがある。追加の例として、二元合金はニッケルとタングステン（例えば、約1原子パーセントのタングステンから約20原子パーセントのタングステン、約2原子パーセントのタングステンから約10原子パーセントのタングステン、約3原子パーセントのタングステンから約7原子パーセントのタングステン、約5原子パーセントのタングステン）を含む場合がある。二元合金は、さらに相対的に少量の不純物（例えば、約0.1原子パーセント未満の不純物、約0.01原子パーセント未満の不純物、あるいは約0.005原子パーセント未満の不純物）を含むことがある。Ni - 5 wt. % Wが基板にとって好ましい材料である。

10

20

【0083】

これらの内の特定の実施形態では、基板は（例えば、三元合金または四元合金等）3つ以上の金属を含む。これらの実施形態の内のいくつかでは、以下の金属、つまり銅、ニッケル、クロム、タングステン、バナジウム、アルミニウム、銀、鉄、パラジウム、モリブデン、金及び亜鉛の内の2つだけではなく、1つまたは複数の酸化物形成体（例えば、Alが好適な酸化物形成体である、Mg、Al、Mo、V、Ta、Ti、Cr、Ga、Ge、Zr、Hf、Y、Si、Pr、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Lu、Th、Er、Tm、Be、Ce、Nd、Sm、Yb及び/またはLa）を含むことがある。これらの内の特定の実施形態では、合金は以下の金属、つまり銅、ニッケル、クロム、タングステン、バナジウム、アルミニウム、銀、鉄、パラジウム、モリブデン、金及び亜鉛の内の2つを含み、前述された酸化物形成体のどれかを実質的には欠いていることがある。

30

【0084】

合金が酸化物形成体を含む実施形態では、合金は少なくとも約0.5原子パーセントの酸化物形成体（例えば、少なくとも約1原子パーセントの酸化物形成体、または少なくとも約2原子パーセントの酸化物形成体）と、多くても約25原子パーセントの酸化物形成体（例えば、多くても約10原子パーセントの酸化物形成体、または多くても約4原子パーセントの酸化物形成体）を含むことがある。例えば、合金は、残りが銅である、酸化物形成体（例えば、少なくとも約0.5のアルミニウム）、約25原子パーセントから約55原子パーセントのニッケル（例えば、約35原子パーセントから約55原子パーセントのニッケル、または約40原子パーセントから約55原子パーセントのニッケル）を含むことがある。別の例としては、合金は、残りがニッケルである、酸化物形成体（例えば、少なくとも約0.5原子アルミニウム）、約5原子パーセントから約20原子パーセントのクロミウム（例えば、約10原子パーセントから約18原子パーセントのクロム、または約10原子パーセントから約15原子パーセントのクロム）を含むことがある。合金は、相対的に少量の追加金属（例えば、約0.1原子パーセント未満の追加金属、約0.01原子パーセント未満の追加金属、または約0.005原子パーセント未満の追加金属）を含むことがある。

40

【0085】

合金から形成される基板は、例えば、粉末形状の成分を結合し、溶解し、冷却することによって、あるいは例えば固体状態の粉末成分とともに拡散することによって生成できる

50

。次に、合金はテクスチャ加工された表面（例えば、二軸テクスチャ加工、あるいは立方体テクスチャ加工）を形成するために変形テクスチャ加工（例えば、焼きなましと圧延、スエージング、押し出し、及び／または延伸）によって形成できる。代わりに、合金の成分は、ゼリーロールの形状で積み重ねてから、変形テクスチャ加工を加えることができる。いくつかの実施形態では、相対的に低い熱膨張係数の材料（例えば、Nb、Mo、Ta、V、Cr、Zr、Pd、Sb、NbTi、NiAlまたはNi₃Al等の金属間化合物、またはその混合物）が、ロッドに形成され、変形テクスチャ加工の前に合金の中に埋め込まれる。

【0086】

いくつかの実施形態では、表面での安定した酸化物形成は、第1のエピタキシャル（例えば、緩衝）層が、基板の表面に配置される中間層を使用して二軸テクスチャ加工された合金面上に形成されるまで軽減できる。中間層は、PO₂によって確立される状態、及びエピタキシャル緩衝層膜の初期成長に必要とされる温度にさらされるときに表面酸化物を形成しないそれらのエピタキシャル金属または合金の層を含む。加えて、緩衝層は、基板要素（複数の場合がある）が中間層の表面に移動し、エピタキシャル層の初期成長中に酸化物を形成することがないようにするための障壁としての機能を果たす。このような中間層がない場合、基板の1つまたは複数の要素は、例えばこの酸化物層におけるテクスチャの欠如に起因して、エピタキシャル層の蒸着を大幅に妨げるであろう、基板表面で熱力学的に安定した酸化物（複数の場合がある）を形成すると予想されるであろう。

【0087】

例示的な中間金属層は、ニッケル、金、銀、パラジウム、及びその合金を含む。追加の金属または合金はニッケル及び／または銅の合金を含んでよい。中間層に蒸着されるエピタキシャル膜または層は、金属酸化物、カルコゲナイド(chalcogenide)、ハロゲン化合物、及び窒化物を含むことがある。いくつかの実施形態では、中間金属層は、エピタキシャル膜蒸着条件下で酸化しない。

【0088】

蒸着された中間層が、初期緩衝層構造の核生成と成長によりエピタキシャル層を確立する前に、基板の中に完全に組み込まれない、あるいは基板の中に完全に拡散しないことに注意を要する。つまり、基板合金内での拡散定数等の適切な属性のために金属（または合金）、実際的なエピタキシャル緩衝層の成長条件下での酸化に対する熱力学的安定性、及びエピタキシャル層との格子整合とを選択した後、蒸着金属層の厚さが、エピタキシャル層蒸着条件、特に温度に適應されなければならない。

【0089】

中間金属層の蒸着は、蒸発またはスパッタリング等の真空プロセスによって、あるいは（電極を使用するまたは使用しない）電気メッキ等の電解加工手段によって行うことができる。これらの蒸着された中間金属層は、（蒸着中の基板温度に応じて）蒸着後にエピタキシャルになってよい、またはエピタキシャルにならない可能性があるが、エピタキシャル方位はその後、蒸着後熱処理の間に取得できる。

【0090】

特定の実施形態では、硫黄が、基板または中間層の表面に形成できる。硫黄は、例えば中間層を、硫黄の供給源（例えば、H₂S、タンタル箔または銀箔）及び水素（例えば、水素、または5%の水素／アルゴンガス混合物等の水素と不活性ガスの混合物）を含むガス環境に一時期（例えば、約10秒から約1時間、約1分から約30分、約5分から約15分）暴露することによって形成できる。これは昇温で（例えば、約450 から約1100、約600 から約900、850 の温度で）実行できる。水素（または水素／不活性ガスの混合物）の圧力は、相対的に低い（例えば、約1 torr未満、約1×10⁻³ torr未満、約1×10⁻⁶ torr未満）、又は相対的に高い（例えば、約1 torrより多い、約100 torrより多い、約760 torrより多い）ことがある。

【0091】

50

理論によって縛られることを希望しない場合、テクスチャ加工された基板表面をこれらの条件下で硫黄のソースに暴露すると、テクスチャ加工された基板表面上に硫黄の上部構造（例えば、 $a - c(2 \times 2)$ 上部構造）が形成されることがあると考えられる。上部構造は、中間層の表面を安定化させる（例えば、化学的に及び／または物理的に安定化させる）上で有効であるとさらに考えられる。

【0092】

硫黄上部構造を形成する1つの手法が説明されてきたが、このような上部構造を形成する他の方法も使用できる。例えば、硫黄上部構造（例えば、 $S - c(2 \times 2)$ ）は、適切なガス環境における適切な温度まで加熱することにより中間層の表面に適切な有機溶液を塗布することによって形成できる。さらに、硫黄上部構造を中間層の表面に形成することが説明されてきたが、他の上部構造も表面を安定化させる（例えば、化学的に及び／または物理的に安定化させる）上で有効であってよいと考えられる。例えば、表面に配置される酸素上部構造、窒素上部構造、炭素上部構造、カリウム上部構造、セシウム上部構造、リチウム上部構造、またはセレンウム上部構造が、表面の安定性を強化する上で有効であってよいと考えられる。

10

【0093】

第2の処理ステーション1120では、1つまたは複数の緩衝層が、テクスチャ加工された金属面でのエピタキシャル成長によって、テクスチャ加工された基板上に形成される。代わりに、緩衝層が、イオンビーム支援蒸着（IBAD）を使用して多結晶の無作為にテクスチャ加工された金属面に形成できる。この技法では、イオンビーム（例えばアルゴンイオンビーム）が、蒸発した緩衝層材料が蒸着される基板の円滑な無定形表面に向けられる間に、緩衝層材料は、例えば電子ビーム蒸発、スパッタリング蒸着、またはパルス化レーザ蒸着を使用して蒸発する。

20

【0094】

例えば、緩衝層は、緩衝層物質が、面内及び面外両方に実質的な位置整合（例えば、約 13° 又はそれ未満）のある表面を有するように、岩塩状の構造（例えば、 MgO を含む酸化物、または窒化物等の岩塩構造を有する物質）を有する緩衝層物質を蒸発させることによって、基板の円滑な無定形表面（例えば、約 100 オングストローム未満の二乗平均平方根粗さを有する表面）の上にイオンビーム支援蒸着によって形成できる。

【0095】

緩衝層物質の蒸着中に使用される条件は、例えば、約 0 から約 750 の基板温度（例えば、約 0 から約 400 、ほぼ室温から約 750 、ほぼ室温から約 400 ）、毎秒約 1.0 オングストロームから毎秒約 4.4 オングストロームの蒸着速度、約 200 eVから約 1200 eVのイオンエネルギー、及び／または1平方センチメートル当たり約 110 マイクロアンペアから1平方センチメートルあたり約 120 マイクロアンペアのイオンフラックスを含むことがある。

30

【0096】

いくつかの実施形態では、IBADを使用するとき、基板は、別の材料（例えば、 Si_3N_4 ）から形成される滑らかな無定形表面のある、多結晶の無定形基部構造（例えば、ニッケル合金等の金属合金）を有する材料から形成される。

40

【0097】

特定の実施形態では、複数の緩衝層は、元のIBAD表面上でエピタキシャル成長によって蒸着できる。各緩衝層は、面内と面外の両方で実質的な位置整合（例えば、約 13° 又はそれ未満）を持つことができる。

【0098】

緩衝材料は、例えば、S. S. Shoupら、アメリカセラミックス協会ジャーナル（J. Am. Cer. Soc.）、第81巻、3019号、D. Beachら、材料研究学会シンポジウム会議記録（Mat. Res. Soc. Symp. Proc.）、第495巻、263（1988年）、M. Paranthamanら、超電導体学会技術（Superconductor Sci. Tech.）、第12巻、319（1999年）、D

50

．J．Leeら、日本応用物理学ジャーナル（Japanese J．Appl．Phys．）、第38巻L178（1999年）、及びM．W．Rupichら、応用超電導体に関するIEEE会議記録（I．E．E．E．Trans．on Appl．Supercon．）第9巻、1527に開示されるような有機金属蒸着を含む溶液相技法を使用して作成できる。特定の実施形態では、溶液コーティングプロセスが、テクスチャ加工された基板上での酸化物層のどれかの1つまたは組み合わせのエピタキシャル蒸着に使用できる。しかしながら、それらはテクスチャ加工された金属基板での初期（シード）層の蒸着のために特に適用可能である。シード層の役割は、1）基板を基準にして酸化性雰囲気中で実施されるときに次の酸化物層の蒸着中の酸化からの基板の保護（例えば、酸化物ターゲットからのイットリア安定化ジルコニアのマグネトロンスパッタ蒸着）、2）以後の酸化物層の成長のためのエピタキシャルテンプレートを提供することである。これらの要件を満たすために、シード層は、金属基板の表面全体でエピタキシャルに成長し、以後のエピタキシャル酸化物層の蒸着と干渉する可能性のあるあらゆる汚染因子を含んではならない。

10

【0099】

下にある基板層の湿潤を促進するために、酸化物緩衝層の形成が実施できる。さらに、特定の実施形態では、金属酸化物層の形成は、金属アルコキシド前駆体（例えば、「ソル-ゲル」前駆体）を使用して実施できる。

【0100】

いったん、緩衝層を含むテクスチャ加工された基板が作成されると、前駆体溶液は、上述されたように蒸着ステーション1130で蒸着される。任意的には、前駆体はパターン化できる。例えば、レーザアブレーションまたはイオン衝撃が超電導層をパターン化するために使用されるときに、追加の装置がパターン化動作を達成するように要求されてよい。滴状パターン化蒸着が使用される場合には、インクジェットプリンタ蒸着装置を備える単一のステーションが、酸化物前駆体溶液の蒸着とパターン化の両方を達成できる。

20

【0101】

通常は、溶液化学が、フッ化バリウム及び／または他の超電導体前駆体を調製するために使用され、溶液（例えば、酢酸イットリウム、トリフルオロ酢酸イットリウム（Y-TFA）、酢酸銅、酢酸バリウム及び／またはバリウムのフッ素化された塩等の金属塩を含有する溶液）が表面に（例えば、1つまたは複数の緩衝層がその上に蒸着される合金層を有する基板等の基板の表面に）蒸着される。溶液は、標準的な手法（例えば、スピンコーティング、浸漬被覆、スロットコーティング）を使用して表面上に配置できる。溶液は、溶液中に存在する有機化合物の少なくともいくつかを取り除くために乾燥され（例えば、ほぼ室温で、または穏やかに加熱して乾燥され）、結果として生じる材料は、フッ化バリウム及び／または他の適切な材料（例えば、CuO及び／またはY₂O₃）を形成するために酸素と水を含有するガス環境で炉内で反応される（例えば分解される）。いくつかの実施形態では、上記に留意された反応装置は、これらのステップのどれかまたはすべてで使用する。

30

【0102】

金属塩溶液は、結果として生じる超電導体層で所望される適切な割合で金属ソース（金属源）を使用して調製される。したがって、例えば、Y-123で使用する化学量論的割合を超える追加量の銅塩が、過剰な銅を有する高いI_c(a,b)超電導体層を調製するために使用される前駆体溶液に含まれる。同様に、前駆体溶液は、最終的な超電導体組成を修正するために使用される可溶性金属化合物と不溶性金属化合物を含む添加成分を含んでよい。このような添加物は、例えば、イットリウム、ネオジミウム、サマリウム、ユウロピウム、ガドリニウム、テルビウム、ジスプロシウム、ホルミウム、エルビウム、ツリウム、イッテルビウム、及びルテチウム等の金属化合物の可溶性化合物と、カルシウム、バリウム、及びストロンチウム等のアルカリ土類金属と、スカンジウム、チタニウム、バナジウム、クロム、マンガン、鉄、コバルト、ニッケル、及びジルコニウム等の遷移金属と、前駆体溶液中に含有される溶媒の中で分解できるセリウム、銀、アルミニウム、及

40

50

びマグネシウム等とを含むことがある。添加成分は、前駆体溶液中に含まれる可溶性化合物の化学量論超過分を含んでもよい。例えば、可溶性のイットリウム塩または可溶性の銅塩は、Y 1 2 3 を形成するために必要とされる溶液を超える前駆体溶液中に含まれてよい。不溶性の添加成分も、前駆体溶液に追加できる。

【0103】

使用できる金属塩溶液の例は、以下のとおりである。

【0104】

いくつかの実施形態では、金属塩溶液は相対的に少量の遊離酸を有することがある。水溶液中、これは相対的に中性のpH（強ちに酸性でもなければ、強ちに塩基性でもない）の金属塩溶液に相当することがある。金属塩溶液は、超電導体層が形成される、下にある層として使用できる多岐にわたる材料を使用して多層超電導体を調製するために使用できる。

10

【0105】

金属塩溶液の総遊離酸濃度は、約 1×10^{-3} モル濃度未満（例えば、約 1×10^{-5} モル濃度または約 1×10^{-7} モル濃度未満）となる場合がある。金属塩溶液に含有できる遊離酸の例は、トリフルオロ酢酸、酢酸、硝酸、硫酸、ヨウ化物の酸、臭化物の酸、及び硫酸塩の酸を含む。

【0106】

金属塩溶液が水を含有するとき、前駆体組成は、少なくとも約3（例えば、少なくとも約5または約7）のpHを有することがある。

20

【0107】

いくつかの実施形態では、金属塩溶液は相対的に低い含水量（例えば、約50容量パーセント未満の水、約35容量パーセント未満の水、約25容量パーセント未満の水）を有することがある。

【0108】

金属塩溶液がトリフルオロ酢酸塩イオンとアルカリ土類金属カチオン（例えばバリウム）を含有する実施形態では、トリフルオロ酢酸塩イオンの総量は、金属塩溶液に含まれるフッ素の、金属塩溶液に含まれるアルカリ土類金属（例えば、バリウムイオン）に対するモル比が少なくとも約2:1（例えば、約2:1から約18.5:1または約2:1から約10:1）となるように選択できる。

30

【0109】

一般的には、金属塩溶液は、第1の金属（例えば銅）、第2の金属（例えばアルカリ土類金属）、及び希土類金属の可溶性化合物を、1つまたは複数の所望される溶媒及び任意で水と結合することによって調製できる。本書に使用されるように、第1の金属、第2の金属、及び希土類金属の「可溶性化合物」は、金属塩溶液に含まれる溶媒（複数の場合がある）の中で溶解できるこれらの金属の化合物を指す。このような化合物は、例えば、これらの金属の塩（例えば、硝酸塩、酢酸塩、アルコキシド、ヨウ化物、硫酸塩、及びトリフルオロ酢酸塩）、酸化物、及び水酸化物を含む。

【0110】

特定の実施形態では、金属塩溶液は、当業者に公知の方法を使用して、結合、反応される $Ba(O_2CCH_3)_2$ 、 $Y(O_2CCH_3)_3$ 、及び $Cu(O_2CCH_3)_2$ の粉末から調製される金属トリフルオロ酢酸塩を含む有機溶液から形成できる。例えば、金属トリフルオロ酢酸塩粉末は、銅含有量に基づいて実質的に0.94Mの溶液を生じさせるために、メチルアルコール中2:1:3の比率で結合できる。

40

【0111】

特定の実施形態では、金属塩溶液はルイス塩基を含むことがある。希土類金属は、イットリウム、ランタン、ユウロピウム、ガドリニウム、テルビウム、ジスプロシウム、ホルミウム、エルビウム、ツリウム、イッテルビウム、セリウム、プラセオジミウム、ネオジミウム、プロメチウム、サマリウム、またはルテチウムである場合がある。一般的には、希土類金属塩は、金属塩溶液に含有される溶媒（複数の場合がある）の中で可溶性であ

50

り、中間物（例えば、金属オキシハロゲン化中間体）を形成するために処理されているときに、希土類酸化物（複数の場合がある）（例えば Y_2O_3 ）を形成する希土類金属塩である場合がある。このような塩は、例えば、式 $M(O_2C-(CH_2)_n-CX X' X'' X''')$ （ $O_2C-(CH_2)_m-CX X' X'' X'''$ ）（ $O_2C-(CH_2)_p-CX X' X'' X'''$ ）または $M(OR)_3$ を有することができる。Mは希土類金属である。n、m及びpはそれぞれ少なくとも1であるが、塩を溶媒（複数の場合がある）中で不溶性にする数未満である（例えば1から10）。X、X'、X''、X'''、X''''、X'''''、X''''''、X'''''''、X''''''''、X'''''''''のそれぞれは、H、F、Cl、Br、またはIである。Rは、ハロゲン化できる（例えば、 CH_2CF_3 ）またはハロゲン化できない炭素含有基である。このような塩の例は、ハロゲン化されていないカルボン酸塩、ハロゲン化された酢酸塩（例えば、トリフルオロ酢酸塩、トリクロロ酢酸塩、トリブromo酢酸塩、トリヨード酢酸塩）、ハロゲン化されたアルコキシド、及びハロゲン化されていないアルコキシドを含む。このようなハロゲン化されていないカルボン酸塩の例は、ハロゲン化されていない酢酸塩（例えば、 $M(O_2C-CH_3)_3$ ）を含む。アルカリ希土類金属は、バリウム、ストロンチウム、またはカルシウムである場合がある。一般的には、アルカリ希土類塩は金属塩溶液中に含有されている溶媒（複数の場合がある）で可溶性であり、中間体（例えば、金属オキシハロゲン化中間体）を形成するために処理されるときに、アルカリ土類酸化物（複数の場合がある）（例えば、 BaO ）を形成する前に、アルカリ土類ハロゲン化合物（例えば、 BaF_2 、 $BaCl_2$ 、 $BaBr_2$ 、 BaI_2 ）を形成する任意のアルカリ土類金属塩である場合がある。このような塩は、例えば、式 $M'(O_2C-(CH_2)_n-CX X' X'' X''')$ （ $O_2C-(CH_2)_m-CX X' X'' X'''$ ）または $M'(OR)_2$ を有することができる。M'はアルカリ土類金属である。nとmはそれぞれ少なくとも1であるが、塩を溶媒（複数の場合がある）の中で不溶性にする数未満である（例えば1から10）。X、X'、X''、X'''、X''''、及びX'''''のそれぞれは、H、F、Cl、BまたはIである。Rは、ハロゲン化されたまたはハロゲン化されていない炭素含有基である場合がある。このような塩の例は、ハロゲン化された酢酸塩（例えば、トリフルオロ酢酸塩、トリクロロ酢酸塩、トリブromo酢酸塩、トリヨード酢酸塩）を含む。一般的には、遷移金属は銅である。遷移金属塩は、金属塩溶液中に含有される溶媒（複数の場合がある）の中で可溶性でなければならない。好ましくは、前駆体の中間体（例えば金属オキシハロゲン化物）への変換中、最小の架橋が、離散遷移金属分子（例えば、銅分子）間で発生する。このような遷移金属塩は、例えば、式 $M''(CX X' X'' X'''-CO(CH)_a CO-CX X' X'' X''')(CX X' X'' X'''-CO(CH)_b COCX X' X'' X''')$ 、 $M''(O_2C-(CH_2)_n-CX X' X'' X''')(O_2C-(CH_2)_m-CX X' X'' X''')$ または $M''(OR)_2$ を有する場合がある。M''は遷移金属である。aとbはそれぞれ少なくとも1であるが、塩を溶媒（複数の場合がある）の中で不溶性にする数未満である（例えば1から5）。一般的には、nとmはそれぞれ少なくとも1であるが、塩を溶媒（複数の場合がある）の中で不溶性にする数未満である（例えば1から10）。X、X'、X''、X'''、X''''、X'''''、X''''''、X'''''''、X''''''''、X'''''''''のそれぞれは、H、F、Cl、BrまたはIである。Rは、ハロゲン化できる（例えば CH_2CF_3 ）またはハロゲン化できない炭素含有基である。これらの塩は、例えば、ハロゲン化されていない酢酸塩（例えば、 $M''(O_2C-CH_3)_2$ ）、ハロゲン化されている酢酸塩、ハロゲン化されているアルコキシド、及びハロゲン化されていないアルコキシドを含む。このような塩の例は、銅トリクロロ酢酸塩、銅トリブromo酢酸塩、銅トリヨード酢酸塩、 $Cu(CH_3COCHCOCF_3)_2$ 、 $Cu(OOCC_7H_{15})_2$ 、 $Cu(CF_3COCHCOF_3)_2$ 、 $Cu(CH_3COCHCOCH_3)_2$ 、 $Cu(CH_3CH_2CO_2CHCOCH_3)_2$ 、 $CuO(C_5H_6N)_2$ 、及び $Cu_3O_3Ba_2(O$

- CH_2CF_3)₄ を含む。特定の実施形態では、遷移金属塩は、遷移金属（例えば、遷移金属のハロゲン化されていないプロピオン酸塩）のプロピオン酸塩等のカルボン酸塩（例えば、ハロゲン化されていないカルボン酸塩）である。遷移金属のハロゲン化されていないプロピオン酸塩の例は、 $\text{Cu}(\text{O}_2\text{CC}_2\text{H}_5)_2$ である。いくつかの実施形態では、遷移金属塩は、硫酸銅、硝酸銅、ヨウ化銅、及び／または銅オキシレート等の単純な塩である。いくつかの実施形態では、 n 及び／または m は、値ゼロを有することがある。特定の実施形態では、 a 及び／または b は、値ゼロを有することがある。ルイス塩基の例示的且つ非制限的リストは、例えばアンモニアとアミン等の窒素含有化合物を含む。アミンの例は CH_3CN 、 $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$ 及び $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{N}$ を含む。 $\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3$ のそれぞれは独立して H 、アルキル基（例えば、直鎖アルキル基、分岐アルキル基、脂肪族アルキル基、非脂肪族アルキル基及び／または置換アルキル基）等である。理論によって縛られることを望まなければ、ルイス塩基の金属塩溶液中の存在が、中間体形成の間の銅の架橋を削減できると考えられる。これは、ルイス塩基が銅イオンに配位結合すること（例えば選択的な配位結合）ができ、それにより銅の架橋する能力を削減できるように達成されることが考えられる。

10

【0112】

通常は、金属塩溶液は、スピンコーティング、浸漬被覆、ウェブコーティング、スロットコーティング、グラビアコーティング、または当業者に公知の他の技法によって表面（例えば緩衝層表面）に塗布され、その後加熱される。

20

【0113】

引き続くステーション 1140 で、前駆体構成要素が分解される。少なくとも 1 つのフッ化物を含有する塩を含む前駆体構成要素のケースでは、加熱ステップの第 1 のステップは有機金属分子を、所望される超電導体材料の 1 つまたは複数のオキシフルオライド中間体に分解するために実行される。

【0114】

通常は、このステップの初期温度はほぼ室温であり、最終的な温度は約 190 から約 210、好ましくは約 200 までの温度である。好ましくは、このステップは、少なくとも毎分約 5 の温度傾斜（温度勾配）、さらに好ましくは少なくとも毎分 10 の温度傾斜、及び最も好ましくは少なくとも毎分約 15 の温度傾斜を使用して実行される。このステップの間、名目ガス環境における水蒸気の部分的な圧力は、好ましくは約 5 Torr から約 50 Torr で、さらに好ましくは約 5 Torr から約 30 Torr で、及び最も好ましくは約 20 Torr から約 30 Torr で維持される。名目ガス環境内の酸素の部分的な圧力は、約 0.1 Torr から約 760 Torr で、好ましくは約 730 Torr から 740 Torr で維持される。

30

【0115】

次に、加熱は、毎分約 0.05 から毎分約 5（例えば、毎分約 0.5 から毎分約 1）の温度傾斜を使用して約 200 から約 290 の温度まで継続される。好ましくは、この加熱ステップの間のガス環境は、サンプルが初期温度から、約 190 から約 215 に加熱されるときに使用される名目ガス環境と実質的に同じである。

40

【0116】

加熱は、オキシフルオライド中間体を形成するために、約 650 まで、またはさらに好ましくは約 400 の温度までさらに継続される。このステップは、好ましくは少なくとも毎分約 2、さらに好ましくは少なくとも毎分約 3、及び最も好ましくは少なくとも毎分約 5 の温度傾斜を使用して実行される。好ましくは、この加熱ステップの間のガス環境は、サンプルが初期温度から、約 190 から約 215 に加熱されるときに使用される名目ガス環境と実質的に同じである。

【0117】

代替実施形態では、フッ化バリウムは、約 5 Torr から約 50 Torr までの水蒸気圧力（例えば、約 5 から約 30 Torr の水蒸気、または約 10 から約 25 Torr の水蒸気）において、初期温度（例えば室温）から約 190 ~ 約 215 の温度（例えば約 2

50

10)にまで乾燥した溶液を加熱することによって形成される。酸素の名目部分圧力(分圧)は、例えば約0.1 Torrから約760 Torrとなる場合がある。これらの実施形態では、次に加熱は、約5 Torrから約50 Torrの水蒸気圧力(例えば、約5から約30 Torrの水蒸気、または約10から約25 Torrの水蒸気)において約220~約290 (例えば約220)の温度まで続行される。酸素の名目部分圧力(分圧)は、例えば約0.1 Torrから約760 Torrである場合がある。この後には、フッ化バリウムを形成するために、約5 Torrから約50 Torrの水蒸気圧力(例えば、約5から約30 Torr水蒸気、または約10から約25 Torr水蒸気)で、少なくとも毎分約2 (例えば、少なくとも毎分約3、または少なくとも毎分約5)の速度で約400 まで加熱することが続く。酸素の名目部分圧力(分圧)は、例えば約0.1 Torrから約760 Torrである場合がある。

10

【0118】

特定の実施形態では、フッ化バリウムを形成するために、乾燥した溶液を加熱することは、(例えば、少なくとも約100 の、少なくとも約150 の、少なくとも約200 の、多くても約300、多くても約250、約200 の温度で)予熱炉にコーティングされたサンプルを入れることを含むことがある。炉内のガス環境は、例えば、約760 Torrという総ガス圧力、水蒸気の所定の部分圧力(例えば、少なくとも約10 Torr、少なくとも約15 Torr、多くても約25 Torr、多くても約20 Torr、約17 Torr)を有することがあり、残りは分子の酸素である。コーティングされたサンプルが炉温度に達した後、所定の温度傾斜速度(例えば、少なくとも毎分約0.5、少なくとも毎分約0.75、多くても毎分約2、多くても毎分約1.5、毎分約1)で、炉温度を(例えば少なくとも約225 に、少なくとも約240 に、多くても約275度に、多くても約260度に、約250 に)高くすることができる。このステップは、第1の加熱ステップで使用されるのと同じ名目ガス環境で実行できる。したがって、炉の温度は、所定の温度傾斜速度(例えば、少なくとも毎分約5、少なくとも毎分約8、多くても毎分約20、多くても毎分約12、毎分約10)でさらに(例えば、少なくとも約350 に、少なくとも約375 に、多くても約450 に、多くても約425 に、約450 に)昇温できる。このステップは、第1の加熱ステップで使用されるのと同じ名目ガス環境で実行できる。

20

【0119】

オキシフルオライド中間膜を形成するために処理された追加の層は、以前に蒸着した層の上に蒸着できる。処理条件は、実質的に本書に上述されたとおりである。しかしながら、オキシフルオライド膜に対する分解中の水蒸気の部分的な圧力は約5~10 torrである。

30

【0120】

金属塩溶液の前記処理は、構成要素である金属酸化物と金属フッ化物が膜全体で均一的に分布されるオキシフルオライド中間層を生じさせることがある。好ましくは、前駆体は相対的に低い欠陥密度を有し、本質的には中間厚さを通して亀裂がない。フッ化バリウムのための溶液化学が開示されてきたが、他の前駆体溶液のために他の方法を使用することもできる。

40

【0121】

次に、超電導体中間膜は、追加処理ステーション1150で所望されるHTS層を形成するために加熱できる。通常は、このステップは、毎分25度をほぼ超える温度傾斜で、好ましくは毎分100 をほぼ超える温度速度で、及びさらに好ましくは毎分200 をほぼ超える温度速度で、ほぼ室温から、約700 から約825 の温度まで、好ましくは約740 から800 の温度まで、さらに好ましくは約750 ~約790 の温度まで加熱することによって実行される。このステップは、中間のオキシフルオライド膜を形成するために使用される約400 から650 の最終的な温度から開始することもできる。このステップの間、膜にガス状の反応物質を供給するため、及び膜からガス状の反応生成物を取り除くために、プロセスガスが膜表面の上を流れる。このステップの間の名

50

目ガス環境は約 0.1 Torr から約 760 Torr の総圧力を有し、約 0.09 Torr から約 50 Torr の酸素、及び約 0.01 Torr から約 150 Torr の水蒸気、及び約 0 Torr から約 750 Torr の不活性ガス（窒素またはアルゴン）から構成される。さらに好ましくは、名目ガス環境は、約 0.15 Torr から約 5 Torr の総圧力を有し、約 0.1 Torr から約 1 Torr の酸素と、約 0.05 Torr から約 4 Torr の水蒸気から構成されている。

【0122】

膜は、次に、約 700 から 825 の温度で、好ましくは約 740 から 800 の温度に、さらに好ましくは約 750 から約 790 の温度に、少なくとも約 5 分から約 120 分の間、好ましくは少なくとも約 15 分から約 60 分の間、さらに好ましくは少なくとも約 15 分から約 30 分の間保持される。このステップの間、ガス状の反応物質を膜に供給するため、及び膜からガス状の反応生成物を取り除くために、プロセスガスが膜表面上で流される。このステップの間の名目ガス環境は、約 0.1 Torr から約 760 Torr の総圧力を有し、約 0.09 Torr から約 50 Torr の酸素と、約 0.01 Torr から約 150 Torr の水蒸気と、約 0 Torr から約 750 Torr の不活性ガス（窒素またはアルゴン）から構成される。さらに好ましくは、名目ガス環境は、約 0.15 Torr から約 5 Torr の総圧力を有し、約 0.1 Torr から約 1 Torr の酸素と、約 0.05 Torr から約 4 Torr の水蒸気から構成される。

10

【0123】

膜は、次に名目ガス環境で、約 0.05 Torr から約 150 Torr、好ましくは約 0.1 Torr から約 0.5 Torr、及び、さらに好ましくは約 0.1 Torr から約 0.2 Torr の酸素圧力で室温に冷却される。

20

【0124】

上述されたような前駆体膜の処理は、通常の 123 YBC 化学量論の超電導体酸化膜を提供する。前駆体組成が、例えば、ナノスケールのピンニング部位の形成のために第 2 の位相の析出物の形成のための添加物を含む場合に、化学量論は変化する可能性がある。

【0125】

任意的には、フィラメント化は、公知のプロセスによって、あるいは 2004 年 9 月 29 日に出版された米国特許出願第 10/955,801 号に説明されるプロセスによってステーション 1160 で実行できる。ステーション 1170 の貴金属蒸着、ステーション 1180 の例えば 760 Torr の O_2 等、高酸素濃度環境での酸素焼きなまし、本書に説明されるような積層、及びステーション 1190 のスリッティングによる追加処理がプロセスを完了する。

30

【0126】

本発明は、説明目的で提示され、絶対に本発明を制限することを意図しない、以下の例を参照して説明される。

【0127】

例 1：高 Ic (ab) 超電導層の作成

1:2:3.34 という Y:Ba:Cu の化学量論を有する Y-123 前駆体溶液は、約 4.85 ml のメタノール (CH_3OH) と約 0.15 mL のプロピオン酸 ($C_2H_5CO_2$) の中で、約 0.83 グラムの Y (CF_3CO_2)₃、約 1.60 グラムの Ba (CF_3CO_2)₂、及び約 1.54 グラムの Cu ($C_2H_5CO_2$)₂ を溶解することによって調製された。溶液の最終的な体積はメタノールを用いて約 5 ml に調整された。

40

【0128】

幅 1 cm の二軸テクスチャ加工された、構造が Ni (5 at %) W / Y_2O_3 / YSZ / CeO_2 の酸化物緩衝金属基板の長さ (20 cm から 10 メートル) 上に、2000 RPM の速度でスピンコーティング技法により、前駆体溶液が付着された。厚さ 0.8 μm の $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ 膜を生成するために、十分な量の前駆体溶液が付着された。

【0129】

コーティングされたサンプルは、直径 2.25 ' ' の管炉内で、室温から約 200 に

50

、毎分約 15 の速度で、次に約 200 から約 250 に毎分約 0.9 の速度で、次に約 760 torr の総ガス圧力（約 24 torr の水蒸気圧力とバランス酸素）を有する、流れるガス環境で、毎分約 5 の速度で約 250 から約 400 に加熱することによって中間体金属オキシフルオライド膜に分解された。

【0130】

次に、金属オキシフルオライド膜は、酸化物超電導体を形成するために熱処理された。中間膜の短い長さ（1 から 2 cm）が管炉内で、毎分約 200 の速度で約 785 に加熱され、約 240 ミリトル（mtorr）という総ガス圧力（約 90 mtorr の水蒸気圧力、及び約 150 mtorr の酸素ガス圧力）を有する環境で約 30 分保持された。30 分保持した後、ガス環境と膜から除去された H_2O 蒸気が、約 150 mtorr の O_2 で室温まで冷却された。結果として生じる膜は厚さ約 0.8 ミクロンであった。

10

【0131】

例 2：50 モル % 過剰 Er - Y 123 を使用する高 $I_c(c)$ の超電導体層の作成

前駆体溶液は、約 4.85 ml のメタノール（ CH_3OH ）と約 0.15 ml のプロピオン酸（ $C_2H_5CO_2$ ）の中で、約 0.83 グラムの Y（ CF_3CO_2 ）₃、約 0.138 グラムの Er（ CH_3CO_2 ）₃、約 1.60 グラムの Ba（ CF_3CO_2 ）₂ 及び約 1.28 グラムの Cu（ $C_2H_5CO_2$ ）₂ を溶解することによって調製された。溶液の最終的な体積はメタノールで約 5 ml に調整された。

【0132】

前駆体は、例 1 に説明されたように、コーティングされ、分解され、処理され、Ag コーティングされた。結果として生じた膜は円滑で光沢のある表面、及びただ 1 度のコーティングで約 2.6 ミクロンという驚くべき高い厚さを有していた。最終的な膜の X 線回折パターンが、テクスチャ加工済み Y（Er）Ba₂Cu₃O_{7-x} の存在を示した。

20

【0133】

例 3．異なる組成の二重コーティングされた超電導層の作成

1：2：3.23 という Y：Ba：Cu の化学量論を有するベースライン YBCO 前駆体溶液は、約 4.85 ml のメタノール（ CH_3OH ）と約 0.15 ml のプロピオン酸（ $C_2H_5CO_2$ ）の中で、約 0.85 グラムの Y（ CF_3CO_2 ）₃、約 1.45 グラムの Ba（ CF_3CO_2 ）₂、及び約 1.35 グラムの Cu（ $C_2H_5CO_2$ ）₂ を溶解することによって調製された。溶液の最終的な体積は、約 0.4 モルの Y 濃度を有するようにメタノールを用いて調整された。

30

【0134】

1：0.5：2：3.23 という Y：Dy：Ba：Cu の化学量論を有する 50 % のジスプロシウム添加による YBCO 前駆体溶液は、約 20 ml のベースライン溶液の中で約 1.70 グラムの Dy（ CH_3CO_2 ）₃ と約 1.90 ml のメタノール（ CH_3OH ）を溶解することによって調製された。溶液の最終的な体積は、約 0.3 モルの Y 濃度を有するようにメタノールで調整された。

【0135】

50 % の Dy が添加された前駆体溶液は、スロットダイコーティング技法によって、構造 Ni（5 at %）W / Y₂O₃ / YSZ / CeO₂ の、二軸テクスチャ加工酸化物緩衝金属基板上に配置された。溶液は厚さ 0.8 μm の REBa₂Cu₃O_{7-x} 膜を形成するために目標とされた量で緩衝基板上にコーティングされた。

40

【0136】

コーティングされたサンプルは、直径 2.25 ' ' の管炉内で、約 760 torr の総ガス圧力（約 17.5 torr の水蒸気圧力とバランス酸素）を有する、流れるガス環境で、室温から約 200 に毎分約 15 の速度で、次に約 200 から約 250 に毎分約 0.9 の速度で、次に約 250 から約 400 に、毎分約 5 の速度で加熱することによって中間体金属オキシフルオライド膜に分解された。

【0137】

次に、金属オキシフルオライド膜は、0.6 μm の YBa₂Cu₃O_x のターゲット最

50

終厚さで、前述されたように作成されたベースライン Y B C O 前駆体溶液でコーティングされた。

【0138】

コーティングされたテープは、今回は H_2O 蒸気圧が約 9.2 torr に制御されたことを除き、前述されたのと同じプロセスで中間金属オキシフルオライドを形成するために再び分解された。

【0139】

分解されたテープは酸化物超電導体を形成するために熱処理された。テープは、反応中に均一な制御環境を確立するために、前後両方で、4 m の同様にコーティングされた Ni W リーダーテープと接合された。次にテープは以下のパラメータを用いて 785 °C で反応させられた。テープは、約 285 °C/min の平均傾斜率で 785 °C まで昇温された。反応中、反応中の総圧力は約 1 torr に制御された。 H_2O 部分圧力（分圧）は約 800 mtorr であり、酸素部分圧力は約 200 mtorr であった。反応時間は約 11 分であった。冷却中、約 1 torr の総圧力が、約 200 mtorr の酸素分力および約 800 mtorr の N_2 分力をもって使用された。

10

【0140】

反応した膜は、 $\sim 3 \mu m$ の Ag 保護層でコーティングされてから、760 torr 酸素環境で焼きなまされた。結果として生じる膜は、約 $\sim 500 / cm$ - 幅の I_c または 77 K、自己磁界 (self field) で約 $4 MA / cm^2$ の J_c を運んだ。75 K 及び 1 テスラでの臨界電流 (I_c) 対磁場配向 () は、図 12 に描かれている。75 K 及び 1 テスラでは、HTS ワイヤは $114 A / cm$ - 幅、及び $178 A / cm$ - 幅の I_c を、場がサンプル表面にそれぞれ垂直及び水平な状態で運んだ。これは約 1.5 という異方性に相当する。

20

【0141】

文献の引用

以下の文書は参照することにより本書に組み込まれている。つまり、参照することによりそのすべてが本書に引用されている、1993年7月27日に出版され、「MOD 前駆体溶液からの高度にテクスチャ加工された酸化物超電導膜の作成 (Preparation of High Textured Oxide Superconducting Films from MOD Precursor Solutions)」と題される米国特許第 5,231,074 号、2000年2月8日に発行され、「エピタキシャル層を用いて超電導体製品を製造するための低真空プロセス (Low Vacuum Process for Producing Superconductor Articles with Epitaxial Layers)」と題される米国特許第 6,022,832 号、2000年2月22日に発行され、「エピタキシャル層を製造するための低真空プロセス (Low Vacuum Process for Producing Epitaxial Layers)」と題される米国特許第 6,027,564 号、2001年2月20日に発行され、「無定形面に付着される岩塩状の構造を有する薄膜 (Thin Films Having Rock-Salt-Like Structure Deposited on Amorphous Surface)」と題される米国特許第 6,190,752 号、2000年10月5日に公開され、「合金材料 (Alloy Materials)」と題される公開番号第 00/58530 号国際公開公報、2000年10月5日に公開され、「合金材料 (Alloy Materials)」と題される公開番号第 58044 号国際公開公報、1999年4月8日に公開され、「酸化抵抗が改善された基板 (Substrates with Improved Oxidation Resistance)」と題される公開番号第 99/17307 号国際公開公報、1999年4月8日に公開され、「超電導体用基板」と題される国際公開公報第 99/16941 号、1998年12月23日に公開され、「金属オキシフルオライドの超電導酸化物への制御された変換 (Controlled Conversion of Metal Oxyfluorides into Superconduct

30

40

50

ing Oxides)」と題される国際公開公報第98/58415号、2001年2月15日に出版され、「多層製品及び銅を製造する方法(Multi-Layer Articles and Methods of Making Same)」と題される国際公開公報第01/11428号、2001年2月1日に公開された、「多層製品及び同を製造する方法(Multi-Layer Articles And Methods Of Making Same)」と題される国際公開公報第01/08232号、2001年2月1日に公開され、「多層製品を製造するための方法及び構成物(Methods and Compositions For Making A Multi-Layer Article)」と題される国際公開公報第01/08235号、2001年2月1日に公開され、「被覆導体厚膜前駆体(Coated Conductor Thick Film Precursor)」と題される国際公開公報第01/08236号、2001年2月1日に公開され、「A.C.損失が削減された被覆導体(Coated Conductors With Reduced A.C. Loss)」と題される国際公開公報第01/08169号、2001年3月1日に公開され、「表面制御合金基板及びその製造方法(Surface Control Alloy Substrates And Methods Of Manufacture Therefor)」と題される国際公開公報第01/15245号、2001年2月1日に公開され、「強化された純度酸化被膜の形成(Enhanced Purity Oxide Layer Formation)」と題される国際公開公報第01/08170号、2001年4月12日に公開され、「酸化被膜反応速度の制御(Control of Oxide Layer Reaction Rates)」と題される国際公開公報第01/26164号、2001年4月12日に公開され、「酸化被膜方法(Oxide Layer Method)」と題される国際公開公報第01/26165号、2001年2月1日に公開され、「強化された高温被膜超電導体(Enhanced High Temperature Coated Superconductors)」と題される国際公開公報第01/08233号、2001年2月1日に公開され、「超電導体を作る方法(Methods of Making A Superconductor)」と題される国際公開公報第01/08231号、2002年4月20日に公開され、「前駆体溶液及び同を使用する方法(Precursor Solutions and Method of Using Same)」と題される国際公開公報第02/35615号、2002年8月20日に発行され、「酸化物ブロンズ組成及びそれに従って製造されるテクスチャ加工された製品(Oxide Bronze Compositions and Textured Articles Manufactured in Accordance Therewith)」と題される米国特許第6,436,317号、2001年7月31日に出版され、「多層超電導体及び同を製造する方法(Multi-Layer Superconductors And Methods Of Making Same)」と題される米国仮特許出願出願番号第60/309,116号、2004年9月28日に発行され、「超電導体方法及びリアクタ(Superconductor Methods and Reactor)」と題される米国特許第6,797,313号、1999年11月18日に出版され、「超電導体製品及び構成物、ならびに同を製造するための方法(Superconductor Articles and Compositions and Methods for Making Same)」と題される米国仮特許出願出願番号第60/166,297号、2005年12月13日に発行され、「超電導体製品及び構成物、ならびに同を製造するための方法(Superconductor Articles and Methods for Making Same)」と題される、共同所有される米国特許第6,974,501号、2005年3月24日に公開され、「超電導体方法及びリアクタ(Superconductor Methods and Reactors)」と題される特許公報番号第2005-0065035号、2006年2月23日に公開され、「低AC損失フィラメント被覆超電導体(Low AC Loss Filamentary Coated Super

conductors)」と題される米国特許公報番号第2006-0040830号、2004年9月29日に出願され、「スタック式フィラメント超電導体(Stacked Filamentary Superconductors)」と題される米国特許出願第10/955,801号、2006年7月21日に出願され、「密封高温超電導体線の製造(Fabrication of Sealed High Temperature Superconductor Wires)」と題される米国特許出願(番号はまだ割り当てられていない)、2006年7月21日に出願され、「高温超電導テープを含む大電流コンパクト可撓導体(High Current, Compact Flexible Conductors Containing High Temperature Superconducting Tapes)」と題される米国仮特許出願(番号はまだ割り当てられていない)、2006年7月21日に出願され、「高温超電導体線のための低抵抗スプライス(Low Resistance Splice for High Temperature Superconducting Wires)」と題される米国仮特許出願(番号はまだ割り当てられていない)、及び2006年7月24日に出願され、「平面的な磁束ピンニング中心を有する高温超電導体及び同を製造するための方法(High Temperature Superconductors Having Planar Magnetic Flux Pinning Centers and Methods for Making the Same)」と題される米国仮特許出願(番号はまだ割り当てられていない)。

10

20

30

40

50

【0142】

その他の実施形態は、添付の特許請求の範囲内にある。

【図面の簡単な説明】

【0143】

【図1】図1は、強度が高まり、磁場が26Kと75Kで膜の平面的な面に平行に($H//ab$ 、 $\theta = 90^\circ$)、及び垂直に($H//c$ 、 $\theta = 0^\circ$)向けられる、磁場(H)中のY-123 HTS線の臨界電流(I_c)を描くグラフ。

【図2】図2は、1から7T(テスラ)の適用磁場での、図1のHTS線のために中間磁場配向($0^\circ < \theta < 90^\circ$)での磁場性能(I_c)を描くグラフ。

【図3】図3は、ソレノイド電磁石の端部回転の回りの磁場分布を描く図。

【図4】図4は、2つの超電導体層を有する2層HTS線の断面図であり、(A)は高い $I_c(ab)$ 、(B)は高い $I_c(c)$ 、及び(C)は高い $I_c(ab)$ と $I_c(c)$ のそれぞれ1つの層であり、図4Dは、銅の層間を有する2つの層HTS線の断面図である。

【図5】図5は、(A)が高い $I_c(ab)$ であり、(B)が高い $I_c(c)$ であり、(C)が高い $I_c(ab)$ と $I_c(c)$ のそれぞれ1つの層である、2つの超電導体層を有する両面HTS線の断面図である。

【図6】図6は、1Tと3Tで測定された多様な組成の酸化物超電導体のための75Kでの臨界電流 I_c 対磁場配向(θ)のプロットである。

【図7】図7は、そのそれぞれの基板で接合される2つのHTSアセンブリの断面図であり、第1のアセンブリは高い $I_c(ab)$ を有する超電導体層を有し、第2のアセンブリは高い $I_c(c)$ を有する第2の超電導体層を有する。

【図8】図8は、そのそれぞれのキャップ層で接合された2つのHTSアセンブリの断面図であり、第1のアセンブリは高い $I_c(ab)$ を有する超電導体層を有し、第2のアセンブリは高い $I_c(c)$ を有する第2の超電導体層を有する。

【図9】図9は、そのそれぞれの基板で接合され、導電性構造によって取り囲まれている2つのHTSアセンブリの断面図である。

【図10】図10は、本発明の1つまたは複数の実施形態による積層されたHTS線を製造するために使用される積層プロセスの絵で表した説明図である。

【図11】図11は、本発明の1つまたは複数の実施形態によるHTSを製造するために使用される例示的なプロセスの流れ図を示す。

【図 1 2】図 1 2 は、例 3 に説明されている H T S 線の 7 7 K 及び 1 テスラでの臨界電流 (I_c) 対磁場配向 () の図 (グラフ) である。

【図 1】

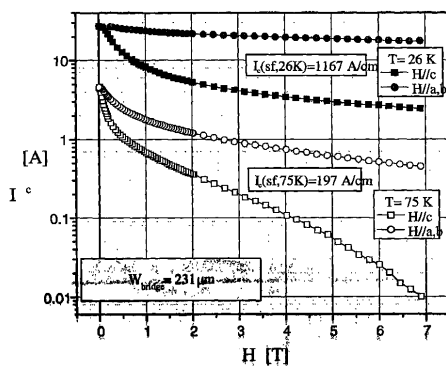
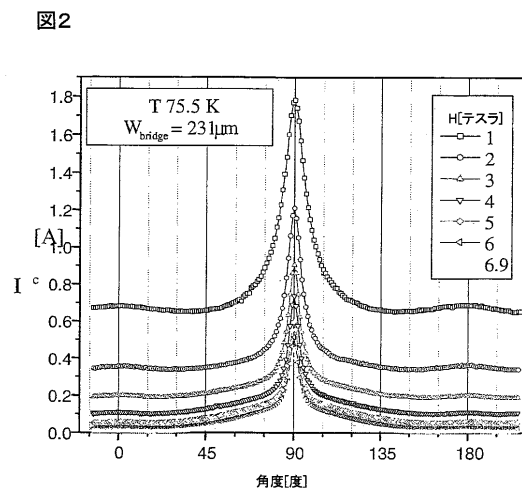


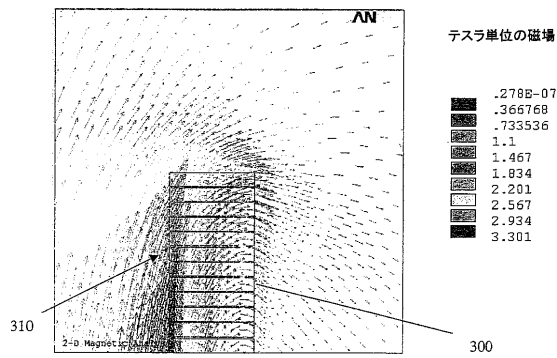
Figure 1

【図 2】



【図 3】

図3



【図 4 B】

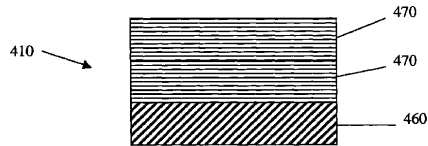


Figure 4B

【図 4 C】

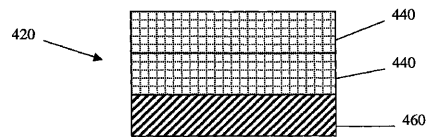


Figure 4C

【図 4 A】

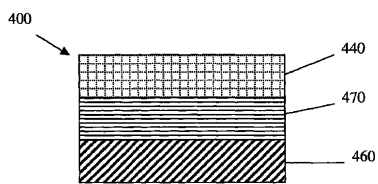


Figure 4A

【図 4 D】

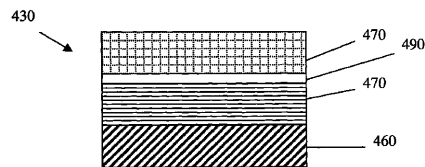


Figure 4D

【図 5 A】

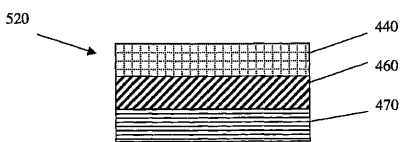


Figure 5A

【図 5 B】



Figure 5B

【図 5 C】

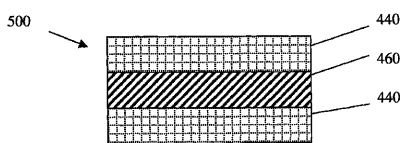


Figure 5C

【図 6】

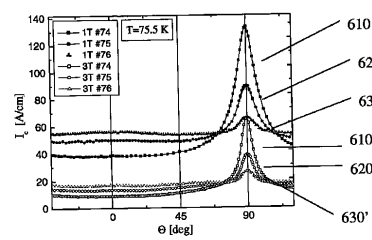


Figure 6

【図 7】

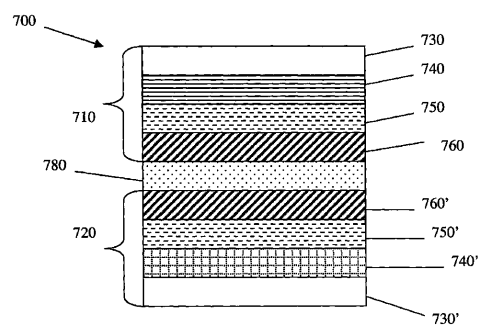


Figure 7

【図 8】

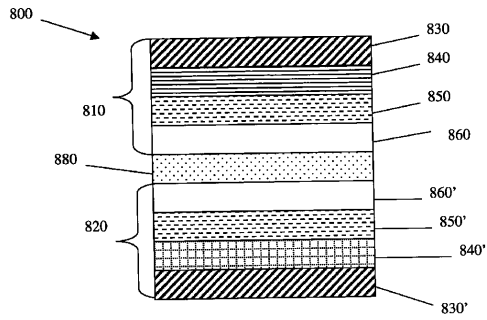


Figure 8

【図 9】

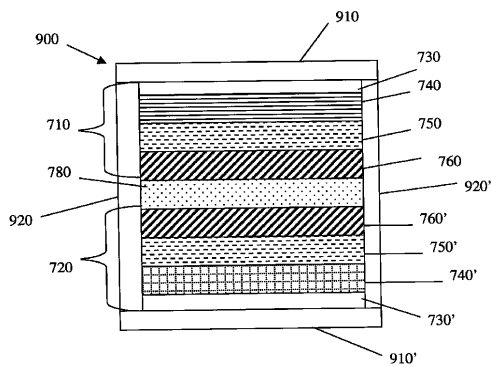
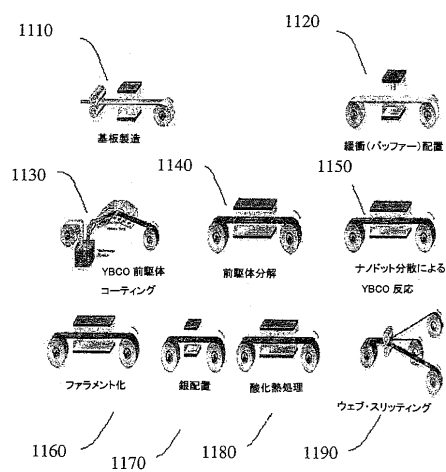


Figure 9

【図 11】

図 11



【図 10】

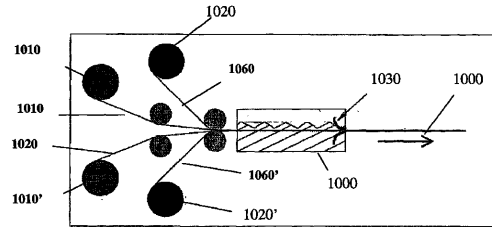


Figure 10

【図 12】

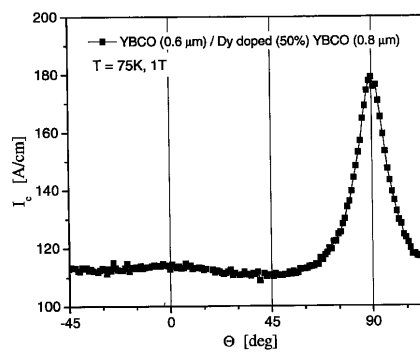


Figure 12

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 ツァン, ウエイ

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01545, シュリュースベリー, ビーナス ドライブ
37

(72)発明者 フアン, イーピング

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01532, ノースバーロウ, オーチャード サークル
10

(72)発明者 リー, シャオピン

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01581, ウェストバーロウ, #820, ターンパイク
ロード 295

(72)発明者 シーガル, エドワード ジェイ.

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 02148, マールデン, ポーター ストリート 65

(72)発明者 ルピッチ, マーチン ダブリュー.

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 01701, フラミンガム, パーメンター ロード 33

Fターム(参考) 4G047 JA05 JB02 JC02 KA02 KA14 KB06 KB14 KC02 KD09 LA01

LA02

5G321 AA02 AA04 BA01 BA03 CA04 CA05 CA18 CA21 CA24 CA27

DB22