



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111065759 B

(45) 授权公告日 2022.05.10

(21) 申请号 201880058227.8

(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 111065759 A

(43) 申请公布日 2020.04.24

(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  
2020.03.06

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2018/044705 2018.07.31

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/028082 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  
乔舒亚·舍恩利  
曼纽尔·莱昂纳多

(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.  
G23C 14/58 (2006.01)  
B23K 26/082 (2014.01)  
G23C 16/56 (2006.01)  
B23K 26/352 (2014.01)  
B23K 26/08 (2014.01)  
H01S 3/10 (2006.01)

审查员 彭春玉

权利要求书3页 说明书6页 附图6页

## (54) 发明名称

激光装置和对薄膜进行加工的方法

## (57) 摘要

一种对沉积在基底上的薄膜进行光纤激光加工的方法包括：提供来自至少一个光纤激光器的激光束，该激光束通过光束成形单元被引导到薄膜上。光束成形光学器件被配置成将激光束成形为线光束，该线光束照射薄膜表面上的第一照射薄膜区域Ab，其中照射薄膜区域Ab是薄膜区域Af的一部分。通过在连续的照射之间使光束成形光学器件和膜在第一方向上以距离dy相对彼此连续移位，在膜表面上形成一系列均匀的照射薄膜区域Ab，由此限定第一细长列。此后，光束成形光学器件和膜在横向于第一方向的第二方向上以距离dx彼此相关地移位，距离dx小于照射膜区域Ab的长度。通过执行用于形成各个列的步骤，细长列彼此交叠，从而覆盖期望的薄膜区域Af。选择距离dx和dy，使得膜区域Af的每个位置在累积的预定持续时间内曝光于成形的激光束。

CN 111065759 B

1. 一种对沉积在基底上的薄膜进行光纤激光加工的方法,其中,薄膜区域Af由宽度Wf和长度Lf来限定,所述方法包括:

(a) 提供来自至少一个以突发制式工作的准连续QCW光纤激光器的激光束;

(b) 引导所述激光束穿过光束成形单元到所述薄膜上,从而将所述激光束成形为均匀的线光束,所述线光束照射所述薄膜的表面上的第一薄膜区域Ab,其中被照射的薄膜区域Ab对应于单个突发并且是所述薄膜区域Af的一部分,其中,所述薄膜区域Ab由长度Lb和宽度Wb限定,其中长度Lb沿x方向且宽度Wb沿y方向,且长度Lb宽于宽度Wb;

(c) 使所述光束成形单元和所述膜彼此相关地在y方向上以距离dy连续移位,其中,所述距离dy被选择为防止在顺序的照射之间的热正反馈大于预定dy阈值,从而形成一系列均匀的薄膜区域Ab,所述一系列均匀的薄膜区域Ab与所述第一薄膜区域Ab一起限定了第一细长列,距离dy小于或等于Wb;以及

(d) 此后,使所述光束成形单元和其上具有所述膜的基底彼此相关地在与所述y方向横向的x方向上以距离dx移位,并重复步骤(b) - (c),所述距离dx小于被照射的膜区域Ab的长度,从而在所述薄膜区域Af上形成多个交叠的细长列,所述距离dx和dy被选择为使得所述膜区域Af的每个位置都被曝光于预定数量的突发,所述预定数量在3至50范围内。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中,引导所述激光束穿过所述光束成形单元包括:

引导所述激光束穿过小透镜阵列,从而将所述激光束划分为在第三方向上传播的多个子光束,所述第三方向与所述y方向斜交并与所述x方向正交,

通过引导所述子光束穿过相应的延迟玻璃对来暂时延缓所述子光束,其中,所述延迟玻璃对均被配置有间隔开的正柱面透镜和负柱面透镜,所述正柱面透镜和负柱面透镜具有相等的焦距和在所述第三方向上延伸的公共纵轴,所述玻璃延迟对均设有彼此相对的对弯曲面,以在它们之间限定轴向间隙。

3. 根据权利要求2所述的方法,其中,所述暂时延缓减轻了相干效应和所述小透镜阵列的制造公差,以形成均匀的线光束,所述线光束的光束宽度等于所述Wb且纵横比为1到500,其中Wb的范围在3至50  $\mu\text{m}$ 之间,所述暂时延缓包括:

(a) 使每对的间隔开的透镜沿所述第三方向朝向彼此和远离彼此轴向移位,从而将所述子光束聚焦在所述薄膜的表面上的公共焦平面中,

(b) 使每个延迟玻璃对的间隔开的透镜彼此相关地绕在所述第三方向上延伸的共同纵轴旋转,

(c) 使间隔开的透镜彼此相关地垂直于所述公共纵轴和所述x方向移位,或者

(d) (a) 至 (c) 的组合。

4. 根据权利要求2或3所述的方法,还包括:从所述阵列的侧小透镜旁边的小透镜开始,在圆柱形单元的下游放置数量增加的延迟玻璃对,并依次操纵每个玻璃对以形成所述线光束。

5. 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,以便以最多1 GHz的脉冲重复率输出所述激光束,所述脉冲重复率高于突发重复率并足以产生与来自以100%占空比工作的QCW光纤激光器的激光束产生的薄膜热响应相同的薄膜热响应。

6. 根据权利要求1所述的方法,还包括:在所述薄膜上产生并引导至少一个附加激光

束,以便在所述y方向或x方向或者y方向和x方向上具有期望的空间强度分布。

7. 根据权利要求1所述的方法,还包括控制所述激光束的偏振。

8. 一种用于加工沉积在基底上的薄膜的光纤激光系统,包括:

台架,支撑所述基底;

至少一个QCW光纤激光源,沿着光路输出激光束的突发;

光束成形单元,被配置为将所述激光束成形为均匀的线光束,所述线光束以期望的几何尺寸、强度分布和最优功率入射到所述薄膜的表面上,以形成第一被照射的薄膜区域Ab,所述第一被照射的薄膜区域Ab对应于单个突发并构成要加工的整个薄膜区域Af的一部分,所述薄膜区域Ab由长度Lb和宽度Wb限定,其中长度Lb在x方向上且宽度Wb在y方向上,且长度Lb长于宽度Wb;以及

处理器,被配置为执行一系列步骤,包括:

使所述台架和所述光束成形单元彼此相关地在y方向上以距离dy移位,以形成一系列被照射的薄膜区域Ab,所述一系列被照射的薄膜区域Ab累积地限定了具有预定长度和宽度的第一细长列,所述距离dy小于或等于Wb,且被选择为防止连续突发之间的热正反馈高于预定热阈值,

使所述台架和所述光束成形单元彼此相关地在与所述y方向正交的x方向上以距离dx移位,

使所述台架和所述光束成形单元在所述y方向上移位,以形成第二列,所述第二列由一系列被照射的薄膜区域Ab限定并与所述第一细长列交叠,以及

使所述台架和所述光束成形单元分别在所述y方向和x方向上以距离dy和距离dx重复地且顺序地移位,以在所述薄膜区域Af上形成多个交叠的列,直到整个薄膜区域Af被加工为止,所述距离dx和dy被选择为使得所述膜区域Af的每个位置曝光于预定数量的突发,所述预定数量在3至50的范围内。

9. 根据权利要求8所述的光纤激光系统,其中,所述光束成形单元包括均化器,所述均化器能够操作为减轻所述激光束的相干性,所述均化器包括由小透镜构成的一个或多个阵列,所述小透镜将所述激光束分成多个子光束,所述多个子光束在与所述y方向斜交并与所述x方向正交的第三方向上传播。

10. 根据权利要求9所述的光纤激光系统,还包括由延迟玻璃对构成的一个或多个阵列,所述延迟玻璃对位于子光束的相应路径中并被配置为补偿均化器制造公差,每个延迟玻璃对具有在所述第三方向上延伸的共同细长轴,并被配置有两个轴向间隔开的正柱面透镜和负柱面透镜,所述正柱面透镜和负柱面透镜设置有用在它们之间限定轴向间隙的相应凸面和凹面。

11. 根据权利要求10所述的光纤激光系统,其中,每对的正柱面透镜和负柱面透镜:

能够彼此相关地轴向移位,以便将所述多个子光束聚焦在所述薄膜的表面的公共焦平面上,

能够彼此相关地垂直于所述细长轴和x方向线性移位,

能够彼此相关地绕所述细长轴旋转。

12. 根据权利要求9所述的光纤激光系统,其中,延迟玻璃对的数量从所述阵列的最后一个透镜旁边的小透镜开始逐渐增加,所述最后一个透镜旁边的小透镜与单个延迟玻

璃对相关联。

13. 根据权利要求9所述的光纤激光系统,其中,所述均化器还包括柱面透镜布置,所述柱面透镜布置被配置为将所述子光束重新组合成所述薄膜的表面的线光束,所述线光束被成形为具有高纵横比,其中,3至50 $\mu\text{m}$ 的光束宽度对应于被照射的膜区域Ab的宽度。

14. 根据权利要求9所述的光纤激光系统,还包括在所述光束成形单元的上游的二次谐波发生器或二次谐波和三次谐波发生器、以及至少一个第二QCW光纤激光器,所述第二QCW光纤激光器均是单模或多模的QCW光纤激光器,以一脉冲重复率PRR输出一串纳秒脉冲使得成形的激光束同时照射所述薄膜区域Af的每个位置,所述PRR在100 MHz和1 GHz之间变化。

15. 根据权利要求8所述的光纤激光系统,还包括在所述至少一个QCW光纤激光器和光束成形单元之间的衰减器、偏振控制器和准直器。

16. 根据权利要求8所述的光纤激光系统,其中,所述台架或光束成形单元或这两者均能够在所述y方向和x方向上移位。

17. 根据权利要求8所述的光纤激光系统,还包括至少一个第二QCW突发光纤激光器,所述第二QCW突发光纤激光器的输出能够通过指定的光束成形单元与所述至少一个QCW光纤激光器的输出组合或与所述至少一个QCW光纤激光器的输出同步地输送至所述薄膜,所述指定的光束成形单元按与处理所述至少一个QCW光纤激光器的输出的光束成形单元相同的方式来配置,其中,所述线光束在y方向和x方向二者上均具有期望的强度分布,并选自高斯、超高斯或平顶分布。

18. 根据权利要求8所述的光纤激光系统,其中,以突发制式工作的所述至少一个QCW光纤激光器以突发重复率BRR输出一串长脉冲,每个长脉冲以高于BRR的PRR被划分为一串短脉冲。

19. 根据权利要求8所述的光纤激光系统,还包括:非圆柱形物镜单元,被配置为将所述线光束在所述y方向上的强度分布成形为高斯、超高斯或平顶强度分布。

## 激光装置和对薄膜进行加工的方法

### 技术领域

[0001] 本公开涉及对沉积在玻璃面板上的薄膜进行二维(2D)加工的激光方法,该玻璃面板的尺寸被定为比激光束大几个量级。本公开还涉及一种光纤激光器,其与均化器结合来实施所公开的工艺。

### 背景技术

[0002] 用于生产玻璃面板显示器的当前流行方法之一是利用准分子激光低温多晶硅(LTPS)退火工艺,这是显示器领域的普通技术人员公知的。在LTPS系统的生产中,脉冲准分子激光器的矩形输出会显著地重新成形为长而细的线光束,该线光束的长度通常等于面板的宽度或宽度的一半。用于准分子激光退火(ELA)工艺的准分子激光器具有较高的每脉冲能量,并且重复率低。这使得它们适用于大型面板的单线退火,其中线光束包含整个面板宽度或宽度的至少一半。这使得整个面板可以在激光下经过一次通行或两次通行被加工。

[0003] 然而,由于千赫兹频率导致高能量,本身就非常昂贵且笨重的受激准分子激光器在约48小时的全天候工作时段内需要多次气体改变,这也使它们的运行成本昂贵。准分子激光器的上述和其他必要属性使它们效率低下,并使得拥有和操作准分子光源的总成本非常高。

[0004] 准分子激光器的上述缺点导致以连续波(CW)、准CW(QCW)突发模式方案工作的光纤激光器得到了广泛的使用,其中后者的特征在于对于突发(相对较长的脉冲)和每个突发内的脉冲有两种不同的重复率,突发以突发重复率(BRR)或突发重复频率(BRF)为特征,且脉冲以载波脉冲重复率(PRR)为特征。众所周知,光纤激光器是高效的,基本上免维护和低成本的坚固光源。

[0005] 在例如PCT/US 2017/012716(PCT' 716)中公开了LTPS系统中使用的光纤激光器,该申请公开了用于对a-Si膜进行斑点光束结晶的QCW脉冲甚至CW光纤激光器。PCT' 716中公开的系统适用于小尺寸面板,该小尺寸面板可以在一个方向上被在整个膜上扫描的激光束完全覆盖。特别地,在膜上产生的熔融区域在扫描方向上平移,从而在基底的整个宽度上逐渐加热每个随后的区域。

[0006] 通常,QCW光纤激光器包括配置为输出与准分子激光源等效的总功率输出的突发模式光纤激光器,但QCW光纤激光器具有低几个数量级的脉冲能量,并且需要高几个数量级的重复率。在整个面板的宽度大于线光束的长度的情况下,脉冲能量太低使得来自单个光纤激光器的线光束无法包括整个面板。

[0007] 为此,如在PCT/US16/40222中所公开的,必要的是在线光束的长轴/扫描方向上将部分线光束拼接在一起,以使得所得的多晶Si晶粒结构在大于光束的长度的感兴趣区域上连续。后者可以是整个面板区域或其一部分。

[0008] 将长光束轴上的两条相邻的线拼接在一起带来PCT' 716所没有遇到过的重大挑战,但是美国专利14/790,170(US' 170)获悉到这种挑战,在此将该专利的全文引入作为参考。理想地,每个线束将具有完美锐利的边缘,且相邻光束的边缘将精确抵接。由于线光束

边缘的衍射极限点扩展函数的锐度以及机械精度的限制,这在物理上是无法实现的。例如,线光束的末端对清晰度将始终具有一定的软性。尽管拼接有一些可能性,但是无论光束拼接的方式如何,很有可能的是在相邻束之间的接缝处会出现一些伪影,这会导致p-Si晶粒结构的不连续性并最终导致退火面板的质量差。

[0009] 此外,光束拼接伴随着Mura的形成,Mura是在激光处理过的基底上观察到的现象,其特征在于对比度低和亮度不均匀,并可使经激光处理的基底呈现“波纹状”外观。由于p-Si基底的质量很差,所以Mura是不能接受的并且被认为是缺陷。

[0010] 因此,需要一种使用光纤激光光线光束来加工在基底面板上的较大薄膜区域的方法,该光纤激光光线光束比薄膜区域 $A_f$ 小得多,从而不需要拼接相邻的光束。

[0011] 存在对配置有均化器的光纤激光器的另一需求,从而实现所公开的方法。

### 发明内容

[0012] 满足以上公开的需求的本发明方法被应用于各种应用,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、掺杂杂质激活、碳化硅 (SiC) 退火 (例如,欧姆接触) 和聚酰亚胺激光剥离 (LLO) 应用。所公开的方法通过在第二方向X上在相邻的被照射的薄膜区域 (也称为列) 之间提供交叠来消除拼接,而每一列是通过在第一方向Y上照射膜区域而形成的。通过可控制地改变各列之间的距离 $d_x$ 和各列内相邻照射区域之间的距离 $d_y$ ,实现了期望累积曝光持续时间 $o_d$ 、薄膜区域 $A_f$ 的每个照射位置的期望脉冲数和期望温度。因此,所公开的方法还被称为2D工艺。

[0013] 特别地,所公开的对薄膜进行光纤加工的2D方法是通过使用以突发方式工作的QCW光纤激光器,从而以优选高于100KHz并且可以高达1GHz的高重复载波脉冲率 (PRR) 输出激光束来实现的。激光束沿着通过光束成形单元的路径传播。然后,成形光束 (线光束) 入射到膜上,从而在薄膜表面上形成第一被照射的薄膜区域 $A_b$ 。

[0014] 此后,成形的激光束和基底在第一方向Y上以距离 $d_y$ 彼此相关地移位 (优选连续地移位),距离 $d_y$ 小于、大于或等于被照射薄膜区域 $A_b$ 的宽度。因此,相邻的被照射区域 $A_b$ 可以在第一方向Y上彼此交叠、彼此相邻或彼此间隔开。结果,形成在膜上的细长列由一系列均匀照射的薄膜区域 $A_b$ 限定。

[0015] 完成具有与线光束的长度相对应的宽度的列之后,在第二 (扫描) 方向X上以距离 $d_x$ 薄膜和光束成形单元移位。距离 $d_x$ 被选择为短于先前形成的列的宽度。因此,列在第二方向上交叠,从而消除了随后对相邻列进行拼接的需要。

[0016] 继续进行该工艺,直到加工了薄膜区域 $A_f$ 的期望部分或整个薄膜区域 $A_f$ 。因此,经加工的膜的每个位置在预定的累积持续时间内/在预定数量的突发下曝光于成形的激光束,并且薄膜的被照射的区域 $A_f$ 以均匀的注量为特征。结果,被照射的膜区域 $A_f$ 具有期望微结构或其他特性,例如表面薄层电阻或接触电阻。

[0017] 实施该方法的所公开的光纤激光器系统被配置有支撑要被照射的薄膜区域 $A_f$ 的多轴台架。至少一个光纤激光源输出在光束成形单元中处理的激光束。后者被配置成将激光束成形为具有期望几何尺寸、强度分布和最优功率的线光束,以形成第一照射薄膜区域 $A_b$ ,该第一照射薄膜区域 $A_b$ 是整个薄膜区域 $A_f$ 的一部分。根据本发明的2D方法加工薄膜区域 $A_f$ 由处理器控制,使得相邻的列在第二 (x) 方向上彼此交叠,并且每列的各个照射膜区域

Ab在第一(y)方向上彼此交叠。选择距离dx和dy,使得经加工的全部膜区域Af或部分膜区域Af的每个位置被曝光于成形的光束预定次数,即,在期望曝光持续时间内被照射,并具有预定的温度。

[0018] 本发明的光纤激光器系统可以使用突发模式QCW光纤激光器结合均化器(例如,成像或非成像蝇眼、双棱镜或与分割激光束相关的任何其他已知配置)来构造。根据本实施例的一个显著特征,多个延迟玻璃对被并入均化器中,并配置为校正均化器组件的制造公差。特别地,每个延迟玻璃对包括两个透镜,它们能够在正交平面中彼此相关地旋转和线性移动,以便将多个子光束聚焦在膜的表面的公共焦平面中,从而将激光束成形为窄线光束,其中窄线光束的宽度在3至50 $\mu\text{m}$ 之间,且长度在1至10cm之间。

[0019] 所公开的系统和方法的许多特征可以互换使用,这从引用各个特征的从属权利要求中将变得更加明显。

### 附图说明

[0020] 可以在本发明的方法和装置中部分地使用或以任何组合使用的上述和其他方面和特征,将根据以下附图变得更显而易见,在附图中:

[0021] 图1是表示本发明方法的流程图;

[0022] 图2A至图2B是根据本发明加工的薄膜区域Af的示意图;

[0023] 图3是多子光束成像蝇眼均化器和交叉轴物镜;

[0024] 图4和图5示出了均化器的对应视图,其中图5是图4中的被括起部分的放大图;

[0025] 图6A、图6B、图7A、图7B、图8A和图8B示出了光学组件的可能制造缺陷;

[0026] 图9A和图9B分别示出了本发明的延迟玻璃对的对应侧视图和等距视图;以及

[0027] 图10A和图10B分别是均化器的光学示意图的侧视图和俯视图。

### 具体实施方式

[0028] 现在详细参考所公开的系统。在有可能的情况下,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和直接连接,而是还包括通过中间元素或设备的连接。

[0029] 所公开的方法利用CW或QCW突发激光束来加工薄膜。所公开的方法特别适合于加工薄膜区域Af,该薄膜区域Af比由线光束照射的单个薄膜区域Ab或部分薄膜区域Ab大几个量级。与已知的常规技术相反,不需要在第一(y)和第二(x)正交方向上拼接连续的部分照射膜区域Ab。本公开中描述的方法可以用于包括但不限于以下的应用:FLA(ELA等效的)非晶Si退火、SLS非晶Si退火、SiC退火(例如欧姆接触)和聚酰亚胺LLO应用。

[0030] 图1至图2B例示了结合有QCW光纤激光源100的本发明的系统,该QCW光纤激光源输出纳秒(ns)的突发,其中突发持续时间在50至500ns之间变化。突发制式的特征在于以突发重复率(BRR)输出长脉冲或长突发;每个突发被划分为以100MHz至1GHz范围内的载波脉冲重复率(PRR)输出的短脉冲,该载波脉冲重复率(PRR)当然比BRR高。

[0031] 如薄膜加工中使用的光纤激光器的典型特征那样,光纤激光源100包括一个或多个Yb QCW激光器,每个Yb QCW激光器在1微米范围内工作,并输出通常在空间和时间上相干

的光,这对于以本领域技术人员熟知的方式有效地产生对应为 $5xxnm$ 和 $3xxnm$ (例如,分别 $532nm$ 和 $355nm$ )的二次或三次谐波是必要的。然而,为了获得具有高纵横比的固定的均质线光束,应该减轻光纤激光器的相干性,尽管相干性是非常吸引人的特征。

[0032] 激光束的成形在光束成形单元102中进行,该光束成形单元可以包括预均化器光学器件104,例如功率衰减器、准直仪、以及在某些情况下还包括偏振控制器。光束成形单元102的核心是均化器106,这将在下面进行足够详细的讨论。同时,如下文将讨论的,成形后的激光束还由后均化器光学器件108引导。

[0033] 如本领域普通技术人员所熟知的,均化器106还可以用作多个光纤激光源100的合束器。替代地,类似于示出的示例,多个激光源100与对应的光学方案相关联,其将多个线光束传送到薄膜表面。

[0034] 薄膜110被支撑在台架112上,该台架112可以相对于激光源100和光束成形单元102在第一(y)方向和第二(x)方向上移位。相对位移意味着这些组件中的一个可移动的,而另一个是固定的,或者两个组件都彼此相关地移动。优选地,台架112是操作为在第一(y)和第二(x)方向上移动的多轴部件。照射薄膜区域Ab的各个均化光束的单突发在第一方向或第二方向或第一方向和第二方向上具有期望的空间强度分布。高斯、超高斯或平顶分布中的任何一个均可用于预期目的。

[0035] 图2A至图2B示出了上述系统的操作原理。具体地,以下描述涉及在第一(Y)方向和第二(X)方向上照射膜110的2D工艺。应当记住的是本发明公开了用小光纤激光束执行对大面积薄膜进行加工的基于光纤的激光方法。结果,被均化的线光束照射的部分膜区域Ab比要照射的期望膜区域Af小几个量级。FLA工艺在任何地方每个位置需要2到50次曝光,其中每个位置通常为10到30次曝光以获得基本均匀尺寸的晶粒。在SLS和FLA退火中,现有技术通过连续拼接连续的照射膜区域Ab来解决这些问题。不幸的是,结果几乎无法满足对经加工的薄膜区域Af的质量的要求。在第二/扫描方向X上收到令人特别不满意的结果。然而,本发明的方法允许在两个方向上交叠。在第二方向X上的步长或距离 $dx$ 很小,以排除MURA现象。

[0036] 参照图2A,被均化的线光束照射的部分薄膜区域Ab 114可以在任何地方的宽度 $Wb$ 在在 $3$ 和 $50\mu m$ 之间,长度 $Lb$ 在 $500-1000$ 之间,长度 $Lb$ 甚至大于宽度 $Wb$ 几倍。转到图2B,当照射第一部分薄膜区域Ab 116<sub>1</sub>时,使图1的台架112和光束成形单元102以距离 $dy$ 彼此相关地顺序移位,以在第一方向Y上形成第一列124,其中区域Ab 116<sub>n</sub>是第一列124的底部照射区域。距离 $dy$ 可以变化,并且被选择为防止在顺序照射之间的热正反馈高于预定阈值。热正反馈指示交叠薄膜区域内的位置的温度过高,这指示已超过突发能量阈值。

[0037] 最小可能距离 $dy$ 可以按照以下方式确定。假设形成了第一膜区域Ab,该第一膜区域Ab被具有第一突发能量 $E_{bo} = P_{\text{激光源}}/BRR$ 的单个突发照射。在分析了照射区域Ab的微结构之后,本领域普通技术人员可以确定该区域是否被加热太多、太少或良好。假设为后者的情况并且知道突发能量 $E_{bo}$ ,则随后的区域Ab形成在距离 $dy_1$ 处,距离 $dy_1$ 大于区域Ab的宽度 $Wb$ (图2B)。换句话说,两个相邻区域Ab彼此间隔开,并且对应第一区域Ab和第二区域Ab的热条件彼此独立。在分析了第二区域Ab以确保突发能量 $E_{bo}$ 确实是最优或最大之后,操作员选择距离 $dy_2$ ,使得连续形成的区域Ab彼此交叠。如果交叠区域仍然具有期望的微结构,则距离 $dy$ 再次减小,并且另一突发形成与第一膜区域Ab的较大区域交叠的另一区域Ab。随着距离

dy逐渐减小,交叠区域内的膜越来越热。结果,突发能量Eb逐渐变得低于最优突发能量Ebo。一旦突发能量Ebo降低到约50%Ebo,这是足以提供可接受质量的FLA的最低可能能量,则相应距离dy被视为第一方向Y上的最小可能距离,并且该距离的任何进一步减小仅能导致交叠的膜区域过热。因此,最佳突发能量下降到50%Ebo指示最小可能距离dy,并还被称为步阶阈值。当然,最终该阈值可以是90%、80%、70%和60%,因为它完全取决于有经验的实践者得出的结论。

[0038] 如图2B所示,该距离dy小于区域Ab的宽度Wb,这样在每个形成的列的连续部分区域Ab之间提供交叠。但是该距离也可以等于宽度Wb。此外,如果距离dy被选择为大于宽度Wb,则相邻区域Ab在第一方向Y上间隔开。在这种情况下,在相邻的照射区域之间形成中间的未照射区域。假设所选距离y不对应于阈值,则可以经由采用激光线光束的后续扫描来照射中间的未照射区域。

[0039] 在第一列124完全形成之后,使台架112和光束成形单元在第二方向X上以距离dx移位。由于距离dx比部分区域Ab的长度短,所以如图2A最佳所示,各相邻列的相应部分区域Ab在第二方向X上交叠。在形成第二列126的第一区域Ab之后,台架112和光束成形单元102在第一方向Y上彼此相关地移位,以形成限定第二列126的后一部分区域Ab。在使用中,通常由台架112实现的在第一方向Y上的相对位移是连续的并且不超过每秒几百毫米。这样的速度几乎不影响第二方向X上的各个列124、126、128和130的部分区域Ab的对准,并且可以容易地容许。该工艺继续以进一步形成期望数量的列1XX。无论期望薄膜区域Af是对应于膜110或支撑该膜的面板的全部区域,还是仅是该全部区域的一部分,上述公开的工艺保持不变。为了完全加工整个膜区域,在第二方向X上间隔开的膜的边缘仅接收均化的线光束的一部分。通常,边缘区域ER在第二方向X上的宽度不超过dx距离。否则,膜110的端部区域未被充分加热和冷却,从而无法提供这些区域的期望的膜微结构。上述所有操作均由处理器125控制。

[0040] 图3示出了均化器106。许多光束均化器的工作原理相同:光束被分成多个子光束,然后叠加在另一子光束之上。因此,原则上可以将双棱镜、离轴柱面透镜和其他已知配置中的任何一种结合到所公开的系统。使用成像和非成像蝇眼均化器获得了最佳的实验结果,其中成像蝇眼的配置在图3至图5中示出。

[0041] 参照图4和图5,成像蝇眼均化器106被配置有两个间隔开的小透镜阵列130、132,如本领域技术人员所知,其将激光束分成多个子光束134。子光束在第二方向X上被拉伸,并且通过聚光透镜136在薄膜110的表面上合并。然而,子光束可以在第一方向Y上稍微偏移。为了防止后者,将子光束引导通过圆柱形物镜单元140,圆柱形物镜单元140将每个拉伸的子光束聚焦在膜110的表面上。结果,子光束之间的在第一方向上的偏移被最小化。此外,物镜单元140可以包括:至少一个非圆柱形表面,被设计为在窄轴上提供期望强度分布(高斯、超高斯、顶帽)。

[0042] 聚光透镜136与物镜单元140的相对位置不是相对固定的。因此,尽管在图4中聚光透镜136示出为在透镜140之前,但是这些透镜的相反位置是可以接受的。在本公开的上下文中,透镜136和140中的一个或两个都被认为是图1中的后均化器光学器件108的一部分。

[0043] 另外,均化器106被配置有位于小透镜阵列132的下游的多个延迟玻璃对142。众所周知,延迟玻璃对使拉伸的子光束彼此相关地延缓,以更进一步减轻任何剩余的相干性,并

构成图1的校正光学器件115。

[0044] 根据本发明的另一显著特征,顺序的延迟玻璃状对142允许同时减轻相干效应和小透镜制造公差,如下所述。

[0045] 图6A、图7A和图8A示出了在小透镜和原则上其他均化器部件(例如延迟玻璃)的制造期间产生的不同的制造缺陷。图6A和图7A示出了轴向扭曲,该轴向扭曲发生在柱面透镜被制造为具有倾斜轴A'-A'而不是理想的对称轴A-A时。轴向扭曲使线子光束旋转,如图6B所示。如图8A所示,可以制造具有楔形-中心厚度变化的透镜。如图7B所示,该缺陷使线光束移位,从而导致各个线子光束彼此偏移。如图8B所示,轴向扭曲和楔形缺陷的存在导致子光束在薄膜的表面上彼此相关地同时旋转和扭曲。所有这些制造缺陷都可以使用根据本发明配置的各个延迟玻璃对142来校正。

[0046] 参照图9A和图9B以及图10A至图10B,众所周知,延迟玻璃对142包括正透镜146和负透镜148,其分别设置有在其间限定间隙154的凸面150和凹面152,其中凹面150略微小于凸面152。使透镜146和148沿着共同的纵轴145(图9A)朝向彼此和远离彼此移位确保了与间隙154无限共轭。换句话说,沿着子光束路径在第三方向(图9A、图10A和图10B)上的这种线性位移有助于将子光束聚焦在膜表面上的公共焦平面中。透镜146和148也可在与第三方向和第二方向二者垂直的方向上彼此相关地移位。该移位针对楔形公差调整相对对中补偿。最后,两个透镜都被配置为彼此相关地旋转,这补偿了轴向扭曲公差(光束旋转)。同时调整对中和旋转补偿楔形公差和轴向扭曲公差。

[0047] 延迟玻璃对被依次安装和对准,以使一对相邻的子光束中的一个子光束观察到总玻璃厚度增加(延迟增加),并且针对对中和轴向扭曲依次对子光束进行补偿。换句话说,从位于每个阵列中的一侧小透镜旁边的小透镜开始,延迟玻璃对的数量增加,如图3至图5所示。延迟玻璃对可以以交替的凹凸顺序安装,以最小化交叉轴子光束高度的变化。延迟玻璃对的组合功能允许最大化地利用各个子光束保持分离的有限距离。

[0048] 本领域技术人员将认识到,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。

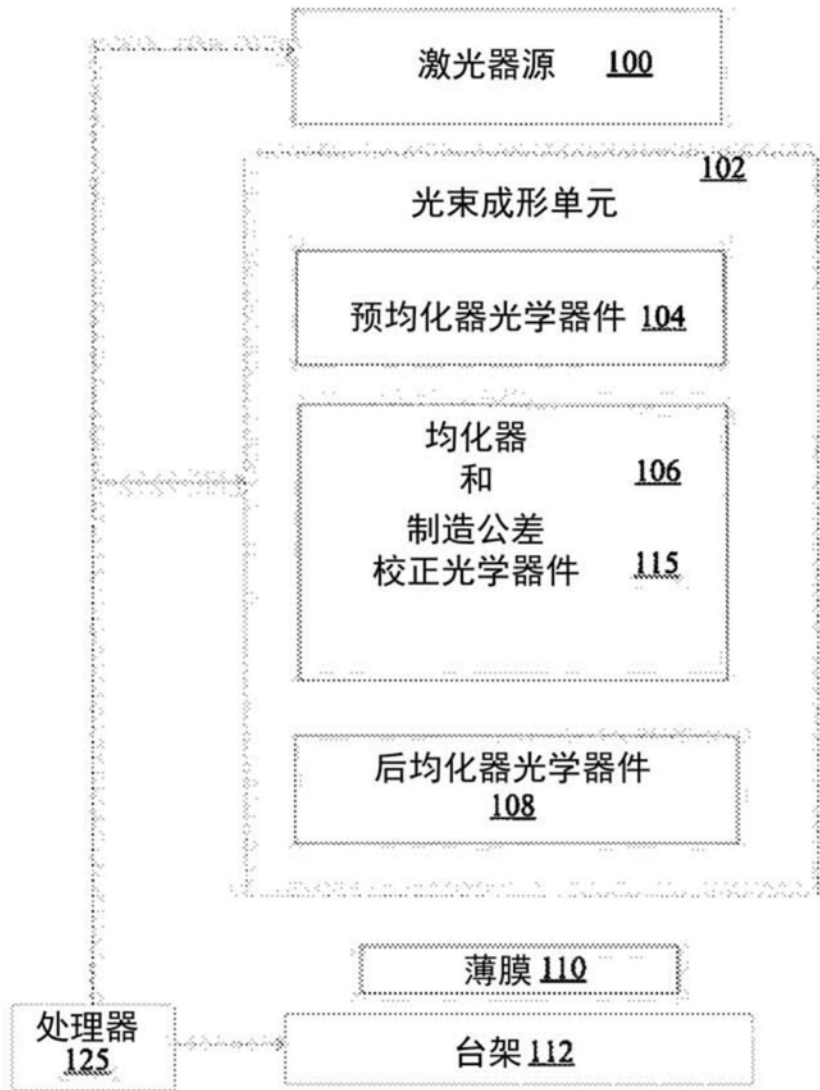


图1

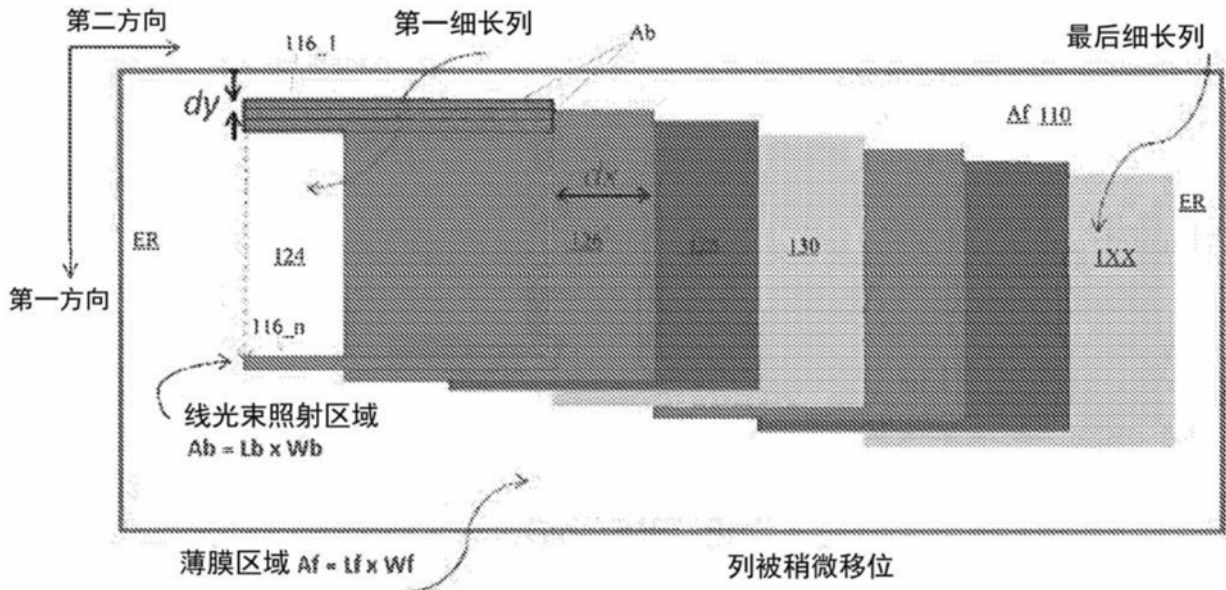


图2A

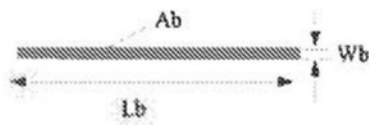


图2B

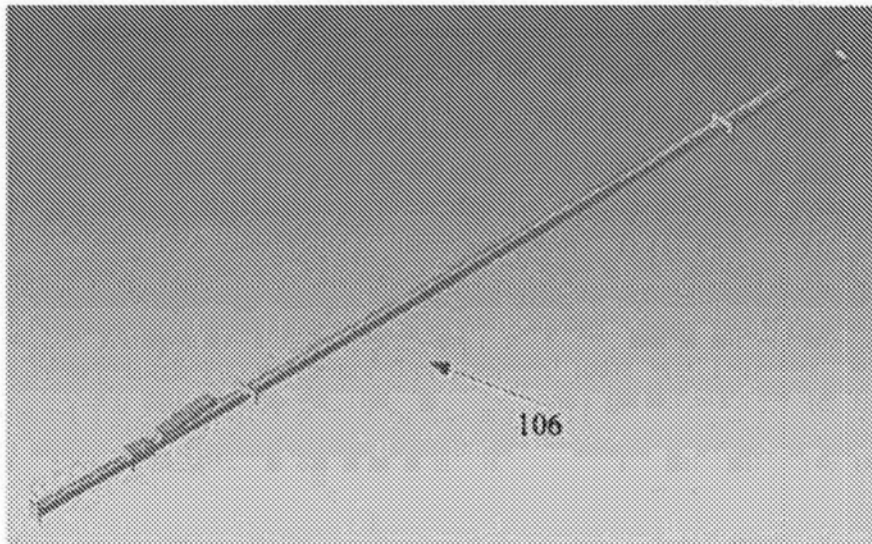


图3

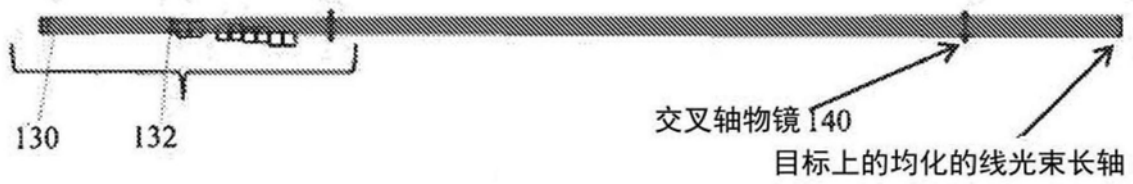


图4

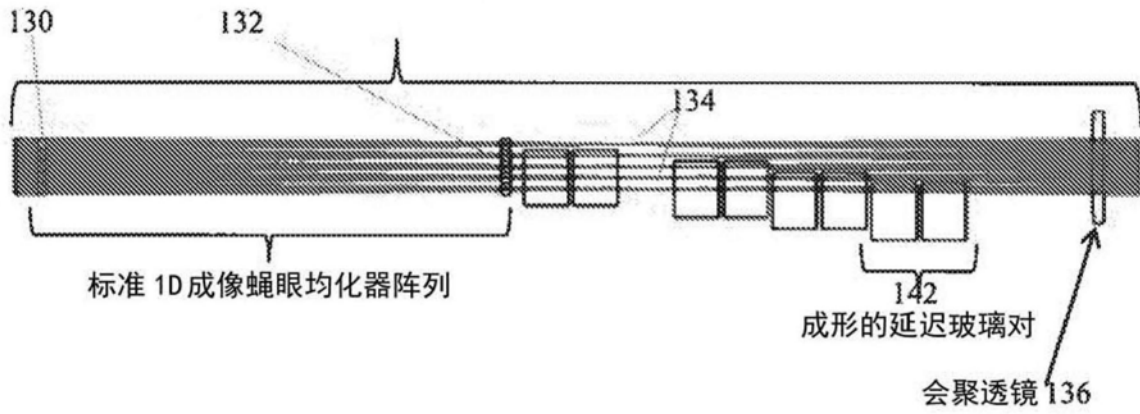


图5



图6A



图6B



图7A



图7B



图8A



图8B

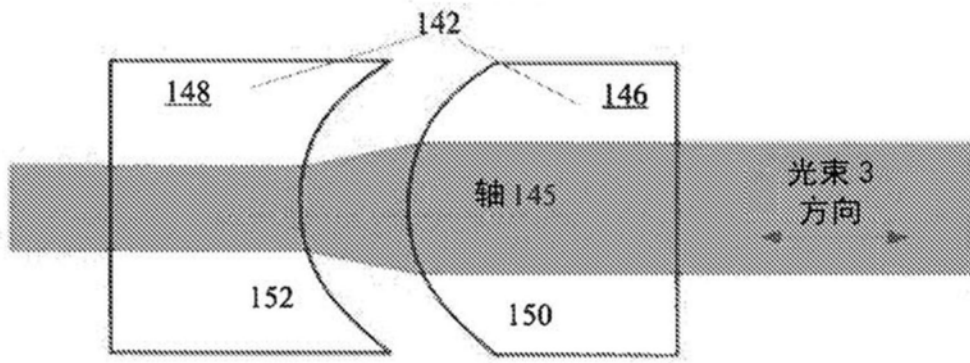


图9A

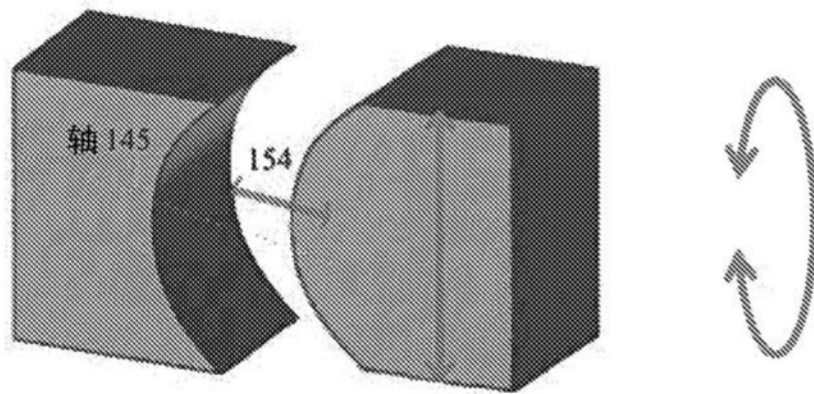


图9B

### 侧视图

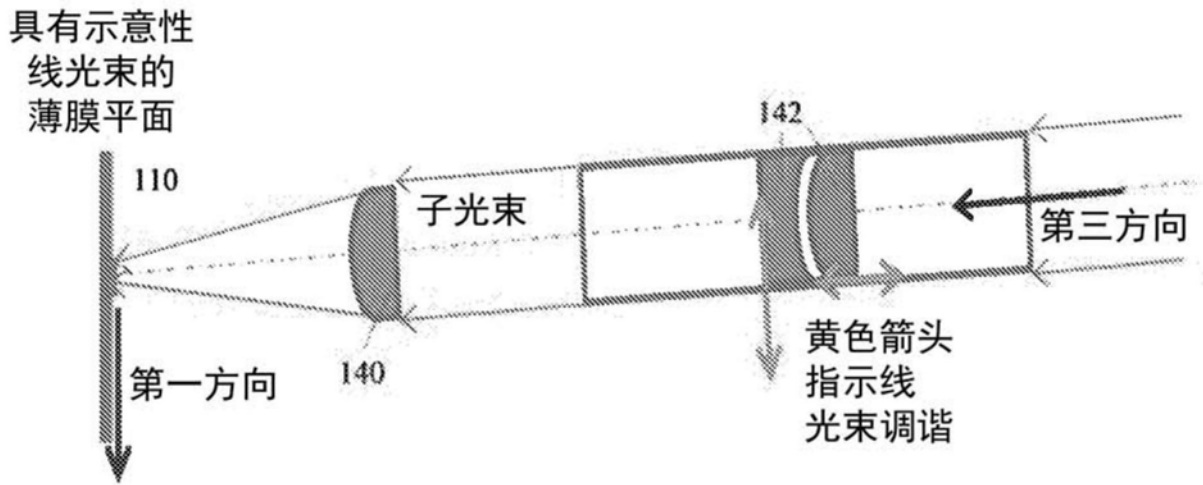


图10A

### 俯视图

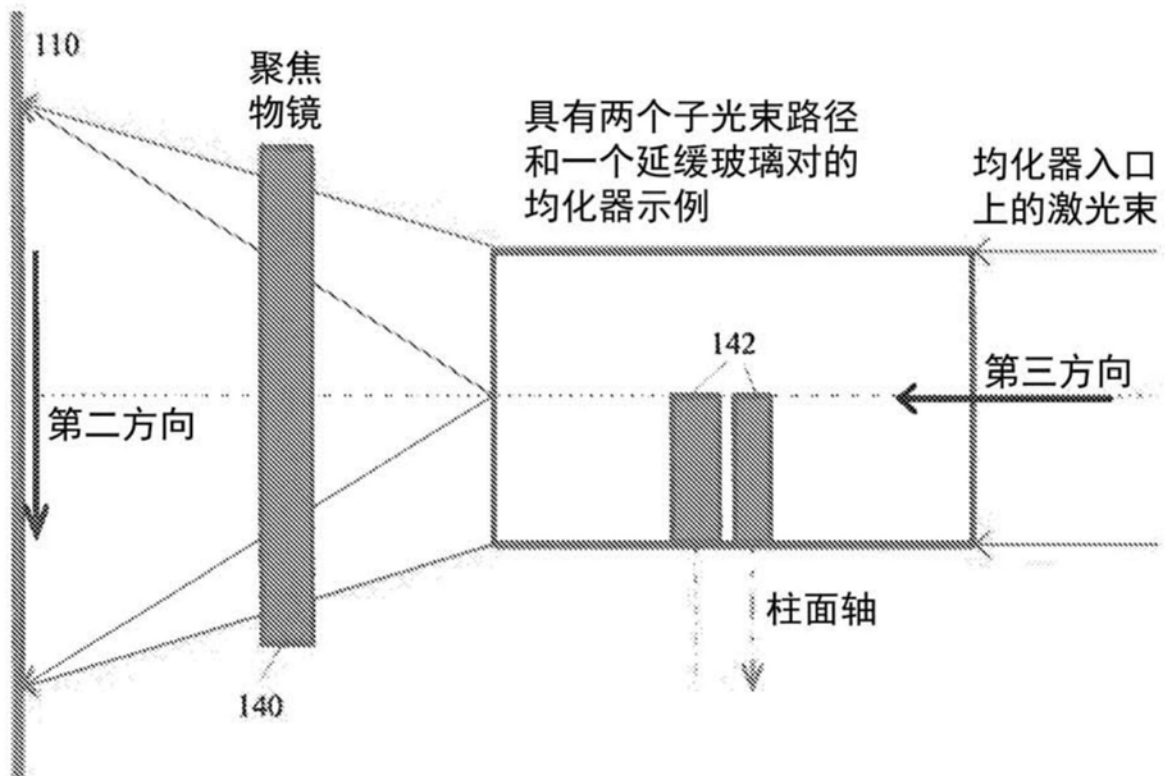


图10B