(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 111133639 B
(45)授权公告日 2023.06.27

(21)申请号 201880060545.8
(22)申请日 2018.07.31
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 111133639 A
(43)申请公布日 2020.05.08
(30)优先权数据
62/539,183 2017.07.31 US
62/549,254 2017.08.23 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2020.03.18
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2018/044671 2018.07.31
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2019/028064 EN 2019.02.07

(73)专利权人 IPG光子公司
地址 美国马萨诸塞州
(72)发明人 亚历山大·里马诺夫
迈克尔·冯达尔曾
詹姆斯·奥丁利 乔舒亚·舍恩利
(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 纪雯

(51)Int.Cl.
H01S 3/10(2006.01)
H01L 21/268(2006.01)
(56)对比文件
CN 102271858 A,2011.12.07
审查员 周冠锐

权利要求书5页 说明书14页 附图15页

(54)发明名称

光纤激光装置和用于加工工件的方法

(57)摘要

一种表面处理方法和装置包括:操作准连续波光纤激光器,并对激光光束进行预扫描成形,以使瞬时斑点光束具有预定的几何尺寸、强度分布和功率;以最优角速度和角范围操作扫描器,以将预扫描光束分成朝着正被加工的表面偏转的多个子光束;引导子光束通过后扫描光学组件,以提供具有预定几何尺寸、功率、以及角速度和范围的斑点光束,选择所述预定几何尺寸、功率、以及角速度和范围的斑点光束以使瞬时斑点光束在扫描方向上以期望扫描速度拖曳期望长度,这允许将处理过的表面曝光预定的曝光持续时间,并具有预定的注量分布,从而为处理过的表面提供与准分子激光器或突发模式光纤激光器加工过的表面相当的质量。

CN 111133639 B

1.一种加工沉积在玻璃面板上的非晶硅a-Si膜的方法,包括:

(a)从至少一个准连续波QCW光纤激光器沿着预扫描路径以期望功率P输出光束,所述准连续波QCW光纤激光器以最多100%的期望占空比工作;

(b)将所述光束轰击在扫描器单元上,从而将所述光束从时间上剪切为多个子光束,所述多个子光束朝向所述a-Si膜在期望角度范围内并以期望角速度偏离所述预扫描路径;

(c)对每个偏离的子光束进行光学成形,以在所述a-Si膜上提供光的斑点,所述斑点具有斑点长度L_s和斑点宽度W_s以及扫描方向上的空间强度光束分布;

(d)以期望的扫描速度V_{scan}将所述斑点沿扫描方向扫过所述a-Si膜,从而在所述a-Si膜上形成具有预定长度L_{scan}和宽度W_s的条带,其中,扫描速度和空间强度光束分布在所述条带的每个位置处生成这样的受控曝光持续时间,并在所述条带内的每个位置处在所述扫描方向上提供期望注量分布;以及

(e)在交叉扫描方向上使玻璃面板连续移位,从而依次形成彼此间隔开一距离dy的多个连续扫描条带,所述距离dy最多等于斑点宽度W_s,所述多个连续扫描条带一同定义了一列多晶硅p-Si,所述一列多晶硅p-Si的列宽度对应于所述条带的长度L_{scan}。

2.根据权利要求1所述的方法,其中,所述距离dy在0.025Ws至Ws之间变化,并且随着形成所述多个连续扫描条带的重复率增大,所述距离dy在一范围内趋于增大,以防止p-Si晶粒由于反馈过热而劣化和物理破坏所述a-Si膜。

3.根据权利要求1所述的方法,还包括:如果这些步骤的先前序列没有导致p-Si的期望晶粒尺寸和取向,则重复步骤(a)至(d)以进一步加工所述p-Si膜的列。

4.根据权利要求1所述的方法,其中,所述期望的扫描速度V_{scan}和空间强度光束分布被控制为使得所述光束上的每个斑点产生完全熔化的三角形成形的膜区域,所述三角形成形的膜区域的顶点在反扫描方向上与所述斑点间隔开长度L_m,所述长度L_m至少是宽度W_s的10倍。

5.根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,在形成所述p-Si的列期间,以mm/sec的面板速度,使所述玻璃面板在所述交叉扫描方向上连续移位,其中,所述扫描速度保持在km/sec。

6.根据权利要求1所述的方法,其中,所述QCW光纤激光器以小于100%的占空比工作,使得以从80Mhz的脉冲重复频率输出所述光束,所述脉冲重复频率足以产生与来自以100%占空比工作的QCW光纤激光器的光束所引起的a-Si的热响应相同的a-Si的热响应。

7.根据权利要求1所述的方法,还包括:如果列宽度小于所述玻璃面板的宽度,则在所述扫描方向上使所述玻璃面板移位最多等于所述列宽度L_{scan}的距离dx;以及重复步骤(a)至(e),从而形成至少一个附加列的p-Si,所述至少一个附加列的p-Si相对先前形成的相邻列的p-Si偏移距离dx,其中,相邻条带之间的距离dy和相邻列之间的距离dx被选择为使得经加工的膜的每个位置被照射10到50次的范围内;以及重复在所述扫描方向上使所述玻璃面板移位并形成列,从而在整个面板上形成p-Si膜。

8.根据权利要求7所述的方法,其中,使所述玻璃面板在所述扫描方向上移位最多0.5mm的距离dx避免了可见的Mura。

9.根据权利要求7所述的方法,其中,将所述距离dy和dx选择为彼此相等或彼此不同,但是在每个位置处的乘积dx*dy是恒定的。

10.根据权利要求1所述的方法,还包括提供至少一个附加的光斑点,使得在扫描方向、交叉扫描方向、或扫描方向和交叉扫描方向之一上实现期望空间强度分布。

11.根据权利要求1所述的方法,还包括:对入射在所述a-Si膜上的子光束进行成形,以便在所述交叉扫描方向上具有高斯、超高斯或平顶强度分布,其中,超高斯功率因数大于2。

12.根据权利要求1所述的方法,还包括:在扫描方向和交叉扫描方向中的每个方向上对子光束进行成形,从而在相应的扫描方向和交叉扫描方向上具有期望空间强度分布。

13.根据权利要求1所述的方法,还包括:控制入射在所述a-Si膜上的子光束的偏振,从而控制多晶晶粒的对准。

14.根据权利要求13所述的方法,还包括:控制所述光束的偏振方向,使得入射在所述a-Si膜上的子光束的偏振被设置为垂直于斑点光束扫描方向,从而控制所述多晶晶粒的对准。

15.根据权利要求1所述的方法,其中,所述光束是紫外UV波长范围内的单模。

16.根据权利要求1所述的方法,其中,所述光束是多模的。

17.根据权利要求1所述的方法,还包括:校准所述扫描器单元,所述扫描器单元包括声光偏转器AOD、多个旋转镜,所述多个旋转镜耦接在一起以限定多边形、或所述AOD和所述多边形。

18.根据权利要求17所述的方法,还包括:在所述AOD的上游使所述光束准直;以及通过关闭和打开所述AOD来对所述QCW光纤激光器进行选通,使得防止所述光束入射在所述多边形的相邻镜之间的自由空间区域上,或者使得条带具有预定长度L_{scan},所述预定长度L_{scan}小于所述条带的最大长度,其中所述最大长度为几十厘米。

19.根据权利要求18所述的方法,还包括:当使所述玻璃面板在所述交叉扫描方向上移位时,针对所述多边形的每个镜,调整所述AOD的输入处的射频RF,从而确保由相应镜产生的扫描条带相对于彼此不移动。

20.根据权利要求18所述的方法,还包括:

在沿着条带长度L_{scan}的多个间隔开的位置处测量入射在所述玻璃面板上的子光束的焦深;

在每个位置处测量信号;

将测得的信号与参考值进行比较以产生比较结果;以及

响应于所述比较结果,调制所述AOD的输入处的RF频率,以便调整所述子光束的发散,从而改变所述焦深。

21.根据权利要求18所述的方法,还包括:在所述AOD的输入处产生多个RF;以及调整相应RF的幅度以改变子光束在所述交叉扫描方向上的发散,从而在所述条带上提供期望的强度分布,所述强度分布选自高斯、超高斯或平顶。

22.根据权利要求18所述的方法,还包括:

在沿着条带长度L_{scan}的多个间隔开的位置处测量入射在所述玻璃面板上的子光束的焦深;

在每个位置处产生信号;

将产生的信号与参考值进行比较以产生比较结果;以及

响应于所述比较结果,调制一个或多个机械设备的输入处的RF频率,从而调整所述子

光束的发散以改变所述子光束在所述a-Si膜上的焦深，其中，所述机械设备包括音圈或压电致动器。

23.根据权利要求18所述的方法，还包括：将可变形光学器件安装在所述扫描器单元与所述玻璃面板之间，使得聚焦平面跟踪面板表面，所述可变形光学器件包括一个或多个可变形镜，所述可变形镜中的每一个沿着子光束的长度并沿着所述多边形的每个镜的长度具有连续可变的曲率半径，以补偿所述面板表面的不平坦。

24.一种用于加工工件的表面的装置，包括：

QCW光纤激光器，可操作为沿预扫描路径以恒定功率发射激光光束；

预扫描光束调节器，被配置为对激光光束进行成形，以使瞬时斑点光束具有预定的几何尺寸、强度分布和功率；

位于所述预扫描光束调节器的下游的扫描器，被配置为接收激光光束并将所述激光光束偏转为偏离所述预扫描路径的多个子光束，其中，所述扫描器以预定的角速度和角范围工作；

后扫描光学组件，被配置为向斑点光束提供预定的几何尺寸、功率、角速度和范围，将斑点尺寸和强度分布选择为使得当以期望扫描速度在线性扫描方向上拖动瞬时斑点光束时，实现在扫描条带内的期望曝光持续时间和注量；以及

多轴台架，操作为至少在交叉扫描方向上使工件移位，以形成多个均匀的条带，所述条带彼此堆叠以限定一列，其中，期望扫描速度和注量提供期望表面质量，所述期望表面质量与由准分子激光器或突发模式光纤激光器加工的表面质量相当。

25.根据权利要求24所述的装置，其中，所述QCW光纤激光器以最多100％的占空比工作，从而当以100％以下的占空比工作时，所述QCW光纤激光器以从80到200MHz的规则脉冲重复频率输出一系列纳秒脉冲，这样产生经处理表面的热响应，所述经处理表面的热响应与由来自以100％占空比工作的QCW光纤激光器的光束引起的热响应相同。

26.根据权利要求24所述的装置，其中，所述QCW光纤激光器输出单模或多个横模的激光光束。

27.根据权利要求24所述的装置，其中，所述预扫描光束调节器被配置有偏振器组件，所述偏振器组件被配置为将恒定功率降低到预定功率。

28.根据权利要求27所述的装置，还包括：功率控制器，位于所述预扫描光束调节器的下游并耦接到所述偏振器组件，以便在所述恒定功率偏离所述预定功率的情况下调整所述恒定功率。

29.根据权利要求24所述的装置，其中，所述预扫描光束调节器还包括：准直器，被配置为对激光光束进行成形，使得所述激光光束在所述扫描器的上游变得平行，所述扫描器包括声光偏转器AOD。

30.根据权利要求24所述的装置，还包括：多个QCW光纤激光器，输出入射到所述预扫描光束调节器上的相应激光光束，所述预扫描光束调节器被配置有合束器，所述合束器被配置为输出在扫描方向、交叉扫描方向、或扫描方向和交叉扫描方向上具有期望强度分布的激光光束，其中，所述期望强度分布选自由高斯、超高斯、平顶分布和这些分布的组合组成的组。

31.根据权利要求24所述的装置，其中，所述扫描器被配置为多边形、AOD、或AOD和多边

形的组合，其中，所述多边形位于所述AOD的下游，并且所有都操作用于在所述工件处产生km/sec的速度。

32.根据权利要求31所述的装置，其中，所述AOD可操作为对所述QCW光纤激光器进行选通，以便防止激光光束入射到所述多边形的相邻刻面之间的间隙上。

33.根据权利要求32所述的装置，其中，所述AOD包括：RF发生器，被配置为驱动所述AOD以控制从所述多边形偏转的子光束的发散角。

34.根据权利要求33所述的装置，其中，所述AOD被配置为改变所述发散角，以补偿所述多边形的刻面的指向误差和待处理的表面的不平坦。

35.根据权利要求33所述的装置，其中，所述RF发生器可操作为将多个不同的频率输出到所述AOD中，以便控制所述斑点光束在扫描方向上的空间分布。

36.根据权利要求24所述的装置，其中，所述后扫描光学组件被配置有物镜，所述物镜选自由球形物镜、变形物镜、以及球形物镜和变形物镜的组合组成的组。

37.根据权利要求36所述的装置，其中，所述球形物镜包括球形F-θ透镜，并且所述变形物镜包括具有固定的缩小倍率的球形成像透镜。

38.根据权利要求36所述的装置，其中，所述变形物镜包括变形F-θ、圆柱形或变形成像透镜，所述变形成像透镜被配置为在扫描方向和交叉扫描方向上具有不同的放大倍率。

39.根据权利要求36所述的装置，其中，包括球形成像透镜、圆柱形成像透镜和变形成像透镜的后扫描光学组件还包括：一个或多个圆柱形透镜，位于所述物镜的下游，所述一个或多个圆柱形透镜用于在所述交叉扫描方向上调整斑点光束。

40.根据权利要求24所述的装置，其中，所述多轴台架被配置为使工件以m/sec的速度在所述交叉扫描方向上连续移动且移动的距离dy不超过所述条带的整个宽度，以形成列。

41.根据权利要求40所述的装置，其中，所述多轴台架可操作为使工件在扫描方向上移位最多与所述列的宽度相等的距离dx，其中，将所述交叉扫描方向上的相邻条带之间的距离和相邻列之间的距离被选择为使得经加工的表面的每个位置都被照射10到40次的范围内。

42.根据权利要求41所述的装置，其中，将所述距离dy和dx选择为彼此相等或彼此不同，但是乘积dx*dy在每个位置处都是恒定的。

43.根据权利要求24所述的装置，还包括：在所述扫描器和所述工件之间的可变形光学器件，所述可变形光学器件被配置为补偿所述表面的不平坦。

44.根据权利要求24所述的装置，其中，每个条带的长度从几毫米到一米变化。

45.一种用于加工沉积在玻璃面板上的非晶硅a-Si膜的装置，包括：

至少一个准连续波QCW光纤激光器组件，以最多100％的期望占空比工作，以便沿一路径以期望功率P输出光束；

扫描器，被配置为将所述光束偏转成多个子光束，所述多个子光束朝向所述a-Si膜在期望角度范围内偏离所述路径；

预扫描光学组件和后扫描光学组件，被配置为对光束进行光学成形，使得从所述扫描器偏转的且撞击所述a-Si膜的每个偏离的子光束提供光的斑点，所述斑点具有扫描方向上的长度L_s、斑点宽度W_s、以及所述扫描方向上的空间强度光束分布，

其中，具有长度L_s、斑点宽度W_s和强度光束分布的光的斑点以期望扫描速度V_{scan}在所述

扫描方向上扫过整个膜，从而在膜上形成具有期望长度L_{scan}和宽度W_s以及强度光束分布的条带，使得在所述条带的每个位置处提供期望曝光持续时间，并在所述条带内的每个位置处提供所述扫描方向上的期望注量分布；以及

台架，操作用于使玻璃面板在交叉扫描方向上连续移位，以使多个连续扫描的条带彼此间隔开距离dy，所述距离dy最多等于所述斑点宽度W_s，且所述多个连续扫描的条带共同定义了具有与条带的长度L_{scan}相对应的列宽度的列。

光纤激光装置和用于加工工件的方法

技术领域

[0001] 本公开涉及利用连续波(CW)或准CW(QCW)高占空比光纤激光器和高速扫描系统来处理非晶薄膜的方法和装置,其中,所实现的激光功率、光束分布和扫描速度产生期望的曝光持续时间和注量。

背景技术

[0002] 突发模式QCW光纤激光器在使平板显示器退火的光纤激光退火(FLA)和顺序横向固化(SLS)方法中的应用是已知的。例如,在PCT申请号PCT/US 16/40222(PCT 40222)中公开了在退火工艺中使用的突发模式QCW光纤激光器,该申请的全部内容通过引用并入本文,并且由本申请的受让人共同拥有。由突发模式QCW光纤激光器(即可操作为输出紫外线(UV)光的多个长突发或分组的激光器)证明的结果已被示出为可与准分子激光器的结果相当,其中,每个突发由以高于突发重复率(RR)的脉冲重复率(PRR)(此处也称为脉冲重复频率(PRF))发射的多个脉冲来定义。QCW光纤激光器在美国申请号14/790,170(现为美国专利号9,941,120(US'120))中详细公开,该申请也与本申请共同拥有,并在此通过引用并入本文。

[0003] 在PCT 40222中详细说明了当与例如在SLS和准分子激光退火(ELA)方法中使用的准分子激光相比时突发模式QCW光纤激光器的优点。然而,与在上述退火工艺的背景中以均匀PRR发射一列脉冲的“常规”QCW光纤激光器相比,突发模式QCW光纤激光器并非没有问题。

[0004] 例如,相对于以高于突发模式QCW激光器的PRR的PRR工作的QCW(或CW)光纤激光器而言,突发模式QCW光纤激光源的连续扫描使平均功率效率与峰值功率效率恶化。突发模式QCW的效率较低是因为它的占空比远没有达到“常规”高PRR QCW的占空比,其中所述常规”高PRR QCW的占空比可能接近100%。因此,对于等效的激光峰值功率,突发模式QCW光纤激光器可实现的加工速度比高占空比常规QCW光纤激光器慢,该优点证明需要在Si退火和其他表面处理工艺中使用常规QCW光纤激光器。

[0005] 而且,基于突发模式QCW光纤激光器的Si退火系统需要均质器以沿扫描轴获得期望的强度分布。相反,这种复杂而昂贵的设备不是具有常规QCW的Si退火系统的一部分。

[0006] 与常规QCW光纤激光器相比,突发模式QCW光纤激光器的又一缺点包括曝光线的长度对激光突发能量的依赖性。因此,曝光于脉冲模式QCW激光器的长条带(stripe)需要高的激光脉冲能量。相反,由于占空比和扫描方法的改进,裸露的条带的长度与常规QCW光纤激光器的功率无关。

[0007] 控制突发模式QCW的功率稳定性和模式稳定性与控制以较高且恒定的PRR运行的常规QCW的相同参数相比是更困难的。此外,与突发模式QCW光纤激光器相反,常规QCW光纤激光器可以用于更多退火应用。

[0008] 因此,存在对各种Si膜退火应用的需求,特别是需要长线的那些应用,其受益于常规QCW光纤激光器相对于突发模式QCW光纤激光器的优点。

[0009] PCT 40222的装置的使用揭示了在该专利装置所公开的开发阶段期间未预料到的问题。例如,PCT 40222中公开了不同的扫描器配置——每种扫描器配置都有其优点和缺

点,其中就其对最终产品的影响而言,有一些缺点未加以重视。由于活动部件的质量,检流计以其有限的偏转角速度而闻名。速度对于声光偏转器(AOD)而言不是问题,但偏转角范围有限却会引起问题。已知的是旋转镜扫描器(更具体地,那些具有多个反射面——多边形——的旋转扫描器)具有制造缺陷,该制造缺陷不利地影响退火质量,尤其是影响沿扫描方向的条带或线的注量分布的均匀性。多边形被用于各种光学配置中,这些光学配置被特别设计用于退火长条带,即,优选地长于2mm。因此,希望在涉及使用扫描器的退火应用中,多边形具有尽可能少的制造缺陷。

[0010] PCT 40222的突发模式QCW光纤激光器主要用于对面板进行退货,面板比单个突发模式光纤激光器的线光束长度大几个数量级。光束缝合伴随着Mura的形成,Mura是在激光处理的面板上观察到的导致对比度低和亮度不均匀的现象,这可以通过在经激光处理的衬底中的“波纹”外观来表现。因为退火的多晶硅(p-Si)面板的质量很差,Mura是不能接受的缺陷,并因此Mura限制了在退火工艺中使用突发模式QCW光纤激光器。

[0011] 已知的基于光纤激光器的退火系统通常具有包括多个子组件的复杂结构。例如,在SLS工艺中使用突发模式QCW光纤激光器需要均质器例如蝇眼的、非球面形的、非圆柱形的和其他均化装置。控制以相对低的重复率工作的突发模式QCW光纤激光器的功率稳定性和模式稳定性具有技术上的困难。突发QCW光纤激光器的平均功率效率与峰值功率效率应得以改善。

[0012] 因此,需要一种扫描方法,该方法利用CW或高占空比QCW激光器来加工非晶薄膜,其中所实现的激光功率、光束分布和扫描速度产生受控的曝光持续时间和注量,其等效于指定的持续时间或突发模式QCW光纤激光器,但没有与后者相关的上述问题。

[0013] 还需要一种能够在高占空比QCW激光模式下操作的CW激光器,其与高速扫描器一起能够纠正至少某些已知的且确定的制造缺陷。

发明内容

[0014] 根据本公开,本发明的方法被应用于多种应用,包括但不限于光纤激光退火(FLA)、非晶Si退火、顺序横向固化(SLS)、非晶Si退火、碳化硅(SiC)退火(例如欧姆接触)和聚酰亚胺激光剥离(LLO)应用。利用“常规”QCW光纤激光器和高速扫描器组件的本发明方法包括:基于期望的曝光持续时间和注量来选择激光能量、斑点光束特性和扫描速度,已知它们在利用准分子和突发QCW光纤激光器的表面处理工艺中会带来期望的结果。斑点光束特性包括光斑点在目标基板上的长度、宽度和强度分布。与所公开的方法和实现该方法的设备二者有关的发明构思具有许多方面,所有这些方面在结构和功能上相互交织,如从以下讨论中看到的。

[0015] 根据本公开的一个方面,常规的QCW激光器以至多100%的可控占空比工作,以便例如以期望的功率P输出光束。当光束沿预扫描路径传播时,它会被扫描器组件暂时分成或切成多个子光束,这些子光束会朝向要处理的表面在期望的角度范围内偏离预扫描路径,例如沿着后扫描路径的非晶硅(a-Si)膜。

[0016] 撞击a-Si的各个子光束各自形成具有期望的几何参数的斑点,例如在与相应的扫描和交叉扫描方向一致的扫描和交叉扫描斑点轴上的斑点长度L_s、斑点宽度W_s和期望的强度光束分布。沿扫描方向的强度分布对于获得良好的结果特别重要,该结果可以与在FLA和

准分子激光退火(ELA)工艺中获得的结果相当。斑点宽度W_s很小,且如果存在分布不均匀性,则分布不均匀性实际上看不到,但必要时仍可加以控制。斑点光束参数由被设计用于产生期望的长度的短和/或长条带的光学预扫描/后扫描组件来确定,其中,短条带是长度至多几毫米的线。

[0017] 具有期望的斑点光束参数的斑点光束以期望的扫描速度V_{scan}在扫描方向上扫过,从而在膜上形成具有预定长度L_{scan}和宽度W_s的条带。期望的扫描速度和光束分布在条带的每个位置处生成受控的曝光持续时间,从而在这些位置中的每个位置处在扫描方向上提供期望的注量分布,因此所有的都在条带的区域上。

[0018] 由于形成了具有期望的长度L_{scan}、宽度W_s和注量分布的条带,因此有必要的是至少在交叉扫描方向上对表面的其余部分进行激光处理,该交叉扫描方向与表面的长度相对应。这是通过在交叉扫描方向上连续移动支撑表面的平台,以便依次形成彼此间隔开距离dy的多个连续扫描条带来实现的。将面板在交叉扫描方向上的移动速度选择为使得距离dy最多等于斑点宽度W_s,并且在某些情况下,距离dy在$0.025W_s$到W_s之间变化。形成覆盖期望长度的面板的条带构成一列,其中列宽度对应于条带的长度L_{scan}。

[0019] 在本公开的以下方面,将所有以上参数选择和控制为使得期望的注量分布可以是均匀的或可以是不均匀的。如果在形成列之后,注量分布不符合期望,则重复在先前方面中公开的工艺,直到获得期望的结果(即,期望的注量)为止。

[0020] 在例如FLA的通常需要多次照射同一膜的位置的工艺中,有必要的是严格控制随后照射同一位置之间的时段。这可以通过任何给定工艺的性质来解释。例如,在FLA工艺中,不应对整个膜深度进行退火。此外,膜过热会导致其损坏。因此,由于膜在交叉扫描方向上的位移是连续的,所以进行移位,使得准备再次被照摄的先前照射位置的温度对应于理论或经验确定的阈值。

[0021] 另一方面涉及控制扫描速度V_{scan}和激光光束能量,以便在形成单个列期间每个斑点的热反应通过部分熔化的三角形成形的膜区域来体现。在期望的条件下,该区域的顶点与斑点在反扫描方向上的长度为L_s,该长度至少比条带宽度W_s大10倍。

[0022] 如果所公开的QCW光纤激光器以小于100%的占空比工作,则它以80至200MHz的脉冲重复率(PRF)输出光束,这足以产生a-Si的热响应,a-Si的热响应与由来自QCW光纤激光器的光束引起的热响应相同,QCW光纤激光器作为以100%占空比工作的等效CW操作。

[0023] 所公开的方法的另一方面涉及条带长度,该条带长度可以大致上等于或小于面板或从其制造的器件的宽度。在后一种情况下,需要多列以覆盖面板或器件的期望的宽度。后者是通过将要处理的表面在扫描方向上移动距离dx来实现的,该距离dx最多等于列宽度L_{scan}。结果,一旦薄膜在扫描方向上移动了期望的距离,就重复以上公开的所有特征或步骤,以便形成必要的许多列以覆盖膜的整个宽度。如果需要在扫描方向上移位距离dx,则将此距离以及各列的后续条带之间的距离dy选择为使得经加工的膜的每个位置最多被照射50次。扫描方向上的位移应被控制,以避免诸如与交叠的列相关联的Mura之类的不期望的现象。相邻列之间的距离dx取决于条带长度L_{scan},并且不应超过已知在给定的工艺中产生Mura效果的距离。在通常与短扫描长度相关联的情况下,该距离优选地最大为0.5mm并且在公开的工艺期间被控制,并且在一些情况下,最大为扫描长度或条带长度的50%。

[0024] 作为上述任何方面的组成部分的另一特征包括dy和dx可以随列而变化的情况。

[0025] 在以QCW光纤激光器为特征的SLS和FLA结晶工艺中，优选的是可以实现与准分子激光器的时间分布相似的时间分布。通常，在标准的ELA退火工艺中，准分子激光光束具有以下强度时间分布：持续时间较短且高强度的尖峰，然后是持续时间较长且强度低的尾部。该时间分布允许初始尖峰导致Si膜熔化，而尾部部分允许熔化膜的受控的冷却和结晶。

[0026] 因此，所公开的方法和相关配置被配置为允许在扫描方向上修改强度分布并包括交叠的多个高斯光束，使得光束之间的空间偏移以及各个光束的尺寸和功率产生可以针对优化的退火工艺进行调整的期望的时间分布。多个光束可以由多个激光器产生，例如通过分离单个激光器的光束，或者通过使用分离的光束实现多个激光。期望的强度分布可以包括在交叉扫描方向上的高斯、超高斯或任何其他期望的类型。相同的分布与横向强度分布有关。

[0027] 前述方面中任一项的方法还可以包括：控制光束的偏振，使得入射在膜上的子光束的偏振垂直于扫描方向，从而控制多晶晶粒的对准。

[0028] 优选地，以上特征中的每个特征涉及所公开的QCW光纤激光器输出的单模(SM)光束。然而，某些应用对光束质量参数没有严格的限制。结果，光束可以是SM或多模(MM)。

[0029] 上述任何方面中公开的扫描器单元包括声光偏转器(AOD)、组装在一起的多个旋转镜或刻面以限定多边形或AOD和多边形。在包括多边形的扫描器单元的任何示意图中，本发明的特征包括出于以下原因对后者进行校准。

[0030] 多刻面的多边形相对于旋转平面易于产生刻面指向错误。取决于特定实现方式的容限，可能需要实施刻面校正。在高旋转频率下，每个刻面的停留时间较短阻碍光机械指向校正。在这种情况下，可能需要以期望的光学效率实施AOD，其通常低于80％。

[0031] AOD在其结构上具有许多固有的优势。除了具有基本上小于10μs的快速指向校正时间外，它还在上面公开的所有方面用于在多边形顶点通过光束时打开和关闭光束。它也可用于对入射到单个扫描线内的目标上的激光功率进行微调和/或进行长期功率漂移/波动校正。

[0032] 在本公开的另一方面，AOD用于控制焦深。此功能包括在AOD的输入处调制射频(RF)，以调整子光束的发散度，从而改变焦深。

[0033] 本公开的另一方面包括各种后扫描光学配置。取决于期望的条带长度，光学配置可以包括可以用于产生长条带的F-θ透镜。短线的生产还可能需要用于缩小的光学器件。该方面的特定特征涉及如下情况：在诸如扫描方向的一个方向上的光束图像不需要缩小，但是在另一交叉扫描方向上，光束的尺寸应该被缩小。

附图说明

[0034] 可以在本发明的方法和装置中单独使用的或以任何组合使用的上述和其他方面与特征将根据以下附图变得更显而易见，在附图中：

[0035] 图1是执行本发明方法的本发明退火设备的等轴视图；

[0036] 图2是表示本发明方法的流程图；

[0037] 图3是图1的装置在要退火的Si膜上形成条带的操作的示意图；

[0038] 图4是单个条带形成的示意图；

[0039] 图5是示出使用短线光束针对在扫描方向和交叉扫描方向上的单个位置的多通交

叠(multi-pass overlap)的示意图；

[0040] 图6是理想的顶帽光束强度分布的图；

[0041] 图7A至图7D示出了在列形成中使用的不同阶梯图案，每个阶梯图案被设计成防止待加工的材料过热；

[0042] 图8是在对应的扫描方向和交叉扫描方向上具有伴随的高斯和超高斯强度分布的束斑的示例图；

[0043] 图9是多边形的等轴正交图；

[0044] 图10是用于校正图9的多边形的刻面到刻面指向误差的装置的示意图；

[0045] 图11是图10中使用的AOD的工作原理的示意图；

[0046] 图12是由于要处理的表面的不平坦而用于补偿焦平面的校正方案的示意图；

[0047] 图13是示出可控制地改变在图10和图12的刻面到刻面指向误差和表面平坦度补偿方案中使用的激光光束的发散角的替代方法的示意图；

[0048] 图14示出了用于表面平坦度补偿的替代光学方案；

[0049] 图15示出了结合图9所示的多边形进行操作的后扫描组件的示例示意图；

[0050] 图16示出了根据AOD扫描角改变的相对目标θ速度分布；

[0051] 图17示出了AOD频率斜率相比线性θ分布；

[0052] 图18示出了θ速度线性化；

[0053] 图19示出了结合AOD的后扫描组件的操作原理；

[0054] 图20是图19的组合的示意图；

[0055] 图21A和图21B是图20的后扫描组件的各个示例性配置；

[0056] 图22是具有物镜的AOD的可能实现方式的示意图；

[0057] 图23至图27示出了各种类型的物镜系统；

[0058] 图28A至图28B示出了接收单个RF频率输入的已知AOD的操作；

[0059] 图29A和图29B示出了本发明的AOD同时接收多个RF频率输入以在交叉扫描平面中调节强度分布的操作；以及

[0060] 图30A至图30B和图31示出了使用图29A和图29B的AOD来调整在交叉扫描平面中的期望的光束分布的各个计算机镜头。

[0061] 图32示出了用于在扫描平面中调整期望的光束分布的技术。

具体实施方式

[0062] 现在详细参考所公开的系统。在可行的情况下，附图和说明书中使用相同或相似的附图标记来表示相同或相似的部件或步骤。附图为简化形式，而完全不是按精确比例绘制的。仅出于方便和清楚的目的，术语“连接”、“耦接”和类似术语及其词素变体不一定表示直接的和立即的连接，而是还包括通过中间元素或设备的连接。

[0063] 本发明的目的是将标准的QCW光纤激光器与高速扫描器结合使用来加工Si膜，其加工质量可以与由准分子和突发模式光纤激光器加工的膜的加工质量相当。允许实现此目标的前提是基于可控地将Si膜曝光于特定形状的激光光束，该激光光束以预定的扫描速度在膜的区域上进行扫描，使得经处理的区域以期望的注量为特征，在这种情况下，FLA工艺的期望的注量优选在0.35至0.45J/cm^{2}之间变化。因此，该工艺取决于控制主要系统变

量——斑点光束的长度、宽度和强度分布，即，斑点几何形状和扫描速度——以针对包括功率、发散、像散和偏振在内的给定的激光特性获得期望的曝光持续时间和注量。对系统变量和激光特性的控制由相应的组件及其组合完成，如下所述。

[0064] 参照图1至图4，本发明的模块化装置10可以具有能够执行本发明的工艺的各种布局。在非常基础的水平上，可以通过以下方式完成本发明的工艺：(1)在工件表面上形成较长的照射区域或条带，该照射区域或条带的长度高达米量级，或(2)较短的区域或条带，其长度通常不超过几毫米，例如2毫米。取决于条带的长度，本发明的装置的选择性子组件可以具有不同的配置。然而，这些子组件的功能实际上保持不变。

[0065] 装置10可操作以加工工件表面，例如，较薄的Si膜工件27，从而根据FLA工艺将a-Si转换为p-Si，FLA工艺通常需要对工件27的每个位置进行约20次的照射，当然，如果要对整个表面进行退火的话。尽管在FLA的上下文中公开了装置10的以下操作，但是本发明的装置可以根据SLS、SiC退火(例如，欧姆接触)和聚酰亚胺LLO工艺有效地起作用。

[0066] 装置10多次照射膜的每个位置以满足期望的注量和曝光持续时间，装置10可以加工小工件，小工件以及宽度各自达到米的大工件。总之，装置10可操作成在扫描方向上形成单独的长条带和短条带两者，每个长条带有效地覆盖期望宽度的大型面板(在一些情况下，整个宽度)，且如果需要，则短条带可以在扫描方向上交叠以覆盖期望宽度的大型面板。

[0067] 图1的本发明的装置10具有包括若干个可重新配置的组件在内的模块化结构。装置10包括激光源组件24、预扫描组件22、扫描组件26、后扫描组件28和工件支撑台架34。除此以外，后扫描组件28通常配置有物镜组件30和可选的后物镜光束成形器32，该后物镜光束成形器32在所示示例中被配置为望远镜。这些子组件中的每一个都将在下面进一步详细讨论。

[0068] 所示的装置10的布局仅代表全部可操作以执行本发明构思的许多可能配置中的一种。这样，装置10包括支撑台架14的基座12，该台架14操作为使安装在台架上的工件27在交叉扫描方向(CSD)和扫描方向(SD)上移位。耦接到基座12的兀形框架16支撑台架15，台架15在SD上引导具有激光源组件24、后扫描光束成形组件28的盒体18，后扫描光束成形组件28可以包括物镜组件30和后物镜光束成形32。尽管台架15被示出为在后扫描组件28的上游，但是它可以位于其下游。

[0069] 在操作中，来自激光源组件24的激光光束在经受预扫描组件22中的调节的同时沿预扫描光路传播，该预扫描组件22操作为调节光束功率、偏振和包括斑点光束尺寸在内的几何形状。在所示的配置中，撞击扫描器的斑点光束是圆形的，但是如本领域普通技术人员容易意识到的，任何光束形状都是可行的，这取决于装置10的占地面积和为该装置提供期望的占地面积的光学配置。在入射到在扫描方向(SD)上旋转的扫描组件26上时，调节后的光束被分割为沿后扫描光路偏转的多个子光束，其中，在后扫描光束成形组件28中对偏转后的子光束中的每一个进行处理。后扫描组件28是处理来自扫描器组件的每个子光束的光学配置。取决于后扫描组件28的配置，装置10可以具有一个或多个圆柱形后物镜，其对斑点光束在CSD上的形状和尺寸施加最终触摸，该斑点光束在预定的曝光时间和注量期间形成在可移位工件27的表面上并在可移位工件27的表面上进行扫描。

[0070] 具体参考图1的配置，QCW光纤激光源组件24输出例如具有一定标称功率的脉冲光束。预扫描组件22被配置有可操作为对光束进行成形使得其具有合适的尺寸、形状和发散

度的光学示意图，所有这些都被选择为与给定扫描器的尺寸相对应，例如图1的扫描组件26中包括的多边形。

[0071] 具体地，在该示意图中，光束形状为圆形的。预扫描组件22还可以具有如下所公开的功率衰减器，其用于将恒定的激光器输出功率调节到期望的水平。从多边形偏转，该多边形将激光光束切割成对应于各个刻面的多个子光束，这些子光束传播通过后扫描组件28的物镜30，该物镜是F-θ透镜。F-θ透镜被配置为调整斑点光束在扫描轴上的长度。例如，随着斑点光束长度的增加，应当增加扫描速度以便获得期望的曝光持续时间。所示结构中的后物镜成形器32是望远镜，用于调节CSD中的斑点光束宽度，以获得期望长宽比的斑点。结果，正确尺寸的斑点以确定的速度和功率沿确定的扫描长度被拖动，这从而提供期望的曝光时间和注量。

[0072] 图3示出了当在预定的曝光持续时间期间在扫描方向上拖动长度为L_s且宽度为W_s的斑点光束时由具有期望形状和尺寸的单个斑点光束形成的长度L_{scan}的所得条带25，使得注量在条带25上是均匀分布的。

[0073] 简要地参考图6，以下可以更好地理解如何获得期望值。为了简单起见，假定具有理想顶帽光束强度分布的光束，尽管如此，例如高斯分布和超高斯分布的其他分布同样是可行的。给定长度为Ls的斑点光束，以速度V_{scan}传播，曝光持续时间被确定为：

[0074] $t_{exp}=L_s/V_{scan}$

[0075] 可以重新排列以上等式，以提供期望的扫描速度：

[0076] $V_{scan}=L_s/t_{exp}$

[0077] 对于目标激光功率P和斑点光束宽度W_s而言，强度I为：

[0078] $I=P/L_sW_s$

[0079] 任何点处的扫描注量H为：

[0080] $H=I\ t_{exp}=P\ t_{exp}/L_sW_s$

[0081] 结合以上内容：对于期望的注量H和曝光时间t_{exp}以及激光功率P和斑点光束宽度W_s，期望的斑点光束长度L_s和扫描速度V_{scan}为：

[0082] $L_s=P\ t_{exp}/HW_s$

[0083] $V_{scan}=P/HW_s$

[0084] 示例：

[0085] 激光功率＝150W

[0086] 线光束宽度＝5μm

[0087] 期望的曝光持续时间＝300ns

[0088] 期望的注量＝0.7J/cm^2(7,000J/m^2)

[0089] 期望的线光束长度＝1.3mm

[0090] 期望的扫描速度＝4,300m/s

[0091] 本发明的目的是在使用光纤激光器的某些表面处理应用中获得能够与通过公知方法和执行各自已知方法的准分子激光器设备获得的结果相当的结果。例如，在平坦面板的生产中，准分子激光占据上风，直到最近，光纤激光开始媲美准分子激光的结果。这就是说，例如ELA的某些工艺参数(如对目标的曝光持续时间和注量)是经验上已知的。因此，像这里一样，采用不同的结构方法并不意味着要改变一切(例如，期望的曝光持续时间和/或

注量)。相反,已知300-450mJ/cm^{2}的注量和100至500ns的曝光持续时间两者都是可以构造本发明装置及其子组件所依赖的两个关键分量。因此,基于已知的工艺参数,容易使用上面公开的简单计算来确定装置参数,包括但不限于扫描长度、扫描速度、激光功率和其他器件参数。一旦确定了装置参数,就可以配置每个组件的各种特定结构,以获得确定的参数,这些参数决定整个设备的总体占地面积、其效率和当然还有成本。

[0092] 图4示出了Si膜的所得条带25,其特征为期望的热反应,即,导致均匀的p-Si晶粒的期望的注量。沿要形成的条带25对每个位置(仅示出了一个位置)照射的期望的热反应的特征是成形为三角形的熔化区域,其长度L_m为斑点的宽度W_s的10倍以上。如果在本发明工艺期间(例如,通过适当的X射线技术)证实了这种反应,则将在指定的曝光持续时间内在条带25的区域上达到期望的注量分布。最初对熔化区域的长度和宽度之间的这种关系进行了理论建模,然后通过随后的大量实验加以证明。

[0093] 图5示出了本发明的工艺,该工艺通过使用均不大于几毫米的较短的线光束来形成所得的长条带,其期望的总条带长度L_{scan}最高达一米或更多。一般而言,形成长度L_{scan}超过各个斑点或线光束长度的短条带25包括首先形成第一列34_1和然后随后的第二列34_2,以使得相应的第一列34_1和第二列34_2(以及随后的第34_n列)的共面和共线的短条带25彼此交叠。该工艺一直持续到期望的总条带长度L_{st}结晶为止,更确切地说,直到期望的区域结晶为止。

[0094] 列34各自通过激活台架15而形成,使得形成在SD中延伸的至少一个短条带25。最终,通过利用使工件27在CSD上移位的台架14而在CSD上以期望的距离dy彼此偏移的多个条带25被用于定义列34。一旦第一列341形成为具有期望的长度和宽度,台架14就将工件27在SD上移位距离dx,这对应于SD中后续条带25之间的期望交叠。类似地于前一列的形成,该工艺持续直到第二列完成为止。由于工件可以在X和Y方向上移位,因此通过交叠较短的扫描条带25形成长线(即,条带长度)的工艺可以被称为2D扫描工艺。选择SD和CSD方向上的间距,以为处理区域的每个位置提供多个斑点光束照射。如果各个的条带25的长度足以覆盖期望的区域,则SD上不需要交叠,并且入射在每个单独位置上的斑点光束的多样性由CSD上的后续条带之间的偏移dy来定义。

[0095] 图7A至图7D示出了单独的列34的形成,每个列包括例如CSD上的多个“堆叠的”平行条带25。可以看出,图7A至图7D各自所示的相邻条带25在CSD上以不同的距离dx 136偏移。这可以通过以下事实来解释:应该监控任何热处理过的表面,以防止开始出现能够破坏Si薄膜的表面温度。这对于每个膜位置都有多次照射的Si薄膜尤其重要。因此,如果例如由传感器组件36所估计的沿着刚形成的条带25的开始的温度达到或接近预定阈值,则随后的条带应以更大的距离间隔开,这是由于后者的形成只会增加已经危险的温度。具体地参照图7B,相邻条带136_1-136_4以与覆盖部相对应的小的间距间隔开,该覆盖部覆盖斑点宽度W_s的约80%,斑点宽度W_s可以例如在1微米到10微米的范围内,例如1μm、2μm、10μm。相反,图7D中的dx对应于整个斑点宽度,其表明由先前形成的条带占据的膜的温度高得危险。

[0096] 温度控制可以通过以下方式实现:测量来自加工过的Si膜区域的光学衍射响应信号;将这些测量结果与存储的参考值进行比较;基于测量值和参考值之间的差来计算比较结果;以及向台架14输出控制信号以便基于比较结果将下一条带位移一定距离。因此,装置10被配置有使用反馈方案的衍射响应传感器组件36。

[0097] 即使在FLA工艺的情况下，当随后的条带实际上具有非常小的交叠或根本没有交叠时也可获得这种工作方案，并仍然产生令人满意的结果。然而，通常情况下，如果照射的总数和因此的交叠例如在给定位置可以是20次，那么如果CSD发生变化，例如条带变为2条带，则应将SD中的交叠数从5增加到10，以便该位置获得必要的20个。换句话说，两个方向上的间距(即，dx、dy)可以改变，但它们的总乘积保持不变，这导致期望的注量和曝光持续时间。

[0098] 参照图8，示出了相应SD和CSD中的斑点光束38的期望强度分布。这些分布以及斑点的几何形状对于曝光持续时间和注量分布至关重要。例如，沿椭圆斑点的扫描轴的强度分布是纯高斯分布，而如图所示，沿CSD中的交叉扫描轴的强度分布是超高斯分布。在某些情况下，超高斯功率因数大于2。显然，空间分布可以在高斯分布、超高斯分布和平顶分布之间可控地变化。而且，如果需要，则可以通过采用若干个激光源或光学器件来使用其他分布，如下所述。斑点宽度是与预扫描组件和后扫描组件相关联的光学配置的结果，可以将其配置为形成任何合理的斑点/条带长度和宽度。

[0099] 现在转向对构成装置10的组件的描述，激光源组件24包括一个或多个QCW光纤激光器，每个QCW光纤激光器以最多为100％的占空比工作，这相当于激光器工作的CW模式。在假定所有其他条件都相同的情况下，选择任何低于100％的占空比使得要处理的表面(即Si膜)具有与将进行的CW照射相同的热反应。占空比小于100％的QCW光纤激光器以脉冲模式工作，其均匀的高重复率在80和200MHz之间，甚至达到1GHz，优选地输出单频(SF)、偏振的、大体衍射极限的光束，具有3xx nm和/或5xx nm的波长，其中$M^2 \leqslant 1.2$。脉冲持续时间从数十纳秒到数百纳秒不等。激光源24以最优的恒定输出功率工作，如果有必要，输出功率随着激光光束沿预扫描路径传播而衰减。取决于激光光束的发射波长，对于绿光，其功率可达到约1KW(平均功率)，对于红外光，其功率可达到数kW。可以通过操纵其占空比来控制此处使用的以脉冲方式工作的QCW光纤激光器的输出功率。

[0100] 注意，虽然SF SM光束特别适合通常与3xx-5xx nm波长范围相关联的FLA和SLS工艺，但其他应用可以不需要对光束质量和光谱的这种严格限制。当然，在这种情况下，激光源22可以被配置为输出具有宽光谱线的多模光束。总而言之，功率、偏振和光束质量参数是装置参数的一部分，它们对于维持期望的工艺参数——例如预定的注量和曝光持续时间——起着至关重要的作用，对这些参数进行选择以获得与使用准分子和突发模式光纤激光器的帮助所获得的结果相同的结果。

[0101] 装置10的预扫描组件22充当光束调节器，从而为给定的扫描组件26提供具有合适特性的输出激光光束。光束调节包括将点光束成形为具有期望的几何形状，例如圆柱形或优选地椭圆形，其中后者具有沿扫描方向延伸的扫描轴。同样，光束的大小和发散度也要进行调整以满足所使用的扫描器所施加的几何尺寸限制。实际上，技术人员所公知的各种透镜组合可以容易地实现这些任务。

[0102] 在AOD扫描器的情况下，入射在其上的光束应在扫描方向上准直，这需要安装准直仪，并且其被合适地定尺寸为与AOD的通光孔径相对应。另外，预扫描组件22可以包括均质器，该均质器不一定用于扫描组件，而是稍后用于斑点光束在扫描轴和交叉扫描轴之一或两者上的的期望强度分布。

[0103] 功率衰减器也是预扫描组件的一部分。知晓响应于改变泵浦即二极管激光器电流

来稳定激光系统输出有多么困难，就可以理解衰减器的必要性。因此，在本设备中，激光输出功率对于给定的激光器是最优的，但是随后它连续地和可控制地变化以保持入射在工件表面上的光束的恒定预定功率水平。执行功率衰减的手段包括实现各种配置的偏振器和偏振旋转器，它们与功率调整一起还提供期望的光束偏振。功率衰减的实际实现需要在处理过的表面附近进行功率监控、以及在功率传感器和偏振器之间的反馈电路，其中控制器安装在反馈控制中。

[0104] 总之，为了提供扫描器的最优操作，将来自激光器组件24的输出光束调节为在扫描和交叉扫描轴上具有期望的光束尺寸。光束也被调整为在扫描轴和交叉扫描轴上都具有期望的光束发散度。偏振取向对于扫描器操作可能可选地并不需要太多，尽管这可能是理想的，但是对于给定的应用工艺也可能如此。可选地，光束可以在一个或两个轴上经历光束分布重新变迹，例如，高斯分布变换为超高斯分布或顶帽。然而，在某些情况下，光束偏振和变迹都可以通过集成在QCW激光器内的光学器件来完成。

[0105] 扫描组件26接收调节后的光束，并以期望的角速度和角度范围沿着后扫描路径朝向工件25偏转。扫描器的配置选自多边形、AOD或AOD和多边形的组合。当然也可以使用检流计，但是由于固有的局限性，例如扫描速度和其他因素，在目标应用中不太可能高效。至关重要的是扫描组件26的以达到km/sec的较高的且受控的速度为特征。还优选的是扫描组件26利用超过90％的高激光占空比。可以通过利用控制和反馈电路动态地进行扫描速度的受控变化，从而允许保持预定的工艺参数，例如目标上的曝光持续时间和注量分布。

[0106] 参照图9，一种用于在一个轴上扫描光束的常用方法利用旋转的多边形40，其可以具有一个(单色)或多个(例如＞30)刻面42，其中6到12个刻面是相当标准的。光束可以与旋转平面成一直线(由箭头指示)，或者可以与旋转平面成一角度。旋转多边形的已知优点是较大的扫描角度范围，该角度易于对接并且与刻面数量成反比，并且技术成熟。

[0107] 参照图10，多边形40的刻面42易于产生与旋转平面正交的刻面指向误差。取决于特定实现方式的公差，可能需要实施刻面校正。在此处使用的高旋转频率下，每个刻面的停留时间较短，因此无法进行光机械指向校正。在这种情况下，可以需要实施AOD，这会导致其自身的光学效率低下(通常＜80％)。

[0108] 刻面42的不同角度位置导致条带在静止的工件的表面上不完美地彼此重合，这导致注量分布的不期望的波动，并最终导致Si膜的结晶不令人满意。

[0109] 通过在多边形40的上游实现AOD 44来实现指向误差校正。AOD的操作原理是众所周知的：其RF驱动器46具有频率和幅值调制输入。如图11所示，取决于频率，光束从刻面沿交叉扫描方向CSD偏转。因此，如果对所有刻面使用固定频率，则那些以与“第一”刻面的角度不同的角度倾斜的刻面将产生在交叉扫描方向上偏离初始条带的条带。为了补偿该偏移，通过可控制地调整可用频带中的频率，使从“缺陷”刻面偏转的每个子光束的发散角变化，以使所有条带之间的偏移在2-10％的范围内。

[0110] 例如，由于刻面之间的表面反射率的变化，入射在工件27的表面上的子光束功率始终不会被均匀地衰减。通过经由反馈电路来调制幅值，可以将每个刻面的反射率实时调整到期望的水平。

[0111] 随着多边形40旋转，入射在相邻刻面42之间的边界上的光被浪费了。AOD 44是在开/关模式下以高频运行的理想开关。因此，当预期光束撞击边界时AOD 44关断，然后在随

后的刻面处于偏转光束的位置时重新打开。

[0112] 作为开关,AOD 44可操作以执行另一功能。每个多边形都有针对特定条带长度设计的刻面。如果出于任何原因期望的线长度小于针对刻面长度设计的长度,则在完成对条带的设计长度的扫描之前,关断AOD。

[0113] 某些表面(尤其是大表面)可能不够平坦,无法针对长扫描线保持聚焦。在这种情况下,有必要沿着线的长度以伪实时方式实现聚焦补偿技术。例如,应用可以具有允许的聚焦深度≤±5μm。即使是高精度面板的厚度变化通常也超过了足够长的扫描线(例如,达一米)的允许平坦度。可以放置传感器阵列以沿着线的长度测量表面高度。传感器间距足以确保相对于面板表面的倾斜误差具有足够的空间分辨率。

[0114] 图12示出了用于控制焦深的示意图。对于长条带(例如300mm长)而言,对于获得期望的结晶而言,校正焦深至关重要。在示例性条带中,10um的宽度具有最小的焦深,并且是需要焦点控制的尺寸,AOD理想地适合于此,因为它会在交叉扫描方向上偏转。因此,AOD可用于通过调节从窄光谱宽度到宽光谱宽度中选择的频率来调整光束在交叉扫描方向上的发散,以补偿可变的表面高度。

[0115] 增大或减小发散角导致光束宽度随以下焦深变化而变化。控制方案的示意图可以优选地包括在交叉扫描轴之前放置的多个传感器50,该交叉扫描轴在CSD上延伸,以最小化任何时间上的损失,但这不是必须的。该方案还包括通过中央处理单元连接到AOD的频率输入的反馈电路。

[0116] 图13示出了使用AOD改变光束的发散角的方法。代替输入单个频率,多个频率被同时耦接到AOD中。结果,与来自AOD的多个相应频率相对应的多个光束相对于彼此发散。如稍后将公开的,该特征可以用于在CSD上提供期望的强度分布。

[0117] AOD的使用可以是优选的,但不是用于补偿表面平坦度的专用设备。例如,机械变焦可以用于同一目的。如果扫描速度慢,则可以合理地使用机械设备(例如音圈或压电致动器)来移动光学元件(或多个元件),从而改变光束发散。由于可以通过这种方法实现相对较低的致动速度,因此该方法仅适用于低激光功率和较长较宽的线,其中扫描速度较慢,但仍在km/Sec范围内,这比在m/sec范围内变化的交叉扫描速度高出很多。

[0118] 图14重新讨论了可以通过除AOD以外的方式实现的聚焦补偿的概念。另一聚焦补偿示意图包括可变形光学器件。一个或多个可变形光学器件可以放置为与预扫描路径成直线,以使聚焦平面跟踪面板表面。优选的实现方式利用一个或多个可变形镜。镜可在一维上变形,其中沿着线光束的长度具有连续可变的曲率半径。曲率半径沿着镜的长度变化,以补偿像平面的可变高度。

[0119] 扫描器配置与后扫描组件28的相应示意图相关联。例如,使用多边形40,无论是将其单独安装在本发明的装置中,还是将其与AOD结合使用,都需要使用F-θ透镜形成最高达一米的长条带。

[0120] 图15示出了一种光学方案,该光学方案包括多边形40和后扫描组件,所述后扫描组件配置有F-θ物镜54和包括后F-θ变形光学器件56的物镜或透镜,在某些情况下,所述后F-θ变形光学器件56可以包括一个或多个圆柱透镜。F-θ透镜54控制斑点光束的扫描轴的尺寸,而可包括一个圆柱透镜或多个圆柱透镜的组合在内的后F-θ光学器件56调整斑点光束的交叉扫描轴的尺寸。通常,所示方案对于退火长条带25是有利的。交叉扫描轴上的光束强

度分布优选具有平顶形状，从而保持沿该轴的注量均匀性。为了确保这形状，可以在后F-θ光学器件56中使用柱面透镜(多个柱面透镜)。

[0121] 返回扫描组件，它可以仅包括AOD。除此以外，AOD的优点包括：(a)快速扫描速率，(b)RF扫描可以在≤4μs内进行，(c)对目标的扫描速度可以比多边形情况下获得的扫描速度高，(d)快速响应时间，(e)同时调制振幅和扫描速率以补偿光束传输系统(BDS)的不均匀性/非线性和激光功率变化，以及(f)扫描内的调制。

[0122] 图16示出了沿着扫描线的长度具有线性RF驱动器频率斜坡的tan θ位置分布(图17)的效果的示例以及相应速度分布。这样的分布导致曝光持续时间和注量沿着该线变化。如上所公开，可以通过调节AOD RF驱动器的调制幅值来补偿感应的注量变化，但是不能补偿曝光持续时间的变化。产生恒定速度(恒定曝光持续时间)需要在RF驱动器频率中实现非线性斜坡，如图18所示。

[0123] 后扫描组件28可操作以执行多种功能。它将来自扫描器的扫描角度和速度修改为期望的值，并优化来自扫描器的光束分布，以进行可选的掩模平面和/或物镜匹配。后扫描组件28还可以在整个扫描器角度范围上将主射线角修改为可选的掩模平面和物镜。可以通过以下方式来定义掩模平面/物平面：在任一轴或两个轴上使用诸如变形F-θ透镜和柱面透镜之类的成像物镜，在任一轴或两个轴上在掩模平面处裁剪光束，并使用每个轴可能需要不同物平面的变形物镜。有时，可能需要提供进一步的光束偏振调整。另外，可以在交叉扫描轴上实现光束分布的重新变迹。

[0124] 图19、图20、图21A和图21B示出了与AOD 44结合使用的后扫描组件28的操作，并且在撞击AOD时调整直径为D的光束的长度和宽度，这定义了扫描角度$\acute{O}$ 。后扫描组件28包括圆柱形或球形F-θ透镜56或焦距为F的透镜的组合。在像平面中形成斑点，在这种情况下，该像平面是要处理的表面。斑点长度是λ/π*F/2D的乘积，其中λ是激光光束波长。条带的长度L_{scan}被确定为$2F*tan\acute{O}$ ，这意味着焦距越长，条带长度L_{scan}越长。总而言之，扫描角度和焦距F定义了条带L_{scan}的长度。基于以上所述，如果条带长度L_{scan}响应于焦距F的增加而增加，则应增加扫描速度以保持相同的(给定的)曝光持续时间。因此，应该增加激光器的输出功率，以便在增加扫描速度的情况下获得预定的注量。总体而言，随着激光功率的增加，可能增加焦距以获得更长的线。然而，增加的焦距显然使整个装置需要更大的占地面积。为了在形成长条带的同时控制装置的占地面积，可以使用两种不同的布局。一种是使用掩模MP。另一种方法是使用作为F-θ透镜操作的透镜56来调节扫描轴上的斑点长度，并且使用圆柱形透镜来调节交叉扫描轴上的斑点宽度，如图21B所示。

[0125] 图21A示出了包括发散透镜和会聚透镜的组合在内的后扫描组件28的示例性示意图。AOD 44接收在扫描轴/方向上准直的光束，并使光束以角度θ偏转，其中光束具有光束直径D。然后，偏转的光束入射到上游的发散透镜48上，并且进一步入射到两个会聚透镜50和52上，以在扫描方向上获得斑点光束的期望尺寸。假设将AOD 44放置为距物镜几米远并接近远心多元件伽利略望远镜或开普勒望远镜，同时控制斑点尺寸，则后扫描组件28的所示配置允许形成足够长的线而无需缝合。此示意图中的长线可以达到1015mm。随着激光功率的增加，甚至可以形成更长的条带。

[0126] 参照图22，准直光束撞击具有约2.5mrad扫描角的AOD 44。光传播通过后扫描光学组件28，后扫描光学组件28将扫描轴缩放到物平面中的期望值。最后，圆柱形成像透镜60缩

放该斑点的交叉扫描轴。

[0127] 物镜类型和扫描线聚焦类型有几种可行的组合，每种组合与不同的应用兼容，以获得期望的斑点纵横比。可以使用所有组合，如下所示。

[0128]

物镜	扫描（线）轴	窄交叉扫描轴	应用
球形 F-θ	腰部焦点	腰部焦点	FLA 等（大斑点）
变形 F-θ	腰部焦点	后 F-θ 重新聚焦	FLA 等（大斑点）
球面成像	成像焦点	成像焦点	SLS 或 FLA 等（窄线） SiC 退火/LLO
变形成像	成像焦点	成像焦点	SLS 或 FLA 等（窄线）

[0129]

			SiC 退火/LLO
圆柱成像	腰部焦点	成像焦点	SLS 或 FLA 等（窄线） SiC 退火/LLO

[0130] 图23和图24示出了各个类型的球面物镜类型：图23的在腰部焦点处具有无限共轭的球面F-θ透镜和如图24所示的在像平面处具有有限缩小倍率的球面成像透镜。

[0131] 图23的F-θ透镜与多边形扫描器最兼容，但是由于在不需要远心度的情况下容易产生长线，其可以与AOD一起使用。斑点光束大小直接随预扫描光学系统施加的激光光束大小和扫描器定义的发散度而变化。图24的球面成像透镜的特征在于固定的缩小倍率，并且与长而窄的线光束不兼容。斑点光束大小相对于物平面照射是固定的。

[0132] 图25至图27示出了在扫描轴和交叉扫描轴中的每一个中提供不同焦距和/或聚焦模式的变形透镜的相应类型。一个轴可以没有物镜能力，即，纯粹的圆柱形物镜。

[0133] 图25示出了变形的F-θ：无限共轭(腰部焦点)。此配置处理扫描轴和交叉扫描轴二者，但是焦距不同。图26示出了圆柱形成像透镜：在扫描轴上的无限共轭且在交叉扫描轴上的成像焦点。图27示出了变形的成像透镜，其可操作用于以不同的缩小因数对短轴和长轴/扫描轴成像。

[0134] 参照图28A至图31，可以通过引入多个频率将AOD用于在交叉扫描轴上成形光束分布。众所周知，在向AOD发射单个RF频率的情况下，衍射光束是准直入射光束的复制品(图28A)，并且在图28B所示的交叉扫描轴上具有一光束形状。为了调节衍射光束的发散，根据至少一个实施例，可以将多个频率发射到AOD中，如图29A所示，并且在激光器输出光的持续时间内保持恒定。根据发射的$f_1 \cdots fn$频率，这将导致光束扩展，如图29B所示。

[0135] 图30A至图30B示出了图29A和图29B的发明构思。响应于具有各自变化幅值的多个RF频率或频谱同时发射到AOD 44中，光束将在衍射交叉扫描平面中扩散或增加发散度。图30A示出了在相距很远的相应频率处的两个光束。图30B示出了从AOD 44输出的三个光束，其相应频率比图30A的频率彼此更靠近。图31示出了选择的4-RF频率输入，以使一对相邻的光束间隔开而另一对光束实际上彼此交叠。总之，可以调整频率幅值以维持高斯分布或将后者改变为任何期望的形状，例如，超高斯分布或优选为平顶分布(如果以特别定制的幅值

来选择频率的话)。

[0136] 参照图32,也可以调整扫描轴上的分布轮廓。标准ELA工艺已经过优化,可用于典型的准分子激光光束强度的时间分布:持续时间较短且高强度的尖峰,然后是持续时间较长且强度低的尾部。该时间分布允许初始尖峰导致Si膜熔化,而尾部部分允许熔化膜的受控的冷却和结晶。因为典型的光纤激光光束具有高斯分布,所以本发明的扫描方法导致等效的高斯时间分布。虽然可以通过该高斯时间分布来实现SLS和FLA的结晶,但可以优选的是实现与准分子激光的时间分布相似的时间分布。

[0137] 一种实现这种时间分布的方法是将两个或更多个单独的高斯光束交叠,以使光束之间的空间偏移以及各个光束的尺寸和功率产生时间分布,其中可以针对优化的退火工艺调整该时间分布。光束可以由多个激光器来产生,通过分裂单个激光器的光束来产生,或由具有分裂光束的多个激光器产生。图32所示的示例示出了用于组合具有不同尺寸和峰值功率的两个高斯光束的空间/时间轮廓。

[0138] 本领域技术人员将认识到或能够使用不超过常规实验来确定本文所述的本发明的具体实施例的许多等同形式。所公开的示意图可以与任何光成像系统一起使用,但是本文所公开的结构的推动力就在于此。因此,应当理解,前述实施例仅作为示例给出,并且在所附权利要求及其等同物的范围内;本发明可以以不同于具体描述的方式实施。本公开涉及本文所述的每一个单独的特征、系统、材料和/或方法。此外,如果这些特征、系统、材料和/或方法不相互矛盾,则两个或更多个这样的特征、系统、材料和/或方法的任何组合都被包括在本发明的范围内。

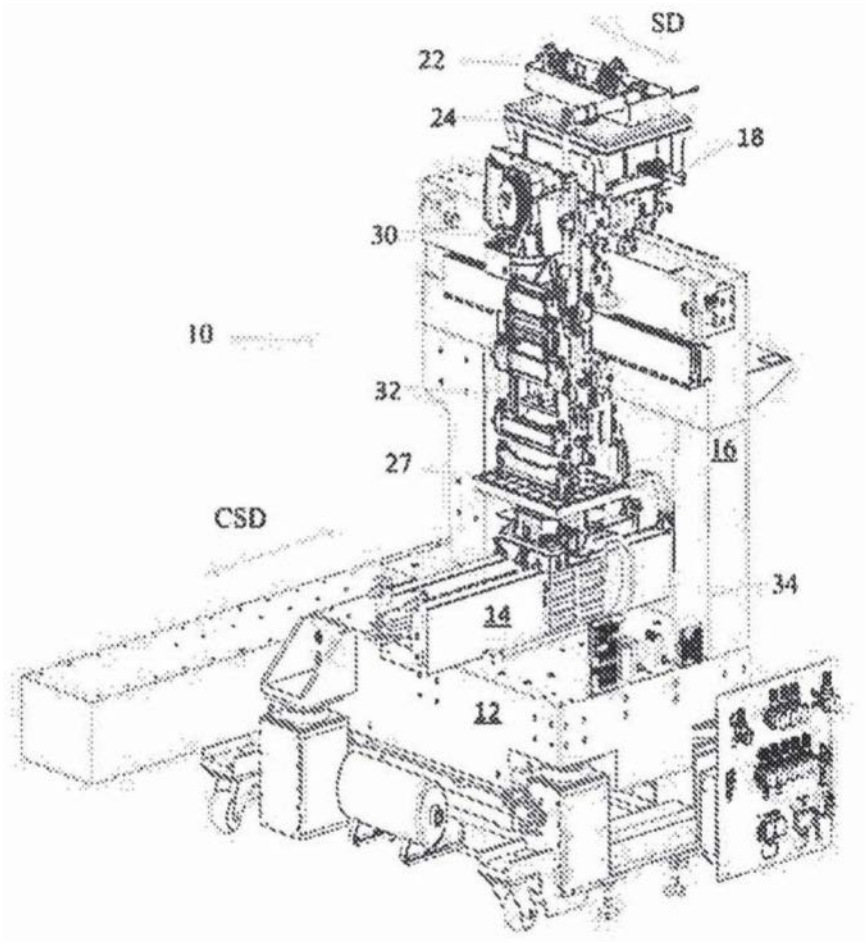

SD
22
24
18
30
10
32
27
16
CSD
34
14
12

图1

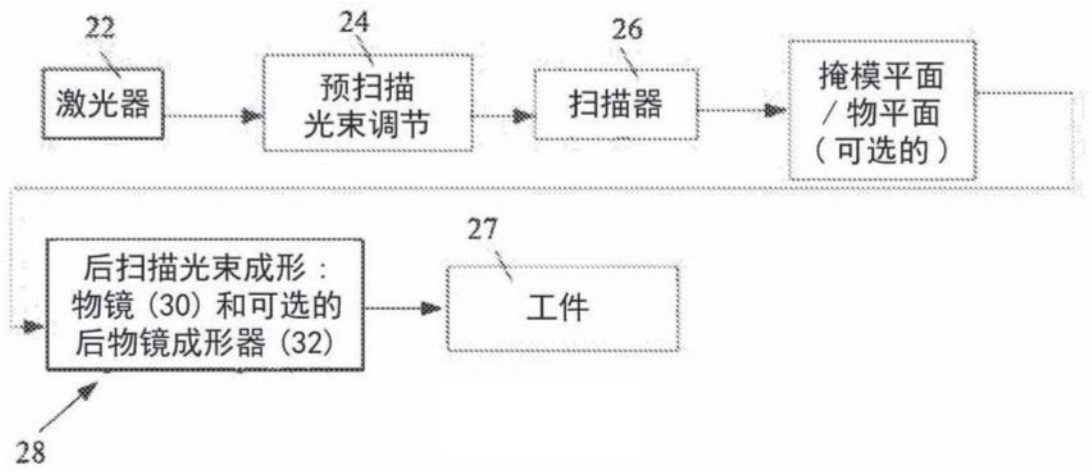

22
激光器
24
预扫描
光束调节
26
扫描器
掩模平面
/物平面
(可选的)
27
后扫描光束成形：
物镜(30)和可选的
后物镜成形器(32)
工件
28

图2

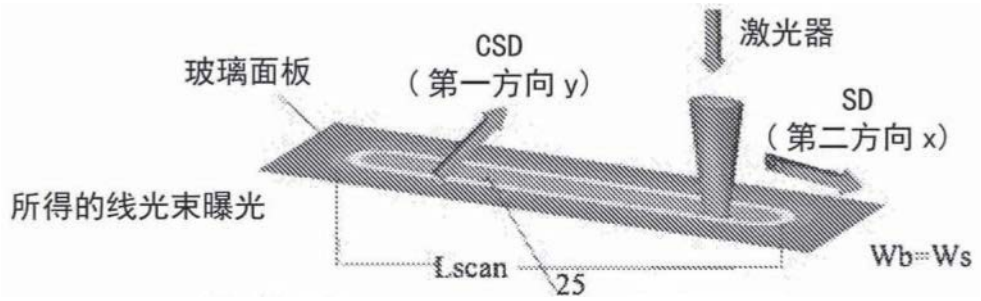

激光器
CSD
（第一方向 y）
玻璃面板
SD
（第二方向 x）
所得的线光束曝光
Lscan
25
Wb=Ws

图3

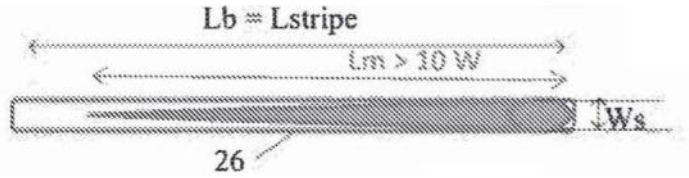

Lb ≈ Lstripe
Lm > 10 W
Ws
26

图4

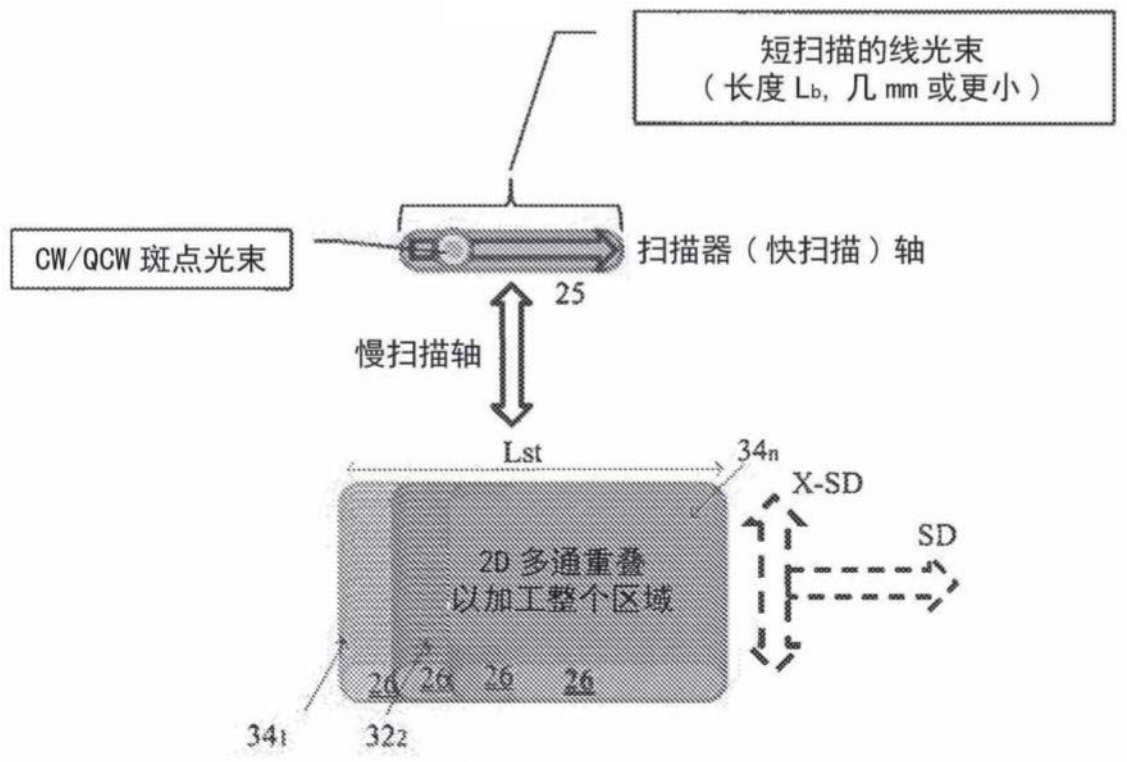

短扫描的线光束
（长度 Lb，几 mm 或更小）
CW/QCW 斑点光束
扫描器（快扫描）轴
25
慢扫描轴
Lst
34n
X-SD
SD
2D 多通重叠
以加工整个区域
26
26
26
26
341
322

图5

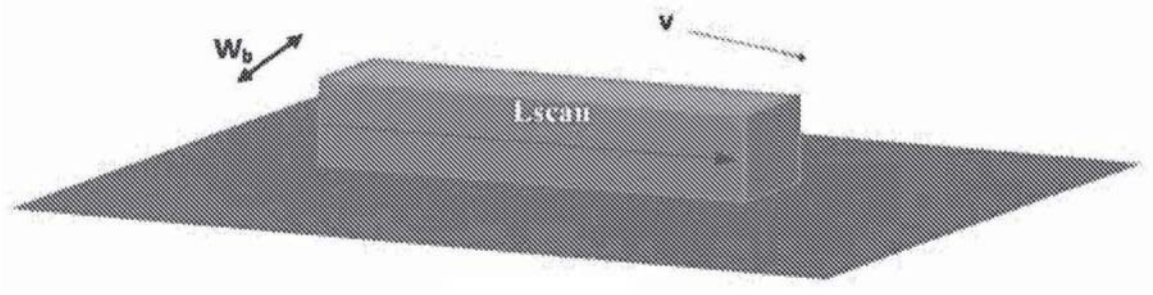
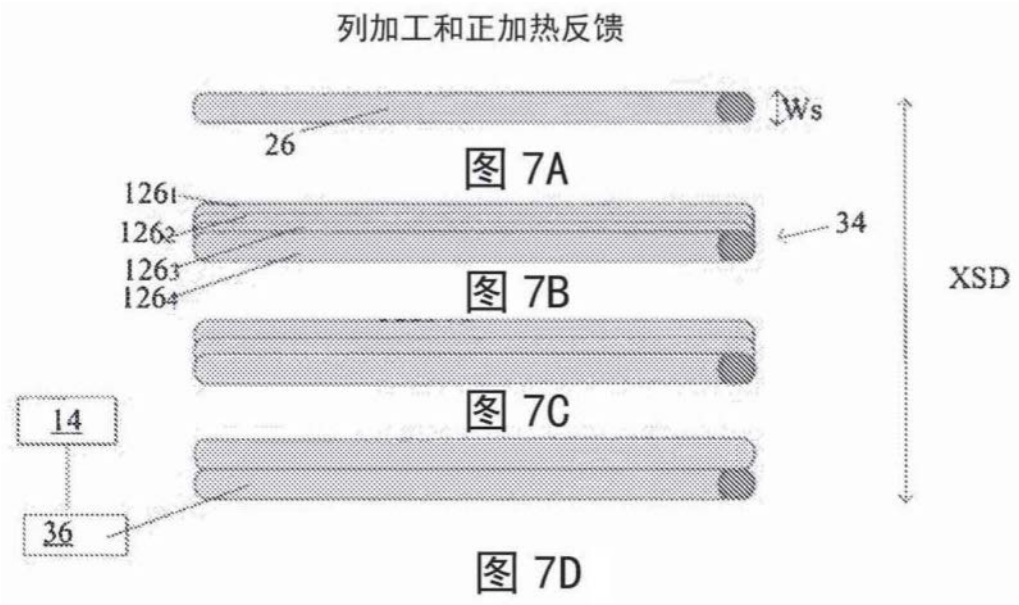

Wb
v
Lscan

图6


列加工和正加热反馈
26
Ws
图 7A
1261
1262
1263
1264
34
XSD
图 7B
图 7C
14
36
图 7D

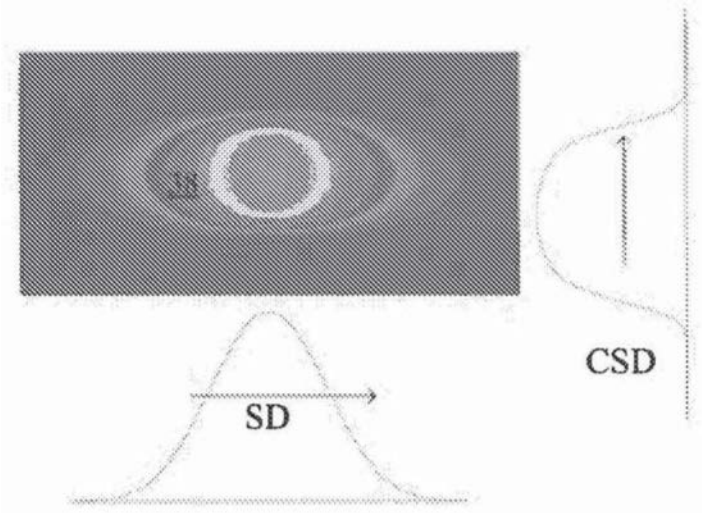

38
CSD
SD

图8

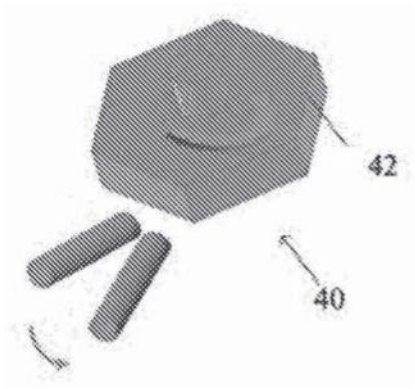


图9

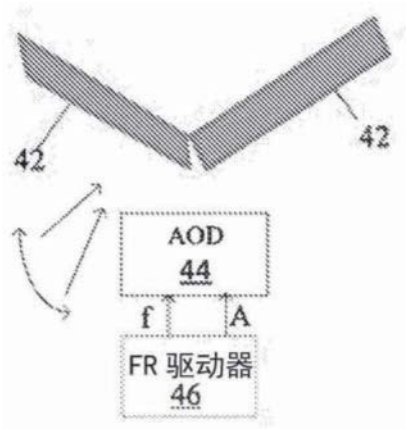


图10

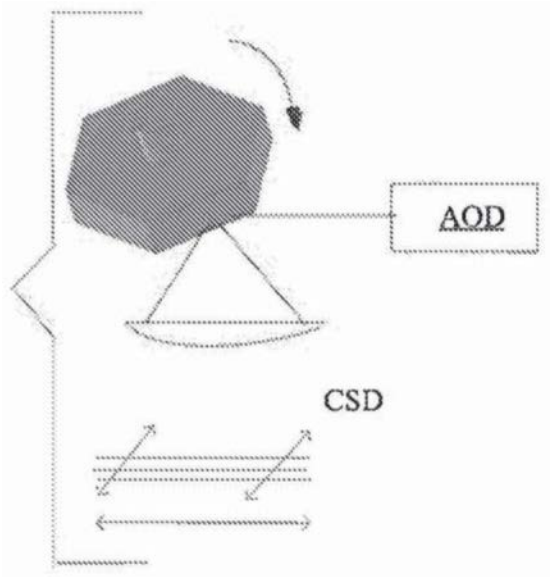


图11

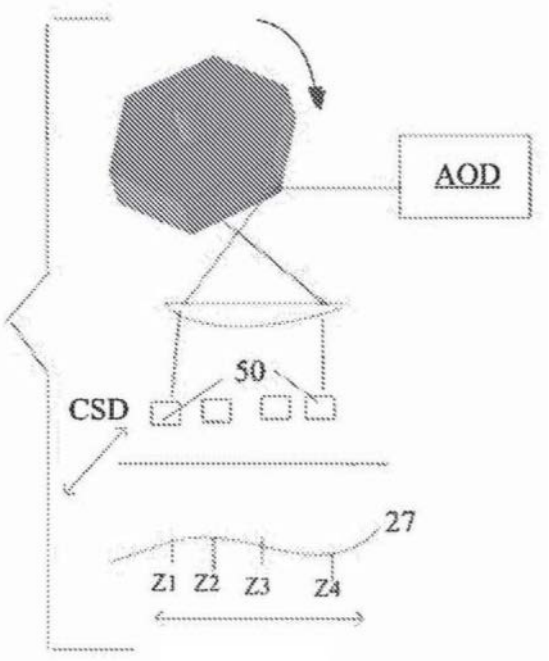


图12

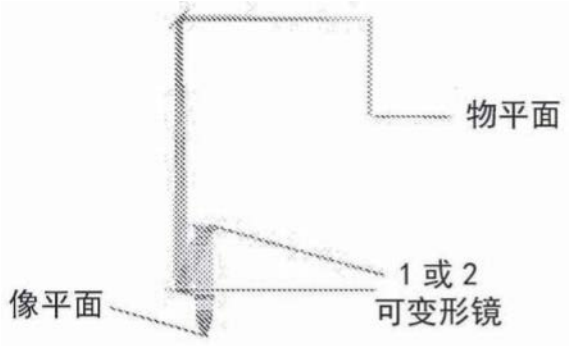


图13

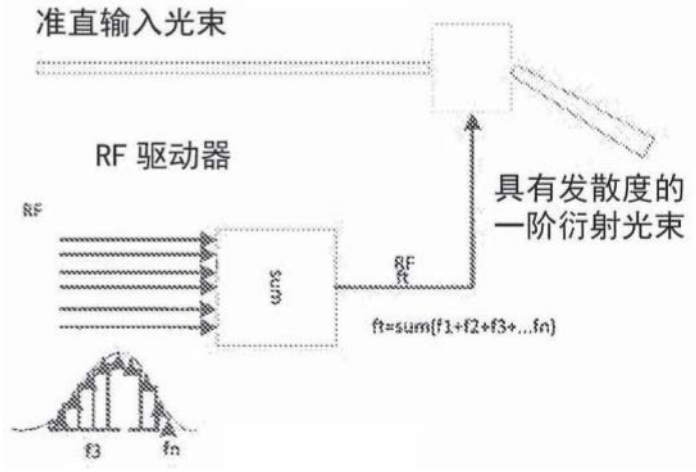

准直输入光束
RF 驱动器
具有发散度的
一阶衍射光束
RF
sum
RF
ft
ft=sum(f1+f2+f3+...fn)
f3
fn

图14

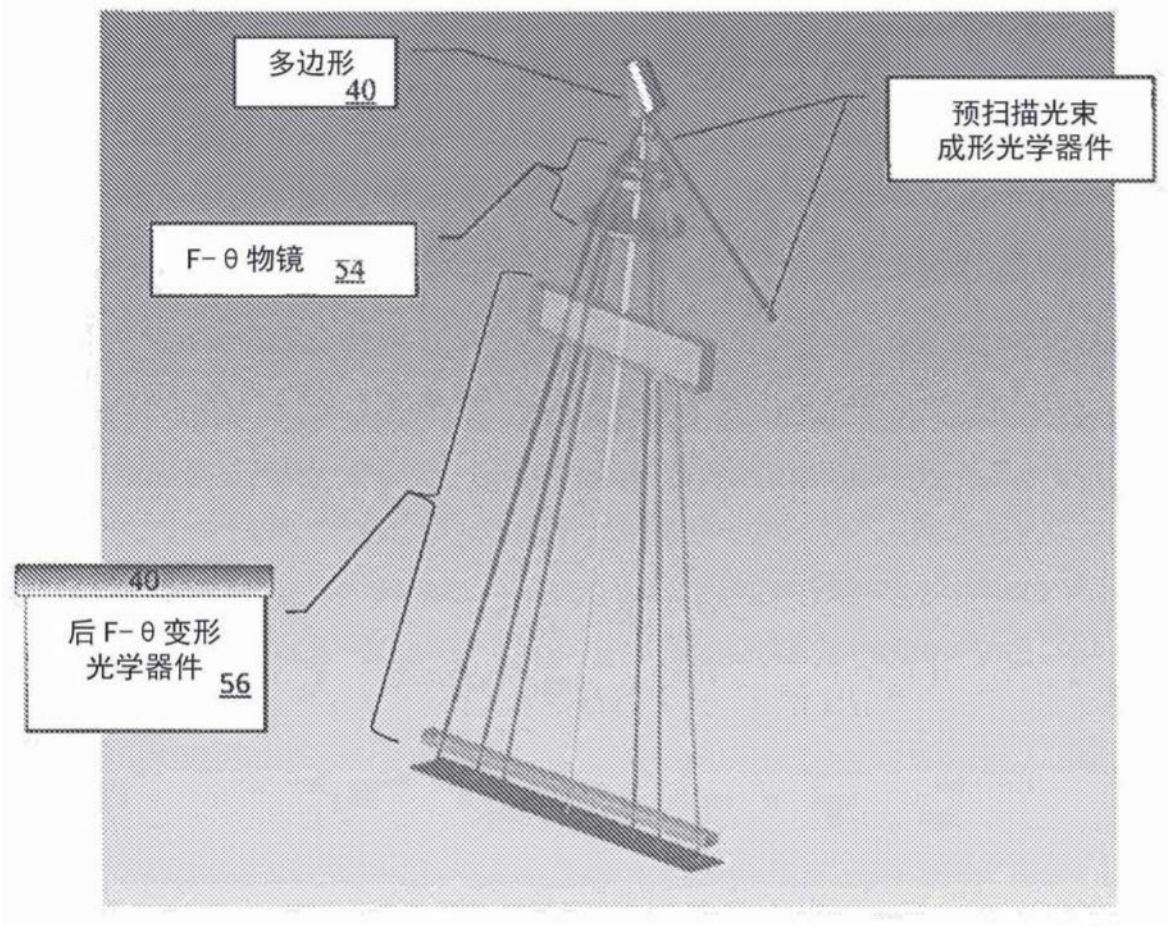

多边形
40
预扫描光束
成形光学器件
F-θ 物镜 54
40
后 F-θ 变形
光学器件 56

图15

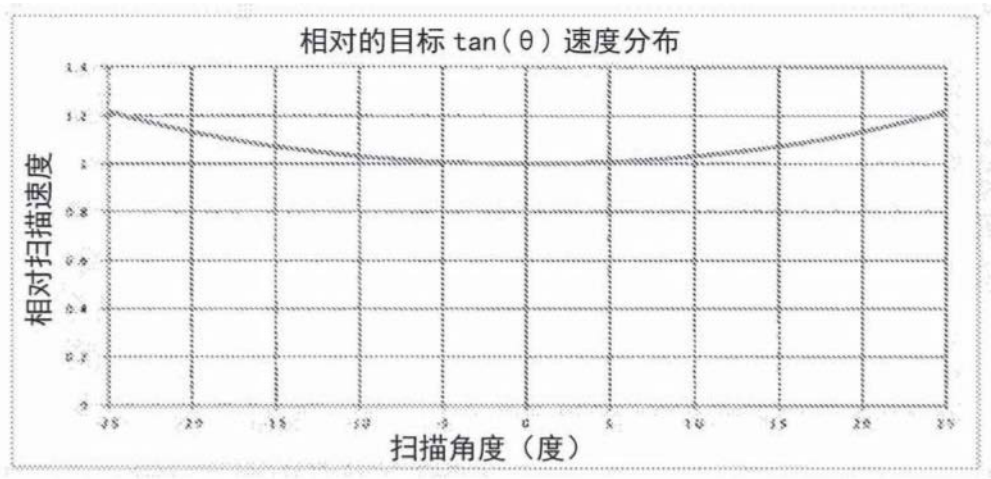

相对的目标 tan（θ）速度分布
相对扫描速度
扫描角度（度）

图16

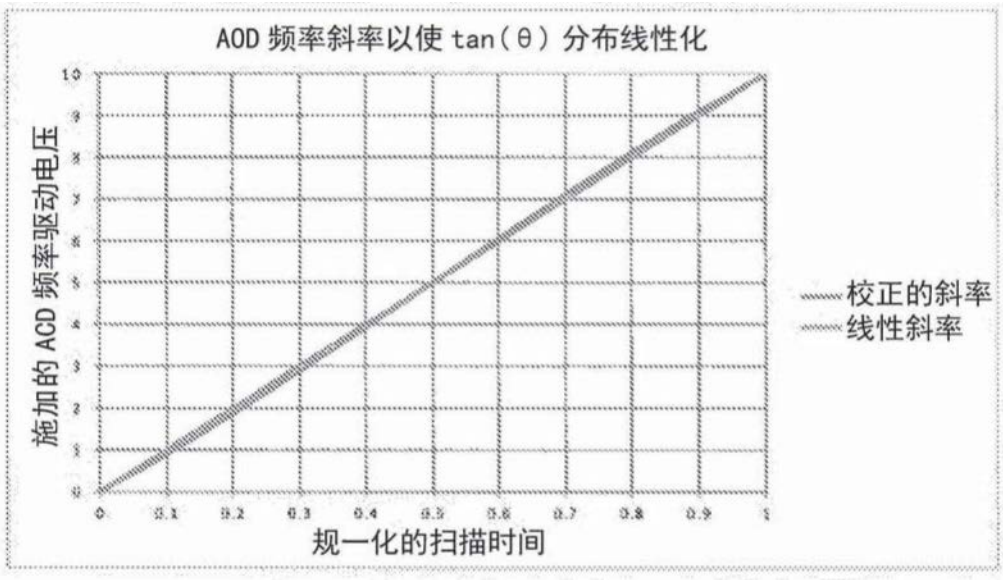

AOD 频率斜率以使 tan（θ）分布线性化
施加的 ACD 频率驱动电压
规一化的扫描时间
校正的斜率
线性斜率

图17

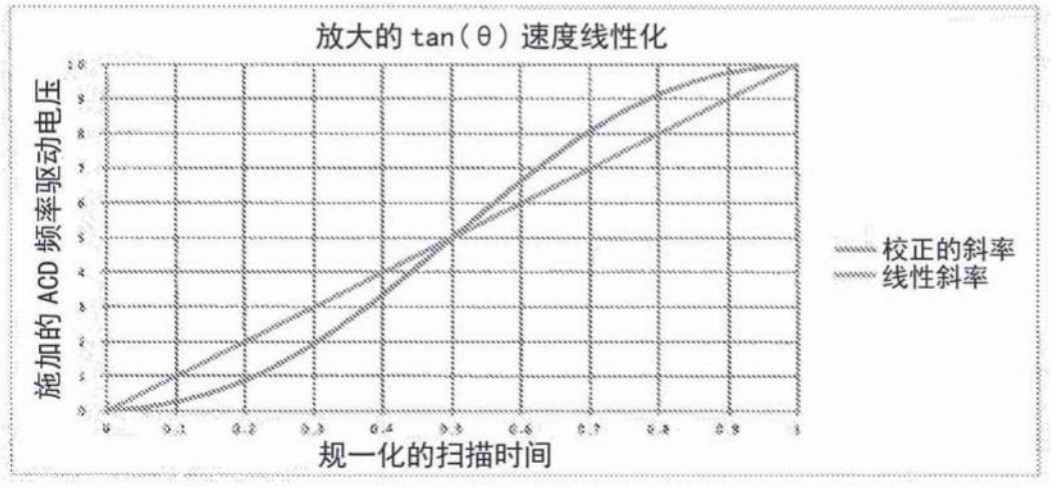

放大的 tan(θ) 速度线性化
施加的 ACD 频率驱动电压
规一化的扫描时间
校正的斜率
线性斜率

图18

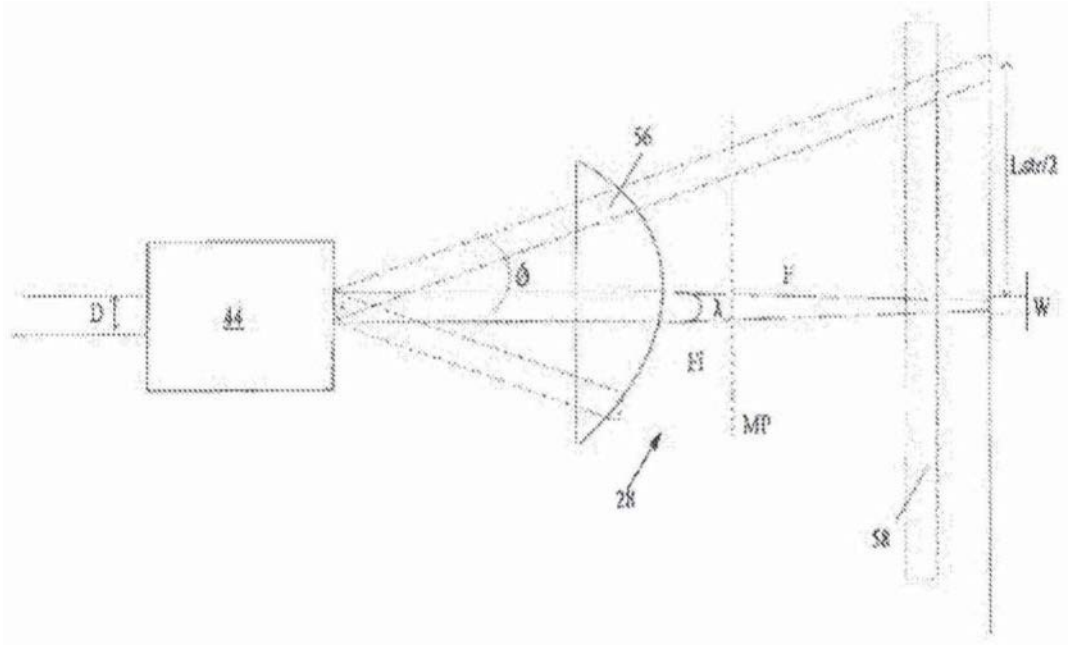

D
44
56
θ
λ
F
W
MP
28
58

图19

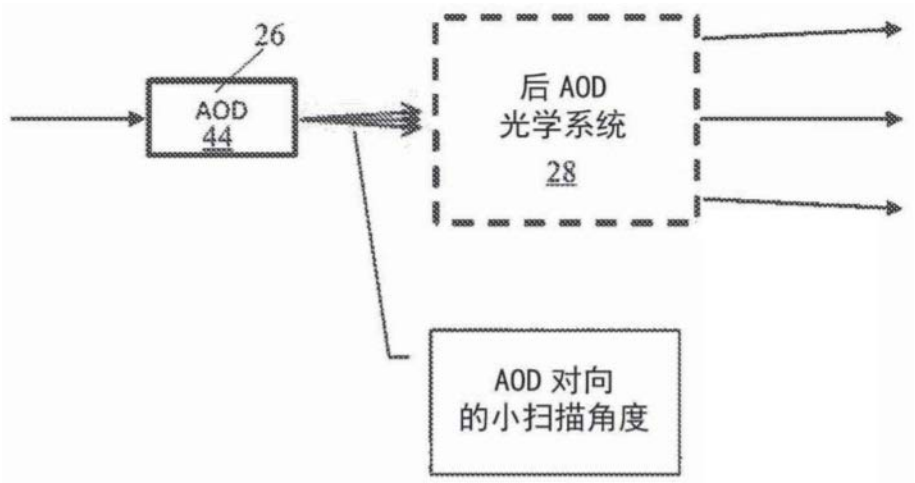

26
AOD
44
后 AOD
光学系统
28
AOD 对向
的小扫描角度

图20

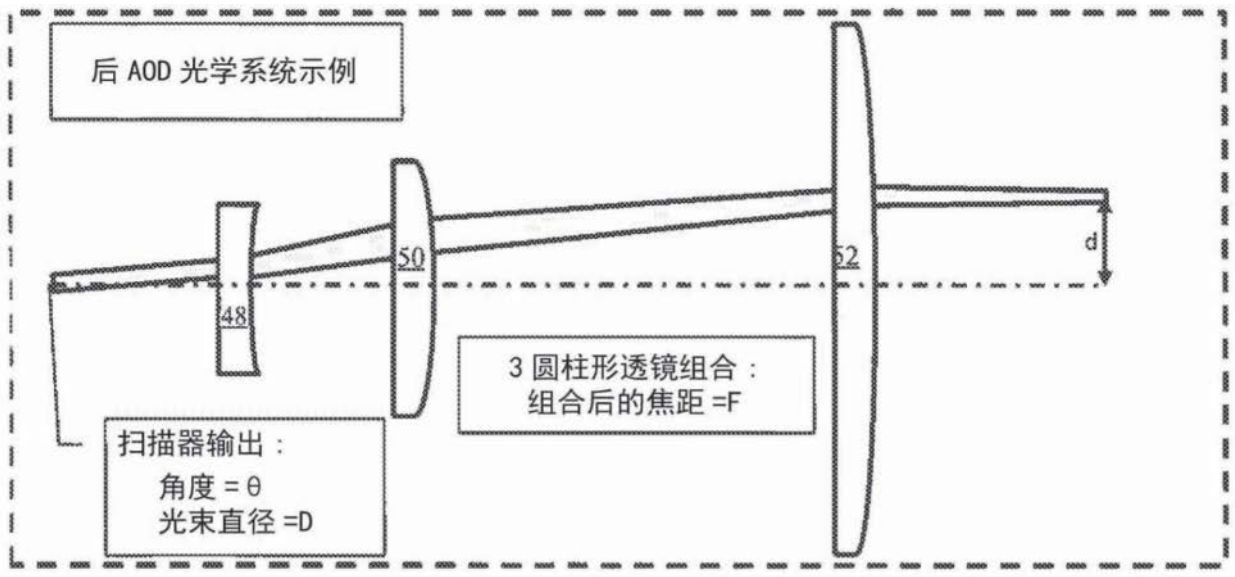

后 AOD 光学系统示例
48
50
52
d
3 圆柱形透镜组合：
组合后的焦距 =F
扫描器输出：
角度 = θ
光束直径 =D

图21A

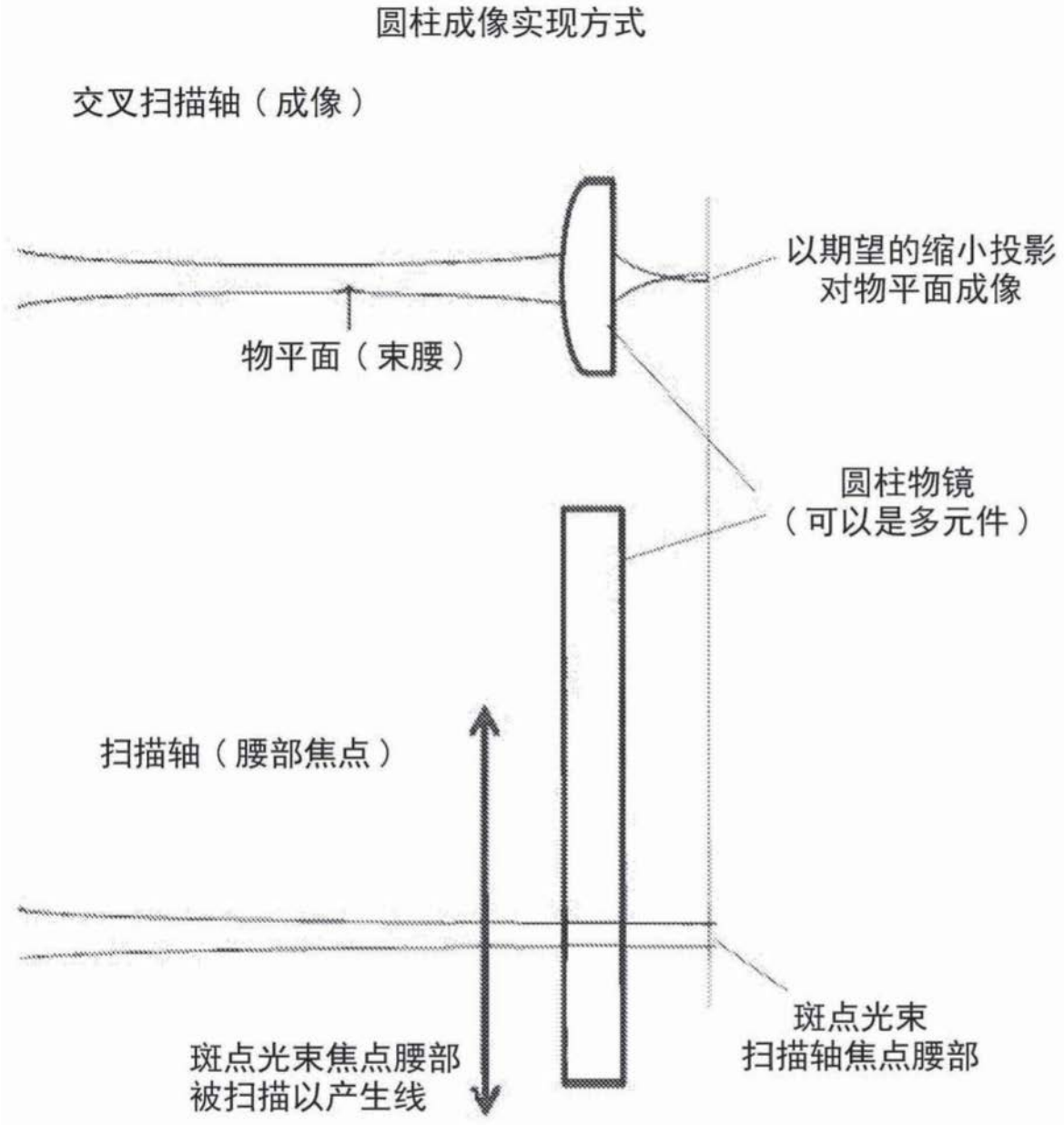

圆柱成像实现方式
交叉扫描轴（成像）
以期望的缩小投影
对物平面成像
物平面（束腰）
圆柱物镜
（可以是多元件）
扫描轴（腰部焦点）
斑点光束
扫描轴焦点腰部
斑点光束焦点腰部
被扫描以产生线

图21B

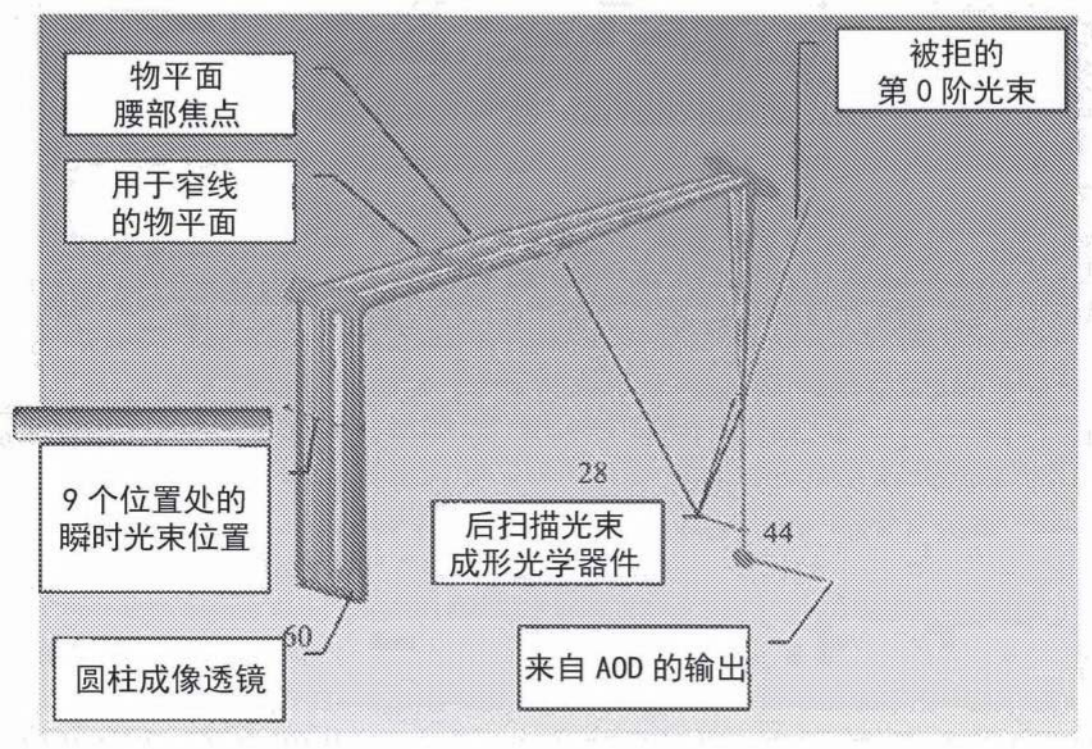

物平面
腰部焦点
用于窄线
的物平面
被拒的
第 0 阶光束
9 个位置处的
瞬时光束位置
28
后扫描光束
成形光学器件
44
60
圆柱成像透镜
来自 AOD 的输出

图22

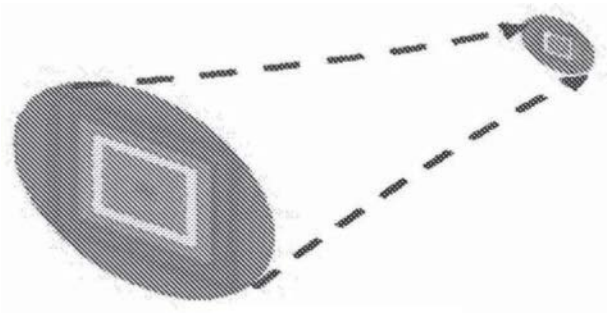


图23

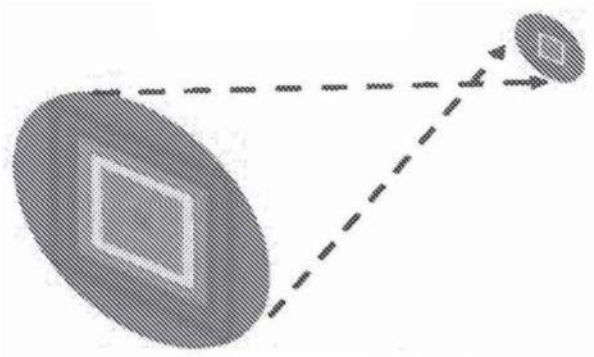


图24

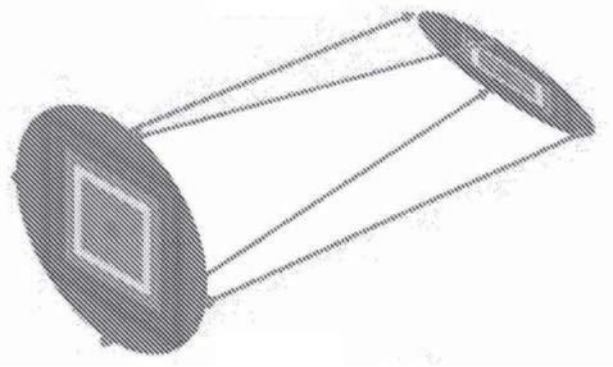


图25

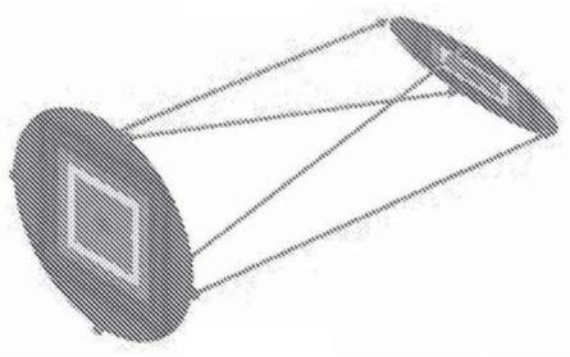


图26

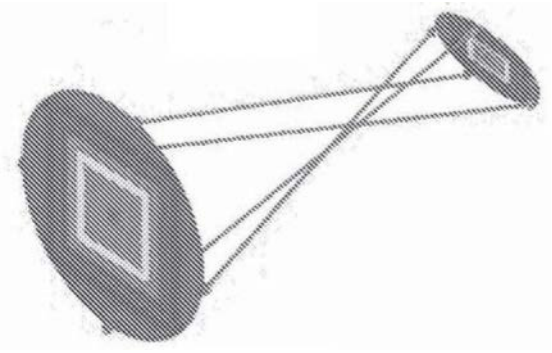


图27

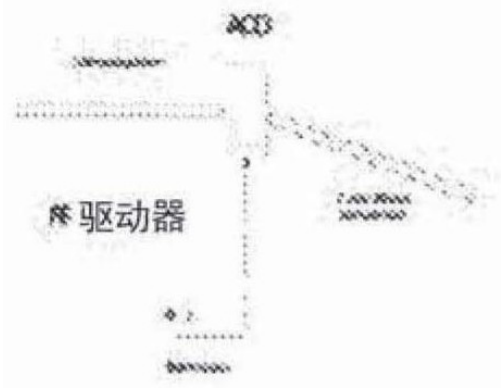


图28A

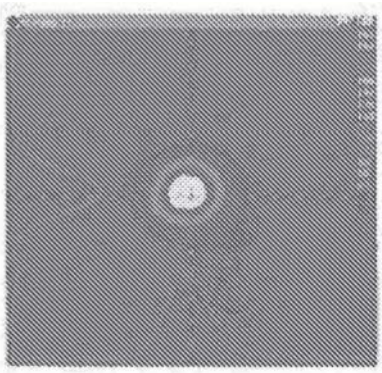


图28B

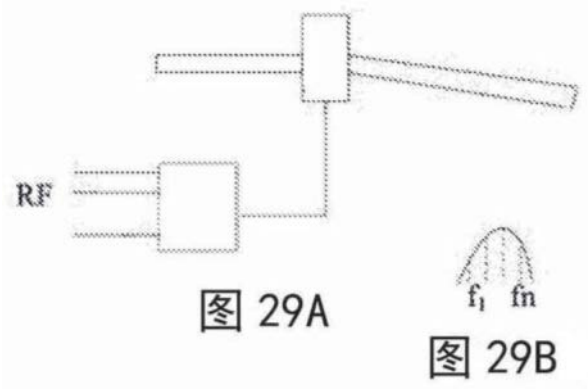


图 29A 图 29B

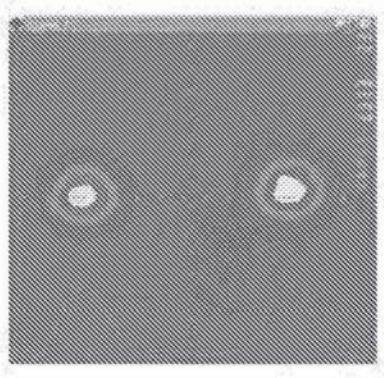


图30A

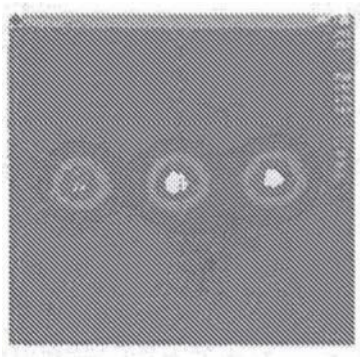


图30B

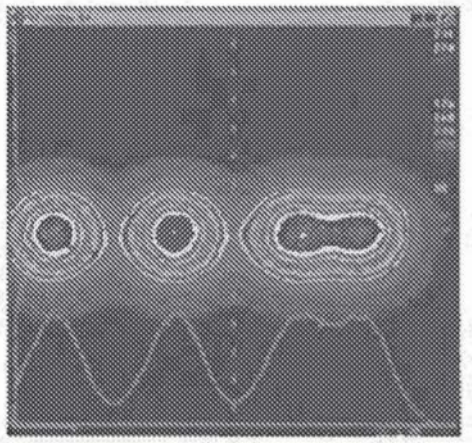


图31

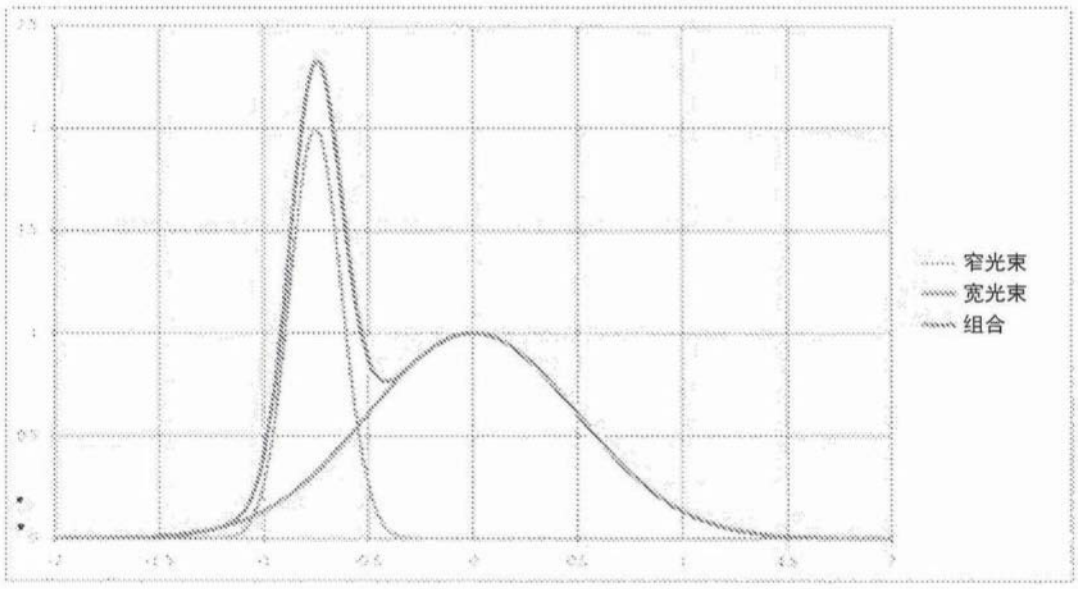


图32