



(12) 发明专利申请



(10) 申请公布号 CN 118251513 A

(43) 申请公布日 2024.06.25

(21) 申请号 202280075858.7

(22) 申请日 2022.11.11

(30) 优先权数据

2021-186703 2021.11.16 JP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.05.14

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/042155 2022.11.11

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/090275 JA 2023.05.25

(71) 申请人 出光兴产株式会社

地址 日本

(72) 发明人 竹中一生 宫川善秀

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021

专利代理师 王铭浩

(51) Int.Cl.

G23C 14/06 (2006.01)

G23C 14/08 (2006.01)

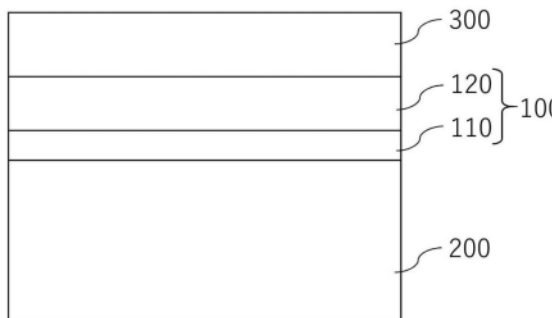
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

固体润滑材料、滑动构件和固体润滑材料的形成方法

(57) 摘要

本发明提供耐久性高的固体润滑材料。固体润滑材料包含具有六方晶的晶体结构的材料。固体润滑材料的与其所覆盖的基材的界面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于固体润滑材料的表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例。或者,固体润滑材料的与其所覆盖的基材的界面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于固体润滑材料的表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。



1. 一种固体润滑材料,其包含具有六方晶的晶体结构的材料,其与其所覆盖的基材的界面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例,或者

其与所述基材的界面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于所述表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。

2. 根据权利要求1所述的固体润滑材料,其中,具有六方晶的晶体结构的所述材料为氧化物材料。

3. 根据权利要求1所述的固体润滑材料,其中,所述固体润滑材料包含选自ZnO、BeO、SiO<sub>2</sub>、GeO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、WO<sub>3</sub>、MoO<sub>3</sub>和MoS<sub>2</sub>中的材料。

4. 根据权利要求1~3中任一项所述的固体润滑材料,其中,所述固体润滑材料至少具有位于与所述基材的界面的基底层和面向与所述基底层相反的一侧的表面层,所述基底层的晶体取向性与所述表面层的晶体取向性不同。

5. 根据权利要求1~3中任一项所述的固体润滑材料,其中,构成所述固体润滑材料的材料的晶体取向性在厚度方向上逐渐变化。

6. 根据权利要求1~5中任一项所述的固体润滑材料,其中,与所述基材的界面中的(100)面和(101)面相对于(002)面的比例高于所述表面中的(100)面和(101)面相对于(002)面的比例,或者

与所述基材的界面中的与(100)面和(101)面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于所述表面中的与(100)面和(101)面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。

7. 一种固体润滑材料的形成方法,其具有以下步骤,即:

在所述基材上覆盖固体润滑材料以使得与所覆盖的基材的界面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例、或者与所述基材的界面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于所述表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例,

所述固体润滑材料包含具有六方晶的晶体结构的材料。

8. 根据权利要求7所述的固体润滑材料的形成方法,其中,所述固体润滑材料形成至少具有位于与所述基材的界面的基底层和面向与所述基底层相反的一侧的表面层,用于形成所述表面层的成膜条件与用于形成所述基底层的成膜条件不同。

9. 根据权利要求7所述的固体润滑材料的形成方法,其中,在层叠所述固体润滑材料的同时逐渐改变所述固体润滑材料的成膜条件。

10. 根据权利要求7~9中任一项所述的固体润滑材料的形成方法,其中,在所述步骤中,在所述基材上覆盖固体润滑材料以使得与所述基材的界面中的(100)面和(101)面相对于(002)面的比例高于所述表面中的(100)面和(101)面相对于(002)面的比例、或者与所述基材的界面中的与(100)面和(101)面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于所述表面中的与(100)面和(101)面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。

11. 根据权利要求7~10中任一项所述的固体润滑材料的形成方法,其中,将所述固体润滑材料通过溅射成膜法来进行覆盖,

靠近与所述基材的界面的位置处的溅射成膜时的氧相对于稀有气体的含量高于靠近所述表面的位置处的溅射成膜时的氧相对于稀有气体的含量。

12. 一种滑动构件,其具有权利要求1~6中任一项所述的固体润滑材料。

## 固体润滑材料、滑动构件和固体润滑材料的形成方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及固体润滑材料、滑动构件和固体润滑材料的形成方法。

### 背景技术

[0002] 作为用于节约能量的一个方法,可举出降低可动部件的摩擦力的方法。出于降低摩擦的目的,使用了各种固体润滑材料。以下的专利文献1和专利文献2公开了作为固体润滑材料的氧化锌覆层。在专利文献1中,为了低摩擦化,公开了一种低摩擦ZnO覆层,其包含(002)和(103)面,并且以比上述(002)和(103)面少的比率包含(100)、(101)、(102)和(104)面。

[0003] 现有技术文献

[0004] 专利文献

[0005] 专利文献1:国际公开第2012/039264号

[0006] 专利文献2:国际公开第2016/190375号

### 发明内容

[0007] 期望固体润滑材料的摩擦系数低。除此以外,还要求提高固体润滑材料的耐久性。特别是,根据使用固体润滑材料的环境,有时期望固体润滑材料具有进一步的耐久性。

[0008] 一个方式的固体润滑材料包含具有六方晶的晶体结构的材料。在该固体润滑材料中,固体润滑材料的与其所覆盖的基材的界面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于固体润滑材料的表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例。或者,固体润滑材料的与上述基材的界面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于固体润滑材料的上述表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。

[0009] 一个方式的固体润滑材料的形成方法涉及包含具有六方晶的晶体结构的材料的固体润滑材料的形成方法。该形成方法具有如下步骤,即:在上述基材上覆盖氧化锌以使得与所覆盖的基材的界面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例、或者与上述基材的界面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于上述表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。

[0010] 一个方式的滑动构件具有上述固体润滑材料。

### 附图说明

[0011] 图1是表示第1实施方式的固体润滑材料和使用其的结构体的构成的一个例子的示意图。

[0012] 图2是表示对各种不同的作为固体润滑材料的氧化锌覆层进行的与基材的界面附近的

X射线衍射的结果的图表。

[0013] 图3是表示第2实施方式的固体润滑材料和使用其的结构体的构成的一个例子的示意图。

[0014] 图4是表示第3实施方式的固体润滑材料和使用其的结构体的构成的一个例子的示意图。

[0015] 图5是表示对各种氧化锌覆层进行的表面侧的X射线衍射试验的结果的图表。

[0016] 图6是表示往复移动摩擦试验后的实施例2和参考例1的基材的表面的激光显微镜照片的图。

[0017] 图7是表示往复移动摩擦试验中的实施例1、2和参考例1的基材的表面的摩擦系数的测定结果的图表。

### 具体实施方式

[0018] 以下,参照附图对实施方式进行说明。在以下的附图中,对相同或类似的部分标注相同或类似的符号。但是,应当留意的是,附图是示意性的,各尺寸的比率等有时与现实不同。

[0019] [第1实施方式]

[0020] 首先,对第1实施方式的固体润滑材料和使用其的结构体的构成的一个例子进行说明。图1是表示第1实施方式的固体润滑材料和使用其的结构体的构成的一个例子的示意图。

[0021] 结构体可以具有基材200、固体润滑材料100和润滑油300。在此,固体润滑材料100设置于基材200上。基材200是应设置固体润滑材料的材料。构成基材200的材料没有特别限定,例如可以是钢板那样的金属构件。在图1所示的例子中,润滑油300存在于固体润滑材料上。作为替代方案,也可以不使用润滑油300。

[0022] 固体润滑材料100包含具有六方晶的晶体结构的材料。例如,固体润滑材料100包含选自ZnO、BeO、SiO<sub>2</sub>、GeO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、WO<sub>3</sub>、MoO<sub>3</sub>和MoS<sub>2</sub>中的材料。

[0023] 具有六方晶的晶体结构的材料优选为氧化物材料。作为这样的氧化物材料,例如可举出ZnO、BeO、SiO<sub>2</sub>、GeO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、WO<sub>3</sub>、MoO<sub>3</sub>等。更优选构成固体润滑材料100的材料为氧化锌(ZnO)。

[0024] 在图1所示的方式中,固体润滑材料100可以具有基材200侧的基底层110和表面层的表面层120。但是,需要注意的是,基底层110和表面层120也可以不被明确的边界划分。

[0025] 固体润滑材料100例如可以通过溅射成膜这样的成膜技术来形成。在该情况下,固体润滑材料100的基底层110和表面层120例如可以通过彼此不同的成膜条件形成的层。

[0026] 基底层110位于与基材200的界面。表面层120面向与基底层110相反的一侧。在第1实施方式中,基底层110的晶体取向性与表面层120的晶体取向性不同。

[0027] 更具体而言,与所覆盖的基材的界面中的固体润滑材料的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于固体润滑材料的表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例。换言之,与所覆盖的基材的界面中的固体润滑材料的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于固体润滑材料的表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰

强度的比例。

[0028] 优选与所覆盖的基材的界面中的固体润滑材料的(100)面和(101)面相对于(002)面的比例高于固体润滑材料的表面中的(100)面和(101)面相对于(002)面的比例。换言之,与所覆盖的基材的界面中的固体润滑材料的与(100)面和(101)面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于固体润滑材料的表面中的与(100)面和(101)面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。

[0029] 认为具有六方晶的晶体结构的材料的(002)面为最密面,该材料的(002)面为低摩擦面。因此,认为如果基材与固体润滑材料的界面的大部分相当于固体润滑材料的(002)面(低摩擦面),则固体润滑材料容易从基材剥离,固体润滑材料的耐久性降低。在本方式中,固体润滑材料的(002)面以外的面较多地包含在基材与固体润滑材料的界面。因此,认为固体润滑材料不易从基材剥离,固体润滑材料的耐久性提高。需要说明的是,考虑到该作用时,可以认为无论在固体润滑材料的表面有没有润滑油,固体润滑材料的耐久性都能够提高。

[0030] 另一方面,由于固体润滑材料的表面以相对高的比例具有(002)面,所以能够维持固体润滑材料的低摩擦性。

[0031] 需要说明的是,固体润滑材料的各层中的(002)面的比例、与(002)面相关的X射线衍射的峰强度可以通过调整固体润滑材料的成膜时的成膜条件来变更。

[0032] 图2是表示对作为固体润滑材料的氧化锌覆层进行的X射线衍射试验的结果的表。图2的图表中的上侧的线是在相对于氩的氧分压为20%的条件下,使用由氧化锌形成的靶材,通过溅射成膜法在基材上形成氧化锌覆层时的结果。图2的图表中的下侧的线是在相对于氩的氧分压为0%的条件(不含氧的条件)下,使用由氧化锌形成的靶材,通过溅射成膜法在基材上形成氧化锌覆层时的结果。

[0033] 如图2所示,可知通过提高稀有气体中的氧分压,从而与(100)面和(101)面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例变高。这意味着在覆层的表面,(100)面和(101)面相对于(002)面的比例变高。这样,通过调整溅射成膜时的氧分压,能够调整与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例、(002)面以外的面相对于(002)面的比例。因此,通过在基底层和表面层的溅射成膜时适当调整氧分压,能够实现上述氧化锌覆层。

[0034] 接下来,对固体润滑材料的形成方法进行说明。固体润滑材料的形成方法具有如下步骤,即:在基材上覆盖固体润滑材料以使得与所覆盖的基材的界面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例、或者与所覆盖的基材的界面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。

[0035] 优选在上述步骤中,在基材上覆盖固体润滑材料以使得与所覆盖的基材的界面中的(100)面和(101)面相对于(002)面的比例高于表面中的(100)面和(101)面相对于(002)面的比例、或者与所覆盖的基材的界面中的与(100)面和(101)面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于表面中的与(100)面和(101)面

相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。

[0036] 在第1实施方式中,固体润滑材料100成为至少具有位于与基材200的界面的基底层110和面向与基底层相反的一侧的表面层120。在该情况下,用于形成表面层120的成膜条件可以与用于形成基底层110的成膜条件不同。

[0037] 在此,固体润滑材料可以通过溅射成膜法等任意的成膜技术进行覆盖。需要说明的是,固体润滑材料的各层中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例、与(002)面及其以外的面相关的X射线衍射的峰强度的比例可以通过调整固体润滑材料的覆盖时的成膜条件来变更。

[0038] 在一个例子中,将固体润滑材料通过溅射成膜法进行覆盖。在该情况下,通过将靠近与基材的界面的位置处的溅射成膜时的其他气体相对于稀有气体的含量改变为靠近表面的位置处的溅射成膜时的该其他气体相对于稀有气体的含量,能够改变固体润滑材料的晶体取向性。

[0039] 在固体润滑材料具有氧化物材料的情况下,优选靠近与基材的界面的位置处的溅射成膜时的氧相对于稀有气体的含量高于靠近表面的位置处的溅射成膜时的氧相对于稀有气体的含量。由此,如上述氧化锌的成膜的例子那样,能够实现固体润滑材料的各层中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例、与(002)面及其以外的面相关的X射线衍射的峰强度的比例。通过变更氧相对于稀有气体的含量,还能够调整它们的比例。

[0040] 在溅射成膜法中,靶材只要能够形成固体润滑材料就没有特别限制。在固体润滑材料具有氧化物材料的情况下,靶材可以是包含构成该氧化物材料的分子的氧化物材料,也可以是从构成该氧化物材料的分子中除去氧后的材料。从减少氧相对于靶材周围的气体的含量的观点出发,靶材可以是包含与构成固体润滑材料的氧化物材料相同的分子的材料。

[0041] 例如,在固体润滑材料包含氧化锌的情况下,靶材例如可以为氧化锌或锌。从减少氧相对于靶材周围的气体的含量的观点出发,靶材优选为氧化锌。

[0042] 靶材周围的气体可以为稀有气体、或氧与稀有气体的混合物。稀有气体例如可以为氩。

[0043] [第2实施方式]

[0044] 以下,对第2实施方式的固体润滑材料和使用其的结构体的构成的一个例子进行说明。图3是表示第2实施方式的固体润滑材料和使用其的结构体的构成的一个例子的示意图。对于与第1实施方式相同的构成标注相同的符号。需要注意的是,对于与第1实施方式相同的构成,有时省略其说明。

[0045] 在第2实施方式中,固体润滑材料100可以具有基底层110、中间层130和表面层120。基底层110是与基材200接触的层。表面层120是能够与其他构件滑动的面。中间层130位于基底层110与表面层120之间。

[0046] 基底层110、中间层130和表面层120例如可以是通过彼此不同的成膜条件形成的层。在此,在图3中,仅示出1层的中间层130。作为替代方案,固体润滑材料100也可以在基底层110与表面层120之间具有多个中间层130。在该情况下,多个中间层130可以是通过彼此不同的成膜条件形成的层。

[0047] 需要注意的是,在第2实施方式中,基底层110、中间层130和表面层120也可以不被

明确的边界划分。

[0048] 在第2实施方式中,基底层110的晶体取向性与表面层120的晶体取向性不同。中间层130的晶体取向性可以与基底层110和表面层120的晶体取向性不同,也可以与基底层110和表面层120中的一者的晶体取向性相同。

[0049] 具体而言,在第2实施方式中,与所覆盖的基材的界面(基底层)中的固体润滑材料的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于固体润滑材料的表面(表面层)中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例。换言之,与所覆盖的基材的界面中的固体润滑材料的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于固体润滑材料的表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。由此,与第1实施方式同样地,能够期待耐久性高的固体润滑材料。

[0050] [第3实施方式]

[0051] 以下,对第3实施方式的固体润滑材料和使用其的结构体的构成的一个例子进行说明。图4是表示第3实施方式的固体润滑材料和使用其的结构体的构成的一个例子的示意图。对于与第1实施方式相同的构成标注相同的符号。需要注意的是,对于与第1实施方式相同的构成,有时省略其说明。

[0052] 在第3实施方式中,固体润滑材料100由不具有明确的边界的层形成。在第3实施方式中,构成固体润滑材料的材料的晶体取向性在厚度方向上逐渐变化。

[0053] 即使在这种情况下,与所覆盖的基材的界面中的固体润滑材料的(002)面以外的面相对于(002)面的比例也高于固体润滑材料的表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例。换言之,与所覆盖的基材的界面中的固体润滑材料的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于固体润滑材料的表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。由此,能够期待耐久性高的固体润滑材料。

[0054] 第3实施方式的固体润滑材料100可以通过在层叠固体润滑材料的同时逐渐改变固体润滑材料的成膜条件来形成。在固体润滑材料具有氧化物材料的情况下,固体润滑材料可以通过进行固体润滑材料的成膜并且逐渐改变溅射成膜时的氧相对于稀有气体的含量来形成。具体而言,只要在层叠固体润滑材料100的同时逐渐减少溅射成膜时的氧相对于稀有气体的含量即可。由此,能够实现构成固体润滑材料的材料的晶体取向性随着厚度逐渐变化的固体润滑材料。

[0055] [实施例1]

[0056] 接下来,对实施例1的固体润滑材料进行说明。在实施例1中,在基材上设置氧化锌覆层作为固体润滑材料。如图1所示,氧化锌覆层包含基底层和表面层。氧化锌覆层的基底层和表面层使用“ULVAC公司制往复式溅射装置SIH-300”形成。靶材为氧化锌。

[0057] 在实施例1中,氧化锌覆层的基底层的成膜时的成膜气体为80%氩分压和20%的氧分压的混合物(参照表1)。在实施例1中,表面层的成膜时的成膜气体为氩,实际上不含氧。成膜气体的流量为50ml/min。成膜温度为25°C,成膜压力为0.5Pa。基底层成膜时的放电功率为200W,表面层成膜时的放电功率为2000W。基底层的膜厚为40nm,表面层的膜厚为1700nm。需要说明的是,上述膜厚是利用分光椭偏仪得到的测定值(以下相同)。

[0058] [实施例2]

[0059] 对实施例2的固体润滑材料进行说明。在实施例2中,在基材上设置氧化锌覆层作为固体润滑材料。实施例2的氧化锌覆层除了氧化锌的基底层的膜厚以外,在与实施例1相同的条件下形成(参照表1)。在实施例2中,基底层的膜厚为80nm,表面层的膜厚为1700nm。

[0060] [参考例1]

[0061] 对参考例1的固体润滑材料进行说明。参考例1中,在基材上设置氧化锌覆层作为固体润滑材料。参考例1的氧化锌覆层除了基底层的成膜时的成膜气体的成分以外,在与实施例1相同的条件下形成。在参考例1中,基底层和表面层的成膜时的成膜气体为氩,实际上不含氧(参照表1)。另外,在参考例1中,基底层的膜厚为60nm,表面层的膜厚为1700nm。

[0062] (表1)

	基底层用的成膜气体	基底层的膜厚	表面层用的成膜气体	表面层的膜厚
[0063] 实施例1	Ar:O <sub>2</sub> =80%:20%	40nm	Ar:O <sub>2</sub> =100%:0%	1700nm
实施例2	Ar:O <sub>2</sub> =80%:20%	80nm	Ar:O <sub>2</sub> =100%:0%	1700nm
参考例1	Ar:O <sub>2</sub> =100%:0%	60nm	Ar:O <sub>2</sub> =100%:0%	1700nm

[0064] 在实施例1和实施例2中,基底层的成膜时的成膜气体中的氧分压高于表面层的成膜时的成膜气体中的氧分压。因此,如图2中说明的那样,认为与所覆盖的基材的界面中的氧化锌的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于氧化锌的表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例。换言之,与所覆盖的基材的界面中的氧化锌的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于氧化锌的表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。

[0065] 在参考例1中,认为与所覆盖的基材的界面中的氧化锌的(002)面以外的面相对于(002)面的比例与氧化锌的表面中的(002)面相对于(002)面以外的面的比例实质上相同。换言之,认为与所覆盖的基材的界面中的氧化锌的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例与氧化锌的表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例实质上相同。

[0066] 图5是表示对各种氧化锌覆层进行的表面侧的X射线衍射试验的结果的图表。在图5中,通过对实施例1、2和参考例1的氧化锌覆层的表面侧照射X射线来进行X射线衍射试验。在实施例1、2和参考例1中,氧化锌的与(002)面相关的X射线衍射的峰强度高。在实施例1、2和参考例1中,氧化锌的表面层以彼此相同的成膜条件形成。因此,实施例1、2和参考例1中的X射线衍射的峰强度彼此大致相同。

[0067] 另一方面,如使用图2已经说明的那样,可知在实施例1、2中的基底层中,通过在成膜时提高稀有气体中的氧分压,从而与(100)面和(101)面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例变高。因此,在实施例1、2中,可知与所覆盖的基材的界面中的氧化锌的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例高于氧化锌的表面中的与(002)面以外的面相关的X射线衍射的峰强度相对于与(002)面相关的X射线衍射的峰强度的比例。这意味着,与所覆盖

的基材的界面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例高于表面中的(002)面以外的面相对于(002)面的比例。

[0068] 对具有实施例2和参考例1的氧化锌覆层的基材进行往复移动摩擦试验。在往复移动摩擦试验中,使具有0.5英寸的直径的由钢材(SUJ-2)构成的球在设置有氧化锌覆层的基材的表面上往复移动。在此,往复移动摩擦试验在氧化锌覆层上涂布了机械油的状态下进行。

[0069] 由钢材构成的球一边以3kgf的载荷按压于基材,一边在基材上往复移动。试验时的温度为室温。由钢材构成的球的冲程幅度为20mm,冲程速度为10mm/s。另外,使由钢材构成的球在具有氧化锌覆层的基材200上往复移动。

[0070] 图6是表示往复移动摩擦试验后的实施例2和参考例1中的基材的表面的激光显微镜照片的图。根据图6可知,实施例2中的氧化锌覆层即使在往复移动摩擦试验后也几乎没有剥离。与此相对,参考例1的氧化锌覆层在往复移动摩擦试验后部分剥离。根据该结果可知,实施例2的氧化锌覆层的耐久性提高。

[0071] 图7是表示往复移动摩擦试验中的实施例1、2和参考例1中的基材的表面的摩擦系数的测定结果的图表。根据图7可知,在实施例1、2中,即使由钢材构成的球的滑动次数增加,摩擦系数也稳定。与此相对,在参考例1中,摩擦系数在滑动次数为第20次的时刻突然增大,或者在滑动次数超过第70次时逐渐增大。这样,实施例1、2的氧化锌覆层的摩擦系数维持比参考例1的氧化锌覆层的摩擦系数更稳定的值。

[0072] 另外,对实施例1和实施例2进行比较可知,氧化锌覆层的摩擦系数通过基底层膜厚的增大而维持更低的值。特别是,实施例2的氧化锌覆层的摩擦系数能够稳定地维持低值。

[0073] 本发明的固体润滑材料可以适合地用于具有滑动面的滑动构件。固体润滑材料设置于滑动构件的滑动面,该滑动面相当于上述基材200的表面。作为滑动构件,可例示轴承、密封件、飞轮、剪刀、柱塞泵、活塞、齿轮、曲轴、人工关节等。

[0074] 本申请主张基于在2021年11月16日申请的日本国专利申请2021-186703号的优先权,该专利申请的全部内容通过参照而并入本文中。

[0075] 如上所述,通过实施方式和实施例公开了本发明的内容,但不应理解为构成本发明的一部分的论述和附图限定本发明。根据本公开,本领域技术人员可以明确各种替代的实施方式、实施例和运用技术。因此,本发明的技术范围仅由从上述说明考虑属于妥当的请求保护的技术方案所涉及的技术特征来确定。

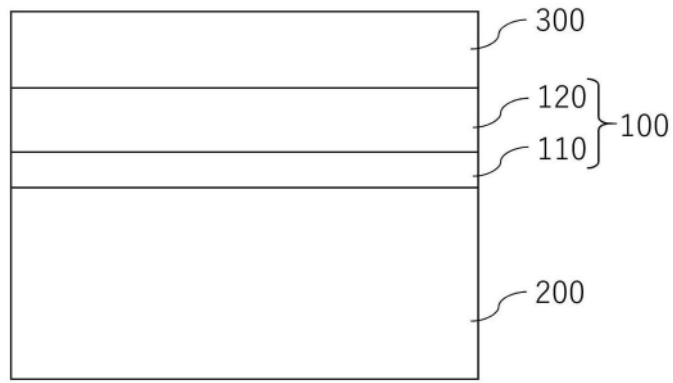


图1

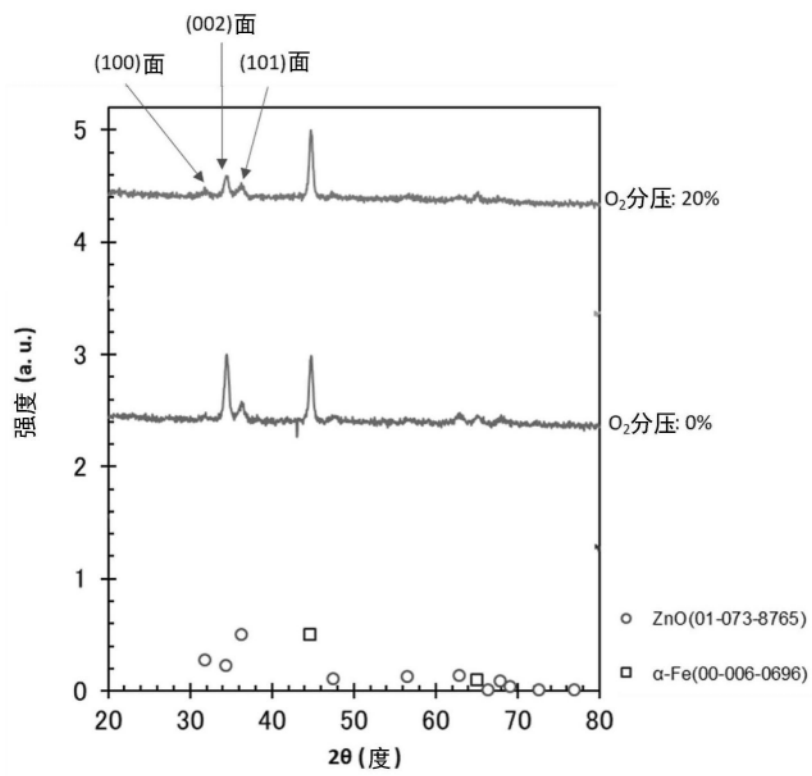


图2

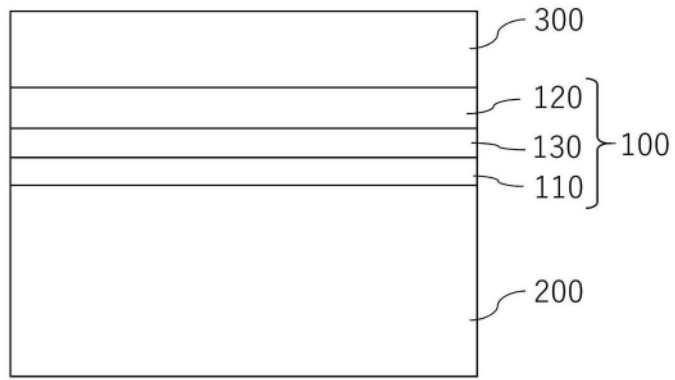


图3

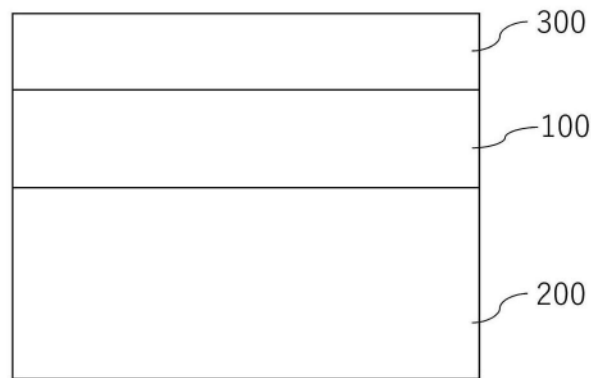


图4

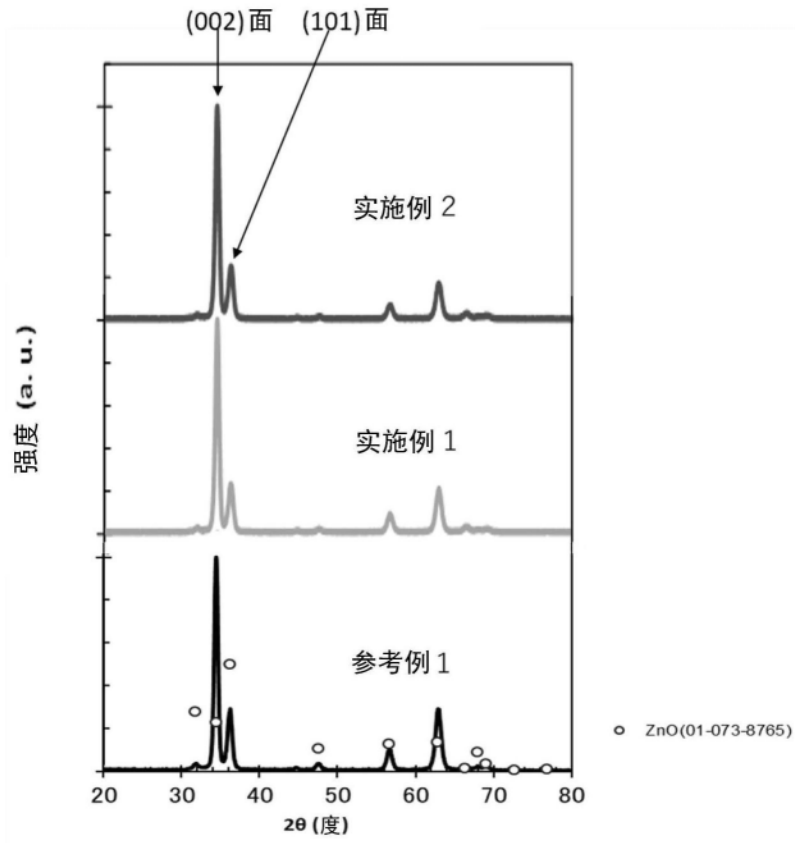


图5

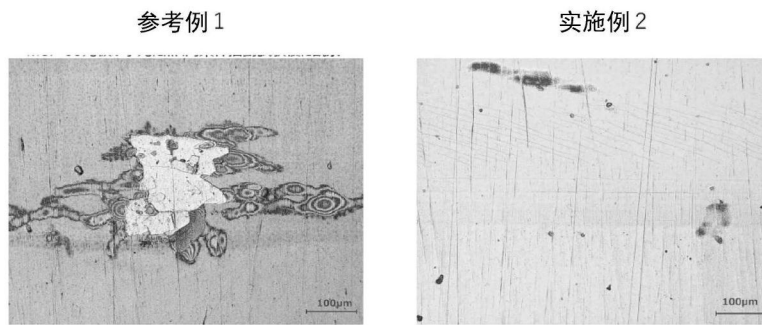


图6

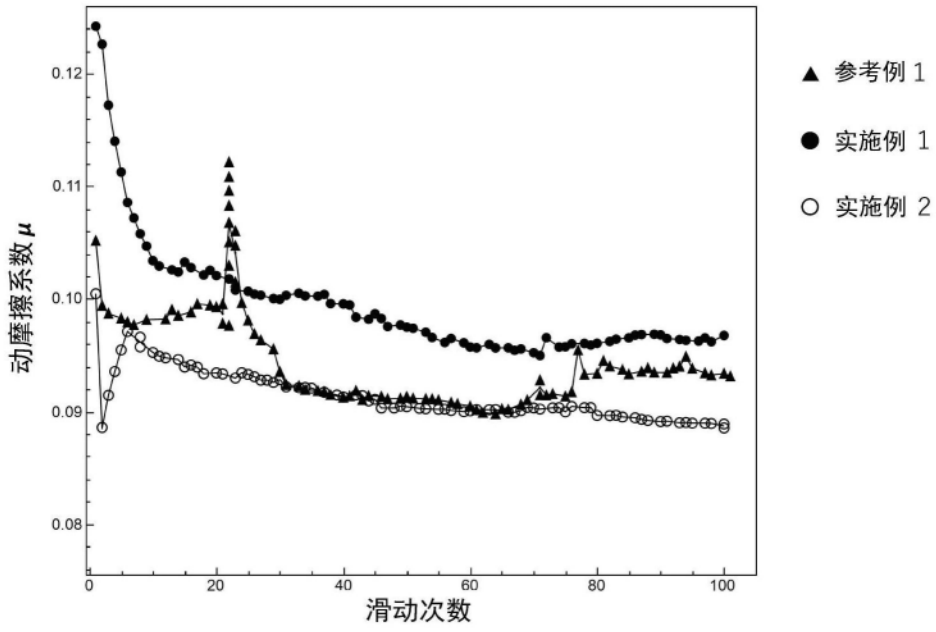


图7