

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G21C 3/32 (2006.01)

G21C 3/328 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03815482. X

[45] 授权公告日 2007 年 7 月 11 日

[11] 授权公告号 CN 1326151C

[22] 申请日 2003.6.18 [21] 申请号 03815482. X

[30] 优先权

[32] 2002. 6. 29 [33] DE [31] 10229292. 2

[32] 2002. 8. 8 [33] DE [31] 10236399. 4

[86] 国际申请 PCT/EP2003/006431 2003. 6. 18

[87] 国际公布 WO2004/003933 德 2004. 1. 8

[85] 进入国家阶段日期 2004. 12. 29

[73] 专利权人 阿利发 NP 有限公司

地址 德国埃朗根

[72] 发明人 于尔根·施塔贝尔

乌多·博尔斯多夫

汉斯-彼得·许布施

[56] 参考文献

US6167104A 2000. 12. 26

US4683117A 1987. 7. 28

US4302294A 1981. 11. 24

CN86101339A 1986. 9. 3

US4693862A 1987. 9. 15

JP11-202071A 1999. 7. 30

审查员 许国宽

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利
商标事务所

代理人 谢志刚

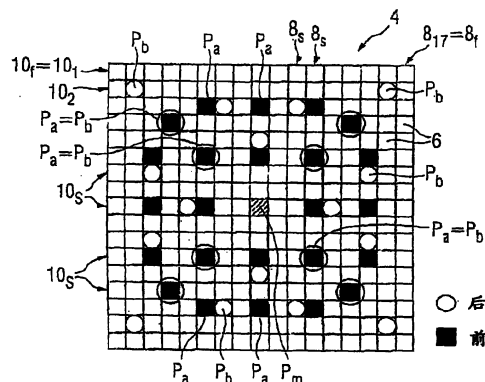
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 5 页

[54] 发明名称

用于压水核反应堆的燃料元件

[57] 摘要

一种用于压水核反应堆的燃料元件，具有许多燃料棒，它们在许多轴向间隔开的间隔器(4)中导引，这些间隔器分别构成一个具有许多网孔(6)的正方形格栅，这些网孔以列(10)和行(8)布置，其中，支承管穿过多个所述网孔并在网孔中与间隔器(4)材料锁合地连接，所述支承管不含燃料并且这样分布在格栅内的位置(P_a、P_b、P_c)中，使得在格栅中有一给定数量的支承管和支承管分布在格栅中的情况下，无支承管的列(10_i)和行(8_i)是最少的，所述分布相对于一个围绕垂直于格栅平面的间隔器(4)中心轴线是90°旋转是无变化的，并且，所述分布关于与所述中心轴线相交且平行于行(10)或列(8)的中心轴线具有镜像或反射对称性，使剩余的位于中间的无支承管的列(10_i)和行(8_i)不并排设置。



1. 一种用于压水核反应堆的燃料元件，具有许多燃料棒，这些燃料棒在许多轴向间隔开的间隔器(4)中导引，这些间隔器分别构成一个具有许多网孔(6)的正方形格栅，这些网孔以行(10)和列(8)布置，其中，支承管穿过多个所述网孔并在网孔中与间隔器(4)材料锁合地连接，所述支承管不含燃料并且这样分布在格栅内的位置(Pa、Pb、Pc)上，使得在格栅中有一给定数量的支承管和支承管分布在格栅中的情况下，无支承管的行(10_f)和列(8_f)是最少的，所述分布相对于一个围绕垂直于格栅平面的间隔器(4)中心轴线的90°旋转是无变化的，并且，所述分布关于与所述中心轴线相交且平行于行(10)或列(8)的中心轴线具有镜像或反射对称性，使剩余的位于中间的无支承管的行(10_f)和列(8_f)不并排设置。

2. 如权利要求1所述的燃料元件，其特征在于，对于给定的支承管和网孔(6)的数量，所述支承管这样分布在格栅中，使剩余的无支承管的行(10_f)和列(8_f)仅位于边缘上。

3. 如权利要求1或2所述的燃料元件，其特征在于，该燃料元件具有至少一个无控制棒导管的行(10_f)和列(8_f)，该行和列配有至少一个结构管。

4. 如权利要求1或2所述的燃料元件，其特征在于，至少一个间隔器(4)具有一个小于10kN/mm的刚度。

5. 如权利要求4所述的燃料元件，其特征在于，所述至少一个间隔器(4)具有一个5与7kN/mm之间的刚度。

用于压水核反应堆的燃料元件

技术领域

本发明涉及一种用于压水核反应堆的燃料元件，如其由 DE19635927 C1 已知的那样。

背景技术

在图 7 中示例性地示出这种燃料元件。在这种燃料元件中许多燃料棒 2 在棒方向（轴向）上相互平行地穿过多个相互轴向间隔的间隔器 4 导引，它们总是构成一个具有许多网孔 6 的两维格栅，它们以列 8 和行 10 设置。除了燃料棒以外，在所选择的位置上支承管也可以穿过这个格栅的网孔 6，它们不含燃料并且用于固定和导引控制棒（所谓的控制棒导管 12）。此外还存在一些支承管，它们同样不含燃料并且仅仅用于提高稳定性（仪表管或结构管，在示例地示出的燃料元件 2 中既不设仪表管也不设结构管）。这些支承管不同于燃料棒在网孔 6 中与间隔器 4 焊接，因此在燃料元件 2 的整个使用寿命都保证其稳定的作用。

对于假设的外部干扰，例如在地震或在伴有较大破坏的冷却介质泄漏（LOCA-冷却剂损耗事故（Loss Of Coolant Accident））时，所述间隔器可能通过相邻的燃料元件产生明显的撞击负荷。在此产生的持久变形不允许超过允许的最高值，以保证所述控制棒还可以插入控制棒导管，因此能够使设备可靠地继续运行或可靠地断开设备。原则上允许在有限范围里的塑性变形，但是必需避免由此产生较大的压曲，这将导致设置在燃料元件中的控制棒导管的显著错位。

因此必需这样设计所述间隔器，使得可能产生的撞击负荷不会使间隔器产生较大的压曲或纵向弯曲。在实践中作为研究目标致力于对于新的、未辐射的间隔器（BOL=寿命起始（Begin Of Life）-间隔器）具有约 20kN 的抗压曲强度（Beulfestigkeit）。因此对于 BOL-间隔器可以消除（abtragen）在故障情况（地震，LOCA）下产生的撞击负

荷（平面作用的横向力），只要这种负荷小于 20kN。

已经证实，所述间隔器在较长使用寿命以后并在达到其使用寿命终止（EOL=End Of Life）时，与新的间隔器相比其抗压曲强度或压曲极限存在一个不利的减小。在此，抗压曲强度的降低取决于各间隔器类型并可能大于 50 至 60%。

由 DE 44 22 032 A1 已知一种 18x18 的间隔器，它在其拐角区域的边缘上配有支承管，以减小反应堆运行期间的燃料棒弯曲。但是在这种已知的间隔器中，尽管改善了在使用寿命终止时的抗压曲强度，但却不是最佳的。

发明内容

因此本发明的目的是，提供一种用于压水核反应堆的燃料元件，其间隔器在使用寿命终止时对于强烈的故障情况负荷也具有足够的抗压曲强度。

上述目的按照本发明通过按本发明的燃料元件得以实现。

这种燃料元件包括许多燃料棒，它们在许多轴向间隔开的间隔器中导引，它们总是构成一个具有许多网孔的正方形格栅，网孔以列和行设置。分别使一个不含燃料的支承管穿过多个所述网孔并在这些网孔中材料锁合地与间隔器连接。按照本发明这些支承管这样分布在格栅中，即在格栅中有一给定数量的支承管和支承管分布在格栅中的情况下，无支承管的列和行的数量是最小的，该分布相对于一个围绕垂直于格栅平面的间隔器中心轴线的 90°旋转是无变化的，并且，所述分布关于与所述中心轴线相交且平行于行或列的中心轴线具有镜像或反射对称性。此外，对于给定的支承管和网孔数量，所述支承管这样分布在格栅中，使得必要时剩余的位于中间的无支承管的列和行不并排地设置。换言之：必要时出现的无支承管的数列或数行或者双列或双行仅位于燃料元件的边缘上。

这些措施起到一个明显改善 EOL - 抗压曲强度的作用，其中尽管存在无支承管的列和行，也保证一个最佳的 EOL - 抗压曲强度。

在此，本发明基于这样的认识，对于变小的 EOL - 抗压曲强度的

原因是，一个位于间隔器的网孔中用于弹性地支承燃料棒的弹性部件的张弛。由于对燃料棒的支承而在运行过程中的张弛使燃料棒失去在间隔器结构上的支承作用，因此只有焊接在间隔器网孔中的控制棒导管、结构管或仪表管，在本申请中一般称为“支承管”，起到支承作用。

图 8 和 9 以示意图示出一个常见的间隔器 4，在示例中一个间隔器具有 17×17 个网孔 6，在其对置的侧棱边上垂直于行 10 施加一个压力 F ，该压力位于扭曲或压曲极限 F_{krit} 以上。对于相应的实验室试验，在间隔器 4 中在位置 P_a 焊接上支承管段，在这些位置上控制棒导管 12 位于燃料元件中，支承管段在两侧突出于间隔器 4 约 10mm。为了能够评价 EOL 抗压曲强度，所述间隔器 4 或者是热张弛的并且，每个无支承管的网孔 6 由从属于相应间隔器类型的一些燃料棒套管段占据，或者代替用于这种间隔器类型的一般规定的套管段，使用具有略小外径的管段，以便通过这种方法模拟间隔器的张弛。所使用的套管段也突出于间隔器 4，并且模拟在完整配置的燃料元件的情况下弹性地支承在未被控制棒导管穿过的网孔中的燃料棒。

在图 8 中示例性地表示，在达到压曲极限 F_{krit} 时产生两个中间行 10_{11} 、 10_{12} 的剪切式压曲或纵向弯曲。横向力 F 的增加导致了其它行 10_1 、 10_2 、 10_8 、 10_9 、 10_{16} 和 10_{17} 的纵向弯曲，如图 9 所示的那样。

此外图 8 和 9 示出，所述压曲首先在行 10 中产生，它们没有与间隔器 4 固定焊接的支承管段（无支承管的行）。

基于这种认识产生本发明的思考，与间隔器固定焊接的支承管的配置对其 EOL 抗压曲强度有重要影响。对于每个给定的具有给定间隔器类型的燃料元件，可以通过这个支承管的布置改型而找到一个配置，它在保持对称性要求以及支承管数量的情况下具有一个改善的 EOL 压曲特性。

一种布置是特别有利的，其中所述支承管这样分布在格栅中，无支承管的列或行不位于含有支承管的列与行之间。换言之：必要时剩余的无支承管的列和行仅位于边缘上。在这个实施例中，控制棒的可插入性在间隔器纵向弯曲时也得到改善。

在一个可选择的解决方案中，对于未变化的控制棒导管的配置，至少一个附加的结构管在间隔器的一个网孔中材料锁合地与这个间隔器连接，以避免位于中间的无支承管的双列和双行。这些附加的支承管本质上由于强度的原因在间隔器开始使用（BOL=Begin Of Life）时是不必要的，但是这样提高其 BOL 抗压曲强度，使这个强度达到一个数值，它对应于未配有附加的结构管的相同类型的间隔器的 BOL 抗压曲强度。换言之：在一个已知的燃料元件类型中附加地加入一个结构管（对于在偏心的位置，出于对称的原因加入至少四个结构管），尽管这些结构管至少在开始使用时由于强度的原因看起来不是必需的，并且这些结构管由于燃料元件相关的功率减小而实际上被避免。

按本发明的优选实施方式，燃料元件具有至少一个无控制棒导管的行和列，该行和列配有至少一个结构管。至少一个间隔器具有一个小于 10kN/mm 的刚度。所述至少一个间隔器具有一个 5 与 7kN/mm 之间的刚度。

附图说明

为了进一步解释本发明，请参阅附图中的实施例。附图中：

图 1 以俯视图示出一个 17x17 燃料元件的间隔器的原理图，其中标识出一个在现有技术中使用的间隔器的控制棒导管的位置和用于按照本发明改进布置的控制棒导管的位置，

图 2 示出一个用于 17x17 燃料元件的相应改进的布置，其中在中心不设有仪表管，

图 3、4 示出用于 17x17 燃料元件的可选择实施例，具有改进的控制棒导管结构包括或不包括位于中间的仪表管，

图 5 示出一个 17x17 燃料元件的没有位于中间的仪表管的实施例（该间隔器实施例不在本发明的保护范围之内），其中不改变控制棒导管的位置，

图 6 为一个曲线图，它表示一个间隔器的变形位移与横向力的关系，

图 7 示出一个如现有技术那样的用于压水核反应堆的燃料元件，

图 8、9 分别以俯视示意图示出在执行一个变形试验以后的已知

的间隔器。

具体实施方式

按照图 1，在一个间隔器 4 中，许多网孔 6 在位置 P_a 、 P_b 上被控制棒导管穿过，控制棒导管围绕垂直于图纸平面延伸的间隔器 4 或燃料元件中心轴线这样对称地分布，使得它们在旋转 90° 时转移到其自身的位置。在图中仅示出控制棒导管的位置 P_a 、 P_b 。出于清晰的原因未示出控制棒导管。

示出一个 17×17 燃料元件的间隔器 4，它在中心位置 P_m 、即在其中心以剖面线表示的网孔 6 中设有一个在附图中同样未示出的仪表管。在此涂黑处是控制棒导管的位置 P_a ，如同它对于已知的燃料元件所实现的那样（“以前”的控制棒位置）。以圆圈表示的位置是按照本发明的在改善 EOL 抗压曲强度的观点下给出的控制棒导管的位置 P_b （“以后”的控制棒位置）。以圆圈环绕的位置表示一个控制棒导管的 $P_a = P_b$ ，在那里对于改进的实施例也剩余一个控制棒导管。所有其余的控制棒导管的位置已被改变。

在图中可以看出，在保持其数量时这样进行控制棒导管的分布，使得一方面无支承管的行 10_f （在示例中为 $10_1, 10_8, 10_{10}, 10_{17}$ ）和列 8_f （在示例中为 $8_1, 8_8, 8_{10}, 8_{17}$ ）的数量在对称旋转 90° 的附加条件下（在旋转 90° 时不改变布置）是最少的，而另一方面负责使这些剩余的无支承管的列和行 10_f 、 8_f 不并排地设置。

按照控制棒导管的新分布，在分别设置至少一个支承管（控制棒导管或仪表管）的行 10_s 与列 8_s 之间也剩余无支承管的行 10_f 或 8_f 。在实施例中，位于包括支承管的行 10_7 与 10_9 以及 10_9 与 10_{11} 之间的行 10_8 以及 10_{10} 是这样的（相应地对于行也是如此）。

在按照图 2 的实施例中，对于一个 17×17 的没有位于中间的仪表管的燃料元件示出一个最佳的控制棒导管的布置。在此除了 8 个位置 $P_a = P_b$ 以外同样重新分布其余的位置，因此分别只有边缘上的两行 $10_{1, 2, 16, 17}$ 和列 $8_{1, 2, 16, 17}$ 没有支承管。因为位于中间的列或行必需优先地被支撑，由于没有中央的仪表管，四个控制棒导管重新分布到行 $10_{8, 10}$ 以及列 $8_{8, 10}$ ，因此在这个实施例中剩余双重未被占据的边缘行

以及边缘列。

在按照图 3 的可选择的实施例中，在其中由于清晰的原因只示出穿过涂黑的网孔 P_b 的改进的控制棒布置，对于一个具有位于中间的仪表管（剖面线表示的网孔 P_m ）的 17×17 燃料元件，两个位于边缘上的行 $10_{1, 2, 16, 17}$ 和列 $8_{1, 2, 16, 17}$ 不被控制棒导管 12 占据。

图 4 示出一个可选择的没有位于中间的仪表管的实施例。在这个方案中只有两个位于边缘上的行 $10_{1, 2, 16, 17}$ 和列 $8_{1, 2, 16, 17}$ 不被控制棒导管占据，因此没有无支承管的行 10_f 以及列 8_f 位于包括支承管的行 10_s 或列 8_s 之间。

在图 4 中所示的控制棒导管布置中，通过将附加的结构管安置在由叉字表示的位置 P_c 中更加显著地改善 EOL 压曲极限，该位置位于列或行 $10_{2, 16}$ 或 $8_{2, 16}$ 的主交对角线上，它们紧邻位于边缘的列或行 $10_{1, 17}$ 或 $8_{1, 17}$ 。

在所有上述实施例中，对于按照本发明改善的支承管布置的基本设计准则是以下的原理，即在保持旋转 90° 无变化的条件下由此使无支承管的行和列的数量最少，使得没有列或行具有多于两个的支承管，在任何可能的情况下由于对称原因只包括一个唯一的支承管。在此，在奇数的列和行的情况下，这些列和行分别只包括一个唯一的支承管（控制棒导管、结构管、仪表管），所述列和行从属于在中间的列或中间的行上的一个支承管位置且垂直于这些中间的列或中间延伸。

在按照图 5 的实施例中，在以叉表示的位置 P_c 上，对于在现有技术中已知的没有仪表管的 17×17 燃料元件附加地加入四个结构管，其中控制棒导管的位置 $P_a = P_b$ 不改变。由此消除对于试验识别为特殊的薄弱位置的位于中间的双行 $10_{7, 8}$ 和 $10_{10, 11}$ 以及双列 $8_{7, 8}$ 和 $8_{10, 11}$ 并显著提高 EOL 抗压曲强度。以这种方式改进的燃料元件也可以毫无问题地用于具有这种燃料元件类型的现有的压水核反应堆设备，因为控制棒导管的位置保持不变。在这个实施例中优先使位于中间的列或行稳定。

此外，按照图 4 和 5 的间隔器的压曲特性的比较显示出，当横向力大于压曲极限并导致间隔器压曲或纵向弯曲时，在图 4 中所示的配

置与在图 5 中所示的间隔器相比具有优点。在这种情况下，在图 4 中所示的控制棒导管的配置构成一个自身结构稳定的基础结构，它在纵向弯曲时整体偏移，而不会导致控制棒导管相互间相对位置的重要变化。在这种情况下在纵向弯曲时也保证控制棒的可插入性，因为其数量级仅为几毫米的均匀错位在力学上与均匀弯曲的燃料元件相对应。换言之：特别有利的配置是，其中整个支承管这样分布在间隔器中，使得不产生无支承管的列或行，这些列或行位于包括一个支承管的列或行之间。在这种情况下，被支承管固定的结构如同一个稳定的亚格栅。

在按照图 6 的曲线图中示出两个间隔器的压曲特性，它们在支承管相同分布具有一个不同的刚度。这种不同的刚度不仅受材料影响而且受结构影响地由网孔结构（壁厚、单隔片或双隔片）和支承在其中的或组合在其中的弹性部件以及网孔在交叉位置上的焊缝的厚度和形状（直线焊、点焊）给出。曲线 a 和 b 示出对于一个硬的以及“软”的间隔器与横向力有关的变形位移 S。对于新的间隔器（BOL 间隔器）得出的曲线是实线的。对于结构相同的间隔器在其使用寿命终止（EOL）时得出的曲线是以虚线表示的。

以 a' 和 b' 表示一个按照本发明最优化的间隔器曲线。曲线 a''、b'' 给出一个在其结构布置方面不是最优化的间隔器。可明显看出，“软”的间隔器的 EOL 压曲极限在非最佳的支承管布置时也没有变差到如“硬”的间隔器那样的程度。此外在附图中可以看出，压曲极限 F_{krit} 在具有较大刚度（曲线 a）的间隔器的情况与在具有较小刚度（曲线 b）的间隔器情况相比在较小的变形位移下达到。其原因在于，在较大的变形位移时重新生效的燃料棒稳定性作用。当在达到压曲极限（对于 BOL 间隔器为约 20kN）之前变形位移 S 至少为 2mm、最好在 3 至 4mm 之间时，保证实现这一点。这分别对应着 10kN/mm 或在 7 和 5kN/mm 之间的间隔器刚度。

附图标记清单

- 2 燃料棒
- 4 间隔器
- 6 网孔
- 8_i 列
- $8_f, 8_s$ 无支承管列, 有支承管列
- 10_i 行
- $10_f, 10_s$ 无支承管行, 有支承管行
- 12 控制棒导管
- P_m 中心位置
- P_a 以前的控制棒位置
- P_b 后来的控制棒位置
- P_c 结构棒位置
- a, b 曲线
- BOL** 寿命起始 (**Begin Of Life**)
- EOL** 寿命终止 (**End Of Life**)
- F 作用力
- S 变形位移

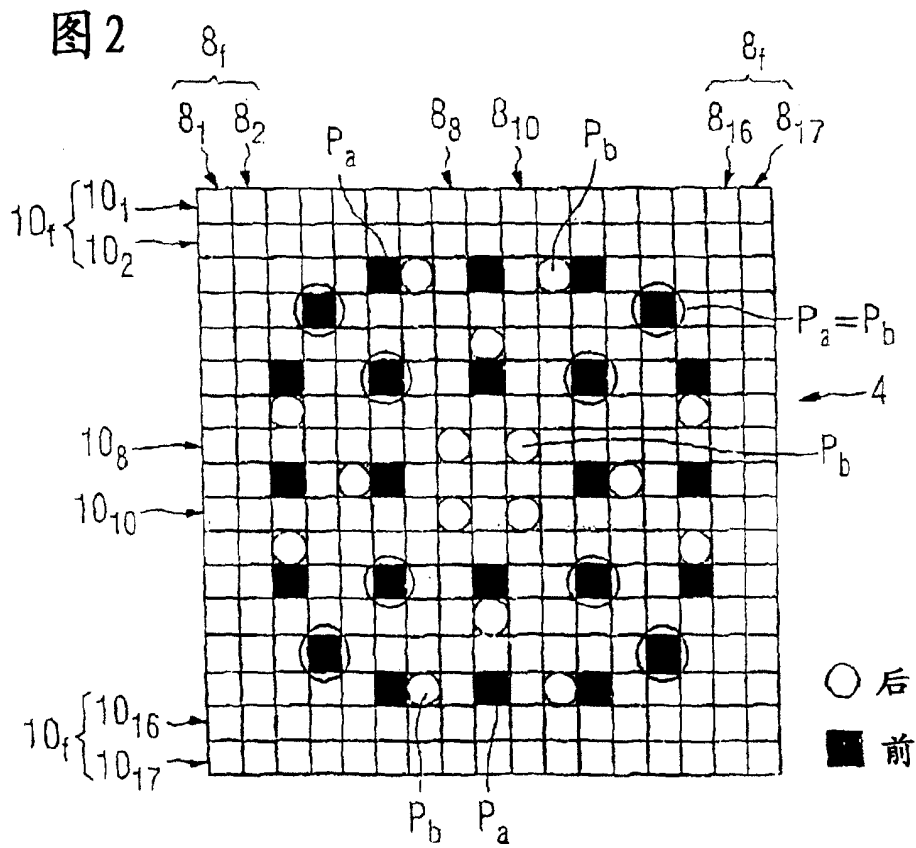
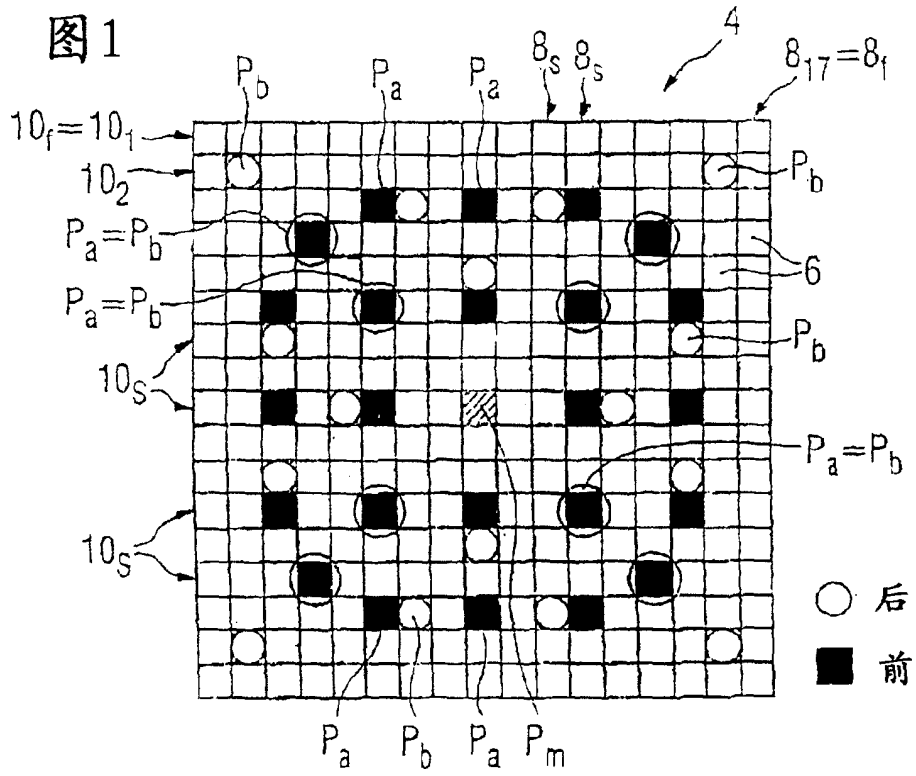


图 3

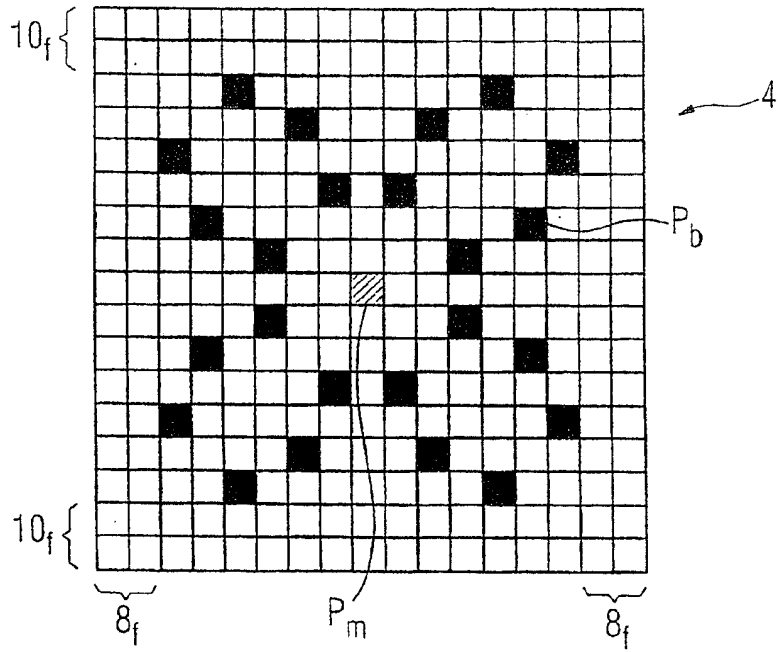


图 4

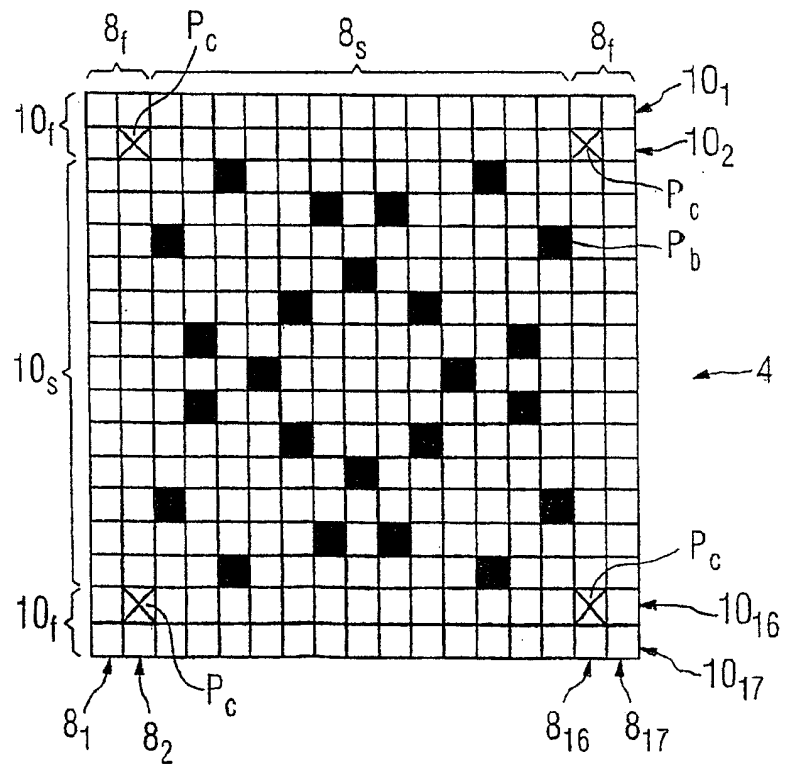


图5

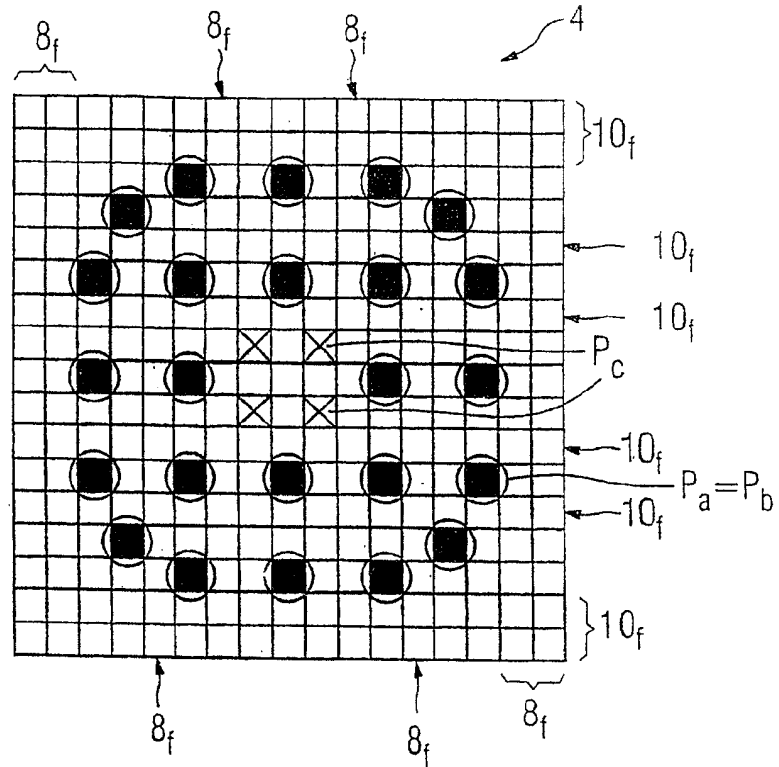


图6

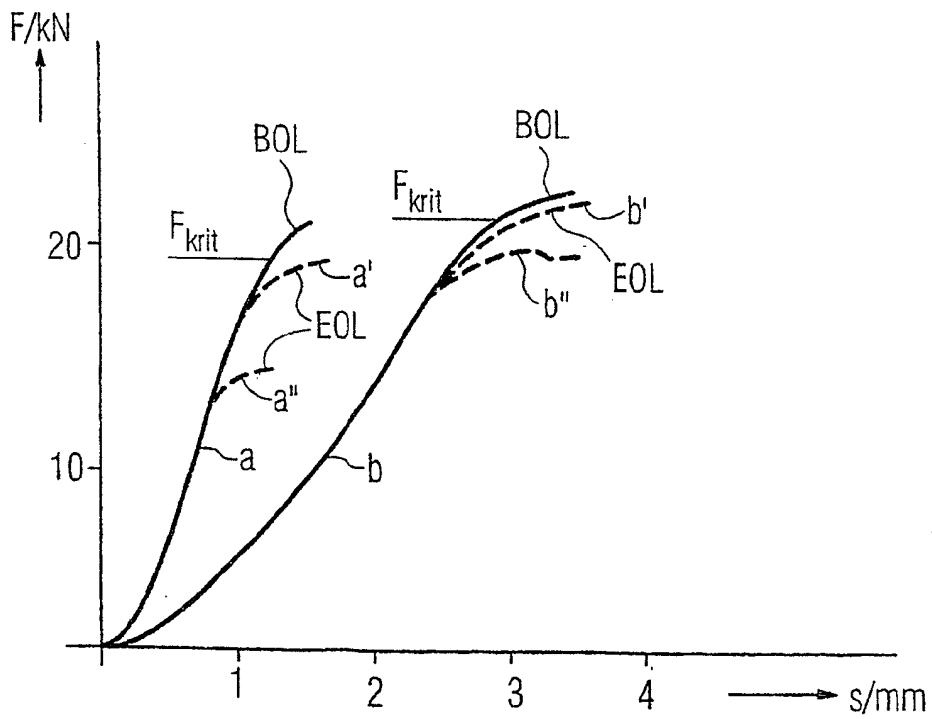


图7

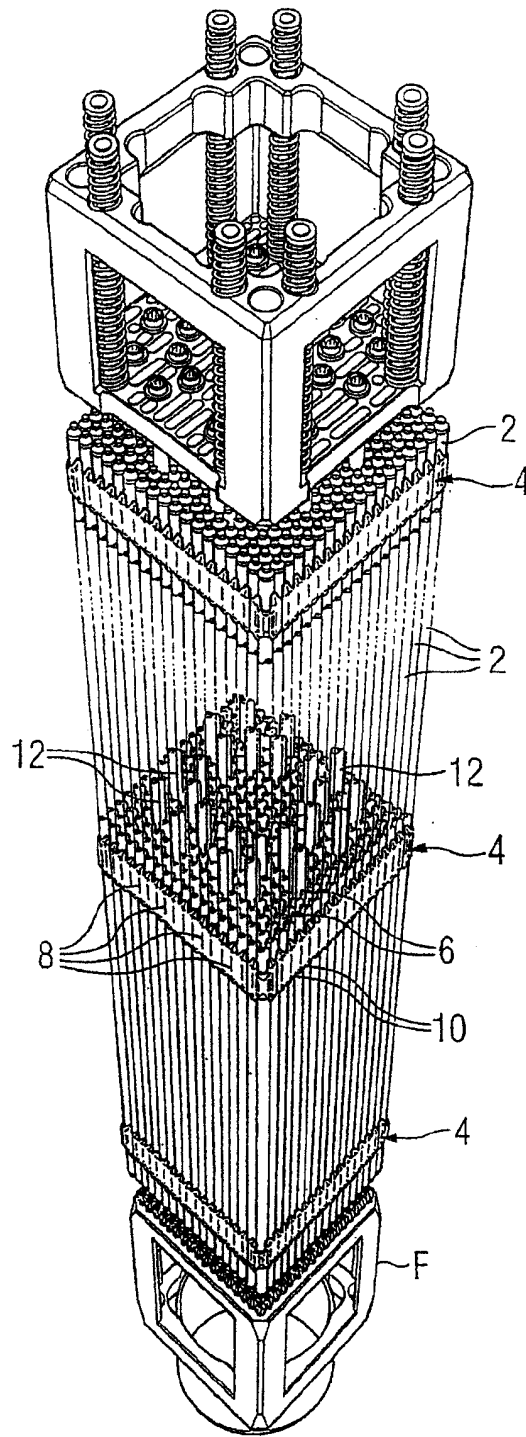


图 8

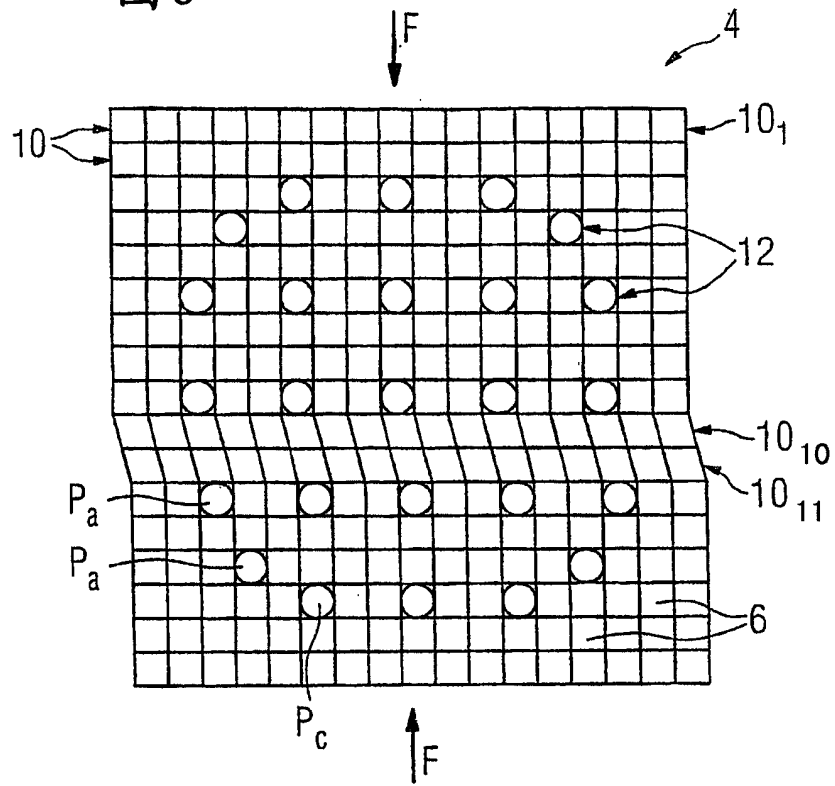


图 9

