

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015 年 11 月 12 日(12.11.2015)

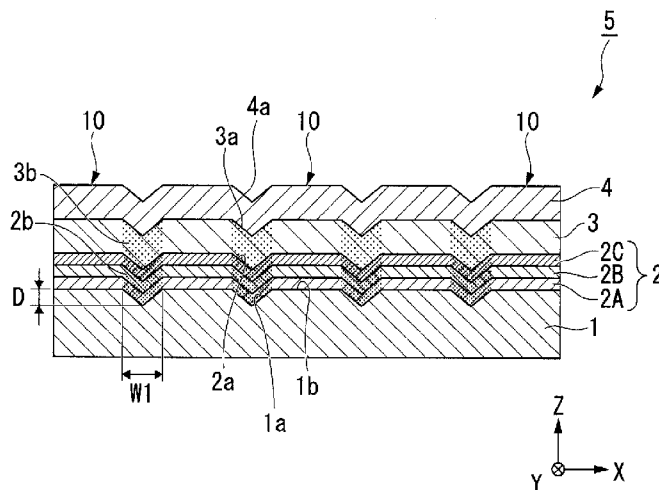


(10) 国際公開番号
WO 2015/170699 A1

- (51) 国際特許分類:
H01B 12/06 (2006.01) H01F 6/06 (2006.01)
H01B 13/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/063184
- (22) 国際出願日: 2015 年 5 月 7 日(07.05.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-096582 2014 年 5 月 8 日(08.05.2014) JP
特願 2014-251933 2014 年 12 月 12 日(12.12.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.)
[JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場 1 丁目 5 番
1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 栗原 駿 (KURIHARA Chihaya); 〒2858550
千葉県佐倉市六崎 1 4 4 〇 番地 株式会社フジ
クラ 佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA Masatake et al.); 〒
1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号
Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,
ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,
MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM,
ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: OXIDE SUPERCONDUCTING WIRE MATERIAL AND OXIDE SUPERCONDUCTING WIRE MATERIAL PRO-
DUCTION METHOD

(54) 発明の名称: 酸化物超電導線材及び酸化物超電導線材の製造方法



(57) Abstract: This oxide superconducting wire material comprises: a base material (1, 11, 21, 31, 41, 51); an intermediate layer (2, 12, 22, 32, 42, 52) layered on the main surface of the base material, having one or more oriented layers, and having one or a plurality of non-oriented regions (2b, 3b, 12b, 13b, 22b, 23b, 32b, 33b, 43b, 52b, 53b) extending along the length direction of the wire material; and an oxide superconducting layer (3, 13, 23, 33, 43, 53) layered on the intermediate layer, whereof the crystal orientation is controlled by the intermediate layer, and having a non-oriented region located above the non-oriented region of the intermediate layer. The oxide superconducting wire material is made into multiple filaments.

(57) 要約: 本発明の酸化物超電導線材は、基材 (1、11、21、31、41、51) と、前記基材の主
面上に積層され、配向性を有する 1 又は 2 以上の層を有し、線材の長さ方向に沿って延びる一本又は複数
本の非配向領域 (2b、3b、12b、13b、22b、23b、32b、33b、43b、52b、53b) を有する中間層 (2、12、22、32、42、52) と、前記中間層上に積層され、前記中間層
により結晶配向制御され、前記中間層の前記非配向領域上に位置する非配向領域を有する酸化物超電導層
(3、13、23、33、43、53) と、を有し、マルチフィラメント化されている。

WO 2015/170699 A1

明 細 書

発明の名称：酸化物超電導線材及び酸化物超電導線材の製造方法 技術分野

[0001] 本発明は、酸化物超電導線材及び酸化物超電導線材の製造方法に関する。

本願は、2014年5月8日に日本に出願された特願2014-96582号及び2014年12月12日に日本に出願された特願2014-251933号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] RE-123系の酸化物超電導体 ($REBa_2Cu_3O_{7-x}$: REはYを含む希土類元素) は、液体窒素温度で超電導性を示し、電流損失が低いため、実用上極めて有望な素材である。この酸化物超電導体を線材に加工して電力供給用の導体あるいは電磁コイル等として使用することが要望されている。

この酸化物超電導線材を用いた構造の一例として、機械的強度の高い金属製の基材を用い、基材の表面にイオンビームアシスト蒸着法 (IBAD法) により結晶配向性の良好な中間層を形成し、中間層の表面に成膜法により酸化物超電導層を形成し、酸化物超電導層の表面にAgなどの良導電材料からなる金属安定化層を形成することで得られる酸化物超電導線材が知られている。

[0003] 酸化物超電導線材に、面と垂直な方向の時間的に変化する磁界成分が加わると、酸化物超電導層の面内に、ループ状の遮蔽電流が流れる。遮蔽電流は、熱として放出される磁化損失をもたらす。したがって大きな遮蔽電流が生じると、酸化物超電導線材のエネルギー効率が低下するという問題があった。また、酸化物超電導線材をコイル状に加工して通電して磁場を発生させた際に、遮蔽電流により磁場が遮蔽されて設計通りの磁場が発生できないという問題があった。

また、遮蔽電流は、時間とともに減衰する。したがって、酸化物超電導線材を時間的に変動しない静磁場を生じさせる超電導装置に適用する場合に、

遮蔽電流の減衰により磁場が経時変化してしまうという問題があった。

[0004] 遮蔽電流、及び遮蔽電流に起因する磁化損失の大きさは、酸化物超電導層の幅に依存する。したがって、酸化物超電導線材を複数の線材に分割し、線材を細線化（マルチフィラメント化）することで、遮蔽電流及び磁化損失を低減できることが知られている。

[0005] また、酸化物超電導線をモータや変圧器などの交流応用機器に利用する場合は、酸化物超電導線材を複数の線材に分割し、線材を細線化することで、流される交流電流に基づく変動磁場による交流損失を低減できることが知られている。

酸化物超電導線材を複数の線材に分割し、線材を細線化する手法の一例として、線材の上面からその長さ方向に沿ってレーザ光線を照射したり、エッチングするなどして溝を形成し、酸化物超電導層を分断する方法（例えば、特許文献1、特許文献2）等が知られている。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：日本国特開2007-141688号公報

特許文献2：日本国特開2011-96566号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上述した分割及び細線化の手法は、酸化物超電導線材の一部に直接加工を加えるために、溝以外の酸化物超電導導体が損傷し、超電導特性が劣化する虞があった。

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであって、酸化物超電導線材の特性の低下を抑制しつつ遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失を低減した酸化物超電導線材の提供を目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するため、本発明の第1態様に係る酸化物超電導線材は、

基材と、前記基材の主面上に積層され、配向性を有する 1 又は 2 以上の層を有し、線材の長さ方向に沿って延びる一本又は複数本の非配向領域を有する中間層と、前記中間層上に積層され、前記中間層により結晶配向制御され、前記中間層の前記非配向領域上に位置する非配向領域を有する酸化物超電導層と、を有し、マルチフィラメント化されている。

この構成によれば、中間層が非配向領域を有しているために、酸化物超電導層において非配向領域上に積層された積層部分の配向性が乱れ、酸化物超電導層に非配向領域が形成され、この積層部分は超電導特性を有さない。これにより、酸化物超電導層は非配向領域によって分断されて、酸化物超電導線材が、実質的に、2 本以上の線材に分割され（マルチフィラメント化）れ、酸化物超電導線材が細線化されて交流損失が低減される。更に、遮蔽電流及び磁化損失が低減される。

また、このような酸化物超電導線材は、酸化物超電導層の積層後に直接加工を行う必要がないため、酸化物超電導層が損傷して劣化する虞がない。

[0009] 本発明の第 1 態様に係る酸化物超電導線材においては、前記基材の前記主面又は前記中間層を構成する層のうち何れかの層の主面に設けられた配向阻害領域を有し、前記配向阻害領域は、前記配向阻害領域の上に積層される層の結晶配向性を阻害して前記非配向領域を形成させる領域であってもよい。

この構成によれば、配向阻害領域を形成することで、配向阻害領域の上の層に非配向領域を形成することができる。したがって、酸化物超電導層を積層後に直接加工を行う必要がなく、酸化物超電導線材における非配向領域以外の領域における超電導特性が悪化することがない。

[0010] 本発明の第 1 態様に係る酸化物超電導線材においては、前記配向阻害領域が、前記基材の前記主面又は前記中間層を構成する前記層のうち何れかの層の前記主面に形成された凹溝部であってもよい。

この構成によれば、基材又は中間層に凹溝部を形成することで、酸化物超電導線材を容易に複数の線材に分割し、酸化物超電導線材を細線化することができる。

[0011] 本発明の第1態様に係る酸化物超電導線材においては、前記中間層が、配向層と、前記配向層上に積層されたキャップ層と、を有し、前記キャップ層上に前記酸化物超電導層が積層され、前記凹溝部が、前記キャップ層により覆われてもよい。

この構成によれば、凹溝部がキャップ層に覆われていることで、基材を形成する金属材料が酸化物超電導層へ拡散することを、キャップ層により抑制できる。これにより、酸化物超電導層の特性劣化を抑制できる。

[0012] 本発明の第1態様に係る酸化物超電導線材においては、前記配向阻害領域が、前記基材の前記主面又は前記中間層を構成する前記層のうち何れかの層の前記主面に形成された凸条部であってもよい。

この構成によれば、基材又は中間層に凸条部を形成することで、酸化物超電導線材を容易に複数の線材に分割し、酸化物超電導線材を細線化することができる。

[0013] 本発明の第1態様に係る酸化物超電導線材においては、前記配向阻害領域が、前記基材の前記主面又は前記中間層を構成する前記層のうち何れかの層の前記主面に形成された粗面部であり、前記粗面部は、前記粗面部が形成されていない部位より相対的に算術平均粗さ R_a が大きい領域であってもよい。

この構成によれば、基材又は中間層に粗面部を形成することで、酸化物超電導線材を容易に複数の線材に分割し、酸化物超電導線材を細線化することができる。

[0014] 本発明の第1態様に係る酸化物超電導線材においては、前記粗面部の算術平均粗さ R_a は、5 nm以上1000 nm以下であってもよい。

この構成によれば、容易に、また確実に酸化物超電導層に非配向領域を形成することができる。

[0015] 上記課題を解決するため、本発明の第2態様に係る酸化物超電導線材の製造方法は、主面を有する基材を準備し、前記基材の前記主面に、線材の長さ方向に沿って一本又は複数本の配向阻害領域を形成し、前記配向阻害領域を

形成した後に、前記基材の前記主面上及び前記配向阻害領域上に、1又は2以上の層からなる中間層を積層し、前記中間層上に、前記中間層によって結晶配向制御される酸化物超電導層を積層し、前記配向阻害領域の上側に位置する前記酸化物超電導層に非配向領域を形成し、酸化物超電導線材をマルチフィラメント化する。

上記課題を解決するため、本発明の第3態様に係る酸化物超電導線材の製造方法は、主面を有する基材を準備し、前記基材の前記主面上に、1又は2以上の層からなる中間層を積層し、前記中間層を構成する前記層のうち何れかの層を積層した後に、前記積層された層の主面に、線材の長さ方向に沿って一本又は複数本の配向阻害領域を形成し、前記中間層上及び前記配向阻害領域上に、前記中間層によって結晶配向制御される酸化物超電導層を積層し、前記配向阻害領域の上側に位置する前記酸化物超電導層に非配向領域を形成し、酸化物超電導線材をマルチフィラメント化する。

この構成によれば、基材、又は中間層を構成する前記層のうち何れかの層の主面に配向阻害を形成することで、酸化物超電導層に非配向領域を形成することができる。これにより、酸化物超電導層が非配向領域によって複数に分割され、細線化された（マルチフィラメント化された）酸化物超電導線材を提供することができる。酸化物超電導層は、積層後に直接加工されることがなく酸化物超電導層の配向領域以外の領域における超電導特性が悪化することがない。

[0016] 本発明の第2態様又は第3態様に係る酸化物超電導線材の製造方法においては、前記配向阻害領域が、凹溝部であり、前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に前記凹溝部を形成してもよい。

この構成によれば、基材又は中間層に凹溝部を形成することで、酸化物超電導線材を容易に複数の線材に分割し、酸化物超電導線材を細線化することができる。

[0017] 本発明の第2態様又は第3態様に係る酸化物超電導線材の製造方法においては、前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に加工工具を押し当てて

、線材を長さ方向に移動させることで前記凹溝部を形成してもよい。

この構成によれば、主面に工具を押し当てて線材を移動させることで、安定した深さ及び幅を有する直線状の凹溝部を容易に形成することができる。直線状の凹溝部は、配向阻害領域として機能するため、酸化物超電導層を非配向領域によって分断して、酸化物超電導線材を複数の線材に分割し、酸化物超電導線材を容易に細線化することができる。なお、中間層に凹溝部を形成する場合には、中間層は凹溝部で配向性が乱されて非配向領域を形成する。

[0018] 本発明の第2態様又は第3態様に係る酸化物超電導線材の製造方法においては、前記配向阻害領域が、凸条部であり、前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に前記凸条部を形成してもよい。

この構成によれば、基材又は中間層に凸条部を形成することで、酸化物超電導線材を容易に複数の線材に分割し、酸化物超電導線材を細線化することができる。

[0019] 本発明の第2態様又は第3態様に係る酸化物超電導線材の製造方法においては、前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に固着剤を付着させることで前記凸条部を形成してもよい。

この構成によれば、主面に固着剤を付着させることで、容易に凸条部を形成することができる。この凸条部は、配向阻害領域として機能するため、容易に酸化物超電導線材を複数の線材に分割し、酸化物超電導線材を細線化することができる。

[0020] 本発明の第2態様又は第3態様に係る酸化物超電導線材の製造方法においては、前記配向阻害領域が、粗面部であり、前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に前記粗面部を形成してもよい。

この構成によれば、基材又は中間層に粗面部を形成することで、酸化物超電導線材を容易に複数の線材に分割し、酸化物超電導線材を細線化することができる。

[0021] 本発明の第2態様又は第3態様に係る酸化物超電導線材の製造方法におい

ては、前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面にレーザ照射することで前記粗面部を形成してもよい。

この構成によれば、前記主面にレーザを照射することで、容易に粗面部を形成することができる。この粗面部は、配向阻害領域として機能するため、容易に酸化物超電導線材を複数の線材に分割し、酸化物超電導線材を細線化することができる。なお、中間層に粗面部を形成する場合には、中間層は粗面部で配向性が乱されて非配向領域を形成する。

発明の効果

[0022] 本発明の上述した態様に係る酸化物超電導線材は、中間層が非配向領域を有しているために、酸化物超電導層において非配向領域上に積層された積層部分の配向性が乱れ、この積層部分は超電導特性を有さない。これにより、酸化物超電導線材は、実質的に、複数の線材に分割され、酸化物超電導線材が細線化され、遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失が低減される。

また、このような酸化物超電導線材は、酸化物超電導層の積層後に直接加工を行う必要がないため、酸化物超電導層が損傷して劣化する虞がない。

図面の簡単な説明

[0023] [図1A]第1実施形態に係る酸化物超電導線材を模式的に示す断面傾視図である。

[図1B]第1実施形態に係る酸化物超電導線材を模式的に示す断面図である。

[図2]第1実施形態に係る酸化物超電導線材の製造方法に係る第1凹溝部加工装置を示す概略図である。

[図3]第2実施形態に係る酸化物超電導線材を模式的に示す断面図である。

[図4]第2実施形態に係る酸化物超電導線材の製造方法に係る第1凸条部加工装置を示す概略図である。

[図5]第3実施形態に係る酸化物超電導線材を模式的に示す断面図である。

[図6A]第4実施形態に係る酸化物超電導線材を模式的に示す断面図である。

[図6B]第4実施形態に係る酸化物超電導線材を模式的に示す断面拡大図であ

る。

[図7]第5実施形態に係る酸化物超電導線材を模式的に示す断面図である。

[図8]第6実施形態に係る酸化物超電導線材を模式的に示す断面図である。

[図9]試験例におけるサンプルである酸化物超電導層の一部を硝酸によりエッチングして除去して撮影して得られたSEM画像である。

[図10]試験例におけるサンプルであるCeO₂キャップ層を示す図であって、電子線後方散乱回折法によって得られた画像である。

[図11]試験例におけるサンプルNo. 4である酸化物超電導線材の配向層を撮影して得られたSEM画像である。

[図12]試験例におけるサンプルNo. 4であるCeO₂キャップ層を示す図であって、電子線後方散乱回折法によって得られた画像である。

[図13]試験例におけるサンプルNo. 5、No. 6の磁化損失の測定結果を示すグラフである。

[図14A]試験例におけるサンプルNo. 5（2分割線材）を示す図であって、磁気光学観察により撮影して得られた画像である。

[図14B]試験例におけるサンプルNo. 6（無分割線材）を示す図であって、磁気光学観察により撮影して得られた画像である。

[図15]試験例におけるサンプルNo. 5、No. 6の交流損失の測定結果を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、本発明に係る酸化物超電導線材の実施形態について図面に基づいて説明する。なお、以下の説明に用いる各図面では、各部材を認識可能な大きさとするため、各部材の縮尺を適宜変更している。各構成要素の寸法及び比率を実際のものとは適宜に異ならせてある。また、本発明は以下の実施形態に限定されない。

[0025] <第1実施形態>

まず、第1実施形態について説明する。

図1Aは、本実施形態に係る酸化物超電導線材5を示す断面斜視図である

。図 1 B は、本実施形態に係る酸化物超電導線材 5 を示す横断面模式図である。

図 1 A 及び図 1 B に示すように、本実施形態に係る酸化物超電導線材 5 は、基材 1 上に、中間層 2、酸化物超電導層 3 及び金属安定化層 4 がこの順に積層されている。また、この酸化物超電導線材 5 の中間層 2 及び酸化物超電導層 3 には、非配向領域 2 b、3 b が形成されている。

[0026] 基材 1 の主面 1 b には、間隔をおいて平行に配置された複数本の第 1 凹溝部 1 a が形成されている。この第 1 凹溝部 1 a は、配向阻害領域として機能する。これにより、この第 1 凹溝部 1 a 上に形成される中間層 2 と酸化物超電導層 3 の配向性が阻害され、第 1 凹溝部 1 a の上に形成される中間層 2 及び酸化物超電導層 3 に、非配向領域 2 b、3 b が形成される。

酸化物超電導層 3 の非配向領域 3 b は、超電導特性を有さないため、使用時には高抵抗領域となり、電流が流れにくくなる。したがって、酸化物超電導層 3 は非配向領域 3 b によって分断されるため、実質的に、2 本以上の線材に分割され、酸化物超電導層 3 が細線化される。これにより、酸化物超電導線材 5 は、並行する複数のフィラメント 10（マルチフィラメント）に分割された構成（マルチフィラメント構造）を有する。

[0027] なお、本明細書において、非配向領域とは、結晶が配向性を示す領域を含む層において、配向性を示さない領域を意味する。また、配向阻害領域とは、上に積層される層の結晶配向性を阻害する領域である。なお、配向阻害領域は、別の層を介して積層された層の配向性をも阻害する。

[0028] 以下、酸化物超電導線材 5 を形成する各部の構成について詳細に説明する。

基材 1 は、超電導線材の基材として使用し得る基材であれば、基材の種類は限定されない。基材 1 は、耐熱性を有する金属で形成されていることが好ましい。基材 1 の材料としては、耐熱性の金属の中でも、合金が好ましく、ニッケル（Ni）合金又は銅（Cu）合金がより好ましい。なかでも、市販品であれば、ハステロイ（商品名、ヘインズ社製）が好適であり、モリブデ

ン (Mo)、クロム (Cr)、鉄 (Fe)、コバルト (Co) 等の成分量が異なる、ハステロイ B、C、G、N、W 等の何れの種類も使用できる。また、基材 1 として、金属結晶の配向が揃った配向基板を用いても良い。

本実施形態においては、基材 1 の形状は、長尺のテープ形状であるが、例えば、シート形状であっても良い。基材 1 の厚みは、目的に応じて適宜調整すれば良く、 $10 \sim 500 \mu\text{m}$ の範囲とすることができる。

[0029] 基材 1 の主面 1 b には、間隔をおいて平行に配置された複数本の第 1 凹溝部 (配向阻害領域) 1 a が形成されている。第 1 凹溝部 1 a は、基材 1 の主面 1 b に形成された V 字状の溝であり、基材 1 の長手方向に直線状に長手方向に延びている。

第 1 凹溝部 1 a の深さ D は、 $0.3 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 以下、幅 W 1 は、 $10 \mu\text{m}$ 以上 $500 \mu\text{m}$ 以下、とすることが好ましい。

第 1 凹溝部 1 a の深さ D を $0.3 \mu\text{m}$ 以上とすることでこの第 1 凹溝部 1 a 上に形成される部分の中間層 2 に非配向領域 2 b を形成することができる。また、第 1 凹溝部 1 a の深さ D を $10 \mu\text{m}$ 以下とすることで、基材 1 の強度を維持することができる。

第 1 凹溝部 1 a の幅 W 1 を $10 \mu\text{m}$ 以上とすることで十分な幅を有する非配向領域 2 b を形成することができる。また、第 1 凹溝部 1 a の幅 W 1 を $500 \mu\text{m}$ 以下とすることで、酸化物超電導層 3 の非配向領域 3 b の幅を狭くして臨界電流密度を確保することができる。

なお、本実施形態において、第 1 凹溝部 1 a は、V 字状の溝であるとしたが、凹溝部の形状はこれに限られない。中間層 2 に非配向領域 2 b を形成することができる溝形状であれば、溝の形状は限定されない。

[0030] 中間層 2 は、基材 1 の主面 1 b 上に形成される。中間層 2 の構造としては、下地層 2 A と、配向層 2 B、及びキャップ層 2 C がこの順に積層された構造を適用することができる。下地層 2 A は、拡散防止層及びベッド層の何れか一方又は両方からなる。

[0031] 拡散防止層は、拡散防止層よりも上面に他の層 (拡散防止層とは異なる層

）を形成する際に加熱処理した結果、基材 1 や他の層が熱履歴を受ける場合に、基材 1 の構成元素の一部が拡散し、不純物として酸化物超電導層 3 側に混入することを抑制する機能を有する。拡散防止層は、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 、 GZO ($\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$) 等から構成され、例えば、厚み 10～400 nm に形成される。

[0032] ベッド層は、基材 1 と酸化物超電導層 3 との界面における構成元素の反応を抑え、ベッド層よりも上方（ベッド層の上面）に設ける層の配向性を向上させるために設けられる。ベッド層は、界面反応性を低減し、ベッド層の上に形成される膜の配向性を得るため層である。ベッド層は、 Y_2O_3 、 CeO_2 、 DY_2O_3 、 Er_2O_3 、 Eu_2O_3 、 Ho_2O_3 、 La_2O_3 等からなり、ベッド層の厚みは、例えば、10～100 nm である。

[0033] 配向層 2 B は、配向層 2 B の上に形成されるキャップ層 2 C や酸化物超電導層 3 の結晶配向性を制御するために設けられる。配向層 2 B は、配向層 2 B の上に形成されるキャップ層 2 C の結晶配向性を制御するために 2 軸配向する物質から形成される。配向層 2 B の材質としては、 $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 、 MgO 、 $\text{ZrO}_2\text{--Y}_2\text{O}_3$ (YSZ)、 SrTiO_3 、 CeO_2 、 Y_2O_3 、 Al_2O_3 、 Gd_2O_3 、 Zr_2O_3 、 Ho_2O_3 、 Nd_2O_3 等の金属酸化物を例示することができる。この配向層 2 B は IBAD (Ion-Beam-Assisted Deposition) 法で形成することが好ましい。

[0034] キャップ層 2 C は、酸化物超電導層 3 の結晶配向性を配向層 2 B と同等、あるいは、それ以上に強くなるように結晶配向性を制御するために設けられる。キャップ層 2 C は、上述の配向層 2 B の表面に成膜されて結晶粒が面内方向に自己配向し得る材料で形成される。キャップ層 2 C の材料としては、具体的には、 CeO_2 、 Y_2O_3 、 Al_2O_3 、 Gd_2O_3 、 ZrO_2 、YSZ、 Ho_2O_3 、 Nd_2O_3 、 LaMnO_3 等が挙げられる。キャップ層 2 C の膜厚が 50～5000 nm の範囲となるようにキャップ層 2 C を形成することができる。

なお、基材として配向基板を用いる場合は、中間層は、IBAD 法を用い

ずに、複数の層から構成される。

[0035] 中間層 2 において、特に配向層 2 B 及びキャップ層 2 C は、キャップ層 2 C の上に形成される酸化物超電導層 3 の配向性を制御するために設けられている。配向層 2 B 及びキャップ層 2 C が配向性を有することで、配向層 2 B 及びキャップ層 2 C の上に形成される酸化物超電導層 3 の配向性を制御できる。したがって、配向層 2 B 及びキャップ層 2 C が配向性を有していない場合には、配向層 2 B 及びキャップ層 2 C の上に形成される酸化物超電導層 3 も配向性を有することができない。

[0036] 中間層 2 の配向性は、中間層 2 が積層される基材 1 の主面 1 b の表面性状に依存する。主面 1 b の表面が傾いていたり、主面 1 b の表面が粗いといった場合には、中間層 2 の層内で結晶の成長方向が乱れ、酸化物超電導層 3 の下地として好適な配向性を得ることができない。

本実施形態においては、基材 1 の主面 1 b に第 1 凹溝部 1 a が形成され、被成膜面に傾いた面が形成されているため、この第 1 凹溝部 1 a 上に形成される中間層 2 の配向が乱れる。これにより、中間層 2 において、基材 1 の第 1 凹溝部 1 a 上に形成される部分には、第 1 凹溝部 1 a に対応する非配向領域 2 b が形成される。また、第 1 凹溝部 1 a 上に形成される中間層 2 は、第 1 凹溝部 1 a を転写するように、第 1 凹溝部 1 a の表面に第 2 凹溝部 2 a が形成される。第 2 凹溝部 2 a は、第 1 凹溝部 1 a と同様に、V 字状の溝となる。

[0037] 中間層 2 の厚みに対して、基材 1 の第 1 凹溝部 1 a の深さ D が浅い場合には、中間層 2 の積層により、第 1 凹溝部 1 a が埋め込まれ、中間層 2 の表面に第 2 凹溝部 2 a が形成されない場合がある。この場合であっても中間層 2 の表面に非配向領域 2 b が形成されていれば、酸化物超電導層 3 に非配向領域 3 b を形成することができる。

[0038] 酸化物超電導層 3 を形成する材料は、酸化物超電導体として公知の材料が選択され、具体的には、RE-123 系と呼ばれる $REBa_2Cu_3O_{7-x}$ (R は希土類元素である Sc、Y、La、Ce、Pr、Nd、Pm、Sm、E

u、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Luのうちの1種又は2種以上を表す)を例示できる。この酸化物超電導層3として、 Y_{123} ($YBa_2Cu_3O_{7-x}$) 又は Gd_{123} ($GdBa_2Cu_3O_{7-x}$) などを例示できる。

酸化物超電導層3の厚みは、0.5～5 μm 程度であって、均一な厚みであることが好ましい。

[0039] 酸化物超電導層3において、中間層2の非配向領域2b上に形成される部分は、結晶の配向が乱れた非配向領域3bとなる。また、この非配向領域3bには、中間層2の第2凹溝部2aを転写するように第3凹溝部3aが形成されている。

酸化物超電導層3は、中間層2（特に配向層2B、キャップ層2C）によって配向性が制御されている。したがって、中間層2の非配向領域2b上に形成された部分は、超電導状態を発現するのに十分な結晶配向性を有さない。

加えて、中間層2の非配向領域2bの表面にはV字状の溝である線状の第2凹溝部2aが形成されている。酸化物超電導層3の配向性は、中間層2の配向性のみならず、中間層2の表面性状にも依存する。このように中間層2の非配向領域2b上に第2凹溝部2aが形成されていることで、第2凹溝部2aの上に形成される酸化物超電導層3を構成する結晶は、より配向しにくくなる。なお、中間層2の表面に第2凹溝部2aが形成されていない場合であっても、非配向領域2bが形成されていれば、その上に形成される酸化物超電導層3にも、非配向領域3bが形成される。しかしながら、第2凹溝部2aが形成されていることで酸化物超電導層3の非配向領域3bの非配向性が顕著となる。

[0040] この非配向領域3bは、配向性が乱されていることにより、超電導特性を有さない、又は臨界電流が著しく低い。したがって、極低温で酸化物超電導線材5に電流を流すと、非配向領域3bには電流が流れにくく、酸化物超電導層3を実質的に分断する。

非配向領域 3 b によって酸化物超電導層 3 が幅方向に区画されていることによって、酸化物超電導層 3 は、非配向領域 3 b によって分割されて細線化された複数本の超電導線（マルチフィラメント）として機能する。

非配向領域 3 b は、酸化物超電導層 3 を幅方向に区画するように形成されていれば、第 2 凹溝部 2 a 上の部分全体に形成されていなくても良い。即ち、非配向領域 3 b は、非配向領域 3 b を挟んで隣り合う配向性の高い酸化物超電導層 3 同士の電流を阻害できれば、部分的に幅が広くなったり狭くなったりしても良い。

[0041] 金属安定化層（保護層）4 は、A g 又は A g 合金などの良電導性を有する材料で形成されている。金属安定化層 4 は、酸化物超電導層 3 に対する接触抵抗が低く、酸化物超電導層 3 に対してなじみの良い層として形成される。金属安定化層 4 は、スパッタ法などの成膜法により積層されて、金属安定化層 4 の厚さは、1 ～ 3 0 μ m 程度とされる。

金属安定化層 4 の表面には、酸化物超電導層 3 の第 3 凹溝部 3 a を転写するように、第 4 凹溝部 4 a が形成される。

[0042] 金属安定化層 4 としては、A g 又は A g 合金の層（保護層）に金属テープやめっき層が積層された構成が採用されてもよい。具体的に、A g 又は A g 合金の層（保護層）を酸化物超電導層上に積層した後に、さらに、保護層の上に金属テープやめっき層が積層された構成であってもよい。

金属安定化層 4 の上に、あるいは、酸化物超電導線材 5 の周囲に、半田層を介して金属テープを積層しても良い。この場合、金属テープとしては、銅、C u - Z n 合金、C u - N i 合金等の銅合金、アルミニウム又はアルミニウム合金、ステンレス等の比較的安価な導電性の金属材料を用いることができる。

積層された金属テープは、酸化物超電導層 3 が超電導状態から常電導状態に遷移しようとした時、金属安定化層 4 とともに、酸化物超電導層 3 の電流を転流するバイパスとして機能する。金属テープの厚さは、例えば、1 0 ～ 3 0 0 μ m とすることができる。酸化物超電導線材 5 の周囲に銅などのめっ

き層を形成する場合も、上述の金属テープを用いる場合と同様の機能が得られる。金属安定化層の構成は、他の実施形態に適用できる。

[0043] この酸化物超電導線材5は、さらに、全体が絶縁性の被覆層で被覆されていても良い（図示略）。被覆層で酸化物超電導線材5が被覆されることにより、酸化物超電導線材5の全体が保護され、安定した性能の酸化物超電導線材5が得られる。

被覆層は、例えば、酸化物超電導線材等の絶縁被覆に通常使用される、各種樹脂や酸化物等の公知の材質で形成されているのが好ましい。

前記樹脂として具体的には、ポリイミド樹脂、ポリアミド樹脂、エポキシ樹脂、アクリル樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、ポリエステル樹脂、ケイ素樹脂、シリコン樹脂、アルキッド樹脂、ビニル樹脂等が例示できる。また、紫外線硬化性樹脂が好ましい。

前記酸化物としては、 CeO_2 、 Y_2O_3 、 $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ 、 Gd_2O_3 、 $\text{ZrO}_2-\text{Y}_2\text{O}_3$ （YSZ）、 Zr_2O_3 、 Ho_2O_3 等が例示できる。

被覆層による被覆の厚さは、特に限定されず、被覆対象部位等に応じて、適宜調節すれば良い。

被覆層は、被覆層の材質に応じて公知の方法で形成すれば良く、例えば、原料を酸化物超電導線材5上に塗布して、塗布膜を硬化させて被覆層を形成すれば良い。また、シート状の被覆が入手できる場合には、シート状の被覆を使用して酸化物超電導線材5上に積層しても良い。

[0044] この酸化物超電導線材5の酸化物超電導層3には、間隔をおいて並行に延びる複数本の非配向領域3bが形成されている。この非配向領域3bにより、酸化物超電導層3は分断され、酸化物超電導線材5は、複数のフィラメント10に分割されている。各フィラメント10は、機械的に分断されていないが、酸化物超電導層3に非配向領域3bが形成されているために、超電導状態において各フィラメント10に電流が流れる。これにより、酸化物超電導線材5は、個別の複数の超電導線（フィラメント10）が並行に配置された構成となる。

[0045] 第1凹溝部1aの本数（即ち、その上に形成される非配向領域2b、3bの本数）を多くすることで、酸化物超電導線材5に形成されるフィラメント10の本数は増加し、本数が多くなるほど交流損失が低減する。また、フィラメント10の本数は増加すると遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失が低減する。これは、酸化物超電導層3を幅方向に分割すると、各フィラメント10に侵入する磁束の移動量が分割数に応じて減少するためである。したがって、線状に形成される第1凹溝部1aは、その本数を増加させて形成することが好ましい。しかしながら、フィラメント10の幅を細くしすぎると、酸化物超電導層3において、非配向領域3bが占める割合が多くなり、臨界電流密度が低くなってしまう。また、この場合、酸化物超電導層3において、互いに隣り合う非配向領域3b同士がつながり、長さ方向に電流が流れなくなってしまう虞がある。

したがって、基材1の第1凹溝部1a及び第1凹溝部1aの上に形成される非配向領域2b、3bによって分断されたフィラメント10の幅は、100 μ m以上とすることが好ましい。

なお、各フィラメント10の幅は、それぞれ互いに同一でも異なっても良いが、通常はほぼ同一とされる。

[0046] このように、非配向領域3bによって酸化物超電導層3が分割されて、細線化されることで、酸化物超電導線材5の遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失が低減される。

酸化物超電導線材5においては、複数の線状の非配向領域3bを形成することにより、酸化物超電導線材5が複数のフィラメント10に分割される。各酸化物超電導層3間の1cm長あたりのフィラメント間の抵抗は、1 Ω /cm以上となる。

[0047] なお、その他の実施形態として、金属安定化層4を第3凹溝部3aに沿って分断した構成としても良い。このような金属安定化層4は、例えば、金属安定化層4の上にマスキングを行い、第3凹溝部3aに対応する部分のマスキングを除去してエッチングを行うことで形成することができる。これによ

り、金属安定化層 4 の第 3 凹溝部 3 a に対応する部分を除去でき、酸化物超電導層 3 の配向性の高い部分の上にのみに金属安定化層 4 を積層した状態とできる。

また、金属安定化層 4 に金属テープやめっき層を積層する場合においても、金属テープやめっき層を酸化物超電導層 3 の非配向領域 3 b 上に位置する部分をエッチングなどにより除去してもよい。

このような実施形態においては、各フィラメント 10 同士が、電氣的に接続されないため、遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失をより効果的に低減できる。

[0048] 次に、本実施形態に係る酸化物超電導線材 5 の製造方法の一例について説明する。

本実施形態に係る酸化物超電導線材 5 の製造方法は、基材 1 に第 1 凹溝部 1 a を形成する工程を有している。以下に具体的な製造方法を説明する。

[0049] まず、テープ状の基材 1 を用意して、この基材 1 の主面 1 b を研磨して、主面 1 b の算術平均粗さ R_a を 3 nm ~ 4 nm とする。さらに、前記基材の主面 1 b をアセトンにより脱脂、洗浄する。以上の工程を経ることで、基材 1 の主面 1 b は、中間層 2 を積層した際に中間層 2 の配向性を得やすいように準備される。

[0050] 次に、このテープ状の基材 1 の主面 1 b に線状の第 1 凹溝部 1 a を形成する（一本又は複数本の配向阻害領域を形成する）。

図 2 は、本実施形態において、基材 1 の主面 1 b に第 1 凹溝部 1 a を形成する第 1 凹溝部加工装置 9 を示す概略図である。

[0051] 第 1 凹溝部加工装置 9 は、送出しリール 6 と、巻取りリール 7 と、送出しリール 6 と巻取りリール 7 との間に配置される中継リール 8 A と、加工工具 8 とから概略構成されている。

基材 1 は、送出しリール 6 に巻回されている。巻取りリール 7 には、モータ（図示略）等の搬送装置が取り付けられている。基材 1 を巻取りリール 7 に巻き掛けて、搬送装置を動作させることで、基材 1 を送出しリール 6 から

送り出して、中継リール 8 A を介し、基材 1 を巻取りリール 7 で巻き取ることができる。

[0052] 加工工具 8 は、加工工具 8 の先端が中継リール 8 A に向けられた金属加工用の刃物である。加工工具 8 の先端は、例えば、V 字状に鋭利な形状とされる。

基材 1 を巻取りリール 7 に巻き取りながら、加工工具 8 の先端を、中継リール 8 A の外周に沿って搬送される基材 1 に押し当てることで、基材 1 に直線状の溝（第 1 凹溝部 1 a、図 1 A 及び図 1 B 参照）を形成することができる。

なお、加工工具 8 を図 2 の奥行方向（X 軸方向）に並べて複数配置することで、テープ状の基材 1 の長手方向に沿って平行な第 1 凹溝部 1 a を複数形成することができる。

[0053] このように、第 1 凹溝部 1 a を形成した酸化物超電導線材 5 に従来公知の方法で、中間層 2 を積層する（積層工程、前記配向阻害領域を形成した後に、前記基材の前記主面上及び前記配向阻害領域上に、1 又は 2 以上の層からなる前記中間層を積層）。さらに、中間層 2 の主面に酸化物超電導層 3 を積層する（前記中間層上に、前記中間層によって結晶配向制御される酸化物超電導層を積層する）。中間層 2 の成膜工程において、第 1 凹溝部 1 a 上には、配向性を有さない非配向領域 2 b が形成される。同様に酸化物超電導層 3 の成膜工程において、中間層 2 の非配向領域 2 b 上に酸化物超電導層 3 の非配向領域 3 b が形成される（前記配向阻害領域の上側に位置する前記酸化物超電導層に非配向領域を形成する）。

さらに金属安定化層 4 を積層することで、非配向領域 3 b により複数のフィラメント 10 に分割され、細線化された酸化物超電導線材 5 を作製することができる。

[0054] 本実施形態に係る酸化物超電導線材 5 の製造方法においては、酸化物超電導層 3 の積層後に、レーザ等による機械的な加工、又は、エッチング等による化学的な加工が酸化物超電導層 3 に施されない。このため、酸化物超電導

層 3 の配向領域以外の領域における超電導特性が悪化することがない。また、同様の理由から、各層の耐剥離性（剥離強度）が悪化することがない。

[0055] <第 2 実施形態>

次に、第 2 実施形態について説明する。

図 3 は、第 2 実施形態に係る酸化物超電導線材 1 5 を示す断面図である。

以下、図 3 を基に、酸化物超電導線材 1 5 について説明する。

第 2 実施形態に係る酸化物超電導線材 1 5 は、配向阻害領域の構成の点で、第 1 実施形態に係る酸化物超電導線材 5 とは異なる。

[0056] 図 3 に示すように、酸化物超電導線材 1 5 は、基材 1 1 上に、中間層 1 2（下地層 1 2 A、配向層 1 2 B、キャップ層 1 2 C）、酸化物超電導層 1 3 及び金属安定化層 1 4 がこの順に積層されている。また、この酸化物超電導線材 1 5 の中間層 1 2 及び酸化物超電導層 1 3 には、非配向領域 1 2 b、1 3 b が形成されている。

[0057] 基材 1 1 の主面 1 1 b には、間隔をおいて平行に配置された複数本の第 1 凸条部（配向阻害領域）1 1 a が形成されている。この第 1 凸条部 1 1 a は、基材 1 1 の主面 1 1 b に線状に付着、固化させた固着剤 1 6 である。固着剤 1 6 としては、例えば、成膜時や熱処理時の熱に耐える耐熱性接着剤を使用することができる。また、乾燥により固化する耐熱性のインクのような材料を用いて固着剤 1 6 を形成しても良い。

第 1 凸条部 1 1 a の形態として、固着剤 1 6 を付着させて固化させることで形成される凸条部に限定されず、他の形態を有する凸条部を形成してもよい。例えば、基材 1 1 の主面 1 1 b を凹凸形状に加工することで第 1 凸条部 1 1 a を形成しても良い。

[0058] 第 1 凸条部 1 1 a の高さ H は、0.3 μm 以上 10 μm 以下、幅 W 2 は、10 μm 以上 500 μm 以下、とすることが好ましい。

第 1 凸条部 1 1 a の高さ H を 0.3 μm 以上とすることでこの第 1 凸条部 1 1 a 上に形成される部分の中間層 1 2 に非配向領域 1 2 b を形成することができる。また、第 1 凸条部 1 1 a の高さ H を 10 μm 以下とすることで、

第1凸条部11aの影響で、中間層12の結晶配向すべき領域の配向性に対する影響を低減できる。

第1凸条部11aの幅W2を10 μ m以上とすることで、十分な幅を有する非配向領域12bを形成することができる。また、第1凸条部11aの幅W2を500 μ m以下とすることで、酸化物超電導層13の非配向領域13bの幅を狭くして臨界電流密度を確保することができる。

[0059] 中間層12において、第1凸条部11aの上に形成される部分には、非配向領域12bが形成されている。これは、第1凸条部11aが配向阻害領域として機能するためである。

固着剤16は、基材11の主面11bに付着する異物であるため、固着剤16の上に形成される中間層12は、所定の方に配向することができなくなる。また、中間層12の配向性は、中間層12が積層される基材11の主面11bの表面性状に依存する。固着剤16からなる第1凸条部11aは、段差を形成するため、中間層12の配向性を乱し、中間層12に非配向領域12bを形成する。

また、第1凸条部11a上に形成される中間層12は、第1凸条部11aを転写するように、第1凸条部11aの表面に第2凸条部12aが形成される。第2凸条部12aは、第1凸条部11aと同様に、線状に盛り上がって形成される。

[0060] 酸化物超電導層13において、中間層12の非配向領域12b上に形成される部分は、配向性を有していない非配向領域13bとなる。

酸化物超電導層13は、中間層12（特に配向層12B、キャップ層12C）によって配向性が制御されているため、中間層12の非配向領域12b上に形成された部分は配向性を有することができない。加えて、中間層12の非配向領域12bの表面には線状の第2凸条部12aが形成されている。酸化物超電導層13の配向性は、中間層12の配向性のみならず、中間層12の表面性状にも依存する。このため、第2凸条部12aの上（特に段部）に形成される酸化物超電導層13は、より配向しにくくなる。

[0061] 第2実施形態に係る酸化物超電導線材15は、酸化物超電導層13が非配向領域13bにより、酸化物超電導層13は実質的に分断されている。これにより、酸化物超電導線材15は、複数のフィラメント20に分割され、複数のフィラメント20が並行に配置された構成となる。

このように、非配向領域13bによって酸化物超電導層13が分割され、酸化物超電導層13が細線化されることで、酸化物超電導線材15の遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失が低減される。

[0062] 次に、本実施形態に係る酸化物超電導線材15の製造方法の一例について説明する。

まず、第1実施形態に係る製造方法と同様に、テープ状の基材11を研磨し、さらに脱脂、洗浄する。

次に、このテープ状の基材11の主面11bに線状の第1凸条部11aを形成する。

図4は、本実施形態において、基材11の主面11bに第1凸条部11aを形成する第1凸条部加工装置19を示す概略図である。

第1凸条部加工装置19は、送出しリール6と巻取りリール7と塗布部18とから概略構成されている。第1凸条部加工装置19は、基材11を巻取りリール7に巻き取りながら、塗布部18によって、第1凸条部11aとなる固着剤16を、基材11に塗布する。これにより、第1凸条部11aを直線状に形成することができる。

塗布部18の構成として、先端にノズルが形成され、インクジェット法により吐出する構成としても良い。また、材料の塗布しない部分をマスクしながら、スプレー法により、材料をスプレー状に基材11に向けて吹きかける構成としても良い。

第1凸条部11aを形成した酸化物超電導線材15に従来公知の方法で、中間層12を積層する（積層工程）。さらに、中間層12の主面に酸化物超電導層13を積層する。これにより、中間層12に非配向領域12bが形成され、酸化物超電導層13に非配向領域13bが形成され、非配向領域13

bにより酸化物超電導層13が複数のフィラメント20に分割され、細線化された酸化物超電導線材15を作製できる。

[0063] 本実施形態に係る酸化物超電導線材15の製造方法は、酸化物超電導層13の積層後に、レーザ等による機械的な加工、又は、エッチング等による化学的な加工が酸化物超電導層13に施されていない。このため、酸化物超電導層13の配向領域以外の領域における超電導特性が悪化することがない。また、同様の理由から、各層の耐剥離性（剥離強度）が悪化することがない。

[0064] <第3実施形態>

次に、第3実施形態について説明する。

図5は、第3実施形態に係る酸化物超電導線材25を示す断面図である。以下、図5を基に、酸化物超電導線材25について説明する。

第3実施形態に係る酸化物超電導線材25は、配向阻害領域の構成の点で、第1実施形態に係る酸化物超電導線材5とは異なる。

[0065] 図5に示すように、酸化物超電導線材25は、基材21上に、中間層22（下地層22A、配向層22B、キャップ層22C）、酸化物超電導層23及び金属安定化層24がこの順に積層されている。

基材21の主面21bには、間隔をおいて平行に配置された複数本の第1粗面部（配向阻害領域）21aが形成されている。この第1粗面部21aは、その算術表面粗さRaが5nm以上1000nm以下とされた領域である。

なお、第1粗面部21a以外の基材21の主面は、算術平均粗さRaが3nm～4nm程度となるように研磨されている。

[0066] 第1粗面部21aの幅W3は、10μm以上500μm以下とすることが好ましい。第1粗面部21aの幅W3を10μm以上とすることでこの第1粗面部21a上に形成される部分の中間層22に非配向領域22bを形成することができる。また、第1粗面部21aの幅W3を500μm以下とすることで、酸化物超電導層23の非配向領域23bの幅を狭くして臨界電流密

度を確保することができる。

[0067] このような、第1粗面部21aは、例えば、基材21の主面21bに対するレーザ照射により形成することができる。

一例として、図2の第1凹溝部加工装置9において、加工工具8をレーザ照射装置に置き換えて、基材21の主面21bにレーザ光を照射し主面21bを熔融、再固化させることで、主面21bに第1粗面部21aを形成することができる。

[0068] 中間層22の配向性は、中間層22が積層される基材21の主面21bの表面性状に依存するため、第1粗面部21aは、配向阻害領域として機能する。第1粗面部21a上に形成される中間層22には非配向領域22bが形成される。

また、第1粗面部21a上に形成される非配向領域22bの表面には、第2粗面部22aが形成される。第2粗面部22aは、第1粗面部21aと同様に、線状に形成される。

[0069] 酸化物超電導層23において、中間層22の非配向領域22b上に形成される部分は、配向性を有していない非配向領域23bとなる。

酸化物超電導層23は、中間層22（特に配向層22B、キャップ層22C）によって配向性が制御されているため、中間層22の非配向領域22b上に形成された部分は配向性を有することができない。加えて、中間層22の非配向領域22bの表面には、第2粗面部22aが形成されている。したがって、非配向領域22b上に形成される酸化物超電導層23は非配向領域23bとなる。

[0070] 第3実施形態に係る酸化物超電導線材25は、酸化物超電導層23が非配向領域23bにより、酸化物超電導層23は実質的に分断されている。これにより、酸化物超電導線材25は、複数のフィラメント30に分割され並行に配置された構成となる。

このように、非配向領域23bによって酸化物超電導層23が分割され、酸化物超電導層23が細線化されることで、酸化物超電導線材25の遮蔽電

流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失が低減される。

[0071] 本実施形態に係る酸化物超電導線材 2 5 においては、酸化物超電導層 2 3 の積層後に、レーザ等による機械的な加工、又は、エッチング等による化学的な加工が施されていない。このため、酸化物超電導層 2 3 の配向領域以外の領域における超電導特性が悪化することがない。また、同様の理由から、各層の耐剥離性（剥離強度）が悪化することがない。

[0072] <第 4 実施形態>

次に、第 4 実施形態について説明する。

図 6 A は、第 4 実施形態に係る酸化物超電導線材 3 5 を示す断面図である。また、図 6 B は、酸化物超電導層 3 3 の非配向領域 3 3 b の拡大図である。以下、図 6 A 及び図 6 B を基に、酸化物超電導線材 3 5 について説明する。

第 4 実施形態に係る酸化物超電導線材 3 5 は、凹溝部 3 2 B a の構成の点で、第 1 実施形態に係る酸化物超電導線材 5 とは異なる。

[0073] 図 6 A 及び図 6 B に示すように、酸化物超電導線材 3 5 は、基材 3 1 の主面 3 1 b 上に、中間層 3 2（下地層 3 2 A、配向層 3 2 B、キャップ層 3 2 C）、酸化物超電導層 3 3 及び金属安定化層 3 4 がこの順に積層されている（前記基材の前記主面上に、1 又は 2 以上の層からなる前記中間層が積層されている）。

[0074] 中間層 3 2 を構成する配向層 3 2 B の主面 3 2 B b には、中間層または基材 3 1 の内部にまで達する凹溝部 3 2 B a が形成されている。凹溝部 3 2 B a は、間隔をおいて平行に延びている。凹溝部 3 2 B a は、配向層 3 2 B の主面 3 2 B b に加工工具を押し当てて基材 3 1 を移動させることで形成することができる。凹溝部 3 2 B a の形成方法は、第 1 実施形態に係る第 1 凹溝部 1 a の形成方法と同様である。

[0075] 主面 3 2 B b に凹溝部 3 2 B a が形成されることで、凹溝部 3 2 B a の直下及びその周囲に位置する配向層 3 2 B の配向性が乱され、配向層 3 2 B に非配向領域が形成される。図 6 B に拡大して示すように、凹溝部 3 2 B a の

縁部には、配向層 3 2 B が盛り上がった隆起部 3 2 B c が形成されている。隆起部 3 2 B c は、加工工具を配向層 3 2 B に押し当てて凹溝部 3 2 B a を形成する際に、加工工具により押圧された配向層 3 2 B、下地層 3 2 A 及び基材 3 1 を構成する材料の一部が凹溝部 3 2 B a の外側に逃げて盛り上がることで形成される。したがって、配向層 3 2 B は、凹溝部 3 2 B a と隆起部 3 2 B c において配向性を有さない。即ち、凹溝部 3 2 B a と隆起部 3 2 B c が形成された領域は、非配向領域として機能する。また、凹溝部 3 2 B a と隆起部 3 2 B c は、凹溝部 3 2 B a と隆起部 3 2 B c の上に積層される酸化物超電導層 3 3 の配向性を阻害する配向阻害領域として機能する。

[0076] 凹溝部 3 2 B a の幅 W 4 は、 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上 $40\ \mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。

凹溝部 3 2 B a の幅 W 4 を $0.3\ \mu\text{m}$ 以上とすることで酸化物超電導層 3 3 に確実に非配向領域 3 3 b を形成することができる。また、凹溝部 3 2 B a の幅 W 4 を $40\ \mu\text{m}$ 以下とすることで、酸化物超電導層 3 3 の非配向領域 3 3 b の幅を狭くして臨界電流密度を確保することができる。

なお、本明細書において、凹溝部 3 2 B a とは、配向層 3 2 B が凹み、成膜厚さより薄くなっている領域を意味する。したがって、隆起部 3 2 B c は、凹溝部 3 2 B a に含まれず、凹溝部 3 2 B a の両側に形成された領域となる。凹溝部 3 2 B a の幅 W 4 は、隆起部 3 2 B c を含まず、配向層 3 2 B が凹んだ部分の幅である。凹溝部 3 2 B a の深さ D 4 は、配向層 3 2 B の主面 3 2 B b から凹溝部 3 2 B a の最も深い部分までの深さ方向の距離である。

[0077] 凹溝部 3 2 B a の深さ D 4 は、 $0.3\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。

凹溝部 3 2 B a の深さ D 4 を $0.3\ \mu\text{m}$ 以上とすることでこの酸化物超電導層 3 3 に確実に非配向領域 3 3 b を形成することができる。また、凹溝部 3 2 B a の深さ D を $10\ \mu\text{m}$ 以下とすることで、基材 3 1 の強度を維持することができる。

なお、凹溝部 3 2 B a の断面形状は、図 6 A 及び図 6 B に示された略円弧

形状に限られず、例えば、V字状の溝であっても良い。

[0078] キャップ層 3 2 C のうち、配向層 3 2 B の凹溝部 3 2 B a 及び隆起部 3 2 B c の上に積層される部分は、配向性を有さない。中間層 3 2 は、全体として非配向領域 3 2 b を有する。また、非配向領域 3 2 b は、凹溝部 3 2 B a 及びその縁部に位置する 3 2 B c に対応する領域である。

[0079] 酸化物超電導層 3 3 は、中間層 3 2（特に配向層 3 2 B、キャップ層 3 2 C）によって配向性が制御されているため、中間層 3 2 の非配向領域 3 2 b 上に形成された部分は配向性を有することができない。酸化物超電導層 3 3 において、中間層 3 2 の非配向領域 3 2 b 上に形成される部分は、配向性を有していない非配向領域 3 3 b となる。

[0080] 第 4 実施形態に係る酸化物超電導線材 3 5 は、酸化物超電導層 3 3 が非配向領域 3 3 b により、酸化物超電導層 3 3 は実質的に分断されている。これにより、酸化物超電導線材 3 5 は、複数のフィラメント 4 0 に分割され並行に配置された構成となる。このように、非配向領域 3 3 b によって酸化物超電導層 3 3 が分割され、酸化物超電導層 3 3 が細線化されることで、酸化物超電導線材 3 5 の遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失が低減される。

[0081] また、第 4 実施形態に係る酸化物超電導線材 3 5 は、酸化物超電導層 3 3 の配向性を制御する中間層 3 2 の一部を直接的に加工して、凹溝部 3 2 B a を形成している。これにより、中間層 3 2 により確実に非配向領域 3 2 b を形成することができる。

[0082] 本実施形態に係る酸化物超電導線材 3 5 は、酸化物超電導層 3 3 の積層後に、レーザ等による機械的な加工、又は、エッチング等による化学的な加工が施されていない。このため、酸化物超電導層 3 3 の配向領域以外の領域における超電導特性が悪化することがない。また、各層の耐剥離性（剥離強度）が悪化することがない。

[0083] 一般的に積層された酸化物超電導層 3 3 は、酸化物超電導層 3 3 の下に位置する層に対する耐剥離性が弱いことが知られている。本実施形態に係る酸

化物超電導線材 3 5 によれば、酸化物超電導層 3 3 と酸化物超電導層 3 3 の下に位置する中間層 3 2 との耐剥離性を高めることができる。即ち、酸化物超電導層 3 3 の剥離を抑制できる。配向層 3 2 B の凹溝部 3 2 B a は、配向層 3 2 B の主面 3 2 B b に加工工具を押し当てることで形成されており、表面に加工に起因する微細な凹凸が形成されている。凹凸を有する凹溝部 3 2 B a 上に形成されたキャップ層 3 2 C においては、配向層 3 2 B に形成された微細な凹凸に倣って、キャップ層 3 2 C の表面に微細な凹凸が形成される。キャップ層 3 2 C 上に酸化物超電導層 3 3 が形成されると、微細な凹凸に起因するアンカー効果によりキャップ層 3 2 C と酸化物超電導層 3 3 との接合強度が大きくなるため、酸化物超電導層 3 3 の耐剥離性が高まる。これにより、酸化物超電導層 3 3 が剥離しにくくなると考えられる。

[0084] なお、本実施形態では、中間層 3 2 のうち、配向層 3 2 B に凹溝部 3 2 B a を形成する構成を例示した（前記中間層を構成する前記複数層のうち何れかの層を積層した後に、前記積層された層の主面に、線材の長さ方向に沿って一本又は複数本の配向阻害領域を形成した）。中間層 3 2 に形成される凹溝部は、中間層 3 2 を構成する複数層のうち何れかの層（積層された層）の主面に形成されていればよい。これにより、凹溝部は、中間層 3 2 に非配向領域 3 2 b を構成できる。即ち、中間層 3 2 の非配向領域 3 2 b は、中間層 3 2 を構成する複数層のうち何れかの層に形成された凹溝部により配向が乱された領域であればよい。

また、本実施形態に例示したように、配向層 3 2 B に凹溝部 3 2 B a を形成することで、凹溝部 3 2 B a は、配向層 3 2 B 上に形成されたキャップ層 3 2 C により覆われる。配向層 3 2 B に凹溝部 3 2 B a を形成する場合、凹溝部 3 2 B a に位置する部分である配向層 3 2 B、および、その部分の下に位置する中間層の各層が薄くなったりする。あるいは、中間層の各層が、部分的に除去され、基材 3 1 が露出したりして、基材 3 1 を構成する材料の元素が酸化物超電導層 3 3 に拡散しやすくなる。凹溝部 3 2 B a にキャップ層 3 2 C を形成することで、凹溝部 3 2 B a の領域内で基材 3 1 と酸化物超電

導層 3 3 が直接接触することがない。これにより、基材 3 1 を構成する金属材料が、酸化物超電導層 3 3 への拡散することを抑制できる。したがって、凹溝部 3 2 B a が、配向層 3 2 B に形成され、キャップ層 3 2 C により凹溝部 3 2 B a を覆う構造とすることが好ましい。

[0085] <第 5 実施形態>

次に、第 5 実施形態について説明する。

図 7 は、第 5 実施形態に係る酸化物超電導線材 4 5 を示す断面図である。

以下、図 7 を基に、酸化物超電導線材 4 5 について説明する。

第 5 実施形態に係る酸化物超電導線材 4 5 の構成は、第 2 実施形態に係る酸化物超電導線材 1 5 の構成と類似している。凸条部 4 2 a が形成される位置の点で、第 5 実施形態に係る酸化物超電導線材 4 5 が第 2 実施形態に係る酸化物超電導線材 1 5 とは異なる。

[0086] 図 7 に示すように、酸化物超電導線材 4 5 は、基材 4 1 の主面 4 1 b 上に、中間層 4 2（下地層 4 2 A、配向層 4 2 B、キャップ層 4 2 C）、酸化物超電導層 4 3 及び金属安定化層 4 4 がこの順に積層されている。また、この酸化物超電導線材 4 5 の酸化物超電導層 4 3 には、非配向領域 4 3 b が形成されている。

[0087] 中間層 4 2 の主面 4 2 b には、間隔をおいて平行に配置された複数本の凸条部（配向阻害領域）4 2 a が形成されている。この凸条部 4 2 a は、基材 4 1 の主面 4 1 b に線状に付着、固化させた固着剤 1 6 である。凸条部 4 2 a の形態としては、第 2 実施形態に係る第 1 凸条部 1 1 a と同様に、固着剤 1 6 を付着させて固化させることで形成される凸条部に限定されず、他の形態を有する凸条部を形成してもよい。第 2 実施形態における第 1 凸条部 1 1 a の形成と同様の方法により、凸条部 4 2 a を形成することができる。

凸条部 4 2 a は、凸条部 4 2 a の上に積層される酸化物超電導層 4 3 の配向性を阻害する配向阻害領域として機能する。また、凸条部 4 2 a は、中間層 4 2 の一部であり、配向性を持たない固着剤 1 6 からなる非配向領域である。

[0088] 凸条部42aの高さH5は、 $0.3\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 以下、幅W5は、 $10\mu\text{m}$ 以上 $500\mu\text{m}$ 以下、とすることが好ましい。

凸条部42aの高さH5を $0.3\mu\text{m}$ 以上とすることでこの凸条部42a上に形成される部分の酸化物超電導層43に非配向領域43bを形成することができる。また、凸条部42aの高さH5を $10\mu\text{m}$ 以下とすることで、凸条部42aの影響で、酸化物超電導層43の結晶配向すべき領域の配向性に対する影響を低減できる。

凸条部42aの幅W5を $10\mu\text{m}$ 以上とすることで、十分な幅を有する非配向領域43bを形成することができる。また、凸条部42aの幅W5を $500\mu\text{m}$ 以下とすることで、酸化物超電導層43の非配向領域43bの幅を狭くして臨界電流密度を確保することができる。

[0089] 酸化物超電導層43は、中間層42（特に配向層42B、キャップ層42C）によって配向性が制御される。酸化物超電導層43において、凸条部42a上に形成される部分は、中間層42の上に直接的に積層されていないために、配向性を有さない非配向領域43bとなる。

[0090] 第5実施形態に係る酸化物超電導線材45は、酸化物超電導層43が非配向領域43bにより、酸化物超電導層43は実質的に分断されている。これにより、酸化物超電導線材45は、複数のフィラメント50に分割され、複数のフィラメント50が並行に配置された構成となる。非配向領域43bによって酸化物超電導層43が分割され、酸化物超電導層43が細線化されることで、酸化物超電導線材45の遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失が低減される。

[0091] 本実施形態に係る酸化物超電導線材45は、酸化物超電導層43の積層後に、レーザ等による機械的な加工、又は、エッチング等による化学的な加工が施されていない。このため、酸化物超電導層43の配向領域以外の領域における超電導特性が悪化することがない。また、同様の理由から、各層の耐剥離性が悪化することがない。

[0092] また、第5実施形態では、中間層42のうち、キャップ層42Cの主面4

2 b に凸条部 4 2 a を形成する構成を例示した。中間層 4 2 に形成される凸条部 4 2 a は、中間層 4 2 を構成する複数層のうち何れかの層（積層された層）の主面に形成されていればよい。これにより、凸条部は、酸化物超電導層 4 3 に非配向領域 4 3 b を構成できる。

[0093] <第 6 実施形態>

次に、第 6 実施形態について説明する。

図 8 に、第 6 実施形態に係る酸化物超電導線材 5 5 の断面図を示す。以下、図 8 を基に、酸化物超電導線材 5 5 について説明する。

第 6 実施形態に係る酸化物超電導線材 5 5 は、第 3 実施形態に係る酸化物超電導線材 2 5 の構成と類似している。粗面部 5 2 B a が形成される位置の点で、第 6 実施形態に係る酸化物超電導線材 5 5 が第 3 実施形態に係る酸化物超電導線材 2 5 とは異なる。

[0094] 図 8 に示すように、酸化物超電導線材 5 5 は、基材 5 1 の主面 5 1 b 上に、中間層 5 2（下地層 5 2 A、配向層 5 2 B、キャップ層 5 2 C）、酸化物超電導層 5 3 及び金属安定化層 5 4 がこの順に積層されている。

配向層 5 2 B の主面 5 2 B b には、間隔をおいて平行に配置された複数本の粗面部（配向阻害領域） 5 2 B a が形成されている。この粗面部 5 2 B a は、その算術表面粗さ R_a が 5 nm 以上 1000 nm 以下とされた領域である。

中間層 5 2 において、粗面部 5 2 B a が形成された領域は、非配向領域として機能する。また、粗面部 5 2 B a は、粗面部 5 2 B a の上に積層される層の配向性を阻害する配向阻害領域として機能する。

[0095] 粗面部 5 2 B a の幅 W_6 は、10 μm 以上 500 μm 以下とすることが好ましい。粗面部 5 2 B a の幅 W_6 を 10 μm 以上とすることでこの粗面部 5 2 B a 上に形成される部分のキャップ層 5 2 C に非配向領域 5 2 b を形成することができる。また、粗面部 5 2 B a を形成する工程で、配向層 5 2 B の配向性が乱れて配向層 5 2 B にも非配向領域 5 2 b を形成することができる。粗面部 5 2 B a の幅 W_6 を 500 μm 以下とすることで、酸化物超電導層

５３の非配向領域５３ｂの幅を狭くして臨界電流密度を確保することができる。

粗面部５２Ｂａは、第３実施形態と同様に、レーザ照射により形成することができる。

[0096] 酸化物超電導層５３において、中間層５２の非配向領域５２ｂ上に形成される部分は、配向性を有していない非配向領域５３ｂとなる。

酸化物超電導層５３は、中間層５２（特に配向層５２Ｂ、キャップ層５２Ｃ）によって配向性が制御されているため、中間層５２の非配向領域５２ｂ上に形成された部分は配向性を有することができない。したがって、非配向領域５２ｂ上に形成される酸化物超電導層５３は非配向領域５３ｂとなる。

[0097] 第６実施形態に係る酸化物超電導線材５５は、酸化物超電導層５３が非配向領域５３ｂにより、酸化物超電導層５３は実質的に分断されている。これにより、酸化物超電導線材５５は、複数のフィラメント６０に分割され、複数のフィラメント６０が並行に配置された構成となる。非配向領域５３ｂによって酸化物超電導層５３が分割され、酸化物超電導層５３が細線化されることで、酸化物超電導線材５５の遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失が低減される。

[0098] 本実施形態に係る酸化物超電導線材５５は、酸化物超電導層５３の積層後に、レーザ等による機械的な加工、又は、エッチング等による化学的な加工が酸化物超電導層５３に施されていない。このため、酸化物超電導層５３の配向領域以外の領域における超電導特性が悪化することがない。また、同様の理由から、各層の耐剥離性が悪化することがない。

[0099] なお、本実施形態では、中間層５２のうち、配向層５２Ｂに粗面部５２Ｂａを形成する構成を例示した。中間層５２に形成される粗面部は、中間層５２を構成する層のうち何れかの層の主面に形成されていればよい。これにより、粗面部は、中間層５２に非配向領域５２ｂを構成できる。

実施例

[0100] 以下、実施例を示して本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれら

の実施例に限定されるものではない。

[0101] <試験例 1>

<試料の作製>

まず、ハステロイ C-276（米国ヘインズ社商品名）からなる幅 10 mm、厚み 0.1 mm、長さ 1000 mm のテープ状の基材を準備した。基材の主面を平均粒径 3 μ m のアルミナを使用し研磨した。次に、前記基材の表面をアセトンにより脱脂、洗浄した。

[0102] この基材の主面に、基材の長手方向に延びる第 1 凹溝部（凹溝部）を形成した。図 2 に示す第 1 凹溝部加工装置において、加工工具として厚さ 100 μ m の刃物を取り付けた。基材を送出しリールから巻取りリールに向けて搬送させながら、上記の刃物を基材の幅中央に押し当てて、長手方向に延びる傷（V 字状の溝、第 1 凹溝部）を形成した。凹溝部によって基材は幅方向に幅 5 mm ずつに区画された。

[0103] この基材の主面上にスパッタ法により Al_2O_3 （拡散防止層；膜厚 100 nm）を成膜し、 Al_2O_3 膜の上に、イオンビームスパッタ法により Y_2O_3 （ベッド層；膜厚 30 nm）を成膜した。

次いで、このベッド層上に、イオンビームアシスト蒸着法（IBAD 法）により MgO （配向層；膜厚 5～10 nm）を形成し、 MgO 膜の上にパルスレーザ蒸着法（PLD 法）により 500 nm 厚の CeO_2 （キャップ層）を成膜した。次いで、 CeO_2 層上に PLD 法により 2.0 μ m 厚の $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ （酸化物超電導層）を形成した。この酸化物超電導層上にスパッタ法により Ag からなる金属安定化層を形成し、さらに 500℃ で 10 時間の酸素アニールを行い 26 時間炉冷後に取り出した。

以上の手順を経て、サンプル No. 1 の酸化物超電導線材を作製した。

[0104] 上記のサンプル No. 1 の酸化物超電導線材の作製手順において、基材の主面に第 1 凹溝部を形成する工程を省いた工程により、サンプル No. 2 の酸化物超電導線材を作製した。

[0105] さらに、この線材の金属安定化層の表面にポリイミドテープで、線材の幅

中央に長手方向に延びる幅 $100\ \mu\text{m}$ の隙間を形成してマスキングを行った。次に、硝酸を用いて金属安定化層と $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ からなる酸化物超電導層とをエッチングして、線材の中央に幅 $100\ \mu\text{m}$ の溝を形成し、線材を複数の線材に分割し、線材の細線化を行った。これによりサンプル No. 3 の酸化物超電導線材を作製した。

[0106] <評価方法>

サンプル No. 1 ~ No. 3 の酸化物超電導線材を $77\ \text{K}$ に冷却し、線材の面に対して垂直方向に $1\ \text{T}$ の磁場を印加した状態で、四端子法を用い各サンプルの交流損失を測定した。

測定結果を表 1 に示す。

[0107] [表1]

サンプル No.	交流損失 (J/m^3)
1	2.8×10^8
2	11×10^8
3	2.3×10^8

[0108] 表 1 に示すように、基材に第 1 凹溝部を形成することで、線材の分割と、マルチフィラメント化（細線化）が施されたサンプル No. 1 の酸化物超電導線材は、細線化が施されていないサンプル No. 2 の酸化物超電導線材と比較して、交流損失の低減を図ることができた。また、サンプル No. 1 の酸化物超電導線材は、エッチングにより酸化物超電導層が分離されて細線化されたサンプル No. 3 の酸化物超電導線材と同等程度に、交流損失を抑制できることが確認された。即ち、エッチングを行うことなく、単純な製造工程で酸化物超電導線材を複数の線材に分割し、細線化を行い、交流損失の低減を図ることができることが確認された。

[0109] <試験例 2>

上記のサンプル No. 1 の酸化物超電導線材の作製手順において、基材の主面に幅 $40\ \mu\text{m}$ 、深さ $5\ \mu\text{m}$ の第 1 凹溝部を形成し、銀安定化層の成膜を

省いたサンプルを用意した。

このサンプルの酸化物超電導層の一部を、硝酸を用いたエッチングにより、除去した。その後、この部分（エッチングされた部分）を撮影して得られたSEM画像を図9に示す。なお、図9において、画像左側に位置する領域が中間層のキャップ層である CeO_2 の表面である。画像中央に位置する領域がエッチングによる境界領域である。画像右側に位置する領域が酸化物超電導層である $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ の表面である。画像中央に位置するエッチングによる境界領域では、酸化物超電導層を構成する $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ の結晶粒が表出した状態となっている。即ち、酸化物超電導層がエッチングの途中の状態となっており、凹溝部の線が見えなくなり途切れてしまっている。

[0110] 図9において、符号Aで示す直線が基材上の第1凹溝部に対応する中間層（キャップ層）の CeO_2 上に形成された第2凹溝部（図1A及び図1Bの第2凹溝部2aに対応）である。この第2凹溝部Aの形成に起因して、酸化物超電導層の表面には、符号Bで示される第3凹溝部（図1A及び図1Bの第3凹溝部3aに対応）が表出していることが確認できる。

[0111] 図10は、電子線後方散乱回折法（EBSD）によって得られた画像であり、上述したサンプルにおける CeO_2 キャップ層の第2凹溝部Aに近い位置における結晶配向状態を示している。図10において、濃灰色で示された部分が通常の良い結晶配向性を示している。図10に示すように、第2凹溝部Aに沿って非配向領域（図1A及び図1Bの非配向領域2bに対応）が形成されていることが確認できる。このことから、基材に凹溝部を形成することで、凹溝部の上に形成される中間層に非配向領域が形成されていることが確認された。

[0112] また、図10において、第2凹溝部Aの幅中央領域Cでは、キャップ層が結晶配向している。結晶配向性を有する幅中央領域Cが形成される理由は、以下の様に考察される。

試験例2において、基材の主面に第1凹溝部を形成する際に、先端中央が平坦な刃を有する加工工具（図2に示す加工工具8に相当）を使用した。こ

れにより、第1凹溝部に、溝幅中央が平坦に形成され、これにより幅中央領域Cに結晶配向した部分が形成されたと考えられる。

図10に示すように、幅中央領域Cに結晶配向している部分が存在していても、2本の非配向の部分に幅中央領域Cが挟まれているため、酸化物超電導層の全体において非配向の領域によって酸化物超電導層が分断されていることになる。したがって、このような場合であっても遮蔽電流及び遮蔽電流に起因する磁化損失、並びに交流損失を低減できる。

[0113] <試験例3>

まず、サンプルNo. 4の酸化物超電導線材を作製した。サンプルNo. 4は、第4実施形態に係る酸化物超電導線材（図6A及び図6B）に対応している。サンプルNo. 4の酸化物超電導線材は、上記のサンプルNo. 1の酸化物超電導線材の作製手順において、基材の主面に凹溝部を形成する工程を省き、代わりに、配向層の主面に長手方向に延びる凹溝部を形成した。配向層の主面に凹溝部を形成する工程においては、まず、凹溝部加工装置において加工工具として厚さ100 μ m（刃先の厚さは、約20 μ m）の刃物を取り付けた。基材を送出しリールから巻取りリールに向けて搬送させながら、上記の刃物を基材の幅中央に押し当てて、長手方向に延びる傷（凹溝部）を形成した。凹溝部によって配向層は幅方向に幅5mmずつに区画された。配向層に形成した凹溝部は、幅が約20 μ m、深さ約10 μ mであった。

[0114] 図11は、サンプルNo. 4の配向層に形成された凹溝部Bを撮影して得られたSEM画像である。なお、図11は、キャップ層及び酸化物超電導層を形成する前に撮影して得られた画像である。

また、図12は電子線後方散乱回折法（EBSD）によって得られた画像であり、サンプルNo. 4におけるキャップ層の結晶配向状態を示している。図12において、濃灰色で示された部分が通常の良い結晶配向性を示している。図12に示すように、凹溝部Bに沿って非配向領域（図6A及び図6Bの非配向領域32bに対応）が形成されていることが確認できる。このことから、配向層に凹溝部を形成することで、凹溝部の上に形成されるキャ

ップ層に非配向領域が形成されていることが確認された。

[0115] (臨界電流値)

サンプルNo. 4とサンプルNo. 2（凹溝部なし）の酸化物超電導線材を77Kに冷却し、四端子法を用いて、サンプルNo. 4及びサンプルNo. 2の臨界電流値（ I_c ）を測定した。サンプルNo. 4及びサンプルNo. 2の臨界電流値 I_c を表2に示す。

[0116] [表2]

サンプル No.	臨界電流値(I_c)
2	621A
4	617A

[0117] 表2に示すように、凹溝部を形成したことによる、臨界電流値の低下は、見られないことが確認された。

[0118] (剥離強度)

サンプルNo. 4とサンプルNo. 2（凹溝部なし）の酸化物超電導線材に対し、酸化物超電導層の剥離強度を測定した。

測定は、スタッドプル剥離試験により行った。

スタッドプル剥離試験においては、上記サンプルを構成する各線材の金属安定化層（Ag層）の表面に直径2.7mmのスタッドピンの先端部をエポキシ樹脂で接着固定（ピン先端部の接着面積5.72mm²）した。その後、このスタッドピンを線材の上面に対して垂直方向に引っ張り、応力が低下した瞬間の引張荷重を剥離応力（剥離強度）として測定した。

スタッドピンは、線材の幅方向中心に接着した。

スタッドプル剥離試験において、まず、30個のサンプルNo. 4及び30個のサンプルNo. 2（凹溝部なし）を準備し、全てのサンプルに対してスタッドプル剥離試験を行った。30個のサンプルNo. 4における測定結果の平均値と、30個のサンプルNo. 2における測定結果の平均値とを算出した。算出結果を表3に示す。なお、各サンプルにおいて、剥離は、酸化

物超電導層とキャップ層との間で生じた。

[0119] [表3]

サンプル No.	剥離力平均値 (MPa)
2	50.8
4	58.1

[0120] 表3に示すように、配向層に凹溝部を形成したサンプルNo. 4では、剥離力平均値が高く、耐剥離性が向上した。これは、凹溝部によって、酸化物超電導層とキャップ層との間の凹凸が形成され、アンカー効果によって耐剥離性が向上したためと考えられる。

[0121] (幅方向抵抗値)

サンプルNo. 4とサンプルNo. 2(凹溝部なし)の酸化物超電導線材を77Kに冷却し、サンプルNo. 4及びサンプルNo. 2の線材の幅方向の抵抗値を計測した。各サンプルの幅方向抵抗値を表4に示す。

[0122] [表4]

サンプル No.	幅方向抵抗値 ($\mu\Omega$)
2	0.0
4	6.4

[0123] 表4に示すように、配向層に凹溝部を形成したサンプルNo. 4では、幅方向に抵抗値を生じた。このことから、酸化物超電導線材が幅方向に分割され、線材が細線化されていることが確認された。

[0124] <試験例4>

上述した試験例1では、10mm幅の基材を用いたが、試験例4では、幅10mmの基材の側部を切断することによって得られた幅4mmの基材をサンプル基材として用いた。幅4mmの基材を得るには、幅10mmの基材を準備し、この基材の幅方向における両側から基材を切断し、幅4mmの基材を得た。

[0125] 試験例 4 では、幅 4 mm の基材上に 1 本の凹溝部を形成したサンプル N o . 5 (2 分割線材) と、凹溝部が形成されていないサンプル (N o . 6) とを準備した。具体的に、サンプル N o . 5 は、幅 4 mm の基材の幅方向における中央に、基材の延在方向に沿うように、凹溝部が形成されている線材である。即ち、サンプル N o . 5 は、1 本の凹溝部によって分割された 2 分割線材である。

サンプル N o . 6 は、配向層に凹溝部が形成されていない線材であり、無分割線材である。

[0126] 次に、試験例 4 のサンプル (サンプル N o . 5 、 N o . 6) の作成方法について説明する。第 4 実施形態 (図 6 A 及び図 6 B) に述べた層構造が得られるように、幅 4 mm の基材 3 1 の主面 3 1 b 上に、中間層 3 2 (下地層 3 2 A 、配向層 3 2 B 、キャップ層 3 2 C) 、酸化物超電導層 3 3 及び金属安定化層 3 4 をこの順に積層した。なお、金属安定化層 3 4 としては、スパッタ法によって形成された銀層・銅層と、めっき法によって形成された銅層の 2 層構造を採用した。即ち、試験例 4 において用いた酸化物超電導線材は、第 4 実施形態の変形例と言える。

[0127] さらに、第 4 実施形態にて述べた方法と同様に、中間層 3 2 を形成する際に、配向層 3 2 B の主面 3 2 B b に加工工具を押し当てて基材 3 1 を移動させることで、凹溝部 3 2 B a を形成した。その後、配向層 3 2 B の主面 3 2 B b 上に、キャップ層 3 2 C 、酸化物超電導層 3 3 、及び A g 薄膜と C u 薄膜 3 4 を順次形成した。

上記凹溝部 3 2 B a を形成する際に、配向層 3 2 B に 1 本の凹溝部 3 2 B a を形成して得られた線材 (2 分割線材) がサンプル N o . 5 の線材である。配向層 3 2 B に凹溝部 3 2 B a を形成しない線材 (無分割線材) がサンプル N o . 6 の線材である。

サンプル N o . 5 においては、金属安定化層 3 4 が形成されているので、分割によって得られた複数のフィラメント間が導通している。

[0128] (線材の磁化損失測定)

図13は、試験例4におけるサンプルNo. 5、No. 6の磁化損失の測定結果を示すグラフである。図13において、横軸は、外部から印加した磁場B (T) を示しており、縦軸は、磁化 (T) を示している。測定条件として、温度は64 K (絶対温度) であり、横軸に示す値となるように磁場を変化させながら、酸化物超電導層に垂直な方向に磁場を印加して磁化を測定した。

[0129] 図13に示す結果から、同じ値を示す磁場においては、例えば、磁場が0 (T) である場合では、無分割 (サンプルNo. 6) の磁化は約30 (T) 及び約-30 (T) の値を示し、2分割 (サンプルNo. 5) の磁化は約15 (T) 及び約-15 (T) の値を示した。

[0130] 上述した結果から、磁場が0 (T) の場合において、サンプルNo. 6の磁化の絶対値は、サンプルNo. 5の磁化の絶対値よりも大きいことが分かる。

[0131] また、磁場が0 (T) の場合に限らず、同じ磁場条件下において、サンプルNo. 5及びサンプルNo. 6との大小関係は同じであることが分かる。ただし、磁場が0 (T) におけるサンプルNo. 6とサンプルNo. 5との差が約15 (T) であったが、磁場が0 (T) から約2.9 (T) に変化するに従って、又は、磁場が0 (T) から約-2.9 (T) に変化するに従って、その差が小さくなることが分かる。このことから、凹溝部が形成されていないサンプルNo. 6と、凹溝部が形成されているサンプルNo. 5とを比較すると、凹溝部を線材に形成することによって、磁化の大きさ (絶対値) を低減できることが分かる。即ち、2分割の場合では、磁化の大きさを小さくすることができる。

[0132] 一般的に、磁化は、遮蔽電流に関係して発生することが知られている。具体的に、遮蔽電流が高い場合に、磁化量も高くなる。このため、無分割線材であるサンプルNo. 7の磁化の絶対値が高く、分割線材であるサンプルNo. 5がサンプルNo. 6よりも磁化の絶対値が低いという結果から、サンプルNo. 6の遮蔽電流よりも、サンプルNo. 5の遮蔽電流が低いことが

分かる。即ち、分割線材であるサンプルN o. 5は、遮蔽電流の発生を抑制できるという効果が得られることが明らかである。この結果から、分割線材であるサンプルN o. 5においては、磁化損失を低減できることが分かる。

[0133] (磁気光学観察)

図14Aは、試験例におけるサンプルN o. 5 (2分割線材)を示す図であって、磁気光学観察により撮影して得られた画像である。図14Bは、試験例におけるサンプルN o. 6 (無分割線材)を示す図であって、磁気光学観察により撮影して得られた画像である。

磁気光学観察においては、酸化物超電導層に磁場を印加した状態で酸化物超電導層を観察すると、超電導部分と非超電導部分とは異なる応答を示すことが知られている。このような超電導部分及び非超電導部分の性質を利用した磁気光学観察によってサンプルN o. 5 (2分割線材)を観察すると、図14Aに示すように、線幅4mmの線材の中央において非超電導部分が観察された。その一方、磁気光学観察によってサンプルN o. 6 (無分割線材)を観察すると、図14Bに示すように、非超電導部分が観察されず、基材上の全ての領域において超電導部分が観察された。

[0134] (線材の交流損失測定)

図15は、試験例4におけるサンプルN o. 5、N o. 6の交流損失の測定結果を示すグラフである。図15において、横軸は、外部から印加した磁場 B (T)を示しており、縦軸は、交流損失 ($AC Loss$ 、 $J/m^3 cycle$)を示している。測定条件として、温度は64 K (絶対温度)であり、横軸に示す値となるように磁場を変化させながら、酸化物超電導層に垂直な方向に磁場を印加して磁化を測定した。磁化法と呼ばれる算出方法を採用し、測定された磁化の値から交流損失を計算した。交流損失の測定においては、最大印加磁場を横軸にプロットし、1サイクルあたりの損失量を交流損失とし、縦軸にプロットしている。

[0135] サンプルN o. 5、N o. 6の交流損失を計算したところ、図15に示す結果が得られた。主な計算値として、以下の計算値が挙げられる。即ち、磁

場が約1.42 (T)において、サンプルNo. 5の交流損失は約 3.61×10^7 (J/m³)、サンプルNo. 6の交流損失は約 6.39×10^7 (J/m³)であった。また、磁場が約2.03 (T)において、サンプルNo. 5の交流損失は約 4.26×10^7 (J/m³)、サンプルNo. 6の交流損失は約 7.76×10^7 (J/m³)であった。また、磁場が約4.12 (T)において、サンプルNo. 5の交流損失は約 6.26×10^7 (J/m³)、サンプルNo. 6の交流損失は約 1.14×10^8 (J/m³)であった。

この結果から、無分割線材のサンプルNo. 6の交流損失は、2分割線材のサンプルNo. 5の約1.8倍であることが分かる。この結果から、分割線材であるサンプルNo. 5においては、交流損失を低減できることが分かる。

[0136] 本発明の好ましい実施形態を説明し、上記で説明してきたが、これらは本発明の例示的なものであり、限定するものとして考慮されるべきではないことを理解すべきである。追加、省略、置換、およびその他の変更は、本発明の範囲から逸脱することなく行うことができる。従って、本発明は、前述の説明によって限定されていると見なされるべきではなく、請求の範囲によって制限されている。

[0137] 例えば、上述の実施形態においては、特定の層に配向阻害領域を形成する場合を例示している。しかしながら、配向阻害領域が形成される層は、基材又は、中間層のうち何れの層であっても良い。即ち、酸化物超電導層の下に形成される層であれば、どの層であっても良い。

符号の説明

[0138] 1、11、21、31、41、51…基材、1a、32Ba…凹溝部（第1凹溝部、配向阻害領域）、1b、11b、21b、31b、41b、51b…主面、2、12、22、32、42、52…中間層、2A、12A、22A、32A、42A、52A…下地層、2B、12B、22B、32B、42B、52B…配向層、2C、12C、22C、32C、42C、52C…キャップ層、2a…第2凹溝部、2b、3b、12b、13b、22b、

2 3 b、3 2 b、3 3 b、4 3 b、5 2 b、5 3 b…非配向領域、3、1 3、2 3、3 3、4 3、5 3…酸化物超電導層、4、1 4、2 4、3 4、4 4、5 4…金属安定化層、5、1 5、2 5、3 5、4 5、5 5…酸化物超電導線材、6…送出しリール、7…巻取りリール、8…加工工具、9…第1凹溝部加工装置、1 0、2 0、3 0、4 0、5 0、6 0…フィラメント、1 1 a、4 2 a…凸条部（第1凸条部、配向阻害領域）、1 2 a…第2凸条部、1 6…固着剤、1 8…塗布部、1 9…第1凸条部加工装置、2 1 a、5 2 B a…粗面部（第1粗面部、配向阻害領域）、2 2 a…第2粗面部、3 2 B c…隆起部

請求の範囲

- [請求項1] 基材と、
 前記基材の主面上に積層され、配向性を有する1又は2以上の層を有し、線材の長さ方向に沿って延びる一本又は複数本の非配向領域を有する中間層と、
 前記中間層上に積層され、前記中間層により結晶配向制御され、前記中間層の前記非配向領域上に位置する非配向領域を有する酸化物超電導層と、を有するマルチフィラメント化された酸化物超電導線材。
- [請求項2] 前記基材の前記主面又は前記中間層を構成する層のうち何れかの層の主面に設けられた配向阻害領域を有し、
 前記配向阻害領域は、前記配向阻害領域の上に積層される層の結晶配向性を阻害して前記非配向領域を形成させる領域である、請求項1に記載の酸化物超電導線材。
- [請求項3] 前記配向阻害領域が、前記基材の前記主面又は前記中間層を構成する前記層のうち何れかの層の前記主面に形成された凹溝部である、請求項2に記載の酸化物超電導線材。
- [請求項4] 前記中間層が、配向層と、前記配向層上に積層されたキャップ層と、を有し、
 前記キャップ層上に前記酸化物超電導層が積層され、
 前記凹溝部が、前記キャップ層により覆われている、請求項3に記載の酸化物超電導線材。
- [請求項5] 前記配向阻害領域が、前記基材の前記主面又は前記中間層を構成する前記層のうち何れかの層の前記主面に形成された凸条部である、請求項2に記載の酸化物超電導線材。
- [請求項6] 前記配向阻害領域が、前記基材の前記主面又は前記中間層を構成する前記層のうち何れかの層の前記主面に形成された粗面部であり、
 前記粗面部は、前記粗面部が形成されていない部位より相対的に算術平均粗さ R_a が大きい領域である、請求項2に記載の酸化物超電導

線材。

[請求項7] 前記粗面部の算術平均粗さ R_a は、5 nm 以上 1000 nm 以下である、請求項6に記載の酸化物超電導線材。

[請求項8] 主面を有する基材を準備し、
前記基材の前記主面に、線材の長さ方向に沿って一本又は複数本の配向阻害領域を形成し、
前記配向阻害領域を形成した後に、前記基材の前記主面上及び前記配向阻害領域上に、1又は2以上の層からなる中間層を積層し、
前記中間層上に、前記中間層によって結晶配向制御される酸化物超電導層を積層し、
前記配向阻害領域の上側に位置する前記酸化物超電導層に非配向領域を形成し、
酸化物超電導線材をマルチフィラメント化する、酸化物超電導線材の製造方法。

[請求項9] 主面を有する基材を準備し、
前記基材の前記主面上に、1又は2以上の層からなる中間層を積層し、
前記中間層を構成する前記層のうち何れかの層を積層した後に、前記積層された層の主面に、線材の長さ方向に沿って一本又は複数本の配向阻害領域を形成し、
前記中間層上及び前記配向阻害領域上に、前記中間層によって結晶配向制御される酸化物超電導層を積層し、
前記配向阻害領域の上側に位置する前記酸化物超電導層に非配向領域を形成し、
酸化物超電導線材をマルチフィラメント化する、酸化物超電導線材の製造方法。

[請求項10] 前記配向阻害領域が、凹溝部であり、
前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に前記凹溝部を形成す

る、請求項 8 又は請求項 9 に記載の酸化物超電導線材の製造方法。

[請求項11] 前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に加工工具を押し当てて、線材を長さ方向に移動させることで前記凹溝部を形成する、請求項 10 に記載の酸化物超電導線材の製造方法。

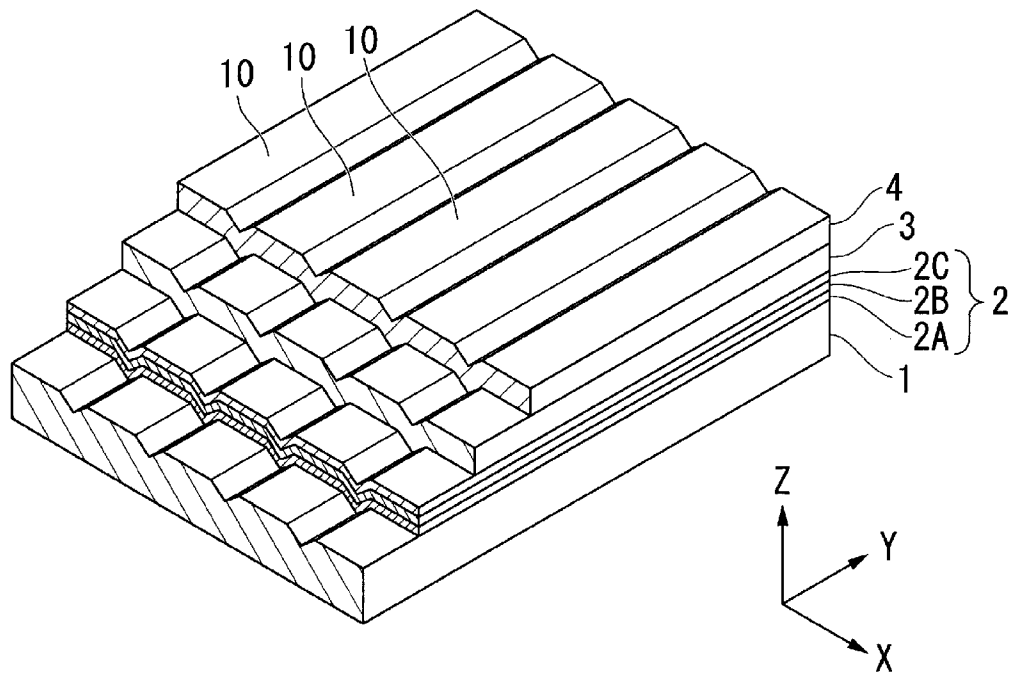
[請求項12] 前記配向阻害領域が、凸条部であり、
前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に前記凸条部を形成する、請求項 8 又は請求項 9 に記載の酸化物超電導線材の製造方法。

[請求項13] 前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に固着剤を付着させることで前記凸条部を形成する、請求項 12 に記載の酸化物超電導線材の製造方法。

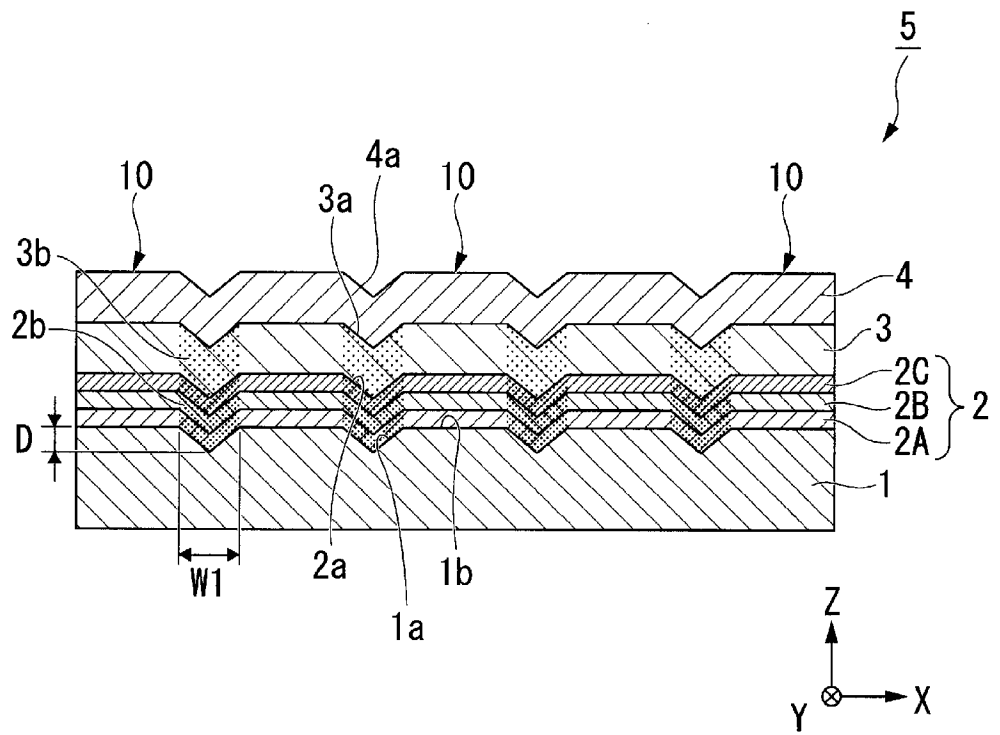
[請求項14] 前記配向阻害領域が、粗面部であり、
前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面に前記粗面部を形成する、請求項 8 又は請求項 9 に記載の酸化物超電導線材の製造方法。

[請求項15] 前記配向阻害領域を形成する際に、前記主面にレーザ照射することで前記粗面部を形成する、請求項 14 に記載の酸化物超電導線材の製造方法。

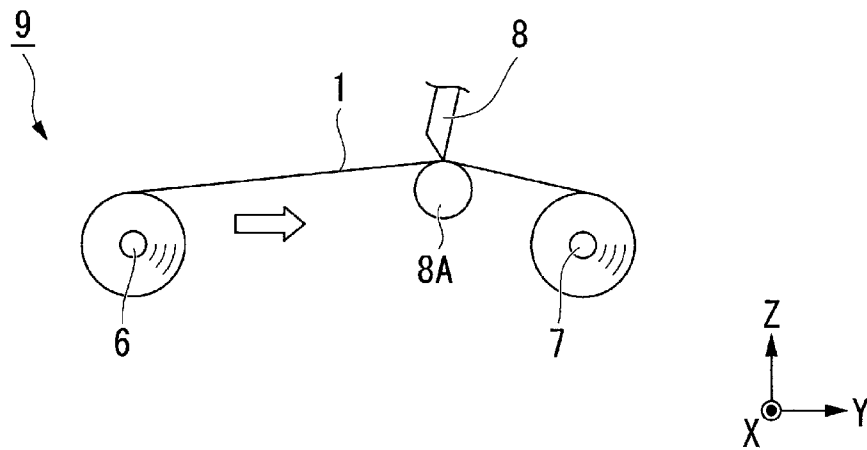
[図1A]



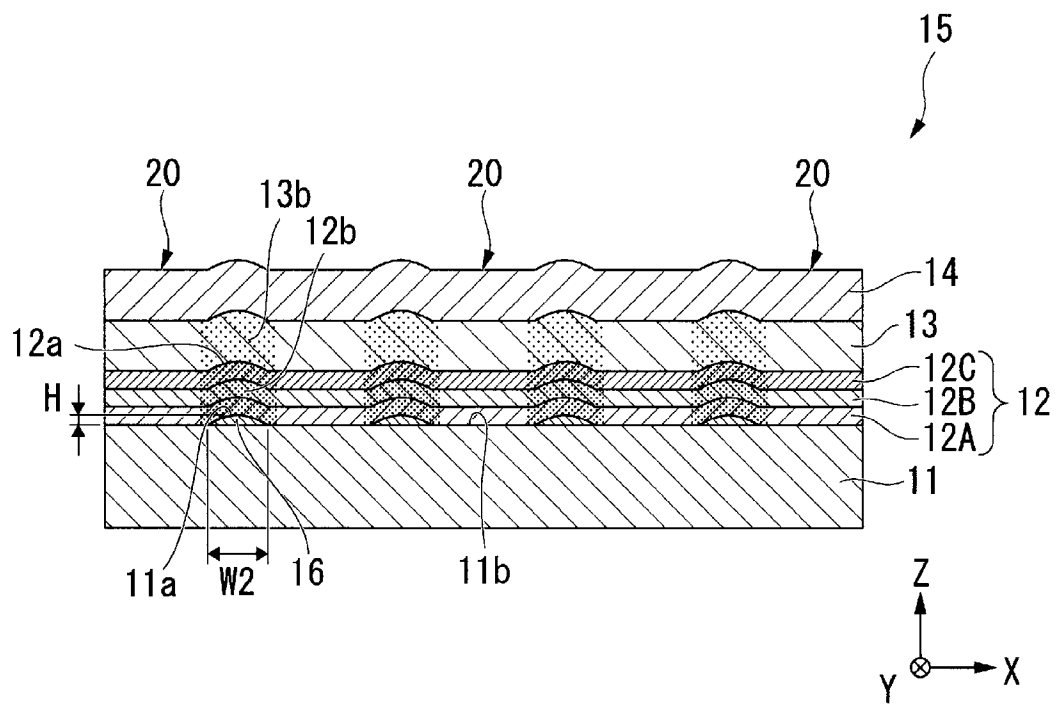
[図1B]



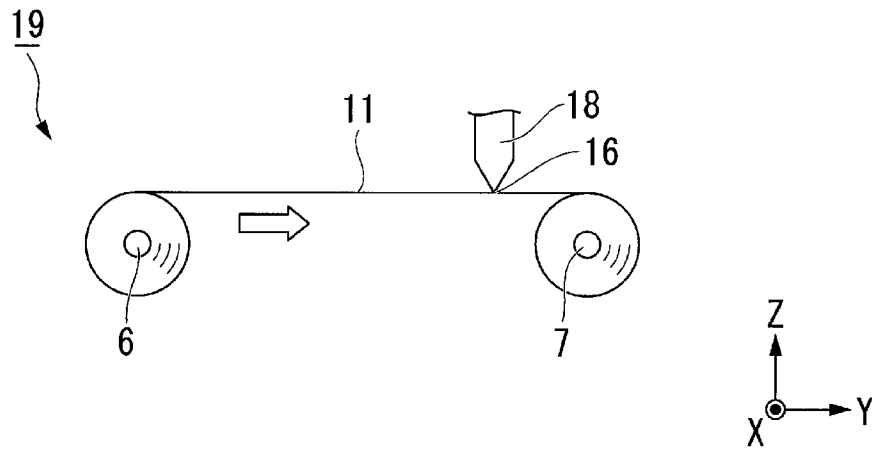
[図2]



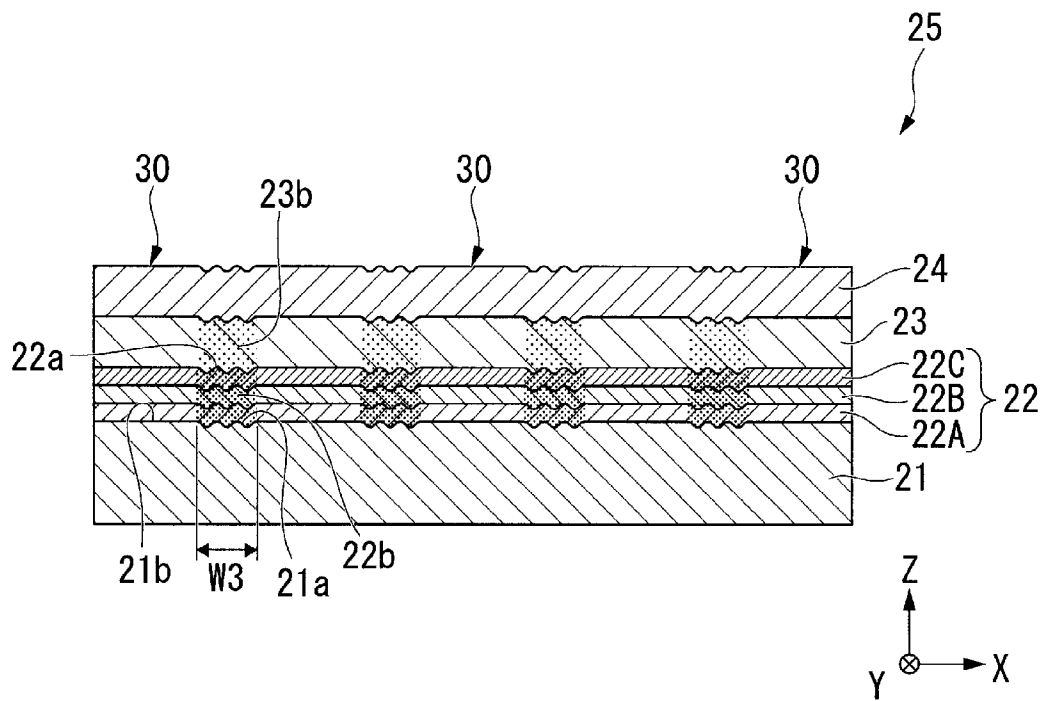
[図3]



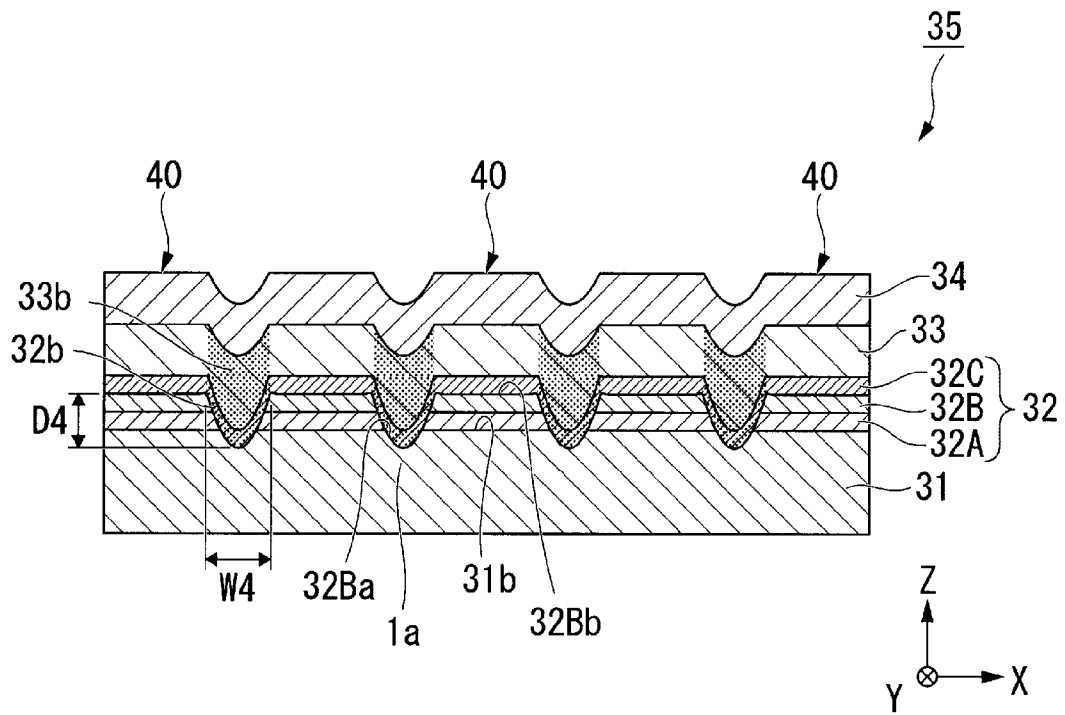
[図4]



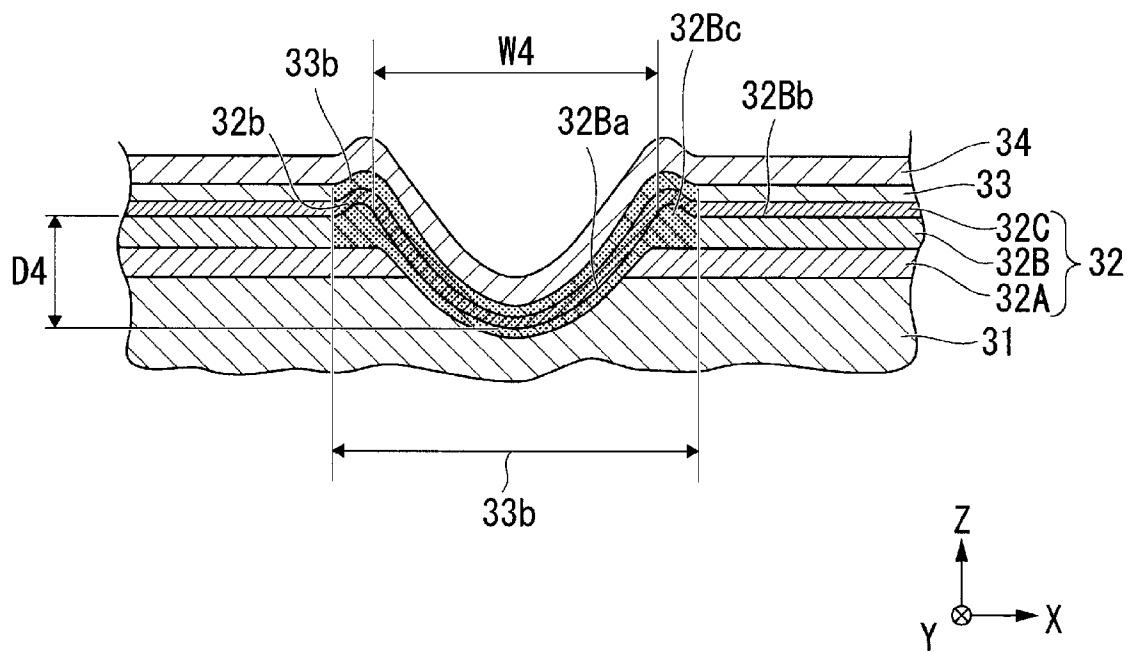
[図5]



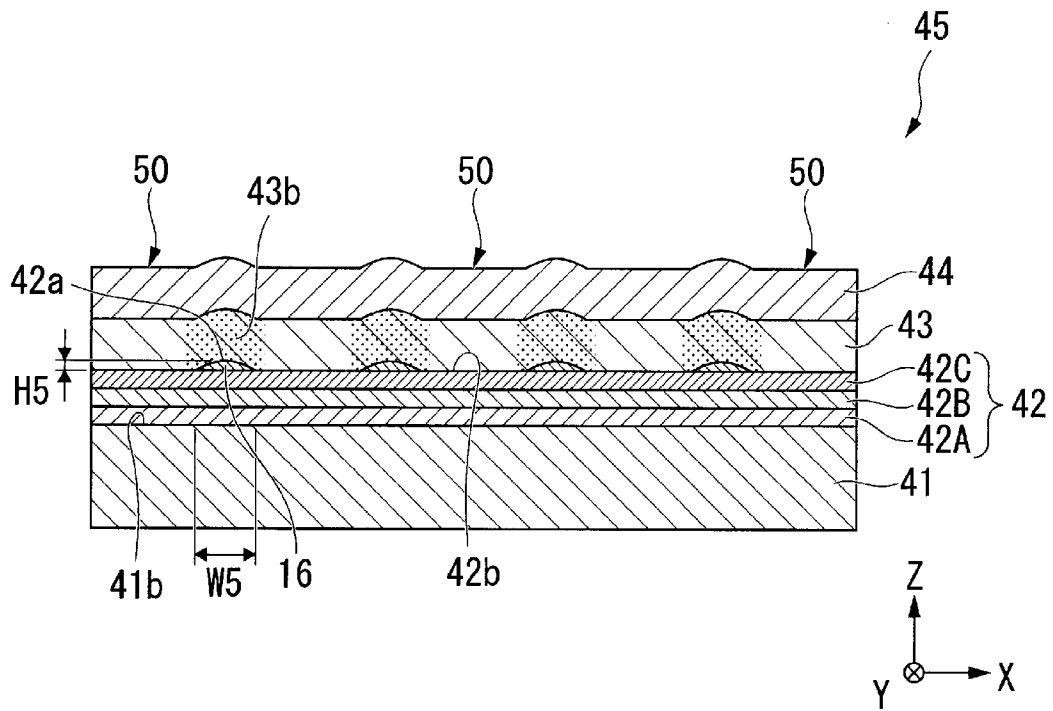
[図6A]



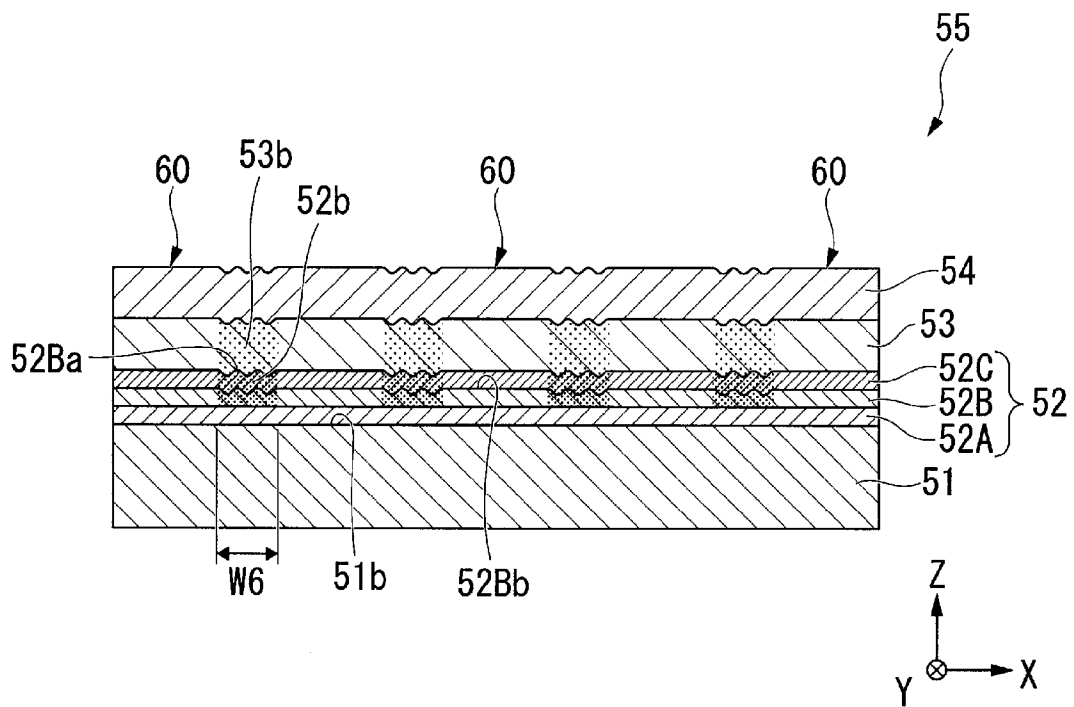
[図6B]



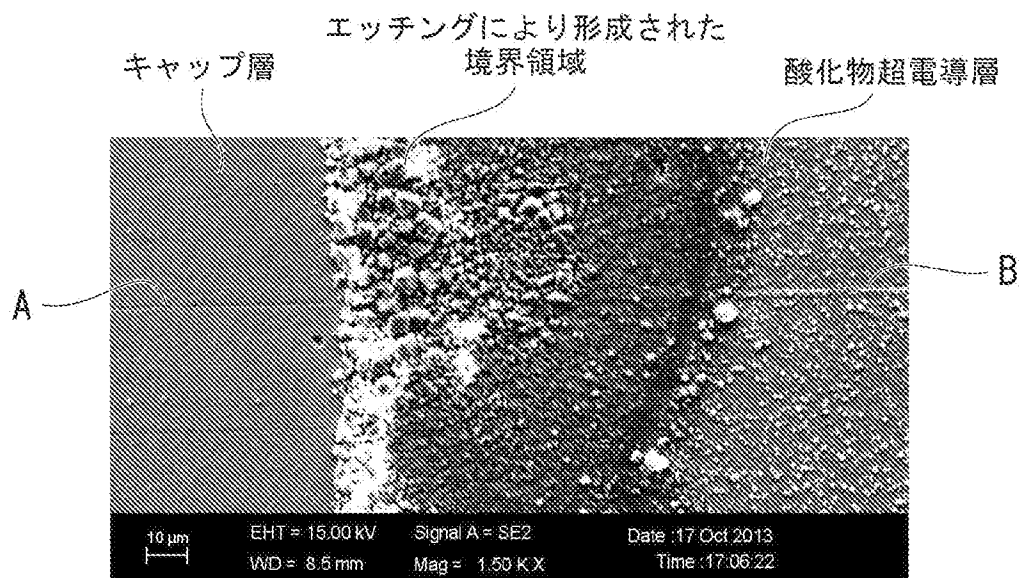
[図7]



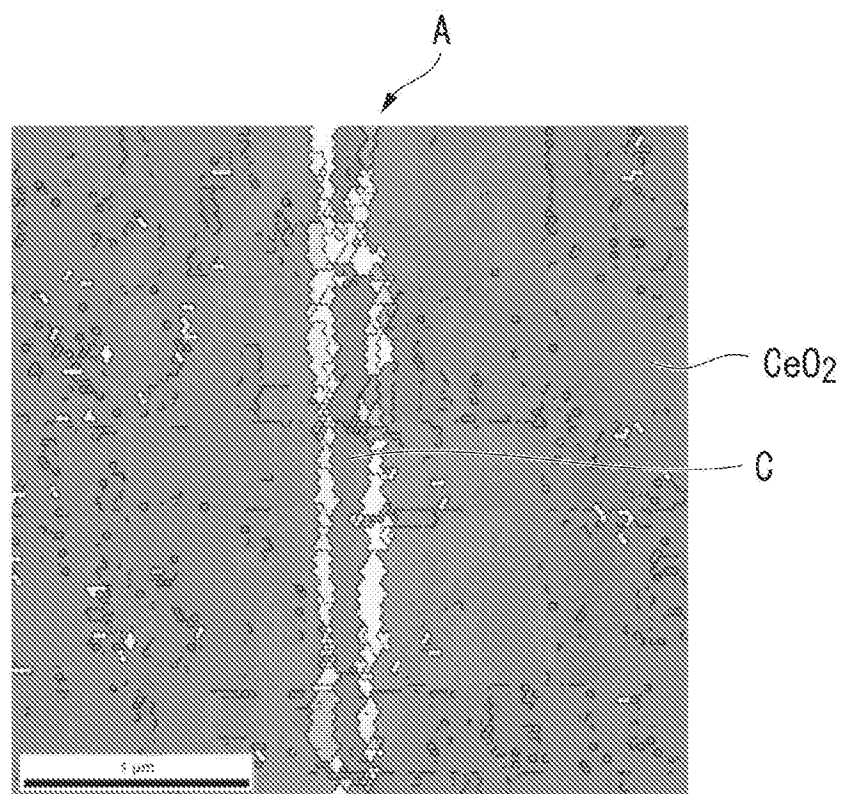
[図8]



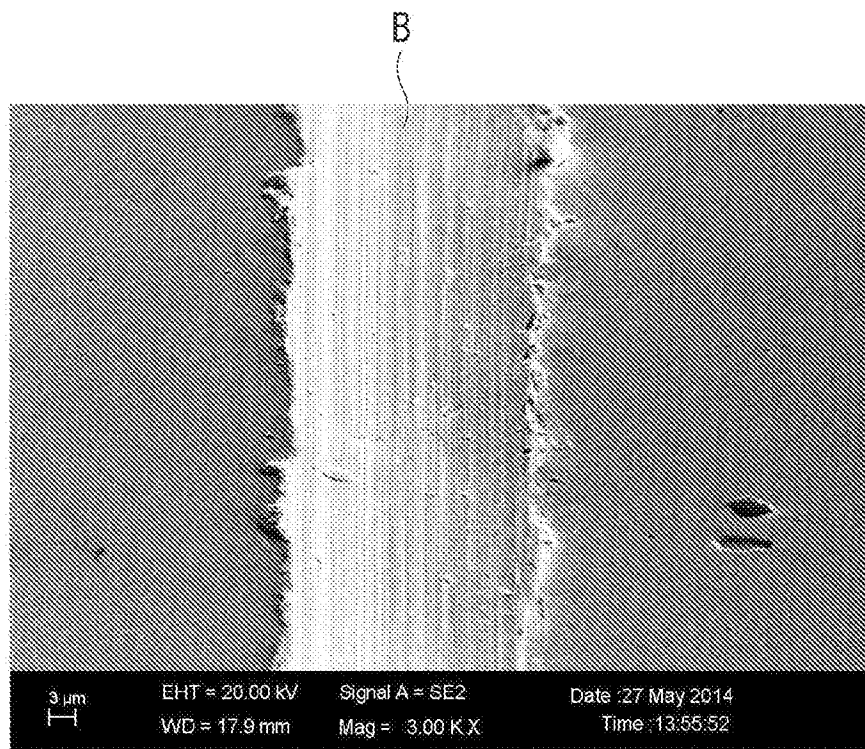
[図9]



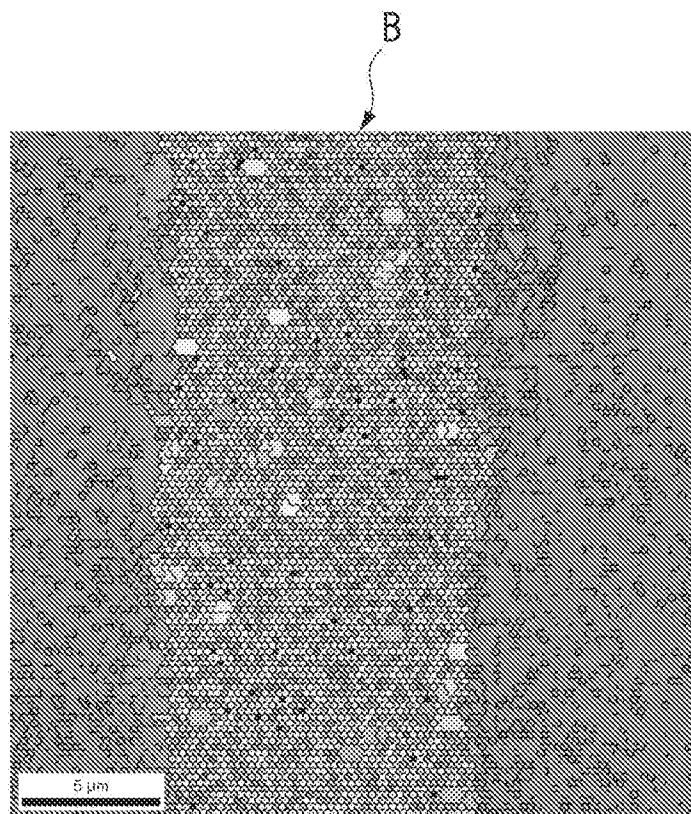
[図10]



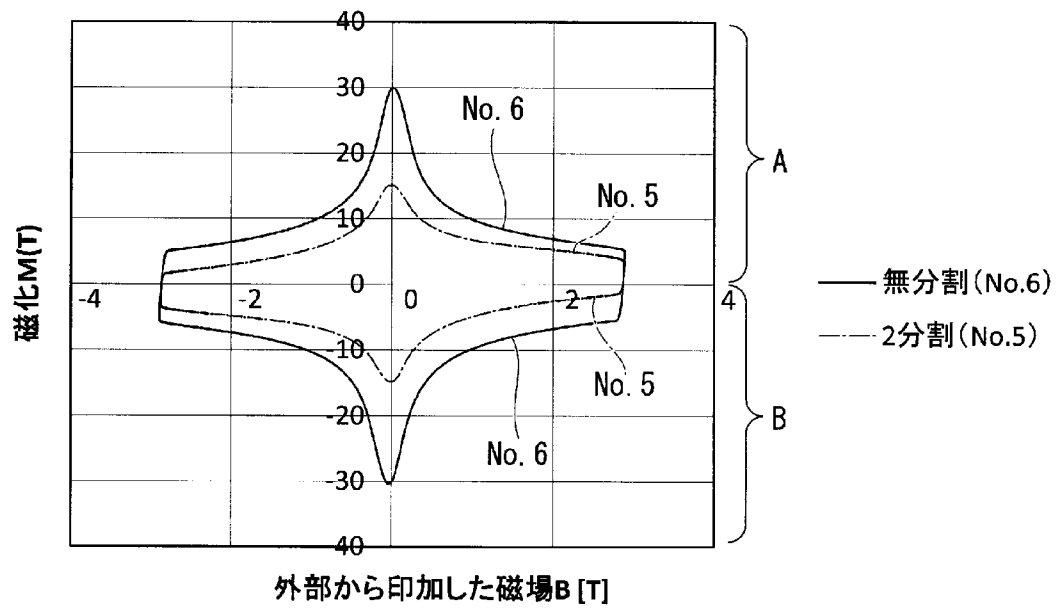
[図11]



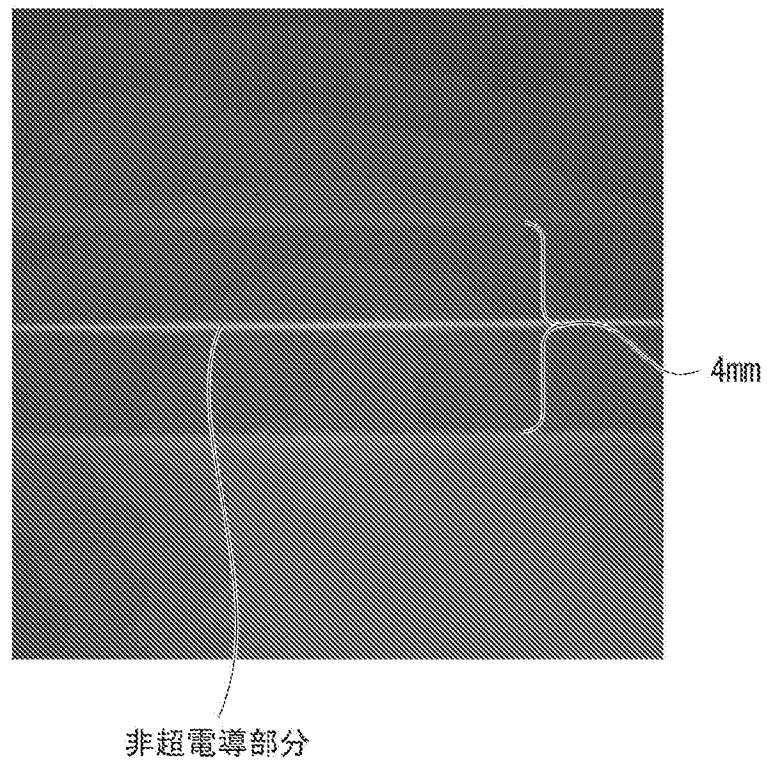
[図12]



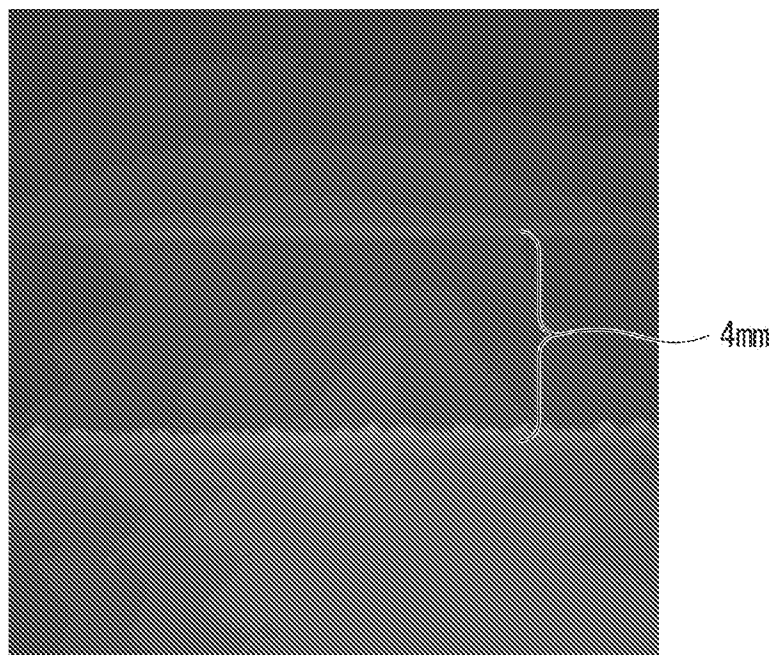
[図13]



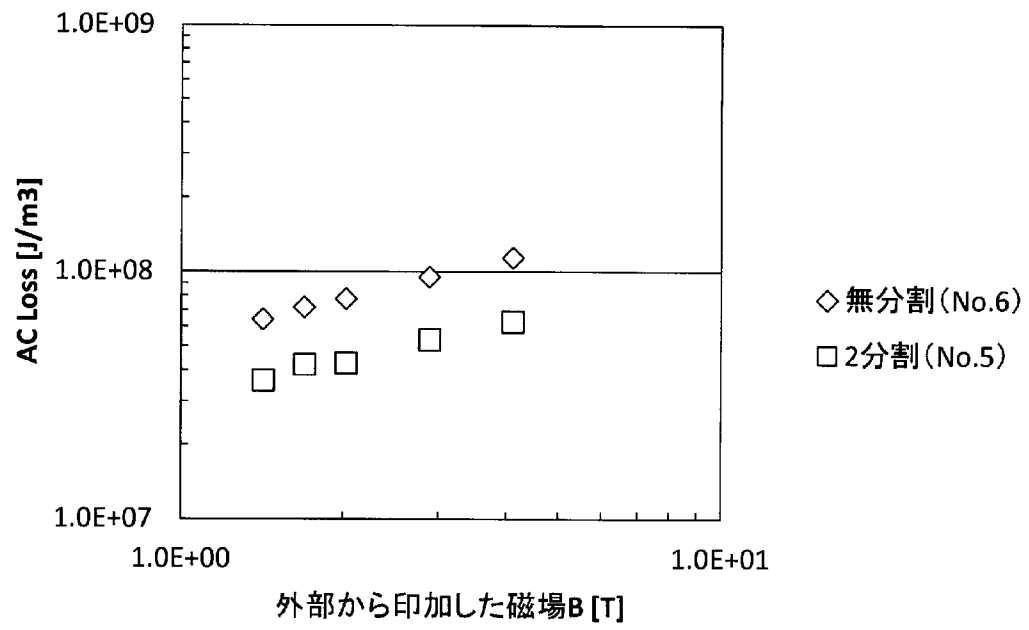
[図14A]



[図14B]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/063184

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01B12/06(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, H01F6/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01B12/06, H01B13/00, H01F6/06

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2007-87734 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 05 April 2007 (05.04.2007), paragraphs [0031], [0032], [0053] to [0068]; fig. 5, 6 & US 2008/0004184 A1 & WO 2007/034686 A1 & EP 1933335 A1 & CA 2587969 A1 & NO 20072134 A & CN 101069248 A & KR 10-2008-0046134 A & HK 1107871 A1 & AU 2006293313 A1 & MX 2007005876 A & NZ 555225 A & RU 2007118697 A & TW 200721200 A	1-3, 9-11 5-8, 12-15 4

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 June 2015 (17.06.15)

Date of mailing of the international search report
07 July 2015 (07.07.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/063184

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2012/0015818 A1 (Bruker HTS GmbH), 19 January 2012 (19.01.2012), paragraphs [0033], [0057] to [0065], [0076], [0077]; fig. 1, 2, 6 & EP 2410586 A1 & CN 102376869 A & ES 2394395 T3	5-7, 12-15
Y	JP 2005-78939 A (Japan Science and Technology Agency), 24 March 2005 (24.03.2005), paragraphs [0017] to [0028]; fig. 1 & US 2006/0258539 A1 & US 2010/0267568 A1 & WO 2005/022562 A1 & EP 1658625 B1 & KR 10-2006-0039026 A & CN 1842878 A	8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01B12/06(2006.01)i, H01B13/00(2006.01)i, H01F6/06(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01B12/06, H01B13/00, H01F6/06

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 5 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 5 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 5 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	JP 2007-87734 A（住友電気工業株式会社）2007.04.05, 段落 [0031]、[0032]、[0053] - [0068]、第5、6図 & US 2008/0004184 A1 & WO 2007/034686 A1 & EP 1933335 A1 & CA 2587969 A1 & NO 20072134 A & CN 101069248 A & KR 10-2008-0046134 A & HK 1107871 A1 & AU 2006293313 A1 & MX 2007005876 A & NZ 555225 A & RU 2007118697 A & TW 200721200 A	1-3, 9-11 5-8, 12-15 4

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 7 . 0 6 . 2 0 1 5

国際調査報告の発送日

0 7 . 0 7 . 2 0 1 5

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

北嶋 賢二

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 8 6

5 N

3 7 9 2

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	US 2012/0015818 A1 (Bruker HTS GmbH) 2012.01.19, 段落 [0033]、[0057] – [0065]、[0076]、[0077]、第1、2、6図 & EP 2410586 A1 & CN 102376869 A & ES 2394395 T3	5-7, 12-15
Y	JP 2005-78939 A (独立行政法人科学技術振興機構) 2005.03.24, 段落 [0017] – [0028]、第1図 & US 2006/0258539 A1 & US 2010/0267568 A1 & WO 2005/022562 A1 & EP 1658625 B1 & KR 10-2006-0039026 A & CN 1842878 A	8