

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01L 1/24

G02B 6/14



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 01803996.0

[43] 公开日 2003年2月5日

[11] 公开号 CN 1395680A

[22] 申请日 2001.1.19 [21] 申请号 01803996.0

[30] 优先权

[32] 2000.1.21 [33] US [31] 09/489,768

[86] 国际申请 PCT/US01/02013 2001.1.19

[87] 国际公布 WO01/53787 英 2001.7.26

[85] 进入国家阶段日期 2002.7.22

[71] 申请人 斯托·伍德沃德公司

地址 美国弗吉尼亚州

[72] 发明人 K·A·莫菲 S·A·梅勒

M·E·琼斯

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

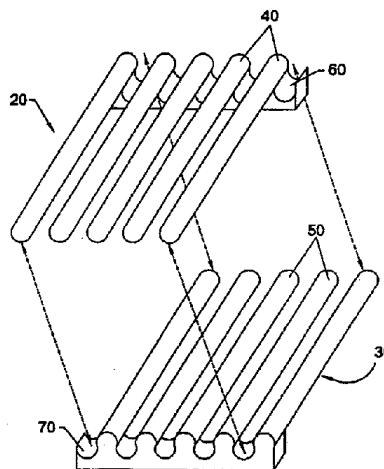
代理人 崔幼平 林长安

权利要求书3页 说明书6页 附图5页

[54] 发明名称 柔性的光纤微弯曲装置、传感器和使用方法

[57] 摘要

一种装接在光纤上的柔性微弯曲装置，其包括具有至少一个柔性元件的上部弯曲元件栅架和具有至少一个柔性元件的下部弯曲元件栅架。该上部弯曲元件栅架与下部弯曲元件栅架交替地接合。该柔性微弯曲装置装接在光纤上以形成传感器。该传感器或嵌入到基质材料中，或装接到结构上以检测各种应力和应变。



ISSN 1008-4274

1. 一种用于装接到光纤上的柔性微弯曲装置，该装置包括：
上部弯曲元件栅架，其具有至少一个柔性元件；
下部弯曲元件栅架，其具有至少一个柔性元件；并且
5 其中，上部弯曲元件栅架的每个柔性元件与下部弯曲元件栅架的每个柔性元件交替地接合。
2. 如权利要求1所述的柔性微弯曲装置，其特征在于，上部弯曲元件栅架具有至少一个位于每个柔性元件的端部的上部互锁部件；下部弯曲元件栅架具有至少一个位于每个柔性元件的端部的下部互锁部件；并且上部弯曲元件栅架的每个上部互锁部件与下部弯曲元件栅架的每个相应下部柔性元件配合，并且下部弯曲元件栅架的每个下部互锁部件与上部弯曲元件栅架的每个相应上部柔性元件配合，以使上部弯曲元件栅架固定于下部弯曲元件栅架。
10
3. 如权利要求1所述的柔性微弯曲装置，其特征在于，每个柔性元件由下面一组材料中选出的材料制成，这组材料包括可模制的塑料、微加工的硅、弹性体和硅石纤维。
15
4. 如权利要求3所述的柔性微弯曲装置，其特征在于，该硅石纤维是具有涂层的光纤。
5. 一种光纤微弯曲传感器，其包括：
20 柔性微弯曲装置，其包括具有至少一个柔性元件的上部弯曲元件栅架和具有至少一个柔性元件的下部弯曲元件栅架；
光纤，其位于上部弯曲元件栅架的每个柔性元件和下部弯曲元件栅架的每个柔性元件之间；并且
其中，上部弯曲元件栅架的每个柔性元件交替地与下部弯曲元件栅架的每个柔性元件接合，以形成传感器。
25
6. 如权利要求5所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，多个柔性微弯曲装置装接在光纤上，以形成传感器排列。
7. 如权利要求5所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，该光纤是多模光纤，并且每个上部弯曲元件栅架和每个下部弯曲元件栅架分别包括多个柔性元件，每个柔性元件间隔开一周期距离 Λ ，其中 Λ 由以下等式确定：
30

$$\Lambda = \frac{\pi a}{(\Delta)^{1/2}}$$

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

其中，a 是光纤芯的半径； n_1 为光纤芯的折射率； n_2 为包层的折射率。

8. 如权利要求 5 所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，每个柔
5 性元件由下面一组材料中选出的材料制成，这组材料包括可模制的塑料、微加工的硅、弹性体和硅石纤维。

9. 如权利要求 8 所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，该弹性体是聚氨酯。

10. 如权利要求 5 所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，该传
10 感器封装在其具有的机械特性不同于柔性元件的机械特性的材料中。

11. 如权利要求 10 所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，该封装材料选自下面一组材料，这组材料包括 RTV 硅酮、UV 固化的环氧树脂、弹性体和聚氨酯。

12. 如权利要求 5 所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，该传
15 感器封装在保护罩中。

13. 如权利要求 12 所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，该保护罩是真空袋。

14. 如权利要求 5 所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，该光纤是单模光纤，并且每个上部弯曲元件栅架和每个下部弯曲元件栅架
20 分别包括多个柔性元件，每个柔性元件间隔开一周期距离 Λ ，其中 $10 \mu\text{m} < \Lambda < 1500 \mu\text{m}$ 。

15. 如权利要求 5 所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，其还包括：

25 光学耦合器，其具有连接于该光纤的第一端部；
光源，其连接于该光学耦合器的第二端部；
检测器，其连接于该光学耦合器的第三端部；以及
反射器，其位于光纤的与光源相对的一端。

16. 如权利要求 15 所述的光纤微弯曲传感器，其特征在于，其还

包括位于光学耦合器和检测器之间的熔成的双锥形渐缩的装置，该熔成的双锥形渐缩的装置将高阶与低阶模从光信号中分离。

17. 一种使用如权利要求 15 所述光纤微弯曲传感器的方法，该方法包括以下操作步骤：

- 5
- a) 提供光纤微弯曲传感器；
 - b) 将传感器装接在结构的表面上；
 - c) 将光能引入该微弯曲传感器；以及
 - d) 用检测器监测反射光。

10 18. 一种使用如权利要求 15 所述光纤微弯曲传感器的方法，该方法包括以下步骤：

- a) 提供光纤微弯曲传感器；
- b) 将传感器嵌入到基质材料中；
- c) 将光能引入该微弯曲传感器；以及
- d) 用检测器监测反射光。

15

柔性的光纤微弯曲装置、传感器和使用方法

技术领域

5 本发明涉及光纤装置，具体涉及柔性的微弯曲装置，该装置装接在光纤上，并且使用在一用于测量结构内部应变的传感器布置中。

背景技术

10 光纤可用于在光源和光检测器之间传递光线。通过弯曲或使光纤形变可以调制光纤中的光。这样便产生调制信号，该信号可以利用光检测器进行检测和处理。

微弯曲装置可以用来使光纤发生形变，使通过光纤的光被频率调制，调制频率对应于作用于装置的力。通常该装置装在光纤上，使得它围绕光纤。

15 一种已知的装置是两个有波纹的夹钳装置，该夹钳装置通过挤压光纤而调制通过光纤的光信号。Macedo 等人的美国专利 4342907 说明这样一种装置，其中上件通过支承件牢固地连接于外壳。下件固定于柔性膜上。当静态压力或随时间变化的动态压力作用于膜时，该膜便发生形变，将下件推向上件，由此使固定在装置脊部上的光纤形变。在美国专利 4443700 中，也说明另一种方式的装置，其中由两个钢片
20 形成一个夹钳，该夹钳具有波纹形的表面以及交织的脊部，可以利用该夹钳来挤压光纤，使光纤发生形变，这些装置均没有测量结构内部力所需的紧凑性和柔性。

25 Kramer 的美国专利 5193129 通过梯子式结构的横档编织光纤，然后将其封装在泡沫材料中，并用一个包层将其包起来，由此进行微弯曲。在沿其长度方向作用于光纤任一段上的压力引起微弯曲时，通过该光纤传递的光的强度值可以减少到低于阈值的光强。该梯子式结构的横档其尺寸和间隔被定为可以提供形成微弯曲的正确位置。Sansone 的美国专利 5694497 指出这种传感器中的一个缺点，即这种传感器必须应用要嵌入的结构的一部分来形成传感器布置。事实上，利用这种
30 传感器受到限制，因为光纤必须编织在要测量的底衬或结构中，不能随后按需要再进行配置。

Udd 等人的美国专利 5118931 将微弯曲装置引入到传感器系统

中，方法是将光纤熔化，同时将其拉伸使光纤具有较小的直径。然后将此光纤段连接于未融化的光纤上，形成一个传感器。光纤的形变将影响光纤中光的传播，从而可以根据检测的光通量的变化进行测量。和 Kramer 装置一样，这种装置的缺点是，一旦连接于光纤，随后再不能改变结构的位置。

5 Sansone 的美国专利 5694497 说明一种内在的自形变的微弯曲形变装置。在这种装置中，光纤沿其本身被扭曲起来。至少一个扭曲部分起到内在自形变的微弯曲形变装置的作用。这种装置的问题是，无法获得固定的周期和/或不能够调节传感器的灵敏度。

10 本发明的目的是提供一种微弯曲装置，该微弯曲装置沿光纤长度可以从光纤上取下来或装在一根光纤上。

本发明的另一目的是提供一种柔性的微弯曲装置。

本发明的又一目的是提供一种使用柔性微弯曲装置的传感器，使得该传感器可以用光强进行测量。

15 本发明的再一目的是提供一种使用具有柔性微弯曲装置的传感器的方法，使得该方法可用于测量径向力或线性力。

发明内容

本发明提供一种装接在光纤上的柔性的微弯曲装置。该装置包括上部弯曲元件栅架和下部弯曲元件栅架，前者具有至少一个柔性元件，后者也具有至少一个柔性元件，每个上部弯曲元件栅架与每个下部弯曲元件栅架交替地接合。

20 当将装置装接在光纤上时，便形成一个光纤微弯曲传感器。该光纤位于上部弯曲元件栅架的每个柔性元件和下部弯曲元件栅架的每个柔性元件之间，使得在上、下弯曲元件栅架之间的每个元件交替排列。

25 在使用时，传感器或装接在结构的表面上或嵌入到基质材料中。将光能引入到微弯曲传感器内，并且用检测器检测反射的光。

本发明的其它目的和优点部分说明于下面的说明中，部分可以从这些说明中明显看出来，或可以通过实施本发明而理解到。利用在所附权利要求书中特别指出的部件组合可以看出本发明的目的和优点。

30 附图说明

附图示出本发明一个完整的实施例，此实施例是迄今实施本发明原理的最好模式，这些附图是：

- 图 1A 是本发明柔性微弯曲装置的上部弯曲元件栅架的顶视图；
图 1B 是本发明柔性微弯曲装置的下部弯曲元件栅架的顶视图；
图 2A 示出柔性的微弯曲装置的组装；
图 2B 是柔性的微弯曲装置组装后的顶视图；
5 图 3 是光纤微弯曲传感器的顶视图；
图 4 示出传感器排列；
图 5A 示出用于光纤微弯曲传感器的光学配置；
图 5B 示出用于光纤微弯曲传感器的另一种光学配置；以及
图 6 是光纤微弯曲传感器的侧视图，该传感器已被封装和嵌入到
10 机体材料中。

具体实施方式

现在参考附图，所有图中相似的元件用相同的标记表示，图 1A 和 1B 示出本发明的柔性的微弯曲装置 10。对于此说明书和所附的权利要求书，所谓“柔性”是指该装置可以承受形变而不破裂。每个微弯曲
15 装置 10 包括上部弯曲元件栅架 20 和下部弯曲元件栅架 30。虽然图 1A 示出上部弯曲元件栅架 20 和图 1B 示出下部弯曲元件栅架 30，但是这两个栅架可以反过来。每个弯曲元件栅架 20 和 30 包括至少一个柔性元件 40、50。每个上部柔性元件 40 从上部互锁部件 60 伸出，而每个下部柔性元件 50 从下部互锁部件 70 伸出。图 1A 和 1B 示出优选实施
20 例，其中每个弯曲元件栅架 20、30 包括多个弯曲元件 40、50。然而本发明采用只有一个柔性元件的上部弯曲元件栅架和只有一个柔性元件的下部弯曲元件栅架也可以进行操作。

每个柔性元件具有特定的宽度 w 、直径 d 和形成周期 Λ 的隔开距离。柔性元件的直径影响装置的灵敏度。已经发现，小直径的柔性元件比大
25 直径的柔性元件更容易移动。每个柔性元件在一端具有固定位置，或在柔性元件固定于互锁部件的这一端具有固定位置，以便形成固定的周期 Λ 。该周期取决于用在传感器中的光纤是单模光纤还是多模光纤。柔性元件最好用从下面一组材料中选出的材料制成，这组材料是可模
30 制的塑料、微加工的硅、弹性体和硅石纤维。硅石纤维的例子是切成适当长度的有涂层的光纤。互锁部件最好用从下面一组材料选出的材料制成，即可模制的塑料、微加工的硅和弹性体。如果采用微加工的硅，则可以在硅上腐蚀出 V 型槽，由此形成互锁部件。

图 2A 示出如何将上部弯曲元件栅架 20 和下部弯曲元件栅架 30 组装在一起，以形成柔性微弯曲装置。上部弯曲元件栅架 20 具有至少一个位于每个柔性元件 40 端部的上部互锁部件 60。同样，下部弯曲元件栅架 30 具有至少一个位于每个柔性部件 50 端部的下部互锁部件 70。

- 5 当接合时，上部弯曲元件栅架 20 的每个上部互锁部件 60 与下部弯曲元件栅架 30 的每个相应下部柔性元件 50 配合，使得下部柔性元件 50 嵌入上部互锁部件 60 内。同样，下部弯曲元件栅架 30 的每个下部互锁部件 70 与上部弯曲元件栅架 20 的每个相应下部柔性元件 40 配合，使得上部柔性元件 40 嵌入下部互锁部件 70 中。这样便可使上部弯曲
- 10 元件栅架 20 固定于下部弯曲元件栅架 30。在组装该装置时，该上部和下部互锁部件 60、70 均被示出为它们位于装置的同一侧面（或底部）。然而应当明白，可以这样放置上部互锁部件 60，使其位于处在底部的下部互锁部件 70 的相反侧（顶侧）。也可以采用其它的适合于有关特殊应用的结构。

- 15 图 2B 示出已经组装后的柔性微弯曲装置 10。当上部弯曲元件栅架 20 与下部弯曲元件栅架 30 接合时，该柔性元件 40、50 是交替排列的。具体是，上部柔性元件 40 每隔一个柔性元件设置。这种啮合被定义为交替接合，或在其中，上部弯曲元件栅架交替地接合下部弯曲元件栅架。

- 20 图 3 示出如何应用柔性微弯曲装置来形成光纤微弯曲传感器。在形成传感器时，将光纤 80 放置在上部弯曲元件栅架 20 的每个柔性元件 40 和下部弯曲元件栅架 30 的每个柔性元件 50 之间。上部弯曲元件栅架 20 的每个柔性元件 40 与下部弯曲元件栅架 30 的每个柔性元件 50 交替地接合。应当注意到，光纤 80 被夹压在上、下柔性元件 40 和 50
- 25 之间，这与将光纤编织在柔性元件之间不同。

- 图 4 示出如何将许多柔性微弯曲装置装接在光纤 80 上而形成传感器排列 90。这种排列的形成方法最好是，将一根光纤穿过多个柔性微弯曲装置。然而也可以应用许多光纤和柔性微弯曲装置来形成三维排列或三维重叠。在典型的应用中，在 30 英尺长范围内这种排列具有 21
- 30 个柔性微弯曲装置装接到单个光纤上。灵敏度的方向垂直于光纤。可以施加径向力或线性力。当力横穿装置作用时，该顶部和底部的弯曲元件便向上和向下运动，从而改变检测器检测到的光强。灵敏度随下

面一些因素改变：柔性元件的直径、包含在弯曲元件栅架中柔性元件的数目、改变周期 Λ ，或改变封装材料材料特性。

弯曲元件栅架具有固定的周期。该周期 Λ 可以根据传感器中所用光纤的类型进行计算。如果光纤是多模光纤，则周期距离 Λ 由下面等式确

5 定：

$$\Lambda = \frac{\pi a}{(\Delta)^{1/2}}$$

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

其中， a 是光纤芯的半径； n_1 为光纤芯的折射率； n_2 为包层的折射率。当光纤是单模光纤时，周期距离 Λ 为 $10 \mu\text{m} < \Lambda < 1500 \mu\text{m}$ 。通过调节
10 周期距离可以调节传感器灵敏度。

如上所述，柔性元件最好用下列一组材料中选出的材料制成，这组材料是可模制的塑料、微加工的硅、弹性体和硅石纤维。当弹性体是选用材料，该弹性体最好是聚氨酯。作为本发明的另一实施例，该传感器封装在一种其机械特性不同于柔性元件的机械特性的材料中。
15 例如封装材料可以从一组材料中选出，这组材料是 RTV（室温硫化的）硅酮、UV（紫外线）固化的环氧树脂、弹性体和聚氨酯。如果传感器预定最后嵌入到基质材料中，则封装材料必须与基质材料相兼容。所谓基质材料，应当明白，该材料可以是包围一结构的材料，例如包在轧辊上的橡皮套。或者传感器可以嵌入到一个保护罩，例如真空袋中。

20 图 5A 示出用于光纤微弯曲传感器的光学布置。该光学布置包括光学耦合器 100，该耦合器具有连接于光纤 80 的第一端或输入端 110。光源 120 连接于光学耦合器 100 的第二端或输入端 130。检测器 140 连接于光学耦合器 100 的第三端或输入端 150。反射器 160 位于光纤 80 的一个端部，该端部与光源 120 相对。

25 图 5B 示出另一种实施例的光学布置，其中在光学耦合器 100 和检测器 140 之间配置熔成的双锥形渐缩的装置 210。该熔成的双锥形渐缩的装置 210 将高阶和低阶模从光信号中分离出来。

在一种应用中，光纤微弯曲传感器装接于一结构的表面上。将光

能引入到微弯曲传感器中，然后用检测器检测反射光。当传感器装接于结构的表面上时，便可以测量两个物体之间作用的应力。在第二种方法中，如图 6 所示，将光纤微弯曲传感器 170 首先封装在材料 180 中，然后嵌入到基质材料 190，例如嵌入包围该结构 200 的轧辊橡皮套。然后在力作用于轧辊时，将光能引入并用检测器（未示出）检测反射光。在这种情况下，可以检测作用在材料上的应力或应变。

上述说明和附图仅用于说明实现本发明目的、特征和优点的优选实施例，但不能认为本发明受到该实施例的限制。属于以下权利要求书精神和范围内的本发明的任何变型可认为是本发明的一部分。

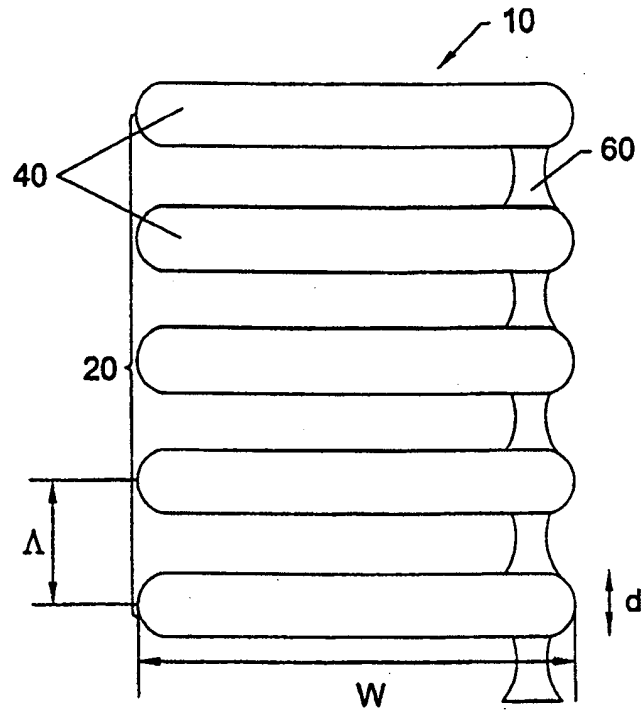


图 1A

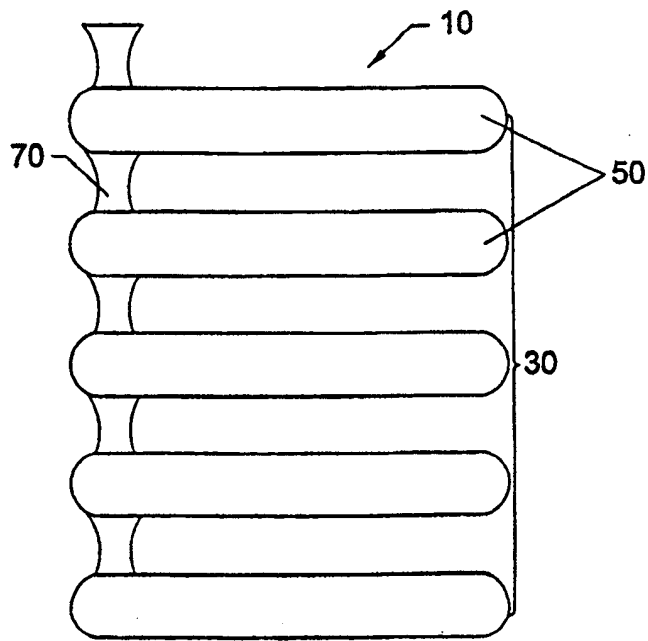


图 1B

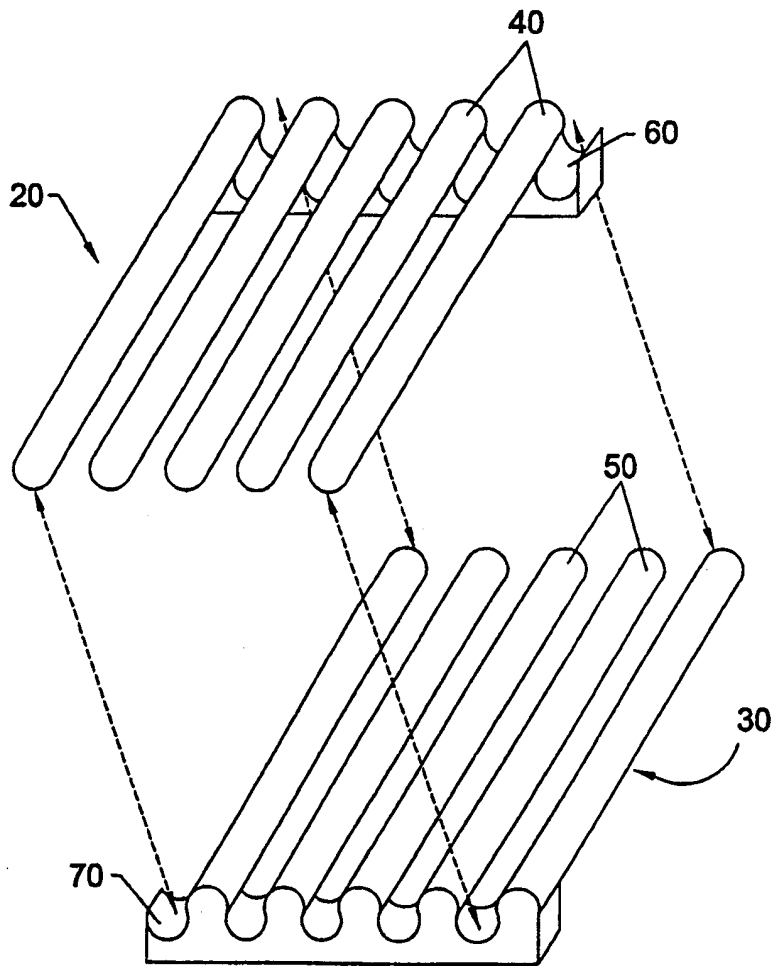


图 2A

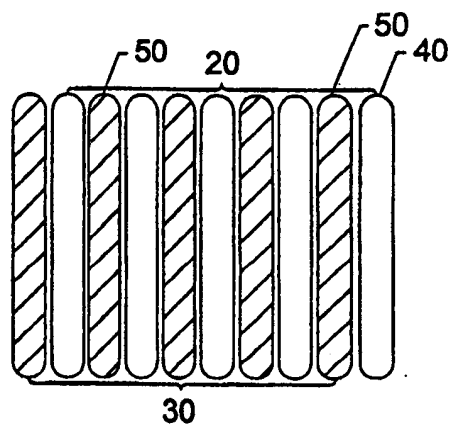


图 2B

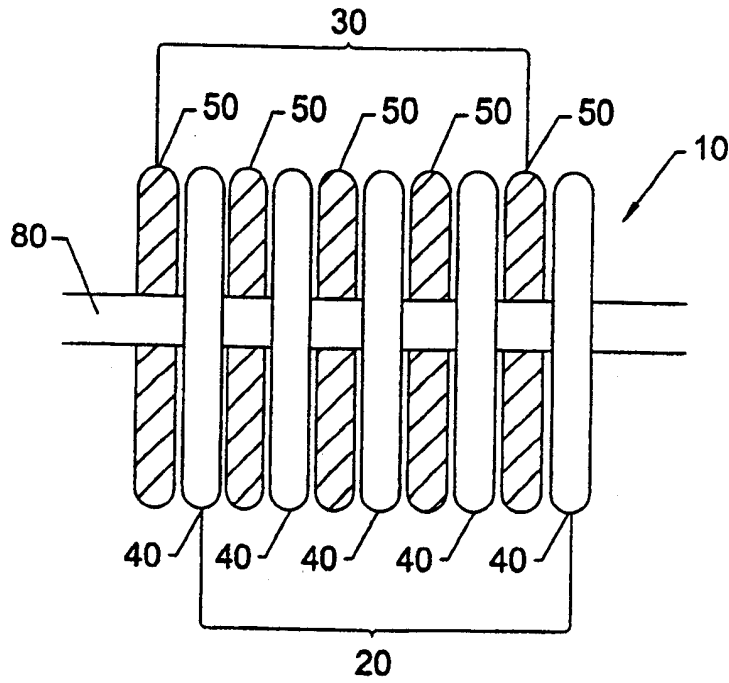


图 3

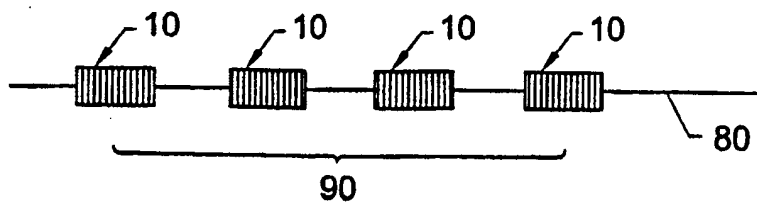


图 4

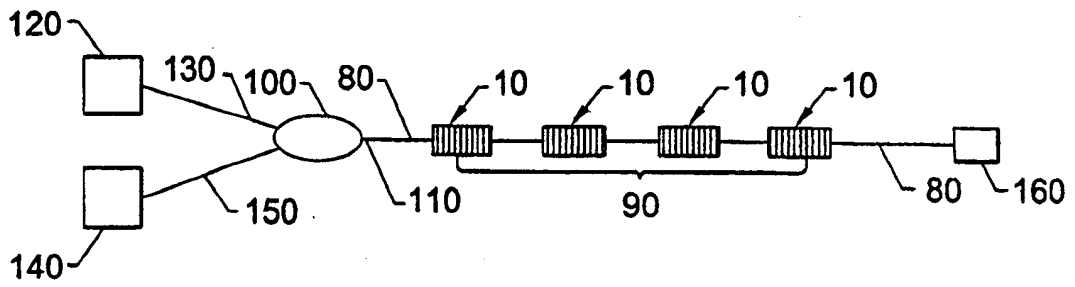


图 5A

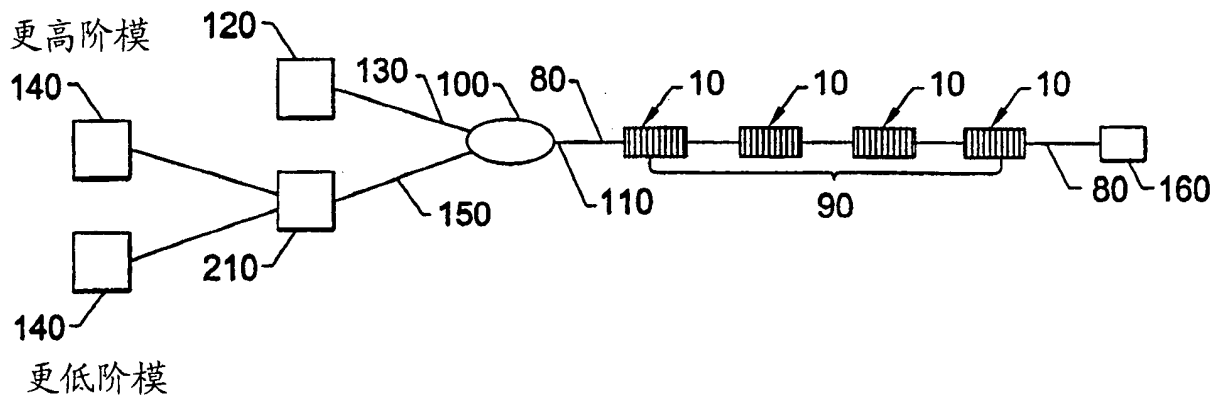


图 5B

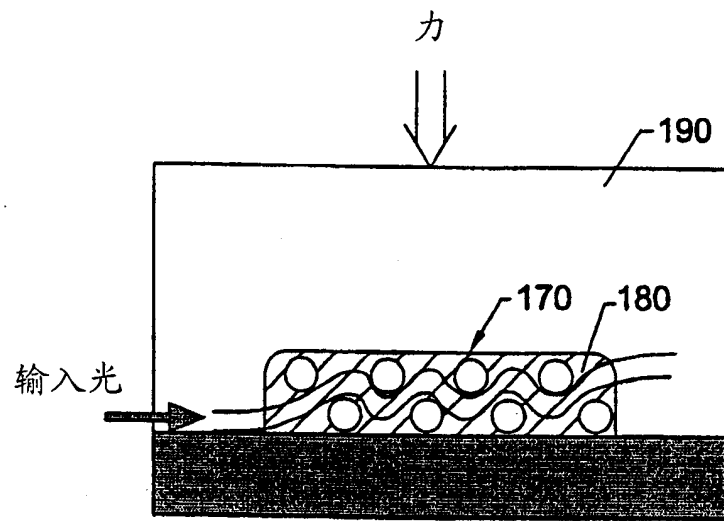


图 6