(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
2016 年 2 月 4 日(04.02.2016)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2016/017203 A1

(51) 国際特許分類:
H01B 12/06 (2006.01) *H01F 6/06* (2006.01)
C01G 1/00 (2006.01) *C01G 3/00* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2015/057641

(22) 国際出願日: 2015 年 3 月 16 日(16.03.2015)

(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 2014-156649 2014 年 7 月 31 日(31.07.2014) JP

(71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 山口 高史 (YAMAGUCHI, Takashi); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 永石 竜起 (NAGAISHI, Tatsuoki); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 小西 昌也 (KONISHI, Masaya); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 大木 康太郎 (OHKI, Kotaro); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 本田 元気 (HONDA, Genki); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP). 吉原 健彦 (YOSHIHARA, Tatsuhiko); 〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目１番３号 住友電気工業株式会社 大阪製作所内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人深見特許事務所 (FUKAMI PATENT OFFICE, P.C.); 〒5300005 大阪府大阪市北区中之島二丁目２番７号 中之島セントラルタワー Osaka (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, 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.

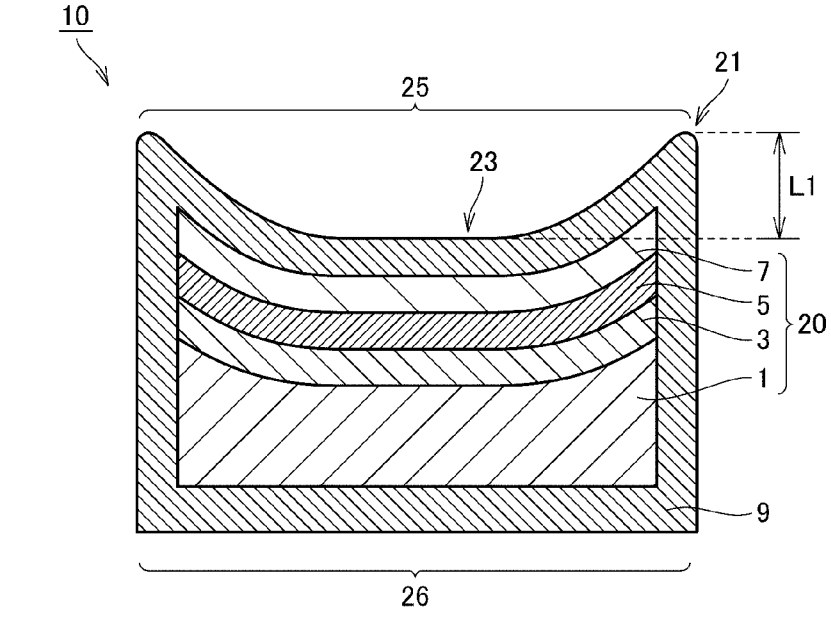
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) **Title**: SUPERCONDUCTING WIRE ROD

(54) 発明の名称 : 超電導線材

FIG.1



(57) **Abstract**: This superconducting wire rod (10) comprises a laminate (20) and a cladding layer (a stabilization layer (9) or a protective layer (7)). The laminate (20) contains a substrate (1) that has a principal surface and a superconductor layer (5) formed above said principal surface. The cladding layer (the stabilization layer (9) or the protective layer (7)) is laid out at least above the superconductor layer (5). The surface section (the surface section (25) of the stabilization layer (9) or the top surface of the protective layer (7)) of the cladding layer (the stabilization layer (9) or the protective layer (7)) above the superconductor layer (5) is concave.

(57) 要約: 超電導線材（１０）は、積層体（２０）と被覆層（安定化層（９）または保護層（７））とを備える。積層体（２０）は、主面を有する基板（１）と、当該主面上に形成された超電導材料層（５）とを含む。被覆層（安定化層（９）または保護層（７））は、少なくとも超電導材料層（５）上に配置される。被覆層（安定化層（９）または保護層（７））において、超電導材料層（５）上に位置する表面部分（安定化層（９）の表面部分（２５）または保護層（７）の上部表面）は凹形状になっている。

WO 2016/017203 A1

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)）

明　細　書

発明の名称 ： 超電導線材

技術分野

[0001] この発明は、超電導線材に関し、より特定的には、基板上に超電導材料層が形成された超電導線材に関する。

背景技術

[0002] 近年、金属基板上に超電導材料層が形成された超電導線材の開発が進められている。中でも、転移温度が液体窒素温度以上の高温超電導体である酸化物超電導体からなる超電導材料層が設けられた酸化物超電導線材が注目されている。

[0003] このような酸化物超電導線材は、一般的に、配向性の金属基板上に中間層を形成し、当該中間層上に酸化物超電導材料層を形成し、さらに、銀（Ａｇ）や銅（Ｃｕ）の安定化層を形成することにより製造されている（たとえば特開２０１３－１２４０６号公報（特許文献１）参照）。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開２０１３－１２４０６号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 上述した構成の超電導線材は、たとえばコイル状に巻回されて超電導コイルを構成する。このとき、巻回された超電導線材の表面（特に超電導材料層が形成された側の安定化層表面）が、当該表面上に積層された超電導線材や他の部材と接触して、当該表面が損傷する場合があった。この場合、当該損傷に起因して超電導線材の超電導材料層も損傷し、結果的に超電導線材の特性が劣化することがあった。

[0006] この発明は、上記のような課題を解決するために成されたものであり、この発明の目的は、超電導特性の劣化を抑制することが可能な超電導線材を提

供することである。

課題を解決するための手段

[0007] 本発明の一態様に係る超電導線材は、積層体と被覆層とを備える。積層体は、主面を有する基板と、当該主面上に形成された超電導材料層とを含む。被覆層は、少なくとも超電導材料層上に配置される。被覆層において、超電導材料層上に位置する表面部分は凹形状になっている。

発明の効果

[0008] 上記によれば、超電導線材の被覆層における表面部分が凹形状になっているので、表面部分上に積層配置された他の部材などが表面部分の凹んだ領域に接触する可能性を低減できる。このため、上記接触に起因する超電導特性の劣化を抑制できる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の実施の形態１に係る超電導線材の構成を示す断面模式図である。

[図2]実施の形態１に係る超電導線材の製造方法を示すフローチャートである。

[図3]実施の形態１に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図4]実施の形態１に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図5]実施の形態１に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図6]実施の形態１に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図7]細線加工工程に用いられるスリッターの構成を模式的に示す図である。

[図8]本発明の実施の形態２に係る超電導線材の構成を示す断面模式図である。

[図9]図８に示した超電導線材の変形例を示す断面模式図である。

[図10]本発明の実施の形態３に係る超電導線材の構成を示す断面模式図である。

[図11]図１０に示した超電導線材の変形例を示す断面模式図である。

[図12]本発明の実施の形態４に係る超電導線材の構成を示す断面模式図である。

[図13]本発明の実施の形態５に係る超電導線材の構成を示す断面模式図である。

[図14]本発明の実施の形態６に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図15]本発明の実施の形態６に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図16]本発明の実施の形態６に係る超電導線材を説明するための断面模式図である。

[図17]本発明の実施の形態６に係る超電導線材の変形例の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図18]本発明の実施の形態７に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図19]本発明の実施の形態７に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図20]本発明の実施の形態７に係る超電導線材を説明するための断面模式図である。

[図21]本発明の実施の形態８に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図22]本発明の実施の形態８に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図23]本発明の実施の形態８に係る超電導線材を説明するための断面模式図である。

[図24]本発明の実施の形態８に係る超電導線材の変形例の製造方法を説明す

るための断面模式図である。

[図25]本発明の実施の形態８に係る超電導線材の変形例の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図26]本発明の実施の形態８に係る超電導線材の変形例を説明するための断面模式図である。

[図27]本発明の実施の形態９に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図28]本発明の実施の形態９に係る超電導線材の製造方法を説明するための断面模式図である。

[図29]本発明の実施の形態９に係る超電導線材を説明するための断面模式図である。

発明を実施するための形態

[0010] [本発明の実施形態の説明]

最初に本発明の実施態様を列記して説明する。

[0011] （１） 本発明の一態様に係る超電導線材１０（図１参照）は、積層体２０と被覆層（安定化層９または保護層７）とを備える。積層体２０は、主面を有する基板１と、当該主面上に形成された超電導材料層５とを含む。被覆層（安定化層９または保護層７）は、少なくとも超電導材料層５上に配置される。被覆層（安定化層９または保護層７）において、超電導材料層５上に位置する表面部分（安定化層９の表面部分２５または保護層７の上部表面）は凹形状になっている。なお、上記超電導材料層５は、基板１の主面上に直接的または中間層３などを介して間接的に形成され得る。

[0012] このようにすれば、超電導線材１０の被覆層（安定化層９または保護層７）における表面部分が凹形状になっているので、表面部分上に積層配置された他の部材（たとえば超電導線材１０の他の部分など）が表面部分２５の凹んだ領域に接触する可能性を低減できる。このため、上記接触に起因して超電導材料層５が破損する可能性を低減できるので、超電導線材１０における超電導特性の劣化を抑制できる。

[0013] （２） 上記超電導線材１０では、基板１の幅方向での断面において、表面部分２５の凹形状になっている領域の頂部２１と底部２３との間の、基板の厚み方向における距離Ｌ１が１μｍ以上１００μｍ以下であってもよい。この場合、凹形状になっている表面部分２５に他の部材などが接触する可能性を低減できるので、上述した超電導材料層５の破損の可能性を確実に低減できる。なお、ここで頂部２１とは、凹形状になっている表面部分２５において超電導材料層５から最も離れた領域（たとえば、凸状に突出した領域）を意味する。また、底部２３とは、表面部分２５において超電導材料層５に最も近い領域（たとえば、凹形状内部において最も深い領域）をいう。なお、上記距離Ｌ１が１μｍ未満では表面部分２５の凹形状が十分な深さとならず、上述した効果を十分発揮できない。また、上記距離Ｌ１が１００μｍ超えの場合、表面部分２５の頂部２１が突出しすぎて当該頂部２１の破損などの可能性が高くなる。また、上記距離Ｌ１の下限は好ましくは５μｍ、より好ましくは１０μｍ、さらに好ましくは１５μｍとすることができる。また、上記距離Ｌ１の上限は、好ましくは８０μｍ、より好ましくは７０μｍ、さらに好ましくは５０μｍとすることができる。

[0014] （３） 上記超電導線材１０（図８参照）では、基板１の幅方向での断面において、表面部分２５の幅Ｗ１は、超電導線材において表面部分と反対側に位置する領域（裏面部分２６）の幅Ｗ２より狭くてもよい。この場合、超電導線材１０を巻回してコイルなどを形成するときに、積層された外周側の超電導線材１０の部分と、当該超電導線材１０の部分の内周側に位置する他の部分との間で隙間を形成することができる。このため、積層された超電導線材１０の表面部分２５が積層された超電導線材１０の他の部分により損傷を受ける可能性を低減できる。

[0015] （４） 上記超電導線材１０では、超電導線材１０において表面部分２５と反対側に位置する裏面部分２６の形状が平面状（たとえば図１参照）および凹形状（たとえば図２９参照）のいずれか一方であってもよい。この場合、超電導線材１０を重ねたときに、表面部分２５と裏面部分２６との形状が

異なるため、当該裏面部分２６が表面部分２５の中央部（たとえば凹形状の底の部分など）に直接的に接触することを防止できる。

[0016] （５） 上記超電導線材１０（図９参照）では、超電導線材１０において表面部分２５と反対側に位置する裏面部分２６の形状は凸状の曲面状であってもよい。表面部分２５の形状は凹状の曲面状であってもよい。基板１の幅方向での断面において、裏面部分２６の曲率半径は表面部分２５の曲率半径より大きくてもよい。この場合、超電導線材１０を重ねたときに、表面部分２５と裏面部分２６との曲率半径が異なるため、当該裏面部分２６が表面部分２５の中央部などに直接的に接触することを防止できる。

[0017] （６） 上記超電導線材１０（図１２参照）では、基板１の幅方向での断面において、超電導材料層５の中央部上における被覆層（安定化層９）の厚みＴ１より、超電導材料層５の端部上における被覆層（安定化層９）の厚みＴ２の方が厚くてもよい。この場合、被覆層の表面部分２５の凹形状における頂部が超電導材料層５の端部上の領域となる。そして、当該超電導材料層５の端部上の被覆層の領域は、他の部材（たとえば積層配置された超電導線材１０の他の部分）と直接的に接触する可能性が高くなる。このように他の部材が上記被覆層の領域に接触した場合であっても、他の部材が接触した領域における上記被覆層の厚みＴ２が十分厚くなっているため、当該他の部材の接触に起因する圧力が超電導材料層５にまで悪影響を及ぼす可能性を低減できる。

[0018] （７） 本発明の一態様に係る超電導線材１０（図１６参照）は、主面を有する基板１と、主面上に形成された超電導材料層５とを備える。超電導材料層５の表面は凹形状になっている。このようにすれば、超電導材料層５の表面上に保護層７や安定化層９などの被覆層を形成するときに、当該被覆層の上部表面（表面部分２５）を容易に凹形状とすることができる。この結果、上部表面上に積層配置された他の部材（たとえば超電導線材１０の他の部分など）が表面部分２５の凹んだ領域に接触する可能性を低減できる。

[0019] （８） 上記超電導線材１０（図１６参照）では、基板１の幅方向での断

面において、超電導材料層５の表面の凹形状になっている領域の頂部４１（図１４参照）と底部４３（図１４参照）との間の、基板１の厚み方向における距離Ｌ２が１μｍ以上１００μｍ以下であってもよい。この場合、超電導材料層５において表面を凹形状としたことによる内部応力の値を、超電導特性に対する悪影響が発生しないレベルに抑えることができるとともに、超電導材料層５（図１６参照）の表面上に形成する被覆層の上部表面を確実に凹形状とすることができる。なお、ここで頂部４１とは、凹形状になっている超電導材料層５の表面において基板１の裏面（超電導材料層５が形成された表面と反対側の裏面）から最も離れた領域（たとえば、凸状に突出した領域）を意味する。また、底部４３とは、超電導材料層５の表面において基板１の裏面に最も近い領域（たとえば、凹形状内部において最も深い領域）をいう。なお、上記距離Ｌ２が１μｍ未満では、超電導材料層５の表面上に形成される被覆層（安定化層９）の表面部分２５の凹形状が十分な深さとならず、上述した効果を十分発揮できない。また、上記距離Ｌ２が１００μｍ超えの場合、超電導材料層５において過大な内部応力が発生する可能性があり、この結果超電導特性が劣化する可能性がある。また、上記距離Ｌ２の下限は好ましくは５μｍ、より好ましくは１０μｍ、さらに好ましくは１５μｍとすることができる。また、上記距離Ｌ２の上限は、好ましくは８０μｍ、より好ましくは７０μｍ、さらに好ましくは５０μｍとすることができる。

[0020] （９） 本発明の一態様に係る超電導線材１０（図２０参照）は、主面を有する基板１と、主面上に形成された超電導材料層５とを備える。基板１の主面５５（図１８参照）は凹形状になっている。このようにすれば、当該超電導材料層５（図２０参照）上に保護層７や安定化層９などの被覆層を形成するときに、当該被覆層の上部表面（表面部分２５）を容易に凹形状とすることができる。この結果、上部表面上に積層配置された他の部材（たとえば超電導線材１０の他の部分など）が表面部分２５の凹んだ領域に接触する可能性を低減できる。

[0021] （１０） 上記超電導線材１０（図２０参照）では、基板１の幅方向での

断面において、基板１の主面５５（図１８参照）の凹形状になっている領域の頂部５１と底部５３との間の、基板１の厚み方向における距離Ｌ３が１μｍ以上１００μｍ以下であってもよい。この場合、基板１の主面５５上に形成した超電導材料層５において当該主面５５が凹形状となっていることに起因して発生する内部応力の値を、超電導特性に対する悪影響が発生しないレベルに抑えることができるとともに、超電導材料層５の表面上に形成する被覆層の上部表面を確実に凹形状とすることができる。なお、ここで頂部５１とは、凹形状になっている基板１の表面において基板１の裏面（超電導材料層５が形成された表面と反対側の裏面）から最も離れた領域（たとえば、凸状に突出した領域、あるいは基板１の主面において基板１の厚みの最も厚い領域）を意味する。また、底部５３とは、基板１の表面において基板１の裏面に最も近い領域（たとえば、凹形状内部において最も深い領域、あるいは基板１の主面５５において基板１の厚みが最も薄い部分）をいう。また、上記距離Ｌ３が１μｍ未満では、基板１の主面５５および超電導材料層５を含む積層体２０の表面上に形成される被覆層（安定化層９）の表面部分２５の凹形状が十分な深さとならず、上述した効果を十分発揮できない。また、上記距離Ｌ３が１００μｍ超えの場合、基板１の主面５５上に形成される超電導材料層５において過大な内部応力が発生する可能性があり、この結果超電導特性が劣化する可能性がある。また、上記距離Ｌ３の下限は好ましくは５μｍ、より好ましくは１０μｍ、さらに好ましくは１５μｍとすることができる。また、上記距離Ｌ３の上限は、好ましくは８０μｍ、より好ましくは７０μｍ、さらに好ましくは５０μｍとすることができる。

[0022] （１１） 上記超電導線材１０（図２３参照）では、基板１の幅方向での断面において、主面５５（図２１）の幅Ｗ３は、基板１において主面５５と反対側に位置する領域（図２１における裏面５６）の幅Ｗ４より狭くてもよい。この場合、超電導線材１０を巻回してコイルなどを形成するときに、積層された外周側の超電導線材１０の部分と、当該超電導線材１０の部分の内周側に位置する他の部分との間で隙間を形成することができる。このため、

積層された超電導線材１０の超電導材料層５が形成された側の表面（表面部分２５）が積層された超電導線材１０の他の部分により損傷を受ける可能性を低減できる。

[0023] （１２） 上記超電導線材１０（図２０または図２９参照）では、基板１において主面５５（図１８または図２７参照）と反対側に位置する裏面５６の形状は平面状（図１８参照）および凹形状（図２７参照）のいずれか一方であってもよい。この場合、超電導線材１０を重ねたときに、基板１の主面５５側の表面（図２０または図２９の表面部分２５）と基板１の裏面５６側の表面（図２０または図２９の裏面部分２６）との形状が異なるため、当該裏面部分２６が、主面５５の形状に沿った凹形状となった表面部分２５の中央部（たとえば凹形状の底の部分など）に直接的に接触することを防止できる。

[0024] （１３） 上記超電導線材１０（図２６参照）では、基板１において主面５５（図２４参照）と反対側に位置する裏面５６（図２４参照）の形状は凸状の曲面状であってもよく、主面５５の形状は凹状の曲面状であってもよい。基板１の幅方向での断面において、裏面５６の曲率半径は主面５５の曲率半径より大きくてもよい。この場合、超電導線材１０（図２６参照）を重ねたときに、基板１の主面５５側に位置する超電導線材１０の表面（表面部分２５）と、基板１の裏面５６側に位置する超電導線材１０の裏面（裏面部分２６）との曲率半径を容易に異なるようにできるので、当該裏面部分２６が表面部分２５の中央部などに直接的に接触することを防止できる。

[0025] [本発明の実施形態の詳細]

以下、本発明の実施の形態について図に基づいて説明する。なお、以下の図面において、同一または相当する部分には同一の参照番号を付し、その説明は繰り返さない。

[0026] ＜実施の形態１＞

（超電導線材の構成）

図１は、本発明の実施の形態１に係る超電導線材の構成を示す断面模式図

である。図１は、実施の形態１に係る超電導線材１０の延在する方向に交差する方向に切断した断面を示している。このため、紙面に交差する方向が超電導線材の長手方向であり、超電導材料層５の超電導電流は紙面に交差する方向に沿って流れるものとする。また、図１および以降の断面模式図においては、図を見やすくするために矩形状の断面における上下方向（以下、「厚み方向」とも称する）と左右方向（以下、「幅方向」とも称する）との長さの差を小さくしているが、実際は当該断面の厚み方向の長さは幅方向の長さに比べて十分に小さい。

[0027] 図１を参照して、実施の形態１に係る超電導線材１０は、断面が矩形をなす長尺形状（テープ状）であり、ここでは長尺形状の長手方向に延在する相対的に大きな表面を主面とする。超電導線材１０は、基板１と、中間層３と、超電導材料層５と、保護層７と、安定化層９とを備える。

[0028] 基板１は、第１の主面と、第２の主面とを有する。第２の主面は、第１の主面とは反対側に位置する。基板１は、たとえば金属からなり、断面が矩形をなす長尺形状（テープ状）とすることが好ましい。コイルに巻回するためには、基板１はたとえば２ｋｍ程度に長尺化されていることが好ましい。

[0029] 基板１は、配向金属基板を用いることがさらに好ましい。なお、配向金属基板とは、基板表面の面内の２軸方向に関して、結晶方位が揃っている基板を意味する。配向金属基板としては、たとえばニッケル（Ｎｉ）、銅（Ｃｕ）、クロム（Ｃｒ）、マンガン（Ｍｎ）、コバルト（Ｃｏ）、鉄（Ｆｅ）、パラジウム（Ｐｄ）、銀（Ａｇ）、および金（Ａｕ）のうちの２以上の金属からなる合金が好適に用いられる。これらの金属を他の金属または合金と積層することもでき、たとえば高強度材料であるＳＵＳなどの合金を用いることもできる。なお、基板１の材料は特にこれに限定されず、たとえば金属以外の材料を用いてもよい。

[0030] 超電導線材１０の幅方向の長さは、たとえば４ｍｍ～１０ｍｍ程度である。超電導線材１０に流れる電流密度を大きくするためには、基板１の断面積が小さい方が好ましい。ただし、基板１の厚み（図１における上下方向）を

薄くしすぎると、基板１の強度が劣化する可能性がある。したがって、基板１の厚みはたとえば０．１ｍｍ程度にすることが好ましい。

[0031] 中間層３は、基板１の第１の主面上に形成されている。超電導材料層５は、中間層３の、基板１と対向する主面と反対側の主面（図１における上側の主面）上に形成されている。すなわち、超電導材料層５は、中間層３を挟んで基板１の第１の主面上に配置されている。中間層３を構成する材料は、たとえばイットリア安定化ジルコニア（ＹＳＺ）、酸化セリウム（CeO_2）、酸化マグネシウム（ＭｇＯ）、酸化イットリウム（Y_2O_3）およびチタン酸ストロンチウム（$SrTiO_3$）などが好ましい。これらの材料は、超電導材料層５との反応性が極めて低く、超電導材料層５と接触している境界面においても超電導材料層５の超電導特性を低下させない。特に、基板１を構成する材料として金属を用いる場合には、表面に結晶配向性を有する基板１と超電導材料層５との配向性の差を緩和して、超電導材料層５を高温で形成する際に、基板１から超電導材料層５への金属原子の流出を防止する役割を果たすことができる。なお、中間層３を構成する材料は特にこれに限定されない。

[0032] また、中間層３は、複数の層により構成されていてもよい。中間層３が複数の層により構成される場合、中間層３を構成するそれぞれの層は互いに異なる材質または一部が同じ材質により構成されていてもよい。

[0033] 超電導材料層５は、超電導線材１０のうち、超電導電流が流れる薄膜層である。超電導材料は特に限定されないが、たとえばＲＥ－１２３系の酸化物超電導体とすることが好ましい。なお、ＲＥ－１２３系の酸化物超電導体とは、$REBa_2Cu_3O_y$（ｙは６～８、より好ましくは６．８～７、ＲＥとはイットリウム、またはＧｄ、Ｓｍ、Ｈｏなどの希土類元素を意味する）として表される超電導体を意味する。また、超電導材料層５に流れる超電導電流の値を向上させるためには、超電導材料層５の厚みは０．５μｍ～１０μｍであることが好ましい。

[0034] 保護層７は、超電導材料層５の、中間層３と対向する主面と反対側の主面

（図１における上側の主面）上に形成されている。保護層７は、たとえば銀（Ａｇ）または銀合金からなり、その厚みは０．１μｍ以上５０μｍ以下とすることが好ましい。

[0035] 以上に述べた基板１、中間層３、超電導材料層５および保護層７により積層体２０が形成されている。そして、この積層体２０の周囲を覆うように安定化層９が配置されている。本実施の形態では、積層体２０の外周を覆うように、すなわち、積層体２０の外側の最表面のほぼ全面を覆うように、安定化層９が配置されている。ただし、本発明における「積層体の周囲」とは、全周に限定されるものではなく、積層体の主面だけでもよい。

[0036] 安定化層９は、良導電性の金属材料の箔またはめっき層などからなる。安定化層９は、保護層７とともに、超電導材料層５が超電導状態から常電導状態に遷移する際に超電導材料層５の電流が転流するバイパスとして機能する。安定化層９を構成する材料は、たとえば銅（Ｃｕ）または銅合金などが好ましい。安定化層９の厚みは特に限定されないが、保護層７および超電導材料層５を物理的に保護する観点から１０μｍ～５００μｍであることが好ましい。

[0037] 図１に示すように、積層体２０において、積層体２０の延在方向に対して垂直な方向（幅方向）における両端部は、保護層７の表面に向かう方向に突出している。すなわち、積層体２０の保護層７の表面は上述した積層体２０の延在方向に対して垂直な方向（幅方向）における断面において凹形状となっている。なお、積層体２０における基板１の裏面（基板１において中間層３が形成された第１の主面と反対側に位置する第２の主面）は、平坦な形状となっている。

[0038] この積層体２０の外周を覆うように形成されている安定化層９において、超電導材料層５が形成されている側の表面である表面部分２５も、積層体２０の延在方向に対して垂直な方向における断面の形状が凹形状となっている。また、安定化層９において、基板１の裏面上に位置する部分の表面である裏面部分２６は平坦な形状となっている。表面部分２５における底部２３と

頂部２１との間の基板１の厚さ方向における距離Ｌ１は、たとえば１μｍ以上１００μｍ以下とすることができる。底部２３は、表面部分２５の幅方向におけるほぼ中央部に位置する。また、頂部２１は、表面部分２５の幅方向における端部に位置する。

[0039] このように、超電導材料層５が形成された側の安定化層９の表面部分２５が凹形状となっているため、超電導線材１０をコイル状に巻回したような場合に表面部分２５が他の部材もしくは巻回された超電導線材１０の他の部分と接触して結果的に超電導材料層５がダメージを受けるといった問題の発生を抑制できる。

[0040] （超電導線材の製造方法）

図２～図７を参照して、図１に示した超電導線材１０の製造方法を説明する。以下では、３０ｍｍ幅に作製された積層体２０から４ｍｍ幅に細線加工された積層体２０を用いて超電導線材１０を製造する方法を例に挙げ、本実施の形態を具体的に説明する。

[0041] 図２は、実施の形態１に係る超電導線材の製造方法を示すフローチャートである。図２を参照して、まず基板準備工程（Ｓ１０）が実施される。具体的には、図３を参照して、配向金属基板からなり、３０ｍｍ幅のテープ状を有する基板１が準備される。基板１は、第１の主面と、第１の主面とは反対側に位置する第２の主面とを有する。基板１の厚みは目的に応じて適宜調整すれば良く、通常は１０μｍ～５００μｍの範囲とすることができる。基板１の厚みはたとえば１００μｍ程度である。

[0042] 次に、基板１上に中間層３を形成する中間層形成工程（図２のＳ２０）が実施される。具体的には、図４を参照して、基板１の第１の主面上に中間層３が成膜される。中間層３の成膜方法としては、任意の成膜方法を用いることができるが、たとえばパルスレーザ蒸着法（Pulsed Laser Deposition：ＰＬＤ法）などの物理蒸着法を用いることができる。

[0043] 次に、中間層３上に超電導材料層５を形成する超電導材料層形成工程（図２のＳ３０）が実施される。具体的には、図５を参照して、中間層３の基板

１と対向する主面と反対側の主面（図５における上側の主面）上に、ＲＥ－１２３系の酸化物超電導体からなる超電導材料層５を形成する。超電導材料層５の成膜方法としては、任意の成膜方法を用いることができるが、たとえば気相法および液相法、またはそれらの組合せにより形成する。気相法としては、たとえばレーザ蒸着法、スパッタリング法、および電子ビーム蒸着法などが挙げられる。レーザ蒸着法、スパッタリング法、電子ビーム法、および有機金属堆積法の少なくとも１つにより行なわれると、結晶配向性および表面平滑性に優れた表面を有する超電導材料層５を形成することができる。

[0044] 次に、超電導材料層５上に保護層７を形成する保護層形成工程（図２のＳ４０）が実施される。具体的には、図６を参照して、超電導材料層５の中間層３と対向する主面と反対側の主面（図６における上側の主面）上に、銀（Ａｇ）または銀合金からなる保護層７を、たとえばスパッタなどの物理的蒸着法や電気めっき法などにより形成する。保護層７を形成することで、超電導材料層５の表面を保護することができる。その後、酸素雰囲気下で加熱処理する酸素アニールを行ない（酸素導入工程）、超電導材料層５に酸素を導入する。以上の工程が実施されることにより、幅方向の長さが３０ｍｍ程度である積層体２０が形成される。

[0045] 次に、３０ｍｍ幅の積層体２０を所定の幅（たとえば４ｍｍ幅）に切断する細線加工工程（図３のＳ５０）が実施される。具体的には、図７に示されるように、回転刃を用いて３０ｍｍ幅の積層体２０を機械的に切断する機械スリット加工を行なうことにより、積層体２０を４ｍｍ幅に細線化する。図７は、細線加工工程に用いられるスリッター３０の構成を模式的に示す図である。図７の右側には、スリッター３０によりスリットされる積層体２０の構成を示している。積層体２０は、基板１上に中間層３、超電導材料層５および保護層７をこの順に積層してなる。

[0046] 図７を参照して、スリッター３０は、複数の回転刃３１と、複数のスペーサ３２とを有する。本実施の形態においては、スリッター３０はたとえば合計７枚の回転刃３１を有している。スリッター３０の上側の回転軸には、約

４ｍｍ幅の回転刃３１が３枚配置されている。回転軸方向に隣接する回転刃３１の間にはスペーサ３２が配置されている。スリッター３０の下側の回転軸にも約４ｍｍ幅の回転刃３１が４枚配置されている。なお、上側の回転軸と下側の回転軸とに設置する回転刃３１の幅は、任意に設定することができる。

[0047] 図７に示すように、保護層７側から回転刃３１が接触してスリットされた積層体２０ｂは、隣接する回転刃３１間の距離や重なり高さなどのスリット条件を調整することにより、図１に示すように超電導材料層５や保護層７の幅方向端部が突出する（保護層７の表面が凹形状となる）ような断面形状となっている。これにより、図１に示すような断面形状の積層体２０ｂ（４ｍｍ幅の細線）を得ることができる。

[0048] 上述のように、機械スリット加工においては、上下で互いに対向する回転刃３１を用いてせん断によって切断している。得られた細線（積層体２０ａ、２０ｂ）の各々において、回転刃３１が入る方向（スリット方向）に応じてエッジ部分に湾曲が発生する。具体的には、上側の回転刃３１により保護層７側からスリットした細線（積層体２０ｂ）のエッジ部分では、基板１が保護層７側に湾曲する。一方、下側の回転刃３１により基板１側からスリットした細線（積層体２０ａ）のエッジ部分では、保護層７およびセラミックス層が基板１側に湾曲する。

[0049] なお、図７に示した機械スリット加工において、基板１側から入れる回転刃３１の幅と保護層７側から入れる回転刃３１の幅とを同じにしたが、保護層７側から入れる回転刃３１に所定の線幅（たとえば４ｍｍ幅）に対応した回転刃３１を用いるとともに、基板１側から入れる回転刃３１により幅が狭い回転刃３１を用いるようにしてもよい。これにより、保護層７側からスリットされて得られる細線（図１に示すように保護層７の上部表面が凹形状となった積層体２０）の数を多くすることができる。

[0050] 再び図２を参照して、最後に、細線加工された積層体２０の周囲に安定化層９を形成する安定化層形成工程（図２のＳ６０）が実施される。具体的に

は、積層体２０の外周を覆うように、すなわち、積層体２０の外側の最表面のほぼ全面を覆うように、銅（Ｃｕ）または銅合金からなる安定化層９を、公知のめっき法により形成する。安定化層９を形成する方法としては、めっき法以外に、銅箔を貼り合せる方法がある。以上の工程が実施されることにより、図１に示す実施の形態１に係る超電導線材１０が製造される。

[0051] ＜実施の形態２＞

図８を参照して、本発明による超電導線材の実施の形態２を説明する。

[0052] 図８を参照して、超電導線材１０は、基本的には図１に示した超電導線材と同様の構造を備えるが、積層体２０を構成する基板１の裏面（中間層３が形成された上部表面と反対側に位置する裏面）が外側に凸となった曲面状となっている点および安定化層９の裏面部分２６（基板１から見て超電導材料層５が形成された側と反対側に位置する安定化層９の表面）が外側に凸の曲面状となっている点が図１に示した超電導線材１０と異なっている。さらに、図８に示した超電導線材１０においては、安定化層９の表面部分２５の幅Ｗ１よりも裏面部分２６の幅Ｗ２の方が大きくなっている。さらに、安定化層９の両端面（表面部分２５と裏面部分２６との間を接続する２つの側面）が、互いに傾斜した状態となっている。なお、積層体２０の両端面（基板１、中間層３、超電導材料層５および保護層７が露出している２つの側面）も互いに交差する方向に傾斜している。

[0053] このような構造の超電導線材１０によっても、図１に示した超電導線材１０と同様の効果を得ることができる。さらに、図８に示した超電導線材１０においては、当該超電導線材１０をコイル状に巻回したような場合に、表面部分２５と裏面部分２６との幅が異なっているため、巻回して積層配置された超電導線材１０の内周側に位置する部分と外周側に位置する部分との間に隙間を形成することができる。このため、積層した超電導線材１０同士が密着する場合に比べて超電導線材１０の表面部分２５に傷などが発生する確率を低減できる。

[0054] 図９を参照して、本発明による超電導線材１０の実施の形態２の変形例を

説明する。図９に示した超電導線材１０は、基本的には図８に示した超電導線材１０と同様の構造を備えるが、表面部分２５の曲率半径と裏面部分２６の曲率半径とが異なっている。具体的には、図９に示した超電導線材１０では、裏面部分２６の曲率半径が、表面部分２５の曲率半径よりも大きくなっている。このようにすれば、超電導線材１０を巻回して積層した場合に、下層側の超電導線材１０の表面部分２５と、上層側の超電導線材１０の裏面部分２６とが密着することを防止できる。このため、表面部分２５上に積層された超電導線材１０の他の部分によって当該表面部分２５に傷などが発生することを防止できる。

[0055] ＜実施の形態３＞

図１０を参照して、本発明による超電導線材の実施の形態３を説明する。

[0056] 図１０を参照して、超電導線材１０は、基本的には図１に示した超電導線材と同様の構造を備えるが、安定化層９の裏面部分２６が基板１側に凹んだ凹部（曲面状部）となっている。このような構造の超電導線材１０においても、図１に示した超電導線材１０と同様の効果を得ることができるとともに、超電導線材１０を巻回して積層したときに、積層した超電導線材１０の表面部分２５と当該表面部分２５上に位置する超電導線材１０の他の部分（裏面部分２６）とが接触する領域の面積を小さくできる。このため、表面部分２５に傷などが発生する確率を低減できる。この結果、当該傷に起因して超電導材料層５に欠陥が発生し超電導特性が劣化するといった問題の発生を抑制できる。

[0057] なお、図１０に示した超電導線材１０における安定化層９の製造方法としては、任意の方法を用いることができるが、たとえば積層体２０の幅方向端部におけるめっき時の電界強度を他の部分における電界強度より高めるといったことにより、当該端部での安定化層９の厚みを相対的に厚くする、といった方法を用いることができる。

[0058] 図１１を参照して、図１０に示した超電導線材の変形例を説明する。図１１に示した超電導線材１０は、基本的には図１０に示した超電導線材と同様

の構造を備えるが、積層体２０を構成する基板１の裏面（中間層３が形成された表面と反対側に位置する表面）の形状が図１０に示した超電導線材１０の基板１とは異なっている。すなわち、図１１に示した超電導線材１０の基板１の裏面は超電導材料層５側に凹んだ曲面状となっている。そして、安定化層９の裏面部分２６の形状も、当該基板１の裏面の形状に沿った曲面状の凹部形状となっている。また、図１０に示した超電導線材１０の基板１の断面における角部は２つの直線が交わった鋭角またはほぼ直角の角部となっているが、図１１に示した超電導線材１０の基板１の断面における角部は曲面状になっている。このため、超電導線材１０の幅方向での断面における安定化層９の外周の四隅の角部も基板１の上記角部に沿うように曲面状になっている。

[0059] このような構造の超電導線材１０によっても、図１０に示した超電導線材１０と同様の効果を得ることができる。

[0060] 図１１に示した超電導線材１０を構成する積層体２０は、たとえば幅広の積層体２０をレーザスリットすることによって得ることができる。また、図１１に示した安定化層９は、当該積層体２０の表面を覆うようにめっき法など従来周知の任意の方法を用いて形成できる。

[0061] ＜実施の形態４＞

図１２を参照して、本発明による超電導線材の実施の形態４を説明する。図１２を参照して、超電導線材１０は、基本的には図１に示した超電導線材１０と同様の構造を備えるが、積層体２０の形状が図１に示した超電導線材１０の積層体２０の形状と異なっている。すなわち、図１２に示した超電導線材１０においては、基板１、中間層３、超電導材料層５および保護層７の上部表面がほぼ平坦な形状となっている。そのため、保護層７の表面上において保護層７の中央部における安定化層９の厚みＴ１より、保護層７の端部上における安定化層９の厚みＴ２の方が厚くなっている。このため、安定化層９の図１２における端部側（安定化層９の凹形状となっている上部表面の端部）に応力が加わった場合においても、安定化層９の厚みＴ２が十分厚く

なっているため、保護層７および超電導材料層５に当該圧力が及ぼす影響を軽減できる。したがって、超電導材料層５が外部からの当該応力により破損するといった危険性を低減できる。

[0062] 図１２に示した超電導線材１０の積層体２０は、たとえば当該積層体２０の幅となる断面形状が矩形状の基板１を準備し、当該基板１の主面上に中間層３、超電導材料層５、保護層７を順次形成する、といった方法により得ることができる。また、図１２に示した安定化層９は、たとえば図１０に示した超電導線材１０における安定化層９と同様の手法により形成できる。

[0063] ＜実施の形態５＞

図１３は、本発明による超電導線材１０の実施の形態５を示す断面模式図である。図１３を参照して、本発明による超電導線材の実施の形態５を説明する。

[0064] 図１３を参照して、超電導線材１０は、基本的には図１に示した超電導線材１０と同様の構造を備えるが、積層体２０および安定化層９の表面部分２５の形状が図１に示した超電導線材１０とは異なっている。すなわち、図１３に示した超電導線材１０においては、積層体２０を構成する基板１、中間層３、超電導材料層５および保護層７の上部表面における一方の端部のみが他方の端部に比べて突出するように構成されている。このため、安定化層９の表面部分２５の形状も、当該積層体２０の突出した一方の端部側が突出するとともに、凹形状でありかつ曲面状になっている。このような一方の端部が突出することによって結果的に凹形状の曲面となった表面部分２５の形状も、本明細書においては凹形状と呼ぶ。そして、図１３に示した超電導線材１０によっても、図１に示した超電導線材１０と同様に、表面部分２５における他の部材との接触などに起因する傷の発生を抑制することができる。

[0065] なお、図１３に示した超電導線材１０の積層体２０は、たとえば図７に示したスリッター３０において、細線化の対象である幅広の積層体２０（母材）のうちの端部に位置する部分（つまり、一方の端部のみが回転刃３１により切断される部分）を図１３に示した積層体２０として得ることができる。

また、図１３に示した安定化層９は、積層体２０の周囲を囲むように、めっき法など従来周知の方法により形成することができる。

[0066] ＜実施の形態６＞

図１４は、本発明による超電導線材の実施の形態６の製造工程の途中段階を示す模式図である。図１４を参照して、本発明による超電導線材の実施の形態６の製造方法においては、基板１の上部表面上に中間層３および超電導材料層５が形成される。また、このとき、超電導材料層５の表面が基板１側に凹んだ曲面状の凹部となっている。図１４に示したような構造は、従来周知の任意の方法により得ることができる。たとえば、基板１として図１４に示したような断面形状の基板１を準備し、当該基板１の主面（凹形状に凹んでいる主面）上に中間層３および超電導材料層５を形成してもよい。あるいは、断面形状が矩形状の基板１の主面上に中間層３、超電導材料層５を形成した後、図７に示したスリッターなどを用いて細線化することにより、図１４に示すような断面形状の構造（基板１、中間層３、超電導材料層５の積層体）を得てもよい。

[0067] このとき、超電導材料層５の幅方向における中央部に位置する底部４３と超電導材料層５の幅方向における端部に位置する頂部４１との間の基板１の厚み方向における距離Ｌ２はたとえば１μｍ以上１００μｍ以下とすることができる。そして、図１５に示すように、超電導材料層５上に保護層７を形成することにより、図１５に示した積層体２０を得ることができる。なお、断面形状が矩形状の基板１の主面上に中間層３、超電導材料層５、保護層７を形成した後、図７に示すようにスリッターを用いて細線加工工程（Ｓ５０）（図２参照）を実施することで図１５に示すような構造を得てもよい。このような積層体２０を得ることにより、当該積層体の周囲に図１６に示すように安定化層９を形成した場合に、安定化層９の表面部分２５の形状を、図１６に示すように凹んだ曲面状（凹形状部）へと容易にすることができる。そして、図１６に示すような構造の超電導線材１０によっても、図１に示した超電導線材１０と同様の効果を得ることができる。

[0068] なお、上述した細線加工工程（Ｓ５０）において、細線化した積層体２０の端部に位置する部分については、図１３に示した超電導線材１０の製造方法に関して説明したように、スリッターの回転刃３１によって切断された一方端が突出するように変形することで、図１７に示すように超電導材料層５（および保護層７）の幅方向の一方の端部のみが突出したような形状であって、超電導材料層５および保護層７の表面が凹状の曲面状となるように形成することができる。この場合も、超電導材料層５の頂部４１（超電導材料層５の突出した側の端部）と底部４３（超電導材料層５の突出した側と反対側の端部）との間の距離Ｌ２を１μｍ以上１００μｍ以下とすることができる。このような構造の積層体２０を用いて、当該積層体２０の外周を覆うように安定化層９を形成することで、図１３に示すような超電導線材を構成してもよい。この場合も、図１に示した超電導線材と同様の効果を得ることができる。

[0069] ＜実施の形態７＞

図１８は、本発明による超電導線材の実施の形態７を構成するための基板１を示す断面模式図である。図１８に示す基板１は、その上部表面（主面）が窪んだ凹形状の曲面状（凹部）となっている。なお、基板１の裏面（上部表面と反対側意の裏面）は平坦な形状である。また、当該上部表面の頂部５１と底部５３との間の距離Ｌ３（基板１の厚み方向における距離）は１μｍ以上１００μｍ以下とすることができる。

[0070] このような基板１の主面上に、図１９に示すように中間層３、超電導材料層５および保護層７を形成する。中間層３、超電導材料層５および保護層７の上部表面の形状は、基板１の主面の形状に沿って凹形状となっている。この結果、図１９に示すように基板１、中間層３、超電導材料層５および保護層７からなる積層体２０を得ることができる。次に、この積層体２０の周囲を囲うように安定化層９（図２０参照）を形成する。この結果、図２０に示すように、超電導材料層５側の表面である表面部分２５が窪んだ曲面状部分である凹形状部となった超電導線材１０を容易に得ることができる。そして

、図２０に示した超電導線材１０によっても、図１０に示した超電導線材と同様の効果を得ることができる。

[0071] ＜実施の形態８＞

図２１は、本発明による超電導線材の実施の形態８を構成するための基板１を示す断面模式図である。図２１に示した基板１は、一方の主面５５の幅Ｗ３よりも他方の主面（裏面５６）の幅Ｗ４の方が広くなっている。また、基板１の一方の主面５５は基板１の厚み方向の内側に向けて窪んだ曲面状の凹部となっている。また、他方の主面（裏面５６）は、基板１の内部から外側に向かって突出する曲面状の凸部となっている。

[0072] このような基板１の一方の主面５５（窪んだ曲面状となっている主面５５）上に、図２２に示すように中間層３、超電導材料層５および保護層７を形成する。この結果、図２２に示す積層体２０を得ることができる。なお、断面形状が矩形状の基板１の主面上に中間層３、超電導材料層５、保護層７を形成した後、図７に示すスリッター３０を用いて細線化するときの加工条件を調整することで、図２２に示すような断面形状の積層体２０を得てもよい。

[0073] このような積層体２０の周囲に、図２３に示すように安定化層９を形成する。この結果、安定化層９の超電導材料層５側の表面である表面部分２５は、基板１の一方の主面５５（または保護層７の上部表面）に沿った窪んだ曲面状部の凹形状部となる。一方、安定化層９の裏面部分２６（基板１の裏面５６と対向する位置における安定化層９の表面）は、基板１から外側に突出する凸形状となった曲面状部（凸形状部分）となっている。このような超電導線材１０においては、図８に示した超電導線材１０と同様に安定化層９の表面部分２５の幅よりも裏面部分２６の幅の方が広くなっているため、当該超電導線材１０を巻回して積層した場合に、積層された超電導線材１０の部分同士の間で接触がおき表面部分２５において傷が発生するといった問題の発生確率を低減できる。

[0074] 図２４を参照して、図２１に示した基板１の変形例を説明する。図２４に

示した基板１は、基本的には図２１に示した基板１と同様の構造を備えるが、基板１の主面５５の曲率半径よりも裏面５６の曲率半径の方が大きくなっている。このように構成された基板１の主面５５上に、図２５に示したように中間層３、超電導材料層５および保護層７を形成することにより積層体２０を得ることができる。そして、この積層体２０の外周を安定化層９によって覆うことにより、図２６に示すような超電導線材１０を得ることができる。

[0075] 図２６に示した超電導線材１０において、安定化層９の表面部分２５および裏面部分２６の形状は、それぞれ基板１の主面５５および裏面５６の形状に沿っている。このため、安定化層９の表面部分２５の曲率半径よりも裏面部分２６の曲率半径の方が大きくなっている。この結果、図２６に示した超電導線材１０は、図９に示した超電導線材と同様の効果を得ることができる。

[0076] なお、図２６に示した超電導線材１０は、図２４に示したような断面形状の基板１を最初から準備して当該基板１上に中間層３、超電導材料層５、保護層７などを形成し積層体２０を得てから、さらに安定化層９を形成するといった方法により製造してもよいが、断面形状が矩形状の基板１の主面上に中間層３、超電導材料層５、保護層７を形成した後、図７に示すスリッター３０を用いて細線化するときの加工条件を調整することで、図２５に示すような断面形状の積層体２０を得てもよい。

[0077] ＜実施の形態９＞

図２７は、本発明による超電導線材の実施の形態９を構成する基板１を示している。図２７に示した基板１においては、主面５５および裏面５６がそれぞれ基板１の内側に向けて窪んだ凹形状の曲面状となっている。この基板１の主面５５上に、図２８に示すように中間層３、超電導材料層５および保護層７を形成する。この結果、図２８に示すような積層体２０を得る。そして、この積層体２０の外周を覆うように、図２９に示すように安定化層９を形成する。この結果、図２９に示すように安定化層の表面部分２５と裏面部

分２６とがそれぞれ基板１側に窪んだ曲面状の形状となっている超電導線材１０を得ることができる。図２９に示した超電導線材１０によっても、図１０に示した超電導線材と同様の効果を得ることができる。また、図２９に示した超電導線材１０においては、積層体２０の基板１の裏面５６および保護層７の上部表面の形状が超電導材料層５側に窪んだ曲面状となっている。そのため、安定化層９を積層体２０の表面に沿って形成することで、容易に窪んだ凹形状（曲面状）の表面部分２５および裏面部分２６を形成することができる。そして、図２９に示した超電導線材１０によっても、図１０に示した超電導線材１０と同様の効果を得ることができる。

[0078] 今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

産業上の利用可能性

[0079] この発明は、特に基板の表面上に超電導材料層が形成された超電導線材に有利に適用される。

符号の説明

[0080] １ 基板、３ 中間層、５ 超電導材料層、７ 保護層、９ 安定化層、１０ 超電導線材、２０，２０ａ、２０ｂ 積層体、２１，４１，５１ 頂部、２３，４３，５３ 底部、２５ 表面部分、２６ 裏面部分、３０ スリッター、３１ 回転刃、３２ スペーサ、５５ 主面、５６ 裏面

請求の範囲

[請求項1] 主面を有する基板と、前記主面上に形成された超電導材料層とを含む積層体と、

少なくとも前記超電導材料層上に配置された被覆層とを備え、

前記被覆層において、前記超電導材料層上に位置する表面部分は凹形状になっている、超電導線材。

[請求項2] 前記基板の幅方向での断面において、前記表面部分の前記凹形状になっている領域の頂部と底部との間の、前記基板の厚み方向における距離は、１μｍ以上１００μｍ以下である、請求項１に記載の超電導線材。

[請求項3] 前記基板の幅方向での断面において、前記表面部分の幅は、前記超電導線材において前記表面部分と反対側に位置する領域の幅より狭い、請求項１または請求項２に記載の超電導線材。

[請求項4] 前記超電導線材において前記表面部分と反対側に位置する裏面部分の形状は平面状および凹形状のいずれか一方である、請求項１～請求項３のいずれか１項に記載の超電導線材。

[請求項5] 前記超電導線材において前記表面部分と反対側に位置する裏面部分の形状は凸状の曲面状であり、

前記表面部分の形状は凹状の曲面状であり、

前記基板の幅方向での断面において、前記裏面部分の曲率半径は前記表面部分の曲率半径より大きい、請求項１～請求項３のいずれか１項に記載の超電導線材。

[請求項6] 前記基板の幅方向での断面において、前記超電導材料層の中央部上における前記安定化層の厚みより、前記超電導材料層の端部上における前記被覆層の厚みの方が厚い、請求項１～請求項５のいずれか１項に記載の超電導線材。

[請求項7] 主面を有する基板と、

前記主面上に形成された超電導材料層とを備え、

前記超電導材料層の表面は凹形状になっている、超電導線材。

[請求項8] 前記基板の幅方向での断面において、前記超電導材料層の表面の凹形状になっている領域の頂部と底部との間の、前記基板の厚み方向における距離は、１μｍ以上１００μｍ以下である、請求項７に記載の超電導線材。

[請求項9] 主面を有する基板と、

前記主面上に形成された超電導材料層とを備え、

前記基板の前記主面は凹形状になっている、超電導線材。

[請求項10] 前記基板の幅方向での断面において、前記基板の前記主面の凹形状になっている領域の頂部と底部との間の、前記基板の厚み方向における距離は、１μｍ以上１００μｍ以下である、請求項９に記載の超電導線材。

[請求項11] 前記基板の幅方向での断面において、前記主面の幅は、前記基板において前記主面と反対側に位置する領域の幅より狭い、請求項９または請求項１０に記載の超電導線材。

[請求項12] 前記基板において前記主面と反対側に位置する裏面の形状は平面状および凹形状のいずれか一方である、請求項９～請求項１１のいずれか１項に記載の超電導線材。

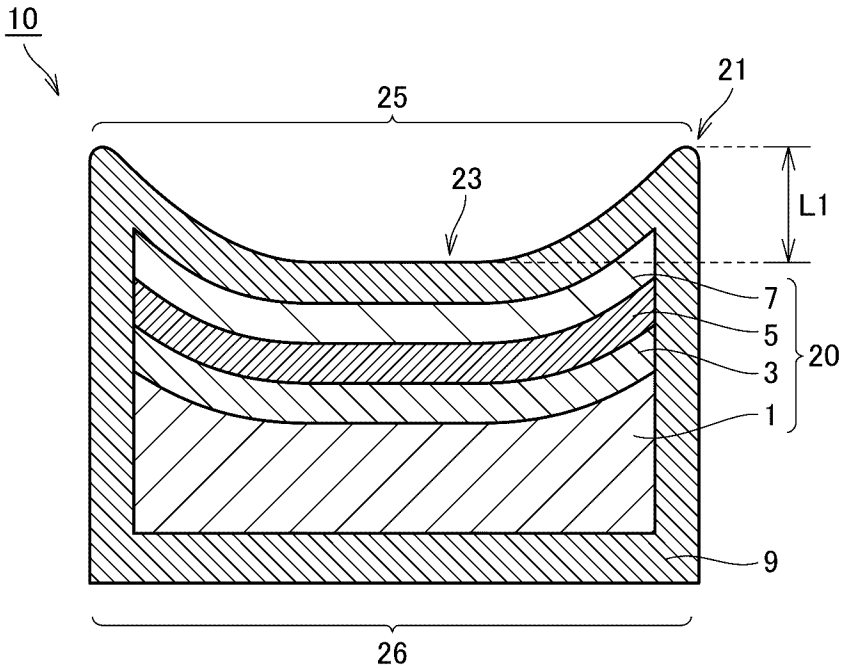
[請求項13] 前記基板において前記主面と反対側に位置する裏面の形状は凸状の曲面状であり、

前記主面の形状は凹状の曲面状であり、

前記基板の幅方向での断面において、前記裏面の曲率半径は前記主面の曲率半径より大きい、請求項９～請求項１１のいずれか１項に記載の超電導線材。

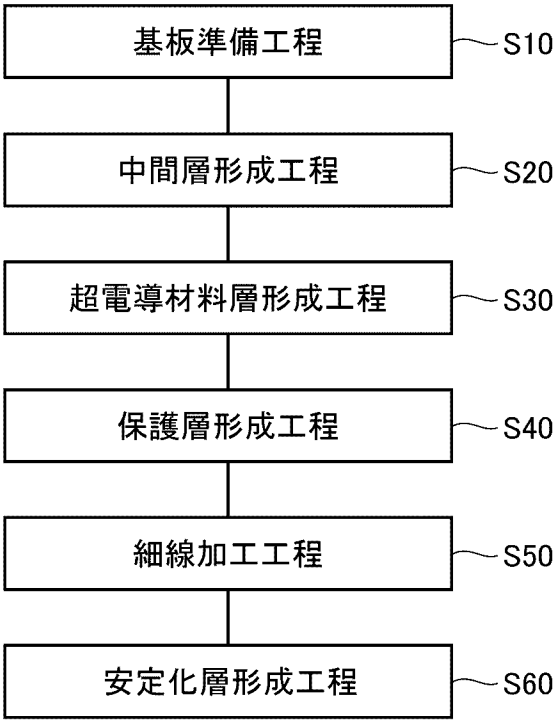
[図1]

FIG.1



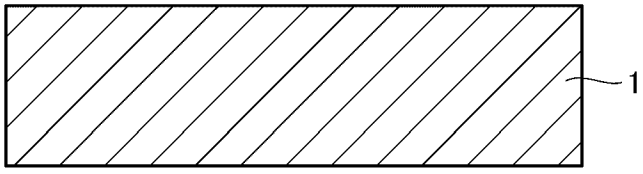
[図2]

FIG.2



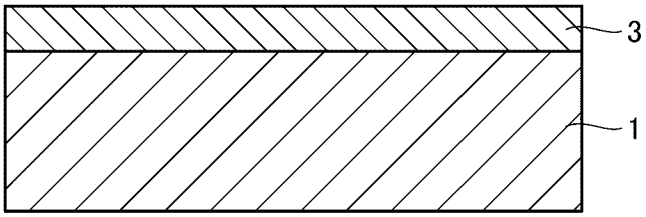
[図3]

FIG.3



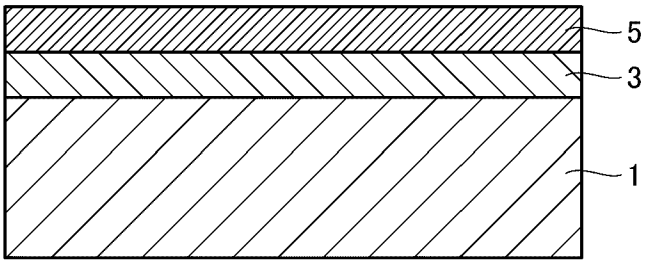
[図4]

FIG.4



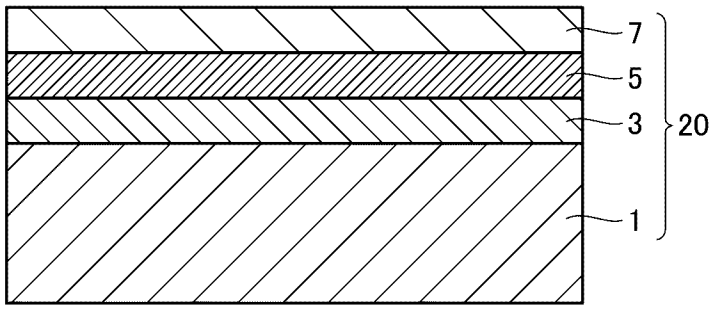
[図5]

FIG.5



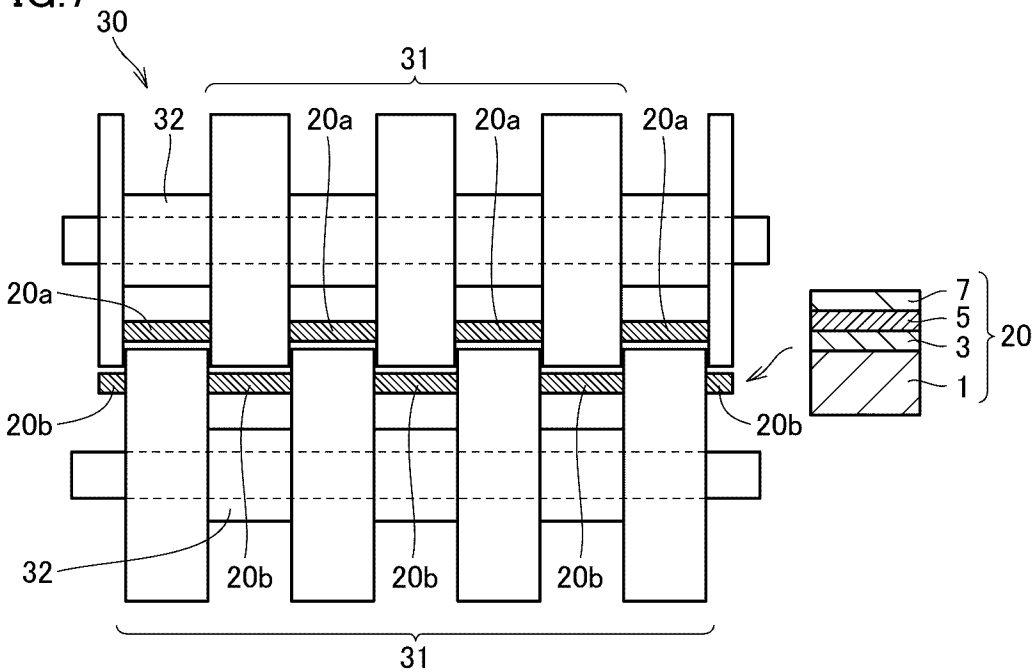
[図6]

FIG.6



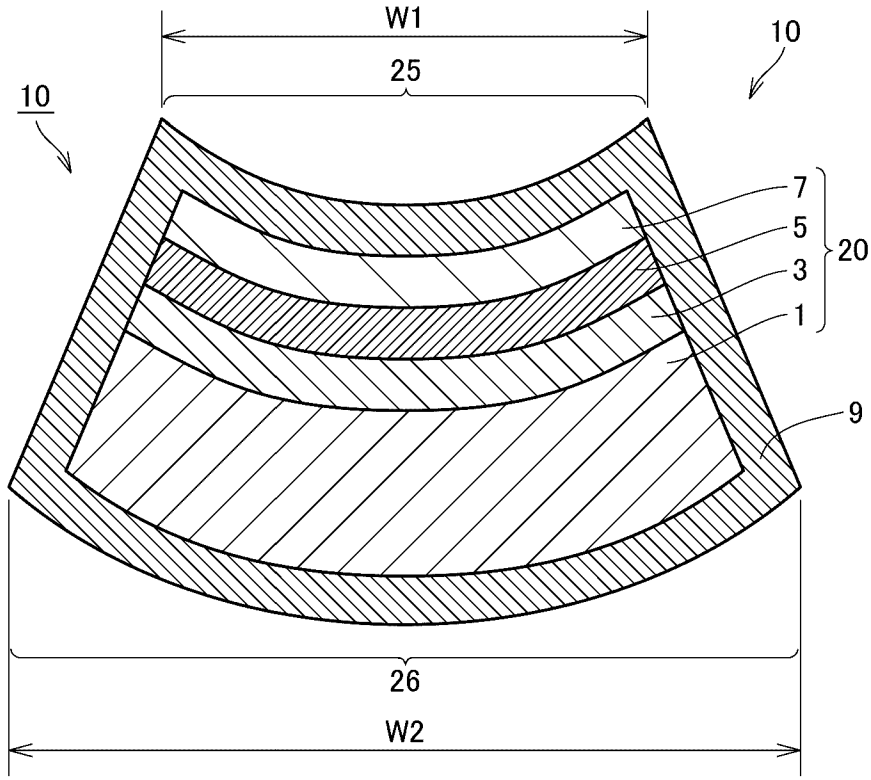
[図7]

FIG.7



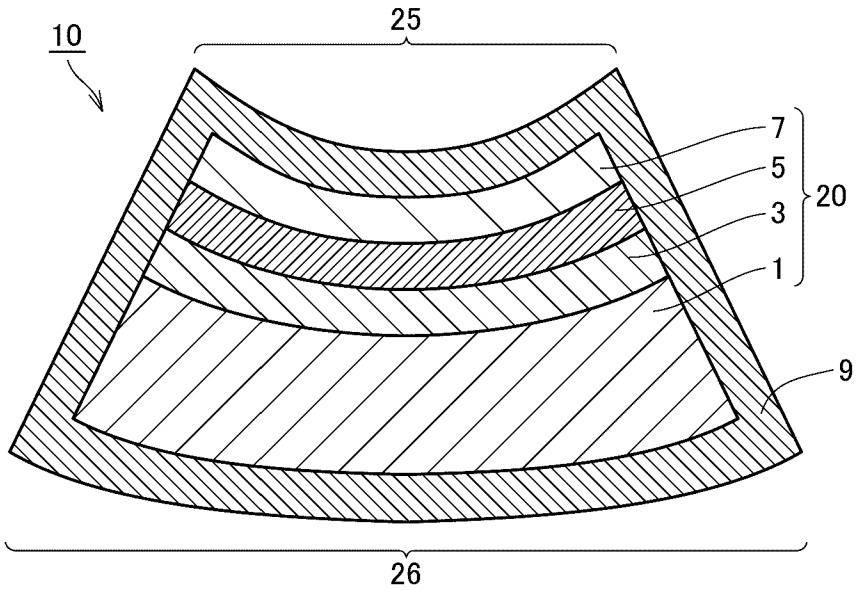
[図8]

FIG.8



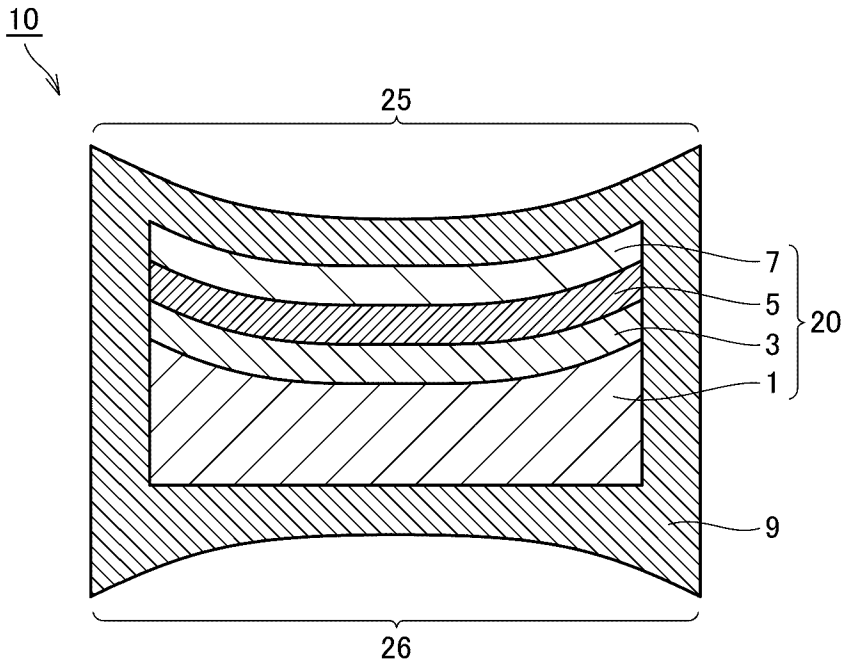
[図9]

FIG.9



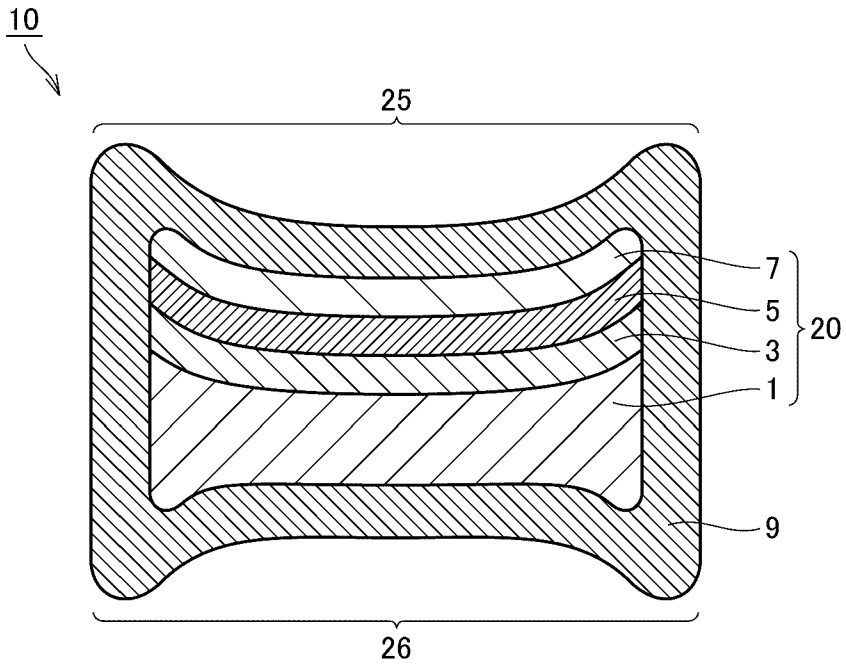
[図10]

FIG.10



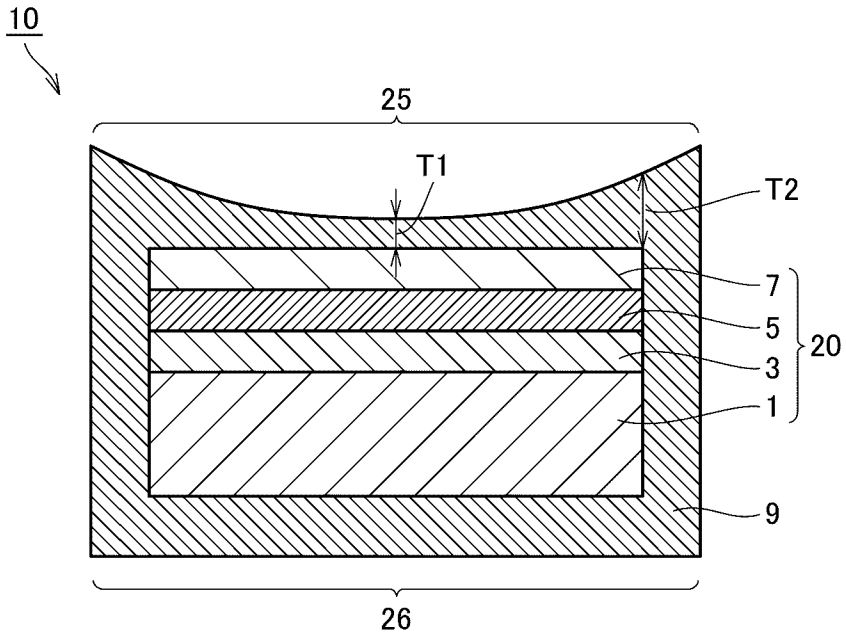
[図11]

FIG.11



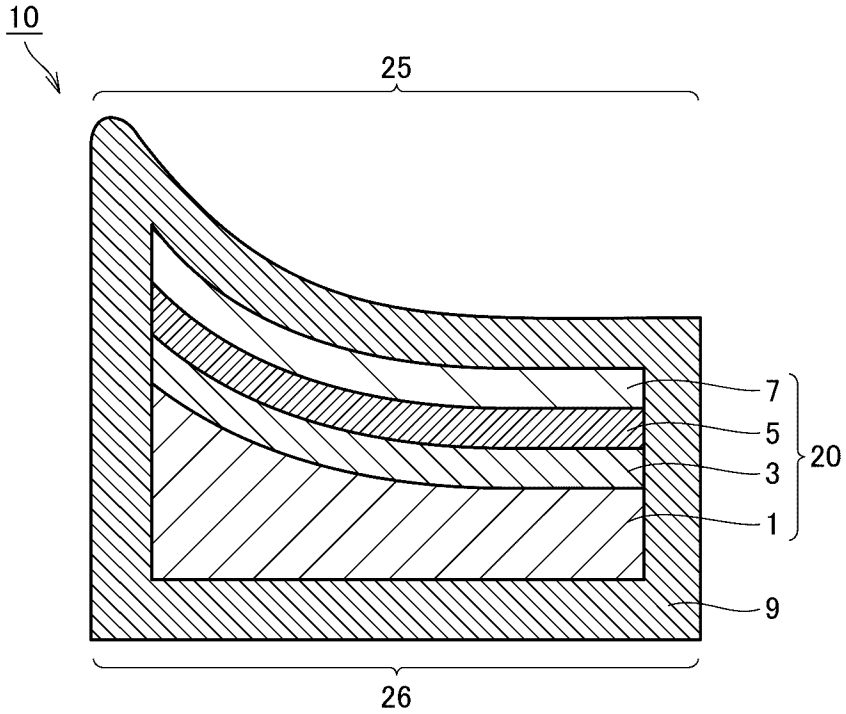
[図12]

FIG.12



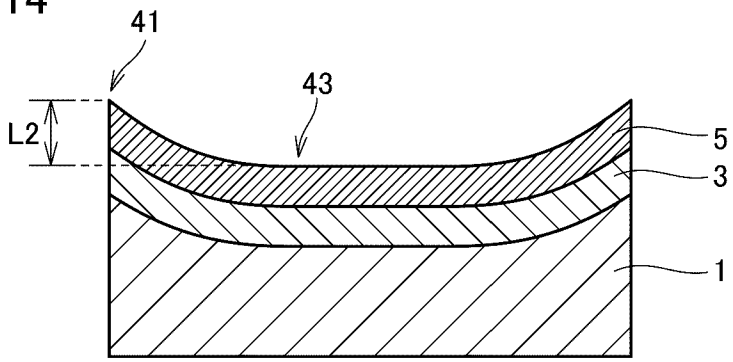
[図13]

FIG.13



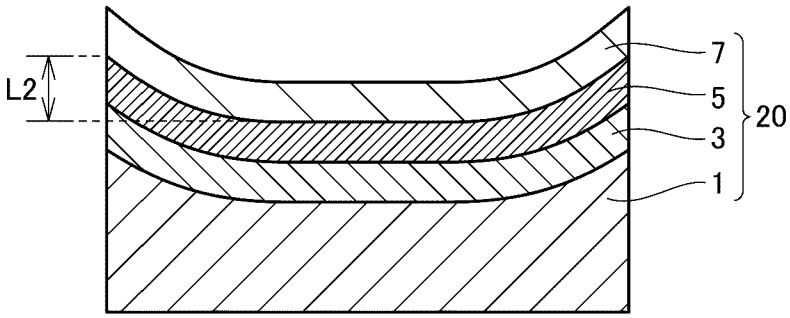
[図14]

FIG.14



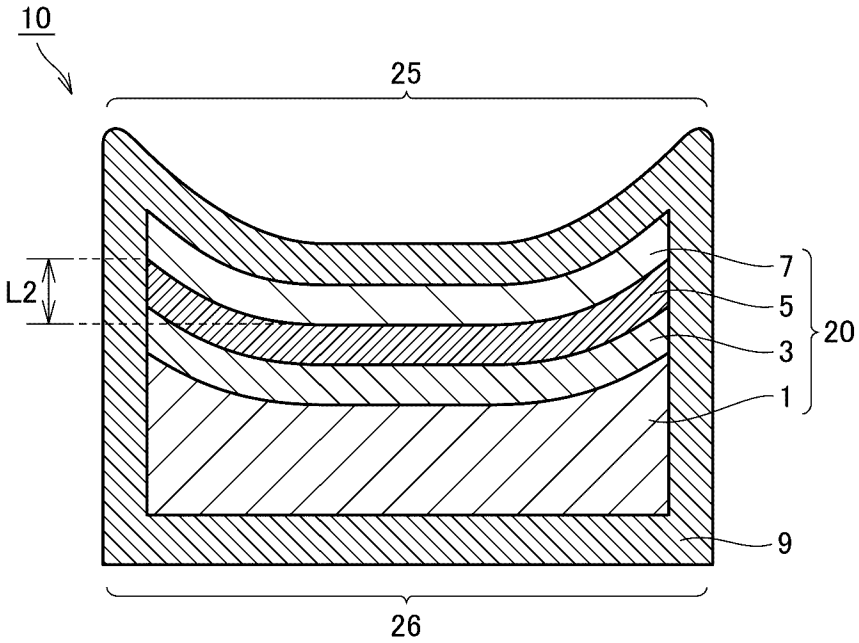
[図15]

FIG.15



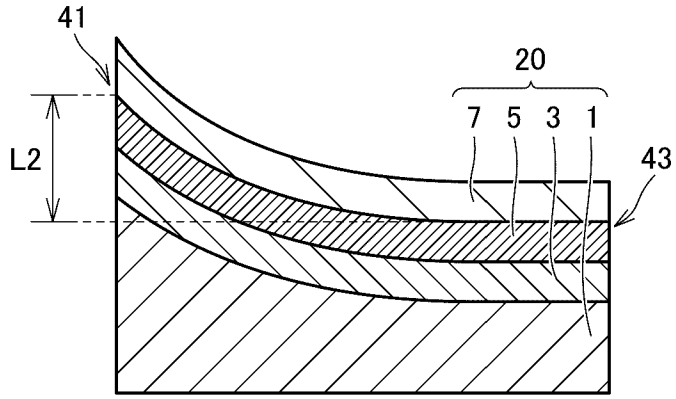
[図16]

FIG.16



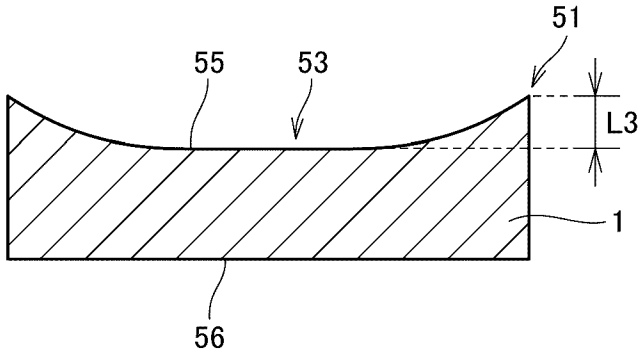
[図17]

FIG.17



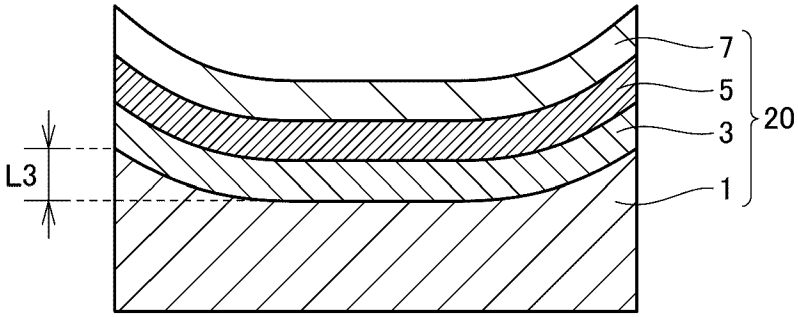
[図18]

FIG.18



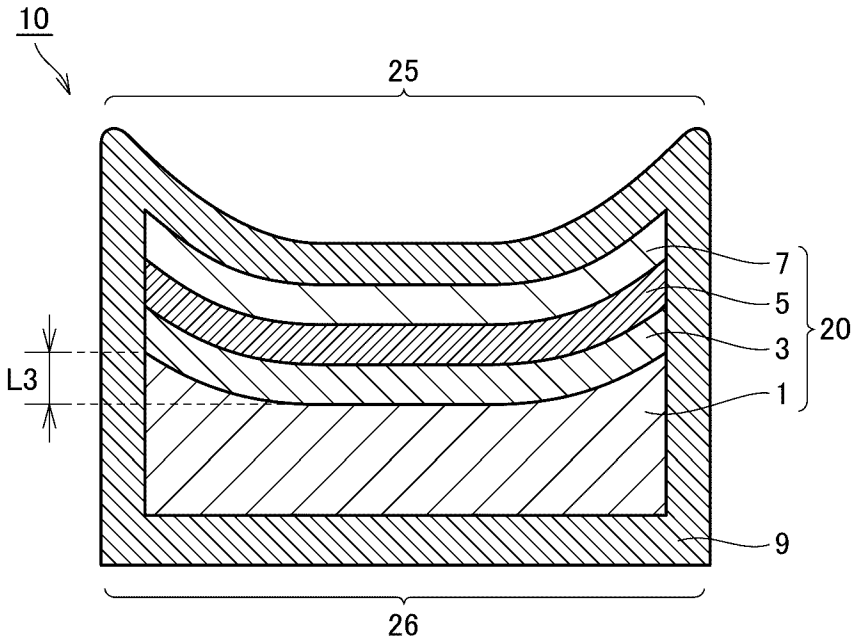
[図19]

FIG.19



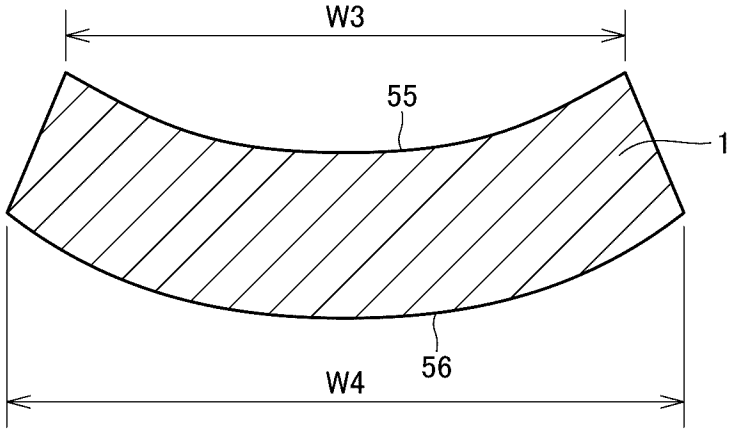
[図20]

FIG.20



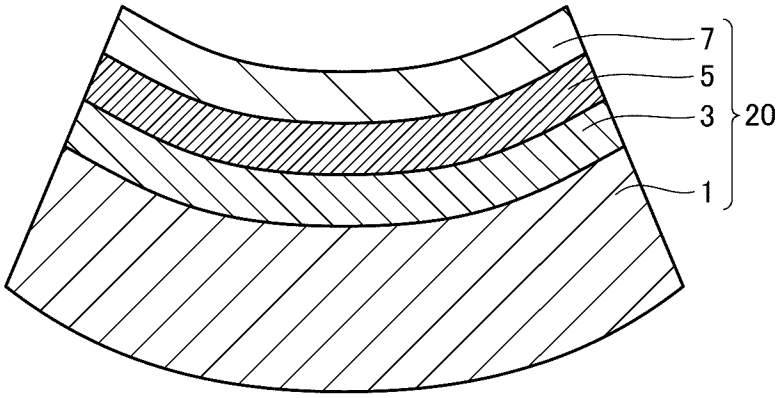
[図21]

FIG.21



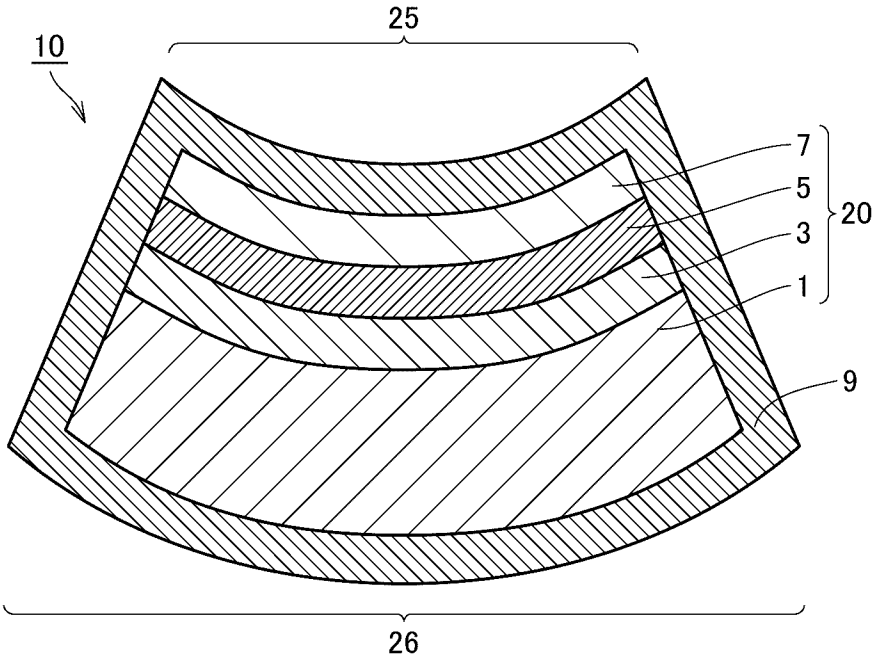
[図22]

FIG.22



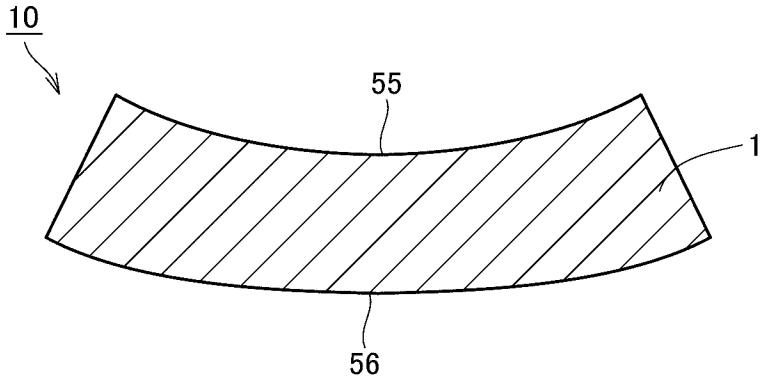
[図23]

FIG.23



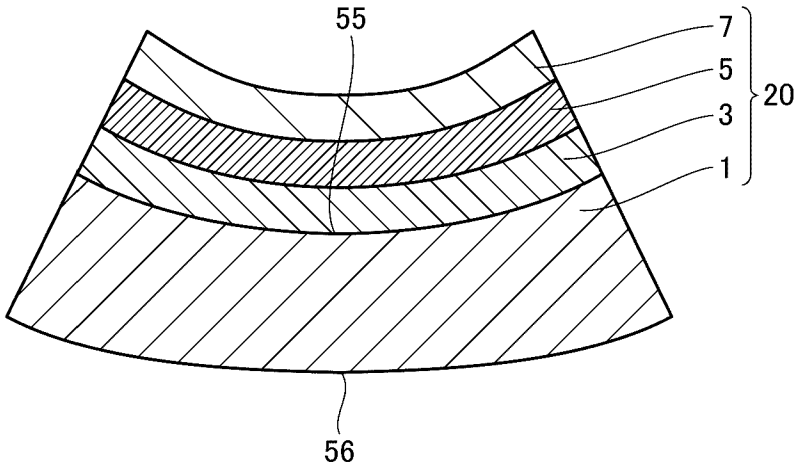
[図24]

FIG.24



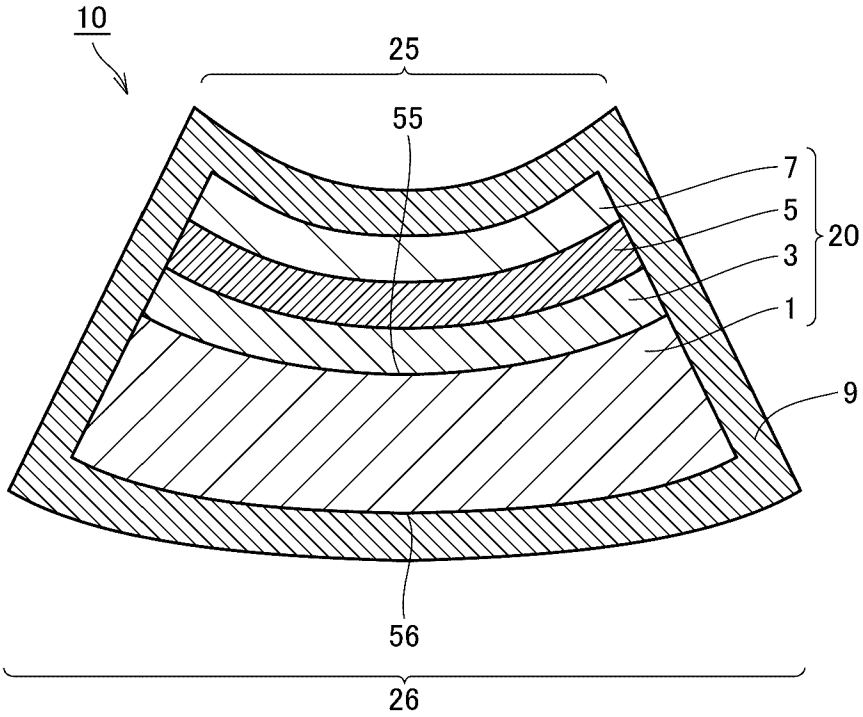
[図25]

FIG.25



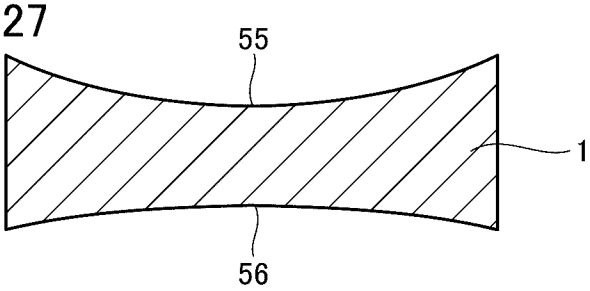
[図26]

FIG.26



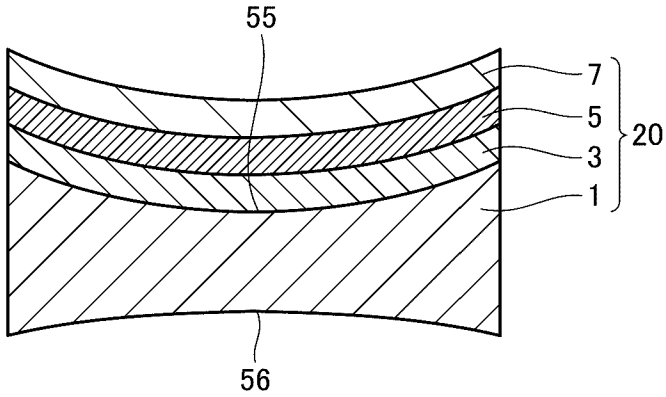
[図27]

FIG.27



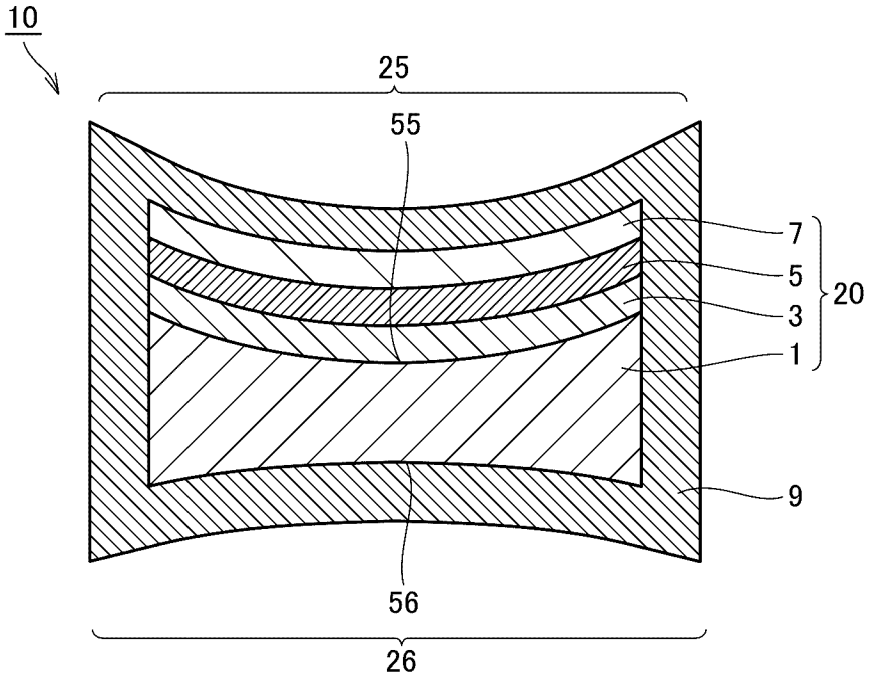
[図28]

FIG.28



[図29]

FIG.29



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/057641

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H01B12/06(2006.01)i, *C01G1/00*(2006.01)i, *H01F6/06*(2006.01)i, *C01G3/00*(2006.01)n

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, C01G1/00, H01F6/06, C01G3/00

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 A	JP 2004-31128 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 29 January 2004 (29.01.2004), paragraphs [0025] to [0032], [0038], [0039]; fig. 1, 9, 10 (Family: none)	7,9 1-6,8,10-13
A	JP 2013-246881 A (Chubu Electric Power Co., Inc.), 09 December 2013 (09.12.2013), paragraphs [0016] to [0028]; fig. 1 (Family: none)	1-13

☐ 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	Date of mailing of the international search report
28 May 2015 (28.05.15)	09 June 2015 (09.06.15)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3,Kasumigaseki,Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915,Japan	Telephone No.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１５／０５７６４１

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01B12/06(2006.01)i, C01G1/00(2006.01)i, H01F6/06(2006.01)i, C01G3/00(2006.01)n

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（ＩＰＣ））

Int.Cl.　H01B12/06, C01G1/00, H01F6/06, C01G3/00

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	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１５年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１５年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１５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 A	JP 2004-31128 A (住友電気工業株式会社) 2004.01.29, 段落［００２５］－［００３２］、［００３８］、［００３９］、第１、９、１０図 (ファミリーなし)	7,9 1-6,8,10-13
A	JP 2013-246881 A (中部電力株式会社) 2013.12.09, 段落［００１６］－［００２８］、第１図 (ファミリーなし)	1-13

☐　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	国際調査報告の発送日
２８．０５．２０１５	０９．０６．２０１５

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
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）　５Ｎ　３７９２
北嶋　賢二
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５８６