(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 101529309 B
(45)授权公告日 2011.12.14

(21)申请号 200780033975.2

(22)申请日 2007.09.13

(30)优先权数据
11/531,870 2006.09.14 US

(85)PCT申请进入国家阶段日
2009.03.13

(86)PCT申请的申请数据
PCT/US2007/078357 2007.09.13

(87)PCT申请的公布数据
WO2008/033977 EN 2008.03.20

(73)专利权人 3M创新有限公司
地址 美国明尼苏达州

(72)发明人 安德鲁·J·默南 迪安·法克里斯

(74)专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司 11219
代理人 梁晓广 关兆辉

(51)Int.Cl.
G02B 27/10(2006.01)

(56)对比文件
US 6369951 B1,2002.04.09, 全文.
US 6178028 B1,2001.01.23, 全文.
US 5798784 A,1998.08.25, 全文.
US 6855478 B1,2005.02.15, 说明书第5至18栏,附图1至2.
US 5548444 A,1996.08.20, 说明书第3至8栏,附图1至10.
US 5548444 A,1996.08.20, 说明书第3至8栏,附图1至10.
US 2004/0156134 A1,2004.08.12, 全文.

审查员 史敏峰

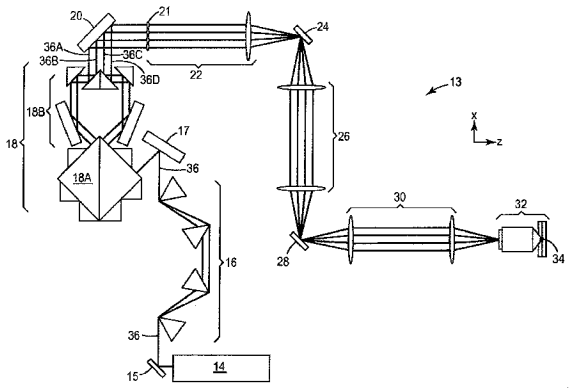
权利要求书 1 页 说明书 19 页 附图 11 页

(54)发明名称

分束器装置和系统

(57)摘要

本发明涉及一种分束器装置,所述分束器装置包括分束器和围绕所述分束器设置的多个棱镜。所述分束器装置被构造用于将入射激光束分离为多个具有基本相等能量并且以基本相等的光学路径长度穿过所述分束器装置的细光束。



CN 101529309 B

1. 一种用于多光子固化的光学系统，包括：

光源，用于提供入射光束；以及

分束器装置，用于将所述入射光束分离为至少 2^n 个细光束，n 最小为 3，所述细光束具有基本相同的光束特性，其中所述分束器装置包括：

分束器，所述分束器包括立方体分束器；

其中所述立方体分束器包括：

第一侧面；

垂直于所述第一侧面的第二侧面；

垂直于所述第二侧面的第三侧面；以及

垂直于所述第一侧面的第四侧面，以及

与所述分束器光学接触的 (2n-2) 个棱镜，

其中所述 (2n-2) 个棱镜包括：

第一棱镜构件，沿所述立方体分束器的第一侧面设置；

第二棱镜构件，沿所述立方体分束器的第二侧面设置；

第三棱镜构件，沿所述立方体分束器的第三侧面设置；

第四棱镜构件，沿所述立方体分束器的第四侧面设置。

2. 根据权利要求 1 所述的系统，其中所述细光束具有基本相等的能量和光学路径长度。

3. 根据权利要求 1 所述的系统，还包括：

多光子可固化光反应性组合物层；

聚焦透镜，其限定所述层内的视场，所述视场包括多个子域，其中至少一个所述细光束固化所述层的位于至少一个所述子域内的区域。

分束器装置和系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学装置，更具体地讲，本发明涉及用于将光束分离为多个具有基本相等能量的细光束的装置。

背景技术

[0002] 在一些多光子固化方法中，例如全文以引用的方式并入本文的美国专利No.6,855,478中所述的方法，包括多光子可固化光反应性组合物的材料层被涂敷到基底（如，硅晶片）上，然后使用如激光束之类的辐射能聚焦源对其选择性地固化。多光子固化技术可以用于制造二维和/或三维(3D)的微结构和纳米结构。

[0003] 在一种制造技术中，当近红外光(NIR)辐射脉冲激光束聚焦到工程光聚树脂上时，会形成体素。树脂内的非线性相互作用过程将部分该NIR辐射转化为较短的波长，从而使该激光束焦点附近的树脂固化，其中NIR辐射的两个光子基本上被同时吸收。这种树脂固化可以称为“光聚合”，并且这种方法可以称为“双光子光聚合”方法。这种树脂的光聚合不会在那些暴露于强度不足的NIR辐射部分的树脂区域发生，因为树脂在那些区域不吸收NIR辐射。

[0004] 可以通过控制激光束焦点在三维（即x轴、y轴和z轴方向）上相对于树脂的位置，而使用多光子光聚合方法一个体素一个体素地构造3D结构。

发明内容

[0005] 一般来讲，本发明涉及一种分束器装置，所述分束器装置用于将入射光束分离为多个具有基本相同光束特性（例如，能量基本上相同）的细光束。在一个实施例中，根据本发明的分束器装置包括围绕一个或多个分束器设置的多个棱镜。也就是说，入射光束分离为多个细光束，其中细光束之间的光学光程差基本上为零。由于细光束以基本相似的光学路径长度穿过分束器装置，因此如果有的话，细光束发生基本上相似的脉冲拉伸。因而，预色散或后色散补偿（如果需要）得以简化。

[0006] 在本发明的一个实施例中，一个或多个入射激光束导向到分束器装置，当光束穿过分束器并传播通过至少一个棱镜通道（即，传播穿过一个棱镜，然后反射回该分束器或进入另一个分束器）时，光束反复地分离为多个细光束。每个细光束各自以基本相等的光学路径长度穿过分束器装置，因此，每个细光束具有基本相等的脉冲宽度。

[0007] 所得的细光束可以布置为细光束线性阵列或二维(2D)阵列，这可用于结合在多光子光聚合方法中。细光束阵列可以通过正聚焦透镜聚焦到像平面上，该透镜限定了像平面的视场。视场内有子域，每个子域限定了一个像平面区域，在该区域内一个或多个细光束在x轴和y轴方向被扫描。具有基本相同特性的细光束的阵列可结合在多光子光聚合制造方法中，以在树脂的多个区域内基本上同时制造尺寸基本相同的体素，这将使得该制造方法能够并行制造多个二维(2D)和/或三维(3D)结构。

[0008] 在一个实施例中，本发明涉及一种系统，所述系统包括：用于提供入射光束的光

源、用于将入射光束分离为至少 (2^n-1) 个细光束的分束器装置。该分束器装置包括分束器；以及与该分束器光学接触的 (2n-2) 个棱镜。

[0009] 在另一个实施例中，本发明涉及一种装置，所述装置包括：分束器，其被构造用于将入射光束分离为第一细光束和第二细光束；第一棱镜构件，其被构造用于将第一细光束反射进分束器；第二棱镜构件，其被构造用于将第二细光束反射进分束器，其中第一细光束穿过分束器并分离为第三细光束和第四细光束，第二细光束穿过分束器并分离为第五和第六细光束。该装置还包括：第三棱镜构件，其被构造用于将第三和第五细光束反射进分束器；以及第四棱镜构件，其被构造用于将第四和第六细光束反射进分束器。第一、第二、第三和第四棱镜被布置用于实现在第三、第四、第五和第六细光束之间预定的光程差。

[0010] 在又一个实施例中，本发明涉及一种用于将入射光束分离为多个细光束的光学装置。该光学装置包括：第一立方体分束器、第二立方体分束器以及第三立方体分束器，其中第一立方体分束器包括第一分光器部分，第二立方体分束器包括第二分光器部分，第三立方体分束器包括第三分光器部分。第一、第二和第三分光器部分基本上首尾对齐以形成基本上直的线条。该光学装置还包括：设置在第一和第二立方体分束器之间的第一五棱镜、设置在第一和第二分束器之间并且与第一五棱镜相对的第二五棱镜、设置在第二和第三分束器之间的第三五棱镜，以及设置在第二和第三分束器之间并且与第三五棱镜相对的第四五棱镜。

[0011] 在又一个实施例中，本发明涉及一种系统，所述系统包括用于提供入射光束的光源、以及用于将入射光束分离为彼此间距为 P 的多个细光束的分束器装置。该分束器装置包括分束器、第一组和第二组棱镜，其中分束器将入射光束分离 S 次。第一组棱镜沿第一轴线设置，其中第一组棱镜的每个棱镜沿维度 L_z 接触分束器，并且第一组棱镜的第 n 个棱镜与第一基准点的距离为 Z_n，其中 Z_n 根据第一公式计算：

[0012] $$Z_n = \sum_{n=1}^{S-1} \frac{n \cdot L_Z}{2}$$ 。

[0013] 第二组棱镜沿垂直于第一轴线的第二轴线设置，其中第二组棱镜的每个棱镜沿维度 L_x 接触分束器，并且第二组棱镜的第 n 个棱镜与第二基准点的距离为 X_n，其中 X_n 根据第二公式计算：

[0014] $$X_n = \sum_{n=1}^{s-1} \frac{n \cdot L_X}{2} + P \cdot 2^{(n-2)}$$ 。

[0015] 在附图和下文的说明中示出了本发明的一个或多个实施例的细节。本发明的其他特征、目的和优点从说明书、附图及权利要求书中将显而易见。

附图说明

[0016] 图 1A 为采用了根据本发明的分束器装置的一个光学系统的框图。

[0017] 图 1B 为一个光学系统的示意图，该光学系统是图 1A 所示光学系统的一个实施例。

[0018] 图 2 为一个微透镜阵列的示意性剖视图，该阵列可以结合到图 1B 的光学系统中。

[0019] 图 3A 示出图 1B 中光学系统的聚焦透镜的视场的示意图，其中该视场位于基本平行于图像平面的 x-y 平面的 x-y 平面上。

[0020] 图 3B 示出图 3A 中视场的示意图，其中视场和子域被移置。

[0021] 图 3C 示出聚焦透镜的视场的另一个实施例。

[0022] 图 3D 为曲线图，示出了多个细光束在树脂层内焦点的强度与对应细光束形成的体素尺寸之间的关系。

[0023] 图 3E 为示出聚焦到树脂层的多个细光束的示意性剖视图。

[0024] 图 4 为根据本发明的分束器装置的一个实施例的透视图。

[0025] 图 5A 为分束器系统的一个实施例的示意图，该系统包括图 4 中的分束器装置。

[0026] 图 5B 为图 4 和图 5A 中分束器装置的示意性剖视图，其中入射光束穿过该分束器装置传播。

[0027] 图 6 为根据本发明的分束器装置的另一个实施例的透视图。

[0028] 图 7A 为分束器系统的一个实施例的示意图，该系统包括图 6 中的分束器装置。

[0029] 图 7B 为图 6 和图 7A 中分束器装置的示意性剖视图，其中入射光束穿过分束器装置传播。

具体实施方式

[0030] 根据本发明的分束器装置将激光束分离为具有基本相等能量和基本相等波长的多个细光束。“细光束”通常是指通过分离另一个激光束所形成的激光束。在一个实施例中，分束器装置包括分束器和围绕该分束器设置的多个棱镜，使得一组细光束中的细光束在给定的棱镜通道中以基本相等的路径长度传播。棱镜通道是指一种往复过程，其中一组细光束从分束器基本上同时穿过至少一个棱镜，然后再次穿过分束器（或另一个分束器）。在一个实施例中，该组细光束中的每个细光束在给定的棱镜通道中穿过分束器的相同区域。在另一个实施例中，一组细光束在每个棱镜通道之后穿过不同的分束器。由于分束器装置的棱镜的构造彼此相关，因此从入射激光束形成的每个细光束以相同的次数穿过分束器，并且穿过相同数量的棱镜。在一个实施例中，一组细光束中的细光束的数量在穿过分束器之后增加一倍。

[0031] 具有基本相同能量和光学路径长度的多个细光束可以用于多种应用，例如（但不限于）：在多光子光聚合制造方法中并行加工体素，该应用的实例参见图 1B 描述，或者其他涉及选择性地暴露光敏材料的应用，以及度量学和干涉仪应用。可将根据本发明的分束器装置结合在其中的一种光学系统在美国专利申请 No. 11/531836(3M 代理人案卷号 62109US002) 中有进一步的详细描述，该专利申请与本发明同日提交并且全文并入本文中。

[0032] 当具有不同能量和光学路径长度的细光束的阵列结合到多光子光聚合方法中时，细光束可以形成（并行）多个尺寸不同的体素。体素尺寸的显著变化可以限制多光子光聚合方法产生的所得结构的质量，这将限制使用多光子光聚合方法批量制造二维 (2D) 和 / 或三维 (3D) 微结构和 / 或纳米结构的可能性。然而，根据本发明的分束器装置可用于并行制造多个尺寸基本相等的体素，因为该分束器装置可产生多个基本相同的细光束，其中每个细光束可用于固化树脂的单个区域。因而，该分束器装置可以用于批量制造 3D 微结构和 / 或纳米结构。

[0033] 图 1A 为光学系统 1 的框图，该光学系统包括光束源 2、根据本发明的分束器 4、细光束定位系统 6、物镜 8 和工件 10。光束源 2 产生光束，例如平行或会聚的激光束，分束器 4 将光束分离为多个具有基本相等能量（即强度）并且还可以具有基本相等脉冲宽度的细

光束。可以形成偶数或奇数个细光束，并且分束器 4 可以将入射激光束分离成任意适当数量的细光束，例如几十个、几百个或几千个细光束。“细光束”通常指通过分离另一个光束所形成的激光束。在一个实施例中，细光束是通过反复分离入射光束来形成的。细光束定位系统 6 可根据光学系统 1 的具体构造以及所期望的细光束传播方向，沿 x 轴、y 轴和 / 或 z 轴方向扫描来自分束器 4 的细光束。如下面参照图 1B 所描述的，细光束定位系统 6 还可以包括诸如多个用于精确引导由分束器 4 所形成的细光束的倾斜角度的控制反射镜等光学元件。细光束定位系统 6 还可以用物镜 8，在一个实施例中，通过物镜 8 的光瞳来聚焦 / 对齐细光束。

[0034] 光学系统 1 可以用于在光学制造方法中实施，例如多光子光聚合制造方法，在这种情况下，工件 10 可以是一层光敏树脂（如，多光子可固化光反应性组合物）。合适的多光子可固化光反应性组合物实例在名称为“METHOD AND APPARATUS FOR PROCESSINGMULTIPHOTON CURABLE PHOTREACTIVE COMPOSITIONS”（加工多光子可固化光反应性组合物的方法与装置）的美国专利申请 No.60/752,529 和美国专利申请 No.11/313,482 中有所描述，二者全文均以引用的方式并入本文。

[0035] 当实施到光学制造方法中时，光学系统 1 的物镜 8 用于将具有基本相等能量和光学路径的多个细光束导向到树脂 10 的层中，以选择性地固化树脂 10 的区域，从而在树脂 10 的层内制造多个尺寸基本相等的体素。这样，由于多个细光束可用于并行制造多个结构，无论结构包括重复图案或非重复图案，光学系统 1 就可以提高多光子制造方法的产量，提高的系数大致等于阵列中细光束的数量（例如几百或几千）。在一个实施例中，这些结构基本上相似，而在另一个实施例中，这些结构不相似。在又一个实施例中，来自光学系统 1 的两个或多个细光束可用于制造单一结构。对于相对较大的结构，与使用单一细光束制造结构的方法相比，使用一个或多个细光束制造单一结构可以缩短制造时间。

[0036] 图 1B 为光学系统 13 的示意图，该系统是图 1A 中光学系统 1 的一个实施例。光学系统 13 包括激光束源 14、色散补偿部分 16、分束器系统 18、反射镜 20、微透镜阵列 21、z 轴望远镜 22、第一控制反射镜 24、第一中继器 26、第二控制反射镜 28、第二中继器 30 和聚焦透镜 32。图 1A 中的分束器 4 可以包括分束器系统 18，而且图 1A 中的物镜 8 可以是聚焦透镜 32。图 1A 中的细光束定位系统 6 可以包括 z 轴望远镜 22、第一控制反射镜 24、第一中继器 26、第二控制反射镜 28 和第二中继器 30。

[0037] 光学系统 13 产生多个聚焦激光细光束 36A-36D，这些细光束聚焦在树脂 34 的层上并选择性地固化该树脂 34 的层。光学系统 13 可以封闭在环境受控的环境中，以控制光学系统 13 运行之处的灰尘量和 / 或温度。细光束 36A-36D 穿过光学系统 13 通过基本相等的光学路径长度。一般来讲，穿过光学系统 13 的“光学路径”是一个或多个激光束（或细光束）从激光束源 14 到聚焦透镜 32 的路径。与光学系统 1 一样，光学系统 13 可以用于在光学制造方法中实施，例如多光子光聚合制造方法，在这种情况下，树脂 34 层可以是光敏树脂（如多光子可固化光反应性组合物）层，其多个区域可选择性地被多个聚焦的激光细光束 36A-36D 基本上同时固化。

[0038] 在一个实施例中，树脂 34 的层中的适当多光子可固化光反应性组合物包括至少一种能够发生酸或自由基引发的化学反应的活性物质，以及多光子引发剂系统。使用具有适当波长和足够光强（“阈值强度”）的细光束 36A-36D 对树脂 34 层的区域进行成像照射，

可导致多光子引发剂系统中发生双光子吸收，这将在暴露于光的层的区域引起活性物质发生酸或自由基引发的化学反应，其中光的强度可以是（例如）来自细光束 36A-36D 的近红外光 (NIR) 强度。这种化学反应使暴露于细光束 36A-36D 的树脂 34 的层的区域发生可检测的化学或物理特性变化。可检测的变化的实例包括（例如）交联、聚合、和 / 或与光反应性组合物暴露之前相比溶解度的变化（例如，在特定溶剂中的溶解度更小或更大）。本文将任何这些可检测的变化的出现称为固化，并且这种固化持续到固化物形成为止。固化步骤可以发生在树脂 34 层内的任何区域。该固化步骤之后，可以通过移除层的非固化部分以获得固化物体或从层上移除固化物体本身来可选地形成树脂 34 层。

[0039] 在光学系统 13 的其他应用中，图像平面可以由另一种材料或另一类型的图像平面（如，被测量的表面）构成。此外，术语“平面”并非意图将图像平面限制为基本平坦的表面。虽然本文参照双光子光聚合系统描述光学系统 13，但在其他实施例中，光学系统 13 可以实施到其他多光子光聚合系统和其他光学系统中，以利用可光致固化型材料制造 2D 或 3D 结构。

[0040] 在图 1B 的实施例中，激光束源 14 以一系列脉冲输出激光束 36，这些脉冲的脉冲宽度相对较短（例如小于约 200 飞秒 (fs)，但也可以具体根据光学系统 13 的应用和需求采用其他脉冲宽度）。激光束源 14 可以是（例如）飞秒级激光束发生器，或者可以是短相干光源（例如平行弧灯）。在替代实施例中，激光束源 14 可以是会聚激光束发生器。在又一个实施例中，可以用其他合适的辐射能量源代替激光束源 14。此外，光学系统 13 可以包括一个以上激光束源 14。例如，可能需要不止一个激光束源 14（或其他辐射能量源），以实现每个细光束 36A-36D 的特定功率级别（例如，0.5 瓦特 / 细光束 36A-36D）。另外的激光束源可以设置在邻近激光束源 14 或相对激光束源 14 成任何关系的位置处。例如，可以将不止一个激光束源设置在色散补偿系统 16 的“上游”，使得从多个激光束源发出的多个激光束在穿过色散补偿系统 16 之前会聚。作为另外一种选择，激光束源 14 可以输出不止一个激光束 36。

[0041] 激光束 36 离开激光束源 14 之后，定位反射镜 15 定位激光束 36。在替代实施例中，可以使用不止一个定位反射镜 15 来定位激光束 36，具体取决于激光束 36 的期望传播方向。在其他替代实施例中，可以在光学系统 13 中去除定位反射镜 15，这样激光束 36 可以不改变方向传播到色散补偿系统 16。可以根据光学系统 13 的设计和激光束 36 离开激光束源 14 之后的期望传播方向来修改一个或多个定位反射镜 15 的构造。

[0042] 激光束 36 穿过色散补偿系统 16，以使激光束 36 重新成形并且补偿当激光束 36 穿过光学系统 13 所产生的一些色散。例如，在一些情况下，可能需要在整个光学系统 13 所限定的光学路径上相对较短的脉冲宽度。然而，由于可能会从分束器系统 18、微透镜阵列 21、中继器 26 和 30 之类的光学元件（例如，棱镜、透镜、反射镜等）产生一些伴随色散，激光束 36 的脉冲宽度可能会偏离期望的脉冲宽度范围。色散补偿系统 16 可以沿光学系统 13 设置在树脂 34 层之前的任何位置。此外，在一些实施例中，光学系统 13 可以不包括色散补偿系统 16。

[0043] 穿过色散补偿系统 16 之后，激光束 36 穿过分束器系统 18，该分束器系统 18 将激光束 36 分离为具有基本相等能量的多个细光束 36A、36B、36C 和 36D，并且这些细光束通过基本相等的光学路径长度。尽管图 1B 中示出了四个细光束 36A-36D，但在其他实施例中，

分束器系统 18 可以将激光束 36 分离成任意偶数或奇数个细光束，例如五个、八个、十六个、三十二个等等。此外，分束器系统 18 可以将激光束 36 分离成任意适当数量的细光束，例如几十、几百或几千个细光束。图 5A 和 7A 中示出合适的激光分束器系统 18 的实例实施例。

[0044] 分束器系统 18 包括分束器装置 18A 和聚焦部分 18B。分束器装置 18A 将入射激光束 36 分离成细光束 36A-36D，而聚焦部分 18B 将细光束 36A-36D 排列成线性的细光束阵列。在替代实施例中，聚焦部分 18B 可以将细光束 36A-36D 排列成任意适当的构造，例如 2D 阵列或不规则排列。在一个实施例中，可以通过吸收（例如）奇数个细光束 36A-36D 来获得奇数个细光束。例如，可以用涂覆有适用于吸收细光束的导热材料的黑色金属板来吸收细光束 36A。分束器装置 18A 和聚焦部分 18B 的实例如图 4（分束器装置 100 和聚焦部分 153）和图 6（分束器装置 300 和聚焦部分 356）所示。在替代实施例中，光学系统 13 可以包括不止一个分束器系统。例如，可以在图 1B 所示实施例中的分束器系统 18 之后有第二分束器系统，以将每个细光束 36A-36D 进一步分离为一个或多个细光束。

[0045] 细光束 36A-36D 离开分束器系统 18 后，细光束 36A-36D 在反射镜 20 处反射并转动约 90°，同时保持线性阵列构造。根据光学系统 13 的构造和期望的细光束 36A-36D 的方向，细光束 36A-36D 也可以离开分束器系统 18 不转动约 90° 而穿过 Z 轴望远镜 22 传播，或者作为另外一种选择，细光束 36A-36D 可以在不止一个反射镜 20 处反射或以其他角度改变方向。细光束 36A-36D 的线性阵列移动通过微透镜阵列 21，微透镜阵列 21 聚焦并使细光束 36A-36D 成形。

[0046] 图 2 为微透镜阵列 21 的示意性剖视图。微透镜阵列 21 包括布置为线性阵列的四个微透镜 :42、44、46 和 48。每一个微透镜 42、44、46 和 48 的表面可以是球面，以使每一个细光束 36A-36D 成形，从而实现所需的辐照度。例如，微透镜阵列 21 可以生成会聚的细光束 36A-36D。微透镜 42、44、46 和 48 均可以由熔融二氧化硅或任何其他合适的光学材料制成。优选地，该光学材料为低色散、高热稳定性材料。在图 2 所示的实施例中，微透镜阵列 21 被布置成使得每一个微透镜 42、44、46 和 48 接收细光束 36A、36B、36C 或 36D 中的一个，因此，微透镜 42、44、46 和 48 被布置为与细光束 36A-36D 相同的线性阵列构造。例如，细光束 36A 可以移动通过微透镜 42，细光束 36B 可以移动通过微透镜 44，细光束 36C 可以移动通过微透镜 46，细光束 36D 可以移动通过微透镜 48。

[0047] 在替代实施例中，微透镜阵列 21 包括以任何合适的构造布置的任何适当数量的微透镜。通常，由分束器装置 18 形成的细光束 36A-36D 的数量与微透镜阵列 21 中微透镜的数量相等。此外，这些微透镜通常以与细光束 36A-36D 相同的构造布置。例如，如果从分束器系统 18 发射出一个多行和列的十六个细光束组成的 2D 阵列，那么微透镜阵列 21 将通常包括以相似行和列构造布置的十六个微透镜组成的 2D 阵列，以使每个微透镜与细光束光学对齐。当细光束与微透镜“光学对齐”时，细光束被对齐以穿过微透镜。然而，在其他替代实施例中，微透镜（如，微透镜 42、44、46 或 46）可以接收并聚焦不止一个细光束。在又一个替代实施例中，微透镜阵列 21 可从光学系统 13 中去除。例如，如果激光束源 14 输出会聚光束，那么当激光束 36 和细光束 36A-36D 穿过分束器系统 18 时，激光细光束 36A-36D 可被充分聚焦，因而可以不需要微透镜阵列 21。

[0048] 现在回到图 1B，细光束 36A-36D 穿过微透镜阵列 21 之后，穿过 z 轴望远镜 22。可以通过控制细光束焦点在三维方向（即 :x 轴、y 轴和 z 轴方向）上相对于树脂 34 层的位

置，在树脂 34 层内一个体素一个体素地构造 3D 结构。为说明起见，图 1B 中提供了互相正交的 x-z 轴。z 轴望远镜 22 调整细光束 36A-36D 相对于树脂 34 层的 z 轴位置。除非另外指明，z 轴望远镜 22 在 z 轴方向“扫描”细光束 36A-36D。例如，计算机化设备可以控制 z 轴望远镜 22 来调整细光束 36A-36D 在树脂 34 层内的 z 轴位置。当调整细光束 36A-36D 的 z 轴位置时，光束 36A-36D 中的每一个的焦点同样在树脂 34 内沿 z 轴方向移动。如果需要，细光束 36A-36D 可以调整为具有适当的波长和强度，使得细光束 36A-36D 在其每个焦点处固化树脂 34。因此，z 轴望远镜 22 可以帮助调整在树脂 34 层内制造的 3D 结构的 z 轴维度。z 轴望远镜 22 使得细光束 36A-36D 的 z 轴位置可在不必移动树脂 34 层的情况下进行调整。然而，在一些实施例中，树脂 34 层也可以在 z 轴方向移动，这可用于制造具有特定深度的 3D 结构。例如，在一个实施例中，可以用得自美国宾夕法尼亚州匹兹堡市航空技术公司 (Aerotech，Inc.ofPittsburgh，Pennsylvania) 的控制系统来控制在 x 轴、y 轴和 z 轴方向移动树脂 34 层（或其他工件）的机械设备。移动树脂 34 层还可用于制造大于聚焦透镜 32 的视场 50（图 3A）的结构。

[0049] 穿过 z 轴望远镜 22 之后，细光束 36A-36D 在第一控制反射镜 24 处反射并穿过第一中继器 26。第一控制反射镜 24 为电控反射镜，用来调整光束 36A-36D 传播的角度以及扫描树脂 34 层内的细光束 36A-36D。在图 1B 的实施例中，第一控制反射镜 24 被构造为在 x 轴枢转，以调整细光束 36A-36D 相对于树脂 34 层的 x 轴位置，这使得对细光束 36A-36D 中的每一个所选择性固化的树脂 34 层的区域的 x 轴位置进行选择。第一控制反射镜 24 在 x 轴方向扫描细光束 36A-36D，从而改变细光束 36A-36D 中的每一个的焦点的 x 轴位置。这样，第一控制反射镜 24 帮助调整在树脂 34 层内制造的 3D 结构的 x 轴维度。

[0050] 第一中继器 26 是光学透镜中继器，可以使细光束 36A-36D 有效聚焦在第二控制反射镜 28 上。此外，如下所述，第一中继器 26 帮助细光束 36A-36D 与聚焦透镜 32 的光瞳对齐。

[0051] 第二控制反射镜 28 为调整光束 36A-36D 的传播角度的电控反射镜。第二控制反射镜 28 被构造为在 y 轴枢转，以调整细光束 36A-36D 的 y 轴位置，从而使细光束 36A-36D 相对于树脂 34 层对齐。第二控制反射镜 28 在 y 轴方向扫描细光束 36A-36D，从而改变每一个细光束 36A-36D 的焦点的 y 轴位置。这样，第一控制反射镜 28 帮助调整在树脂 34 层内制造的 3D 结构的 y 轴维度。

[0052] 第一控制反射镜 24 和第二控制反射镜 28 使得可以实现细光束 36A-36D 的小角度倾斜。第一控制反射镜 24 和第二控制反射镜 28 均可以由计算机控制，以准确和精确地控制细光束 36A-36D 的倾斜角度，这使得可用相对小的度数来控制细光束 36A-36D 的位置。这样，由于可在相对小的尺度内控制体素的 x 轴和 y 轴位置，因此第一控制反射镜 24 和第二控制反射镜 28 可用于微米制造和纳米制造。在一个替代实施例中，可以使用检流计代替控制反射镜 24 和 / 或 28。然而，控制反射镜 24 和 28 通常更利于实现小角度的倾斜。在一个实施例中，得自美国新罕布什尔州温德汉姆的纳特菲尔德技术公司 (NutfieldTechnology(Windham，New Hampshire)) 的 WAVERUNNER 控制软件可用于控制 z 轴望远镜 22、第一控制反射镜 24 和第二控制反射镜 28。此外，控制系统（例如可得自美国德克萨斯州奥斯汀的美国国家仪器公司 (National Instruments Corporation of Austin，Texas) 的 NILOOKOUT) 可用于校正细光束 36A-36D 在到达 Z 轴望远镜 22、第一控制反射镜

24 和第二控制反射镜 28 之前的定向误差，以减少在树脂 34 层图像平面处的误差。

[0053] 细光束 36A-36D 从第二控制反射镜 28 处反射开后进入第二中继器 30。在一个实施例中，第一中继器 26 和第二中继器 30 基本上相同。第一中继器 26 和第二中继器 30 为光学透镜中继器，其帮助细光束 36A-36D 与聚焦正透镜 32（也可称为“物镜”透镜）的光瞳有效对齐。通常希望将细光束 36A-36D 与聚焦透镜 32 的光瞳对齐，以避免畸变。通过使细光束 36A-36D 与聚焦透镜 32 的光瞳对齐，可以基本上保持聚焦透镜 32 的数值孔径 (NA)。在一个实施例中，聚焦透镜 32 的 NA 为约 0.5 至约 1.5。通常相对于特定物点或像点（如，树脂 34) 来测量 NA。聚焦透镜 32 的 NA 与每一个细光束 36A-36D 的光斑尺寸有关，该光斑尺寸影响每一个细光束 36A-36D 所形成的体素的尺寸，如下参考图 3D 所述。第一中继器 26 和 / 或第二中继器 30 还可以放大或缩小细光束 36A-36D。

[0054] 聚焦透镜 32 可以包括浸液物镜（例如油浸物镜），以及折射率匹配的流体。可以包括该浸液物镜来消除细光束 36A-36D 的球面像差。聚焦透镜 32 使每一个细光束 36A-36D 紧密聚焦至树脂 34 层中，以达到阈值强度，从而固化暴露于具有至少该阈值强度的细光束 36A-36D 部分的树脂 34 层的区域。由于四个横向放置（即，放置在 x 方向）的细光束 36A-36D 被导向到树脂 34 层，所以树脂 34 的四个单独区域可以几乎被同时固化。

[0055] 图 3A 示出了聚焦透镜 32 的视场 50 的示意图，该视场位于基本上平行于树脂 34 的 x-y 平面的 x-y 平面。视场 50 表示聚焦透镜 32 可以对细光束 36A-36D 进行聚焦的区域。视场 50 内为子域 52、54、56 和 58（虚线表示）。子域 52、54、56 和 58 每一个限定树脂 34 层的一个区域，在这些区域内，各个聚焦细光束 36A、36B、36C 和 36D 分别在 x 轴和 y 轴方向被扫描。因而子域 52、54、56 和 58 限定可以由每一个细光束 36A-36D 固化的树脂 34 层的单个区域。然而，在一些实施例中，子域 52、54、56 和 58 可以重叠。在一个实施例中，可以为每一个子域 52、54、56 和 58 指定 X-Y 轴坐标系，以帮助控制每一个细光束 36A-36D 的 X-Y 轴扫描。例如，可以通过各自的坐标系来将每一个细光束 36A-36D 的焦点（即：细光束 36A-36D 具有足够强度以固化树脂 34 的区域）的 X 和 / 或 Y 坐标控制在各个子域 52、54、56 和 58 内，以选择性地固化树脂 34 层并制造可以（例如）构成 3D 结构的体素。如前所述，望远镜 22 调整细光束 36A-36D 的焦点的 Z 轴位置。

[0056] 由于每一个细光束 36A-36D 被导向到不同的子域 52、54、56 或 58，因此每一个细光束 36A-36D 聚焦并固化树脂 34 的不同区域，从而使光学系统 13 能够并行制造多达四个 3D 结构。在一个实施例中，由于单个细光束 36A、36B、36C 或 36D 聚焦在子域 52、54、56 或 58 的一个之内，因而每个子域 40 可生成一个结构。例如，如图 3A 所示，细光束 36A 在子域 52 内固化树脂 34 以制造结构 53（在图 3A 中示意性地示出），细光束 36B 在子域 54 内固化树脂 34 以制造结构 55（在图 3A 中示意性地示出），细光束 36C 在子域 56 内固化树脂 34 以制造结构 57（示意性地示出），细光束 36D 在子域 58 内固化树脂 34 以制造结构 59（示意性地示出）。当然，如果需要，可在一个或多个子域 52、54、56 或 58 内生成多个结构。此外，根据光学系统 13 制造的结构数，视场 50 可以限定任何适当数量的子域。例如，如图 3A 所示，子域 52、54、56 和 58 的个数可直接与使用光学系统 13 所制造的结构 53、55、57 和 59 的个数成比例。然而，在一些实施例中，不存在这种比例关系。

[0057] 除了并行制造多个结构 53、55、57 和 59 之外，光学系统 13 还可以用于并行制造基本相同的结构 53、55、57 和 59。如前所述，细光束 36A-36D 基本上相同（如，每个均显示具

有基本上相似的能量和光学路径长度）。因此，构成结构 53、55、57 和 59 的每个体素的尺寸基本上相同。光学系统 13 并行制造多个基本相同的结构（例如：53、55、57 和 59）的能力对于批量制造 3D 微结构和 / 或纳米结构具有重大的商业意义。

[0058] 在一个实施例中，视场 50 的 x-y 平面优选地与树脂 34 层的 x-y 平面基本上平行，以保持光学系统 13 的准确度和精确度。图 3B 示出了视场 50 和子域 52、54、56 和 58，以及移位的视场 50’（虚线表示）和子域 52’、54’、56’和 58’（虚线表示），如果树脂 34 层和视场 50 不基本平行（例如，都位于 x-y 平面），则可能导致这种位移。

[0059] 如图 3B 所示，发生位移的子域 52’、54’、56’和 58’可以与除子域 52、54、56 和 58 之外的树脂 34 层的不同区域对齐，这会实际缩小可被细光束 36A-36D 固化的树脂 34 层的总面积。例如，在图 3B 所示的情况下，发生位移的子域 52’、54’、56’和 58’在 y 轴方向移动。如果树脂 34 层在 y 轴方向延伸的距离小于子域 52’、54’、56’和 58’移动的量，那么子域 52’、54’、56’和 58’的一部分会位于树脂 34 层之外。此外，细光束 36A-36D 可能没有与子域 52’、54’、56’和 58’正确对齐，因此它们会在子域 52’、54’、56’和 58’之外被扫描。另外，与子域 52、54、56 和 58 相比，发生位移的子域 52’、54’、56’和 58’的面积减少，从而限制了细光束 36A-36D 在 x-y 平面内可被扫描的面积。

[0060] 聚焦透镜 32 的视场 50 越大，光学系统 13 可支持的子域个数就越多，因而光学系统 13 可并制造的 3D 结构的个数就越多。虽然图 3A 所示的聚焦透镜 32 的视场 50 包括四个子域 52、54、56 和 58 的线性阵列，但是视场 50 可以包括任何合适构造的任意个数的子域。此外，在替代实施例中，子域 52、54、56 和 58 可以重叠。图 3C 示出了视场 60 的替代实施例，其包括多个子域 62，它们被布置为具有多行和列的 2D 阵列。

[0061] 在一个实施例中，聚焦透镜 32 为可得自日本东京尼康公司 (NikonCorporation of Tokyo, Japan) 的尼康 CFI Plan Fluro 20 倍 (Nikon CFI PlanFluro 20X) 物镜。尼康 20 倍 Multi 浸液物镜 (Nikon 20X Multi ImmersionObjective) 的数值孔径为 0.75，视场为 1.1 毫米 (mm)，允许至少 128 个直径各自为 60μm 的子域。

[0062] 图 1B 的光学系统 13 还可以包括共焦界面定位器系统，该系统可用于定位和 / 或跟踪树脂 34 层和其上设置树脂 34 层的基底之间的界面。合适的共焦界面定位系统的例子在此前以引用方式并入的名称为“METHOD AND APPARATUS FOR PROCESSING MULTIPHOTONCURABLE PHOTREACTIVE COMPOSITIONS”（加工多光子可固化光反应性组合物的方法与装置）的美国专利申请 No.60/752,529 中有所描述。

[0063] 在一个实施例中，树脂 34 层可以具有弯曲的外形（如，圆柱形图像平面），其曲率在子域 52、54、56 和 58 处基本平坦。一维阵列（例如，图 3A 所示的阵列）可用于在圆柱形图像平面上打标。

[0064] 图 3D 为曲线图，示出了每一个细光束 36A-36D 在树脂 34 层内的焦点的强度和由对应细光束 36A-36D 所形成的体素尺寸之间的关系，假设树脂 34 层的 x-y 平面在视场 50（图 3A）上基本上平坦。线条 70 对应于细光束 36A 在图 3A 的子域 52 内的焦点，线条 72 对应于细光束 36B 在子域 54 内的焦点，线条 74 对应于细光束 36C 在子域 56 内的焦点，线条 76 对应于细光束 36D 在子域 58 内的焦点。如线条 70 和 76 所示，当细光束 36A 和 36D 的焦点分别处于阈值强度 78 时，体素尺寸 80 和 82（沿图 3D 的 x 轴）基本上相等。阈值强度 78 为固化树脂 34 层的区域所必需的最小强度水平。因此，当细光束 36B 的焦点处于阈

值强度 78 之下时（如线条 72 所指出的那样），由于强度不足以引发必需的树脂 34 的光子吸收，故而细光束 36B 不会固化树脂 34 层。

[0065] 当细光束 36C 的焦点强度大于阈值强度 78 时，由于细光束 36C 焦点处于或高于阈值强度 78 的宽度小于细光束 36A 和 36D 焦点的宽度，所以细光束 36C 通过树脂 34 层形成的体素尺寸 84 大于分别由细光束 36A 和 36D 形成的体素尺寸 80 和 82。当并行形成多个结构（如，结构 53、55、57 和 59，如图 3A 所示）时，不期望具有尺寸不同的体素 80、82 和 84。所以，理想情况是细光束 36A-36D 中每一个的焦点基本上等于阈值强度 78。当然，在一些实施例中，期望并行制造尺寸不同的体素 80、82 和 84。

[0066] 每一个细光束 36A-36D 在树脂 34 层内的焦点的尺寸和位置还可以影响树脂 34 层内被细光束 36A-36D 中的每一个所固化的树脂的量，从而影响细光束 36A-36D 中的每一个所形成的体素的尺寸。如果需要尺寸基本上相同的体素，可能理想的是树脂 34 层的 x-y 平面基本上平坦。如果树脂 34 层的顶面 34A（位于 x-y 平面，如图 3E 所示）包括“波纹”或其他表面畸变，那么每一个细光束 36A-36D 的焦点可能与对应的子域 52、54、56 和 58 内的不同。因而，在一些实施例中，可能需要基本上平坦的树脂 34 层，以在基本上相同的 x-y 平面内制造体素。树脂 34 层的顶面 34A 是树脂 34 层最靠近聚焦透镜 32 的表面。

[0067] 图 3E 为包括顶面 34A 的树脂 34 层的示意性剖视图，并且示出了各自聚焦于树脂 34 层内的细光束 36A-36D。具体地讲，细光束 36A 的焦点 86（即细光束 36A 的强度足以固化树脂 34 的部分）聚焦于子域 52（虚线表示）内，细光束 36B 的焦点 88 聚焦于子域 54（虚线表示）内，细光束 36C 的焦点 90 聚焦于子域 56（虚线表示）内，细光束 36B 的焦点 92 聚焦于子域 58（虚线表示）内。通过树脂 34 层的平坦顶面 34A，细光束 36A-36D 的每一个焦点 86、88、90 和 92 分别具有基本上相同的 z 轴坐标和基本上相同的强度。然而，当树脂 34 层具有不平的顶面 34A’时，树脂 34 层的顶面 34A’的 z 轴坐标不同，这会影响细光束 36A-36D 的焦点 86、88、90 和 92 接触并固化树脂 34 层的能力。例如，在图 3E 所示的示例性实施例中，由于顶层 34A’低于焦点 86，所以细光束 36A 的焦点 86 未接触树脂 34 层。然而，细光束 36B 和 36C 的焦点 88 和 90 分别接触并固化树脂 34 层的区域，以形成 z 轴坐标基本上相似的体素。

[0068] 在一个实施例中，聚焦透镜 32 可以包括自动对焦部件，以帮助调整细光束 36A-36D 的焦点，从而补偿树脂 34 层内的微小变化（例如，不平的部分）。

[0069] 图 4 为根据本发明的一个实施例的分束器装置 100 的透视图。如参照图 5A 与 5B 进一步描述的，分束器装置 100 可以被构造为接纳入射光束（如，图 1B 中的激光束 36），或另一类辐射能光束，并可以将入射光束分离为多个具有基本上相等能量和光学路径长度的细光束（如，图 1B 中的细光束 36A-36D）。由于分束器装置 100 的光学部件（如，分束器装置 102 和多个下面所述的棱镜）的制造公差，细光束之间的能量和光学路径长度可能略有不同。因此，用短语“基本上相等”来描述细光束的能量和光学路径长度。虽然下面所要描述的分束器装置 100 是相对于激光束而言的，但分束器装置 100 也可以将其他类型的光束分离为多个细光束。

[0070] 分束器装置 100 包括立方体分束器 102 和立方体棱镜 104（虚线表示）、106（虚线表示）、108（虚线表示）、110（虚线表示）、112 以及 114。分束器 102 和棱镜 104、106、108、110、112 以及 114 可以由任何合适的光学材料形成，例如熔融二氧化硅。棱镜 104、106、108、

110、112 和 114 与分束器 102 光学接触。也就是说，一束光可以基本无障碍地从分束器 102 传到每个棱镜 104、106、108、110、112 和 114。虽然在图 4 所示的分束器装置 100 的实施例中，棱镜 104、106、108、110、112 和 114 与分束器 102 邻接，但在替代实施例中，棱镜 104、106、108、110、112 和 114 可以与分束器 102 分离，同时仍与其光学接触。

[0071] 立方体分束器 102 为光学装置，其可将激光束或细光束分离成两个具有基本相等能量的细光束，并且可以是 50％能量分束器。在图 4 所示的实施例中，立方体分束器 102 由沿接缝 120 连接的两个三角形玻璃棱镜 116 和 118 构造成。三角形玻璃棱镜 116 和 118 可以用任何合适的连接方式连接，例如加拿大质胶。当激光束或细光束穿过接缝 120 时，光束分离成两个或更多个细光束。因此，接缝 120 也可以称为该立方体分束器 102 的“分光器部分”。

[0072] 立方体分束器 102 具有立方体形状，其包括侧面 102A（虚线表示）、102B（虚线表示）、102C、102D、102E 和 102F，它们都是基本上不反射的，以使得激光束或细光束可以在基本无光学路径障碍的情况下穿过侧面 102A-102F。分束器 102 的侧面 102A 基本上与侧面 102B 和 102D 垂直，侧面 102B 基本上与侧面 102A 和 102C 垂直，侧面 102C 基本上与侧面 102B 和 102D 垂直，而侧面 102D 基本上与侧面 102A 和 102C 垂直。侧面 102E 和 102F 基本上彼此平行，并基本上垂直于侧面 102A-D。分束器 102 的侧面 102A-F 的长度大致相同（在 x-z 平面内测量）。为了有助于描述分束器装置 100，图 4 中示出了 x-y-z 轴，其并不旨在以任何方式限制本发明的范围。该 x-y-z 轴与图 1B 中所示的 x-y-z 轴相对应。在替代实施例中，任何包含基本上相等长度的侧面的分束器都可以代替分束器 102。

[0073] 棱镜 104、106、108、110、112 和 114 为三直角锥棱镜，并且在图 4 所示的实施例中具有基本上相似的尺寸。棱镜 104 和 106 沿着分束器 102 的第一侧面 102A 设置，而棱镜 108 和 110 沿着分束器 102 的第二侧面 102B 设置，棱镜 112 沿着分束器 102 的第三侧面 102C 设置，棱镜 114 则沿着分束器 102 的第四侧面 102D 设置。棱镜 104、106、108、110、112 和 114 之间的相对位置 / 距离参见图 5B 中所述。在图 4 所示的实施例中，棱镜 104、106、108、110、112 和 114 由相同材料形成，并因而具有基本相同的折射率。在替代实施例中，棱镜 104、106、108、110、112 和 114 可由不同材料形成。可以在棱镜 104、106、108、110、112 和 114 与立方体分束器 102 之间设置折射率匹配的流体，以便帮助防止在立方体分束器 102 和一个或多个棱镜 104、106、108、110、112 和 114 之间传播的光束被反射回立方体分束器 102 中或者被反射回对应棱镜 104、106、108、110、112 和 114 中，取决于该光束（或细光束）的传播方向。

[0074] 图 5A 和 5B 分别为根据本发明的分束器系统 150 和分束器装置 100 的的示意图，它们用于将光束分离为多个细光束。系统 150 包括分束器装置 100（显示为沿图 4 中的线 5-5 截取的横截面）、激光束源 152 和聚焦部分 153，其包括反射镜 154 和 156，以及三角形棱镜 158、160、162 和 164。激光束源 152 可以是任何激光束源，并且可以是（例如）图 1B 中的激光束源 14，或可以表示图 1B 中反射镜 17 反射的激光束 36。

[0075] 在分束器系统 150 中，激光束 165 从激光束源 152 发射出，并且在分束器装置 100 的立方体分束器 102 的点 151 处被导向。如下文进一步详细描述的，在激光束 165 穿过分束器装置 100 后，激光束 165 被分离成 16 个细光束 220-235，聚焦部分 153 将其布置成线性的细光束阵列 166。当然，在替代实施例中，分束器装置 100 可以用于将激光束 165 分离成

较少或较多数量的细光束，包括几十、几百或几千个细光束。

[0076] 在一个实施例中，激光束 165 在分束器 102 处被导向，使得光束 165 基本上垂直于立方体分束器 102 的侧面 102A。也就是说，入射激光束 165 与激光束 165 首先接触的立方体分束器 102 的表面之间的角度 0 为约 90° 。如果角度 θ 大于或小于 90° ，那么激光束 165 形成的细光束 220-235 可以横向位移（即，在 x-z 平面内位移）。角度 θ 与 90° 之间的差值可以称为“入射角”。对于小角度，横向位移 D 根据以下公式可以近似为 ：

[0077] D = t*I*((N-1)/N)

[0078] 在该公式中，t 为单个细光束穿过分束器装置 100 的总光学路径，I 为激光束 165 的入射角，并且 N 为制造立方体分束器 102 与棱镜 104、106、108、110、112 和 114 所用材料（如，玻璃）的折射率。例如，如果入射角 I 为约 1° （或约 0.01745 弧度），t 为约 224mm，N 为 1.5，那么离开分束器装置 100 的每个细光束 220-235 距离垂直出口位置的横向位移 D 为约 1.33mm。

[0079] 如果激光束 165 从标称位置横向移动（即从点 151 沿 z 轴移动），从分束器装置 100 输出的细光束 220-235 也会横向移动（就细光束 220-235 而言，横向移动是在 x 轴方向上）相同的量。然而，分束器装置 100 被布置成使得激光束 165 形成的每个细光束穿过所有棱镜 104、106、108、110、112 和 114，并以线性阵列 166 离开装置 100，无论激光束 165 的入射角如何。

[0080] 此外，当入射激光束以非垂直角度导向到分束器 100 时，如果离开分束器 100 的细光束 220-235 不平行，则会具有球面像差。在一些实施例中，如果入射角较小（如，约 1° 或更小），细光束 220-235 的任何像差都可以忽略不计。此外，如果分束器装置 100 用于图 1B 中的系统 13，那么浸液透镜可用来降低进入分束器 100 的会聚激光束的球面像差。

[0081] 如前文所述，分束器装置 100 包括分束器 102 和多个棱镜 104、106、108、110、112 和 114。棱镜 104、106、108、110、112 和 114 相对于彼此移动，以便获得基本上相等的光学路径长度，同时仍保持相邻细光束 220-235 之间的间距 P。如图 5B 所示，距离 D_1-D_6 表示棱镜 104、106、108、110、112 和 114 之间的示例性布置方式，这些棱镜用于生成以基本上相等的光学路径长度穿过分束器装置 100 的细光束 220-235，其中相邻细光束 220-235 之间的间距 P 是预定的。在替代实施例中，棱镜 104、106、108、110、112 和 114 可以用别的方式布置，以获得以基本上相等的光学路径长度穿过分束器装置 100 的细光束 220-235。

[0082] 棱镜 104、106 和 112 沿 x 轴方向设置（以下称为“x 轴棱镜”），而棱镜 108、110 和 114 沿 z 轴方向设置（以下称为“z 轴棱镜”）。x 轴棱镜以在操作上相关的方式移置，而 z 轴棱镜以在操作上相关的方式移置。此外，x 轴棱镜 104、106 和 112 的距离 D_4-D_6 是根据由分束器装置 100 生成的细光束 220-235 之间的所期望间距选定的。

[0083] 对于 z 轴棱镜 108、110 和 114，距离 D_1 是在 z 轴方向从棱镜 108 的中心轴 108A 到分束器 102 的侧面 102A 测量的。距离 D_2 是在 z 轴方向从棱镜 114 的中心轴 114A 到分束器 100 的侧面 102A 测量的。距离 D_3 是在 z 轴方向从棱镜 110 的中心轴 110A 到分束器 100 的侧面 102A 测量的。距离 D_3 大于距离 D_2，距离 D2 大于 D_1。

[0084] 在图 5B 所示的实施例中，每个距离 D_1、D_2 和 D_3 根据以下公式计算 ：

[0085] $$Z_n = \sum_{n=1}^{s-1} \frac{n \cdot L}{2}$$

[0086] Z_n 为从分束器 102 的侧面 102A 到从分束器 102 的侧面 102A 的第 n 个 z 轴棱镜的中心轴的 z 轴距离（如，对于棱镜 108，n = 1；对于棱镜 114，n = 2；而对于棱镜 110，n = 3），L 为与分束器 102 相邻的 z 轴棱镜侧面的 z 轴尺寸（如，图 5B 中所示的棱镜 108 的侧面 108B 的尺寸 L），而 s 等于入射光束 165 的被分离的次数。上面给出的计算 Z_n 的公式假定所有 z 轴棱镜的尺寸基本相同，而且每个 z 轴棱镜的尺寸 L 大于由分束器装置 100 生成的细光束总数乘以细光束 220-235 之间的间距 P。

[0087] 对于 x 轴棱镜，距离 D_4 是在 x 轴方向从棱镜 106 的中心轴 106A 到分束器 102 的侧面 102B 测量的。距离 D_5 是在 x 轴方向从棱镜 112 的中心轴 112A 到分束器 100 的侧面 102B 测量的。距离 D_6 是在 x 轴方向从棱镜 104 的中心轴 104A 到分束器 100 的侧面 102B 测量的。距离 D_6 大于距离 D_5，距离 D5 大于 D_4。

[0088] 在图 5B 所示的实施例中，每个距离 D_1、D_2 和 D_3 根据以下公式计算：

[0089] $$X_n = \sum_{n=1}^{s-1} \frac{n \cdot M}{2} + P \cdot 2^{(n-2)}$$

[0090] X_n 为从分束器 102 的侧面 102B 到从分束器 102 的侧面 102B 的第 n 个 x 轴棱镜的中心的 x 轴距离（如，对于棱镜 106，n = 1；对于棱镜 112，n = 2；而对于棱镜 104，n = 3），M 为与分束器 102 相邻的 x 轴棱镜侧面的 x 轴尺寸（如，图 5B 中所示的棱镜 112 的尺寸 M），P 为细光束 220-235 之间的间距（如图 5B 所示），且 s 等于入射光束 165 被分离的次数。细光束 220-235 之间的间距 P 大体为 x-z 平面中相邻细光束 220-235 之间的间距。间距 P 的公差通常取决于分束器装置 100 的应用。例如，如果细光束 220-235 与微透镜阵列对齐，间距公差可取决于阵列中每个微透镜之间的间距，以及微透镜的尺寸。与上文用于计算从分束器的侧面 102A 到每个 x 轴棱镜中心的 z 轴距离 Z_n 的公式一样，上面给出的用于计算 X_n 的公式假定所有 x 轴棱镜的尺寸基本相似，而且每个 z 轴棱镜的尺寸 L 大于由分束器装置 100 生成的细光束的总数乘以细光束 220-235 之间的间距 P。

[0091] 分束器 102 的侧面 102A 仅用作描述 z 轴棱镜 108、110 和 114 之间间距的基准点，侧面 102B 仅用作描述 z 轴棱镜 104、106 和 112 之间间距的基准点。应该理解，棱镜 104、106、108、110、112 和 114 之间的间距也可以参照分束器装置 100 的其他部分进行描述，甚至可以彼此参照。然而，为了便于描述，在当前描述中将分束器 102 的侧面 102A 和 102B 作为基准点。

[0092] 如图 5B 所示，光束分离系统 150 将从激光束源 152 射出的激光束 165（其可以是平行、会聚或离散的激光束）转换成 16 个细光束 220-235，每个细光束都具有基本相等的能量，而且都以基本相等的光学路径长度穿过分束器装置 100。更具体地讲，当激光束 165 在区域 180 穿过分束器 102 的分光器部分 120 时，激光束 165 分离成细光束 182 和 184。例如，当分束器 102 为由两个三角形棱镜形成的立方体分束器，并且在分光器部分 120 处用加拿大质胶粘在一起，分光器部分 120 处的质胶厚度 T 可以调整为使得对于特定波长的光而言，激光束 165 的一半（即细光束 182）可以向棱镜 106 反射约 90°，而激光束 165 的另一半（即细光束 184）穿过分光器部分 120 朝棱镜 108 传播。

[0093] 在细光束 182 和 184 由入射激光束 165 形成之后，细光束 182 和 184 穿过第一棱镜通道。具体地讲，细光束 182 穿过棱镜 106，而细光束 184 穿过棱镜 108。在此第一棱镜通道，细光束 182 和 184 分别以基本相等的光学路径长度穿过分束器 102 以及棱镜 106 和

108，而不管激光束 165 穿过分光器部分 120 的哪个区域而分离为细光束 182 和 184，也不管细光束 182 和 184 分别从何处进入棱镜 106 和 108。基本相等的光学路径长度可归因于许多因素，包括分束器 102 的相等长度的侧面 102A-102F，棱镜 106 和 108 的基本相等的尺寸，以及该分束装置 100 的构造，即包括根据上文给出的分别计算 X_n 和 Z_n 的公式分别相对于分束器 102 的侧面 102B 和 102A 设置的棱镜 106 和 108。

[0094] 另外形成对于细光束 182 和 184，以及在其他棱镜通道形成的细光束之间基本相等的光学路径长度的因素为每个立方体棱镜 104、106、108、110、112 和 114 的对称性。入射光束在第一点处进入每个立方体棱镜 104、106、108、110、112 和 114，并在第二点处离开立方体棱镜 104、106、108、110、112 或 114，其中该第一点和第二点距离基准点是基本等距的。例如，对于立方体棱镜 106，基准点为顶点 106D。以细光束 182 为示例，细光束 182 在点 183A 处进入立方体棱镜 106，在点 183B 处离开。点 183A 和 183B 与立方体棱镜 106 的顶点 106D 是基本上等距的。棱镜 106、108、110、112 和 114 能找到相似的基准点。

[0095] 在一替代实施例中，不是具有基本上相等的光学路径长度，而是通过调整立方体分束器 102 的尺寸（即，用具有不相等侧面的分束器代替分束器 102）、三直角锥棱镜 104、106、108、110、112 和 114 的相对尺寸或立方分束器 102 与至少一个三直角锥 104、106、108、110、112 或 114 之间的相对间距（如，立方体分束器 102 的表面 102B 与棱镜 108 的表面 108B 之间的相对间距），在各个棱镜通道的细光束之间采用预定的光程差。

[0096] 在细光束 182 和 184 分别离开棱镜 106 和 108 之后，在区域 186 穿过分束器 102 的分光器部分 120，从而分离成四个细光束 188、190、192 和 194。之后，细光束 188、190、192 和 194 穿过第二棱镜通道。在第二棱镜通道中，细光束 188 和 190 从分光器部分 120 向棱镜 112 反射约 90°，而细光束 192 和 194 穿过分光器部分 120 透射向棱镜 114。由于棱镜 112 和 114 的布置方式，而且因为棱镜 112 和 114 具有基本相等的尺寸，细光束 188、190、192 和 194 又以基本相等的光学路径长度通过各自的棱镜 112 和 114。

[0097] 离开各自的棱镜 112 和 114 时，细光束 188、190、192 和 194 在区域 196 穿过分束器 102 的分光器部分 120，并分离成八个细光束 200-207。具体地讲，细光束 188 分离为细光束 200 和 201，细光束 190 分离为细光束 202 和 203，细光束 192 分离为细光束 204 和 205，细光束 194 分离为细光束 206 和 207。在第三棱镜通道中，细光束 200、202、204 和 206 随后穿过棱镜 110，而细光束 201、203、205 和 207 随后穿过棱镜 114。与先前的棱镜通道一样，在第三棱镜通道中，细光束 200-207 以基本相等的光学路径长度穿过分束器装置 100。

[0098] 穿过各自的棱镜 110 和 114 后，细光束 200-207 再次穿过分束器 102 的分光器部分 120，并进一步分离成总共十六个细光束 220-235。具体地讲，细光束 200 分离成细光束 220 和 221，细光束 201 分离成细光束 222 和 223，细光束 202 分离成细光束 224 和 225，细光束 203 分离成细光束 226 和 227，细光束 204 分离成细光束 228 和 229，细光束 205 分离成细光束 230 和 231，细光束 206 分离成细光束 232 和 233，细光束 207 分离成细光束 234 和 235。

[0099] 聚焦部分 153（图 5A 所示）将细光束 220-235 重组为细光束阵列 166。将细光束 220-235 布置为阵列 166 在分束器装置 100 的一些应用中是可取的。例如，如果将分束器装置 100 结合在图 1B 的光学系统 13 中，细光束 220-235 可以被布置为与微透镜阵列（如，图 1B 中的微透镜阵列 21）中的微透镜平行。

[0100] 如前文所述，聚焦部分 153 包括反射镜 154 和 156，以及三角形棱镜 158、160、162 和 164。反射镜 154 在 x-z 平面调节细光束 220、222、224、226、228、230、232 和 234 的方向。细光束 220、222、224、226、228、230、232 和 234 随后穿过棱镜 158，棱镜 158 将细光束 220、222、224、226、228、230、232 和 234 的方向调节约 90° 射向棱镜 160。反射镜 156 在 x-z 平面调节细光束 221、223、225、227、229、231、233 和 235 的方向，以使细光束 221、223、225、227、229、231、233 和 235 定位朝向棱镜 164。细光束 221、223、225、227、229、231、233 和 235 随后穿过棱镜 164，棱镜 164 将细光束 221、223、225、227、229、231、233 和 235 以约 90° 反射向棱镜 162。棱镜 160 和 162 被布置为彼此相邻，使得当细光束 220-235 穿过各自的棱镜 160 和 162 时，每个细光束 220-235 都可枢转约 90°，并彼此基本相邻地布置成线性的细光束阵列 166。

[0101] 在替代实施例中，聚焦部分 153 可以包括其他构造和部件，以便将细光束 220-235 布置成细光束阵列。此外，分束器装置 100 可用来形成除线性阵列之外其他布置方式的细光束 220-235，例如 2D 阵列（如，矩形阵列）。为了获得 2D 阵列，x 轴棱镜 104、106 和 112 可以在 y 轴方向位移（垂直于图像平面）。作为另外一种选择，聚焦部分 153 包括被构造为可将细光束 220-235 布置成 2D 阵列的光学元件（如，反射镜和 / 或棱镜）。

[0102] 虽然在图 5B 示出的实施例中细光束 220-235 是同相的，但在替代实施例中，细光束 220-235 不是同相的。这可以通过（例如）其他外部光学器件和聚焦部分 153 的其他构造实现。

[0103] 间距 P_1 也等于细光束 188 和 190 之间，以及细光束 192 和 194 之间的间距。在一个实施例中，距离 D_7 基本上等于约二分之一间距 P_1（即 $^1/_2P_1$）。要改变间距 P_1，可以使距离 D_1 和 D_4 相对于彼此改变。要改变间距 P_{2A}，即第一对细光束 200 和 202 与第二对细光束 204 和 206 之间的侧向间距，可以使距离 D_2 和 D_5 相对于彼此调整。也可以使距离 D_2 和 D_5 相对于彼此调整，从而改变第一对细光束 201 和 203 与第二对细光束 205 和 207 之间的间距 P_{2B}。也可以使距离 D_3 和 D_6 相对于彼此调整，以改变第一四组合细光束 221、223、225 和 227 与第二四组合细光束 229、231、233 和 235 之间的间距 P_{3A}。调整距离 D_3 和 D_6 还可以改变第一四组合细光束 220、222、224 和 226 与第二四组合细光束 228、230、232 和 234 之间的间距 P_{3B}。在图 5B 所示的实施例中，间距 P、P_1、P_{2A}、P_{2B}、P_{3A}、P_{3B} 基本上相等。在图 5B 所示的实施例中，距离 D8 基本上等于约 1.5P。

[0104] 在序列棱镜通道中棱镜之间的距离与在该序列棱镜通道之后生成的细光束间距之间的示例性关系在另外的棱镜通道中可以重复。

[0105] 作为另外一种选择，细光束 220-235 之间的间距 P 也可以通过在分束器 102 的非反射侧面 102A 与棱镜 104 和 106 之间、在分束器 102 的非反射侧面 102B 与棱镜 108 和 110 之间、在分束器 102 的非反射侧面 102C 与棱镜 112 之间，以及在分束器 102 的非反射侧面 102D 与棱镜 114 之间放置一层折射率匹配的流体来调整。这使得无需拆卸分束器装置 100 就可以调整细光束 200-235 之间的间距 P。

[0106] 虽然阵列 166 中的细光束 220-235 基本上平行，而且彼此不干涉，但在一些应用中，例如在一些计量学应用中，可能期望细光束 220-235 中的至少两个干涉。因此，在替代实施例中，两个或更多个细光束 220-235 之间的间距可以调整，以使得两个或更多个细光束 220-235 部分或全部重叠，从而产生干涉作用。

[0107] 在替代实施例中，分束器装置 100 可以包括更少或更多数量的棱镜 104、106、108、110、112 和 114，以便将入射激光束 165 分离成更少或更多数量的细光束。利用分束器装置 100，可以形成具有 2^n 个细光束的 2D 阵列，其中 n 等于入射激光束 165 穿过分束器 102 的分光器部分 120 的次数。为了获得偶数个细光束，需要 (2*n)-2 个棱镜。因此，如果需要 32 个细光束，分束器装置应包括八个棱镜。即：

[0108] 32 个细光束 $= 2^n = 2^5$（因此，n = 5）

[0109] 所需棱镜数量 = (2*n)-2 = (2*5)-2 = 8

[0110] 如果在分束器装置 100 上添加另外的棱镜，x 轴棱镜可以根据上文中计算 X_n 的公式间隔开，而 z 轴棱镜可以根据上文中计算 Z_n 的公式间隔开。

[0111] 虽然图 4-5B 的实施例中示出的是立方体棱镜，但在其他实施例中也可以用其他类型的棱镜代替立方体棱镜 104、106、108、110、112 和 114。一般来讲，在合适的棱镜中，入射光束在第一点进入棱镜，并在第二点离开棱镜，其中第一和第二点距离基准点基本上是等距的。例如，对于立方体棱镜 104，基准点为点 104A。以细光束 201 为示例性实例，细光束 201 在点 240 处进入棱镜 104，并在点 242 处离开。点 240 和 242 与棱镜 104 的点 104A 基本上是等距的。包括这种结构的其他合适的棱镜包括但不限于五棱镜（如图 6 所示）或波罗棱镜。

[0112] 图 6 根据本发明的另一个实施例示出了分束器装置 300，其包括三个分束器 302、304 和 306，以及四个围绕分束器 302、304 和 306 设置的五棱镜 308、310、312 和 314。在一个实施例中，分束器 302、304 和 306 彼此相同，而且每个都可以与图 4-5B 中分束器装置 100 的 50％能量的立方体分束器 102 相类似。在替代实施例中，分束器 302、304 和 306 可以是任何其他类型的包含基本相等长度侧面（在 x-z 平面测量）的分束器。例如，在图 6 所示的实施例中，分束器 302 的侧面 302A、302B、302C 和 302D 的长度基本相等，分束器 304 的侧面 304A、304B、304C 和 304D 的长度基本相等，分束器 306 的侧面 306A、306B、306C 和 306D 的长度基本相等。

[0113] 分束器 302 包括分光器部分 316，其可以是（例如）一条接缝，两个三角形棱镜在该接缝处连接而形成分束器 302。相似地，分束器 304 包括分光器部分 318，而分束器 306 包括分光器部分 320。在图 6 所示的实施例中，分束器 302、304 和 306 被布置为彼此相邻，但分光器部分 316、318 和 320 在 x-z 平面内相对于彼此移动。分光器部分 316、318 和 320 之间的位移由棱镜 308、310、312 和 314 之间的位移所致，如下面参照图 7B 进一步所述。

[0114] 五棱镜 308、310、312 和 314 每个都是五面的棱镜。如参照图 7A 和 7B 所描述的，光束在棱镜 308、310、312 或 314 的两个侧面反射，这使得光束偏离约 90°。五棱镜 308、310、312 和 314 围绕立方体棱镜 302、304 和 306 布置，以使得在每个棱镜通道中，细光束以基本上相似的光学路径长度穿过分束器装置 300。五棱镜 308、310、312 和 314 与分束器 302、304 和 306 之间的布置方式参照图 7B 进行描述。

[0115] 图 7A 为根据本发明的分束器系统 350 的示意图，该系统用于将光束分离为多个细光束。系统 350 包括分束器装置 300（如沿图 6 中的线 7-7 截取的横截面所示）、激光束源 352、聚焦透镜 353、浸液透镜（未示出）、聚焦部分 356，该聚焦部分包括第一组透镜 358 和 360、反射镜 362 和 364、第二组透镜 366 和 368，以及三角形反射镜 370 和 372。在图 7A 所示的实施例中，激光束源 352 射出会聚激光束 374。在替代实施例中，激光束源 352 可以是

任何辐射能光束源。

[0116] 在分束器系统 350 中，具有相对较低数值孔径 (NA)（如，小于或等于约 0.04) 的会聚激光束 374 从激光束源 352 射出并导向到分束器装置 300 的立方体分束器 302。会聚激光束 374 由多个会聚光束组成，其通过会聚透镜 353 会聚成单一的激光束，该激光束最终分离成多个细光束 400-407。依据激光束源 352 与分束器系统 300 之间的距离，会聚激光束 374 可以分离成多个会聚细光束，这些会聚细光束在离开分束器装置 300 后会聚成聚焦细光束。更具体地讲，在穿过分束器 302、304 和 306 以及五棱镜 308、310、312 和 314 之后，激光束 374 被分离成八个具有基本相等能量的细光束 400-407。此外，这八个细光束中的每一个都以基本相等的路径长度穿过分束器装置 300。聚焦部分 356 可将从分束器装置 300 输出的细光束 400-407 排列成线性的聚焦细光束阵列 376。因此，如果细光束 400-407 用于光学系统（如，图 1B 中的光学系统 13) 中，可以不必使用微透镜阵列来聚焦细光束 400-407。

[0117] 如图 7B 所示，在激光束 374 被导入分束器 302 后，激光束 374 穿过分束器 302 的分光器部分 316，并分离成细光束 380 和 382。细光束 380 在 x-z 平面从入射激光束 374 的方向 384 枢转约 90°，同时细光束 382 沿方向 384 穿过分光器部分 316 射向五棱镜 312。随后，在第一棱镜通道中，细光束 380 穿过五棱镜 308，而细光束 382 穿过五棱镜 312。更具体地讲，细光束 380 穿过侧面 308B 进入棱镜 308，在五棱镜 308 的侧面 308D 反射，枢转约 45°，并在侧面 308E 反射，然后穿过侧面 308C 离开棱镜 308。相似地，细光束 382 通过穿过侧面 312B 进入棱镜 312 而穿过五棱镜 312，在侧面 312D 反射，枢转约 45° 并在侧面 312E 反射，然后穿过侧面 312C 离开棱镜 312。

[0118] 与立方体棱镜 104、106、108、110、112 和 114 一样，入射光束在第一点处进入五棱镜（如，五棱镜 308、310、312 或 314)，并在第二点处离开该棱镜，其中第一点和第二点距离基准点是基本上等距的。例如，对于五棱镜 308，基准点为顶点 308A。以细光束 380 为示例性实例，细光束 380 在点 385A 处进入五棱镜 308，并在点 385B 处离开。点 385A 和 385B 距离五棱镜 308 的顶点 308A 基本上是等距的。棱镜 310、312 和 314 也能找到类似的基准点。

[0119] 在离开棱镜 308 和 312 之后，细光束 380 和 382 分别穿过分束器 306 的分光器部分 318 的区域 386。在穿过分束器 306 的分光器部分 318 之后，细光束 380 分离成细光束 388 和 390，而细光束 382 分离成细光束 392 和 394。在第二棱镜通道中，细光束 388 和 392 穿过五棱镜 310，而细光束 390 和 394 穿过五棱镜 314。具体地讲，细光束 388 和 392 分别穿过侧面 310B 进入棱镜 310，在侧面 310D 反射，枢转约 45° 并在侧面 310E 反射，然后穿过侧面 310C 离开棱镜 310。细光束 390 和 394 分别穿过侧面 314B 进入棱镜 314，在侧面 314D 反射，枢转约 45° 并在侧面 314E 反射，然后穿过侧面 314C 离开棱镜 314。

[0120] 在离开各自的棱镜 310 和 314 后，细光束 388、390、392 和 394 穿过棱镜 306 的分光器部分 320 的区域 396，并进一步分离成总共八个细光束 400-407。细光束 388 分离成细光束 400 和 401，细光束 390 分离成细光束 402 和 403，细光束 392 分离成细光束 404 和 405，细光束 392 分离成细光束 406 和 407。

[0121] 如图 7A 所示，聚焦部分 356 可将细光束 400-407 布置为细光束阵列 376，其可以（例如）引入微透镜阵列（如，图 2 中的微透镜阵列 21)，以用于多光子光聚合制造方法。第一组透镜 358 和 360 使细光束 400-407 平行并重导向到各自的反射镜 362 和 364 上。具体地讲，细光束 400、402、404 和 406 穿过透镜 358，并且被平行校准及重新导向到反射镜 362

上，而细光束 401、403、405 和 407 穿过透镜 360，并且被平行校准及重新导向到反射镜 360 上。细光束 400、402、404 和 406 在反射镜 362 上反射，而细光束 401、403、405 和 407 在反射镜 364 上反射。反射镜 362 和 364 朝第二组透镜 366 和 368 反射各个细光束 400-407，透镜 366 和 368 可聚焦细光束 400-407。由于细光束 400-407 之前已被透镜 358 和 360 平行校准，所以细光束 400-407 被聚焦。

[0122] 穿过透镜 366 之后，细光束 400、402、404 和 406 从三角形反射镜 370 上反射。穿过透镜 368 之后，细光束 401、403、405 和 407 从三角形反射镜 372 上反射。反射镜 370 和 372 设置为彼此相邻，使得当细光束 400-407 从各自的三角形反射镜 370 和 372 反射时，每个细光束 400-407 都可枢转约 90°，并彼此基本相邻地布置成细光束线性阵列 376。

[0123] 与图 5A 中分束器系统 150 的聚焦部分 153 一样，聚焦部分 356 可以包括其他构造和部件，以便将细光束 400-407 布置为细光束阵列。例如，可以用平面反射镜代替三角形反射镜 370 和 372，以便以约 90° 反射细光束 400-407。此外，聚焦部分 356 可以将细光束 400-407 布置成其他结构，例如 2D 阵列或其他非线性阵列。

[0124] 为了使每个棱镜通道中的细光束以基本相等的光学路径长度穿过分束器 300，以及为了获得细光束 400-407 之间的期望间距 P_4，五棱镜 308、310、312 和 314 之间有少量位移。结合分束器 302、304 和 306 对该位移进行了最好的描述。在图 6 所示的布置方式中，五棱镜 308 的顶点 308A 和五棱镜 312 的顶点 312A 是未对齐的。因此，五棱镜 312 的非反射侧面 312B 与分束器 302 的侧面 302B 对齐并且相邻，而五棱镜 308 的非反射侧面 308B 相对于分束器 302 的侧面 302C 偏移距离 S_1。位移距离 S_1 也可以称为五棱镜 308 与 312 之间的“位移距离”。五棱镜 308 的非反射侧面 308C 与分束器 304 的侧面 304D 也对齐并且彼此相邻，而五棱镜 312 的非反射侧面 312C 相对于分束器 304 的侧面 304A 偏移距离 S_2。距离 S_1 与 S_2 基本上相等，因为分束器 302 和 304 的尺寸基本上相等，并且五棱镜 308 和 312 的尺寸也基本上相等。距离 S_1 和 S_2 根据第一棱镜通道后细光束 388 和 392 之间的所需间距 P_3 选定。间距 P_3 也等于细光束 390 和 394 之间的间距。一般来讲，距离 S_1 和 S_2 都基本等于 P_3。

[0125] 五棱镜 310 和 312 也相对于彼此移位。更具体地讲，五棱镜 310 的顶点 310A 和五棱镜 314 的顶点 314A 是不对齐的。因此，五棱镜 310 的非反射侧面 310B 与分束器 304 的侧面 304C 对齐并且相邻，而五棱镜 314 的非反射侧面 314B 相对于分束器 304 的侧面 304B 移动距离 S_3。位移距离 S_3 也可以称为五棱镜 308 与 312 之间的位移距离。五棱镜 314 的非反射侧面 314C 与分束器 306 的侧面 306A 也对齐并且彼此相邻，而五棱镜 310 的非反射侧面 310C 相对于分束器 304 的侧面 304A 偏移距离 S_4。距离 S_3 和 S_4 基本上相等，因为分束器 304 和 306 的尺寸基本上相等，并且五棱镜 310 和 314 的尺寸也基本上相等。距离 S_3 和 S_4 根据 P_3 和 P_4 之间的所需相对间距选定，P4 为细光束 400、402、404 和 406 之间的间距，其也等于细光束 401、403、405 和 407 之间的间距。在图 7B 所示的实施例中，间距 P_4 基本上等于间距 P_3。一般来讲，距离 S_3 和 S_4 都基本上等于 P_4。

[0126] 在替代实施例中，分束器装置 300 可以将激光束 374 分离成八个以上的细光束。例如，可以在聚焦部分 356 之前添加另外的分束器和五棱镜“组”，从而增加另外的用于使细光束 400-407 穿过的棱镜通道。分束器和五棱镜组为分束器，一个五棱镜被布置为与该分束器相邻，并且一个五棱镜相对于该分束器位移，位移距离通常等于通过棱镜通道的细

光束之间的间距。例如，在图 7B 中，分束器 306 与五棱镜 310 和 314 构成了分束器和五棱镜组。在图 7B 所示的实施例中，添加分束器和五棱镜组可使细光束的数量增加为原来的两倍。

[0127] 本发明涉及一种分束器装置，所述分束器装置包括一个或多个分束器以及围绕该一个或多个分束器设置的多个棱镜，该多个棱镜的构造允许该一个或多个分束器形成的细光束以基本相等的光学路径长度穿过该分束器装置。此外，该分束器将激光束分离为具有基本相等能量的细光束。

[0128] 本文描述了本发明的多种实施例。这些及其他实施例均在以下权利要求书的范围内。

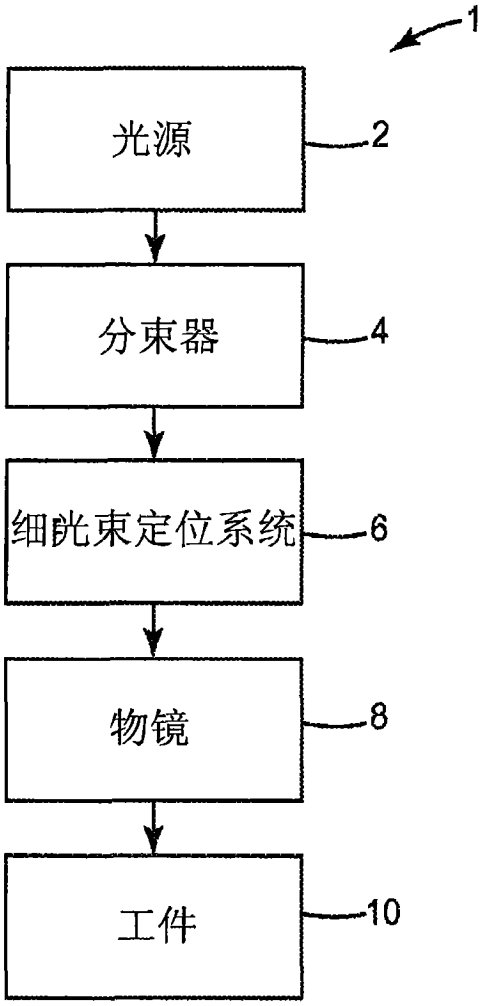


图 1A

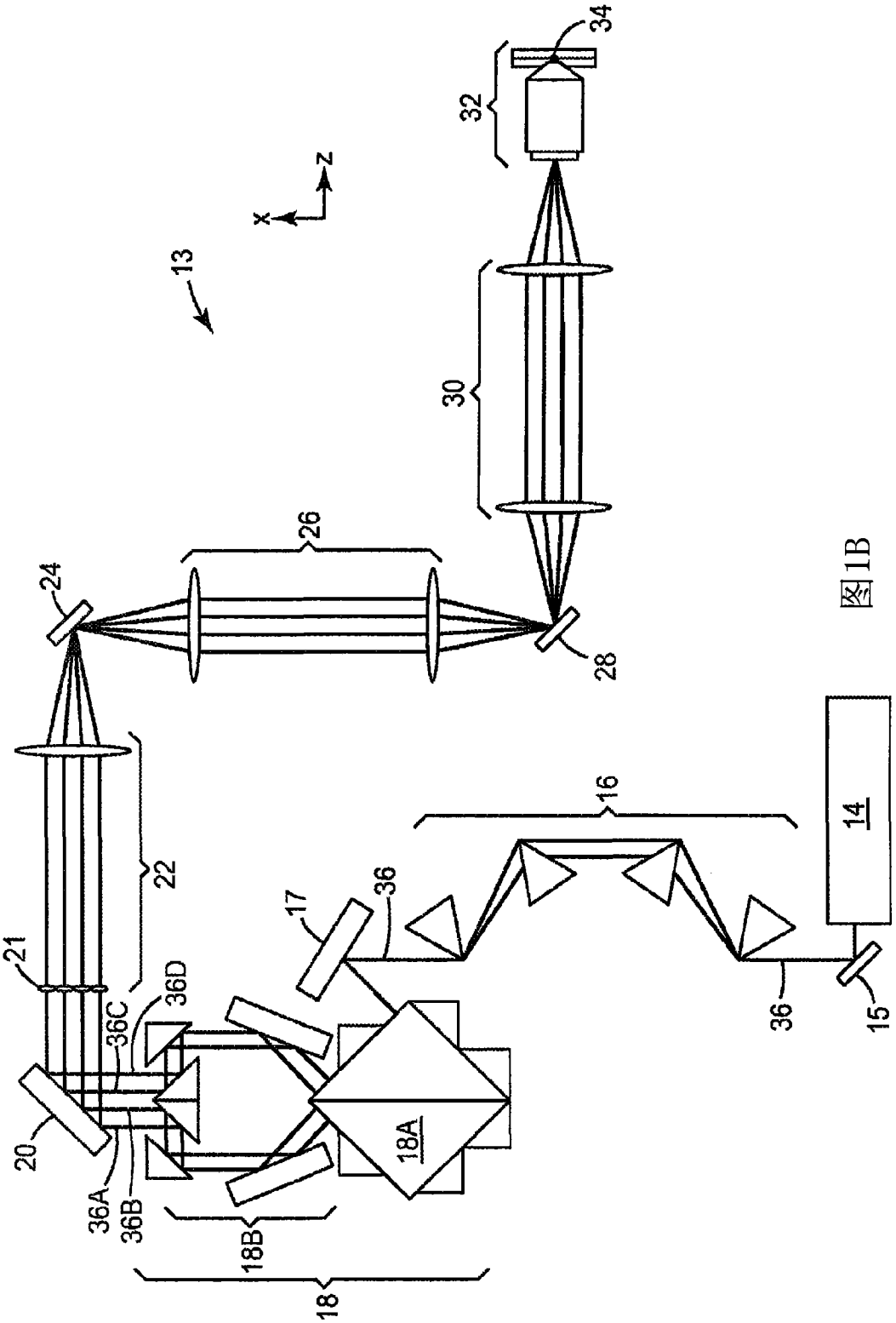

34
32
z
x
13
30
26
24
28
22
16
14
21
17
36
36D
36C
36
15
20
18A
36A
36B
18B
18

图1B

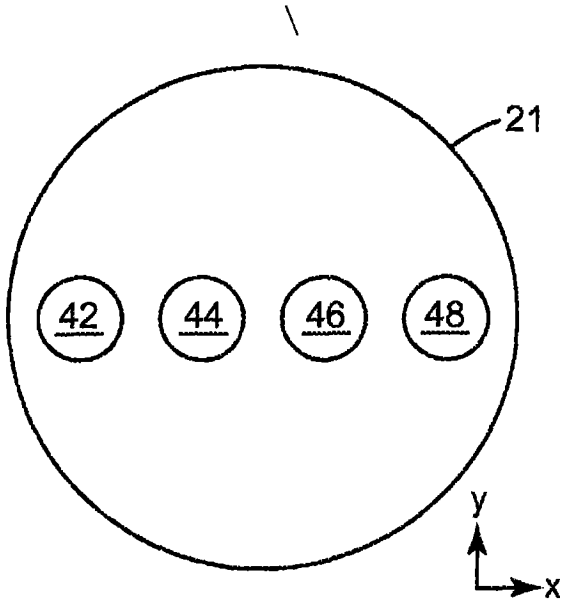


图 2

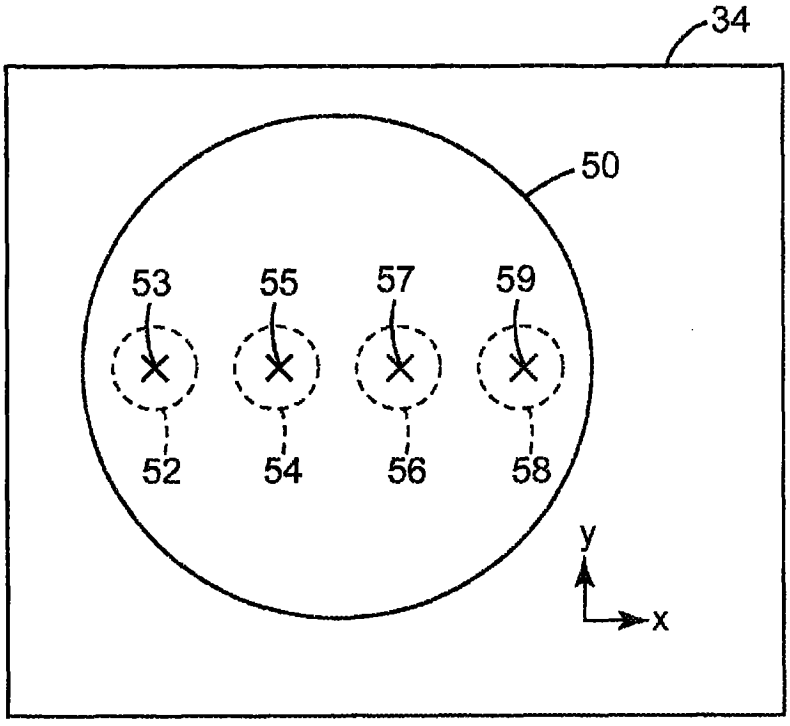


图 3A

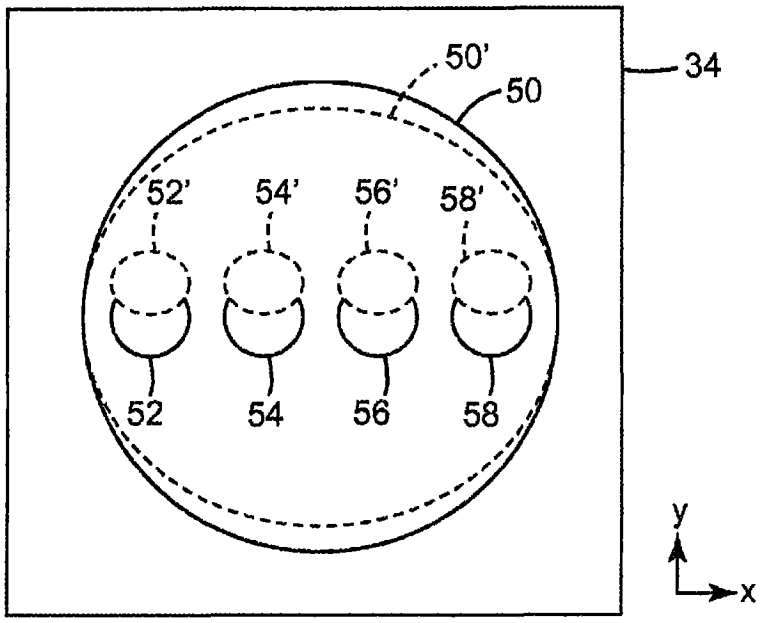


图 3B

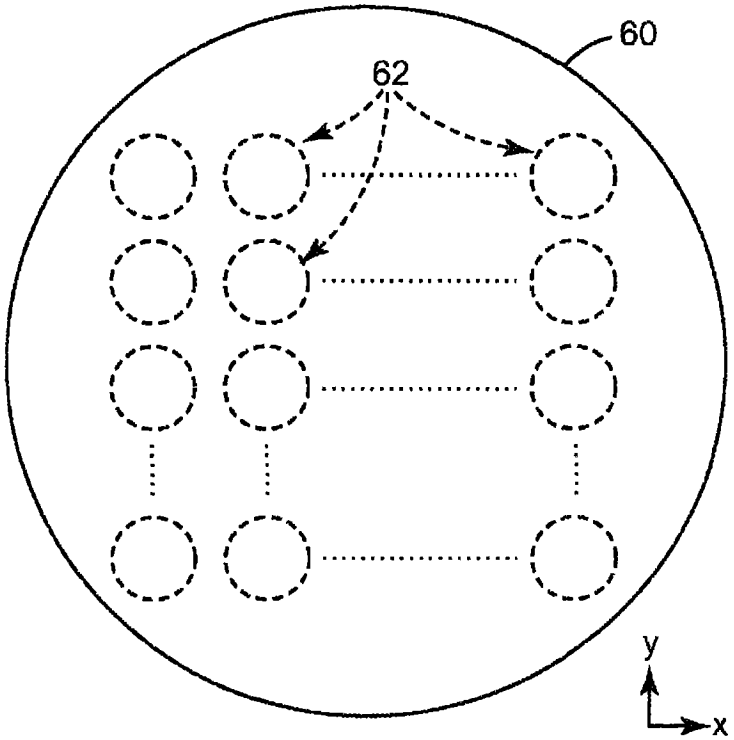


图 3C

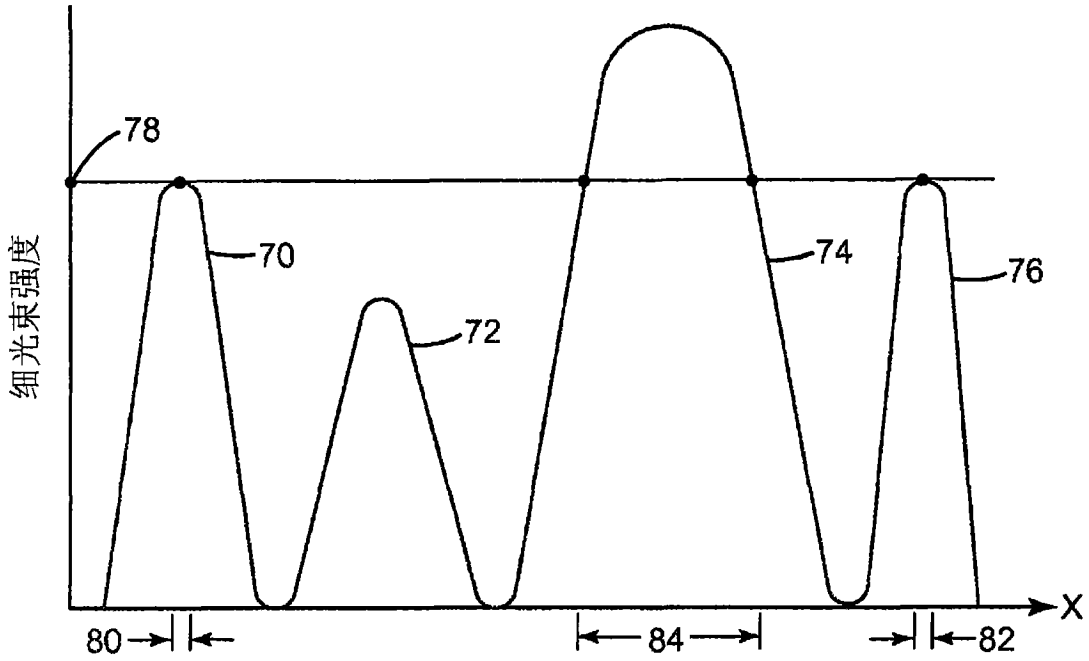

78
70
72
74
76
细光束强度
X
80
84
82

图 3D

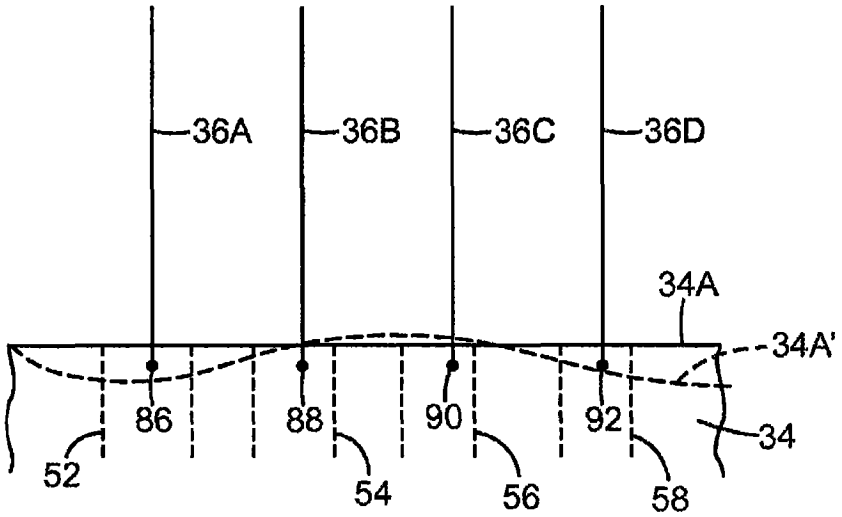

36A
36B
36C
36D
34A
34A'
86
88
90
92
34
52
54
56
58

图 3E

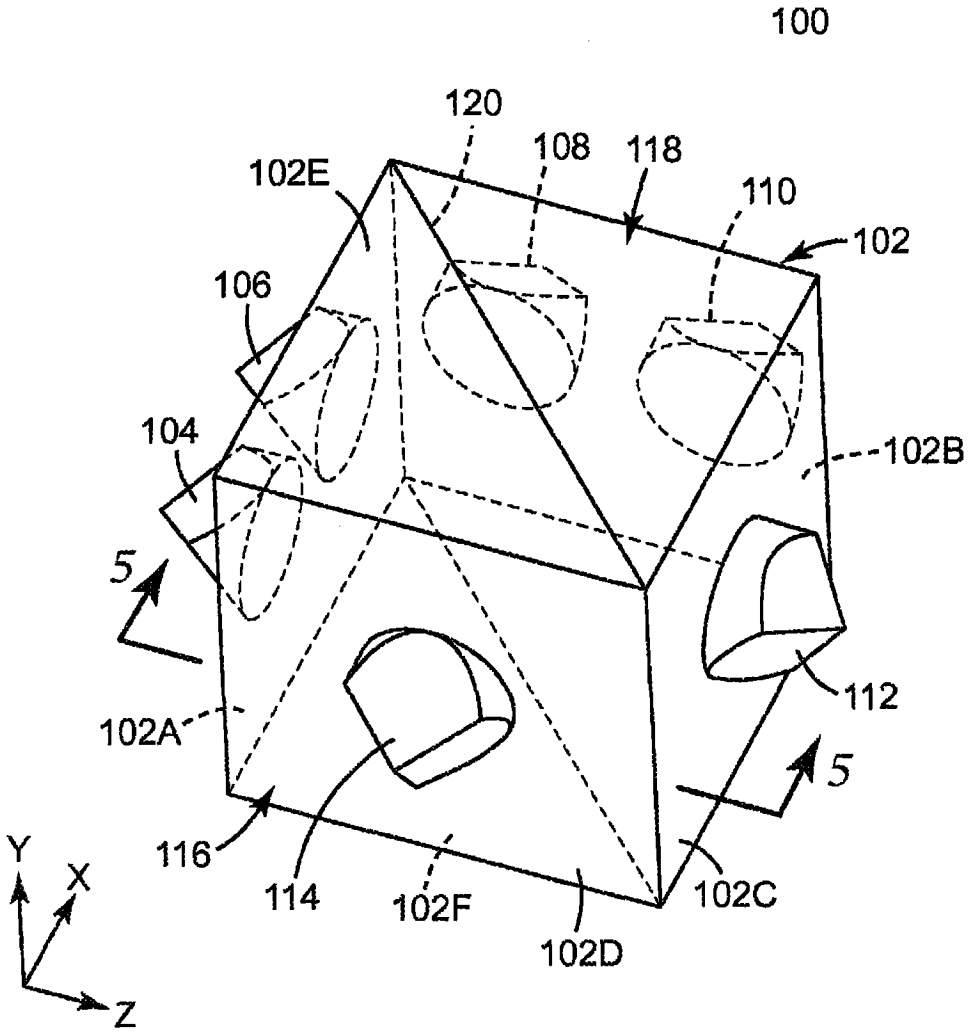

100
120
108
118
102E
110
102
106
104
102B
5
112
102A
5
116
114
102F
102C
102D
Y
X
Z

图 4

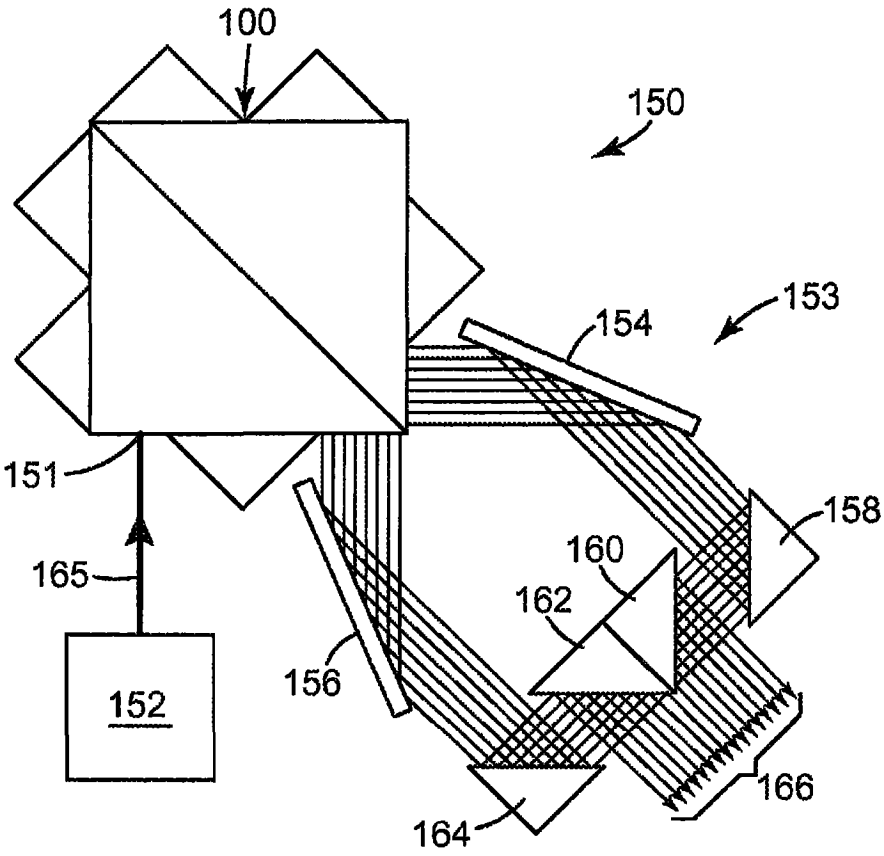


图 5A

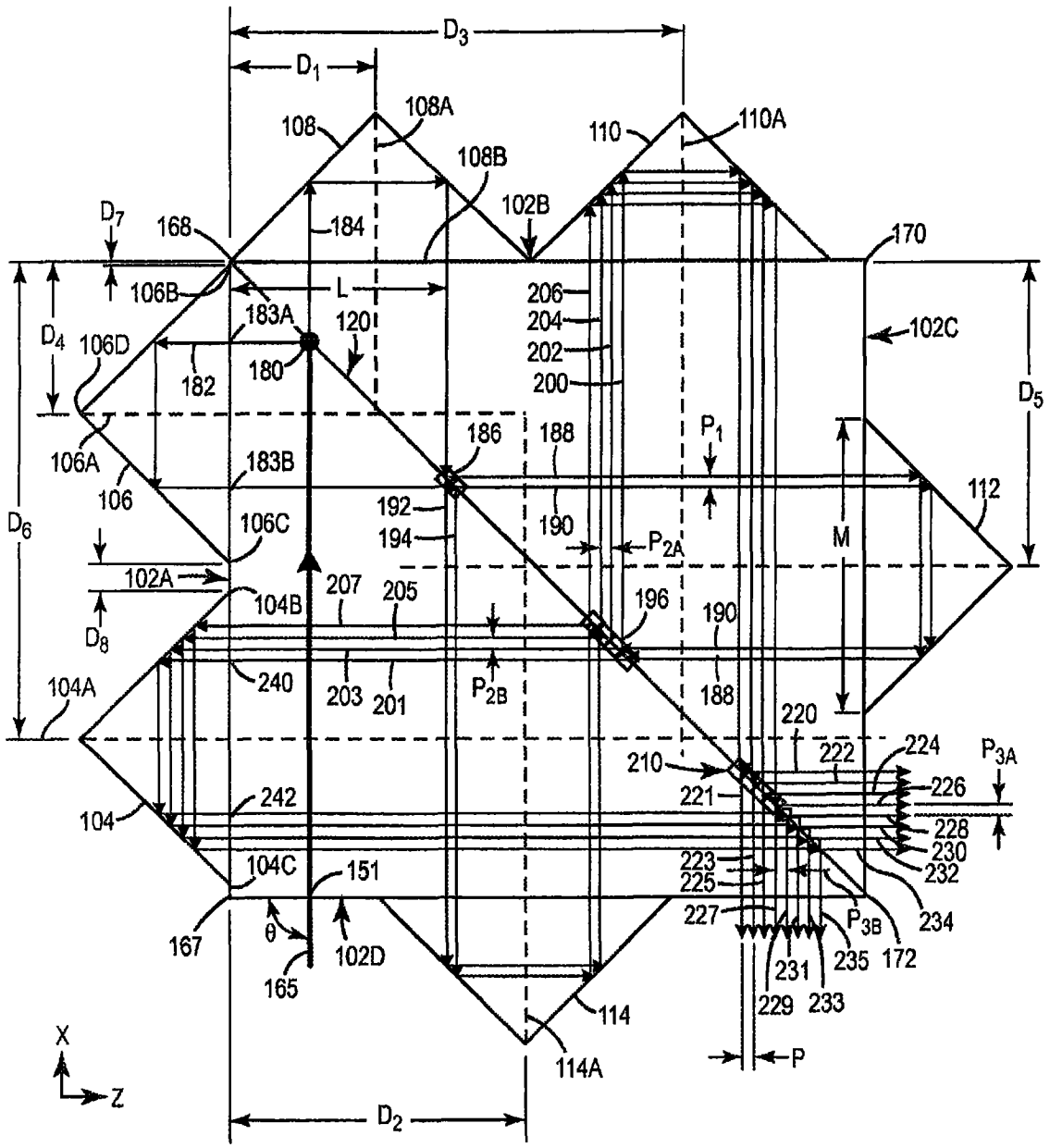

D3
D1
108
108A
108B
110
110A
102B
D7
168
184
170
106B
L
206
204
202
200
102C
D4
106D
183A
120
182
180
D5
106A
186
188
P1
106
183B
192
194
190
P2A
112
M
D6
106C
102A
207
205
196
190
104B
D8
240
203
201
P2B
188
104A
220
222
224
P3A
210
221
226
104
242
228
230
232
223
225
104C
151
227
P3B
234
167
θ
102D
231
235
172
165
229
233
114
114A
P
X
Z
D2

图 5B

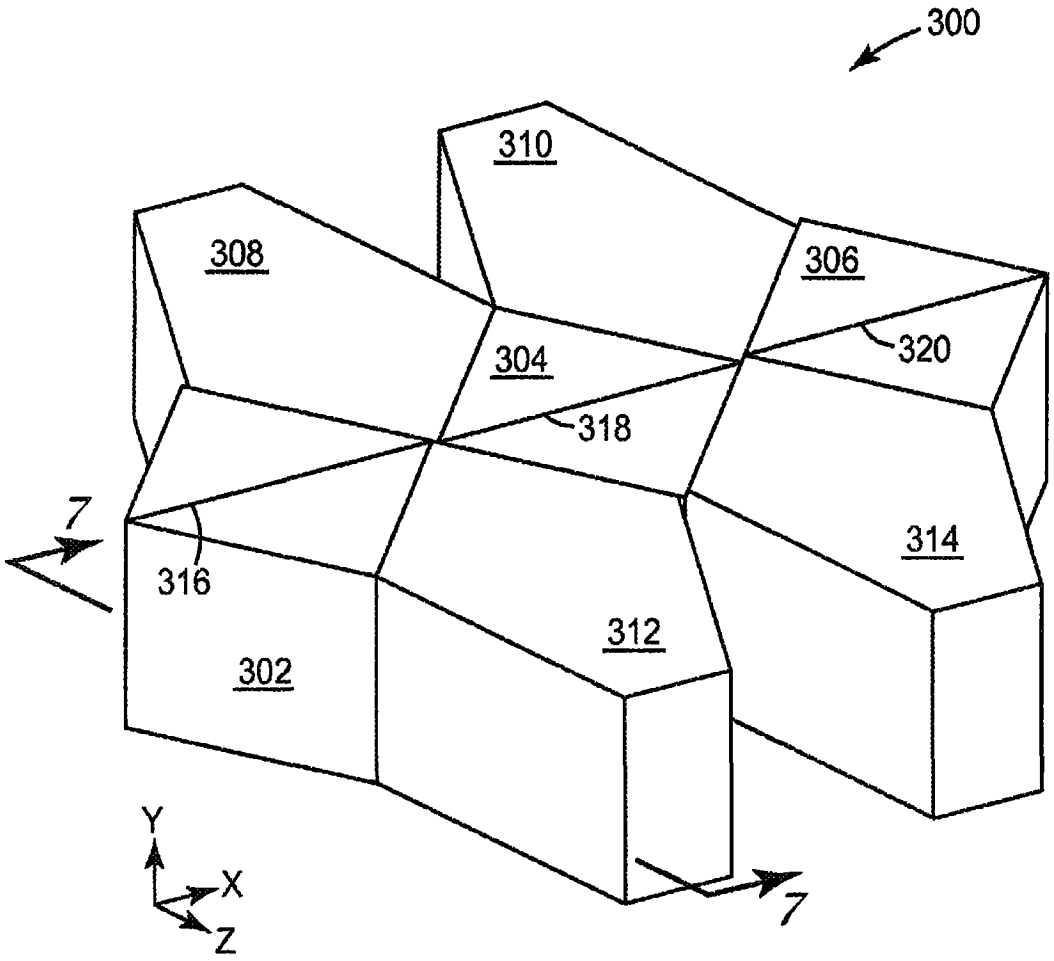


图 6

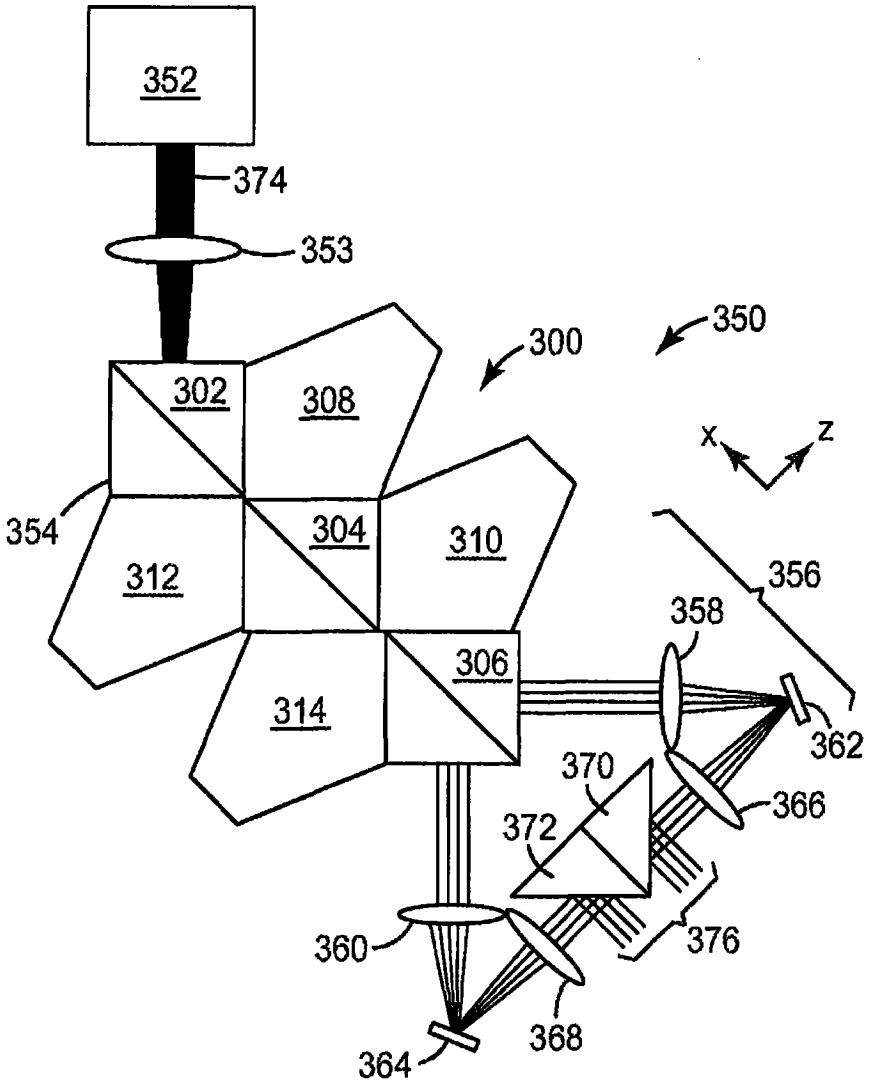

352
374
353
300
350
302
308
X
Z
354
304
310
312
356
358
306
314
362
370
366
372
360
376
368
364

图 7A

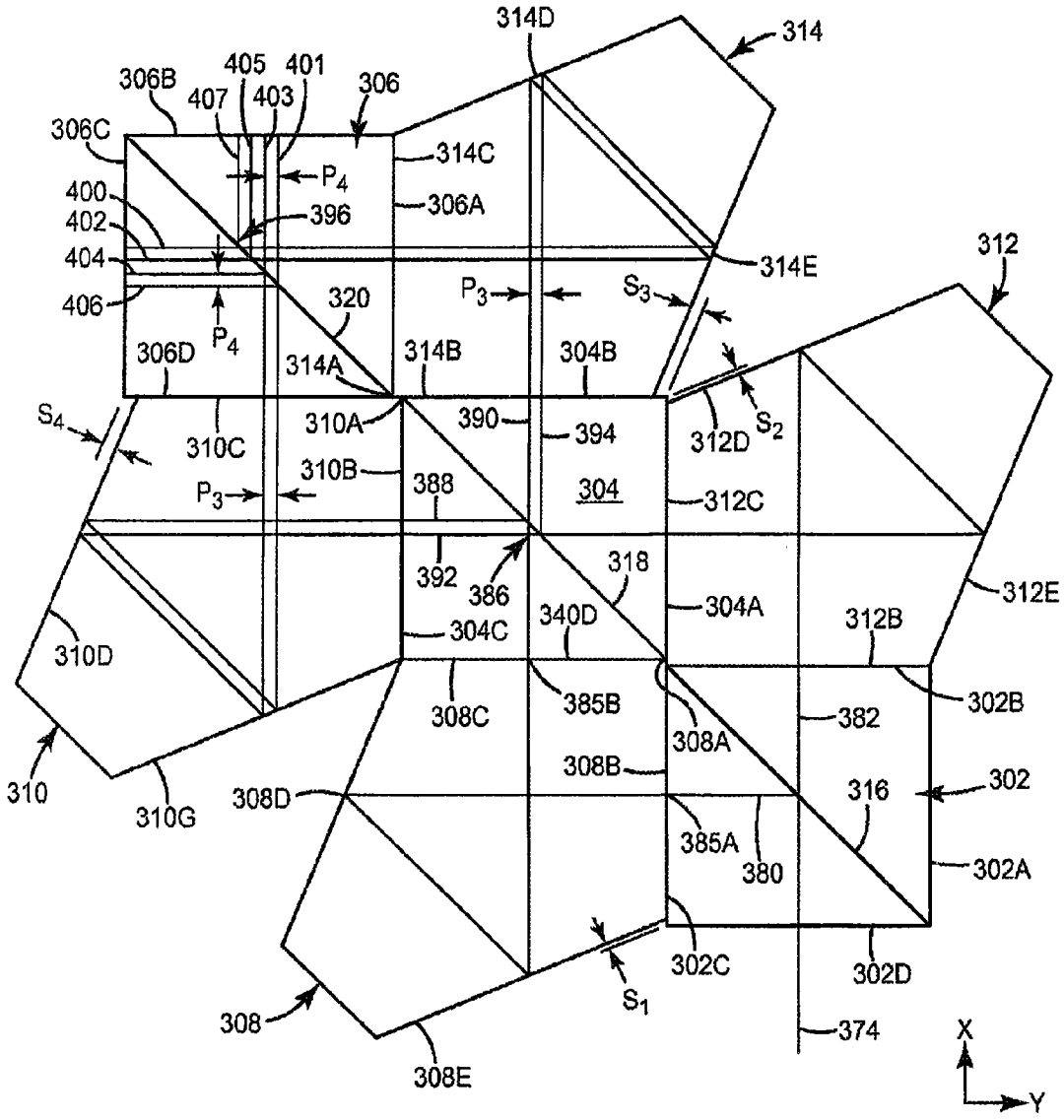

314D
314
306B
405
401
407
403
306
306C
314C
P4
400
306A
402
396
404
314E
312
406
320
P3
S3
P4
306D
314A
314B
304B
S4
310A
390
394
312D
S2
310C
310B
388
304
P3
312C
392
386
318
312E
340D
304A
312B
310D
304C
308C
385B
302B
382
308A
310
308B
316
302
310G
308D
385A
380
302A
302C
302D
S1
308
374
X
308E
Y

图 7B