(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 120303079 A
(43)申请公布日 2025.07.11

(21)申请号 202380082399.X

(22)申请日 2023.11.17

(30)优先权数据
102022131536.3 2022.11.29 DE

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2025.05.29

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2023/082270 2023.11.17

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2024/115146 DE 2024.06.06

(71)申请人 通快激光有限责任公司
地址 德国施兰贝格

(72)发明人 M·凯泽 S·埃德 D·弗拉姆 M·卡曼 J·克莱纳

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司 72002
专利代理师 张亦然

(51)Int.Cl.
B23K 26/00(2014.01)
B23K 26/06(2014.01)
B23K 26/0622(2014.01)
B23K 26/067(2006.01)
B23K 26/073(2006.01)
B23K 26/08(2014.01)
B23K 26/40(2014.01)
B23K 26/53(2014.01)
C03B 33/02(2006.01)
C03B 33/09(2006.01)
B23K 103/00(2006.01)

权利要求书2页 说明书16页 附图6页

(54)发明名称

用于分断工件的方法和激光系统

(57)摘要

本发明涉及用于分断工件(104)的方法,其中提供形成多个焦点元素(120)的脉冲加工激光束(119),其中,工件(104)包括对加工激光束(119)透明的材料(102),焦点元素(120)被引入到工件(104)的材料(102)中并且相对于材料(102)平行于预给定的进给线(150)移动,其中,通过引入到材料(102)中的焦点元素(120)沿加工面(152)的相对运动而布置的材料改性部(138)形成在材料(102)中,并且其中,加工面(152)相对于工件(104)的部分区域(162)在主方向(160)上突出,以及使材料(102)经受加热激光束(142),其中,工件(104)的材料(102)对加热激光束(142)是不透明的,其中,加热激光束(142)沿加热激光束进给线(158)相对于材料(102)移动,其结果是材料(102)沿加工面(152)分断,其中,加热激光束进给线(158)平行于进给线(150)延伸并且以与主方向(160)反平行的地点偏移(Δd)与进给线(150)间隔开,并且其中,地点偏移(Δd)是加热激光束的直径(d_1)的至少10%且至多50%。

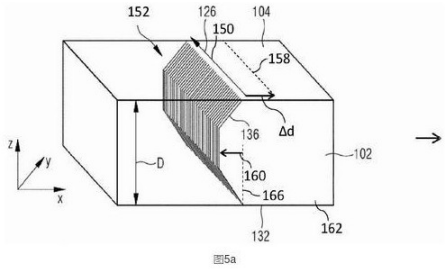


图5a

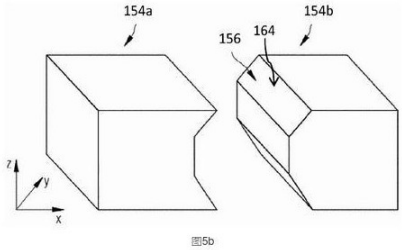


图5b

CN 120303079 A

1.一种用于分断工件(104)的方法,其中,

-提供脉冲式的加工激光束(119),所述加工激光束形成多个焦点元素(120),其中,所述工件(104)包括对所述加工激光束(119)透明的材料(102),

-将所述焦点元素(120)引入到所述工件(104)的材料(102)中并且相对于所述材料(102)平行于预给定的进给线(150)运动,其中,通过引入到所述材料(102)中的所述焦点元素(120)的相对运动,在所述材料(102)中形成沿加工面(152)布置的材料改性部(138),并且其中,所述加工面(152)相对于所述工件(104)的部分区域(162)而言在主方向(160)上突出,以及

-以加热激光束(142)加载所述材料(102),其中,所述工件(104)的材料(102)对所述加热激光束(142)是不透明的,其中,

-使所述加热激光束(142)沿加热激光束进给线(158)相对于所述材料(102)运动,由此所述材料(102)沿所述加工面(152)被分断,其中,

-所述加热激光束进给线(158)平行于所述进给线(150)延伸并且以与所述主方向(160)反平行的地点偏移(Δd)与所述进给线(150)间隔开,并且其中,所述地点偏移(Δd)为所述加热激光束的直径(d_1)的至少10%且至多50%。

2.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述地点偏移(Δd)是所述加热激光束的直径(d_1)的至少15%并且特别是至少20%并且特别是至少25%。

3.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述加工激光束(119)和/或所述加热激光束(142)通过所述工件(104)的第一外侧面(130)耦入到所述工件的材料(102)中,其中,所述工件(104)的厚度方向(134)横向于并且特别是垂直于所述第一外侧面(130)定向。

4.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,以所述加热激光束(142)加载所述加工面(152)相对于其而言在所述主方向(160)上突出的所述部分区域(162),和/或,所述加热激光束进给线(158)在所述加工面(152)相对于其而言在所述主方向(160)上突出的所述部分区域(162)中延伸。

5.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述主方向(160)垂直于以下平面(166)定向,所述平面平行于所述进给线(150)并且平行于要分断的所述工件(104)的厚度方向(134)延伸。

6.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述加工面(152)在所述工件(104)的第一外侧面(130)与第二外侧面(132)之间连贯地延伸,所述第二外侧面在厚度方向(134)上与所述第一外侧面(130)间隔开。

7.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述加热激光束(142)具有至少0.5mm且至多5mm并且特别是至少2mm且至多4mm的直径(d_1)。

8.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述加工激光束(119)具有至少300nm且至多1500nm的波长,和/或,所述加工激光束(119)具有超短激光脉冲。

9.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述加热激光束(142)具有至少9μm且至多11μm的波长。

10.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,要分断的所述工件(104)具有在10μm与10mm之间并且优选地在100μm与1mm之间并且特别优选地在450μm与650μm之间

的厚度(D)。

11.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,所述加工面的平行于所述主方向(160)定向的延伸长度(d_0)具有要分断的所述工件(104)的厚度(D)的至少5%且至多70%并且优选地至少15%且至多35%。

12.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,当在垂直于所述进给线(150)定向的截面中和/或在垂直于所述进给线(150)定向的投影中观察时,所述焦点元素(120)沿预给定的加工线(136)布置,所述预给定的加工线限定所述加工面(152)的截面形状和/或限定通过沿所述加工面(136)分断所述材料(102)而形成的分断面(156)的截面形状。

13.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,通过借助于分束元件(106)将输入激光束(108)分束成多个子光束(116)并且通过将从所述分束元件(106)耦出的子光束(116)聚焦来形成所述焦点元素(120),并且其特征特别是在于,借助于所述分束元件(106)对所述输入激光束(108)进行的分束通过对所述输入激光束(108)的光束截面(112)的相位赋加来进行或者包括对所述输入激光束(108)的光束截面(112)的相位赋加。

14.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其特征在于,通过以所述焦点元素(120)加载所述工件(104)的材料(102),在所述材料(102)中形成材料改性部(138),其中,所述材料改性部(138)伴随着所述材料(102)的裂纹形成,和/或,其中,所述材料改性部(138)是III型材料改性部。

15.一种用于分断工件(104)的激光系统,包括:

-激光束源(110)、分束元件(106)和聚焦光具(118),它们合起来被配置成用于提供加工激光束(119),所述加工激光束形成用于引入到所述工件(104)的材料(102)中的多个焦点元素(120),

-进给装置(127),用于执行所述焦点元素(120)相对于所述工件(104)的材料(102)的平行于预给定的进给线(150)的相对运动,以便在所述材料(102)中形成沿加工面(152)布置的材料改性部(138),其中,设置:所述加工面(152)相对于所述工件(104)的部分区域(162)而言在主方向(160)上突出,

-另外的激光束源(144),用于提供加热激光束(142),其中,所述进给装置(127)被配置成用于使所述加热激光束(142)沿加热激光束进给线(158)相对于所述材料(102)运动,以便沿所述加工面(152)分断所述材料(102),其中,

-所述加热激光束进给线(158)平行于所述进给线(150)延伸并且以与所述主方向(160)反平行的地点偏移(Δd)与所述进给线(150)间隔开,并且其中,所述地点偏移(Δd)为所述加热激光束的直径(d_1)的至少10%且至多50%。

用于分断工件的方法和激光系统

技术领域

[0001] 本发明涉及用于分断/分割断开工件的方法和激光系统。

背景技术

[0002] WO 2022/167254 A1和WO 2022/167257 A1分别公开了用于对透明工件进行激光加工的方法和装置,其中,工件被加载以多个焦点元素,用于激光加工。

[0003] JP 2020 004 889A公开了用于分断并且特别是斜切透明材料的方法,其中,使用空间光调制器产生多个焦点以用于对材料进行激光加工。

[0004] US2020/0147729 A1和US2020/0361037 A1分别公开了用于使用激光束在透明材料上形成倒斜角或倒圆角的棱边区域的方法。

[0005] EP 3 597 353 A1、EP 3 487 656 B1和WO 2016/089799 A1公开了用于使用非衍射激光束分断透明材料的方法。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供开始时提到的方法和开始时提到的激光系统,其使得能够在分断面处以高质量对材料进行分断,其中,分断面具有预给定的几何形状。

[0007] 在开始时提到的方法中,根据本发明通过以下实现了该目的:提供形成多个焦点元素的脉冲加工激光束,其中,工件包括对加工激光束透明的材料,焦点元素被引入到工件的材料中并且相对于材料平行于预给定的进给线运动,其中,通过被引入到材料中的焦点元素的相对运动,在材料中形成沿加工面布置的材料改性部,并且其中,加工面相对于工件的部分区域而言在主方向(Vorzugsrichtung)上突出,并且以加热激光束加载材料,其中,工件的材料对加热激光束不透明,其中,加热激光束相对于材料沿加热激光束进给线运动,由此沿加工面分断材料,其中,加热激光束进给线平行于进给线延伸并且以与主方向反平行的地点偏移(Ortsversatz)与进给线间隔开,并且其中,地点偏移为加热激光束直径的至少10%并且至多50%。

[0008] 已经表明,以前述地点偏移进行加热激光束的射入引起布置在加工面上的材料改性部之间的适宜的裂纹形成。然后,该裂纹形成导致材料以分断面分断,该分断面具有与加工面对应的几何形状。此外,由此以改进的质量来形成分断面,其中,分断面特别是具有减小的粗糙度。

[0009] 特别是可设置,加热激光束进给线相对于焦点元素的进给线偏移的所述地点偏移是加热激光束的直径的至少15%并且特别是至少20%并且特别是至少25%。由此实现了前述优点。

[0010] 出于上面提到的原因,可以有利的是,加工激光束和/或加热激光束通过工件的第一外侧面耦入到该工件的材料中,其中,工件的厚度方向横向于并且特别是垂直于第一外侧面定向。

[0011] 特别是,加工激光束和/或加热激光束被指向到第一外侧面上以用于耦入到材料

中。特别是,射到第一外侧面上的加热激光束是发散的或经准直的,并且特别是未聚焦和/或不会聚的。

[0012] 特别是,工件被配置成板状和/或片状和/或盘状。特别是,工件具有第一外侧面以及在工件的厚度方向上与第一外侧面间隔开的第二外侧面,其中,第一外侧面和第二外侧面彼此平行或横向于彼此定向,和/或其中,第一外侧面和第二外侧面以工件的厚度并且特别是恒定厚度彼此间隔开。

[0013] 特别是,第一外侧面是工件的以下外侧面,加工激光束和/或加热激光束就其相应的光束传播方向而言第一个射到该外侧面上。

[0014] 特别是,加工激光束垂直于第一外侧面来定向。特别是,加热激光束并且特别是加热激光束的纵向中心轴线垂直于第一外侧面定向。

[0015] 出于上面提到的原因,有优势的是,以加热激光束加载所述部分区域(加工面相对于该部分区域而言在主方向上突出)。特别是,由此确保了工件沿在主方向上突出的加工面的符合规定的分断。

[0016] 出于相同的原因,有利的是,加热激光束进给线在所述部分区域(加工面相对于该部分区域而言在主方向上突出)中延伸。

[0017] 特别是可设置,主方向垂直于以下平面定向,所述平面平行于进给线并且平行于要分断的工件的厚度方向延伸。

[0018] 特别是,厚度方向平行于加工激光束和/或加热激光束的光束传播方向定向。

[0019] 特别是,主方向从所述部分区域(加工面相对于该部分区域而言在主方向上突出)的内部指向加工面的相对于该部分区域而言形成的凸起的方向和/或指向加工面的相对于该部分区域而言形成的突起的方向。

[0020] 特别是可设置,加工面在工件的第一外侧面与第二外侧面之间连贯地延伸,该第二外侧面在厚度方向上与第一外侧面间隔开。特别是,由此使得可以实现工件沿加工面的连贯分断。

[0021] 特别是,在加工面上在材料中布置材料改性部,所述材料改性部使得能够借助于加热激光束在第一外侧面与第二外侧面之间对材料进行连贯和/或不间断的分断。

[0022] 可以有优势的是,加热激光束具有至少0.5mm且至多5mm并且特别是至少2mm且至多4mm的直径。由此使得在分断面处能够以高质量分断工件。特别是,加热激光束的直径应被理解为加热激光束射到工件上的直径和/或加热激光束在工件的第一外侧面上具有的直径。

[0023] 例如,反平行于主方向的地点偏移在200μm与1.5mm之间。

[0024] 可以有利的是,加工激光束具有至少300nm且至多1500nm的波长。例如,波长是1030nm或515nm。这使得能够将借助加工激光束形成的焦点元素引入到各种材料诸如玻璃材料和/或塑料材料中,所述各种材料对该波长范围内或者说具有这些波长的激光束是透明的。

[0025] 特别是可以设置,加工激光束具有超短激光脉冲。由此使得能够使用焦点元素以技术上简单的方式形成材料改性部,所述材料改性部使得能够使用加工激光束分断材料。例如,激光脉冲的脉冲持续时间在10fs与50ns之间。

[0026] 可以有优势的是,加热激光束具有至少9μm且至多11μm的波长。这使得能够通过以

加热激光束加载工件的材料来有效地分断工件。

[0027] 特别是可以设置,加热激光束是脉冲激光束。然而原则上也可以是,加热激光束是连续波激光束。

[0028] 特别是,加热激光束的功率在20W与35W之间。

[0029] 特别是,加热激光束沿加热激光束进给线运动的进给速度在2m/min与3m/min之间。

[0030] 特别是可以设置,要分断的工件具有在10μm与10mm之间并且优选地在100μm与1mm之间并且特别优选地在450μm与650μm之间的厚度。可以使用根据本发明的方法以质量特别好的分断面对厚度在所提到的范围内的工件进行分断。

[0031] 出于相同的原因,可以有优势的是,加工面的平行于主方向定向的延伸长度具有要分断的工件厚度的至少5%且至多70%并且优选地至少15%且至多35%。例如,延伸长度在25μm与400μm之间。

[0032] 特别是,通过沿加工面分断工件的材料,形成与工件的所述部分区域(加工面相对于该部分区域在主方向上突出)对应的工件部段。该工件部段具有与加工面对应的分断面,其中,特别是,加工面的截面几何形状与分断面的截面几何形状对应。

[0033] 特别是可设置,当在垂直于进给线定向的截面中和/或在垂直于进给线定向的投影中观察时,焦点元素沿预给定的加工线布置,该预给定的加工线限定了加工面的截面形状和/或限定了通过沿加工面分断材料而产生的分断面的截面形状。

[0034] 可设置,加工线与工件的第一外侧面之间的攻角至少区段地为至少1°且/或至多90°并且特别是至多89°,加工激光束穿过该第一外侧面耦入到工件的材料中以便形成焦点元素。由此,取决于所选择的攻角,例如可以在工件上进行垂直切割,或者可以以特定的角度对工件进行倒角。

[0035] 加工线至少区段地具有特定的攻角或攻角范围,尤其应被理解为,加工线具有至少一个区段,所述区段具有该攻角或攻角范围。

[0036] 特别是,攻角可以是至少10°且/或至多80°,优选地至少30°且/或至多60°,特别优选地至少40°且/或至多50°。

[0037] 特别是可设置,加工线的攻角至少区段地是恒定的和/或加工线包括具有不同攻角的多个区段。

[0038] 特别是可设置,加工线至少区段地是直线和/或加工线至少区段地是曲线。

[0039] 例如,通过将加工线构造为曲线,可以从工件切下被倒圆的部段。例如,由此使得能够产生倒圆的棱边。

[0040] 在加工线被实施为曲线时,加工线例如配属有特定的攻角范围,加工线相对于工件的外侧面具有该攻角范围。

[0041] 例如,所述至少一个加工线具有在10μm与10000μm之间并且特别是在100μm与1000μm之间并且特别是在400μm与600μm之间的总长度。由此使得能够对具有所提到的范围内的厚度的工件进行分断。

[0042] 可以有优势的是,通过借助于分束元件将输入激光束分束成多个子光束并且通过聚焦从分束元件耦出的子光束来形成焦点元素。因此,可以借助于输入激光束形成多个焦点元素,其中,特别是,焦点元素的属性、诸如它们的几何形状和/或它们的强度轮廓由输入

激光束限定和/或基于输入激光束。

[0043] 可以有利的是,借助于分束元件对输入激光束进行的分束通过在输入激光束的光束截面上的相位赋加(Phasenaufprägung)来进行或者包括在输入激光束的光束截面上的相位赋加。由此例如使得焦点元素能够形成为彼此的副本。特别是,由此使得能够以技术上简单的方式在不同位置和/或以不同距离将焦点元素引入到工件材料中。

[0044] 可以设置,仅通过输入激光束的光束截面上的相位赋加来进行输入激光束的分束。

[0045] 特别是,在输入激光束的横向方向上执行相位赋加。横向方向位于垂直于输入激光束的光束传播方向定向的平面内。

[0046] 替选地或附加地可设置,输入激光束借助于分束元件的分束通过偏振分束来进行,或者包括偏振分束。在此,例如,彼此相邻的焦点元素可以分别形成为具有不同的偏振状态。特别是,由此防止了彼此相邻的焦点元素之间的干涉,从而使得它们能够相对彼此以特别短的距离布置。

[0047] 原则上可以的是,使用相位赋加和偏振分束两者来对输入激光束进行分束。

[0048] 通过超短激光脉冲引入透明材料中的材料改性部被划分为三个不同的类别,参见K.Itoh等人的“Ultrafast Processes for Bulk Modification of Transparent Materials”,MRS Bulletin,第31卷,第620页(2006):I型是各向同性折射率变化,II型是双折射折射率变化,以及III型是所谓的“空隙(Void)”或者说空腔。由一个确定的焦点元素产生的材料改性部的类型取决于形成对应的焦点元素的激光束的激光参数,诸如激光束的脉冲持续时间、波长、脉冲能量和重复频率。此外,改性的类型取决于材料的属性,尤其是诸如材料的电子结构和热膨胀系数,以及取决于在激光束聚焦到对应的焦点元素中时使用的数值孔径(NA)。

[0049] I型的各向同性折射率变化归因于通过激光脉冲进行的限于局部的熔化和透明材料的快速再凝固。例如,在石英玻璃的情况下,如果将石英玻璃从较高温度快速冷却下来,则材料的密度和折射率变得较高。因此,如果由焦点元素掌握的体积中的材料熔化并且然后快速冷却,则石英玻璃在材料改性部的区域中比在未改性区域中具有更高的折射率。

[0050] II型的双折射折射率变化可以例如通过超短激光脉冲与由激光脉冲产生的等离子体的电场之间的干涉引起。该干涉导致电子等离子体密度的周期性调制,这在凝固时导致透明材料的双折射属性,即方向相关的折射率。例如,II型改性还伴随着所谓的“纳米光栅”的形成。

[0051] III型改性的空隙(空腔)尤其可以用高激光脉冲能量产生。在这方面,空隙的形成归因于高度激发的被蒸发的材料从焦点体积爆炸性膨胀到周围材料中。该过程也被称为微爆炸。由于该膨胀发生在材料的物料内,因此微爆炸留下密度较小或中空的核心(空隙),或亚微米或原子范围内的微观缺陷,该空隙或缺陷被经压缩的材料包层包围。微爆炸的冲击前沿处的压缩在透明材料中产生应力,所述应力通常导致自发裂纹形成或促进裂纹形成。

[0052] 因此,当涉及III型改性的引入时,则在任何情况下都存在密度较小或中空的核心或者说缺陷。示例性地,在蓝宝石中在III型改性的情况下,通过微爆炸产生较低密度的区域而不是空隙。

[0053] 特别是,空隙的形成还可能伴随I型和II型改性。例如,I型和II型改性可能出现在

引入的激光脉冲周围的应力较小的区域内。当引入III型改性时,不可能完全防止或避免I型和II型改性的形成。因此,不太可能发现“纯的”III型改性。

[0054] 可以有优势的是,通过以焦点元素加载工件的材料而在材料中形成材料改性部,其中,材料改性部伴随着材料的裂纹形成,和/或其中,材料改性部是III型材料改性部。特别是,材料的分断可以借助于这些材料改性部来实现。

[0055] 根据本发明,提供了如开始时提到的用于分断工件的激光系统,该激光系统包括:激光束源、分束元件和聚焦光具,它们一起被配置成用于提供加工激光束,该加工激光束形成用于引入到工件的材料中的多个焦点元素;进给装置,用于执行焦点元素相对于工件的材料的平行于预给定的进给线的相对运动,以便在材料中形成沿加工面布置的材料改性部,其中,设置成:加工面相对于工件的一个部分区域而言在主方向上突出;另外的激光束源,用于提供加热激光束,其中,进给装置被配置成用于使加热激光束沿加热激光束进给线相对于材料运动,以便沿加工面分断材料,其中,加热激光束进给线平行于进给线延伸并且以与主方向反平行的地点偏移与进给线间隔开,并且其中,地点偏移是加热激光束的直径的至少10%且至多50%。

[0056] 特别是,根据本发明的激光系统具有根据本发明的方法的一个或更多个另外的特征和/或优点。根据本发明的激光系统的有优势的实施方式已经结合根据本发明的方法进行说明。

[0057] 特别是,根据本发明的方法可以借助于根据本发明的激光系统来执行,或者根据本发明的方法借助于根据本发明的激光系统来执行。

[0058] 特别是,根据本发明的激光系统适合于分断以下工件,所述工件具有对加工激光束透明的材料和/或对加热激光束不透明的材料。

[0059] 可以有利的是,分束元件被构造为3D分束元件或包括3D分束元件。在此可以设置,通过在输入激光束的光束截面上的相位赋加,并且特别是仅通过在输入激光束的光束截面上的相位赋加来对输入激光束进行分束。

[0060] 可以有优势的是,分束元件被构造为偏振分束元件或者包括偏振分束元件。

[0061] 例如,分束元件包括多个部件和/或功能。可以设置,分束元件包括3D分束元件和偏振分束元件两者。

[0062] 透明材料应被理解成是这样的材料,加工激光束的激光能量的至少70%并且特别是至少80%并且特别是至少90%透射穿过该材料。例如,如果将加工激光束指向到工件的第一外侧面上,则加工激光束的激光能量的至少70%并且特别是至少80%并且特别是至少90%在工件的第二外侧面处透射,该第二外侧面在光束传播方向和/或厚度方向上与第一外侧面间隔开。

[0063] 不透明和/或非透明材料应被理解成是这样的材料,加热激光束的激光能量的至多10%并且特别是至多5%并且特别是至多3%透射穿过该材料。例如,如果将加热激光束指向到工件的第一外侧面上,则加工激光束的激光能量的至多10%并且特别是至多5%并且特别是至多3%在工件的第二外侧面处透射,该第二外侧面在光束传播方向和/或厚度方向上与第一外侧面间隔开。

[0064] 特别是,焦点元素应被理解成具有特定的空间延伸和强度分布的辐射区域。对确定一个确定的焦点元素的空间尺寸诸如焦点元素的直径而言,仅考虑强度分布的超过特定

的强度阈值的强度值。在该方面,例如,选择强度阈值,使得低于该强度阈值的值具有如此低的强度,以致于它们对于与材料相互作用以形成材料改性部不再相关。例如,强度阈值是焦点元素的全局强度最大值的50%。

[0065] 特别是,一个确定的焦点元素对应地配属有空间上的相互作用区域,当焦点元素被引入工件中时,焦点元素与工件的材料在该相互作用区域中相互作用。

[0066] 特别是,引入到材料中的焦点元素通过非线性吸收与材料相互作用。特别是,借助于焦点元素基于非线性吸收在材料中产生了材料改性部。

[0067] 特别是可设置,根据前述限定,各焦点元素具有至少0.5μm且/或至多30μm,优选地至少2μm且/或至多10μm的最大空间延伸。特别是,与工件的材料相互作用的、配属于一个确定焦点元素的相互作用区域的最大空间延伸为至少0.5μm且/或至多30μm并且优选地是至少2μm且/或至多10μm。

[0068] 一个确定的焦点元素的最大空间延伸尤其应被理解为焦点元素在任何空间方向上的最大空间延伸。

[0069] 特别是,焦点元素的相应最大空间延伸小于材料厚度的20%并且优选地小于材料厚度的10%并且特别优选地小于材料厚度的5%。

[0070] 特别是,焦点元素具有衍射光束轮廓。特别是,焦点元素被配置为衍射受限的。例如,一个确定的焦点元素具有高斯形状和/或高斯强度轮廓。然而也可以是,焦点元素具有非衍射且特别是类贝塞尔的光束轮廓。

[0071] 特别是,加工激光束具有衍射光束轮廓和/或高斯光束轮廓。

[0072] 特别是,彼此相邻的焦点元素具有至少3μm且/或至多70μm的距离,其中,配属于该距离的距离方向垂直于焦点元素的进给线和/或垂直于进给方向定向。

[0073] 特别是,布置在加工面上的彼此相邻的材料改性部具有在3μm与70μm之间的距离,其中,配属于该距离的距离方向垂直于焦点元素的进给方向和/或进给线定向。

[0074] 特别是,布置在加工面上的彼此相邻的材料改性部具有1μm与30μm之间的距离,其中,配属于该距离的距离方向平行于焦点元素的进给线和/或进给方向定向。

[0075] 特别是,布置在加工面上的彼此相邻的材料改性部具有这样的距离,使得在相邻的材料改性部之间发生裂纹形成和/或借助于加热激光束使得材料能在加工面上分断。

[0076] 特别是,加工激光束具有至少1W至1kW的平均功率。例如,加工激光束包括具有至少10μJ且/或至多50mJ的脉冲能量的脉冲。可以设置,加工激光束包括单脉冲或脉冲串(Bursts),其中,脉冲串具有2至20个子脉冲,并且特别是具有近似20ns的时间间隔。

[0077] 术语“焦点元素中的至少一部分量”可以意指焦点元素的一部分量或焦点元素的总量,即所有焦点元素。

[0078] 特别是,术语“至少近似”或“近似”通常应被理解成意指不超过10%的偏差。除非另有说明,否则术语“至少近似”或“近似”应特别是被理解成意指实际的值和/或距离和/或角度与理想的值和/或距离和/或角度偏差不超过10%。

附图说明

[0079] 优选实施方式的以下描述用于参照附图更详细地说明本发明。

[0080] 在附图中:

[0081] 图1示出了用于分断工件的激光系统的一个实施例的示意性表示;

[0082] 图2示出了工件的材料的截面的示意性截面表示,其中该材料被加载以多个焦点元素以便形成材料改性部,其中,焦点元素沿具有不同直线区段的加工线进行布置;

[0083] 图3示出了工件的截面的示意性截面表示,其中通过将工件以焦点元素加载而产生了材料改性部,所述材料改性部伴随有材料的裂纹形成;

[0084] 图4a示出了用于工件的激光加工的焦点元素的模拟强度分布的截面表示,其中,

[0085] 彼此相邻的焦点元素分别以近似17.5μm的距离间隔开;

[0086] 图4b示出了用于工件的激光加工的焦点元素的模拟强度分布的截面表示,其中,

[0087] 彼此相邻的焦点元素分别以近似8.0μm的距离间隔开;

[0088] 图5a示出了形成有材料改性部的工件的示意性透视图,所述材料改性部沿加工线和/或加工面延伸;

[0089] 图5b示出了两个工件部段的示意性透视图,通过按图5a沿加工线和/或加工面分断工件来形成所述两个工件部段;以及

[0090] 图6示出了工件的材料的截面的示意性截面表示,其中将材料以多个焦点元素加载以便形成材料改性部,其中,焦点元素沿弧形加工线定位。

[0091] 在所有附图中,相同或具有等效功能的元件设有相同的附图标记。所示附图并非按比例尺绘制。

具体实施方式

[0092] 图1中示出了用于分断工件的激光系统的一个实施例,并且在那里以100标识。借助激光系统100可以在工件104的材料102中产生在当地(lokalisierte)的材料改性部,诸如亚微米或原子范围内的缺陷,其导致材料的弱化。在这些材料改性部处可以分断工件104,其中,工件104例如可以被分成两个工件部段,或者可以从工件104切除一个工件部段。

[0093] 特别是,借助激光系统100可以以攻角将材料改性部引入材料102中,使得工件104的棱边区域可以通过从工件104切除工件部段而被倒角或斜切。

[0094] 激光系统100包括分束元件106,输入激光束108、特别是经准直的输入激光束耦入到该分束元件中。该输入激光束108借助于激光系统100的激光束源110被提供。特别是,输入激光束108是脉冲激光束和/或超短脉冲激光束。

[0095] 可以设置,激光束源110包括空芯光纤(未示出),借助于激光束源110形成的激光束从该空芯光纤中发出。然后,例如使用激光束源110的准直光具(未示出)对该激光束进行准直,以形成输入激光束108。

[0096] 输入激光束108应被理解成意指射束簇,其包括多个光束、特别是平行延伸的多个光束。输入激光束108具有横向光束截面112和/或横向的光束延伸,输入激光束108以该横向光束截面和/或横向光束延伸射到分束元件106上。

[0097] 特别是,射到分束元件106上的输入激光束108具有至少近似平面的波前114。

[0098] 借助于分束元件106,输入激光束108被分束成多个子光束116或子射束簇。在图1中示出的示例中,简示了两个彼此不同的子光束116a和子光束116b或子射束簇。

[0099] 特别是,分束元件106被构造为远场光束成形元件。特别是,从分束元件106耦出的子射束簇具有发散的光束轮廓和/或以球面波的方式传播。

[0100] 为了聚焦从分束元件106耦出的子光束116,激光系统100包括聚焦光具118,子光束116被耦入到所述聚焦光具中。例如,聚焦光具118具有一个或更多个透镜元件。例如,聚焦光具118被构造为显微镜物镜。

[0101] 例如,聚焦光具118具有5mm与50mm之间的焦距。

[0102] 特别是,分束元件106至少近似地布置在聚焦光具118的背焦面内。

[0103] 特别是,不同的子光束116具有地点偏移和/或角度偏移地射到聚焦光具118上。这些子光束116借助于聚焦光具118进行聚焦,其中,借助于聚焦光具118进行聚焦的子光束116的总和被称为加工激光束119。通过对子光束进行聚焦,形成多个焦点元素120,该多个焦点元素分别布置在不同的空间位置处。原则上,互相相邻的焦点元素120可以区段地在空间上交叠。

[0104] 因此,加工激光束119应被理解为涵盖从加工光具118发出的形成焦点元素120的子光束。

[0105] 特别是,一个确定的焦点元素120分别配属有多个子光束116,即一个确定的焦点元素120由射到聚焦光具118上的多个子光束116形成。

[0106] 特别是,焦点元素120应被理解为经聚焦的辐射区,诸如焦斑和/或焦点。特别是,焦点元素120分别具有特定的几何形状和/或特定的强度轮廓,其中,几何形状例如被理解为相应的焦点元素120的空间形状和/或空间延伸。

[0107] 一个确定的焦点元素120的几何形状和/或强度轮廓在下文中被称为焦点元素120的焦点分配(Fokusverteilung)121。焦点分配121是相应的焦点元素120的属性,并且描述焦点元素的相应形状和/或强度轮廓。特别是,所形成的多个焦点元素120或者所有焦点元素120具有相同的焦点分配。

[0108] 所形成的焦点元素120的焦点分配由输入激光束108限定,使用分束元件106使该输入激光束分束来形成焦点元素120。如果输入激光束108在耦入分束元件106中之前被聚焦,则会因此形成唯一焦点元素,其具有配属于输入激光束108的焦点分配。

[0109] 例如,输入激光束108可以具有高斯光束轮廓。在这种情况下,通过使输入激光束108聚焦,会形成焦点元素,其具有的焦点分配121具有高斯形状和/或高斯强度轮廓。

[0110] 替选于此地,例如可设置,输入激光束108配属有类贝塞尔光束轮廓,使得通过聚焦输入激光束108,会形成焦点元素,其具有的焦点分配121具有类贝塞尔形状和/或类贝塞尔强度轮廓。

[0111] 通过借助于分束元件106对输入激光束108进行分束来形成的子光束116或子光束簇配属有输入激光束108的焦点分配,使得通过对子光束116进行聚焦,形成具有该焦点分配的和/或具有基于该焦点分配的焦点分配的焦点元素120。

[0112] 在图1中所示出的示例中,输入激光束108具有高斯光束轮廓,即输入激光束108配属有具有高斯形状和/或高斯强度轮廓的焦点分配。在此,焦点元素120例如分别具有焦点分配121,该焦点分配具有该高斯形状和/或该高斯强度轮廓或者具有基于该高斯形状和/或该高斯强度轮廓的形状和/或强度轮廓(还参见图4a和图4b)。

[0113] 例如,如果输入激光束108配属有类贝塞尔光束轮廓,则为激光加工工件104而形成的焦点元素120分别具有焦点分配121,该焦点分配具有该类贝塞尔光束轮廓或者具有基于该类贝塞尔轮廓的光束轮廓。因此,焦点元素120例如可以分别形成为具有细长形状和/

或细长强度轮廓的焦点分配。

[0114] 可以设置,激光系统100具有用于输入激光束108的光束成形的光束成形装置122(在图1中简示)。例如,该光束成形装置122相对于输入激光束108的光束传播方向124布置在分束元件106的上游和/或布置在激光束源110与分束元件106之间。

[0115] 在目前的情况下,光束传播方向应被理解为激光束或射束簇的主光束传播方向和/或平均传播方向。光束传播方向特别是与配属于激光束或射束簇的坡印廷(Poynting)矢量的方向对应。

[0116] 借助于光束成形装置122,可以给输入激光束108配属特定的光束轮廓,所述光束轮廓限定焦点元素120的焦点分配121。

[0117] 例如,光束成形装置122可以被配置成用于由具有高斯光束轮廓的激光束来形成具有准非衍射和/或类贝塞尔光束轮廓的激光束。为此,光束成形装置122例如是或者包括衍射光学元件和/或轴锥镜元件和/或类轴锥镜元件。

[0118] 在此,耦入到分束元件106中的输入激光束108具有准非衍射或类贝塞尔光束轮廓。因此,焦点元素120则也具有该准非衍射或类贝塞尔光束轮廓或具有基于该光束轮廓的光束轮廓。

[0119] 关于准非衍射和/或类贝塞尔光束的定义和实现方式,参照了出版物“Structured Light Fields:Applications in Optical Trapping,Manipulation and Organisation”,M.Wördemann,Springer Science&Business Media(2012),ISBN 978-3-642-29322-1,并且还参照了科学出版物“Bessel-like optical beams with arbitrary trajectories”,I Chremmos等,Optics Letters,第37卷,第23期,2012年12月1日以及“Generalized axicon-based generation of nondiffracting beams”,K.Chen等,arXiv:1911.03103v1[physics.optics],2019年11月8日。

[0120] 通过使用分束元件106进行分束,焦点元素120特别是分别形成为彼此相同和/或分别形成为彼此的副本。

[0121] 所形成的焦点元素120中的每一个配属有一个特定的地点位置x_0,y_0,z_0,相对于工件104的材料102而言,相应的焦点元素120被布置在该地点位置处(图2)。特别是,焦点元素120的地点位置应被理解为其空间中心点和/或重心的位置。此外,所形成的焦点元素120中的每一个都配属有特定的强度I。因此,可以借助分束元件106来限定相应的焦点元素120的地点位置x_0,y_0,z_0以及强度I。

[0122] 特别是,用于对工件104进行激光加工而形成的焦点元素120中的多个或者所有焦点元素具有相同的强度I。然而也可以的是,所形成的焦点元素120中的多个焦点元素具有不同的强度I。

[0123] 特别是,可以借助于分束元件106在三个空间方向和/或空间维度上(在图1和图2中所示的示例中在x、y和z方向上)按分量调整彼此相邻的焦点元素120之间的相应的距离d和/或相应的地点偏移。

[0124] 相邻的焦点元素120之间的距离d例如在3μm与70μm之间。

[0125] 分束元件106优选地被构造为3D分束元件或者包括3D分束元件。因此,焦点元素120可以例如以这样的方式形成,即它们分别彼此相同和/或它们分别是彼此的副本。

[0126] 关于被实施为3D分束元件的分束元件106的技术实现方式和属性,参照了科学出

版物“Structured light for ultrafast laser micro-and nanoprocessing”,D.Flamm等,arXiv:2012.10119v1[physics.optics],2020年12月18日。在此,明确引用其全部内容。

[0127] 在分束元件106的一个实施方式中,分束元件106例如实施为3D分束元件,在该实施方式中,为了进行分束,将限定的横向相位分布赋加到输入激光束108的横向的光束截面112上。横向光束截面、横向相位分布应特别理解为在以下平面内的光束截面、相位分布,该平面横向于并且特别是垂直于输入激光束108的光束传播方向124定向。

[0128] 由聚焦的子光束116的干涉形成焦点元素120,其中,例如,可以发生相长干涉、相消干涉或其中间情况,诸如部分相长干涉或部分相消干涉。

[0129] 为了在相应的位置x_0,y_0,z_0处和/或以相应的距离d形成焦点元素120,借助于分束元件106赋加的相位分布针对每个焦点元素120具有特定的光栅成分和/或光学透镜成分。

[0130] 由于光栅成分,在对子光束116进行聚焦之后,在第一空间方向和/或第二空间方向上(诸如在x方向和/或y方向上)产生所形成的焦点元素120的对应的地点偏移。由于光学透镜成分,子光束116或子射束簇以不同的角度或以不同的会聚度或发散度射到聚焦光具118上,这在聚焦之后产生在第三空间方向上、例如在z方向上的地点偏移。

[0131] 相应的焦点元素120的强度I由聚焦子光束116相对于彼此的相位位置确定。这些相位位置可以由前述的光栅成分和光学透镜成分限定,并且可以在构造分束元件106时相对于彼此选择成,使得焦点元素120分别具有期望的强度。

[0132] 替选地或附加地可设置成,分束元件106构造为偏振分束元件或者可以包括偏振分束元件。在这种情况下,借助分束元件106执行将输入激光束108偏振分束成光束,这些光束分别具有至少两种不同偏振状态中的一种。

[0133] 特别是,所提及的偏振状态应被理解为线偏振状态,其中,例如设置两种不同的偏振状态和/或设置彼此垂直定向的偏振状态。

[0134] 特别是,偏振状态使得电场被定向在垂直于偏振光束的光束传播方向的平面内(横向电场)。

[0135] 对于偏振分束,分束元件106包括例如双折射透镜元件和/或双折射楔形元件。双折射透镜元件和/或双折射楔形元件例如由石英晶体制成或者包括石英晶体。

[0136] 关于作为偏振分束元件的分束元件106的工作方式和实施方案,参照DE 10 2020207 715A1和DE 10 2019 217 577 A1。

[0137] 通过偏振分束,特别是能够使子光束116形成为具有不同的偏振状态。通过借助于聚焦光具118使这些子光束116聚焦,可以分别由具有特定的偏振状态的光束来形成焦点元素120。因此,焦点元素120可以分别配属有特定的偏振状态和/或可以被实施为具有特定的偏振状态。

[0138] 特别是,通过借助于分束元件106的偏振分束,使得焦点元素120能够以这样的方式布置和形成,使得彼此相邻的焦点元素120分别具有不同的偏振状态。

[0139] 为了对工件104进行激光加工,将焦点元素120引入到工件104的材料102中,并且沿进给方向126相对于材料102运动,其中,焦点元素120特别是沿进给方向126以特定的进给速度运动。在所示的示例中,进给方向126与y方向对应。

[0140] 为了执行焦点元素120相对于材料102的相对运动,激光系统100包括进给装置127(在图1中简示)。进给装置127被配置成用于使焦点元素120以限定的进给速度沿进给方向

126运动通过材料102。

[0141] 例如,进给装置127可以借助于工件支架来实现,该工件支架被配置成用于使布置在其上的工件104相对于焦点元素120运动。原则上也可以的是,使焦点元素120相对于材料102运动。出于该目的,例如,激光系统100或激光系统100的部件相对于材料102运动。

[0142] 例如,用于对工件104进行激光加工而引入到材料102中的焦点元素120的耦入穿过工件104的第一外侧面130进行。

[0143] 例如,工件104被构造成板状和/或片状和/或盘状。例如,工件104的第二外侧面132在工件104的厚度方向134和/或深度方向上与第一外侧面130间隔开布置。第二外侧面132平行于或横向于第一外侧面130定向。

[0144] 工件104的材料102相对于厚度方向134具有例如至少近似恒定的厚度D,其中,厚度D例如是550μm。

[0145] 厚度方向134应被理解为第一外侧面130与第二外侧面132之间的距离方向。

[0146] 进给方向126横向于并且特别是垂直于工件104的厚度方向134和/或光束传播方向124定向。

[0147] 所形成的焦点元素120被布置成,使得它们沿限定的加工线136定位(参见图2),其中,加工线136位于垂直于进给方向126定向的平面内。加工线136与目标几何形状对应,要以所述目标几何形状来执行材料102的分断。

[0148] 沿加工线136布置的焦点元素120的相应的距离d和强度I选择成,使得通过以焦点元素120加载材料102以及使焦点元素120运动通过材料102来形成材料改性部138(图3),所述材料改性部138使得能够沿该加工线136或沿与该加工线136对应的加工面来分断材料。

[0149] 在图2和图3中,在工件104的垂直于进给方向126定向的截面中分别示出了焦点元素120和材料改性部138。

[0150] 设置了,加工线136在第一外侧面130与第二外侧面132之间连贯和/或以不间断方式延伸。沿加工线136连贯和/或不间断地布置焦点元素120,以便产生沿加工线136布置的材料改性部138,所述材料改性部138使得材料102能够在第一外侧面130与第二外侧面132之间连贯地被分断。

[0151] 加工线136可以具有多个不同的区段140。例如,在图2中所示的示例中,加工线136具有第一区段140a、第二区段140b和第三区段140c,其中,相对于厚度方向134而言,第二区段140b邻接第一区段140a并且第三区段140c邻接第二区段140b。

[0152] 加工线136并非必须构造为连贯的和/或可微的。例如,加工线136可以具有不连续性。

[0153] 例如,加工线136和/或加工线136的不同区段140可以形成为直线或曲线。例如,加工线可以形成为弧形或圆弧形。

[0154] 可以针对不同的焦点元素120和/或针对焦点元素120的不同配对来不同地选择设置用于对工件104进行激光加工的焦点元素120的相应的距离d。然而,原则上也可能的是,对于设置用于对工件104进行激光加工的所有焦点元素120,各距离d至少近似相同。

[0155] 例如可设置,加工线136的不同区段140可以分别配属具有不同距离d的焦点元素120。在此,特别是,配属于一个确定的区段140的焦点元素120的各距离d至少近似相同。

[0156] 特别是,对于所有焦点元素120和/或对于彼此相邻的焦点元素120的所有配对,距

离d的平行于材料102的厚度方向134和/或垂直于进给方向126定向的距离分量d_z不同于零。特别是,所有相邻的焦点元素120在厚度方向134上以不同于零的有效距离分量d_z间隔开。

[0157] 此外,加工线136和/或加工线136的各区段140配属有特定的攻角α和/或攻角范围,该攻角和/或攻角范围是加工线136和/或各区段140与工件104的第一外侧面130围成的。

[0158] 在攻角在1°与89°之间的情况下,彼此相邻的焦点元素120分别具有距离d的不同于零的另一距离分量d_x,该另一距离分量垂直于进给方向126以及垂直于距离分量d_z定向。

[0159] 距离分量d_z和距离分量d_x分别位于垂直于进给方向126定向的平面内。

[0160] 在所示的实施例中,第一区段140a和第三区段140c的攻角α在数值上为45°,并且第二区段140b的攻角α为90°。

[0161] 可以设置,用于对工件104进行激光加工而形成的焦点元素120全部位于垂直于进给方向126定向的平面内。例如,在图2中所示的情形中,则对于所有焦点元素120,在一个确定的时间点,相对于z方向而言的地点位置z_0是相同的。

[0162] 然而,原则上也可能的是,所形成的焦点元素中的至少一部分量平行于进给方向126间隔开定位。在此,例如在图2中所示的情形中存在焦点元素120,其相对于z方向而言的地点位置z_0是不同的。在这种情况下,加工线136或焦点元素120沿加工线136的布置是通过在垂直于进给方向126定向的投影平面内观察焦点元素120来限定的。

[0163] 特别是,在一个确定的时间点,用于对工件104进行激光加工而形成的所有焦点元素120同时存在,并且特别是并非在时间上先后形成。

[0164] 通过将焦点元素120加载和/或引入到材料102中,分别形成局部材料改性部138,其在材料102中被布置在对应焦点元素120的相应的地点位置x_0,y_0,z_0处(图3)。通过适当选择加工参数,诸如焦点元素120之间的相应的距离d、其相应的强度I、在进给方向126上定向的进给速度以及输入激光束108的激光参数,材料改性部138可以形成为例如III型改性,III型改性伴随着工件104的材料102中裂纹137的自发形成。特别是,在相互相邻的材料改性部138之间形成裂纹137。

[0165] 替选于此也可能的是,通过适当地选择加工参数,材料改性部138形成为I型改性和/或II型改性,I型改性和/或II型改性伴随着材料102中的热积聚和/或材料102的折射率的变化。材料改性部138的作为I型和/或II型改性的形成与工件104的材料102中的热积聚相关联。特别是,为了形成这些材料改性部138,焦点元素120之间的相应的距离d被选择成如此之小,使得在以焦点元素120加载材料102时发生该热积聚。

[0166] 图4a示出了多个焦点元素120的模拟强度分布,其中,这些焦点元素120的距离d近似为17.5μm。在所示的灰度图中,较亮区表示较高的强度。

[0167] 图4b示出了多个焦点元素120的模拟强度分布,其中,距离d近似为8.0μm。

[0168] 设置成,在材料改性部138成功形成之后,以加热激光束142加载材料102,以便将该材料分断(参见图3和图6)。为了提供加热激光束142,激光系统100包括另外的激光束源144,其例如被构造为CO_2激光器或包括CO_2激光器。

[0169] 例如,加热激光束142的波长在9μm与11μm之间。例如,波长是10.6μm。在此,加热激光束142的功率例如在20W与35W之间。

[0170] 特别是,加热激光束142是脉冲激光束,其中,频率在10kHz与15kHz之间,例如12.5kHz。原则上也可能的是,加热激光束142是连续波激光束(cw-Laserstrahl)。

[0171] 加热激光束142应被理解为包括多个光束的射束簇。加热激光束142具有横向光束截面146和/或横向光束延伸,加热激光束以该横向光束截面和/或横向光束延伸射到工件104的第一外侧面130上。

[0172] 特别是,射到第一外侧面130上的加热激光束142是发散的或是经准直的。

[0173] 加热激光束142的纵向中心轴线148优选地垂直于第一外侧面130定向。纵向中心轴线148应特别理解为加热激光束在光束传播方向上的光束轴线和/或对称轴线。纵向中心轴线148平行于加热激光束142的光束传播方向定向。

[0174] 加热激光束142的直径d_1(在图6中简示)优选地在2mm与4mm之间。例如,直径d_1是2.7mm。在这方面,加热激光束142的直径d_1使用根据ISO 11146-3的二阶矩法来限定。

[0175] 加热激光束142的纵向中心轴线148相对于最靠近第一外侧面130的材料改性部138a具有地点偏移Δd,该地点偏移平行于第一外侧面130和/或垂直于进给方向126定向。在图3和图6中所示的示例中,地点偏移Δd平行于x方向定向。

[0176] 使用激光系统100对工件104的激光加工按以下方式工作:

[0177] 为了执行激光加工,以焦点元素120加载工件104的材料102,并且使焦点元素120相对于工件104在进给方向126上运动通过该工件的材料102。

[0178] 在此,材料102是对分别形成焦点元素120的激光束的波长透明的材料,诸如玻璃材料。在所示的示例中,通过输入激光束108的光束成形来形成焦点元素120。

[0179] 通过以焦点元素120加载材料102,在材料102中形成材料改性部138,所述材料改性部在垂直于进给方向126定向的截面中沿加工线136布置(图5a)。例如,如图5a中所示,在材料102的整个厚度D上连贯地形成材料改性部138。

[0180] 通过焦点元素120相对于材料102沿预给定的进给线150的相对运动,形成与加工线136对应的加工面152,材料改性部138布置在该加工面上。由此得到材料改性部138沿加工面152的面式构造和/或布置。

[0181] 进给线150是由最靠近第一外侧面130的焦点元素120a相对于材料102的运动限定的(参见图2),并且对应于该焦点元素120a相对于材料102的轨迹。焦点元素120沿进给线150运动,应理解为,每个焦点元素120沿平行于进给线150的轨迹运动(并且焦点元素120a沿与进给线150相同的轨迹)。因此,进给线150应被理解为针对所有焦点元素120的参考线和/或参考轨迹。

[0182] 进给方向126总是与进给线150相切地定向。进给方向不必例如如图5a中所示那样是恒定的,而是原则上可以变化。因此,进给线150原则上可以具有直的和弯曲的区段。在弯曲区段的情况下,在激光加工期间,进给方向126改变,并且对加工线136进行旋转,使得它总是位于垂直于进给方向126定向的平面内。这可以例如通过相应地对分束元件106进行旋转或通过激光系统100的部件相对于工件104进行相对旋转来实现。

[0183] 可以例如通过调整输入激光束108的脉冲持续时间和/或通过调整进给速度来限定进给方向126上相邻的材料改性部138之间的距离。

[0184] 特别是,沿加工面152形成的材料改性部138导致材料102的强度降低。由此使得在形成材料改性部136之后材料102能够在加工面152处分成两个不同的工件部段154a、154b

(图5b)。

[0185] 在所示的示例中,工件部段154b是具有分断面156的成品部段,该分断面具有与加工线136的形状对应的形状。在这种情况下,工件部段154a是残余工件部段和/或废料段。

[0186] 在形成布置在加工面152上的材料改性部138之后,借助于加热激光束142执行工件104的分断。为此,加热激光束142被指向到第一外侧面130上并且沿加热激光束进给线158相对于工件104运动,该加热激光束进给线平行于进给线150定向,焦点元素120先前沿该进给线150相对于工件104运动。加热激光束进给线158以地点偏移Δd与进给线150间隔开地延伸。

[0187] 加热激光束142相对于工件104的材料102的相对运动例如借助于进给装置127来实现,该进给装置可以为此相应地进行配置。

[0188] 加热激光束进给线158与加热激光束142的纵向中心轴线148在第一上侧面130上的位置对应。因此,加热激光束进给线158与在第一上侧面130上运动的加热激光束142的纵向中心轴线148的轨迹对应。

[0189] 加热激光束142沿加热激光束进给线158运动的进给速度例如是2.4m/min。

[0190] 设置了,加工面152相对于工件104的部分区域162而言向外突出和/或向外拱起。在图5a和图5b中所示的示例中,部分区域162与分断之后形成的工件部段154b对应。通过加工面152的拱起,在分断之后,在工件部段154上得到向外的凸起164和/或突起。

[0191] 因此,加工面152(和所产生的分断面156)配属有主方向160(参见图5a和图6),其从工件104的内部指向加工面152的拱起和/或凸起164的方向。主方向160垂直于平面166定向,该平面平行于厚度方向134并且平行于进给线150延伸。

[0192] 主方向160由最靠近第一外侧面130的材料改性部138a和与平面166的法线平行地与材料改性部138a具有最大距离的材料改性部138b之间的平行于平面166的法线定向的距离d_0的方向得出(参见图6)。此处,在垂直于进给方向126或垂直于进给线150定向的截面平面中观察材料改性部138。

[0193] 因此,主方向160与从材料改性部138a到材料改性部138b的位移向量的与平面166的法线平行地定向的方向分量对应。

[0194] 材料改性部138a与材料改性部138b之间的距离d_0与加工线136和/或加工面152和/或分断面156在主方向160上的延伸长度对应。

[0195] 特别是,最靠近第一外侧面130的材料改性部138a可以与第一外侧面130邻接和/或可以穿透第一外侧面130。

[0196] 地点偏移Δd的方向与主方向160方向相反和/或反平行定向。

[0197] 通过借助于加热激光束142对材料102进行热加载,使得材料102沿加工面152分断,从而产生例如图5b中所示的工件部段154a和工件部段154b。

[0198] 在图6中所示的实施方式中,加工线136形成为弧形,并且特别是圆弧形,使得产生对应弧形地向外拱起的加工面152或者说分断面156。

[0199] 在根据图6的实施方式中,材料改性部138a与材料改性部138b之间的距离d_0例如是140μm。在加热激光束的直径d_1为2.7mm的情况下,地点偏移Δd例如为1000μm。

[0200] 工件104的材料102例如是硅酸铝玻璃。例如,为了将材料改性部138形成为III型改性部,形成焦点元素120的激光束则具有1030nm的波长和3ps的脉冲持续时间。此外,配属

于聚焦光具118的数值孔径则是0.4,并且配属于单个焦点元素120的脉冲能量是50nJ至200nJ。

[0201] 附图标记列表

[0202] α攻角

[0203] d距离

[0204] d_x有效距离分量

[0205] d_z有效距离分量

[0206] d_0距离/延伸长度

[0207] d_1直径

[0208] Δd地点偏移

[0209] D厚度

[0210] I强度

[0211] x_0x方向上的位置

[0212] y_0y方向上的位置

[0213] z_0z方向上的位置

[0214] 100激光系统

[0215] 102材料

[0216] 104工件

[0217] 106分束元件

[0218] 108输入激光束

[0219] 110激光束源

[0220] 112光束截面

[0221] 114波前

[0222] 116子光束

[0223] 116a 子光束

[0224] 116b 子光束

[0225] 118聚焦光具

[0226] 119加工激光束

[0227] 120焦点元素

[0228] 120a焦点元素

[0229] 121焦点分配

[0230] 122光束成形装置

[0231] 124光束传播方向

[0232] 126进给方向

[0233] 127进给装置

[0234] 130第一外侧面

[0235] 132第二外侧面

[0236] 134厚度方向

[0237] 136加工线

[0238] 137裂纹

[0239] 138材料改性部

[0240] 138a 材料改性部

[0241] 138b 材料改性部

[0242] 140区段

[0243] 140a 第一区段

[0244] 140b 第二区段

[0245] 140c 第三区段

[0246] 142加热激光束

[0247] 144另外的激光束源

[0248] 146光束截面

[0249] 148纵向中心轴线

[0250] 150进给线

[0251] 152加工面

[0252] 154a 工件部段

[0253] 154b 工件部段

[0254] 156分断面

[0255] 158加热激光束进给线

[0256] 160主方向

[0257] 162部分区域

[0258] 164凸起

[0259] 166平面

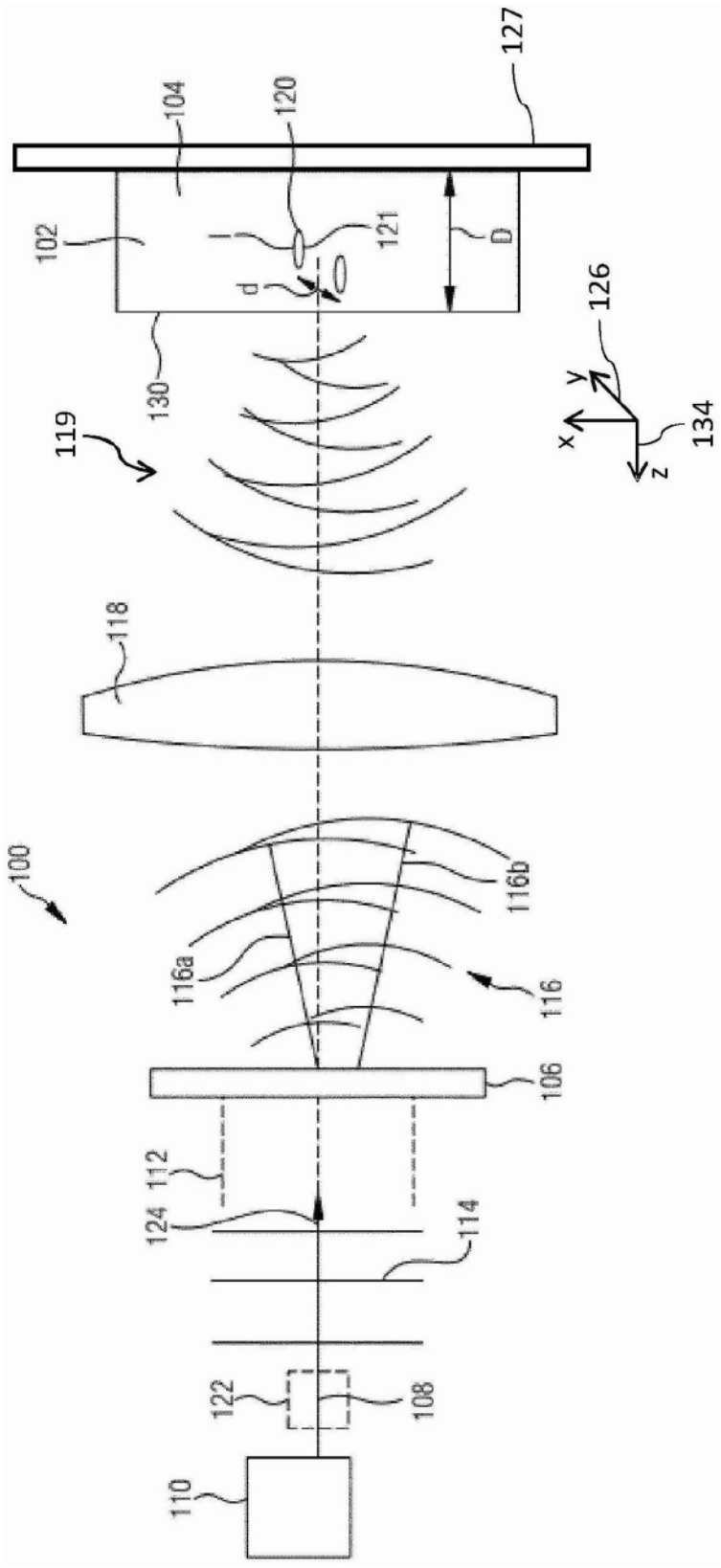

127
104
120
102
121
D
d
126
130
y
x
z
134
119
118
100
116b
116a
116
106
112
124
114
122
108
110

图1

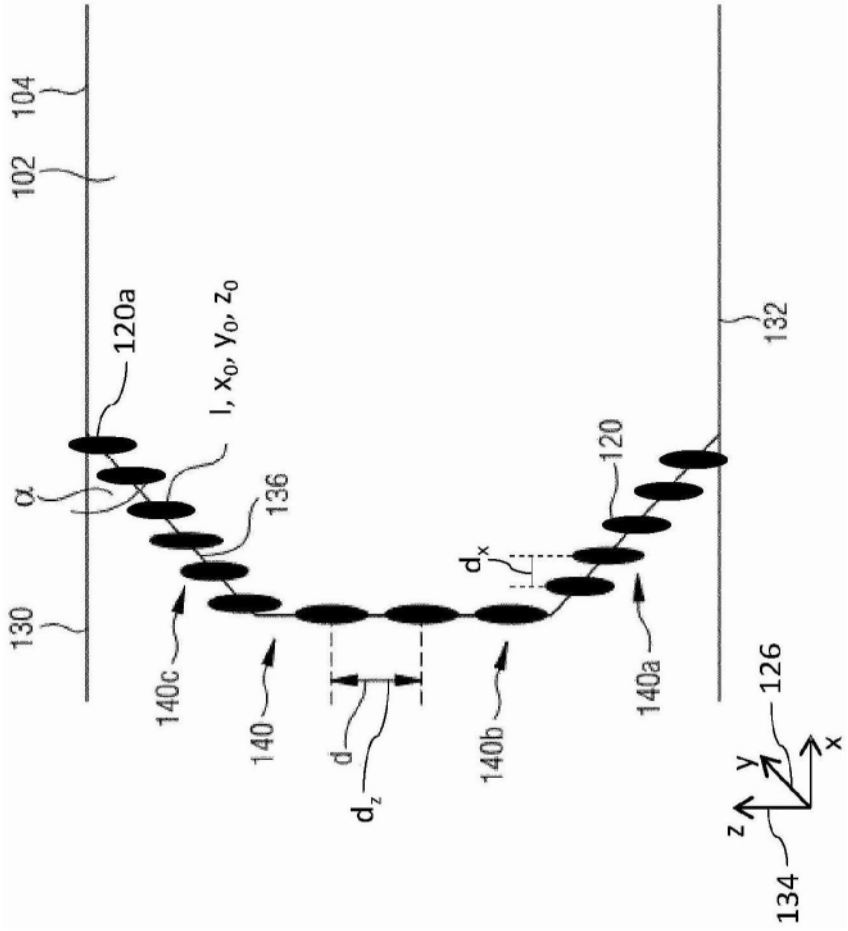

104
102
120a
l, x0, y0, z0
α
136
130
140c
140
d
dz
140b
dx
120
140a
132
126
y
x
z
134

图2

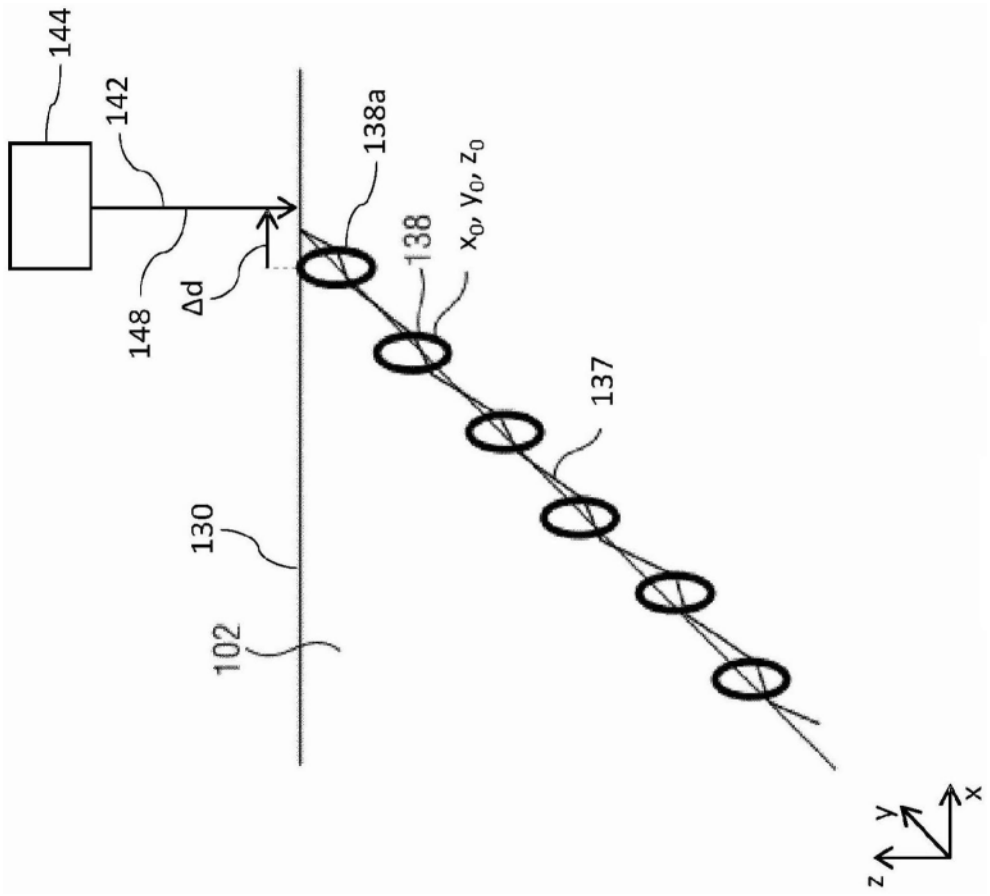


图3

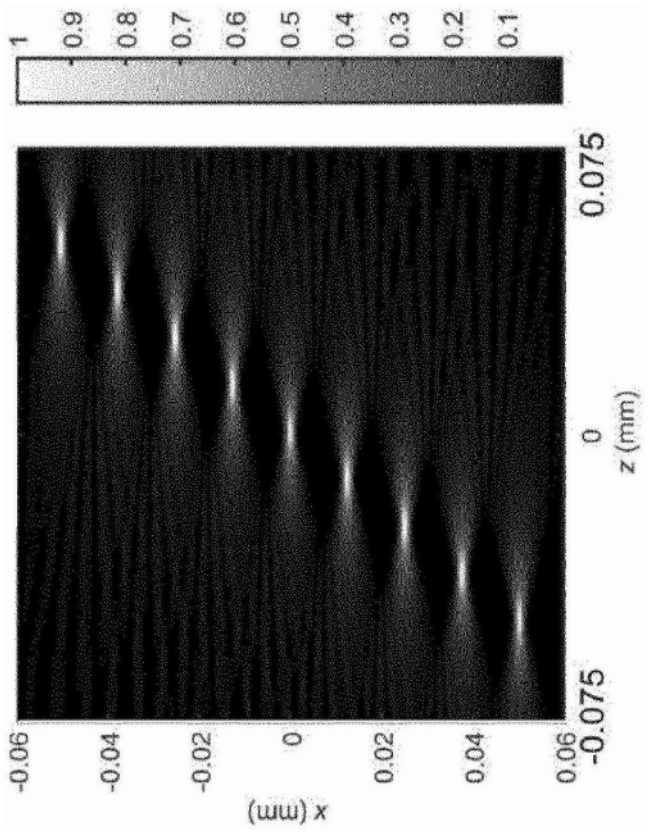

1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.075
0
-0.075
z (mm)
-0.06
-0.04
-0.02
0
0.02
0.04
0.06
(ωω) x

图4a

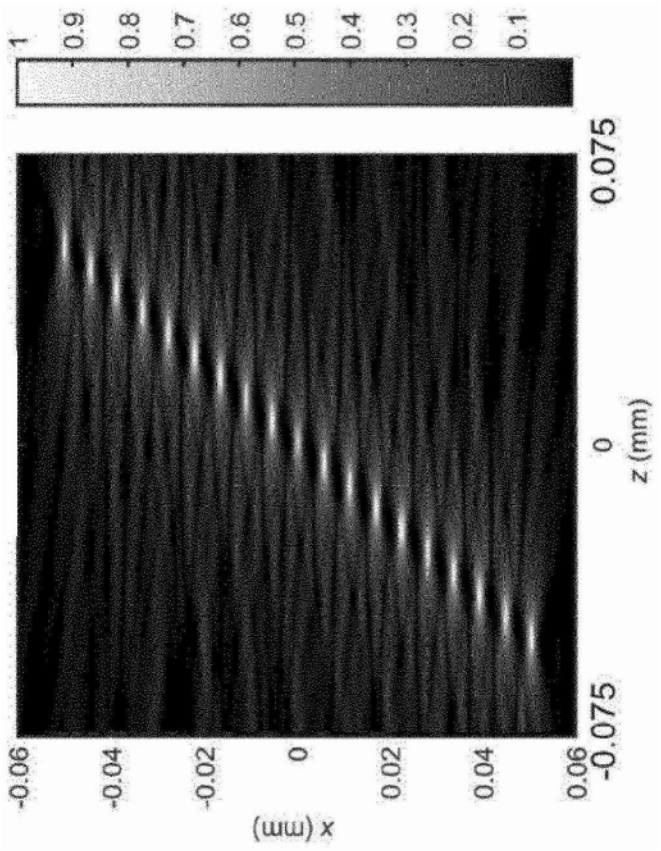

1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.075
0
z (mm)
-0.075
-0.06
-0.04
-0.02
0
0.02
0.04
0.06
x (mm)

图4b

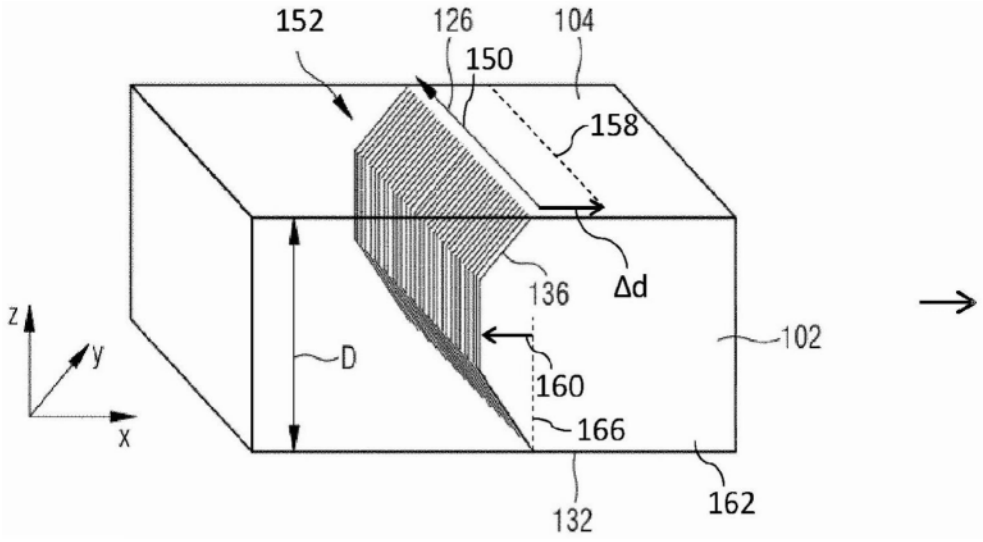

152
126
104
150
158
Δd
136
102
D
160
166
132
162
z
y
x

图5a

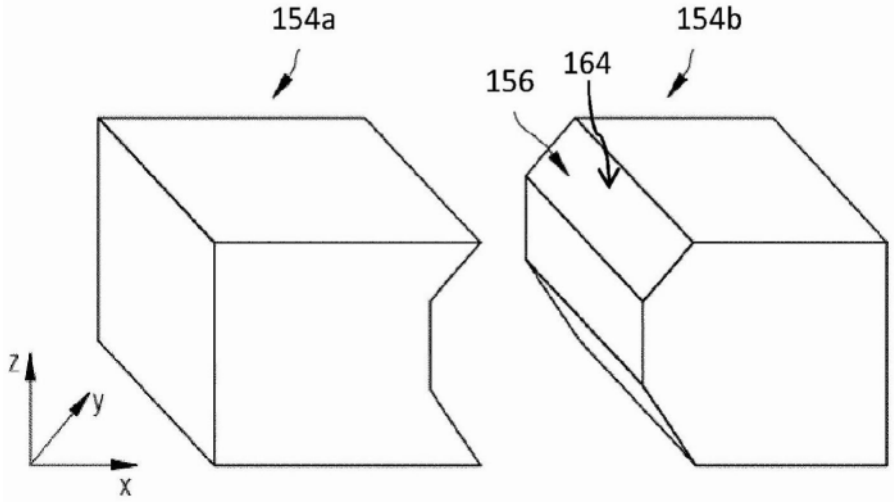

154a
154b
156
164
z
y
x

图5b

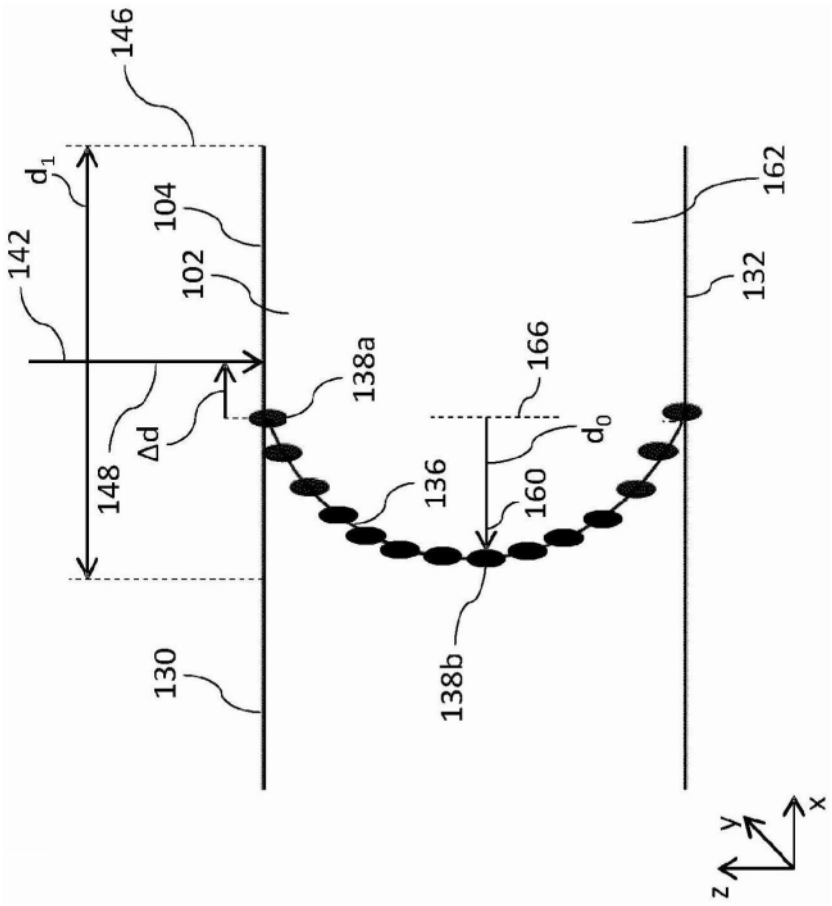

146
d_1
104
142
102
162
132
166
138a
d_0
Δd
148
136
160
130
138b
y
x
z

图6