



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101512671 B

(45) 授权公告日 2013. 04. 10

(21) 申请号 200780031416. 8

(22) 申请日 2007. 08. 13

(30) 优先权数据

0601733-9 2006. 08. 24 SE

60/824, 664 2006. 09. 06 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2009. 02. 23

(86) PCT申请的申请数据

PCT/SE2007/050544 2007. 08. 13

(87) PCT申请的公布数据

W02008/024059 EN 2008. 02. 28

(73) 专利权人 威斯丁豪斯电气瑞典有限公司

地址 瑞典韦斯特罗斯

(72) 发明人 L·哈尔斯塔迪厄斯 M·达尔巴克

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
72001

代理人 温大鹏

(51) Int. Cl.

G21C 3/07(2006. 01)

B32B 15/01(2006. 01)

C22C 16/00(2006. 01)

(56) 对比文件

US 5266131 A, 1993. 11. 30,

CN 1818111 A, 2006. 08. 16, 权利要求 5, 说明书第 7 页第 23-24 行, 说明书第 8 页第 23 行-第 9 页第 6 行.

CN 1157640 A, 1997. 08. 20,

CN 1827813 A, 2006. 09. 06,

CN 86101123 A, 1987. 01. 21,

JP 11118968 A, 1999. 04. 30,

CN 1421537 A, 2003. 06. 04,

CN 1131329 C, 2003. 12. 17,

US 4675153 A, 1987. 06. 23, 全文.

梁建烈等. 新锆合金的相变温度. 《广西科学》. 2002, 第 9 卷(第 3 期),

赵文金等. 我国高性能锆合金的发展. 《原子能科学技术》. 2005, 第 39 卷全文.

审查员 曲新兴

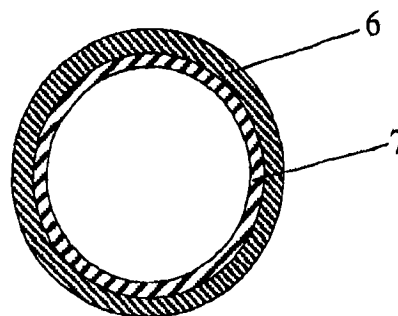
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 2 页

(54) 发明名称

水反应器燃料包壳管及其制造方法

(57) 摘要

描述一种水反应器燃料包壳管(4)。管(4)包括第一锆基合金的外层(6)和第二锆基合金的内层(7)。内层保护(7)包壳管(4)不形成应力腐蚀裂纹。第二锆基合金包括作为合金材料的锡,并且每一种锆基合金包括至少 96 重量百分比的锆。第一锆基合金包括至少 0.1 重量百分比的铌。还描述一种制造包壳管(4)的方法,并且包括共同挤压成形不同锆基合金的两个管以便形成包壳管(4)的步骤。



1. 一种用于压力水反应器的水反应器燃料包壳管 (4), 所述包壳管包括具有第一锆基合金的外层 (6), 外层具有冶金结合其上的第二锆基合金的内层 (7), 内层 (7) 适用于保护包壳管 (4) 而不形成应力腐蚀裂纹, 其中第二锆基合金包括作为合金材料的锡, 并且其中每一种锆基合金包括至少 96 重量百分比的锆, 其特征在于, 第一锆基合金包括 500-2000ppm 重量的氧, 第一锆基合金的主要合金材料包括铌、铁和锡, 以及其中在第一锆基合金中的任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比, 并且第一锆基合金包括至少 0.1 重量百分比的铌。

2. 如权利要求 1 所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第一锆基合金包括 0.6-1.2 重量百分比的铌。

3. 如权利要求 1 所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第一锆基合金包括 1.0-1.1 重量百分比的铌。

4. 如权利要求 1 所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第一锆基合金包括 1.02-1.04 重量百分比的铌。

5. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第一锆基合金包括 0.6-1.2 重量百分比的锡。

6. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第一锆基合金包括 0.6-1.0 重量百分比的锡。

7. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第一锆基合金包括 0.6-0.8 重量百分比的锡。

8. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第一锆基合金包括 0.1-0.3 重量百分比的铁。

9. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第二锆基合金的主要合金材料是锡和铁, 并且其中第二锆基合金中的任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比。

10. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第二锆基合金包括 0.1-1 重量百分比的锡。

11. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 第二锆基合金包括 0.02-0.3 重量百分比的铁。

12. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 内层 (7) 部分重新结晶。

13. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 内层 (7) 完全重新结晶。

14. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 外层 (6) 部分重新结晶。

15. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 外层 (6) 的重新结晶程度是 45% -90%。

16. 如权利要求 15 所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 外层 (6) 的重新结晶程度是 50% -70%。

17. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 所述包壳管

通过第一锆基合金的第一管 (8) 和第二锆基合金的第二管 (9) 的共同挤压成形来制造。

18. 如权利要求 1-4 任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 内层 (7) 的厚度是反应器燃料包壳管 (4) 的厚度的 5-40%。

19. 如权利要求 18 所述的水反应器燃料包壳管 (4), 其特征在于, 内层 (7) 的厚度是反应器燃料包壳管 (4) 的厚度的 5-15%。

20. 一种水反应器燃料棒 (3), 包括如上述权利要求任一项所述的水反应器燃料包壳管 (4), 以及通过水反应器燃料包壳管 (4) 包围的燃料丸粒。

21. 一种反应器燃料组件 (1), 包括如权利要求 20 所述的至少两个燃料棒 (3)。

22. 一种制造水反应器燃料包壳管 (4) 的方法, 包括如下步骤:

提供具有内直径和外直径的第一锆基合金的第一管 (8);

提供具有内直径和外直径的第二锆基合金的第二管 (9), 其中第二管 (9) 的外直径基本上等于第一管 (8) 的内直径;

将第二管 (9) 插入第一管 (8); 以及

共同挤压成形第一管 (8) 和第二管 (9), 以便形成水反应器燃料包壳管 (4), 其中第二锆基合金包括作为合金材料的锡, 并且每一种锆基合金包括至少 96 重量百分比的锆, 其特征在于, 第一锆基合金包括 500-2000ppm 重量的氧, 第一锆基合金的主要合金材料是铌、铁和锡, 以及其中在第一锆基合金中的任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比, 并且第一锆基合金包括至少 0.1 重量百分比的铌。

23. 如权利要求 22 所述的方法, 其特征在于, 在第二管 (9) 插入第一管 (8) 之前, 第一管 (8) 的内表面被机械加工, 使得第一管 (8) 的内直径基本上与第二管 (9) 的外直径相对应。

24. 如权利要求 22 或 23 所述的方法, 其特征在于, 该方法还包括热处理水反应器燃料包壳管 (4) 的步骤, 使得第二管 (9) 完全重新结晶, 并且使得第一管 (8) 部分重新结晶。

25. 如权利要求 24 所述的方法, 其特征在于, 第一管 (8) 重新结晶的程度是 45% -90%。

26. 如权利要求 25 所述的方法, 其特征在于, 第一管 (8) 的重新结晶的程度是 50% -70%。

27. 如权利要求 24 所述的方法, 其特征在于, 热处理在 485-565°C 下进行。

28. 如权利要求 27 所述的方法, 其特征在于, 热处理进行 1-6 小时。

水反应器燃料包壳管及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种水反应器燃料包壳管,包括分别具有第一锆基合金和第二锆基合金的内层和外层。本发明还涉及一种包括这种水反应器燃料包壳管的燃料棒和燃料组件。

背景技术

[0002] 用于水反应器的燃料包壳管通常由锆基合金制造。所使用的合金实例是锆合金-2和锆合金-4。燃料棒通过将燃料丸粒插入包壳管内来形成。燃料组件包括多个燃料棒。

[0003] 在反应器内使用锆基合金包壳管时出现的问题是形成从包壳管的内表面出现的裂纹,如 EP0194797 描述那样。确信裂纹是在反应器的功率输出快速增加时由于包壳管和燃料丸粒之间接触而形成的,即所谓的丸粒包壳相互作用 (PCI)。EP 0194797 通过锆基合金的保护内层来解决此问题。

[0004] 在压力水反应器 (PWR) 中,来自于反应器的功率输出没有如同沸腾水反应器那样快速增加,并且因此在 PWR 内形成的裂纹没有 BRW 那样常见。因此,认为 PWR 内的保护内层没有 BWR 那样重要。

[0005] 但是,已经发现由于丸粒包壳相互作用 (PCI) 在压力水反应器的包壳管内还存在出现裂纹的问题。

发明内容

[0006] 本发明的目的在于提供一种水反应器燃料包壳管,在耐腐蚀方面具有有利的性能。特别是,本发明旨在这种用于压力水反应器的耐腐蚀水反应器燃料包壳管。

[0007] 本发明的另一目的在于提供一种制造水反应器燃料包壳管的方法,包壳管在耐腐蚀方面具有有利的性能。特别是本发明旨在一种制造这种用于压力水反应器的耐腐蚀水反应器燃料包壳管。

[0008] 这些目的通过如独立权利要求所述的水反应器燃料包壳管以及方法来实现。

[0009] 本发明的另外的优点通过从属权利要求限定的特征来实现。

[0010] 按照本发明的第一方面,提供一种水反应器燃料包壳管。水反应器燃料包括具有第一锆基合金的外层,外层具有冶金结合其上的第二锆基合金的内层,内层适用于保护包壳管而不应力腐蚀裂纹。第二锆基合金包括作为合金材料的锡,并且每一锆基合金包括至少 96 重量百分比的锆。水反应器燃料包壳管的特征在于第一锆基合金包括至少 0.1 重量百分比的铌。

[0011] 通过在外层具有含铌的合金,与外层是没有没有铌的锆基合金相比,水反应器燃料包壳管使得压力水反应器更加耐腐蚀。另外,作为合金材料添加含有锡的锆基合金的内层,与没有包括锡的任何锆基合金的水反应器燃料包壳管相比,改善了水反应器燃料包壳管抵抗裂纹形成的能力。

[0012] 第一锆基合金的主要合金材料可以是铌、铁和锡,其中任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比。特别是在压力水反应器中,这种合金提供有关腐蚀的有利性能。

[0013] 第一锆基合金的主要合金材料可包括铬。在锆存在于第一锆基合金内的情况下，铬的含量优选是 0.05-0.1 重量百分比。

[0014] 第一锆基合金可包括氧。在氧存在于第一锆基合金的情况下，氧的含量最好是 500-2000ppm 的重量。

[0015] 按照本发明的实施例，第一锆基合金可包括 0.6-1.2 重量百分比的铌、优选是 1.0-1.1 重量百分比的铌、最优选是 1.02-1.04 重量百分比的铌。另外，第一锆基合金包括 0.6-1.2 重量百分比的锡、优选是 0.6-1.0 重量百分比的铌、最优选是 0.6-0.8 重量百分比的铌。另外，第一锆基合金包括 0.1-0.3 重量百分比的铁。这种合金通常称为 Zirlo 并且还可包括铬和氧，其含量在下面的两个段落中明确说明。Zirlo 证明是压力水反应器中有利的合金。还可以使用具有所述唯一一种或几种合金材料的合金。

[0016] 作为以上描述的实施例的选择，第一锆基合金的主要合金材料是铌，并且任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比。第一锆基合金最好包括 0.6-1.2 重量百分比的铌。

[0017] 第一锆基合金还可包括如权利要求 12-31 任一项限定的合金材料。这些合金提供高耐腐蚀性能。

[0018] 按照本发明的实施例，第二锆基合金的主要合金材料是锡和铁，其中任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比。第一锆基合金最好包括 0.1-1 重量百分比的锡。这种合金有利于之处在于它足够柔软，防止水反应器燃料包壳管内形成由于接触而造成的裂纹。

[0019] 对于由于接触而造成的裂纹来说，为了提供最佳性能，第二锆基合金包括 0.02-0.3 重量百分比的铁。

[0020] 如上述权利要求任一项的水反应器燃料包壳管，其中外层是局部重新结晶的。

[0021] 为了提供抵抗水反应器燃料包壳管中裂纹的最佳性能，内层最好是完全重新结晶的。

[0022] 在水反应器燃料包壳管的外层局部重新结晶的情况下，外层内的重新结晶的程度 45% -90%，并且最好是 50% -70%。

[0023] 按照本发明的水反应器燃料包壳管可通过任何方式制造。按照本发明的实施例，水反应器燃料包壳管通过第一锆基合金的第一管和第二锆基合金的第二管的共同挤压成形来制造。这种方法提供制造高质量管的可能性。

[0024] 按照本发明的水反应器燃料包壳管的内层厚度是反应器燃料包壳管厚度的 5-40%，并且最好是反应器燃料包壳管厚度的 5-15%。这提供抵抗裂纹形成的良好保护，同时减小水反应器燃料包壳管重量。

[0025] 按照本发明的第二方面，提供一种水反应器燃料棒，包括按照本发明的水反应器燃料包壳管以及通过水反应器燃料包壳管包围的燃料丸粒。

[0026] 按照本发明的第三方面，提供一种水反应器燃料组件，包括按照本发明的至少两个燃料棒。

[0027] 按照本发明的第四方面，提供一种制造水反应器燃料包壳管的方法。该方法包括提供具有内直径和外直径的第一锆基合金的第一管的步骤，提供具有内直径和外直径的第二锆基合金的第二管的步骤，其中第二管的外直径基本上等于第一管的内直径，将第二管插入第一管，并且第一管和第二管共同挤压成形以便形成水反应器燃料包壳管。每一种锆基合金包括至少 96 重量百分比的锆。该方法的特征在于第一锆基合金包括至少 0.1 重量

百分比的铌。

[0028] 在制造的水反应器燃料包壳管中,外层与第一管相对应,并且内层与第二管相对应。

[0029] 本领域公知的是通过在管的共同挤压成形之前将第一管插入第二管来制造包壳管。在将第一管插入第二管之前,第二管内部通常被侵蚀以便在第二管内形成平滑表面,并且使得第二管的内直径大致等于第一管的外直径。但是在管包括含铌的锆基合金时,由于侵蚀过程将在管的表面上留下纯铌形式的残留产品,不利地侵蚀管的表面。

[0030] 按照本发明的实施例,第一管的内表面被机械加工,在第二管插入第一管之前,使得第一管的内直径大致与第二管的外直径相对应。

[0031] 该方法还包括热处理水反应器燃料包壳管的步骤,使得内层完全重新结晶,并且使得外层部分重新结晶。

[0032] 按照本发明的实施例,热处理进行直到外层的重新结晶程度是 45% -90%,并且最好直到外层的重新结晶的程度是 50% -70%。这已经证明是重新结晶的有利程度。

[0033] 按照本发明的实施例,热处理在 485-565℃ 下进行 1-6 小时。

[0034] 这提供所述重新结晶的所需程度。本领域的普通技术人员容易对于重新结晶的程度在所述的间隔内找到准确的温度和时间以实现外层重新结晶的所需程度。

[0035] 下面,本发明的优选实施例将参考附图描述。

附图说明

[0036] 图 1 示意表示用于 PWR 的现有技术燃料组件;

[0037] 图 2 以截面图表示按照实施例的水反应器燃料包壳管;

[0038] 图 3 表示第一管和第二管,表示制造图 2 所示的燃料包壳管的方法。

具体实施方式

[0039] 在本发明的优选实施例的以下描述中,相同的参考标号将用于不同附图的类似结构,而不按照比例绘制。

[0040] 图 1 示意表示用于 PWR 的现有技术燃料组件。燃料组件包括顶板 4 和底板 5。在顶板 4 和底板 5 之间延伸用于控制杆的多个引导管 3。另外,燃料组件包括多个包壳管 1。这些包壳管 1 因此获得核燃料材料,并且由此称为燃料棒。在用于 PWR 的此类型燃料组件中,燃料棒不一直达到顶板 4 和底板 5。燃料棒在燃料组件内通过间隔件 2 保持就位。

[0041] 图 2 以截面图表示按照本发明实施例的水反应器燃料包壳管 4。燃料包壳管包括外层 6 和内层 7。外层 6 具有第一锆基合金,而内层 7 具有第二锆基合金。

[0042] 第一锆基合金包括铌。第一锆基合金的实例包括 0.6-1.2 重量百分比的铌、0.6-1.2 重量百分比的锡以及 0.1-0.3 重量百分比的铁,其中任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比。第一锆基合金还可具有 0.05-0.1 重量百分比的铬以及 500-2000ppm 的氧。包括所述物质的合金有时称为 Zirloy。

[0043] 第一锆基合金的第二实例具有 0.6-1.2 重量百分比的铌,其中任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比。

[0044] 第一锆基合金的第三实例包括 0.6-1.5 重量百分比的铌、0.05-0.40 重量百分比

的锡、0.02-0.30 重量百分比的铜、0.1-0.30 钒以及任选的 0.01-0.1 重量百分比的铁。任何另外物质的总含量不大于 0.50 重量百分比,并且最好不大于 0.30 重量百分比。另外的物质指的是除了主要合金材料之外的物质。

[0045] 第一锆基合金的第四实例包括 0.6-1.5 重量百分比的铌、0.02-0.30 重量百分比的铜、0.15-0.35 重量百分比的铬以及任选的 0.01-0.1 重量百分比的铁。任何另外物质的总含量不大于 0.50 重量百分比,并且最好不大于 0.30 重量百分比。

[0046] 第一锆基合金的第五实例包括 0.2-1.5 重量百分比的铌、0.05-0.40 重量百分比的锡、0.25-0.45 重量百分比的铁、0.15-0.35 重量百分比的铬以及任选的 0.01-0.1 重量百分比的镍。任何另外物质的总含量不大于 0.50 重量百分比,并且最好不大于 0.30 重量百分比。

[0047] 第二锆基合金的第一实例包括 0.1-1 重量百分比的锡,其中任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比。

[0048] 第二锆基合金的第一实例包括 0.1-1 重量百分比的锡以及 0.02-0.3 重量百分比的铁,其中任何另外物质的含量低于 0.05 重量百分比。

[0049] 制造第一锆基合金管以及第二锆基合金管的方法在本领域是公知的,并且将不在这里描述。

[0050] 图 3 表示第一管和第二管,以说明制造图 2 所示燃料包壳管的方法。提供第一锆基合金的第一管 8 和第二锆基合金的第二管 9。第一管 8 限定第一孔 10,并且第二管 9 限定第二孔 11。第一管和第二管 具有内直径和外直径。第一管 8 的内侧和 / 或第二管 9 的外侧被机械加工,直到第一管 8 的内直径基本上等于第二管 9 的外直径。第二管 9 接着插入第一管 8。第一管 8 和第二管 9 的组件接着共同挤压成形到水反应器燃料包壳管 4 内,如图 2 所示,其中外层 6 与第一管 8 相对应,并且内层 7 与第二管 9 相对应。在共同挤压成形过程中,外层 6 和内层 7 冶金结合在一起。由于共同挤压成形是本领域普通技术人员公知的,它将不在这里详细描述。

[0051] 内层 7 的耐腐蚀性能的进一步改进可通过在结合到第一管 8 之前引入第二管 9 的另外热处理来获得。在第二锆基合金不包括锡时在 600℃ -800℃ 下并且在第二锆基合金包括锡时在 650℃ -750℃ 下,此另外热处理在 α 相下进行。最好是,热处理在 650℃ -750℃ 下进行。在第二管 9 结合到第一管 8 之前,或者在过程链的较早阶段,例如在第二管 9 挤压成形之前,此额外的热处理可作为最后步骤进行。

[0052] 在共同挤压成形之后,其中水反应器燃料包壳管 4 已经形成,水反应器燃料包壳管在 485℃ -565℃ 下热处理长达 1-6 小时,直到内层 7 完全重新结晶,并且外层的重新结晶的程度是 40-50%。

[0053] 所述实施例可以许多方式修改,而不偏离只由权利要求限定的本发明的精神和范围。

[0054] 在本发明的范围内物质可以具有所述含量以外的含量。

[0055] 按照本发明的水反应器燃料包壳管可用于沸腾器水反应器以及压力水反应器。

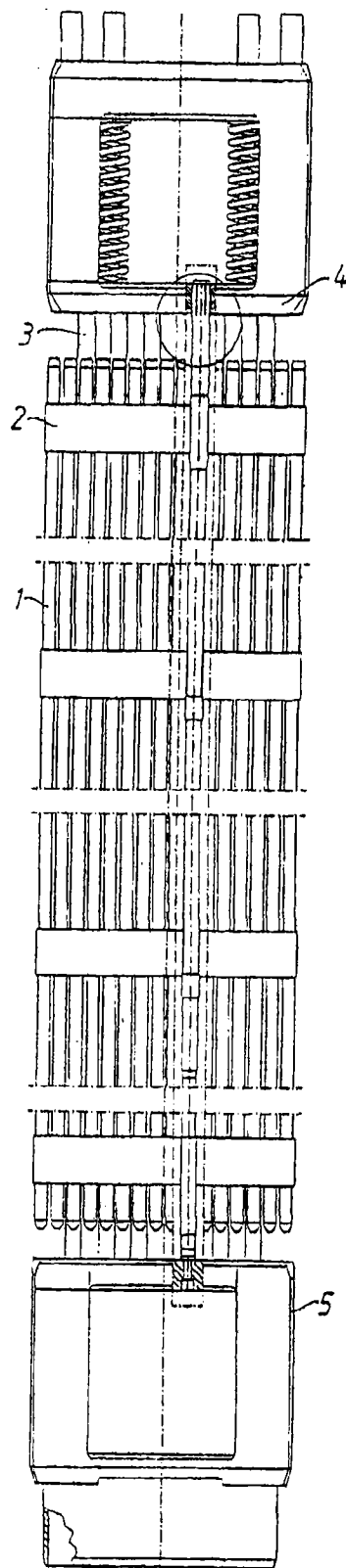


图 1

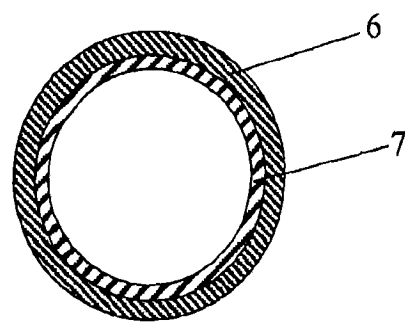


图 2

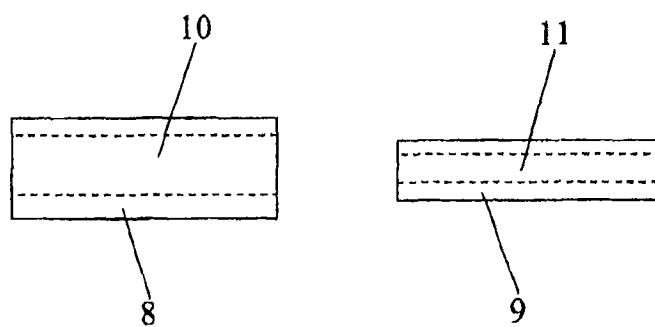


图 3