



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103562774 B

(45)授权公告日 2017.07.04

(21)申请号 201280024784.0

(22)申请日 2012.03.15

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103562774 A

(43)申请公布日 2014.02.05

(30)优先权数据
102011005835.4 2011.03.21 DE

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.11.21

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2012/054575 2012.03.15

(87)PCT国际申请的公布数据
W02012/126804 DE 2012.09.27

(73)专利权人 通快激光有限责任公司

地址 德国施兰贝格

(72)发明人 K·瓦尔梅罗特 C·蒂尔科恩
I·扎维沙

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002

代理人 郭毅

(51)Int.Cl.
G02B 27/09(2006.01)
G02B 17/08(2006.01)

审查员 杨钊

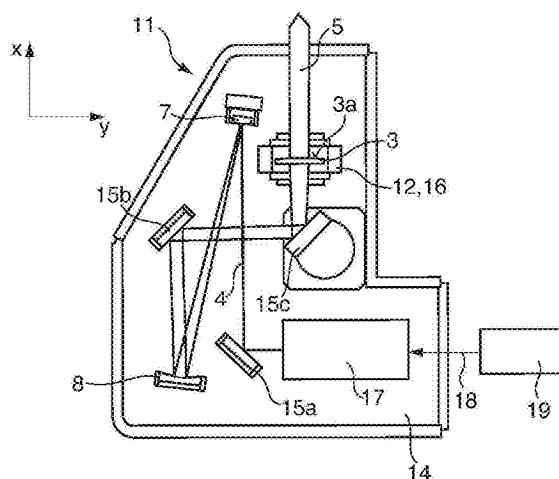
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

用于扩宽激光射束的装置和方法

(57)摘要

本发明涉及一种用于扩宽激光射束、特别是紫外激光射束(4)的装置(11),所述装置包括望远装置(6)和在发散的光路中设置在所述望远装置(7,8)后面的透镜(3),所述望远装置具有用于扩宽入射的、准直的激光射束(4)的两个球面折叠镜(7,8),所述透镜具有用于经扩宽的激光射束(5)的准直的球面透镜面(3a),其中,所述光路中的第一折叠镜是凸地弯曲的球面折叠镜(7),其中,所述光路中的第二折叠镜是凹地弯曲的球面折叠镜(8)。本发明也涉及用于扩宽激光射束的所属的方法。



1. 一种用于扩宽激光射束的装置(11,13),所述装置包括:

望远装置(6)和在发散的光路中设置在所述望远装置后面的透镜(3),所述望远装置具有第一、第二球面折叠镜(7,8),所述透镜具有用于经扩宽的激光射束的准直的球面透镜面(3a),其中,光路中的第一球面折叠镜是凸地弯曲的球面折叠镜(7),所述凸地弯曲的球面折叠镜(7)设置成用于扩宽入射的、准直的激光射束,其中,光路中的第二球面折叠镜是凹地弯曲的球面折叠镜(8),所述凹地弯曲的球面折叠镜(8)布置在来自第一球面折叠镜的发散的光路中并设置成使所述发散的光路保持发散并且设置成与所述透镜(3)一起在所述发散的光路中准直经扩宽的激光射束以得到准直的出射激光射束。

2. 根据权利要求1所述的装置,所述激光射束是紫外激光射束。

3. 根据权利要求1所述的装置,所述装置还包括用于在经准直的激光射束的射束方向(X,Y)上移动所述透镜(3)的移动装置(12)。

4. 根据权利要求1至3之一所述的装置,其中,所述透镜是平凸透镜,其凸的球面透镜面(3a)背向所述望远装置(6)。

5. 根据权利要求1至3之一所述的装置,其中,入射到所述望远装置(6)中的激光射束的射束方向(X)和从所述望远装置(6)出射的激光射束的射束方向(X)相互平行地延伸。

6. 根据权利要求1至3之一所述的装置,其中,入射到所述望远装置(6)中的激光射束的光路与从所述望远装置(6)出射的激光射束的光路相交。

7. 根据权利要求1至3之一所述的装置,所述装置还包括用于所述激光射束从红外范围中的波长到紫外范围中的波长的频率转换的频率转换装置(17)。

8. 根据权利要求1至3之一所述的装置,所述装置还包括用于产生激光射束的激光器(19)。

9. 根据权利要求8所述的装置,所述激光射束具有红外范围中的波长。

10. 根据权利要求1至3之一所述的装置,所述装置还包括用于相对于经扩宽的、发散的激光射束的射束方向(X,Y)翻转所述透镜(3)的翻转装置(16)。

11. 根据权利要求1至3之一所述的装置,其特征在于,所述球面透镜面的弯曲半径、所述凸地弯曲的球面折叠镜的弯曲半径和所述凹地弯曲的球面折叠镜的弯曲半径协调一致,以使得出射的激光射束是经准直的并且像差基本上相互补偿,从而获得衍射限制的成像。

12. 一种用于借助于具有第一、第二球面折叠镜(7,8)的望远装置(6)扩宽激光射束的方法,其中,光路中的第一球面折叠镜是凸地弯曲的球面折叠镜(7),其中,光路中的第二球面折叠镜是凹地弯曲的球面折叠镜(8),所述方法包括:

在所述光路中的第一球面折叠镜(7)处扩宽入射的、准直的激光射束;

在布置于来自所述第一球面折叠镜(7)的发散的光路中的第二球面折叠镜(8)处以及在所述发散的光路中在所述望远装置后面设置的透镜(3)处准直经扩宽的激光射束,所述透镜(3)具有球面透镜面(3a),

其中,第二球面折叠镜(8)设置成使所述发散的光路保持发散并且设置成与所述透镜(3)一起在所述发散的光路中准直经扩宽的激光射束以得到准直的出射激光射束。

13. 根据权利要求12所述的方法,所述激光射束是紫外激光射束。

14. 根据权利要求12或13所述的方法,其特征在于,所述球面透镜面的弯曲半径、所述凸地弯曲的球面折叠镜的弯曲半径和所述凹地弯曲的球面折叠镜的弯曲半径协调一致,以

使得出射的激光射束是经准直的并且像差基本上相互补偿,从而获得衍射限制的成像。

用于扩宽激光射束的装置和方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于扩宽激光射束、特别是紫外激光射束的装置以及一种用于扩宽激光射束的所属方法。

背景技术

[0002] 紫外激光器、即产生紫外波长范围(具有可见波长范围以下的波长)中的激光辐射的激光器主要在微加工中越来越重要。这提高了对高功率和中等功率的紫外激光器的需求。紫外激光射束的产生经常通过非线性晶体中的红外激光射束的频率转换实现。一方面,所述频率转换需要非线性晶体中的高红外强度和小射束发散,以便实现从红外波长范围到紫外波长范围的有效转换;另一方面,强度、特别是所产生的紫外辐射的强度不允许太高,以便避免晶体的破坏或者其光学特性的快速劣化。

[0003] 这些条件例如可以(但不仅仅)在具有大约5ps的范围中的紫外脉冲长度和大于1μJ的紫外脉冲能量或在大约1ps的脉冲长度和大于0.2μJ的紫外脉冲能量的超短脉冲激光中导致高强度的、准直的或几乎准直的紫外激光射束,其直径在转换结构的延展上没有显著增大,即其强度在所述长度上没有显著减小。

[0004] 具有高强度的持久的紫外辐射在透射的光学器件(例如,由石英玻璃构成的透镜或其他光学器件)中并且可能也在其防反射涂层中导致不期望的、永久性的材料改变,这可以使这些透射的光学器件的透射特性恶化直至不可使用。而且,可以通过紫外辐射如此改变光学器件的未经精确控制的环境中的不同气体(例如,烃或硅酮化合物)的残余,从而导致光学器件上的沉积,其同样在一定时间之后可以导致其不可使用性。特别是在紫外辐射的非常高强度下可以如此快地发生劣化,使得用于紫外激光射束的透射的光学器件的经济使用不再可能。

[0005] 为了可以利用通过以上描述的方式产生的、准直的、高强度的紫外激光射束,需要使其如此扩宽,使得其强度在所期望的使用持续时间上不导致后续光学器件(例如,射束引导光学器件、射束成形光学器件或加工光学器件)的损坏。

[0006] 虽然可以通过激光射束直至后续光学器件的大的传播长度实现这样的扩宽,从而激光射束本身已经变得足够大。但这在当前情形中(其中激光射束是(几乎)准直的)很难实现,因为需要非常大的传播长度并且整个扩宽的光学器件的结构大小是有限的。

[0007] 因此,通常为了(几乎准直的)激光射束的射束扩宽使用例如伽利略镜头1形式的用于射束扩宽的装置(参见图1)。这样的镜头1具有至少两个透镜2、3,以便将入射的、准直的激光射束4转换为(在此:六倍的)扩宽的、同样准直的激光射束5。伽利略镜头1是结构简单的射束扩宽光学器件并且可以在短的结构长度和典型小的结构的情况下在使用轴向设置的球面透镜2、3的情况下如此设计,使得其在高度容忍输入射束位置的情况下导致非常小的射束变形(即输入射束的倾斜或者偏移)。在输出射束发散方面,可以通过透镜2、3之一的简单轴向移动补偿透镜2、3的半径误差或输入射束发散中的误差,而不出现经扩宽的激光射束5的横向偏移。

[0008] 然而不利地,伽利略镜头1的输入侧透镜2自身经受还未扩宽的激光射束4的高紫外强度,从而尤其在使用介电防反射涂层的输入侧透镜2时可能导致其透射特性的不可接受的劣化。作为这个问题的部分解决方案可以以未涂层、即没有防反射涂层的输入光学器件来运行伽利略镜头1。但在这种情形中通过未涂层的透镜2上的菲涅尔反射产生功率损耗。而且存在透镜材料自身与辐射相关的变化或者劣化的问题。

[0009] 已经证实,介电镜的反射特性的恶化在强紫外辐射下显著小于透射的光学器件和尤其介电防反射涂层的透射的光学器件的透射特性的恶化。因此,用于紫外辐射的射束扩宽的反射镜头实现了比透镜系统长得多的运行时间。

[0010] 图2示出具有作为Z形折叠的反射光学元件的两个球面折叠镜7、8的望远装置6,用于将入射的、准直的激光射束4(在此:六倍地)转换为扩宽的、准直的激光射束5。折叠镜7、8之间的间距在此是大约150mm,对于两个折叠镜7、8而言相同的折叠角 2α 是大约 20° 。

[0011] 然而,用于射束扩宽的非轴向镜系统如同例如在图2中示出的那样通常具有不同的缺点:或者需要非球面的光学元件,以便减少散光性和慧差,这使所述系统昂贵且调整敏感,或者这样的系统在对成像误差的应用容忍给定的情况下限于相对较大的镜半径和相对较小的折叠角,由此整个装置的大的结构变得必要,和/或所述系统限于完全特定的半径与折叠角组合以及射束特性(例如,会聚的输出射束(中间聚焦))。

[0012] 对于在图2中示出的装置,在图3中示出了反射式望远装置6的远场的四个通过模拟(“射线追踪”)产生的光斑图。对于入射的激光射束4,由高斯形的强度分布开始,其中 $1/e^2$ 直径(即强度下降到最大值的 $1/e^2$ 倍时的直径)是0.83mm,即出射的激光射束5在理想情况下在在此示出的六倍放大时应具有5mm的 $1/e^2$ 直径。模拟的反射式望远装置6的瞳孔在此如此选择,使得艾里斑9的所计算的半径(大约 $42\mu\text{rad}$)对于343nm的紫外波长大约相应于具有高斯形强度分布和5mm的 $1/e^2$ 直径的激光射束的发散角。

[0013] 除在图3中在左上方示出的轴向定向的输入射束以外,分别计算出三个另外的具有与激光射束的输入轴线 0.2° 偏差的射束,它们在右上方以及在左下方和在右下方示出。在图3中示出的(正方形的)角区域的刻度大小 S_i 在此是 $2000\mu\text{rad}$ 。因为在图3中示出的光斑基本上位于圆形的艾里斑9以外,所以反射式望远装置6对于入射的激光射束4远未衍射限制。

[0014] 通常可以在非轴向的反射式望远装置中如在图2中示出的反射式望远装置6中那样不通过各个折叠镜7、8的简单移动来补偿折叠镜7、8的半径公差或输入射束4的准直中的误差,而不导致发出的激光射束5的不期望的横向偏移。

[0015] DE 10 2007 009 318 A1同样涉及高能激光射束的扩宽的问题。在那里描述的解决方案提出,借助于透射的或反射的光学元件如此扩宽激光射束,使得可对应的能量密度保持在临界能量密度以下,以便避免随后的光学组件上的不可逆转的损坏。为了射束扩宽,在一个实施例中可以使用可以相对于激光射束倾斜 45° 的柱形凸镜和凸的柱面透镜。通过凸镜倾斜 45° 会将镜表面上的能量密度减少系数 $\sqrt{2}$,从而镜自身不遭受损坏。柱面透镜会将发散的、扩宽的激光射束转变为具有增大的射束横截面的平行光路。但这仅仅提供了在一个方向上扩宽激光射束的可能性。

[0016] 替代两个方向上的扩宽,在DE 10 2007 009 318 A1的另一实施例中提出改型一种用于射束扩宽的装置10(参见图4),其具有一个用于射束扩宽的球面凸镜7以及两个与其

柱轴线相互垂直定向的柱面透镜11、12,用于将在凸的空心镜7上发散地扩宽的激光射束转换为出射的、准直的激光射束5,即具有平行光路。然而,由于使用柱面透镜11、12,装置10是非常易受调整影响的,如以下根据图5和图6示出的那样。

[0017] 图5示出类似于图3的示图,其中入射的激光射束4和瞳孔的特性相应于图3的入射的激光射束4和瞳孔的特性,但刻度大小 S_2 更小并且是 $200\mu\text{rad}$ 。在图3中在右上方示出的远场光斑示图中,所有的射束或者光斑位于艾里斑9内,即射束分布的均方根(RMS)半径显著小于艾里斑9的半径(大约 $42\mu\text{rad}$),从而如果输入射束轴向定向则在图4中示出的光学器件对于扩宽的激光射束5是衍射限制的。但在倾斜的射束入射的情况下产生成像特性的轻微恶化,如根据在图5中的光斑示图在左上方、在左下方和在右下方看到的那样,其中在不同的方向上分别改变入射的激光射束4的场角 0.2° ,其中输入孔径位于凸镜7前面150mm。

[0018] 图6示出类似于图3和图5的远场光斑图的示图,其中不仅入射的激光射束4的特性而且瞳孔(以及刻度大小 S_2)如同在图5中左上方那样选择,但柱面透镜11、12绕射束方向分别翻转了 0.2° 。如清晰可见的那样,相应的柱面透镜11、12的微小失调导致大约 45° 下的强烈散光,这导致远场分布是非衍射限制的,因为多个光斑位于艾里斑9(半径大约 $37\mu\text{rad}$)以外。

发明内容

[0019] 本发明的任务在于,如此改进开始所述类型的装置和方法,使得可以尽可能地避免所使用的光学器件的由强激光辐射导致的劣化,以及在射束扩宽时产生仅仅小的成像误差。

[0020] 所述任务根据本发明通过一种用于扩宽激光射束、特别是紫外激光射束的装置来解决,所述装置包括:具有两个用于扩宽入射的、准直的激光射束的球面折叠镜的望远装置;在发散的光路中设置在所述望远装置后面的透镜,其具有用于经扩宽的激光射束的准直的球面透镜面,其中光路中的第一折叠镜是凸地弯曲的、球面的折叠镜,其中光路中的第二折叠镜是凹地弯曲的、球面的折叠镜。

[0021] 发明者已经认识到,通过使用由两个球面镜和一个球面透镜构成的组合作为已经扩宽的激光射束中的发散校正的输出元件可以显著地在衍射限制下实现具有非常小的射束变形或者成像误差的射束扩宽,其中折叠镜处的折叠角可在相对较大的范围上自由选择,并且可以实现具有相对较短的结构的装置。因为透镜设置在已经扩宽的激光射束中并且因此经受减小的激光强度,所以消除了透射的光学器件的劣化的问题,如其结合图1的伽利略镜头示出的那样。

[0022] 由于仅仅使用球面的光学器件,用于扩宽激光射束的装置对输入射束位置中以及各个光学元件(即折叠镜或者透镜)的定向中的误差具有大的容忍度。此外,高精度的球面光学器件的制造比柱面光学器件或具有非球面的透镜表面的透镜的制造更简单且更便宜。可以理解,透镜可以具有球面的透镜面(与平面组合)或也可以具有两个球面的透镜面,即可以完全省去设置非球面的透镜面。此外可以理解,望远装置、特别是光路中的第二折叠镜除扩宽以外可以已经承担准直的一部分,从而可以减小产生经准直的激光射束的透镜的折射力。

[0023] 在一种实施方式中,所述装置包括用于在准直的激光射束的射束方向上移动所述

透镜的移动装置。可以通过这种方式对于输出射束的准直通过输出透镜在轴向上的简单移动补偿可能的半径误差或输入射束的准直误差,而不导致侧向射束偏移或者不必重新定向其他光学器件。

[0024] 光路中的凸地弯曲的第一折叠镜在此承担望远装置中的真正的射束扩宽。光路中的第二折叠镜是凹地弯曲的球面折叠镜,其与透镜一起充当会聚光学器件。通过这种方式将(部分)扩宽的射束中会聚光学器件的所需折射力分到两个光学元件上。这具有以下优点:产生小的成像误差并且特别是射束位置误差或光学器件调整误差对成像特性仅仅具有小的作用。而且可以在所述装置中借助同样与(部分)扩宽的激光射束的入射方向成一个角度的第二折叠镜补偿在凸的、在相对于激光射束的入射方向的一个角度下设置的第一镜上产生的光学像差(基本上散光性和慧差)的大部分。

[0025] 所述透镜典型地涉及平凸透镜,其凸的球面透镜面背向望远装置,从而透镜可以用于激光射束的准直。

[0026] 球面透镜面的弯曲半径在此优选与折叠镜的弯曲半径如此协调一致,使得折叠镜的像差与透镜的像差尽可能地补偿并且出射的、经准直的激光射束具有所期望的扩宽以及如所期望的那样准直。为了所期望的扩宽(例如以因数1.42;2;3;6;10;20;等等),可以除弯曲半径以外也适当地选择第一折叠镜、第二折叠镜与透镜之间的间距以及折叠角。在根据本发明的装置中,关于折叠角和结构长度的要求远小于在具有两个球面镜的类似的扩宽光学器件中的情况。

[0027] 在一种实施方式中,入射到望远装置中的激光射束的射束方向和从望远装置中出射的激光射束的射束方向相互平行地延伸。在所谓的Z折叠中(其中折叠角反向,从而入射和出射的激光射束几乎相互平行地延伸并且不相交)可以在一个宽的区域上自由选择折叠角并且以相对较短的结构实现所述装置,其中可以特别好地补偿成像误差。可以理解,在此可以同样大小地选择、但不一定必须同样大小地选择两个折叠镜处的折叠角。

[0028] 在一种替代实施方式中,入射到望远装置中的激光射束的光路与从望远装置出射的激光射束的光路相交。也称作X折叠的变型方案(在所述变型方案中使用两个同向的折叠)在光学元件之间的间距相同并且折叠角数值相同的情况下通常具有比Z折叠略差的成像特性,但总能实现衍射限制的成像。特别地,在X折叠中,入射到望远装置中的激光射束与从望远装置出射的激光射束之间的角是 90° 。

[0029] 在一种实施方式中,所述装置还包括频率转换装置,其用于激光射束从红外范围中的波长到紫外范围中的波长的频率转换。频率转换装置可以出于所述目的具有非线性晶体,其能够实现具有小的直径的准直的激光射束的产生。

[0030] 特别地,所述装置也可以具有用于产生激光射束的激光器,所述激光射束可以具有红外范围中的波长并且在这种情形中典型地借助于频率转换装置被转换为具有紫外范围中的波长的激光射束。例如红外激光器可以涉及Nd:YVO₄激光器,其产生具有1064nm波长的激光射束,从而其第三谐波是大约355nm并且因此位于在紫外波长范围中。但替代地,激光器也可以涉及Yb:YAG激光器,其产生具有1030nm波长的激光射束,从而第三谐波是343nm。

[0031] 在另一种实施方式中,所述装置包括用于相对于经扩宽的、发散的激光射束的射束方向翻转所述透镜的翻转装置。通过输出透镜相对于发散的激光射束的射束方向或者

(所期望的)出射方向的翻转可以进一步减小光学误差或者在光学误差保持相同的情况下可以实现更大的折叠角或更小的镜半径并且因此实现更小的结构长度。

[0032] 本发明还涉及一种用于借助于具有两个球面折叠镜的望远装置扩宽激光射束、特别是紫外激光射束的方法,其中光路中的第一折叠镜是凸地弯曲的球面折叠镜,其中光路中的第二折叠镜是凹地弯曲的球面折叠镜,所述方法包括:在光路中的第一折叠镜处扩宽入射的、准直的激光射束;以及在光路中的第二折叠镜处以及在发散的光路中在望远装置后面设置的透镜处准直经扩宽的激光射束,所述透镜具有球面透镜面。以上结合装置描述的优点相应地适于根据本发明的方法。

附图说明

[0033] 本发明的其他优点由说明书和附图得出。同样地,以上所述的和还将进一步阐述的特征可以单独地或多个任意组合地使用。所示出的和所描述的实施方式不应理解为穷举的,而是具有用于本发明描述的示例性特征。

[0034] 附图示出:

[0035] 图1:伽利略望远镜形式的用于扩宽激光射束的装置的示意图;

[0036] 图2:反射式望远镜形式的用于扩宽激光射束的装置的示意图;

[0037] 图3:在入射射束的入射角不同的情况下借助于在图2中示出的反射式望远镜产生的、扩宽的激光射束的远场的示图;

[0038] 图4:具有一个凸镜和两个柱面透镜的用于射束扩宽的装置的示意图;

[0039] 图5:在入射射束的入射角不同的情况下图4的装置的远场的示图;

[0040] 图6:在柱面透镜之一翻转的情况下图4的装置的远场的示图;

[0041] 图7:具有Z折叠的反射式望远镜和具有球面出射透镜的用于射束扩宽的根据本发明的装置的实施方式的示意图;

[0042] 图8:具有X折叠的反射式望远镜的用于射束扩宽的根据本发明的装置的另一实施方式的示意图;

[0043] 图9:具有频率转换装置和红外激光器的图7的装置的示意图;

[0044] 图10:在激光射束的入射角不同的情况下图7的装置的远场的示图。

具体实施方式

[0045] 图7示出用于入射的、准直的激光射束4的射束扩宽的装置11,所述激光射束在望远装置6的凸的第一折叠镜7处被扩宽并且在望远装置6的凹的第二折叠镜8处以及在发散的光路中设置在第二折叠镜8后面的透镜3处被转换为准直的、出射的激光射束5,其在本示例中扩宽了六倍的。折叠镜6、7是球面镜,透镜3是平凸透镜,其背向于第二折叠镜8的透镜面3a是球面弯曲的。

[0046] 折叠镜7、8的在图7中示出的设置允许入射侧的激光射束4与出射侧的激光射束5沿一个共同的射束轴线(X方向)平行定向,其也称为Z折叠。

[0047] 通过Z折叠装置中或Z折叠装置附近的两个球面的折叠镜7、8与已经扩宽的、发散的光路中作为发散校正的输出元件的球面透镜3的组合,可以在两个折叠镜7、8处的相对较大的、在一个宽的区域上可自由选择的折叠角 2α 、 2β 的情况下以及在相对较短的结构的情

况下显著地在衍射限制下实现具有非常小的射束变形或者成像误差的射束扩宽。因为透镜3设置在经扩宽的光路中并且因此激光辐射仅仅以减小的强度射到所述透镜上,所以可以避免或者显著减小透镜3的损坏,从而透镜材料——例如石英玻璃仅仅不严重地通过激光辐射损坏。

[0048] 为了适当地确定装置11的大小,在第一步骤中首先确定入射的激光射束4的所需扩宽(例如,1.42倍、2倍、3倍、6倍, ..., 10倍, ..., 20倍等等)。如果确定了扩宽(在此:6倍),则限定用于装置11的适当地确定大小的结构空间以及选择折叠镜7、8在所述结构空间中的适当定位。在此,在选择折叠角 2α 、 2β 以及光学元件之间的(即,折叠镜7、8与透镜3之间的)间距时存在相对较大的自由度。

[0049] 与所述间距一起如此进行折叠镜7、8和透镜3的球面透镜面3a的球面弯曲的确定,使得一方面实现所期望的扩宽并且另一方面尽可能地补偿折叠镜7、8的像差或者折叠镜7、8和透镜3的像差并且出射的激光射束5如所期望的那样准直。可以、但在此不必须相等地选择第一折叠镜7处的折叠角 2α (在此:大约 20°)和第二折叠镜8处的折叠角 2β (在此:大约 20°)。折叠镜7、8之间的间距在当前情形中是大约150mm,但可以理解,也可以更大或更小地选择所述间距。

[0050] 在图7中通过双箭头标明了移动装置12,例如以(直线)电动机的形式,其能够实现透镜3在射束方向(X方向)上的轴向移动,以便调节出射的激光射束5的发散,而不出现侧面的射束偏移或者不需要借助于其他光学元件的校正。

[0051] 替代在图7中示出的装置11(在所述装置中折叠镜7、8设置成Z折叠)也可能的是,折叠镜7、8设置成所谓的X折叠,在所述X折叠中入射的激光射束4在第一射束方向(X方向)上延伸并且出射的激光射束5在第二射束方向(Y方向)上延伸,其中两个激光射束4、5相交,参见在图8中示出的装置13,其中入射的和出射的激光射束4、5相互成 90° 的角。第一折叠镜7处的折叠角 2α (在此:大约 20°)和第二折叠镜8处的折叠角 2β (在此:大约 70°)在此不同地选择。折叠镜7、8在其表面上由对于紫外激光射束而言高反射性的材料——例如由基于石英玻璃的介电层系统构成。可以理解,也可以使用具有良好紫外反射特性和高紫外稳定性的其他材料组合。

[0052] 图9示出限定结构空间的光学模块14上的图7的装置11。在光学模块14上,除在图7中描述的光学元件——即透镜3以及两个设置成Z折叠的折叠镜7、8以外还施加有三个另外的平的折叠镜15a至15c,以便最优地充分利用现有的结构空间。除用于在射束方向(X方向)上移动透镜3的移动装置12以外,也可以在透镜3处施加在图9中标明的翻转装置16,以便相对于X方向或者相对于发散的激光射束翻转所述透镜。通过在一个适当的角度下的翻转,可以进一步减小光学误差和/或实现折叠镜7、8处的更大的折叠角、折叠镜7、8的更小的弯曲半径或者更小的结构长度。但是可以理解,透镜3的翻转不一定是必要的并且也可以在不翻转的情况下实现衍射限制的成像。

[0053] 折叠镜7、8以及球面透镜面3a的弯曲半径在大约3倍至大约6倍的扩宽中典型地对于第一折叠镜7大约是100–300mm、对于第二折叠镜8大约是1000–2000mm或者对于透镜3大约是200–400mm,以便实现扩宽所需的折射力。第二折叠镜8与透镜3之间的间距在此例如可以位于大约100mm与150mm之间的范围中。可以理解,可以不同于以上说明的值范围,特别是当要进行位于所说明的范围(3倍至6倍)以外的扩宽时。

[0054] 在图9中同样可见设置在模块14上的频率转换装置17,其用于将波长位于红外谱范围中的入射的激光射束18到紫外谱范围中的波长的频率转换。频率转换装置17具有非线性晶体,以便通过本领域技术人员熟悉的方式实现频率转换。在图9中同样示出了红外激光器19(在当前示例中Yb:YAG激光器的形式),其产生具有1030nm的波长的红外激光射束,其在频率转换装置17中被转换为具有高射束强度和大约343nm的波长的紫外激光射束。可以理解,也可以使用其他激光器类型(例如Nd:YVO₄激光器)来产生红外激光射束18。在Nd:YVO₄激光器中,激光波长是1064nm并且在频率转换装置17中产生的第三谐波是大约355nm。

[0055] 在图10中示出了出射的、准直的激光射束5的借助于在图9中示出的装置11得到的远场的光斑图,其中与图3、图5和图6相同地选择了输入射束特性和瞳孔并且仅仅将刻度S₃减小到100μrad。如在图10中清晰可见,在所示示例中光斑远位于在艾里斑9内,也就是说射束分布的RMS半径比艾里半径(大约42μrad)小得多,从而在图9中示出的光学器件对于激光射束4、5或者对于扩宽成像是衍射限制的。但这不仅适于激光射束4在射束轴线(X方向)方向上的入射,如在图10中在左上方示出的那样,而且适于在图10中在右上方以及在左下方和在右下方示出的光斑图,其中在不同的空间方向上改变场角大约0.2°,其中输入孔径在模拟中设置在第一折叠镜7前方150mm。因此,即使在激光射束4的非轴向入射的情况下也可以借助于装置11实现衍射限制的成像。

[0056] 综上所述,可以借助于以上描述的装置11、13实现激光射束4的扩宽,同时避免所使用的光学器件3、7、8由于强激光辐射的劣化,其中总体上可以通过各个光学元件3、7、8的成像误差的相互补偿使成像误差保持得很小并且因此获得衍射限制的成像。

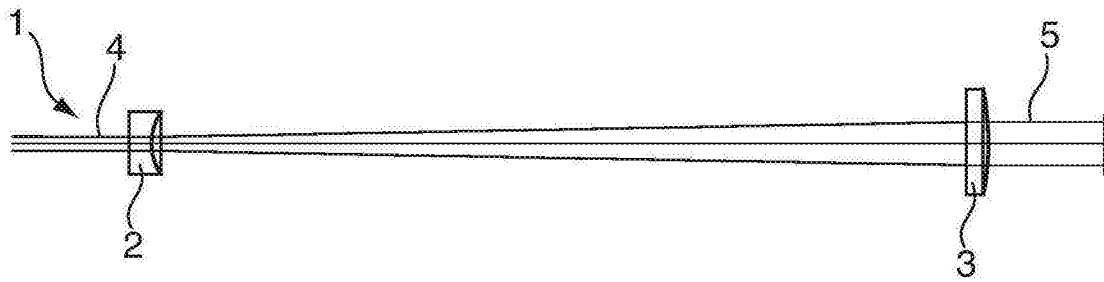


图1

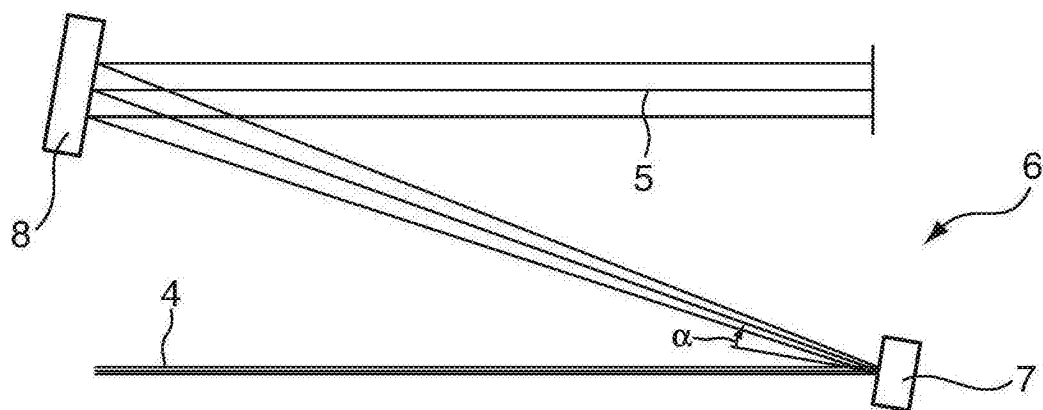


图2

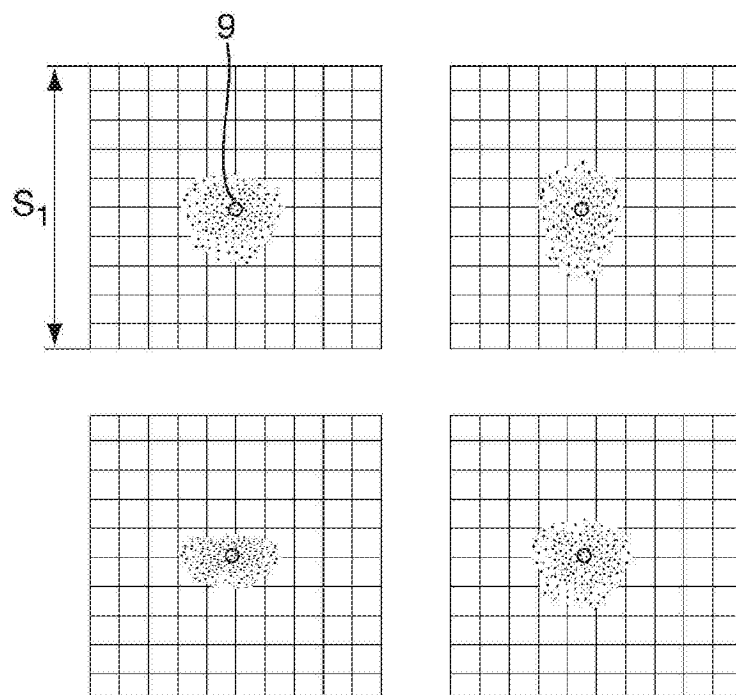


图3

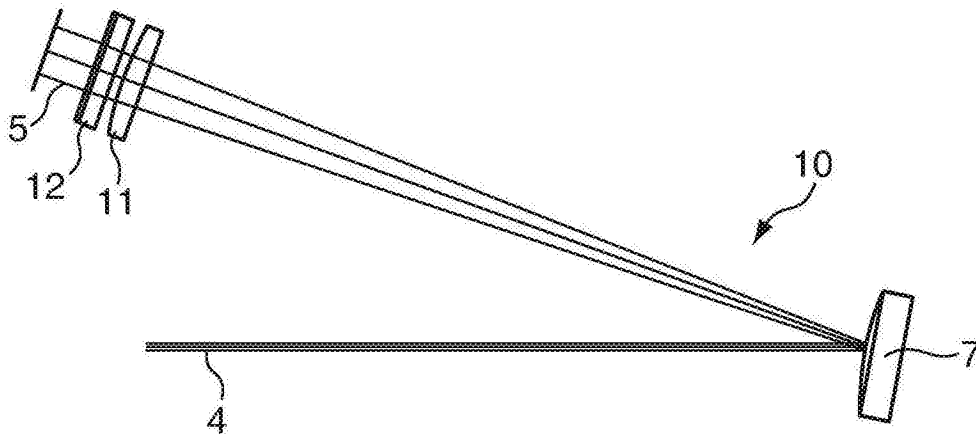


图4

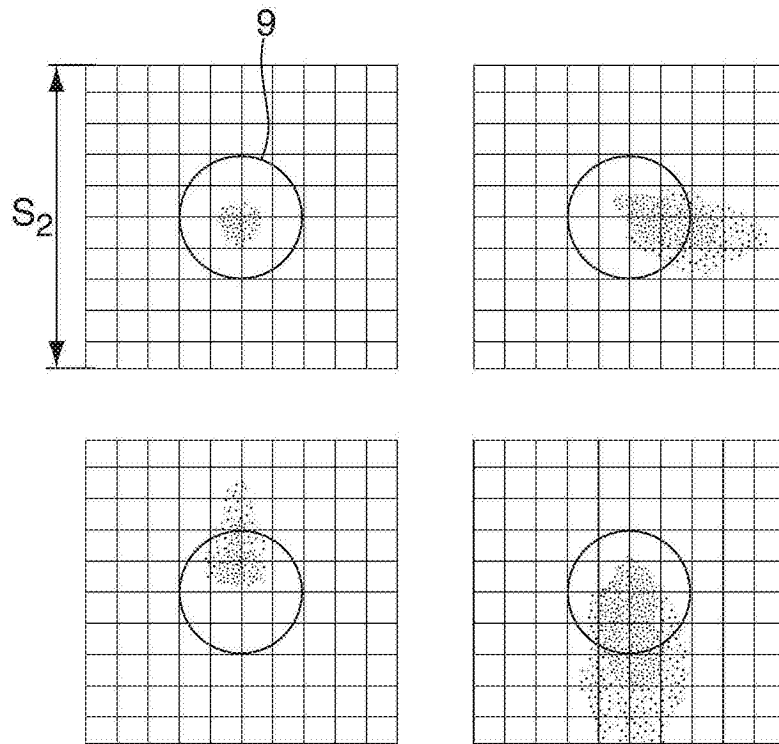


图5

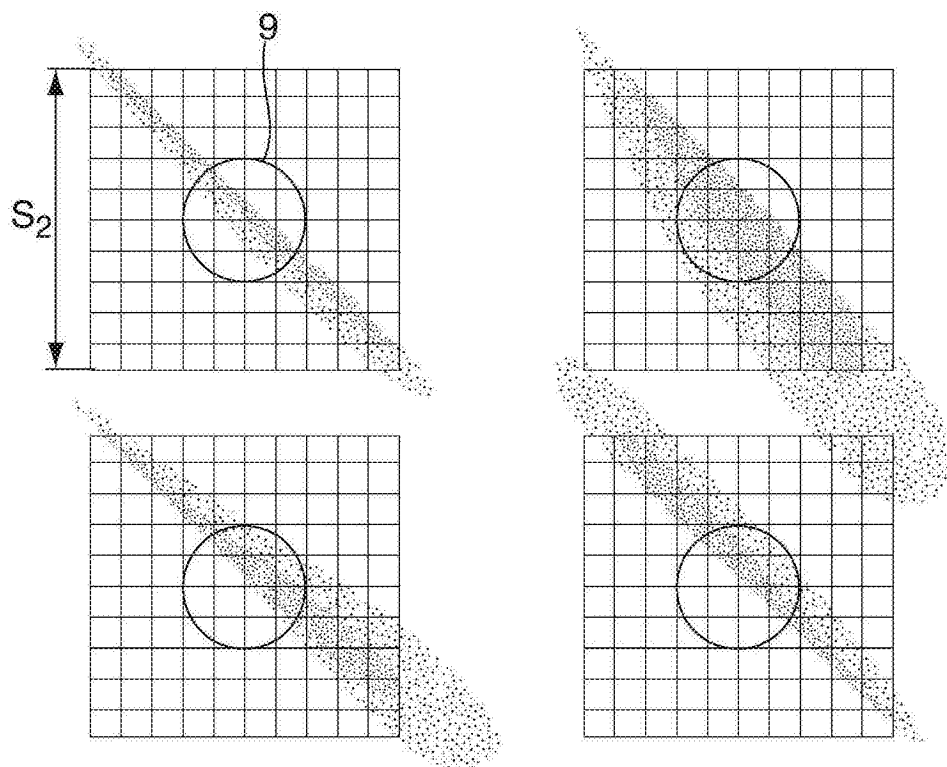


图6

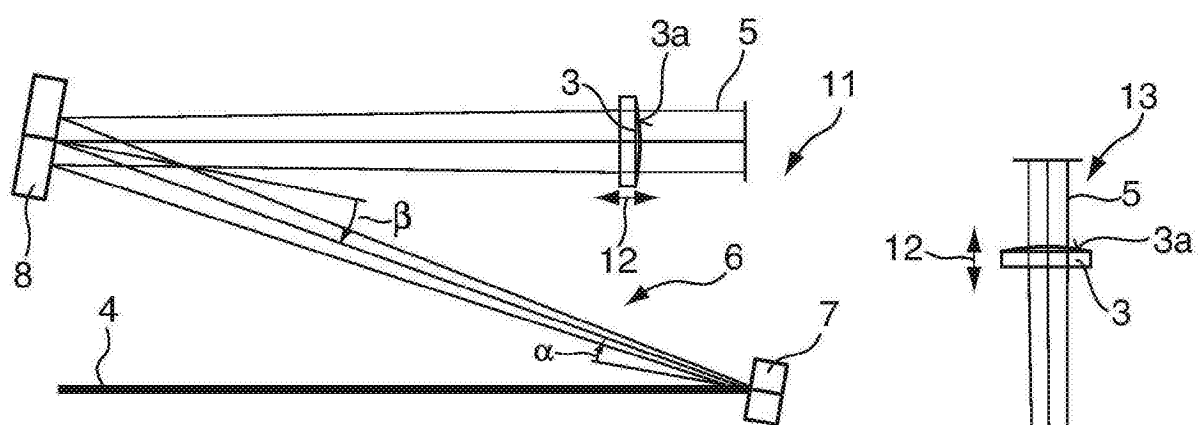


图7

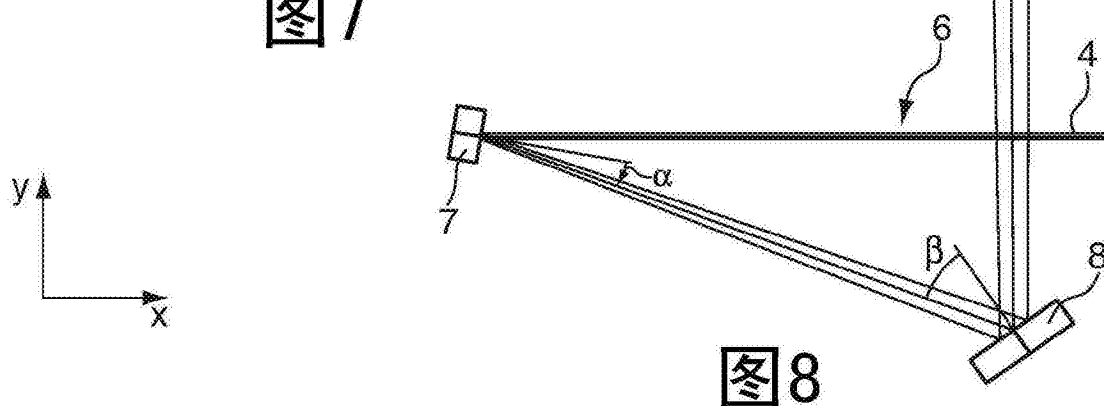


图8

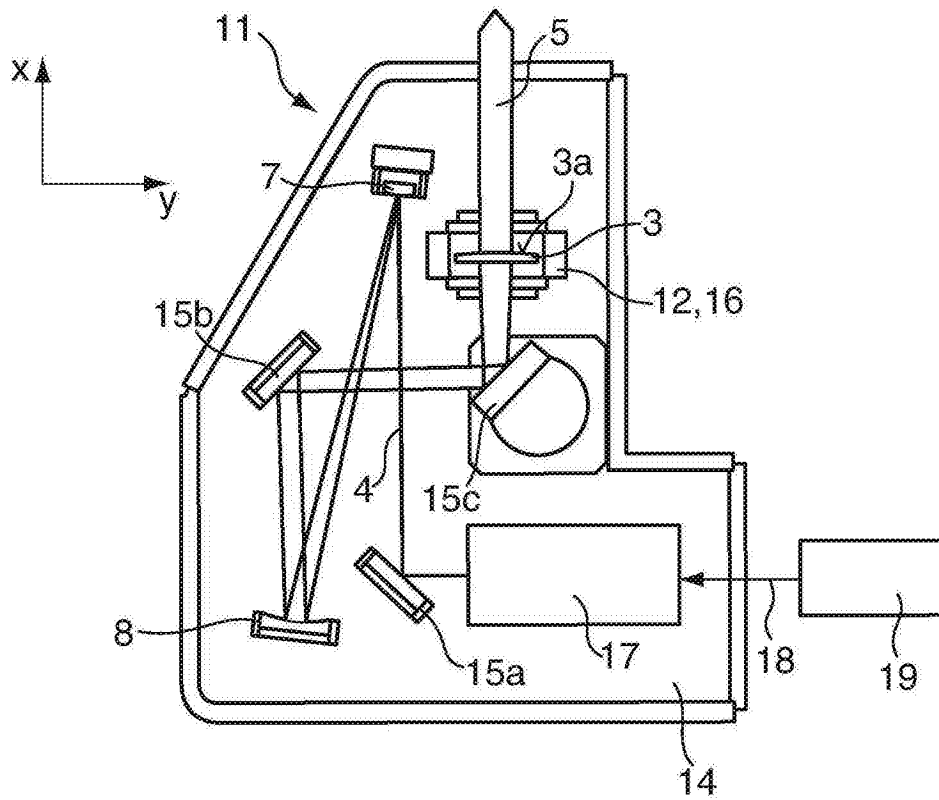


图9

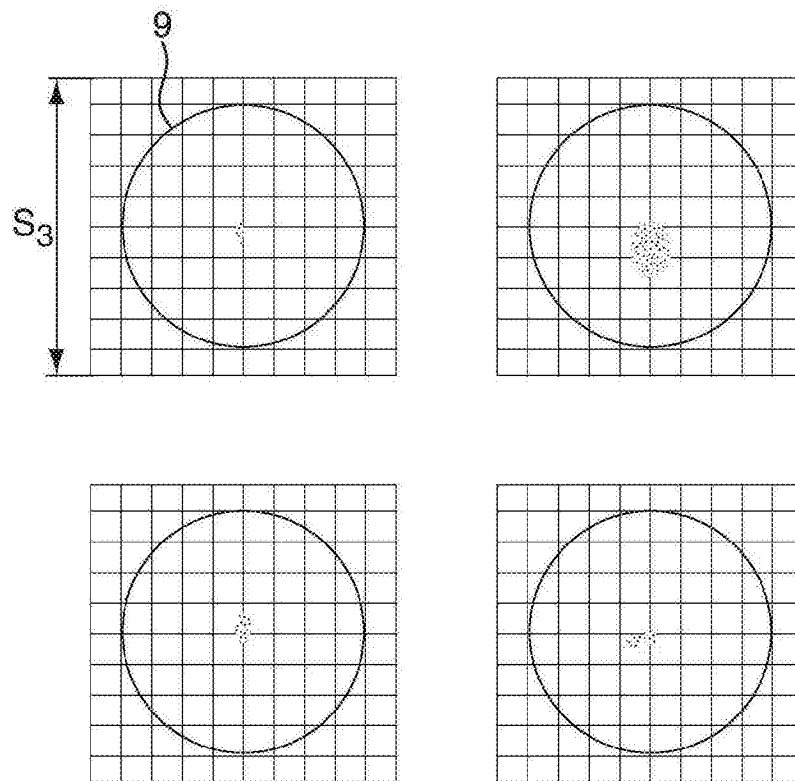


图10