



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103531259 A

(43) 申请公布日 2014. 01. 22

(21) 申请号 201310323684. 4

(22) 申请日 2008. 10. 29

(30) 优先权数据

60/983, 566 2007. 10. 29 US

61/038, 525 2008. 03. 21 US

(62) 分案原申请数据

200880123430. 5 2008. 10. 29

(71) 申请人 霍尔泰克国际股份有限公司

地址 美国新泽西马尔顿市林肯西道 555 号

(72) 发明人 K. · P. · 辛格 S. · J. · 阿加斯

(74) 专利代理机构 北京京万通知识产权代理有

限公司 11440

代理人 许天易

(51) Int. Cl.

G21C 19/07 (2006. 01)

G21F 5/012 (2006. 01)

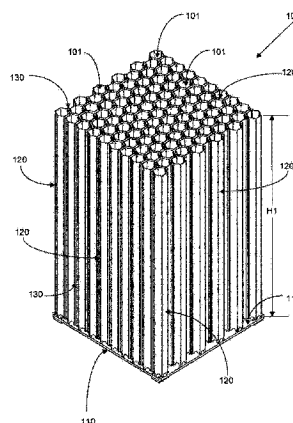
权利要求书1页 说明书14页 附图23页

(54) 发明名称

用于支持放射性燃料组件的设备

(57) 摘要

用于支持放射性燃料组件如废核燃料的设备。在一个方面,本发明是燃料篮、燃料元件架等形式的设备,其中使用了六角形贮存管,不仅是利用其内部巢室,而且通过策略性地布置借助其外表面形成了组合巢室。在另一方面,本发明是具有环绕每一巢室的通量阱的设备,其中所述通量阱的尺寸随着与贮存格栅中心的距离增大而减小。



1. 用于支持放射性燃料组件的燃料篮,包括:
多根具有用于接收放射性燃料组件的内腔的管;
所述管以基本竖直的取向布置,并且彼此间隔开,使得在所有的相邻管之间存在通量阱空间,所述管形成具有中心轴和外围的贮存格栅;
多个置于所述通量阱空间内的间隔物,其用于保持所述通量阱空间的存在;并且
其中相邻管之间的通量阱空间的宽度随着与所述贮存格栅的中心轴的距离而减小。
2. 根据权利要求1所述的燃料篮,还包括:
所述管为六角形管;
多个支持管,其包括与弯曲板连接的等分六角形板;并且
所述多个支持管布置为沿着所述贮存格栅的周缘与六角形管邻接,使得所述弯曲板限定了基本圆形的外周缘,从而形成篮组件。
3. 根据权利要求2所述的燃料篮,还包括:
容器,其具有形成大致圆筒形内腔的内表面;并且
所述篮组件放置在所述容器的圆筒形腔内,所述弯曲板与所述容器的内表面接触。
4. 根据权利要求3所述的燃料篮,其中所述管在底部边缘包括一个或多个切口,其形成了内腔之间的通道。
5. 根据权利要求1所述的燃料篮,其中所述管为六角形管;并且位于所述通量阱空间内的每一所述间隔物与三个相邻六角形管的边缘接触。
6. 根据权利要求5所述的燃料篮,其中所述间隔物是棒。
7. 根据权利要求6所述的燃料篮,其中所述棒具有大致截头三角形形状的水平横截面。
8. 根据权利要求1所述的燃料篮,还包括:
其中所述管为六角形管;并且
其中所述间隔物为棒,每一所述棒包括三个沿所述棒的长度轴向延伸的凹槽,所述三个凹槽绕所述棒的轴沿圆周以对称方式间隔分布,所述棒置于所述通量阱空间内,使得所述六角形管的边缘嵌置在所述凹槽内。
9. 根据权利要求8所述的燃料篮,其中所述管由硼浸润的铝材料制成。

用于支持放射性燃料组件的设备

[0001] 相关专利申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2007 年 10 月 29 日提交的序列号为 No. 60/983, 566 的美国临时专利申请, 和 2008 年 3 月 21 日提交的序列号为 No. 61/038, 525 的美国临时专利申请的权益, 本文将它们全文引入作为参考。

技术领域

[0003] 广而言之, 本发明涉及用于支持高放射强度废物的设备和方法, 更具体地涉及用于支持放射性燃料组件的设备和方法。本发明可实施为各种用于转移、支持和 / 或贮存废核燃料组件的结构, 包括但不限于水下燃料元件架 (fuel rack) 和装入罐 (canister) 或桶 (cask) 中的燃料篮 (fuel basket)。

背景技术

[0004] 在核能工业中, 核能源是填充有浓缩铀的中空锆合金管的形式, 也称为燃料组件。在消耗到一定程度后, 废燃料组件被从反应器中取出。此时, 所述燃料组件不仅放射出极度危险的水平的中子和伽马量子 (即中子和伽马辐射), 而且产生相当大量的热, 这些热必须被耗散掉。

[0005] 从反应器中取出后, 所述废燃料组件放射出的中子和伽马辐射必须始终被充分克制 (contained)。同时, 所述废燃料组件也必须被冷却。由于水是一种优良的辐射吸收剂, 因此从反应器中取出后, 废燃料组件通常被迅速浸没在水池的水下。所述池水还通过从所述燃料组件上汲取热载荷, 起到了冷却所述废燃料组件的作用。所述水还可含有溶解的中子屏蔽物质。

[0006] 所述浸没的燃料组件通常在所述燃料池中以大致竖直的取向支撑在通常称为燃料元件架的支架结构中。公知地, 当所述燃料组件之间的距离减小时, 燃料组件之间的中子相互作用增强。因此, 为了避免由所述支架中的相邻燃料元件的相互作用导致的危险程度 (或者其威胁), 支撑所述燃料组件的燃料元件架必须间隔开, 使得在相邻燃料组件之间存在充足的中子吸收材料。所述中子吸收材料可以是所述池水、包含中子吸收材料的结构, 或者它们的组合。

[0007] 用于燃料组件的高密度贮存的燃料元件架通常是蜂巢状构造, 在巢室 (cell) 之间放置有实心板形式的中子吸收板结构 (即屏障)。所述巢室通常是顶部开口的细长、竖直的方形管, 燃料元件通过所述开口插入。有时, 所述巢室具有双层壁, 它们封装了中子屏蔽板, 以保护所述中子屏障不受由于与水接触导致的腐蚀或者其它劣化作用。

[0008] 每一燃料组件被置于分隔的巢室中, 从而所述燃料组件相互之间被屏蔽开。Maurice Holtz 等于 1983 年 5 月 3 日授权的美国专利 4, 382, 060 中记载了典型的现有燃料元件架的例子, 本文将它们全文引入作为参考。所述 Holtz 支架由包括中空且截面呈十字形 (cruciform in section) 的元件的构造单元构成。所述十字形构造单元的每个支脚在内部包含中子屏障。所述十字形构造单元的支脚的自由端会聚于一点 (converge), 从而具有约

90 度的夹角。所述支架由这类十字形元件,以及截面为大致 T 和 L 型的配合元件构成。

[0009] 在世界上的某些地区,核反应器中所用的燃料组件并不具备矩形的水平截面。作为替代,所述燃料组件具有大致六角形的水平截面。在这种情况下,现有的包括具有矩形水平截面的巢室的支架不够理想。

[0010] 甚至从所述池中取出后,所述燃料组件仍然放射出极度危险的中子(即中子辐射)和伽马量子(即伽马辐射),因此在转移和贮存期间,这些中子和伽马量子仍然必须始终被克制。所述燃料组件散发出的残余热量也必须被转移并逸出所述燃料组件。因此,用于转移和/或贮存燃料组件的容器不仅必须安全地隔绝并吸收所述燃料组件的放射能,而且还必须允许充分的冷却。在本领域中,有两类用于运输和/或贮存燃料组件的容器系统,基于罐(canister-based)的系统和基于桶(cask-based)的系统。

[0011] 一般而言,有两类用于运输和/或贮存 SNF 的桶,通风的竖直外包装(overpack) (“VVOs”)和热传导性的桶。VVOs 通常与可密封的罐一起使用,所述罐装载了所述燃料组件并置于所述 VVO 的空腔内。这类罐通常为多功能罐,并且通常包含用于接收所述燃料组件的燃料篮。在 1999 年 4 月 27 日授权的美国专利 5,898,747(Singh) 中公开了设计用来与 VVO 一同使用的罐和篮组件,本文将全文引入作为参考。另一类型的桶是热传导性的桶。在常规的热传导性桶中,所述燃料组件直接装载到由所述桶体形成的空腔内。通常在所述空腔本身内部设置有篮组件,用以给所述燃料组件提供支持。

[0012] 所述燃料篮通常与所述桶一同起作用,从而以特定模式支持所述燃料、使传递到所述燃料的负荷最小、将热传递至所述桶并控制危险程度。

发明内容

[0013] 本发明的目的是提供能安全地容纳燃料组件的燃料元件架。

[0014] 本发明的另一目的是提供具有诸如六角形的非矩形形状的水平截面的燃料元件架。

[0015] 本发明的另一目的是提供能够成本高效地制造的燃料元件架。

[0016] 本发明的又一目的是提供能够承受与来自流水的水力负荷一致作用的高惯性负荷的燃料元件架。

[0017] 本发明的又一目的是提供能够容许所述池水通过所述巢室的自然热虹吸(thermosiphon)流动的燃料元件架。

[0018] 本发明的又一目的是提供无需中子吸收剂板的燃料元件架。

[0019] 本发明的又一目的是提供由带槽板(slotted plate)构建的燃料元件架。

[0020] 本发明的另一目的是提供紧凑的、并且能使燃料池的贮存空间最大化的燃料元件架。

[0021] 本发明的又一目的是提供抗水腐蚀的燃料元件架。

[0022] 本发明的又一目的是提供能够在辐射照射下保持结构稳定性的燃料元件架。

[0023] 本发明的另一目的是提供具有通量阱(flux trap)的燃料元件架。

[0024] 本发明的目的是提供具有更高的结构整体性的燃料篮。

[0025] 本发明的另一目的是具有燃料巢室的燃料篮,所述燃料巢室与待贮存在其中的燃料组件的形状相对应。

[0026] 本发明的另一目的是提供能使废核燃料的堆积密度最大,同时保持 .95 或者更低的反应性的燃料篮。

[0027] 本发明的另一目的是提供易于制造且重量轻的燃料篮。

[0028] 本发明满足了这些和其它目的,在一个方面,本发明为具有用于保持燃料组件的巢室阵列的燃料元件架,包括:具有上表面的底板;多根管,每根管具有形成所述巢室之一的内表面;并且所述管以基本竖直的取向和这样的式样与所述底板的上表面连接,其中所述式样使得所述巢室中的一个或多个由相邻管的外表面形成。

[0029] 在另一方面,本发明为用于支持燃料组件的燃料元件架,包括多个具有内腔的六角形管;具有上表面的底板;所述六角形管以基本竖直的取向与所述底板的上表面连接,并且彼此间隔开使得在所有相邻的六角形管之间存在通量阱空间;以及多个位于所述通量阱空间内的间隔物 (spacer),其用于保持所述通量阱空间的存在,所述间隔物与所述六角形管相连。

[0030] 在另一方面,本发明为具有用于保持燃料组件的巢室阵列的燃料元件架,包括多个带槽板,它们彼此滑动互锁以形成所述巢室阵列。

[0031] 在另一方面,本发明为具有蜂巢状格栅 (grid) 的燃料篮,所述格栅形成多个基本竖直取向的细长的巢室。最优选地,所述篮组件包括一个或多个通量阱,并且位于空腔内。所述篮组件可由金属基质复合材料构成。在一种实施方式中,所述篮组件可以采用可变的通量阱以使堆积密度最大化。在这种实施方式中,随着不断接近所述篮组件的外围,所述通量阱的宽度可以减小。在另一实施方式中,所述篮组件可采用具有不同高度的管状元件,所述管状元件形成在竖直方向上交错的结构,从而没有两个相邻的巢室具有在竖直方向上平齐的界面。

[0032] 在另一方面,本发明为用于支持放射性燃料组件的设备,包括用于容纳放射性燃料组件的巢室的格栅,所述格栅由多个六角形管形成,所述六角形管具有形成所述巢室之一的外表面和内表面,所述多个六角形管以相邻的方式和这样的式样布置,所述式样使得所述巢室中的一个或多个是由周边的六角形管的外表面所形成的巢室。

[0033] 在另一方面,本发明为用于支持放射性燃料组件的设备,包括用于容纳放射性燃料组件的巢室的格栅,所述格栅由多个具有形成所述巢室的内表面的管形成,所述管以轴对齐 (axially aligned) 并且相邻的方式布置;每一所述管均由多个轴向对正叠置的管状段形成,在每根管的相邻管状段之间形成界面;并且其中所述管状段的长度以及所述管布置形成所述格栅的式样使得没有相邻管的界面是彼此平齐的。

[0034] 在另一方面,本发明为用于支持放射性燃料组件的设备,包括:包含多个具有不同长度的底部管状段的底部区段,所述底部管状段以轴相邻的方式和特定模式布置,从而没有两个相邻的底部管状段具有相同的长度,所述底部管状段的底部边缘对齐;至少一个包含多个等长的中间管状段的中间区段,所述中间区段叠置在所述底部区段顶上,从而所述中间管状段与所述底部管状段轴向对正,并且所述中间管状段的底部边缘与所述底部管状段的顶部边缘毗连;以及,包含多个具有不同长度的顶部管状段的顶部区段,所述顶部区段叠置在所述中间区段的顶上,从而所述顶部管状段与所述中间管状段轴向对正,所述顶部管状段的底部边缘与所述底部管状段的顶部边缘毗连,并且所述顶部管状段的顶部边缘对齐。

[0035] 在另一方面,本发明为一种燃料元件架,其具有用于保持燃料组件的巢室的格栅,所述燃料元件架包括:具有上表面的底板;多根六角形管,每根六角形管具有形成所述巢室之一的内表面;并且所述六角形管以基本竖直的取向和特定模式与所述底板的上表面连接,所述特定模式使得所述巢室中的一个或多个由相邻六角形管的外表面形成。

[0036] 在另一方面,本发明为一种燃料元件架,其具有用于保持燃料组件的巢室的格栅,所述燃料元件架包括:具有上表面的底板;多根管,每根管具有形成所述巢室之一的内表面;并且所述管以基本竖直的取向和特定模式与所述底板的上表面连接,所述特定模式使得所述巢室中的一个或多个由相邻管的外表面形成。

[0037] 在另一方面,本发明为用于支持燃料组件的燃料元件架,包括:多个具有内腔的六角形管;具有上表面的底板;所述六角形管以基本竖直的取向与所述底板的上表面连接,并且彼此间隔开,使得在所有相邻的六角形管之间存在通量阱空间;以及,多个置于所述通量阱空间内的间隔物,其用于保持所述通量阱空间的存在,所述间隔物与所述六角形管连接。

[0038] 在另一方面,本发明为用于支持燃料组件的燃料元件架,包括:多个具有内腔的管;具有上表面的底板;所述管以基本竖直的取向与所述底板的上表面连接,并且彼此间隔开,使得在所有的相邻管之间存在通量阱空间;以及,多个置于所述通量阱空间内的间隔物,其用于保持所述通量阱空间的存在,所述间隔物与所述管连接。

[0039] 在另一方面,本发明为具有外围巢室和非外围巢室的用于支持燃料组件的燃料元件架,包括:具有上表面的底板;多根六角形管,每根六角形管具有形成一个所述外围巢室或所述非外围巢室的内表面;并且,所述六角形管以基本竖直的取向和特定模式与所述底板的上表面连接,所述特定模式使得每第三个(every third)非外围巢室由六个周边的六角形管的外表面形成。

[0040] 在另一方面,本发明为用于支持放射性燃料组件的燃料篮,包括多根具有用于接收放射性燃料组件的内腔的管;所述管以基本竖直的取向布置,并且彼此间隔开,使得在所有的相邻管之间存在通量阱空间,所述管形成具有中心轴和外围的贮存格栅;多个置于所述通量阱空间内的间隔物,其用于保持所述通量阱空间的存在;并且其中相邻管之间的通量阱空间的宽度随着与所述贮存格栅的中心轴的距离而减小。

附图说明

[0041] 图1是本发明一实施方式的燃料元件架的顶部立体图;

[0042] 图2是图1所示燃料元件架顶部的局部放大图;

[0043] 图3是图1所示燃料元件架的俯视图;

[0044] 图4是图1所示燃料元件架的底部立体图;

[0045] 图5是图1所示燃料元件架的底部拐角的局部放大图;

[0046] 图6A是从图1所示燃料元件架上取下的可调高支座的顶部立体图;

[0047] 图6B是图6A所示的可调高支座的底部立体图;

[0048] 图7是本发明第二实施方式的包括通量阱的燃料元件架的顶部立体图;

[0049] 图8是图7所示燃料元件架的顶部的局部放大图;

[0050] 图9是图7所示燃料元件架的俯视图;

- [0051] 图 10 是本发明一实施方式的由带槽板构建的燃料元件架的顶部立体图；
- [0052] 图 11A 是用于构建图 10 所示的燃料元件架的第一带槽板的立体图；
- [0053] 图 11B 是用于构建图 10 所示的燃料元件架的第二带槽板的立体图；
- [0054] 图 11C 是用于构建图 10 所示的燃料元件架的第三带槽板的立体图；
- [0055] 图 12 是图 10 所示的燃料元件架的带槽板的纵断面 (vertical section) 的立体图；
- [0056] 图 13 是本发明实施方式的燃料篮的贮存格栅部分的顶部立体图；
- [0057] 图 14 是图 13 的 II-II 区域的俯视图,显示了本发明一实施方式的组合巢室；
- [0058] 图 15 是图 13 所示的燃料篮的贮存管的底部竖直段的立体图,它们以所需式样布置,使得相邻贮存管的段间界面不是竖直平齐的；
- [0059] 图 16 是本发明一实施方式的燃料篮的俯视图,包括图 13 所示的贮存格栅部分和外围支撑管；
- [0060] 图 17 是本发明一实施方式的支撑管的立体图；
- [0061] 图 18 是图 16 所示燃料篮的立体图；
- [0062] 图 19 是本发明第二实施方式的燃料篮组件的立体图；
- [0063] 图 20 是图 19 所示燃料篮的贮存管的立体图；
- [0064] 图 21 是图 19 所示燃料篮的贮存格栅部分的底部竖直段的立体图；
- [0065] 图 22 是图 19 所示燃料篮的贮存格栅部分的底部立体图；
- [0066] 图 23 是图 19 所示燃料篮的贮存格栅部分的顶部立体图；
- [0067]

具体实施方式

[0068] 以下将结合示例性的实施方式对本发明进行说明。应当理解,虽然针对某些实施方式具体解释了某些细节和结构设置,但是所述细节和结构设置可适用于任何实施方式。

[0069] I. 通量阱燃料元件架实施方式

[0070] 参见图 1,公开了本发明一实施方式的燃料元件架 100 的立体图。燃料元件架 100 为蜂巢状的、竖直的棱柱状模块。图示的燃料元件架 100 的实施方式特别设计用来容纳六角形的燃料组件,例如 VVER1000 燃料组件。对于这种情况,燃料元件架 100 的每一巢室 101 的形状也大致为六角形(即具有六角形的水平截面),从而在几何学上可容纳单个六角形的燃料元件。然而,应当理解,本发明的构思可以改变,以容纳任何形状的燃料组件,包括矩形、八角形、圆形等。

[0071] 在以下对燃料元件架 100 及其组成部分的描述中,所用的诸如顶、底、上、下、水平、竖直上部和下部的相对关系术语是相对于图 1 所示的基本竖直取向的燃料元件架 100 而言的。此外,基于读者能够识别重复元件这一认识,为了避免附图中的混乱,仅对每种组件中的少部分进行了编号。

[0072] 燃料元件架 100 通常包括底板 110、多根六角形管 120 和多根间隔棒 130(图 2 中显示得最清楚)。六角形管 120 以基本竖直的取向与底板 110 的上表面 111 连接。在这种实施方式中,每根六角形管 120 的轴不仅基本竖直,并且基本垂直于底板 110 的上表面 111。六角形管 120 与底板 110 之间的连接通过将六角形管 120 的底部边缘焊接到底板 110 的上

表面上来实现。当然,经过稍稍改动即可采用其它连接方式,包括诸如螺栓连接、卡箍连接、螺纹连接等的机械连接。

[0073] 六角形管 120 的顶端保持开口,从而燃料组件可滑入由六角形管 120 的内表面形成的内腔 101(也称为巢室)中。每根六角形管 120 可以是延伸出整个所需高度 H_1 的单部件管,或者可以由多根具有部分高度的管构成,这些管加合在一起达到所需的高度 H_1 。优选,所述高度 H_1 足够高,使得所述燃料组件的整个高度均位于六角形管 120 内。

[0074] 六角形管 120 以相邻并且相间隔的式样与矩形底板 110 连接,以形成巢室 101 的蜂巢状的格栅。巢室 101 为用于通过其开口顶端接收放射性燃料组件的基本竖直的细长腔室。虽然,显示了巢室 101 的大致矩形的栅框(gridwork),但是燃料元件架 120 可设计为具有任何所需的形状。以下将对照图 2-3,更加具体地描述六角形管 120 的几何布置。六角形管 120 优选由金属基质复合材料,更优选为间断(discontinuously)加强的铝/碳化硼金属基质复合材料,最优选为硼浸润铝构成。一种这类适合的材料是以商标 Metamic™ 销售的材料。六角形管 120 起到了反应性控制以及结构支持的双重作用。底板 110 优选由金属构成,该金属与构成六角形管 120 的材料是冶金学相容的以利于焊接。

[0075] 现在同时参见图 2-3,每根六角形管 120 布置为与所有相邻的六角形管 120 均间隔开,从而在每根六角形管 120 与其紧邻的六角形管 120 之间存在间隙 140。间隙 140 充当中子通量阱,以降低和/或消除危险程度的威胁。通量阱空间 140 可设计为任何所需的宽度,并且实际的宽度取决于待贮存的燃料组件的辐射强度,所述管 120 的构成材料,以及浸没燃料元件架 100 的池水的性质。在一种实施方式中,通量阱空间 140 具有介于 30 到 50 毫米,更优选介于 25-35 毫米,最优选约 38 毫米的宽度。

[0076] 在通量阱空间 140 内插入了间隔物,在图示的实施方式中其为间隔棒 130 的形式,从而保持通量阱空间 140 以所需的宽度存在,并且提供增强的结构稳定性。虽然,所述间隔物显示为延伸通过六角形管 120 的整个高度 H_1 的细长棒 130,但是所述间隔物并不局限于此,并且可以选取各种形状和尺寸。例如,在某些实施方式中,如果需要所述间隔物可以仅仅是块或者销。

[0077] 间隔棒 130 放置在三根相邻六角形管 120 边缘的汇合处。因而,每根间隔棒 130(除了沿着外围的那些间隔棒 130 之外)与三根六角形管 120 接触。为了增强整体性且便于构建,间隔棒 130 沿其长度方向具有三个轴向凹槽,它们充当接收六角形管 120 边缘的嵌置空间。在图示的实施方式中,间隔棒 130 具有形状大致为截头三角形的水平横截面,其中在每个被截头的尖端内形成了嵌置凹槽。当然,间隔棒 130 可以选取具有或不具有凹槽的其它形状。

[0078] 间隔棒 130 优选由铝或金属基质材料制成,例如硼浸润的铝。间隔棒 130 是焊接到六角形管 120 上的柱销(plug),其中它们通过位于六角形管 120 的边缘/拐角处的细长孔 121 相接触。柱销焊接孔 120 的形状、位置和数量根据设计考虑而变化,并且不构成对本发明的限制。柱销孔 121 均匀地分布在六角形管 120 的每个拐角上,以便于统一制造,但是这并不是必须的。柱销孔 121 可以通过冲压、切割或者在模制过程中形成。

[0079] 现在同时参见图 3-4,底板 110 还包括多个穿过底板 110 从其下表面 112 延伸到上表面 111 的流动孔 115。类似地,底板 110 还包括四个用于在燃料池内提升和安装燃料元件架 100 的长椭圆形孔 116(从角落起第二排)。使用具有 4 根长延伸棒的专用提升梁与长椭

圆孔 116 相作用,来抓住燃料元件架 110 并将其放入所述池中。

[0080] 流动孔 115(和长椭圆形孔 116)形成了从底板 100 下方进入由六角形管 120 形成的巢室 101 内的通道。优选地,对每个巢室 101 提供单个流动孔 115。流动孔 115 提供为入口,以便当具有热负荷的燃料组件放置在巢室 101 内时,有利于池水通过巢室 101 的自然热虹吸流动。更具体地,当热燃料组件被放置在处于浸没环境中的巢室 101 内时,巢室 101 内环绕燃料组件的水变热,从而由于浮力增大而上升。当这种热水上升并通过巢室 101 的开口顶端离开时,冷水通过流动孔 115 被吸入巢室 101 的底部。然后,这种沿着燃料组件的热诱导的水流自然地持续。

[0081] 如图 5 中最清楚显示地,在六角形管 120 内位于或接近其底部边缘处,设置有多个辅助切口/孔 121。辅助孔 121 充当额外的用于输入池水的入口开口,以便于冷却过程中的热虹吸流动。此外,如下所述,某些巢室 101 的流动孔 115 被附着的可调高支座 150 所阻塞。从而,形成这些巢室 101 的六角形管 120 的辅助孔 121 是贮存在其内的燃料组件的输入冷水的唯一来源。虽然,在燃料元件架 100 中的每根和所有六角形管 120 的每个面上都设置有辅助孔 121,但是应当理解这并不是在所有情况下都是必要的。

[0082] 作为边注,流动孔 115(和孔 116)起到了以下的附加作用,为用于将六角形管 120 焊接到底板 110 的上表面上的“鹅颈焊接机”提供了进入巢室 101 的通道。

[0083] 再次参见图 3-4,底板 110 还包括多个与底板 110 的下表面 112 连接的可调高支座 150。可调高支座 150 确保了在所述燃料池底与底板 110 的下表面之间存在间隔,从而产生了用于水流动通过流动孔 115 的入口增压通道(plenum)。

[0084] 可调高支座 150 间隔分布,以为底板 110 进而为燃料元件 110 提供均衡地支持。每个支座 150 可独立地调节,以在不均匀的废燃料池底上平衡并支持所述元件架。支座 150 螺栓紧固到底板 110 上。当如,如果需要,支座 150 可通过其他方式附着到底板 110 上,包括焊接或螺纹连接。在焊接支座 15 的情况下,可使用爆炸结合(explosion-bonded)不锈钢-铝板来制造所述过渡件(transition)。对于焊接的支座,可以省略螺栓和螺栓孔。

[0085] 现在参见图 6A-6B,对可调高支座 150 的构造细节进行描述。每个可调高支座 150 包括支撑块 151 和充当支脚的圆柱状垫块 152。支撑块 152 通过螺栓 155 与底板 110 连接。

[0086] 支撑块 151 包括中心孔 153,其具有带螺纹的内表面(不可见)。类似地,垫块 151 的一部分的外表面也带有相应的螺纹。垫块 152 插入孔 153 内,并在其内螺接接合到支撑块 151 上。

[0087] 垫块 152 在其上表面内还包括矩形凹陷 154,用于接收用来转动垫块 152 的工具。当然,所述凹陷可以是有利于与工具的转动接合的任何形状。此外,可使用其它用于接合并转动垫块 152 的方式,包括小突起(tab)、螺钉头、螺栓头等等。

[0088] 由于垫块 152 与支撑块 151 之间的螺纹连接,通过凹陷 154 转动垫块 152,致使垫块 152 从支撑块 151 的下表面伸出的高度增加或者降低。通过插入巢室 101 内的长柄工具来进行垫块 152 的调节。可穿过巢室 101 内的流动孔 115(参见图 3)接触垫块 152 的凹陷 154。

[0089] 垫块 152 的底部具有倒圆的边缘,以防止在地震引起的燃料元件架 100 的滑动中勾住并撕破所述衬里(liner)。由于泄漏,衬里中的破裂对该位置就意味着问题。如果需要,垫块 152 的下表面可由低摩擦系数的滑动材料形成或覆盖。

[0090] II. 包括组合巢室的无通量阱燃料元件架实施方式

[0091] 现在同时参见图 7-10, 显示了第二实施方式的燃料元件架 200。与上述元件架类似, 燃料元件架 200 为蜂巢状的、竖直的棱柱状模块。所示的燃料元件架 200 的实施方式特别设计用于容纳六角形燃料组件, 例如 VVER1000 燃料组件。燃料元件架 200 的每个巢室 201 的形状也大致为六角形 (即具有六角形的水平横截面), 从而在几何学上可容纳单个六角形的燃料元件。然而, 应当理解, 本发明的构思可以改变, 以容纳任何形状的燃料组件, 包括矩形、八角形、圆形等。

[0092] 在以下对燃料元件架 200 及其组成部分的描述中, 所用的诸如顶、底、上、下、水平、竖直上部和下部的相对关系术语是相对于图 7 所示的基本竖直取向的燃料元件架 200 而言的。此外, 基于读者能够识别重复元件这一认识, 为了避免附图中的混乱, 仅对每种组件中的少部分进行了编号。

[0093] 导致燃料元件架 100 (如上所述) 与燃料元件架 200 之间的结构差异的驱动因素是, 燃料元件架 200 设计为用于不需要在相邻巢室 201 之间设置中子通量阱的燃料组件。因此, 在无此需要的时候, 在燃料元件架内设置中子通量阱是不希望的, 因为珍贵的池底区域被不必要地浪费了。当然, 燃料元件架 100 和 200 型可以并排贮存在同一池内。

[0094] 由于燃料元件架 200 的许多结构和功能特征与燃料元件架 100 相同, 因此以下仅描述燃料元件架 200 不同的那些方面, 应当理解以上针对燃料元件架 100 描述的其它构思也适用。

[0095] 燃料元件架 200 包括多个六角形管 220。六角形管 220 以基本竖直的取向与底板 210 的上表面 211 连接。在这一实施方式中, 每根六角形管 220 的轴不仅基本竖直, 而且基本垂直于底板 210 的上表面 211。六角形管 220 与底板 210 之间的连接通过将六角形管 220 的底部边缘焊接到底板 210 的上表面上来实现。当然, 通过稍稍改动也可采用其它连接技术, 包括诸如螺栓连接、卡箍连接、螺纹连接等的机械连接。

[0096] 六角形管 220 的顶端保持开口, 从而燃料组件可滑入由每根六角形管 220 的内表面形成的内腔 201A 内。六角形管 220 以特定的几何布置连接到矩形底板 210 顶上, 从而某些非外围巢室 201D 由周边六角形管 220 的外表面形成。因此, 某些外围巢室 201B-C 由周边六角形管 220 的外表面和附加板形成, 根据位置不同可以是双面板 (panel) 板 225 或单面板板 226。

[0097] 换而言之, 巢室 201B-201D 不是任何管状结构的内腔, 而是由 (1) 周边六角形管 220 的外表面; 或 (2) 周边六角形管 220 的外表面和附加板结构 225、226 形成的。在本文中, 所有三种巢室类型 201B-201D 均称为“组合 (resultant) 巢室”或“导出 (developed) 巢室”。

[0098] 尽管他们的成形方法不同, 所有的巢室 201A-201D 均具有大致六角形的水平横截面。当然, 如果需要组合巢室的构思可应用于许多其它几何形状。现在描述六角形管 220 和附加板结构 225-226 在底板 210 顶上的特定几何布置。

[0099] 如图 9 中最清楚显示地, 六角形管 220 按排 1-11 (以圆圈内的数字表示) 几何布置在底板 210 顶上。当然, 对于燃料元件架 200 可以形成任意数量的排或列。针对第 1-3 排描述了三种不同类型的组合巢室成形的细节, 应当理解某些式样不断重复从而构造出整个燃料元件架 200。

[0100] A. 外围组合巢室 X 的成形

[0101] 现在描述由六角形管的外表面与双面板板结构组合形成的外围组合巢室（以上称为 201C 型巢室）的成形。为了便于介绍并避免混乱，所有由六角形管外表面与双面板板结构组合形成的外围组合巢室均用 X 标记。

[0102] 在第 1 排中，六角形管 220(1)、220(2) 以相邻并毗连的方式布置在底板 210 顶上位于左上角，从而六角形管 220(1)、220(2) 相对的外表面形成表面接触。六角形管 220(1)、220(2) 的内腔充当头两个巢室 201A（未标出）。为了减少进一步的混乱，在图 9 中所有由单个六角形管 220 的内表面形成的巢室 201A 均保留为空白。

[0103] 第二对六角形管 220(3)、220(4) 布置在底板 201 顶上位于第 1 排内，并且与第一对六角形管 220(1)、220(2) 间隔开。与第一对六角形管 220(1)、220(2) 类似，第二对六角形管 220(3)、220(4) 以相邻并毗连的方式布置，从而六角形管 220(3)、220(4) 相对的外表面形成表面接触。虽然，第二对六角形管 220(3)、220(4) 与第一对六角形管 220(1)、220(2) 对齐排列在第 1 排中，但是它们也间隔开，以为第一外围组合巢室 X 留下空间。

[0104] 双面板板结构 225(1) 连接到六角形管 220(3)、220(4) 的左侧，以包围所述外围组合巢室 X 的开放外侧 (lateral side)。具体地，通过焊接或其它技术，将双面板板结构 225(1) 与六角形管 220(2) 和六角形管 220(3) 连接。所述外围组合巢室 X 由位于第 2 排中的六角形管 220(8)、220(9) 的外表面补完 (complete)。从而，由六角形管 220(2)、220(3)、220(8)、220(9) 的外表面和板结构 225(1) 组合形成了完整的六角形组合巢室 X。所述组合巢室 X 具有与燃料元件架 200 中的所有其它巢室的形状相对应的水平横截面形状。

[0105] B. 组合外围巢室 # 的成形

[0106] 现在描述由六角形管的外表面与单面板板结构组合形成的外围组合巢室（以上称为 201B 型巢室）的成形。为了便于介绍并避免混乱，所有由六角形管外表面与单面板板结构组合形成的外围组合巢室均用 # 标记。

[0107] 现在转到第 2 排，一对六角形管 220(8)、220(9) 以彼此之间及与第 1 排的六角形管 220(2)、220(3) 之间相邻且毗连的方式布置在底板 210 顶上。当这样布置时，六角形管 220(8)、220(9) 相对的外表面彼此形成表面接触。六角形管 220(8)、220(2) 相对的外表面也彼此形成表面接触。同样，六角形管 220(9)、220(3) 相对的外表面彼此形成表面接触。

[0108] 六角形管 220(14)、220(15) 以彼此相邻且毗连的方式布置在底板 210 顶上的第 3 排中，从而六角形管 220(15) 的外表面与第 2 排的六角形管 220(8) 的外表面形成表面接触。单面板板结构 226(1) 连接到六角形管 220(1)、220(14) 以包围所述外围组合巢室 # 的开放外侧。具体地，单面板板结构 226(1) 通过焊接或者其它技术与六角形管 220(1) 和六角形管 220(14) 相连。因而，通过六角形管 220(1)、220(2)、220(8)、220(14)、220(15) 的外表面和单面板板结构 226(1) 的组合形成了完整的六角形组合巢室 #。所述组合巢室 # 具有与燃料元件架 200 中的所有其它巢室的形状相对应的水平横截面形状。

[0109] C. 组合外围巢室 * 的成形

[0110] 现在描述完全由周边六角形管的外表面形成的非外围组合巢室（以上称为 201D 型巢室）的成形。为了便于介绍并避免混乱，所有由六角形管外表面组合形成的非外围组合巢室均用 * 标记。

[0111] 为了避免赘述，省略了六角形管在底板顶上的布置和相互作用，应当理解可适用

以上的描述。在第 2 排中,由六角形管 220(3)、220(4)、220(9)、220(10)、220(16)、220(17)的外表面组合形成了完整的六角形组合巢室。所述组合巢室 * 具有与燃料元件架 200 中的所有其它巢室的形状相对应的水平横截面形状。

[0112] 回到燃料元件架 200 的总体制造和成形,六角形管 220 与底板 210 之间的所有连接均按照以上针对燃料元件架 100 所述的方式来实现。此外,相邻六角形管 220 之间的连接可以通过上述的柱销孔来实现。并且,为了确保组合巢室 201B-D 具有适当的尺寸,燃料元件架可通过以下方式形成。

[0113] 首先,将六角形管 220 的阵列布置成所需的几何构型,从而所有非外围六角形管 220 的所有六个外表面与相邻六角形管 220 的外表面接触。换言之,在这一阶段,燃料元件架 200 只包括由六角形管 220 本身的内腔形成 201A 型巢室。然而,由于预先计划,已经知道了待形成组合巢室 201B-D 的那些位点的位置。将六角形管 220 的阵列放置在底板 210 顶上,并且进行必要的焊接。然而,任何位于待形成组合巢室的位点处的六角形管 220 都不焊接到底板 210 或相邻的六角形管 220。随后,将这些六角形管 220 从所述阵列中滑动取出,从而留下组合巢室 201B-D。如果必要,随后连接单面板板 226 和双面板板 225,以包围外围组合巢室 220B-C。

[0114] 此外,如果需要,向所述阵列中加入必要的中子吸收面板。燃料元件架 200 不含任何通量阱。

[0115] III. 带槽板燃料元件架实施方式

[0116] 现在参见图 10,显示了由多个以自锁结构布置的带槽板形成的燃料元件架 300。燃料元件架 300 设计为具有通量阱 340 和矩形巢室 301。然而,应当理解,以下描述的带槽板构思可用于形成无通量阱的燃料元件架,并且可用于形成具有任何形状的巢室的燃料元件架,包括但不限于以上描述的燃料元件架。

[0117] 在以下对燃料元件架 300 及其组成部分的描述中,所用的诸如顶、底、上、下、水平、竖直上部和下部的相对关系术语是相对于图 10 所示的基本竖直取向的燃料元件架 300 而言的。此外,基于读者能够识别重复元件这一认识,为了避免附图中的混乱,仅对每种组件中的少部分进行了编号。

[0118] 由于燃料元件架 300 的许多结构和功能特征与上述燃料元件架 100、200 相同,因此以下仅描述燃料元件架 300 不同的那些方面,应当理解以上针对燃料元件架 100、200 描述的其它构思和结构也适用。

[0119] 燃料元件架 300 通常包括由带槽板 370-372 的栅格形成的巢室 301 的阵列,所述带槽板以联锁直线 (interlocking rectilinear) 结构滑动装配。带槽板 370-372 的栅格放置在底板 310 顶上并与其连接。整个燃料元件架体由三种类型的带槽板形成,中间板 370、顶板 371 和底板 372。所述底板包括上述辅助孔 321,以有利于热虹吸流进入巢室 301。

[0120] 现在参见图 11A-11C,单独显示了中间板 370、顶板 371 和底板 372 之一。如图所示,底板 372 只是中间板 370 的上半部分,且在其底部边缘具有辅助孔 321 切口。类似地,顶板 371 仅为中间板 370 的下半部分。下板 372 和上板 371 仅用在燃料元件架体的底部和顶部,以覆盖 (cap) 由中间板 370 形成的中间段 380 (图 12),从而所述燃料元件架体具有平整的 (level) 顶部和底部边缘。

[0121] 板 370-372 中每一个均包括多个策略地 (strategically) 布置的槽 374 和末端突

起 375, 以有利于滑动装配, 以形成燃料元件架体。在板 370-372 的上边缘和下边缘中均设置有槽 374。在每块板 370-372 的上边缘上的槽 374 与同一板 370-372 的下边缘上的槽 374 对齐。槽 374 延伸通过板 370-372 高度的四分之一。末端突起 375 从板 370-372 的侧边缘伸出, 优选约为板 370-372 高度的一半。末端突起 375 与相邻板 370-372 侧边缘上的缺口 376 滑动配合, 缺口 376 由于突起 375 的存在而自然形成。

[0122] 板 370-372 优选由金属基质复合材料, 更优选间断加强的铝 / 碳化硼金属基质复合材料, 且最优选硼浸润的铝制成。一种这类适合的材料是以商标 Metamic™ 销售的材料。

[0123] 现在参见图 12, 显示了所述篮的单个中间段 380。燃料元件架 300 的每个中间段 380 包括以直线构型 (rectilinear configuration) 布置, 从而形成巢室 301 和通量阱 340 的竖直部分的中间板 370 的栅格。在形成中间段 380 时, 第一中间板 370 竖直布置。随后, 第二中间板 370 布置在其上, 并且相对于第一中间板 370 成大致 90 度角, 从而其相应的槽 374 对齐。随后, 将第二中间板 370 降低到第一中间板 370 上, 从而使槽 374 如图所示形成互锁。用所有中间板 370 重复这一过程, 直到形成所需的直线构型, 从而形成段 380。

[0124] 在形成燃料元件架体时, 段 380 的槽 374 和末端突起 375 与相邻段 380 互锁在一起, 从而阻止段 380 之间的相对水平移动和转动。段 380 彼此交叉 (intersect) 并互锁形成叠层组件, 即所述燃料元件架体。燃料元件架 300 优选包括至少 4 个段 380, 更优选至少 10 个段 380。所有段 380 具有基本相同的高度和构型。

[0125] 因此, 除了顶板 371 和底板 372 需通过切割中间板 370 并增加切口 321 来形成之外, 整个燃料元件架 300 由具有基本上单一构型即中间板 370 构型的带槽板 370-372 形成。

[0126] 此外, 由于带槽板 370-372 的互锁特性, 并不需要间隔物来保持通量阱 340。因而, 在某些实施方式中, 燃料元件架 300 在通量阱 340 中并没有间隔物。

[0127] IV. 无通量阱燃料篮实施方式

[0128] 参见图 13-17, 显示了本发明实施方式的燃料篮 1000。完整且装配好的燃料篮 1000 如图 15 和 17 所示。虽然, 在整个说明书中燃料篮 1000 (及其组件) 都是结合贮存和 / 或运输具有六角形水平横截面轮廓的废核燃料组件进行描述的, 本发明丝毫不应受与其结合使用的高放射强度废物的类型的限制。燃料篮组件 1000 (及其组件) 可用于运输和 / 或贮存任何形状的燃料组件。

[0129] 现在参见图 13, 显示了燃料篮 1000 的贮存格栅部分 1001 的立体图。贮存格栅 1001 是包括多根管 10 的蜂窝状结构, 其中管 10 形成了用于接收并保持燃料组件的巢室 20。管 10 形成了布置成两极构型 (polar configuration) 的巢室 20 的蜂巢状格栅。为了便于表示 (以及避免混乱), 在图 13 中仅有少部分管 10 和巢室 20 用数字进行了标示。

[0130] 管 10 具有形状为六角形的水平横截面轮廓。然而, 本发明并不局限于此, 且管 10 具有与待贮存在空腔 20 内的燃料组件的形状相应的水平横截面轮廓。例如, 在燃料篮 1000 中可贮存其它多角形形状的 SNF 组件, 在这种情况下管 10 会具有适当的水平横截面形状。巢室 20 是基本竖直取向的细长空间 / 空腔, 具有大致六角形的水平横截面轮廓。巢室 20 的水平横截面轮廓也不局限于六角形, 并且可以是包括其它多角形在内的任意形状。每一巢室 20 设计用来容纳单个燃料组件。贮存格栅 1001 (进而巢室 20) 具有等于或稍大于待容纳在所述篮 1000 内的燃料组件高度的高度。燃料篮 1000 优选包括 85 个巢室 20, 并且具

有大约 4800lbs 的重量。

[0131] 每根贮存管 10 包括 5 块具有内表面 12 和外表面 13 的板 11。根据所需的水平横截面轮廓,管 10 可具有更少或更多的板 11。管 10 的内表面 12 形成巢室 20。优选地,管 10 以轴相邻的布置捆扎在一起,形成巢室 20 的蜂巢状贮存格栅。管 10 由叠置的管状段 10A-10C 形成,从而产生具有等于或大于待贮存在其内的燃料组件的高度的巢室 20。在每个形成管 10 的竖直堆叠中,在管状段 10A-10C 的接触边缘之间形成了界面 / 接头 21。为了便于表示 (以及避免混乱),在图 13 中仅少部分的接触界面用数字进行了表示。如以下将更具体描述地,管状段 10A-10C 具有不同的高度,从而相邻管 10/ 巢室 20 的界面 21 不是平齐的。通过确保相邻管 10/ 巢室 20 的界面 21 不平齐,增强了燃料篮 1000 的结构整体性。

[0132] 优选地,管 10 (以及管状段 10A-10C) 通过挤出或形成板坯料,然后在侧边缘将每块板 11 焊接在一起制得。管 10 由包含嵌入在微结构中的中子吸收剂同位素的材料制成,所述同位素例如元素硼或碳化硼。Metamic. LLC 公司生产的 Metamic 是可接受的材料例子,其由具有嵌入的碳化硼的铝合金基质制成。然而,在某些实施方式中,燃料篮 1000 及其组件可由诸如钢或硼酸处理的 (borated) 不锈钢的替代材料构成。

[0133] 在管 10 底部的板 11 上设置了多个切口 23。为了便于表示 (并且避免混乱),在图 13 中仅有少部分切口 23 用数字进行了标示。切口 23 形成了穿过板 11 的通道,从而所有的巢室 20 在空间上都是连通。从而,位于或接近贮存格栅 1001 底部的切口 23 充当了底部增压通道,该底部增压通道在贮存和 / 或运输过程中帮助燃料篮 1000 (及巢室 20) 内的循环流体 (空气或水) 实现对所贮存燃料组件的对流冷却。通过让一个或多个沿着所述篮 100 外围的巢室 20 保持为空,使它们充当下导管 (如果增加了所述切口,那么支持管 30A、30B 也可充当下导管),可以进一步促进这种空气或水的自然循环。虽然,在所示的实施方式中切口 23 的形状为矩形,但是它可以选取各种形状。

[0134] 同时参见图 13 和 15,贮存格栅 1001 由布置为叠层组件的多个管状段 10A-10C 的区段 150A-D 形成。区段 150A-D 和管状段 10A-C 彼此连接,形成所述叠层组件即贮存格栅 1001。贮存格栅 1001 的每一区段 150A-D 是贮存格栅 1001 的竖直部分,其本身包括布置为两极构型的管状段 10A-C 的蜂巢状的格栅。管状段 10A-C 为三种不同的高度,每一不同高度分别由字母 A-C 表示。图 15 显示了贮存格栅 1001 的单独的底部区段 150A,底部区段 150A 具有布置为两极构型的管状段 10A-C。管状段 10A-C 的底部边缘平齐在同一高度。两个中间区段 150B-C 包括管状部件 10C,所有都具有相同的高度。顶部区段 150D 包括以特定方式布置的管状部件 10A-C,该特定方式使得所述管状部件 10A-C 的上表面平齐在同一高度。

[0135] 管状段 10A 具有优选等于一英尺的高度。管状段 10B 具有优选等于两英尺的高度。管状段 10C 具有优选等于三英尺的高度。然而,本发明并不局限于此,并且管状段 10A-C 可以为任意高度,只要所形成巢室至少与所述燃料组件等高。为了确保相邻管 10 的界面 21 不平齐,优选底部区段 150A 中没有相邻的管状部件 10A-C 具有相同的高度。因而,当组装底部区段 150A 时,一英尺的管状段 10A 被交替的管状段 10B 和 10C 所环绕。

[0136] 现在参见图 14 和 16,燃料篮 1000 还包括多个组合巢室 20A,其由六个管状部件 10 的壁 11 的外表面 13 形成。图 14 显示了单个组合巢室 20A。当六个管状部件连接为两极构型时,在其间形成了具有六角形水平横截面轮廓的组合巢室 20A。这种布置使得能使用更少的板 11 (即管 10) 来形成同样数量的巢室 20,从而形成更轻的燃料篮 1000。在所示的实施

方式中,总共有 29 个组合巢室 20A。然而,本发明并不局限于此,并且组合巢室的数目可以变化。组合巢室 20A 具有约 1/2 英寸大的开口,从而可容纳受损的或尺寸异常的燃料组件。此外,组合巢室 20A 使得燃料篮 1000 可以用角焊法来制造,因为组合巢室使得更容易达到 (access) 管 10。

[0137] 如图 16 最清楚显示地,某些沿燃料篮 1000 外围分布的组合巢室 20A 需要使用封闭板 15A-B 来补完所述巢室。封闭板 15A-B 是等分六角形 (par-hexagonal) 板。根据组合巢室 20 的构型,燃料篮组件 1000 包括两种类型的封闭板 15A-B。部分组合巢室 20A 仅需要单板来封闭该巢室 20A,而其他组合巢室需要两块面板来封闭该组合巢室 20A。当需要两块面板时,通过如下方式形成封闭板 15A,将板弯成等长的两块面板,并将所得封闭板 15A 的侧边缘结合到形成可适用的组合巢室 20A 的管 10 的侧边缘上。

[0138] 篮组件 1000 还包括邻接贮存格栅 1001 并沿其外围安置的篮支持管 30A、B。篮支持管 30A、B 用于提供与容器 / 器皿的等角 (conformal) 接触,其中篮组件 1000 在所述容器 / 器皿中使用。篮支持管 30A、B 包括等分六角形板 31A、B,其与弯曲板 32A、B 的凹侧相连。弯曲板 32A、32B 为燃料篮 1000 形成了基本呈圆形的外周缘。由于篮支持管 30A、B 并不是分布在所述贮存格栅外围的每个位置,因此所述基本圆形的外周缘是沿圆周分段的。

[0139] 对于仅需要单板来形成六壁巢室 (即有一侧开放) 的组合巢室 20A,支持管 30B 的等分六角形板 31B 也可充当封闭板。在没有组合巢室 20A 的地方,或者在组合巢室 20A 被封闭板 15A 所封闭的地方,可以使用篮支持管 30A。

[0140] 现在参见图 17,显示了从燃料篮组件 1000 取下的篮支持管 30A、B。提供了篮支持管 30A、B,使得所述篮组件在所述容器 (其可以是罐或桶) 内居于中心,其中所述篮组件在所述容器中使用。

[0141] 现在参见图 18,显示了附有篮支持件 30A、B 的篮组件 100。篮支持件 30A、B 为燃料篮 1000 提供了圆形的外周缘。篮支持件 30A、B 之间的间隙 31 内不贮存燃料组件,从而它们可以改善贮存在巢室 20 内的燃料组件的冷却。

[0142] V. 通量阱燃料篮实施方式

[0143] 现在参见图 19,显示了本发明另一实施方式的燃料篮 2000。燃料组件 2000 的设计方案与上述针对燃料篮 1000 所述的那些基本类似。为了避免赘述,仅论述燃料篮 2000 明显区别于燃料篮 1000 的那些设计方案。

[0144] 燃料篮 2000 包括多个通量阱空间 50,其控制了中子辐射的产生,并阻止了浸没条件下的反应性。通量阱 50 是延伸了篮 2000 的整个高度的小空间。通量阱 50 形成在彼此靠近并基本平行的两个管状部件 210 之间。如以下所述,通量阱 50 设计为各种宽度,以使燃料篮 2000 中可贮存的燃料组件数量最大,同时保持反应性等于或小于 0.95。通量阱 50 形成在贮存管 2210 的外表面之间。管 2210 具有多个间隔物 60,其维持了管状部件 10 之间形成通量阱 50 的间隔。

[0145] 现在参见图 20,显示了从燃料篮 2000 中取出的单个贮存管 2210,从而可以更清楚地看到它的设计方案。贮存管 2210 具有六角形的水平横截面轮廓,但是可以是任何构型。优选地,通过带装载和贮存在燃料篮组件 2000 内的燃料组件的类型来确定所述横截面轮廓。管 2210 包括多个凹口 2215。凹口 2215 提供了供间隔物 2260 附着的空间。优选地,间隔物 60 最初平头焊接 (tack welded) 到管 2210 上,从而可以装配燃料篮 2000。在燃料篮

2000 装配完成后,它位于它的侧面,并且位于底部(靠近放置篮组件 2000 的地面)上的间隔物 2260 塞焊(plug welded)到贮存管 2210。这使得重力可以帮助所述焊接过程。旋转燃料篮 2000,从而另一组间隔物 2260 现在靠近地面,用以焊接到管 2210 上。对于所有的间隔物 2260 和管 2210 重复所述旋转和焊接过程。

[0146] 同时参见图 21 和 22,燃料篮 2000 由布置为叠层组件的多个管状段 2210A-C 的区段 2250A-F 形成。区段 2250A-F 和管状段 2210A-C 彼此连接,形成所述叠层组件即燃料篮 2000。燃料篮 2000 的每一区段 2250A-F 包括布置为两极构型的管状段 2210A-C 的蜂巢状的格栅。篮组件 2000 的管状部件 2210A-C 为三种不同的高度,每一高度分别由字母 A-C 表示。图 21 显示了所述篮 2000 的单独的底部区段 2250A,底部区段 2250A 具有布置为两极构型的管状段 2210A-C。中间区段 2250B-E 包括管状段 2210C,所有都具有相同的高度。顶部区段 2250F 包括以特定方式布置的管状段 210A,该特定方式使得所述管状段 2210A-C 的上表面平齐在同一高度。

[0147] 贮存管 2210A 具有优选等于一英尺的高度。管状段 2210B 具有优选等于两英尺的高度。管状段 2210C 具有优选等于三英尺的高度。然而,本发明并不局限于此,并且管状段 2210A-C 可以为任意高度,只要所形成巢室至少与所述燃料组件等高。为了确保界面 2221 不平齐,优选底部区段 2250A 中没有相邻的管状段 2210A-C 具有相同的高度。因而,当组装底部区段 2250A 时,一英尺的管状段 2210A 被交替的管状段 2210B 和 2210C 所环绕。底部区段 2250A 的管状段 2210A-C 的底部边缘平齐。

[0148] 现在参见图 23,显示了篮组件 2000 的俯视图。篮组件 2000 包括三种类型的在管 2210 之间形成通量阱 50 的间隔物 2260A-C。第一种类型的间隔物 2260A 是单边的(unilateral)三角形,其在位于接近篮组件 2000 的中心轴处的管 2210 之间保持了最大的间隙。换言之,间隔物 2260A 与最靠近篮 2000 中心的管 2210 一起使用,因为在篮 2000 中心内燃料组件释放的中子不能轻易地逸散到篮 2000 的外围。因而,为了保持反应性小于 .95,需要更大的通量阱 50。第二种形状的间隔物 2260B 用在更接近燃料篮 2000 外缘的贮存管 2210 之间。矩形的间隔物 2260C 用于最接近由篮支持件 2230A、B 形成的外围的贮存管 2210。

[0149] 本发明的燃料篮 1000、2000 并不限于与任何具体类型的包围(surrounding)容器一起使用。例如,在一实施方式中,篮组件 1000、2000 可结合到可气密(hermetically)密封的多用途罐中,用于与 VVO 型容纳系统联合使用。在这种实施方式中,篮组件 1000、2000 会提供在由圆筒形金属壳形成的空腔内。该金属壳环绕篮组件 1000、2000,并且金属底板可焊接到所述金属壳的底部。金属密封板可安装到由所述金属壳形成的圆筒顶上,从而形成罐。也可使用热传导性的桶来直接容纳燃料篮 1000、2000。

[0150] 虽然,对本发明进行了足够细致的描述和说明使得本领域技术人员可以很容易地制造和使用它,但是在不偏离本发明精髓和范围的前提下,可以显而易见地得出各种替换、更改和改进。

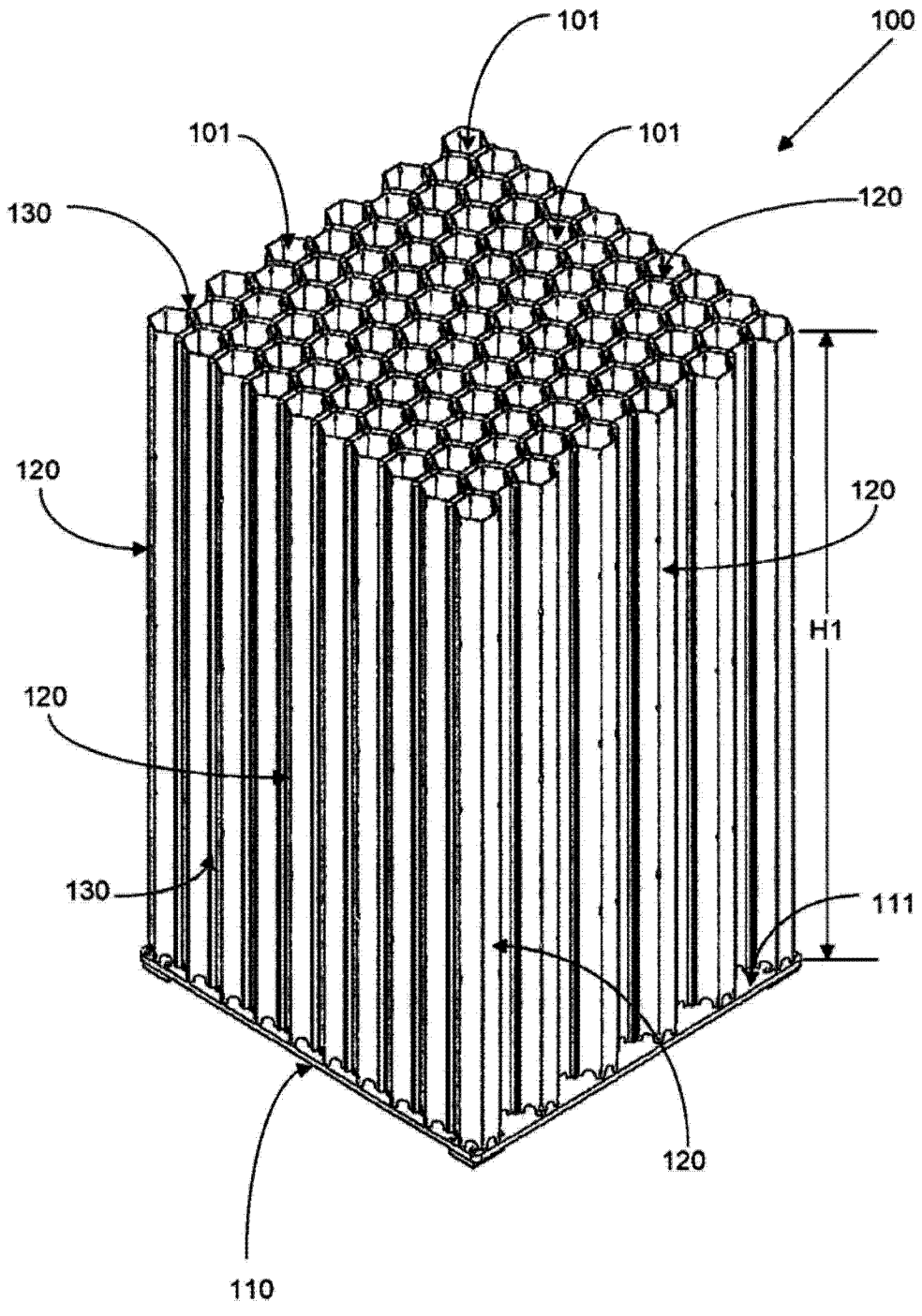


图 1

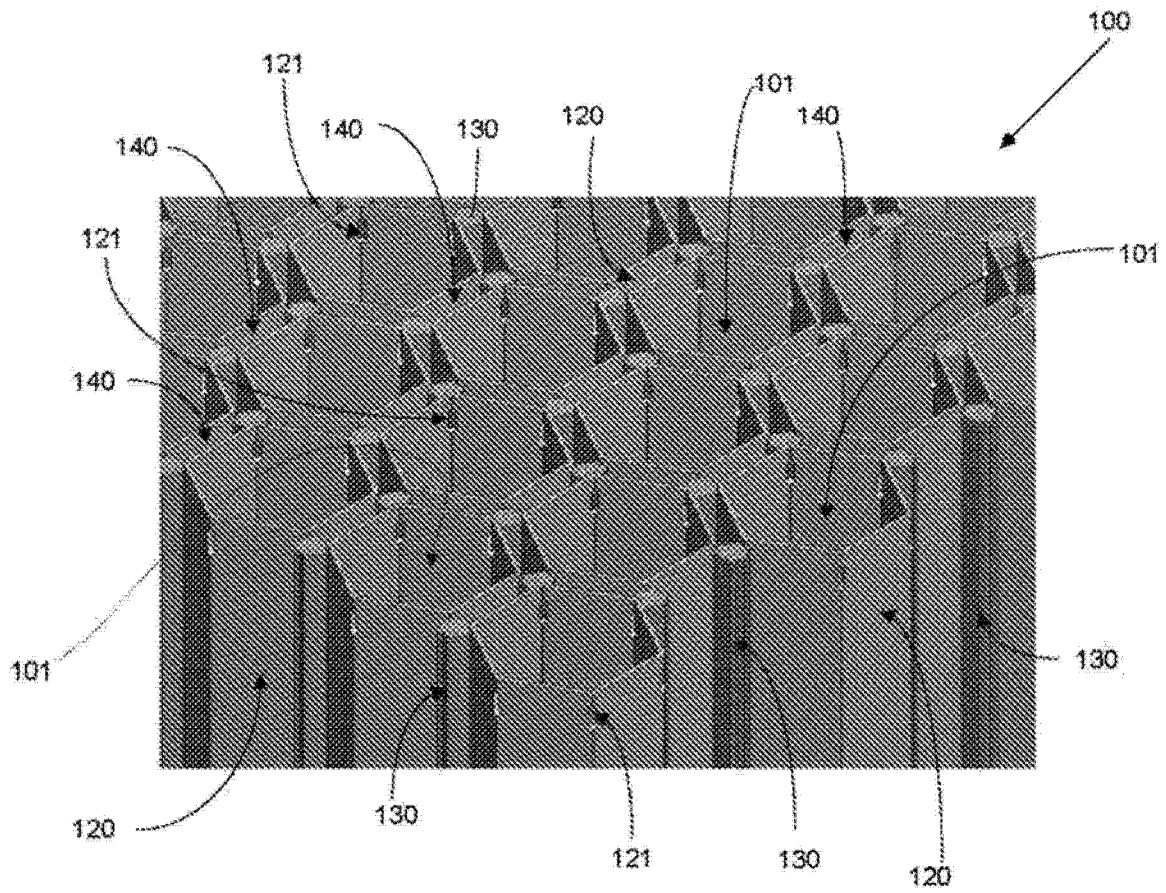


图 2

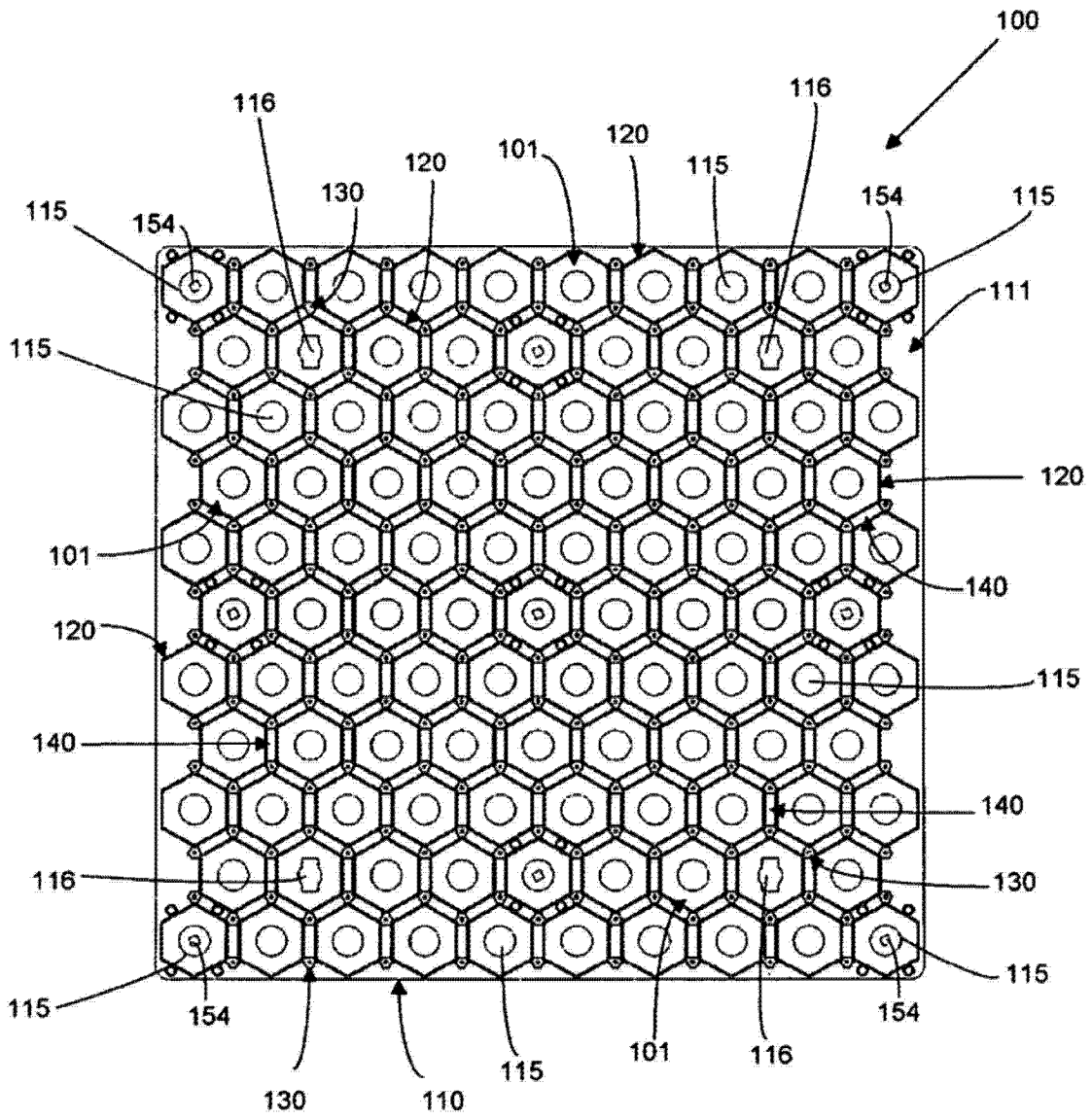


图 3

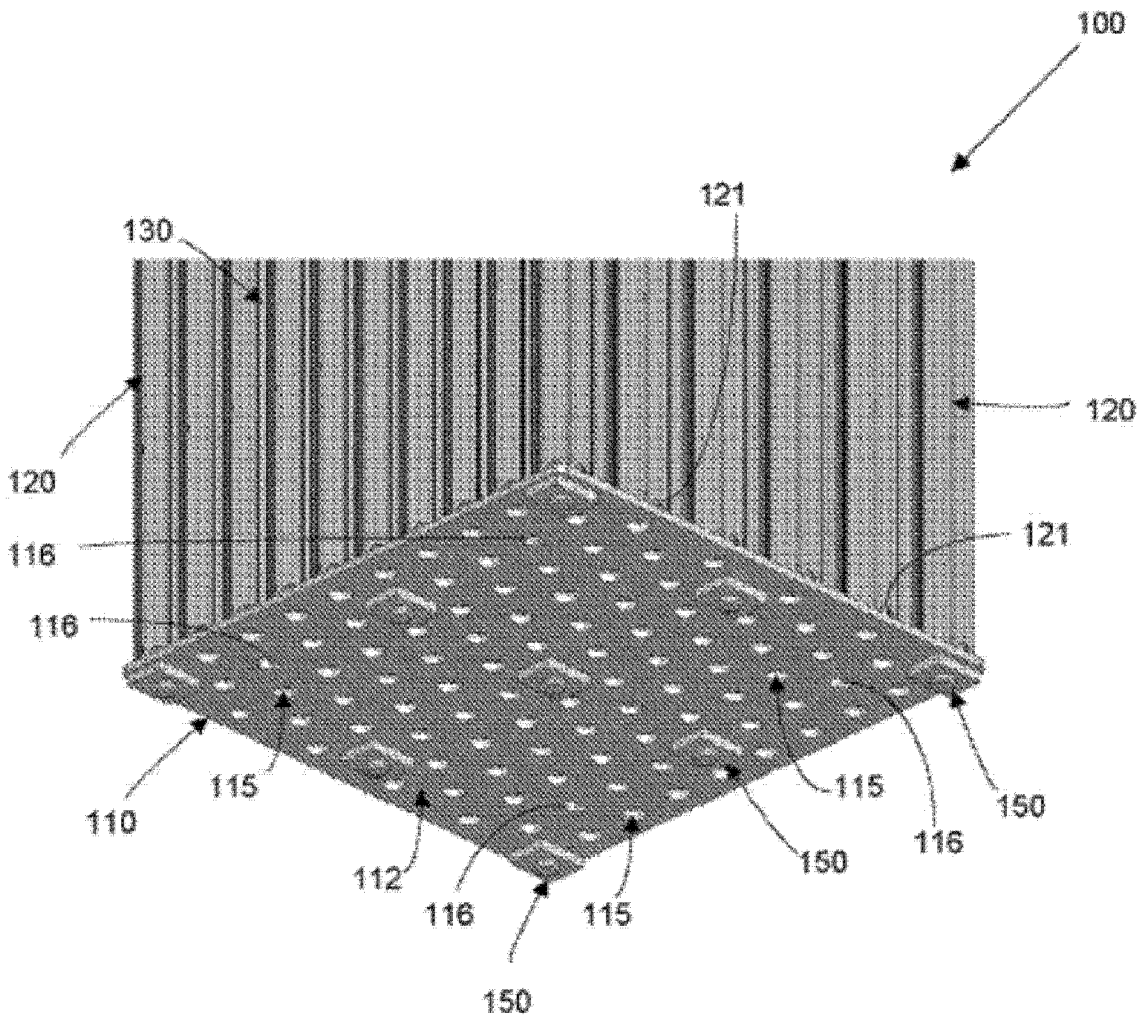


图 4

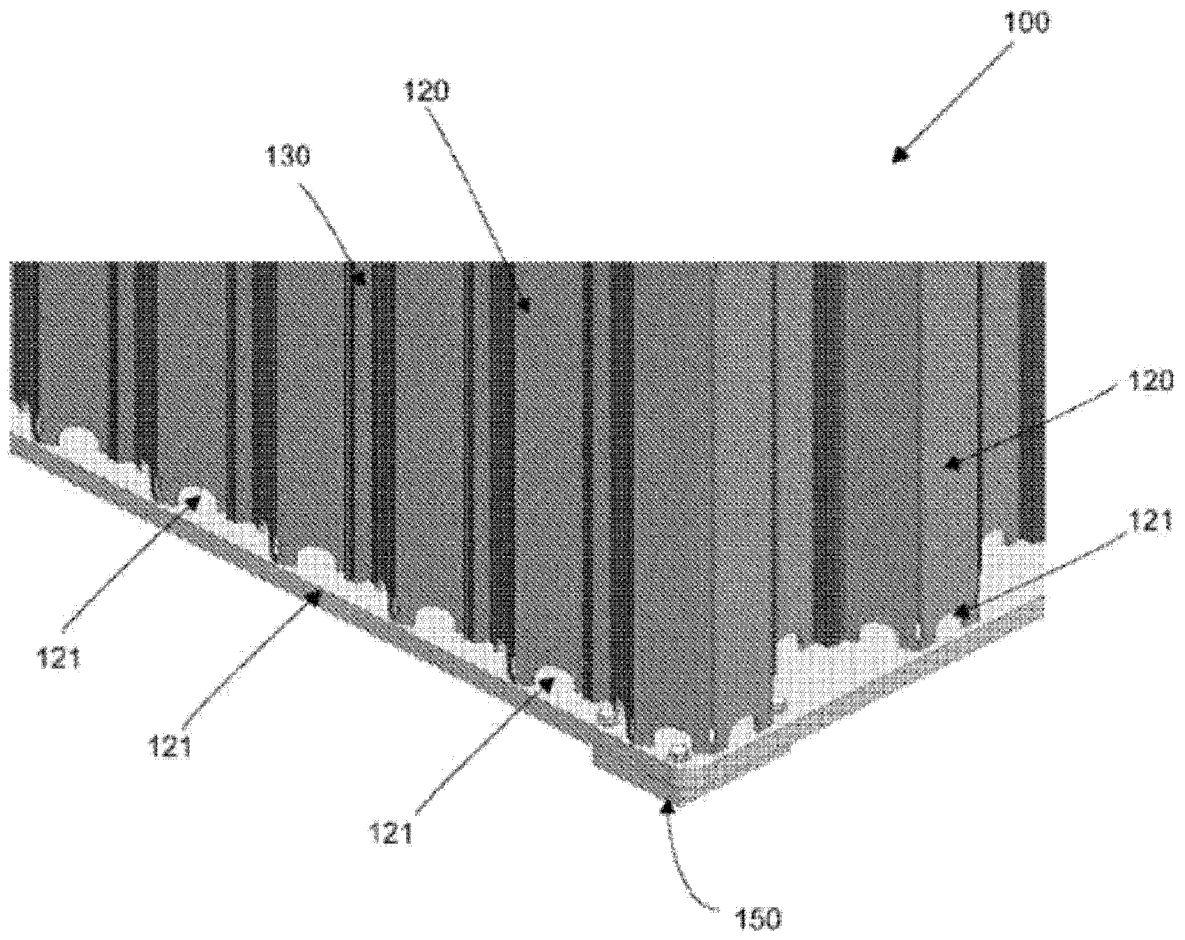


图 5

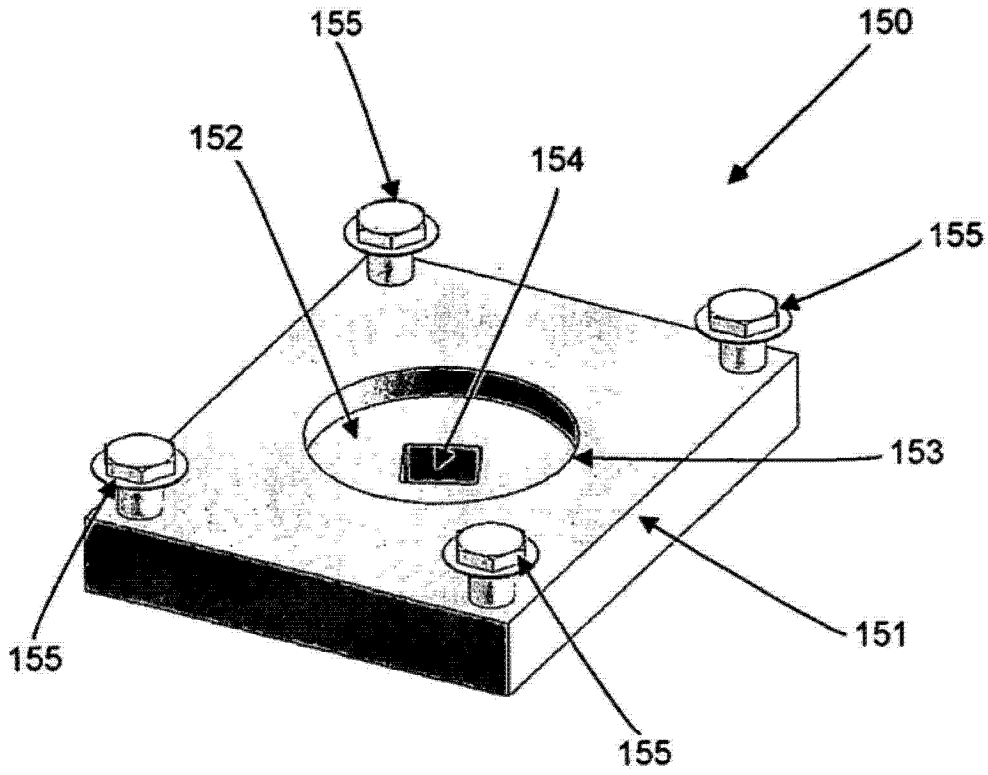


图 6A

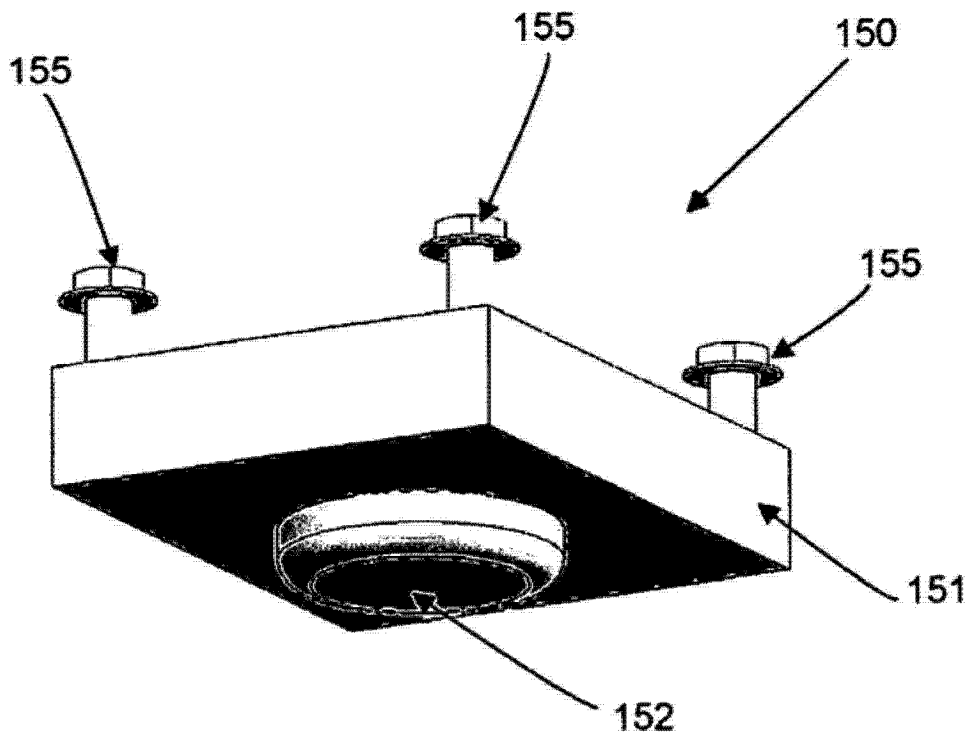


图 6B

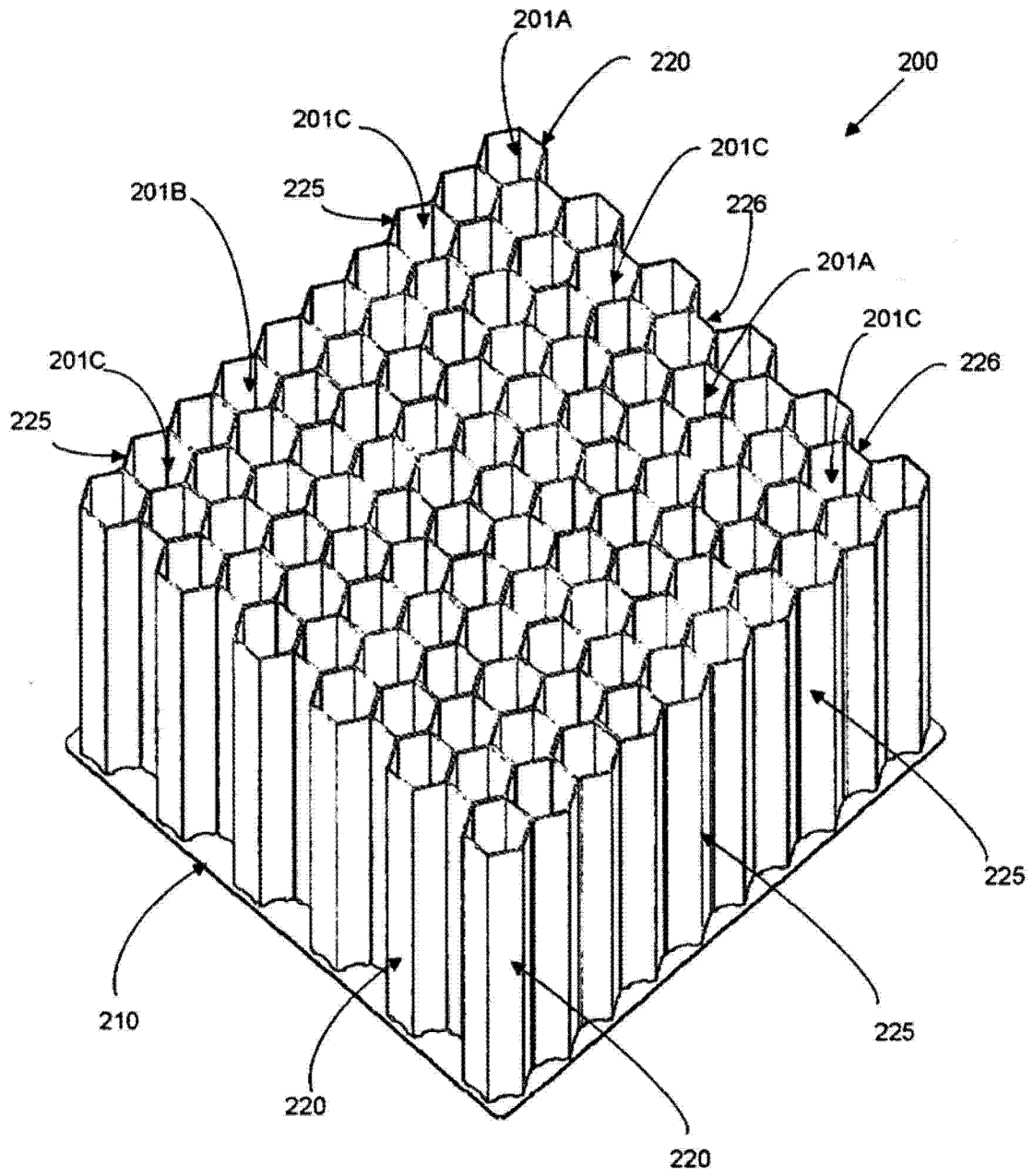


图 7

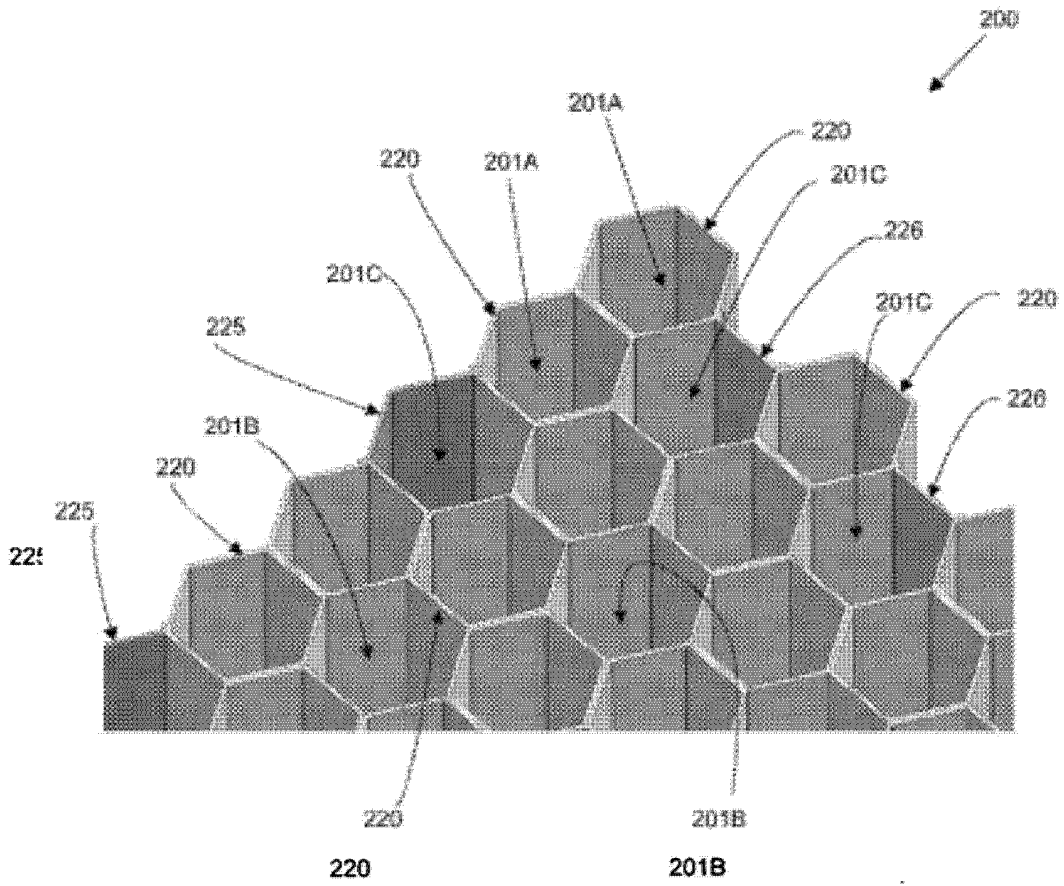


图 8

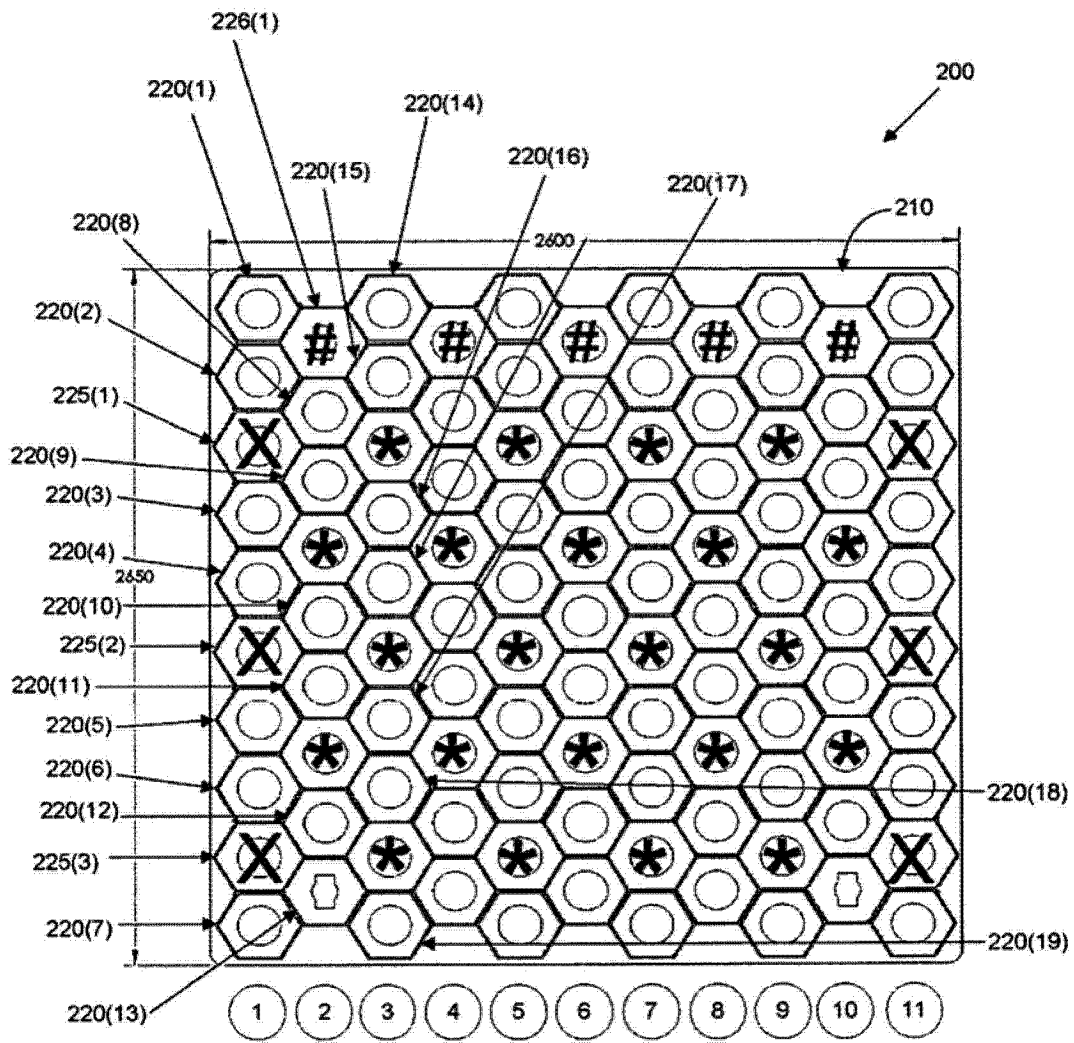


图 9

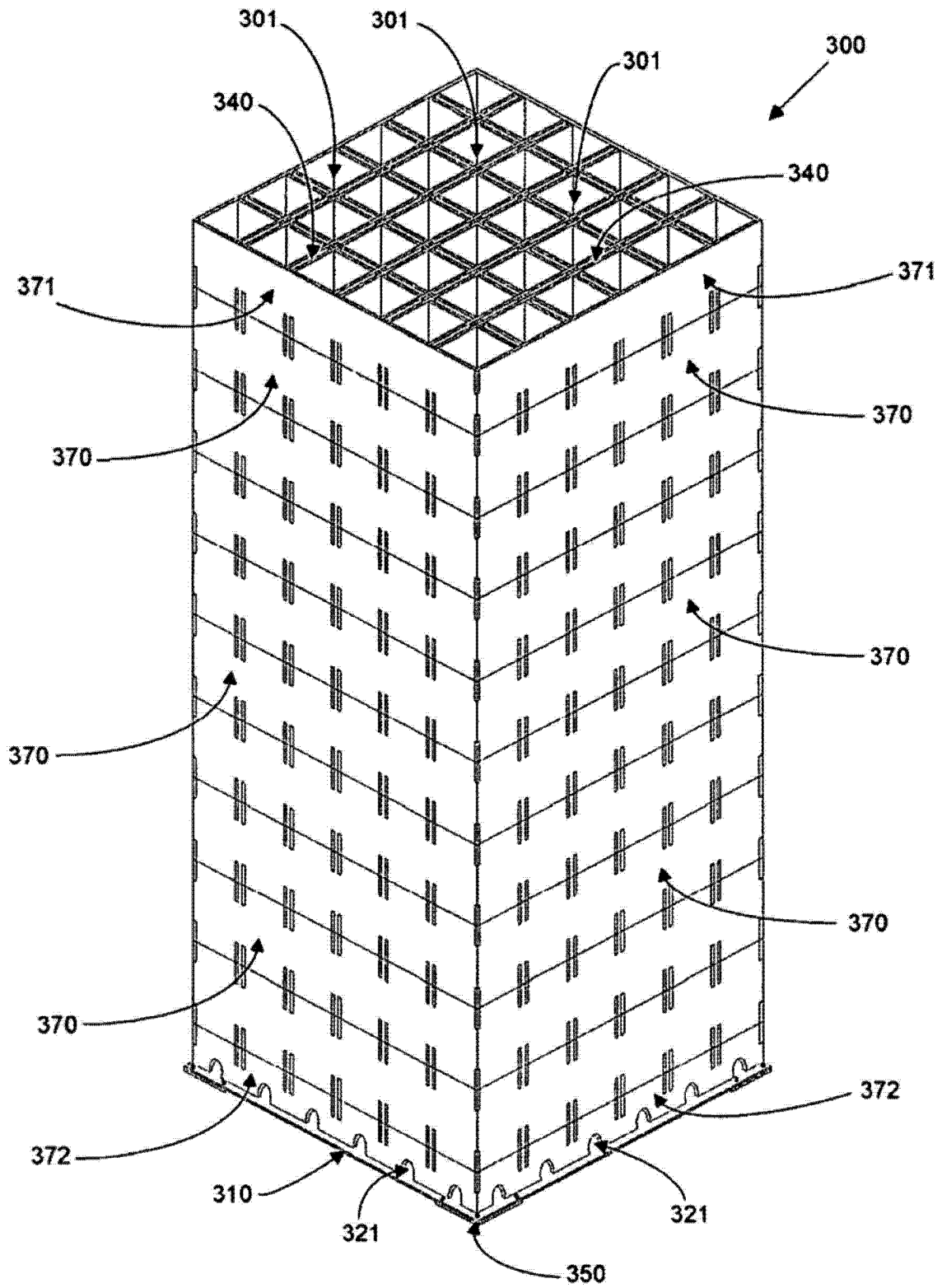


图 10

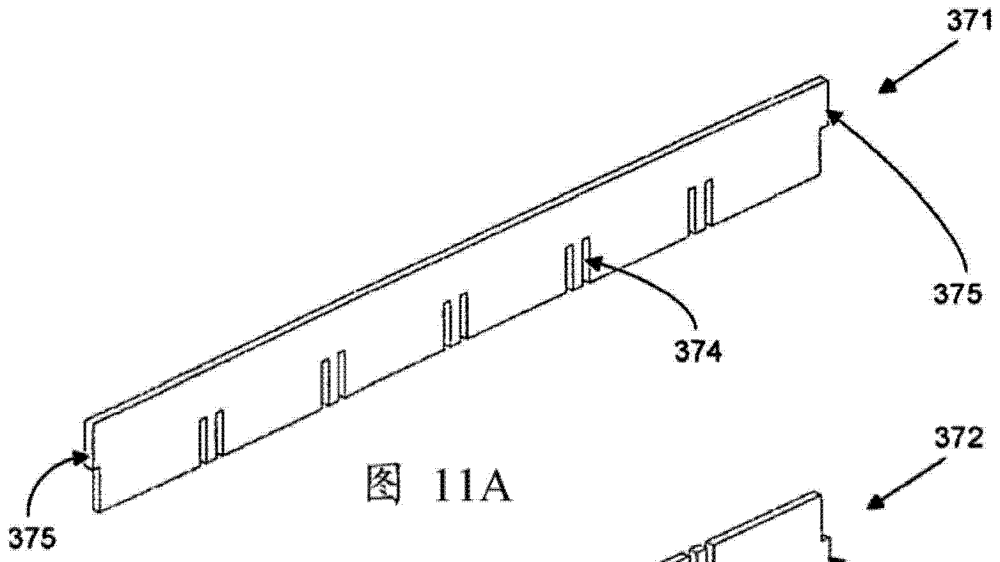


图 11A

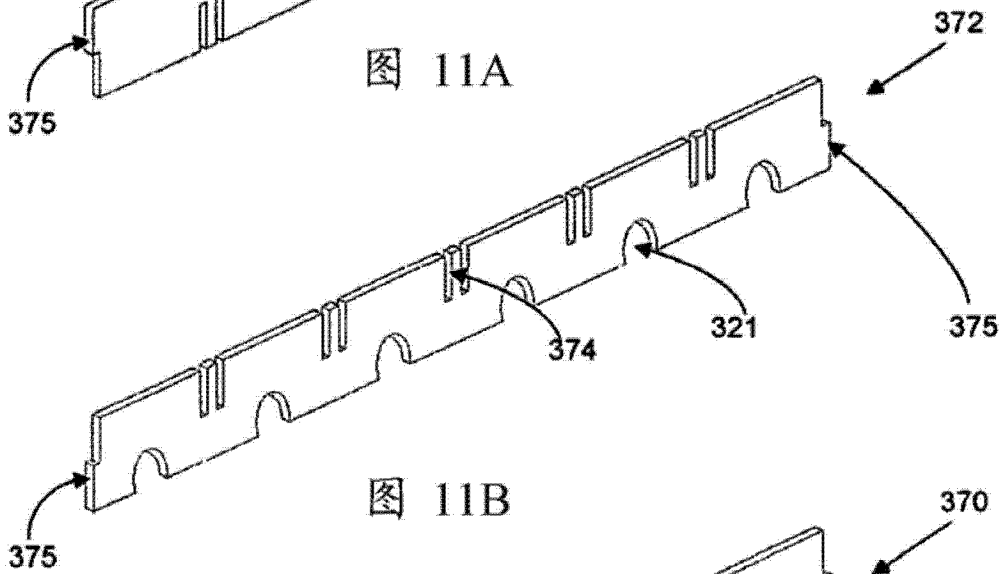


图 11B

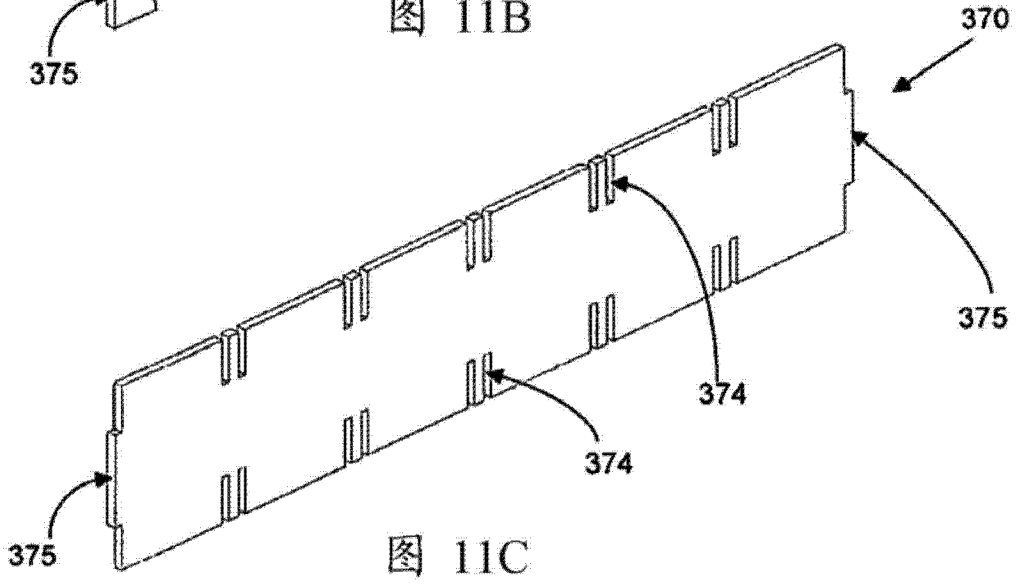


图 11C

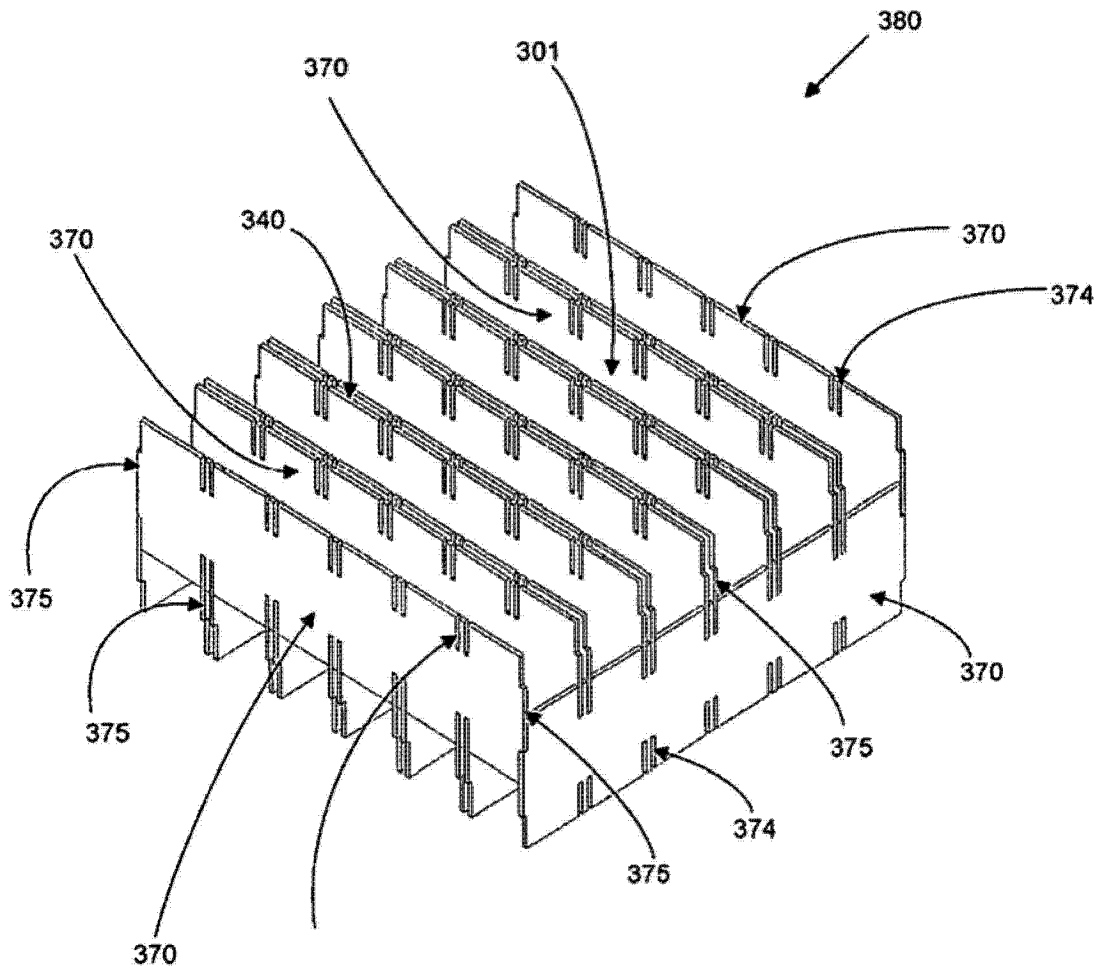


图 12

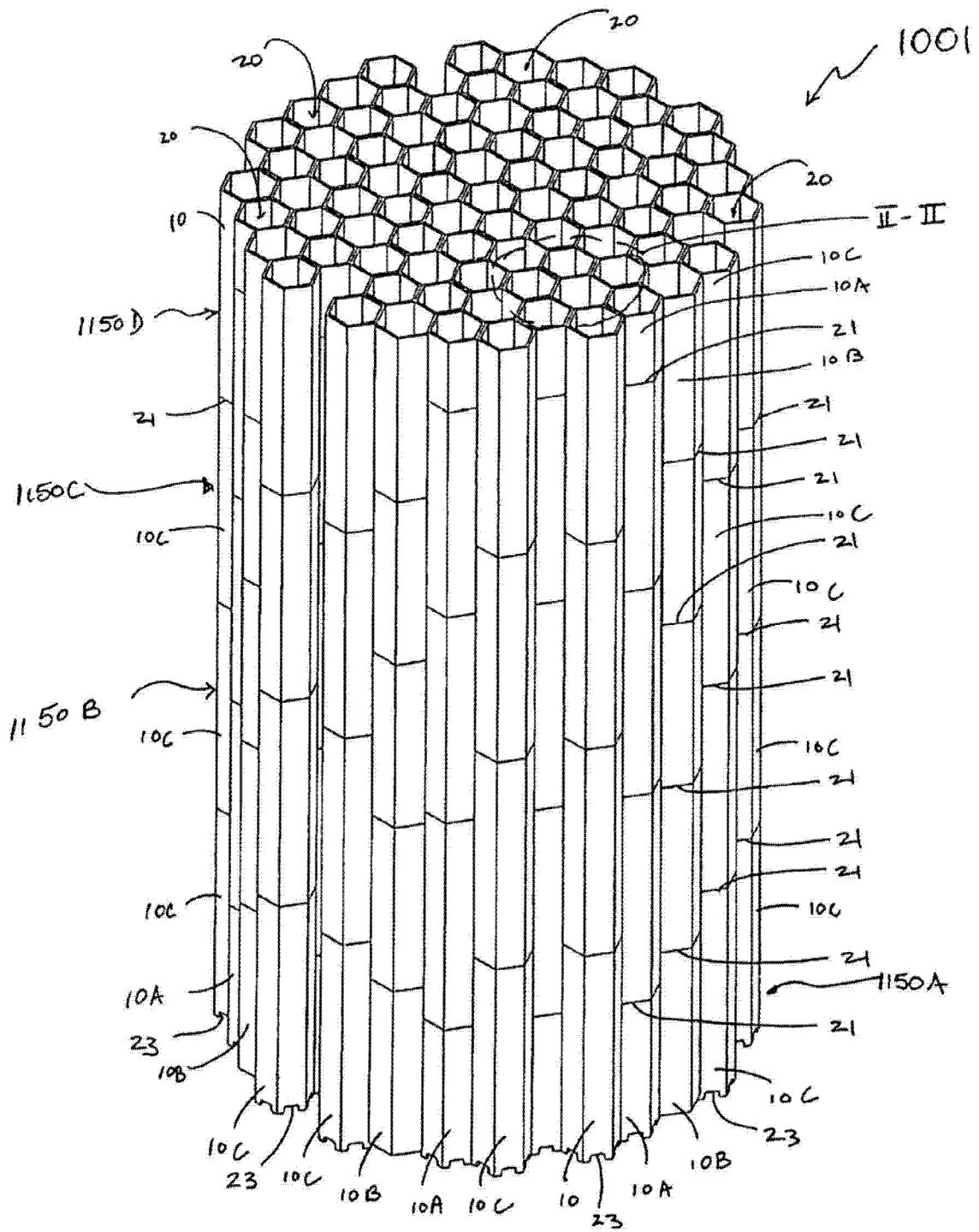


图 13

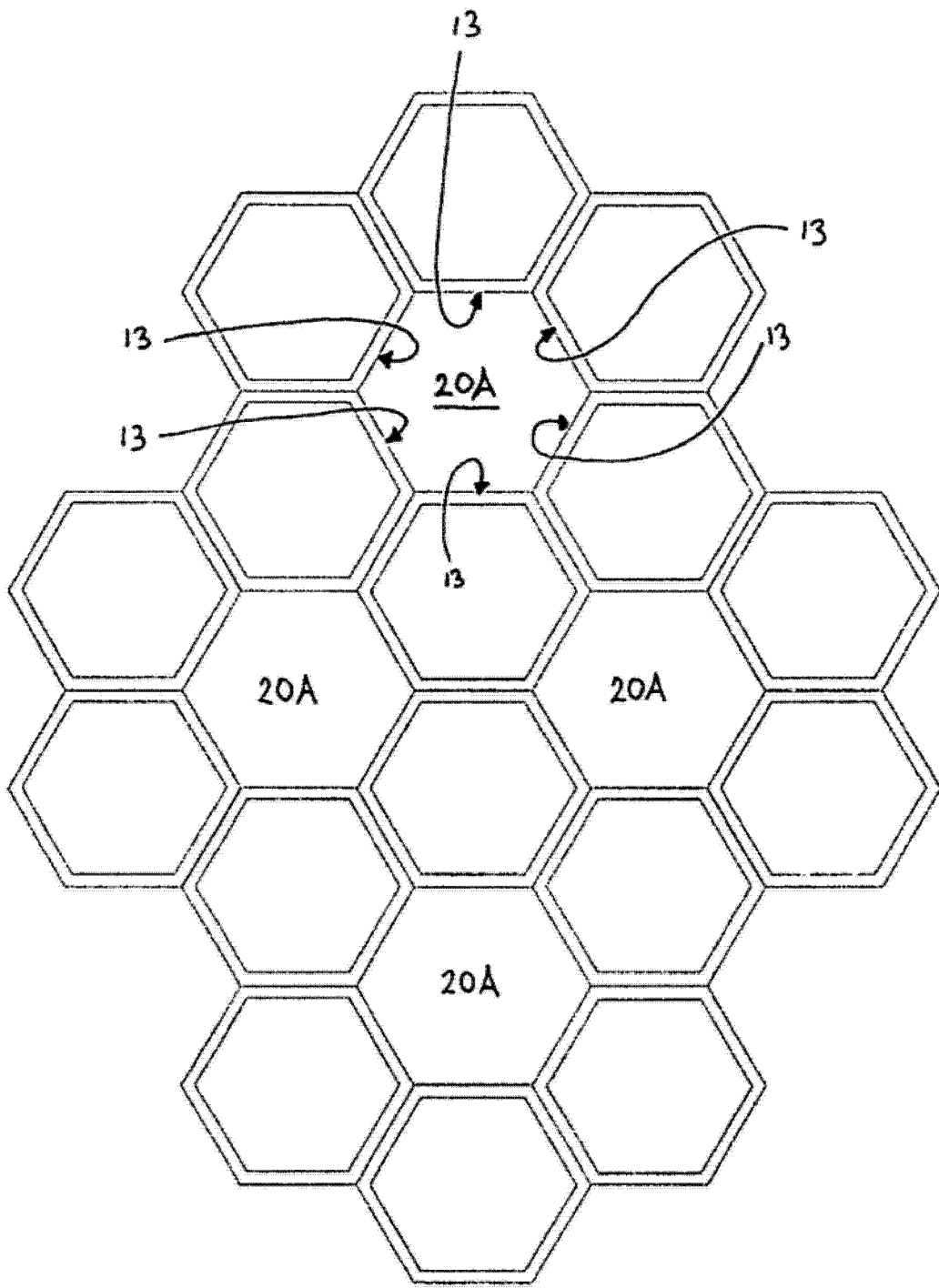


图 14

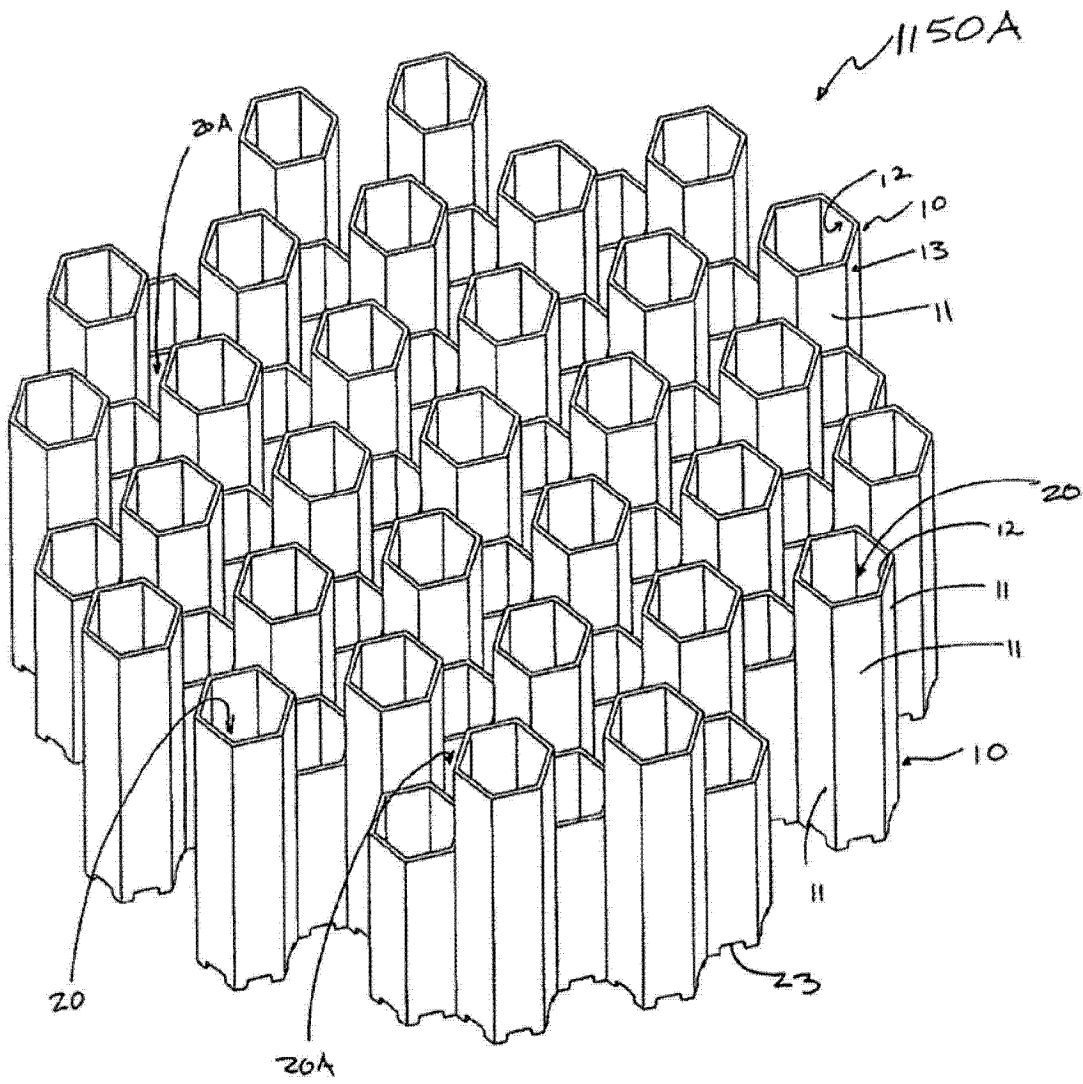


图 15

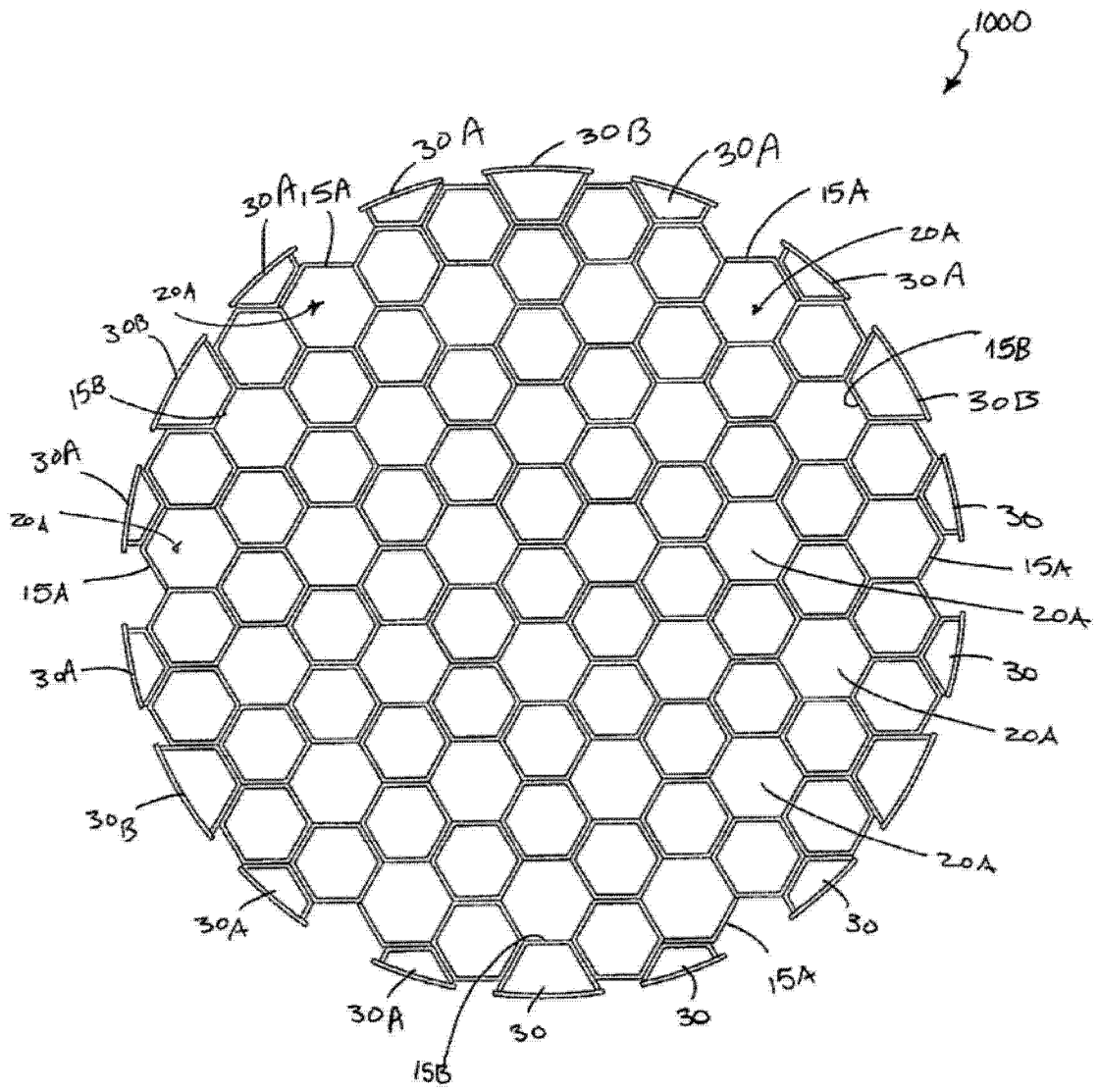


图 16

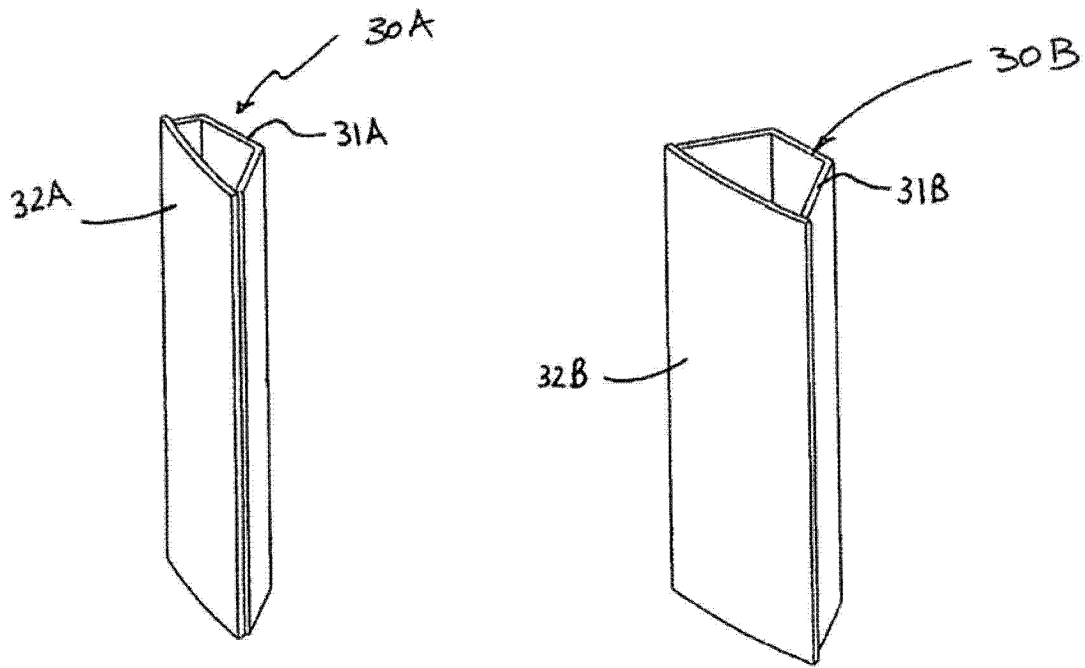


图 17

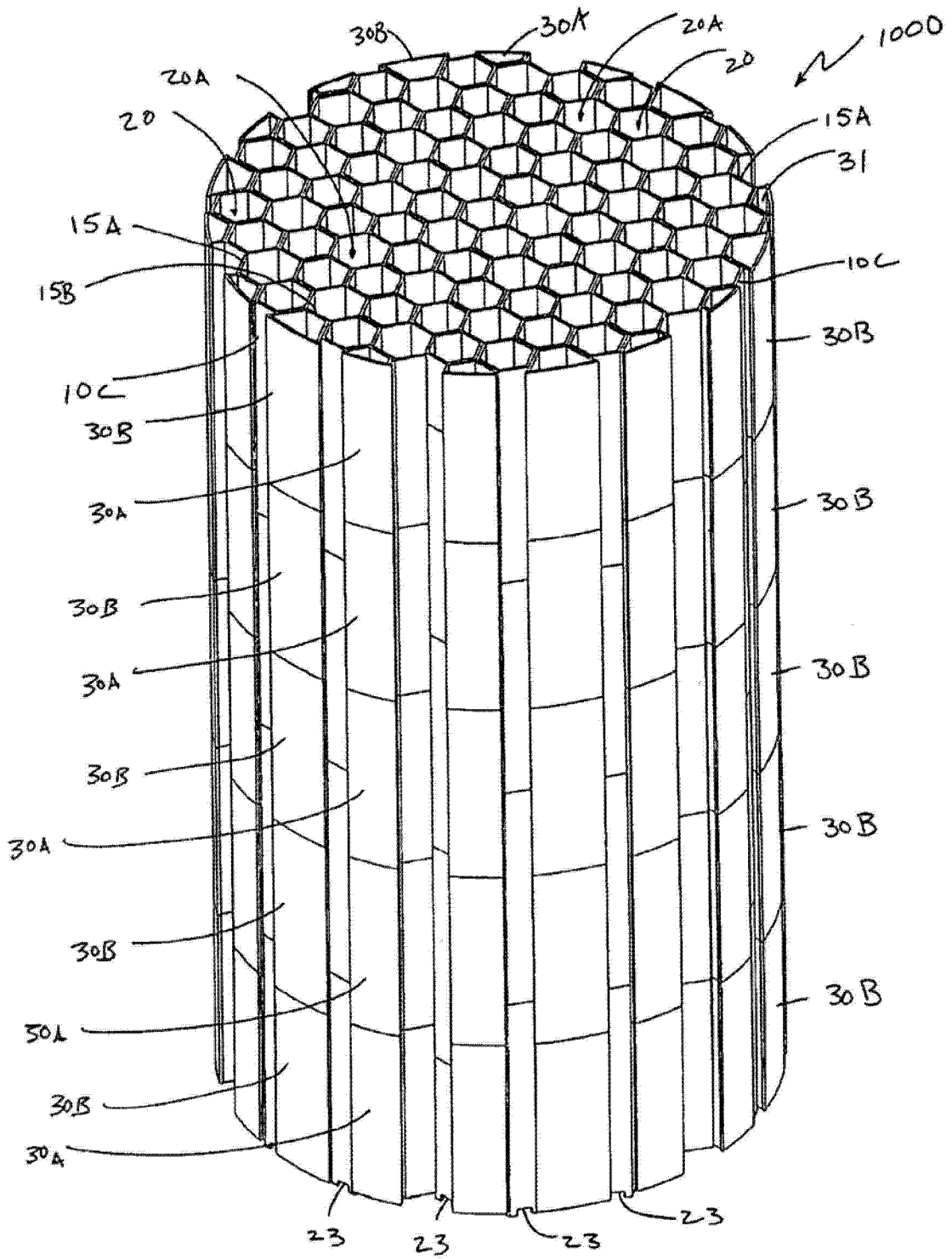


图 18

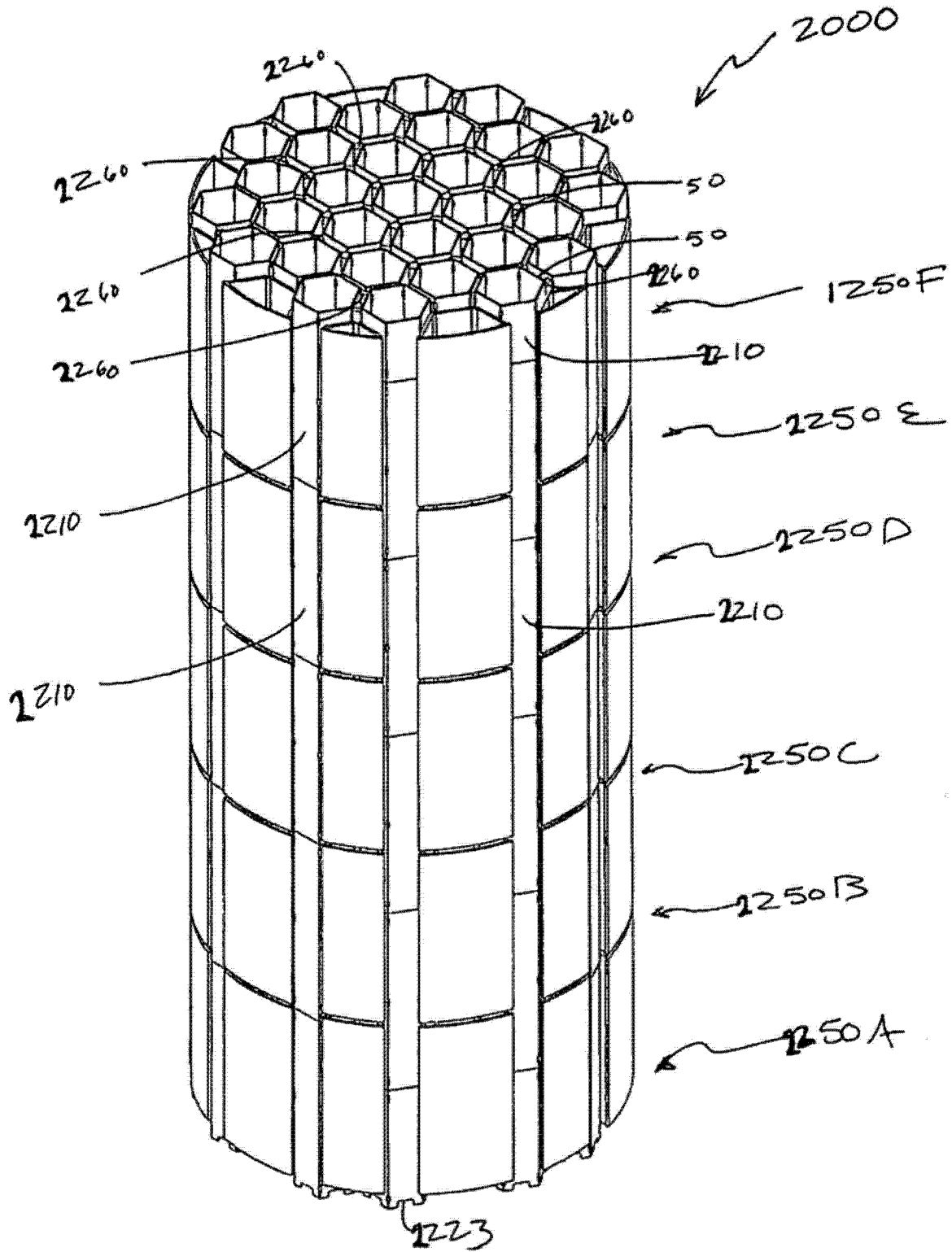


图 19

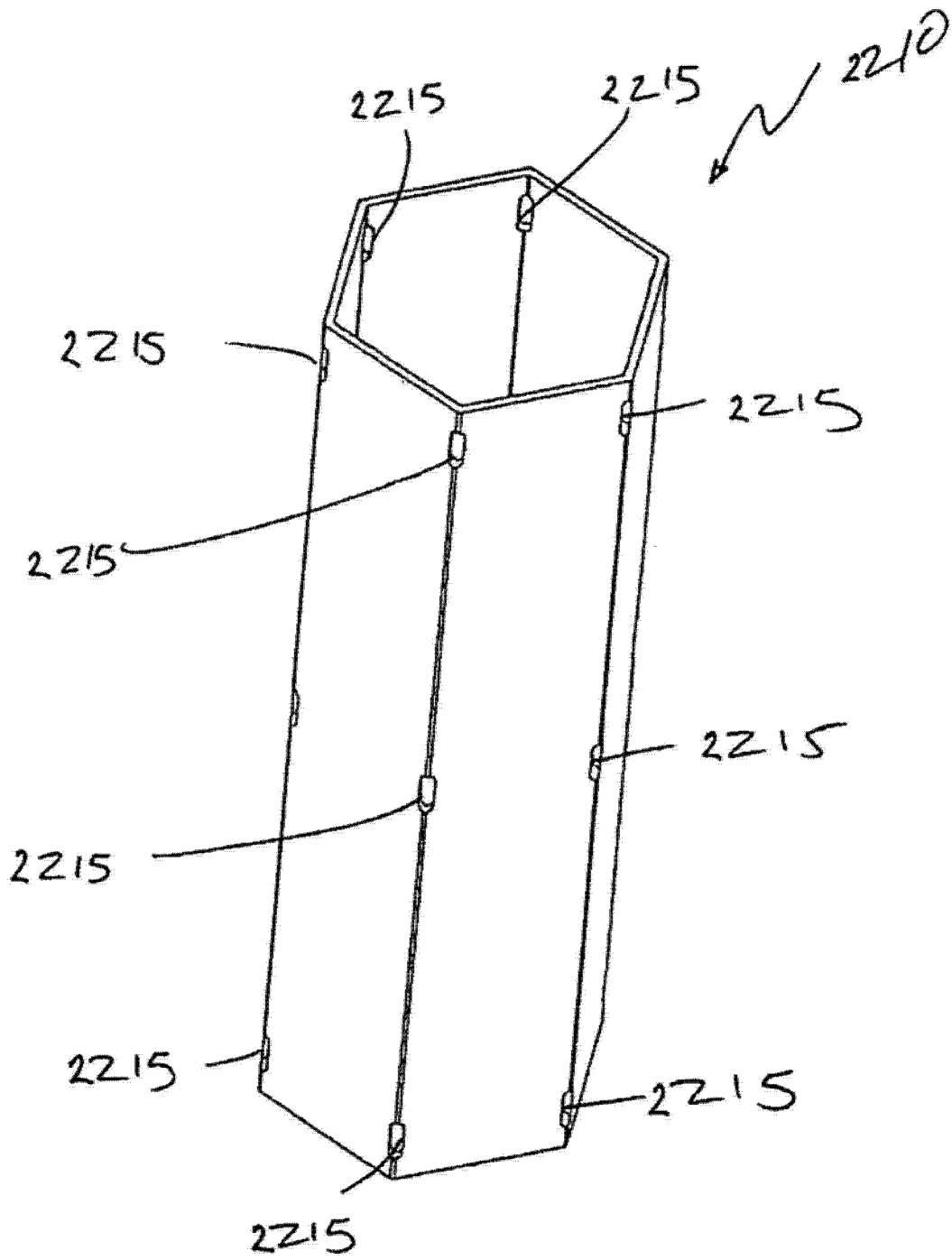


图 20

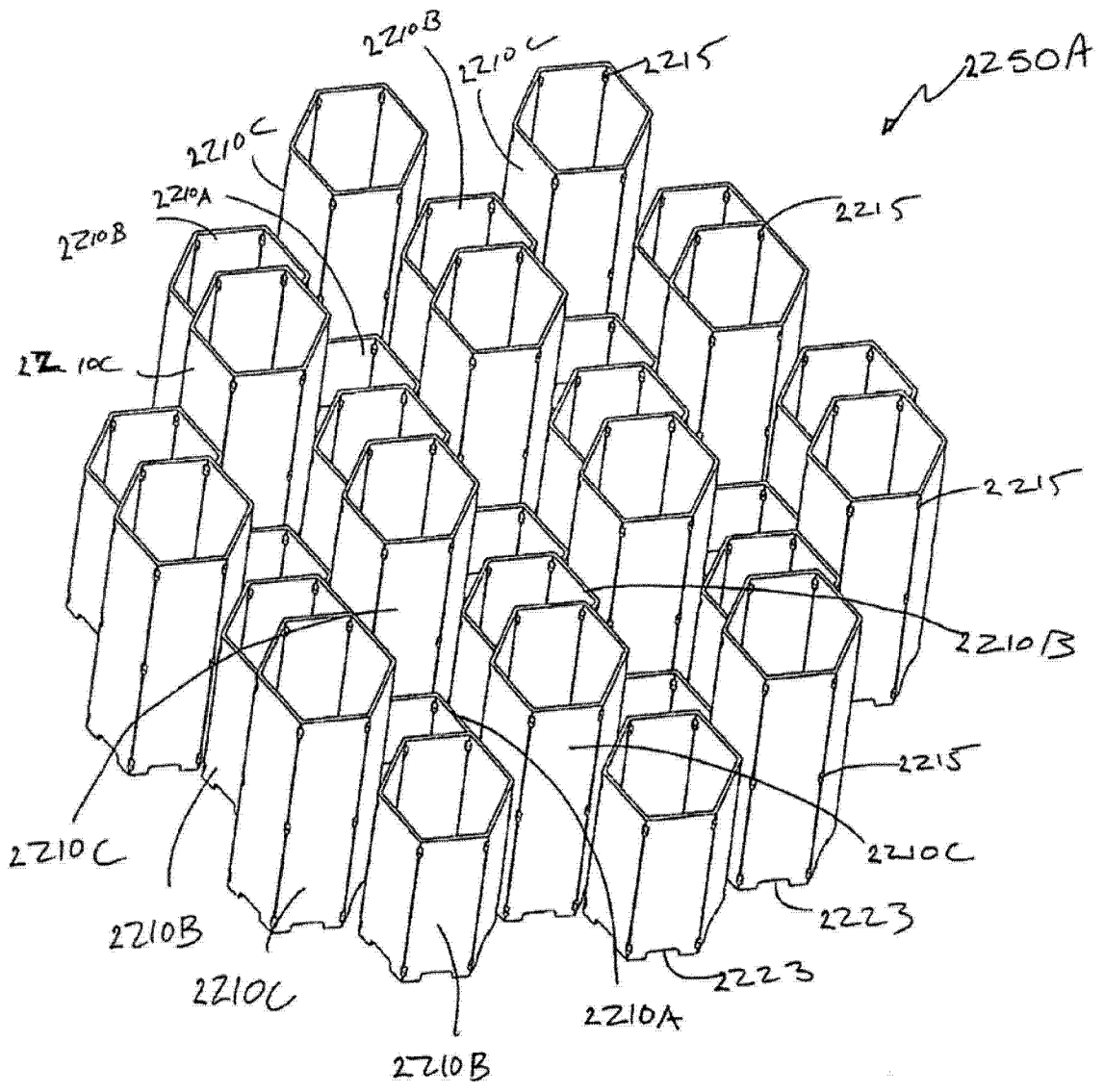


图 21

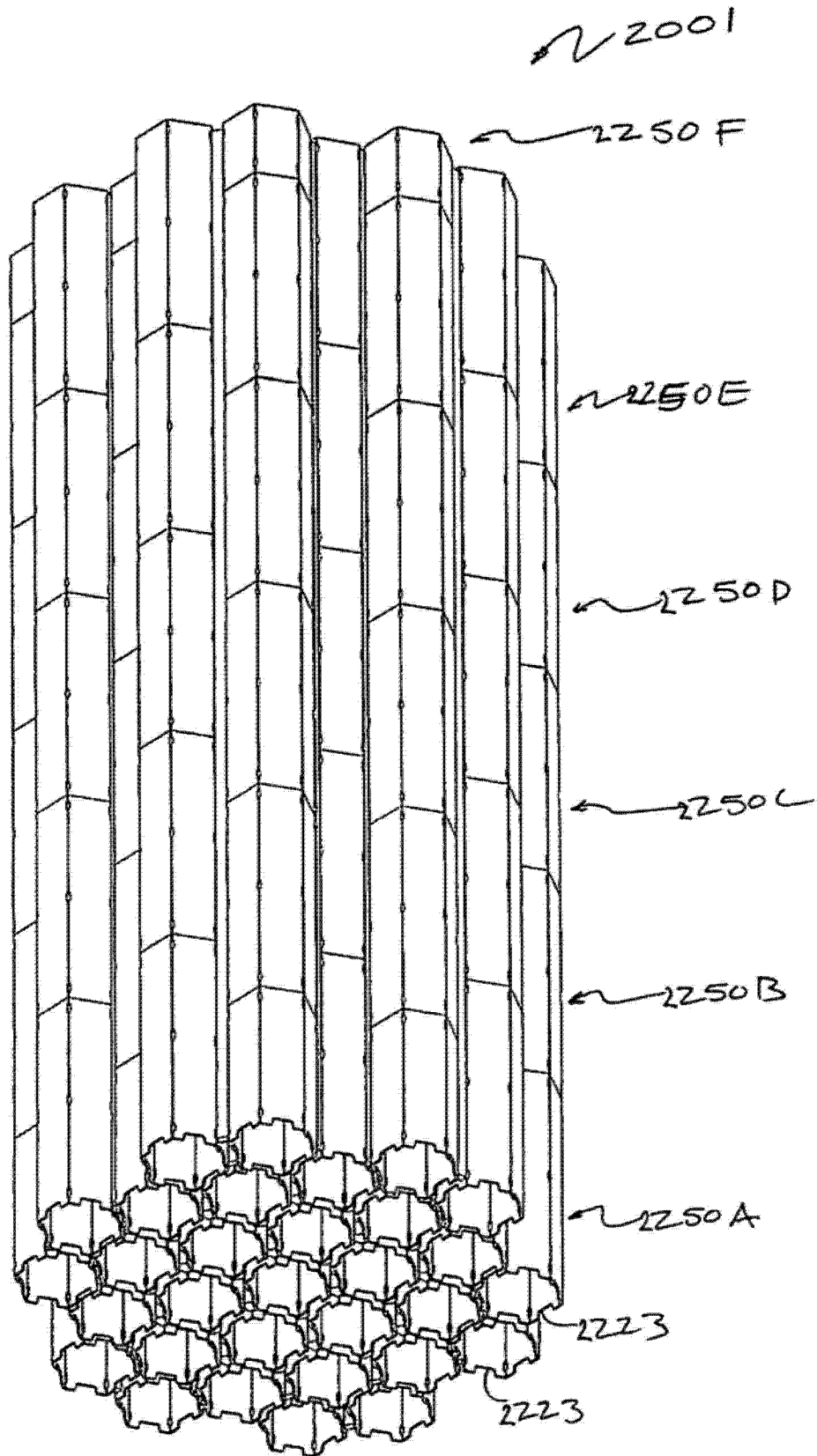


图 22

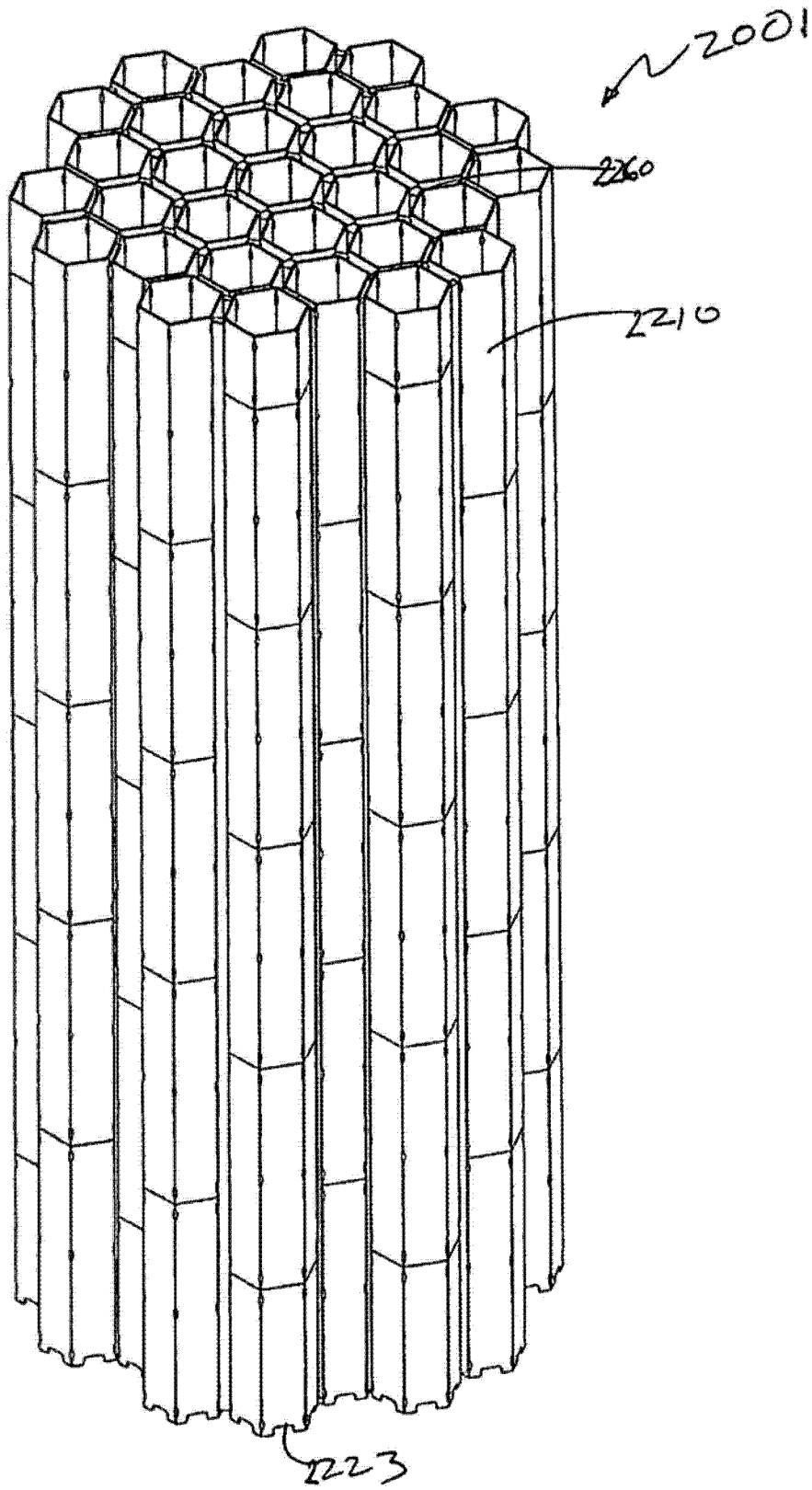


图 23