



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118055843 A

(43) 申请公布日 2024. 05. 17

(21) 申请号 202280067339.6

(22) 申请日 2022.09.28

(30) 优先权数据

21020496.2 2021.10.06 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.04.03

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2022/059236 2022.09.28

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/057857 DE 2023.04.13

(71) 申请人 阿普纳米有限责任公司

地址 奥地利维也纳

(72) 发明人 P·格鲁贝尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

专利代理师 孙云汉 刘春元

(51) Int.Cl.

B29C 64/135 (2006.01)

B29C 64/268 (2006.01)

B29C 64/273 (2006.01)

B29C 64/286 (2006.01)

B33Y 10/00 (2006.01)

B33Y 30/00 (2006.01)

B29C 64/264 (2006.01)

G03F 7/20 (2006.01)

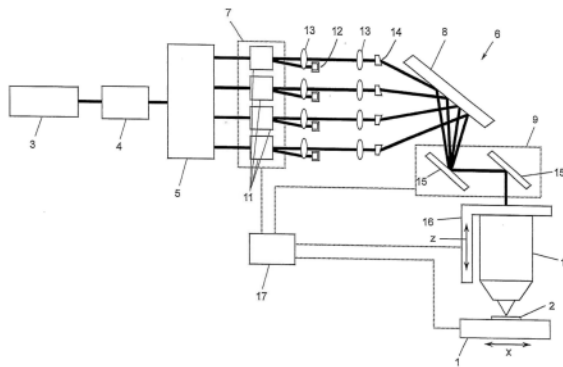
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

## (54) 发明名称

用于三维部件的基于光刻的生成制造的方法和设备

## (57) 摘要

用于三维部件的基于光刻的生成制造的方法和设备。在用于三维部件的基于光刻的生成制造的方法中,利用分束器(4)将光束分成多条光束,这些光束借助于光学成像单元(10)被聚焦到材料(2)内的焦点(21)上,其中,所述焦点(21)借助于在辐射方向上布置在所述光学成像单元(10)上游的偏转单元来被调节,由此,在每条光束的焦点(21)处,所述材料的体积元借助于多光子吸收而依次固化,其中,提供数量与光束数量相对应的声光调制器模块(11),使得在每条光束的光路中均布置有声光调制器模块(11)。



1. 一种用于三维部件的基于光刻的生成制造的方法,其中,由电磁辐射源(3)发出的光束借助于光学成像单元(10)被聚焦到材料(2)内的焦点(21)上,并且所述焦点(21)借助于在辐射方向上布置在所述光学成像单元(10)上游的偏转单元(9)来被移动,由此,所述材料(2)的位于所述焦点(21)处的体积元分别借助于多光子吸收而依次固化,其特征在于,利用分束器(4)将所述光束分成多条光束,这些光束中的每束光束借助于所述偏转单元(9)和所述光学成像单元(10)被依次聚焦到所述材料(2)内的焦点(21)上,其中,提供数量与光束数量相对应的声光调制器模块(11),使得在每条光束的光路中均布置有声光调制器模块(11),所述声光调制器模块对所述光束进行衍射。

2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,操控所述声光调制器模块(11)中的至少一个声光调制器模块,以便在z方向上移动相关光束的焦点(21),其中,所述z方向对应于相应光束射入到所述材料(2)中的入射方向。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其特征在于,操控所述声光调制器模块(11)中的至少一个声光调制器模块,以便在x和/或y方向上移动相关光束的焦点,其中,x和y方向对应于在垂直于相应光束的入射方向的平面内的两个正交方向。

4. 根据权利要求1、2或3所述的方法,其特征在于,在所述声光调制器模块(11)中,分别使用在所述光路中一个接一个地布置的至少两个声光调制器(18),其中,所述至少两个声光调制器(18)优选地具有基本上彼此垂直走向的光束偏转方向或者相同的光束偏转取向。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的方法,其特征在于,这些光束借助于在所述光路中在所述声光调制器模块(11)下游的偏转单元(9)、尤其是检流计扫描仪而经受在x和y方向上的联合偏转。

6. 根据权利要求1至5中任一项所述的方法,其特征在于,所述部件以在x-y平面内延伸的层来逐层地被建造,其中,从一层到下一层的切换包括:改变所述光学成像单元(10)在z方向上相对于所述部件的相对位置。

7. 根据权利要求6所述的方法,其特征在于,借助于所述声光调制器模块(11)在一层的层厚度内使所述焦点(21)在z方向上移动。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的方法,其特征在于,所述焦点(21)中的至少一个焦点借助于所述声光调制器模块(11)在z方向上被移动,以便形成所述部件的弯曲的外轮廓或者所述部件的相对于x,y平面倾斜走向的外轮廓,其中,形成所述外轮廓的体积元的尺寸优选地选择为相同。

9. 一种用于三维部件的基于光刻的生成制造的设备,尤其是用于执行根据权利要求1至8中任一项所述的方法,所述设备包括:用于可固化材料(2)的材料载体(1);和照射装置(6),所述照射装置能被操控用于用至少一条光束来对所述可固化材料进行位置选择性照射,其特征在于,所述照射装置(6)包括:用于将输入光束分成多条光束的分束器(4);在所述光路中在所述分束器(4)下游的偏转单元;和在所述偏转单元(9)下游的光学成像单元(10),以便将每条光束依次聚焦到所述材料(2)内的焦点(21)上,由此,所述材料(2)的位于所述焦点(21)处的体积元能分别借助于多光子吸收来被固化,其中,提供数量与光束数量相对应的声光调制器模块(11),使得在每条光束的光路中都布置有声光调制器模块(11),所述声光调制器模块包括至少一个声光调制器(18)。

10. 根据权利要求9所述的设备,其特征在于,所述声光调制器模块(11)被设计用于在z

方向上移动相应的焦点(21),其中,所述z方向对应于相关光束射入到所述材料(2)中的入射方向。

11.根据权利要求9或10所述的设备,其特征在于,所述至少一个声光调制器(18)包括频率发生器,所述频率发生器被设计用于声波频率的周期性调制。

12.根据权利要求11所述的设备,其特征在于,所述频率发生器被设计用于改变声波频率梯度。

13.根据权利要求9、10或11所述的设备,其特征在于,所述声光调制器模块(11)被设计用于在x和/或y方向上移动相应的焦点,其中,x和y方向对应于在垂直于相应光束的入射方向的平面内的两个正交方向。

14.根据权利要求9至13中任一项所述的设备,其特征在于,所述声光调制器模块(11)分别包括在所述光路中一个接一个地布置的至少两个声光调制器(18),其中,优选地,所述至少两个声光调制器(18)的光束偏转方向基本上彼此垂直,或者所述至少两个声光调制器的光束偏转取向相同。

15.根据权利要求9至14中任一项所述的设备,其特征在于,所述偏转单元(9)在所述光路中布置在所述声光调制器模块(11)的下游,尤其是由检流计扫描仪形成,所述偏转单元(所述检流计扫描仪)被设计用于引起所述焦点(21)在横向于z方向走向的x-y平面内的联合移动。

16.根据权利要求9至15中任一项所述的设备,其特征在于,所述照射装置(6)被设计用于以在x-y平面内延伸的层来逐层地建造所述部件,其中,从一层到下一层的切换包括改变所述光学成像单元(10)在z方向上相对于所述部件的相对位置。

17.根据权利要求9至16中任一项所述的设备,其特征在于,所述照射装置(6)被设计为使得借助于所述声光调制器模块(11)在一层的层厚度内实现在z方向上对所述焦点(21)的精调。

## 用于三维部件的基于光刻的生成制造的方法和设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于三维部件的基于光刻的生成制造的方法,其中,由电磁辐射源发出的光束借助于光学成像单元被聚焦到材料内的焦点上,并且该焦点借助于在辐射方向上布置在光学成像单元上游的偏转单元来被移动,由此,该材料的位于该焦点处的体积元分别借助于多光子吸收而依次固化。

[0002] 本发明还涉及一种用于三维部件的基于光刻的生成制造的设备。

### 背景技术

[0003] 例如从DE 10111422 A1已知一种用于形成部件的方法,在该方法中,借助于多光子吸收来进行光敏材料的固化。为此,将聚焦的激光束射入到光敏材料浴中,其中,触发该固化的多光子吸收过程的照射条件仅在该焦点附近被满足,使得将光束的焦点根据所要制造的成型体的几何数据在浴体积内引导到所要固化的位置。

[0004] 在这种情况下,该材料的体积元在相应的焦点处固化,其中,相邻的体积元彼此粘附,并且通过相邻的体积元的依次固化来建造该部件。在建造该部件时,可以逐层地进行,即,首先固化第一层的体积元,然后固化下一层的体积元。

[0005] 用于多光子吸收法的照射装置包括用于使激光束聚焦的光学组件以及用于使激光束偏转的偏转装置。在这种情况下,偏转装置被设计用于将光束依次聚焦到材料内的焦点上,这些焦点位于相同的、优选地垂直于光束射入到材料中的入射方向走向的平面内。在 $x, y, z$ 坐标系中,该平面也称为 $x, y$ 平面。通过在 $x, y$ 平面内的光束偏转所形成的固化的体积元形成该部件的一层。

[0006] 为了建造下一层,改变该聚焦光学组件在 $z$ 方向上相对于该部件的相对位置,该 $z$ 方向对应于至少一条光束射入到该材料中的入射方向并且垂直于 $x, y$ 平面地走向。通过该聚焦光学组件相对于该部件的通常自动化地进行的调节,焦点被移动到新的 $x, y$ 平面中,该新的 $x, y$ 平面与之前的 $x, y$ 平面在 $z$ 方向上间隔开所需的层厚度。

[0007] 借助于多光子吸收对适合的材料的结构化提供了极高的结构分辨率的优点,其中,能够实现最小结构尺寸高达 $50\text{nm} \times 50\text{nm} \times 50\text{nm}$ 的体积元。然而,由于焦点体积小,这种方法的生产量非常低,因为例如对于 $1\text{mm}^3$ 的体积来说,必须对总共超过 $10^9$ 个点进行照射。这会导致建造时间非常长,这是多光子吸收法的工业应用率低的主要原因。

[0008] 为了在不损失高结构分辨率的可能性的情况下增加部件生产量,已经提出:在部件的建造期间将焦点的体积改变至少一次,使得该部件由不同体积的固化体积元来建造。由于焦点的体积可变,(在焦点体积小)能够实现高分辨率。同时,(在焦点体积大的情况下)能够实现高的写入速度(以 $\text{mm}^3/\text{h}$ 为单位来测量)。因此,通过改变焦点体积,可以将高分辨率与高生产量相结合。在此,例如可以使用焦点体积的变化,使得在所要建造的部件的内部使用大的焦点体积,以便增加生产量,并且在该部件的表面应用较小的焦点体积。以便形成具有高分辨率的部件表面。增加焦点体积能够实现更高的结构化生产量,因为在一次照射过程中固化的材料体积会增加。小的焦点体积可以被用于更精细的结构和表面,并

且较大的焦点体积可以被用于粗糙结构和/或用于填充内部空间,以便在高生产量的情况下保持高分辨率。在WO 2018/006108A1中描述了用于改变焦点体积的方法和设备。

### 发明内容

[0009] 本发明旨在进一步开发一种用于三维部件的基于光刻的生成制造的方法和设备,使得还进一步提高写入速度(以 $\text{mm}^3/\text{h}$ 为单位来测量)。

[0010] 为了解决该任务,本发明在开头提到的类型的方法中规定:利用分束器将光束分成多条光束,这些光束中的每条光束借助于偏转单元和光学成像单元被依次聚焦到材料内的焦点上,其中,提供数量与光束数量相对应的声光调制器模块,使得在每条光束的光路中均布置有声光调制器模块,该声光调制器模块对光束进行衍射。

[0011] 因此,通过本发明,能够利用多条光束进行并行写入,使得写入速度相应地以光束的数量来倍增。在这种情况下,分束器被设计用于将光束分成至少两条光束。优选地,分束器被设计用于将光束分成2、4、8、16、32或64条光束。任何其他数量的光束也是可能的,诸如奇数条光束。

[0012] 由于在每条光束的光路中均布置有声光调制器模块,每条光束都可以独立于其他光束而受到影响,更确切地说,优选地使得相应光束的焦点的位置可以独立于其他光束的焦点而被调节,或者使得相应光束的辐射强度可以独立于其他光束的焦点而被调节。

[0013] 根据声光调制器模块的配置,焦点可以朝着任意空间方向被调节。在这种情况下,优选地规定:操控这些声光调制器模块中的至少一个声光调制器模块,以便在z方向上移动相关光束的焦点,其中,z方向对应于相应光束射入到材料中的入射方向。

[0014] 替代地或附加地,可以操控这些声光调制器模块中的至少一个声光调制器模块,以便在x和/或y方向上移动相关光束的焦点,其中,x和y方向对应于在垂直于相应光束的入射方向的平面内的两个正交方向。

[0015] 通过在每条光束的光路中布置至少一个声光调制器,每个焦点都可以在x、y和/或z方向上无级地且高速地被移动。这允许自由地选择体积元的位置,并且因而还将体积元布置在由层平面定义的z位置之外,以便以这种方式来实现与分别所要实现的表面形状的最佳适应。在这种情况下,焦点在x、y和/或z方向上的移动不需要光学成像单元相对于该部件的机械调节,并且因而与从第一层到下一层的切换无关。尤其是,焦点的移动不是在有可移动部分的情况下发生,而是仅仅由于所提及的声光调制器模块的作用而发生。

[0016] 声光调制器是一种影响入射光的频率和传播方向或强度的光学器件。为此,利用声波在透明固体中产生光栅,光束在光栅处发生衍射。在称为声光偏转器的设计方案中,这可以被用于产生光束偏转,其中,偏转角度取决于光波和声波在透明固体中的相对波长。在这种情况下,通过改变声波频率,可以设定该偏转角度。这可以用于焦点在x和/或y方向上的上述精调。

[0017] 在z方向上的移动例如通过在声光偏转器中产生声波来实现,该声波的频率被周期性地调制。通过周期性地改变透明固体中产生的声波的频率,在声光偏转器中形成所谓的“柱面透镜效应”,该声光偏转器以与柱面透镜相同的方式来使入射光束集束。对周期性频率调制的有针对性的控制允许改变柱面透镜的焦距,并且借此改变从声光偏转器中发出的光束的发散度。具有以这种方式设定的发散度的光束被引导通过该照射装置的成像单

元,在该成像单元中,光束借助于物镜以聚焦的方式被射入到材料中。在这种情况下,引入到材料中的光束的焦点在z方向上根据该发散度而改变。

[0018] 在这种情况下,一个优选的设计方案规定:声波的频率调制具有恒定的声波频率梯度。这有利于形成所谓的“柱面透镜效应”。

[0019] 优选地,还规定:通过改变该频率调制的(恒定)声波频率梯度来使焦点移动。声波频率梯度的改变例如可以在周期性调制的周期时长保持不变的情况下通过改变频率调制的带宽来实现。替代地,该带宽可以保持恒定,并且声波频率梯度的改变可以由该周期时长的改变引起。

[0020] 在例如由 $\text{TeO}_2$ 制成的透明固体的情况下,声波的基频优选地为50MHz或更高,尤其是 $>100\text{MHz}$ ,尤其为100-150MHz。例如,基频被调制至少 $\pm 10\%$ ,优选地 $\pm 20-30\%$ 。在基频例如为110MHz的情况下,该基频例如被周期性地调制 $\pm 25\text{MHz}$ ,即频率调制的带宽为50MHz,并且声波的频率因而被周期性地调制在85MHz和135MHz之间。如已经提及的那样,声波频率梯度的改变决定柱面透镜的焦距,其中,调制频率优选地为至少100kHz,尤其为0.1-10MHz。

[0021] 此外,声光调制器模块也可以被用于改变引入到该材料中的光束的强度。这种改变还可以包括将辐射强度降低至零,使得可以根据需要来单独接通和关断从分束器中发出的光束。为了设定辐射强度,改变引入到声光调制器中的声波的幅度。

[0022] 声光调制器模块包括至少一个声光调制器,诸如一个、两个或四个声光调制器。在至少两个声光调制器的情况下,每个调制器都可以被设计为单独的部件,相应的光束一个接一个地穿过这些部件。替代地,至少两个声光调制器可以在功能上组合在单个调制器部件中(所谓的多通道设计),该调制器部件针对每个通道都具有带相对应的声音输入引入的晶体。

[0023] 优选地,在这些声光调制器模块中,分别使用在光路中一个接一个地布置的至少两个声光调制器,其中,该至少两个声光调制器优选地具有基本上彼此垂直走向的光束偏转方向或者相同的光束偏转取向。两个优选地紧挨着地一个接一个地、彼此垂直地布置的声光调制器的组合消除了否则会在单个调制器的情况下出现的像散。在两个声光调制器布置在一个平面内的情况下,焦点在x和y方向上的可能的调节距离被加倍。根据另一优选的实施方式,可以提供一个接一个地布置的四个声光调制器,这四个声光调制器中,前两个调制器形成第一对,并且后续的两个调制器形成第二对。在这种情况下,一对内的调制器分别被设计得具有相同的光束偏转取向,并且第一对调制器的光束偏转方向垂直于第二对调制器的光束偏转方向地走向。

[0024] 通过声光调制器模块对焦点的移动用于焦点的精细定位,以便使例如在常见的网格点之外的体积元固化(所谓的“灰度光刻(gray scale lithography)”),而写入光束借助于与声光调制器模块分开的偏转单元在x和y方向上被移动经过整个写入区域。就这方面来说,一个优选的设计方案规定:光束借助于在光路中在这些声光调制器模块下游的偏转单元(尤其是检流计扫描仪)而经受在x和y方向上的联合偏转。在这种情况下,该偏转单元有利地布置在这些声光调制器模块和该光学成像单元之间的光路中。对于二维光束偏转,可以使一个反射镜在两个方向上偏转,或者可以将两个可正交旋转的反射镜设置得彼此靠近,通过这两个反射镜来使光束反射。此外,能够在反射镜之间布置透镜系统,尤其是4f布置,使得第一反射镜的旋转轴线被投影到第二反射镜上,由此避免几何成像误差。这两个反

射镜可以由各一个检流计驱动器或电动机来驱动。无论如何,重要的是:由分束器产生并且然后穿过各一个声光调制器模块的所有光束均借助于同一个偏转单元来被偏转,而且然后利用同一个光学成像单元被聚焦到材料中。

[0025] 优选地,该部件以在x-y平面内延伸的层来逐层地被建造,其中,从一层到下一层的切换包括改变光学成像单元在z方向上相对于该部件的相对位置。通过光学成像单元相对于该部件的相对位置的机械调节,在z方向上对焦点进行粗调,即从一层切换到下一层。而为了在z方向上设定中间级,即为了在z方向上对焦点进行精细定位,借助于所提及的声光调制器模块来改变这些焦点的位置。

[0026] 优选地,在这种情况下,可以借助于这些声光调制器模块在一层的层厚度内使焦点在z方向上移动。在此,在一层内还可以制造在z方向上相叠地布置的多个体积元层,而不必对光学成像单元相对于该部件的相对位置进行机械调节。

[0027] 根据本发明的一个优选的应用,这些焦点中的至少一个焦点借助于声光调制器模块在z方向上被移动,以便形成该部件的弯曲的外轮廓。替代地或补充地,这些焦点中的至少一个焦点也可以借助于声光调制器模块在z方向上被移动,以便形成该部件的相对于x,y平面倾斜走向的外轮廓。在这种情况下,这些焦点中的至少一个焦点在z方向上的移动可以遵循表面形状,其方式是:使焦点分别以距所要制造的部件的表面有如下这种距离地定位在该部件的边缘区域,该距离对应于所要固化的体积元的假想中心到该体积元的外表面的距离。

[0028] 一个优选的方法是:该材料存在于材料载体上,诸如存在于槽中,并且从下方穿过材料载体照射该材料,该材料载体至少局部可透过辐射。在这种情况下,建造平台可以定位在距材料载体一定距离处,并且可以通过固化位于建造平台和材料载体之间的材料来在建造平台上建造该部件。但是,替代地,也能够从上方照射该材料。

[0029] 在本发明的框架内,如果位于部件内部的层以高的层厚度并且因而以大体积的体积元来被建造而且边缘区域由小体积的体积元来创建,而且在边缘区域内,附加地沿着z方向单独调整体积元的位置,以便在表面上获得高结构分辨率,则可以显著缩短建造时间。

[0030] 在一个优选的方法中,改变焦点体积,使得在部件的制造期间的最大焦点体积与最小焦点体积之间的体积比为至少2,优选地为至少5。优选地规定:焦点体积在至少一个、优选两个、尤其是三个彼此垂直的空间方向上改变。

[0031] 优选地,改变焦点体积的方式是:通过相关的声光调制器模块在与相应写入光束的行进方向横向的方向上使各个光束偏转,该行进方向由偏转单元、尤其是检流计扫描仪来引起。因此,如果检流计扫描仪例如在x方向上移动相应的光束,以便依次固化在x方向上一个接一个地放置的体积元,则可以操控相关的声光调制器模块,使得光束横向于该x方向地、例如在y方向上高速地来回移动。在这种情况下,所提到的来回移动的幅度决定了体积元的伸展尺寸。因此,通过改变该幅度,可以改变焦点体积或者所要固化的体积元的体积。在这种情况下,该来回移动以对应于在写入光束的行进方向上的速度的至少5倍、优选地至少10倍的速度进行,该行进方向由偏转单元、尤其是检流计扫描仪在x方向上引起。应当理解,刚才描述的用于改变所要固化的体积元的体积的方法可以在x和y方向的相反布置的情况下被执行,使得偏转单元在y方向上继续移动写入光束或焦点,并且通过声光调制器模块来横向于该y方向地、例如在x方向上进行快速来回移动。

[0032] 在本发明的框架内,使用多光子吸收的原理,以便在光敏材料浴中引发光化学过程。多光子吸收法例如还包括2光子吸收法。光化学反应的结果是,材料被改变为至少一种其他状态,其中,通常导致光聚合。多光子吸收的原理基于以下事实:所提到的光化学过程仅发生在光路的在其中光子密度足够用于多光子吸收的那些区域。最高光子密度出现在光学成像系统的焦点处,使得多光子吸收有足够的概率仅发生在焦点处。在焦点之外,光子密度较低,使得该焦点之外的多光子吸收的概率太低,不足以通过光化学反应引起材料的不可逆变化。电磁辐射可以在所使用的波长内基本上不受阻碍地穿过该材料,并且仅在焦点处发生光敏材料和电磁辐射之间的相互作用。多光子吸收的原理例如在Zipfel等人的“Nonlinear magic: multiphoton microscopy in the biosciences (非线性魔法: 生物科学中的多光子显微镜)”, NATURE BIOTECHNOLOGY VOLUME 21 NUMBER 11 NOVEMBER 2003中描述。

[0033] 优选地,电磁辐射源可以是准直激光束。激光器可以发射一种或多种固定或可变的波长。该激光器尤其是脉冲长度在纳秒、皮秒或飞秒范围内的连续或脉冲激光器。在此,脉冲飞秒激光器所提供的优点是:多光子吸收所需的平均功率较低。

[0034] 光敏材料被理解为在建造条件下可流动或固体的材料,该材料通过在焦点体积中的多光子吸收转变为第二状态——例如通过聚合。在此,材料改变必须限于焦点体积及其周围环境。物质特性的改变可能是持久性的,而且例如从液态改变到固态,然而也可能只是暂时的。此外,持久改变也可以是可逆的或不可逆的。材料特性的改变不一定必须从一种状态完全转变到另一种状态,而是也可以作为两种状态的混合形式存在。

[0035] 电磁辐射的功率和曝光时长会影响所产生的部件的质量。通过调整辐射功率和/或曝光时长,可以在狭窄的范围内改变焦点的体积。如果辐射功率太高,则会发生可能导致部件损坏的额外过程。如果辐射功率太低,则不可能出现持久的材料特性变化。因而,对于每种光敏材料,都存在与良好的部件特性相关的典型建造过程参数。在本发明的框架内,优选地利用在整个建造过程中保持不变的辐射功率来制造部件。

[0036] 根据本发明的第二方面,提供了一种用于三维部件的基于光刻的生成制造的设备,尤其是用于执行根据本发明的第一方面的方法,该设备包括:用于可固化材料材料载体;和照射装置,该照射装置能被操控用于用至少一条光束来对该可固化材料进行位置选择性照射,其特征在于,该照射装置包括:用于将输入光束分成多条光束的分束器;在光路中在分束器下游的偏转单元;和在偏转单元下游的光学成像单元,以便将每条光束依次聚焦到材料内的焦点上,由此,该材料的位于焦点处的体积元能分别借助于多光子吸收来被固化,其中,提供数量与光束数量相对应的声光调制器模块,使得在每条光束的光路中都布置有声光调制器模块,该声光调制器模块包括至少一个声光调制器。

[0037] 优选地,这些声光调制器模块被设计用于在z方向上移动相应的焦点,其中,z方向对应于相关光束射入到该材料中的入射方向。

[0038] 优选地,至少一个声光调制器模块的控制器包括频率发生器,该频率发生器被设计用于声波频率的周期性调制。

[0039] 优选地,在这种情况下规定:该频率发生器被设计用于改变声波频率梯度。

[0040] 优选地,还规定:这些声光调制器模块被设计用于在x和/或y方向上移动相应的焦点,其中,x和y方向对应于在垂直于相应光束的入射方向的平面内的两个正交方向。

[0041] 如结合根据本发明的方法已经提及的那样,有利的是:这些声光调制器模块分别包括在光路中一个接一个地布置的至少两个声光调制器,其中,优选地,该至少两个声光调制器的光束偏转方向基本上彼此垂直,或者该至少两个声光调制器的光束偏转取向相同。

[0042] 此外,该偏转单元可以在光路中布置在这些声光调制器模块的下游,尤其是由检流计扫描仪形成,该偏转单元(该检流计扫描仪)被设计用于引起焦点在横向于z方向走向的x-y平面内的联合移动。

[0043] 该照射装置尤其可以被设计用于以在x-y平面内延伸的层来逐层地建造该部件,其中,从一层到下一层的切换包括改变光学成像单元在z方向上相对于该部件的相对位置。

[0044] 优选地,该照射装置被设计为使得借助于声光调制器在一层的层厚度内实现在z方向上对焦点的精调。

[0045] 还可以规定:该材料存在于材料载体上,诸如存在于槽中,并且从下方穿过材料载体照射该材料,该材料载体至少局部可透过辐射。

[0046] 在这种情况下,建造平台优选地定位在距材料载体一定距离处,并且通过固化位于建造平台和材料载体之间的体积元来在建造平台上建造该部件。

[0047] 在此,有利的是:焦点的体积在该部件的建造期间被改变至少一次,使得该部件由不同体积的固化体积元来建造。

[0048] 成像单元可以被实施为f-Theta透镜,或者优选地由以4f布置的显微镜物镜和中继光学组件组成,其中,偏转单元和物镜位于相对应的透镜的焦平面内。

## 附图说明

[0049] 随后,依据在附图中示意性示出的实施例来更详尽地阐述本发明。在该附图中,图1示出了根据本发明的设备的示意图;图2、图3和图4示出了声光调制器模块的替代设计的详细视图;以及图5示出了在制造部件时在该设备的像场内的焦点的示意图。

## 具体实施方式

[0050] 在图1中,载体被标记为1,要在该载体上建造部件。该载体涂有可光聚合材料2,激光束被聚焦到该可光聚合材料中,其中,每条激光束依次被聚焦到该可光聚合材料内的焦点上,由此,该材料的位于焦点处的体积元分别借助于多光子吸收来被固化。为此目的,激光束由辐射源3发出,被引导经过脉冲压缩器4并且在分束器5中被分成多条光束(在当前情况下为四条光束)。这些光束现在借助于照射装置6被射入到材料2中。为此目的,照射装置6包括声光调制器单元7、偏转镜8、检流计扫描仪9和光学成像单元10,该光学成像单元包括将在写入区域内的激光束引入到该材料2中。

[0051] 声光调制器单元7包括数量与光束数量相对应的声光调制器模块11,这些声光调制器模块中的至少一个声光调制器将相应的光束分成零阶光束和一阶光束。零阶光束被收集在光束阱12中。一阶光束经由中继透镜13和偏转装置14被引导到偏转镜8上,该偏转镜将光束引导到偏转单元9(例如检流计扫描仪)中,在该偏转单元中,这些光束依次在两个反射镜15处被反射。这些反射镜15以可绕着彼此正交地走向的旋转轴线枢转的方式被驱动,使得这些光束可以在x和y方向上偏转。这两个反射镜15可以由各一个检流计驱动器或电动机来驱动。从偏转单元9发出的光束优选地经由未示出的可选的中继透镜系统进入物镜10,该

物镜将这些光束如已经提及的那样聚焦到可光聚合材料中。

[0052] 为了逐层地建造该部件,在该材料中使一层接着另一层的体积元固化。为了建造第一层,使激光束分别依次聚焦到材料2内的焦点上,这些焦点布置在物镜10的焦平面内。在这种情况下,借助于偏转单元9来实现光束在x,y平面内的联合偏转,其中,写入区域通过物镜10来限制。为了切换到下一个平面,固定在载体16处的物镜10在z方向上相对于载体1被调节与层厚度相对应的层距离。替代地,载体1也可以相对于固定的物镜10来被调节。

[0053] 如果所要制造的部件在x和/或y方向上大于物镜10的写入区域,则该部件的子结构并排地被建造(所谓的缝合(Stitching))。为此,载体1布置在十字工作台上,该十字工作台面能相对于照射装置6在x和/或y方向上被移位。

[0054] 还提供控制器17,该控制器操控声光调制器单元7、偏转单元9、高度调节器16和固定在十字工作台处的载体1。

[0055] 如图2所示,声光调制器模块11可以具有一个接一个地布置的两个声光调制器18,这两个声光调制器的光束偏转方向一致。这所具有的效果是:与单个声光调制器相比,偏转是两倍大;并且在x、y和z方向上的偏转可以彼此独立地被操控。因此,可以操控在可用偏转范围内的任何点,并且能够实现在z方向上对焦点的精调。这种布置的缺点是由于声光调制器的柱面透镜而出现像散。

[0056] 在此,声光调制器11分别形成柱面透镜效应,该柱面透镜效应取决于频率调制的声波频率梯度。在这种情况下,柱面透镜的等效焦距 $F_l$ 可以按下式被计算:

$$[0057] \quad F_l = \frac{v_a^2}{\lambda \frac{dF_a}{dt}}$$

[0058] 其中, $v_a$ 是晶体中的声音传播速度, $\lambda$ 是激光束的波长,而且 $dF_a/dt$ 是晶体中的声波频率梯度。在 $\text{TeO}_2$ 中,传播速度为4200m/s,激光波长为780nm,而且在 $0.2\mu\text{s}$ 内经过 $\pm 25\text{MHz}$ 的带宽(例如,从110MHz的基本激励频率开始),声光柱面透镜的焦距为90mm。由此,对于焦距为9mm且放大20倍的物镜4,整个系统的新焦距为

$$[0059] \quad F_{total} = \frac{F_{obj} F_l}{F_{obj} + F_l}$$

[0060] 在上述参数的情况下,这对应于在z方向的位移为 $\pm 90\mu\text{m}$ ,视梯度的符号而定。通过改变声波频率梯度,可以线性地且无级地设定体积元的z位置。

[0061] 在根据图3的替代的实施方式中,声光调制器模块11包括一个接一个地布置的两个声光调制器18,这两个声光调制器的光束偏转方向彼此垂直地走向。关于偏转后的一阶光束,该声光调制器模块11分别起到具有可设定的焦距的柱面透镜的作用,使得一阶光束具有可设定的发散度,利用该发散度,能够实现在x和y方向上对焦点的调节,由此可以自由选择偏转单元的偏转方向。此外,由于产生两个彼此正交的柱面透镜,所以通过这种布置,所形成的像散被减小到最低限度。

[0062] 在图4中示出了声光调制器模块11的修改实施方式,该修改实施方式具有第一对声光调制器18和第二对声光调制器18,在它们之间布置有中继透镜19,以便确保在声光调制器模块11的输入端和输出端处的焦点布置在同一条线上。每对的两个声光调制器18具有相同的偏转方向。第一对调制器的偏转方向垂直于第二对调制器的偏转方向。这具有将按

照图2的设计方案的优点与按照图3的设计方案的优点相结合的效果。

[0063] 在图5中,光学成像单元10的写入区域或像场20在x和y方向上被示出,其中,涉及该部件的可以在不改变光学成像单元10和所要建造的部件之间在x和y方向上的相对位置的情况下建造的那个部分。能看到四个焦点21,这四个焦点彼此间隔开,使得可以同时彼此独立地制造该部件的四个体积元。借助于偏转单元9来实现这些焦点21在x方向上的联合行进。这些焦点21还可以彼此独立地借助于相应的声光调制器模块11在x、y和/或z方向上从它们的通过偏转单元9所定义的当前基本位置出发来被精调。例如,在通过偏转单元9引起焦点在x方向上的行进期间,可以在z方向上进行精调,以便使体积元的位置类似于“灰度光刻”地适应弯曲的或者相对于坐标方向倾斜的部件轮廓。此外,在通过偏转单元9引起焦点在x方向上的行进期间,可以在y方向进行精调,使得激光束高速地来回移动,以便能够根据该来回移动的幅度来设定所要固化的体积元在y方向上的伸展尺寸。

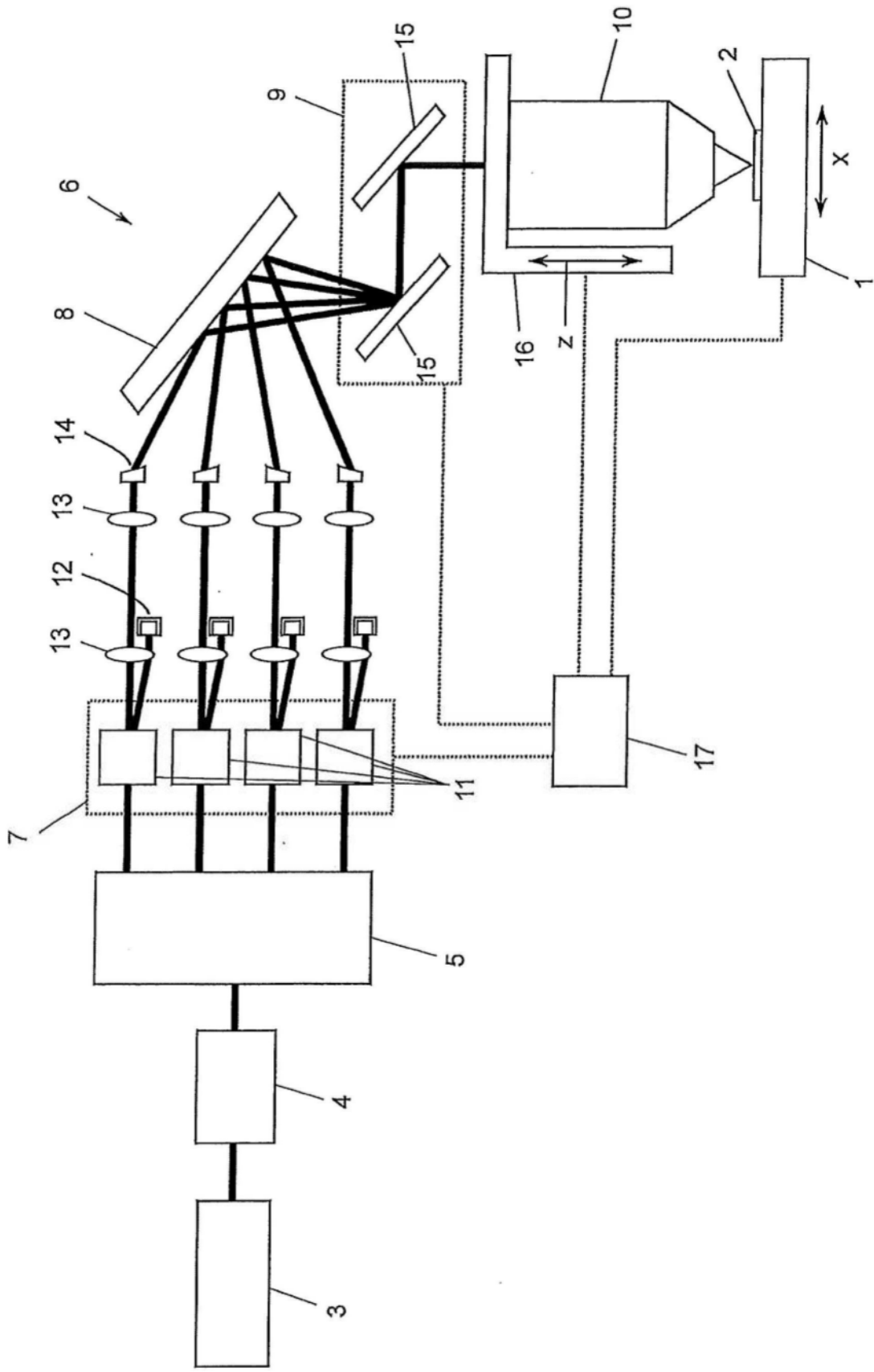


图1

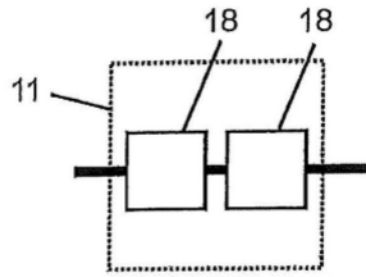


图2

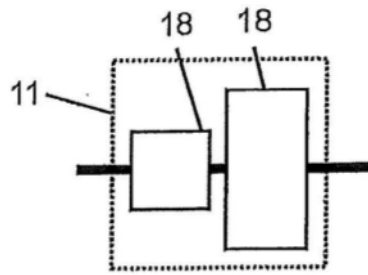


图3

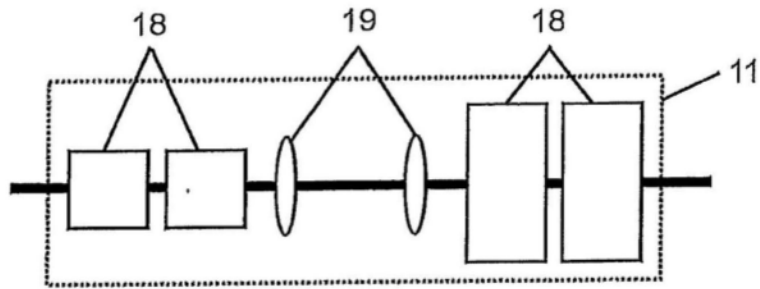


图4

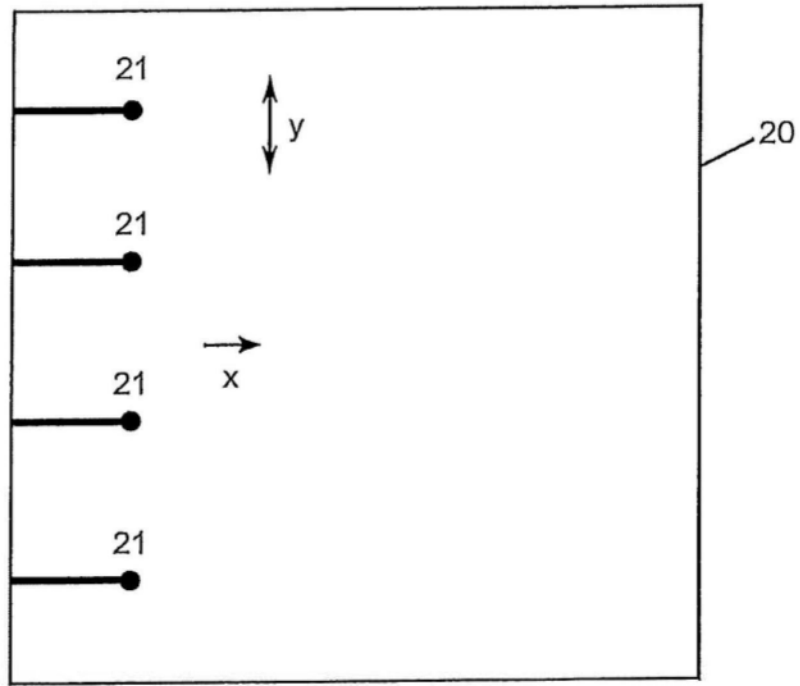


图5