



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110891731 A

(43)申请公布日 2020.03.17

(21)申请号 201880037543.7

(22)申请日 2018.06.04

(30)优先权数据

17175354.4 2017.06.09 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2019.12.05

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2018/064574 2018.06.04

(87)PCT国际申请的公布数据

W02018/224422 EN 2018.12.13

(71)申请人 百超激光有限公司

地址 瑞士尼德罗兹

(72)发明人 托马斯·劳陶伊

斯特凡·维特韦尔

西蒙·沙伊迪格

(74)专利代理机构 北京集佳知识产权代理有限公司 11227

代理人 李新燕 郭峰霞

(51)Int.Cl.

B23K 26/064(2014.01)

B23K 26/06(2014.01)

B23K 26/38(2014.01)

G02B 5/18(2006.01)

G02B 27/00(2006.01)

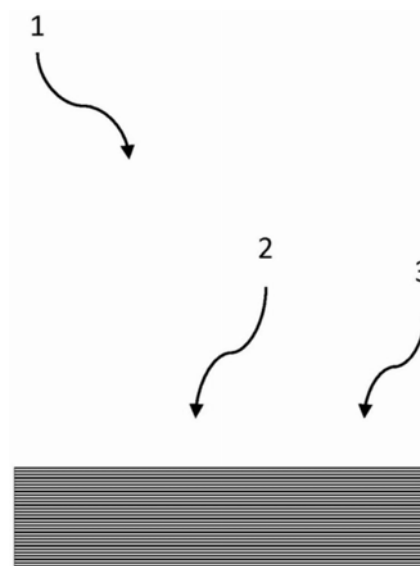
权利要求书3页 说明书16页 附图9页

(54)发明名称

射束整形器及其用途、用于工件的激光束处理的装置及其用途、用于工件的激光束处理的方法

(57)摘要

提供了一种用于对激光束进行整形的射束整形器(1),该射束整形器包括设计成用于对激光束的中央部分进行整形的第一射束整形部段(2)和设计成用于对激光束的外围部分进行整形的第二射束整形部段(3)。此外,还提供了一种用于对工件进行激光束处理的装置和一种用于对工件进行激光束处理的方法。



1. 一种用于对激光束进行整形的射束整形器,所述激光束用于激光束处理,特别是激光束切割的装置,所述射束整形器包括:

第一射束整形部段(2),所述第一射束整形部段(2)设计成用于对所述激光束的中央部分进行整形,使得所述激光束包括至少部分地为球面形的第一波前,以及

第二射束整形部段(3),所述第二射束整形部段(3)设计成用于对所述激光束的外围部分进行整形,使得所述激光束包括至少部分地平行的并且至少部分地非相干地叠加于所述第一波前的第二波前。

2. 根据权利要求1所述的射束整形器,

其中,所述第一射束整形部段(2)形成所述射束整形器的中央部分,并且所述第二射束整形部段(3)形成所述射束整形器的外围部分。

3. 根据权利要求1或2所述的射束整形器,

其中,所述射束整形器(1;10;20;30;40;50;60;70)包括至少一个光学元件(4、5)。

4. 根据前述权利要求中的任一项所述的射束整形器,其中,所述第一射束整形部段(2)和所述第二射束整形部段(3)中的至少一者包括聚焦光学部分或者是聚焦光学部分。

5. 根据前述权利要求中的任一项所述的射束整形器,其中,所述第一射束整形部段(2)和所述第二射束整形部段(3)中的至少一者包括像差光学部分或者是像差光学部分。

6. 根据前述权利要求中的任一项所述的射束整形器,其中,所述第一射束整形部段(2)和所述第二射束整形部段(3)中的至少一者被设计成使得经整形的所述激光束的相应部分具有 5° 或更小、优选地 3° 或更小、更优选地 1° 或更小的发散度变化。

7. 根据前述权利要求中的任一项所述的射束整形器,其中,所述第一射束整形部段(2)包括至少一个球面形或非球面形表面(12;42);

并且/或者

其中,所述第二射束整形部段(3)包括至少一个轴向锥形表面(13)。

8. 根据权利要求7所述的射束整形器,其中,所述球面形或非球面形表面(12;42)是凹形的或凸形的。

9. 根据权利要求7或8所述的射束整形器,

其中,所述第一射束整形部段(2)包括至少一个球面形或非球面形表面(12;42),并且所述第二射束整形部段(3)包括至少一个轴向锥形表面(13),所述球面形或非球面形表面与所述轴向锥形表面相邻,其中,从所述轴向锥形表面到所述球面形或非球面形表面的过渡是连续的。

10. 根据前述权利要求中的任一项所述的射束整形器,

其中,所述射束整形器至少部分地由轴锥体形成或至少部分地包括轴锥体,所述轴锥体具有至少部分地为球面形或至少部分地为非球面形的梢端、所述轴锥体特别是扁圆形梢端的轴锥体。

11. 根据前述权利要求中的任一项所述的射束整形器,

其中,选自所述第一射束整形部段(2)、所述第二射束整形部段(3)和所述射束整形器中的至少一个元件是旋转对称的。

12. 根据前述权利要求中的任一项所述的射束整形器,

其中,所述射束整形器被设计为使得所述第一射束整形部段的自由数值孔径(14a)为

所述射束整形器的自由数值孔径(14b)的50%或更小。

13. 根据前述权利要求中的任一项所述的射束整形器，
包括选自近红外(NIR)有效材料和抗反射涂层中的至少一种元素。

14. 一种用于对工件进行激光束处理、特别是进行激光束切割的装置，包括至少一个根据前述权利要求中的任一项所述的射束整形器(1;10;20;30;40;50;60;70)。

15. 根据权利要求14所述的装置，还包括用于改变入射在所述射束整形器中的至少一个射束整形器上的激光束宽度或直径的装置。

16. 根据权利要求14或15中的任一项所述的装置，还包括以下部件中的至少一者：

激光源，特别是提供500W或更高的激光束功率的源；

加工头，所述加工头中设置有所述射束整形器中的至少一个射束整形器；

光圈，所述光圈相对于射束方向定位在所述射束整形器中的至少一个射束整形器的前方；

聚焦透镜(82)，所述聚焦透镜(82)相对于所述射束方向定位在所述射束整形器中的至少一个射束整形器的前方或后方；

防护窗(83)，所述防护窗(83)相对于所述射束方向定位在所述射束整形器中的至少一个射束整形器的后方；

调节装置，所述调节装置用于横向于激光束方向地调节所述射束整形器中的至少一个射束整形器；

定位装置，所述定位装置用于将所述射束整形器中的至少一个射束整形器定位在所述激光束之内和/或之外；以及

位于所述激光束的激光束腰(87a)处或所述激光束的激光束腰(87a)后方的激光束处理平面(92)，特别是切割平面。

17. 根据权利要求14至16中的任一项所述的装置，
其中，所述射束整形器中的至少一个射束整形器被设计成单独更换。

18. 根据权利要求16或17所述的装置，

其中，所述射束整形器(1;10;20;30;40;50;60;70)中的至少一个射束整形器和所述防护窗(83)被设计成单独或一起更换。

19. 一种根据权利要求1至13中的任一项所述的射束整形器的用于对工件进行激光束处理、特别是进行激光束切割的用途。

20. 一种根据权利要求14至18中的任一项所述的装置的用于对工件进行激光束处理、特别是进行激光束切割的用途。

21. 一种用于对工件进行激光束处理、特别是进行激光束切割的方法，
包括：

通过根据权利要求1至13中的任一项所述的射束整形器(1;10;20;30;40;50;60;70)对激光束进行整形。

22. 根据权利要求21所述的方法，所述激光束具有激光束腰(87a)和射束方向(15)，所述方法包括相对于所述射束方向至少在所述激光束腰后方形成垂直于所述射束方向的均匀的强度分布。

23. 根据权利要求21或22所述的方法，包括以下步骤中的至少一个步骤：

将所述射束整形器定位在所述激光束中；
横向于激光束方向地调节所述射束整形器；
将工件(100)相对于所述射束方向定位在所述激光束腰(87a)处或所述激光束腰(87a)后方；
在所述工件处形成宽度或直径为0.1mm至10mm的激光束斑；
转变垂直于所述射束方向的所述强度分布；
改变入射在所述射束整形器上的激光束宽度或激光束直径；以及
将所述射束整形器定位在所述激光束之外。

射束整形器及其用途、用于工件的激光束处理的装置及其用途、用于工件的激光束处理的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种射束整形器及其用途，一种用于工件的激光束处理的装置及其用途以及一种用于工件的激光束处理的方法。

背景技术

[0002] 对使用激光辐射对金属板进行诸如切割之类的处理的主要需求是提高所处理的工件的质量。对于激光束切割，通常使用辅助气体，该辅助气体可以是活性的或惰性的。

[0003] 当例如用作为活性气体的氧气进行切割时，金属在被激光束加热到点火温度之后燃烧和汽化。氧气与金属之间的反应实际上产生了呈热的形式的额外的能量，该能量支持了切割过程。具有极低粘度的熔融液态金属通过氧气射流的剪切力被从切口中去掉。当用诸如氮气之类的惰性气体切割时，材料仅通过激光功率熔化，并通过气体射流的动能被从切缝中被吹出。

[0004] 通常，特别是在激光切割相对较厚的工件的情况下，所处理的工件的质量取决于系统参数。有几个因素可能会对所处理的工件的质量产生负面影响，例如：初始工件表面的质量低；在点火区域周围的工件表面发生不希望的强烈加热，这可能会引起热点；向熔融物中输入大量热量，这可能会导致热点；熔融材料流内的湍流；以及反应前沿和熔融前沿的不受控制的增长。这些因素中的每一个因素都可能导致已处理或已切割表面的不希望有的明显表面波纹。在对厚工件进行激光切割时，这些因素中的每一个因素都可能导致甚至在切割表面的更深层次处形成热点。热点的形成是不希望的，因为热点会促进熔融材料内的湍流，从而增大表面波纹的幅度。

[0005] 对于激光切割例如软钢之类的板材，已经建立了使用氧气的切割工艺。但是，即使在通过气体切割进行了激光处理的情况下，厚度为15mm以上的软钢工件的切割表面也会显示出波纹。另外，随着工件厚度的增大，切割质量越来越取决于处理参数。根据DE4215561中示出的使用激光束的气体切割方法，在预热工件之后进行受控燃烧。需要对具有例如大于15mm的高厚度的金属板进行激光束处理，由此可以减小切割表面的波纹幅度。

[0006] 通常，会出现两种不同类型的切割表面波纹。如图1所示的在切割表面的顶部区域（图示的软钢的切割表面的右上区域）中的波纹是由于通过激光辐射和气体射流使金属周期性熔化而产生的。关于图1和图2必须注意的是，在切割处理期间，激光束已经从图示的切割表面的顶角指向左角，并且激光束已经从图的右下角移到了左上角。当被激光束照射时，工件表面的一部分被加热直到达到点火温度并且金属和氧气的反应开始。反应前沿径向变宽并且工件材料熔化，直到温度降至点火温度以下，因温度降至点火温度以下而使反应停止。由于激光束的运动，激光束跟随反应前沿并且工件的固体表面被再次加热直到达到点火温度，然后重复该过程。因该循环过程，导致切割表面的波纹的周期性，这代表了切割表面的第一类型的波纹。

[0007] 从切割表面的几毫米的切割深度开始，通常产生覆盖周期性波纹的熔融膜。固化

后,熔融膜可能会留下具有宽的波纹(通常厚度大于0.5mm)和小的波幅的光滑的氧气层。使用次临界气流的激光切割允许熔融材料的层流。由此,入射在熔融表面上的激光束可以仅加热熔融材料,使得一方面,反应前沿位于熔融材料内,并且与移动的激光束一样快地前进,而另一方面,熔融材料维持足以保持流动性的热度直到离开加工区。由此,形成了切割表面的第二类型的波纹。

[0008] 此外,为了实现不同的处理程序,期望尽可能快且灵活地调节激光束。这通常是通过改变射束质量或通过射束整形来实现的。

[0009] US8781269B2公开了一种用于产生具有不同射束轮廓特征的激光束的方法。激光束耦合到多包层光纤的一个光纤末端。为了产生输出激光束的不同射束轮廓特性,将输入激光束可选地耦合到多包层光纤的内部光纤纤芯或一个外圈纤芯中。

[0010] US9250390B2涉及一种材料激光束处理系统。通过改变发射到波导中的激光束的输入会聚角度和/或发射角度,可以连续改变输出光斑尺寸。

[0011] US9346126B2图示了使用凹透镜的射束整形。

[0012] 根据EP2730363A1,在激光处理设备中,光学系统设置有准直透镜、轴锥透镜和聚焦透镜,从而在聚焦区域产生环形强度分布。

[0013] EP2762263A1公开了一种利用环形射束的激光切割,该环形射束具有在通过聚光透镜的聚焦位置后趋于扩大的内径和外径。

[0014] 根据DE2821883B1,激光束被引导到轴锥体,该轴锥体将激光束的高斯能量分布转换成环形能量分布。

[0015] DE102015116033A1描述了使用相对于射束方向位于聚焦透镜前方的轴锥体进行的射束整形。

[0016] EP2778746B1描述了一种用于射束形成的光学装置,其具有厚度分布彼此相反的两个板状光学元件。

[0017] DE102015101263A1图示了具有包括交替的倾斜小面的圆形表面形式的两个板状光学元件。

发明内容

[0018] 本发明的目的是提供一种射束整形器,以及一种用于对工件进行激光束处理,特别是进行激光束切割的装置和方法,由此可以实现高质量的被处理工件。

[0019] 该目的通过根据权利要求1的射束整形器、根据权利要求14的用于对工件进行激光束处理的装置、根据权利要求19的用途、根据权利要求20的用途以及根据权利要求21的用于对工件进行激光束处理的方法来实现。

[0020] 在第一实施方式中,提供了一种用于对激光束进行整形的射束整形器,该激光束用于激光束处理的装置、特别是激光束切割的装置,该射束整形器包括一射束整形部段和第二射束整形部段,第一射束整形部段设计成用于对激光束的中央部分进行整形,使得激光束包括至少部分地为球面形的第一波前,第二射束整形部段设计成用于对激光束的外围部分进行整形,使得激光束包括至少部分地平行并且至少部分地非相干地叠加于第一波前的第二波前。由于第一波前和第二波前的至少部分地非相干的叠加,通过射束整形器可以提供激光束的垂直于其射束方向的大致均匀的分布的强度分布。进一步地,在利用具有射

束整形器的激光切割装置进行金属切割的应用中,有利地使切割过程稳定。

[0021] 根据实施方式,第一射束整形部段可以形成射束整形器的中央部分,并且第二射束整形部段可以形成射束整形器的外围部分。这允许射束整形器的简单设计。

[0022] 此外,射束整形器的实施方式可以包括至少一个光学元件。根据另外的实施方式,第一射束整形部段和第二射束整形部段中的至少一者可以包括聚焦光学部分或者可以是聚焦光学部分。附加地或替代性地,第一射束整形部段和第二射束整形部段中的至少一者可以包括像差光学部分或者可以是像差光学部分。由此,例如根据特定激光处理的需要,可以有利地整形、调整 and 改变将产生的激光束。

[0023] 在一些实施方式中,第一射束整形部段和第二射束整形部段中的至少一者被设计成使得经整形的激光束的相应部分具有 5° 或更小、优选地 3° 或更小、更优选地 1° 或更小的发散度变化。这允许有利的射束整形促进激光束的垂直于其射束方向的大致均匀分布的强度分布。

[0024] 根据另外的实施方式中,第一射束整形部段可以包括至少一个大致球面或大致非球面形表面,并且/或第二射束整形部段可以包括至少一个大致轴锥形表面。由此,可以通过简单的光学元件或结构来实现第一射束整形部段和第二射束整形部段。

[0025] 根据其它实施方式,至少一个大致球面形或非球面形表面可以是凹形的或凸形的。这允许射束整形器的结构变化。

[0026] 根据一些实施方式,第一射束整形部段包括至少一个大致球面形或非球面形表面,第二射束整形部段包括至少一个轴锥形表面,该球面形或非球面形表面与该轴锥形表面相邻。其中,从轴锥形表面至球面形或非球面形表面的过渡是连续的。从而,可以优化第一波前和第二波前的叠加。

[0027] 根据另外的实施方式,射束整形器可以至少部分地由轴锥体形成或可以至少部分地包括轴锥体,该轴锥体具有至少部分地为大致球面形或至少部分地为大致非球面形的梢端、特别是扁圆形梢端的轴锥体。由此,可以利用简单设计的射束整形器来提供激光束的垂直于其传播方向的大致均匀的强度分布。

[0028] 此外,在一些实施方式中,选自第一射束整形部段、第二射束整形部段和射束整形器的至少一个元件可以是旋转对称的。因此,可以实现具有圆形强度分布的圆形激光束斑。

[0029] 可以将射束整形器的另外的实施方式设计成使得第一射束整形部段的自由数值孔径为射束整形器的自由数值孔径的50%或更小。这允许激光束功率在第一射束整形部段和第二射束整形部段上大致均匀地分布。自由数值孔径表征了光学传输超过99%的激光功率的角度范围。

[0030] 在其他实施方式中,射束整形器可以包括选自近红外(NIR)有效材料和抗反射涂层的至少一种元素。两种实施方式都促进高功率激光束整形。

[0031] 第二实施方式涉及一种用于对工件进行激光束处理、特别是进行激光束切割的装置,该装置包括至少一个根据第一实施方式的射束整形器。该用于激光束处理的装置允许对工件、特别是厚度大于15mm的金属板进行激光束处理,由此可以获得经处理的表面、例如切割表面的光滑表面。

[0032] 根据一些实施方式,用于激光束处理的装置可以包括用于改变入射在射束整形器中的至少一个射束整形器上的激光束宽度或直径的装置。由此,可以改变激光束的垂直于

射束方向的强度分布和/或光斑尺寸。

[0033] 根据实施方式,该装置可以进一步包括以下部件中的至少一者:激光源,特别是提供500W或更高的激光束功率的源;加工头,该加工头中设置射束整形器中的至少一个射束整形器;相对于射束方向位于射束整形器中的至少一个射束整形器的前方的光圈;相对于射束方向位于射束整形器中的至少一个射束整形器的前方或后方的聚焦透镜;相对于射束方向位于射束整形器中的至少一个射束整形器的后方的防护窗;用于横向于激光束方向地调节射束整形器中的至少一个射束整形器的调节装置;用于将射束整形器中的至少一个射束整形器定位在激光束之内和/或之外的定位装置;以及位于激光束的激光束腰处或后方的激光束处理平面,特别是切割平面。因此,可以对厚度大于15mm的工件执行安全的激光束处理,特别是切割处理,同时产生光滑的切割表面。此外,可以通过利用具有垂直于射束方向的大致均匀的强度分布的激光光斑来促进对工件的处理。

[0034] 根据用于激光束处理的装置的另外的实施方式,射束整形器中的至少一个射束整形器可以被设计成可单独更换。在用于激光束处理的装置的其他实施方式中,可以将射束整形器中的至少一个射束整形器和防护窗设计成可单独或一起更换。由此,射束整形器可以在使用后或根据特定处理的需要单独更换或与防护窗一起更换。

[0035] 第三实施方式涉及根据上述第一实施方式的射束整形器对工件进行激光束处理,特别是进行激光束切割的用途。由此,可以使用具有垂直于其射束方向的大致均匀分布的强度分布的激光束来实现激光束处理。

[0036] 根据第四实施方式,提供了根据以上第二实施方式的装置对工件进行激光束处理、特别是进行激光束切割的用途。因此,可以执行激光束处理,通过该激光束处理可以获得经处理工件的例如切割表面的光滑表面。

[0037] 在第五实施方式中,提供一种用于对工件进行激光束处理、特别是进行激光束切割的方法,该方法包括通过根据上述第一实施方式的射束整形器对激光束进行整形。这允许进行激光束处理,特别是对厚度大于15mm的金属板进行激光束处理,通过该激光束处理可以获得经处理的表面例如切割表面的光滑表面。

[0038] 根据该方法的另外的实施方式,激光束可以具有激光束腰和射束方向,该方法包括相对于射束方向至少在激光束腰后方、特别是至少在腰部区域后方形成垂直于射束方向的大致均匀的强度分布。由此,可以获得例如具有光滑切割表面的高质量的经处理的工件。

[0039] 该方法的其他实施方式可以包括以下步骤中的至少一个步骤:将射束整形器定位在激光束中;横向于激光束方向地调节射束整形器;将工件相对于射束方向定位在激光束腰处或其后方;在工件处形成宽度或直径为0.1mm至10mm、优选地0.2mm至8mm、更优选地0.3mm至5mm、最优选地0.3mm至0.9mm的激光束斑;转变垂直于射束方向的强度分布;改变入射在射束整形器上的激光束宽度或激光束直径;以及将射束整形器定位在激光束之外。这些步骤促进了工件的处理,特别是形成了工件的光滑切割表面。

附图说明

[0040] 上述实施方式中的一些实施方式将在以下的典型实施方式的描述中参照以下附图更详细地描述,在附图中:

[0041] 图1示出了现有技术的激光处理过的表面的图像,该图像是通过3D成像显微镜获

得的；

[0042] 图2示出了通过根据本发明实施方式的装置和方法获得的激光处理过的表面的图像,该图像是通过3D成像显微镜获得的；

[0043] 图3a至图3d示意性地示出了根据本发明实施方式的射束整形器的截面图；

[0044] 图4a至图4d示意性地示出了根据本发明实施方式的射束整形器的截面图；

[0045] 图5示意性地示出了根据本发明实施方式的用于激光束处理的装置的局部截面图；

[0046] 图6示意性地示出了使用本发明的实施方式产生的激光束的截面图；

[0047] 图7示出了使用本发明的实施方式产生的激光束的垂直于其射束方向的激光束强度分布的曲线；以及

[0048] 图8示出了使用本发明的实施方式产生的激光束斑在不同放大率下的强度的截面图。

具体实施方式

[0049] 在附图的以下描述中,相同的附图标记指代相同的部件。通常,仅描述关于各个实施方式的差异。在说明书中使用的术语“射束方向”也可以理解为激光束的“传播方向”。

[0050] 在本发明的实施方式中,提供或使用一种用于对激光束进行整形的射束整形器,该射束整形器包括被设计用于对激光束的中央部分进行整形的第一射束整形部段和被设计用于对激光束的外围部分进行整形的第二射束整形部段。由此,入射激光束的中央部分和外围部分可以至少部分地彼此分开地整形。

[0051] 根据实施方式,用于对用于激光束处理、特别是激光束切割的装置的激光束进行整形的射束整形器包括:第一射束整形部段,该第一射束整形部段被设计用于对激光束的中央部分进行整形,使得激光束包括至少部分地为球面形的第一波前;以及第二射束整形部段,该第二射束整形部段被设计用于对激光束的外围部分进行整形,使得激光束包括至少部分地平行的并且至少部分地非相干地叠加于第一波前的第二波前。

[0052] 实施方式的第一射束整形部段可以具有在大约3mm或更大、优选地大约6mm或更大、更优选地大约8mm或更大的范围内的垂直于激光束方向的宽度或直径。

[0053] 在实施方式中的一些示例中,第二波前可以在它们的相互作用区域中诱导出准贝塞尔光束。此外,由于第一波前和第二波前的至少部分地非相干的叠加,经整形的激光束可以至少部分地包括准贝塞尔光束。

[0054] 由于第一波前和第二波前的至少部分地非相干的叠加,可以通过射束整形器形成激光束的垂直于其射束方向的大致均匀分布的强度分布。特别地,激光束可以分别反映平顶能量分布或平顶强度分布。例如,强度分布可以是具有陡峭边缘的大致平坦的均一强度分布,该强度分布因此在激光束的边界处被清晰地界定。由此,实施方式的射束整形器令人惊讶地允许对工件、尤其是厚度大于15mm的金属板进行激光束处理,通过该处理获得经处理表面、例如切割表面的光滑表面。因此,与如由图1的图像所示的现有技术的波纹表面相比,使用本发明的实施方式获得的工件的切割表面具有如由图2的图像所示的减小的表面波纹幅度。图1和图2的图像是通过 Alicona Infinite Focus SL 3D显微镜使用5倍放大率获得的。

[0055] 另外,实施方式的射束整形器还可以用于其他应用,例如焊接或选择性激光熔化,对于这些应用,期望具有垂直于射束方向的大致均匀的强度分布,例如具有陡峭边缘和清晰地界定的边界的大致平坦的均一的强度分布的光束或激光束。

[0056] 图3a示意性地示出了根据以上实施方式的射束整形器1。射束整形器具有第一射束整形部段2和第二射束整形部段3。根据实施方式的改型,射束整形器可以包括多于一个的第二射束整形部段3,例如,如图3b所示的两个第二射束整形部段。而且,射束整形器可以包括多于一个的第一射束整形部段2,诸如图4c中所示。

[0057] 根据实施方式,由第一射束整形部段和第二射束整形部段实现的第一波前和第二波前彼此叠加。由此,可以获得具有激光束腰的激光束。此外,第二波前可以至少部分地非相干地叠加于第一波前,特别是相对于激光束方向至少在激光束腰后方至少部分地非相干地叠加于第一波前。

[0058] 在一些实施方式中,第一射束整形部段形成射束整形器的中央部分,并且/或者第二射束整形部段形成射束整形器的外围部分。因此,通过射束整形器的中央部分,在激光束内,可以实现至少部分地为球面形的波前。此外,通过射束整形器的外围部分,在激光束内,可以实现至少部分地平行的波前。此外,射束整形器的中央部分可以对激光束的中央部分进行整形并且/或者射束整形器的外围部分可以对激光束的外围部分进行整形。这允许简单的射束整形器的设计。

[0059] 这些实施方式的示例由图3b的射束整形器10表示,其中第一射束整形部段2居中布置,而一个或更多个第二射束整形部段3形成在射束整形器的外围,并且可以包围或围绕第一射束整形部段3。根据该示例的改型,射束整形器可以包括一个第二射束整形部段3,该第二射束整形部段3可以围绕第一射束整形部段2。在替代性示例中,第一射束整形部段2可以是圆形的,该第二射束整形部段3可以是环形的并且围绕第一射束整形部段。

[0060] 此外,射束整形器可以具有中心光轴。在使用射束整形器期间,光轴可以平行于激光束方向定向。如图3b所示,中心光轴6可以位于第一射束整形部段2和第二射束整形部段3中心。第一射束整形部段2和第二射束整形部段3的圆形和环形构型可以分别相对于光轴6旋转对称。

[0061] 此外,射束整形器可以包括至少一个光学元件。特别地,射束整形器可以形成为包括第一射束整形部段和第二射束整形部段的一个光学元件。例如,射束整形器可以整体地形成一个单元,例如形成为由诸如SiO₂之类的折射材料形成的单元。

[0062] 替代性地,射束整形器可以包括两个或更多个光学元件或者可以由两个或更多个光学元件形成。例如,第一射束整形部段可以由第一光学元件的一部分形成或者可以是第一光学元件的一部分,并且第二射束整形部段可以由第二光学元件的一部分形成或者可以是第二光学元件的一部分。所述两个或更多个光学元件可以通过结合光学元件的任何方式进行组合,例如通过使用具有与光学元件的折射率相似的折射率的光学胶粘合。根据图3c所示的示例,射束整形器20包括两个光学元件。第一射束整形部段2可以是第一光学元件4的一部分,例如折射材料的第一单元4的一部分,第二射束整形部段3可以是第二光学元件5的一部分,例如折射材料的第二单元5的一部分。第一光学元件4和第二光学元件5可以组合为彼此相邻。例如并且如图3d的射束整形器30所示,第一光学元件4可以是中央元件,第二光学元件5可以是包围或围绕第一光学元件4的至少一个外围元件。

[0063] 根据另外的实施方式,第一射束整形部段和第二射束整形部段中的至少一者可以包括聚焦光学部分或者可以是聚焦光学部分。另外或替代性地,第一射束整形部段和第二射束整形部段中的至少一者可以包括像差光学部分或可以是像差光学部分。由此,例如根据特定激光处理的需要,可以有利地整形、调整 and 改变将产生的激光束。此外,在第一射束整形部段和/或第二射束整形部段的像差设计的情况下,射束整形器的中央部分可以形成中央像差部分,和/或射束整形器的外围部分可以形成外围像差部分。例如,射束整形器的中央部分可以包括至少一个中央像差表面并且/或射束整形器的外围部分可以包括至少一个外围像差表面。

[0064] 在一些实施方式中,第一射束整形部段和第二射束整形部段中的至少一者被设计成使得整形的激光束的相应部分具有 5° 或更小、优选地 3° 或更小、更优选地 1° 或更小的发散度变化。例如,发散度变化可以在 0° 至 5° 、优选地 0° 至 3° 、更优选地 0° 至 1° 的范围内。发散度变化表示相对于射束方向的射束整形器前方和后方的激光束发散度的差异。另外,发散度变化可以由第一射束整形部段和第二射束整形部段中的至少一者的聚焦和/或像差设计引起。此外,在特定实施方式中,第一射束整形部段和第二射束整形部段的发散度变化可以是相似的,特别是大致相同。

[0065] 在其他实施方式中,第一射束整形部段可以包括至少一个大致球面形或大致非球面形的表面。替代性地或附加地,第二射束整形部段可以包括至少一个大致轴锥形表面。至少一个大致球面形或大致非球面形的表面可以实现至少部分为球面形的第一波前。至少一个大致轴锥形表面可以实现至少部分地平行的第二波前。这可能是由于贯通射束整形器的相应的各个球面形或非球面形表面和轴锥形表面的激光束的对应的折射。

[0066] 如下所述,图4a、4c、4b和4d中示出了射束整形器的实施方式的示例,其中,第一射束整形部段包括至少一个大致球面形表面并且第二射束整形部段包括至少一个大致轴锥形表面。

[0067] 必须注意的是,根据图4a至图4d的示例,每个射束整形器40、50、60和70可以具有光轴6并且可以具有光轴6延伸穿过的两个侧面A和B,而不受描述的限制。在使用射束整形器期间,侧面A可以是射束整形器的激光束入射的一侧。侧面A因此可以被称为入射侧。侧面A在图4a至4d中示出为位于射束整形器的顶部。侧面B可以相反于射束整形器的侧面A,并在图4a至图4d中示出为位于射束整形器的底部。在一些实施方式中,在使用射束整形器期间,激光束可以通过侧面B离开射束整形器。侧面B于是可被称为射出侧。此外,如图4a至图4d所示,可以在射束整形器的侧面A和/或侧面B处设置包括至少一个球面形表面的至少一个第一射束整形部段2,而不受描述的限制。此外,如图4a至图4d所示,可以在射束整形器的侧面A和/或侧面B处设置包括至少一个轴锥形表面的至少一个第二射束整形部段3,而且也不受描述的限制。例如,包括至少一个轴锥形表面的至少一个射束整形部段3也可以不设置在侧面A处,而是替代性地设置在侧面B处。此外,可以设置至少两个射束整形部段3,一个设置在射束整形器的侧面A处并且另一个设置在射束整形器的侧面B处。

[0068] 根据实施方式,实施方式的至少一个大致球面形或非球面形表面可以是凹形的或凸形的。

[0069] 凸形的球面形表面的示例在图4a和图4c中示出。其中,每个射束整形器40和50在侧面A处具有中央第一射束整形部段2,该第一射束整形部段2由一个凸形球面形表面12形

成并且具有宽度22。球面形表面12可以由球面半径32限定。

[0070] 在图4c、图4b和图4d中描绘了凹形球面形表面的示例。图4c和图4d中所示的射束整形器50和70各自在侧面B处包括具有凹形球面形表面42的第一射束整形部段2。凹形球面形表面42可以由球面半径32限定。凹形球面形表面42的宽度22在图4c中示出为小于凸形球面形表面12的宽度22,但是替代性地可以等于或大于后者。图4b示出了其中在射束整形器60的侧面B处设置有包括一个凹形的球面形表面42的中央第一射束整形部段2的示例,其中,该凹形的球面形表面42具有宽度22。

[0071] 轴锥形表面的示例通过图4a、图4c和图4d示出。在其中描绘的射束整形器40、50和70各自在侧面A处包括具有一个轴锥形表面13的至少一个第二射束整形部段3。图4b的射束整形器60在侧面B处包括具有一个轴锥形表面13的至少一个第二射束整形部段3。轴锥形表面13可以由直线23限定。直线23可以代表轴锥形表面13的相对于基线33的斜率,基线33代表穿过轴锥形表面23的原点的基面。直线23和基线33可以围成轴锥角43。基线33和基面可以相对于光轴6垂直。

[0072] 在射束整形器的一些实施方式中,轴锥角在 0° 至 5° 、优选地 0° 至 3° 、更优选地 0° 至 1° 的范围内。此外,射束整形器的实施方式可以包括球面形表面,该球面形表面具有2000mm以上、更优选地1000mm以上,最优选地100mm以上的球面半径32。应当提及的是,球面半径优选地不低于10mm。这些值适合于1.3至2.7的折射率。球面半径可以取决于光学元件的折射率,如下面参考等式2所解释的。此外,球面形表面的宽度22可以在约3mm或更大、优选地约6mm或更大、更优选地约8mm或更大的范围内。

[0073] 根据一些实施方式,第一射束整形部段包括至少一个大致球面形或非球面形表面,第二射束整形部段包括至少一个轴锥形表面,该球面形或非球面形表面与该轴锥形表面相邻,其中,从轴锥形表面至球面形或非球面形表面的过渡是连续的。

[0074] 例如,射束整形器可以在侧面A处具有带有大致轴锥形表面13的第二射束整形部段3和与第二射束整形部段3相邻的带有大致凸形球面形表面12的第一射束整形部段2,如通过图4a和图4c的截面图所示的。在这种实施方式中,连续过渡的要求可以通过限定轴锥形表面13的直线23在过渡处对应于球面形表面12的切线来满足。

[0075] 根据另外的实施方式,射束整形器可以至少部分地由轴锥体形成或至少部分地包括轴锥体,该轴锥体具有至少部分地为大致球面形或至少部分地为大致非球面形的梢端。在特定的实施方式中,射束整形器可以由扁圆形梢端的轴锥体形成。这种实施方式的截面图示可以通过图4a至图4c表示。在这些实施方式的优选示例中,射束整形器可以由具有扁圆形梢端的轴锥体形成。扁圆形梢端可以为大致球面形或大致非球面形的,例如,如由图4a至图4c的截面图所描绘的。

[0076] 此外,在一些实施方式中,选自第一射束整形部段、第二射束整形部段和射束整形器的至少一个元件可以是旋转对称的。根据这些实施方式的示例,射束整形器可以包括中心光轴6,并且第一射束整形部段2和第二射束整形部段3可以分别相对于光轴6旋转对称。替代性地或附件地,射束整形器可以包括中心光轴6,并且可以相对于光轴旋转对称。例如,第二射束整形部段3可以是相对于光轴6旋转对称的环形的轴锥表面。

[0077] 实施方式的射束整形器可以例如通过形成具有至少一个大致轴锥形表面13和/或至少一个大致球面形或非球面形表面12、42的光学元件制造。例如,在射束整形器由具有扁

圆形梢端的轴锥体形成的情况下,可以设置轴锥体并且可以例如通过研磨处理其梢端,以形成具有例如球面形或非球面形形状的期望的扁圆形梢端。也可以应用本领域已知的其他制造方法。

[0078] 如上所述,在一些实施方式中,第一射束整形部段和第二射束整形部段中的至少一者被设计为使得经整形的激光束的相应部分具有 5° 或更小、优选地 3° 或更小、更优选地为 1° 或更小的发散度变化。根据射束整形器的实施方式的优选设计,由第一射束整形部段和第二射束整形部段两者引起的发散度变化可以大致相同并且另外地不大于 1° 。在具有至少一个球面形或非球面形表面和至少一个轴锥形表面的实施方式的情况下,由轴锥形表面所产生的发散度变化可以基于射束整形器的相应材料的轴锥角 γ 和与波长相关的折射率 $n(\lambda)$ 确定。在实施方式中优选设计的情况下——在该优选设计中,射束整形器由具有大致球面形的扁圆形梢端的轴锥体形成——以下可能成立:因轴锥形部分引起的发散度变化可以表示为 $\Delta l_{11} = l_1(1) - l_{1 \cdot 1}$ (1)

[0079] 由于球面形梢端引起的发散度变化可以根据球面形梢端的直径 δ 、相应材料的与波长相关的折射率 $n(\lambda)$ 以及具有半径 R 的梢端的有效焦距 f 来确定,

$$[0080] \quad \frac{1}{l_1} = \frac{1}{l_1(1)} - \frac{1}{l_{1 \cdot 1}} \quad (2)$$

[0081] 由球面形尖端产生的最终发散度变化为

$$[0082] \quad \Delta l_{11} = \frac{1}{l_{1 \cdot 1}} \quad (3)$$

[0083] 假定由轴锥形部分和球面形梢端引起的发散度变化几乎是相等的,那么下式成立

$$[0084] \quad l_1 = 2 \cdot l_{1 \cdot 1}, \quad (4)$$

[0085] 这允许根据实施方式的射束整形器的优选设计。或者,等式

$$[0086] \quad l_1 = 2 \cdot l_{1 \cdot 1} \cdot \sin(1) \quad (5)$$

[0087] 描述根据实施方式的射束整形器的上述优选设计,该等式可以基于上述的从轴锥形表面至球面形表面的连续过渡来确定。

[0088] 在射束整形器的包括旋转对称设计的一些实施方式中,第一射束整形部段的宽度可以对应于第一射束整形部段的直径。例如,在图4a至图4d的射束整形器各自包括旋转对称的第一射束整形部段2的情况下,如图4a至图4d中示出的宽度22对应于第一射束整形部段2的直径。

[0089] 射束整形器的其他实施方式可以设计成使得第一射束整形部段的自由数值孔径为射束整形器的自由数值孔径的50%或更小。例如,如图4a至图4d中所示,射束整形器40、50、60、70具有自由数值孔径14b,该孔径14b可以在0.03至0.3、优选地0.075至0.15、更优选地0.09至0.12的范围内。另外,第一射束整形部段2具有自由数值孔径14a,在一些示例中,孔径14a可以对应于第一射束整形部段的宽度(或直径)22。根据图4a至图4d的示例,第一射束整形部段的自由数值孔径14a在量上达到射束整形器的自由数值孔径14b的大约50%。由此,可以实现优选的射束整形。例如,在入射到射束整形器上的激光束的高斯强度分布的情况下,第一射束整形部段的自由数值孔径,例如直径 δ ,为射束整形器的自由数值孔径的

50%或更少的上述要求允许激光束功率在第一射束整形部段和第二射束整形部段上的大致均匀的分布。此外,上述要求允许相对于射束方向至少在激光束腰后方的垂直于射束方向的优选的强度分布。此外,在第一射束整形部段和第二射束整形部段的像差设计的情况下,激光束功率可以在中央像差部分与外围像差部分之间均匀地分布。

[0090] 在其他实施方式中,射束整形器可以包括选自近红外(NIR)有效材料和抗反射涂层的至少一种元素。例如,射束整形器可以由在780nm至3 μ m的波长范围内折射的材料形成。而且,射束整形器可以包括诸如ZnS,SiO₂或蓝宝石之类的折射材料或由其形成。附加地或替代地,射束整形器可以在其表面上例如至少部分地具有基于氧化钽、氧化锆或氧化钪以及其他已知的涂层材料的抗反射涂层。

[0091] 本发明的一个实施方式涉及一种用于对工件进行激光束处理、特别是进行激光束切割的装置,该装置包括至少一个根据本发明的射束整形器。

[0092] 图5示意性地示出了根据本发明的实施方式的示例的用于激光束处理的装置80以及由此产生的朝着工件100传播并且具有射束方向15的激光束的局部截面图。该示例的装置80包括如图4a中所示的射束整形器40。装置80可以形成为激光加工头,特别是形成为激光切割头。

[0093] 用于激光束处理的装置可以包括至少两个不同的根据本发明的射束整形器。这允许调节用于不同的射束处理的装置。

[0094] 根据一些示例,用于激光束处理的装置可以包括用于改变入射在射束整形器中的至少一个射束整形器上的激光束宽度或直径的装置。由此,可以改变激光束的垂直于射束方向的强度分布和/或光斑尺寸。这允许例如根据对于不同材料的工件或对于诸如切割或刺穿之类的不同的射束处理的需要而对用于工件的处理的激光束进行优选的整形。图5示出了聚焦透镜82作为用于改变入射到射束整形器40上的激光束宽度或直径的装置的示例。替代性地或附加地,可以提供光圈作为用于改变入射到射束整形器中的至少一个射束整形器上的激光束宽度或直径的装置。另外,用于改变激光束宽度或直径的装置可以用于改变用于激光束处理的装置的放大率,即,用于产生激光束的放大倍数。

[0095] 根据实施方式的用于激光束处理的装置可以进一步包括以下部件中的至少一者:激光源,特别是提供500W或更高的激光束功率的源;加工头,该加工头中设置有射束整形器中的至少一个射束整形器;光圈,该光圈相对于射束方向位于射束整形器中的至少一个射束整形器的前方;聚焦透镜,该聚焦透镜相对于射束方向位于射束整形器中的至少一个射束整形器的前方或后方;防护窗,该防护窗相对于射束方向位于射束整形器中的至少一个射束整形器的后方;调节装置,该调节装置用于横向于激光束方向地调节射束整形器中的至少一个射束整形器;定位装置,该定位装置用于将射束整形器中的至少一个射束整形器定位在激光束之内和/或之外;以及激光处理平面,特别是切割平面,其位于激光束的激光束腰处或后方。

[0096] 实施方式的激光源,例如光纤激光器,可以提供500W或更高,优选地4000W或更高,以及更优选地8000W或更高的激光束功率。这是由于以下事实:根据实施方式的射束整形器的特定设计允许对高功率激光束进行整形。

[0097] 实施方式的加工头不仅可以包括至少一个射束整形器,而且还可以包括本文提到的用于激光束处理的装置的其他部件,诸如光圈、聚焦透镜、防护窗和调节装置。

[0098] 该装置的一些实施方式的光圈允许限定入射激光束的外边界。例如,如图5所示的激光束的外边界81可以通过光圈形成。该光圈可以限定该装置的加工头的自由数值孔径,该自由数值孔径例如被设置为对应于射束整形器的自由数值孔径。

[0099] 一些实施方式包括如以上所限定的聚焦透镜。其他实施方式可能不需要聚焦透镜,例如在不需要对激光束进行聚焦的情况下,或者在如上面提到的射束整形器的第一射束整形部段和第二射束整形部段中的至少一者包括聚焦光学部分的情况下。在另外的实施方式中,聚焦透镜和/或如上所限定的第一射束整形部段和第二射束整形部段可以用于改变用于激光束处理的装置的放大率,例如用于产生激光束的放大倍数。

[0100] 在用于激光束处理的装置的示例中,相对于射束方向位于射束整形器中的至少一个射束整形器后方的防护窗遮蔽了射束整形器。由此,可以避免在处理期间射束整形器被工件的材料污染和/或损坏。然而,根据一些示例,防护窗可以不是必需的。

[0101] 使用实施方式的调节装置,可以例如横向地调节射束整形器的位置,例如,使得其中心光轴在激光束内居中布置。

[0102] 在一些实施方式中,定位装置允许将射束整形器定位在激光束之外,使得激光束可以被引导向工件而不被整形。

[0103] 用于激光束处理的装置的另外的实施方式可以包括或提供位于激光束的激光束腰处或其后方的激光束处理平面,特别是切割平面。在一些示例中,用于激光束处理的装置包括用于将工件、特别是工件的表面相对于射束方向定位在激光束处理平面处,即,激光束的激光束腰处或其后方的工件支撑件。这些实施方式利用具有垂直于射束方向的大致均匀的强度分布的激光光斑促进工件的处理。

[0104] 根据用于激光束处理的装置的另外的示例,射束整形器中的至少一个射束整形器可以被设计成单独地更换。在用于激光束处理的装置的其他示例中,射束整形器中的至少一个射束整形器和防护窗能够被设计为单独地或一起更换。此外,射束整形器中的至少一个射束整形器和防护窗可以形成整体单元。

[0105] 本发明的另一实施方式涉及用于对工件的进行激光束处理、特别是进行激光束切割的根据本发明的任一实施方式的射束整形器的用途。

[0106] 本发明的另一个实施方式是用于对工件进行激光束处理、特别是进行激光束切割的根据本发明的任一实施方式的装置的用途。

[0107] 本发明的一个实施方式涉及一种用于对工件进行激光束处理,特别是进行激光束切割的方法,该方法包括通过根据本发明的任一实施方式的射束整形器对激光束进行整形。

[0108] 根据另外的实施方式的方法,激光束可以具有激光束腰和射束方向,该方法包括相对于射束方向至少在激光束腰后方、特别是至少在腰部区域后方形成垂直于射束方向的大致均匀的强度分布。

[0109] 激光束的腰部区域可以是激光束的腰部所在的区域。在腰部区域内以及相对于射束方向的腰部区域后方,第一波前和第二波前可以例如通过至少部分地非相干的叠加而彼此至少部分地叠加。由此,可以至少在激光束腰后方,特别是至少在激光束腰区域后方形成大致均匀的强度分布。第一波前可以至少部分地是球面形的,而第二波前可以至少部分地是平行的。激光束的腰部区域可以是垂直于射束方向的平面——由第一波前形

成的激光束射线的焦点位于该平面中——至垂直于射束方向的平面——由第二波前形成的外侧激光束射线的焦点位于该平面中——的范围。由第一波前形成的射线的焦点可以对应于由第二波前形成的内侧激光束射线的焦点。

[0110] 大致均匀的强度分布可以是平顶分布。在该方法的一些实施方式中,可以在激光束的具有平行于射束方向至少5mm、优选地至少10mm、更优选地至少20mm的长度的区域中形成大致均匀的强度分布和/或平顶分布。根据一些示例,第一波前可以形成射束的圆形强度分布并且第二波前可以形成射束的环形强度分布,这些强度分布总和形成圆形的平顶分布。平顶强度分布的半径可以垂直于射束方向地在0.1mm至10mm、优选地0.2mm至8mm,更优选地0.3mm至5mm,最优选地0.3mm至0.9mm的范围内。由本发明的实施方式形成的平顶分布的示例在图7中示出。

[0111] 另外的实施方式的方法可以包括以下步骤中的至少一个步骤:将射束整形器定位在激光束中;横向于激光束方向地调节射束整形器;将工件相对于射束方向定位在激光束腰处或其后方;在工件处形成宽度或直径为0.1mm至10mm、优选地0.2mm至8mm、更优选地0.3mm至5mm、最优选地0.3mm至0.9mm的激光束斑;转变垂直于射束方向的强度分布;改变入射在射束整形器上的激光束宽度或激光束直径;以及将射束整形器定位在激光束之外。

[0112] 通过横向于激光束方向地调节射束整形器的位置,可以例如调节射束整形器,使得其中心光轴在激光束内居中布置。

[0113] 将工件相对于射束方向定位在激光束腰处或其后方的步骤允许不同的工件处理或工件处理步骤。由此,例如可以使用不同的激光束斑的宽度或直径和/或不同的强度分布。这在用于处理不同的工件,例如不同材料或厚度的工件时可能是特别需要的。其他示例是处理工件的不同激光处理部位,例如具有不同宽度、直径或深度的部位,或处理工件的不同深度水平的激光处理部位。

[0114] 这对转变垂直于射束方向的强度分布和/或改变入射在射束整形器上的激光束宽度或激光束直径的步骤同样适用,每个步骤都允许实施不同的工件处理或不同的工件处理步骤。在一些实施方式中,通过改变入射在射束整形器上的激光束宽度或直径来执行转变垂直于射束方向的强度分布。

[0115] 此外,在实施方式的方法中,强度分布和/或激光束斑可以是圆形的。

[0116] 将射束整形器定位在激光束之外的步骤允许激光束能够被引导向工件而不被整形。

[0117] 示例

[0118] 图5示意性地示出了根据本发明的实施方式的示例的用于激光束处理的装置80的局部截面图。图5还图示了由装置80整形的并且具有代表传播方向的射束方向15的激光束。在本示例中,装置80用作激光切割头。然而,装置80也可以用于任何其他激光处理。

[0119] 装置80包括根据图4a所示的实施方式的射束整形器40。本示例的射束整形器40相对于光轴6旋转对称。在相对于激光束方向15的射束整形器40的前方设置有聚焦透镜82。另外,相对于激光束方向15,该示例包括位于射束整形器40后方的防护窗83。然而,在本发明的实施方式中,聚焦透镜82和防护窗83是可选特征。装置80包括或提供激光束处理平面或切割平面92,待处理的工件100的表面相对于射束方向在激光束的腰部处或其后方定位在该平面92处。

[0120] 具有射束方向15和外边界81的激光束被引导到射束整形器40上。该示例的外边界81对应于该装置的加工头的数值孔径14c。激光束由聚焦透镜82聚焦。在贯穿射束整形器40的同时,激光束被整形。这使得通过包括轴锥形表面13的第二射束整形部段3形成环形激光射线束84。另外,通过具有球面形表面12的中央第一射束整形部段2形成圆形激光射线束85。激光射线束84包括大致平行的波前。激光射线束85包括大致球面形的波前。由于激光束的整形,传播的环形激光射线束84和圆形激光射线束85至少在围绕激光束的腰部的区域86内彼此叠加。

[0121] 图6更详细地示意性地描绘了区域86。激光束沿着射束方向15传播,并且被整形为包括腰部87a和腰部区域87b。腰部87a位于由虚线89表示的平面处,并且反映激光束的最小直径。腰部区域87b的范围为从由虚线88表示的平面到由虚线90表示的平面。由射线束85形成的激光束射线的焦点位于由虚线88表示的平面中。射线束84的外侧激光束射线的焦点位于由虚线90表示的平面中。根据本示例,射线束85的焦点对应于射线束84的内侧激光束射线的焦点。

[0122] 相对于射束方向在腰部区域87b的前方(图6中在线88的左侧),来自入射在射束整形器40上的激光束的外围部分的通过轴锥形表面13形成的环形激光射线束84围绕来自入射在射束整形器40上的激光束的中央部分的通过球面形表面12形成的圆形激光射线束85。

[0123] 环形射线束84传播穿过腰部区域87b,从而保持了平面波。因此,直至虚线90,激光束包括准贝塞尔光束。直至平面89,环形射线束84会聚。在平面89处,束84的在腰部87a前面的内射线边界转变为束84的在腰部后面的外射线边界。因此,相对于传播方向在虚线89和腰部87a后方,激光射线束84被转变为发散的环形射线束。此外,在腰部87a处,束84的在腰部区域87b前面的内射线边界被转变为位于整个激光束的相对于射束方向在腰部87a后方且在腰部区域87b后方的外射线边界处。

[0124] 在腰部区域87b的开始处,即,在虚线88处,更具体地在激光射线束85的大致球面形波前的焦点处,发生大致球面形波前的点反射。由此,圆形激光射线束85在其焦点后方被转变为发散的圆形射线束,该发散的圆形射线束具有对应于整个激光束的外射线边界的外射线边界。

[0125] 结果,相对于射束方向在腰部区域87b内和后方,即,在虚线88处开始,两个激光射线束84和85大致非相干地彼此叠加。

[0126] 由此,在激光束的腰部区域87b之内和后方,在垂直于射束方向的不同平面中,形成通过如图7所示的来自PRIMES的光斑监视器测量的不同的强度分布以及如图8所示的光斑直径。图8示出了在不同的激光束长度位置处测量的环形强度分布和相应地计算的束斑,激光束的平面90代表长度位置0,即,在0mm的长度处。图8的上下行反映了装置80的分别在激光束放大率为2.1和1.5下的光斑。

[0127] 在平面89中,即,在激光束的腰部87a处,形成如图7a所示的具有尖峰的强度分布,其与图8中所示的在长度位置-3(即,-3mm)处的相当窄的激光束斑相对应。

[0128] 在从平面89开始的传播方向上,即,从激光束的腰部87a开始,强度分布和光斑直径变宽,如图7和图8分别所描绘的。从图7b和从图8可见,图8和图7b示出了在长度位置0处,示出了在激光束的平面90中形成的强度分布和激光光斑,该强度分布和激光光斑各自具有与在腰部87a处平面89中形成的强度分布和激光光斑的半径相比更大的半径。另外,至少从

长度位置0(即,0mm)开始,形成了具有陡峭的边缘的大致平坦的均一的强度分布。这种趋势沿激光束的传播方向继续,如可从图7c至图7f和图8的长度位置3至12(根据本示例的3mm至12mm)中得出的。

[0129] 因此,在传播方向上在腰部87a后面,特别是至少在腰部区域87b后方,甚至在距腰部87a的较大距离处也形成具有陡峭边缘的大致平坦的均一的强度分布,即,激光束的平顶强度分布。

[0130] 此外,如图8所示,在本示例中,从1.5的放大率开始,将放大率增大到2.1导致强度从外部环形分布变为中央圆形分布。

[0131] 使用具有根据图4a的射束整形器的根据本示例的装置,将射束参数乘积在3至4的范围内且功率在5000W至8000W范围内的激光束通过一个具有64.1mm焦距长度的聚焦透镜以2.3的放大率设定值成像在软钢的工件100上,20mm SSAB Laser 250C,以用于激光切割。

[0132] 该装置在光纤与透镜之间的距离为96mm、光纤与射束整形器之间的距离为129.5mm、光纤与保护玻璃之间的距离为131.6mm、透镜与工件之间的距离为222mm的状态下使用。

[0133] 射束整形器由具有约为1.45的折射率的熔融石英形成。射束整形器的轴锥角约为 0.344° ,球面形表面的半径约为 $667\text{mm} \pm 10\text{mm}$,并且第一射束整形部段的宽度约为8mm。

[0134] 在激光切割处理开始时,将工件100的未处理表面放置在装置的切割平面92处,本示例的切割平面对应于如图5所示的垂直于射束方向的位于激光束腰87a后方的平面。激光束以1100mm/min的切割速度被引导到工件上。

[0135] 与使用如图1所示的现有技术的激光切割装置获得的波纹状切割表面相比,由本示例形成的切割表面如由图2的图像所示地具有减小的表面波纹幅度。图1和图2都是通过 Alicona Infinite Focus SL 3D显微镜使用5倍放大率获得的。

[0136] 结论

[0137] 根据本发明的实施方式的射束整形器允许形成下述的激光束,该激光束具有垂直于其传播方向的射束形状,即束斑,和/或垂直于其传播方向的强度分布,这会使得在工件的清晰界定区域内进行能量和热的传递。例如,强度分布可以为垂直于射束方向大致均匀的,例如,大致平坦的均一的强度分布。另外,强度分布可以具有陡峭的边缘,因此可以在激光束的外边界处被清楚地定界。在一些示例中,激光束可以具有垂直于其传播方向的圆形束斑和圆形强度分布。通过某些实施方式,可以实现激光束的平顶能量分布。此外,传播的激光束可以在不同的激光束长度位置处反映这种有利的形状和强度分布,例如在传播方向上的腰部后方并且定位成与激光束的腰部相距很大距离的束斑处反映这种有利的形状和强度分布。由此,利用激光束腰后方的束斑,例如在切割期间随着切割深度的增大,熔融材料的每表面单位的热传递能够被减少,从而形成具有减小的表面波纹、尤其是沿着切割表面的整个深度具有减小的表面波纹的高质量的切割表面。

[0138] 利用本发明的一些实施方式,可以通过由一个单元形成的射束整形器来实现有利的射束形状,该射束整形器例如可以一体地形成,例如包括至少一个光学元件。在具有至少一个球面形或非球面形表面和/或至少一个轴锥形表面的实施方式的射束整形器的情况下,该表面过渡(一个或多个)可以是连续的。可以容易地在实施方式的射束整形器上施加防反射涂层。这是为什么根据本发明实施方式的射束整形器也可以用于对高功率激光束进

行整形的原因之一。

[0139] 根据实施方式,可以产生点火界面,可以通过该点火界面形成具有较小幅度的周期性表面波纹,在切割表面的几毫米之后,例如从切割表面的大约2mm至3mm的深度水平,该周期性表面波纹被熔融的薄膜覆盖。在实施方式中,点火界面表示将工件的燃烧反应的区域与工件的流体或固体材料分开的界面或过渡区域。此外,由实施方式提供的点火界面足够大以提供允许足够质量的诸如氧气或氮气之类的活性或惰性气体流进入处理区域的切缝。另外,通过一些实施方式,可以提供圆形能量输入或能量流到工件的最上边缘和下面,从而允许圆形点火界面具有在0.1mm至10mm之间,例如0.1mm至5mm之间、优选地0.2mm至8mm之间、更优选地0.3mm至5mm之间、最优选地0.3mm至0.9mm之间的半径。在一些示例中,对于厚度为30mm的工件,圆形点火界面的半径可以在0.1mm至1mm的范围内。此外,根据实施方式,由于可以提供的有利的射束形状和点火界面,可以实现在工件的最上边缘处的至少800kW/cm²的能量流。此外,在点火界面外部,能量流可以保持最小,例如大约为0kW/cm²。

[0140] 此外,本发明的实施方式允许在激光切割厚的工件的情况下,即使在切割表面的更深处也可以避免形成热点和明显的表面波纹。这归因于有利的射束整形,获得了可以在切割表面的几毫米、例如大约2毫米至3毫米的水平处已经发散的激光束。由此,从切割表面的大约2mm至3mm的深度水平开始,经整形的激光束可以实现比在工件的最上边缘处实现的能量流和热输入低的能量流和热输入。因此,实施方式的射束整形允许点火动力稳定化和过程稳定性。

[0141] 附图标记列表

[0142] 1 射束整形器

[0143] 2 第一射束整形部段

[0144] 3 第二射束整形部段

[0145] 4 第一光学元件

[0146] 5 第二光学元件

[0147] 6 光轴

[0148] 10 射束整形器

[0149] 12 球面形或非球面形表面

[0150] 13 轴锥形表面

[0151] 14a 第一射束整形部段的自由数值孔径

[0152] 14b 射束整形器的自由数值孔径

[0153] 14c 装置的加工头的数值孔径

[0154] 20 射束整形器

[0155] 22 宽度或直径

[0156] 23 直线

[0157] 30 射束整形器

[0158] 32 球面半径

[0159] 33 基线

[0160] 40 射束整形器

[0161] 42 球面形或非球面形表面

- [0162] 43 轴锥角
- [0163] 50 射束整形器
- [0164] 60 射束整形器
- [0165] 70 射束整形器
- [0166] 80 用于激光束处理的装置
- [0167] 81 激光束的外边界
- [0168] 82 聚焦透镜
- [0169] 83 防护窗
- [0170] 84 激光射线束
- [0171] 85 激光射线束
- [0172] 86 区域
- [0173] 87a 激光束腰
- [0174] 87b 激光束腰区域
- [0175] 88 虚线
- [0176] 89 虚线
- [0177] 90 虚线
- [0178] 92 激光束处理平面
- [0179] 100 工件

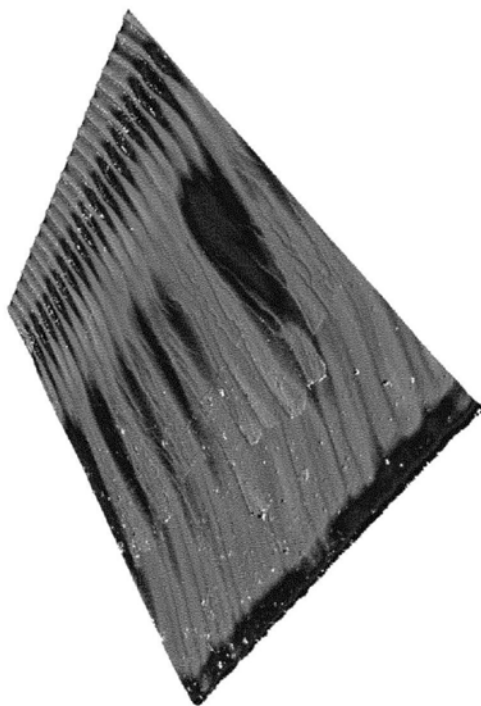


图1

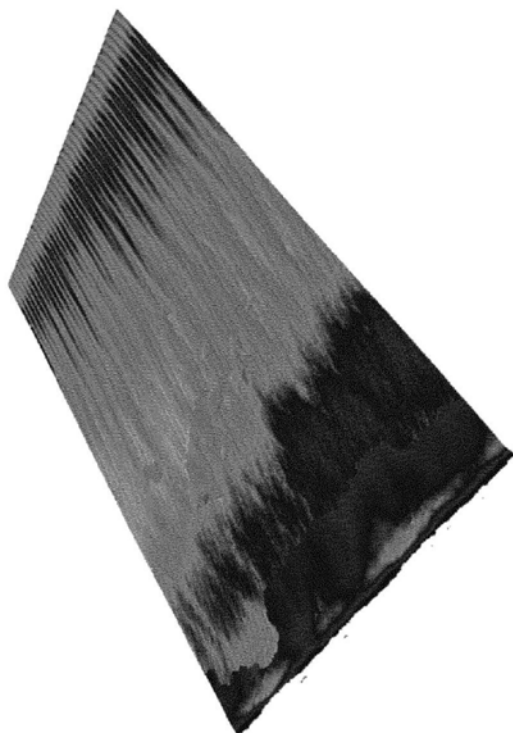


图2

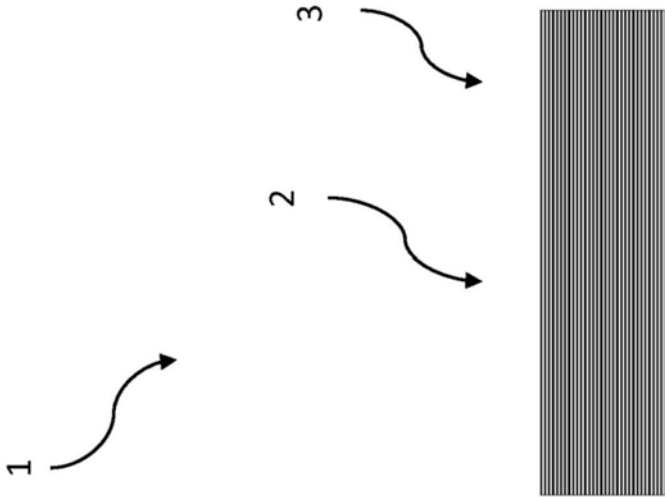


图3a

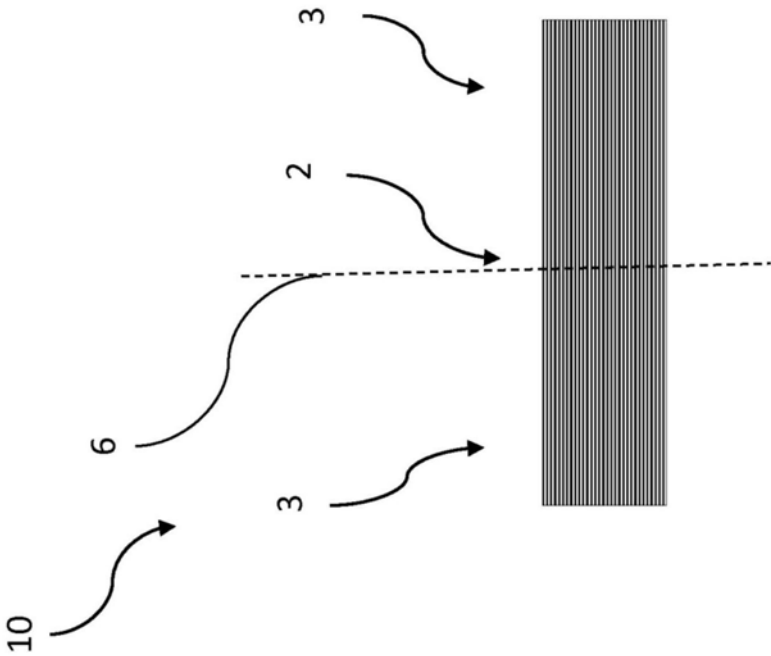


图3b

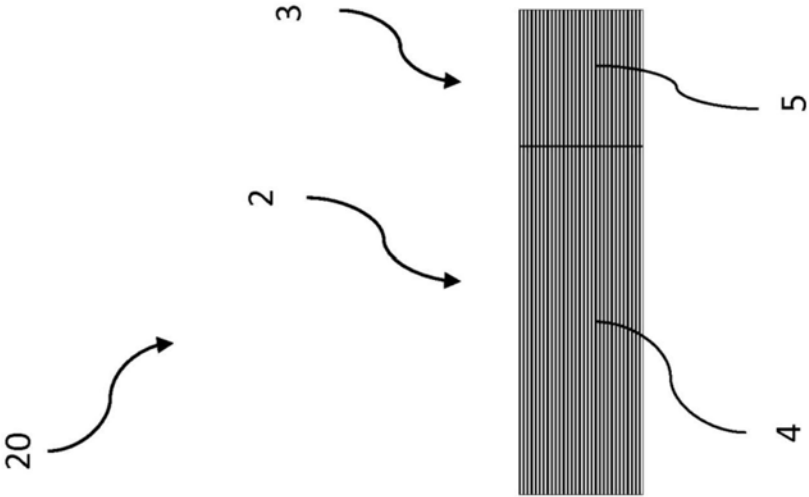


图3c

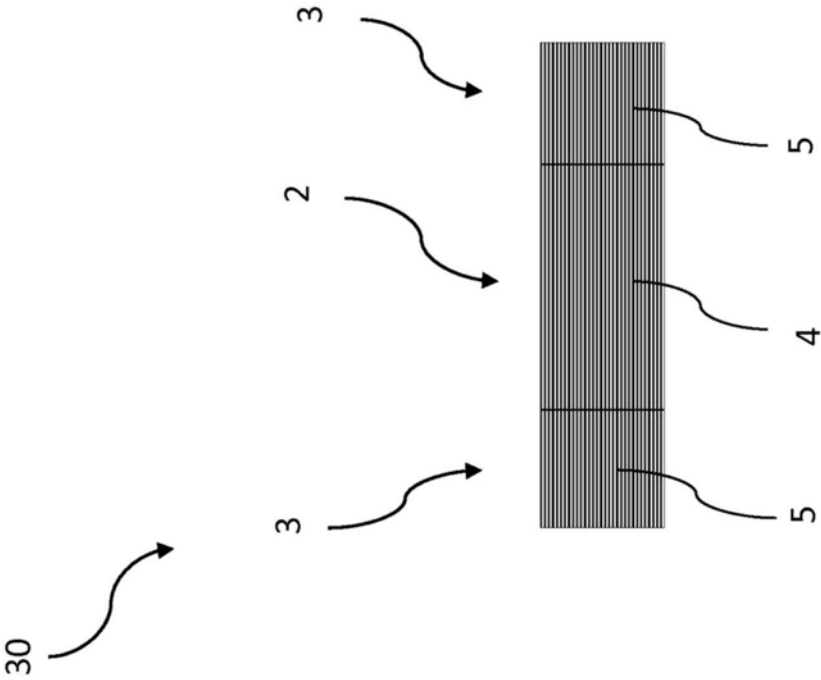


图3d

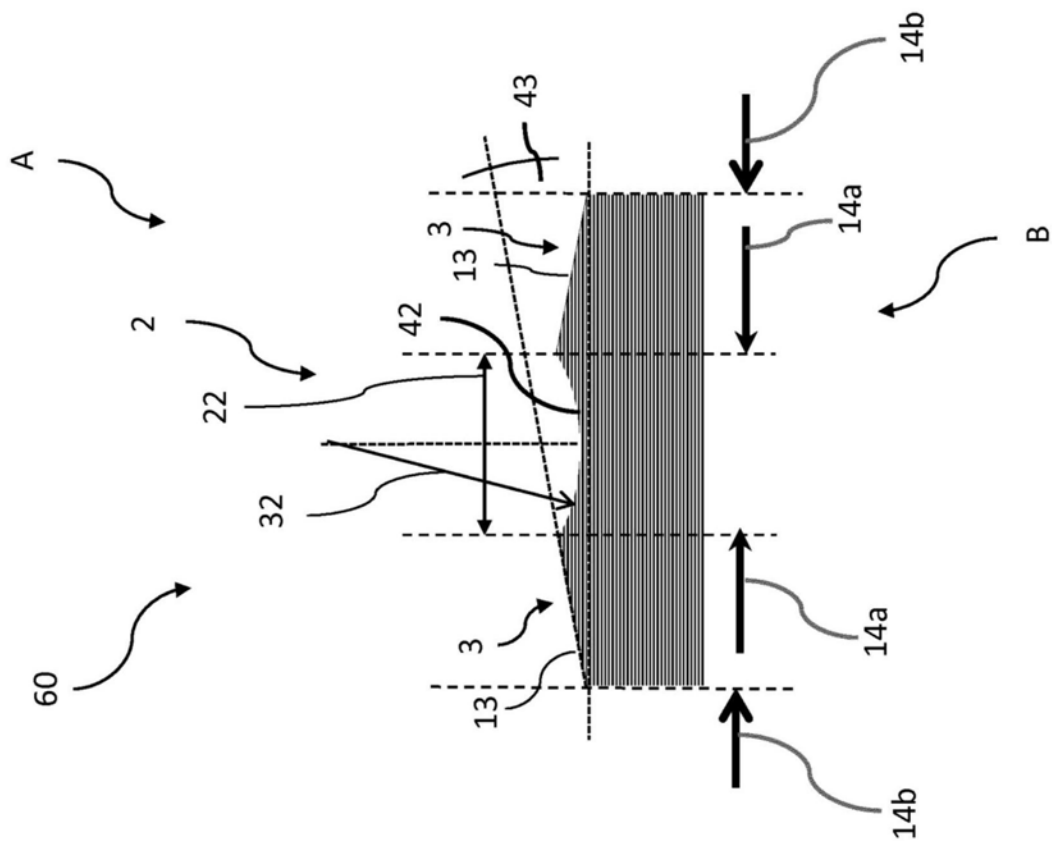


图4c

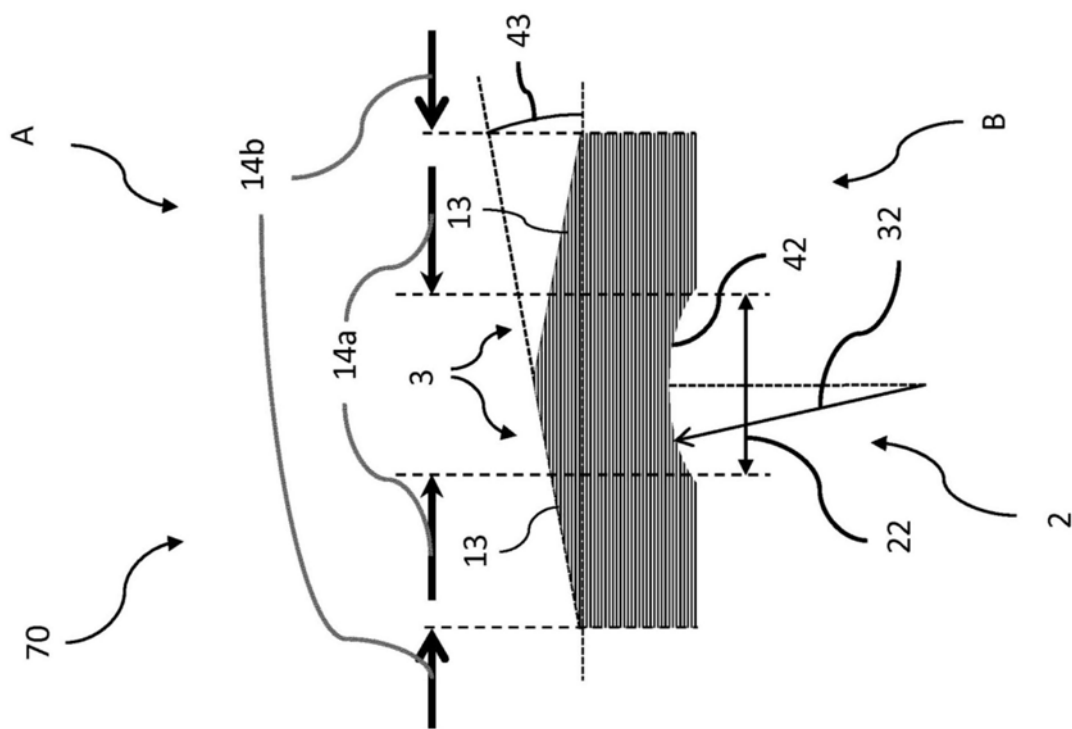


图4d

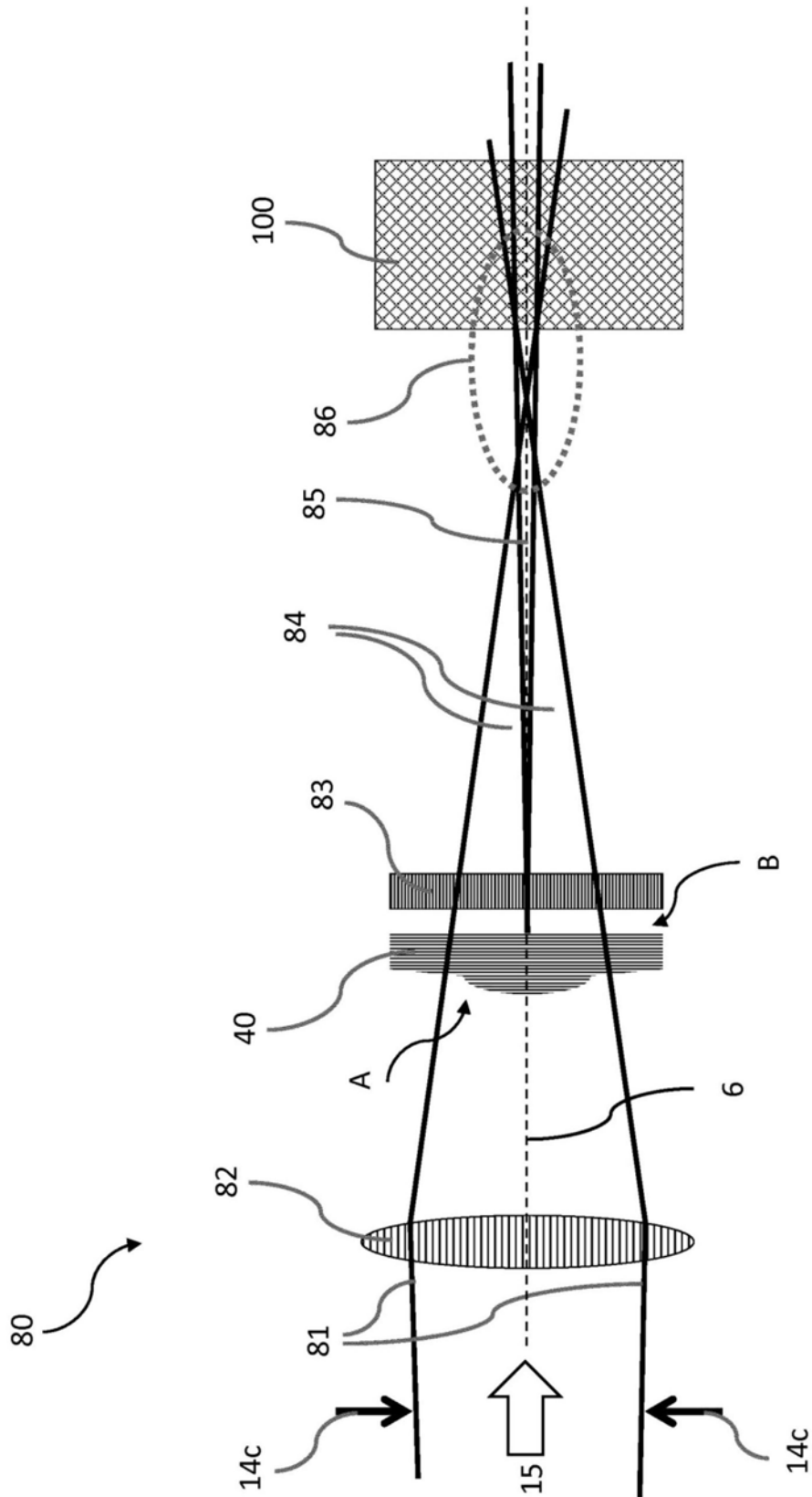


图5

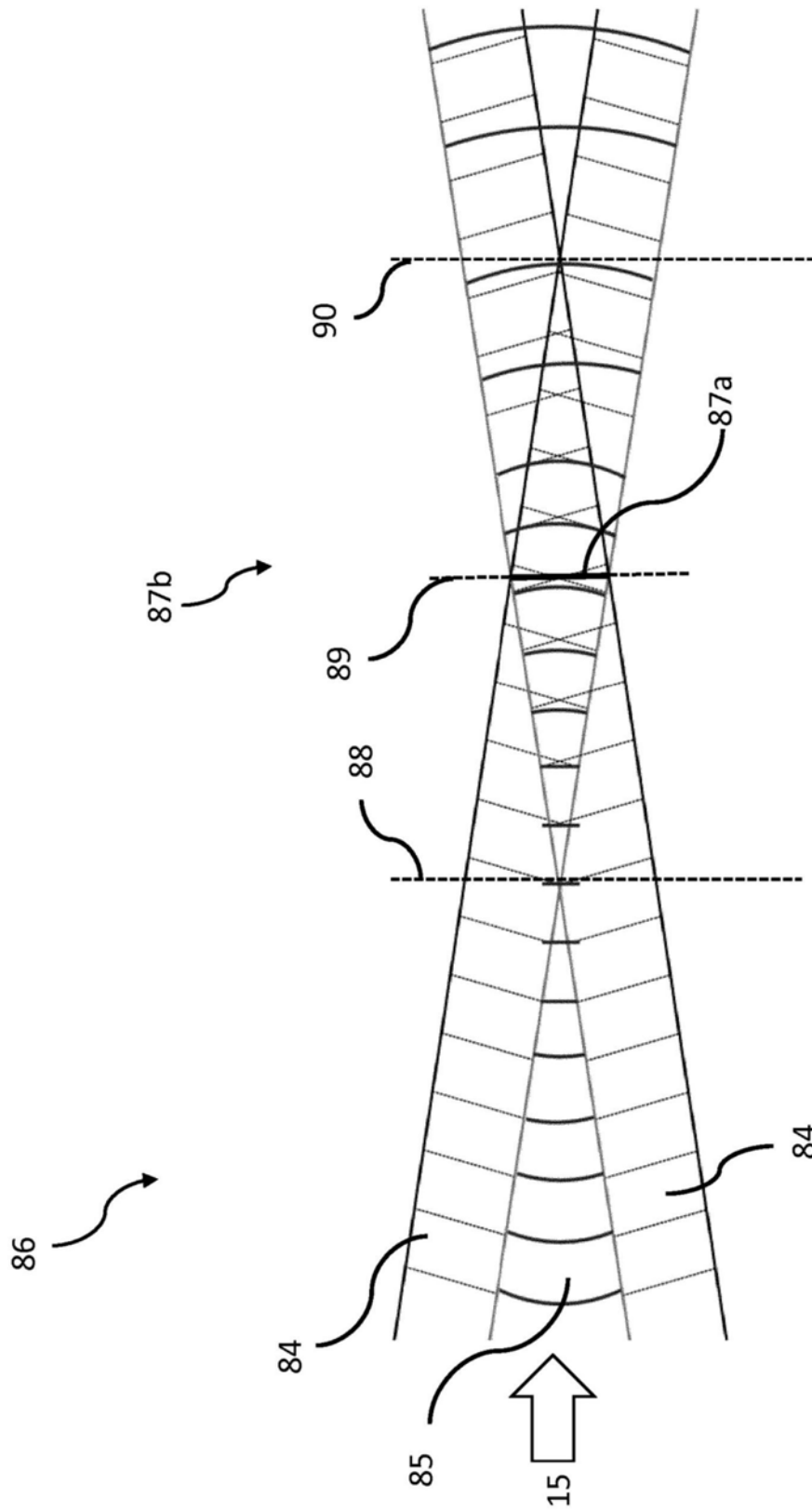


图6

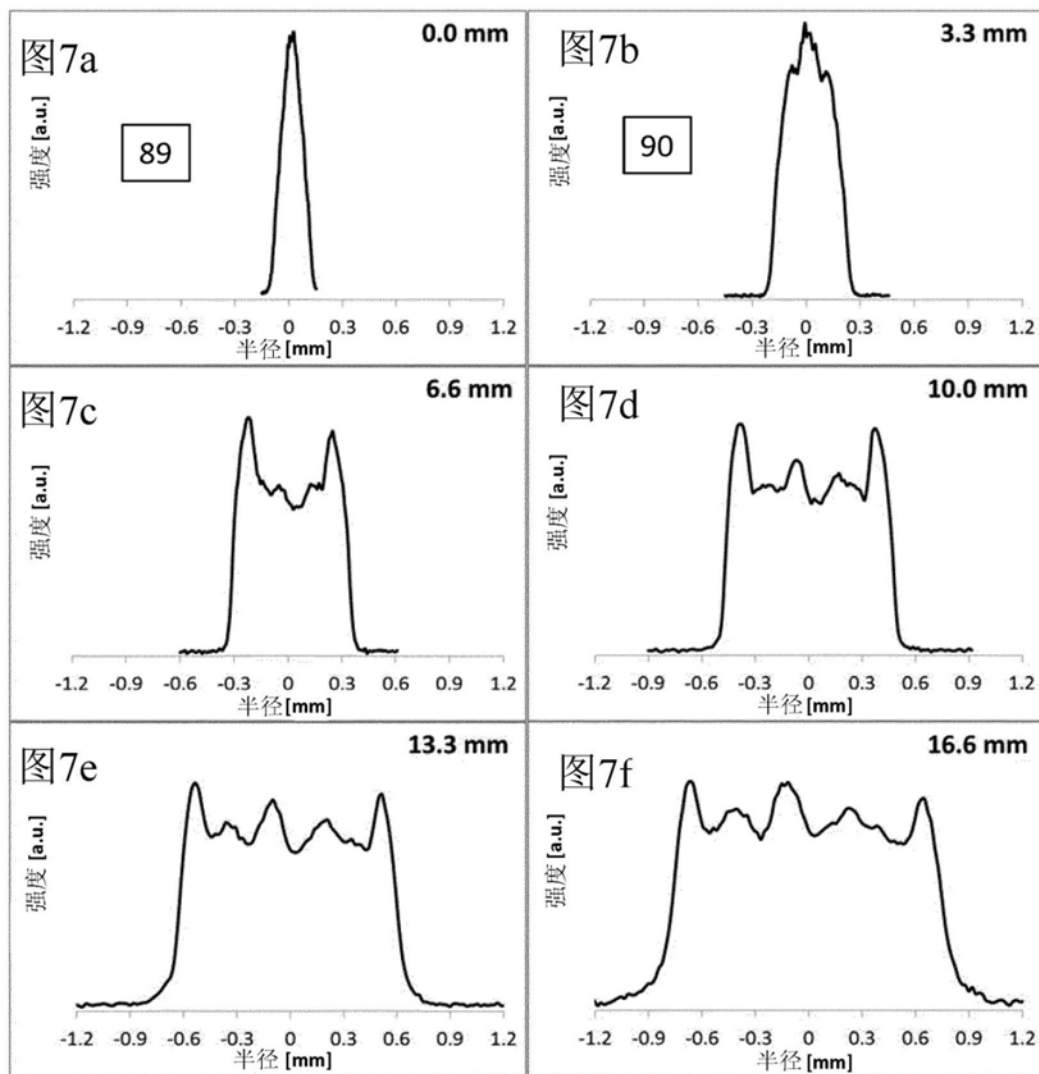


图7

