



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102575630 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 23

(21) 申请号 201080042612. 7

(22) 申请日 2010. 07. 29

(30) 优先权数据

61/229, 821 2009. 07. 30 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2012. 03. 23

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/043628 2010. 07. 29

(87) PCT国际申请的公布数据

W02011/014607 EN 2011. 02. 03

(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 巴里·S·卡朋特 贾米·B·威洛比

珍妮弗·J·萨林

(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 张爽 樊卫民

(51) Int. Cl.

F02M 61/18(2006. 01)

B23P 15/16(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1373833 A, 2002. 10. 09, 全文.

JP 特开平 7-256155 A, 1995. 10. 09, 全文.

CN 1112860 A, 1995. 12. 06, 全文.

CN 101821302 A, 2010. 09. 01, 全文.

DE 102006041472 A1, 2008. 03. 06, 全文.

WO 2007/112309 A2, 2007. 10. 04, 全文.

审查员 刘洋

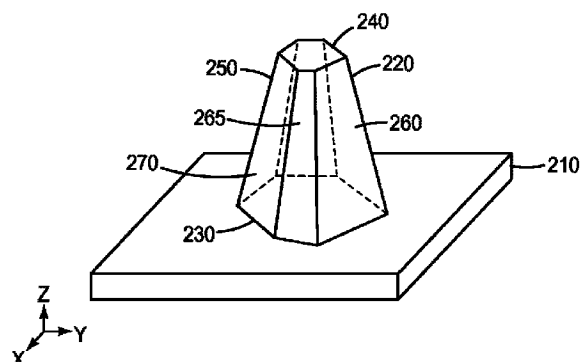
权利要求书2页 说明书12页 附图20页

(54) 发明名称

喷嘴及其制造方法

(57) 摘要

本发明公开了一种喷嘴及其制造方法。所述方法包括以下步骤:(a) 提供第一材料,该第一材料能够经历多光子反应;(b) 采用多光子过程在所述第一材料内形成第一微结构化图案;(c) 在不同于所述第一材料的第二材料中复制所述第一微结构化图案以制作第一模具,该第一模具包括在所述第二材料中的第二微结构化图案;(d) 在不同于所述第一材料和所述第二材料的第三材料中复制所述第二微结构化图案以制作第二模具,该第二模具包括在所述第三材料中的包括多个微结构的第三微结构化图案;(e) 采用与所述第三材料不同的第四材料层使所述第二模具的第三微结构化图案平整化,其中所述层使在第三微结构化图案中的所述多个微结构中的微结构顶部暴露;和(f) 去除所述第三材料获得在所述第四材料中具有多个孔的喷嘴,其中所述孔对应于所述第三微结构化图案中的所述多个微结构。



1. 一种制造喷嘴的方法,该方法包括以下步骤:
 - (a) 提供第一材料,该第一材料能够经历多光子反应;
 - (b) 采用多光子过程通过使所述第一材料选择性反应,在所述第一材料内形成第一微结构化图案,其中所述多光子过程使得聚合被限制或局限于用于使所述第一材料曝光的聚焦束的焦域;
 - (c) 在不同于所述第一材料的第二材料中复制所述第一微结构化图案以制作第一模具,该第一模具包括在所述第二材料中的第二微结构化图案;
 - (d) 在不同于所述第二材料的第三材料中复制所述第二微结构化图案以制作第二模具,该第二模具包括在所述第三材料中的包括多个微结构的第三微结构化图案;
 - (e) 在不同于所述第三材料的第四材料中复制所述第三微结构化图案以制作复制的结构;
 - (f) 使所述复制的结构的第四材料平整化以使在所述第三微结构化图案中的所述多个微结构中的微结构顶部暴露;和
 - (g) 去除所述第三材料获得在所述第四材料中具有多个孔的喷嘴,其中所述孔对应于所述第三微结构化图案中的所述多个微结构。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第一微结构化图案包含多个离散微结构,和所述多个离散微结构包括离散螺旋微结构。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中在所述第一材料内形成所述第一微结构化图案的步骤包括曝光所述第一材料的至少一部分以引起多个光子的同时吸收。
4. 根据权利要求3所述的方法,其中在所述第一材料内形成所述第一微结构化图案的步骤包括去除所述第一材料的曝光部分。
5. 根据权利要求3所述的方法,其中在所述第一材料内形成所述第一微结构化图案的步骤包括去除所述第一材料的未曝光部分。
6. 根据权利要求1所述的方法,其中在所述第二材料中复制所述第一微结构化图案包括电镀所述第一微结构化图案。
7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第二微结构化图案实质上为所述第一微结构化图案的复制阴模。
8. 根据权利要求1所述的方法,其中在所述第三材料中复制所述第二微结构化图案的步骤包括注模。
9. 根据权利要求1所述的方法,其中所述第二模具包括聚合物。
10. 根据权利要求1所述的方法,其中复制所述第三微结构化图案的步骤包括电镀所述第三微结构化图案或者用所述第四材料涂覆所述第三微结构化图案。
11. 根据权利要求1所述的方法,其中复制所述第三微结构化图案的步骤包括用所述第四材料电镀所述第三微结构化图案。
12. 一种根据权利要求1至11中任一项所述的方法制备的喷嘴,所述喷嘴包括多个贯穿该喷嘴形成的孔,所述孔连接所述喷嘴的一侧与所述喷嘴的相对侧。
13. 根据权利要求12所述的喷嘴,其中所述孔的每一个包括:
 - 具有第一形状且位于所述喷嘴的所述一侧上的孔入口;
 - 具有第二形状且位于所述喷嘴的所述相对侧上的孔出口,和

连接所述孔入口与所述孔出口的内部空间表面，

其中所述孔出口和所述孔入口由被连续弯成弧形的内部空间表面的至少一部分连接。

14. 根据权利要求 13 所述的喷嘴，其中所述喷嘴的孔中的至少一个被设定为具有(a) 作为椭圆形的第一形状和作为圆形的第二形状，(b) 作为跑道形的第一形状和作为圆形的第二形状，(c) 所述第一形状的周边包括多个紧密堆积的圆的外圆弧，其中所述外圆弧由类似曲线的圆角连接，或(d) 内部空间表面，其具有从所述孔入口到所述孔出口旋转的截面。

15. 根据权利要求 13 所述的喷嘴，其中所述孔入口具有第一形状，和所述孔出口具有不同于所述第一形状的第二形状。

16. 根据权利要求 13 所述的喷嘴，其中所述喷嘴为燃料喷射器喷嘴。

17. 包含根据权利要求 12 至 16 中任一项所述的喷嘴的燃料喷射器。

喷嘴及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明整体涉及喷嘴。本发明还适用于带有此类喷嘴的燃料喷射器。

背景技术

[0002] 燃料喷射越来越成为在内燃机中混合燃料和空气的优选方法。燃料喷射通常用来提高发动机的燃料效率并减少有害排放。燃料喷射器通常包括用于在压力下使燃料雾化以供燃烧的喷嘴。越来越严格的环境标准要求使用更高效的燃料喷射器。

发明内容

[0003] 大体上,本发明涉及喷嘴及制造喷嘴的方法。在一个实施例中,一种生产喷嘴的方法包括以下步骤:(a) 提供第一材料,该第一材料能够经历多光子反应;(b) 采用多光子过程在所述第一材料内形成第一微结构化图案;(c) 在不同于所述第一材料的第二材料中复制所述第一微结构化图案以制作第一模具,该第一模具包括在所述第二材料中的第二微结构化图案;(d) 在不同于所述第一材料和所述第二材料的第三材料中复制所述第二微结构化图案以制作第二模具,该第二模具包括在所述第三材料中的包括多个微结构的第三微结构化图案;(e) 采用与所述第三材料不同的第四材料层使所述第二模具的第三微结构化图案平整化,其中所述层使在第三微结构化图案中的所述多个微结构中的微结构顶部暴露;和(f) 去除所述第三材料获得在所述第四材料中具有多个孔的喷嘴,其中所述孔对应于所述第三微结构化图案中的所述多个微结构。在一些情形中,所述方法中的所述步骤按顺序实施。在一些情形中,所述第一材料包括聚甲基丙烯酸甲酯。在一些情形中,所述第一材料能够经历双光子反应。在一些情形中,所述第一微结构化图案包括多个离散微结构。在一些情形中,所述多个离散微结构包括一离散微结构,其为三维直线主体、三维直线主体的一部分、立体曲线主体、立体曲线主体的一部分、多面体、锥体、锥形微结构或螺旋微结构。在一些情形中,采用双光子工艺在所述第一材料中形成所述第一微结构化图案。在一些情形中,在所述第一材料中形成所述第一微结构化图案的步骤包括使所述第一材料的至少一部分曝光从而使多个光子被同时吸收。在一些情形中,在所述第一材料中形成所述第一微结构化图案的步骤包括去除所述第一材料的曝光部分、或所述第一材料的未曝光部分。在一些情形中,在所述第二材料中复制所述第一微结构化图案包括电镀所述第一微结构化图案。在一些情形中,所述第二材料包括电镀材料。在一些情形中,所述第一模具包括金属。在一些情形中,所述第一模具包括Ni。在一些情形中,所述第二微结构化图案实质上为所述第一微结构化图案的复制阴模。在一些情形中,所述在第三材料中复制所述第二微结构化图案的步骤包括注模。在一些情形中,所述第三材料包括聚合物,如聚碳酸酯。在一些情形中,所述第二模具包括聚合物。在一些情形中,所述第三微结构化图案实质上为所述第二微结构化图案的复制阴模。在一些情形中,所述使第三微结构化图案平整化的步骤包括电镀所述第三微结构化图案。在一些情形中,所述使第三微结构化图案平整化的步骤包括采用所述第四材料涂覆所述第三微结构化图案。在一些情形中,所述使第三微结构化图案平整

化的步骤包括采用所述第四材料电镀所述第三微结构化图案。在一些情形中,所述使第三微结构化图案平整化的步骤包括去除所述第四材料的一部分,其中在一些情形中,所述被涂覆的第四材料的所述部分通过研磨方法去除。在一些情形中,所述第四材料包括电镀材料。在一些情形中,所述喷嘴包括金属。在一些情形中,所述喷嘴包括 Ni。

[0004] 在另一个实施例中,喷嘴包括中空内部空间和至少一个将所述中空内部空间与所述喷嘴的外侧连接的孔。所述至少一个孔包括具有第一形状且位于所述喷嘴的所述中空内部空间处的孔入口和具有不同于所述第一形状的第二形状且位于所述喷嘴的外侧处的孔出口。在一些情形中,所述第一形状为椭圆形,所述第二形状为圆形。在一些情形中,所述第一形状为跑道形,所述第二形状为圆形。在一些情形中,所述第一形状的周边包括多个紧密堆积的圆的外圆弧,其中所述外圆弧由类似曲线的圆角连接。

[0005] 在另一个实施例中,喷嘴包括中空内部空间和至少一个将所述中空内部空间与喷嘴外侧连接的孔。所述至少一个孔包括所述喷嘴的所述中空内部空间处的孔入口和所述喷嘴的外侧处的孔出口。所述至少一个孔带有从所述孔入口到所述孔出口旋转的截面。在一些情形中,所述截面从所述孔入口到所述孔出口具有逐渐提高的旋转率。在一些情形中,所述截面从所述孔入口到所述孔出口具有逐渐降低的旋转率。在一些情形中,所述截面从所述孔入口到所述孔出口具有恒定的旋转率。在一些情形中,所述孔入口具有第一形状,所述孔出口具有与所述第一形状不同的第二形状。在一些情形中,所述喷嘴包括多个孔,所述多个孔被布置成包括最外侧圆的同心圆阵列。所述离散的喷嘴孔被布置成使得没有最外侧圆的直径包括来自同心圆阵列中的每一圆的至少一个离散喷嘴孔。在一些情形中,所述同心圆阵列中的每一个圆包括间隔均匀的离散喷嘴孔。

附图说明

[0006] 结合附图对本发明的各种实施例所做的以下详细描述将有利于更完整地理解和体会本发明,其中:

[0007] 图 1A-1M 为在制造喷嘴的方法中处于中间阶段或步骤时的构造的示意图;

[0008] 图 2 为一种微结构的立体示意图;

[0009] 图 3 为另一种微结构的立体示意图;

[0010] 图 4 为另一种微结构的立体示意图;

[0011] 图 5 为另一种微结构的立体示意图;

[0012] 图 6 为微结构的底的示意图;

[0013] 图 7 和图 8 分别为微结构的立体示意图和俯视图;

[0014] 图 9 为微结构(喷嘴孔)的立体示意图;

[0015] 图 10 为图 9 所示的微结构(喷嘴孔)的底(孔入口)的示意图;

[0016] 图 11 为图 9 所示的微结构(喷嘴孔)的俯视示意图;

[0017] 图 12 为喷嘴孔(微结构)的立体示意图;

[0018] 图 13 为图 12 所示的喷嘴孔(微结构)的孔入口(底)的示意图;

[0019] 图 14 为图 12 所示的喷嘴孔(微结构)的俯视示意图;

[0020] 图 15A 和图 15B 为两种不同的孔(微结构)阵列的俯视示意图;

[0021] 图 16 为多个喷嘴孔(微结构)的立体示意图;

- [0022] 图 17 为微结构的侧视示意图；
- [0023] 图 18 为曝光系统的侧视示意图；
- [0024] 图 19 和图 20 为微结构簇的两张扫描电镜显微照片 (SEM)；
- [0025] 图 21 为聚碳酸酯微结构簇的扫描电镜显微照片；
- [0026] 图 22 和图 23 分别为孔簇的孔入口和孔入口的光学显微照片；
- [0027] 图 24 为一种喷嘴的侧视示意图；和
- [0028] 图 25 为图 22 和图 23 所示的孔中的一个孔的扫描电镜显微照片。
- [0029] 在说明书中，多个附图中使用的相同附图标号是指具有相同或类似特性和功能的相同或类似元件。

具体实施方式

[0030] 本发明整体涉及喷嘴。本发明所公开的喷嘴包括设计成在孔入口处、孔壁中和孔出口处改善喷射方向和流体动力学的一个或多个孔。本发明所公开的喷嘴可有益地装入燃料喷射器系统中以提高燃料效率。本发明所公开的喷嘴可采用例如双光子工艺等多光子工艺进行制造。具体地，可采用多光子工艺来制造微结构，而微结构继而可用作模具来制造用于喷嘴或其它应用的孔。

[0031] 应当理解，在本领域中，术语“喷嘴”可具有多种不同的含义。在一些具体的参考文献中，术语“喷嘴”具有广泛的定义。例如，美国专利公开号 2009/0308953A1 (Palestrant 等人) 公开了一种“雾化喷嘴”，其包括多个元件，包括封堵器室 50。这区别于本申请给出的对喷嘴的理解和定义。例如，本说明书中的喷嘴大体上对应于 Palestrant 等人的孔插件 24。一般地，本说明书中的喷嘴可理解为雾化喷射系统的末端锥形部分，喷雾最终从所述末端锥形部分喷出，参见例如韦氏字典 (Merriam Webster's Dictionary) 对喷嘴的定义：带有用于（如在软管上）对流体流加速或导向的圆锥或缩小部的短管。其它的理解可参见授予 Nippondenso Co., Ltd. (Kariya, Japan) 的美国专利号 5,716,009 (Ogihara 等人)。在该参考文献中，流体喷射“喷嘴”再一次被广义地定义为多段阀元件 10 (“燃料喷射阀 10 用作流体喷射喷嘴”- 参见 Ogihara 等人的专利的第 4 栏第 26-27 行)。本申请中使用的术语“喷嘴”的定义和理解应涉及第一和第二孔板 130、132，还可能涉及例如套筒 138 (参见 Ogihara 等人的专利的图 14 和图 15)，其位于紧邻燃料喷口处。授予 Hitachi, Ltd. (Ibaraki, Japan) 的美国专利号 5,127,156 (Yokoyama 等人) 中使用了类似于本申请所述的对术语“喷嘴”的理解。在该专利中，喷嘴 10 被定义为独立于连接的一体化结构的元件，如“涡旋式喷嘴”12 (见图 1(II))。当术语“喷嘴”在随后的说明书和权利要求书中被提及，上述定义应被理解。

[0032] 在一些情形中，本发明所公开的微结构可为三维直线主体，如例如四面体或六面体等多面体、棱柱、或棱锥，或此类主体的一部分或其组合，如平截头体。例如，图 2 为微结构 220 的立体示意图，微结构 220 设置于基底 210 上并包括平面的或平坦的底 230、平面的或平坦的顶 240 和将所述顶连接至所述底的侧面 250。侧面 250 包括多个平面或平坦面，如面 260、265 和 270。微结构 220 可用作制造用于例如喷嘴的孔的模具。

[0033] 在一些情形中，本发明所公开的微结构可为立体曲线主体或此类主体的一部分，例如球体、非球体、椭圆柱、类球体、抛物体、圆锥体或截头圆锥体或圆柱体的区段。例如，图

3 为微结构 320 的立体示意图,微结构 320 设置于基底 310 上并包括平面的或平的底 330、平面的或平的顶 340 和将所述顶连接至所述底的曲线侧面 350。在该示例性微结构 320 中,顶 340 和底 330 具有相同的形状。微结构 320 从底 330 到顶 340 逐渐变细。因此,顶 340 的面积较底 330 小。微结构 320 可用作制造用于例如喷嘴的孔的模具。

[0034] 在一些情形中,本发明所公开的微结构的一些特征从底到顶发生变化。例如,在一些情形中,本发明所公开的微结构可为锥形微结构。例如,图 4 为微结构 420 的立体示意图,其可采用多光子过程制造。微结构 420 可用作制造用于例如喷嘴的孔的模具。微结构 420 设置于基底 410 上并包括底 430、顶 440 和将所述顶连接至所述底的侧面 450。微结构 420 具有高度或厚度 h_1 ,其为沿 z 轴在底 430 和顶 440 之间的距离。微结构 420 呈锥形。具体地,微结构的横截面积沿微结构的厚度方向从底 430 到顶 440 减小。例如,微结构 420 在 xy 平面内在高度 h_2 处具有截面 460,在 xy 平面内在高度 $h_3 > h_2$ 处具有截面 470。截面 470 的面积小于截面 460 的面积,而截面 460 的面积小于底 430 的面积。

[0035] 底 430 具有第一形状,而顶 440 具有与所述第一形状不同的第二形状。在一些情形中,第一形状为椭圆形,而第二形状为圆形。例如,图 5 为微结构 520 的立体示意图,微结构 520 包括椭圆底 530、圆顶 540 和将所述顶连接至所述底的侧面 550。椭圆底 530 具有沿 y 方向长度为“ a ”的长轴 560 和沿 x 方向长度为与“ a ”不同的“ b ”的短轴 570。圆顶 540 具有半径 r 。微结构 520 呈锥形。具体地,圆顶 540 的面积小于椭圆底 530 的面积。

[0036] 作为另外一个例子,所述第一形状可为跑道形,而第二形状可为例如圆形。例如,图 6 为底 630 的示意图,底 630 可作为本发明所公开的微结构的底。底 630 包括两个圆 642、644 和中间部分 650。底 630 具有周边 660,周边 660 包括弯曲部分或弧 632 和 634 以及直线部分 636 和 638。弯曲部分 632 和 634 分别为圆 642 和 644 的一部分。

[0037] 在一些情况下,本发明所公开的微结构沿微结构的厚度或高度方向具有截面,该截面从所述微结构的底旋转至所述微结构的顶。例如,图 7 为微结构 720 的立体示意图,微结构 720 包括设置于 xy 平面内的底 730、设置于 xy 平面内的顶 740 和将所述顶连接至所述底的侧面 780。微结构 720 具有高度 h_4 。微结构 720 具有从顶 740 到底 730 顺时针旋转的 xy 截面。具体地,顶 740 沿 x 方向具有对称轴 742,在高度 $h_5 < h_4$ 处的微结构的 xy 截面 750 具有对称轴 752,其相对于对称轴 742 成顺时针旋转;在高度 $h_6 < h_5$ 处的微结构的 xy 截面 755 具有对称轴 757,其相对于对称轴 752 成顺时针旋转;在高度 $h_7 < h_6$ 处的微结构的 xy 截面 760 具有对称轴 762,其相对于对称轴 757 成顺时针旋转;底 730 沿 y 轴具有对称轴 732,其相对于对称轴 762 呈顺时针旋转。等同地,微结构 720 具有 xy 截面,其从底 730 到顶 740 逆时针旋转。图 8 为微结构 720 的俯视示意图,其示出顶 740 及其对称轴 742、截面 750 及其对称轴 752、截面 755 及其对称轴 757、截面 760 及其对称轴 762 和底 730 及其对称轴 732。从顶部看,所述截面的对称轴从顶到底顺时针旋转。这种旋转使得所述微结构沿其高度或厚度成扭曲状。在一些情形中,每一个截面均可为椭圆,其具有相应的长轴作为对称轴。在这些情形中,长轴从底到顶旋转。在一些情形中,例如当微结构成锥形或扭曲时,所述截面旋转并且从底到顶变小。例如,椭圆底 730 具有沿 y 方向长度为“ a ”的长轴 732 和沿 x 方向长度为“ b ”的短轴 734,“ b ”与“ a ”不同。当长轴从底到顶旋转时,通过例如减小“ a ”来减小 a/b 之比使得椭圆变小,最终在顶部变成圆 ($a = b$)。总体上,本发明所公开的微结构可从底到顶沿其厚度包括圆锥和 / 或扭曲或螺旋。

[0038] 微结构 720 可用作模具来制造喷嘴中的一个或多个孔,所述孔和微结构 720 具有基本相同的轮廓。例如,这种制造方法制得的孔 720 具有孔入口 730、孔出口 740 和从孔入口延伸至孔出口的壁 752。所述孔从孔入口到孔出口成锥形和螺旋形或扭曲形。有益地,本发明所公开的螺旋或扭曲的喷嘴孔可用于燃料喷射器中以增大燃料流速、减小液滴尺寸并改善燃料和空气的混合。

[0039] 所述微结构可被理解为在其不同的高度(如 h_6 、 h_5 等)处具有“直径”。该直径可被理解为在共同高度处微结构的边缘之间的最大距离。在具有椭圆底的情形中,如孔入口 730 处,该直径为所述微结构沿长轴 732 的边缘之间的距离。在所述结构的相对端,对应于孔出口 740,类似地,该直径为在共同高度(此处为 h_4)处微结构的边缘之间的最大距离。因此,沿轴 742 的所述微结构边缘之间的距离将对应于孔出口的直径。在一些实施例中,所述孔入口可具有小于 300 微米、或小于 200 微米、或小于或等于 160 微米、或小于 140 微米的直径。在一些实施例中,所述孔出口可具有小于 300 微米、或小于 200 微米、或小于 100 微米、或小于或等于 40 微米、或小于 125 微米的直径。

[0040] 在一些情形中,喷嘴孔 720 的截面从所述孔入口到所述孔出口具有逐渐增加的旋转率。在一些情形中,喷嘴孔 720 的截面从所述孔入口到所述孔出口具有逐渐减小的旋转率。在一些情形中,所述截面从所述孔入口到所述孔出口具有恒定的旋转率。

[0041] 通常,本发明所公开的微结构的底或横截面,或本发明所公开的喷嘴孔的孔入口或横截面可具有可能在应用中所需的任意截面。在一些情形中,所述底或孔入口可具有包括紧密堆积的圆的外圆弧的周边,其中外圆弧由类似曲线的圆角连接。例如,图 9 为微结构 920 的立体示意图,其包括底 930、顶 940 和将所述底连接至所述顶的侧面 950。图 10 为具有周边 1090 的底 930 的示意图,该周边包括四个紧密堆积的圆的外圆弧,其中外圆弧由类似曲线的圆角连接。具体地,周边 1090 包括圆 1020 的外圆弧 1010、圆 1022 的外圆弧 1012、圆 1024 的外圆弧 1011、以及圆 1026 的外圆弧 1016,其中外圆弧 1010 和 1012 通过类似曲线的圆角 1030 连接,外圆弧 1012 和 1014 通过类似曲线的圆角 1032 连接,外圆弧 1014 和 1016 通过类似曲线的圆角 1034 连接,且外圆弧 1016 和 1010 通过类似曲线的圆角 1036 连接。圆 1010、1012、1014 和 1016 形成同样并接触的圆的方阵,其中每一个圆均具有半径 r_1 。

[0042] 底 930 包括对称轴 1040。微结构 920 的横截面旋转并且半径 r_1 从底 930 到顶 940 减小,从而使微结构从底 930 到顶 940 成螺旋状并逐渐变细。

[0043] 等同地,喷嘴孔 920 包括孔入口 930、孔出口 940 和从所述孔入口至所述孔出口延伸的壁 950。孔 920 具有横截面,其从所述孔入口至所述孔出口旋转并逐渐变小。

[0044] 图 11 为喷嘴孔(或微结构)920 的俯视示意图,示出孔入口 930 具有对称轴 1040 且孔出口 940 具有对称轴 942。从顶部看,孔 920 的截面的对称轴从所述孔入口至所述孔出口逆时针旋转。这种旋转导致孔沿其高度或厚度扭曲。

[0045] 作为另外一个例子,图 12 为喷嘴孔(或微结构)1220 的立体示意图,喷嘴孔 1220 具有高度 k_1 并包括孔入口 1230、孔出口 1240 和从所述孔入口延伸至所述孔出口的壁 1250。图 13 为具有周边 1235 的孔入口 1230 的示意图,该周边包括两个紧密堆积的或接触的圆的外圆弧,其中外圆弧由类似曲线的圆角连接。具体地,周边 1090 包括圆 1280 的外圆弧 1270 和圆 1282 的外圆弧 1272,其中每一个圆具有半径 r_2 并且外圆弧 1270 及 1272 由曲线状的圆角 1290 和 1292 连接。

[0046] 孔入口 1230 包括对称轴 1232。喷嘴孔 1220 的横截面旋转并且半径 r_2 从孔入口 1230 到孔出口 1240 减小,从而使微结构从孔入口 1230 到孔出口 1240 成螺旋状并逐渐变细。具体地,顶 1240 沿 x 方向具有对称轴 1242,在高度为 $k_2 < k_1$ 处所述孔的 xy 截面 1264 具有相对于对称轴 1242 顺时针旋转的对称轴 1265,在高度为 $k_3 < k_2$ 处所述孔的 xy 截面 1262 具有相对于对称轴 1265 顺时针旋转的对称轴 1263,在高度为 $k_4 < k_3$ 处所述孔的 xy 截面 1260 具有相对于对称轴 1263 顺时针旋转的对称轴 1261,以及孔入口 1230 具有相对于对称轴 1261 顺时针旋转的沿 y 轴的对称轴 1232。因此,孔 1220 具有从孔出口 1240 至孔入口 1230 顺时针旋转的 xy 截面。等同地,孔 1220 具有从孔入口至孔出口逆时针旋转的 xy 截面。图 14 为喷嘴孔 1220 的俯视示意图,示出孔出口 1240 及其沿 x 轴的对称轴 1242、截面 1264 及其对称轴 1265、截面 1262 及其对称轴 1263、截面 1260 及其对称轴 1261、以及孔入口 1230 及其沿 y 轴的对称轴 1232。从顶部看,所述孔的横截面的对称轴从孔出口至孔入口顺时针旋转。

[0047] 等同地,微结构 1220 包括底 1230、顶 1240 和将所述底连接至所述顶的侧面 1250。微结构 1220 具有从所述底到所述顶旋转并变小的截面。

[0048] 如图 2 至图 14 所示,本文所公开的用作喷嘴的微结构可为整体结构。换言之,形成实际喷嘴的微结构 220、320、420 等构建于,并最终形成共同的、单一材料件。这可被理解为与通过组合多个不同的零件形成的喷嘴不同,其中这些零件可能由不同的材料制成。在这方面,如上述图所示,本文所公开的喷嘴可为整体结构。

[0049] 通常,多个本发明所公开的微结构或孔可具有可能在应用中所需的任意布置方式。例如,在一些情形中,本发明所公开的孔可按规则排列或不按规则排列。例如,图 15A 为孔或微结构 1510 的两维方阵列 1500 的俯视示意图,图 15B 为孔或微结构 1530 的两维六边形阵列 1520 的俯视示意图,其中孔或微结构 1510 和 1530 可为本文所公开的任意喷嘴孔或微结构。在一些情形中,多个本发明所公开的微结构或孔可布置于非平面上。例如,图 16 为设置于或布置于球面 1620 上的多个喷嘴孔或微结构 1610 的立体示意图。

[0050] 在一些情形中,本发明所公开的微结构或孔可具有一个或多个圆角,以便制造和/或减少局部应力。例如,图 17 为微结构 1720 的侧视示意图,所述微结构设置于基底 1710 上且包括底 1730、顶 1740 和连接所述底至所述顶的侧面 1750。微结构 1720 包括平滑连接侧面 1750 和顶 1740 的圆角 1760 和 1761,以及平滑连接侧面 1750 和基底 1710 的顶面 1705 的圆角 1770 和 1771。

[0051] 本文所公开的喷嘴孔和微结构可采用图 1A-1M 所示的方法进行制造。该方法在制造单一阵列中的多种单个微结构和孔时提供灵活性和控制,也可在保持工业上可接受的制造速度或“生产量”的同时达到所需的低的平均表面粗糙度。

[0052] 图 1A 为设置于基底 110 上的第一材料层 115 的侧视示意图。所述第一材料能够通过同时吸收多个光子而经历多光子反应。例如,在一些情形中,所述第一材料能够通过同时吸收两个光子而经历双光子反应。所述第一材料可为能够经历例如双光子反应等多光子反应的任意材料或材料系统,如描述于 2005 年 12 月 21 日提交的、名称为“Process For Making Microlens Arrays And Masteroforms”的待审美国申请序列号 11/313482(律师档案号 60893US002)中的那些;2007 年 5 月 17 号提交的、名称为“Process For Making Light Guides With Extraction Structures And Light Guides Produced Thereby”的美国专

利申请公开号 US2009/0175050 (律师档案号 62162US007) 中的那些 ; 以及 2008 年 9 月 9 日提交的、名称为 “Highly Functional Multiphoton Curable Reactive Species” 的 PCT 国际公开 W02009/048705 (律师档案号 63221W0003) 中的那些, 所有这些都以引用方式并入本文。

[0053] 在一些情形中, 所述第一材料可为光反应性组合物, 其包括至少一种能经历酸引发或自由基引发的化学反应的活性反应组分、和至少一个多光子光引发剂系统。适用于光反应性组合物的活性反应组分包括固化性物质和非固化性物质两者。示例性的固化性物质包括加成可聚合单体、低聚物和加成可交联聚合物 (如可自由基聚合或可交联的烯键式不饱和类物质, 包括例如丙烯酸酯、甲基丙烯酸酯、和例如苯乙烯等某些乙烯基化合物), 以及可阳离子聚合的单体、低聚物和可阳离子交联聚合物 (最常被酸引发的物质且包括例如环氧树脂、乙烯醚、氰酸盐酯等), 及其类似物和其混合物。示例性的非固化性物质包括反应性聚合物, 其溶解度在酸或自由基引导的反应下可提高。此类反应性聚合物包括, 例如含有酯基团的非水溶性聚合物, 酯基团可通过光生酸转换为水溶性的酸基团 (例如聚 (4-叔丁氧基羰氧基苯乙烯))。非固化性物质还包括化学增幅感光树脂。

[0054] 所述多光子光引发剂系统使得聚合被限制或局限于用于曝光所述第一材料的聚光束的焦域。这种系统优选为包括至少一种多光子光敏剂、至少一种光引发剂 (或电子受体) 及任选的至少一种电子供体的双组分系统或三组分系统。

[0055] 第一材料层 115 可采用可能在应用中所需的任何涂覆方法涂覆到基底 110 上。例如, 所述第一材料可通过满涂 (flood coating) 而涂覆于基底 110 上。其它示例性的涂覆方法包括刮涂、切口涂 (notch coating)、逆转辊涂 (reverse roll coating)、凹版印涂 (gravure coating)、喷涂、棒涂 (bar coating)、旋涂和浸涂。

[0056] 根据特定应用和所要采用的曝光方法, 基底 110 可选自多种薄膜、薄片和其它表面 (包括硅片和玻璃板)。在一些情形中, 基底 110 足够平, 以使第一材料层 115 具有均匀的厚度。在一些情形中, 层 115 可被批量曝光。在这些情形中, 基底 110 可不包括在制造工艺中。在一些情形中, 如工艺中包括一个或多个电镀步骤时, 基底 110 可导电或半导体。

[0057] 下一步, 第一材料选择性地暴露于具有足够强度的入射光, 以在暴露区域中使所述第一材料同时吸收多个光子。所述曝光步骤可伴有能够提供具有足够强度的光的任意方法。示例性的曝光方法描述于美国专利申请公开 US2009/0099537 中, 其提交于 2007 年 3 月 23 日, 名称为 “Process For Making Microneedles, Microneedle Arrays, Masters, And Replication Tools” (律师档案号 61795US005), 以引用方式并入本文。

[0058] 图 18 为曝光第一材料层 115 的示例性曝光系统 1800 的侧视示意图。该曝光系统包括发射光 1830 的光源 1820 和能在一个、两个或三个方向上移动的台面 1810。涂覆有第一材料层 115 的基底 110 放置于台面上。光学系统 1840 在第一材料内的焦域 1850 聚焦所发射的光 1830。在一些情形中, 光学系统 1840 被设计成只在焦域 1850 处或紧邻焦域 1850 处使第一材料同时吸收多个光子。经历多光子反应的层 115 的区域相比没有经历多光子反应的层 115 的区域变得或多或少地可溶于至少一种溶剂中。

[0059] 通过在光学系统 1840 中移动台面 1810 和 / 或光 1830 和 / 或一个或多个元件, 如一个或多个反射镜, 焦域 1850 可在第一材料内扫描出立体图案。在图 1A 和 18 中示出的示例性工艺中, 层 115 设置于平面基底 110 上。通常, 基底 110 可具有可能会在应用中所需的

任意形状。例如,在一些情形中,基底 110 可具有球状。

[0060] 光源 1820 可为能产生足够光强度以进行多光子吸收的任意光源。示例性的光源包括激光、如飞秒激光 (femtosecond lasers), 其操作范围为从大约 300nm 到大约 1500nm, 或从大约 400nm 到大约 1100nm, 或从大约 600nm 到大约 900nm, 或从大约 750nm 到大约 850nm。

[0061] 光学系统 1840 可包括 (例如) 折射光学元件 (例如, 透镜或微透镜阵列)、反射光学元件 (例如, 反光镜或聚焦反射镜)、衍射光学元件 (例如, 光栅、相位掩模和全息图)、偏振光学元件 (例如, 线性偏振片和波片)、色散光学元件 (例如, 棱镜和光栅)、漫射、普克尔斯盒、波导等。这类光学元件可用于聚焦、光束递送、光束 / 模式成形、脉冲成形以及脉冲定时。

[0062] 在通过曝光系统 1800 选择性地曝光第一材料层 115 后, 曝光层被放置于溶剂中以溶解较高溶剂溶解度区域。可用于冲洗所曝光的第一材料的示例性溶剂包括水溶剂, 如水 (例如, pH 值的范围为从 1 到 12 的水) 和水与有机溶剂的可混溶共混物 (例如, 甲醇、乙醇、丙醇、丙酮、乙腈二甲基甲酰胺、N- 甲基吡咯烷酮及其类似物和混合物), 以及有机溶剂。示例性的可用有机溶剂包括: 醇 (例如甲醇、乙醇和丙醇)、酮 (例如丙酮、环戊酮和甲基乙基酮)、芳族化合物 (例如甲苯)、卤烃 (例如二氯甲烷和氯仿)、腈 (例如乙腈)、酯 (例如乙酸乙酯和丙二醇甲醚醋酸酯)、醚 (例如乙醚和四氢呋喃)、酰胺 (例如, N- 甲基吡咯烷酮) 等, 以及它们的混合物。图 1B 为采用多光子过程形成于第一材料中的第一微结构化图案 121 的侧视示意图。第一微结构化图案包括微结构 120 的第一簇 122 和微结构 125 的第二簇 124, 其中微结构 120 和 125 可为包括本文所公开的任意微结构在内的任意微结构。在一些情形中, 微结构 120 和 125 具有不同的结构。在一些情形中, 微结构 120 和 125 具有同样的结构。在示例性的第一微结构化图案 121 中, 微结构 120 和 125 具有高度 t_1 。

[0063] 图 19 和 20 为根据本发明所公开的方法制造的微结构 120 的簇的扫描电镜显微照片。图 19 和 20 中的微结构与图 12 中所示的微结构 1220 相似。在图 19 中, 所述微结构沿其底的短轴观察; 而在图 20 中, 所述微结构沿其底的长轴观察。

[0064] 图 19 (和图 20) 中的所述多个微结构以同心圆阵列分布, 同心圆阵列包括最外侧圆 1910。微结构的这种分布使得没有最外侧圆的直径包括来自同心圆阵列中的每一圆的至少一个离散微结构。例如, 最外侧圆 1910 的直径 1920 包括微结构 1901-1905 但不包括微结构 1930 和 1931。图 19 所示同心圆阵列中的每一圆均包括间隔均匀的离散微结构。相似地, 在一些情形中, 喷嘴包括在同心圆阵列中分布的多个孔, 所述同心圆阵列包括最外侧圆。离散喷嘴孔的这种分布使得没有最外侧圆的直径包括来自同心圆阵列中的每一个圆的至少一个离散喷嘴孔。在一些情形中, 同心圆阵列中每一圆均包括间隔均匀的离散喷嘴孔。

[0065] 下一步, 如图 1C 示意性地所示, 第一微结构化图案 121 的顶面 126 被金属化或通过采用薄的导电包覆层 (seed layer) 127 涂覆该顶面而使之可导电。导电包覆层 127 可包括在应用中所需的任意导电材料。示例性的导电材料包括银、铬、金和钛。在一些情形中, 包覆层 127 的厚度小于大约 50nm、或小于大约 40nm、或小于大约 30nm 或小于大约 20nm。

[0066] 下一步, 如图 1D 示意性所示, 包覆层 127 用于采用第二材料电镀第一微结构化图案 121, 从而获得第二材料层 130。在一些情形中, 持续电镀第一微结构化图案 121 直到层 130 的最小厚度 t_2 大于 t_1 为止。

[0067] 适用于电镀的第二材料包括银、钝化银、金、铯、铝、反射性增强的铝、铜、铟、镍、铬、锡和它们的合金。

[0068] 在一些情形中,第二材料层 130 具有不平坦或粗糙的顶面 132。在这些情形中,第二材料层 130 被抛光或研磨从而获得厚度为 $t_3 > t_1$ 的第二材料层 135,如图 1E 示意性所示。研磨或抛光可采用可能会在应用中所期望的任意研磨方法来实现。示例性的研磨方法包括表面研磨和机械磨削。

[0069] 在一些情形中,第二材料层 130 可直接沉积到第一微结构化图案 121 上,不需要带有包覆层 127 的第一涂覆图案 121。在这些情形中,层 130 可采用任意合适的方法涂覆到图案 121 上,包括,例如溅射和化学气相沉积。

[0070] 下一步,移走基底 110 和第一材料,从而获得图 1F 示意性所示的第二材料的第一模具 140。为便于观察和不丧失一般性,包覆层 127 在图 1F 中未示出。在一些情形中,基底 110 和图案化的第一材料可用手从层 135 分离。在一些情形中,可在研磨层 130 之前进行分离。

[0071] 第一模具 140 包括第二微结构化图案 141,其实质上为第一微结构化图案 121 的复制阴模。具体地,第二材料的第一模具 140 包括微结构 145 的第一簇 146 和微结构 148 的第二簇 147,其中微结构 145 实质上为微结构 120 的复制阴模,而微结构 148 实质上为微结构 125 的复制阴模。

[0072] 下一步,通过将第三材料放置于第二材料的第一模具 140 和具有平滑顶面 157 的基底 155 之间,在不同于第一和第二材料的第三材料 150 中对第二微结构化图案进行复制,如图 1G 示意性所示。复制过程可采用任意合适的复制方法实现。例如,在一些情形中,复制可采用注模方法实现。在这些情形中,可将熔化的第三材料 150 引入基底 155 和第一模具 140 之间并在熔化的第三材料填充第二微结构化图案后使第三材料 150 凝固。第三材料 150 可为能够复制图案的任意材料。示例性的第三材料包括聚碳酸酯和其它热塑性塑料,如聚苯乙烯、丙烯酸树脂、苯乙烯丙烯晴、聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)、环烯聚和物、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚萘二甲酸乙二醇酯和含氟聚合物。

[0073] 复制后,将第二材料的第一模具 140 和基底 155 移走,从而获得具有基底部分 162 的第三材料的第二模具 160 和实质上为第二微结构化图案 141 的复制阴模且实质上为第一微结构化图案 121 的复制阳模的第三微结构化图案 161。第三微结构化图案 161 包括微结构 165 的第一簇 168 和微结构 159 的第二簇 169,其中微结构 165 实质上为微结构 145 的复制阴模,而微结构 159 实质上为微结构 148 的复制阴模。在一些情形中,微结构 165 实质上为微结构 120 的复制阳模,而微结构 159 实质上为微结构 125 的复制阳模。图 21 为根据本发明所公开的方法制造的聚碳酸酯微结构 165 的簇的扫描电镜显微照片。

[0074] 下一步,如图 1I 示意性所示,第三微结构化图案 161 的顶面 154 被金属化或通过采用薄的导电包覆层 167 (类似于包覆层 127) 涂覆该顶面而使之可导电。

[0075] 下一步,如图 1J 示意性所示,包覆层 167 用于采用与所述第三材料不同的第四材料电镀第三微结构化图案 161,从而获得第四材料层 170。在一些情形中,持续电镀第二微结构化图案 161 直到层 130 的最小厚度 t_5 大于 t_4 (即第二模具 160 中的微结构的高度) 为止。在一些情形中,高度 t_4 与高度 t_1 基本上相等。适用于电镀的第四材料包括银、钝化银、金、铯、铝、反射性增强的铝、铜、铟、镍、铬、锡和它们的合金。在其它实施例中,第四材料可

为沉积到第三微结构化图案上的陶瓷。这种陶瓷材料可通过,例如描述于共同拥有和转让的美国专利号 5,453,104 中的溶胶-凝胶法生成,或通过描述于共同拥有和转让的美国专利号 6,572,693、6,387,981、6,899,948、7,393,882、7,297,374 和 7,582,685 中的光固化陶瓷填充或陶瓷先驱体聚合物组合物方法生成,其中每一个专利均以引用方式全文并入本文。这些陶瓷材料可包括,例如二氧化硅、氧化锆、氧化铝、二氧化钛、或如下元素的氧化物:钇、锶、钡、钪、铈、钽、钨、铋、钼、锡、锌、镧系元素(即包括原子数范围为 57 至 71 的元素)、铈,和它们的组合。

[0076] 下一步,对层 170 的顶面 172 进行研磨直到微结构 165 的顶 171 和微结构 159 的顶 173 暴露为止。在一些情形中,第三材料比第四材料软。例如,在一些情形中,第三材料为聚碳酸酯,第四材料为镍合金。在此类情形中,可在研磨过程中去除顶 171 和 173 的小部分,以确保第三微结构化图案 161 中的所有微结构的顶都被暴露出。在这些情形中,如图 1K 示例性所示,研磨造成第四材料层 175 使第三微结构化图案平整并暴露出第三微结构化图案中的所述多个微结构中的微结构顶 185。第四材料层 175 具有与微结构 180 的顶 184 和微结构 181 的顶 186 基本平齐的顶面 177。所述微结构的高度 t_6 可稍小于 t_4 。

[0077] 下一步,移走第二模具 160,形成包括对应于第三微结构化图案 161 中的所述多个微结构的多个孔 106 的第四材料层 190。具体地,第四材料层 190 包括孔 195 的第一簇 192 和孔 198 的第二簇 193。在一些情形中,孔 195 为微结构 120 的实质性复制品,孔 198 为微结构 125 的实质性复制品。孔 195 包括孔入口 182 和孔出口 183,孔 198 包括孔入口 196 和孔出口 197。

[0078] 图 22 和 23 为根据本发明所公开的方法制造的孔 195 的簇 192 的相应孔入口 182 和孔出口 183 的光学显微照片。图 25 为从孔入口侧观察的孔 195 中一个的扫描电镜显微照片。该孔具有孔入口 2510 和比孔入口小的孔出口 2520。该显微照片清晰地示出孔中的锥形和扭曲。

[0079] 在一些情形中,如图 1M 示意性所示,两簇 192 和 193 沿方向 199 分开,形成部分 102 和分开的部分 103(在一些情形中两者基本相同),其中每一部分都可用于喷嘴和/或燃料喷射器。

[0080] 图 24 为喷嘴 2400 的侧视示意图,其包括中空内部空间 2410 和将中空内部空间与喷嘴外侧 2430 分开的壁 2405。所述喷嘴还包括连接中空内部空间 2410 到喷嘴外侧 2430 的至少一个孔,如孔 2420。所述孔将气体或液体从中空内部空间输送到外部。孔 2420 可为本本文所公开的任意孔。孔 2420 包括壁 2405 的内表面 2406 处的孔入口 2440 和壁 2405 的外表面 2407 处的孔出口 2445。孔入口 2440 也在喷嘴的中空内部 2410 处,而孔出口 2445 在喷嘴的外部 2430 处。

[0081] 在一些情形中,孔入口 2440 具有第一形状,而孔出口 2445 具有与所述第一形状不同的第二形状。例如,在一些情形中,第一形状为椭圆形,第二形状为圆形。作为另外一个例子,在一些情形中,第一形状可为跑道形,而第二形状可为圆形。作为另外一个例子,在一些情形中,第二形状可为圆形或椭圆形,所述第一形状的周边可包括多个紧密堆积的圆的外圆弧,其中外圆弧由类似曲线的圆角连接。

[0082] 在一些情形中,第一形状可与第二形状实质上相同,但他们可具有不同的放大率或尺寸。例如,第一形状可为半径为 a_1 的圆,而第二形状也可可为圆,但其半径为 a_2 ,不同于

a_1 。

[0083] 在一些情形中,孔 2420 具有从孔入口 2440 到孔出口 2445 旋转的横截面,其中横截面是指与例如孔内液体或气体的大体流动方向基本垂直的截面。在一些情形中,所述截面从孔入口到孔出口具有逐渐增加的旋转率。在一些情形中,所述截面从孔入口到孔出口具有逐渐减小的旋转率。在一些情形中,所述截面从孔入口到孔出口具有恒定的旋转率。

[0084] 通过下面的实例进一步说明本发明中的微结构、孔、层、构造和方法的一些优点。实例中描述的具体的材料、用量和尺寸以及其他的条件及细节不应解释为对本发明的不当限制。除非另外说明,否则所有的化学过程皆在带有干燥脱氧溶剂和试剂的干氮气氛中进行。除非另有说明,否则所有溶剂和试剂均从或可以从 Aldrich Chemical Co., Milwaukee, WI (威斯康星州密尔沃基市的奥德里奇化学公司) 获得。

[0085] 若丹明 B 六氟锑酸盐是通过若丹明 B 氯化物与六氟锑酸钠的复分解制备的。如本文所用, SR368 是指三 (2- 羟乙基) 异氰尿酸酯三丙烯酸酯 (tris-(2-hydroxyethyl) isocyanurate triacrylate) (得自 Sartomer Co. Inc. (Exton, PA)); SR9008 是指三官能团丙烯酸酯 (得自 Sartomer); SR1012 是指二芳基碘鎓六氟锑酸盐 (diaryliodonium hexafluoroantimonate) (得自 Sartomer); SU-8R2150 是指环氧树脂负性光刻胶 (得自 MicroChem Corp. (Newton, MA)); THF 是指四氢呋喃; LEXAN HPS1R 是指热塑性聚碳酸酯 (得自 Sabic Innovative Plastics (Pittsfield, MA)); 且 IncoS-Rounds 是指镍 (得自 Vale Inco America's, Inc. (Saddle Brook, NJ))。

[0086] 实例 1 :

[0087] 直径为 10.2cm 的圆形硅片 (图 1A 中的基底 110) 得自 Wafer World, Inc. (West Palm Beach, Florida)。将该硅片在浓缩硫酸和 30 重量%的含水过氧化氢的体积比为 3 : 1 的混合物中浸泡大约 10 分钟以进行清洁。然后用去离子水冲洗该晶片,并再用异丙醇冲洗,之后将其在气流下干燥。然后将所述晶片浸入 2 重量%的在耐 190 的乙醇中的 3-(三甲氧基甲硅烷基) 丙基异丁烯酸盐溶液中,所述耐 190 的乙醇此前已用乙酸使其成为酸性 (pH 在 4 和 5 之间) 的。然后将该晶片用无水乙醇冲洗,再在 130℃下在炉中加热 10 分钟。

[0088] 将数均分子量为大约 120,000 的聚甲基丙烯酸甲酯、SR9008 和 SR368 以重量比 30 : 35 : 35 混合获得一单体混合物,将该单体混合物溶于足量 1,2-二氯乙烷中获得 54% 重量的所述单体混合物的溶液。然后在该溶液中加入足量的光敏剂若丹明 B 六氟锑酸盐的 TNF 浓缩液和 SR1012 的 TNF 浓缩液的等分试样,以便获得按固体总重量计,若丹明 B 六氟锑酸盐占 0.5 重量%、SR1012 占 1.0 重量%的涂层溶液。使用 1 微米喷射器过滤器过滤该涂层溶液,然后旋转涂覆到硅片上。将被涂覆晶片放入 60℃的强制通风烘箱中达 18 小时以提供厚度为大约 300 μm 且具有基本不含溶剂 (下称“干”) 的涂层 (图 1A 中的第一材料层 115) 的被涂覆硅片。

[0089] 采用二极管泵浦 Ti:sapphire 激光器 (得自 Spectra-Physics (Mountain View, CA)) 进行干涂层的双光子聚合。所述激光器在以下条件下以 800nm 进行操作:标称脉冲宽度为 80fs、脉冲重复频率为 80MHz、平均功率为大约 1W。将被涂覆晶片放在计算机控制的三轴台面 (得自 Aerotech, Inc. (Pittsburgh, PA)) 上。采用中性密度滤光器使激光束减弱并采用带有 x 轴、y 轴和 z 轴控制显微镜的检流扫描仪 (得自 Nutfield Technology, Inc. (Windham, NH)) 使激光束聚焦于干涂层内。直接将工作距离为 0.400mm 且焦距为 4.0mm 的

Nikon CFI PlanAchromat 50X oil objective N.A. 0.90 应用到干涂层的表面上。用波长已校准的光电二极管（从 Ophir Optonics, Ltd. (Wilmington, MA) 获得）在物镜镜头的输出处测量平均功率，并确定平均功率为约 8mW。

[0090] 曝光扫描完成后，将已曝光的干涂层在 MicroChem SU-8 溶剂中冲洗、漂洗、干燥以获得第一微结构化图案 121（图 1b）。

[0091] 通过在第一微结构化图案的表面上溅射银（Ag）薄层（大约 100 埃）来使该图案的表面可导电。采用 Inco S-Rounds（镍）电镀该金属化的前表面直到其大约 2mm 厚为止。将电镀镍段塞（slug）从第一图案上分离并进行研磨和机加工，从而获得具有第二微结构化图案 141 的第一模具 140（图 1F）。

[0092] 然后将第一模具放入注模中，该注模被放入单螺杆塑性注模系统中以将热塑性聚碳酸酯（LEXAN HPS 1R）注入模空腔中，从而获得具有第三微结构化图案 161 的第二模具 160（图 1H）。

[0093] 然后，通过用大约 100 埃的银对第二模具的前表面进行溅射而使该表面金属化。然后采用 Inco S-Rounds（镍）电镀该金属化的第二模具，以完全覆盖所述第三微结构化图案，从而获得镍层 170（图 1J）。

[0094] 在采用去离子水冲洗所述镍层和第二模具的组合构造后，镍层的前表面 172（图 1J）被研磨成平面以从第三微结构化图案的顶 171 去除镍材料。

[0095] 研磨完成（暴露出所有的微结构顶）后，将电镀镍层从聚碳酸酯模具 160 分离，从而获得直径为大约 8mm、厚度为 160 μ m 并带有 37 个被排列成圆形六边形紧密布置的通孔的镍盘。相邻孔之间的间距为大约 200 μ m。每一个孔均具有呈跑道形状的孔入口，该跑道沿其直线部分被修改成具有圆角。该跑道的长直径为大约 80 μ m，短直径为大约 50 μ m。每一个孔均具有呈较小跑道形状的孔出口，所述跑道的长直径为大约 50 μ m，短直径为大约 35 μ m。从孔出口侧观察，所述孔的截面的长直径从孔出口到孔入口对于所述孔出口下面的每 50 μ m 深度顺时针旋转大约 30 度。

[0096] 如本文所用，例如“垂直”、“水平”、“上面”、“下面”、“左”、“右”、“上”及“下”、“顺时针”及“逆时针”等术语以及其他类似的术语是指如附图中所示的相对位置。通常，物理实施例可具有不同的取向，在这种情况下，所述术语意在指被修改成装置的实际取向的相对位置。例如，即使图 1B 中的图像相比图中的取向翻转，表面 126 仍可被认为是顶面。

[0097] 以上引用的所有的专利、专利申请以及其它出版物均如同全文复制一般以引用方式并入本文。尽管上面详细描述了本发明的具体实例以有利于说明本发明的各个方面，但是应该理解的是，并不意图将本发明限于这些实例的具体描述。相反，本发明的目的在于涵盖所附权利要求书限定的本发明的精神和范围内的所有修改形式、实施例和替代形式。

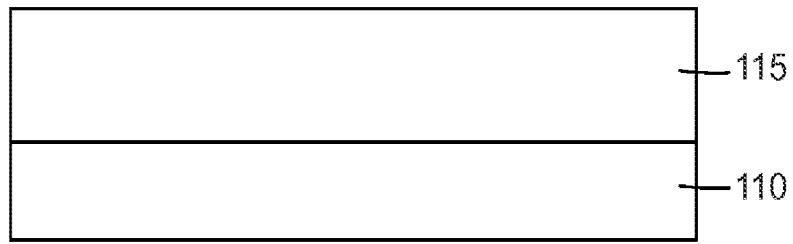


图 1A

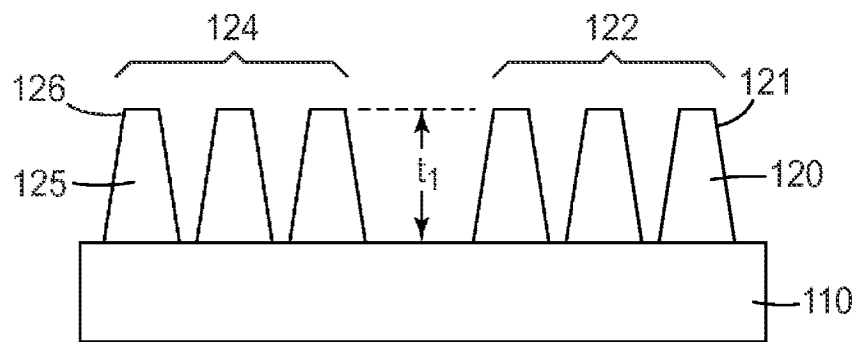


图 1B

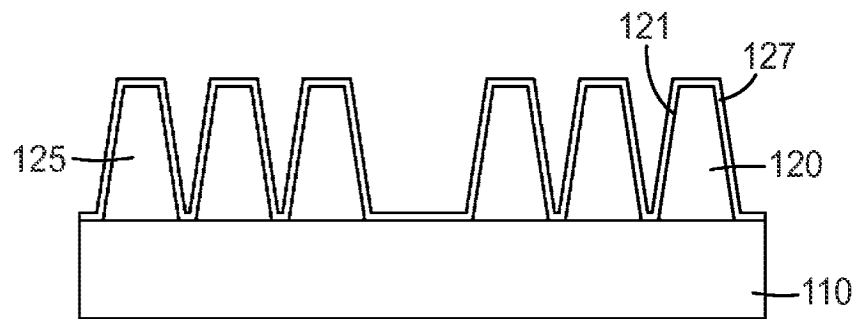


图 1C

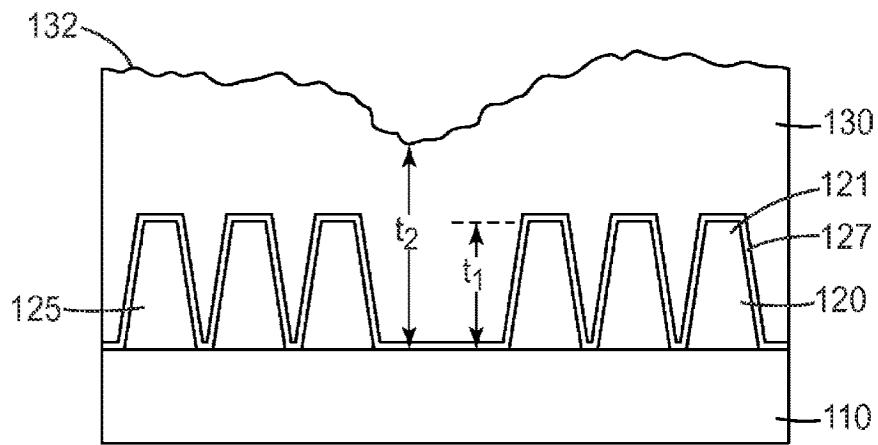


图 1D

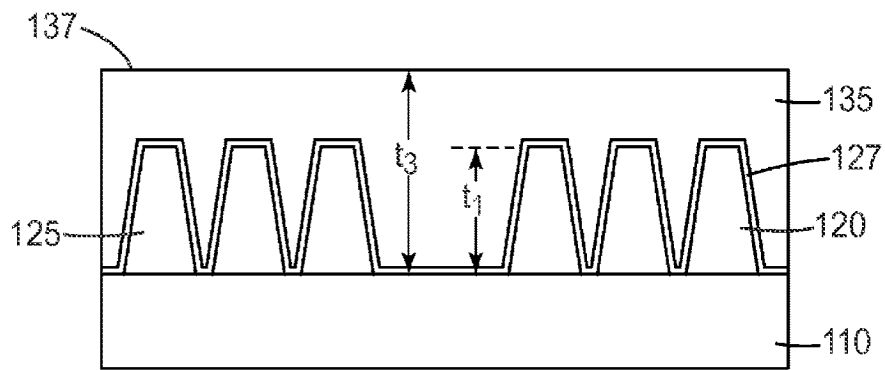


图 1E

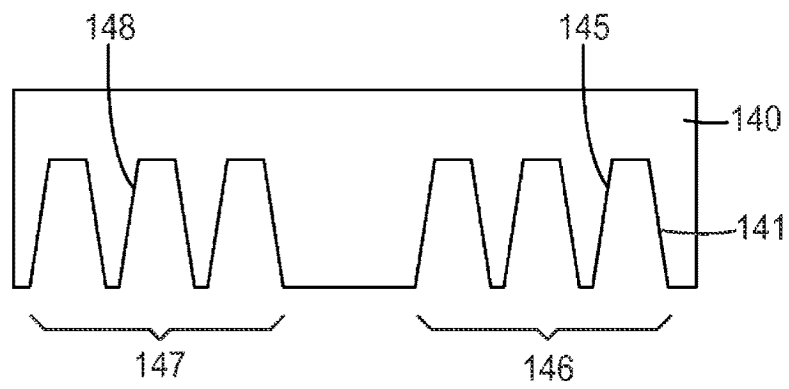


图 1F

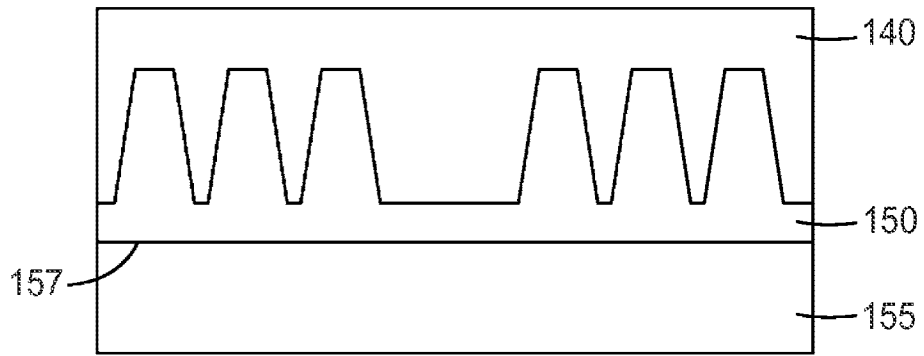


图 1G

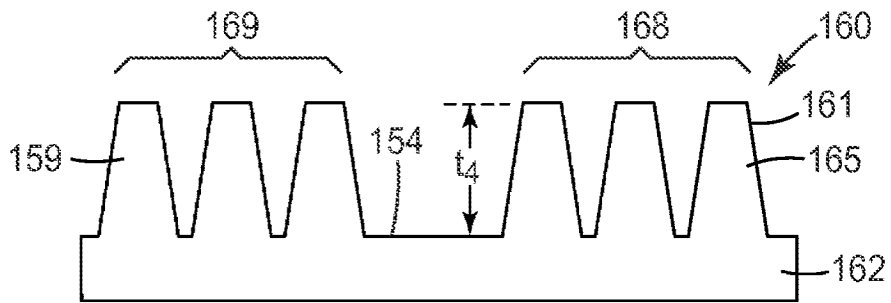


图 1H

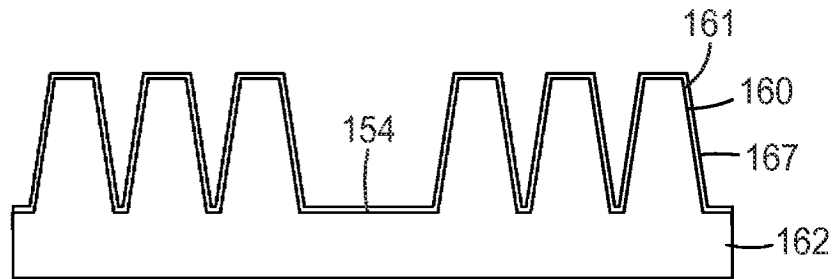


图 1I

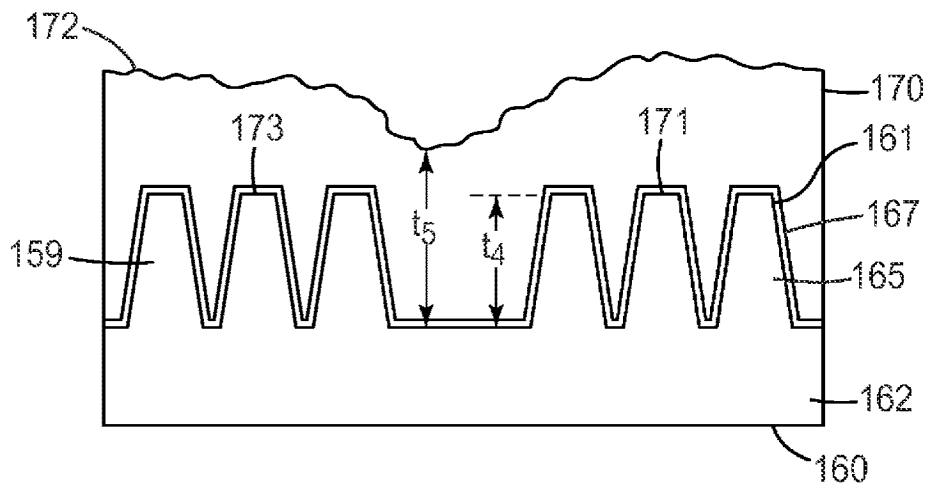


图 1J

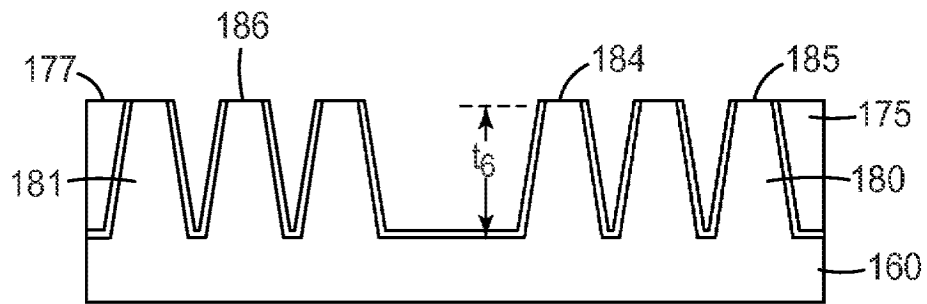


图 1K

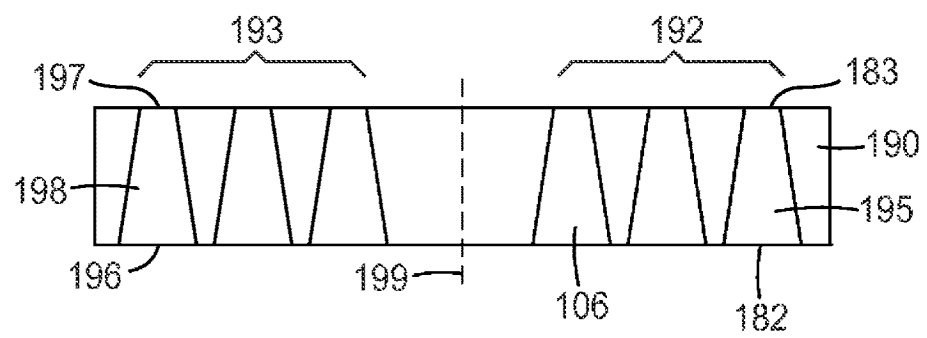


图 1L

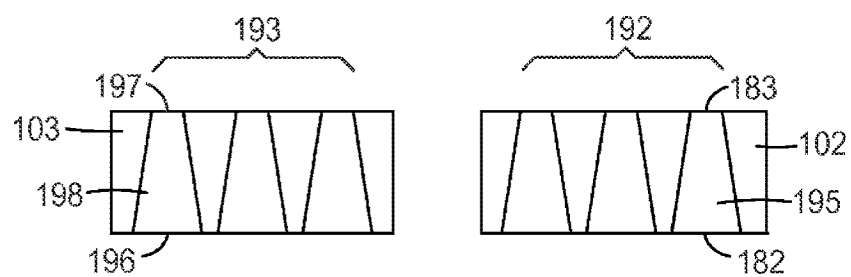


图 1M

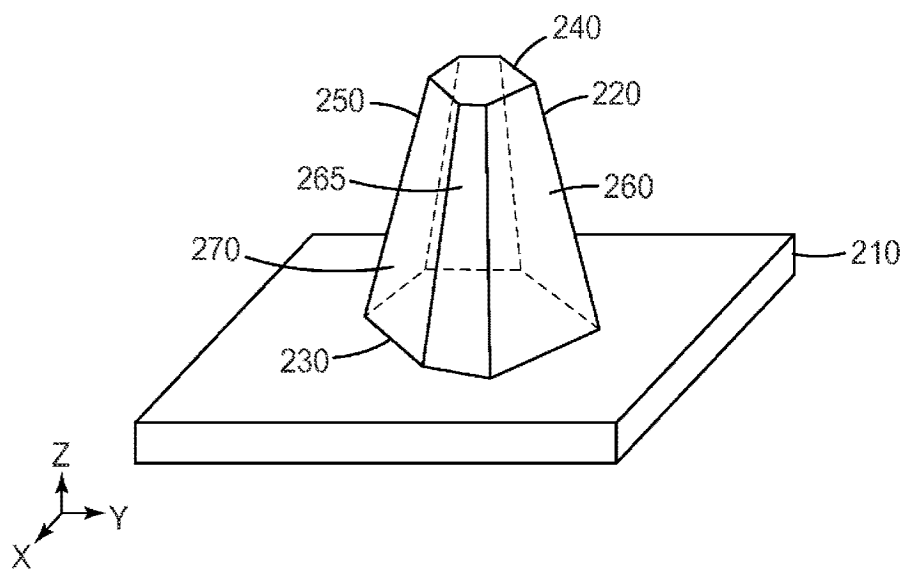


图 2

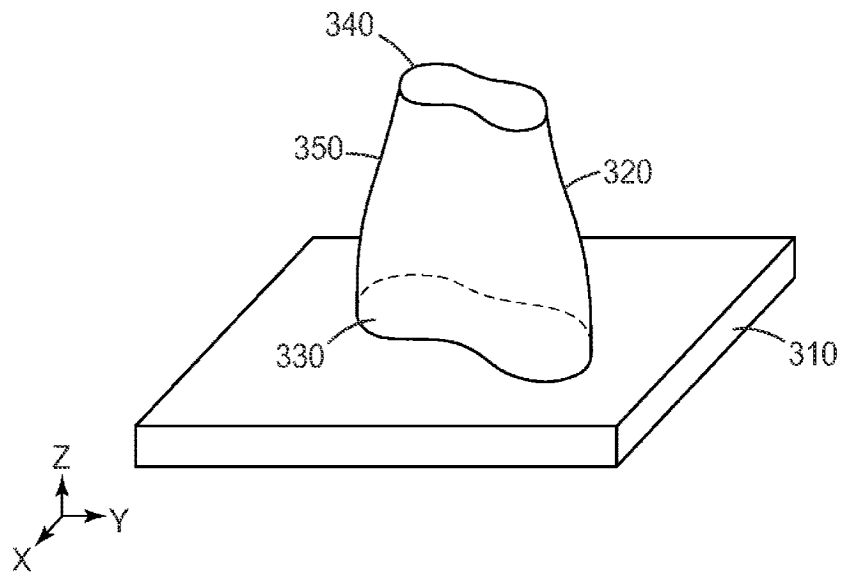


图 3

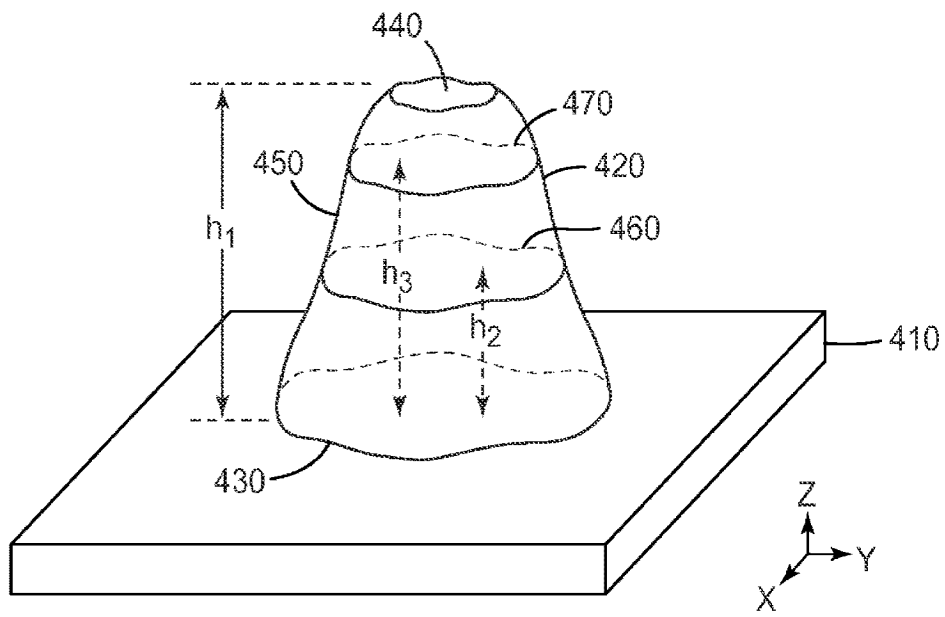


图 4

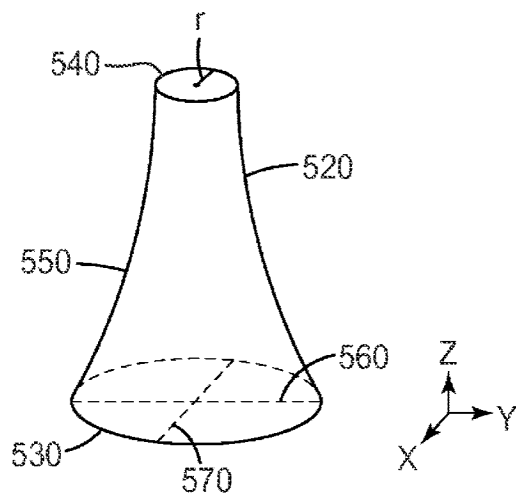


图 5

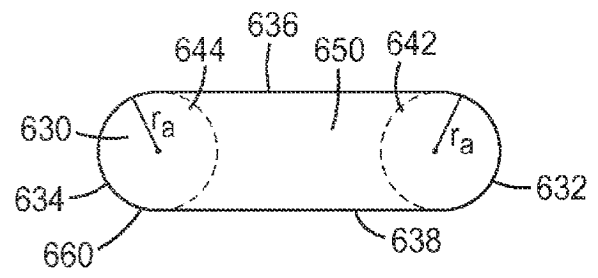


图 6

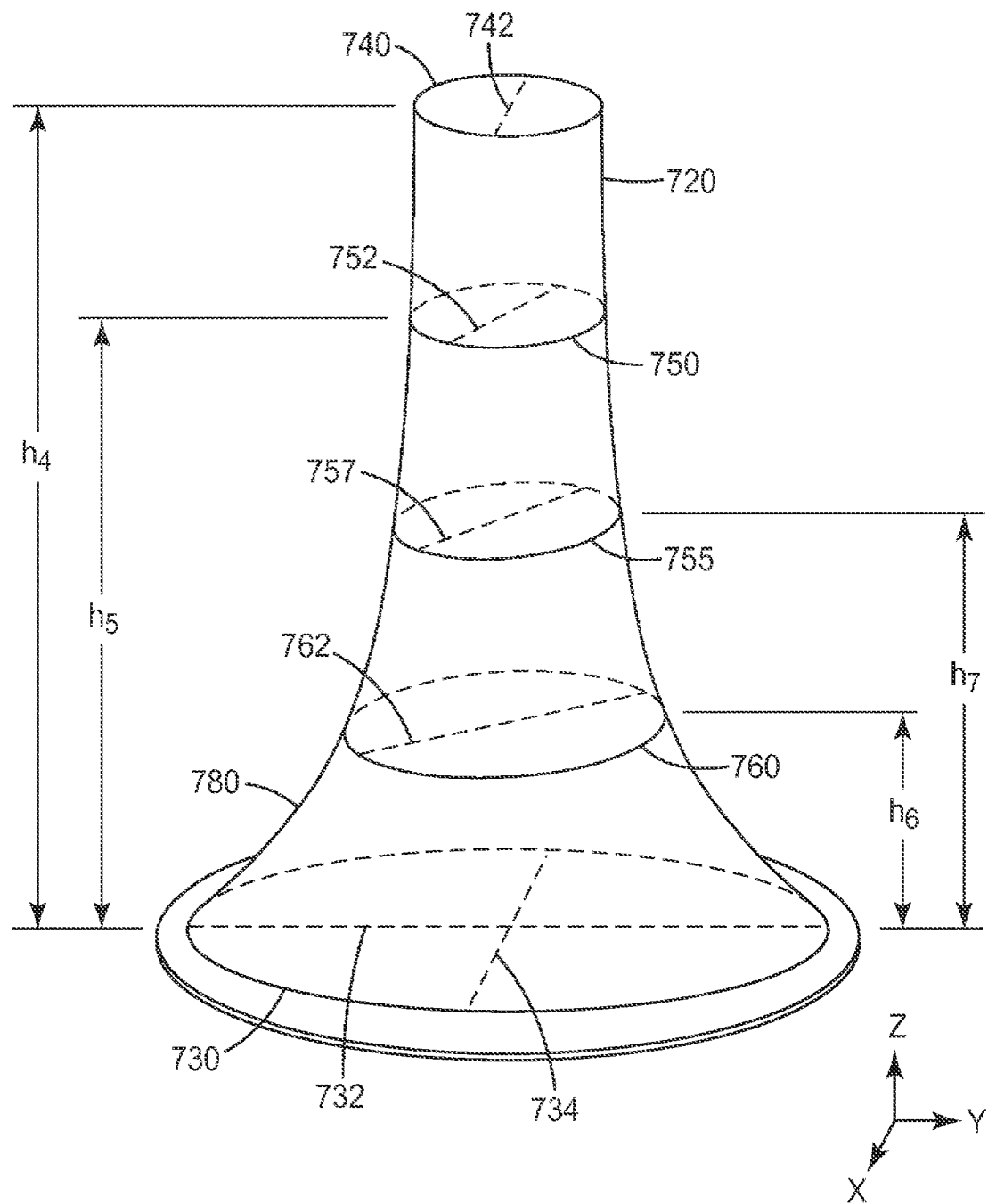


图 7

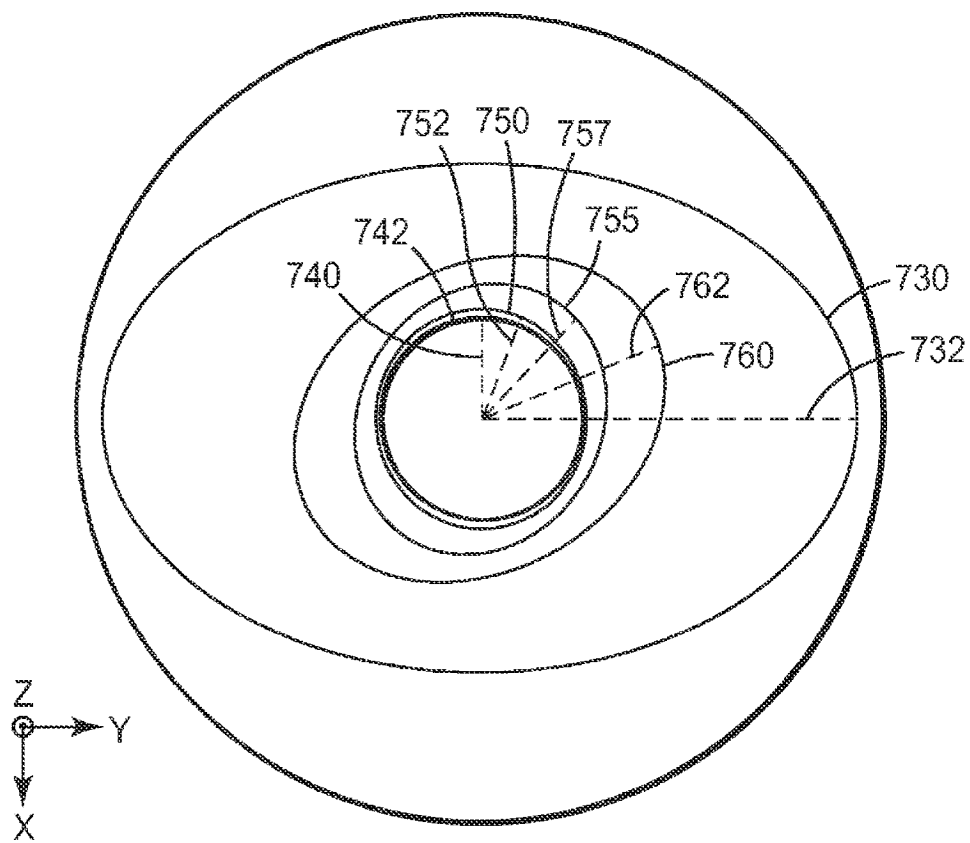


图 8

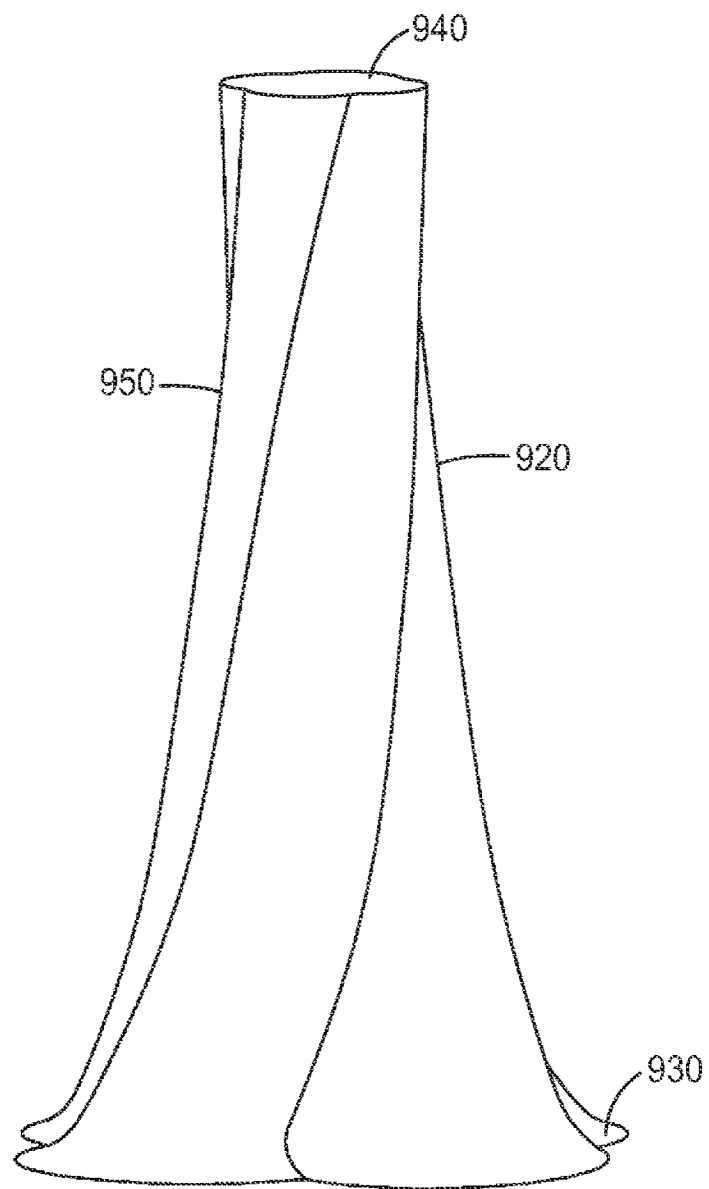


图 9

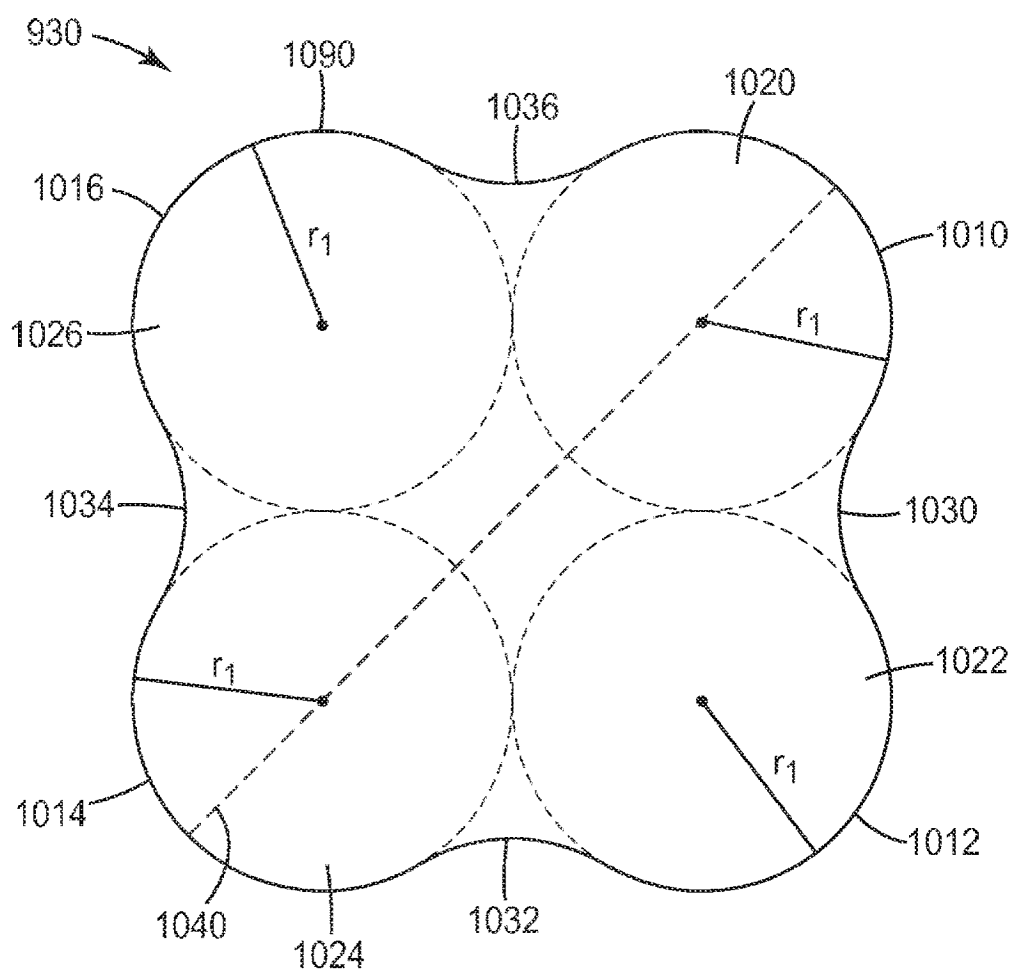


图 10

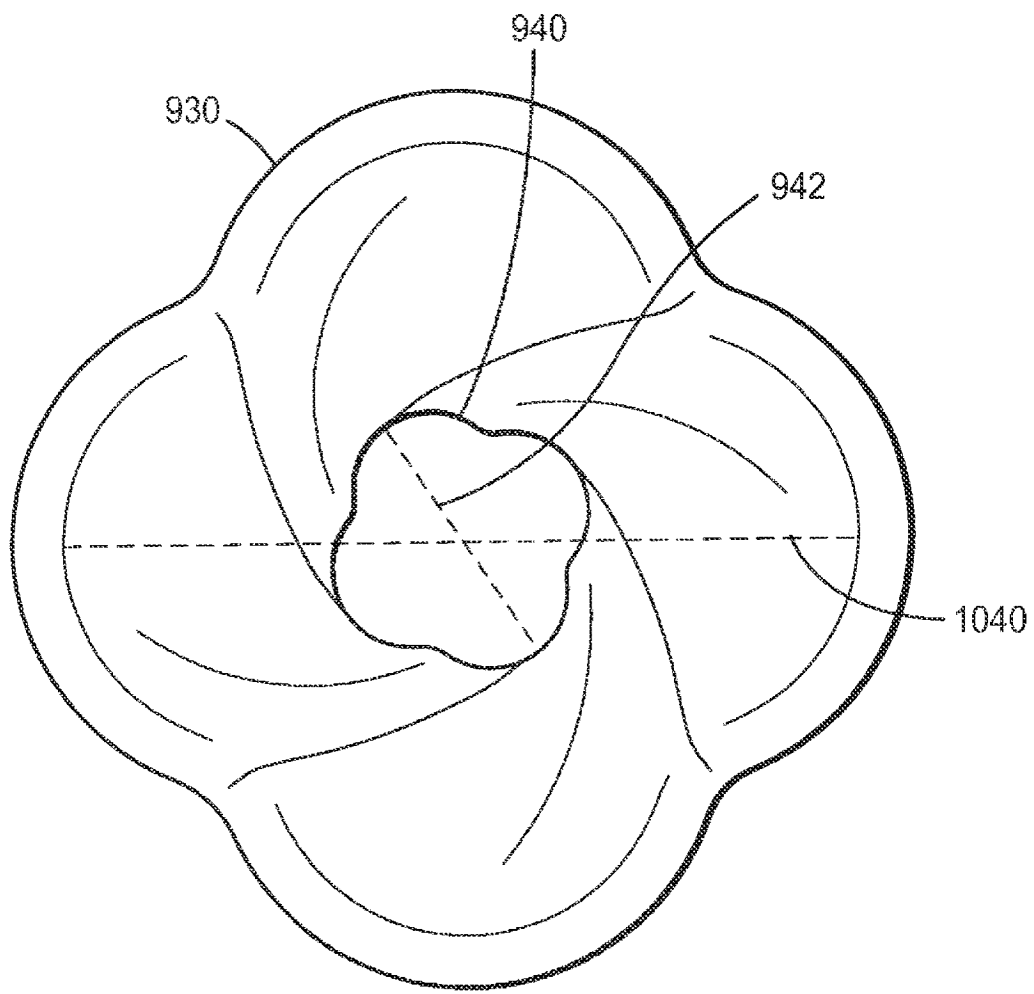


图 11

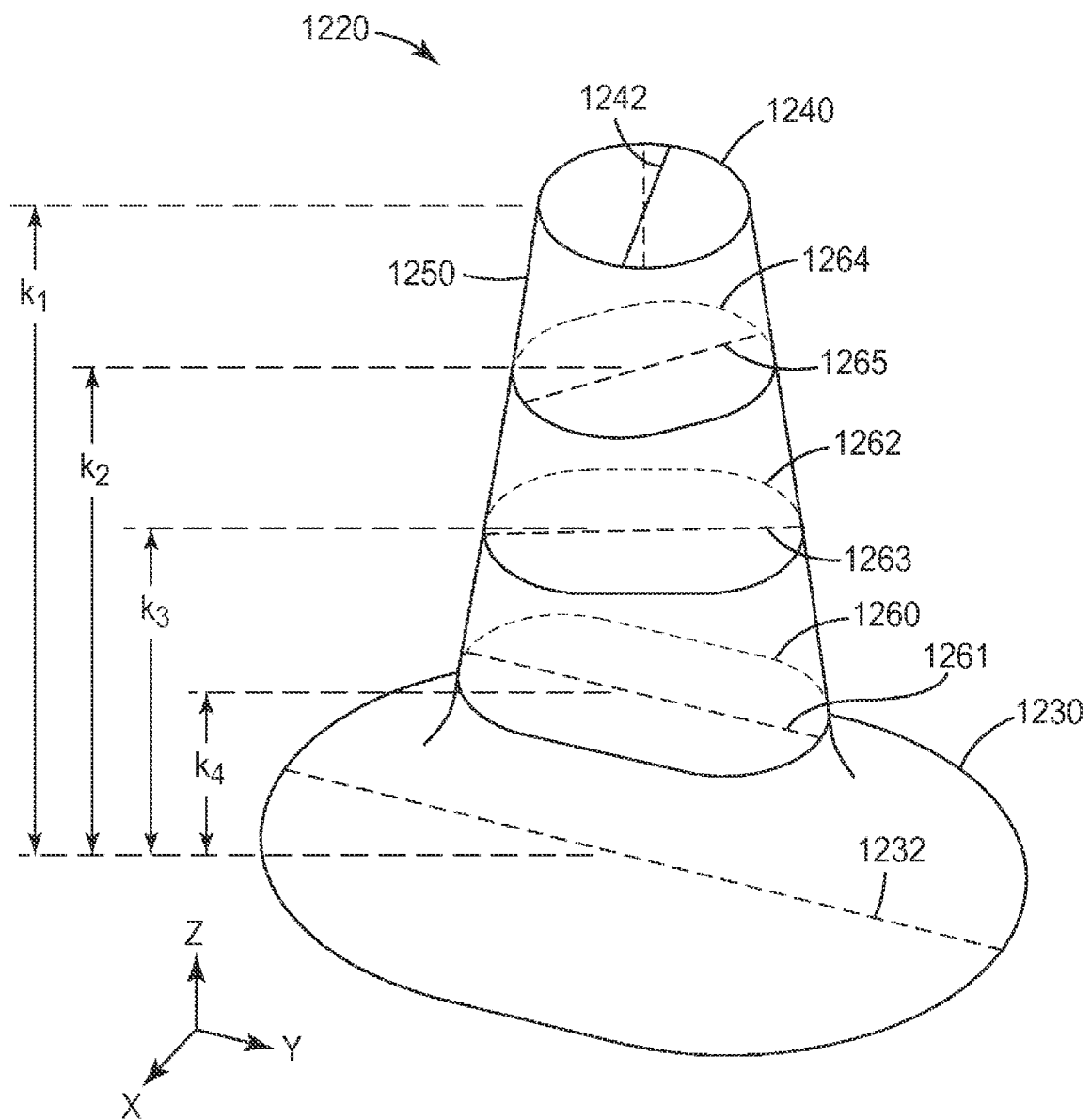


图 12

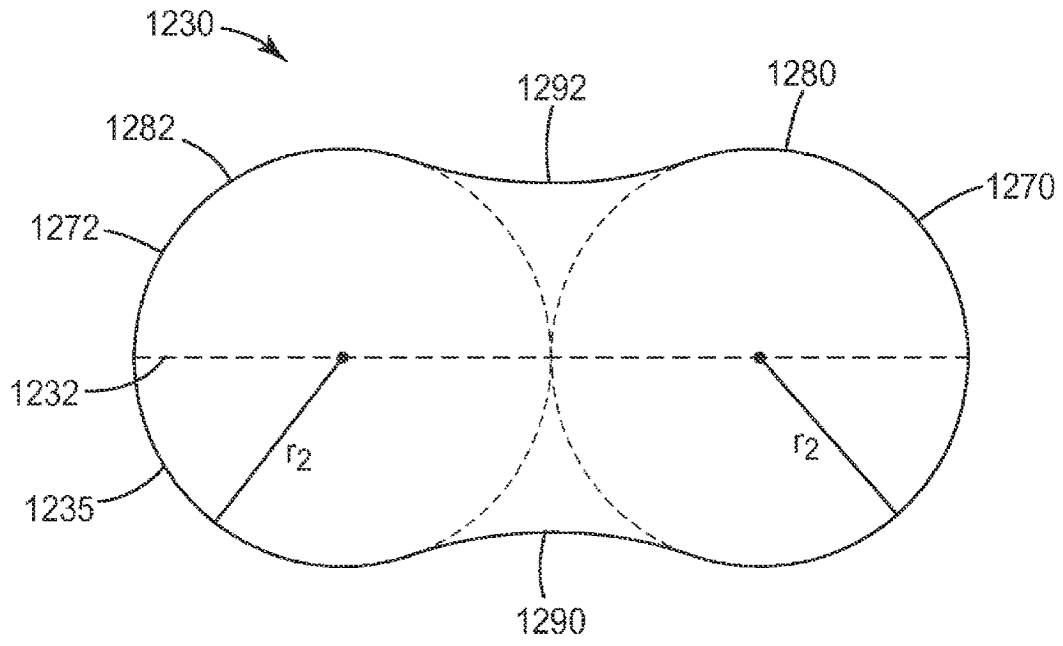


图 13

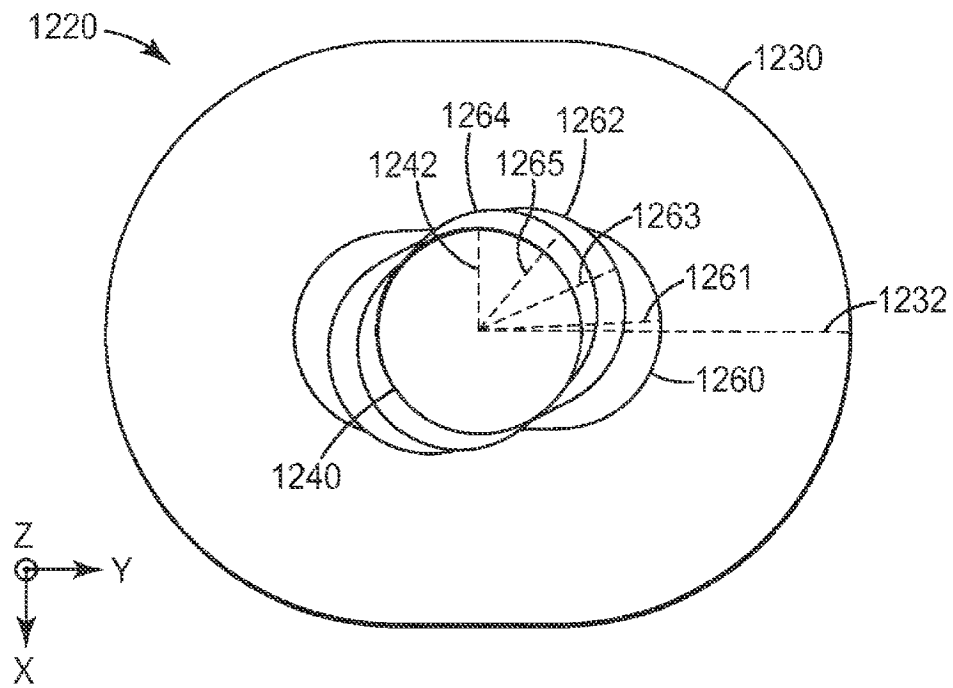


图 14

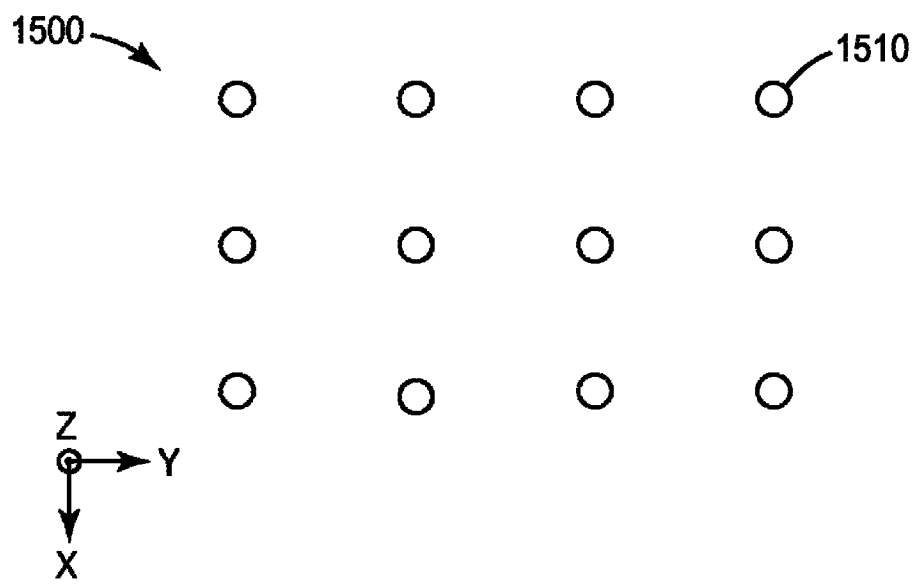


图 15A

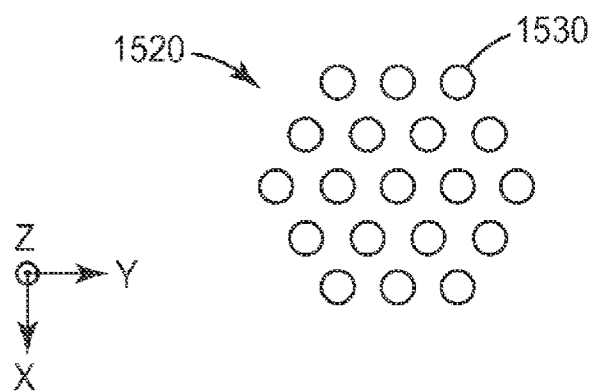


图 15B

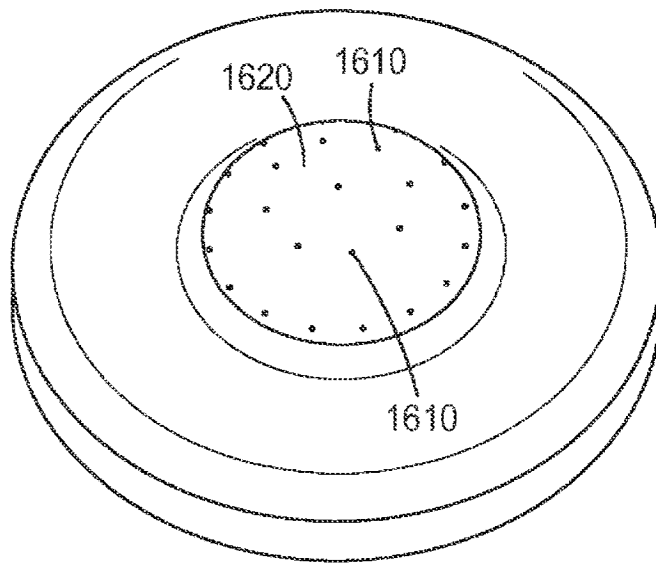


图 16

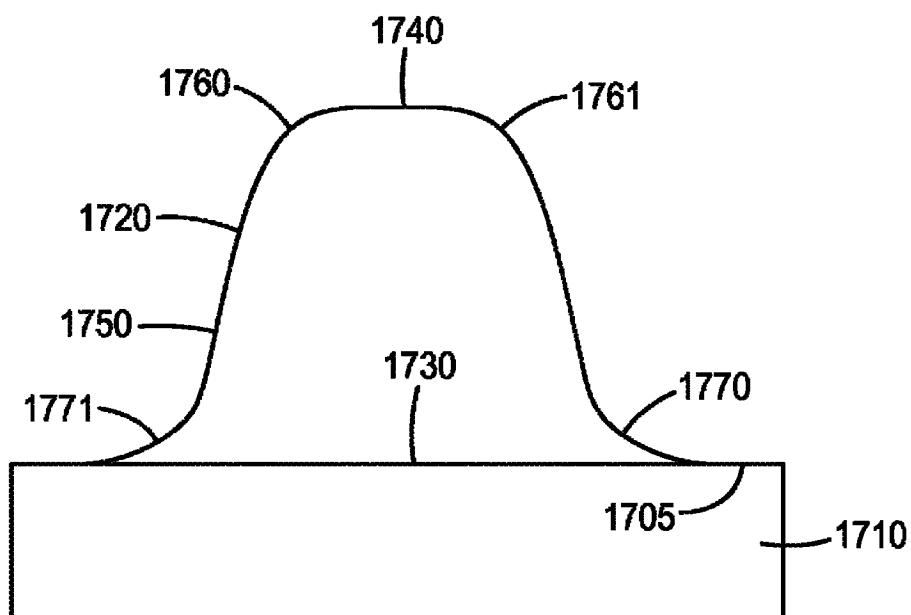


图 17

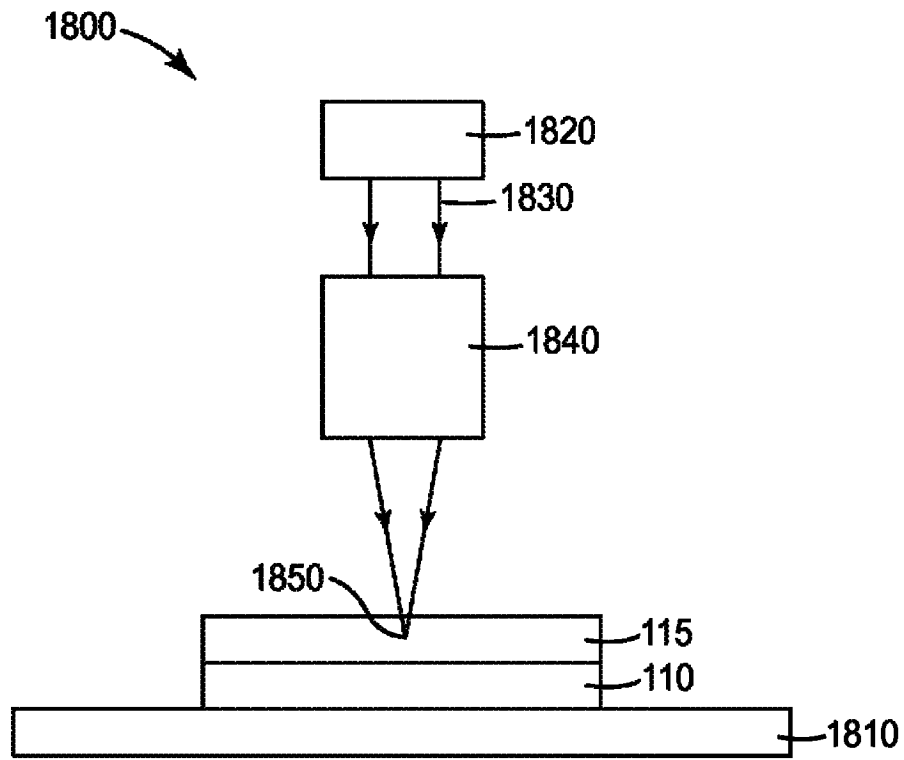


图 18

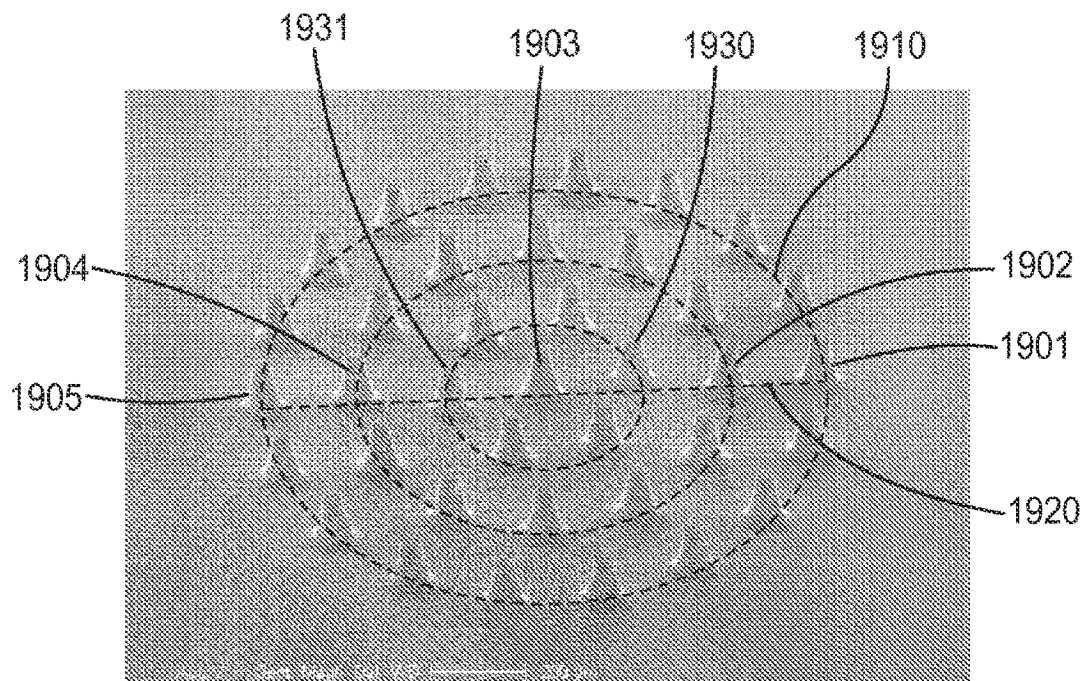


图 19

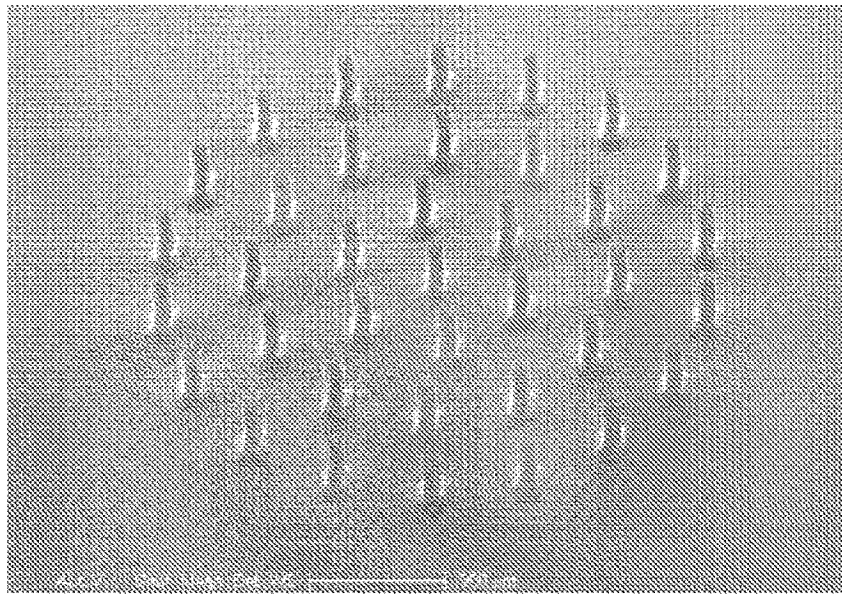


图 20

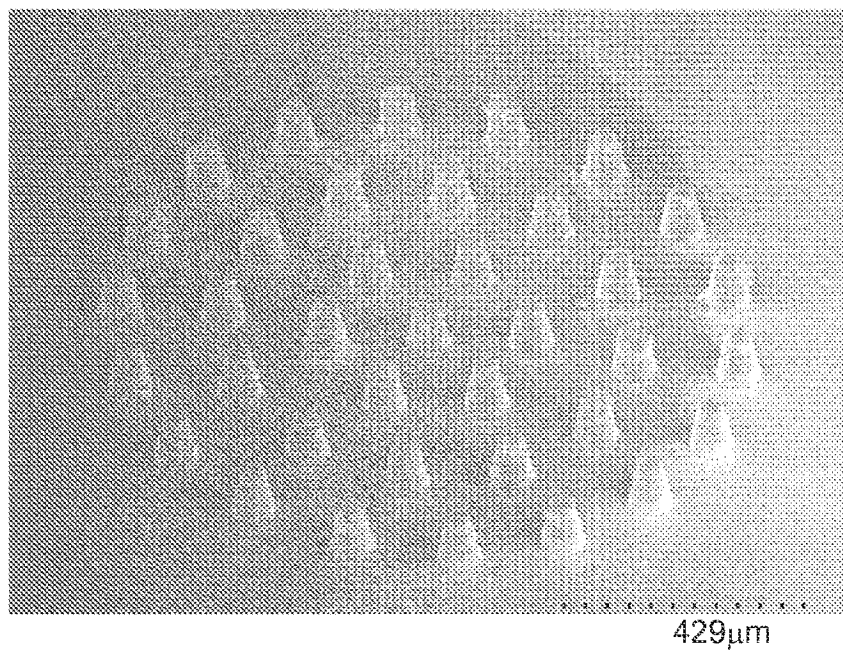


图 21

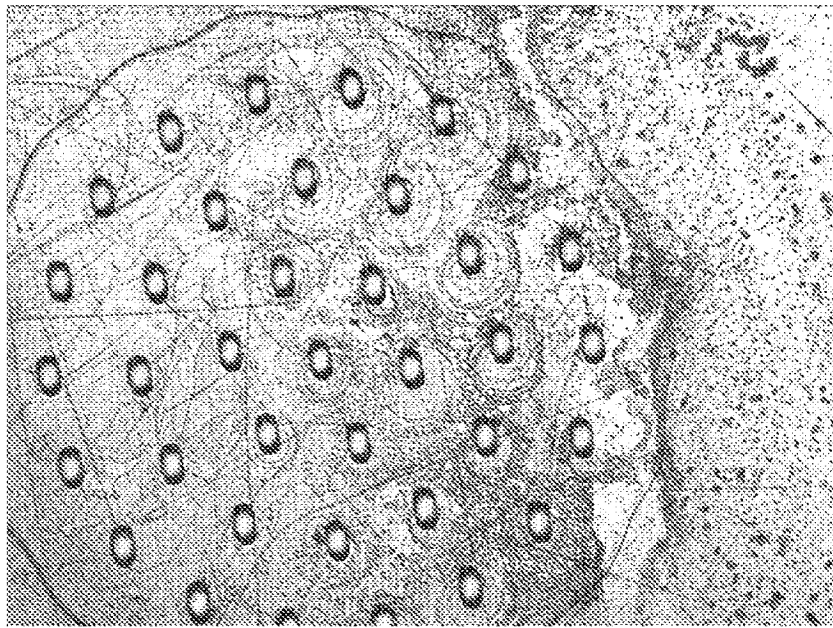


图 22

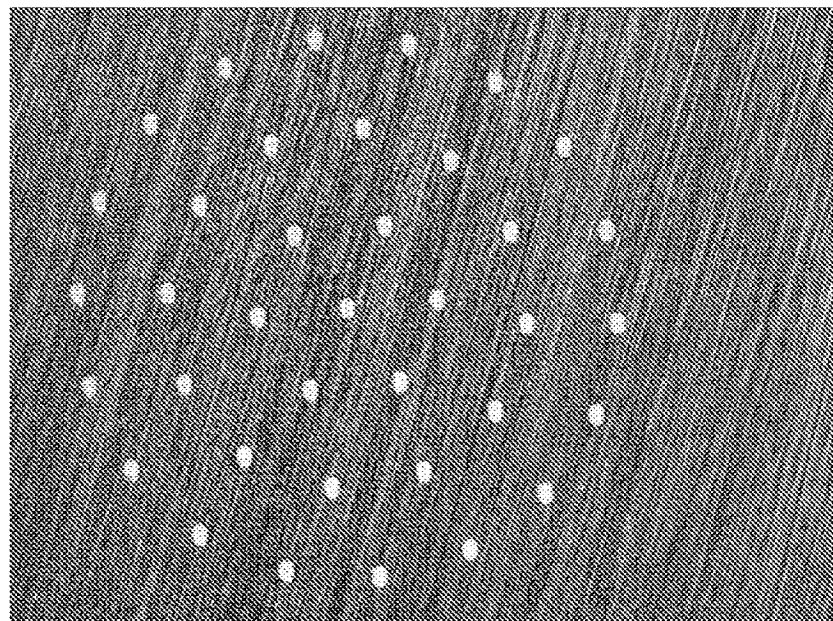


图 23

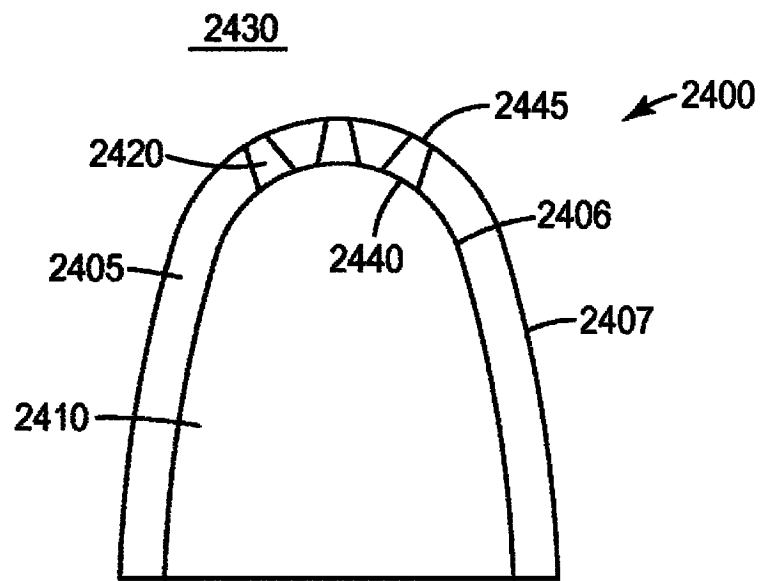


图 24

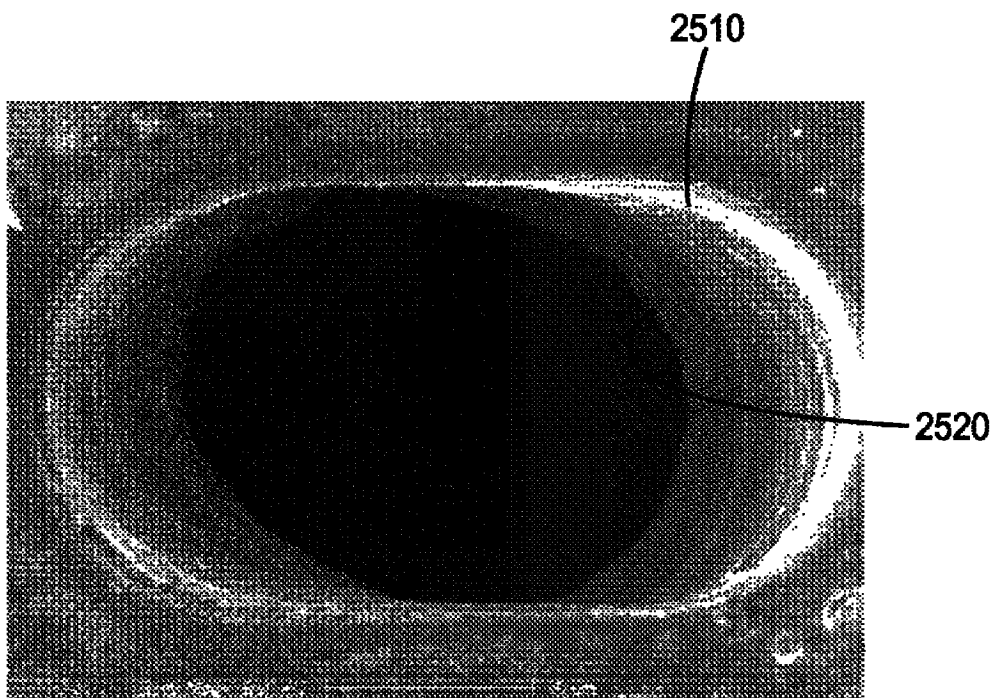


图 25