[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
F25B 9/00 (2006.01)

[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200310114826.2

[45] 授权公告日 2008 年 11 月 5 日

[11] 授权公告号 CN 100430672C

[22] 申请日 2003.11.7
[21] 申请号 200310114826.2
[30] 优先权
[32] 2002.11.7 [33] GB [31] 0226000.8
[73] 专利权人 牛津磁体技术有限公司
地址 英国牛津
[72] 发明人 H·潘 T·休斯 K·怀特
[56] 参考文献
GB2237866 A 1991.5.15
US5295355A 1994.3.22
US5435136A 1995.7.25
审查员 杨 轶

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司
代理人 崔幼平 赵 辛

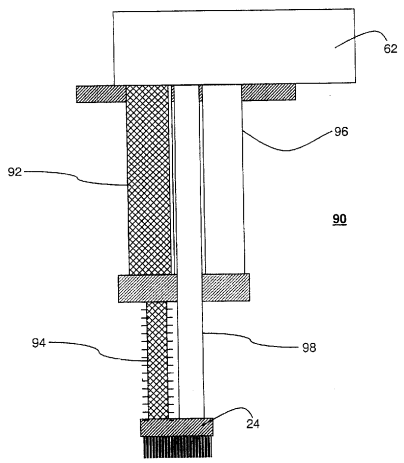
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 11 页

[54] 发明名称

脉冲管制冷器及其使用方法

[57] 摘要

本发明涉及用于再冷凝低温液体的脉冲管制冷器。 本发明尤其涉及用于与核磁共振成像设备相关的脉冲管制冷器。 在许多低温应用场合中，通过保持例如用于核磁共振成像(MRI)的超导线圈、超导互感器、电子器件的部件与大量的液化气体(例如氦、氖、氮、氩、甲烷)接触来冷却这些部件。 在本发明的第一方面中，本发明提供了一种在低温设备中的脉冲管制冷器装置，该脉冲管制冷器装置的再生器管沿着该再生器管的长度设置在再生器管的外表面上的热交换翅片，以从围绕所述脉冲管制冷器装置的管的气体环境向该再生器管传递热量。 在这种构形中，翅片或阻挡装置增大了用于从氦气环境向再生器分配传热的表面面积。



1.一种在低温设备中的具有脉冲管和再生器管的脉冲管制冷器装置，其中，该脉冲管制冷器的再生器管具有沿着该再生器管的长度设置在再生器管的外表面上的热交换翅片，以从围绕所述脉冲管制冷器装置的管的气体环境向该再生器管传递热量。

2.如权利要求 1 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，第一再生器管在沿着该管的长度的一部分上设置有翅片。

3.如权利要求 1 或 2 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该脉冲管制冷器装置是多级的脉冲管制冷器装置。

4.如权利要求 3 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该脉冲管制冷器装置包括两个级，每一级具有脉冲管和再生器管；并且第二级再生器管具有沿着该再生器管的长度设置在再生器管的外表面上的热交换翅片。

5.如权利要求 1 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该再生器管由合金制成。

6.如权利要求 1 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该翅片包括环形翅片。

7.如权利要求 6 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该环形翅片沿该再生器管的外侧有规律地间隔开。

8.如权利要求 6 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该环形翅片具有不同的尺寸。

9.如权利要求 1 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该翅片包括一个或多个螺旋布置的带片。

10.如权利要求 1 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该翅片包括向外延伸的刺。

11.如权利要求 1 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该翅片包括围绕该再生器管的周边装接的矩形板，该板沿一个边缘装接该再生器管上。

12.如权利要求 1 所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该再生器管具有波纹结构，该管相对于该管的轴线轴向地具有波纹，或相对于所述轴线垂直地具有波纹，所述再生器管的波纹形成包括所述再生器管部分壁的热交换翅片。

13.如权利要求 1-12 中的任一项所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，一个或多个脉冲管具有隔热壁。

14.如权利要求 1-12 中的任一项所述的脉冲管制冷器装置，其特征在于，该脉冲管制冷器与核磁共振成像设备相联合。

15.一种使用在低温设备中的具有脉冲管和再生器管的脉冲管制冷器装置的方法，其中，该脉冲管制冷器装置的再生器管具有沿着该再生器管的长度设置在再生器管的外表面上的热交换翅片，该方法包括:

给脉冲管制冷器组件提供一制冷器保护套，所述保护套含有氦气柱，所述氦气柱是围绕该脉冲管制冷器组件的管的气体环境;

从围绕该脉冲管制冷器组件的管的气体环境经由所述热交换翅片向该再生器管传递热量的步骤。

16.如权利要求 15 所述的方法，其特征在于，所述脉冲管制冷器组件与核磁共振成像设备相联合。

脉冲管制冷器及其使用方法

技术领域

本发明涉及一种用于再冷凝低温液体的脉冲管制冷器。本发明尤其涉及用于核磁共振成像系统的脉冲管制冷器。

背景技术

在许多低温应用场合中，通过保持例如为用于核磁共振成像（MRI）的超导线圈、超导互感器、电子器件的部件与大量的液化气体（例如氦、氖、氮、氩、甲烷）接触来冷却这些部件。在这些部件中的任何热排散或热量进入该系统中将导致一部分发生气化。为了弥补该损失，需要重新补充。该工作操作被使用者认为是有问题的，并且多年来已经作出许多努力以便引入制冷器，该制冷器使任何损失液体再冷凝以返回到浴槽中。

在图 1 中示出了 MRI（核磁共振成像）磁体的两级 Gifford McMahon(GM)式冷头再冷凝器，以作为现有技术的一个示例。为了使由附图标记 10 总体上表示的 GM 冷头可拆卸以便维护或维修，插入了一个保护套，其使得（室温的）真空容器 16 的外端面连接到处于 4K 的氦浴槽 18。MRI 磁体由附图标记 20 来表示。该保护套由薄壁不锈钢管制成，以形成第一级套筒 12 和第二级套筒 14，以便使在室温与在深冷温度下工作的保护套的冷端之间的热传导最小化。该保护套充注有氦气 30，该氦气在冷端处于 4.2K，而在暖端处于室温。冷头的第一级套筒 12 连接到保护套的中间热工位 22，以便在例如为 40-80K 的中间温度下排出热量，第二级套筒 14 也连接到其上。冷头的第二级 24 连接到氦气的再冷凝器 26。热量由经过颈部的热传导、从热辐射屏蔽件 42 的热辐射、以及其它热源产生，其它热源例如为用于磁体的机械悬架系统（未示出）、以及用于浴槽充注液体的检修用颈部（未示出）、仪器的接线开口、气体逃逸路径等。中间部段 示出了通道 38，其使得氦气从由套筒 14 围绕的腔体中流出。多个通道可环形地分布在该中间部段周围。该腔体也与主浴槽 36 流体连通，磁体 20 设置在该主浴槽 18 中。所示的凸缘 40 与套筒 12 相关，以便有助于该保护套装接到真空容器 16 上。热辐射屏蔽件 42 设置在氦浴槽和外真空容器的壁的中

间。

冷头的第二级用作处于 4.2K 的再冷凝器。因为其比周围的氦气（He）稍冷，所以气体在表面上冷凝并且成滴以便返回到储液器中，（该表面可设置有翅片以增大表面面积）。冷凝在局部降低了压力，这使得更多的气体被拉向第二级。已经计算出，几乎没有由于氦的自然对流引起的任何损失，这通过实验得到证实，在该实验中冷头和保护套垂直取向（以限定成暖端朝上）。在 Gifford McMahon(GM)式冷却器和壁的温度分布曲线中的任何差别形成重力辅助的气体对流，其中气体的密度随温度的改变是非常大的，（例如在 4.2K 时密度为 16kg/m^3；在 300K 时密度为 0.1616kg/m^3）。对流使得保护套壁和制冷器的温度分布曲线平衡。剩余的热损失是较小的。

当该装置倾斜时，自然对流形成非常大的损失。该问题的解决方案在授权给 Mitsubishi 的美国专利 US-A-5583472 中进行了描述。在此不进行详细描述，该专利文件涉及垂直取向或与垂直方向成小角度（<30 度）。

已经表明，脉冲管制冷器（PTR）可实现在温度为 4.2K（液体氦在常压下的沸点）或以下时的有用冷却，（C.Wang and P.E.Gifford, Advances in Cryogenic pressure, 45, Shu 等人编辑, Kluwer Academic/Plenum 出版社, 2000 年, 第 1-7 页）。脉冲管制冷器是具有吸引力的，这是因为其避免在制冷器的冷部分中设置任何移动的部件，由此降低了制冷器的振动和磨损。现参照图 2，示出了包括独立管结构的脉冲管制冷器 50，该独立管与热工位连接。每一级具有一个再生器管 52、54，其中填充有不同形式的固体材料（例如筛孔、填充球、粉末）。该材料用作与脉冲管制冷器的工作流体的热缓冲和热交换部分，（通常氦气处于 1.5-2.5Mpa 的压力下）。每一级具有一个脉冲管 56、58，该脉冲管是中空的并且用于该工作流体的膨胀和压缩。在两级的脉冲管制冷器中，第二级脉冲管 56 通常使第二级 60 与处于室温的暖端 62 联接，第一级脉冲管 58 使得第一级 64 与暖端联接。

已经发现，在优化状况下以真空工作的脉冲管制冷器通常沿脉冲管的长度形成这样一种温度分布曲线，该温度分布曲线与在相同温度范围内的另一脉冲管的温度分布曲线显著不同，并且在保护套中形成稳态的温度分布曲线部分，如图 3 所示。

另一现有技术的脉冲管制冷器在图 4 中示出，其中保护套插入脉冲管中，并且该脉冲管暴露在氦环境中，重力导致的对流流动 70、72 在第一级和第二级中形成。脉冲管制冷器单元 50 设置有冷级 31、33，其在外真空容器 16 中设定在凹部中。设置有一与第一套筒端 22 接触的热辐射屏蔽件 42。所示的再冷凝器 26 在第二级 33 的端壁上。如果在给定高度处不同部件的温度不相同，则温度较高的部件将加热周围的氦，对其施加浮力使其上升，在较冷的部件周围，气体被冷却并向下降。所获得的热损失是非常大的，这是因为氦气在 1 巴压力下在 4.2-300K 之间密度改变 100 倍。脉冲管制冷器的净冷却功率在 50K 时例如为 40W，在 4.2K 时为 0.5-1W。计算出的损失为 5-20W 的数量级。脉冲管的内部工作过程通常将受到影响，尽管在 GM 制冷器中没有出现这种影响。在脉冲管制冷器中，在脉冲管中的优化的温度分布曲线作为优化性能的基础，该温度分布曲线通过许多参数的影响的精确过程平衡而获得，这些参数例如为所有管的几何形状、流动阻力、速率、传热系数、阀机构等。（在 Ray Radebaugh 所著的，在 1996 年 5 月 20-24 日在日本 Kitakkyushu 举办的 International Cryogenic Engineering Conference 会议的论文集中，第 22-24 页中进行了描述）。

因此，在氦气的环境中，脉冲管制冷器不必达到 4K，尽管它们可在真空状态下达到该温度。然而，如果脉冲管制冷器插入到真空保护套中，通过实心壁与 4K 温度热接触，这通常起作用。这种解决方案对于 GM 制冷器在（授权给 William E. Chen, GE 的美国专利 US-A-5613367）中进行了描述，尽管使用脉冲管制冷器是可行的并且直接了当。然而，缺点是处于 4K 的冷端的热接触产生了热阻，该热阻有效第降低了用于制冷的功率。例如在由铟垫片制成的现有技术的热接点部分的状况下，在 4K 时接触热阻达到 0.5K/W（例如见 GE 的 US-A-5918470）。如果低温冷却器可在 4.2K 时吸收 1W（例如由 Sumitomo Heavy Industries 提供的型号 RDK408），随后再冷凝器的温度将升高到 4.7K，这导致超导线圈的电流承载能力剧烈下降。或者，功率更大的低温冷却器需要在 3.7K 时产生 1W，以便首先使得在该接点的远侧上获得冷却功率。

图 5 示出了这种脉冲管制冷器装置 76 的示例。部件与图 4 所示的

大致相同。热垫片 78 设置在脉冲管制冷器冷头的第二级与带翅片的散热装置 26 之间。密封氦的壁设置在热垫片与散热装置之间。

发明内容

依据本发明的第一方面，提供了一种在低温设备中的脉冲管制冷器装置和使用该脉冲管制冷器装置的方法，其中，该脉冲管制冷器的再生器管具有沿着该再生器管的长度设置在再生器管的外表面上的热交换翅片，以从围绕所述脉冲管制冷器装置的管的气体环境向该再生器管传递热量。理想的是，具有多个翅片。该翅片适当地包括环形盘，并沿再生器管的长度间隔开。或者，该翅片包括向外延伸的指形件或刺。该翅片可包括单个螺旋结构。相关联的保护套适当地包围脉冲管的所有的管，仅留出在再生器管和脉冲管与保护套的壁之间的小的环形间隙。该管的壁由例如薄间距的不锈钢或合金的材料制成。

本发明提供了一种用于脉冲管制冷器的再生器，该再生器用作分配冷却器，也就是说沿再生器的长度具有制冷功率。这意味着再生器可截获（吸收）一部分向下传递给制冷器保护套（颈管、氦气柱、再加上其它部件）的热量。尽管该热量的吸收使得第二级的性能恶化，在某种程度上，该恶化不及由再生器吸取（截获）的热量，因此在冷却功率方面获得净增益。由于沿再生器设置翅片，通过强化了氦气柱（和颈管等）的传热（即通过增大可用于传热的表面面积），从而增加了该再生器的分配冷却功率，也就是说，该翅片或阻挡装置增大了用于从氦气环境向再生器分配传热的表面面积。

附图说明

参照附图和以下的详细描述，可更容易地理解本发明以及本发明的各个方面和特征，在附图中：

图 1 示出了在 MRI（核磁共振成像）磁体中的两级的 Gifford McMahon(GM)式冷头再冷凝器；

图 2 示出了包括独立管的结构的脉冲管制冷器，该管在热工位处连接；

图 3 示出了保护套的温度分布曲线；

图 4 示出了插入保护套的脉冲管；

图 5 示出了现有技术的带有可拆卸热触部的脉冲管的示例；

图 6 示出了本发明的第一实施例；

图 6A 示出了第一实施例的再生器管的截面图；

图 7A-G 示出了再生器管的各种形式；和

图 8-10 示出了本发明的另一变型。

具体实施方式

结合示例来描述本发明人构想出的用于实施本发明的最佳形式。在以下描述中，进行了大量的详细描述，以便完全理解本发明。然而对于本领域的普通技术人员来说，明显的是，本发明可由特定实施例所述的各种变型来实施。

参照图 6，其示出了本发明的第一实施例，其中示出了两级的脉冲管制冷器装置。再生器管 92、94 和脉冲管 96、98 在图中示出，其中再生器管 94 带有翅片。

图 6A 示出了经再生器管 94 的截面图，其示出了围绕管 94 的环形盘形式的环形翅片 104。该再生器管壁与该翅片以适当方式同时制成，优选地由具有中等导热率的相同材料制成，该材料例如为奥氏体不锈钢。可使用包括黄铜和铝合金的其它材料。然而，如果翅片和管的成分材料是不同的，则优选的是该翅片由高导热率的材料制成，而该管由中等导热率的材料制成。对于低压的脉冲管制冷器来说，可使用复合材料，该材料具有中等的导热率，并且该管设置有由铜或其它的高导热率的材料制成的翅片。应当注意到，纯金属在低温下具有高导热率。

该翅片应当具有性能非常好的与该再生器的热接触部分，这可通过例如软焊、焊接、或钎焊来实现。该翅片截获在颈部内向下传递给氦气柱、颈管、和其它部件的热量。公认的是，热量的吸收可使得第二级的性能恶化，但是认为这种在功率方面的恶化不及由再生器吸取的热量，并且因此在可用于的冷却功率和氦气的再冷凝率方面获得净增益。翅片的设置由于增大可用的表面面积使得与氦气柱的传热得到强化因此增大了分配的冷量。这些翅片可用于第一级再生器，以便使得从温度 300K 的级到第一级的热负荷最小化。这种构形的另一优点在于，这些翅片可防止高温和低温水平面之间的自由对流的阻挡装置。因此，可降低该自然对流及其对第二级的热负荷。

在图 7A-F 中，示出了不同机械形式的翅片管 94。在图 7A 中，翅片结构包括环形盘 120 围绕直的再生器管 94’ 布置。该管壁足够厚，

以便在抽真空过程中承受周围氦气压力，以防止破裂。翅片以等间距的间隔适当地设置并且优选具有相同的尺寸。

在图 7B 中，翅片包括固定到再生器管 94''上的螺旋带 122。在图 7C 中，翅片包括围绕管 94'''的销钉 126，这种结构类似于刺猬的刺。然而，该结构不能降低围绕管的对流流动，但是这可容易地使得气流通过，这种情况是例如在骤冷过程中所需的。

在图 7D 中，管 128 具有类似于可折叠的波纹管的波纹结构。在图 7E 中，板 130 围绕管 94'''' 设置；该板如此装接，即，使得它们与管的轴线平行。管 132 具有波纹结构，其中波纹的轴线平行管的轴线。

图 7F 所示的管 132 具有波纹结构，其中折皱布置成平行管的轴线。在图 7G 中，翅片包括仅覆盖管的长度的一部分的环形翅片。这种形式的管优选用于上部分，这是因为参照图 3 所示颈管的温度对应于第一再生器的温度。也就是说，沿第一再生管的长度在该管上完全地设置翅片将会对于高效工作具有反作用。

用于单独管的翅片可彼此不同。在一些应用场合中，必需在第一级和第二级再生器上设置翅片。本发明的教示可应用于公开的 PCT 专利申请 PCT/EP02/11882。换言之，除了再生管具有翅片以便有助于经过管壁的热传导之外，脉冲管可进行隔热处理，以降低经过脉冲管壁的热传导。

图 8 示出了带有隔热套筒的脉冲管 101、103 以及带有翅片 104 的再生管 94。图 9 仅示出了带有隔热套筒的脉冲管 101 和带有翅片 104 的再生管 94。图 10 示出了与图 8 相似的结构，除了再生管 92 也设置有翅片。

尽管大多数应用为低温，例如处于或大约 4K 的温度以便 MRI 设备使用两级冷却器来工作，但是相同的技术可应用于单级冷却器或三级或多级冷却器。

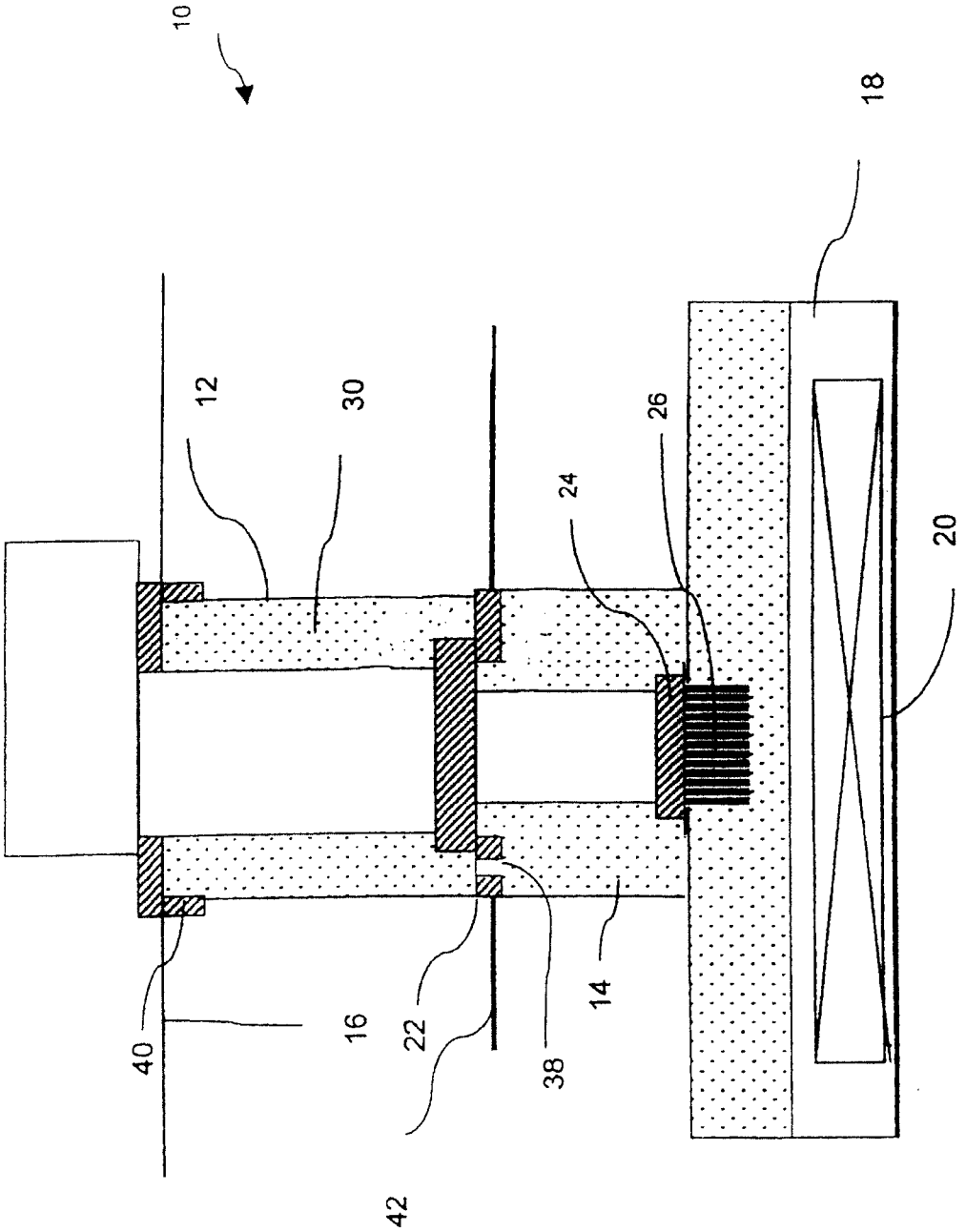


图 1

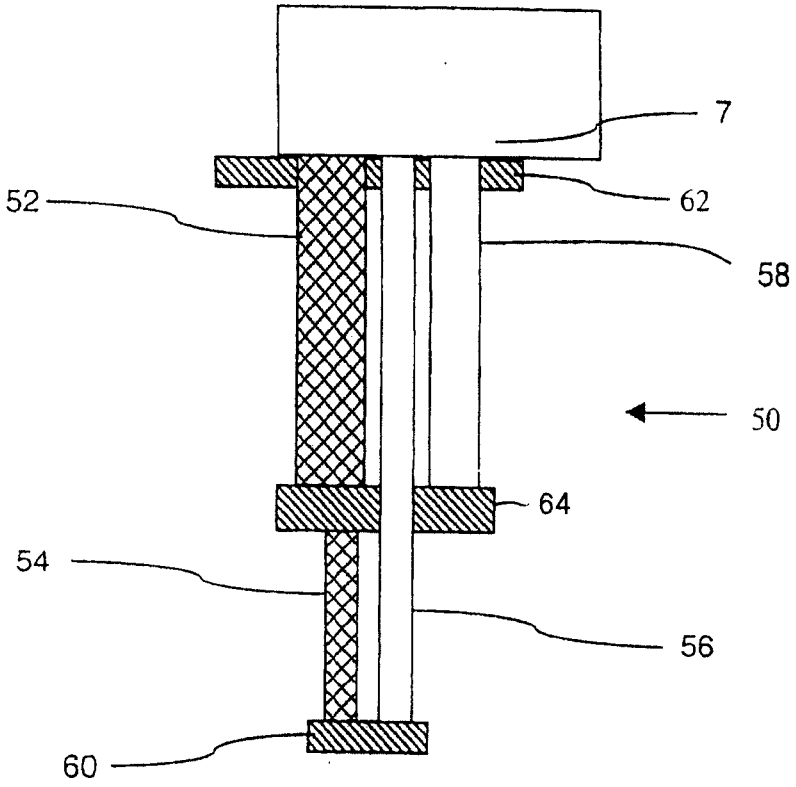


图 2

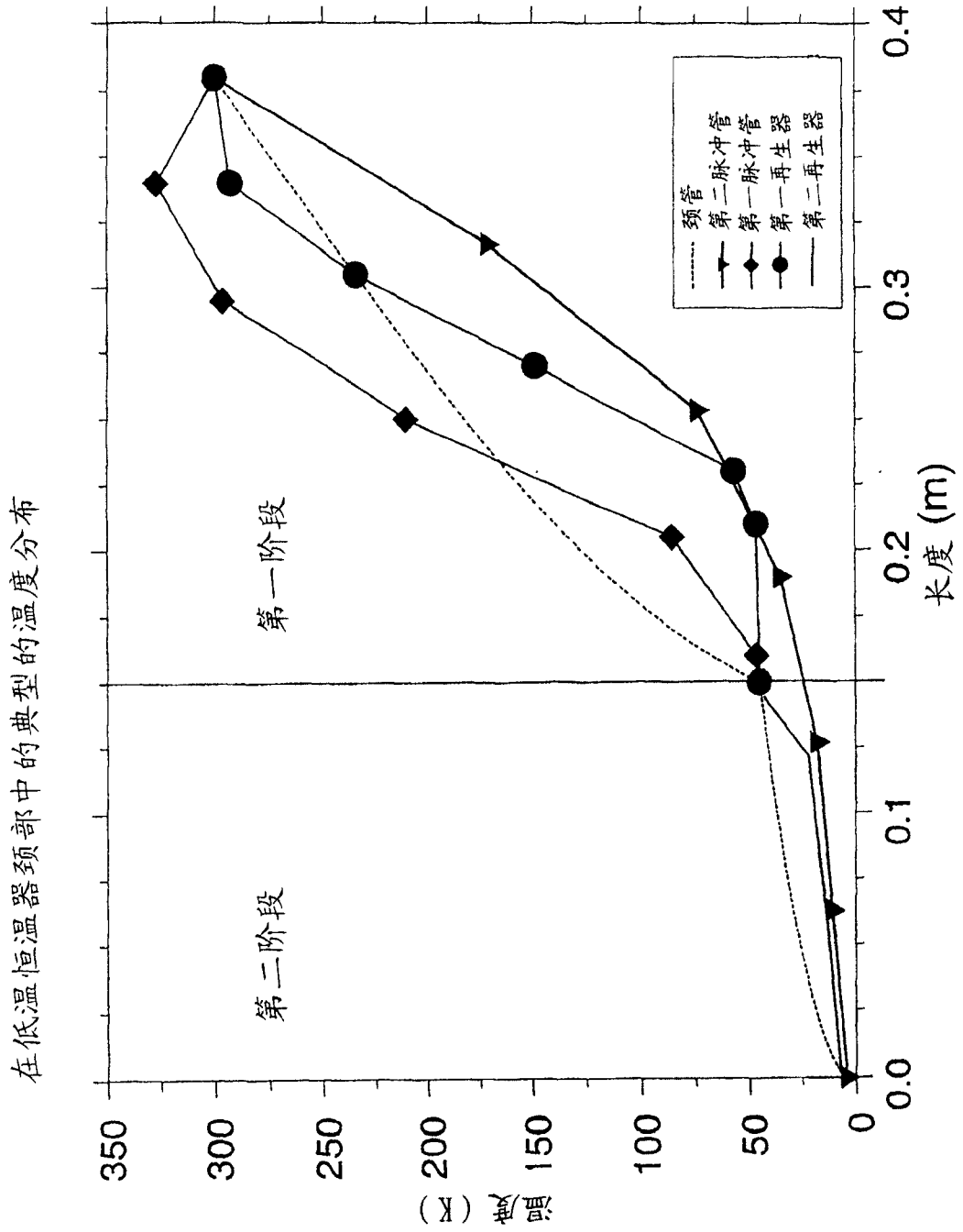

在低温恒温器颈部中的典型的温度分布
温度 (K)
长度 (m)
第一阶段
第二阶段
颈管
第二脉冲管
第一脉冲管
第一再生器
第二再生器
0
50
100
150
200
250
300
350
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4

图 3

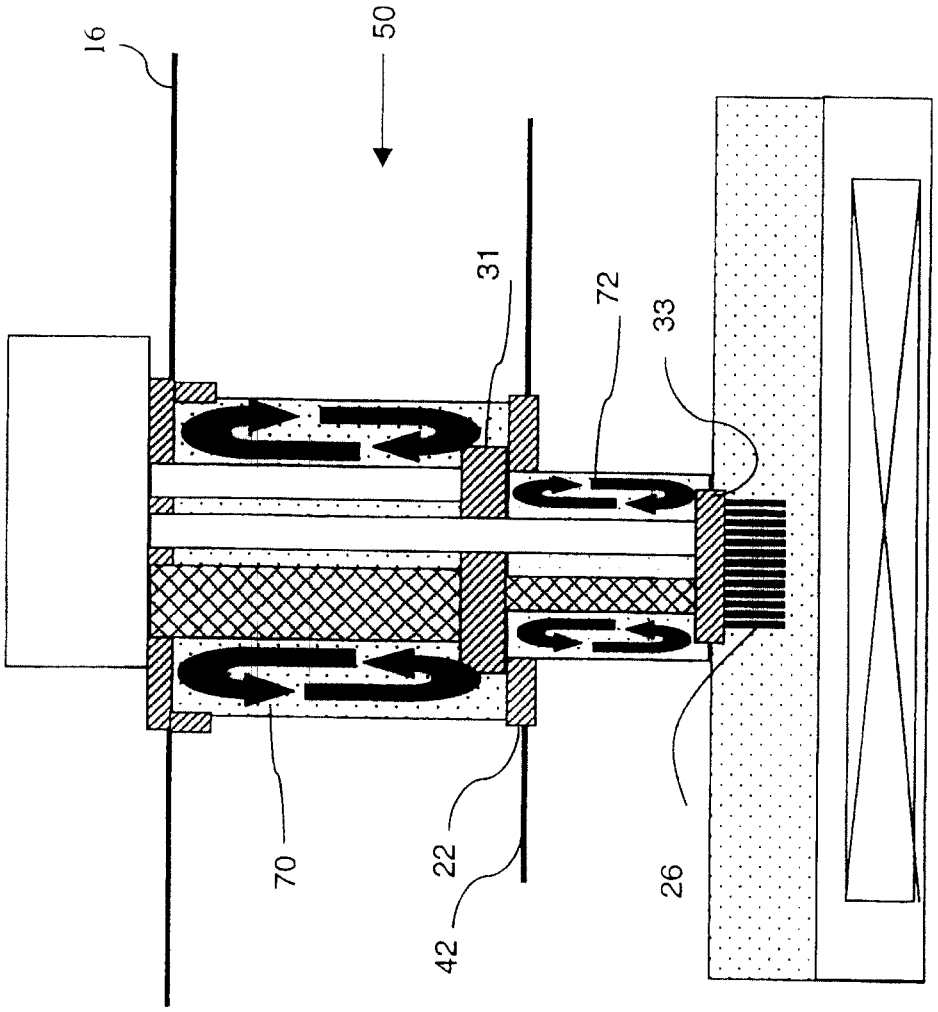


图 4

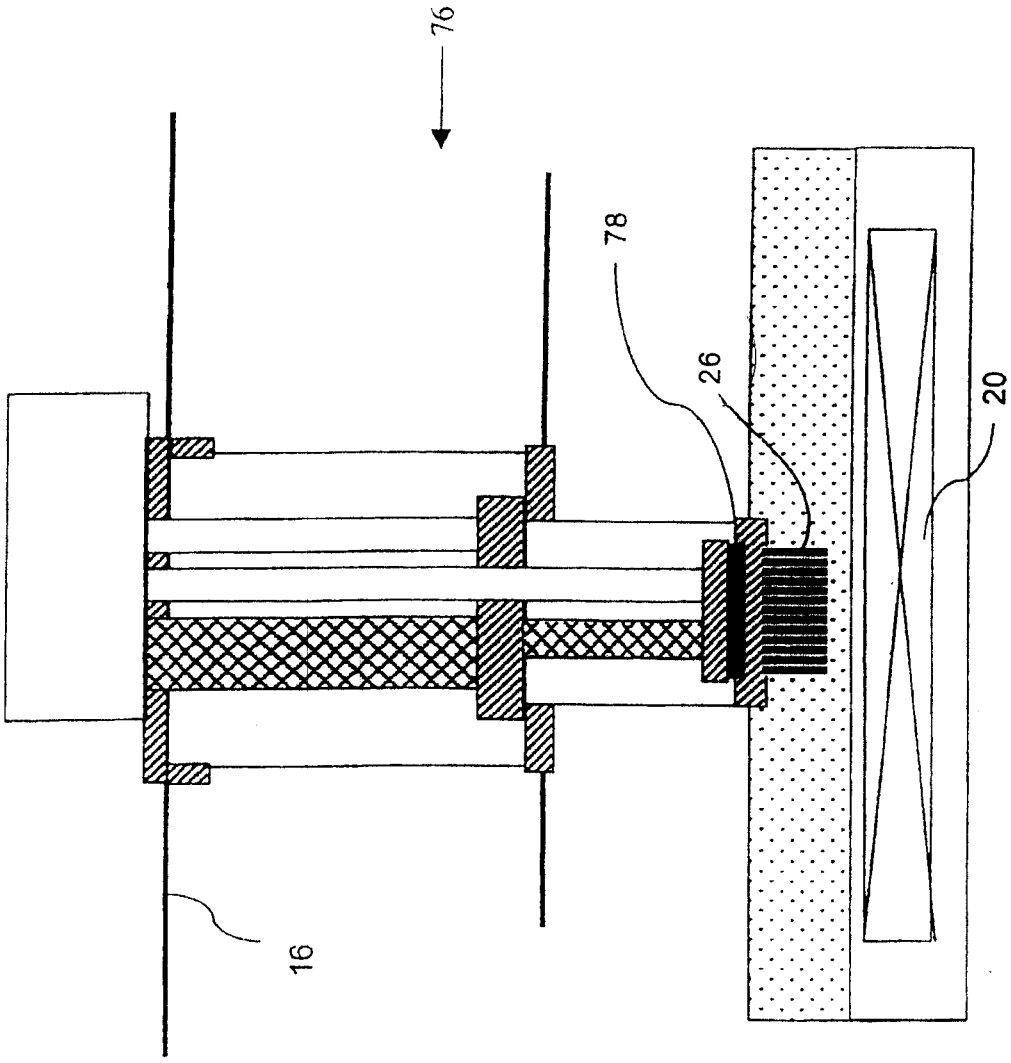


图 5

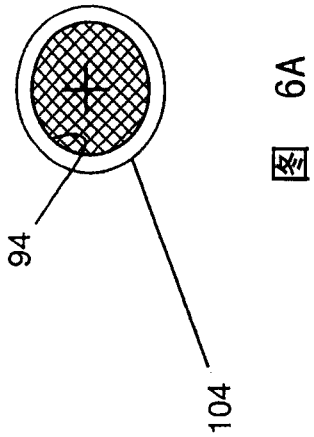


图 6A

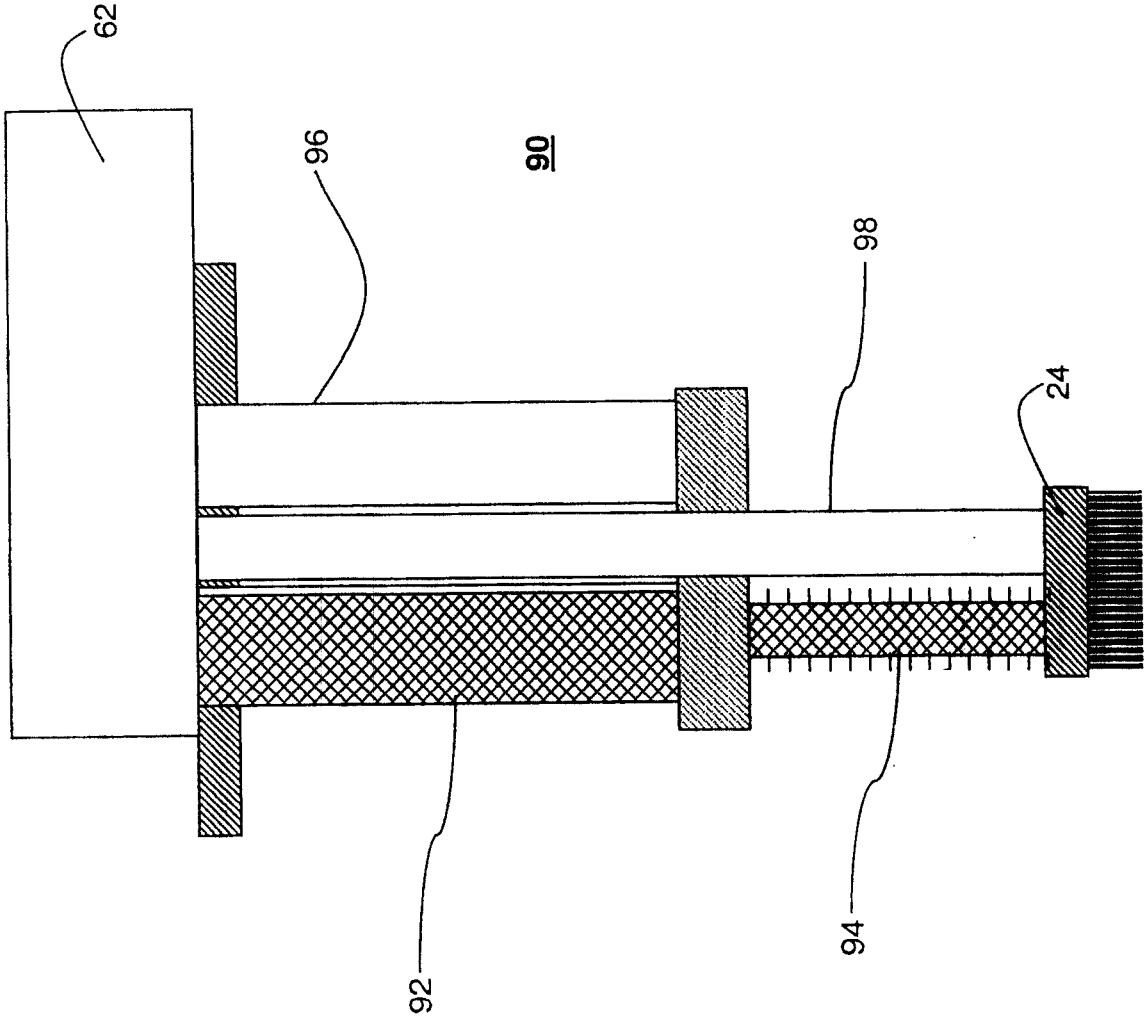


图 6

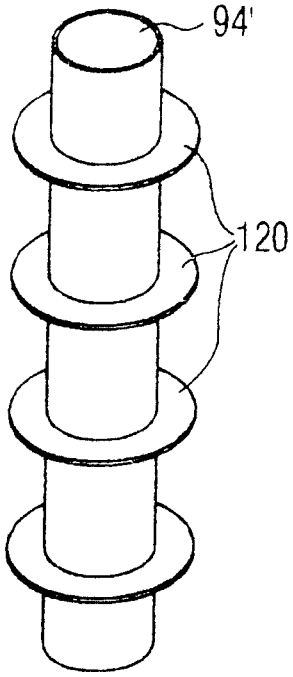


图 7A

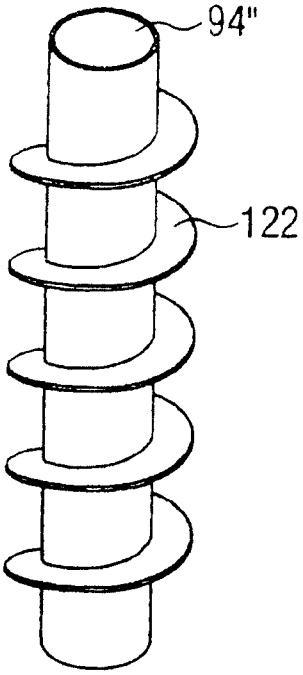


图 7B

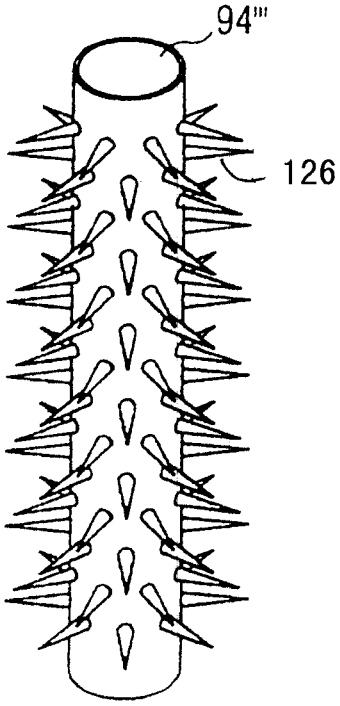


图 7C

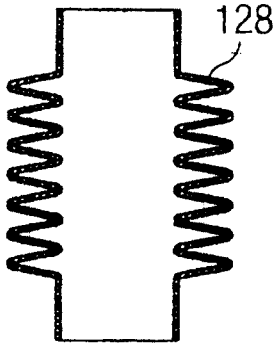


图 7D

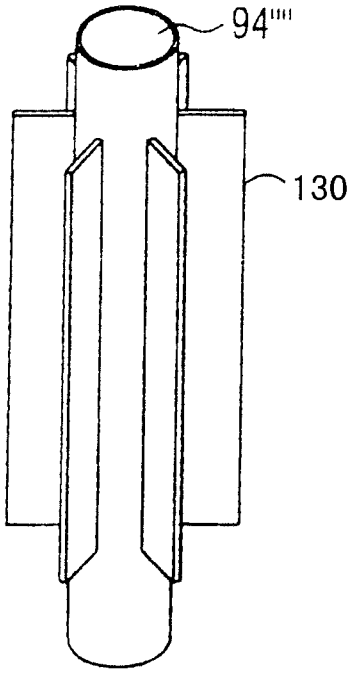


图 7E

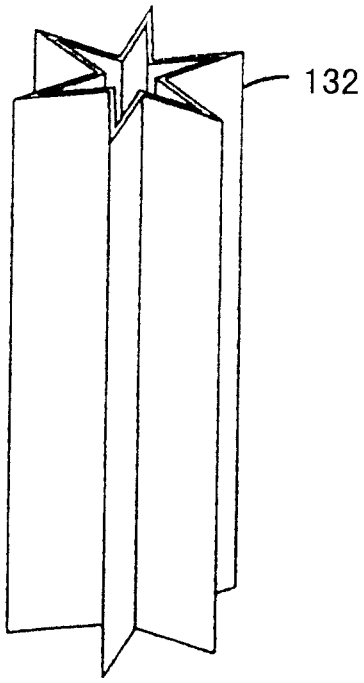


图 7F

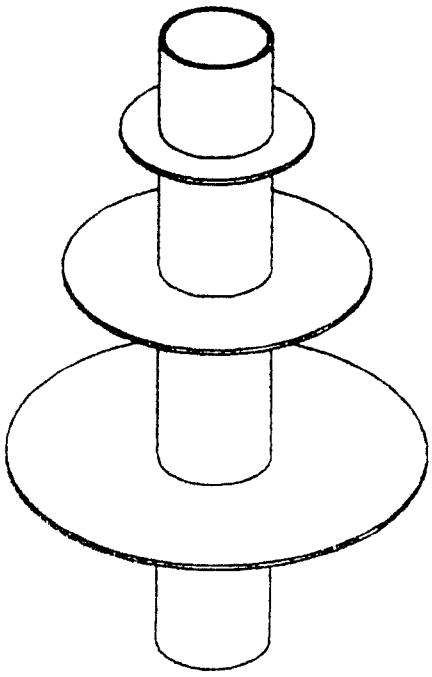


图 7G

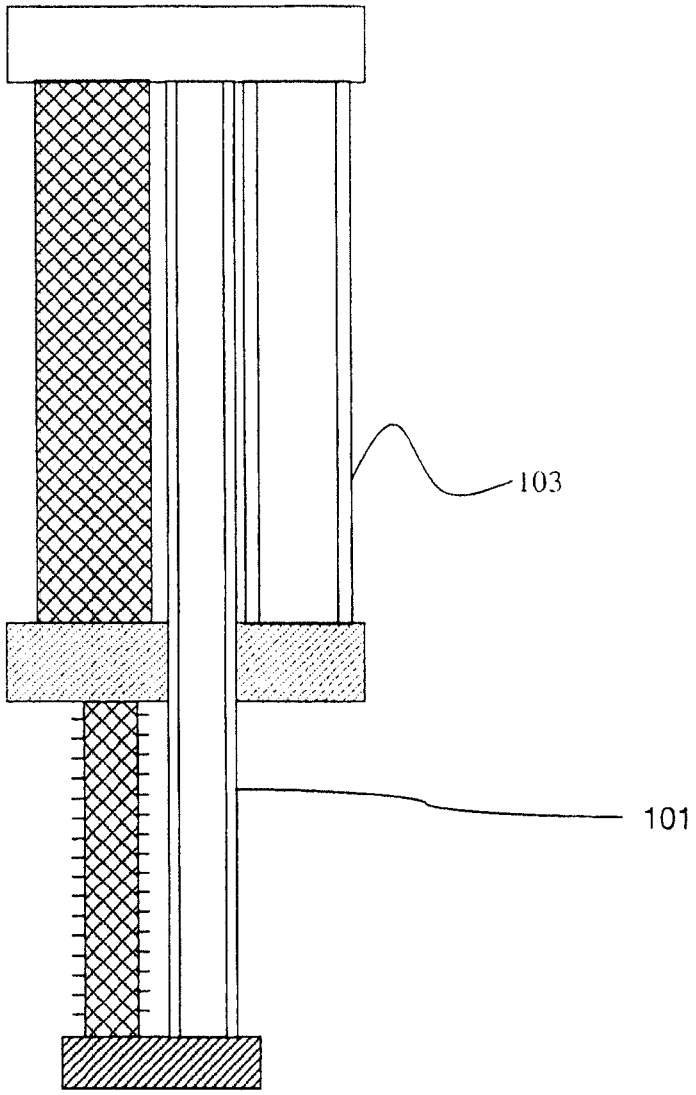


图 8

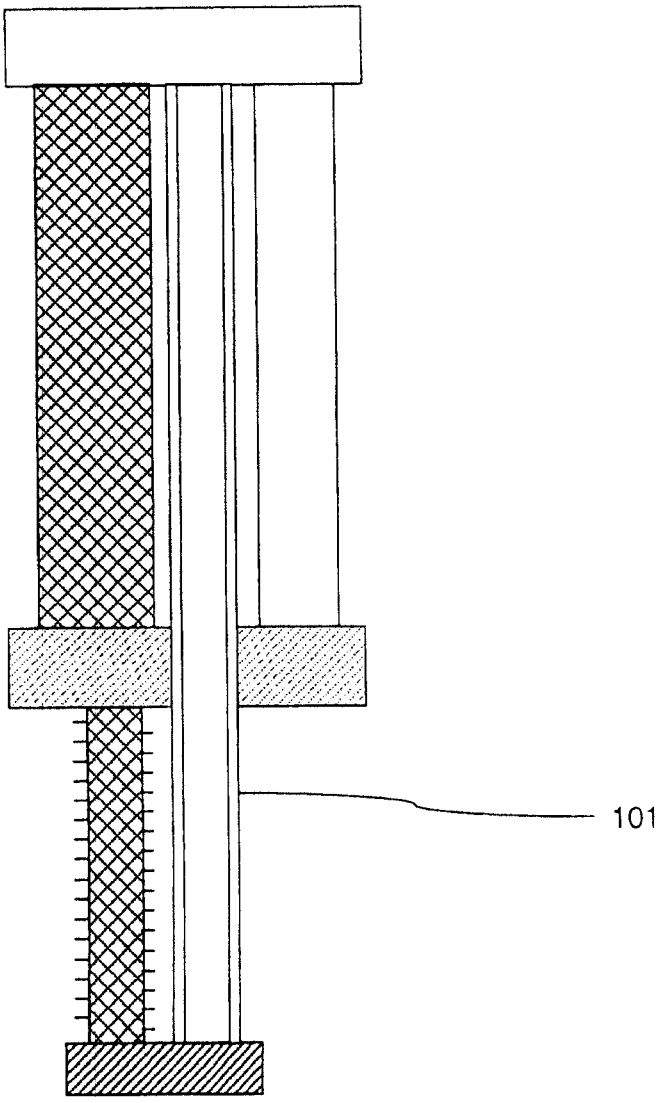


图 9

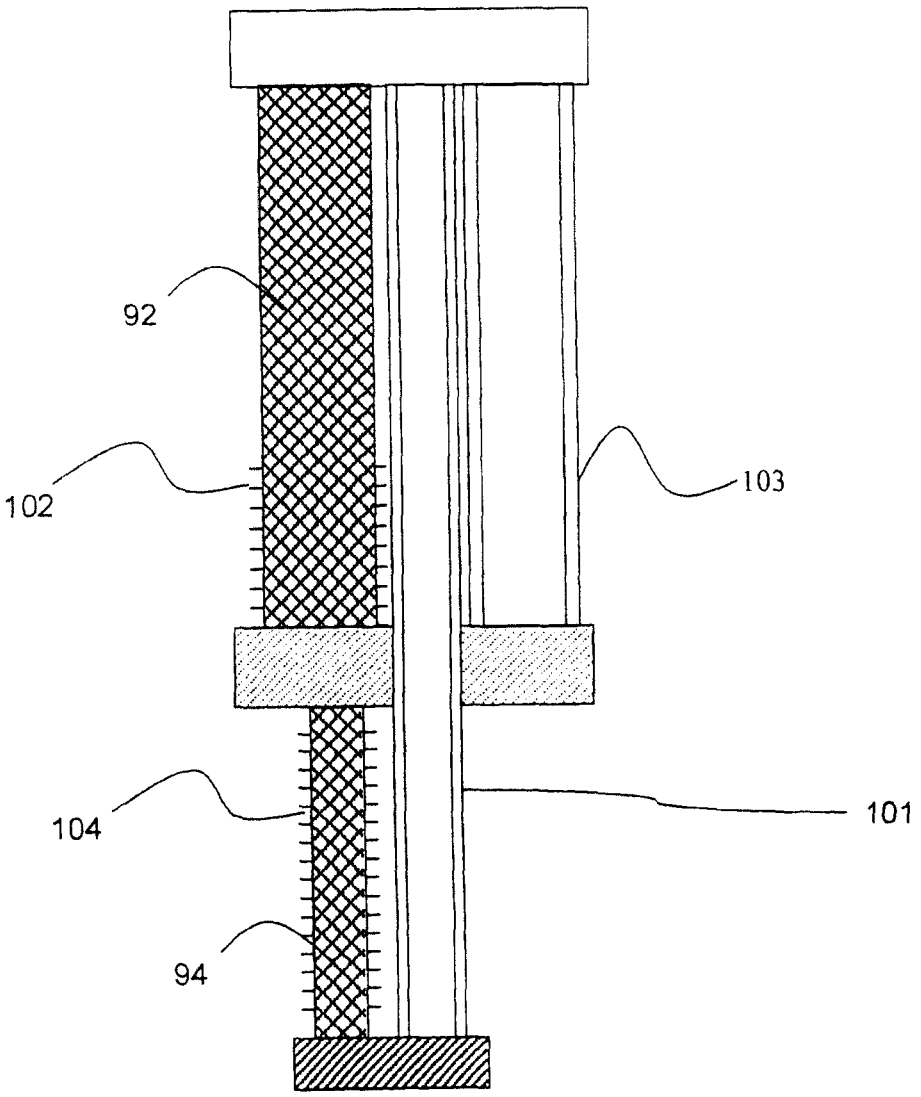


图 10