



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113498382 B

(45) 授权公告日 2023.05.05

(21) 申请号 202080015813.1
 (22) 申请日 2020.02.21
 (65) 同一申请的已公布的文献号
 申请公布号 CN 113498382 A
 (43) 申请公布日 2021.10.12
 (30) 优先权数据
 19305218.0 2019.02.22 EP
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日
 2021.08.20
 (86) PCT国际申请的申请数据
 PCT/EP2020/054696 2020.02.21
 (87) PCT国际申请的公布数据
 W02020/169837 EN 2020.08.27
 (73) 专利权人 依视路国际公司
 地址 法国沙朗通勒蓬
 (72) 发明人 M·勒康佩尔 P·莱特
 M·泰奥德特
 (74) 专利代理机构 北京市中咨律师事务所
 11247
 专利代理师 姜利芳 牛南辉

(51) Int.Cl.
 B29C 64/112 (2006.01)
 B33Y 30/00 (2006.01)
 B29C 64/124 (2006.01)
 B29C 64/165 (2006.01)
 B29C 64/282 (2006.01)
 B29C 64/264 (2006.01)
 B29D 11/00 (2006.01)
 B33Y 10/00 (2006.01)
 (56) 对比文件
 US 2005248062 A1,2005.11.10
 WO 2019002905 A1,2019.01.03
 US 5089184 A,1992.02.18
 US 2018056604 A1,2018.03.01
 CN 105829074 A,2016.08.03
 JP H11105144 A,1999.04.20
 KR 20070098558 A,2007.10.05
 CN 109070222 A,2018.12.21
 JP 2016087866 A,2016.05.23
 US 2018207871 A1,2018.07.26 (续)
 审查员 张珍珍

权利要求书4页 说明书21页 附图7页

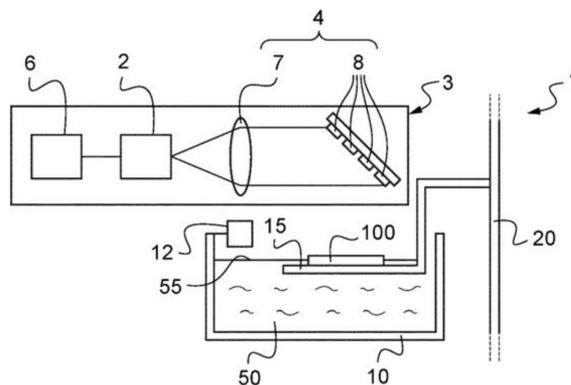
(54) 发明名称

使用增材制造技术由可固化材料制造光学体积元素的方法和系统

(57) 摘要

一种用于使用增材制造技术由可固化材料(50)制造光学元件(100)的方法,所述方法包括以下步骤:•-提供可固化材料(50)的第一部分,•-通过用第一固化表面能照射所述可固化材料的表面(55)来形成所述光学元件的第一部分,所述第一固化表面能严格低于第一预定能量阈值且高于第二预定阈值,以及•-在用所述第一固化表面能照射所述第一部分之后,通过用至少第二固化表面能照射所述可固化材料的表面来形成所述光学元件的至少第二部分,所述第二部分与所述光学元件的第一部分不同,所述第二

固化表面能照射所述光学元件(100)的第二部分和所述光学元件的第一部分的至少一部分两者,所述第一固化表面能和至少所述第二固化表面能的总和高于或等于所述第一预定能量阈值。一种用于制造光学元件的制造系统(1)。



CN 113498382 B

[接上页]

(56) 对比文件

CN 105283301 A, 2016.01.27
JP H09295350 A, 1997.11.18
JP 2012056323 A, 2012.03.22

EP 3404071 A1, 2018.11.21
US 2018257300 A1, 2018.09.13
US 2014099476 A1, 2014.04.10
CN 104903029 A, 2015.09.09

1. 一种用于使用增材制造技术由可固化材料(50)制造光学元件(100)的方法,所述方法包括以下步骤:

- 提供未固化的可固化材料(50)的第一部分,

- 通过用第一固化表面能(E_1)照射所述第一部分的可固化材料(50)的表面(55)来形成所述光学元件(100)的第一部分,所述第一固化表面能(E_1)严格低于第一预定能量阈值(T_1)且高于第二预定能量阈值(T_2),所述第一预定能量阈值(T_1)低于或等于固体预定能量阈值(T_S),所述固体预定能量阈值与足以使所述光学元件(100)的第一部分在所述光学元件(100)的所述第一部分的整个厚度上成为固体的能量对应,所述第二预定能量阈值(T_2)等于诱导表面能(E_1),以及

- 在用所述第一固化表面能(E_1)照射所述第一部分之后,通过用至少第二固化表面能照射所述可固化材料(50)的表面(55)来形成所述光学元件(100)的至少第二部分,所述光学元件(100)的第二部分与所述光学元件(100)的第一部分不同,所述第二固化表面能高于所述第二预定能量阈值(T_2),所述第二固化表面能照射所述光学元件(100)的第二部分和所述光学元件(100)的第一部分的至少一部分两者,所述第一固化表面能(E_1)和所述光学元件(100)的所述第一部分接收的至少所述第二固化表面能的部分的总和足以使所述光学元件(100)的第一部分成为固体,所述第一固化表面能(E_1)和所述光学元件(100)的所述第一部分接收的至少所述第二固化表面能的部分的总和高于或等于所述固体预定能量阈值(T_S)。

2. 根据权利要求1所述的方法,所述方法包括在所述提供未固化的可固化材料(50)的第一部分的步骤之前,提供至少部分地固化的可固化材料(50)的初始部分的步骤,所述未固化的可固化材料(50)的所述第一部分被放置在所述初始部分与适合于用所述第一固化表面能和所述第二固化表面能照射所述可固化材料(50)的表面(55)的能量源(2)之间。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中,通过使用被定义为 $E_J = E_C * \exp(th/D_p)$ 的Jacobs方程确定所述光学元件的第一部分的第一预定能量阈值(T_1),其中

- E_J 是Jacobs能量,所述固体预定能量阈值(T_S)等于所述Jacobs能量(E_J),
- th 是所述光学元件(100)的第一部分的厚度,
- D_p 是所述可固化材料(50)内的第一固化表面能的光深度穿透值,
- E_C 是为所述可固化材料(50)定义的临界Jacobs能量,并且
- 所述第一预定能量阈值(T_1)是所述临界Jacobs能量(E_C)的函数。

4. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述第一预定能量阈值(T_1)是为所述可固化材料(50)定义的临界Jacobs能量(E_C),所述第一固化表面能(E_1)和至少所述第二固化表面能的总和高于或等于所述Jacobs能量(E_J)。

5. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述第一预定能量阈值(T_1)是为所述可固化材料(50)定义的临界Jacobs能量(E_C),所述第一固化表面能(E_1)和至少所述第二固化表面能的总和高于或等于所述Jacobs能量(E_J)的1.2倍。

6. 根据权利要求3所述的方法,其中,所述第一预定能量阈值(T_1)是为所述可固化材料(50)定义的临界Jacobs能量(E_C),所述第一固化表面能(E_1)和至少所述第二固化表面能的总和高于或等于所述Jacobs能量(E_J)的1.5倍。

7. 根据权利要求3所述的方法,包括照射所述可固化材料(50)的表面(55)的步骤的数

量H,使得在每个照射步骤,一部分固化表面能被所述光学元件(100)的第一部分的至少一部分接收,每个固化表面能高于所述第二预定能量阈值(T_2),所述第一部分接收到的每个固化表面能的总和高于或等于所述第一预定能量阈值(T_1),所述数量H是大于或等于3的整数。

8.根据权利要求7所述的方法,其中,照射所述可固化材料(50)的表面(55)的步骤包括用中间固化表面能至少部分地照射所述光学元件(100)的所述第一部分的子步骤,所述第一固化表面能和所述中间固化表面能的总和严格低于所述第一预定能量阈值(T_1)。

9.根据权利要求1所述的方法,包括以下步骤:

- 在能量源(2)与所述光学元件(100)的第一部分之间提供可固化材料(50)的第二部分,
- 用所述可固化材料(50)的第二部分形成所述光学元件(100)的第二部分,以及
- 用至少所述第二固化表面能照射所述可固化材料(50)的表面(55),使得一部分所述第二固化表面能被所述光学元件(100)的第一部分的至少一部分接收。

10.根据权利要求1所述的方法,其中,形成所述光学元件(100)的第一部分的步骤包括以下子步骤:

- 确定与适合于施加所述第一固化表面能的能量源(2)的第一像素组相关联的第一图像图案,并且
- 将所述能量源(2)的第一像素组投射到所述可固化材料(50)的表面(55)上,所述第一像素组定义第一投射图像,并且其中,形成所述光学元件(100)的第二部分的步骤包括以下子步骤:
 - 确定与适合于施加所述第二固化表面能的能量源(2)的第二像素组相关联的第二图像图案,以及
 - 将所述能量源(2)的第二像素组投射到所述可固化材料(50)的表面(55)上,所述第二像素组定义第二投射图像,

所述第二像素组相对于所述第一像素组的相对位置被定义为使得所投射的第二像素组的至少一个像素部分地覆盖住所投射的第一像素组的至少两个像素。

11.根据权利要求10所述的方法,包括以下子步骤:

- 确定与适合于施加另一个固化表面能的能量源(2)的第二像素组相关联的至少另一个图像图案,
- 将所述能量源(2)的每个像素组相继投射到所述可固化材料(50)的表面(55)上,其相对位置使得最后投射的像素组中的至少一个像素部分地覆盖住每个先前投射的像素组的至少两个像素,

投射像素组的数量n是大于或等于3的整数。

12.根据权利要求11所述的方法,其中,确定n个投射像素组之间的相对位置,以便最小化所述光学元件(100)的第一部分接收的硬化表面能的变化。

13.根据权利要求11所述的方法,其中,确定所述数量n,使得所述光学元件的第一部分接收的总固化表面能至少等于所述固体预定能量阈值(T_s)。

14.根据权利要求11所述的方法,其中,通过使用被定义为 $E_J = E_C * \exp(th/D_p)$ 的Jacobs方程确定所述光学元件的第一部分的第一预定能量阈值(T_1),其中

- E_J 是Jacobs能量,所述固体预定能量阈值(T_S)等于所述Jacobs能量(E_J),
- th 是所述光学元件(100)的第一部分的厚度,
- D_p 是所述可固化材料(50)内的第一固化表面能的光深度穿透值,
- E_c 是为所述可固化材料(50)定义的临界Jacobs能量,并且
- 所述第一预定能量阈值(T_1)是所述临界Jacobs能量(E_c)的函数,

其中,确定所述数量 n ,使得所述光学元件的第一部分接收的总固化表面能至少等于所述Jacobs能量(E_J)。

15.根据权利要求11所述的方法,其中,通过使用被定义为 $E_J = E_c * \exp(th/D_p)$ 的Jacobs方程确定所述光学元件的第一部分的第一预定能量阈值(T_1),其中

- E_J 是Jacobs能量,所述固体预定能量阈值(T_S)等于所述Jacobs能量(E_J),
- th 是所述光学元件(100)的第一部分的厚度,
- D_p 是所述可固化材料(50)内的第一固化表面能的光深度穿透值,
- E_c 是为所述可固化材料(50)定义的临界Jacobs能量,并且
- 所述第一预定能量阈值(T_1)是所述临界Jacobs能量(E_c)的函数,

其中,确定所述数量 n ,使得所述光学元件的第一部分的任何点接收的总固化表面能至少等于所述临界Jacobs能量(E_c)。

16.根据权利要求1所述的方法,其中,所述光学元件(100)是眼镜片(200)。

17.一种用于使用增材制造技术由可固化材料(50)制造光学元件(100)的制造系统(1),所述制造系统包括:

- 适合于容纳未固化的可固化材料(50)的容器(10),
- 适合于支撑所述光学元件(100)的支撑件(15),以及

- 被编程为通过用第一固化表面能照射所述可固化材料(50)的表面(55)来形成所述光学元件(100)的第一部分的形成单元(3),所述第一固化表面能严格低于第一预定能量阈值(T_1)并且高于第二预定能量阈值(T_2),所述第一预定能量阈值(T_1)低于或等于固体预定能量阈值(T_S),所述固体预定能量阈值与足以使所述光学元件(100)的第一部分在所述光学元件(100)的所述第一部分的整个厚度上成为固体的能量对应,所述第二预定能量阈值(T_2)等于诱导表面能(E_1),所述形成单元(3)还被编程为通过用至少第二固化表面能照射与所述光学元件(100)的所述第一部分至少部分地重叠的所述可固化材料(50)的表面(55)来形成所述光学元件(100)的至少第二部分,所述第二固化表面能高于所述第二预定能量阈值(T_2),所述第一固化表面能和所述第二固化表面能的总和足以使所述光学元件(100)的第一部分成为固体,所述第一固化表面能(E_1)和所述光学元件(100)的所述第一部分接收的至少所述第二固化表面能的部分的总和高于或等于所述固体预定能量阈值(T_S)。

18.根据权利要求17所述的制造系统(1),进一步包括移位装置(20),所述移位装置被编程为使所述支撑件(15)相对于所述形成单元(3)移位,以便使所述光学元件(100)的形成的第一部分沿着正交于所述可固化材料(50)的表面(55)的轴线移位。

19.根据权利要求17所述的制造系统(1),其中,所述形成单元(3)包括适合于用所述第一固化表面能和所述第二固化表面能照射所述可固化材料(50)的表面(55)的能量源(2)。

20.根据权利要求19所述的制造系统(1),其中,所述形成单元(3)包括:

- 计算机元件(6),所述计算机元件被编程为确定与适合于施加所述第一固化表面能

的所述能量源的第一像素组相关联的第一图像图案,所述计算机元件(6)还被编程为确定与适合于施加所述第二固化表面能的所述能量源的第二像素组相关联的第二图像图案,以及

- 光学系统(4),所述光学系统适合于将所述第一固化表面能的第一像素组投射到所述可固化材料(50)的表面(55)上,所述第一像素组定义第一投射图像,所述光学系统(4)还适合于将所述能量源的第二像素组投射到所述可固化材料(50)的表面(55)上,所述第二像素组定义第二投射图像。

使用增材制造技术由可固化材料制造光学体积元素的方法和系统

技术领域

- [0001] 本发明涉及光学部件(例如,眼镜片)的制造。
- [0002] 更精确地,本发明涉及一种使用增材制造技术由可固化材料制造光学元件的方法。
- [0003] 本发明还描述了一种用于使用增材制造技术由可固化材料制造光学元件的制造系统。

背景技术

- [0004] 增材制造技术适用于制造许多装置,特别是适用于在新技术开发的框架内制造原型装置,因为最终获得的装置直接形成为具有所需的形状。然而,在目前的发展阶段,增材制造技术很少适于被用作用于眼科装置的大规模生产的工业工具。
- [0005] 适用于眼科装置的增材制造技术通常基于逐层或逐滴的构建过程。因此,通过层或液滴的重叠来形成预期装置。
- [0006] 关于尤其用于眼镜的眼镜片的制造,增材制造技术用于生产眼镜片模型。然而,这些模型很少适于在镜架中使用以便由配戴者配戴。实际上,在所制造的光学装置内,层之间的界面(或液滴和/或存在于照射工具内的像素痕迹)的积累通常形成轻微的光学缺陷,特别是衍射缺陷。
- [0007] 这些缺陷出现在层之间的界面,因为位于此界面两侧的材料在不同时间硬化,从而在层之间产生衍射(已经注意到,具有一堆多个层的光学装置的形成引起图案重复,而这种光学特性的重复性交替会引起衍射缺陷的形成)。而且,单层中的材料的硬化也不是均匀地而是逐点发生的,这也会在这些点之间产生衍射。
- [0008] 当最终使用眼镜片时,这些缺陷是至关重要的。

发明内容

- [0009] 本发明提供了一种制造方法。
- [0010] 更精确地,本发明涉及一种使用增材制造技术由可固化材料制造光学元件的方法,所述方法包括以下步骤:
- [0011] -提供未固化的可固化材料的第一部分,
- [0012] -通过用第一固化表面能照射所述第一部分的可固化材料的表面来形成所述光学元件的第一部分,所述第一固化表面能严格低于第一预定能量阈值并且高于第二预定阈值,以及
- [0013] -在用所述第一固化表面能照射所述第一部分之后,通过用至少第二固化表面能照射所述可固化材料的表面来形成所述光学元件的至少第二部分,所述第二部分与所述光学元件的第一部分不同,所述第二固化表面能照射所述光学元件的第二部分和所述光学元件的第一部分的至少一部分两者,所述第一固化表面能和所述光学元件的所述第一部分接

收的至少所述第二固化表面能的部分的总和高于或等于所述第一预定能量阈值。

[0014] 更具体地,本发明涉及一种使用增材制造技术由可固化材料制造光学元件的方法,所述方法包括以下步骤:

[0015] -提供未固化的可固化材料的第一部分,

[0016] -通过用第一固化表面能照射所述第一部分的可固化材料的表面来形成所述光学元件的第一部分,所述第一固化表面能严格低于第一预定能量阈值且高于第二预定阈值,所述第一预定能量阈值低于或等于固体预定能量阈值,所述固体预定能量阈值与足以使所述光学元件的第一部分在所述光学元件的所述第一部分的整个厚度上成为固体的能量对应,所述第二预定能量阈值等于诱导表面能,以及

[0017] -在用所述第一固化表面能照射所述第一部分之后,通过用至少第二固化表面能照射所述可固化材料的表面来形成所述光学元件的至少第二部分,所述第二部分与所述光学元件的第一部分不同,所述第二固化表面能高于所述第二预定能量阈值,所述第二固化表面能照射所述光学元件的第二部分和所述光学元件的第一部分的至少一部分两者,所述第一固化表面能和所述光学元件的所述第一部分接收的至少所述第二固化表面能的部分的总和足以使所述光学元件的第一部分成为固体,所述第一固化表面能和所述光学元件的所述第一部分接收的至少所述第二固化表面能的部分的总和优选地高于或等于所述固体预定能量阈值。

[0018] 由于本发明,光学元件的不同部分中的至少一些部分未一次完全固化。其中一些部分在光学元件完全制造之前甚至完全没有固化。实际上,第一部分的可固化材料单次接收的固化能量不足以使其完全硬化。形成部分因此至少最初形成为液体和固体之间的中间状态。然后,在光学元件的一些其他部分的形成期间,至少一个先前形成的部分接收一定量的固化能量,这增加了向固态的转化率。在一些情况下,根据本发明,一些部分接收足够的固化能量以仅在接近光学元件的制造结束时才变为固体。

[0019] 当第二部分接收第二固化能量时,第一部分处于中间状态,而不是处于固态,使两个部分能够更高效地合并,从而减少或甚至避免所述部分之间的界面痕迹。认为那些相邻部分与其他部分更好地相互渗透。根据本发明形成的所有相邻部分因此与具有更连续材料特性的其他部分关联,从而限制了与界面相关的缺陷。

[0020] 应当注意,根据本发明,至少一对第一部分和第二部分使得第一部分和第二部分是光学元件的不同部分,并且在通过增材制造制造光学元件结束时,包括可能的后固化,第一部分和第二部分都完全处于固态。

[0021] 可以精确地说,在所述提供未固化的可固化材料的第一部分的步骤之前,所述方法包括提供至少部分地固化的可固化材料的初始部分的步骤,所述未固化的可固化材料的所述第一部分被放置在所述初始部分与适合于用所述第一固化表面能和所述第二固化表面能照射所述可固化材料的表面的能量源之间。这阐明了根据本领域技术人员的一般理解,可固化材料的第一部分对应于能够形成层的可固化材料。

[0022] 所述方法的其他有利特征是以下特征:

[0023] -通过使用被定义为 $\{E_J = E_C * \exp\}$ 的Jacobs方程确定所述光学元件的第一部分的第一预定能量阈值,其中, E_J 是第一预定能量阈值源自的Jacobs能量, t_h 是所述光学元件的第一部分的厚度, D_p 是所述可固化材料内的第一固化表面能的光深度穿透值,以及 E_C 是为所

述可固化材料定义的临界Jacobs能量；

[0024] -通过使用被定义为 $\{E_j = E_c * \exp\}$ 的Jacobs方程确定所述光学元件的第一部分的第一预定能量阈值,其中 E_j 是Jacobs能量,所述固体预定能量固体(T_s)等于所述Jacobs能量, th 是所述光学元件的第一部分的厚度, D_p 是所述可固化材料内的第一固化表面能的光深度穿透值, E_c 是为所述可固化材料定义的临界Jacobs能量,并且所述第一预定能量阈值是所述临界Jacobs能量的函数；

[0025] -所述第一预定能量阈值是为所述可固化材料定义的临界Jacobs能量,所述第一固化表面能和至少所述第二固化表面能的总和高于或等于所述Jacobs能量；

[0026] -所述第一固化表面能和至少所述第二固化表面能的总和高于或等于所述Jacobs能量,优选地高于或等于所述Jacobs能量的1.2倍、优选地高于或等于所述Jacobs能量的1.5倍；

[0027] -所述方法包括照射所述可固化材料的表面的步骤的数量,使得在每个照射步骤,一部分固化表面能被所述光学元件的第一部分的至少一部分接收,每个固化表面能高于所述第二预定阈值,所述第一部分接收到的每个固化表面能的总和高于或等于所述第一预定能量阈值,所述数量是大于或等于3的整数。换言之,“在用所述第一固化表面能照射所述第一部分之后,通过用至少第二固化表面能照射来形成与所述光学元件的第一部分不同的所述光学元件的至少第二部分”的步骤包括大于或等于2的多个照射步骤,并且所述光学元件的第二部分可以包括多于2个的光学元件的不同子部分；

[0028] -所述方法使得对于至少照射可固化材料的表面的步骤,所述照射步骤包括用中间固化表面能至少部分地照射所述光学元件的所述第一部分的子步骤,所述第一固化表面能和所述中间固化表面能的总和严格低于所述第一预定能量阈值；

[0029] -所述方法包括以下步骤:在能量源与所述光学元件的第一部分之间提供可固化材料的第二部分,用所述可固化材料的第二部分形成所述光学元件的第二部分,以及至少所述第二固化表面能照射所述可固化材料的表面,使得一部分所述第二固化表面能被所述光学元件的第一部分的至少一部分接收。换言之,可固化材料的第二部分以及因此所述光学元件的第二部分与所述光学元件的第一部分处于不同的层中并且最通常是在制造过程中稍后形成的层；

[0030] -形成所述光学元件的第一部分的步骤包括以下子步骤:确定与适合于施加所述第一固化表面能的能量源的第一像素组相关联的第一图像图案,以及将所述能量源的第一像素组投射到所述可固化材料的表面上,所述第一像素组定义第一投射图像；

[0031] -形成所述光学元件的第二部分的步骤包括以下子步骤:确定与适合于施加所述第二固化表面能的能量源的第二像素组相关联的第二图像图案,以及将所述能量源的第二像素组投射到所述可固化材料的表面上,所述第二像素组定义第二投射图像；

[0032] -所述第二像素组相对于所述第一像素组的相对位置被定义为使得所投射的第二像素组的至少一个像素部分地覆盖住所投射的第一像素组的至少两个像素；

[0033] -所述方法包括以下子步骤:确定与适合于施加另一个固化表面能的能量源的第二像素组相关联的至少另一个图像图案,将所述能量源的每个像素组相继投射到所述可固化材料的表面上,其相对位置使得最后投射的像素组中的至少一个像素部分地覆盖住每个先前投射的像素组的至少两个像素,投射像素组的数量是大于或等于3的整数；

- [0034] - 投射像素组的数量大于照射步骤的数量；
- [0035] - 确定所述个投射图像之间的像素组的相对位置，以便最小化所述光学元件的第一部分接收的硬化表面能的变化；
- [0036] - 确定所述数量使得所述光学元件的第一部分的任何点接收的总固化表面能至少等于所述第一预定能量阈值、优选地等于临界Jacobs能量 (E_c)；
- [0037] - 所述方法包括一旦获得所述光学元件就进行后加工的步骤，所述后加工的步骤包括如抛光的减材机加工或如涂覆的增材加工的步骤；
- [0038] - 增材制造技术包括立体光刻技术或聚合物喷射技术之一；
- [0039] - 所述光学元件是眼镜片；
- [0040] - 所述眼镜片的第一部分和第二部分沿着与所述眼镜片的光轴大致正交的轴线叠置。
- [0041] 本发明还涉及一种用于使用增材制造技术由可固化材料制造光学元件的制造系统，所述制造系统包括：
- [0042] - 适合于容纳可固化材料的容器，
- [0043] - 适合于支撑所述光学元件的支撑件，以及
- [0044] - 被编程为通过用第一固化表面能照射所述可固化材料的表面来形成所述光学元件的第一部分的形成单元，所述第一固化表面能严格低于第一预定能量阈值并且高于第二预定阈值，所述形成单元还被编程为通过用至少第二固化表面能照射与所述光学元件的所述第一部分至少部分地重叠的所述可固化材料的表面来形成所述光学元件的至少第二部分，所述第一固化表面能和所述第二固化表面能的总和高于或等于所述第一预定能量阈值。
- [0045] 更具体地，本发明还涉及一种用于使用增材制造技术由可固化材料制造光学元件的制造系统，所述制造系统包括：
- [0046] - 适合于容纳未固化的可固化材料的容器，
- [0047] - 适合于支撑所述光学元件的支撑件，以及
- [0048] - 被编程为通过用第一固化表面能照射所述可固化材料的表面来形成所述光学元件的第一部分的形成单元，所述第一固化表面能严格低于第一预定能量阈值并且高于第二预定阈值，所述第一预定能量阈值低于或等于固体预定能量阈值，所述固体预定能量阈值与足以使所述光学元件的第一部分在所述光学元件的所述第一部分的整个厚度上成为固体的能量对应，所述第二预定能量阈值等于诱导表面能，所述形成单元还被编程为通过用至少第二固化表面能照射与所述光学元件的所述第一部分至少部分地重叠的所述可固化材料的表面来形成所述光学元件的至少第二部分，所述第二固化表面能高于所述第二预定能量阈值，所述第一固化表面能和所述第二固化表面能的总和足以使所述光学元件的第一部分成为固体，所述第一固化表面能和所述光学元件的所述第一部分接收的至少所述第二固化表面能的部分的总和优选地高于或等于所述固体预定能量阈值。
- [0049] 根据优选实施例，所述系统包括移位单元，所述移位单元适合于被编程为使所述支撑件相对于所述形成单元移位，以便使所述光学元件的形成的第一部分沿着大致正交于所述可固化材料的表面的轴线移位。
- [0050] 根据优选实施例，所述形成单元包括适合于用所述第一固化表面能和所述第二固

化表面能照射所述可固化材料的表面的能量源。

[0051] 根据优选实施例,所述形成单元包括:

[0052] -计算机元件,所述计算机元件被编程为确定与适合于施加所述第一固化能量的所述能量源的第一像素组相关联的第一图像图案,所述计算机元件还被编程为确定与适合于施加所述第二固化表面能的所述能量源的第二像素组相关联的第二图像图案,以及

[0053] -光学系统,所述光学系统适合于将所述第一固化表面能的第一像素组投射到所述可固化材料的表面上,所述第一像素组定义第一投射图像,所述光学系统还适合于将所述能量源的第二像素组投射到所述可固化材料的表面上,所述第二像素组定义第二投射图像。

附图说明

[0054] 以下参考附图并通过非限制性示例给出的描述使本发明包括的内容以及实践本发明的方式清晰。

[0055] 在附图中:

[0056] -图1表示了可固化材料的随固化表面能而变的转化率的曲线;

[0057] -图2表示了根据本发明的适于制造光学元件的示例性制造系统;

[0058] -图3至图5示意性地示出了根据本发明的第一实施例的当加工时光学元件的可固化材料的不同俯视图;

[0059] -图6和图7示意性地示出了根据本发明的第二实施例的当加工时光学元件的可固化材料的侧视图;以及

[0060] -图8表示了根据本发明的方法制造的眼镜片;

[0061] -图9表示了根据Jacobs方程的工作曲线示例;

[0062] -图10表示穿过根据本发明的光学元件的厚度照射可固化材料的两种固化表面能的传输;

[0063] -图11和图12分别示出了在本发明的情况下和在现有技术的情况下可固化材料的布置;

[0064] -图13是根据本发明的像素区的细分;

[0065] -图14至图17示出了在图13中定义的区域上像素组的相继投影;以及

[0066] -图18至图20示出了在根据本发明的三个示例中转化率随相继照射而变的演变。

具体实施方式

[0067] 本发明总体上涉及一种适用于使用增材制造技术制造光学元件的方法。

[0068] 本发明更具体地应用于例如适合安装在眼镜架中的眼镜片的制造。眼镜片可能已经制造成适合安装在眼镜架中的形状,或者需要进一步的磨边步骤以达到所需的形状。

[0069] 表达“增材制造技术”意指如在国际标准ASTM 2792-12中定义的制造技术,其提到了连接材料以根据3D模型数据制造物体的工艺,通常层层叠置,与减材制造方法(如传统加工)相反。因此,固体物体是通过并置体积元素(主要是层或体素、或液滴或微滴,或者在一些情况下甚至是物质块)来制造的。在本发明的情况下,因此逐体积元素地、优选地逐层地制造光学元件。

[0070] 增材制造技术实际上可能是立体光刻(SLA)、数字光处理立体光刻(DLP-SLA)或聚合物喷射。增材制造技术包括多项工艺,这些工艺通过根据可以在CAD(计算机辅助设计)文件中定义的预定布置并置多个体积元素来形成物体。

[0071] 立体光刻(SLA)和数字光处理立体光刻(DLP-SLA)都通过将光(主要是紫外光)聚焦到光聚合物液体树脂容器上以形成固体层来工作,这些固体层堆叠起来形成固体物体。关于立体光刻(SLA),液体树脂通过激光束扫描打印区域来接收选择性曝光。数字光处理立体光刻(DLP-SLA)使用数字投影仪屏幕将每一层的图像投射到树脂的整个表面上。由于投影仪是数字屏幕,每一层的图像都由明显方形的像素组成,从而产生由被称为体素的小矩形砖块形成的层(体积由方形像素和层的厚度定义)。

[0072] 作为替代方案,像素可以具有其他形状,比如六边形、菱形或长形,这取决于用于形成微镜的技术,例如LCD或LED像素。

[0073] 聚合物喷射技术使用喷墨打印头将液体光聚合物树脂微滴喷射到构建平台上。液体树脂立即被光源(比如红外线源或紫外线源)固化,并一组微滴一组微滴地(并形成固体物体)凝固以构建层或最终光学元件。

[0074] 在实践中,所使用的增材制造技术基于光图案在可固化材料上的投影。光图案例如是红外线图案或紫外线图案。可固化材料例如是光聚合物树脂并且光学元件通过光聚合工艺制造。例如,光聚合物树脂包含(甲基)丙烯酸酯单体。

[0075] 在实践中,光聚合过程可以通过可固化材料的转化率 C_v (或聚合率)来表征。转化率 C_v 与可固化材料的物质的物理状态有关。在被可固化能量照射之前,主要是光照射,可固化材料是液体。转化率 C_v 被认为接近于0,由于可固化材料的老化而无法承受轻微的聚合作用。在可固化表面能对可固化材料的照射下,可固化材料发生聚合,从液态逐渐转变为固态。可固化材料会经历多种状态,尤其是中间状态,称为“凝胶状态”,其对应的转化率 C_v 取决于可固化材料。中间状态对应于既不是液体也不是固体而是介于它们之间的物质状态,特别是根据根据Jacobs方法论的方法不够坚固,但是单体已经开始彼此聚合,开始形成聚合物网络部分。一些丙烯酸酯单体的中间状态的转化率 C_v 可以例如在20%和80%之间,或一些其他单体的中间状态的转化率高于10%和/或低于67%。对于通常高于80%的转化率 C_v ,可固化材料被认为处于固态。对于一些丙烯酸酯单体,对于高于67%的转化率 C_v ,可固化材料被认为处于固态。取决于材料,对于高于临界转化率的转化率,可固化材料被认为处于固态,临界转化率可以凭经验被确定处于约60%到约80%之间。

[0076] 表征中间状态和固态的转化率取决于源自光源的固化表面能 E (或光剂量)、可固化材料的吸收特性以及引发剂使可固化材料聚合的效率。图1表示在丙烯酸酯单体的情况下随照射可固化材料的固化表面能 E 而变的转化率 C_v (以%为单位)。

[0077] 如在图1中可见的,在一些情况下,特别是对于自由基链增长聚合,只要固化表面能 E 低于诱导表面能 E_T ,转化率就会保持接近0。在此期间(被称为“诱导期”),可固化材料保持为液体且不会发生聚合。在自由基链增长聚合的情况下,由引发剂激活形成的初级自由基与单体之间的反应被抑制剂(这里是双氧)淬灭,抑制剂优先与所述自由基反应,从而防止与单体反应。在诱导期期间,可固化材料接收的固化表面能 E 因此用于消耗抑制剂,这里是双氧。当可固化材料接收的固化表面能 E 达到诱导表面能 E_T 时,聚合过程发生。

[0078] 应注意的是,一些聚合过程没有诱导期,比如一些阳离子链增长聚合。在这种情况下

下,本发明仍然适用,诱导表面能可忽略不计(在这种情况下,下文将定义的“第二固化表面能阈值”也可忽略不计)。

[0079] 只要接收的总固化表面能保持低于临界Jacobs能量 E_c ,而聚合过程继续进行并且转化率 C_v 升高(随着单体的转化),可固化材料保持非固态但变得越来越结实。

[0080] 临界Jacobs能量 E_c 被定义为使得达到足以打印理论厚度为0的层的固态所需的最小表面能。由于固化表面能与物质状态有关,因此对应的转化率 C_v 与给定材料的临界Jacobs能量 E_c 配对。在通过自由基链增长聚合而聚合的丙烯酸酯单体的一些情况下,对应的转化率 C_v 在60%到80%左右。

[0081] 临界Jacobs能量 E_c 是使用基于Jacobs方程的经验方法(Paul F. Jacobs, Fundamentals of stereolithography in International Solid Freeform Fabrication Symposium[国际固体自由形式制造研讨会之立体光刻的基础],1992):

[0082] $\{th = D_p * \ln(E/E_c)\}$ 确定的,其中 E 是固化表面能, E_c 是临界Jacobs能量, D_p 是可固化材料内的固化表面能的光深度穿透值,以及 th 是聚合厚度。

[0083] 光深度穿透值 D_p 和临界Jacobs能量 E_c 是从自Jacobs实验得出的工作曲线中获得的。实验包括用一组已知的固化表面能照射可固化材料(这里是树脂)并测量可测量的固体材料的对应聚合厚度。工作曲线是作为固化表面能 E 的自然对数(\ln)的函数的测得的聚合厚度的半对数图。

[0084] 图9表示这样的工作曲线的示例。如这个图中可见的,工作曲线是直线。光深度穿透值 D_p 是工作曲线的斜率,临界Jacobs能量 E_c 是横坐标轴与工作曲线之间的交点。

[0085] 高于临界Jacobs能量 E_c 时,可固化材料开始形成可测量的固体部分,在该固体部分,无需将单体转化率升高更多以获得固体聚合材料,即使升高后的转化率可能会进一步改变物理和/或光学特性。相应地,对于非零的材料厚度,只要接收的总固化表面能保持低于Jacobs能量 E_j ,同时聚合过程继续进行且转化率 C_v 升高,可固化材料的预期层处于凝胶状态并且变得越来越结实。

[0086] Jacobs能量 E_j 对应于对于给定厚度的给定可固化材料使得将整个给定厚度硬化成足以根据Jacobs方法测量的固态状态的最小固化表面能。Jacobs能量 E_j 是从Jacobs方程中获得的,遵循一组临界Jacobs能量 E_c 、对应于可固化材料的光深度穿透值 D_p 以及层的预期厚度 th 。在通过自由基链增长聚合工艺固化的丙烯酸酯单体的情况下,对应的转化率 C_v 通常在60%到80%左右。根据转化率的这个范围,应注意不需要将单体转化率升高更多以获得固体聚合材料,即使升高后的转化率可能进一步改变物理和/或光学特性。

[0087] 应当注意,在除了镜片制造的其他域中的3D打印常规实践内,施加到给定层的固化表面能设置得比Jacobs能量 E_j 更高,该能量一般提供足够的能量将厚度增加约50%到约200%的层硬化成固态。换言之,Jacobs能量 E_j 可以包含在厚度是所考虑的层的150%的层的临界Jacobs能量 E_c 与厚度是所考虑的层的300%的层的临界Jacobs能量 E_c 之间。本发明将这些实践搁置一旁,以便达到眼科应用的光学要求。

[0088] 图2示出了适于通过DLP-SLA工艺制造光学元件的制造系统1。制造系统包括形成单元3、容器10、支撑件15和移位装置20。

[0089] 形成单元3包括能量源2、光学系统4和计算机元件6。形成单元3适于在执行指令时实现如下所述的制造光学元件100的方法。在实践中,计算机元件6包括微处理器和存储器

(未表示)。微处理器适于执行制造光学元件100的指令,并且存储器存储这些指令。作为示例,计算机元件6被编程为生成关于提供固化表面能的每个相继步骤的固化表面能的大小的指令、以及关于将被投射到可固化材料50的表面55上的图像图案(或光图案)的指令。这些指令例如被传输到能量源2和/或光学系统4。

[0090] 能量源2适合于用固化表面能照射可固化材料50的表面55。能量源2提供光束,例如紫外光束,光束由光学系统4引导至可固化材料50。

[0091] 光学系统4适于将来自能量源2的光投射到可固化材料50的表面55上。光学系统4包括被布置成网格格式的多个微镜8。微镜8彼此分开一定空隙(与实践中一样,两个相邻微镜之间不可能有完全的接合)。微镜8例如是明显方形形状,具有例如 $8 \times 8 \mu\text{m}^2$ 的大小。对于大约 $10.8 \mu\text{m}$ 的微镜之间的间距,空隙包含在 $1 \mu\text{m}$ 到 $10 \mu\text{m}$ 之间,例如 $2.8 \mu\text{m}$ 左右。一旦投射到可固化材料50的表面55上,微镜8形成具有给定间距的投射像素,包括微镜和空隙的直接投影。例如,间距可以是大约 $40 \times 40 \mu\text{m}$,大约 $30 \times 30 \mu\text{m}$ 对应于微镜的投影,微镜分开大约 $10 \mu\text{m}$ 的空隙。

[0092] 应当注意,存在能量源和光学系统的其他替代组合。例如,图像图案的形成可以完全由能量源使用微镜或LCD或LED屏幕产生,并且光学系统仅提供定位和聚焦效果。可替代地,能量源可以以连续或有规律的突发方式提供能量,并且光学系统在定位和聚焦效果之上产生图像图案。进一步地,在不脱离本发明的情况下,微镜或LCD或LED像素或投射像素的大小可以与当前示例不同。

[0093] 如图2中可见的,光学系统4这里包括投影系统7,该投影系统适于将来自能量源2的紫外线光束引导至多个微镜8。

[0094] 可固化材料50以液态储存在容器10中。一旦聚合,可固化材料50形成由支撑件15支承的光学元件100。在实践中,支撑件15部分地浸入可固化材料50的大桶中,使得液体可固化材料50的一部分位于支撑件15的顶部上。由能量源2提供的光束因此投射在可固化材料50的这个部分上。当这个部分聚合时,形成的光学元件的部分因此在支撑件15上。

[0095] 如下文中所述,根据本发明,光学元件形成为多个部分(在所述实施例中,形成为多个层)。

[0096] 首先,可固化材料50的初始部分用于形成光学元件100。在未固化的可固化材料的另一部分(称为“第一部分”)沉积到此初始部分上之前,此初始部分至少部分地固化。然后,固化此第一部分的第一部分。

[0097] 初始部分的固化部分用作光学元件100的此第一部分机械基础。

[0098] 换言之,根据本发明,未固化的可固化材料的第一部分被放置在初始部分上(即在初始部分与适合于照射可固化材料的表面的能量源2之间)。

[0099] 在本说明书中,术语“未固化”是指完全未聚合的新鲜可固化材料。然后通过照射未固化的可固化材料的此第一部分来形成第一部分。

[0100] 作为第一部分,初始部分的固化部分最后是光学元件的组成部分。

[0101] 应注意,支撑件可以包括由固化的可固化材料形成的、用于支撑镜片的支撑梁或结构。

[0102] 制造系统1还包括移位装置20。移位装置20适合于相对于可固化材料的大桶移动其上形成有光学元件100的支撑件15。此移位装置20允许支撑件15相对于可固化材料的大

桶沿明显正交于可固化材料20的表面55的轴线竖直移动。支撑件15的这种竖直移动允许控制液体可固化材料50聚合的厚度。因此,移位装置20允许控制聚合层的厚度。

[0103] 在当前示例中,移位装置20还允许沿明显平行于可固化材料50的表面55的轴线的水平移动。

[0104] 如图2所示,制造系统1这里包括重涂器装置12。此重涂器装置12例如适合于将一些可固化材料散布在前一层可固化材料的顶部。替代方法不使用重涂器并且可以将膜定位在可固化材料的表面上以实现材料的平整度并控制添加到前一层可固化材料的顶部的可固化材料的厚度。

[0105] 如前所介绍的,根据本发明,通过用固化表面能照射可固化材料50来制造光学元件100。

[0106] 在实践中,照射基于与能量源2或光学系统4内的一组像素相关联的图像图案,形式为LCD或LED像素或微镜,比如数字微镜器件(DMD)。这组像素由形成单元3投射到可固化材料的表面55上。然而,如前所述呈现的,在实践中,微镜8并没有完全接合,它们之间存在一些空隙。因此,可固化材料的表面上的投射图像包括一些对应于空隙的阴影区域。这些阴影区域受到固化表面能的照射较少。这些阴影区域因此对应于聚合较少的区域。同一层内聚合速率的这种规则变化的重复和重复的一层又一层导致可观察到的衍射缺陷的形成。这种缺陷与眼镜镜片的预期光学品质不相容。

[0107] 应当注意,为了说明的目的,简化了机制,并且在下文中认为对应于给定图像图案的空隙的投影的阴影区域在与所述图像图案关联的照射期间不被照射并且不聚合。然而,本发明不受该说明的约束,并且使用此简化机制描述的示例加以必要的修改适用于阴影区域接收可固化表面能并且因此对应的可固化材料可以聚合的情况。在那些情况下,仍然需要注意的是,阴影区域包含某种材料,其聚合程度不如在微镜或LCD或LED像素的直接投影下那样好。

[0108] 实际上,发明人已经注意到,即使在可固化表面能非常高的情况下,以及在图像图案的单次投影照射期间,阴影区域接收到足够的表面能以变成Jacobs意义上的固体,聚合速率和/或阴影区域的节奏低于与微镜直接投影相对应的区域,导致形成可观察到的衍射缺陷。进一步地,由于阴影区域和微镜直接投影下的区域(称为亮区域)内的聚合动力学不同,因此阴影区域与亮区域之间的聚合物网络不同,从而产生不同的光学性质。这因此导致具有与投射像素的间距相对应的空间频率的光学特性的周期性变化。

[0109] 在本说明书中,像素被定义为微镜8的可固化材料表面上的图像以及所考虑的微镜8周围的局部两个相邻微镜之间的空隙的一半。

[0110] 本发明有利地允许用于制造光学元件100的均相聚合。根据本发明执行两个示例性实施例。

[0111] 在图3至图5中表示了第一实施例。例如,第一实施例主要通过一层可固化材料50来执行。第一实施例可以例如主要在光学元件100的第一成型层中或在其他层的顶部上形成的另一层中执行。

[0112] 根据图3至图5所示的示例,第一实施例这里主要在光学元件100的第一形成层上执行。

[0113] 根据此第一实施例,确定初始图像图案和相关联的初始像素组以在可固化材料的

表面55上施加第一固化表面能 E_1 。第一固化表面能 E_1 严格低于第一预定能量阈值 T_1 。

[0114] 第一预定能量阈值 T_1 低于或等于固体预定能量阈值 T_s 。固体预定能量阈值 T_s 对应于具有足够“生坯强度”的能量,这意味着足以固化光学元件100的第一部分以便处理它但低于完全固化光学元件的第一部分的能量的能量。光学元件100的第一部分例如由单层形成。术语“生坯”这里是指初始形成的光聚合物体,与最终物体截然不同,最终物体在增材制造工艺之后进行附加的热固化。有关此能量阈值 T_s 的更多细节可以在文章“Polymers for 3D Printing and Customized Additive Manufacturing[用于3D打印和定制增材制造的聚合物]”,Samuel Clark Ligon、Robert Liska、Jürgen Stampfl、Matthias Gurr和Rolf Mülhaupt,化学评论2017 117(15),10212-10290,DOI:10.1021/acs.chemrev.7b00074中找到。

[0115] 换言之,固体预定能量阈值 T_s 对应于足以使光学元件100的第一部分在光学元件100的第一部分的整个厚度上都成为固体的能量。

[0116] 此外,固体预定能量阈值 T_s 严格高于诱导表面能 E_1 ,例如高于诱导表面能 E_1 的两倍。此固体预定能量阈值 T_s 足以获得比尚未聚合的部分更坚固的部分。

[0117] 第一预定能量阈值 T_1 是临界Jacobs能量 E_c 的函数,例如等于临界Jacobs能量 E_c 。作为另一个示例,第一预定能量阈值 T_1 是推荐的能量 E_j ,下文中又称为Jacobs能量 E_j ,由先前介绍的Jacobs方程(根据Jacobs方程的定义, Jacobs能量 E_j 高于临界Jacobs能量 E_c)得出。例如,固体预定能量阈值 T_s 等于Jacobs能量 E_j 。

[0118] 第一固化表面能 E_1 高于第二预定能量阈值 T_2 。实际上,此第二预定能量阈值 T_2 等于先前介绍的诱导表面能 E_1 (聚合因此发生,抑制双氧已经大部分被消耗)。

[0119] 作为说明性示例,考虑了基于丙烯酸酯单体的可固化材料,其临界Jacobs能量 E_c 的实验确定值为5mJ,并且光深度穿透值 D_p 为200 μm 。为了构建厚度为10 μm 的层,因此第一阈值应为 $T_1=5.26\text{mJ}(=E_j)$ 。第二阈值为约 $T_2=0.21\text{mJ}$ 。

[0120] 在这个示例中,为了在4次不同的照射中达到第一预定能量阈值 T_1 ,可以选择第一固化能量 E_1 等于 $E_1=1.66\text{mJ}$ 。

[0121] 此初始像素组被投射到可固化材料50的表面55上,该表面在支撑件15上方。形成初始层35a。然而,由于第一固化表面能 E_1 严格低于临界Jacobs能量 E_c ,因此被照射的可固化材料并非处于固态,而是处于液态与固态之间的中间状态。

[0122] 图3示出了可固化材料50上的投射图像的痕迹的俯视图的示例。该痕迹示出了中间状态区域30a(被直接照射并且正在发生聚合)和未聚合的区域32a(未被直接照射)的交替。未聚合的区域32a对应于前述阴影区域并且源自显微镜8之间的空隙,并且在这个示例中未聚合。应提醒的是,这个示例是现实中发生的事情的简化版。预期对于大多数聚合材料,未充分聚合的区域仍会通过光的漫射或通过与像素对应的虚拟光束的分散、或者通过活性物种从像素迁移到阴影区域、或者通过其他方式被部分地照射。

[0123] 为了用相似量的固化表面能覆盖可固化材料的整个表面(从而尽可能均匀地聚合整个初始层35a),因此需要将几个像素组相继投射到可固化材料的同一表面上。几个其他对应的固化表面能因此直接相继地施加在初始层35a上(然后将新一层可固化材料添加到此初始层35a上)。其他固化表面能中的每一个均高于第二预定能量阈值 T_2 并且严格低于第一预定能量阈值 T_1 。优选地,其他固化表面能中的每一个都严格低于临界Jacobs能量 E_c 。确

定其他固化表面能以聚合整个初始层(换言之,在初始层35a的主要部分获得高转化率,例如高于0.70)。其他固化表面能因此被确定为使得第一固化表面能 E_1 和由初始层35a接收的每个其他固化表面能的总和足以使初始层35a成为固体。特别地,第一固化表面能 E_1 与初始层35a接收的每个其他固化表面能的总和高于固体预定能量阈值 T_s 。优选地,第一固化表面能量 E_1 和初始层35a接收到的每个其他固化表面能量的总和高于或等于Jacobs能量的1.2倍(E_j),优选地高于或等于Jacobs能量的1.5倍(E_j)。如前所介绍的,体素是由正方形像素和层的厚度形成的体积元素。

[0124] 为了补偿阴影区域,每个投射像素组与先前投射像素组移位小于像素大小(或间距)的距离。换言之,这意味着投射像素组的相对位置是相对于另一组投射像素定义的,使得该投射像素组中的至少一个像素至少部分地覆盖住另一投射像素组的两个像素。这种重叠允许使用有限数量的投射像素组来使聚合平滑。有利地,特别是如果像素是明显方形的或具有菱形形状或明显的矩形,则存在至少3个投射像素组,每个像素至少沿2个方向具有阴影区域,从而形成x轴和y轴。三个像素组使得至少一个投射像素组使得相对于其他投射像素组中的至少一组沿x轴和y轴移位。

[0125] 根据第一实施例,确定为了覆盖可固化材料的整个表面的投射像素组的数量n。数量n连同n个对应的位移被优化,以便根据n个投射像素组,将一旦被n个固化表面能照射的初始层中的物质状态或转化率的变化最小化,并在可能时进一步最小化聚合动力学的变化(聚合动力学对应于施加于可固化材料的固化节奏)。换言之,确定n个投射像素组(以及因此n个相关联的投射图像)中的每个投射像素组的相对位置,以便当所有固化步骤完成时最小化在初始层35a的每个体素之间接收的总固化表面能量的变化,包括各种阴影区域。在实践中,数量n取决于均匀性方面的目标分辨率(关于聚合)。

[0126] 在此第一实施例中,数量n是等于或大于3的整数。换言之,这意味着需要至少三个投射像素组(因此需要至少三个固化表面能的组合)来聚合初始层35a。

[0127] 在实践中,投射像素组的所有相对位置的布置可以定义允许覆盖可固化材料的整个表面的循环。例如,循环可以是方形的或菱形的或三角形的。

[0128] 在图3至图5所示的示例中,数量n等于3,这意味着需要三组投射像素(因此需要三个对应的投射图像)来均匀聚合支撑件15的顶部上可获得的可固化材料的表面55。

[0129] 图4表示与投影初始像素组重叠的第二像素组的投影的叠置。第二像素组的投影相对于第一投射像素组沿x轴移位约半个像素间距,沿y轴移位约半个像素间距。在实践中,可以移动支撑件15以获得两个像素组之间的这种位移。作为替代方案,光学系统4的设置可以引入位移。

[0130] 如图4中可见的,可固化材料的表面的主要部分聚合为可见的,具有中间状态区域30b(对于初始层的一些体素,第一和第二固化表面能的总和低于第一预定能量阈值 T_1)。然而,一些未充分聚合的区域32b仍然保留(下面考虑位于边界处的未充分聚合的区域)。

[0131] 图5表示第三像素组在第二像素组上的叠置。为了覆盖未聚合区域32b,第三像素组的投影相对于第一像素组和第二像素组就第一像素组而言沿x轴移位约像素间距的三分之一,并且沿y轴移位约像素间距的三分之一。在这个图中,初始层35a的整个中心区域已经被照射至少一次。在实践中,第一、第二和第三像素组的三个投影的交叉处的一些局部区域在总接收能量高于第一预定能量阈值 T_1 时实际上聚合。然而,一些先前未聚合的区域32b仅

接收一次或两次照射,所接收的总固化能量严格低于第一预定能量阈值 T_1 。因此,在第三像素组的投影之后,先前未充分聚合的区域32b仍处于中间状态。在实践中,这些区域将更多地聚合,形成一个或多个与初始层35a重叠的层。然而,与仅使用一组像素在一次提供Jacobs能量 E_j 的过程相比,根据本实施例的中心区域35a示出了改进的转化率和聚合动力学的均匀性。在此第一实施例中,其他层以与初始层35a相同的方式形成。

[0132] 为了开发此第一实施例的另一说明性示例,像素区500被细分为9个区域并且相关联的像素间区被分成7个区域。这种细分在图13中被表示,因此定义了16个不同的区域 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 、 Z_6 、 Z_7 、 Z_8 、 Z_9 、 Z_{10} 、 Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{13} 、 Z_{14} 、 Z_{15} 、 Z_{16} 。先前定义的投射像素组同时覆盖9个区域(如图13中的阴影区域所示)。

[0133] 在第一实施例的这个变型中,数量 n 是等于4的整数。换言之,这意味着需要四个投射像素组(因此需要四个固化表面能的组合)来聚合初始层。

[0134] 仅就像素区500而言,仅考虑这四个像素组的相继投影,图14至图17示出了16个被相继照射的区域 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 、 Z_6 、 Z_7 、 Z_8 、 Z_9 、 Z_{10} 、 Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{13} 、 Z_{14} 、 Z_{15} 、 Z_{16} 。这里,我们重点关注一个像素区500的16个区域 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 、 Z_6 、 Z_7 、 Z_8 、 Z_9 、 Z_{10} 、 Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{13} 、 Z_{14} 、 Z_{15} 、 Z_{16} (即使在这些图中表示了一些其他像素区)。

[0135] 图14示出了在第一像素组的投影中被照射的9个区域。如这个图中可见的,仅阴影区域 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 、 Z_6 、 Z_7 、 Z_8 、 Z_9 被直接照射。

[0136] 第二像素组的投影移位,这里是在 x 方向上滑动。图15示出了像素区500的状态。由于第二像素组的投影覆盖住第一像素组的投影,所以一些区域,这里是 Z_3 、 Z_6 、 Z_9 ,被第二次照射。一些区域 Z_2 、 Z_5 、 Z_8 、 Z_{10} 、 Z_{11} 、 Z_{12} 仅被直接照射一次,而一些区域 Z_{13} 、 Z_{14} 、 Z_{15} 、 Z_{16} 没有接收到前两次照射之一。

[0137] 第三像素组的投影移位,这里是在图15中的 $-y$ 方向上的滑动。图16示出了像素区500的状态。由于第三像素组的投影覆盖住第一和第二像素组的投影,一个区域 Z_9 被第三次直接照射。一些区域 Z_3 、 Z_6 、 Z_9 、 Z_{12} 在此投影之后接收到两次照射。一些其他区域 Z_1 、 Z_2 、 Z_4 、 Z_5 、 Z_7 、 Z_8 、 Z_{10} 、 Z_{11} 、 Z_{15} 、 Z_{16} 仅接收一次照射。两个区域 Z_{13} 、 Z_{14} 仍然不直接接收三次照射之一。

[0138] 第四像素组的投影移位,这里是在图16的 $-x$ 方向上滑动。图17示出了像素区500的状态。由于第四像素组的投影覆盖住与第一、第二和第三像素组的投影,因此一个区域 Z_9 被第四次直接照射。一些区域 Z_3 、 Z_6 、 Z_7 、 Z_8 、 Z_{12} 、 Z_{15} 在此投影之后接收两次照射。其他区域仅接收一次照射。

[0139] 然而,应当注意,第二、第三和第四像素组的投影覆盖住相邻像素区、特别是所述相邻像素区的特定区域。相应地,考虑到材料块体内的像素区500,该像素区被其他相邻像素区500包围,这些相邻像素区的对应像素组可以与像素区500重叠。

[0140] 相应地,应理解像素区500的每个像素区域整体接收的正确照射率,必须将来自与像素区500对应的投影的照射考虑在内,但来自与相邻像素区对应的投影的照射也必须被考虑在内。

[0141] 因此,在本示例中,使用层内的4个上述投射像素组,区域 Z_1 、 Z_3 、 Z_7 、 Z_9 ,即对应于像素区500的表面的25%,已经接收到对应于4次照射的能量,这里足以是比第一预定能量阈值 T_1 更多的能量。进一步地,区域 Z_2 、 Z_4 、 Z_6 、 Z_8 、 Z_{10} 、 Z_{12} 、 Z_{13} 、 Z_{15} ,即:与像素区500对应的表面的50%,只接收到2次照射,这里低于第一阈值 T_1 ,甚至低于临界Jacobs能量 E_c 。最终,区域

Z_5 、 Z_{11} 、 Z_{14} 、 Z_{16} ，即与像素区500对应的表面的25%，仅接收到一次照射。进一步地，在这种情况下，像素区500的已经接收到给定照射值的每个群组区域以最均匀的可能方式散开。

[0142] 相应地，第一实施例可以在其表面的约75%上遵守第二实施例(如下所述)的条件，因为固化能量的2次照射的总和通常低于Jacobs能量，并且常常低于临界Jacobs能量 E_c ，而4次照射的总和高于Jacobs能量。相应地，这种情况或照射之间的位移的数量或布置不同的类似情况可以被包括作为第二实施例的边界情况。

[0143] 进一步地，如果第二层形成在第一层上，类似的4个投射像素组稍微移位以反转像素区500的与第一层相比或多或少受到照射的区域部分，经过2个层后，像素区500的所有区域都应该接收到大约相同的能量，即：4或5次照射。此教导可以加以必要修改适用于具有照射之间的移位的数量和布置不同的类似情况。

[0144] 图6和图7表示了均相聚合的第二实施例。第二实施例例如通过几层可固化材料来执行。

[0145] 在描述第二实施例之前，我们可以在图10中观察到穿过由不同层形成的光学元件的深度D照射可固化材料的固化表面能的传输。

[0146] 光学元件这里通过不同层 L_{n-6} 、 L_{n-5} 、 L_{n-4} 、 L_{n-3} 、 L_{n-2} 、 L_{n-1} 和 L_n 的叠置而形成，初始层为 L_{n-6} ，最后一个层为 L_n 。

[0147] 曲线 F_1 对应于比临界Jacobs能量 E_c 更高的固化表面能施加在每一层上以完全使层固化然后将另一层置于这个层上的一般现有技术。如前所说明的，对应的层因此被直接硬化。固化表面能传输通过层的效率不高，并且不同层之间的不连续性是明显的(图12中也示出了这些不连续性)。

[0148] 在图10中，曲线 F_2 是指本发明，特别是在照射至少另一层之后达到临界Jacobs能量 E_c 、以及在至少另外两个层之后达到Jacobs能量的情况(如图中所示，因为层 L_{n-1} 的底部的能量小于临界Jacobs能量 E_c ，意味着并未完全使层 L_{n-1} 变为固体。在这种情况下，在将另一个层置于其上方之前施加到每一个层上的固化表面能低于临界Jacobs能量 E_c 。如前所介绍的，在这种照射下，层处于液态与固态之间的中间状态。层的硬化发生在相继的照射上，直到达到固态。由于不同的层处于这种中间状态，层之间的不连续性不如使用曲线 F_1 观察到的不连续性重要(这种效果出现在图11中)。

[0149] 根据第二实施例(如前述第一实施例)，确定初始图像图案和相关联的初始像素组以在可固化材料50的表面上施加第一固化表面能 E_1 。第一固化表面能 E_1 严格低于第一预定能量阈值 T_1 (这里是临界Jacobs能量 E_c)且高于第二预定能量阈值 T_2 (这里是诱导表面能 E_I)。

[0150] 此初始像素组被投射到支撑件15上方的可固化材料的表面上。形成初始层35c。然而，由于第一固化表面能 E_1 严格低于临界Jacobs能量 E_c ，被照射的可固化材料处于中间状态。这种中间状态意味着初始层35c至少部分地聚合。

[0151] 应提醒的是，第一预定能量阈值 T_1 也可以是给定层厚度的Jacobs能量 E_J 。进一步地，应当注意，在本发明的情况内，特别是此第二实施例，为了在两次或更多次照射中达到第一预定能量阈值 T_1 同时每次单独照射低于第一预定能量阈值 T_1 ，第一固化表面能 E_1 最一般地低于或等于第一预定能量阈值 T_1 的2/3，或者甚至是第一预定能量阈值 T_1 的一半，或者甚至更低。如果光深度穿透值 D_p 大于两个层的厚度，则Jacobs能量 E_J 的2/3低于临界Jacobs

能量 E_c 。因此,如果第一预定能量阈值 T_1 是Jacobs能量 E_j ,在大多数实际情况下,第一固化表面能 E_1 实际上低于临界Jacobs能量 E_c 。换言之,可以将本发明描述为使得第一固化表面能 E_1 低于第一预定能量阈值 T_1 (优选地低于或等于临界Jacobs能量 E_c)而第一固化表面能 E_1 、第二固化表面能 E_2 和在第一与第二固化表面能之间的接收的可能中间固化表面能的总和大于或等于主要的第二预定能量阈值 T_2 、优选地大于或等于给定层厚度的Jacobs能量 E_j 。

[0152] 换言之,在这个第二实施例中,直接施加到层上的第一固化表面能 E_1 低于第一预定能量阈值 T_1 并且直接和间接地施加到层上的总固化表面能(即直接的或通过其他层)大于或等于第一预定能量阈值 T_1 。

[0153] 此预定能量阈值 T_1 可以等于临界Jacobs能量 E_c 。然而, E_c 的值是凭经验达到的,并且容易出现测量错误,这就是为什么我们优选考虑Jacobs能量 E_j 、并且优选使用制造工艺的原因,根据该制造工艺,在至少两个另外的层的照射之后达到Jacobs能量。实际上,在这种情况下,取决于材料,可以使用包含在计算的Jacobs能量的三分之一与一半之间的固化表面能,从而确保有效固化表面能将小于临界Jacobs能量,尽管有任何测量误差。

[0154] 图6示出了初始层35c的侧视图的示例。初始层35c包括中间状态区域30c(被直接照射并且正在发生聚合,下文中被称为亮区域)和未充分聚合的区域32c(未被直接照射,并且对于简化的示例,被认为是未聚合的)的交替。未充分聚合的区域32c对应于前述阴影区域并且源自显微镜8之间的空隙。

[0155] 根据第二实施例,阴影区域32c在初始层35c的顶部上形成一个或多个其他层期间被补偿,其方式为使得每个层的阴影区域32c不重叠。

[0156] 每个其他层都是基于具有对应固化表面能的至少一次照射而制造的。在实践中,确定不同层上的可固化材料的表面的照射数量 H ,使得每个对应的固化表面能的一部分被第一初始层的至少一部分接收,并且 H 次照射均足够并且对于第一初始层的所述部分接收与第一预定能量阈值 T_1 对应的固化表面能是必要的,该固化表面能这里是Jacobs能量 E_j 。换言之,数量 H 对应于第一初始层在形成多个叠置层期间接收的照射数量,以便接收Jacobs能量 E_j 。换言之,为了遵守数量 H 的确定值,在 $H-1$ 次照射期间所考虑的层接收的能量的总和(每个能量直接或穿过其他层被接收)低于固体预定能量阈值 T_s ,并且在 H 次照射期间所考虑的层接收的能量的总和(直接或通过其他层被接收)大于或等于固体预定能量阈值 T_s 。换言之,为了遵守数量 H 的确定值,必须选择第一固化表面能(E_1),以光深度穿透值 D_p 为模,使得 $H-1$ 乘以第一固化表面能 E_1 小于第一预定能量阈值 T_1 ,且 H 乘以第一固化表面能 E_1 大于或等于第一预定能量阈值 T_1 。

[0157] 在此实施例中,因为每个层产生单次照射,所以数量 H 对应于照射的总数。相应地,一旦层被层的对应固化表面能照射,部分能量用于这个层内以开始这个层的可固化材料的聚合,而部分能量传输到已经存在的层,与固化表面能重叠。在那些层内,部分能量在最近的层内使用以促进可固化材料的聚合,而其余部分在可固化材料内进一步传输。

[0158] 在变型中,我们可以考虑另一种情况,即第一和第二实施例之间的混合。在此变型中,该方法包括照射这些层的 H 个步骤,这些步骤中的一些或全部步骤包括直接照射同一层多于一次的子步骤(一些层接收多于一次的直接照射)。

[0159] 在第二实施例中,每一层直接接收的每个对应的固化表面能高于第二预定能量阈值 T_2 。选择 H 个相应固化表面能的值,使得在与 H 个固化表面能重叠的体素部分中,第一固化

表面能 E_1 和每个体素接收的对应固化表面能的总和大于或等于固体预定能量阈值 T_s (以便聚合初始层的整个厚度)。

[0160] 根据本发明的实施例,数字 H 是大于或等于3的整数,其定义了所用过程的动力学。接收到的每个对应的固化表面能取决于可固化材料内的可固化表面能的深度穿透值 D_p ,因此考虑了可固化材料的光吸收。换言之,如果有必要,每个对应的表面能都需要足以穿过几个层以便聚合特定的体素。

[0161] 根据本发明的实施例,层数 H 和层厚被确定为使得层数 H 与层厚的乘积等于或小于可固化材料内的可固化表面能的光深度穿透值 D_p 。在实践中,为了补偿给定层中的阴影区域,形成此给定层的可固化表面能的轮廓的投射像素组相对于形成在给定层之上或下的一层或多层的可固化表面能的轮廓的投射像素组移位。因此,在实施例中,光深度穿透值 D_p 足够高以限制投射像素组的像素之间的可固化材料状态的局部变化,并且因此可以大于上述层数乘以层厚的乘积。

[0162] 根据第二实施例,以实际的方式,在形成初始层35c之后,已经被第一可固化表面能 E_1 照射,在其顶部上添加一部分未固化的可固化材料以形成新的层。这部分未固化的可固化材料放置在初始层35c与能量源之间。在实践中,可固化材料例如由重涂器12添加。作为替代方案,支撑件15(支承初始层35c)可以通过移位装置20竖直移动,以便将初始层35c浸入可固化材料中,以便在膜的帮助下或没有膜的帮助下在初始层35c的顶部上添加一些液体可固化材料(对应于未固化的可固化材料)。

[0163] 在用另一投射像素组照射此液体可固化材料(或未固化的可固化材料)之前,以使得投射另一像素组以便覆盖阴影区域32c的方式调整制造系统1。在实践中,支撑件15可以沿着与可固化材料的表面明显平行的轴线移位。作为操作上更简单的替代方案,可以以使得另一投射像素组移位并投射在阴影区域32c上的方式调整光学系统4。

[0164] 如图7所示,在初始层35c的顶部上形成另一个层37c,使得与上述亮区域对应的、照射另一个层37c的至少一部分可固化表面能的像素覆盖住至少一个未聚合的区域32c。通过重复此步骤,由于对应的固化表面能传输穿过不同层,与 H 次照射重叠的初始层35c的部分被聚合成被认为是固体的状态,这是因为第一固化表面能和其他固化表面能的总和高于或等于固体预定能量阈值 T_s 。应提醒的是,术语“未聚合”用于区域32c,因为示例是为了简化如上所述的说明而呈现的。在实践中,未聚合的区域32c可能稍微聚合,即使聚合低于亮区域30c。

[0165] 在管理或不管理阴影区域的情况下,这种方法的优点在于叠置层的可固化材料可以自己组织,方式为由于在处于物质中间状态时发生的层间塌陷过程,层的材料相互渗透(这减少了缺陷)。为此,需要高度控制光剂量分布。特别地,相邻体素之间的物质状态的变化越小,缺陷减少得越好。图11和图12分别示出了在本发明的情况下和在本发明人所理解的现有技术的情况下可固化材料的布置的简化图示,不受理论的约束。如图12(表示现有技术)中可见的,几个层 L_{n-1} 、 L_{n-2} 、 L_{n-3} 、 L_{n-4} 处于固态 S 。然而,当用高于临界Jacobs能量 E_c 的固化表面能照射每个层时,每个层独立于其他层变为固态 S ,特别是每个层在形成另一层之前都处于固态 S 。因此特别是在层之间的界面处观察到不连续的材料特性。如关于本发明的图11所示,层 L_{n-3} 、 L_{n-4} 处于固态 S ,层 L_{n-1} 、 L_{n-2} 处于中间状态 I_n 并且层 n 是仍处于液态 L 。当以叠置层可以自己组织的方式照射可固化材料时,可以观察到连续的材料特性。

[0166] 使用本发明的此实施例因此提高了关于与使用材料层的叠置相关的光学缺陷的光学质量。实际上,已经注意到具有一堆多个层的光学装置的形成引起图案重复,该图案重复由层的芯与两个层之间的界面之间的光学特性的变化形成。光学特性的这种重复交替会引起衍射缺陷的形成,下文中是堆叠缺陷,即使在光学特性轻微变化的情况下。如果光学装置被构建成层与光学轴线明显平行布置,则这些堆叠缺陷甚至会进一步明显。

[0167] 相应地,使用本发明,从一层到另一个层的过渡更加均匀并且那些堆叠缺陷被最小化甚至避免。

[0168] 进一步地,如果附加地与上述阴影区域的管理结合使用,则关于与使用像素化能量源或光学系统4相关的光学缺陷的光学质量进一步改善。

[0169] 我们考虑说明性示例A,其中可固化材料基于甲基丙烯酸酯单体,实验地确定的临界Jacobs能量 E_c 的值为7mJ,并且光深度穿透值 D_p 为200。为了构建厚度为10 μ m的层,第一阈值(这里等于Jacobs能量 E_j)因此将是 $T_1=7.56\text{mJ}(=E_j)$ 。第二阈值为约 $T_2=0.12\text{mJ}$ 。

[0170] 选择第一固化表面能以验证以下关系 $T_2 < E_1 = 3.2\text{mJ} < T_1$,引起在照射约2个另外的层之后达到第一阈值。

[0171] 考虑到之前在图13中介绍的像素区的细分,示例A对应于没有移位不同像素组的投影的情况。

[0172] 图18示出了在此示例A的情况下随相继照射而变的转化率 C_v 的演变。此图中区分了两条曲线。

[0173] 曲线 C_1 是水平的,对应于接近0的转化率。此曲线 C_1 对应于像素区的未接收照射的区域。考虑到投射像素组是图14中表示的投射像素组,因此曲线 C_1 示出了未被直接照射的区域 Z_{10} 、 Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{13} 、 Z_{14} 、 Z_{15} 、 Z_{16} 的转化率的演变。由于像素组的投影在照射过程中没有移位,因此这些区域 Z_{10} 、 Z_{11} 、 Z_{12} 、 Z_{13} 、 Z_{14} 、 Z_{15} 、 Z_{16} 仍然没有被直接照射。这些区域因此对应于前述未聚合的区域32c。

[0174] 如图18中关于曲线 C_2 可见的,对于像素区的一些其他区域,转化率 C_v 在照射过程中升高。考虑到投射像素组是图14中表示的投射像素组,因此曲线 C_1 示出了被直接照射的区域 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 、 Z_6 、 Z_7 、 Z_8 、 Z_9 的转化率的演变。随着这些区域被照射几次,转化率 C_v 会升高,直到达到100%最大转化率。对应的区域 Z_1 、 Z_2 、 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 、 Z_6 、 Z_7 、 Z_8 、 Z_9 因此完全固化(并且对应于先前介绍的亮区域30c)。

[0175] 如图18中可见的,两种区域在转化率方面存在很大差异,从而导致缺陷的形成。

[0176] 应提醒的是,此示例A是现实发生的情况的简化版本,因此在实践中未聚合的区域32c最终可能接近完全聚合。然而,该模型显示它们的聚合在模式、动力学和节奏方面与区域30c完全不同。

[0177] 我们考虑另一个说明性示例,在下面被称为示例B,使用基于具有7mJ的临界Jacobs能量 E_c 和200的光深度穿透值 D_p 的值的甲基丙烯酸酯单体的相同可固化材料。为了构建厚度为10 μ m的层,第一阈值(这里等于Jacobs能量 E_j)因此将是 $T_1=7.56\text{mJ}(=E_j)$ 。第二阈值为约 $T_2=0.2\text{mJ}$ 。

[0178] 选择第一固化表面能以验证以下关系 $T_2 < E_1 = 2.33\text{mJ} < T_1$,引起在照射大约2个另外的层之后达到第一阈值。对于达到第一阈值的照射总数, $H=3$ 。

[0179] 关于每个层的投射图像的特征,参数如下:

[0180] -像素大小=30×30um

[0181] -阴影区域大小=10×30um

[0182] 考虑到先前在图13中介绍的像素区的细分,示例B对应于不同像素组的投影相互移位的情况。这里,投影根据图14到图17中所呈现的方案移位(第一个沿x方向,第二个沿-y方向,第三个沿-x方向)。在实践中,示例B展示了第二实施例。因此,像素组的投影的每个位移都与新的层关联。

[0183] 图19示出了在此示例B的情况下随相继照射而变的转化率 C_v 的演变。此图中区分了九条曲线。

[0184] 每条曲线对应于像素区500的至少一个区域。

[0185] 如此图中可见的,与曲线 C_{11} 关联的转化率平滑地演变。这意味着对应区域被不同像素组的所有投影直接照射。考虑到先前介绍的像素区500的细分,曲线 C_{11} 对应于区域 Z_1 、 Z_3 、 Z_7 、 Z_9 。由于这些区域始终受到照射,因此转化率 C_v 逐渐升高,直至达到100%的最大转化率。

[0186] 与曲线 C_3 关联的转化率每阶段升高。在第一次照射期间,不直接照射对应区域。因此,转化率仍然接近于0。当像素组的投影移位时,例如在第四次照射时照射此区域。因此,在像素组的投影循环期间,此区域仅被照射一次。然而,由于每一次照射都与在已经构建的层的顶部上形成新的层关联,因此实际到达该区域的固化表面能低于其他区域直接接收的表面能(因为一部分被顶部的层吸收)。因此转化率较低。

[0187] 在曲线 C_4 、 C_5 、 C_7 、 C_8 、 C_9 中观察到的演变关于形式上类似于曲线 C_3 所描述的演变(因此可以使用相同的推理得出)。

[0188] 曲线 C_3 、 C_4 、 C_5 对应于投影循环期间被直接照射一次的区域 Z_5 、 Z_{11} 、 Z_{14} 、 Z_{16} 。

[0189] 然而,曲线 C_7 、 C_8 、 C_9 表示的区域的转化率较高,因为这些区域对应于在投影循环期间被照射两次的区域 Z_2 、 Z_4 、 Z_6 、 Z_8 、 Z_{10} 、 Z_{12} 、 Z_{13} 、 Z_{15} 。应当注意,将示例B与示例A进行比较显示,当使用旨在管理阴影区域的方法时,转化率和聚合动力学或节奏的均匀性得到改善。实际上,示例B中的转化率变化比示例A中的要小得多。根据示例B制造的镜片与根据示例A制造的镜片相比,与形成单元3的像素关联的衍射缺陷强度更小。两种情况均根据第二实施例,并且设法减少或消除堆叠衍射缺陷。

[0190] 图2所示且之前描述的制造系统2适合用于执行用于使用增材制造技术来制造光学元件的方法。这里介绍的方法的示例是在逐层制造的情况下进行描述的。光学元件因此由不同聚合层的叠置形成。作为替代方案,该方法也可以适合用于根据其他增材制造技术(不同于层的叠置)来制造光学元件。

[0191] 该方法与链增长聚合(又称为加成聚合)或逐步增长聚合(又称为缩聚合)相容。

[0192] 在该方法开始之前,并考虑要制造的光学元件,计算机元件6为光学元件的每个体素确定它将接收的能量以及此体素的物质的状态和/或聚合速率和/或聚合动力学。换言之,计算机元件6确定达到预期的可固化物质的状态或期望的聚合的转化率或动力学所需的照射步骤的数量以及在每个步骤将提供多少能量。

[0193] 基于这些参数,计算机元件6这里推导出制造光学元件100需要形成的层数、为了可固化材料变为固体而每层的每个体素必须接收的照射数量、为了给定层的可固化材料成为固体所使用的不同层的照射数量H以及相关联的固化表面能。沿着层的堆叠轴线并且可

能在每个层内确定所有这些参数以便制造均匀聚合的光学元件。

[0194] 特别地,计算机元件6可以将可以在像素组的每个像素的投影之间形成的阴影区域考虑在内。计算机元件6因此还推导出要投影在可固化材料的表面上的像素组的数量 n (因此对应于投射图像的数量 n)。

[0195] 还确定像素组的每个投影相对于其他像素组的相对位置。作为示例,投射像素组的数量 n 高于每个体素的各自照射的数量 H ,这意味着当投射 n 个像素组时,各个体素的一定比例用比第一预定能量阈值 T_1 更大的能量照射。作为示例,此比例等于50%,意味着体素体积的一半接收至少第一预定能量阈值 T_1 。如果数量 n 大于数量 H ,则在投影第 n 个像素组之前,每个体素的一部分可能已经累积接收到第一预定能量阈值 T_1 。该方法开始于提供未固化的可固化材料50的初始部分的步骤。在实践中,这意味着例如移动支撑件15以将其浸入并在支撑件15的顶部具有未固化(或液体)可固化材料50的初始部分。作为替代方案,可固化材料的初始部分可以由重涂器12提供。在实施例中,可固化材料的初始部分50设置在另一个体积的可固化或固化或部分固化的材料上。

[0196] 该方法然后包括确定与能量源2的第一像素组相关联的第一图像图案的步骤。此第一像素组与第一固化表面能 E_1 的施加相关联。此确定步骤之后是将第一像素组投射到可固化材料的表面上的步骤。因此,第一像素组定义了具有第一轮廓的第一投射图像。

[0197] 因此,这些确定和投影步骤产生形成光学元件的第一部分的步骤。如前面参考图3和图6所提到的,在这个阶段,第一部分没有完全聚合(第一部分处于中间状态)。在实践中,第一部分的转化率尽可能低,这取决于第二预定能量阈值、光深度穿透值和制造速度。较低的起始转化率,对应于在达到Jacobs能量 E_J 之前的大的层数 H ,允许层之间更好的材料特性连续性和相邻部分的更好的相互渗透。

[0198] 为了均匀聚合第一部分(和整个光学元件),本方法优选地基于先前呈现的第二实施例。作为替代方案,该方法可以基于所述实施例的变化,其中引入了第一实施例的教导,只要在形成另一层之前由层直接接收的表面能低于第一预定能量阈值 T_1 、优选地低于体素的至少70%子部分硬化、优选地至少80%、更优选地体素的任何部分硬化的临界Jacobs能量 E_c 即可。作为替代方案,该方法可以基于先前介绍的第一实施例。

[0199] 作为另一个替代方案,该方法可以基于第一实施例和第二实施例的组合。在这种情况下,通过组合用于形成层的照射和在每个形成的层上照射来形成光学元件。作为示例,形成光学元件的方案可以是:形成第一层,然后对此第一层照射两次(在两个投影之间有位移),然后形成第二层,然后遵循移动循环对第二层照射三次照射(以及通过可固化能量传输穿过第二层对第一层进行照射)。在这样的实施例中,在不背离本发明的这个实施例的情况下,每层的照射数量可以从一次调到大约5次或6次或更多。

[0200] 在实践中,第一层可以如以上关于第一实施例所述的那样接收4次照射,考虑到4次照射不足以达到Jacobs能量 E_J ,并且可以在第一层上形成第二层,类似地4个投射像素组稍微移位,以便与第一层相比,将照射差不多的像素部分反转。因此,经过2个层后,像素的所有部分都接收到大致相同量的能量,实际上是5次照射。此教导可以加以必要修改适用于具有照射之间的移位的数量和布置不同的类似情况。换言之,此示例对应于具有 $n=8$ 个投射像素组的循环,这些投射像素组被扩散到 $H=2$ 层中,被布置成使得沿着循环,像素的每个部分已经被5个照射子步骤照射。在一些变型中,通过形成2个层而达到Jacobs能量 E_J 。在其

他一些变型中,在照射 $H=4,6$ 或更多个层后达到Jacobs能量 E_J 。

[0201] 在特定的变型中,每个层可以直接接收 n 次照射,其中 n 个投射像素组彼此略微移位,以使用相似量的固化表面能覆盖可固化材料的整个表面(并因此尽可能均匀地聚合整个初始层)。因此,这几个像素组需要相继投射在可固化材料的同一表面上。对应的固化表面能因此直接相继地施加在初始层上,然后将新一层(未固化的)可固化材料添加到此初始层上。然而,与上述第一实施例相比之下,并且根据上述第二实施例,施加到每个层的 n 个固化表面能使得它们的总和高于第二预定能量阈值 T_2 并且它们的总和严格低于第一预定能量阈值 T_1 。确定 n 个固化表面能以便将整个初始层聚合成中间状态。 n 个固化表面能因此通过将如在第二实施例中介绍的第一固化表面能 E_1 分配给几个投射像素组来确定。初始层接收的这些固化表面能的总和等于第一固化表面能 E_1 ,第一固化表面能严格低于第一预定能量阈值 T_1 。

[0202] 我们考虑另一个说明性示例,在下面被称为示例B,使用基于具有 7mJ 的临界Jacobs能量 E_C 和 200 的光深度穿透值 D_p 的值的甲基丙烯酸酯单体的相同可固化材料。为了构建厚度为 $10\mu\text{m}$ 的层,第一阈值(这里等于Jacobs能量 E_J)因此将是 $T_1=7.56\text{mJ}(=E_J)$ 。第二阈值为约 $T_2=0.2\text{mJ}$ 。

[0203] 选择第一固化表面能 E_1 以验证以下关系 $T_2 < E_1 = 2.33\text{mJ} < T_1$,引起在照射大约2个另外的层之后达到第一阈值。对于达到第一阈值的照射总数, $H=3$ 。

[0204] 进一步地,在本实施例中,每层分4个像素组被直接照射4次,每组相继对每个层直接施加一次:与每个像素组的投影相关联的推导出的固化表面能 $=E_1/(1+3)=0.8\text{mJ}$ 。

[0205] 关于投射图像的特征,参数如下:

[0206] -像素大小 $=30 \times 30\mu\text{m}$

[0207] -阴影区域大小 $=10 \times 30\mu\text{m}$

[0208] 考虑之前在图13中介绍的像素区的细分,示例C与第一实施例和第二实施例的组合对应(在这种情况下,4个像素组的投影通过一层相互移位并且是形成其他层时重复)。这里,在一个层当中,投影根据图14到图17中所呈现的方案移位(第一个沿 x 方向,第二个沿 $-y$ 方向,第三个沿 $-x$ 方向)。在实践中,示例B展示了第二实施例。

[0209] 图20示出了在此示例C的情况下随相继照射而变的转化率 C_v 的演变。在这个图中区分了三条曲线。

[0210] 每条曲线对应于像素区500的至少一个区域。

[0211] 如这个图中可见的,根据此示例C,当像素500的每个区域被直接照射至少一次时(当第一实施例和第二实施例这里组合时),转化率平滑地演变。然而,转化率的大小根据像素区500的每个区域接收的照射数量而不同。

[0212] 转化率最低的曲线 C_{20} 对应于每个层仅被直接照射一次的区域,这里是区域 $Z_5, Z_{11}, Z_{14}, Z_{16}$ 。转化率中等的曲线 C_{21} 对应于每层被直接照射两次的区域,这里是 $Z_2, Z_4, Z_6, Z_8, Z_{10}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{15}$ 。转化率最高的曲线 C_{22} 对应于每层被照射四次的区域,这里是 Z_1, Z_3, Z_7, Z_9 。

[0213] 第二实施例的这个变型显示,与示例B相比,其也是有趣的解决方案。然而,关于过程持续时间和计算方面,其成本要高得多,因为每个层都必须被照射多次,这里是4次,然后转换到另一个层,而在第二实施例的另一变型中,每个层仅被直接照射一次。

[0214] 在实践中,该方法包括提供未固化的可固化材料和照射可固化材料的表面的 H 个

步骤,包括提供第一层的第一步骤,使得每个对应的固化表面能的一部分(对应与每次照射)通过传输穿过不同层而被光学元件的形成的第一层的至少一部分接收。

[0215] 取决于不同的情况下,通过照射所有的H层而提供到第一层的固化表面能的总和可以使得在照射第H个层后达到第一预定能量阈值 T_1 。可替代地,第一层的至少一次照射几乎达到第一预定能量 T_1 阈值,使得第二层的第一次照射通过传输到第一层来提供足够的能量,使得在第一层内达到第一预定能量 T_1 阈值。能量通过H个层附加传输到第一层能够进一步固化可固化材料并且可能固化阴影区域。上述两种情况之间的任何变化都是可能的。

[0216] 在实践中,每个照射步骤都与至少一个图像图案和用于施加对应的固化表面能的相关联的像素组的确定以及定义相关联的投射图像的这个像素组的投影相关联。在实施例中,关于第一部分的位置,与每个照射步骤相关联的投影相对于先前的投影移位。换言之,这意味着投射像素组的相对位置是相对于另一组投射像素定义的,使得该投射像素组中的至少一个像素至少部分地覆盖住另一投射像素组的两个像素。

[0217] 在实践中,支撑件15可以沿着与可固化材料的表面明显平行的轴线移动。另一种配置是调整光学系统4的设置(例如位置和/或取向)。

[0218] 在这种情况下,一个照射步骤与例如用中间固化表面能至少部分地照射光学元件的形成的第一部分对应。此照射步骤与图像图案和用于施加中间固化表面能的相关联的像素组的确定以及定义相关联的投射图像的这个像素组的投影相关联。第一固化表面能 E_1 与中间固化表面能的总和严格低于第一预定能量阈值 T_1 ,这意味着在这个照射步骤之后,光学元件的第一部分仍处于中间状态。

[0219] 作为补充或作为替代方案,支撑件15可以沿着明显正交于可固化材料50的表面55的轴线移位。换言之,支撑件15可以竖直移动以便在支撑件15上、特别是在形成的第一部分周围提供未固化的可固化材料的第二部分。

[0220] 当光学元件逐层制造时,第二部分例如设置在光学元件的第一形成部分的顶部上。图8表示根据本发明制造的眼镜片200的示例。当光学元件是眼镜片200时,根据本发明的实施例,第一部分和第二部分因此沿着大致正交于此眼镜片200的光轴 L_L 的轴线 L_S 叠置(此光轴 L_L 例如在单焦点镜片的情况下是光穿过镜片时不会偏离的轴线)。作为替代方案,叠置轴线 L_S 相对于此光轴 L_L 倾斜超过45度。

[0221] 该方法因此包括确定与能量源2的第二像素组相关联的第二图像图案的步骤。此第二像素组与第二固化表面能 E_2 的施加相关联。此第二固化表面能 E_2 高于第二预定能量阈值 T_2 。此确定步骤之后是将第二像素组投射到可固化材料的表面上的步骤。因此,第二像素组定义了第二投射图像。

[0222] 因此,这些确定和投影步骤产生形成光学元件的第二部分的步骤。

[0223] 如果第二部分是光学元件的制造中最后形成的部分,则第一固化表面能 E_1 与第二固化表面能 E_2 的总和大于或等于第一预定能量阈值 T_1 ,从而允许整个光学元件聚合成具有Jacobs意义的固体(取决于可固化材料,对应于高于例如70%、或者60%或80%的转化率)。

[0224] 如果第二部分不是在光学元件的制造中的最后形成的部分,则在形成此第二部分之后重复照射和形成其他部分的进一步步骤。应提醒的是,一些中间照射步骤可能发生在形成第一部分和第二部分之间,例如用于形成中间部分,比如第三部分和/或第四部分。第一固化表面能 E_1 、与中间照射步骤相关联的每个固化表面能以及第二固化表面能 E_2 的总和

高于第一预定能量阈值 T_1 。进一步的步骤可以例如具有完成第二部分和可能的中间部分的聚合的效果,或者可以进一步使第一部分能够接收比仅仅达到第一预定能量阈值 T_1 所需的能量更多的能量,并且因此能够实现比仅通过施加第一预定能量阈值 T_1 、例如Jacobs能量 E_J 达到的转化率更高的转化率。

[0225] 该方法可以进一步包括用最后的固化表面能照射光学元件的形成部分以便聚合光学元件并且特别是其边缘的最终步骤。最后的固化表面能这里高于或等于第一预定能量阈值 T_1 。这种最后的固化,有时又称为后固化,目的是通过UV和/或热处理完成聚合和/或放松材料的内部应力。换言之,最后的照射步骤允许在任何仍处于中间状态的部件上施加足以直接获得例如高于70%、更优选高于90%的高转化率的固化表面能。然后完全形成光学元件。

[0226] 最后,一旦获得光学元件,该方法包括一个或多个后加工步骤。这些后加工步骤例如是减材机加工(如抛光)或增材加工(如涂覆)的步骤。在这些后加工步骤之后,光学元件准备好使用。

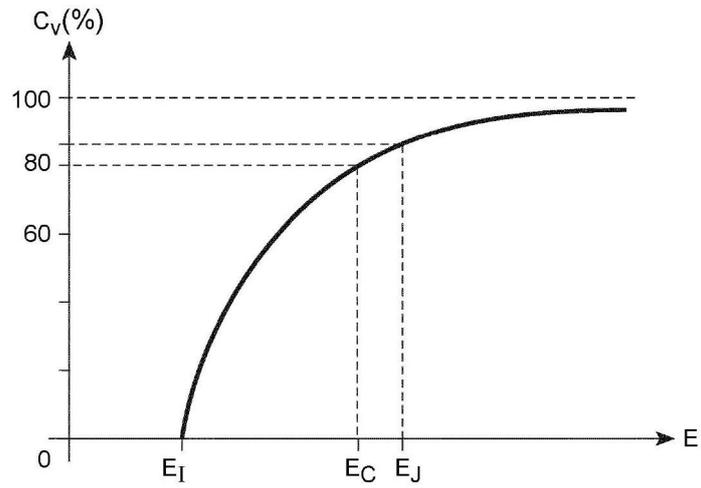


图1

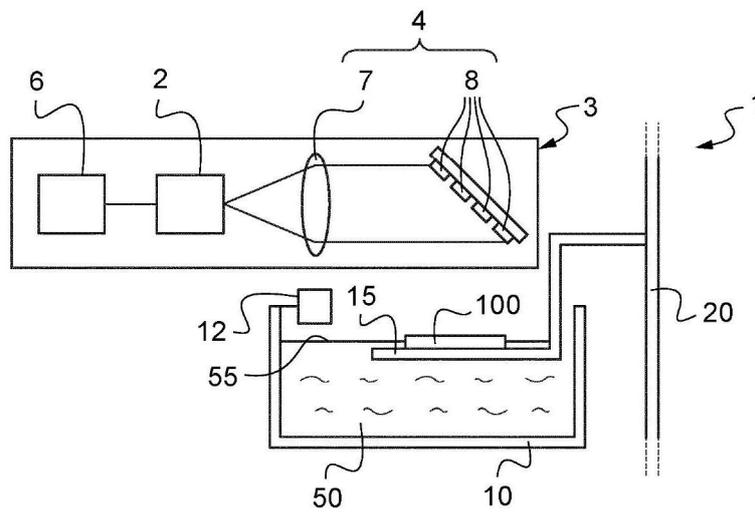


图2

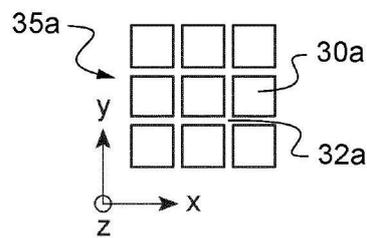


图3

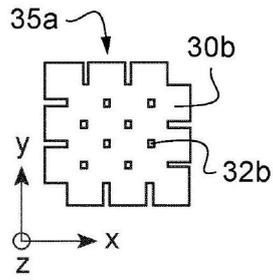


图4

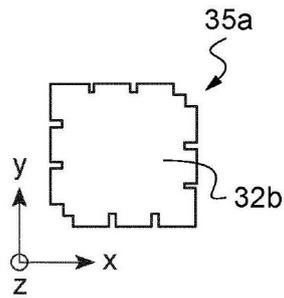


图5

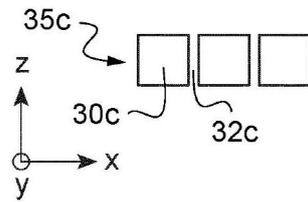


图6

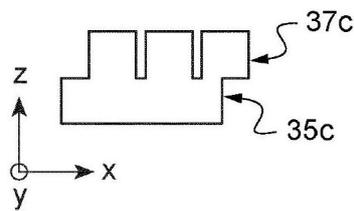


图7

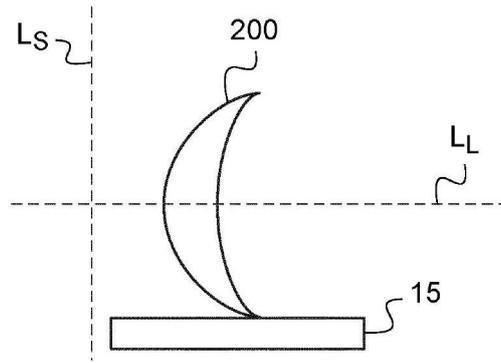


图8

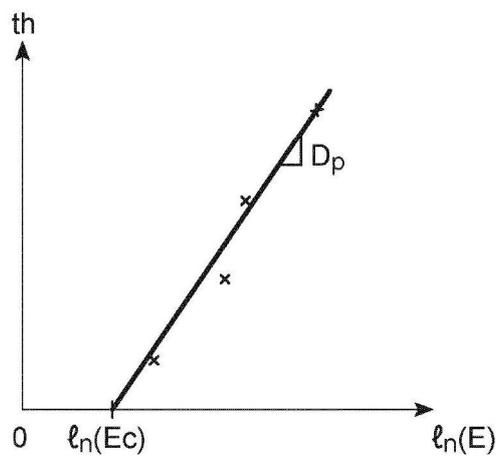


图9

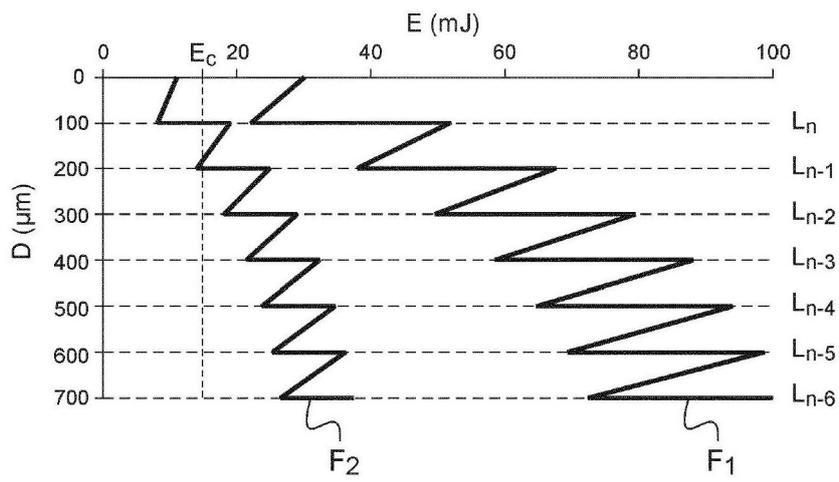


图10

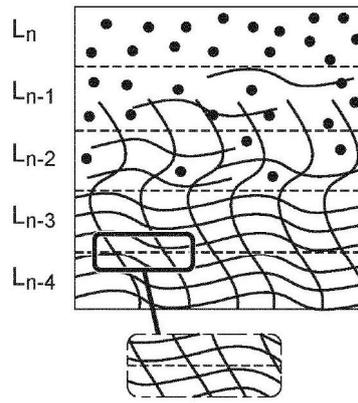


图11

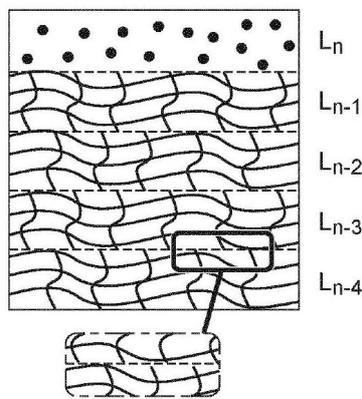


图12

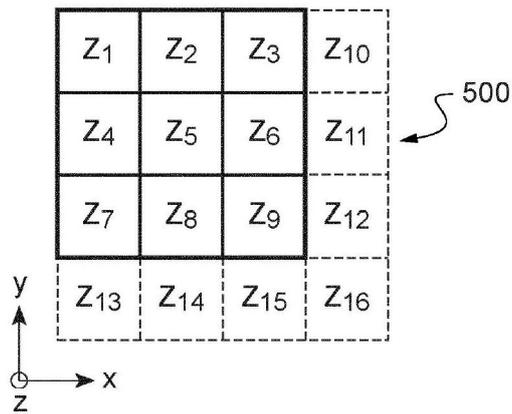


图13

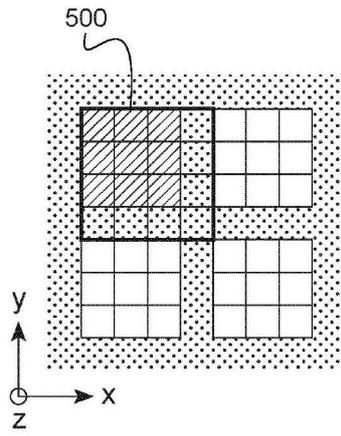


图14

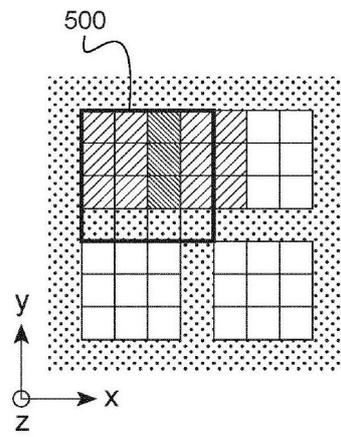


图15

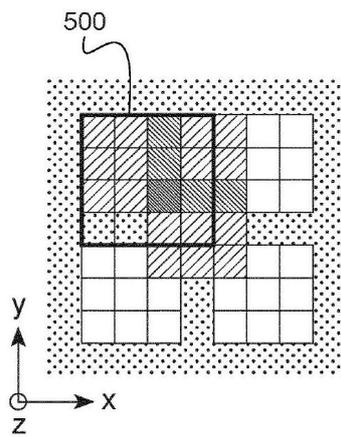


图16

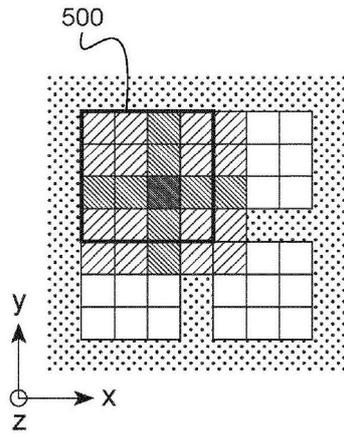


图17

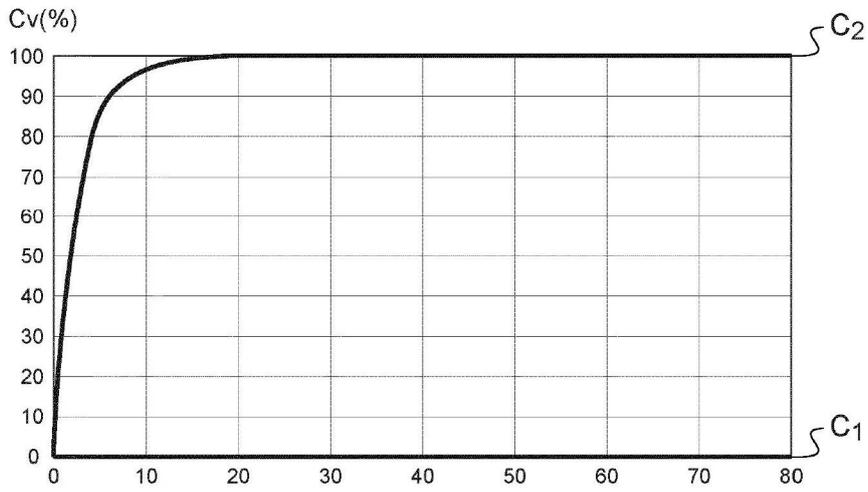


图18

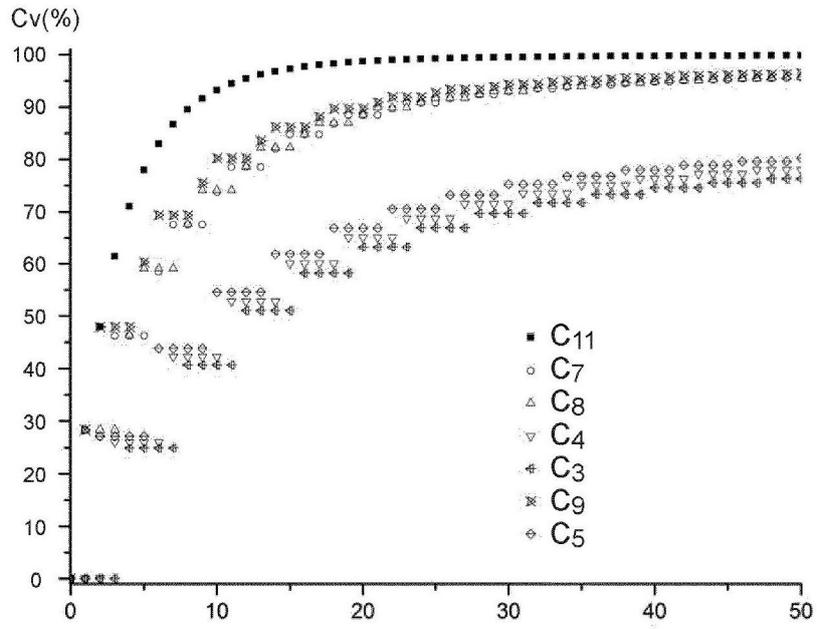


图19

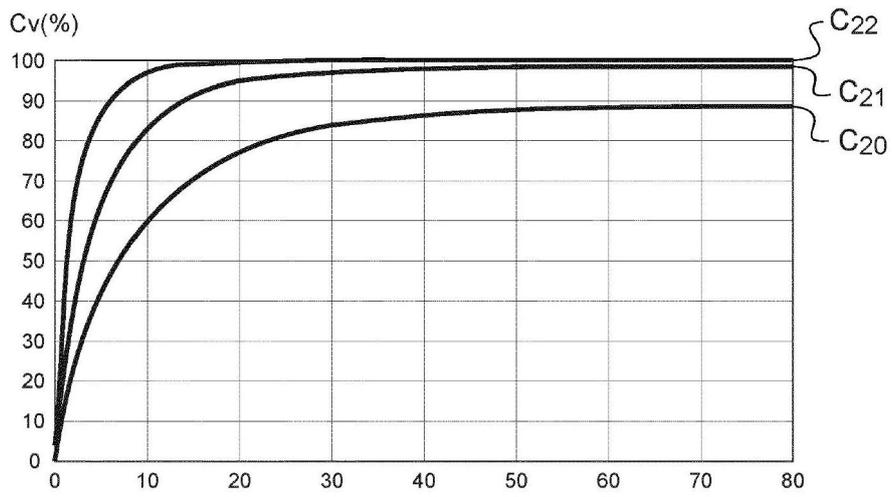


图20