



(10)授权公告号 CN 107708969 B

(45)授权公告日 2020.07.28

(21)申请号 201680034015.7

(22)申请日 2016.06.10

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107708969 A

(43)申请公布日 2018.02.16

(30)优先权数据  
62/173,541 2015.06.10 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.12.11

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/US2016/036999 2016.06.10

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02016/201309 EN 2016.12.15

(73)专利权人 IPG光子公司

地址 美国马萨诸塞州

(72)发明人 约瑟夫·达拉罗萨 威廉·欧内尔  
马丁·斯帕克斯 安德鲁·佩恩

(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任  
公司 11021

代理人 孙纪泉

(51)Int.Cl.  
B29C 64/153(2017.01)

B22F 3/105(2006.01)

B33Y 10/00(2015.01)

审查员 冯淑莹

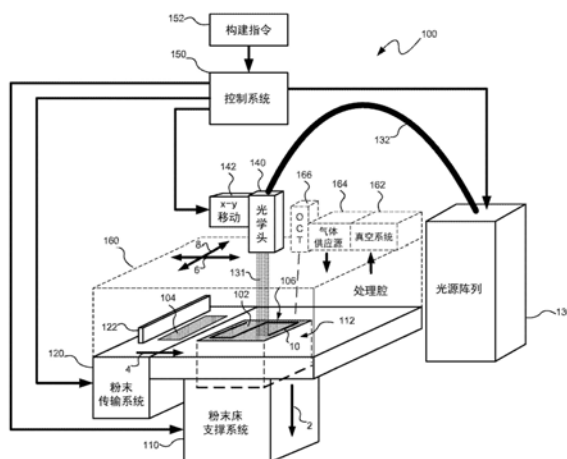
权利要求书4页 说明书15页 附图18页

#### (54)发明名称

多光束增材制造

#### (57)摘要

用于多光束增材制造的系统和方法使用多光束(例如激光)在选定区域中同时地曝光粉末材料层,直到粉末材料熔融以形成体素,体素形成三维结构的构建层。光可以从选定光源产生,并耦合到具有布置在光学头中的输出端的光纤阵列中,使得多光束被光学头引导到每个粉末层上的不同位置。多光束可以提供形成分布式曝光图案的分布式曝光,所述分布式曝光图案包括足够地隔开以分离由每个曝光形成的熔融区域的光束斑。可以使用各种技术(例如,通过移动光学头)并且根据各种扫描图案移动多光束,使得多个多光束分布式曝光形成每个构建层。



1. 一种用于由多个构建层形成的三维结构的多光束增材制造的方法,所述方法包括:  
提供光源阵列、分别耦合到所述光源阵列的光纤阵列、以及包括光纤的输出端的光学头;

在粉末床支撑系统上输送粉末材料的粉末层,所述粉末床支撑系统竖直地和逐步地移动以容纳每个所述粉末层;以及

在粉末材料的每个所述粉末层中形成所述三维结构的构建层,其中形成每个所述构建层包括在每个粉末层的不同区域上执行多光束分布式曝光以选择性地熔融所述粉末材料的对应区域,其中执行每次所述多光束分布式曝光包括从所述光源阵列中的选定光源同时产生光,使得光束从耦合到所述选定光源的所述光纤的所述输出端发射并且被引导到每个粉末层的所述对应区域,以形成包括隔开的光束斑的分布式曝光图案,其中所述光束以足以熔化所述对应区域中的所述粉末材料的功率和持续时间被引导,使得所述对应区域中的所述粉末材料熔融以形成熔融区域,其中在每次所述多光束分布式曝光中的所述光束斑被足够地隔开以分离由每次所述多光束分布式曝光形成的所述熔融区域,由多个所述多光束分布式曝光所形成的熔融区域接合在一起以形成所述构建层,其中每个所述熔融区域对应于所述三维结构的体素,并且其中每个所述粉末层中的所述粉末材料的所述熔融区域共同形成所述三维结构的各个所述构建层中的每一个。

2. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法,其中,所述光源包括激光二极管。

3. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法,其中,所述光源包括光纤激光器。

4. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法,其中,所述光纤的所述输出端在所述光学头中以一维阵列布置。

5. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法,其中,所述光纤的所述输出端在所述光学头中以二维阵列布置。

6. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法,其中,在所述粉末层的不同区域上执行多光束分布式曝光包括针对每次所述多光束分布式曝光将所述光学头相对于所述粉末层移动到不同位置。

7. 根据权利要求6所述的用于多光束增材制造的方法,其中,当所述粉末层正在被输送时,所述光学头在所述粉末层上执行多光束分布式曝光。

8. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法,其中,在每个所述粉末层上执行所述多光束分布式曝光包括跨越所述粉末层用交错扫描图案扫描所述光学头。

9. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法,其中,在每个所述粉末层上执行所述多光束分布式曝光包括跨越所述粉末层用线性扫描图案扫描所述光学头。

10. 根据权利要求9所述的用于多光束增材制造的方法,其中,所述光纤的所述输出端相对于线性扫描方向成角度地布置在单个行中,使得由所述输出端中的一个产生的光束斑与由所述输出端中的相邻的一个在前一次多光束分布式曝光中产生的光束斑重叠。

11. 根据权利要求9所述的用于多光束增材制造的方法,其中,所述光纤的所述输出端布置成二维交错阵列,使得由所述输出端中的一个产生的光束斑与由所述输出端中的相邻的一个在前一次多光束分布式曝光中生成的光束斑重叠。

12. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述光学头被配置为产生光束斑, 所述光束斑具有在 $50\mu\text{m}$ 至 $300\mu\text{m}$ 的范围内的尺寸和在 $150\mu\text{m}$ 至 $600\mu\text{m}$ 的范围内的间隔。

13. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 执行所述多光束分布式曝光包括使用扫描光学器件扫描所述光束。

14. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述粉末材料包括金属粉末。

15. 根据权利要求14所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述金属粉末包括具有大于 $30\mu\text{m}$ 微米的颗粒尺寸的颗粒和具有小于 $5\mu\text{m}$ 的颗粒尺寸的颗粒。

16. 根据权利要求14所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述金属粉末包括具有大于 $50\mu\text{m}$ 的颗粒尺寸的颗粒。

17. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述光学头包括成像光学器件。

18. 根据权利要求17所述的用于多光束增材制造的方法, 进一步包括, 通过使所述光束相对于处理表面散焦来控制所述分布式曝光图案中的所述光束斑的尺寸和间隔。

19. 根据权利要求1所述的用于多光束增材制造的方法, 进一步包括, 调节光束斑尺寸和功率中的至少一个以调节位于至少一个所述构建层的不同区域处的体素的分辨率。

20. 一种用于由多个构建层形成的三维结构的多光束增材制造的方法, 所述方法包括:  
将粉末材料的粉末层输送到粉末床支撑系统;

在粉末材料的所述粉末层中形成所述三维结构的构建层, 其中形成所述构建层包括在所述粉末层的不同区域上执行多光束分布式曝光以选择性地熔融所述粉末层中的所述粉末材料的对应区域, 其中执行每次所述多光束分布式曝光包括同时向所述粉末层的所述对应区域引导光束, 以形成包括隔开的光束斑的分布式曝光图案, 其中所述光束以足以熔化所述对应区域中的所述粉末材料的功率和持续时间被引导, 使得所述对应区域中的所述粉末材料熔融以形成熔融区域, 其中每次所述多光束分布式曝光中的所述光束斑被足够地隔开以分离由每次所述多光束分布式曝光形成的所述熔融区域, 由多个所述多光束分布式曝光所形成的熔融区域接合在一起以形成所述构建层, 并且其中由所述多光束分布式曝光形成的所述粉末材料的所述熔融区域共同形成所述构建层; 和

重复所述输送粉末层以及所述在所述粉末层中形成构建层以形成所述三维结构的每个所述构建层, 并且其中每个所述熔融区域对应于所述三维结构的体素。

21. 根据权利要求20所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述光束形成光束斑的一维阵列。

22. 根据权利要求20所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述光束形成光束斑的二维阵列。

23. 根据权利要求20所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述光束斑具有在 $50\mu\text{m}$ 至 $300\mu\text{m}$ 的范围内的尺寸和在 $150\mu\text{m}$ 至 $600\mu\text{m}$ 的范围内的间隔。

24. 根据权利要求20所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述粉末材料包括金属粉末。

25. 根据权利要求24所述的用于多光束增材制造的方法, 其中, 所述金属粉末包括具有

大于30 $\mu\text{m}$ 微米的颗粒尺寸的颗粒和具有小于5 $\mu\text{m}$ 的颗粒尺寸的颗粒。

26. 根据权利要求24所述的用于多光束增材制造的方法,其中,所述金属粉末包括具有大于50 $\mu\text{m}$ 的颗粒尺寸的颗粒。

27. 根据权利要求20所述的用于多光束增材制造的方法,进一步包括,调节光束斑尺寸和功率中的至少一个以调节位于至少一个所述构建层的不同区域处的体素的分辨率。

28. 一种用于三维结构的多光束增材制造的方法,所述方法包括:

提供光源阵列、分别耦合到所述光源阵列的光纤阵列、以及包括光纤的输出端的光学头;

接收用于所述三维结构的每个构建层的构建指令,所述构建指令至少包括限定所述光学头的位置的光学头定位数据以及识别选定光源和用于所述选定光源的功率和曝光时间的光源数据;以及

通过根据所述光学头定位数据相对于粉末材料的粉末层移动所述光学头而形成所述三维结构的每个构建层,同时根据所述光源数据激活选定光源,以向粉末材料的所述层的相应选定区域提供多光束分布式曝光,从而熔融所述相应选定区域中的所述粉末材料,其中每个所述层中的所述粉末材料的所述熔融区域形成所述三维结构的所述构建层,

其中在每次所述多光束分布式曝光中的光束斑被足够地隔开以分离由每次所述多光束分布式曝光形成的所述熔融区域,

由多个所述多光束分布式曝光所形成的熔融区域接合在一起以形成所述构建层。

29. 根据权利要求28所述的用于多光束增材制造的方法,其中,所述光学头定位数据包括限定所述光学头的扫描图案的扫描图案数据。

30. 一种多光束增材制造系统,包括:

粉末床支撑系统,用于支撑粉末床和形成于所述粉末床中的三维结构,并且用于竖直地和逐步地移动所述粉末床以容纳粉末材料的多个粉末层;

粉末输送系统,用于输送每个所述粉末层以形成所述粉末床;

用于产生光的光源阵列;

分别地耦合到所述光源的光纤阵列;

包括光纤的输出端的多光束光学头;以及

控制系统,用于协调地控制所述光源阵列、所述粉末床支撑系统和所述粉末输送系统以在被输送到所述粉末床的每个所述粉末层中形成所述三维结构的构建层,所述控制系统被配置为选择性地控制每个所述光源以从所述光源阵列中的选定光源生成光,使得光从所述光纤的所述输出端发射并且被引导到每个所述粉末层的对应区域以执行具有包括隔开的光束斑的分布式曝光图案的多光束分布式曝光,其中控制光源的功率和持续时间以使得所述光束斑熔融所述粉末层的所述对应区域中的所述粉末材料,致使所述粉末材料在隔开的熔融区域中熔融,所述隔开的熔融区域形成所述三维结构的体素,

其中,由多个所述多光束分布式曝光所形成的熔融区域接合在一起以形成所述构建层。

31. 根据权利要求30所述的多光束增材制造系统,还包括:

光学头运动台,用于相对于所述粉末床支撑系统上的所述粉末层移动所述光学头以扫描光束通过所述粉末层。

32. 根据权利要求30所述的多光束增材制造系统,还包括:

多边形扫描仪,光学地耦合到所述光学头以用于扫描光束通过所述粉末层。

33. 根据权利要求30所述的多光束增材制造系统,还包括:

振镜扫描仪,光学地耦合到所述光学头以用于扫描光束通过所述粉末层。

34. 根据权利要求30所述的多光束增材制造系统,其中,所述光纤的所述输出端布置成二维阵列。

35. 根据权利要求30所述的多光束增材制造系统,其中,所述控制系统被配置为控制所述光源阵列中的选定光源的功率和曝光时间。

36. 根据权利要求30所述的多光束增材制造系统,其中,所述控制系统响应于构建指令文件,所述构建指令文件限定从所述粉末层形成所述三维结构的每个构建层的指令。

37. 根据权利要求36所述的多光束增材制造系统,其中,所述构建指令文件至少包括限定所述光学头的位置的光学头定位数据以及识别所述选定光源和用于所述选定光源的功率和曝光时间的光源数据。

38. 根据权利要求30所述的多光束增材制造系统,其中,每个所述光源是二极管激光器。

39. 根据权利要求30所述的多光束增材制造系统,其中,所述光学头耦合到所述粉末输送系统。

40. 根据权利要求30所述的多光束增材制造系统,还包括:处理腔,所述处理腔包括用于去除氧气的真空系统和用于供应惰性气体的气体供应源。

## 多光束增材制造

[0001] 相关申请交叉引用

[0002] 本申请要求于2015年6月10日提交的美国专利申请序列号62/173,541的权益,其通过引用而被完全地纳入本文。

### 技术领域

[0003] 本公开涉及增材制造,并且更具体地涉及多光束增材制造。

### 背景技术

[0004] 增材制造(也称为三维打印)技术已被用于制造几乎任何形状的三维结构。使用增材工艺,基于限定结构的3D模型的数据,沉积材料的连续层以形成结构。在一些方法中,通过沉积粉末材料的连续层并且使用光束(例如激光)来将每个层的选定区域中的粉末材料结合或熔融来生成形成结构的连续层。这些方法的例子包括选择性激光烧结(SLS)和选择性激光熔化(SLM),在选择性激光烧结中激光烧结选定区域中的粉末颗粒以形成结构的每个构建层,在选择性激光熔化中,激光熔化选定区域中的粉末,使得熔化的材料硬化以形成结构的每个构建层。

[0005] 虽然这种激光增材制造(LAM)技术已经取得成功,但是激光向选定区域的移动通常会降低构建速率和制造速度。为了提高速度,已经使用了多光束,但是跨越粉末层扫描多光束可能导致在每个构建层的熔融材料中产生应力。例如,热能可能导致热部件应力,这可能随着构建层的形成而使三维结构变形。因此,当使用某些材料,如超耐热合金时,因为热应力可能导致开裂,所以LAM技术并不如此成功。而且,当使用具有较大颗粒尺寸的粉末材料时,LAM技术还没有如此成功,这是由于激光的功率可能不足以在不会引起过大的热应力的情况下熔化和熔融较大尺寸的颗粒。

[0006] 而且,更快的构建速率通常需要能量更快地(即,以更高的功率)引入到粉末床中。增加LAM系统的功率是具有挑战性的,因为光学元件必须更大并且必须增加冷却以承受更高的功率。在这种系统中的扫描反射镜对于增加的尺寸变得不太敏感,这降低了扫描速度并降低了构建速度。因为用多光束扫描相同区域涉及到的挑战,在SLM系统中使用多光束的尝试已经失败。

[0007] 因此,需要一种增材制造系统和方法,其允许更快的构建速率同时减少熔化材料中的热应力。

### 发明内容

[0008] 根据一个实施例,提供了一种用于由多个构建层形成的三维结构的多光束增材制造的方法。该方法包括:提供光源阵列、分别耦合到光源阵列的光纤阵列、以及包括光纤输出端的光学头;在粉末床支撑系统上输送粉末材料的粉末层,所述粉末床支撑系统竖直地和逐步地移动以容纳每个粉末层;以及在粉末材料的每个粉末层中形成三维结构的构建层,其中形成每个构建层包括在每个粉末层的不同区域上执行多光束分布式曝光以选择性

地熔化粉末材料的对应区域,其中执行每次多光束分布式曝光包括从光源阵列中的选定光源同时产生光,使得光束从耦合到选定光源的光纤的输出端发射并且被引导到每个粉末层的对应区域,以形成包括隔开的光束斑的分布式曝光图案,其中所述光束以足以熔化对应区域中的粉末材料的功率和持续时间被引导,使得对应区域中的粉末材料熔化以形成熔化区域,其中在每次多光束分布式曝光中的光束斑被足够地隔开以分离由每次多光束分布式曝光形成的熔融区域,其中每个熔融区域对应于三维结构的体素,并且其中每个粉末层中的粉末材料的熔化区域共同形成三维结构的各个构建层中的每一个。

[0009] 根据另一个实施例,提供了一种用于由多个构建层形成的三维结构的多光束增材制造的方法。该方法包括:将粉末材料的粉末层输送到粉末床支撑系统;在粉末材料的每个粉末层中形成三维结构的构建层,其中形成构建层包括在粉末层的不同区域上执行多光束分布式曝光以选择性地熔融粉末层中的粉末材料的对应区域,其中执行每次多光束分布式曝光包括同时向粉末层的对应区域引导光束,以形成包括隔开的光束斑的分布式曝光图案,其中所述光束以足以熔化对应区域中的粉末材料的功率和持续时间被引导,使得对应区域中的粉末材料熔融以形成熔融区域,其中每次多光束分布式曝光中的光束斑被足够地隔开以分离由每次多光束分布式曝光形成的熔融区域,并且其中由多光束分布式曝光形成的粉末材料的熔化区域共同形成的构建层;和重复输送粉末层以及在粉末层中形成构建层以形成三维结构的每个构建层,并且其中每个熔融区域对应于三维结构的体素。

[0010] 根据另一个实施例,提供了一种用于三维结构的多光束增材制造的方法。该方法包括:提供光源阵列、分别耦合到光源阵列的光纤阵列、以及包括光纤输出端的光学头;接收用于三维结构的每个构建层的构建指令,所述构建指令至少包括限定光学头的位置的光学头定位数据以及识别选定光源和用于选定光源的功率和曝光时间的光源数据;以及通过根据所述光学头定位数据相对于粉末材料的粉末层移动所述光学头而形成所述三维结构的每个构建层,同时根据所述光源数据激活选定光源,以向粉末材料的层的相应选定区域提供多光束分布式曝光,从而熔融相应选定区域中的粉末材料,其中每个层中的粉末材料的熔融区域形成三维结构的构建层。

[0011] 与又一实施例一致,多光束增材制造系统包括粉末床支撑系统和粉末输送系统,所述粉末床支撑系统用于支撑粉末床和在其中形成的三维结构,并且用于竖直地和逐步地移动粉末床以容纳粉末材料的多个粉末层,所述粉末输送系统用于输送每个粉末层以形成粉末床。多光束增材制造系统还包括用于产生光的光源阵列、分别耦合到光源的光纤阵列和包括光纤输出端的多光束光学头。多光束增材制造系统还包括控制系统,所述控制系统用于协调地控制光源阵列、粉末床支撑系统和粉末输送系统,以在输送至粉末床的每个粉末层中形成三维结构的构建层。控制系统被配置成选择性地控制每个光源以从光源阵列中的选定光源生成光,使得光从光纤的输出端发射并被引导到每个粉末层的对应区域以执行具有包括隔开的光束斑的分布式曝光图案的多光束分布式曝光。控制光源的功率和持续时间,以使得光束斑熔融粉末层的对应区域中的粉末材料,致使粉末材料隔开的熔融区域中熔融,所述隔开的熔融区域在形成三维结构的体素。

## 附图说明

[0012] 通过研读下文详细的描述连同附图将更好理解这些和其它的特征以及优点,其

中：

[0013] 图1是根据本公开的实施例的用于由粉末材料层形成三维结构的多光束增材制造系统的示意图。

[0014] 图2是根据本发明实施例的用于多光束增材制造系统的一维多光束光学头的示意图。

[0015] 图2A是与本发明的另一实施例一致的图2所示的一维多光束光学头的示意图，其中成像光学器件位于不同的位置以提供不同的光束斑尺寸和间距。

[0016] 图3是根据本发明实施例的用于多光束增材制造系统的二维多光束光学头的示意图。

[0017] 图4A-4D示出了与本公开的实施例一致的通过用多光束光学头进行扫描在粉末床中形成示例性三维结构的构建层。

[0018] 图5A是根据本公开的实施例的由多光束分布式曝光产生的光束斑和熔化球的示意图。

[0019] 图5B是根据本公开的实施例的由重叠的多光束分布式曝光产生的光束斑和熔化球的示意图。

[0020] 图6是与本公开的实施例一致的在使用多光束增材制造方法的情况下熔化球直径作为分别使不锈钢和钴铬合金粉末层曝光的激光束的曝光时间的函数的曲线图。

[0021] 图7A-7E示出了与本公开的实施例一致的用于一维多光束分布式曝光的不同扫描图案。

[0022] 图7F示出了根据本公开的另一实施例的通过交错扫描行形成的扫描图案。

[0023] 图8A和图8B示出了与本公开的实施例一致的用于二维多光束分布式曝光的扫描图案。

[0024] 图9示出了与本公开的实施例一致的用于成角度的一维多光束分布式曝光的扫描图案。

[0025] 图10示出了与本公开的实施例一致的用于交错式二维多光束分布式曝光的扫描图案。

[0026] 图11是与本公开的实施例一致的使用多光束增材制造形成的单层固体结构的照片。

[0027] 图12是与本公开的实施例一致的使用多光束增材制造形成的单层成形结构的照片。

[0028] 图13是与本公开的实施例一致的使用多光束增材制造形成的多层成形结构的照片。

[0029] 图14是与本公开的实施例一致的构建层的顶视图，示出了构建层的不同区域中的不同分辨率。

[0030] 图15A-15C是与本公开的另一实施例一致的与粉末输送系统耦合的多光束光学头的顶部示意图，多光束光学头用于在粉末层被输送时曝光粉末层。

[0031] 图16是与本公开的另一实施例一致的与粉末输送系统耦合的一维成角度多光束光学头的顶部示意图，一维成角度多光束光学头用于在粉末层被输送时曝光粉末层。

[0032] 图17是与本公开的另一实施例一致的当粉末层被输送时用于曝光粉末层的耦合



到粉末输送系统的二维交错多光束光学头的俯视示意图。

[0033] 图18是根据本公开的又一实施例的在粉末输送系统的料斗之间耦合的多光束光学头的侧视示意图,多光束光学头用于在粉末层被输送时曝光粉末层。

[0034] 图19是根据本公开的另一实施例的包括用于扫描多光束的多角镜的多光束激光增材制造系统的示意图。

[0035] 图20是根据本公开的另一实施例的包括用于扫描多光束的振镜扫描仪的多光束激光增材制造系统的示意图。

## 具体实施方式

[0036] 与本公开一致的用于多光束增材制造的系统和方法使用多束光(例如,激光)来在选定区域中同时地曝光粉末材料层,直到粉末材料熔融以形成体素,这形成三维结构的构建层。光可以从选定光源产生,并耦合到具有布置在光学头中的输出端的光纤阵列中,使得多光束被光学头引导到每个粉末层上的不同位置。多光束可以提供形成分布式曝光图案的分布式曝光,所述分布式曝光图案包括足够隔开以分离由每个曝光形成的熔融区域的光束斑。可以使用各种技术(例如,通过移动光学头)并且根据各种扫描图案移动多光束,使得多个多光束分布式曝光形成每个构建层。

[0037] 通过使用多光束分布式曝光和通过使用某些扫描策略,多光束增材制造系统和方法可以增加构建速度,同时减少构建层中引起的应力。多光束增材制造系统可以用于形成用于各种三维打印或快速成型应用的三维结构,并且取决于应用可以由多种材料形成。粉末材料可以包括但不限于金属、合金和超耐热合金。更具体地,粉末材料可以包括但不限于粉末状Ti-6Al-4V、镍钛或镍钛诺、镍基超耐热合金(例如称为铬镍铁合金的奥氏体镍-铬基超耐热合金)、铝、不锈钢和钴铬合金。例如,不锈钢316L和钴铬合金都具有良好的耐腐蚀性和高强度。例如,由于其可消毒性和抗疲劳和冲击性,不锈钢可用于食品加工或医疗应用。因为其高耐磨性和能够形成高强度小特征的能力,钴铬合金可用于例如医疗植入物。粉末材料还可以包括已知用于粉末床熔融增材制造的任何其他粉末材料。

[0038] 由于当使用多个激光器,尤其是光纤激光器时可用的更高的功率,当使用本文中描述的多光束增材制造系统和方法时,粉末的颗粒尺寸可能不是问题。多光束增材制造系统和方法可以与具有不均匀颗粒尺寸的粉末一起使用,颗粒尺寸包括小于 $5\mu\text{m}$ 且大于 $30\mu\text{m}$ 的颗粒尺寸。多光束增材制造系统和方法还可以与具有较大颗粒尺寸的粉末一起使用,例如大于 $50\mu\text{m}$ 的颗粒尺寸。

[0039] 如本文中所使用的,“曝光”是指光的曝光持续限定的时间段,“多光束分布式曝光”是指使用多光束的曝光,使得光束在不同位置处基本同时提供间隔的曝光。如本文所用,“粉末材料”是指适用于粉末床熔融增材制造的颗粒形式的材料。如本文所用,“熔融”是指由于熔化和/或烧结而将粉末材料的颗粒结合为单一结构。如本文所用,术语“熔化池”和“熔化球”可互换使用,指的是通过暴露于光束而形成的熔化的粉末材料的三维区域。“熔化池”或“熔化球”可以具有大致球形或球体形状,但不一定限于任何特定的形状。如本文所用,“熔化区域”是由于形成“熔化池”或“熔化球”的光束的曝光而已经熔化的粉末材料的区域,并且“分布式熔化区域”是指通常通过多光束分布式曝光基本同时形成的分离的“熔融区域”。如此处所使用的,“体素”是三维结构中的三维空间的单位。“体素”可以对应于“熔化

池”或“熔化球”或“熔融区域”，但不一定与熔化池或熔化球或熔融区域具有相同的尺寸和形状。

[0040] 尽管这里描述的示例性实施例主要用于使用金属粉末的粉末增材制造，但是本文描述的概念可以与其他材料和使用激光或光的其他类型的增材制造一起使用。其他材料可以包括例如树脂，塑料，聚合物和陶瓷。

[0041] 参考图1，更详细地示出和描述与本公开的实施例一致的多光束增材制造系统100。多光束增材制造系统100包括粉末床支撑系统110和粉末输送系统120，粉末床支撑系统110用于支撑由粉末材料104的连续层形成的粉末床102，粉末输送系统120用于将粉末材料104层输送到粉末床102上。三维结构的构建层形成在粉末床102的各个粉末层中。

[0042] 多光束增材制造系统100还包括耦合到光纤132阵列的光源130阵列以及光学头140，光学头140布置光纤132的输出端以将多光束131引导到处理表面106，该处理表面106包括粉末床102的曝光层。当在粉末床102上的曝光粉末层中形成构建层时，光束131中的一个或多个的曝光熔化曝光的粉末材料，这导致粉末材料在与构建层的体素对应的熔化区域中熔化。在不同位置处具有多光束的多光束曝光因此可以同时形成构建层的多个体素。光束131也可以用于执行其他操作以促进粉末材料的熔化和熔融，例如预热和/或退火。

[0043] 在图示的实施例中，光学头运动系统142使光学头140相对于粉末床102移动，使得光束131可以被引导至粉末床102上的不同位置以形成组成构建层的体素。光学头运动系统142可以能够以大约1-2m/s的速度移动光学头140，但是更慢和更快的速度是可能的。控制系统150协调地控制粉末床支撑系统110、粉末输送系统120、光源130和光学头运动系统142以形成三维结构的每个构建层。具体地，控制系统150可以使光学头140根据扫描图案10（例如，类似于点阵打印机）在粉末层上扫描，同时选择性地激活光源130，使得光束131的曝光选择性地创建熔化池和熔化区域，熔化池和熔化区域导致形成三维结构的构建层的各个体素。光学头140也可以相对于光学头运动系统142转动。

[0044] 粉末床支撑系统110降低粉末床102（例如在箭头2所示的方向上）以容纳每个新的粉末材料104层，从而限定了包围粉末床102和其中所形成的三维结构的构建外壳112。粉末床支撑系统110可以包括例如活塞驱动支撑平台（未示出）。粉末床支撑系统110逐步地使粉末床102下降，每次下降对应于每个新粉末层的期望厚度的量。构建外壳112显示为长方体形状，但也可以具有圆柱形形状。在一个示例中，粉末床支撑系统110限定具有100mm的最大构建直径和70mm的高度的圆柱形构建外壳，并且对于每个粉末层具有25 $\mu$ m的分辨率。

[0045] 粉末输送系统120包括粉末散布器122（例如辊或刮片），用于将每层粉末材料104散布到粉末床102上。粉末输送系统120可以包括例如粉末输送活塞（未示出），粉末输送活塞向上移动粉末材料以被粉末散布器122接合。在其他实施方式中，粉末输送系统120可以包括从粉末床102上方输送粉末材料的一个或多个料斗或类似装置。

[0046] 粉末床102和处理表面106可被封闭在处理腔160中。处理腔160可以是具有处理窗口（未示出）的气密腔，以允许光束131进入腔160中到达粉末床102。当执行粉末材料的熔化和熔融时，处理腔160也可以在气压上被控制以减少氧化效应。可以使用真空系统162来从处理腔160中去除氧气。气体供应源164可以向处理腔160供应惰性气体，例如氩气，以替换氧气。

[0047] 多光束增材制造系统100还可以包括光学相干断层成像（OCT）系统166，以为每个

构建层提供过程中度量衡。OCT系统166可以使用已知的OCT技术在一个或多个曝光的位置处对处理平面106成像,以获得关于任何熔化池的尺寸和形状信息。OCT可以是在线单点干涉深度测定。

[0048] 光源130阵列可以包括二极管激光器阵列,例如高功率多模式光纤耦合二极管激光器。这种二极管激光器的一个例子是可从IPG光子公司获得的PLD-33系列二极管激光器,该二极管激光器在974nm波长范围(即958-980nm)内可通过耦合的光纤实现高达30W的输出功率,其中该耦合光纤具有105-110 $\mu$ m的孔、125 $\mu$ m的光纤包层直径和250 $\mu$ m的光纤缓冲直径。具有其他功率输出(例如,10、60或100W)和/或其他波长的其他二极管激光器也可以被使用。不同功率输出和/或波长的二极管激光器也可以用在同一阵列中。

[0049] 例如,可以通过改变二极管激光器的驱动电流来改变二极管激光器的输出功率。这可以在每次曝光之前完成以影响可变功率输送,或在曝光期间完成以影响脉冲成形。例如,通过改变输出功率,脉冲持续时间,脉冲形状以及焦点或光斑尺寸,可以改变每次曝光所输送的能量。多光束增材制造系统100因此可以在功率密度方面缩放。

[0050] 在其他实施例中,光源130阵列可以包括光纤激光器,诸如具有约532nm的波长的绿色光纤激光器。绿光纤激光器可以包括峰值功率大于150kW并高达400kW的脉冲(例如,纳秒)绿色光纤激光器,输出功率高达50W的连续波长光纤激光器和输出功率高达100W或高达500W的准连续波(QCW)光纤激光器。这种光纤激光器的例子包括可以从IPG光子公司获得的GLR系列单模单频连续波绿色光纤激光器和GLPN系列高功率单模准连续波绿色光纤激光器。其他波长(例如IR波长(例如,1 $\mu$ m,1.5 $\mu$ m和2 $\mu$ m))的其他光纤激光器也可以用作多光束增材制造系统100中的光源130。光纤激光器能够提供更高的功率,例如,使具有更大的颗粒尺寸和/或更高的熔融温度的粉末材料熔化。

[0051] 这些仅仅是可用于多光束增材加工系统100中的光源的一些示例。光源130的阵列可以包括任何类型的能够输送具有足够功率的光来熔化和熔融正在使用的粉末材料的光源。在一些情况下,例如,较高功率的白光源可能是足够的。

[0052] 在其他实施例中,光源130可以包括一个或多个能够执行其他操作或过程的光源,例如,以促进粉末材料的熔化和熔融和/或在三维结构上形成结束表面。例如,取决于用于特定处理操作所需的功率和/或光束特性(例如,光束质量和光斑尺寸),可以使用不同的光源。产生较低强度的光束和较大的聚焦光斑尺寸的一个或多个多模激光器可用于例如执行不要求更高功率密度和更高分辨率的过程,例如预热粉末和/或使熔融区域退火。产生更高强度光束和更小聚焦光斑尺寸的单模激光器可以用于需要更高功率密度和更高分辨率的过程,例如在粉末材料中产生体素的熔化。产生高峰值功率的一个或多个超快激光器(例如皮秒或飞秒激光器)可用于例如在三维结构的表面上形成激光诱导周期表面结构(LIPSS)。

[0053] 虽然多光束增材制造系统100被描述为包括分别耦合到光纤132阵列的光源130阵列,但额外地或替代地,系统100可包括耦合到多个光纤的单个光源。例如,可以将单个激光器分开并耦合到多个光纤,以便为了预热、退火或其他不需要更高功率和更高分辨率过程而输送多光束。在其他实施例中,多光束增材制造系统100可以包括耦合到其他光源阵列或其他单个光源的多于一个的光学头140。

[0054] 尽管示例实施例使用光学头140来布置光纤132的输出端以将多个光束引导至处理表面106,但是可以使用其他技术和系统来将多个光束引导至处理表面106以在处理表面

106上形成光束斑阵列以用于在此描述的方法中。例如,通过使用朝向处理表面106的其他类型的激光处理头(例如类似于激光焊接头)和/或使用反射镜或其他光学部件将光束导向处理表面106而向处理表面106引导光源(例如,激光二极管),可以将多个光束引导至处理表面106。

[0055] 光学头运动系统142可以包括XY运动台,该XY运动台被配置为如箭头6,8所示在至少X和Y方向上移动光学头。光学头运动系统142的一个示例包括CNC台架系统,如带有XYZ台的Aerotech®台架系统。光学头运动系统142的另一个例子可以包括用于在处理腔160上方移动光学头140的打印机式滑架。打印机式滑架可以例如耦合到粉末输送系统120,使得光学头140在层粉末层被输送时扫描并曝光粉末层,如将在下面更详细描述的那样。在其他实施例中,如将在下面更详细地描述的,通过使用诸如多角镜或振镜扫描仪的扫描光学器件扫描光束,可以使光束131相对于粉末床102移动。

[0056] 控制系统150协调地控制粉末床支撑系统110、粉末输送系统120、光源130和光学头运动系统142以形成三维结构的构建层。例如,控制系统150可以通过控制粉末床支撑系统110中驱动活塞的步进马达来控制粉末床支撑系统110,以在形成每个新的构建层之后根据限定的增量来降低粉末床102。因此,控制系统150可以控制每个粉末层的厚度,从而控制每个构建层的厚度。例如,控制系统150可以例如通过控制驱动粉末散布器122的驱动马达来控制粉末输送系统120,以在降低粉末床102之后将每层粉末材料104散布在粉末床102上方。控制系统150可通过将粉末床102降低限定的层厚度并驱动粉末散布器122以在粉末床102上散布新的粉末104层来自动地在每个构建层之后重新构建粉末层。

[0057] 控制系统150还可以例如通过控制哪个光源被激活或打开,通过控制输出功率以及通过控制发射光的持续时间(并且因此控制曝光时间)来控制光源130阵列。例如,通过控制驱动光学头运动系统142的X-Y马达以根据扫描模式或策略来定位光学头140,控制系统150可以进一步控制光学头140的移动和定向。因此,控制系统150可以使光从光源130选择性地产生,并且在每次曝光时从光学头140选择性地被引导到粉末床102上的不同位置。

[0058] 控制系统150可以接收构建指令152,构建指令152限定三维结构的每个构建层以及床支撑系统110、粉末输送系统120、光源130和光学头运动系统142的操作来形成这些构建层。构建指令152可以包括例如图像切片数据,扫描数据,层厚度数据,扫描条带重叠数据和能量分布数据。这个数据可以是可变的,并且可以在生成构建指令时被限定。图像切片数据对应于穿过三维结构的模型的平面切片的一系列二进制图像,并且对应于形成三维结构的每个构建层。扫描数据限定扫描图案或策略,诸如光学头140相对于粉末床102的移动的图案,使得多个光束能够选择性地曝光粉末床102的曝光层上的任何位置。条带重叠数据限定粉末床102上的相邻扫描条带之间的重叠量。层厚度数据限定了粉末材料的每个层的厚度以及因此限定了每个构建层的厚度。能量分布数据限定了粉末上的光的能量分布,包括每个选定光源的功率和曝光时间。

[0059] 构建指令152可以是文件或其他数据结构的形式。构建指令152可以从对象的模型产生,例如,如CAD文件所表示的模型。构建指令152的每一行可以包括光学头140的位置,在该位置处将被激活的光源的标识,以及用于在该位置将被激活的每个识别的光源的曝光时间和功率。构建指令152因此可以提供数据以在光学头140的每个位置处形成多个体素,使得光学头140的多个位置在每个构建层中产生所有体素。构建指令152还可以包括重新构层

指令以在形成每个构建层之后开始重新构层。

[0060] 控制系统150可以包括CNC计算机(例如,PC)和/或微控制器电路。在一个示例中,CNC计算机可以逐行地读取构建指令文件以获得位置数据并控制光学头140的位置。在光学头140在每个位置处的同时,CNC计算机可以将指令发送到微控制器以控制光源130。CNC计算机还可以向粉末床支撑系统110和粉末输送系统120发送指令,以控制活塞步进马达和粉末散布器马达在处理腔中的位置以对粉末重新构层。在一个操作示例中,微控制器可以向CNC计算机发送忙信号以在重新构层的同时暂停读取指令,并且可以在重新构层完成之后发送就绪信号。在另一个示例中,微控制器可以直接接收构建指令,并且可以具有足够的处理功率以允许自主操作而无需CNC计算机。

[0061] 如图2所示,多光束光学头240的一个实施例在耦合到相应的光源230-1到230-n(例如,激光器)的光纤232-1到232-n的阵列的端部处包括n个光纤输出端234-1到234-n的一维阵列(即,单行)。一维多光束光学头240因此能够以一维阵列产生多达n个光束231-1至231-n。在一维阵列中产生的光束231-1到231-n的数量和图案可以通过选择性地激活光源230-1到230-n而改变。

[0062] 一维多光束光学头240可以包括定位和隔开光纤输出端234-1到234-n的光纤定位块242。光学头240还可以包括诸如一个或多个成像光学器件244的光学器件,一个或多个成像光学器件244将聚焦光束231-1至231-n聚焦并引导至处理表面206,使得相邻的聚焦光束231-1至231-n在处理表面206处间隔开。成像光学器件244可包括聚焦全部光束的单个透镜或聚焦相应光束的多个透镜(例如,微透镜阵列)。因此,在处理表面处的粉末层上由光束231-1至231-n产生的光束斑具有间隔,该间隔导致相应地间隔开的熔化池和熔融区域。尽管输出端以基本上相等的间隔示出,但是光学头240也可以提供不相等的间隔。

[0063] 光纤输出端234-1至234-n可以紧密填充在块242中,例如,具有100 $\mu\text{m}$ 直径的10个光纤可以紧密填充在1mm内。光束斑尺寸和间距通常是光纤芯直径,光纤间距和光束焦点的函数。在一些实施例中,成像光学器件244可以聚焦光束231-1至231-n,使得聚焦的相邻光束231-1至231-n在处理表面206处具有在50 $\mu\text{m}$ 至300 $\mu\text{m}$ 的范围内的光束斑尺寸,和约150 $\mu\text{m}$ 至约600 $\mu\text{m}$ 的范围中的间隔。在另一个实例中,单模激光器可用于获得低至20 $\mu\text{m}$ 的光斑尺寸。在另一个例子中,具有在100 $\mu\text{m}$ 至110 $\mu\text{m}$ 范围内的芯的多模光纤可以产生100 $\mu\text{m}$ 至110 $\mu\text{m}$ 的成像光斑尺寸。当光纤紧密堆积时,光束的中心间距可以大致对应于光纤直径,例如紧密堆积的10 $\mu\text{m}$ 光纤可以提供10 $\mu\text{m}$ 中心间距,并且紧密堆积的100 $\mu\text{m}$ -110 $\mu\text{m}$ 多模光纤提供大约100 $\mu\text{m}$ 到110 $\mu\text{m}$ 的间距。如将在下面更详细地讨论的,可以通过相对于处理表面调节焦点来调节光束斑尺寸和间距。

[0064] 当在多光束增材制造系统和方法中使用,如本文所述,一维多光束光学头240可以(例如,以线性或非线性扫描图案)移动到不同的位置,同时选择性地激活一个或多个光源230-1至230-n。在光学头240的每个位置处,例如,光源230-1至230-n中的一个或多个被打开达规定的时间和功率(例如,如构建指令所限定的)以在处理表面206上产生一个或多个光束231-1至231-n以及包括一个或多个光束斑的曝光图案。当用于在粉末床中形成构建层时,例如,一个或多个光源230-1至230-n被选择性地激活(即,调制)以产生光束231-1到231-n的图案,该光束将熔化并熔融与构建层的体素对应的粉末层的区域。

[0065] 如图2A所示,多光束光学头240和/或成像光学器件244可以移动到不同的位置,以

相对于处理表面206a-c改变光束231的焦点。改变光束231的焦点改变了标记与空白比,从而改变了光束斑的光斑尺寸,间隔和功率密度。图2A示出了三个不同的聚焦度以及在各个处理表面206a-c处产生的光束斑233a-c。当光束聚焦在处理表面206a上(即,处理表面206a处于焦平面中)时,光束斑233a可以具有最小化的光斑尺寸和最大的功率密度,但是间隔更大。当光束相对于处理表面206b,206c散焦(即,处理表面不在焦平面内)时,光束斑233b,233c可具有较大的光斑尺寸和较低的功率密度以及较小的间隔。因此,多光束光学头240可以调节焦点以为不需要较高功率密度和分辨率的某些应用提供重叠光束斑。例如,对于构建层的不同材料和/或不同区域,光束斑尺寸可以变化,如下面更详细描述。

[0066] 因此,可以通过将光束聚焦在处理表面上来提供分布式曝光图案中的光束斑之间的间隔,并且可以通过改变焦点来调节间隔。通过多光束分布式曝光中使用不相邻的光束也可以提供分布式曝光图案中的光束斑之间的间隔。例如,如果光束散焦,使得相邻的光束斑不间隔开(例如,图2A中的光束斑233c),则光源可以被选择性地激活,使得曝光不使用相邻的光束。

[0067] 参考图3,多光束光学头340的另一个实施例包括 $n \times m$ 光纤输出端334-1到334-n,334-m的二维阵列。该二维阵列通常包括两列或更多列 $n$ 光纤输出端334-1至334-n和两行或更多行 $m$ 光纤输出端334-1至334-m。每行和每列中的光纤输出端334可以如图所示对齐或者可以交错以产生具有交错光束斑的曝光图案。尽管二维阵列显示为矩形阵列,但是二维阵列可以具有其他形状和构造。

[0068] 类似于二维多光束光学头240,光纤输出端334-1至334-n,334-m位于耦合到相应光源(图3中未示出)的光纤的端部。因此,二维多光束光学头340能够以二维阵列产生高达 $n \times m$ 个光束331-1至331-n,331-m。在二维阵列中产生的光束331-1至331-n,331-m的数量和图案可通过选择性地激活光源而改变。

[0069] 二维多光束光学头340包括光纤定位块342,其定位和隔开光纤输出端334-1到334-n,334-m。二维多光束光学头340还包括诸如成像光学器件344的光学器件,用于将多个光束331聚焦到处理表面306以形成隔开的光束斑阵列。由二维多光束光学头340产生的相邻的聚焦光束331-1至331-n,331-m的间隔可以在上述的一维多光束光学头240的相同范围内。如上所述,还可以调节二维多光束光学头340和/或成像光学器件344以调节焦点和光束斑尺寸和间隔。

[0070] 当在如本文所述的多光束增材加工系统和方法中使用时,二维多光束光学头340可(例如,以线性或非线性扫描图案)被移动到不同的位置,同时选择性地激活一个或多个光源。在光学头340的每个位置处,例如,一个或多个光源可以在规定的时间和功率(例如,如构建指令所限定的)下打开以在处理表面306上产生一个或多个光束331-1至331-n,331-m以及包括光束斑的曝光图案。例如,当用于在粉末床中形成构建层时,一个或多个光源被选择性地激活以产生光束331图案,光束331将熔化并熔融与构建层的体素对应的粉末层的区域。

[0071] 在一个实施例中,二维多光束光学头340提供小于粉末床上的粉末层的表面区域的二维光束阵列。在这个实施例中,二维多光束光学头340因此被移动或扫描通过粉末层以在整个粉末层上提供曝光。在另一个实施例中,二维多光束光学头340可以提供足够大的二维阵列以基本上覆盖粉末床上的粉末层的整个表面区域。在该实施例中,二维多光束光学

头340能够根据光束斑的间距仅用少量局部运动来曝光粉末层的整个表面区域。

[0072] 在另一个实施例中,多光束光学头可以是模块化的并且可配置成产生不同尺寸的不同阵列(例如一维或二维)。保持和定位光纤输出端的光纤定位块例如可以被配置为连接在一起。因此,光纤输出端的多个一维阵列可以连接在一起以形成较大的一维阵列或二维阵列,或者光纤输出端的多个二维阵列可以连接在一起以形成较大的二维阵列。

[0073] 尽管在此描述的实施例涉及的光纤具有产生圆形光束斑的圆形横截面,但是多光束增材制造系统和方法也可以使用具有其他横截面,例如正方形,的光纤。也可以使用额外的光学器件以修改光束斑的形状。尽管所示实施例示出了朝着处理表面正交地引导光束的光学头,但是光学头也可以被倾斜以相对于处理表面以一定角度引导光束。

[0074] 图4A-4D图示了与本公开的实施例一致的使用多光束光学头440形成三维结构401的构建层的示例。尽管该例子示出了一维多光束光学头440,但是也可以以相同的方式使用二维多光束光学头。在这个例子中,三维结构401具有侧面区段403a,403b和顶部区段405,并且由一系列构建层408-1至408-7形成,这一系列构建层408-1至408-7一起形成侧面区段403a,403b和顶部区段405。构建层408-1至408-7中的每一个由体素构成,并且当粉末因从多光束光学头440发射的一个或多个光束431的曝光熔化时,每个体素形成。

[0075] 如图所示,连续的粉末层402-1至402-7沉积在粉末床402上并且多光束光学头440相对于粉末层402-1至402-7移动到不同的位置,以利用光束431中的一个或多个光束来曝光选定区域中的每个粉末层以形成构成每个构建层的体素。特别地,来自光束231的曝光熔化曝光区域内并穿过粉末层的粉末的至少一部分(即,光束斑)以形成对应于构建层408中的各个体素的各个熔融区域406。来自光束431的每个曝光的能量充分地穿透熔融区域406的粉末层,以延伸并连接之前构建层中的相同位置处的任何熔化区域或体素。例如,图4A中所示的体素或熔化区域406a与之前构建层408-1中的对应体素结合。因此,粉末层的厚度决定了每个体素的深度和构建分辨率。对于一些结构或结构的某些部分,可以使用具有较高输出功率的光以用于粉末材料的较厚层。

[0076] 如图所示,光学头440可以使用光束431执行多个光束分布曝光以形成对应的分布式熔化池和分布式熔融区域406。通过根据扫描图案移动光学头440并且在光学头440的多个不同位置处提供多光束分布式曝光,分布式熔化区域406可以接合在一起以形成构建层。换言之,随后的多光束分布式曝光填充分布式熔融区域406之间的空间。形成分布式熔化池和熔融区域允许使用多光束来增加构建速度,同时也使热能部受位置限制以减少热部件应力。稍后结合熔化区域或体素允许热应力分散。可以使用各种扫描图案和策略来将构建层中的分布式熔化区域406连接起来,这将在下面更详细地描述。为了说明的目的,熔化区域406被示出为矩形,并且可以具有其他形状,例如圆柱形或椭球形。

[0077] 图4A和4B示出了通过使用多光束431来在构建层408-2中形成结构401的侧面区段403a、403b,从而沿着对应于侧面区段403a、403b的相对较窄的条带在粉末层402-2上执行分布式曝光。图4C和4D示出了通过使用多光束431从而在构建层408-5、408-7中形成结构401的顶部区段405,以在对应于顶部区段405的更大区域上在相应的粉末层402-5、402-7上执行分布式曝光。

[0078] 如图5A所示,多光束分布曝光531提供包括具有光束斑尺寸D和间隔S的多个隔开的光束斑533a,533b的分布式曝光图案。光束斑533a,533b中的每一个产生对应的熔化球



506a, 506b (和熔融区域)。当光束具有高斯强度分布时, 光束的外部区域处的较低能量可能导致熔化球506a, 506b具有比光束斑更小的尺寸(例如, 更小的直径 $d$ )。因此, 为了接合熔化区域, 重叠多个多光束分布式曝光, 使得熔化球重叠以填充由分布式曝光531形成的熔化球506a, 506b之间的空间。

[0079] 如图5B所示, 熔化球506a, 506b之间的空间可以通过使用多个多光束分布式曝光来填充, 该多个多光束分布式曝光来重叠在具有网格间距 $P$ 的网格上。这允许通过随后的分布式曝光将分布式熔化区域连接在一起。在这个例子中, 网格间距 $P$ 和间距 $S$ 使得两个熔化球被放置在使用来自两次后续曝光的两个光束斑由多光束分布式曝光531形成的熔化球506a, 506b之间的空间内。然而, 这不是本公开的限制, 因为间距 $P$ , 间距 $S$ , 光束尺寸 $D$ , 熔化球尺寸 $d$ 和填充空间的熔化球的数量可以变化。图5B示出了足以使熔化球之间的任何间隙空气最小化的重叠; 然而, 重叠可以大于或小于图5B中所示的重叠。

[0080] 熔化池或熔化球506a, 506b的尺寸可取决于粉末材料的类型, 光束的功率, 光束斑的尺寸以及曝光时间。图6示出了对于不锈钢316L和钴铬合金的暴露时间与熔化球直径的关系。在这个例子中, 光源是具有30W功率和974nm波长的二极管激光器, 并且光束聚焦成约300 $\mu\text{m}$ 的光斑尺寸。如图所示, 尽管具有较高的熔化温度, 不锈钢316L对于给定的曝光时间形成了比钴铬合金更大的熔化球。因此, 在表征特定粉末材料的熔化球形成过程时应考虑吸收和比热。

[0081] 可以使用各种扫描图案来网格上重叠多光束分布式曝光, 如上所述。图7A-7E示出了使用包括三个间隔开的光束斑的一维阵列的分布式曝光图案733的几个交错的扫描模式(或扫描策略)。这种分布式曝光图案733可以例如通过至少三个光纤的一维阵列来产生。具有其他数量的光束斑的分布式曝光图案可以用其他数量的光纤产生。

[0082] 该分布式曝光图案733产生三个间隔开的熔化球的相应的熔化图案, 被熔化图案导致三个间隔开的熔融区域或体素的对应图案。随后的多光束分布式曝光可以使用该相同的分布式曝光图案733来进行, 以将扫描区域735内的对应的分布式熔融区域连接在一起。因为熔化球的尺寸可以小于生成熔化池的对应光束斑的尺寸, 如上所述, 所以随后的多光束分布式曝光中的光束斑可以相应地重叠。例如, 通过增加功率和/或曝光时间, 也可能产生比光束斑大的熔化池或熔化球。

[0083] 如图7A-7E所示, 每个扫描图案包括光学头在不同轴线上的一系列局部运动, 从而交错曝光图案733以填充光束斑之间的空间并覆盖扫描区域735, 扫描区域735对应于构建层的一个区段。扫描区域735的网格尺寸可以是曝光图案733中的光束斑的数量, 光束斑之间的间隔以及扫描图案中的运动的函数。在这个例子中, 用三个光束斑和三个曝光以填充空间, 扫描区域735沿长度形成有九(9)个重叠光束斑。具体而言, 图7A-7D示出了具有 $3 \times 9$ 网格尺寸的扫描区域735, 图7E示出了具有 $5 \times 9$ 网格尺寸的扫描区域735。

[0084] 图7A-7E中的箭头表示光学头在 $X$ 和 $Y$ 轴上的到每个局部位置的每个局部运动的方向, 以用于产生每个随后的多光束分布式曝光直到覆盖扫描区域。如果所有的光束在这些位置中的每一个处被曝光, 则在扫描区域735内通过对应于光束斑的熔化球而形成固体构建层区段。通过选择性地激活光源并且在不同位置中的每一个中选择性地产生光束斑, 具有不同图案或形状的构建层区段可以形成在扫描区域735中。这些局部运动可以在一系列位置处重复, 使得多个扫描区域735形成跨越粉末床的扫描条带。根据需要, 多个扫描条带



可以被重叠(例如,具有限定的扫描条带重叠)以覆盖整个粉末层并形成完整的构建层。

[0085] 图7F图示了5光束系统中的交错的另一示例。在这个例子中,每个字母代表不同的光束,每列代表连续的扫描。粉末材料可以在一条扫描行中被熔化并填充,而不会将相邻的扫描行同时一起成像。换句话说,交错技术被用于不相邻或不连续的多光束以填充在扫描行之间。

[0086] 交错可以在增材制造中提供几个好处。特别地,交错允许成像处理在慢扫描方向上作为平滑的运动进行。如果使用连续的光束斑阵列,则它们将被成像在一个方框中,并且慢扫描方向将以阵列的尺寸向前前进。通过非连续阵列中交错单个光束斑,阵列可以以较小的步长在慢扫描方向上步进。

[0087] 交错不连续的扫描行还允许每个扫描行以一致的特性成像。由于相邻的扫描行不能同时成像,因此相邻区域的基材不熔融,因此是冷的。利用金属粉末的激光增材制造对于导热材料的热处理。如果使用连续的阵列,则阵列的中心比阵列的边缘热得多,导致中心处的成像特性与边缘处不同。因此边缘处的熔化材料将具有不同的性质,例如导致可见的条纹。当相邻光束不影响温度时,熔融材料的结构得到改善。因此,当交错扫描行时,整个光束斑阵列和由阵列形成的扫描行上的温度更加一致。

[0088] 图8A和8B示出了使用二维分布式曝光图案833来覆盖扫描区域835的交错扫描图案(或扫描策略)。二维分布式曝光图案833可以根据图7A-7E中所示的交错扫描图案中的任何一个来扫描。

[0089] 图9示出了使用成角度的一维分布式曝光图案933的线性扫描图案。在此示例中,成角度的一维分布式曝光图案933相对于线性扫描方向成角度,使得光束斑将在随后的曝光中出现的相邻的光束斑重叠。如此,成角度的一维分布式曝光图案933可以沿着一个轴线被扫描,并且不需要在另一轴线上的移动来填充光束斑之间的空间。图10示出了使用交错的二维分布式曝光图案1033的线性扫描图案。在该示例中,光束斑是交错的,使得在随后的曝光中光束斑将被邻近的光束斑重叠。这样,交错的二维分布式曝光图案1033可以沿一个轴线扫描,并且不需要在另一个轴线上移动来填充束斑之间的空间。

[0090] 图11-13示出了使用多光束增材制造系统和方法的一个实施例构建的结构。这些物体中的每一个都由不锈钢316L粉末制成,不锈钢316L粉末具有大于 $5\mu\text{m}$ 且小于 $53\mu\text{m}$ 的颗粒尺寸。该系统包括七个二极管激光器,二极管激光器具有约 $974\text{nm}$ 的波长和约 $30\text{W}$ 的功率,该七个二极管激光器耦合到布置在一维阵列中并紧密堆积在光学头中的七个光纤。

[0091] 图11示出了包括 $50 \times 21$ 个熔化球(或体素)的单层固体矩形结构。使用图7A所示的扫描策略和用于每个二极管激光器的约 $5\text{ms}$ 的曝光时间建立该单层固体矩形结构。图12显示了形成“IPG”标志的字母的单层 $261 \times 64$ 体素结构。在扫描条带之间有两个像素重叠,并且每个体素的曝光时间为 $5\text{ms}$ 的情况下,这种结构建立在 $0.15\text{mm}$ 间距的网格上。图13示出了形成“IPG”标志的字母的多层结构。在扫描条带之间有两个像素重叠,并且每个体素的曝光时间为 $10\text{ms}$ 的情况下,使用十个构建层以 $0.15\text{mm}$ 的网格间距建立该多层结构。在多层结构的每个角部处使用锚柱(未示出)以将构造附着到基板以防止累积应力使结构变形。使用真空系统去除残余氧气并用惰性气体回填可以减少氧化并改善多层构造中的层间固结。在发生再熔化的地方,例如在缝合重叠处,氧化也可能减少。

[0092] 多光束增材制造系统和方法的另一个实施例可以例如通过使用不同的光束斑尺

寸被用来提供不同的分辨率。较小的光束斑尺寸通常产生较小的熔化球/熔融区域/体素，因此通常产生较高的分辨率。较大的光束斑尺寸通常会产生较大的熔化球/熔融区域/体素，因而通常产生降低的分辨率。例如，可以通过如上所述调节焦点来控制光束斑尺寸。也可以使用不同的光源或激光器提供不同的光束斑尺寸和分辨率。该实施例可以使用单个较大的光束和单个较小的光束，和/或可以使用多个较大的光束和多个较小的光束。

[0093] 在一个示例中，较大的光束斑尺寸可以在400 $\mu\text{m}$ –500 $\mu\text{m}$ 的范围内，较小的光束斑尺寸可以在50 $\mu\text{m}$ –70 $\mu\text{m}$ 的范围内。较大的光斑可用于熔化块体材料，较小的光斑可用于执行精细的细节和/或边缘精加工。在该实施例中，对于较大的光斑，可以以较高的输出功率（例如，500W–5kW）使用较大的多个kW激光器，对于较小的光斑可以以较低的输出功率（例如100W–400W）使用较大的多个kW激光器。

[0094] 如图14所示，例如，较大尺寸的光束斑1433可以用在结构1401的内部区域1403中，并且较小尺寸的光束斑1435可以用在需要较高分辨率的结构1401的外部区域1405上。在结构1401的大部分上使用较大的光束斑尺寸和较低的分辨率使得构建速度更快。靠近边缘使用较小的光束斑1435和更高能量密度在建造时在结构1401的外表面上提供更平滑的表面光洁度。

[0095] 在另一个实施例中，如图15A–15C所示，多光束增材制造系统包括多光束光学头1540，该多光束光学头1540跟随在每层粉末的输送之后使得多个光束在每个粉末层被输送的同时扫描粉末床1502。多光束光学头1540可以例如耦合到在粉末床上移动的粉末散布器设备1520。当粉末散布器设备1520如箭头4所示在粉末床1502上沿线性方向移动以散布粉末层时，例如，多光束光学头1540在正交方向上来回扫描，如由箭头8所示，类似于打印机滑架。

[0096] 在每个位置处，光学头1540可以提供多光束分布式曝光以形成分布式熔融区域1506的图案（图15B）。随着散布器设备1520继续移动通过粉末床（图15C），通过执行随后的分布式曝光，分布式熔融区域1506被结合以形成结构1501的构建层。在输送层时扫描并曝光粉末层避免了在开始扫描和曝光过程之前必须等待输送整个粉末层，并且因此可以进一步提高构建速率。

[0097] 在该实施例的另一个变型中，如图16所示，多光束光学头1640包括成角度的一维阵列。随着粉末散布器设备1620移动通过粉末床1602，该多光束光学头1640提供例如可以被扫描的成角度的分布式曝光图案，如图9所示。如图17所示，在另一变化例中，多光束光学头1740包括交错的二维阵列。例如，随着粉末散布器设备1720移动通过粉末床1702，该多光束光学头1740提供可以被扫描的交错的二维分布式曝光图案，如图10所示。曝光图案的角度也可以在构建过程期间变化和控制，以控制熔化池的间距。

[0098] 在另一个实施例中，如图18所示，多光束光学头1840直接耦合到粉末输送系统。在该实施例中，多光束光学头1840安装在粉末输送料斗1820a，1820b和散布器1822a，1822b之间。当料斗1820a，1820b移动通过粉末床1802（例如，沿箭头4的方向）时，粉末1804从前导料斗1820b释放并使用前导散布器1822b散布。如上所述，如图15–17所示，多光束光学头1840在正交方向上来回扫描粉末床。在形成结构1801的每个构建层之后，粉末床支撑平台1810降低粉末床1802。

[0099] 在另一个实施例中，如图19所示，多光束增材制造系统1900可以包括多角镜1942，

用于根据本文所述的任何图案来扫描多光束1931。光源1930阵列选择性地产生光,该光由多光束光学头1940引导到多角镜1942,该多角镜1942例如在执行分布式曝光的同时在粉末床1902上扫描光束1931。多角镜可以能够以50m/s的速度扫描光束。在该实施例中,随着粉末层被输送(例如,跟随粉末散布器的运动),可以在粉末床1902上扫描光束1931。粉末床1902可以在与扫描方向正交的方向上移动,以允许多个光束1931扫过粉末床1902的不同区域。

[0100] 在另一个实施例中,如图20所示,多光束增材制造系统2000可以包括振镜扫描仪2042,用于根据在此描述的任何图案扫描多光束2031。振镜扫描仪2042可以包括一个或更多的扫描镜,以在至少在一个方向上扫描。对于较大的部件,可以提供第二个振镜扫描仪以沿垂直方向扫描。对于较小的部件,振镜扫描仪2042可以包括由音圈驱动的压电镜或扫描镜以在垂直方向上扫描。

[0101] 光源2030阵列选择性地产生光,该光由多光束光学头2040引导到振镜扫描仪2042,该振镜扫描仪2042例如在执行分布式曝光的同时在粉末床2002上扫描光束2031。光学头2040可以向振镜扫描仪提供基本上准直的光束,并且可以包括一个或多个变焦透镜(未示出)以改变光束斑尺寸。当扫描时,F-theta扫描透镜2045将光束2031聚焦在粉末床2002上。

[0102] 在该实施例中,随着粉末层被输送(例如,跟随粉末散布器的运动),可以在粉末床2002上扫描光束2031。粉末床2002也可以移动以允许多光束2031扫过粉末床2002的不同区域。

[0103] 在径向对称的光学系统中,多光束扫描系统可以被设计成如上所述地扫描光束阵列,其中阵列以不同方式布置(例如,不同数量的光束成不同图案或者在不同方向上)。例如,如果径向对称系统被设计为容纳距离中心轴线 $\pm 4\text{mm}$ 的阵列,那么在8mm范围内或者这些光束的定向上产生多少光束并不重要。因此,在这样的系统中,可以在不改变光学器件的情况下改变或重新配置阵列。例如,该阵列可以针对应用定制(例如,材料,部件的尺寸等)。

[0104] 多光束增材制造系统和方法可以以二维阵列重新配置光束以允许不同的和更有效的扫描图案。多光束增材制造系统和方法不需要来回扫描或上下扫描以形成部件的每个构建层。多光束增材制造系统和方法可以通过跟随部件(被称为随机访问系统)的轮廓来扫描构建层,这可以更高效且允许更快的构建速度。在这样的随机访问系统中,可以进行交错,使得二维阵列被使用,但是只有一些光束成像,这取决于扫描行的定向。例如,对于圆形部件,可以围绕圆形扫描阵列,而不是来回移动并仅当光束穿过部件的壁边界时(例如,如图15A-15C所示)打开光束。当阵列围绕圆形移动时,阵列相对于行进方向不同地定向,因此阵列中不同组的光束将在不同的时间相应地开启。当如图7F所示交错时,例如,阵列中的不同组的光束可以对应于不同时间的每个交错光束A-E。

[0105] 具有二维阵列的多光束增材制造系统和方法也可以分别使用前导光束和跟随光束来预热和后热。预热和后热材料调节温度分布,以防止材料加热和冷却太快。

[0106] 在另一实施例中,可以使用耦合到光源阵列的光纤的输出端的阵列之外的技术来创建用于在此描述的任何方法中的光束斑阵列。在一个示例中,可以在处理表面上布置光源阵列,以将光束引导或聚焦在处理表面上以形成光束斑的一维或二维阵列。在另一个示例中,可以在处理表面上布置多个激光处理头(例如,诸如用于激光焊接的类型),以将光束

引导或聚焦在处理表面上以形成光束斑的一维或二维阵列。在另一个例子中,反射镜和/或其他光学部件可以用于将光束引导到处理表面上以形成光束斑的一维或二维阵列。

[0107] 因此,与本公开一致的多光束增材制造系统和方法可用于改进每个构建层的构建速度,同时减少热部件应力。

[0108] 尽管已经在本文中描述了本发明的原理,但是本领域的技术人员理解,该描述仅通过示例性进行并且不作为对本发明的范围的限制。除了在此示出和描述的示例性实施例之外,还可以在本发明的范围内设想其它实施例。本领域的普通技术人员的修改和替换被认为是在本发明的范围内,除了以下权利要求书之外,本发明不受限制。

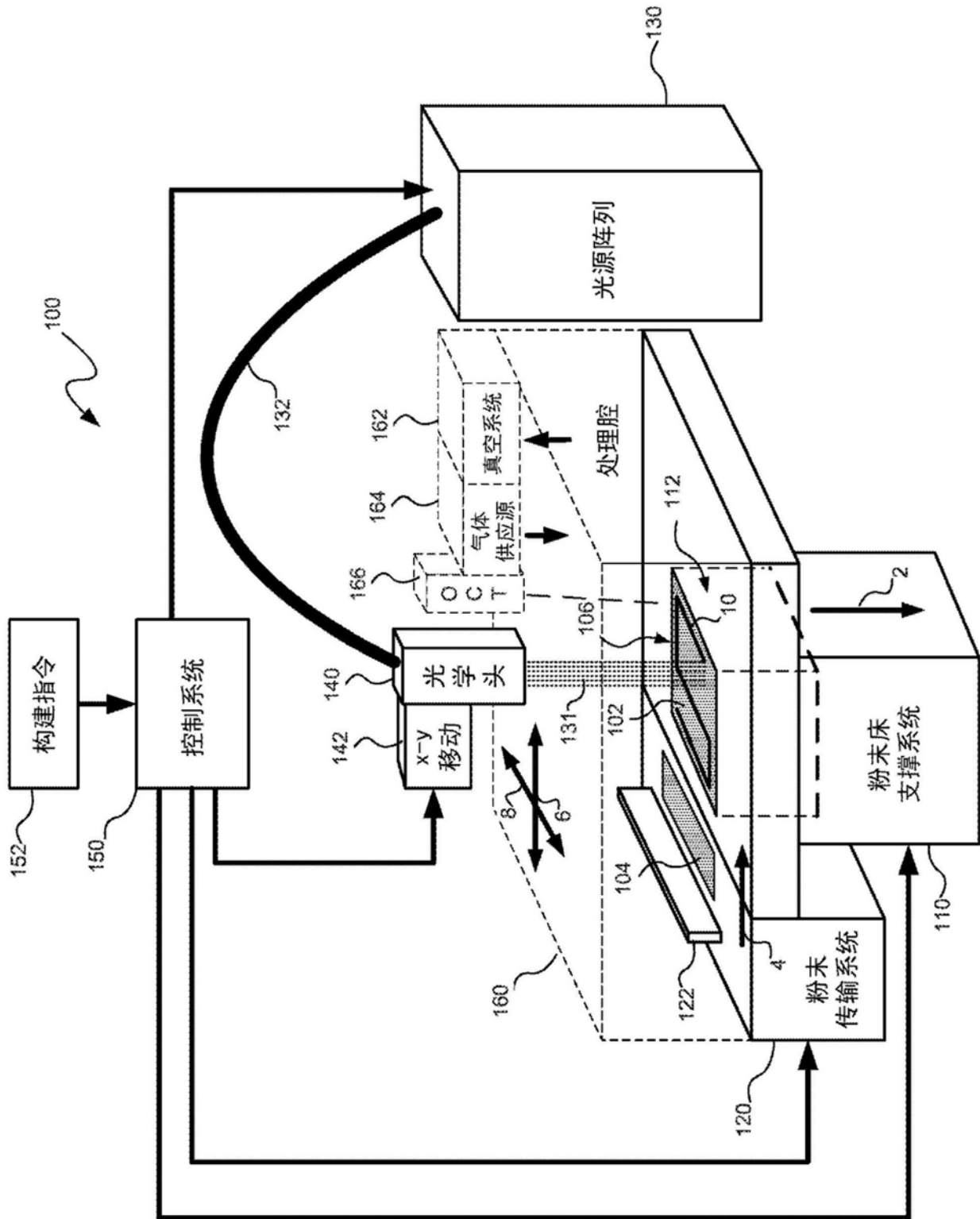
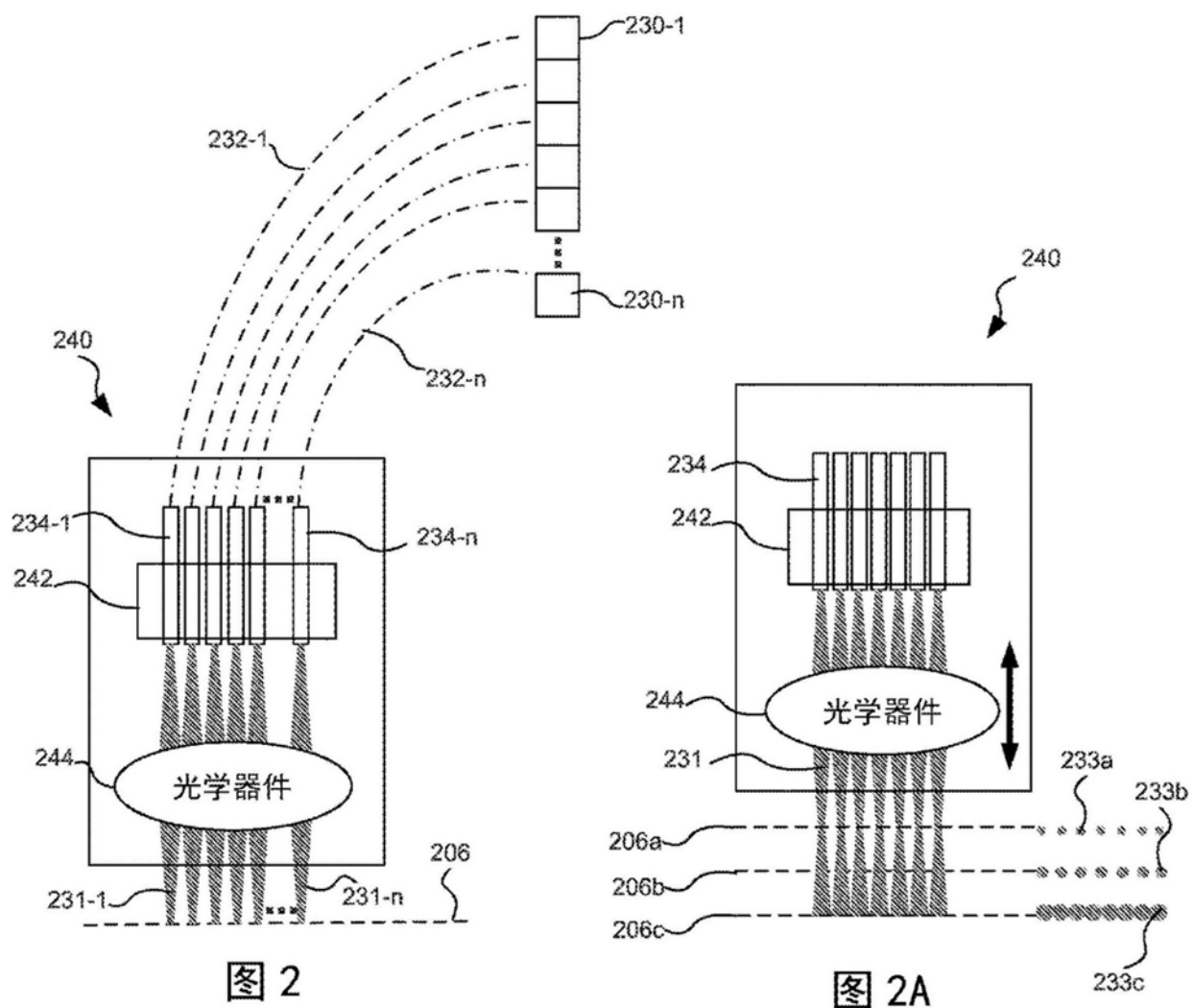


图1



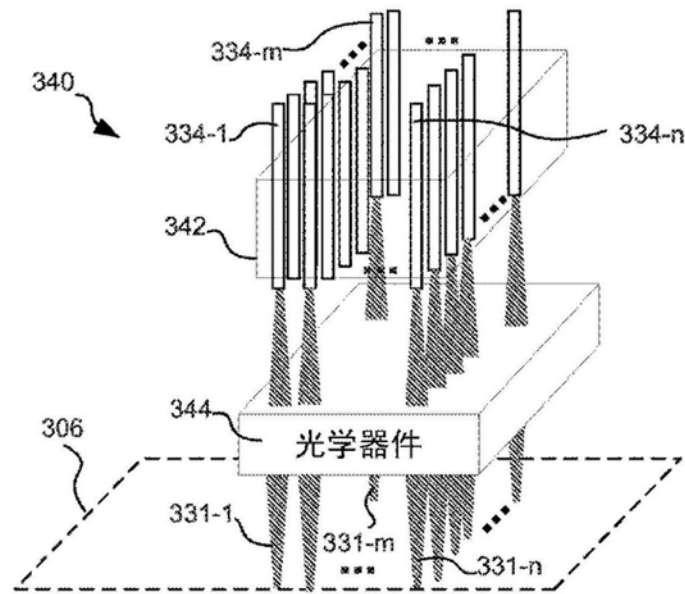


图3

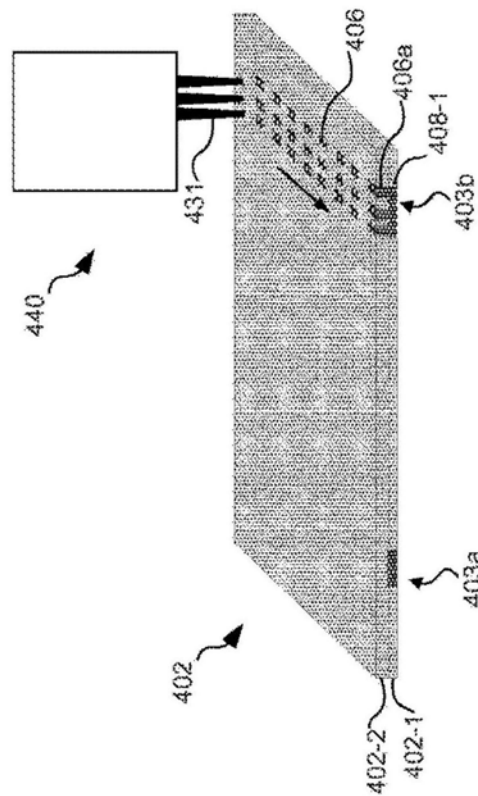


图4A

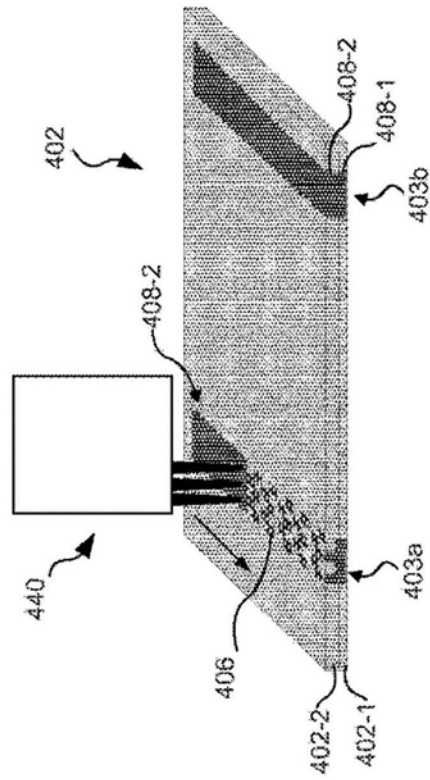


图4B

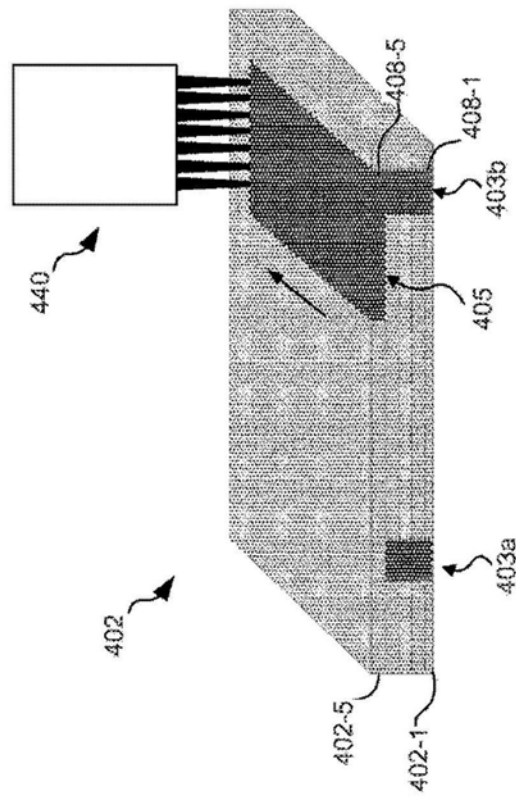


图4C





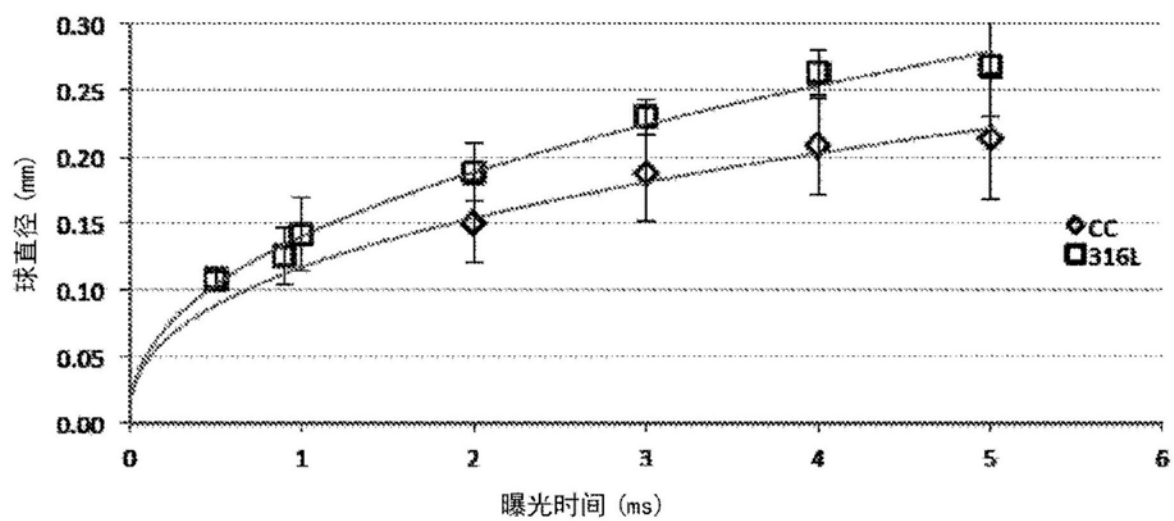
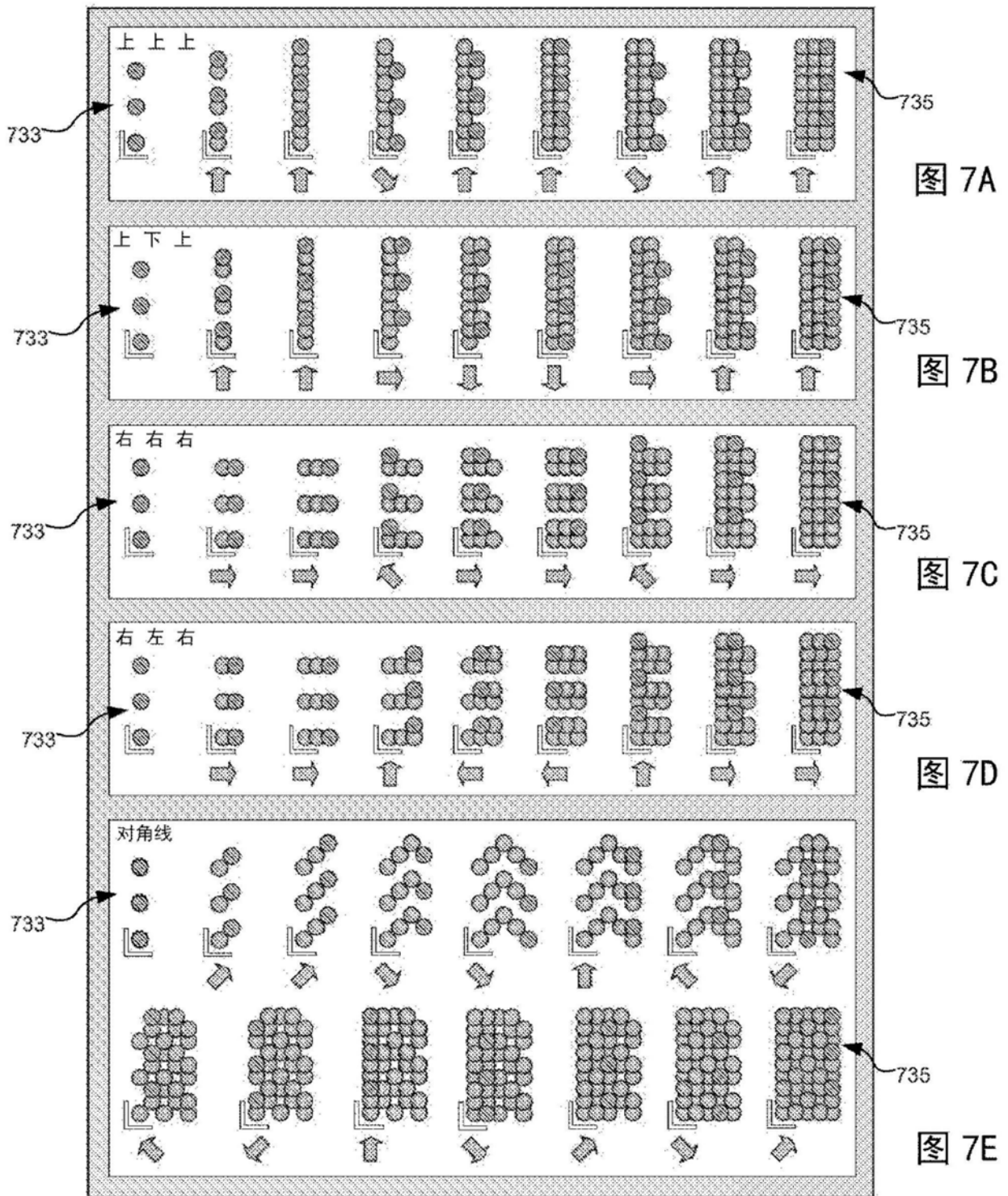


图6



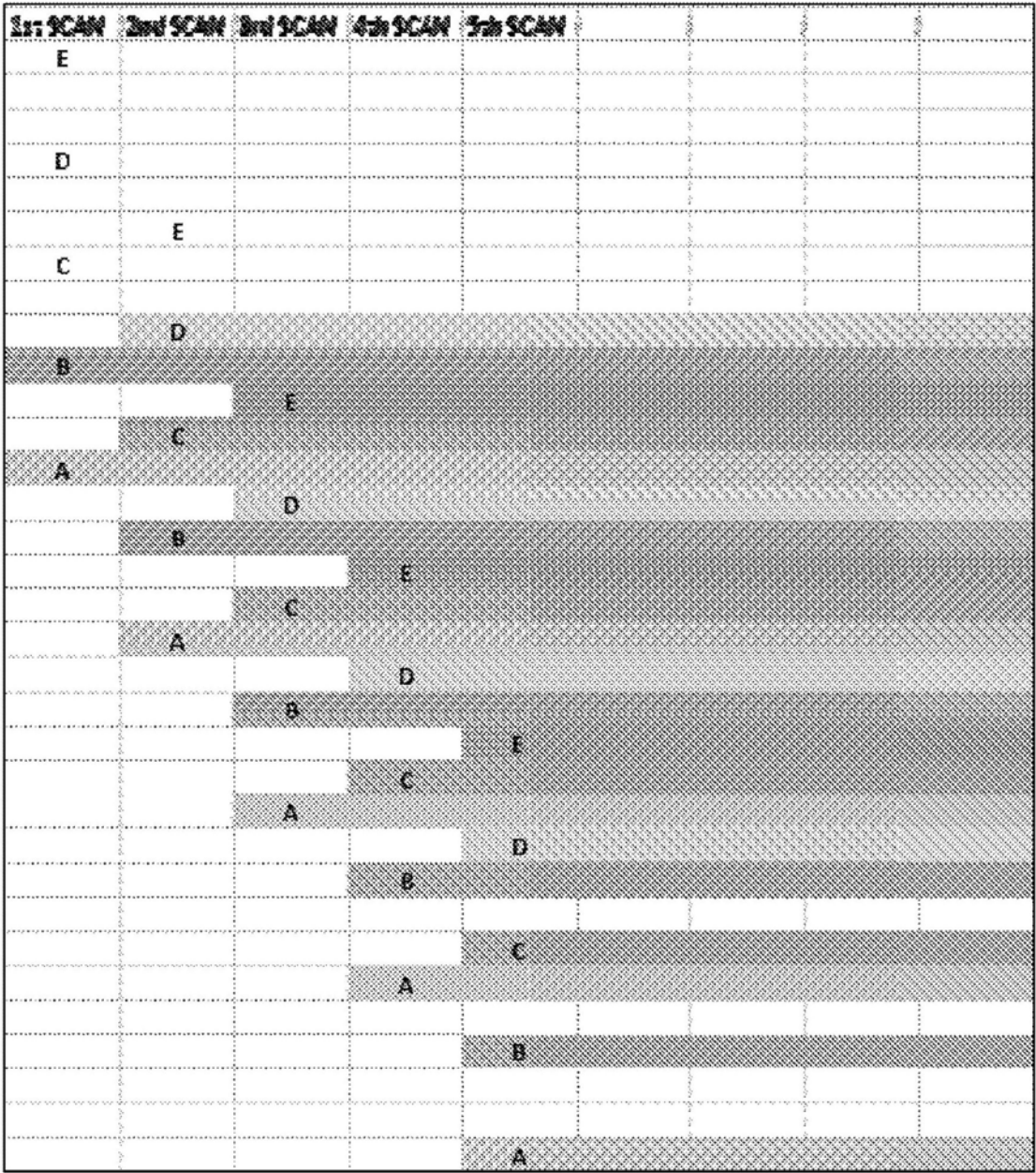


图7F

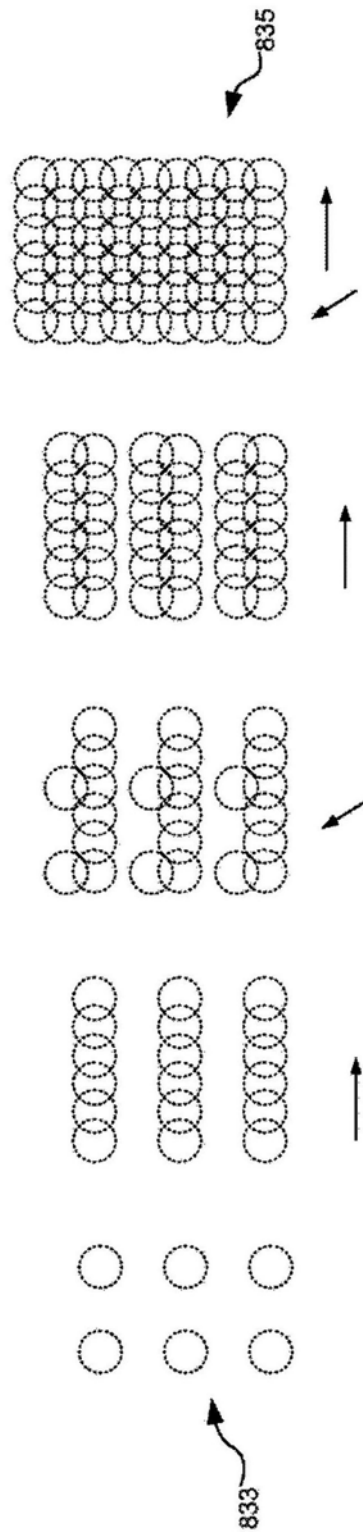


图8A

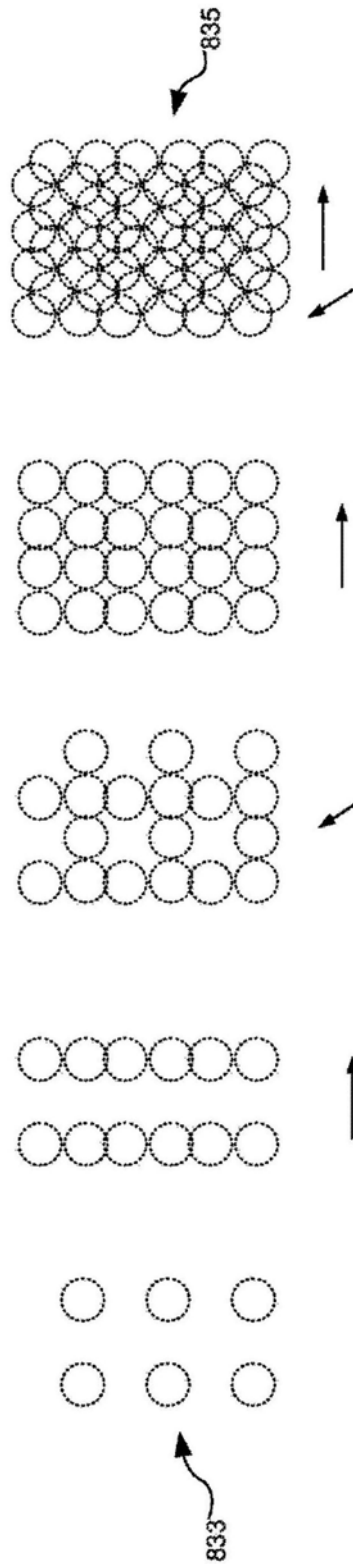
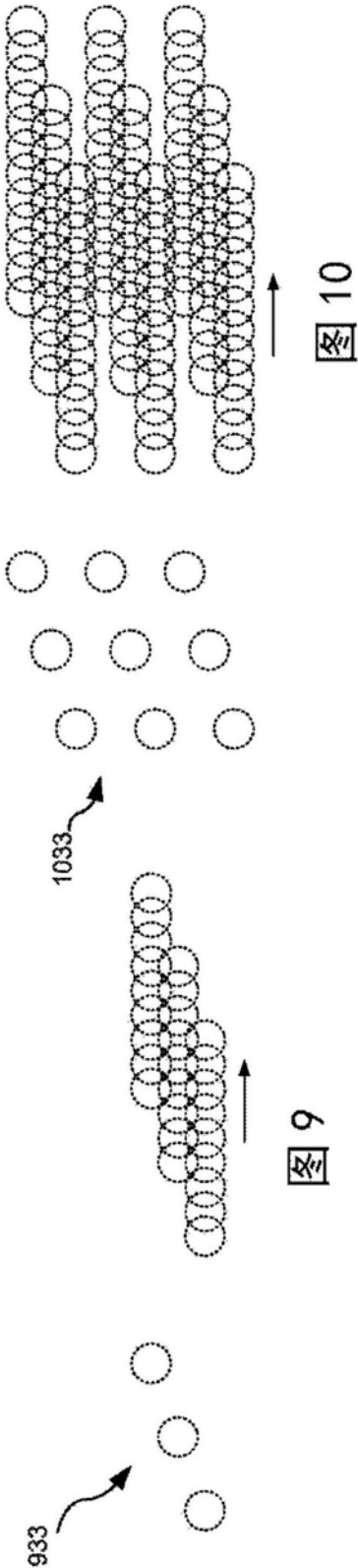


图8B



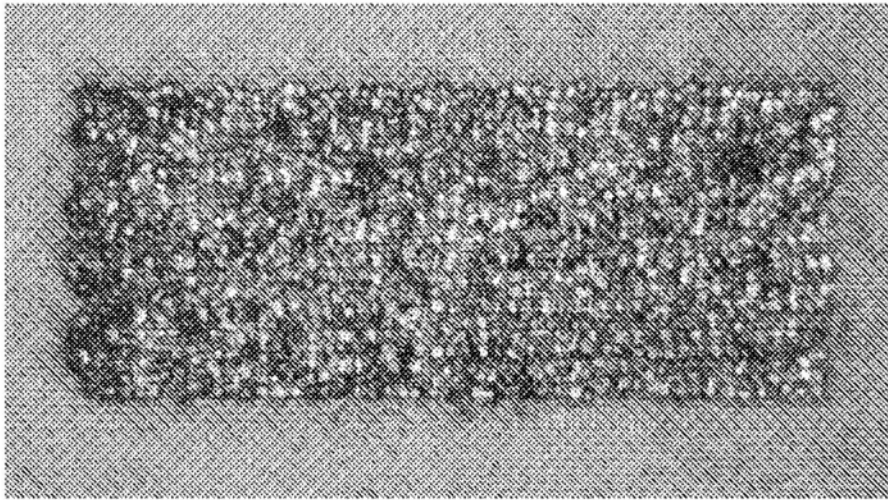


图11

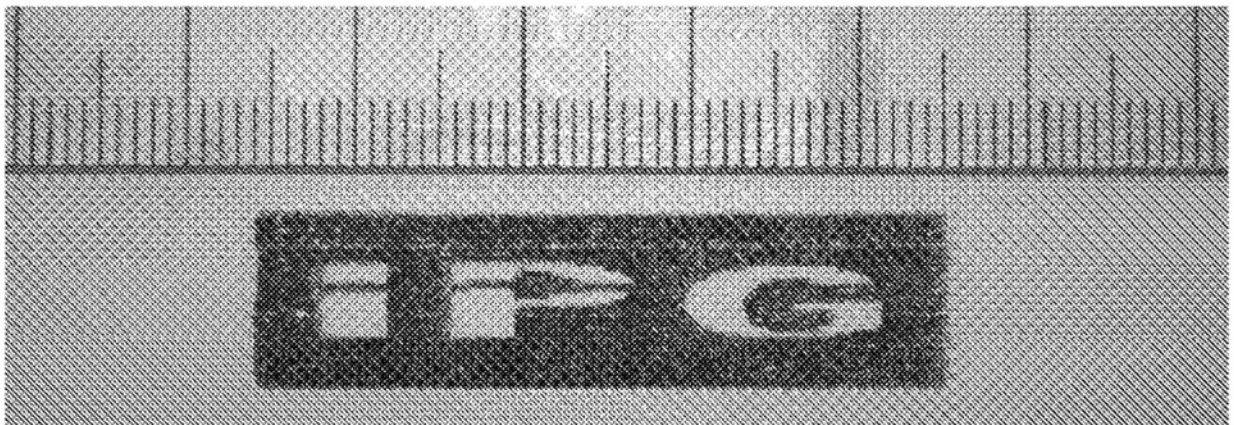


图12

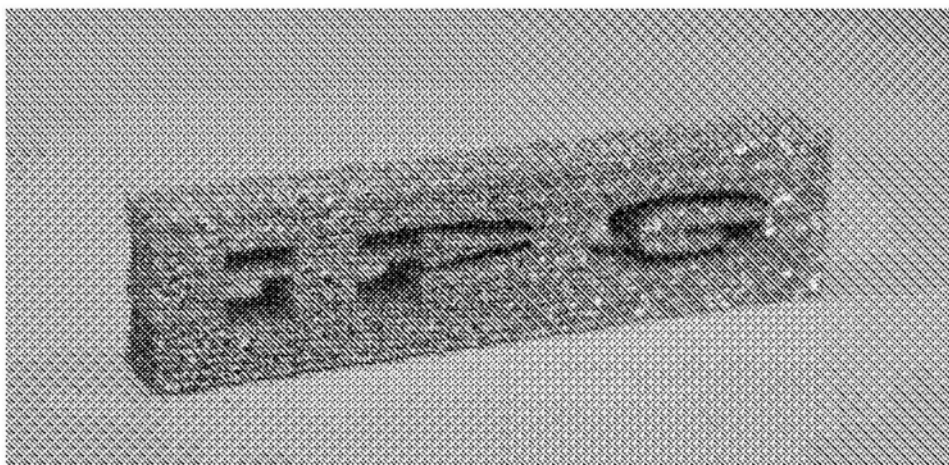


图13



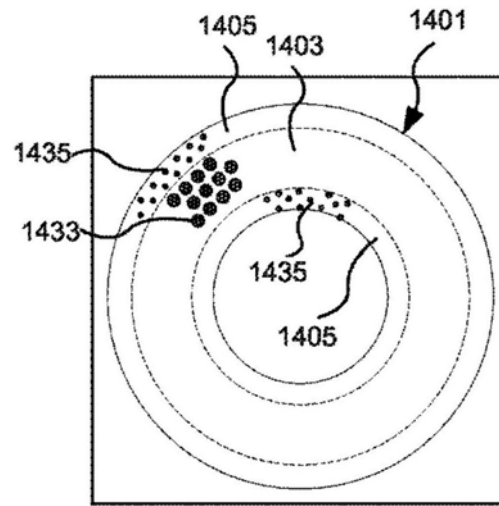


图14

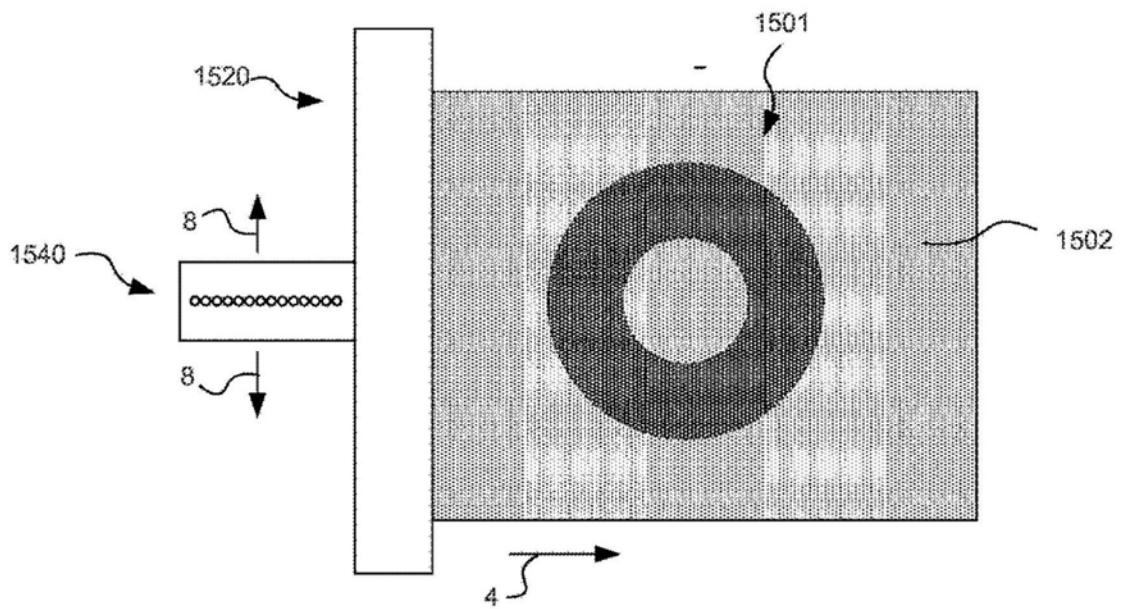


图15A

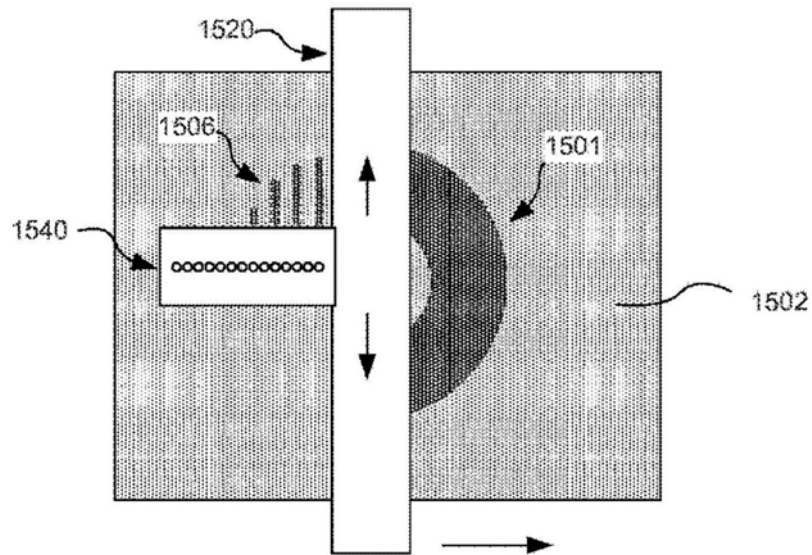


图15B

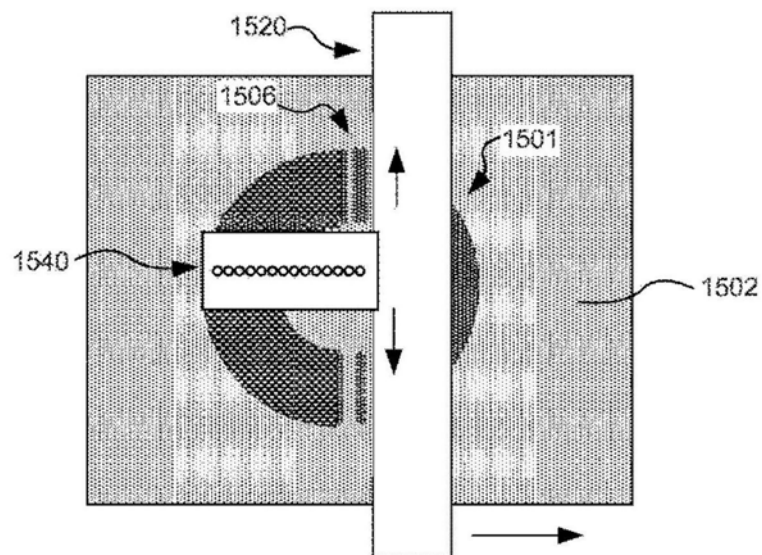


图15C

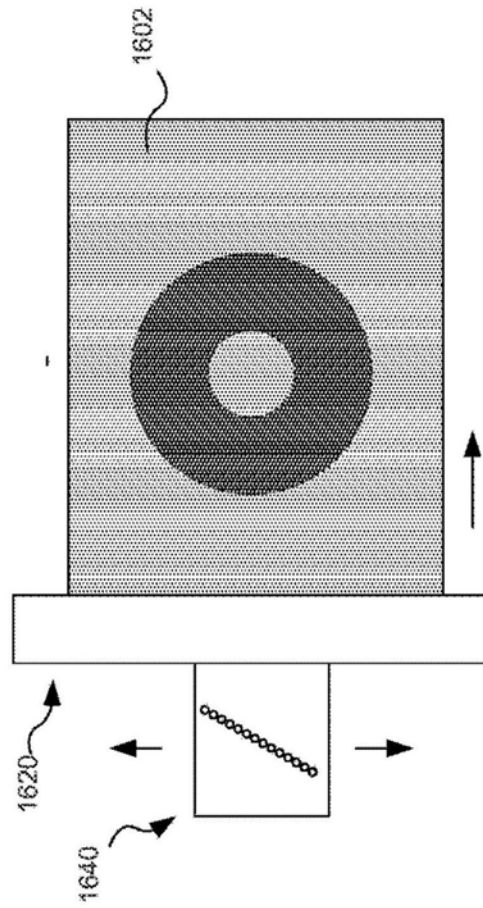


图16

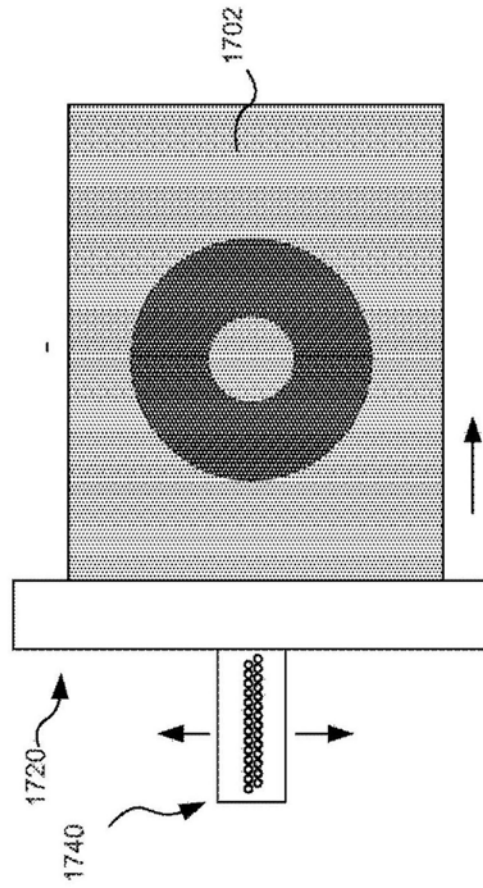


图17



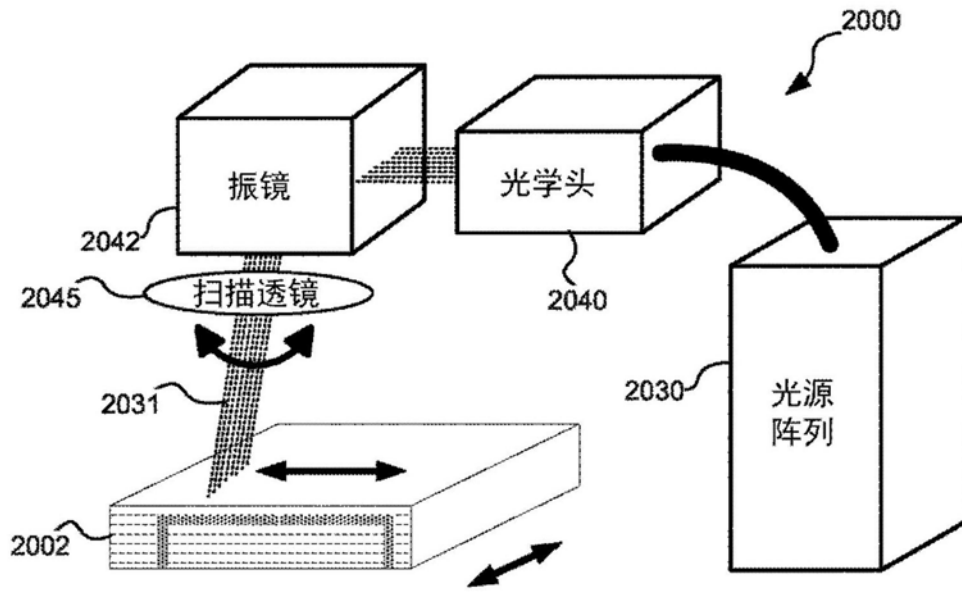


图20