



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118786493 A

(43) 申请公布日 2024.10.15

(21) 申请号 202380024135.9

(22) 申请日 2023.02.07

(30) 优先权数据

2022-039196 2022.03.14 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.08.28

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2023/003942 2023.02.07

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/176194 JA 2023.09.21

(71) 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪府

(72) 发明人 山口高史

(74) 专利代理机构 北京柏杉松知识产权代理事

务所(普通合伙) 11413

专利代理师 陈玲 袁波

(51) Int.Cl.

H01B 12/06 (2006.01)

H01F 6/06 (2006.01)

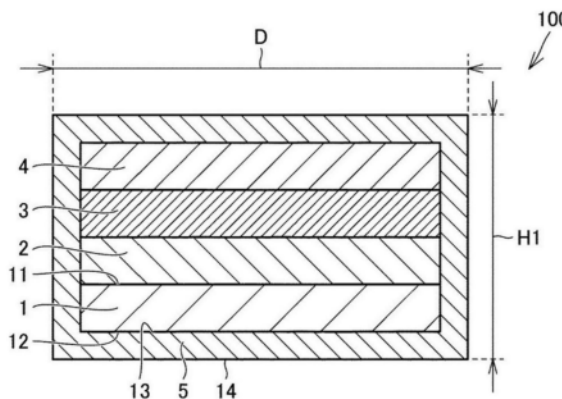
权利要求书1页 说明书10页 附图3页

(54) 发明名称

超导线材和超导设备

(57) 摘要

本发明的超导线材(100)具有基板(1)和超导层(3)。基板(1)具有第一面(11)和第二面(12)。第二面(12)与第一面相对。超导层(3)面向第一面。第二面(12)的算术平均粗糙度(Ra)大于 $0.02\mu\text{m}$ 。第二面(12)的轮廓最大高度(Rz)小于 $5\mu\text{m}$ 。



1. 一种超导线材,其具有:  
基板,其包含第一面和与所述第一面相对的第二面;以及  
超导层,其面向所述第一面,  
所述第二面的轮廓最大高度小于 $5\mu\text{m}$ 。
2. 根据权利要求1所述的超导线材,其中,所述超导线材还具有:  
稳定层,其包围所述基板和所述超导层,  
所述稳定层包含面向所述第二面的第三面和与所述第三面相对的第四面,  
所述第四面的轮廓最大高度小于 $8\mu\text{m}$ 。
3. 根据权利要求1或权利要求2所述的超导线材,其中,所述超导线材还具有:  
绝缘树脂层,其面向所述第二面,  
所述第二面的轮廓最大高度小于所述绝缘树脂层在与所述第二面垂直的方向上的厚度。
4. 根据权利要求3所述的超导线材,其中,所述第二面的轮廓最大高度为所述绝缘树脂层在与所述第二面垂直的方向上的厚度的0.5倍以下。
5. 根据权利要求1所述的超导线材,其中,所述超导线材还具有:  
稳定层,其包围所述基板和所述超导层;以及  
绝缘树脂层,其面向所述第二面,  
所述稳定层包含面向所述第二面的第三面、以及与所述第三面相对且与所述绝缘树脂层相接的第四面,  
所述第四面的轮廓最大高度为所述绝缘树脂层在与所述第二面垂直的方向上的厚度以下。
6. 一种超导设备,其具有权利要求1~权利要求5中任一项所述的超导线材。

## 超导线材和超导设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及超导线材和超导设备。本申请要求2022年3月14日提交的日本专利申请特愿2022-039196号的优先权。该日本专利申请所记载的全部记载内容通过参照而引用到本说明书中。

### 背景技术

[0002] 日本特开2014-220194号公报(专利文献1)中公开了具有基板和超导层的超导线材。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:日本特开2014-220194号公报。

### 发明内容

[0006] 本发明的超导线材具有基板和超导层。基板包含第一面和第二面。第二面与第一面相对。超导层面向第一面。第二面的轮廓最大高度小于 $5\mu\text{m}$ 。

### 附图说明

[0007] 图1为示出第一实施方式的超导线材的结构的剖面示意图。

[0008] 图2为示出第二实施方式的超导线材的结构的剖面示意图。

[0009] 图3为示出第三实施方式的超导线材的结构的剖面示意图。

[0010] 图4为示出第四实施方式的超导线材的结构的剖面示意图。

[0011] 图5为示出第五实施方式的超导设备的结构的剖面示意图。

### 具体实施方式

[0012] [本发明要解决的问题]

[0013] 在专利文献1所公开的超导线材中,有可能会在绝缘树脂层中形成孔。

[0014] 本发明是为了解决上述那样的问题而完成的,其目的在于提供一种能够抑制绝缘树脂层中的孔的形成的超导线材。

[0015] [本发明的效果]

[0016] 根据本发明,能够提供一种能够抑制绝缘树脂层中的孔的形成的超导线材。

[0017] [本发明的实施方式的说明]

[0018] 首先,列举本发明的实施方式进行说明。

[0019] (1) 本发明的超导线材100具有基板1和超导层3。基板1具有第一面11和第二面12。第二面12与第一面11相对。超导层3面向第一面11。第二面12的轮廓最大高度小于 $5\mu\text{m}$ 。

[0020] (2) 上述(1)的超导线材100还可以具有稳定层5。稳定层5可以包围基板1和超导层3。稳定层5可以具有第三面13和第四面14。第三面13可以面向第二面12。第四面14可以与第

三面13相对。第四面14的轮廓最大高度可以小于 $8\mu\text{m}$ 。

[0021] (3) 上述(1)或(2)的超导线材100还可以具有绝缘树脂层6。绝缘树脂层6可以面向第二面12。第二面12的轮廓最大高度可以小于绝缘树脂层6在与第二面12垂直的方向上的厚度 $H_2$ 。

[0022] (4) 根据上述(3)的超导线材100,第二面12的轮廓最大高度可以为绝缘树脂层6在与第二面12垂直的方向上的厚度 $H_2$ 的0.5倍以下。

[0023] (5) 上述(1)的超导线材100还可以具有稳定层5和绝缘树脂层6。稳定层5可以包围基板1和超导层3。绝缘树脂层6可以面向第二面12。稳定层5可以具有第三面13和第四面14。第三面13可以面向第二面12。第四面14可以与第三面13相对。第四面14可以与绝缘树脂层6相接。第四面14的轮廓最大高度可以为绝缘树脂层6在与第二面12垂直的方向上的厚度 $H_2$ 以下。

[0024] (6) 本发明的超导设备200具有上述(1)~(5)中任一项的超导线材100。

[0025] [本发明的实施方式的具体内容]

[0026] 以下,基于附图对本发明的实施方式的具体内容进行说明。另外,在以下的附图中,对相同或相当的部分标注相同的附图标记,不再重复其说明。

[0027] (第一实施方式)

[0028] 首先,对本发明的第一实施方式的超导线材的结构进行说明。如图1所示,超导线材100具有基板1、中间层2、超导层3、保护层4和稳定层5。中间层2设置在基板1上。超导层3设置在中间层2上。从另一个观点来看,中间层2设置在基板1和超导层3之间。保护层4设置在超导层3上。从另一个观点来看,超导层3设置在中间层2和保护层4之间。稳定层5包围基板1、中间层2、超导层3和保护层4。

[0029] 超导线材100的宽度D为例如4mm。宽度D可以为例如2mm以上且10mm以下。超导线材100的厚度(第一厚度 $H_1$ )为例如0.1mm。第一厚度 $H_1$ 可以为例如0.05mm以上且0.2mm以下。宽度D除以第一厚度 $H_1$ 的值(纵横比、aspect ratio)为例如10以上。超导线材100的纵横比可以为例如50以上,也可以为100以上。

[0030] 基板1具有第一面11和第二面12。第二面12与第一面11相对。第一面11是基板1的表面。第二面12是基板1的背面。

[0031] 基板1是在由例如镍(Ni)、不锈钢或哈斯特洛伊合金(HASTELLOY)(商标)形成的带上设置由铜(Cu)或Ni构成的层的覆层材料(clad material)。在由Cu或Ni构成的层中,晶粒双轴取向。换言之,在基板1的第一面11中,晶粒双轴取向。

[0032] 中间层2与基板1的第一面11相接。中间层2由晶种层(未图示)、防扩散层(未图示)和晶格匹配层(未图示)构成。晶种层与第一面11相接。晶种层具有继承基板1中的晶粒的取向并使超导层3外延生长(epitaxial growth)的作用。晶种层由例如氧化铈( $\text{CeO}_2$ )构成。

[0033] 防扩散层设置在晶种层上。防扩散层具有防止基板1所包含的金属元素扩散到防扩散层的上侧的作用。另外,在本说明书中,上侧是指从第二面12朝向第一面11的方向。下侧是指从第一面11朝向第二面12的方向。防扩散层由例如氧化钇稳定氧化锆(YSZ)构成。

[0034] 晶格匹配层设置在防扩散层上。晶格匹配层具有在通过外延生长形成超导层3时使超导层3的晶粒双轴取向的作用。晶格匹配层由例如氧化钇( $\text{Y}_2\text{O}_3$ )构成。

[0035] 超导层3与中间层2相接。超导层3面向基板1的第一面11。在本说明书中,“面向”包

括:两个面彼此直接接触的情况;以及在两个面之间物体以与该两个面相接的方式设置、且该两个面以间接地相接的状态面对面的情况。超导层3由例如REBCO构成。REBCO是指具有由 $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 表示的组成式的氧化物超导体。另外,REBCO中的RE表示稀土元素。具体而言,超导层3由例如YBCO ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ) 或GdBCO ( $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ) 等REBCO构成。构成超导层3的REBCO中的稀土元素是选自钇、镧、铈、钕、钐、钆、铽、镱、铪和铥中的至少一种以上的元素。超导层3的REBCO的晶粒双轴取向。

[0036] 保护层4与超导层3相接。保护层4具有抑制超导层3与其它层之间发生的化学反应、抑制超导层3的组成改变的作用。保护层4由例如银(Ag)、Ag合金或Cu构成。

[0037] 稳定层5具有第三面13和第四面14。第三面13面向基板1的第二面12。第三面13可以与基板1的第二面12相接。第四面14与第三面13相对。换言之,第四面14位于第三面13的下侧。第四面14是超导线材100的背面。

[0038] 稳定层5具有对超导层3的超导状态变得局部不稳定时产生的过载电流进行分路(bypass)的作用。稳定层5由例如Cu或Cu合金构成。

[0039] (基板的表面性状)

[0040] 基板1的第二面12的算术平均粗糙度(Ra)可以大于基板1的第一面11的算术平均粗糙度。基板1的第二面12的算术平均粗糙度为例如大于 $0.02\mu\text{m}$ 。第二面12的算术平均粗糙度的下限没有特别限定,可以为例如 $0.03\mu\text{m}$ 以上,可以大于 $0.65\mu\text{m}$ ,也可以为 $1\mu\text{m}$ 以上。第二面12的算术平均粗糙度为例如小于 $3\mu\text{m}$ 。第二面12的算术平均粗糙度的上限没有特别限定,可以为例如 $2\mu\text{m}$ 以下,可以为 $1.5\mu\text{m}$ 以下,也可以为 $1\mu\text{m}$ 以下。另外,算术平均粗糙度(Ra)是JIS(Japanese Industrial Standards)B0601:2013中规定的表面性状参数。

[0041] 算术平均粗糙度(Ra)是通过以下的方法求出的值。具体而言,首先,使用粗糙度仪测定粗糙度曲线。选取测定的粗糙度曲线的一部分。在测定方向上,选取的粗糙度曲线的长度为预定的基准线长度。在选取的粗糙度曲线中,求出高度的平均值。将高度的平均值设为0,求出选取的粗糙度曲线上的任意点的高度。将选取的粗糙度曲线中的凹凸的平均值作为算术平均粗糙度。具体而言,将选取的粗糙度曲线中的高度的绝对值的平均值作为算术平均粗糙度。

[0042] 第二面12的轮廓最大高度(Rz)可以大于第一面11的轮廓最大高度。第二面12的轮廓最大高度小于 $5\mu\text{m}$ 。第二面12的轮廓最大高度的上限没有特别限定,可以为例如 $3\mu\text{m}$ 以下,也可以为 $1\mu\text{m}$ 以下。第二面12的轮廓最大高度的下限没有特别限定,可以为例如 $0.1\mu\text{m}$ 以上,可以为 $0.2\mu\text{m}$ 以上,也可以为 $0.5\mu\text{m}$ 以上。另外,轮廓最大高度(Rz)是JIS B0601:2013中规定的表面性状参数。

[0043] 轮廓最大高度是通过以下的方法求出的值。具体而言,首先,使用粗糙度仪测定粗糙度曲线。选取测定的粗糙度曲线的一部分。在测定方向上,选取的粗糙度曲线的长度为预定的基准线长度。在选取的粗糙度曲线中,求出高度的平均值。将高度的平均值设为0,求出选取的粗糙度曲线上的任意点的高度。在选取的粗糙度曲线中,最高部分的高度(最大峰高度)的绝对值与最深部分的高度(最大谷深度)的绝对值之和为轮廓最大高度。

[0044] 作为粗糙度仪,能够使用例如株式会社基恩士制的搭载白光干涉仪的激光显微镜“VK-X3000”。从另一个观点来看,例如第二面12的算术平均粗糙度和轮廓最大高度分别能够使用例如株式会社基恩士制的搭载白光干涉仪的激光显微镜“VK-X3000”进行测定。同样

地,第一面11的算术平均粗糙度和轮廓最大高度分别能够使用例如株式会社基恩士制的搭载白光干涉仪的激光显微镜“VK-X3000”进行测定。具体而言,能够在除去稳定层5之后分别测定第二面12的算术平均粗糙度和轮廓最大高度。能够在分别除去稳定层5、保护层4、超导层3和中间层2之后分别测定第一面11的算术平均粗糙度和轮廓最大高度。作为VK-X3000的测定部(测量头部),能够使用“VK-X3050”。物镜的倍率设为例如50倍。测定模式设为例如激光共聚焦模式。

[0045] 在算术平均粗糙度和轮廓最大高度的各自的测定中,获取测定部的视场范围内的作为测定对象的面(测定面)的表面形状。使用图像处理功能来校正测定面的倾斜。通过连结所获取的表面形状,获取比测定部的视场宽的范围(测定范围)的表面形状。具体而言,将测定范围的纵向长度设为例如测定部的视场的纵向长度的5倍以上。将测定范围的横向长度设为例如测定部的视场的横向长度的5倍以上。

[0046] 使用线粗糙度测定功能,获取所获取的表面形状中的两点间的粗糙度曲线。例如不设定截止(cutoff)值 $\lambda_s$ 。截止值 $\lambda_c$ 如JIS规定的那样设为0.08mm。基准线长度设为例如截止值 $\lambda_c$ 的5倍以上(例如0.4mm以上)。通过变更获取的表面形状中的两点的位置,获取例如5条粗糙度曲线。在5条粗糙度曲线中,分别求出算术平均粗糙度和轮廓最大高度。将5条粗糙度曲线的算术平均粗糙度的平均值作为测定面的算术平均粗糙度。将5条粗糙度曲线的轮廓最大高度的平均值作为测定面的轮廓最大高度。

[0047] (稳定层的表面性状)

[0048] 稳定层5的第四面14的算术平均粗糙度为例如大于 $0.02\mu\text{m}$ 。第四面14的算术平均粗糙度的下限没有特别限定,可以为例如 $0.05\mu\text{m}$ 以上,可以为 $0.1\mu\text{m}$ 以上,也可以为 $0.5\mu\text{m}$ 以上。第四面14的算术平均粗糙度为例如小于 $1.5\mu\text{m}$ 。第四面14的算术平均粗糙度的上限没有特别限定,可以为例如 $1.3\mu\text{m}$ 以下,也可以为 $1\mu\text{m}$ 以下。

[0049] 第四面14的轮廓最大高度为例如小于 $8\mu\text{m}$ 。第四面14的轮廓最大高度的上限没有特别限定,可以为例如 $6\mu\text{m}$ 以下,可以为 $4\mu\text{m}$ 以下,也可以为 $2\mu\text{m}$ 以下。第四面14的轮廓最大高度的下限没有特别限定,可以为例如 $0.2\mu\text{m}$ 以上,可以为 $0.5\mu\text{m}$ 以上,也可以为 $1\mu\text{m}$ 以上。

[0050] 与第一面11和第二面12的各自同样地,第四面14的算术平均粗糙度和轮廓最大高度分别能够使用例如株式会社基恩士制的搭载白光干涉仪的激光显微镜“VK-X3000”进行测定。

[0051] (超导线材的制造方法)

[0052] 接着,对第一实施方式的超导线材100的制造方法进行说明。

[0053] 首先,实施形成层叠体的工序。具体而言,准备基板1。基板1的第二面12的Ra和Rz通过例如抛光等如上所述地进行调节。接着,使用例如高频溅射法,在基板1上形成中间层2。

[0054] 接着,在中间层2上形成超导层3。超导层3通过例如脉冲激光沉积法(PLD:Pulsed Laser Deposition)、金属有机分解法(MOD: Metal Organic Decomposition)、有机金属化学气相沉积法(MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition)或真空蒸镀法形成。

[0055] 接着,在超导层3上形成保护层4。保护层4通过例如溅射法形成。形成保护层4后,可以在氧环境中进行热处理(有氧退火)。如上所述地制作由基板1、中间层2、超导层3和保护层4构成的层叠体。制作的层叠体可以被细线化。具体而言,例如,可以通过将宽度为30mm

的层叠体进行细线化,制作7条宽度为4mm的层叠体。在细线化处理中,可使用例如使用了旋转刀片的机械分切加工(slit processing)或使用了激光的激光分切加工。

[0056] 接着,实施形成稳定层5的工序。稳定层5通过例如镀覆形成。作为镀液的组成,例如在每1l的镀液中包含100g的硫酸铜和150g的硫酸。镀覆时的电流密度设为例如 $1\text{A}/\text{dm}^2$ 以上且 $10\text{A}/\text{dm}^2$ 以下。如上所述地制作超导线材100。

[0057] (第一实施方式的变形例)

[0058] 另外,基板1和中间层2各自的结构不限于上述结构。基板1可以由不锈钢或哈斯特洛伊合金(HASTELLOY)(商标)构成。中间层2可以由晶体取向层(未图示)和晶格匹配层(未图示)构成。晶体取向层具有控制晶格匹配层和超导层3各自的晶粒的取向性的作用。晶体取向层由例如锆酸钪( $\text{Gd}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ )构成。中间层2可以使用例如离子束辅助沉积法(IBAD: Ion Beam Assited Deposition)形成。

[0059] (第二实施方式)

[0060] 接着,对第二实施方式的超导线材100的结构进行说明。第二实施方式的超导线材100的结构主要在具有绝缘树脂层6这一方面区别于第一实施方式的超导线材100的结构,其它方面与第一实施方式的超导线材100的结构相同。以下,重点说明与第一实施方式的超导线材100的结构不同的方面。

[0061] 如图2所示,超导线材100还可以具有绝缘树脂层6。绝缘树脂层6包围稳定层5。从另一个观点来看,绝缘树脂层6包围基板1、中间层2、超导层3和保护层4。稳定层5位于基板1和绝缘树脂层6之间。绝缘树脂层6与稳定层5的第四面14相接。绝缘树脂层6面向基板1的第二面12。

[0062] 绝缘树脂层6在与第二面12垂直的方向上的厚度作为第二厚度H2。具体而言,第二厚度H2是面向第二面12的绝缘树脂层6的部分的厚度。第二厚度H2为例如 $15\mu\text{m}$ 以下。第二厚度H2的上限没有特别限定,可以为例如 $10\mu\text{m}$ 以下,也可以为 $8\mu\text{m}$ 以下。第二厚度H2越小,能够提高使用超导线材100制作的超导设备的电流密度。绝缘树脂层6由例如聚酰亚胺或环氧树脂等具有电绝缘性的树脂构成。

[0063] 第二面12的轮廓最大高度例如小于第二厚度H2。第二面12的轮廓最大高度的上限没有特别限定,可以为例如第二厚度H2的0.5倍以下,也可以为第二厚度H2的0.25倍以下,也可以为第二厚度H2的0.1倍以下。第二面12的轮廓最大高度的下限没有特别限定,可以为例如第二厚度H2的0.01倍以上,也可以为第二厚度H2的0.05倍以上。

[0064] 第四面14的轮廓最大高度例如为第二厚度H2以下。第四面14的轮廓最大高度的上限没有特别限定,可以为例如第二厚度H2的0.5倍以下,也可以为第二厚度H2的0.25倍以下。第四面14的轮廓最大高度的下限没有特别限定,可以为例如第二厚度H2的0.025倍以上,也可以为第二厚度H2的0.1倍以上。

[0065] (第三实施方式)

[0066] 接着,对第三实施方式的超导线材100的结构进行说明。第三实施方式的超导线材100的结构主要在保护层4包围基板1和超导层3这一方面区别于第一实施方式的超导线材100的结构,其它方面与第一实施方式的超导线材100的结构相同。以下,重点说明与第一实施方式的超导线材100的结构不同的方面。

[0067] 如图3所示,保护层4包围基板1、中间层2和超导层3。保护层4与基板1的第二面12

相接。保护层4与稳定层5的第三面13相接。稳定层5与基板1的第二面12被保护层4隔开。稳定层5与中间层2被保护层4隔开。稳定层5与超导层3被保护层4隔开。

[0068] (第四实施方式)

[0069] 接着,对第四实施方式的超导线材100的结构进行说明。第四实施方式的超导线材100的结构主要在保护层4包围基板1和超导层3这一方面区别于第二实施方式的超导线材100的结构,其它方面与第二实施方式的超导线材100的结构相同。以下,重点说明与第二实施方式的超导线材100的结构不同的方面。

[0070] 如图4所示,保护层4包围基板1、中间层2和超导层3。保护层4与基板1的第二面12相接。保护层4与稳定层5的第三面13相接。稳定层5与基板1的第二面12被保护层4隔开。稳定层5与中间层2被保护层4隔开。稳定层5与超导层3被保护层4隔开。

[0071] (第五实施方式)

[0072] 接着,对第五实施方式的超导设备200的结构进行说明。

[0073] 如图5所示,超导设备200具有超导线材100和线圈架21。超导设备200为例如超导线圈。超导线材100卷绕在线圈架21上。超导线材100卷绕成例如双饼状。具体而言,两个线圈体沿着线圈体的轴向重叠,在该线圈体中,超导线材100卷绕成单饼状。两个线圈体的卷绕方向彼此相反。两个线圈体各自的位于内周侧的端部经由连接部(未图示)电连接。换言之,两个线圈体的各自的位于外周侧的端部互相串联电连接。

[0074] 超导线材100的基板1相对于超导层3位于例如超导设备200的外周侧。换言之,超导线材100以基板1配置在外周侧且超导层3配置在内周侧的状态进行卷绕。另外,超导线材100可以卷绕成单饼线圈状。

[0075] 如图5所示,绝缘树脂层6包围卷绕的超导线材100。根据本实施方式,在与第二面12垂直的方向上,面向第二面12的绝缘树脂层6的部分中最薄的部分的厚度为第二厚度H2。在使树脂含浸卷绕在线圈架21上的超导线材100之后,使该树脂固化,由此形成绝缘树脂层6。

[0076] 另外,尽管上述说明了超导设备200为超导线圈的情况,但超导设备200并不限定于超导线圈。超导设备200可以是例如超导电缆等。

[0077] 接着,对本发明的超导线材100的作用效果进行说明。

[0078] 通常,在形成了面向基板1的第二面12的绝缘树脂层6的状态下,使用超导线材100。通常,在使用时超导线材100被液氮等制冷剂冷却,在使用后超导线材100恢复至室温。由于环境温度的变化引起的绝缘树脂层6的收缩,有时会在绝缘树脂层6中形成孔。

[0079] 发明人对绝缘树脂层6中的孔的形成进行了各种研究,结果发现基板1的第二面12的表面性状会影响绝缘树脂层6中的孔的形成。第二面12的轮廓最大高度会影响包围基板1的其它层的表面性状。具体而言,在第二面12的轮廓最大高度过大的情况下,例如稳定层5的第四面14的轮廓最大高度变得过大。在这种情况下,第四面14具有局部突出的部分。由此,在该突出的部分的周围的绝缘树脂层6中容易形成孔。

[0080] 根据本发明的超导线材100,基板1的第二面12的轮廓最大高度小于 $5\mu\text{m}$ 。由此,抑制了第二面12的轮廓最大高度变得过大。因此,能够抑制稳定层5的第四面14的轮廓最大高度变得过大,能够抑制绝缘树脂层6中的孔的形成。

[0081] 根据本发明的超导线材100,基板1的第二面12的轮廓最大高度小于绝缘树脂层6

的第二厚度H2。在第二面12的轮廓最大高度相对于第二厚度H2的比率过大的情况下,第四面14的轮廓最大高度相对于第二厚度H2的比率变大。在这种情况下,在绝缘树脂层6中容易形成孔。根据本发明的超导线材100,抑制了第二面12的轮廓最大高度相对于第二厚度H2的比率变得过大。由此,能够抑制绝缘树脂层6中的孔的形成。

[0082] 根据本发明的超导线材100,稳定层5的第四面14的轮廓最大高度小于 $8\mu\text{m}$ 。由此,抑制了第四面14的轮廓最大高度变得过大。因此,能够抑制绝缘树脂层6中的孔的形成。

[0083] 根据本发明的超导线材100,第二面12的轮廓最大高度为绝缘树脂层6的第二厚度H2的0.5倍以下。由此,抑制了第二面12的轮廓最大高度相对于第二厚度H2的比率变得过大。因此,能够抑制绝缘树脂层6中的孔的形成。

[0084] 根据本发明的超导线材100,第四面14的轮廓最大高度为绝缘树脂层6的第二厚度H2以下。由此,抑制了第四面14的轮廓最大高度相对于第二厚度H2的比率变得过大。因此,能够抑制绝缘树脂层6中的孔的形成。

[0085] 本发明的超导设备200具有本发明的超导线材100。因此,能够抑制绝缘树脂层6中的孔的形成。

[0086] (实施例)

[0087] (样品准备)

[0088] [表1]

[0089]

序号	绝缘树脂层的厚度 (H2) [ $\mu\text{m}$ ]	基板的第二面		稳定层的第四面	
		Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rz/H2	Rz [ $\mu\text{m}$ ]	Rz/H2
样品1	8	0.1	0.013	0.2	0.025
样品2	8	0.2	0.025	0.3	0.038
样品3	8	0.7	0.088	1	0.13
样品4	8	3	0.38	5	0.63
样品5	8	4	0.5	6	0.75
样品6	8	5	0.63	8	1
样品7	5	0.1	0.02	0.2	0.04
样品8	5	1	0.2	2	0.4
样品9	5	5	1	6	1.2

[0090] 接着,对使用样品的试验进行说明。首先,准备样品1至样品9的超导线材100。样品6和样品9分别为比较例。样品1至样品5、样品7和样品8分别为实施例。

[0091] 样品1至样品9的超导线材100分别使用上述第二实施方式的制造方法制作。具体而言,首先,准备基板1。基板1的厚度为 $100\mu\text{m}$ 。基板1的宽度为 $30\text{mm}$ 。基板1的长度为 $100\text{m}$ 。基板1是在由不锈钢形成的带上设置有Cu层和Ni层的覆层材料。

[0092] 接着,使用溅射法在基板1上形成中间层2。中间层2的厚度为 $0.5\mu\text{m}$ 。中间层2的晶种层由 $\text{CeO}_2$ 构成。晶种层的厚度为 $0.1\mu\text{m}$ 。中间层2的防扩散层由YSZ构成。防扩散层的厚度为 $0.2\mu\text{m}$ 。中间层2的晶格匹配层由 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 构成。晶格匹配层的厚度为 $0.2\mu\text{m}$ 。

[0093] 接着,使用PLD法形成超导层3。超导层3由GdBCO构成。超导层3的厚度为 $3\mu\text{m}$ 。接着,使用溅射法形成保护层4。保护层4的厚度为 $3\mu\text{m}$ 。对由基板1、中间层2、超导层3和保护层4构成的宽度为 $30\text{mm}$ 的层叠体进行细线化。具体而言,使用机械分切加工,以层叠体的宽度成为 $4\text{mm}$ 的方式进行细线化。

[0094] 接着,通过对层叠体的外表面实施镀覆,形成稳定层5。作为镀液的组成,每 $1\text{l}$ 的镀液包含 $100\text{g}$ 的硫酸铜和 $150\text{g}$ 的硫酸。镀覆的电流密度为 $10\text{A}/\text{dm}^2$ 。

[0095] 接着,通过对稳定层5的外表面被覆聚酰亚胺,形成绝缘树脂层6。如上所述地制作样品1至样品9的超导线材100。

[0096] 如表1所示,在样品1至样品6中,绝缘树脂层6的厚度(第二厚度H2)为 $8\mu\text{m}$ 。在样品7至样品9中,第二厚度H2为 $5\mu\text{m}$ 。

[0097] 在样品1至样品6中,第二面12的轮廓最大高度为 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $5\mu\text{m}$ 以下。在样品1至样品6中,第四面14的轮廓最大高度为 $0.2\mu\text{m}$ 以上且 $8\mu\text{m}$ 以下。

[0098] 在样品7至样品9中,第二面12的轮廓最大高度为 $0.1\mu\text{m}$ 以上且 $5\mu\text{m}$ 以下。在样品7至样品9中,第四面14的轮廓最大高度为 $0.2\mu\text{m}$ 以上且 $6\mu\text{m}$ 以下。

[0099] (评价方法)

[0100] 在全部的样品中,实施绝缘树脂层6的热循环评价。具体而言,重复5次将超导线材100在液氮中浸渍1分钟左右而冷却后、从液氮中取出并恢复至室温这样的操作。然后,通过目视检查绝缘树脂层6有无孔。

[0101] 进而,在全部的样品中,测定超导线材100的临界电流值( $I_c$ )。具体而言,在上述热循环评价的前后,测定临界电流值 $I_c$ 。在临界电流值 $I_c$ 的测定中,通过浸渍在液氮中而将超导线材100冷却至77K。超导线材100的临界电流值 $I_c$ 的测定在自磁场下实施。另外,自磁场下是指没有受到从外部施加的磁场的状态。

[0102] (评价结果)

[0103] [表2]

[0104]

序号	临界电流值 [A/cm]		孔
	评价前	评价后	
样品1	510	508	无
样品2	506	506	无
样品3	495	497	无
样品4	504	505	无
样品5	502	503	无
样品6	499	210	有
样品7	512	511	无
样品8	505	506	无
样品9	504	209	有

[0105] 如表2所示,在样品6和样品9中分别确认到绝缘树脂层6的孔。如表2所示,与其它样品相比,在确认到绝缘树脂层6的孔的样品(样品6和9)中,确认到热循环评价后的临界电流值 $I_c$ 的降低。

[0106] 根据以上结果,可确认在第二面12的轮廓最大高度小于 $5\mu\text{m}$ 的情况下(样品1至5、7和8),能够抑制绝缘树脂层6中的孔的形成,能够抑制临界电流值 $I_c$ 的降低。

[0107] 应当认为本次公开的实施方式和实施例在所有方面都是例示,而不是限制性的。本发明的范围不是上述的实施方式,而是由权利要求来表示,并且旨在包含与权利要求等

同的意义、以及在范围内的所有变更。

[0108] 附图标记说明

[0109] 1:基板;2:中间层;3:超导层;4:保护层;5:稳定层;6:绝缘树脂层;11:第一面;12:第二面;13:第三面;14:第四面;21:线圈架;100:超导线材;200:超导设备;D:宽度;H1:第一厚度;H2:第二厚度。

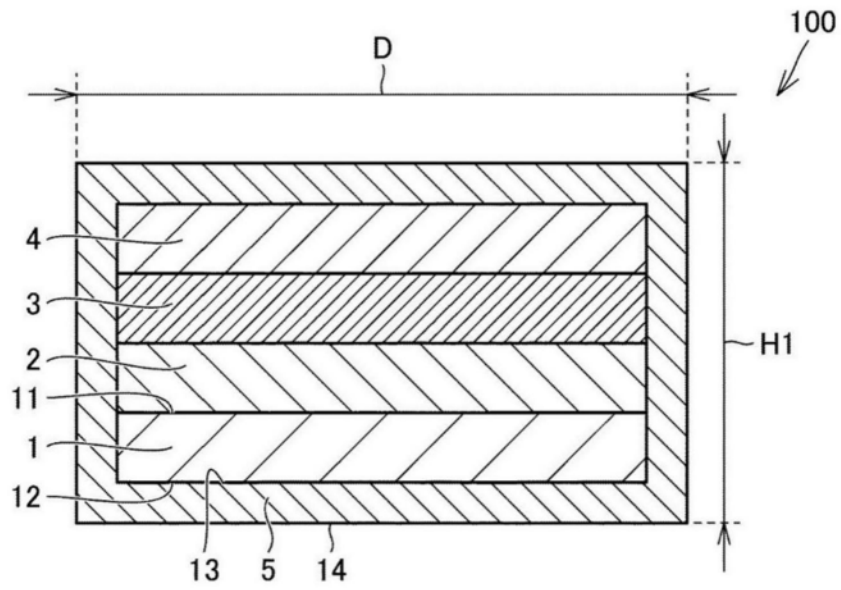


图1

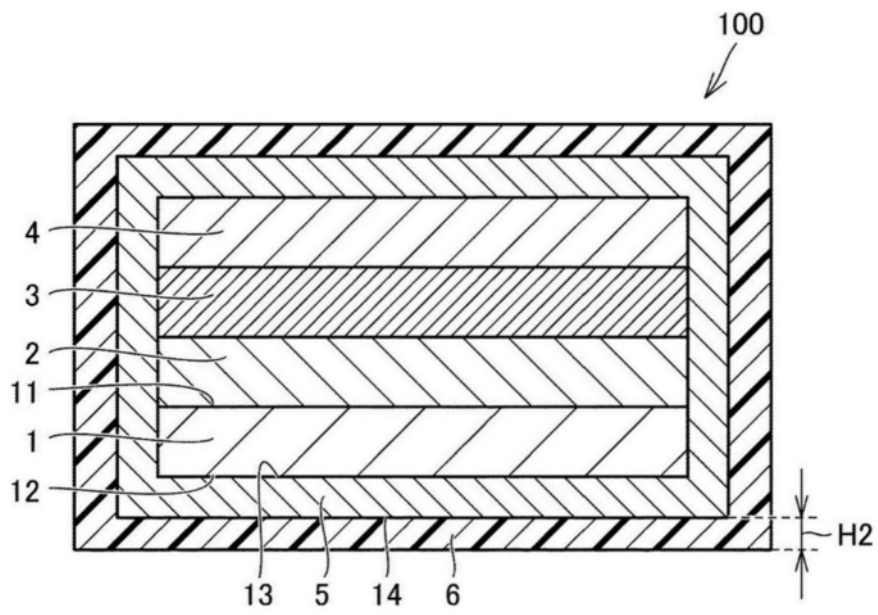


图2

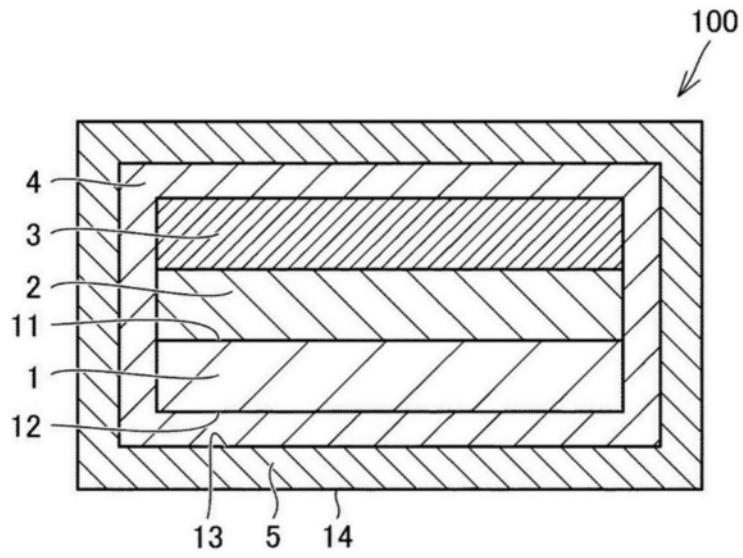


图3

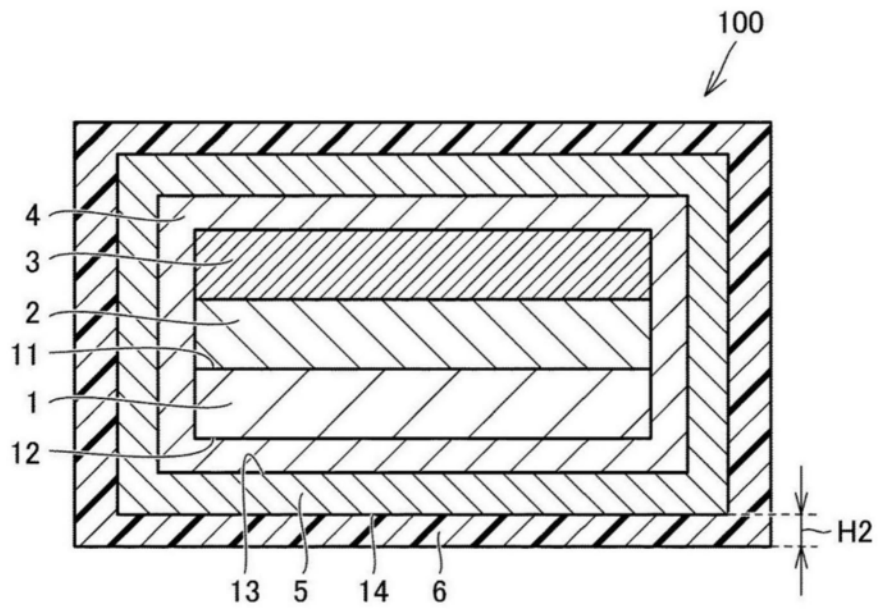


图4

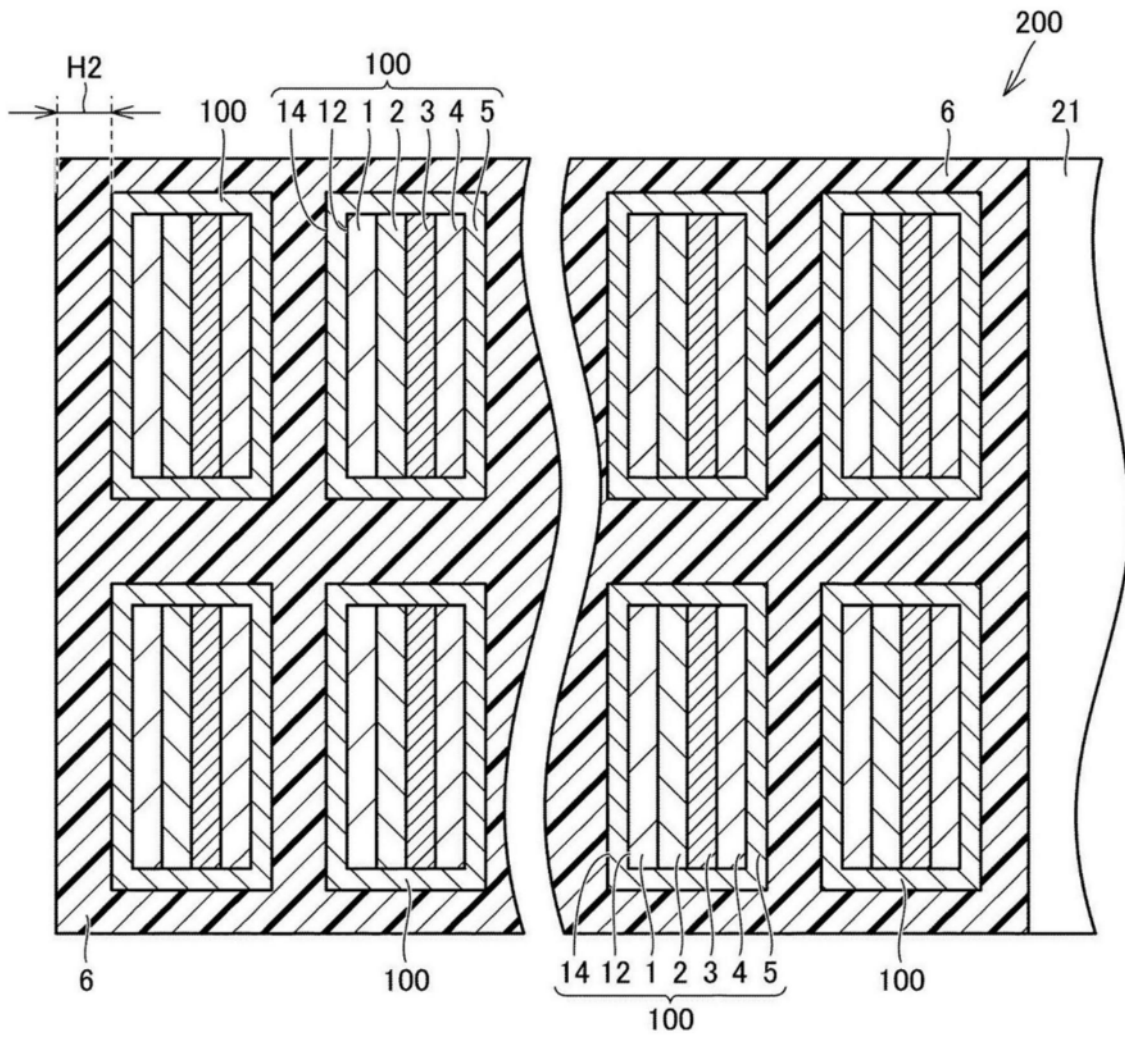


图5