(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 106730036 B
(45)授权公告日 2020.12.08

(21)申请号 201610703368.3
(22)申请日 2010.08.19
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 106730036 A
(43)申请公布日 2017.05.31
(30)优先权数据
61/235269 2009.08.19 US
(62)分案原申请数据
201080047154.6 2010.08.19
(73)专利权人 史密夫和内修有限公司
地址 美国田纳西州
(72)发明人 J.夏普 S.贾尼 L.吉尔摩尔 R.兰顿
(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 肖日松
(51)Int.Cl.
A61L 27/56(2006.01)
A61F 2/28(2006.01)
(56)对比文件
US 2006147332 A1,2006.07.06
EP 1917877 A1,2008.05.07
审查员 高欣

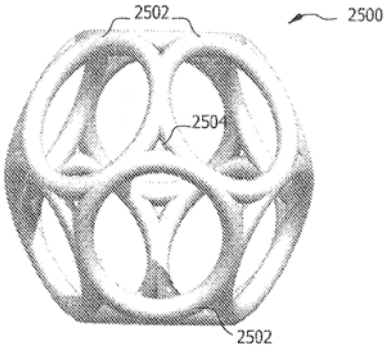
权利要求书2页 说明书17页 附图53页

(54)发明名称

多孔植入物结构

(57)摘要

公开了适合用作医疗植入物的多孔生物相容结构和制造这种结构的方法。所公开的结构可用快速制造技术制造。所公开的多孔结构具有多个支杆和节点,其中不多于两个支杆彼此相交以形成节点。另外,节点可为直的、弯曲的部分,其是弯曲的和/或直的。支杆和节点可形成单元格,所述单元格可被融合或烧结到至少一个另外的单元格而形成连续网状结构以便改进强度,同时提供组织和细胞向内生长所需的孔隙率。



CN 106730036 B

1.一种用于制造用于医疗植入物的多孔结构的方法,所述方法包括以下步骤:

生成所述多孔结构的模型,所述生成包括:

为所述多孔结构的一个或多个单元格选择至少一个框架形状和尺寸,其中所述框架形状包括选自由以下组成的组的几何形状:阿基米德形、柏拉图形、棱柱、反棱柱及其组合;

以第一端、第二端以及对于每个支杆在所述第一端和第二端之间的连续拉长主体限定一个或多个支杆,其中所述主体包括弯曲部分;

以所述弯曲部分中的两个之间的切向交点限定至少一个接头;和

将包括弯曲部分的一个或多个支杆添加到所述框架;

为所述框架和所述一个或多个支杆选择粗度;以及

通过将可熔融材料暴露于能量源而制造根据所述模型的所述多孔结构。

2.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述添加步骤通过将所述一个或多个支杆的所述弯曲部分内切在所选择形状的一个或多个面内或者外接在所选择形状的一个或多个面周围而进行。

3.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,还包括以下步骤:在通过将可熔融材料暴露于能量源而制造根据所述模型的所述多孔结构的步骤之前,从所述模型的一个或多个单元格移除所述框架的一部分。

4.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,还包括从由以下组成的组中选择用于制造一个或多个支杆的材料:金属、陶瓷、金属陶瓷、玻璃、玻璃陶瓷、聚合物及其组合。

5.根据权利要求4所述的方法,其特征在于,还包括从由以下组成的组中选择金属材料:钛、钛合金、锆、锆合金、铌、铌合金、钽、钽合金、镍铬、钴铬合金及其组合。

6.根据权利要求1所述的方法,其特征在于,还包括以下步骤:以多边形限定一个或多个支杆的横截面。

7.根据权利要求6所述的方法,其特征在于,还包括以下步骤:以弯曲部分限定所述横截面的至少一部分。

8.一种用于制造用于医疗植入物的多孔结构的方法,所述方法包括以下步骤:

生成所述多孔结构的模型,所述生成步骤包括:

(a) 选择所述多孔结构的第一单元格的形状,其中所述形状选自由以下组成的组:阿基米德形、柏拉图形、棱柱、反棱柱及其组合;

(b) 至少通过为所述形状的至少一部分选择粗度来限定所述第一单元格的一个或多个支杆,每个支杆具有第一端、第二端以及对于每个支杆在所述第一端和第二端之间的连续拉长主体;

(c) 为所述选择的形状提供至少两个弯曲支杆;

(d) 为所述第一单元格提供至少一个接头,其包括在所述弯曲支杆中的两个之间的切向交点;以及

通过将可熔融材料暴露于能量源而制造根据所述模型的所述多孔结构。

9.根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述为所述选择的形状提供至少两个弯曲支杆的步骤包括将所述弯曲支杆内切在所选择形状的一个或多个面内或者外接在所选择形状的一个或多个面周围。

10.根据权利要求8所述的方法,其特征在于,所述为所述选择的形状提供至少两个弯

曲支杆的步骤包括用弯曲部分替换支杆的直部分。

11.根据权利要求8所述的方法，其特征在于，还包括以下步骤：在通过将可熔融材料暴露于能量源而制造根据所述模型的所述多孔结构的步骤之前，从所述第一单元格的模型移除所述支杆的一部分。

12.根据权利要求8所述的方法，其特征在于，还包括以下步骤：以多边形限定一个或多个支杆的横截面。

13.根据权利要求12所述的方法，其特征在于，还包括以下步骤：以弯曲部分限定所述横截面的外周的至少一部分。

14.根据权利要求8所述的方法，其特征在于，所述生成模型的步骤还包括：通过对第二单元格重复步骤(a)至(d)，从而将所述第二单元格添加到所述模型。

15.根据权利要求14所述的方法，其特征在于，还包括将所述第一单元格附接到所述第二单元格的步骤，其中所述第一单元格和所述第二单元格共享一个面。

多孔植入物结构

[0001] 本申请是于2010年8月19日提交的已进入中国国家阶段的PCT专利申请(中国国家申请号为201080047154.6,国际申请号为PCT/US2010/046032,发明名称“多孔植入物结构”)的分案申请。

[0002] 相关申请的交叉引用

[0003] 本申请要求2009年8月19日提交的名称为“多孔植入物结构”的美国临时专利申请第61/235,269号的权益,其全部公开内容通过引用合并于此。

技术领域

[0004] 本发明一般地涉及适用于医疗植入物的多孔结构,并且更具体地涉及具有改进的强度、孔隙率和连接性之组合的适用于医疗植入物的多孔结构以及用于制造这种改进的多孔结构的方法。

背景技术

[0005] 金属泡沫结构是多孔的三维结构,其具有多种用途,包括作为医疗植入物。金属泡沫结构适用于医疗植入物,尤其是整形外科植入物,因为它们有为承重目的所必须的强度,还有促进骨骼/组织向内生长的孔隙率。例如,许多整形外科植入物包括在愈合期间促进骨骼向内生长的骨架部分(section)和旨在让患者更快地行动的承重部分。

[0006] 金属泡沫结构可用许多种方法制造。例如,一种方法是将粉末化金属与造孔剂(PFA)混合在一起然后将混合物压成所需的形状。用热在“燃尽”过程中去除PFA。然后,剩下的金属框架可以被烧结以形成多孔的金属泡沫结构。

[0007] 其他相似的常规方法包括向聚氨酯类泡沫施加粘合剂,向粘合剂施加金属粉末,燃尽聚氨酯类泡沫并将金属粉末烧结在一起以形成“生坯(green)”零件。将粘合剂和金属粉末再施加到生坯零件并再烧结生坯零件直至生坯零件具有所需的支杆粗度(thickness)和孔隙率。然后将生坯零件机加工到最终形状并再烧结。

[0008] 尽管由这种常规方法形成的金属泡沫提供良好的孔隙率,在许多医疗植入物中它们却不能提供足够的强度以起到承重结构的作用。进一步地,用于形成金属泡沫的工艺会通过金属和PFA之间的反应在金属泡沫中导致形成不希望的金属化合物。常规的金属泡沫制造工艺还消耗大量能量并可能产生有害的烟气。

[0009] 例如直接金属制造(DMF)和固体无泡沫制造(SFF)这样的快速制造技术近来已被用于制造医疗植入物或医疗植入物的一部分内使用的金属泡沫。通常,RMT方法允许从3D CAD模型中建立结构。例如,DMF技术从粉末中一次生成三维结构的一层,该粉末通过用能量源,例如激光或电子束照射一层粉末而固化。该粉末被以光栅扫描方式引导到粉末层的所选部分而被施加的能量源融合、熔化或烧结。在一个粉末层内融合图样之后,分配另一层粉末,重复该过程,在层之间进行融合,直到完成所需的结构。

[0010] 据称用在这种直接制造技术中的金属粉末的例子包括铜焊料、青铜镍系统和铜锡的两相金属粉末。通过DMF形成的金属结构可以相对密集,例如具有相应的模制金属结构的

70%到80%的密度，或相反地可以相对多孔，具有接近80%或更大的孔隙率。

[0011] 尽管可用DMF提供坚固到足以充作医疗植入物中的承重结构的密集结构，这样的结构没有足够的孔隙率以促进组织和骨骼向内生长。反过来，可用DMF提供具有足够孔隙率以促进组织和骨骼向内生长的多孔结构，但这样的多孔结构缺少充作承重结构所需的强度。其他激光RMT技术类似地不足以应对整形外科植入物所需的强度、孔隙率及连接性。

[0012] 由于金属泡沫植入物和使用常规DMF方法制造的植入物的不足，一些医疗植入物需要多种结构，每个结构为一种或更多种不同目的而设计。例如，因为一些医疗植入物既需要多孔结构以促进骨骼和组织向内生长，又需要承重结构，多孔插头可以被放在实体结构的凹处并通过烧结将两个结构连接起来。显然，使用单个结构会比使用两个分离的结构并将它们烧结在一起更好。

[0013] 根据以上所述，特别是对于各种整形外科应用，还需要既提供所需强度又提供所需孔隙率的多孔植入物结构。本公开提供改进的多孔结构，所述结构既具有适合于承重结构的强度又具有适合于组织向内生长结构的孔隙率，并提供用于制造这样的改进多孔结构的方法。

发明内容

[0014] 本发明的一个目标是提供一种具有改进的强度和孔隙率的适合用作医疗植入物的多孔生物相容结构。

[0015] 本发明的另一个目标是提供一种制造具有改进的强度和孔隙率的适合用作医疗植入物的多孔生物相容结构的方法。

[0016] 为达到上述目标，根据本发明的一个方面，提供一种多孔结构，其包括：多个支杆，每个支杆包括第一端、第二端以及在所述第一和第二端之间的连续拉长主体，其中，所述主体具有粗度和长度；以及多个节点，每个节点包括在第一支杆的一端和第二支杆的主体之间的交点。

[0017] 在优选实施例中，一个或多个支杆的第一和第二端在两个其它支杆的主体之间延伸。在另一优选实施例中，一个或多个支杆的主体包括多个节点。

[0018] 根据本发明的另一方面，提供一种多孔结构，其包括：多个支杆，其中，一个或多个支杆包括具有长度和粗度的弯曲部分；在两个所述弯曲部分切向地相交处的多个接头；以及多个改进节点，每个改进节点包括由所述接头中的三个或更多个形成的开口。

[0019] 在优选实施例中，多孔结构包括至少一个支杆，其包括具有长度和粗度的直部分。在另一优选实施例中，多孔结构包括：至少一个支杆，其具有第一端、第二端以及在所述第一和第二端之间的连续拉长主体，其中，所述主体具有粗度和长度；以及至少一个封闭节点，其包括在第一支杆的一端和第二支杆的主体之间的交点，其中，所述支杆可包括直部分、弯曲部分或两者。

[0020] 根据本发明的另一方面，提供一种制造多孔结构的方法。一种这样的方法包括以下步骤：生成所述多孔结构的模型，其中，所述生成步骤包括限定多个支杆和多个节点以形成所述多孔结构；以及通过将金属粉末暴露于能量源而制造根据所述模型的所述多孔结构。所述限定步骤包括以下步骤：为每个支杆提供第一端、第二端以及在所述第一端和第二端之间的连续拉长主体；为所述主体选择粗度和长度；以及为每个节点提供第一支杆的一

端和第二支杆的主体之间的交点。

[0021] 在优选实施例中，所述方法包括限定一个或多个支杆的第一和第二端在另两个支杆的主体之间延伸。在另一优选实施例中，限定一个或多个支杆的主体包括多个节点。

[0022] 根据本发明的另一方面，用于制造多孔结构的第二方法包括以下步骤：生成所述多孔结构的模型，所述生成步骤包括为多孔结构的一个或多个单元格选择至少一个框架形状和尺寸，其中所述框架形状包括选自由以下组成的组的几何形状：阿基米德形、柏拉图形、严格凸多面体、棱柱、反棱柱及其各种组合；将一个或多个支杆添加到框架中，其中所述支杆包括弯曲部分，所述添加步骤通过将所述一个或多个支杆的弯曲部分内切在所选形状的一个或多个面内或外接在所选形状的一个或多个面周围而进行；为所述框架和所述一个或多个支杆选择粗度；以及通过将金属粉末暴露于能量源而制造根据所述模型的所述多孔结构。

[0023] 在优选实施例中，生成步骤包括从所述模型的一个或多个单元格去除框架的一部分的步骤。在另一优选实施例中，所述制造步骤包括：基于所选大小、至少一个单元格形状和至少一个单元格尺寸来为多孔结构确定$N_{(1,x)}$个逐层图样，其中N的范围从多孔结构底部的第一层的1到多孔结构顶部的顶层的x；沉积第N层粉末化生物相容材料；在所沉积的第N层粉末化生物相容材料中融合或烧结第N层图样；以及从N=1到N=x重复该沉积以及融合或烧结步骤。

[0024] 在一个精细改进中，该方法还包括生成多孔结构的模型，其中对于至少一些节点来说，在同一位置不多于两个支杆相交。

[0025] 在另一个精细改进中，所述方法可包括生成多孔结构的模型，其中至少一个支杆或支杆部分是弯曲的。

[0026] 所公开的多孔结构可用如直接金属制造工艺这样的快速制造技术制造。支杆可被烧结、熔化、焊接、粘合、融合或以其他方式连接到其它支杆。支杆和节点可限定多个开窗(fenestration)。另外，支杆和节点可被烧结、熔化、焊接、粘合、融合或以其他方式相互连接以形成单元格，所述单元格可被融合、熔化、焊接、粘合、烧结或以其他方式连接到其它单元格以形成连续的网状结构。

[0027] 在一些精细改进中，单元格内的至少一个、一些或全部支杆可具有均匀的支杆直径。在一些精细改进中，单元格内的至少一个、一些或全部支杆可具有不均匀的支杆直径。在一些精细改进中，单元格可具有支杆的组合，该支杆的组合具有均匀和不均匀的支杆直径。在一些精细改进中，单元格的均匀直径支杆中的至少一个、一些或全部可以或可以不共享相似、不同或相同的支杆直径、纵向形状、横截面形状、尺寸、形状轮廓、支杆粗度、材料特性、强度剖面或其它性质。在一些精细改进中，单元格内的一个、一些或全部支杆可沿预定的支杆长度以相似、不同或相同的速率在直径上增长或收缩。

[0028] 在一些精细改进中，单元格内的支杆可在两个节点之间延伸。在这一构思的进一步改进中，支杆可沿支杆长度具有变化的横截面直径，包括位于两个节点之间的中部处的最小直径。在这一构思的进一步精细改进中，支杆可具有两个相对端以及位于这两端之间的中部，每端连接到一节点。支杆可随其从中部朝每个节点延伸而向外张开或渐缩，使得中部的直径基本上小于两个相对端之一或两者的直径。在一些实例中，支杆可按抛物面凹面形张开，或可按截头圆锥形渐缩。

[0029] 在另外的精细改进中，单元格内的至少一个、一些或全部支杆是弯曲的。在该构思的进一步精细改进中，多孔结构内的一个、一些或全部单元格包括至少一个弯曲支杆。在该构思的进一步精细改进中，组成多孔结构的全部支杆是弯曲的。在该构思的进一步精细改进中，弯曲支杆可形成完整的环或环片段。该环或环片段可相互连接以形成多面单元格的开放面或开窗。在一些实例中，单个环可形成连接两个相邻的多面单元格的共享壁部。在一些实例中，一个或多个环片段可独立地或与直支杆部联合地形成连接两个相邻的多面单元格的共享壁部。在另一进一步精细改进中，每个单元格的面的数量可在从大约4到大约24的范围。更优选地，每个单元格的面的数量可在从大约4到大约16的范围。已被发现特别有效的一个几何形状是十二面体或12面单元格。但是，如以下解释和说明的，多孔结构的单独的单元格或多个单元格的几何形状可广泛变化，并且在几何形状上可在多孔结构的单元格之间随机变化。

[0030] 在另一精细改进中，单元格、支杆、节点和/或接头的构造可在整个多孔结构中随机变化以更近似地模拟天然骨骼组织。

[0031] 在另一精细改进中，每个单元格可为多面的，其整体形状可配合在选自由以下组成的组的几何形状中：四面体，截角四面体，立方八面体，截角六面体，截角八面体，斜方立方八面体，截角立方八面体，扭棱六面体，扭棱立方八面体，三十二面体，截角十二面体，截角二十面体，斜方三十二面体，截角三十二面体，扭棱十二面体，扭棱三十二面体，立方体，正八面体，正十二面体和正二十面体，棱柱，拟柱体，均匀棱柱，直角棱柱，平行六面体(parallelpiped)，直平行六面体，多胞形，蜂巢，正四角锥，正五角锥，正三角台塔，正四角台塔，正五角台塔，正五角丸塔，正三角锥柱，正四角锥柱，正五角锥柱，四角锥反角柱，正五角锥反角柱，双三角锥，双五角锥，双三角锥柱，双四角锥柱，双五角锥柱，双四角锥反角柱，三角台塔柱，四角台塔柱，五角台塔柱，五角丸塔柱，三角台塔反角柱，四角台塔反角柱，五角台塔反角柱，五角丸塔反角柱，异相双三角柱，同相双三角台塔，同相双四角台塔，异相双四角台塔，同相双五角台塔，异相双五角台塔，同相五角台塔丸塔，异相五角台塔丸塔，同相双五角丸塔，同相双三角台塔柱，异相双三角台塔柱，异相双四角台塔柱，同相双五角台塔柱，异相双五角台塔柱，同相五角台塔丸塔柱，异相五角台塔丸塔柱，同相双五角丸塔柱，异相双五角丸塔柱，双三角台塔反角柱，双四角台塔反角柱，双五角台塔反角柱，五角台塔丸塔反角柱，双五角丸塔反角柱，侧锥三角柱，二侧锥三角柱，三侧锥三角柱，侧锥五角柱，二侧锥五角柱，侧锥六角柱，双侧锥六角柱，二侧锥六角柱，三侧锥六角柱，侧锥正十二面体，双侧锥正十二面体，二侧锥正十二面体，三侧锥正十二面体，正二十面体欠二侧锥，正二十面体欠三侧锥，侧锥正二十面体欠三侧锥，侧台塔截角四面体，侧台塔截角立方体，双侧台塔截角立方体，侧台塔截角十二面体，双侧台塔截角十二面体，二侧台塔截角十二面体，三侧台塔截角十二面体，侧台塔小斜方截半二十面体，双侧台塔小斜方截半二十面体，二侧台塔小斜方截半二十面体，三侧台塔小斜方截半二十面体，小斜方截半二十面体欠一侧台塔，双侧台塔小斜方截半二十面体欠一侧台塔，侧台塔小斜方截半二十面体欠一侧台塔，二侧台塔小斜方截半二十面体欠一侧台塔，小斜方截半二十面体欠双侧台塔，小斜方截半二十面体欠二侧台塔，侧台塔小斜方截半二十面体欠二侧台塔，以及小斜方截半二十面体欠三侧台塔，扭棱双五角椎，扭棱四方反棱柱，球形屋根，侧锥球形屋根，加长型球形屋根，广底加长型球形屋根，五角锥球形屋根，双新月双丸塔，三角广底球形屋根丸塔，以及其组合。

[0032] 在另一精细改进中，粉末选自由以下组成的组：金属、陶瓷、金属陶瓷(含陶合金)、玻璃、玻璃陶瓷、聚合物、复合物及其组合。

[0033] 在另一精细改进中，金属材料选自由以下组成的组：钛、钛合金、锆、锆合金、铌、铌合金、钽、钽合金、镍铬(例如不锈钢)、钴铬合金及其组合。

[0034] 在另一精细改进中，多孔结构形成医疗植入物的至少一部分，医疗植入物例如为整形外科植入物、牙科植入物或脉管植入物。

[0035] 还公开了用于细胞和组织向内生长和承重强度的多孔整形外科植入物结构，其可用近终形制造工艺制造，诸如用于金属性生物材料的直接金属制造(DMF)工艺或者用于聚合物生物材料的立体光刻制造工艺。在采用DMF工艺的实例中，分层提供粉末化的生物相容材料，一层粉末化生物相容材料的单独的颗粒被一次一层地融合或烧结在一起。示例的多孔结构包括多个三维单元格。每个单元格包括多个支杆。每个支杆可在节点处烧结或融合到一个其它支杆。每个节点可包括不多于两个支杆的接头。每个单元格的支杆和节点限定多个开窗。每个单元格包括大约4到大约24个开窗。单元格中的至少一些的至少一个支杆是弯曲的。每个单元格可融合或烧结到至少一个另外的单元格以形成连续网状结构。

[0036] 其它优点和特征将在联系附图阅读以下详细说明时显而易见。前面已概述了本发明较宽泛的特征和技术优点，从而可更好地理解以下本发明的详细说明。本发明的额外特征和优点将在下文说明，这形成本发明的权利要求的主题。本领域技术人员应理解所公开的构思和具体实施例可易用作修改或设计其它结构从而实现本发明相同目的的基础。本领域技术人员还应认识到这样的等同构造不背离如所附权利要求所阐释的本发明的精神和范围。在与附图一起考虑时，相信是本发明特性的新颖特征，无论是其组成还是其方法，与进一步的目的和优点一起将从以下说明中得到更好理解。但是，可明确地了解每个图是为图示和说明的目的而给出，不意味着对本发明的界限的限定。

附图说明

[0037] 为更全面地理解本发明，联系附图对以下说明进行参考，附图中：

[0038] 图1A-1B示出现有技术的多孔结构中节点处支杆示例的3D表示，其中图1A的支杆具有相似的直径而图1B的支杆有不同的直径。

[0039] 图2是现有技术破裂支杆示例的SEM(扫描电子显微镜)显微照片。

[0040] 图3-5示出本发明的支杆和节点的一个实施例的3D表现。

[0041] 图6-8示出本发明支杆和节点的另一实施例的3D表示，其中至少一些支杆包括比节点处横截面直径更小的在支杆主体部分处的横截面直径。

[0042] 图9A和9B示出图6-8中实施例的平面图。

[0043] 图10A-10F示出现有技术的多孔结构中支杆和节点框架的不同构造的2D表示。

[0044] 图11A-11F示出图10A-10F中现有技术由本发明的一个实施例改进的支杆和节点框架的相应构造的2D表示。

[0045] 图12A-12D示出本发明的多孔结构的示范实施例的3D表示，包括图11A-11F中的一个或多个框架构造。

[0046] 图13A-13M示出了形成节点的本发明的两个支杆的框架的不同示范构造的2D表示，包括支杆是直的、弯的或二者组合的框架。

[0047] 图14示出包括图13A-13M中一种或多种框架构造的本发明的多孔结构的示范实施例的2D表示。

[0048] 图15A-15C示出本发明的各种弯曲框架和相交形成节点的相应支杆的示范构造的2D表示。

[0049] 图16示出包括图13A-13M中一个或多个框架构造的本发明的多孔结构的示范实施例的3D表示,包括支杆是直的、弯的或二者组合的框架。

[0050] 图17示出本发明的多孔结构的大致立方体单元格的示范框架的3D表示。

[0051] 图18示出图17中立方体单元格的框架的示例配置的3D表示。

[0052] 图19示出现有技术的多孔结构的立方体单元格配置的3D表示。

[0053] 图20示出本发明的多孔结构的立方体单元格的示例配置的3D表示。

[0054] 图21示出图20中配置的放大图。

[0055] 图22示出本发明的多孔结构的四面体形单元格的示例框架的3D表示。

[0056] 图23示出本发明的多孔结构的方底角锥单元格的示例框架的3D表示。

[0057] 图24A和24B示出基于十二面体形状的现有技术的多孔结构的常规单元格的3D表示的各种视图。

[0058] 图25A和25B示出也基于十二面体形状的本发明多孔结构的单元格的一个实施例的3D表示的各种视图。

[0059] 图26-28示出图24A和24B中常规单元格的框架由本发明的一个实施例改进的3D表示。

[0060] 图29A和29B示出从图26-28形成本发明的单元格的3D表示,其中图29B是单元格框架的3D表示的部分视图。

[0061] 图30示出展开成2D表示的图27的框架。

[0062] 图31示出展开成2D表示的截角四面体单元格的框架。

[0063] 图32示出根据本发明的一个实施例用弯曲支杆形成的图31的框架。

[0064] 图33示出展开成2D表示的截角八面体单元格的框架。

[0065] 图34示出根据本发明的一个实施例用弯曲支杆形成的图33的框架。

[0066] 图35A-35E示出根据本发明的一个实施例内切在各种几何形状内的圆或椭圆的例子的2D表示。

[0067] 图36示出展开成2D表示的截角四面体单元格的框架,其中根据本发明的一个实施例,圆外接在单元格的每个面周围。

[0068] 图37A和37B示出基于十二面体形状的本发明的单元格的另一个实施例的3D表示的各种视图。

[0069] 图38示出基于十二面体形状的本发明的单元格的又一个实施例的3D表示。

[0070] 图39A-39C示出基于十二面体形状的本发明的单元格的又一个实施例的3D表示的各种视图。

[0071] 图40示出图24和25的单元格的示例配置的3D表示。

[0072] 图41A和41B示出图24、25和37的单元格的示例配置的3D表示的各种视图。

[0073] 图42示出基于具有一个或多个弯曲支杆的截角四面体形的单元格的示例配置的3D表示。

[0074] 图43示出基于截角八面体的本发明单元格的示例配置的3D表示。

[0075] 图44示出基于立方体(浅灰)、截角立方八面体(黑)和截角八面体(深灰)的本发明单元格的示例配置的3D表示。

[0076] 图45示出基于立方八面体(黑)、截角八面体(深灰)和截角四面体(浅灰)的本发明单元格的示例配置的3D表示。

[0077] 图46示出图42的配置的框架图。

[0078] 图47示出图43的配置的框架图。

[0079] 图48-50示出基于由本发明的一个实施例改进的八面体的框架的3D表示。

[0080] 图51A和51B示出从图48-50的框架形成的本发明的单元格的3D表示的各种视图。

[0081] 图52示出基于截角四面体的框架的3D表示。

[0082] 图53A-53D示出从图52的框架形成的由本发明的一个实施例改进的单元格的3D表示的各种视图。

[0083] 图54A-54E示出图53的单元格的示例配置的3D表示的各种视图。

[0084] 图55A-55E示出从基于六角棱柱的框架形成的由本发明的一个实施例改进的单元格的3D表示的各种视图。

[0085] 图56A-56B和57A-57B示出图55的单元格的示例配置的3D表示。

[0086] 图58-61示出基于由本发明各种实施例改进的十二面体的框架的3D表示。

[0087] 应理解附图不一定是按比例的,并且所公开的实施例有时是示意性地示出,并且是部分视图。在某些例子中,可能已省略对于理解所公开的方法和装置来说不必要的细节,或者使其它细节难以感知的细节。另外,为简化目的,可能只标记了一个示范实施例而不是全部。当然,应理解,本发明不限于这里所示的具体实施例。

具体实施方式

[0088] 如上面所讨论的,诸如直接金属制造(DMF)的快速制造技术(RMT)可用于生产用于医疗植入物的多孔结构。不过,使用DMF或其他RMT制造多孔结构会在三维多孔结构的开窗之间产生薄弱区域。这主要是由于用在现有技术中以形成这些多孔结构的单元格(cell)的形状和配置造成的。具体地,断裂通常发生在节点处支杆连接到一起的区域。断裂发生在现有技术的多孔结构中是因为支杆连接到节点处的剖面面积通常小于所得结节的剖面面积。支杆连接到其节点的区域通常被称作应力梯级,是通常的结构失效点。在粒子的熔化相没有完全熔化和融合在一起时,或者在周围基板表面太冷,导致DMF过程期间热的粉末化材料成珠状(bead up)时,在应力梯级失效的模式也会发生。不考虑支杆断裂的准确原因以及所造成的现有技术的多孔结构的糟糕性能,需要一种改进的多孔结构,其能用包括DMT在内的RMT和其它自由成形制造和近终形工艺(例如,选择性激光烧结、电子束熔化以及立体光刻)制造。

[0089] 图1A和1B提供可能发生断裂处的图示。图1A-1B示出有分别连接在单个节点的三个或四个支杆的多孔结构的例子,其中图1A的支杆在节点处有相同的直径而图1B的支杆有不同的直径。具体来说,在图1A中,基本上等直径的三个支杆102在节点104处连接在一起。在三个支杆102之间的两两连接处之间形成三个应力梯级106。因为在应力梯级106处的支杆102的横截面直径小于节点104的横截面直径,应力梯级106是典型的支杆破损位置。在图

1B中，三个较小的支杆108在节点112处连接到较大的支杆110。所得四个应力梯级中的三个在114中示出，具有大体上小于节点112的横截面直径。图2是使用RMT制造的结构200的SEM(扫描电子显微镜)显微照片，且其示出支杆断裂表面202的示例。在图2中，所示的样本在支杆断裂表面202周围的区域中由构建粉末204闭合。

[0090] 本发明的不同实施例参照图3-5示出。在图3-5中，支杆302、402和502在其各自节点304、404和504处以不同的组合连接在一起。节点304、404和504中的每一个都是仅两个支杆之间的连接。例如，在图5中，节点504a组成支杆502a和502b之间的连接；节点504b组成支杆502b和502c之间的连接；而节点504c组成支杆502b和502d之间的连接。通过减少在各节点304、404和504处汇合或连接的支杆302、402和502的数目，在支杆302、402及502连接处的直径或横截面积大体上等于各自节点304、404及504的横截面积。因此，在图3-5所示的结构中，所述结构强度上的应力梯级效应(未示出)被减小。所以，从而产生的结构大体上比图1A-1B所示的现有技术的结构更坚固。

[0091] 图6-8示出本发明的多孔构造的替代实施例，其包括支杆和节点的组合，其中至少一些支杆的特征在于支杆主体的横截面直径比在应力梯级处更小。支杆602、702及802的特征在于凹面(fluted)或锥形，每个支杆602、702及802随着支杆接近及连接在各自节点604、704和804而外张到更宽大的横截面直径。图6-8的设计示出组合凹面的支杆602、702和802以及无槽的支杆606、706和806，其中两种类型的支杆都连接在各自节点604、704和804。

[0092] 这样，凹面支杆602、702和802与无槽支杆606、706和806之间的每个连接都具有分别大致等于凹面支杆602、702和802的最大横截面直径的横截面直径。因此，结构的应力梯级(未示出)效应得以减少。参照图9A，它是图8中的支杆802和节点804的平面图。图9B是图6-8中单独节点的平面图，出于说明的目的标为支杆602和节点604。参照图9A-9B，凹面支杆602和802于在节点804、604处汇合的端部606、806处具有较大或最大的横截面直径，在中间部分具有较小或最小的横截面直径。如此，凹面支杆602、702和802与无槽支杆606、706和806之间接合处的应力梯级(未示出)效应得以减少。优选地，在给定节点，例如604只有两个支杆，例如602和606汇合，以增加强度。

[0093] 图10A-10F示出在现有技术的多孔结构中支杆和节点的框架的各种构造的2D图。为了简单化目的，该支杆不以3D给出而是每个支杆以不同的线表示，例如其框架，也就是实线、粗实线或虚线。此图只为示范而不是限制性的。在现有技术中，对多孔结构来说典型的是多于两个支杆汇合于节点1002处，而无论此支杆是直的、弯的还是不规则的。尽管图10A可示出汇合于一节点的两个支杆，该结构的应力梯级具有四个支杆在一个节点相互连接或相交的应力梯级效果。例如，美国公开第2006/0147332号和2010/0010638号示出了被用于形成多孔结构的这些现有技术构造的示例。

[0094] 相反，对于图10A-10F的现有技术构造，本发明通过保证在节点处不多于两个支杆相交而降低了节点处应力梯级效应。因此，一些实施例导致支杆相交处的直径或横截面面积大体上等于每个节点处的横截面面积，从而降低结构强度上的应力梯级效应。图11A-11F示出本发明的示范实施例，用于修改现有技术相应构造以确保在节点处不多于两个支杆相交。如图11A-11F中所见，每个节点1102只有两个相交的支杆。出于简化的目的，在11A-11F中众多节点里只有一个标以数字1002。具体地，图11A-11F示出在节点1102处，一个支杆的端部相交于另一个支杆的主体。另外，按照本发明的一个实施例的现有技术构造的修改形

成改进的细孔1104，在每个构造中所述改进细孔1104都是开放的，这以附加的强度提供了额外的孔隙率，其是在现有技术之上的巨大改进。图12A-12D示出本发明的多孔结构的示范实施例的3D图，其由图11A-11F中的一个或多个构造形成，其中框架，例如线，具有给定的粗度以形成支杆。在图12A-12D中，多孔结构具有在节点1204处彼此相交的支杆1202，其中不多于两个节点在一个节点处相交。

[0095] 如图11A-11F所示，图10A-10F的常规节点1002有效的“张开”以确保不多于两个支杆在节点处汇合。除了减少节点处的应力梯级效应，将图10A-10F的常规节点1002“张开”成图11A-11F的节点1102具有在制造过程中降低热变化的额外好处。和任何其他热过程一样，能够控制材料的热变化(例如冷却)对于获得所需的材料属性来说是重要的。

[0096] 参看图13A-13M，本发明还给出了通过将弯曲支杆并入多孔结构而降低应力梯级效应的实施例。图13A-13M示出了构成节点的本发明的两个支杆的框架的这些不同示范构造的2D图，其包括支杆是直的、弯的或二者组合的框架。如图所示，在节点1302处只有两个支杆彼此相交。至少在图13A-13C中，这些支杆在节点1302处彼此切向地相交，提供加强的机械强度和粘合。图14示出包括图13A-13M中一种或多种框架构造的本发明的多孔结构的示范实施例的2D图，其包括支杆是直的、弯的或二者组合的框架。如图14所示，汇合在每个节点处的支杆不超过两个，无论其是直的或是弯的。图15A-15C示出各种弯曲框架和相交形成节点1502的相应支杆的本发明的示范构造的2D图。在图15A-15C中，虚线表示框架1504而实线表示相应的支杆1506。如图所示，节点1502a形成在中心在1508的圆形支杆和中心在1510的圆形支杆切向地相交或汇合处。节点1502b形成在中心在1508的圆形支杆和中心在1512的圆形支杆切向地相交或汇合处。类似的，图15B示出在中心在1514的圆形支杆和中心在1516的圆形支杆切向地相交或汇合以形成节点1502c。同样，图15C示出在中心在1518的圆形支杆和中心在1520的圆形支杆切向地相交或汇合以形成节点1502d。图16示出包括图13A-13M中一个或多个框架构造的本发明的多孔结构的示范实施例的3D图，包括支杆是直的、弯的或二者组合的框架。

[0097] 图17示出由十二个支杆1702和十六个节点1704形成的大致立方体单元格1700的示范框架的3D图。再次地，出于简化的目的，只对支杆和节点中的一些作了标记。相对于如常规立方体设计(未示出)中在三个支杆间形成连接的八节点，通过使用仅在两个支杆间形成连接的十六节点1704，单元格1700提供了更坚固的节点1704，以及支杆1702和节点1704之间更坚固的连接。因此，本发明一个实施例的这种新颖构造避免了支杆1702和支杆1704之间横截面直径的变化。因此，在结构强度上类似于如图1A-1B中应力梯级106和114所示那些的应力梯级的负面效应被减弱了。图18示出由多个连接起来的单元格1802形成的多孔结构1800，这与图17中所示的类似。类似地，图19-20示出图19中现有技术的单元格设置与图20中本发明的单元格设置的一个实施例之间的另一比较。如前所讨论，通过在节点处有两个以上支杆相交，因为应力梯级效应增大，现有技术的多孔结构是薄弱的。另一方面，本发明图20中的设置提供了所必需的孔隙率并有改进的强度，因为在节点处没有两个以上的支杆相交。另外，图20的设置另有好处是有更多的小梁(trabecular)特征，类似于松质骨的特性，而不像规则的现有技术的构造。而且，有小梁的样子而同时以计算过的方式形成的优点给按照本发明形成的多孔结构提供另一个好处：降低多孔结构的扩张性不规则化的需要。所以，图20的设置比之图19的现有技术构造更加类似于骨骼特性。图21是图20中设置的放

大图，其中虚线2102表示支杆的框架以更好地示出支杆在何处汇合以形成节点。

[0098] 类似地，图22示出本发明的单元格的另一个实施例。单元格2200是基于四面体形状的单元格，或三棱锥，其仅使用六个支杆2202和八个节点2204形成。每个节点2204只将两个支杆2202连接在一起。图23示出相似的单元格2300，所述单元格为正方底金字塔形。参看图23，使用八个支杆2302和十一个节点2304构成单元格2300。单元格的其他几何形状，诸如十二面体、二十面体、八角棱柱、五角棱柱、直平行六面体及各种不规则形式在下面讨论。另外，图17、18、22和23示出支杆的框架，其可由这些框架构建，其中，可选择每个支杆的粗度。同样的，各个支杆之间每个支杆的粗度可以是均匀的或不同的。另外，支杆可以包括图6-8的凹面支杆。另外，支杆不一定是圆柱形的。如下面进一步讨论的，支杆的横截面可以是矩形的或方形的或适用于本申请的其他形状，例如，几何形状或不规则形状。

[0099] 如以上对图17、18、22及23的讨论，不同形状的不同单元格设计可以采用以上讨论的不同技术，例如DMF实现。一般来说，可采用几乎任意的三维多面设计。例如，具有诸如阿基米德形、柏拉图形、严格凸多面体、棱柱、反棱柱及其各种组合的整体几何形状的单元格在本发明的构想之内。在其它实施例中，每个单元格的边的数量范围可从大约4到大约24。更优选地，每个单元格的边的数量范围可从大约4到大约16。已发现的一种特别有效的几何开头是十二面体或12面单元格。但是，如下所解释和示出的，多孔结构的单独的单元格或多个单元格的几何形状可广泛变化，并且在几何形状上可在多孔结构的单元格之间随机变化。

[0100] 例如，图24A和24B示出来自现有技术多孔结构的常规设计十二面体单元格2400，各节点2404成为三个支杆2402之间的连接。再次地，美国公开2006/0147332和2010/0010638号公开了用这些常规单元格构成的多孔结构的示例。具有给定的孔隙率并具有所需体积的多孔结构可以使用若干单元格2400通过将一个单元格2400附接到另一个单元格2400上直至达到所需体积来形成。另外，使用现有技术单元格构造的结构可能是不利的，因为它们并不像天然松质结构那样有不规则性。也就是说，它们不足够类似于小梁骨的特征。更重要的是，参看图24A和24B，因为支杆2402以120°角彼此相交，由于在节点2402面上形成凹口或沟槽以及各节点2402处多于两个支杆2402之间连接，各节点2404处具有更高的应力，所以提高了应力集中系数。

[0101] 图25A和25B示出对现有技术的这些问题提供解决方案的本发明的一个实施例。如图25A和25B所示，单元格2500通过使用形成环或箍的弯曲支杆2502消除了图24A和24B中的常规节点，从而消除了由这些节点造成的应力集中系数。另外，单元格2500以改进节点2504替代了图24A和24B中的常规节点，所述改进节点2504可以是开放的或多孔的以提供额外的孔隙率，这对许多应用，诸如用于外科整形植入物增强性组织/骨骼内生长来说是一种附加的优点。于是，单元格2500以增强的孔隙率提供了额外的强度，而常规单元格2400较薄弱且孔隙率较低。

[0102] 图26-28示出形成图25A和25B中的单元格的一个实施例。图26示出用于参照图24A和24B所述的现有技术单元格的十二面体框架2600。图27示出包括叠放在图26的十二面体框架2600的图28的框架2800的框架2700。图29A示出用于框架2800的类似于图25A和25B由选择粗度形成的单元格。在图29A中，单元格2900由二十个弯曲支杆2902构成，在该实施例中，弯曲支杆2902可形成环、圈、环面或箍。弯曲支杆2902在三角形的改进节点2904处连接

在一起，所述三角形的改进节点2904在图29B中更易于看出。参照图29B，较粗的圆表示单元格2900的弯曲支杆2902中的四个，而较细的圆突出显示了由支杆2902形成的改进节点2904。每个改进节点2904在两个弯曲支杆2902之间包括三个融合连接或烧结接头2906。也就是说，弯曲支杆2902在各自接头2906处彼此切向地相交。取决于每个支杆的粗度，改进节点2904还可是多孔的，开口2908位于三个接头2906之间，或者改进节点2904是闭合的，在三个接头2906之间没有开口。优选地，改进节点2904具有位于三个接头2906之间的开口2908以与由弯曲支杆2902的开窗2910所提供的孔隙率协作来提供额外的孔隙率。参照图29B，尽管支杆2906彼此切向地相交，例如，其框架相切地汇合，支杆的粗度可使各自接头2906相对长，如距离2912所示。这些长的、通常相切的烧结接头2906提供增强的机械强度和粘合。

[0103] 参照图30，示出图27的展开或展平的二维表示，具有单元格2900的常规的框架3008和框架3010。如图30所示，与常规构造3008的常规节点3004相比，单独接头3006的位置和数量与使用由本发明提供的弯曲支杆3002时不同。例如，接头3006通常位于弯曲支杆3002的本体中心周围，而常规的节点3002位于常规支杆端部。另外，在该具体实施例中，弯曲支杆3002汇合所在的接头3006的数量是框架3008的直支杆汇合所在的常规节点3004数量的三倍。因此，增加数量的接头提供增强的机械强度。

[0104] 图31-34示出基于典型多面体的单元格的框架可如何由弯曲支杆修改以形成类似于图29的单元格2900的单元格。具体地，图31示出展开成2D表示的截角四面体单元格的框架3100。在图32中，框架3202表示图31的框架3100由本发明的一个实施例修改成由弯曲支杆3202形成。类似地，图33示出展开成2D表示的截角八面体单元格的框架3300，并且图34的框架3402表示图31的框架3300被本发明的一个实施例所修改，以形成有弯曲支杆3402。如上所述，例如参照图30，用框架3200和3400形成的单元格分别具有较框架3100和3400增强的机械强度和孔隙率。

[0105] 图35A-35E示出以弯曲支杆修改典型的多面体框架的一种方式。按照本发明的一个实施例，可通过在多面体内内切圆或含有弯曲特征的其他形状(诸如椭圆或长圆形)而修改该多面体。具体而言，图35A是内切于正方形内的圆，图35B是内切于六边形内的圆，图35C是内切于三角形内的圆，图35D是内切于八边形内的圆，而图35E是内切于平行四边形内的椭圆。图35A-35E只是不同可用构造的示意说明而非限制本发明的范围。

[0106] 图36示出以弯曲支杆修改典型的多面体框架的另一种方式。按照本发明的另一实施例，可通过用圆或含有弯曲特征的其他形状(诸如椭圆或长圆形)来外接多面体而修改该多面体。图36示出截角四面体单元格的框架3600，圆3602外接在单元格的每个面周围。可以移除一些或全部框架3600以形成可用于制造按照本发明的多孔结构的新单元格框架。

[0107] 图37-39示出组合直的和弯曲支杆两者的本发明的实施例。具体地，图37A和37B示出从图27的框架2700形成的单元格3700，它是图26的十二面体框架2600与图28的框架2800的组合。单元格3700因其添加了使应力梯级混合的弯曲的支杆而具有增强的强度。如所示，单元格3700具有改进节点3704，包括由直支杆3702b形成的常规节点和由弯曲支杆3702a的三个接头形成的节点。图38示出单元格3800，其由通过保持由直支杆3802形成的一个或多个常规节点3804，同时将单元格的其它支杆用弯曲支杆3806修改以形成接头3808和改进节点3810而形成。在图38中，取决于应用，部分支杆选择性地比其它支杆更粗。

[0108] 参看图38，单元格3800有至少一个弯曲支杆3802，并优选地有多个弯曲支杆3802

在与另外两个弯曲支杆3802接合时形成改进节点3804a。在其他实施例中，可以通过将弯曲支杆、弯曲支杆段、直的支杆，或直的支杆段，或其组合接合在一起而形成改进节点。通过将直和弯的支杆接合在一起形成的节点的例子在图39A-39C中作为改进节点3904b示出。改进节点3804a优选地为由三个接头3806形成的三角形。单元格3800可以包括一些常规节点3808，所述常规节点3808将可包括凹口的直支杆3810或直支杆段接合在一起，所述凹口由现有技术中实施的交会角形成。改进节点3804a可以如前所讨论为多孔的(如3804a所示)或为闭合的(如图3804b所示)。闭合的改进节点3804b和多孔的改进节点3804a可以通过在弯曲或“环状”支杆之间将三个或更多个接头3806切线烧结在一起而形成。闭合节点3804b、多孔节点3804a、常规节点3808、直支杆3810、弯曲支杆3802及其部分或片段的任意组合可以不同的预设或随机方式应用以生成更坚固、更松质(cancellous)外观的单元格结构。参看图39A-39C，单元格3900即这种组合的示例。单元格3900有弯曲的支杆3902a和支杆3902b，所述支杆3902a为“环状”。它还具有直的支杆3906和常规节点3908。支杆的组合形成多孔的改进节点3904a和闭合的改进节点3904b。

[0109] 因此，尽管多孔结构内的单元格3800可以是均质的，同时也可以随机和/或预定的方式相对彼此设置以更接近于松质骨的外观。在一些实例中，需要利用一个或多个非均质单元格构造，其以预定的式样对称地配置和/或以随机方式配置以生成多孔结构。对本领域技术人员来说显而易见，各种配置可用计算机辅助设计(CAD)软件或其它等同软件设计。

[0110] 图40和41示出分别来自图24、29和37的单元格2400、2900和3700怎样组合，例如，附接、连接、平铺、堆叠或重复。具体地，图40示出包括分别来自图24和29的单元格2400和单元格2900的配置4000。在配置4000中，在单元格2400附接于单元格2900的面，常规节点2404部分安放在改进节点2904内。因此，通过利用单元格2400和单元格2900，或根据本发明形成的其它单元格的不同组合，许多改进节点2504可通过将常规节点与改进节点匹配而选择性地完全或部分闭合。图41A和41B示出包括单元格2400、2900和3700的配置4100。再次地，图40和41是示意性的，不对可由这些单元格或根据本发明实施例形成的其它单元格进行的组合做出限制。

[0111] 图42示出由将多个单元格4202接合在一起而形成的多孔结构4200，其中单元格4202的形状基于截角四面体。可形成或可不形成完成环的一个或多个弯曲支杆4204内切在所选多面体形内的每个面内或外接在每个面周围，所选多面体形在图42中是截角四面体。替代地，截角四面体形或其它所选多面体形可用大量短的直支杆形成以近似真实弯曲环形直杆，例如图29中的单元格2900的环形支杆。

[0112] 图43-45示出根据本发明实施例形成的示范配置的3D表示。具体地，图43示出基于截角八面体的单元格可堆叠以形成双截角立方体蜂巢(bitruncated cubic honeycomb)结构4300的一个方式，其通过空位填充棋盘形铺嵌。结构4300的灰色阴影的单元格是截角八面体。为简化目的，每个单元格没有用弯曲支杆改进，而是用虚线圆起到示出一个或多个截角八面体的一个或多个面可根据本发明实施例改进，例如利用弯曲支杆形成增强了强度和孔隙率的多孔结构。类似地，图44示出基于立方体(浅灰)、截角立方八面体(黑)和截角八面体(深灰)的组合的单元格可堆叠以形成悬伸截角立方体蜂巢(cantitruncated cubic honeycomb)结构4400的一个方式，例如空位填充棋盘形铺嵌。再次地，要理解虚线圆表示多孔结构4400的一个或多个多面体可根据本发明的实施例改进，例如利用弯曲支杆形成增强

了强度和孔隙率的多孔结构。相似地，图45示出基于立方体(黑)、截角八面体(深灰)和截角四面体(浅灰)的组合的单元格可堆叠以形成截头交替立方体蜂巢(truncated alternated cubic honeycomb)结构4500的一个方式，例如空位填充棋盘形铺嵌。再次地，要理解虚线圆表示结构4500的一个或多个多面体可根据本发明的实施例改进，例如利用弯曲支杆形成增强了强度和孔隙率的多孔结构。

[0113] 图46示出图43的双截角立方体蜂巢结构4300的框架图。图47示出图45的悬伸截角立方体蜂巢结构4400的框架图。如图46和47所示，由多面体形成的多孔结构不是随机的，因而不当作适合用于植入目的，尤其是对于骨骼来说，因为它们不足够近似小梁骨的特征。另一方面，可预想改进图46和47中框架的某些或全部单元格会使多孔结构近似于小梁骨。

[0114] 当采用弯曲支杆时，至少一个弯曲支杆部分可基本形成环的一部分，所述环至少部分地内切或外接多面体的一个面。这样的多面体形状可以是等角或顶点可迁的、等边(isotoxal)或边可迁的、等面或面可迁的、正则的、准正则的、半正则的、均一的或等角且等面(noble)的中的任何一个。所公开的弯曲支杆部分还可至少部分地内切在以下阿基米德形状中的一个或多个面内或外接在其周围：截角四面体，立方八面体，截角立方体(即截角六面体)，截角八面体，斜方立方八面体(即小斜方立方八面体)，截角立方八面体(即，大斜方立方八面体)，扭棱立方体(即扭棱六面体，扭棱立方八面体，其中之一或两者都是手性形式)，截半十二面体(三十二面体)，截角十二面体，截角二十面体(即布基球或足球形)，斜方三十二面体(即小斜方三十二面体)，截角三十二面体(即，大斜方三十二面体)，扭棱十二面体或扭棱三十二面体(其中之一或两者都是手性形式)。由于阿基米德形状是高度对称的半正凸多面体，由两个或更多类型的正多边形在同样的顶点汇合而组成，它们大致可归类为是易于叠放和部署的，以用在重复模式中填充体积空间。

[0115] 在一些实施例中，按照本发明的弯曲支杆部分被设置用于形成多孔结构，该弯曲支杆部分大致形成环支杆部分，环支杆部分至少部分地内切在以下一个或多个形状中的一个或多个多边形面内或外接在其周围：柏拉图形状(例如，正四面体，立方体，正八面体，正十二面体和正二十面体)，均匀多面体(例如，棱柱、如反棱柱这样的拟柱体、均匀棱柱、直角棱柱、平行六面体和直平行六面体)，多胞形，多边形，多面体，多聚形(polyform)和/或蜂巢。反棱柱的例子包括但不限于：方形反棱柱，八角形反棱柱，五角形反棱柱，十边形反棱柱，六角形反棱柱和十二边形反棱柱。

[0116] 在另一实施例中，多孔结构可由包括严格凸多面体形(例如约翰逊形)的单元格形成，其中弯曲支杆部分大致形成环支杆部分，环支杆部分至少部分地内切严格凸多面体的一个或多个面内或外接在其周围，其中严格凸多面体的每个面是正多边形，并且其中严格凸多面体不是均匀的(即，它不是柏拉图形、阿基米德形、棱柱或反棱柱)。在这种实施例中，不要求严格凸多面体的每个面都必须是相同的多边形，或者相同的多边形接合在每个顶点周围。在一些例子中，构想了角锥，台塔和丸塔，如正四角锥，正五角锥，正三角台塔，正四角台塔，正五角台塔，正五角丸塔。另外，可采用角锥柱和双锥，例如正三角锥柱(或延长四面体)，正四角锥柱(或扩展立方体)，正五角锥柱，四角锥反角柱，正五角锥反角柱(或截半二十面体)，双三角锥，双五角锥，双三角锥柱，双四角锥柱(或双扩展立方体)，双五角锥柱，双四角锥反角柱。可利用台塔柱或丸塔柱形，例如三角台塔柱，四角台塔柱(截半斜方八面体)，五角台塔柱，五角丸塔柱，三角台塔反角柱，四角台塔反角柱，五角台塔反角柱，五角丸

塔反角柱，异相双三角柱，同相双三角台塔(旋转八面体)，同相双四角台塔，异相双四角台塔，同相双五角台塔，异相双五角台塔，同相五角台塔丸塔，异相五角台塔丸塔，同相双五角丸塔(旋转三十二面体)，同相双三角台塔柱，异相双三角台塔柱，异相双四角台塔柱(旋转斜方八面体)，同相双五角台塔柱，异相双五角台塔柱，同相五角台塔丸塔柱，异相五角台塔丸塔柱，同相双五角丸塔柱，异相双五角丸塔柱，双三角台塔反角柱(其中之一或两者都是手性形式)，双四角台塔反角柱(其中之一或两者都是手性形式)，双五角台塔反角柱(其中之一或两者都是手性形式)，五角台塔丸塔反角柱(其中之一或两者都是手性形式)，以及双五角丸塔反角柱(其中之一或两者都是手性形式)。可将侧锥柱应用于本发明，例如，侧锥三角柱，二侧锥三角柱，三侧锥三角柱，侧锥五角柱，二侧锥五角柱，侧锥六角柱，双侧锥六角柱，二侧锥六角柱，以及三侧锥六角柱。还可采用侧锥正多面体，例如，侧锥正十二面体，双侧锥正十二面体，二侧锥正十二面体，三侧锥正十二面体，正二十面体欠二侧锥，正二十面体欠三侧锥，以及侧锥正二十面体欠三侧锥。另外，还可为侧台塔半正多面体，例如，侧台塔截角四面体，侧台塔截角立方体，双侧台塔截角立方体，侧台塔截角十二面体，双侧台塔截角十二面体，二侧台塔截角十二面体，三侧台塔截角十二面体，侧台塔小斜方截半二十面体，双侧台塔小斜方截半二十面体，二侧台塔小斜方截半二十面体，三侧台塔小斜方截半二十面体，小斜方截半二十面体欠一侧台塔，双侧台塔小斜方截半二十面体欠一侧台塔，侧台塔小斜方截半二十面体欠一侧台塔，二侧台塔小斜方截半二十面体欠一侧台塔，小斜方截半二十面体欠双侧台塔，小斜方截半二十面体欠二侧台塔，侧台塔小斜方截半二十面体欠二侧台塔，以及小斜方截半二十面体欠三侧台塔。还构想了扭棱双五角椎(Siamese十二面体)，扭棱四方反棱柱，球形屋根，侧锥球形屋根，加长型球形屋根，广底加长型球形屋根，五角锥球形屋根，双新月双丸塔，以及三角广底球形屋根丸塔。

[0117] 在一些实施例中，本发明的单元格开窗的平均横截面在0.01到2000微米的范围内。更优选地，单元格开窗的平均横截面在50到1000微米的范围内。更优选地，单元格开窗的平均横截面在100到500微米的范围内。单元格开窗可包括但不限于：(1)由支杆生成的任何开口，例如开放的改进细孔，例如图38的3804a或图11A-11F的1104，由接合处生成的开口，例如图38的3806或图38的图11A-11F的节点1102；或(2)由支杆本身内切而成的开口，例如图29B的2910。例如，在单元格开窗大致为圆形的实施例中，开窗的平均横截面可为该具体开窗的平均直径，在单元格开窗是大致矩形或方形的实施例中，开窗的平均横截面可为从一个边到相对边的平均距离。

[0118] 将上述原理应用于其它实施例，图51A和51B示出从图48中所示的八面体框架根据本发明的一个实施例如图49-50所示改进而形成的单元格5100。在图49中，框架4900由在图48的框架4800的面内内切圆而形成。在图50中，框架5000由将4800从图49的框架4900去除而形成。如图49所示，框架5000大致配合在八面体框架4800内。图51A和51B示出完整的单元格5100，由选择图50框架5000的形状和粗度而形成。参照图51A和图51B，单元格5100大致包括可设置成环形形式的八个弯曲支杆5102。八个弯曲支杆5102在十二个不同接头5106连接到彼此。六个多孔改进节点5104由四个不同的接头5106和相应的支杆5102形成，每个改进节点5104都具有大致矩形。如图51A和51B所示，与图25A和25B的单元格2500的弯曲支杆相似，弯曲支杆5102具有矩形或方形剖面而不是与图25A和25B的单元格类似的圆形剖面的单元格。具有矩形或方形剖面的单元格提供粗糙度不同于具有圆形剖面单元格的多孔结构。

注意其它实施例的支杆可具有不同剖面形状。因此，单元格的支杆可具有相同的剖面，支杆的剖面形状可随机选择，或剖面形状可选择性地捡选以实现所需强度、孔隙率和/或粗糙度。

[0119] 作为另一替代，图53A-53D示出基于图52所示截角四面体框架由本发明一个实施例改进的另一单元格5300。参照图53A-53D，单元格5300以与图51A和51B的单元格5100类似的方式形成。也就是说，用圆内切框架5200以形成包括圆形支杆的第二框架，并且去除框架5200留下圆形框架。通过选择框架5300的横截面积的形状和粗度而完成单元格5300。如上所述，支杆的横截面粗度和形状可为均一的，或可随机地或以预定方式变化，包括具有均一剖面的支杆或凹面的支杆。单元格5300包括与截角四面体框架5200的四个大六角形边相应的四个较大的弯曲支杆5302a，以及与截角四面体框架5200的四个较小三角形边相应的四个较小弯曲支杆5202b。替代地，单元格可由绕截角四面体框架5200的大边5202和小边5204外接圆而形成。该替代实施例的2D表示在图36中示出。尽管在图中未明确示出，也构想了在一些实施例中，可采用内切和外接弯曲支杆的组合。如图53A-53D中，多孔三角形改进节点5304形成在将支杆5202a和5202b连接在一起的三个接头5306之间，但是本领域技术人员会认识到也可采用如图38所示的闭合的改进节点3804b。再次地，如图53A-53D所示，较大的弯曲支杆5302a具有圆形剖面，而较小的弯曲支杆5302b具有矩形剖面。图54A054E以一个示例方式示出由堆叠图53的单元格5300而形成的多孔结构的各种角度。可看出在一些实施例中，图53的单元格5300可以本领域技术人员已知的不同的方式堆叠。

[0120] 图55A-55E示出又一实施例，其中单元格5500基于具有上下六边形并包括六个竖直面的六角棱柱(棱晶)框架。六个较小的弯曲支杆5502a用于六侧，较大的上下弯曲支杆5502b用于顶和底。在图55A-55E所示的单元格5500中，八个弯曲支杆5302a、5302b由闭合的改进节点5504连接，但是对于本领域技术人员来说显然也可采用如图25中所示的多孔改进节点。在图55A-55E所示的具体实施例中，用于六侧的六个较小弯曲支杆5502a比较大的上下弯曲支杆5302b具有略小的横截面积。但是，对于本领域技术人员来说显然也可在不背离本发明范围的情况下采用具有均一或大致均一横截面积的支杆。图56A-56B以一个示例方式示出由堆叠图55A-55E的单元格5500而形成的多孔结构的各种角度。在图56A和56B中，单元格5500彼此相邻地放置，以形成层5602，这些层以预定或随机的方式放置于各自顶上。图57A和57B类似地示出以与图56A和56B相同方式堆叠的更大数量的单元格5500。如所示，单元格5500由层5702堆叠。可看出在一些实施例中，图55的单元格可以本领域技术人员已知的不同方式堆叠。

[0121] 图58-61示出根据本发明另一实施例改进的十二面体框架5800、5900、6000和6100。不是采用弯曲支杆或具有弯曲部分的支杆以消除或减少常规节点5802、5902、6002和6102，图58-61的具体实施例通过确保至少一个常规节点中在一个节点处具有不多于两个节点而调整常规节点，如至少图11A-11F所示。如图58-61所示，框架5800、5900、6000和6100具有至少一个改进节点5804、5904、6004和6104。

[0122] 在一些实施例中，单元格、支杆、节点和/或接头的构造可在整个多孔结构中随机变化以更近似地模拟天然骨骼组织。具体地，根据本发明形成的单元格，例如图25A-25B、29A、37A-37B、38、39A-39C、42、51A-51B、53A-53D或55A-55B所示的单元格，可根据美国申请61/260,811概述的方法堆叠或重复，其公开通过引用全部合并于此。另外，美国申请61/

260811的方法还可用于改进常规的节点，使得在一个节点处不多于两个支杆相交。在另一实施例中，根据本发明形成的多孔结构可用于医疗植入物，例如整形外科植入物、牙科植入物或脉管植入物。

[0123] 如以下段落中进一步所讨论的，本发明还提供制造如上所述多孔结构的方法。优选地，通过使用自由成形制造技术来形成本发明的改进的多孔结构，自由成形制造技术包括快速制造技术(RMT)，例如直接金属制造(DMF)。通常，在自由成形制造技术中，所需结构可直接从计算机控制数据库中形成，这大幅度减少了制造各种物品和结构所需时间和花费。典型地在RMT或自由成形制造中，采用计算机辅助机器或装置，其具有诸如激光这样的能量源根据机器的计算机部件的数据库中所选模型熔化或烧结粉末以一次建立结构的一层。

[0124] 例如，RMT是用于制造物体的附加制造技术，通过将能量和/或材料顺序输送到空间中的指定点而生成该部分。具体地，物体可以层方式由一次分配一层的激光可融粉末生产。该粉末利用激光能量融合，熔化，再熔化或烧结，所述激光能量以光栅扫描方式引导到与物体的剖面相应的粉末层部分。在将粉末融合在一个具体的层上以后，分配粉末的附加层，重复该过程直到完成物体。

[0125] 选择性激光烧结技术的具体说明可在美国专利4863538、5017753、5076869和4944817中找到，其内容在此通过引用全部并入。当前实践是利用由计算机辅助生成的数学模型由计算机控制制造过程。因此，如选择性激光再熔化和烧结技术这样的RMT能从各种材料以高解板度和尺寸精度直接制造固体或3D结构。

[0126] 在本发明的一个实施例中，多孔结构由从以下组成的组选择的粉末形成：金属、陶瓷、金属陶瓷(含陶合金)、玻璃、玻璃陶瓷、聚合物、复合物及其组合。在另一实施例中，使用了金属粉末并且其选自由以下组成的组：钛、钛合金、锆、锆合金、铌、铌合金、钽、钽合金、镍铬(例如不锈钢)、钴铬合金及其组合。

[0127] 如本领域技术人员已知，生成根据本发明公开内容的单元格或结构模型可用计算机辅助设计(CAD)软件或其它类似软件完成。在一个实施例中，这些单元格的形成是通过从现有技术构造开始，并用(1)调整在一个节点处相交的支杆数量，如图3-8、11A-11F、12A-12D、17-20或22-23中的构造，或者(2)将弯曲部分引入支杆，例如图13A-13M、14、15A-15C、16或58-61中的构造来改进现有技术构造的支杆或节点。在另一实施例中，可加入弯曲的“环状”支杆以形成图25A-25B、29A、37A-37B、38、39A-39C、42、51A-51B、53A-53D或55A-55B所示的单元格。参照图26，在一个实施例中，这些单元格的形成可由基于多面体，例如十二面体的框架2600开始。参照图27，接下来的步骤是在框架2600的每个面内内切圆，以形成框架2700，框架2700是框架2800叠放在框架2600上。随后，可从框架2700去除框架2600，只留下框架2800。可选择框架2800剖面的粗度和形状以形成完整的单元格，例如图29A的单元格2900。如上所述，可用圆来内切框架2600的面的一部分，和/或可去除框架2600的一部分以形成，或根本不去除框架2600。由这种组合形成的单元格在图37A-37B、38和39A-39C中示出。如图48-53和55所示，可对基于多面体的任何类型的框架应用相同的步骤。在计算机软件的帮助下，还可应用堆叠、拼接或重复算法以由本发明的单位单元格或支杆和节点生成具有所需尺寸的多孔结构模型。一个这种堆叠算法是图43-45所示的空位填充棋盘形铺嵌。如上所述，可采用美国申请61/260,811中所公开的方法以通过受控的随机化而堆叠本发明

的单元格或形成根据本发明公开内容的支杆，该美国申请61/260,811在此通过引用全部并入。

[0128] 尽管已详细说明了本发明及其优点，应理解在不背离如所附权利要求限定的本发明精神和范围的情况下可做各种改变、替换和变更。另外，不打算将本申请的范围限制为说明书中描述的过程、机器、制造、物质组成、装置、方法和步骤的具体实施例。如本领域技术人员易于从本发明的公开内容所理解的，根据本发明实施例，可利用与这里所述相应实施例执行大致相同功能或实现大致相同结果的现有的或是待开发的过程、机器、制造、物质组成、装置、方法或步骤。因此，期望所附权利要求将这种过程、机器、制造、物质组成、装置、方法或步骤包括在内。

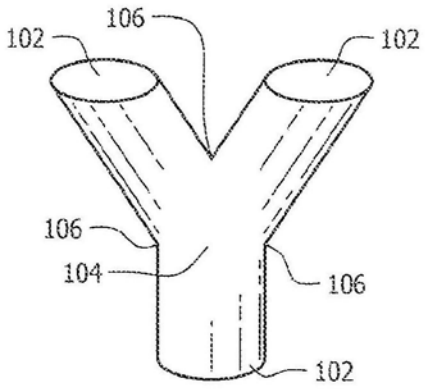


图1A

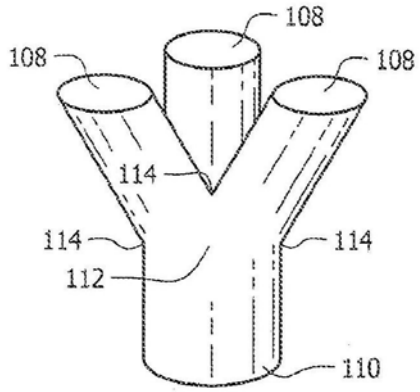


图1B

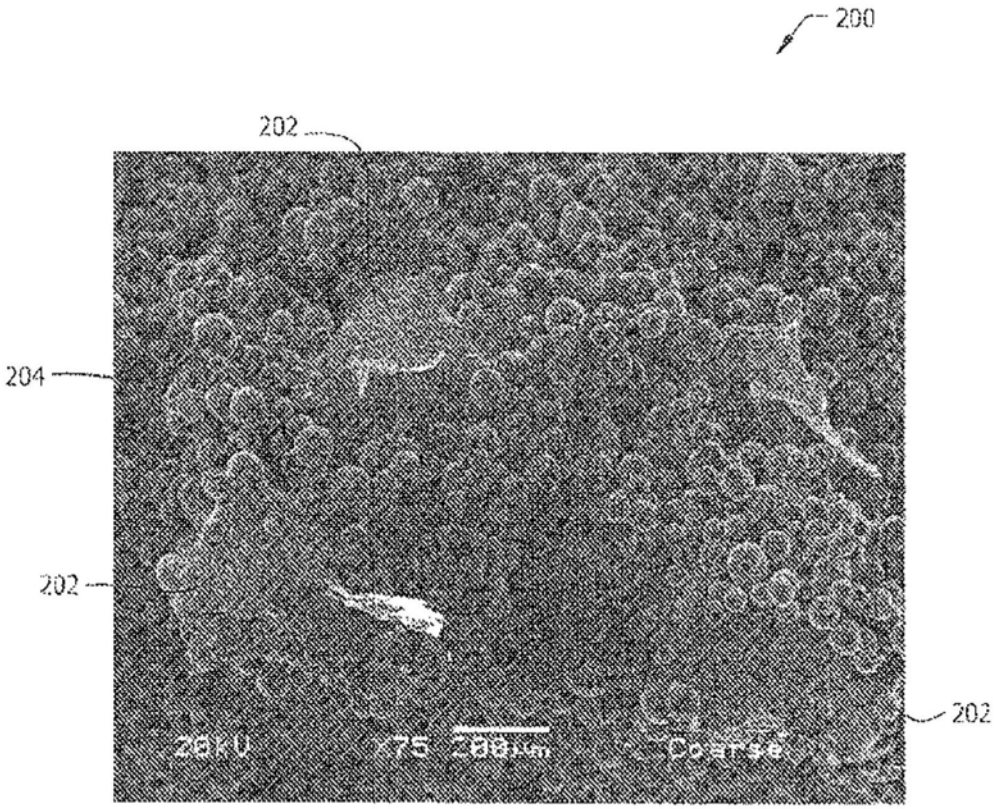


图2

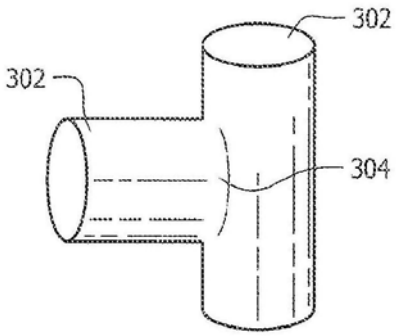


图3

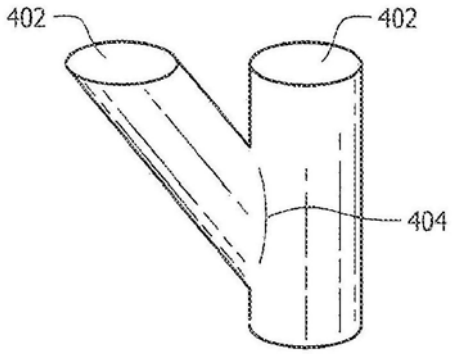


图4

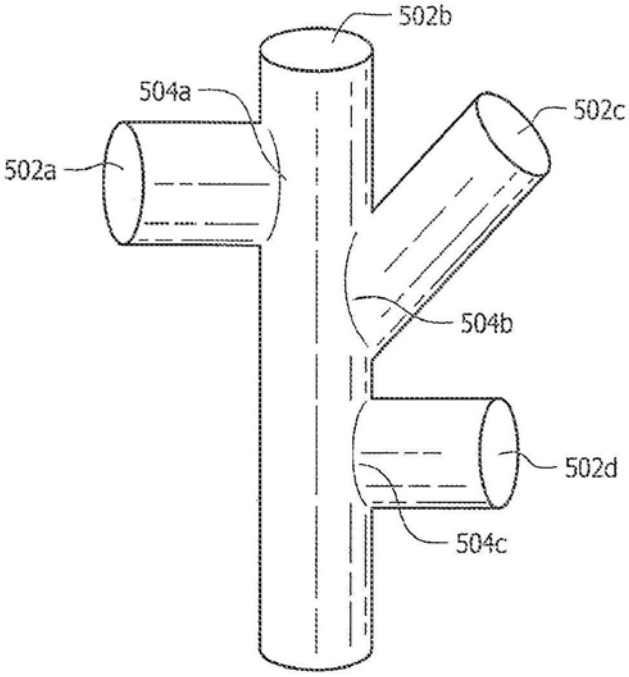


图5

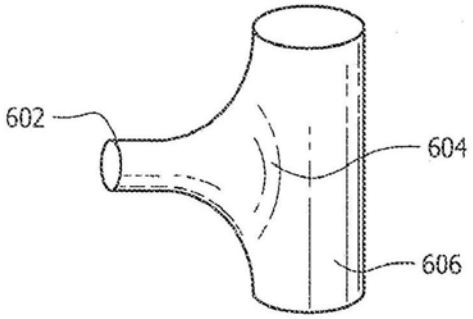


图6

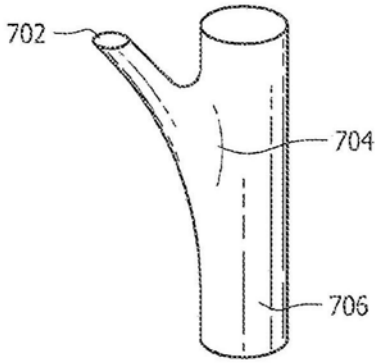


图7

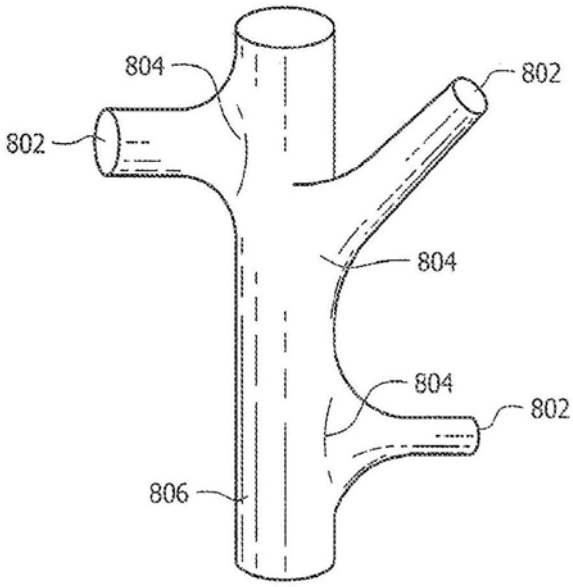


图8

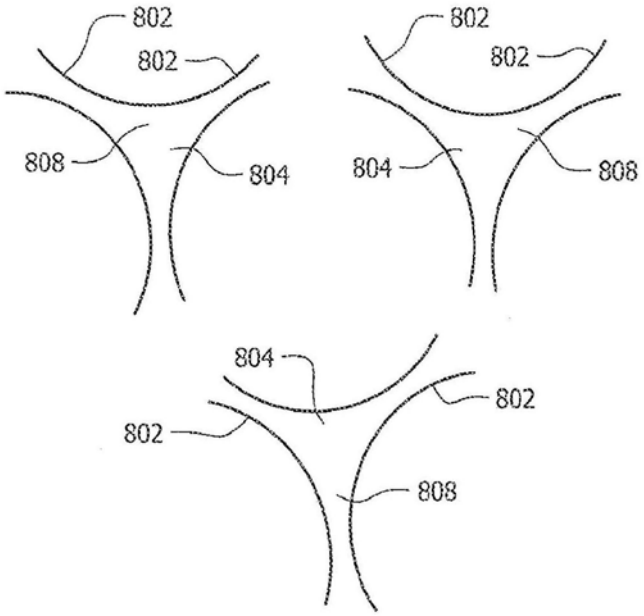


图9A

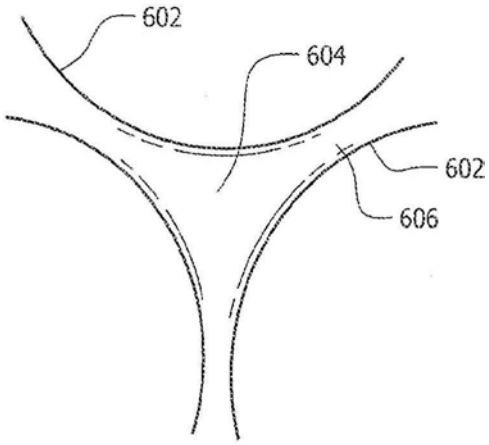


图9B

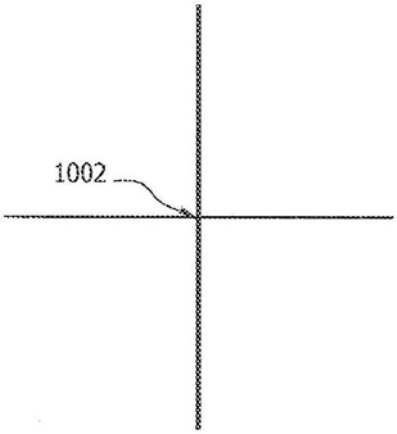


图10A

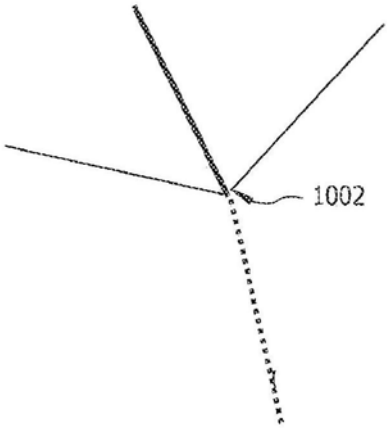


图10B

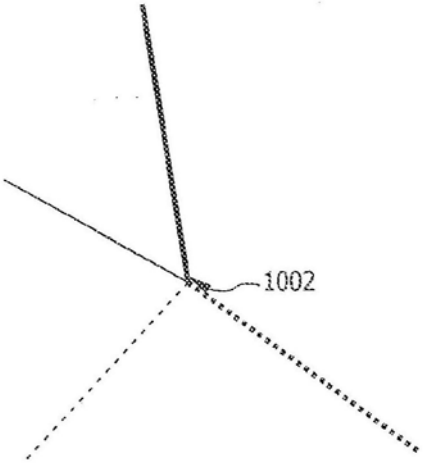


图10C

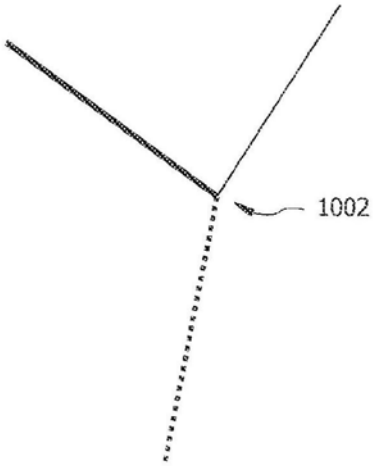


图10D

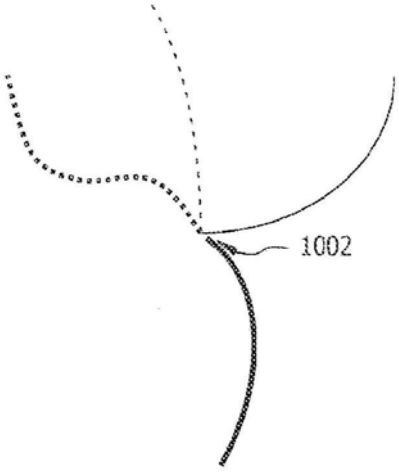


图10E

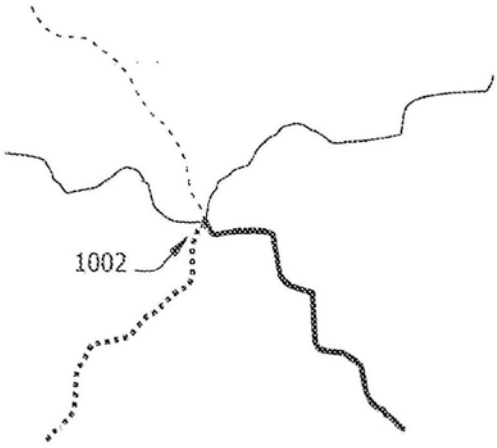


图10F

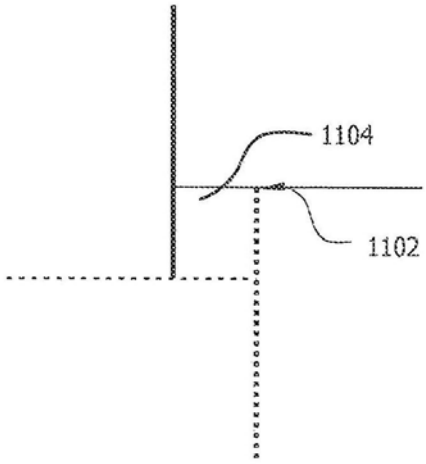


图11A

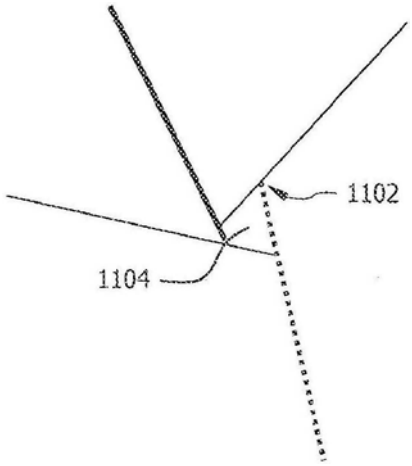


图11B

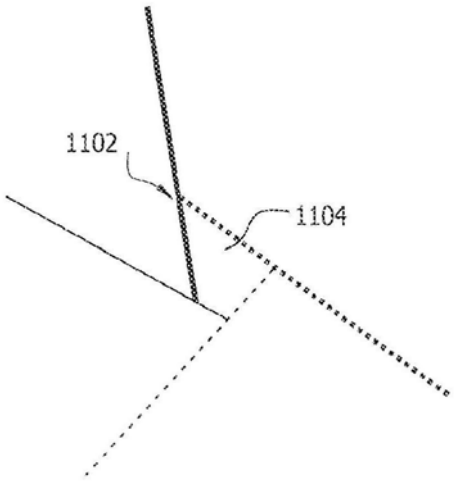


图11C

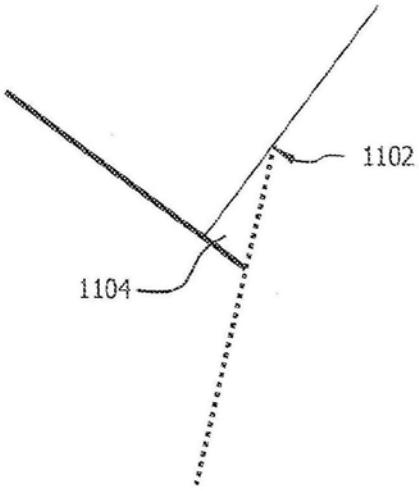


图11D

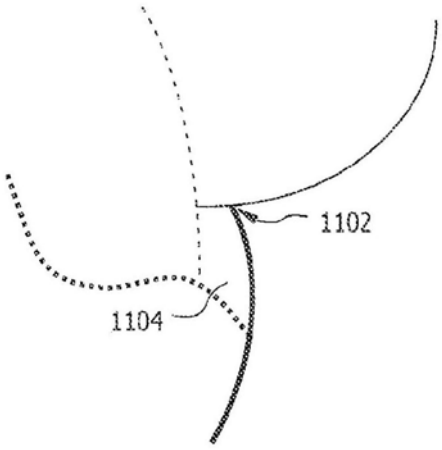


图11E

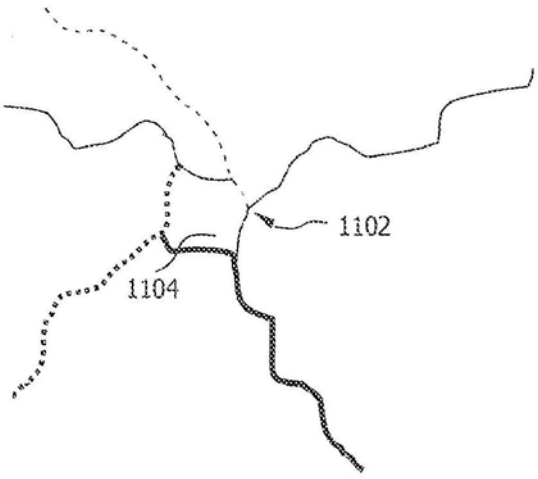


图11F

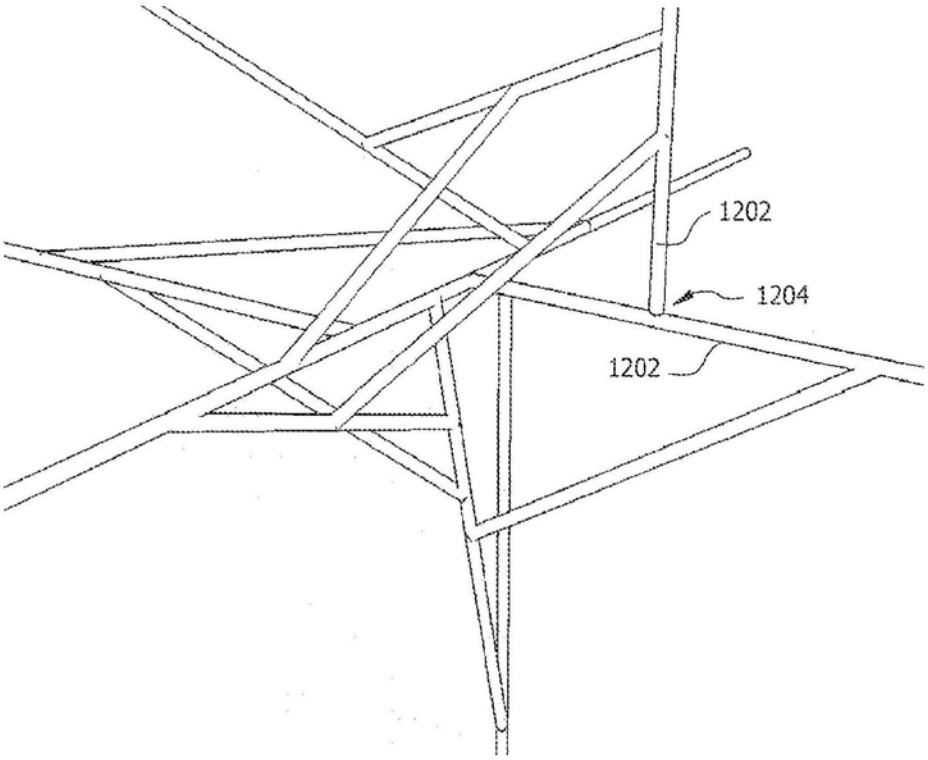


图12A

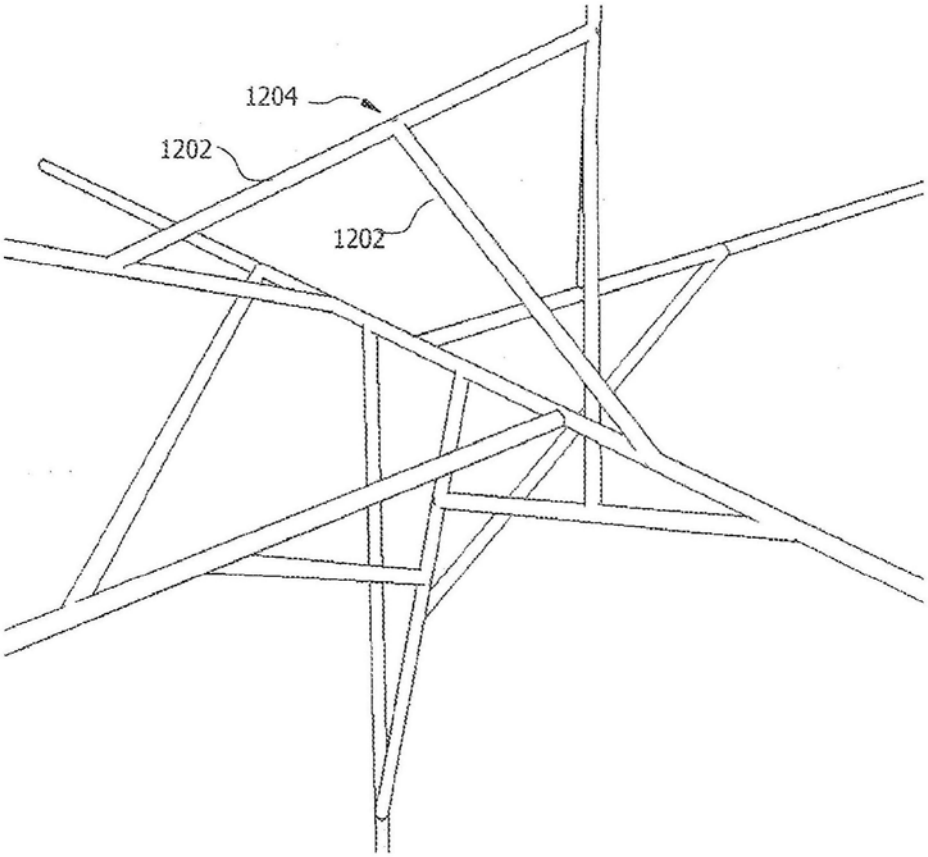


图12B

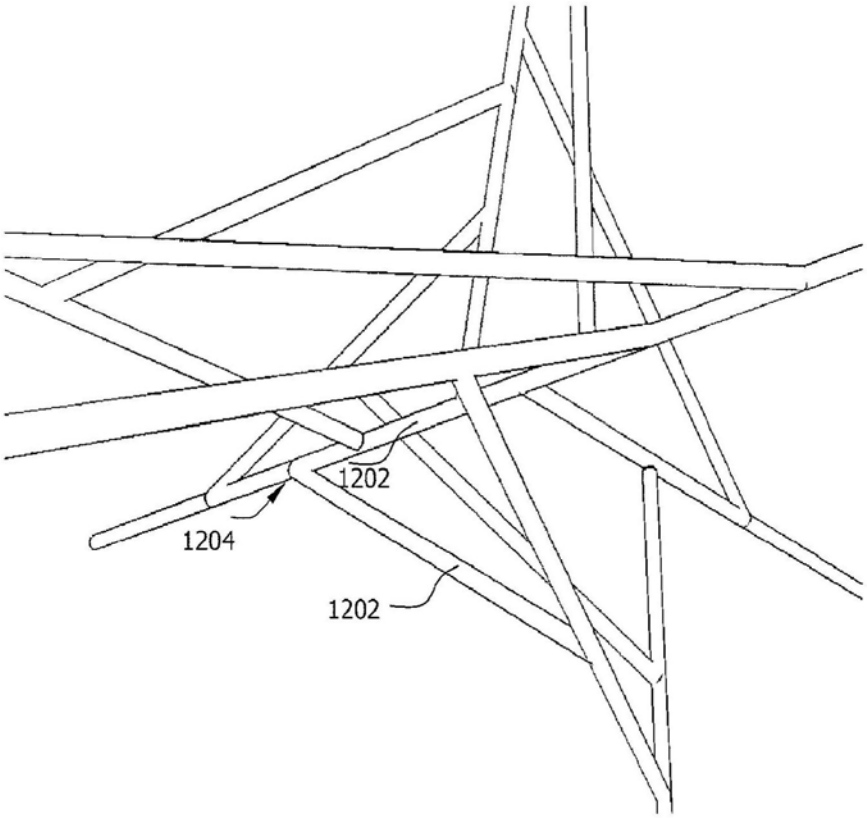


图12C

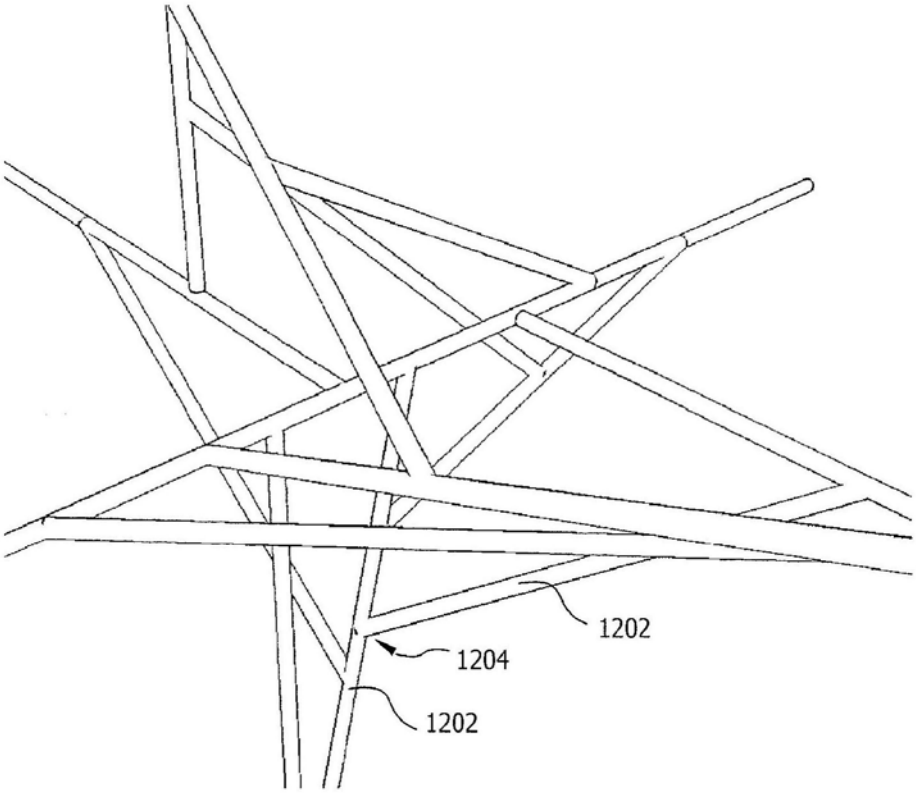


图12D

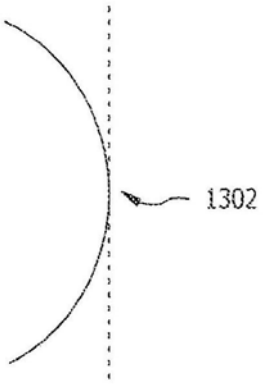


图13A

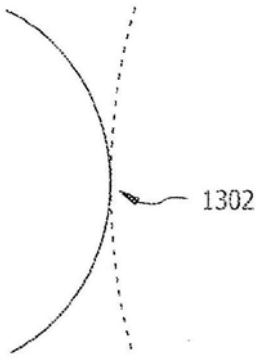


图13B

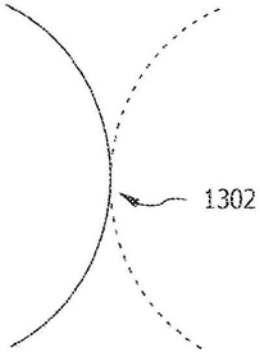


图13C

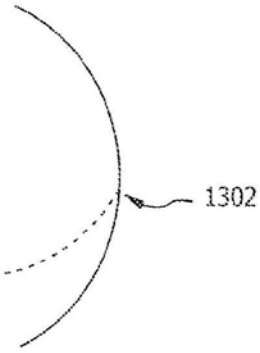


图13D

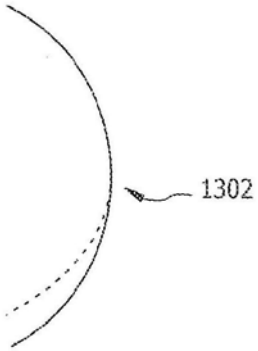


图13E

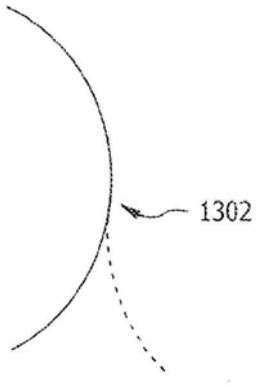


图13F

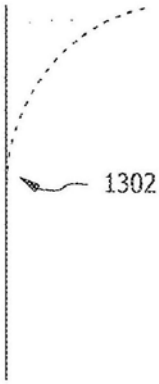


图13G

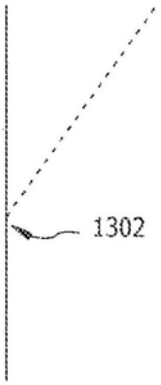


图13H

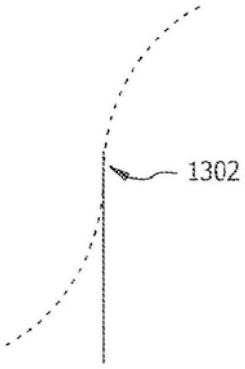


图13I

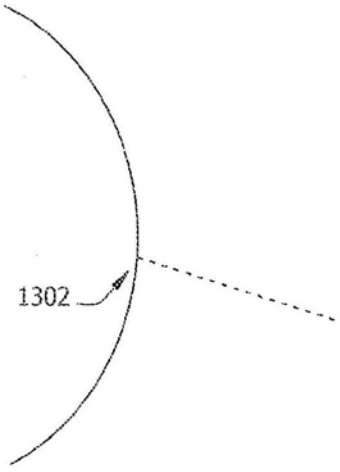


图13J

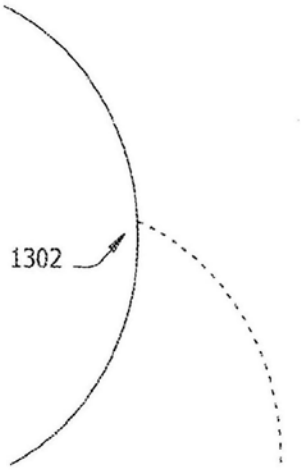


图13K

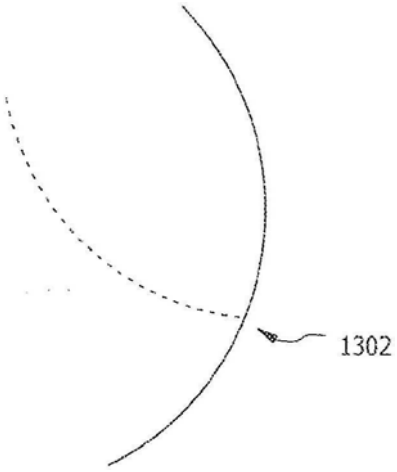


图13L

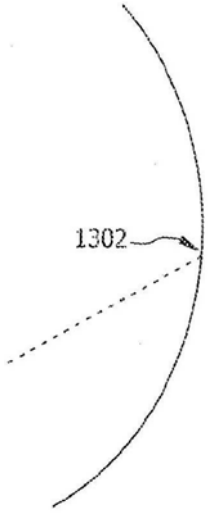


图13M

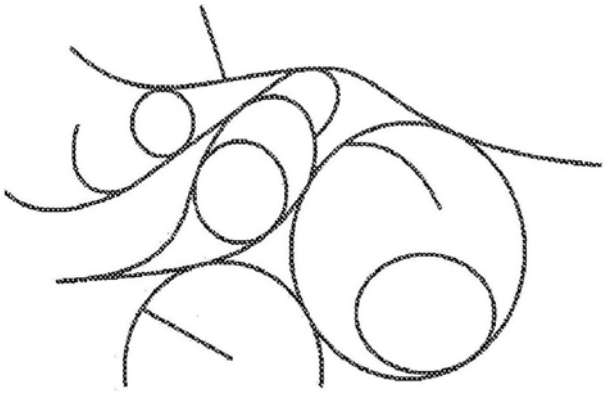


图14

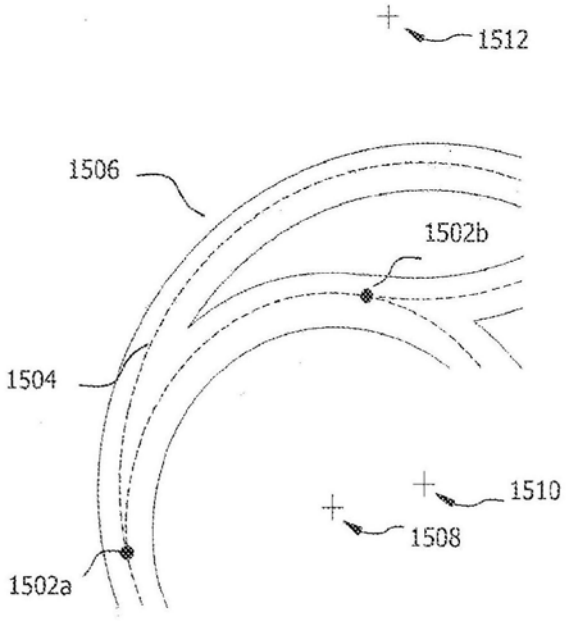

1512
1506
1502b
1504
1510
1508
1502a

图15A

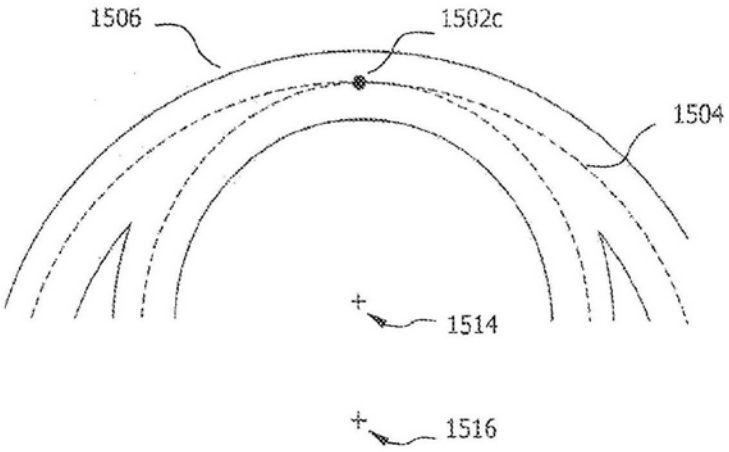

1506
1502c
1504
1514
1516

图15B

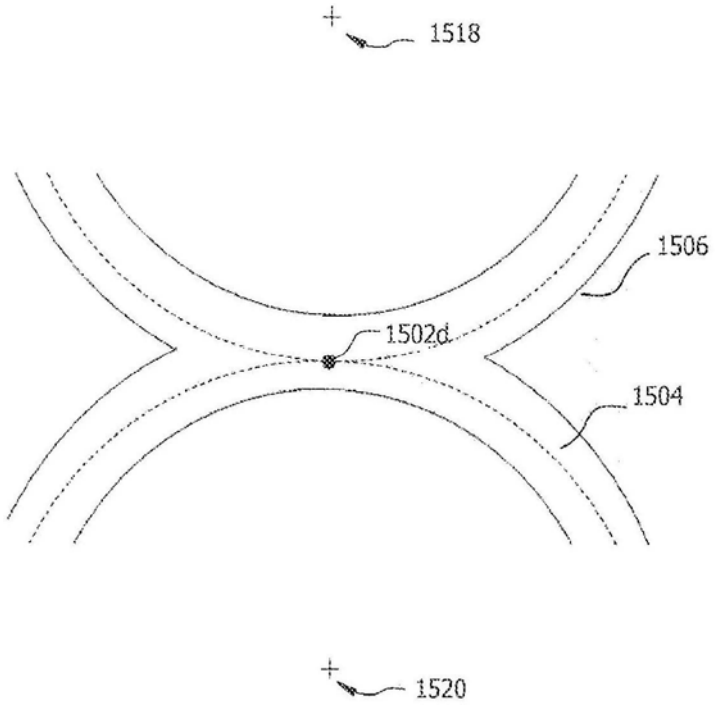


图15C

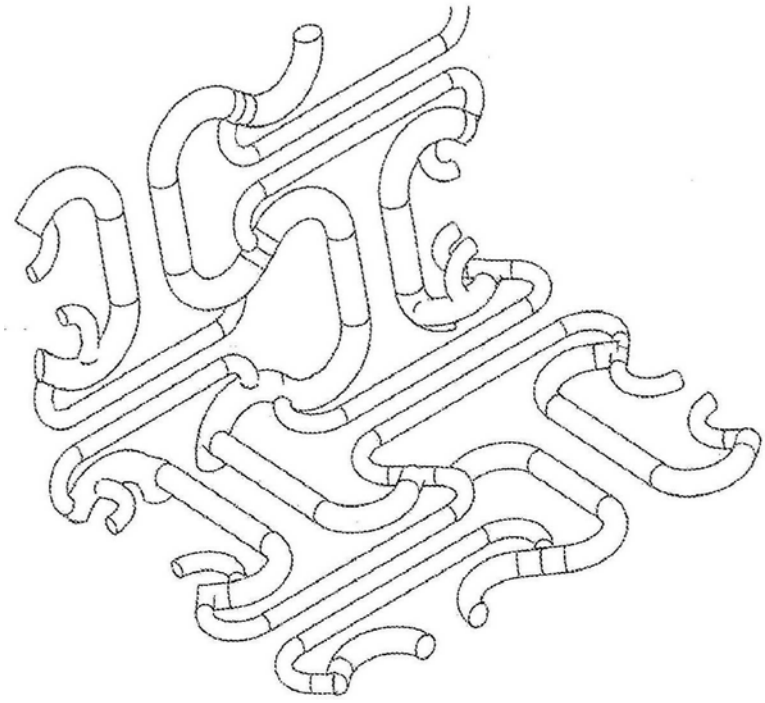


图16

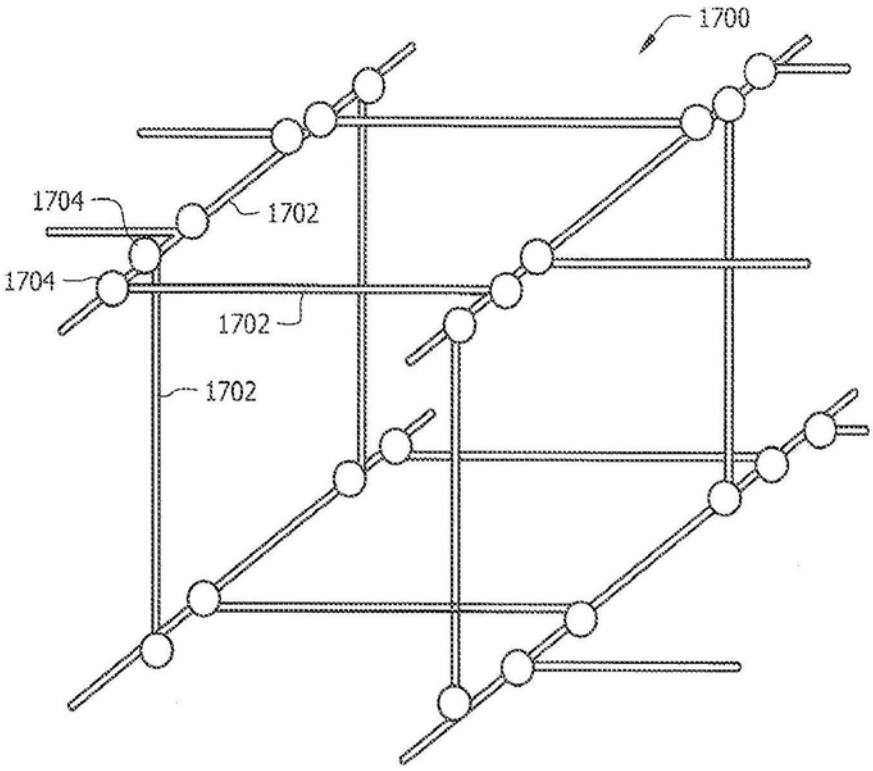


图17

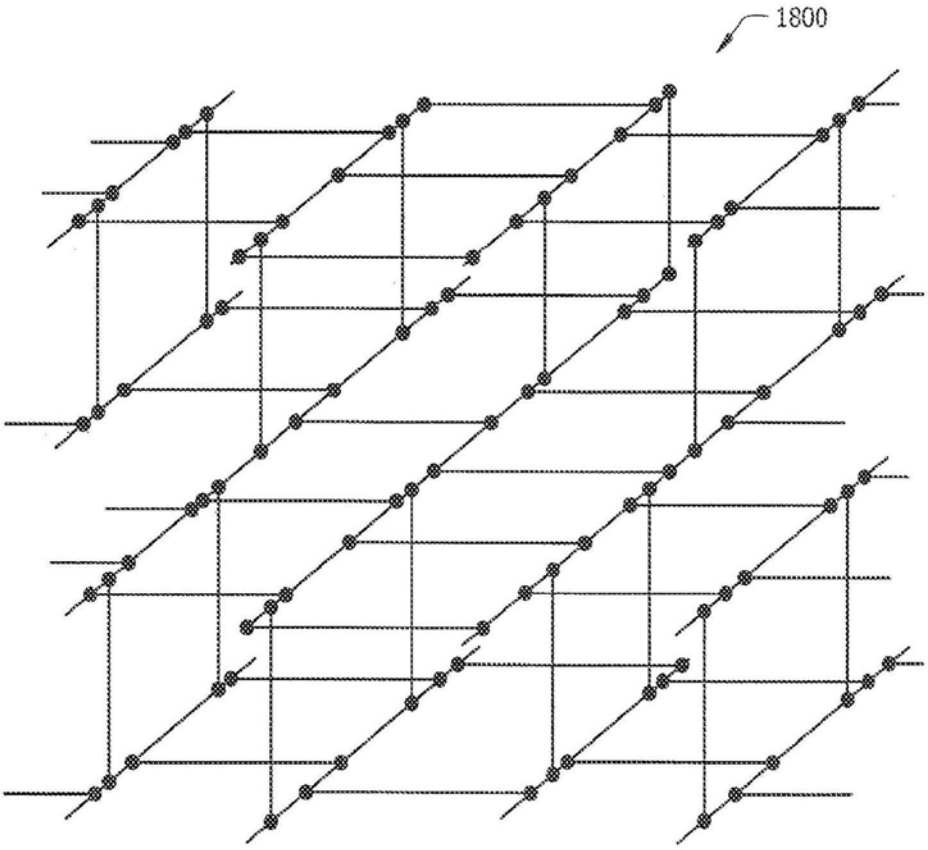


图18

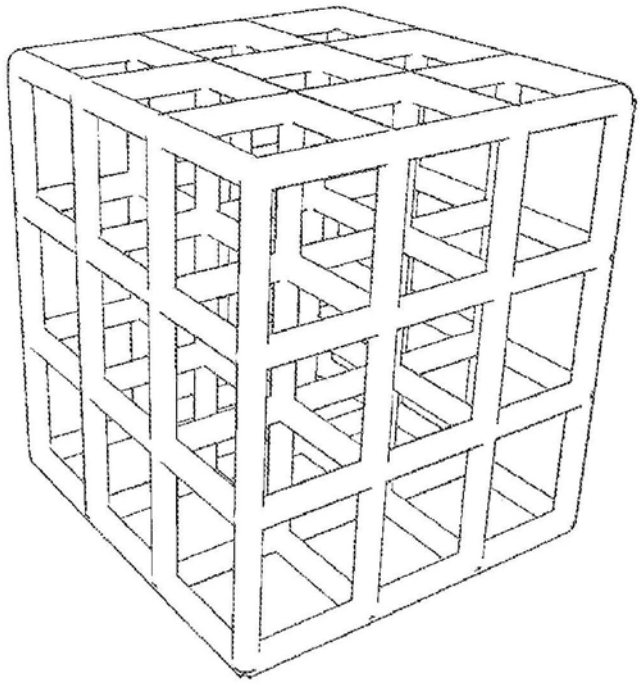


图19(现有技术)

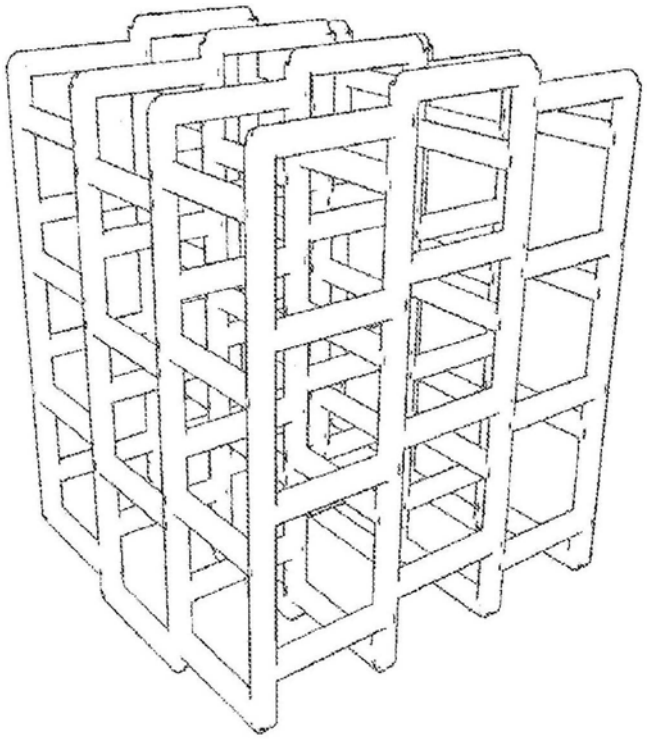


图20

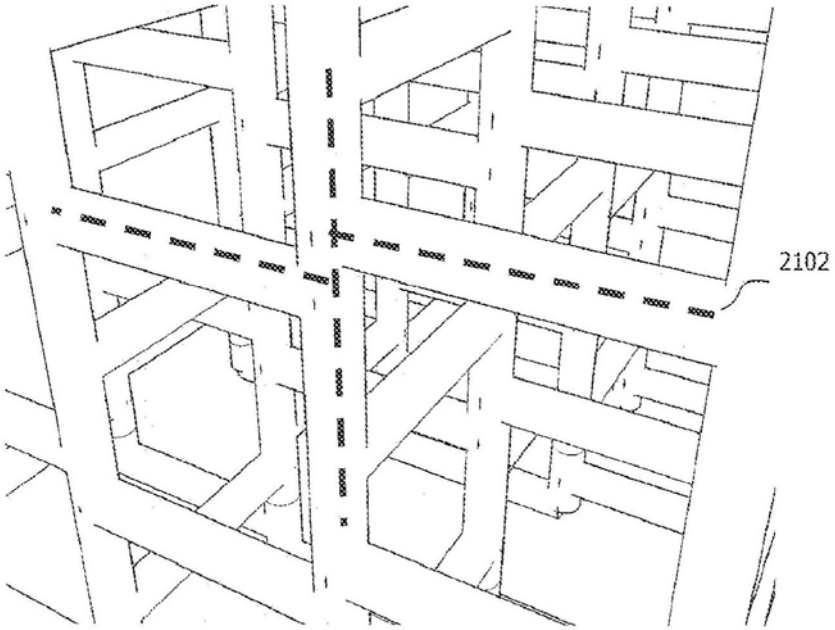


图21

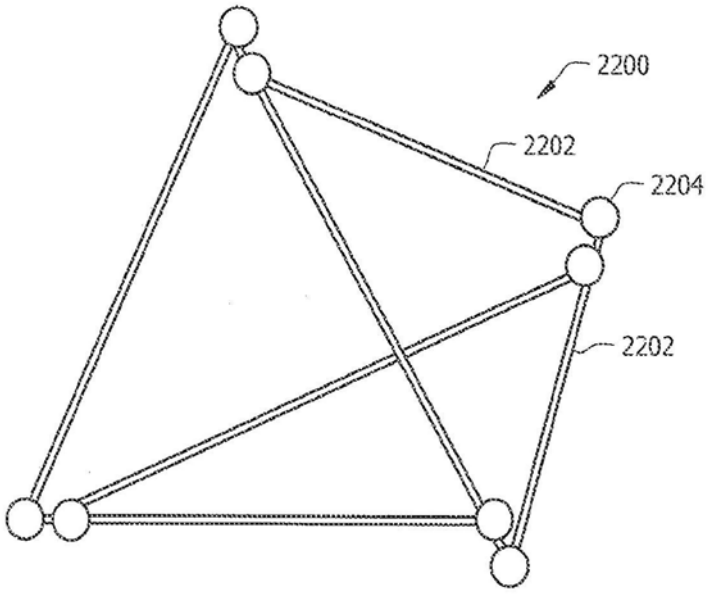


图22

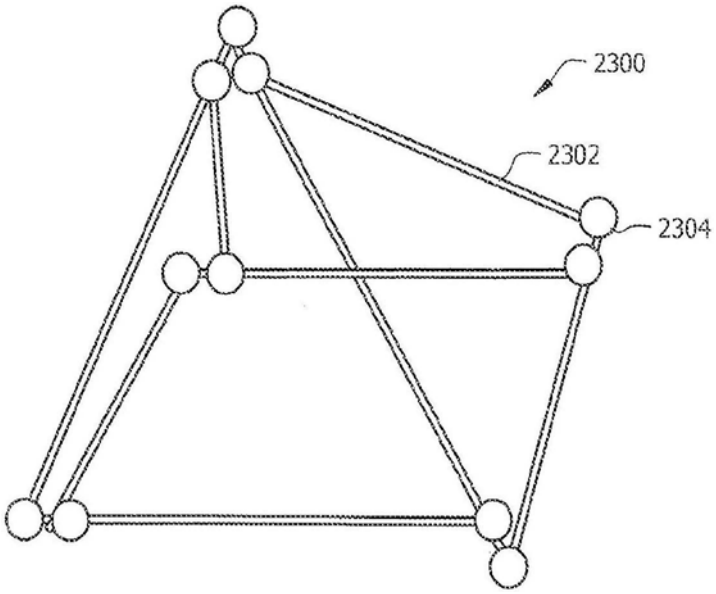


图23

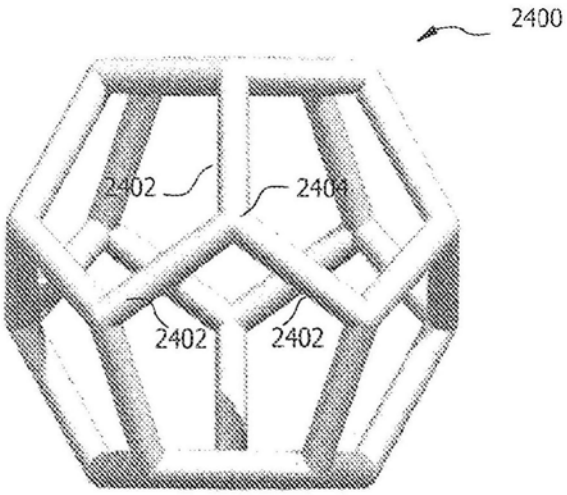


图24A(现有技术)

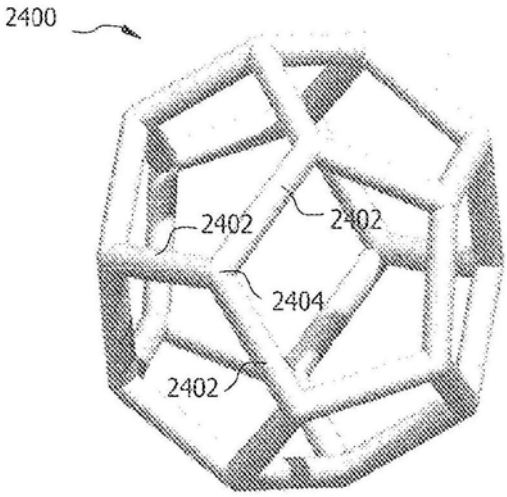


图24B(现有技术)

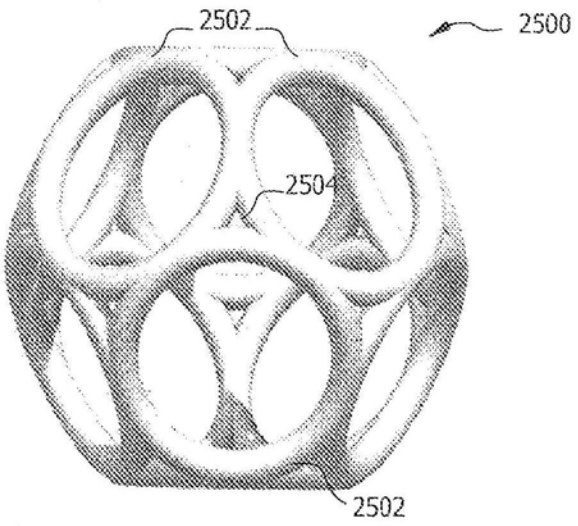


图25A

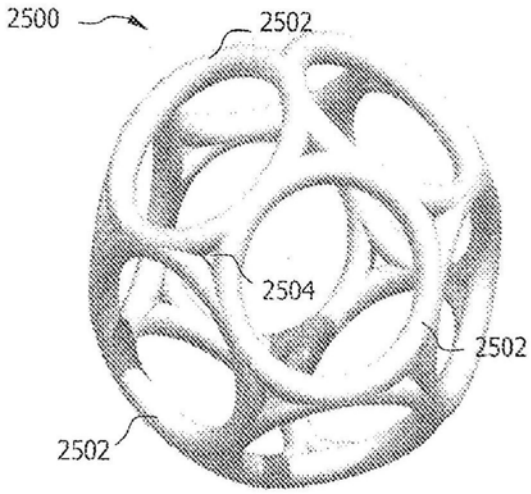


图25B

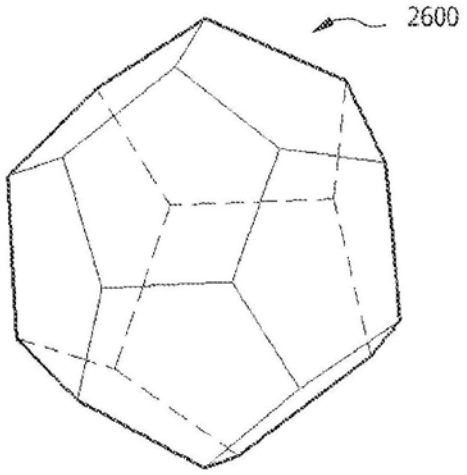


图26

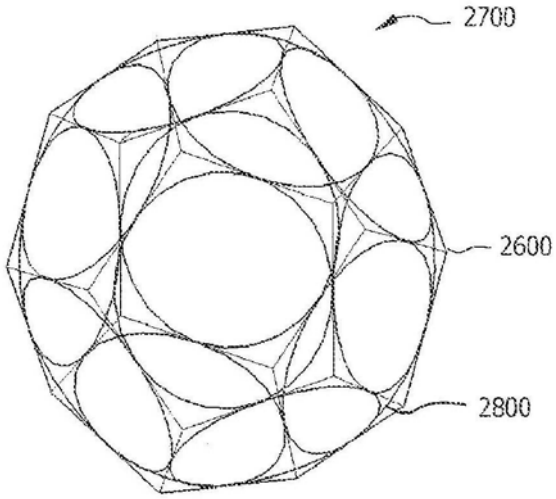


图27

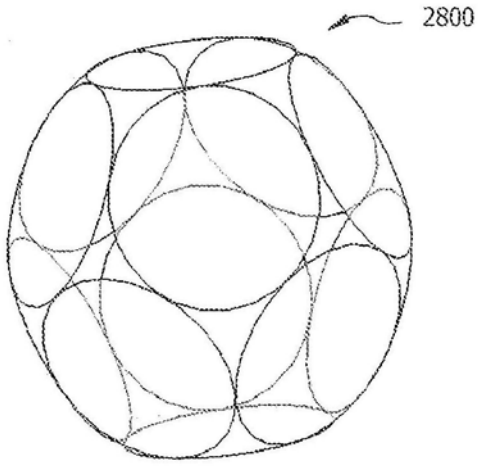


图28

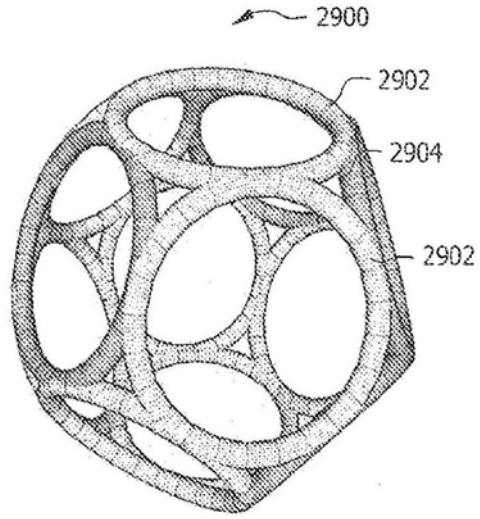


图29A

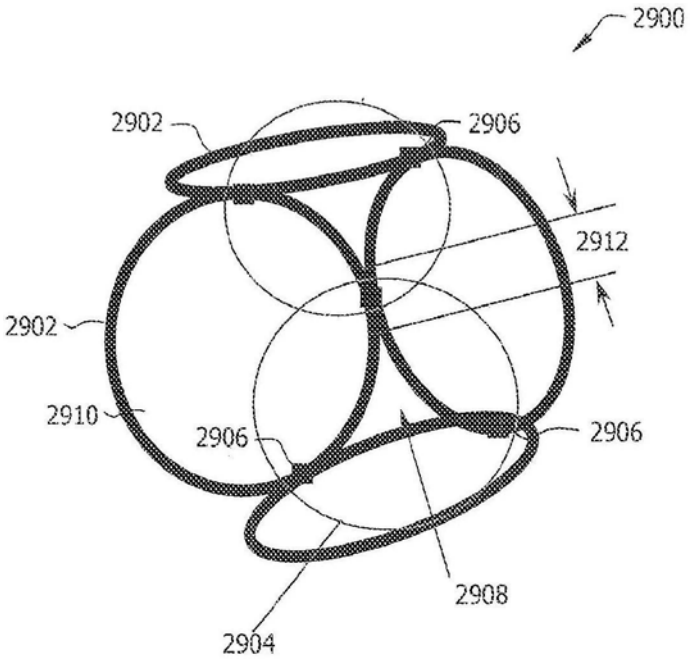

2900
2902
2906
2912
2902
2910
2906
2906
2908
2904

图29B

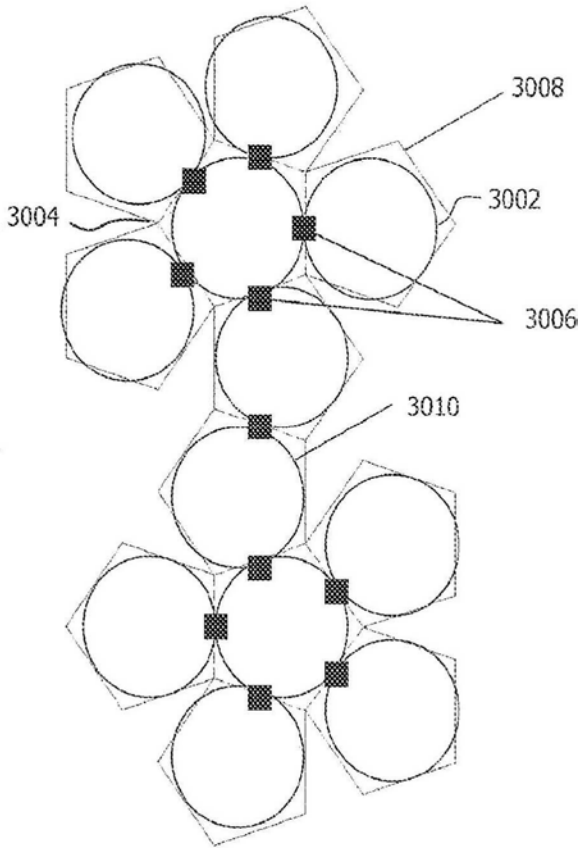

3008
3002
3004
3006
3010

图30

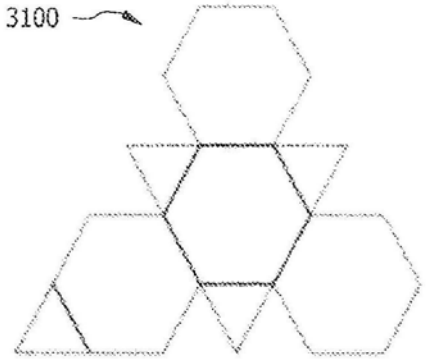


图31

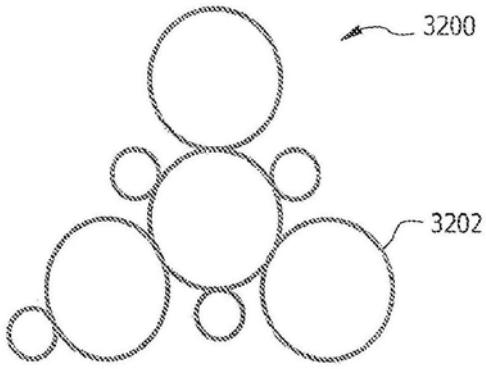


图32

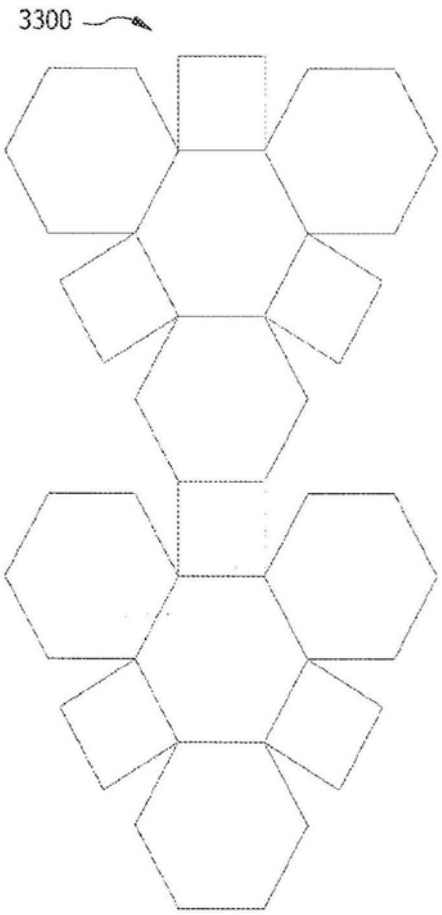


图33

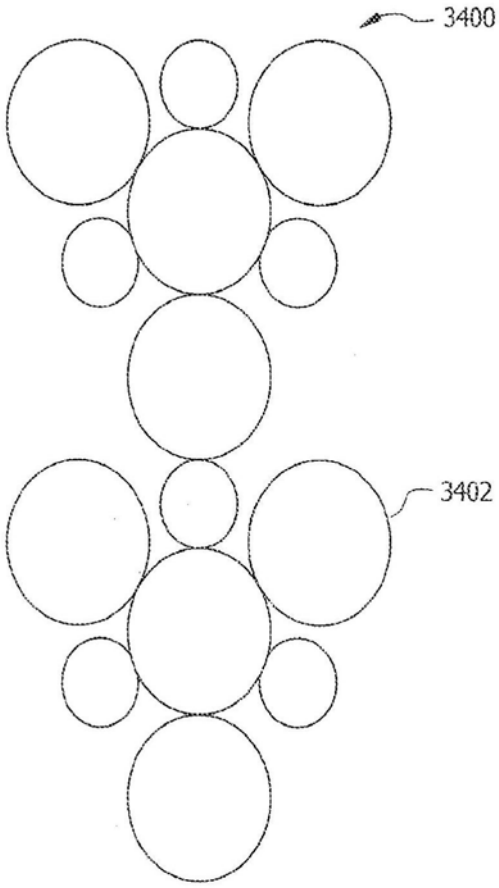


图34

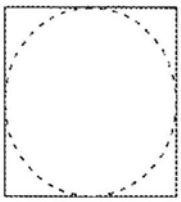


图35A

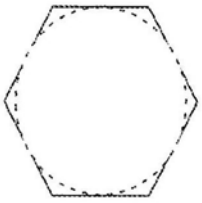


图35B

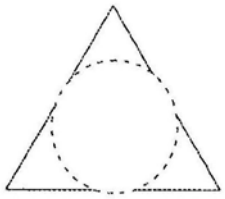


图35C

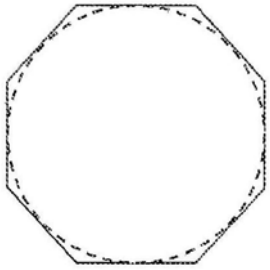


图35D

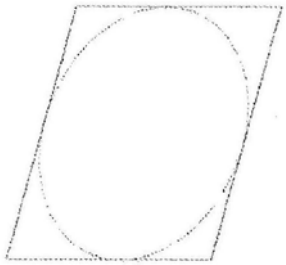


图35E

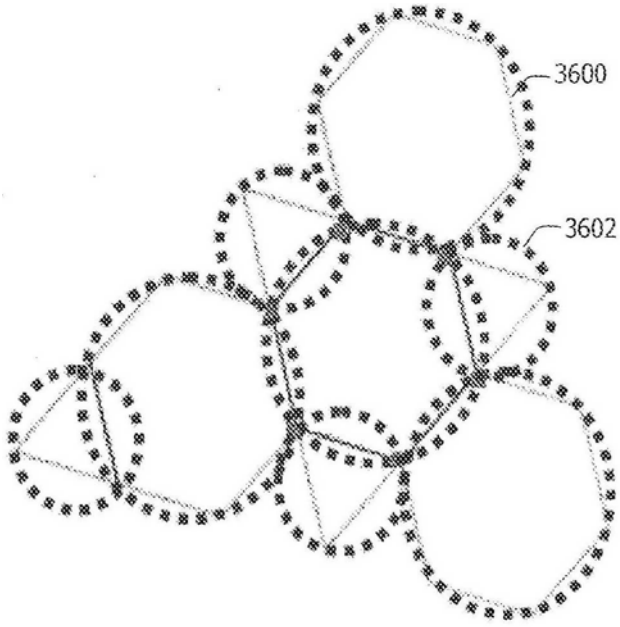


图36

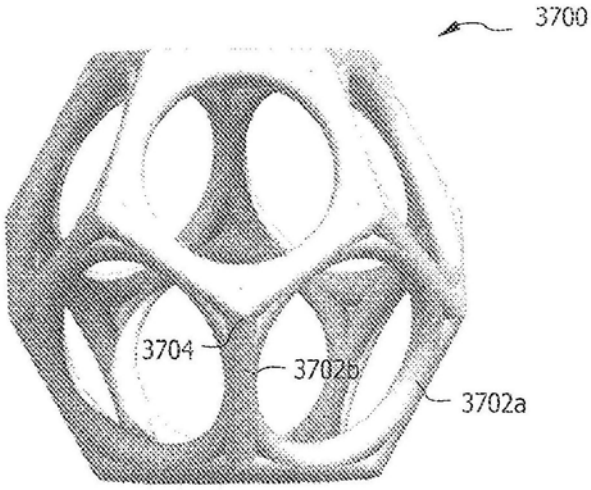


图37A

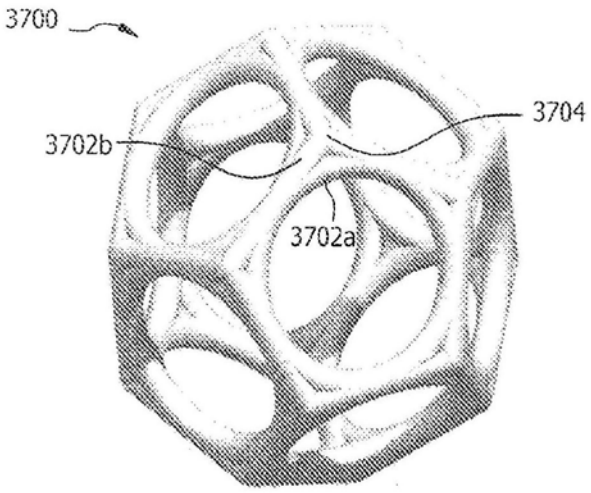


图37B

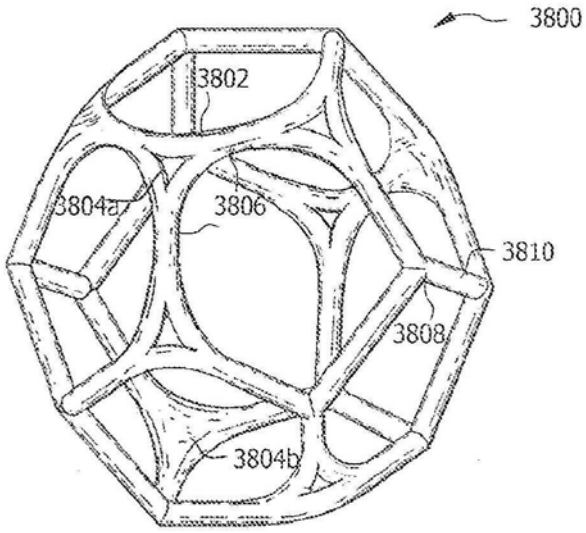


图38

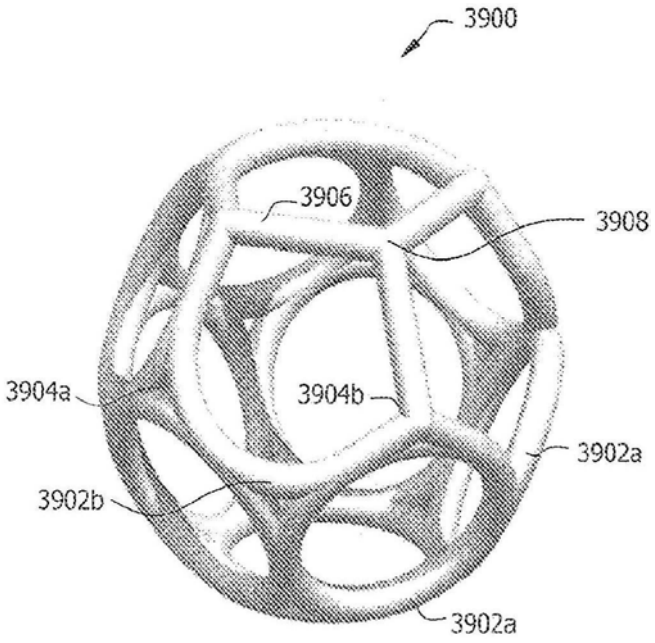

3900
3906
3908
3904a
3904b
3902a
3902b
3902a

图39A

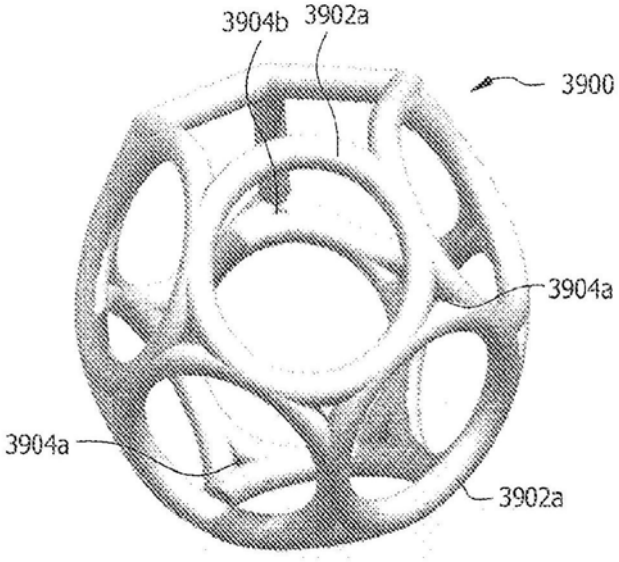

3904b
3902a
3900
3904a
3904a
3902a

图39B

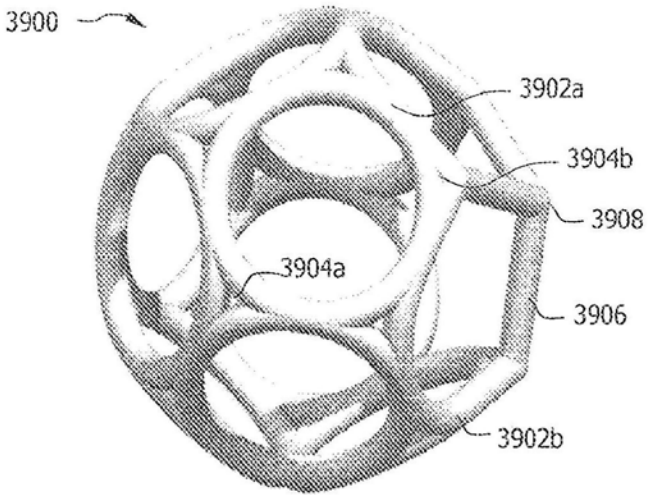

3900
3902a
3904b
3908
3904a
3906
3902b

图39C

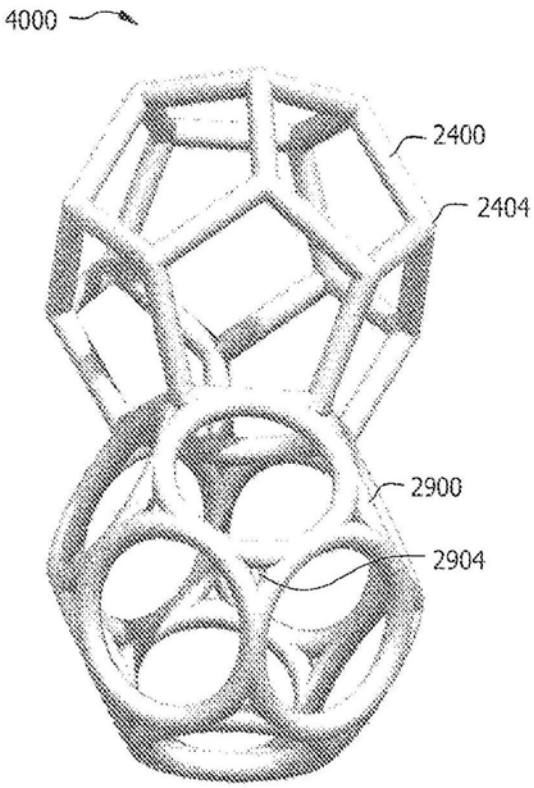

4000
2400
2404
2900
2904

图40

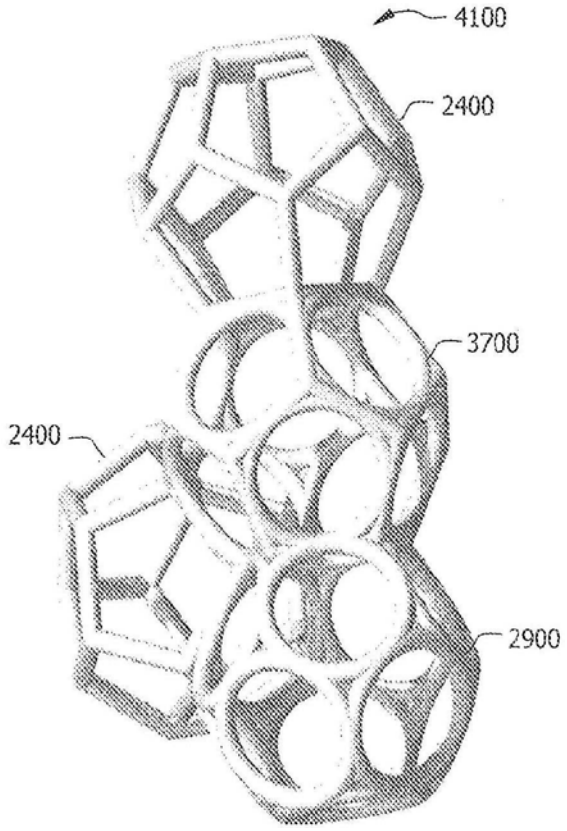


图41A

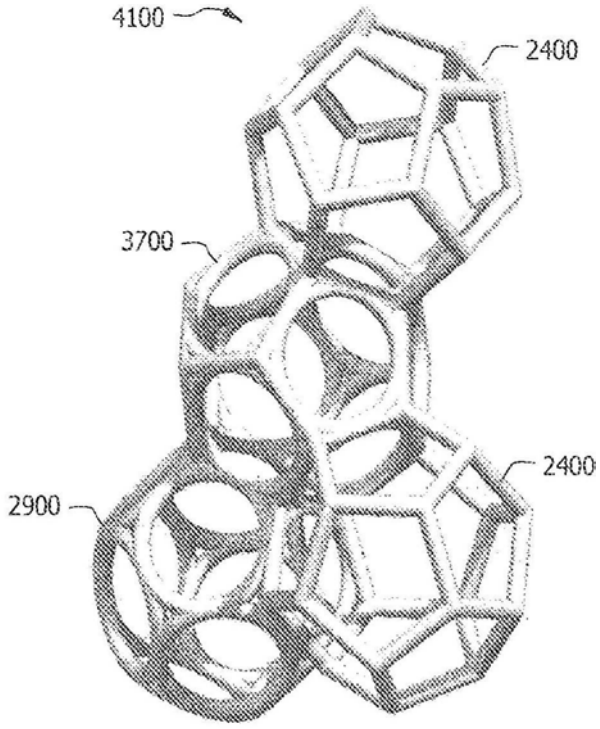


图41B

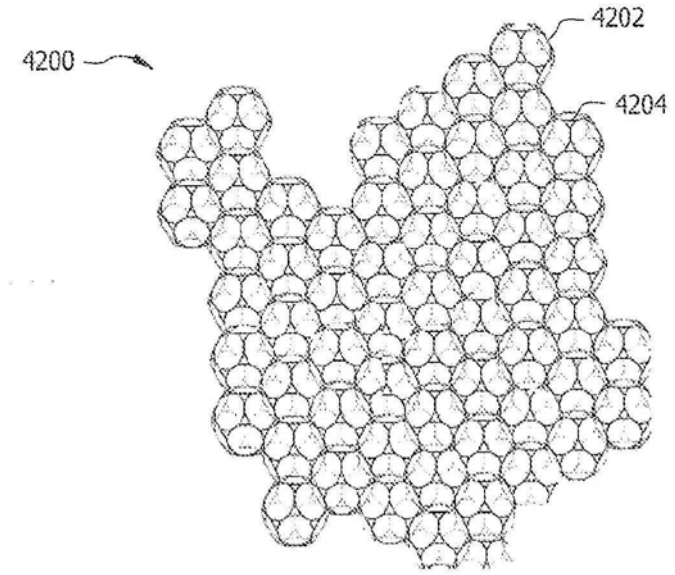


图42

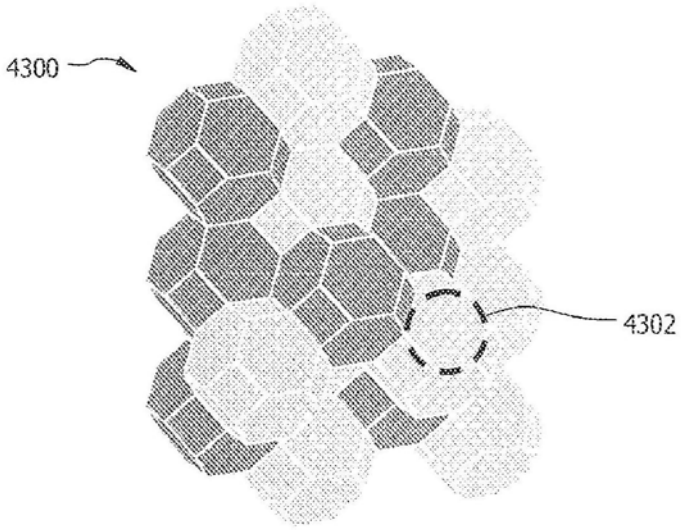


图43

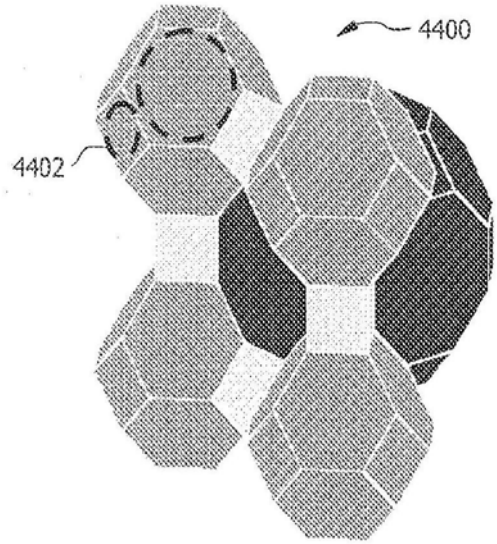


图44

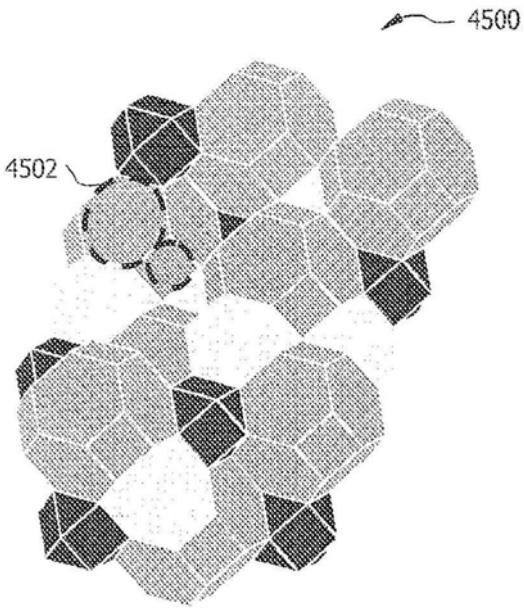


图45

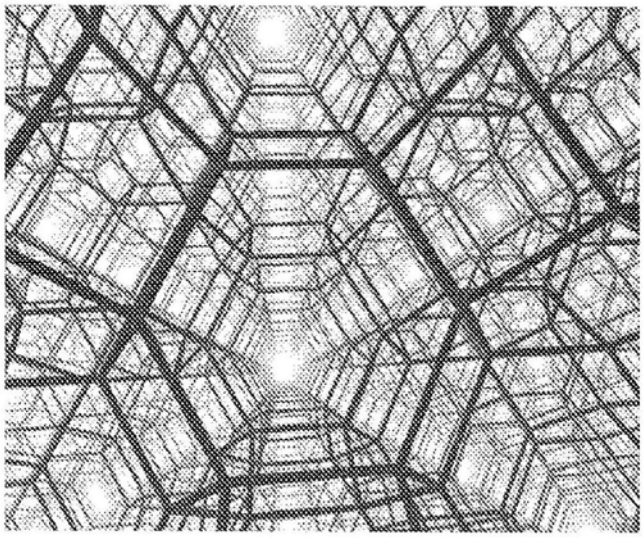


图46

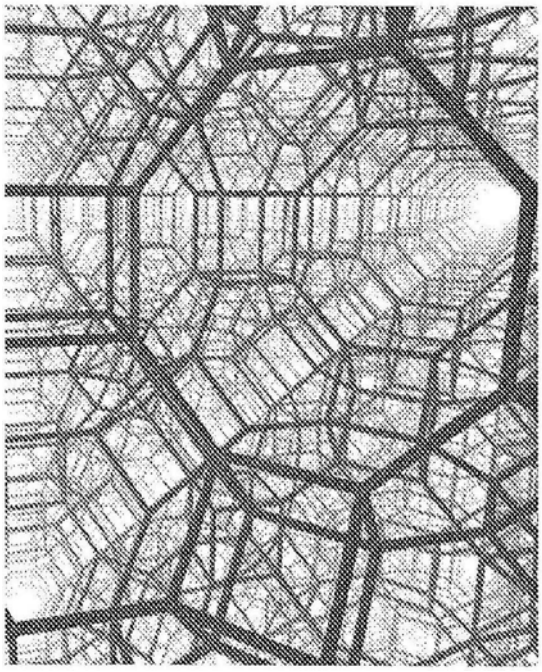


图47

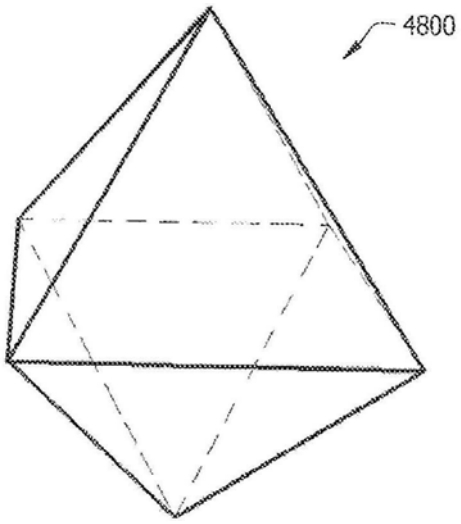


图48

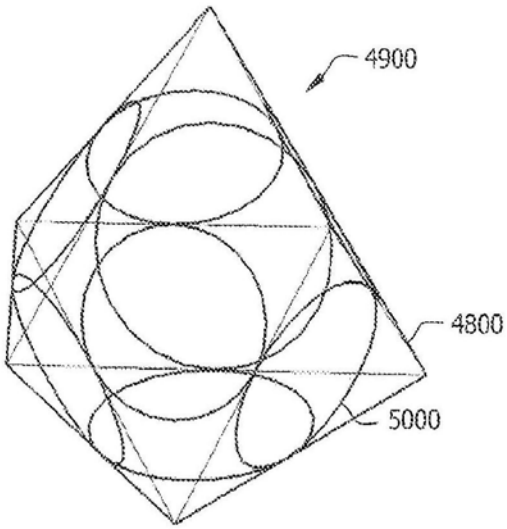


图49

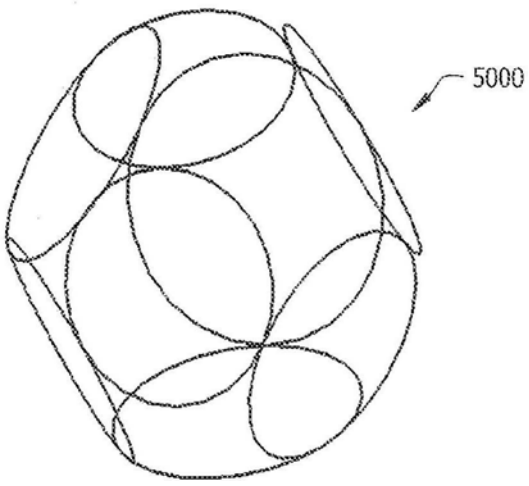


图50

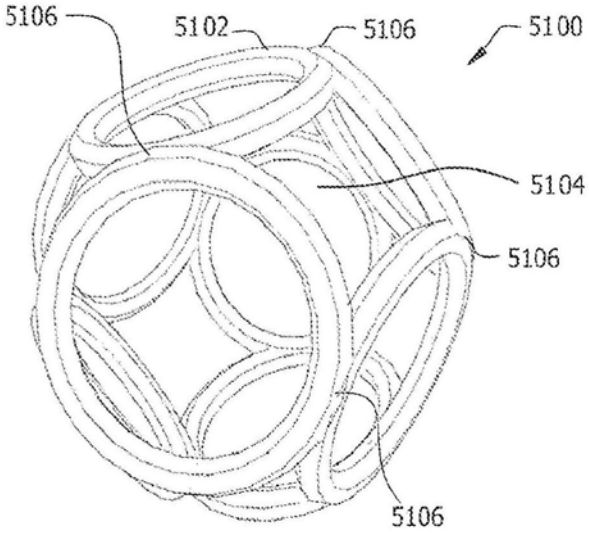


图51A

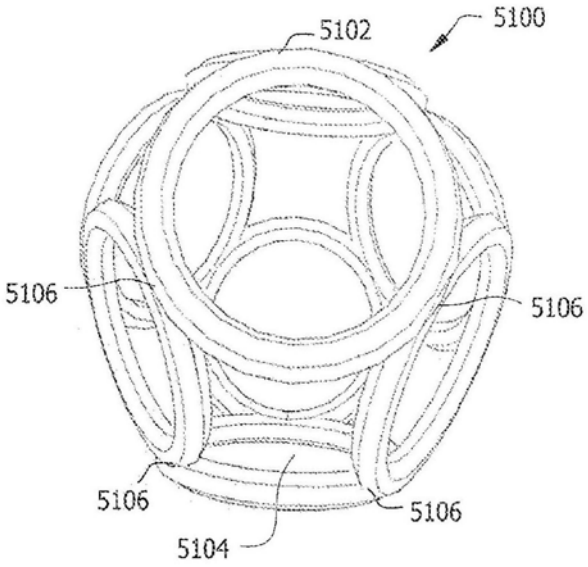


图51B

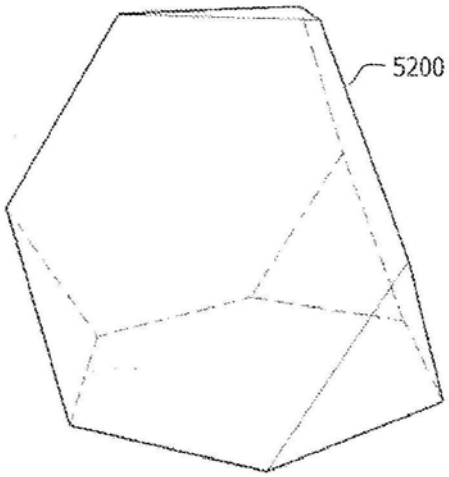


图52

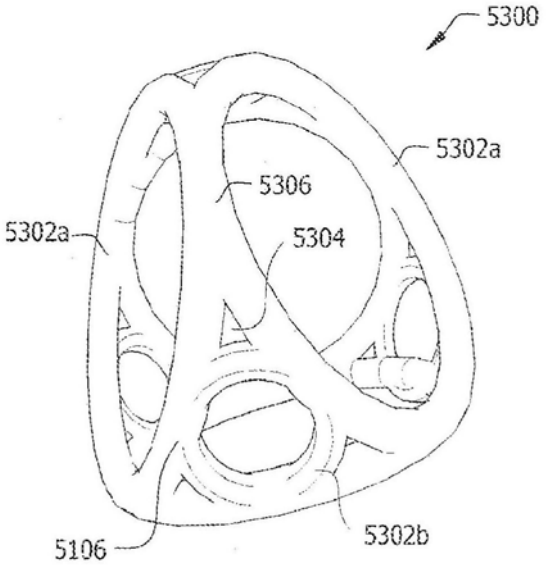

5300
5302a
5306
5302a
5304
5106
5302b

图53A

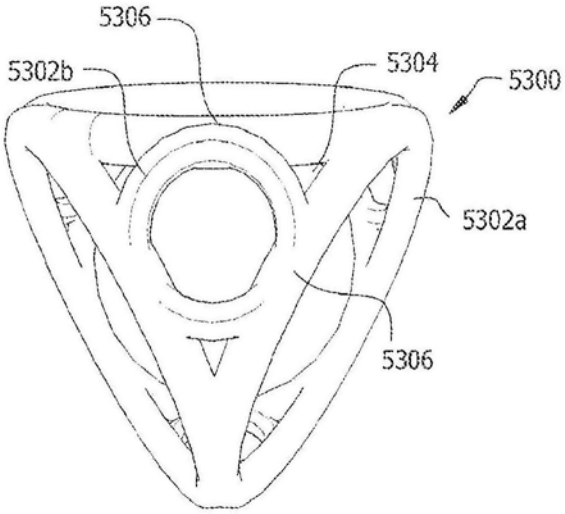

5306
5302b
5304
5300
5302a
5306

图53B

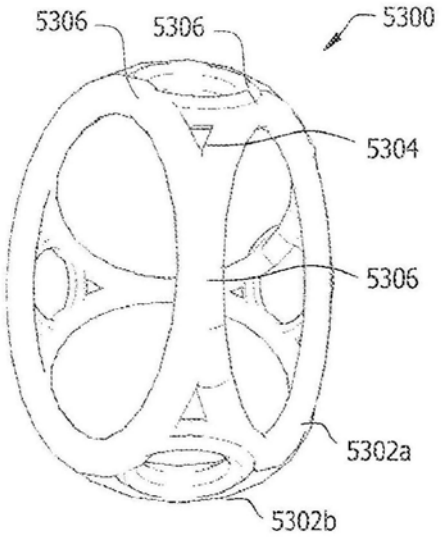

5306
5306
5300
5304
5306
5302a
5302b

图53C

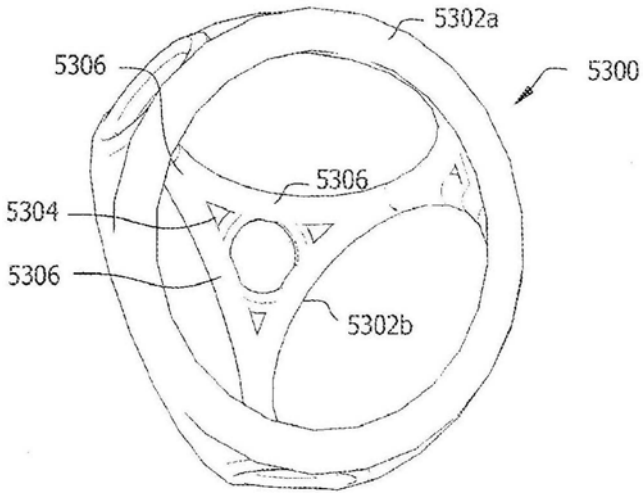

5302a
5306
5300
5306
5304
5306
5302b

图53D

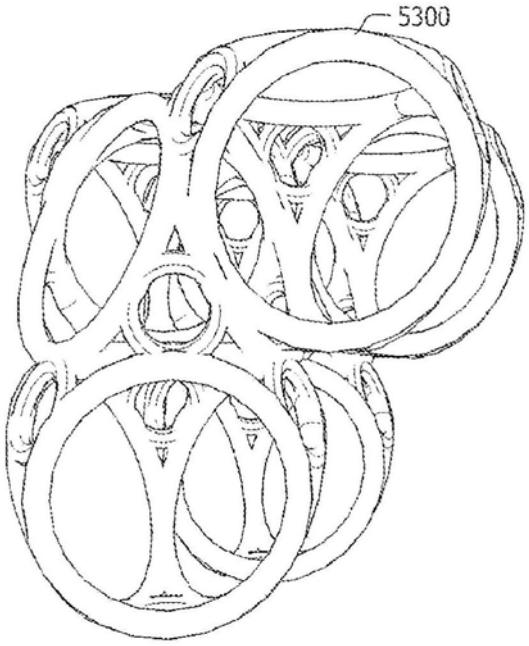


图54A

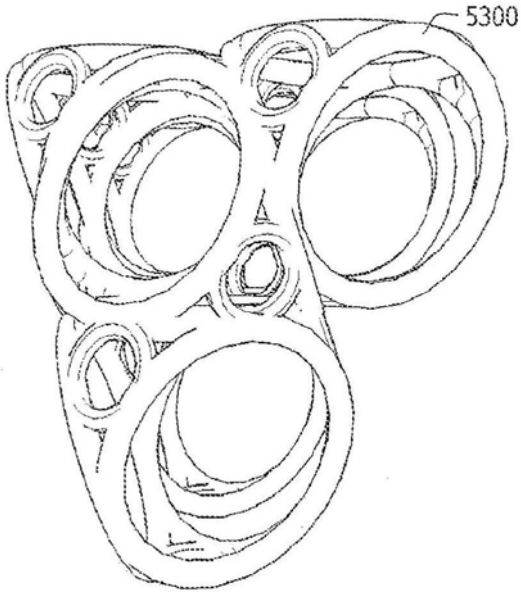


图54B

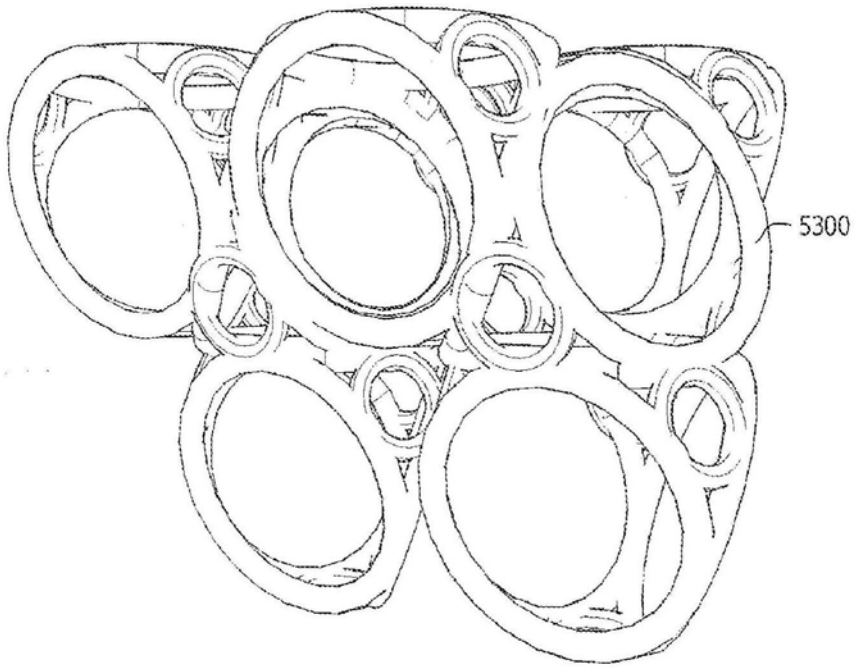


图54C

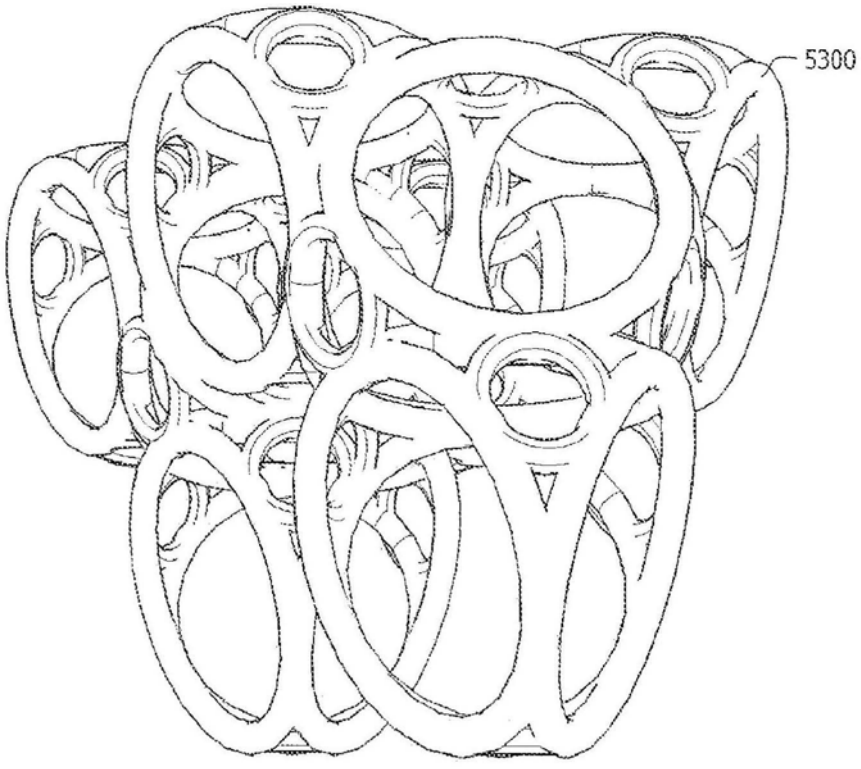


图54D

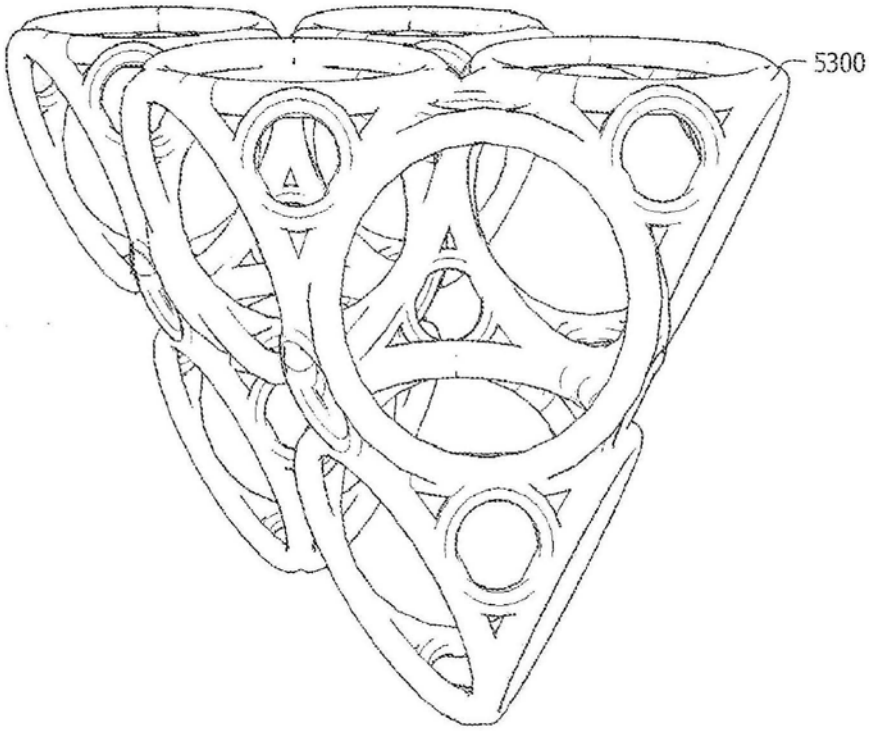


图54E

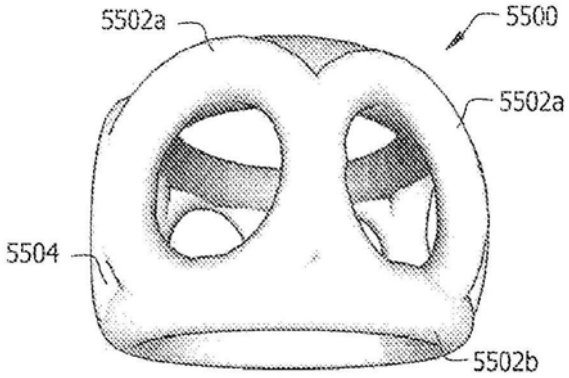


图55A

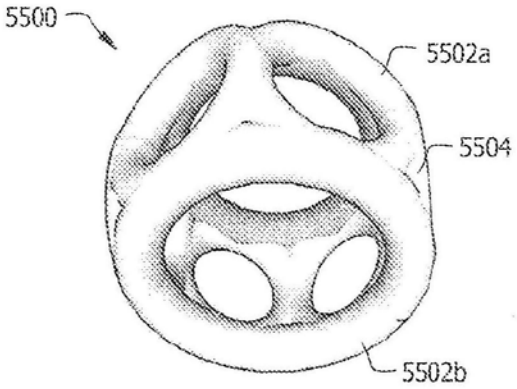


图55B

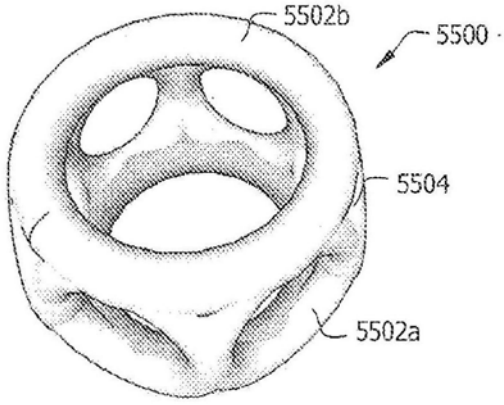


图55C

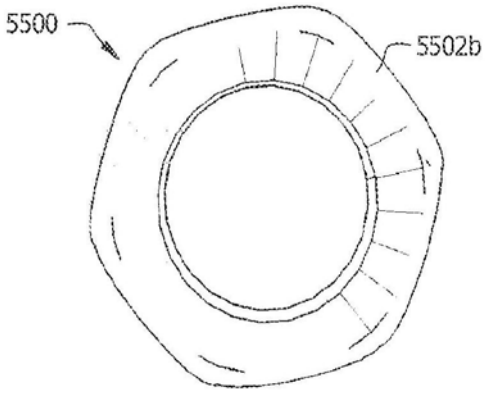


图55D

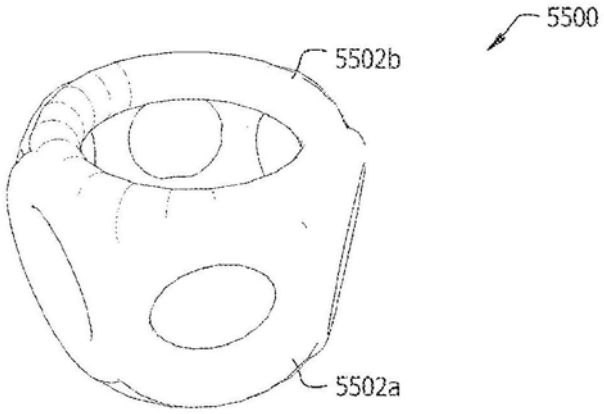


图55E

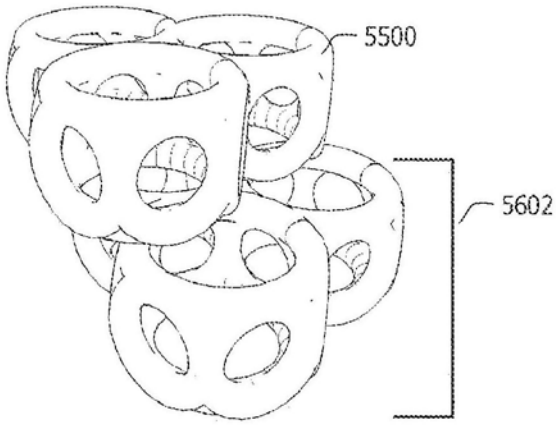


图56A

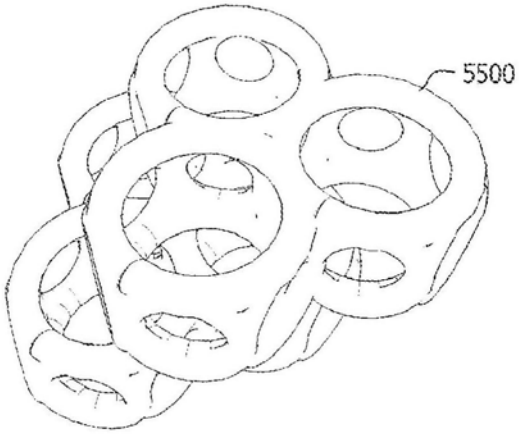


图56B

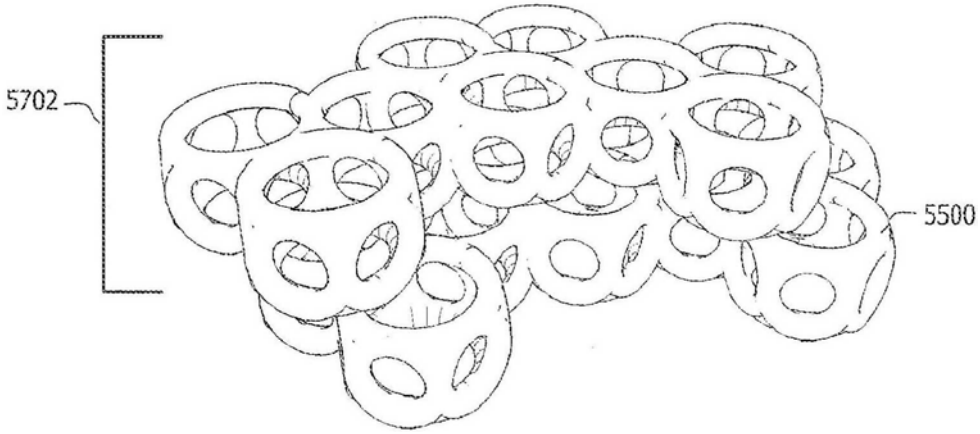


图57A

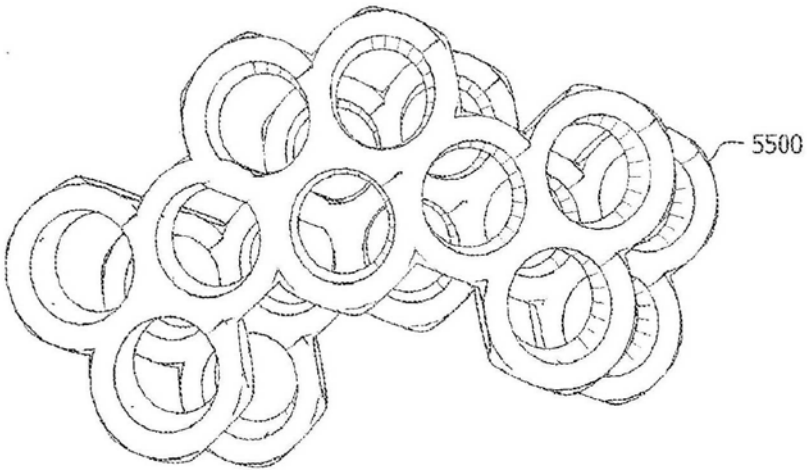


图57B

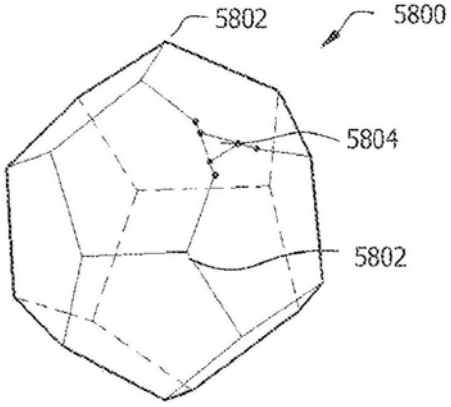


图58

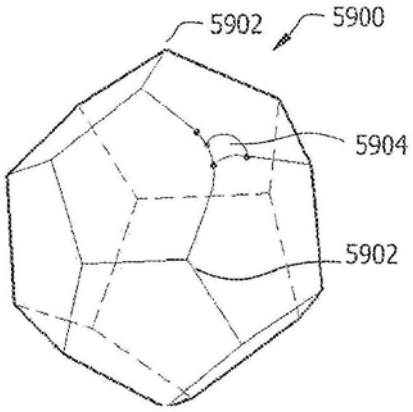


图59

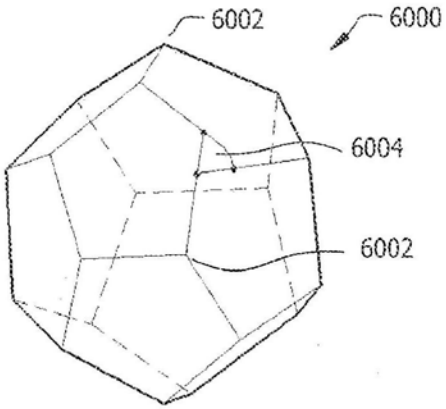


图60

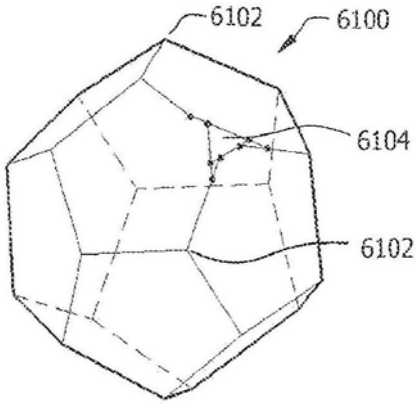


图61