



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110468447 B

(45) 授权公告日 2022.01.14

(21) 申请号 201910395403.3

(22) 申请日 2019.05.13

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110468447 A

(43) 申请公布日 2019.11.19

(30) 优先权数据
18171737.2 2018.05.11 EP

(73) 专利权人 硅晶体有限公司
地址 德国纽伦堡

(72) 发明人 伯恩哈德·埃克 拉尔夫·穆勒
马提亚斯·施托克迈尔
迈克尔·沃格尔
阿恩德-迪特里希·韦伯

(74) 专利代理机构 北京同达信恒知识产权代理有限公司 11291

代理人 黄志华 何月华

(51) Int.Cl.
G30B 23/02 (2006.01)
B24B 9/06 (2006.01)
B24B 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 103635615 A, 2014.03.12
CN 106605289 A, 2017.04.26
CN 102543689 A, 2012.07.04
US 2014027787 A1, 2014.01.30

审查员 王红

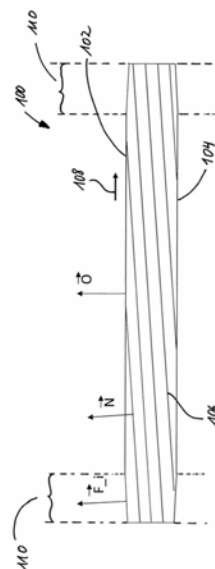
权利要求书2页 说明书9页 附图12页

(54) 发明名称

倒角的碳化硅衬底以及倒角的方法

(57) 摘要

本发明涉及一种基本上是单晶的倒角碳化硅衬底,以及涉及一种相应的倒角碳化硅衬底的方法。根据本发明的碳化硅衬底包括主表面(102)和倒角外周区域(110),其中所述主表面(102)的取向使得所述主表面(102)的法向量(\vec{O})包括与所述衬底的晶格基面(106)的法向量(\vec{N})的倾斜角,其中所述倒角外周区域(110)的表面包括与所述主表面的斜角,其中所述斜角被选择为使得在超过75%的外周区域中,所述倒角外周区域(110)的法向量(\vec{F}_i)与主表面的法向量的差异小于所述主表面的法向量与所述衬底的晶格基面的法向量之间的差异。



1. 一种用于外延沉积层的基本上是单晶的碳化硅衬底, 其中, 所述碳化硅衬底具有至少 $200\mu\text{m}$ 且不大于 $1000\mu\text{m}$ 的厚度, 所述碳化硅衬底包括:

主表面 (102), 其中, 所述主表面 (102) 的取向使得所述主表面 (102) 的法向量(\vec{O})包括与所述衬底的 (0001) 晶格基面 (106) 的法向量(\vec{N})的倾斜角, 所述倾斜角在 0.5° 和 8° 之间的范围内,

倒角外周区域 (110), 其中, 所述倒角外周区域的表面包括与所述主表面的斜角, 其中, 所述倒角外周区域 (110) 围绕所述衬底的周长的至少95%布置,

其中, 所述斜角被选择成使得在超过75%的所述外周区域中, 所述倒角外周区域 (110) 的法向量(\vec{F}_i)与所述主表面 (102) 的所述法向量(\vec{O})包含的所述斜角小于所述主表面 (102) 的所述法向量(\vec{O})与所述衬底的所述 (0001) 晶格基面的所述法向量(\vec{N})包含的所述倾斜角。

2. 根据权利要求1所述的碳化硅衬底, 其中, 在与所述倒角外周区域相邻的位置 (124) 处测量所述主表面的法向量(\vec{O})与所述衬底的所述 (0001) 晶格基面的法向量(\vec{N})之间的差异。

3. 根据权利要求1所述的碳化硅衬底, 其中, 所述衬底在至少80%的所述倒角外周区域上具有等于 10nm 或小于 10nm 的表面粗糙度。

4. 根据权利要求1所述的碳化硅衬底, 其中, 所述衬底具有选自包括4H和6H的组的多型体。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的碳化硅衬底, 其中, 所述衬底具有至少 $150\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 的直径和/或 $350\mu\text{m} \pm 25\mu\text{m}$ 的厚度。

6. 一种倒角用于外延沉积层的基本上为单晶的碳化硅衬底的方法, 使得倒角外周区域 (110) 的表面包括与所述衬底的主表面 (102) 的斜角, 其中, 所述碳化硅衬底具有至少 $200\mu\text{m}$ 且不大于 $1000\mu\text{m}$ 的厚度, 所述方法包括以下步骤:

测量所述衬底的 (0001) 晶格基面相对于所述衬底的所述主表面 (102) 的取向, 其中, 所述主表面 (102) 包括与所述衬底的所述 (0001) 晶格基面 (106) 的法向量(\vec{N})的倾斜角, 所述倾斜角在 0.5° 和 8° 之间的范围内,

确定所述斜角, 使得在超过75%的所述外周区域中, 所述倒角外周区域 (110) 的法向量(\vec{F}_i)与所述主表面 (102) 的法向量(\vec{O})包含的所述斜角小于所述主表面 (102) 的所述法向量(\vec{O})与所述衬底的所述 (0001) 晶格基面的所述法向量(\vec{N})包含的所述倾斜角,

处理所述衬底以形成具有确定的斜角的所述倒角外周区域 (110), 其中, 所述倒角外周区域 (110) 围绕所述衬底的周长的至少95%布置。

7. 根据权利要求6所述的方法, 其中, 在与待倒角的外周区域相邻的至少一个位置处测量所述衬底的所述晶格基面相对于所述衬底的所述主表面的取向。

8. 根据权利要求6所述的方法, 其中, 处理所述衬底的步骤包括磨削步骤和/或激光切割步骤。

9. 根据权利要求6所述的方法, 其中, 测量取向的步骤包括:

使用X射线衍射XRD测量装置在至少一个位置中测量倾斜角的绝对值，
确定所测量的倾斜角的最小值，
并且其中，所述斜角设定为比所述最小值小 0.5° 的值。

10. 根据权利要求6所述的方法，其中，使用磨削头部处理所述衬底，所述磨削头部机械地连接至X射线衍射XRD测量装置。

11. 根据权利要求6所述的方法，其中，在围绕所述衬底的周长的多个位置处测量所述倾斜角，并且其中，根据所测量的倾斜角改变围绕所述衬底的周长的所述斜角。

12. 根据权利要求6所述的方法，其中，所述碳化硅衬底包括硅侧面和碳侧面，并且其中，具有确定的斜角的所述倒角外周区域仅布置在所述衬底的所述硅侧面上。

倒角的碳化硅衬底以及倒角的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种基本上为单晶的倒角的碳化硅衬底,以及涉及一种相应的倒角碳化硅衬底的方法。

背景技术

[0002] 由于其优异的物理、化学和电学性质,碳化硅尤其用作用于电力电子半导体元件、用于射频元件以及用于各种特殊发光半导体元件的半导体衬底材料。需要具有理想纯度和无缺陷的品质的块状SiC晶体作为这些产品的基础。

[0003] 如本领域中已知的,块状SiC晶体通常通过物理气相沉积技术生产,特别是使用例如US 8,865,324 B2中所示的升华方法。该方法需要超过2000℃的温度。物理气相输送(PVT)基本上是升华和再冷凝的过程,其中原材料和晶种放置在生长炉内,使得原材料的温度高于晶种的温度,从而原材料升华,蒸汽物质扩散并沉积在晶种上形成单晶。

[0004] 为了生产晶片形衬底,例如通过金刚石线锯将块状SiC晶体切片。通过随后的多级抛光步骤来精加工表面。为了在这些加工步骤的过程中机械地稳定衬底,通常机械地处理衬底的边缘。为了制造电子元件,薄单晶层(例如SiC或GaN)外延地沉积在抛光的衬底上。这些层的特征以及由此制造的电子元件的品质决定性地取决于在下面的SiC衬底的品质,特别是取决于主表面的特征。主表面的特征包括例如粗糙度、损伤、取向和位错密度。已知使用所谓的偏离取向的衬底以便实现涉及台阶流(step-flow)的晶体生长,从而避免小面化(faceted)晶体生长。随着台阶流生长,外延层的品质可以得到改善,因为切边(offcut)在SiC表面上生成促进横向生长(台阶流生长)的一系列台阶和阶梯(terrace)。以这种方式,外延层复制衬底的堆叠顺序,并且随后进行高品质的外延生长。

发明内容

[0005] 在本发明的上下文中,术语“偏离取向”表示其上将生长外延层的衬底的主表面包括与限定的晶格面的角度的情况。换句话说,主表面的法线轴不取向为与该晶格面的法线轴重合,而是取向为“偏离轴(off axis)”。另一方面,主表面的法线轴与晶格基面的法线轴重合的衬底称为“同轴”。

[0006] 虽然本发明的随后说明主要针对于4-SiC衬底材料,但是可以理解的是,本发明的实用性不限于此,并且本发明广泛地考虑了其它类型的碳化硅衬底,例如存在于在200多种碳化硅多型体中的多种六边形(H)晶体形式。目前优选4H-SiC和6H-SiC,最优选4H-SiC。

[0007] 在这方面,可以注意的是,本文中描述了用于各种六边形晶体形式的SiC的切边外延生长表面,以对应的六边形方向符号表示。

[0008] 本发明考虑了相应衬底的形成。在4H-SiC的情况下,衬底具有平面生长表面(界面),该平面生长表面(界面)为切边,即相对于其基面的轴线倾斜,在平面生长表面和基面的轴线之间的倾斜角(切边角)为约0.5°至约8°,更优选地为4°。可以朝向<1100>结晶方向或<1120>结晶方向切边(0001)SiC衬底。

[0009] 本发明的发明人已经认识到,由于衬底的主表面的偏离取向,在特定的几何条件下,机械处理的边缘可以有具有同轴取向的表面的区域。在外延层沉积在同轴取向的表面区域上的过程中,由于小面化生长而产生晶体缺陷。任何随后的外延加工会承受由于台阶生长(甚至进入衬底主表面的台阶生长)而导致的这些缺陷的扩展,从而导致因缺陷而增加的次品。

[0010] 在外延生长的过程中,传统的晶片制造工艺通常会在晶片处产生由小面化生长引起的这些缺陷,因此必须处理整个生产链的产率的降低。在US 5,866,477A和US 2008/293336A1中公开了将倒角边缘施加至晶片的外周的传统晶片制作工艺的示例。此外,已知制造具有弯曲倒角边缘的硅衬底,正如例如在US6,302,769 B1和JP 2006-120865A中公开的。

[0011] US 2012/325196A1公开了一种用于制造碳化硅衬底的方法,该方法包括步骤:制备单晶碳化硅锭,通过切割碳化硅锭获得碳化硅衬底,以及在包括碳化硅衬底的外周表面的区域中形成倒角部分。在获得碳化硅衬底的步骤中,切割碳化硅锭,使得碳化硅衬底的主表面相对于{0001}面形成不小于 10° 的角度。

[0012] US2014/027787A1公开了一种SiC单晶,该SiC单晶具有至少一个取向区域,其中基面位错具有高线性度并且取向为三个结晶等效的 $\langle 11-20 \rangle$ 方向,以及公开了由SiC单晶制成的SiC晶片和半导体器件。可以通过使用晶种(其中{0001}面最上部侧面上的偏移角小,并且偏移方向下游侧面上的偏移角大)以及在该晶种上生长另一晶体来制造SiC单晶。

[0013] W.L.Bond:“用于精确制备X射线取向晶体的装置”,科学仪器杂志(Journal of Scientific Instruments),第38卷,第2期,第63-64页,02/1961中描述了一种组合的取向-磨削装置,该装置用于产生关于晶体取向精确地取向的表面。该装置使用X射线取向测角仪,用于确定晶体取向和调整晶体的位置。

[0014] 因此,仍然需要改进的碳化硅衬底和倒角基本上为单晶的碳化硅衬底的方法,使得倒角外周区域的表面包括与衬底的主表面的斜角,确保在衬底上生长的外延层的改进的特性,并且特别地,不经受从衬底的外周区域中存在的局部同轴区域开始的外延层的寄生生长或扰动生长。

[0015] 该目的通过独立权利要求的主题解决。本发明的有利实施方式是从属权利要求的主题。

[0016] 本发明基于这样的思想:对于偏离轴的SiC衬底,通过根据主表面的实际倾斜角度来选择倒角的斜角,可以避免通过倒角晶片而产生的寄生同轴区域的出现。

[0017] 特别地,本发明提供了一种基本上是单晶的碳化硅衬底,该碳化硅衬底包括主表面和倒角外周区域,其中所述主表面的取向为使得主表面的法向量包括与衬底的晶格基面的法向量的倾斜角度,其中倒角外周区域的表面包括与所述主表面的斜角。根据本发明,所述斜角被选择为,在超过75%的外周区域中,倒角外周区域的法向量与主表面的法向量的差异小于主表面的法向量与衬底的晶格基面的法向量的差异。

[0018] 这种布置的优势在于在倒角表面上不会出现局部的同轴取向区域,这倾向于导致外延层的寄生生长。因此,可以避免外延层的这种寄生生长和缺陷生长对衬底主表面产生不利影响。

[0019] 根据本发明的有利实施方式,在与倒角外周区域相邻的位置处测量主表面的法向

量与衬底的晶格基面的法向量之间的差异。考虑到切边后的SiC衬底在其整个直径上通常不是完全均匀的,这是很重要的。通常,应该尽可能地靠近倒角外周区域测量实际倾斜角度,并且当然也可以在稍后当倾斜衬底时将被去除的区域中测量实际倾斜角度。

[0020] 根据本发明的有利实施方式,倒角外周区域围绕衬底的周长的至少95%布置。这种相对高的比例的优势在于倒角的机械稳定效果被充分利用至足够高的程度。

[0021] 此外,根据本发明的示例的衬底在至少80%的倒角外周区域上具有等于10nm或小于10nm的表面粗糙度。倒角区域的这种相对光滑的表面还提高了在衬底上生长的外延层的品质。

[0022] 如上文已经提及的,本发明的原理可以应用于所有类型的碳化硅衬底,特别是应用于具有选自包括4H和6H的组的多型体的衬底。

[0023] 有利地,衬底是切边的,使得倾斜角度在 0.5° 和 8° 之间的范围内。优选地,倾斜角度为 4° 。然而,本领域技术人员清楚的是,本发明不限于这些特定值。只要确保外延层的台阶流生长,也可以使用更小或更大的角度。

[0024] 有利地,碳化硅衬底具有至少 $200\mu\text{m}$ 且不大于 $1000\mu\text{m}$ 的厚度。更具体地,碳化硅衬底可以具有至少 $150\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 的直径和/或 $350\mu\text{m} \pm 25\mu\text{m}$ 的厚度。然而,本领域技术人员清楚的是,任何其它合适的尺寸也可以与根据本发明的原理一起使用。

[0025] 本发明还提供了一种用于制造根据本发明的衬底的方法。特别地,本发明涉及一种倒角基本上为单晶的碳化硅衬底的方法,使得倒角外周区域的表面包括与衬底的主表面的斜角,该方法包括以下步骤:

[0026] 测量衬底的晶格基面相对于衬底的主表面的取向,

[0027] 确定所述斜角,使得在超过75%的外周区域中,倒角外周区域的法向量与主表面的法向量的差异小于主表面的法向量与衬底的晶格基面的法向量之间的测量差异,

[0028] 处理衬底以形成具有确定的斜角的倒角外周区域。

[0029] 众所周知的,倾斜角度的测量可以例如使用X射线衍射(XRD)进行。单晶X射线衍射是一种非破坏性的分析技术,其提供关于晶体物质的内部晶格的详细信息,该信息包括晶胞尺寸、键长、键角、和位置排序的细节。此外,通过使用测角仪并在衬底周围进行Theta扫描,可以在晶片的整个外周的周围确定切边角。

[0030] 根据本发明的有利实施方式,在与待倒角的外周区域相邻的至少一个位置处测量衬底的主表面相对于衬底的晶格基面的取向。可替代地,也可以在稍后形成倒角外周区域的步骤中被去除的区域内进行测量。为了安全地防止出现具有同轴取向的不期望的局部表面,有利的是,尽可能地接近随后的倒角区域进行测量,因为实际倾斜角度会在主表面的整个直径上轻微变化。

[0031] 有利地,处理衬底的步骤包括磨削步骤和/或激光切割步骤。根据本发明,可以使用任何合适的机械加工衬底边缘以形成倒角的方法。然而,可以以特别简单和精确的方式调整磨削装置的机械加工角度。特别地,旋转磨石可以用于以期望的斜角对衬底的外周边缘进行倒角。

[0032] 有利地,测量倾斜角度的取向的步骤包括:

[0033] 使用X射线衍射(XRD)测量装置、例如具有能量色散检测器的X射线衍射(XRD)测量装置,在至少一个位置处测量倾斜角度的绝对值,

[0034] 确定测量的倾斜角度的最小值，

[0035] 并且其中斜角设定为比所述最小值小 0.5° 的值。

[0036] 当然，由于这对于本领域技术人员是清楚的，因此只要可以避免产生不期望的同轴表面区域，也可以针对倒角区域的斜角设置任何其它合适的值。

[0037] 根据本发明的有利实施方式，使用磨削头部处理衬底，该磨削头部机械地连接至X射线衍射(XRD)测量装置。这种布置的优势在于，测量和磨削步骤可以通过一个组合的机械加工装置进行，并且衬底不必重新定位至另一装置中。因此，提高了准确性并减少了加工时间和成本。

[0038] 此外，测量有利地在围绕衬底周长的多个测量位置处进行，例如在8个点处进行，该8个点例如均匀地分布在周长周围。当进行多个测量时，如分别测量的倾斜角度所示，斜角可以局部地变化。另一方面，通过评估所有测量结果并从多个测量结果的最小值中或从多个测量结果的平均值中产生一个倾斜角度值，也可以仅计算恒定的一个斜角。换句话说，可以在围绕衬底周长的多个位置处测量倾斜角度，然后根据测量的倾斜角度，围绕衬底周长改变斜角。

[0039] 由于其六边形的晶格结构，碳化硅衬底表现出最外表面的硅侧面和碳侧面。硅侧面通常是其上生长有外延层的侧面。根据本发明的有利实施方式，具有确定的斜角的倒角外周区域仅布置在衬底的硅侧面上。另一方面，衬底的碳侧面可以具有任意的斜角。因此，因为可以仅在一个侧面进行测量，所以可以简化处理。

附图说明

[0040] 附图并入说明书中并形成说明书的一部分，以说明本发明的多个实施方式。这些附图与说明书一起用于解释本发明的原理。附图仅出于说明如何得到和使用本发明的优选和替选示例的目的，而不应被解释为将本发明限制于仅示出和描述的实施方式。此外，实施方式的多个方面可以单独地或以不同的组合形成根据本发明的解决方案。因此，下面描述的实施方式可以单独地被考虑或以其任意组合被考虑。根据如附图所示的本发明的各种实施方式的以下更具体的描述，其它特征和优势将变得显而易见，其中相同的附图标记表示相同的元件，并且其中：

[0041] 图1是根据本发明的第一实施方式的SiC衬底的示意图；

[0042] 图2是具有同轴倒角取向的SiC衬底的示意图；

[0043] 图3是具有太大的斜角的SiC衬底的示意图；

[0044] 图4是根据本发明的另一实施方式的SiC衬底的示意图；

[0045] 图5是具有同轴倒角取向的另一SiC衬底的示意图；

[0046] 图6是具有太大的斜角的另一SiC衬底的示意图；

[0047] 图7是根据另一实施方式的SiC衬底的示意图；

[0048] 图8是根据另一实施方式的SiC衬底的示意图；

[0049] 图9是根据另一实施方式的SiC衬底的示意图；

[0050] 图10是测量步骤的示意图；

[0051] 图11是磨削步骤的示意图；

[0052] 图12是组合的测量和机械加工单元的示意图。

具体实施方式

[0053] 现在将参考附图更详细地解释本发明,首先参见图1。

[0054] 图1示出了根据本发明的第一个有利的实施方式的SiC衬底100。必须注意的是,尺寸未按比例、用以说明根据本发明的构思。特别地,与直径相比,衬底的厚度显示得极其大。SiC衬底具有第一表面102和第二表面104。在下文中,第一表面102将被称为主表面,而第二表面104也被称为底表面。通常地,第一表面102是SiC衬底100的硅表面,而第二表面104是衬底100的碳表面。主表面102是在其上沉积后来的外延层的表面。主表面102的取向由法向量 \vec{O} 表示。

[0055] 在图1中,该组晶格基面106显示为具有法向量 \vec{N} 。如由晶格面106示意性地表示的,以 4° 的角度对SiC衬底100进行切边。换句话说,法向量 \vec{O} 和法向量 \vec{N} 包括 4° 的倾斜角度。由于该倾斜角度,外延生长作为台阶流生长发生。台阶流生长方向在图1中由箭头108表示。

[0056] 为了机械地稳定衬底,基本上圆形的晶片的外周区域必须设置有倒角区域110。倒角区域的表面平面在给定的任何位置*i*处的取向由法向量 \vec{F}_i 描述。本发明的发明人已经认识到,在法向量 \vec{F}_i 与晶格面的法向量 \vec{N} 一致重合的情况下,这将是碳化硅衬底100的表面的局部同轴取向。这样的同轴取向是不利的,因为同轴取向的表面上发生小面化生长。外延层的任何小面化生长都是不期望的,因为它会导致增强的缺陷形成,该缺陷甚至会到达电子元件所在的衬底主表面102的区域。外延层的品质会受损并且会增加浪费。

[0057] 此外,在法向量 \vec{F}_i 包括与晶格面的法向量 \vec{N} 的大于倾斜角度的斜角的情况下,将引起与方向108相反的台阶流生长。当台阶流生长的方向反向时,则产生额外的生长前沿,其可能与沿方向108生长的主要台阶流生长前沿碰撞,因此在层形成中导致缺陷。

[0058] 因此,根据本发明,确保了不仅对于衬底主表面102诱导了外延层的均匀的台阶流生长,而且在倒角外周区域110中也诱导了外延层的均匀的台阶流生长。特别地,法向量 \vec{F}_i 和衬底主表面102的法向量 \vec{O} 包含的斜角必须小于法向量 \vec{O} 和晶格基面的法向量 \vec{N} 包含的倾斜角度。

[0059] 由以下的关系式(1)给出必须满足的条件:

$$[0060] \quad \angle(\vec{F}_i, \vec{O}) < \angle(\vec{N}, \vec{O}) \quad (1)$$

[0061] 可以证明,碳化硅衬底的总周长的至少75%必须满足这种条件,以便有效地减少不期望的缺陷。优选地,根据本发明的倒角围绕周长的至少95%施加。

[0062] 换句话说,本发明提供一种具有倒角外周的基本上为单晶的碳化硅衬底,其中倒角区域的表面与主表面取向之间的向量的差异的绝对值必须小于主表面取向与晶格面取向之间的向量的差异。有利地,倒角区域的这种特定尺寸仅应用于硅侧面102,而碳侧面104可以设置任意的倒角。例如,硅衬底100具有至少150mm的直径和不大于1000 μm (至少200 μm 、优选地350 $\mu\text{m} \pm 25\mu\text{m}$)的厚度。有利地,衬底在至少80%的倒角表面110上具有10nm或更小的粗糙度值。衬底的多型体可以例如是4H或6H,并且优选地是4H。主表面和晶格面取向之间的

倾斜角度(切边角)优选为 4° ,如图1所示,但可以取 0.5° 和 8° 之间的任意值。

[0063] 通过比较,图2和图3示出了上述针对具有 4° 的切边角(或倾斜角度)的碳化硅衬底的不期望的情况。特别地,图2示出了碳化硅衬底,其中法向量 \vec{F}_i 与晶格要求的法向量 \vec{N} 一致重合,如公式(2)所示:

$$[0064] \quad \angle(\vec{F}_i, \vec{O}) = \angle(\vec{N}, \vec{O}) \quad (2)$$

[0065] 当沉积外延层时将引起小面化生长。

[0066] 另一方面,图3示出了不期望的情况,其中由法向量 \vec{F}_i 和衬底主表面102的法向量 \vec{O} 包含的斜角大于倾斜角度,如下面的关系式(3)所示:

$$[0067] \quad \angle(\vec{F}_i, \vec{O}) > \angle(\vec{N}, \vec{O}) \quad (3)$$

[0068] 在这种情况下,外延层的台阶流生长可以沿相反的方向112发生,导致生长前沿碰撞。

[0069] 图4至图6示出了图1至图3所示的情形在切边角为 8° 时的情况。特别地,对于根据本发明的碳化硅衬底400,满足关系式(1)。另一方面,对于碳化硅衬底500,满足公式(2)。当沉积外延层时将引起小面化生长。对于碳化硅衬底600,满足关系式(3)。在这种情况下,外延层的台阶流生长可以沿相反方向112发生,导致生长前沿碰撞。

[0070] 为了确保在碳化硅衬底上机械加工倒角区域,首先必须测量实际的倾斜角度 $\angle(\vec{N}, \vec{O})$ 。特别地,必须考虑在哪个(哪些)位置进行这样的测量。在下文中,将讨论测量倾斜角度的各种可能位置。参见图7并且此外返回图1,示出了衬底100,其中主表面102处的标称倾斜角度 $\angle(\vec{N}, \vec{O})$ 为 4° 。在这种情况下,晶格面106在外周区域中具有相同的取向,该外周区域将在机械加工之后成为倒角区域110。外周区域具有距衬底100的端面114的尺寸d,距离d表示未来斜面的宽度。在距离d内的法向量 \vec{N}_{rim} 与衬底的其余部分处的法向量 \vec{N} 一致重合的情况下,在哪里进行测量并不特别重要。倾斜角度可以例如在离端面114为距离d或两倍距离d内测量。可替代地,测量的位置可以表示为SiC衬底的半径r的合适部分,例如SiC衬底的半径r的90%(从晶片的中心开始计算)。

[0071] 图8中描绘了不同的情况。根据该图,晶格面106b相对于衬底800的大部分的晶格面106a倾斜。换句话说,离端面114的距离d内的边缘法向量 \vec{N}_{rim} 包括与块状材料的法向量 \vec{N} 的角度。与中心相比,在边缘区域中晶格面取向的这种偏差是由制造单晶锭(boule)时PVT生长条件引起的(例如参见US 9,590,046B2)。为了考虑这种局部偏差,有利的是,尽可能地靠近之后的倒角区域110、优选地在离端面114为距离d内,测量晶格面取向。

[0072] 类似的考虑因素当然对于晶格面106b的取向在另一方向上倾斜的情况也是有效的,正如这在图9中对于衬底900示出。

[0073] 参考图10,将说明测量晶格面取向作为选择倒角外周的斜角的基础的第一实施方式。

[0074] 有利地,通过具有能量色散检测器的X射线衍射(XRD)单元116来测量衬底100的晶

格面取向(the letters plane orientation)。

[0075] 通常,晶体的排列原子形成一系列平行的晶格面,这些晶格面彼此分开距离 a ,该距离 a 根据材料的性质而变化。对于任何晶体,晶格面存在许多不同的取向,每个取向都有其自身的特定距离 a 。X射线衍射(XRD)允许参考参考面来识别这些晶格面的取向。X射线衍射仪116包括X射线发生器118、测角仪(角度测量装置)、用于衬底100的样品架、和X射线检测器120。X射线束122撞击样品衬底100并且检测器120记录在衬底处衍射的X射线强度。通过应用Bragg定律(公式(4)),相邻晶格面之间的距离 a 与放射物的波长 λ 和反射角相关联:

$$[0076] \quad n\lambda = 2a \cdot \sin \Theta \quad (4)$$

[0077] 其中 n 为衍射级数(0、1、2、3、...), λ 为入射X射线束的波长, d 为相邻的晶格面之间的距离,以及 Θ 为X射线束的入射角。衍射角 2Θ 等于入射角 Θ 的两倍。测角仪是电动的,并且检测器120移动使得 Ω 轴线的角度126在角度 2Θ 的范围内变化。每次满足Bragg条件时,检测器120测量反射的辐射强度。由于已知晶格面距离 a ,角度 Θ 的实际测量值允许计算晶格面相对于衬底100的上表面102的角度。有利地,检测器120是能量色散的,因此利用相对简单的设置产生非常快速且准确的测量结果。

[0078] 通过围绕 Φ 轴线128旋转衬底100,在围绕 Φ 轴线128分布的一个或多个测量点124处进行测量。测量点124的确切位置给定为特定的 $\Delta\Phi$ 值130。例如,在多个位置124处进行测量,并且确定测量的局部偏离取向角的最小值。

[0079] 根据本发明,这些结果用于图11中描绘的第二步骤中。如图11所示,衬底经过机械加工步骤以制造倒角。这例如通过磨削头部132来完成,磨削头部132可以相对于其倒角134进行调节。根据本发明,选择磨削头部132的倒角134为比在图10中描绘的测量步骤过程中确定的最小测量值小 0.5° 。

[0080] 然而,如果为每个测量点124记录 $\Delta\Phi$ 值130并将其传送至磨削头部的控制单元,则磨削头部132可以根据每个位置124的实际测量值定位其角度134。

[0081] 本发明还涉及一种用于倒角碳化硅衬底100的集成的且连续的加工方法。该加工方法将参考图12更详细地解释。基本上,在图12中,图10和图11中所示的单元被组合成一个倒角单元136。该倒角单元136包括XRT单元116和磨削头部132。此外,控制单元(图中未示出)进行倒角单元136的控制。

[0082] 根据本发明的方法的第一实施方式,XRD单元116通过能量色散检测器120确定位于靠近衬底100的边缘的多个测量点124处的晶格面偏离取向。磨削头部132以可调节的角度连接至XRD单元116的 Ω 轴线的测角仪臂。同样地,衬底100围绕 Φ 轴线128旋转。在所示的实施方式中,磨削头部132与测量点124以限定的角度 $\Delta\Phi$ 距离130隔开。

[0083] 沿 Ω 轴线的角度126的方向进行测量,确定极值并且从而确定磨削角度134。

[0084] 根据单个步骤过程的第二实施方式,在Y测量点128处进行测量,其中Y被计算为衬底周长与磨削头部的磨削盘的宽度的比率。根据测量结果连续调整磨削角度。有利地,通过分配给倒角单元136的控制单元可以自动地调节磨削角度。此外,该单步方法的优势在于不必重新定位衬底,从而减少了加工时间并且提高了倒角加工的精确度。

[0085] 示例性地,根据特定的衬底特性,可以选择以下有利的倒角角度。

[0086] 对于标称倾斜角度为 $8^\circ \pm 0.5^\circ$ 和在边缘区域中测量的倾斜角度的最小值为 7.8° 的衬底,当确定斜角比测量的倾斜角度小 1° 时,可选择 6.8° 的斜角。

[0087] 此外,对于标称倾斜角度为 $4^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$ 和在边缘区域中测量的倾斜角度的最小值为 3.5° 的另一衬底,当确定斜角比测量的倾斜角度小 1.3° 时,可以选择 2.2° 的斜角。

[0088] 此外,对于标称倾斜角度为 $4^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$ 、在边缘区域内测量的倾斜角度的最小值为 4.5° 的相同衬底,当确定斜角比测量的倾斜角度小 1.3° 时,可以选择 3.2° 的斜角。

[0089] 对于标称倾斜角度为 $2^{\circ} \pm 0.5^{\circ}$ 、在边缘区域内测量的倾斜角度的最小值为 1.9° 的衬底,当确定斜角比测量的倾斜角度小 0.5° 时,可以选择 1.4° 的斜角。

附图说明

[0090]

附图标记	说明
100, 400	根据本发明的 SiC 衬底
200, 300, 500, 600	具有不期望的斜角的 SiC 衬底
102	主表面; 硅侧面
104	底表面; 碳侧面
106, 106a, 106b	晶格面
108	台阶流生长的方向
110	倒角区域
112	相反的台阶流生长的方向
114	端面
116	XRD 单元
118	X 射线发生器
120	X 射线检测器
122	X 射线束
124	测量点
126	Ω 轴线的角度
128	Φ 轴线

[0091]

130	$\Delta\Phi$ 值
132	磨削头部
134	倒角角度
136	倒角单元
\vec{O}	主表面的法向量
\vec{N}	晶格面的法向量
\vec{F}_i	倒角表面的法向量
\vec{N}_{rim}	外周区域内晶格面的法向量
d	倒角区域的宽度
r	衬底的半径

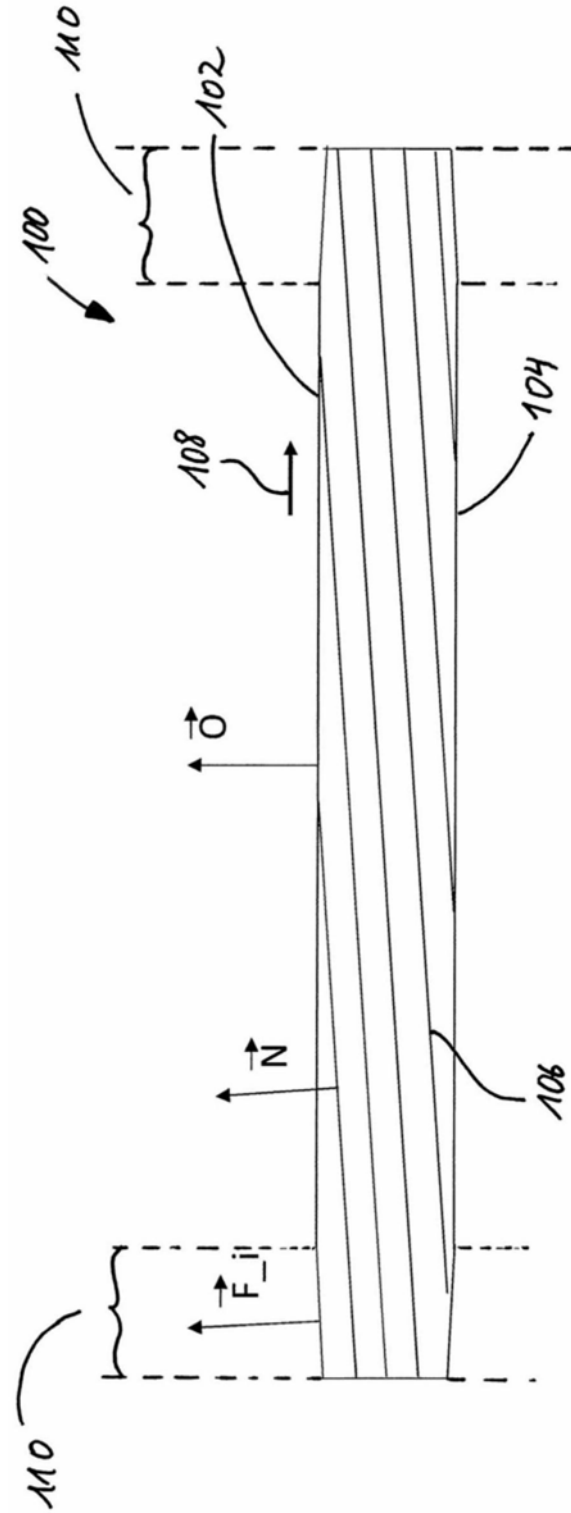


图1

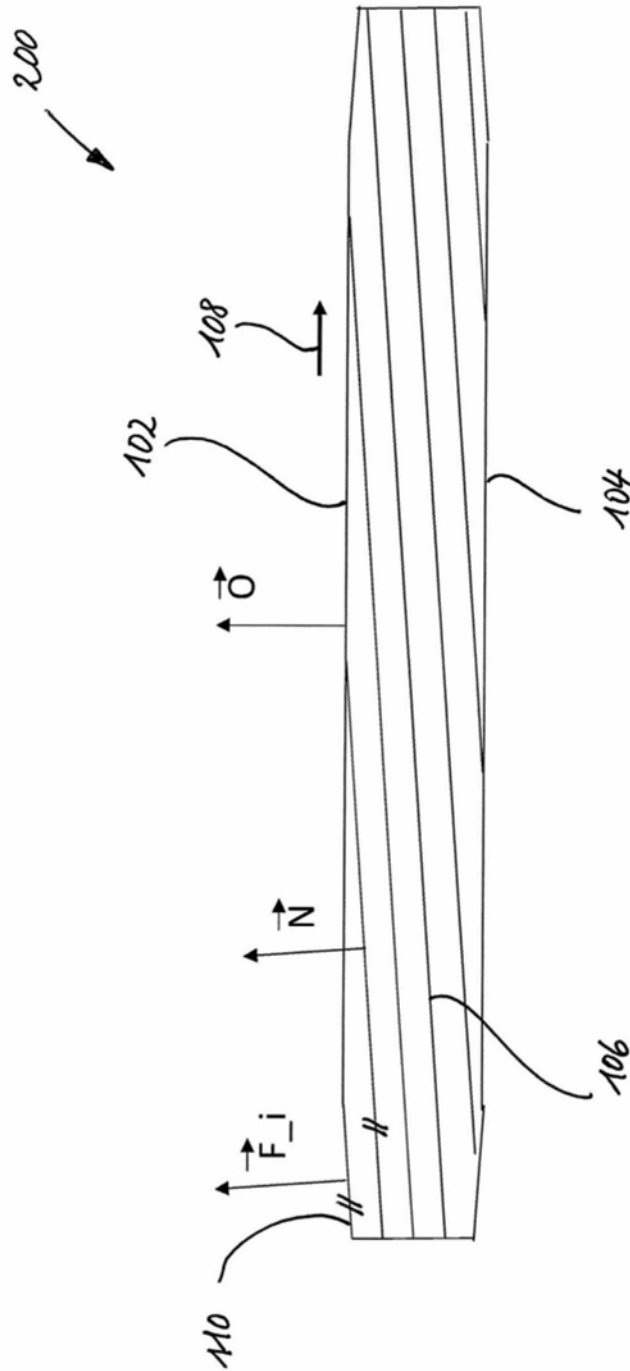


图2

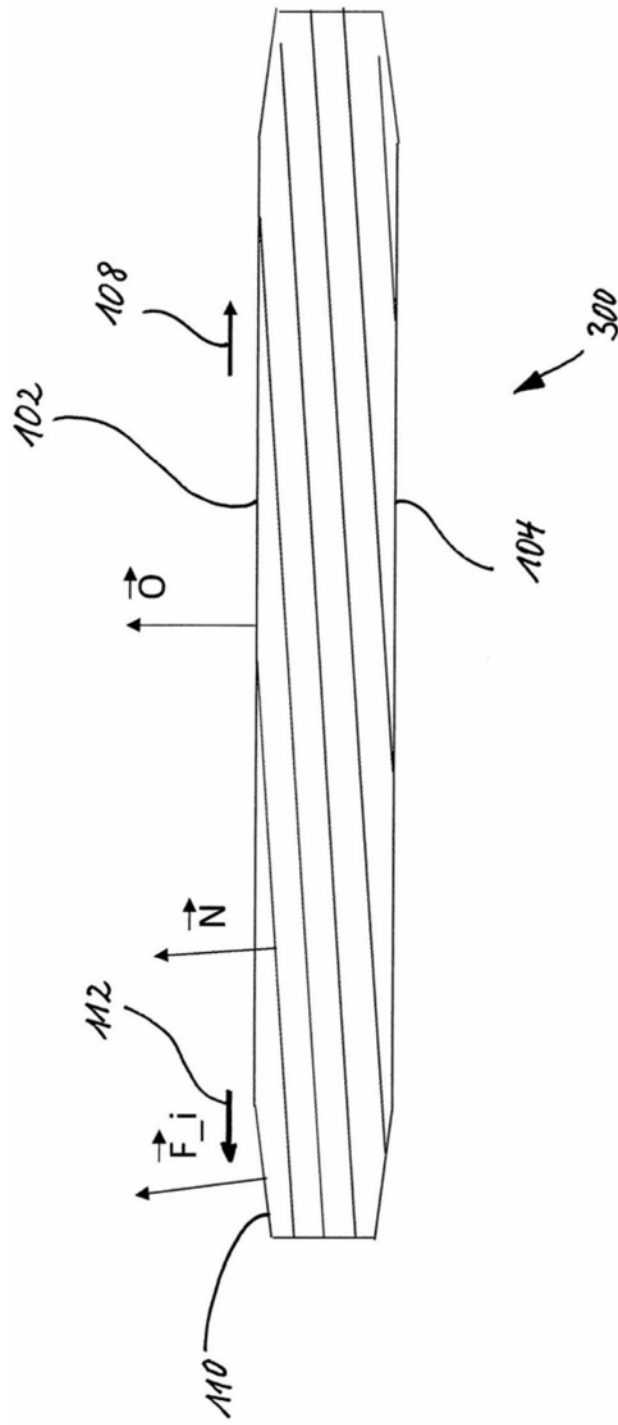


图3

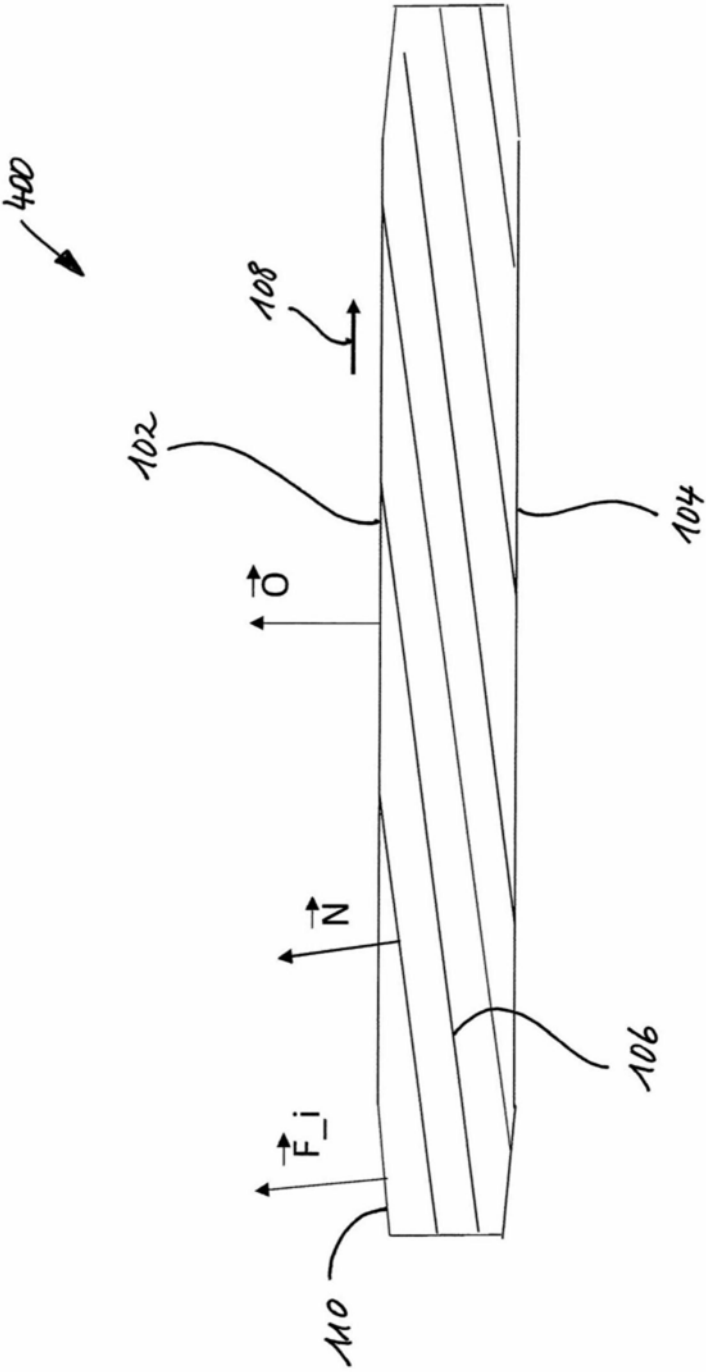


图4

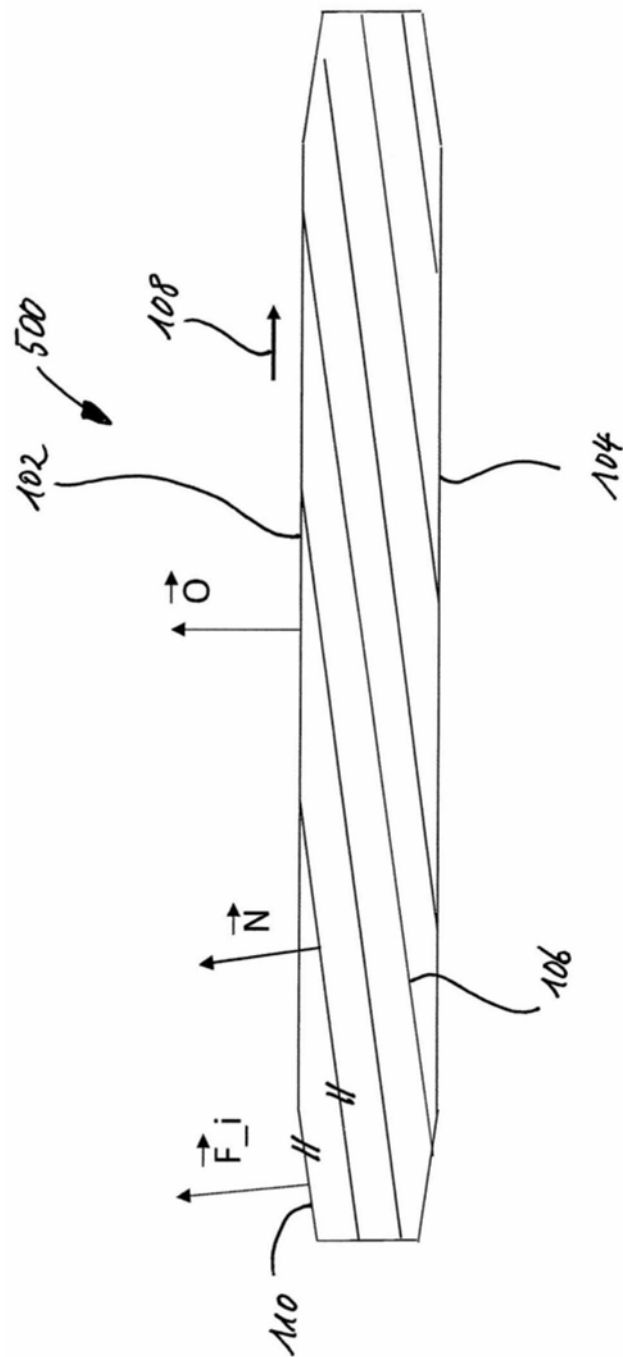


图5

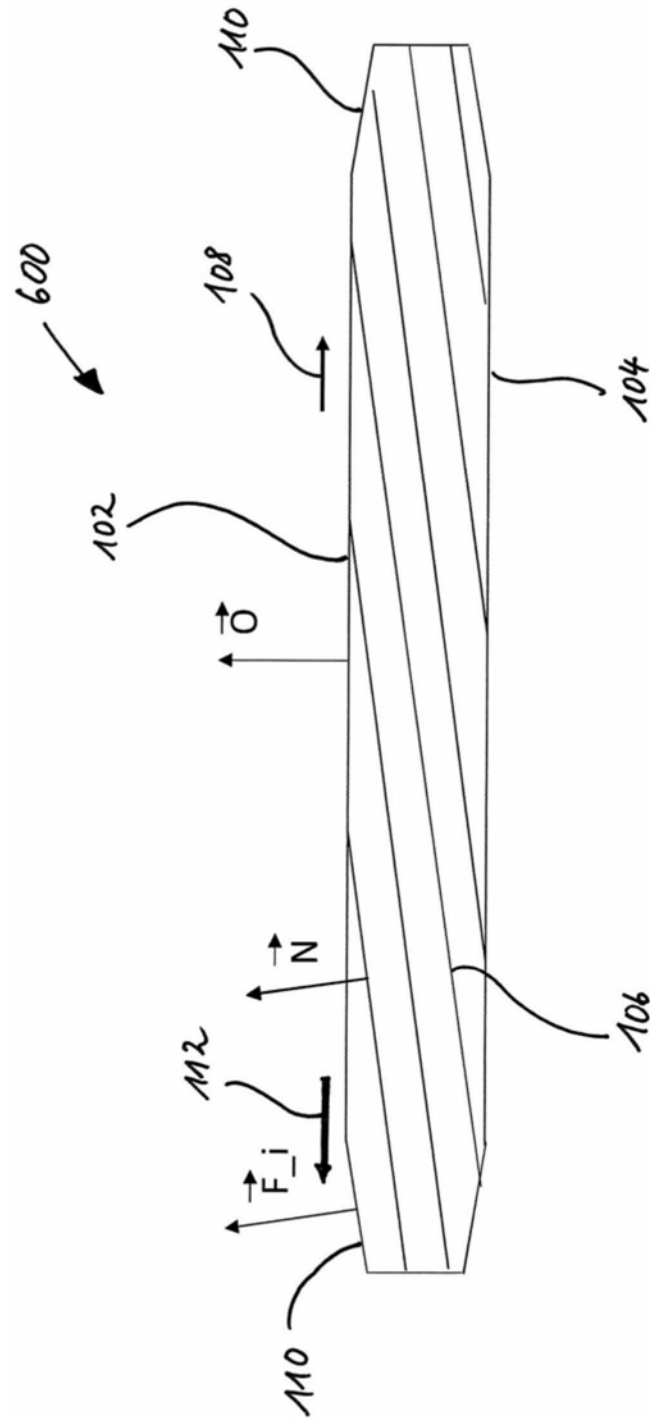


图6

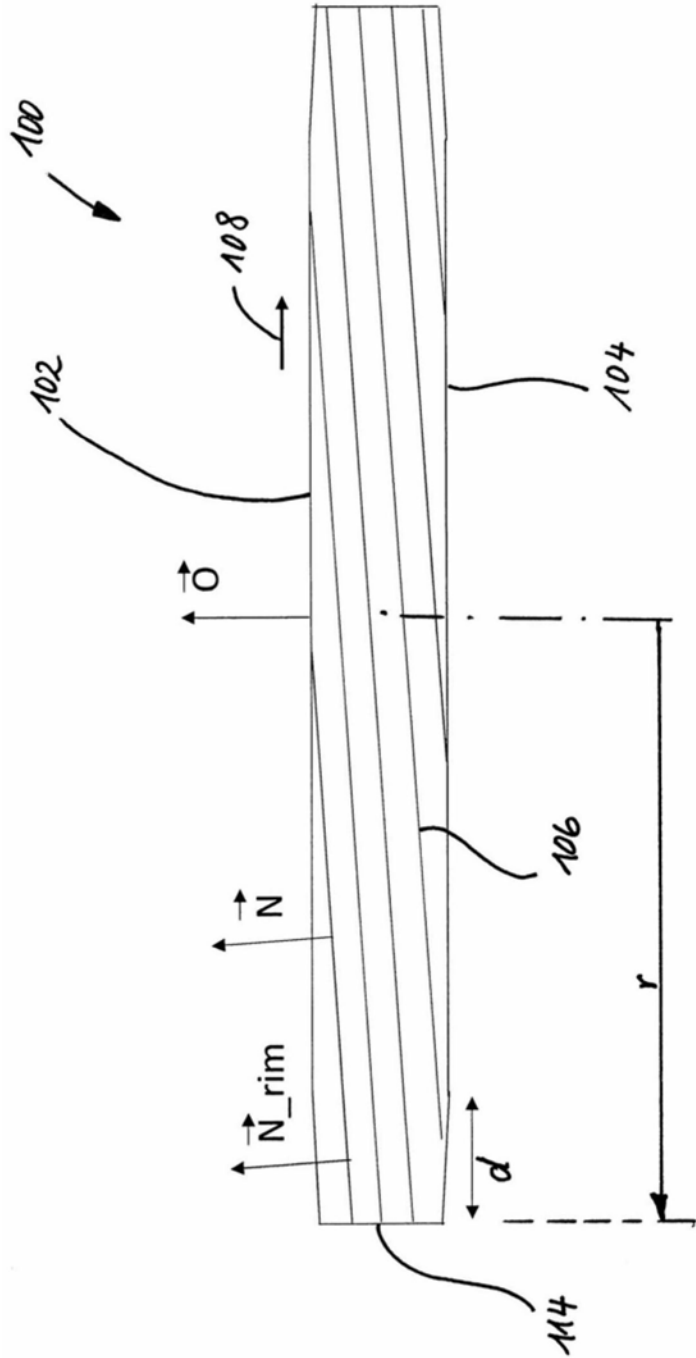


图7

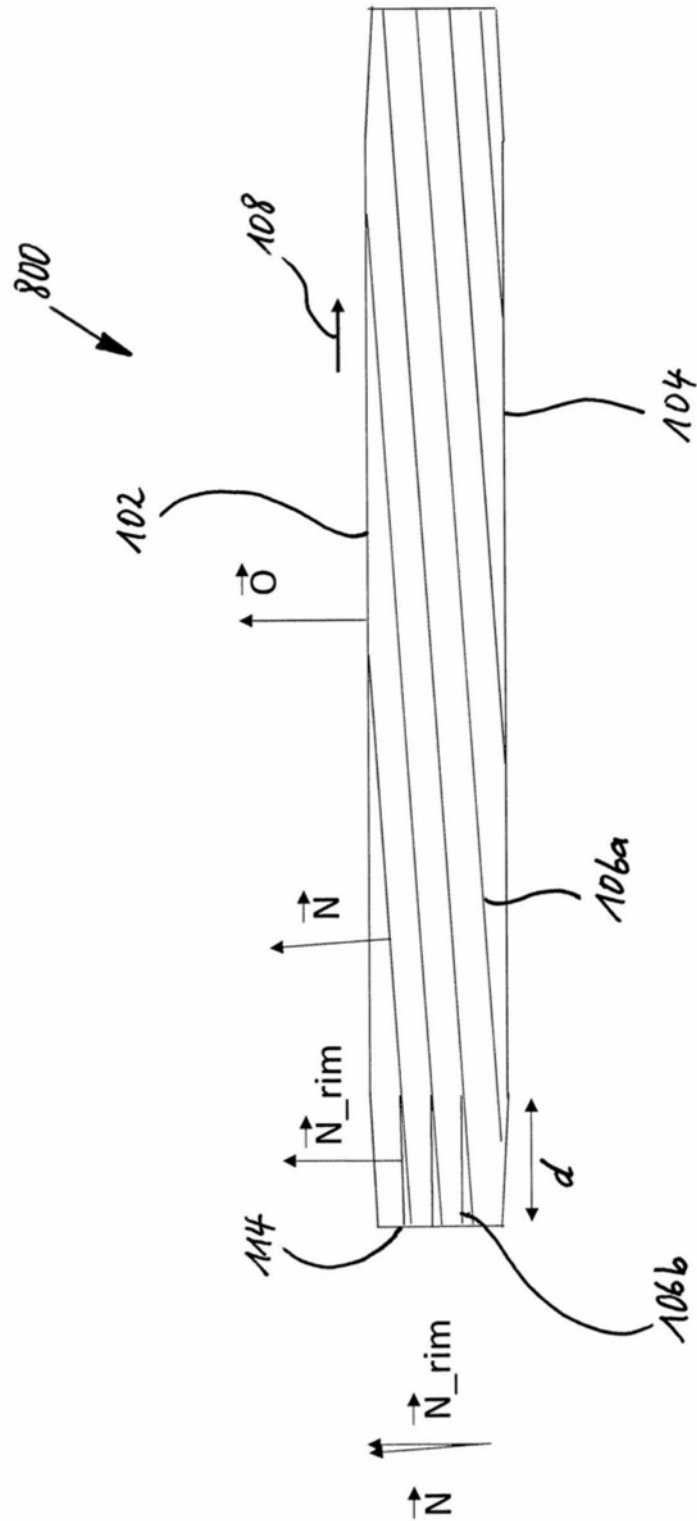


图8

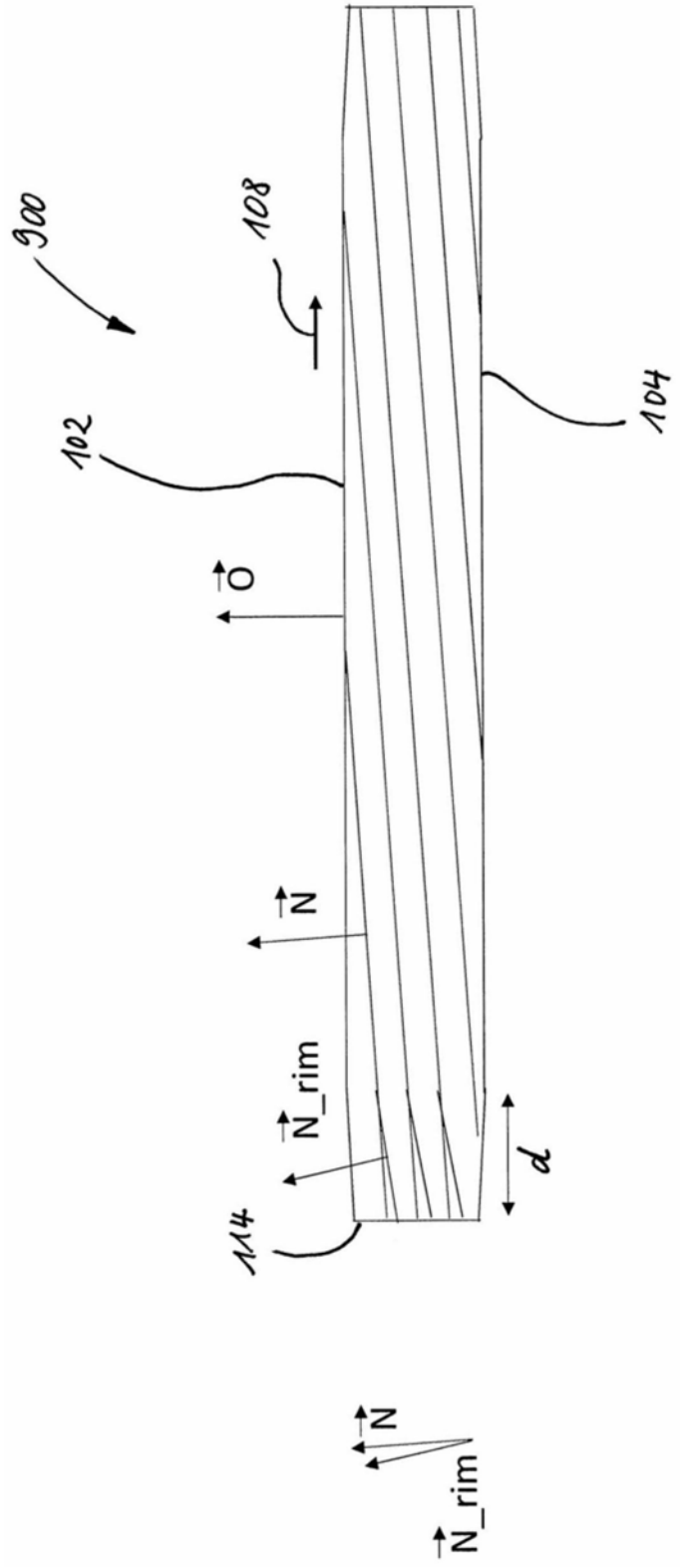


图9

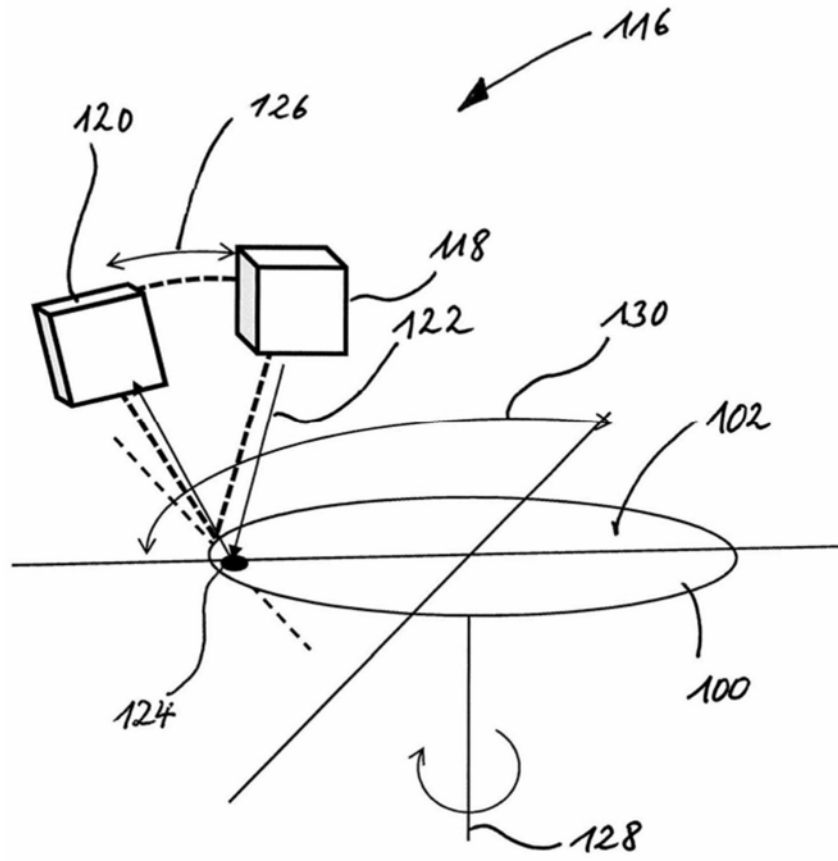


图10

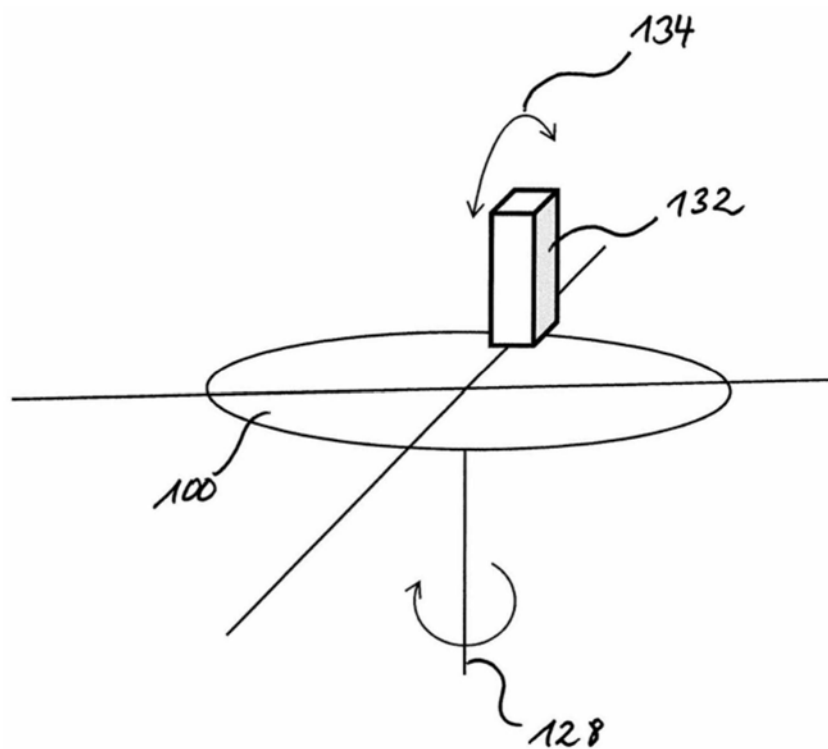


图11

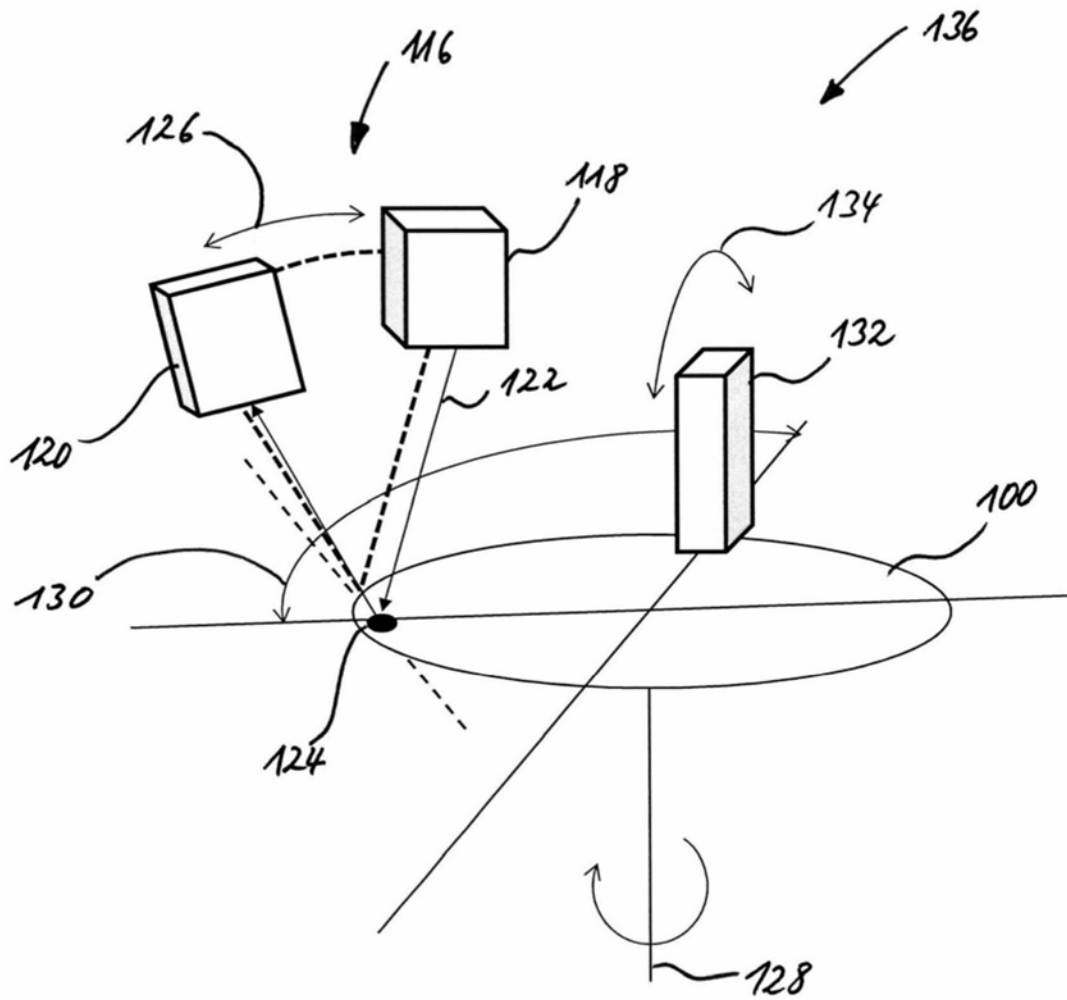


图12