



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96121004.4

[43] 授权公告日 2003 年 3 月 19 日

[11] 授权公告号 CN 1103454C

[22] 申请日 1996.11.15 [21] 申请号 96121004.4

[30] 优先权

[32] 1995.11.17 [33] US [31] 08/559954

[71] 专利权人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 戴维·金尼·史密斯

审查员 崔尚科

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

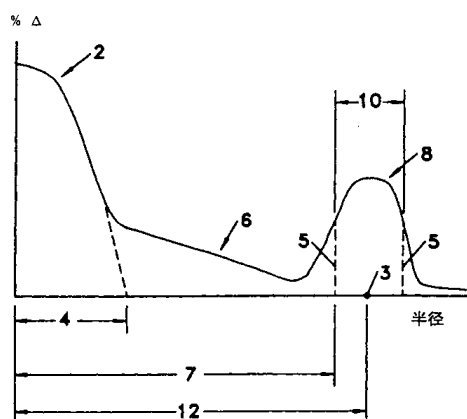
代理人 陈 亮

权利要求书 2 页 说明书 7 页 附图 7 页

[54] 发明名称 一种单模光纤

[57] 摘要

本发明揭示了一种具有正总色散的单模光纤。新颖光纤的纤心区域包括不同的三段。对这种新颖波导的研究显示该波导满足高比特率、再生器间距长的系统对光纤的要求，在研究时，改变纤心区域的各参数，而计算其特性。这种新颖波导设计的制造相当简单，当纤心区域参数在预定的范围内变化时，它能在紧的容差上保持其功能特性。这种高性能波导限制了相位调制和四波混频，有助于波分复用，并与光放大器相容。



1、一种单模光纤，其特征在于，包含：

纤心区域，具有包括三段的折射率分布，

5 第一中心段，具有最大折射率 n_1 、折射率差 $\Delta_1\%$ 和从所述光纤对称纵轴上的一点测得的半径 r_1 ，所述第一中心段基本上沿对称纵轴对称地分布，

环形的第二段，相邻并围绕于所述中心段，具有最大折射率 n_2 、折射率差 $\Delta_2\%$ 外半径 r_2 ，该外半径 r_2 为从所述光纤对称纵轴上的点测得，

环形的第三段，相邻并围绕于所述第二段，具有最大折射率 n_3 、折射率差 $\Delta_3\%$ 和至所述第三段中点的半径 r_3 ，该半径 r_3 为从所述光纤对称纵轴上的点测得，

10 环形包层，相邻并围绕所述第三段，具有最大折射率 n_0 ，

其中， $n_1 > n_3 > n_2 \geq n_0$ ，所述中心段具有 α 折射率分布， α 为 1，所述第二段的折射率分布基本上是平坦的，所述第三段具有带圆角的阶跃折射率分布， $\Delta_1\% \leq 0.9\%$ ， $\Delta_2\% \leq 0.024\%$ ， $\Delta_3\% \leq 0.2\%$ ，对半径 r_1 、 r_2 和 r_3 进行选择，以提供这样的光纤，其零色散波长 $\lambda_0 \leq 1530\text{nm}$ ，在 1530nm 至 1570nm 范围内的总色散斜率 $< 0.065\text{ps/nm}^2\text{-km}$ ，
15 销钉阵列弯曲损耗 $< 12\text{dB}$ ，模场直径 $\geq 7.4\mu\text{m}$ ，光纤截止波长 $\lambda_c < 1450\text{nm}$ ，在 1530nm 至 1570nm 波长范围内的总色散在 0.5ps/nm-km 至 3ps/nm-km 的范围内。

2、如权利要求 1 所述的单模光纤，其特征在于， $\Delta_1\%$ 、 $\Delta_2\%$ 、 $\Delta_3\%$ 的范围分别为 0.57% 至 0.90% 、 0 至 0.24% 和 0.08% 至 0.20% ， r_1 、 r_2 和 r_3 的范围分别为 3.0 至 $3.8\mu\text{m}$ 、 5.7 至 $12.05\mu\text{m}$ 和 6.8 至 $12.4\mu\text{m}$ 。

20 3、如权利要求 1 所述的单模光纤，其特征在于， $\Delta_1\%$ 、 $\Delta_2\%$ 、 $\Delta_3\%$ 分别为 0.73% 、 0.012% 和 0.18% ， r_1 、 r_2 和 r_3 分别为 $3.4\mu\text{m}$ 、 $9.0\mu\text{m}$ 和 $9.6\mu\text{m}$ 。

4、如权利要求 1 所述的单模光纤，其特征在于， $\Delta_1\%$ 为 $0.73\% \pm 0.05\%$ ， $\Delta_2\%$ 为 $0.012\% \pm 0.012\%$ ， $\Delta_3\%$ 为 $0.18\% \pm 0.05\%$ ， r_1 为 $3.4\mu\text{m} \pm 0.4\mu\text{m}$ ， r_2 为 $9.0\mu\text{m} \pm 2.8\mu\text{m}$ ， r_3 为 $9.6\mu\text{m} \pm 2.8\mu\text{m}$ ， r 为 $10.2\mu\text{m} \pm 3\mu\text{m}$ ，以提供模场直径大于
25 $8.3\mu\text{m}$ 、弯曲损耗小于 8dB 以及在 1530nm 至 1570nm 波长范围内正总色散在 0.5ps/nm-km 至 3ps/nm-km 的范围内

5、如权利要求 4 所述的单模光纤，其特征在于，除了 $\Delta_1\%$ 之外，所述纤心区域的折射率分布具有基本上居于各容差范围中心的参数，而 $\Delta_1\%$ 具有在其容差范围内的任一位置处的值，所述光纤具有模场直径 $> 8.30\mu\text{m}$ ，弯曲损耗 $< 7\text{dB}$ ， λ_c 在 1390nm 至
30 1410nm 范围内， λ_0 在 1510nm 至 1515nm 范围内，以及在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内色散斜率在 $0.059\text{ps/nm}^2\text{-km}$ 至 $0.061\text{ps/nm}^2\text{-km}$ 范围内。

6、如权利要求 4 所述的单模光纤，其特征在于，除了 r 之外，所述纤心区域的折射率分布的参数基本上居于各容差范围的中心，而 r 具有在其容差范围内的任一位置处的值，所述光纤具有模场直径 $> 8.30\mu\text{m}$ ，弯曲损耗 $< 8\text{dB}$ ， λ_c 在 1380nm 至 1450nm
35 范围内， λ_0 在 1500nm 至 1525nm 范围内，以及在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内色

散斜率在 $0.059\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 至 $0.061\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 范围内。

- 7、如权利要求4所述的单模光纤，其特征在于，除了 $\Delta_3\%$ 之外，所述纤心区域的折射率分布的参数基本上居于各容差范围的中心，而 $\Delta_3\%$ 具有在其容差范围任一位置处的值，所述光波导具有模场直径 $>8.35\mu\text{m}$ ，弯曲损耗 $<6\text{dB}$ ， λ_c 在 1250nm 至 1550nm 范围内， λ_o 在 1500nm 至 1525nm 范围内，在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内色散斜率在 $0.059\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 至 $0.061\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 范围内。

- 8、如权利要求4所述的单模光纤，其特征在于，除了 r_3 之外，所述纤心区域的折射率分布的参数基本上居于各容差范围的中心，而 r_3 具有在其容差范围内任一位置处的值，所述光波导具有的模场直径 $>8.35\mu\text{m}$ ，弯曲损耗 $<6\text{dB}$ ， λ_c 在 1350nm 至 1450nm 范围内， λ_o 在 1510nm 至 1513nm 范围内，在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内色散斜率在 $0.059\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 至 $0.061\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 范围内。

一种单模光纤

本发明涉及一种单模光纤，其中，在整个光纤长度上保持总色散为正。

- 5 已有技术中通常所用的色散符号惯例是，如果在波导中，波长较短的信号以高于波长较长的信号的速度行进，则把波导的色散标为正。

由于高的数据速率以及再生器间隔较长的需要，已经强化了对为长距离高比特率通信设计的高性能光纤的研究。另外的要求是光纤应与光放大器匹配，一般，光放大器增益曲线在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内最佳。

- 10 在因波分复用(WDM)技术而增加波导信息容量的情况下，另一光纤性能变得重要了。对于 WDM 的高比特率系统来说，波导的总色散必须特别低，但不为零，由此，限制四波混频(four wave mixing)的非线性色散作用。

- 另一种能在具有高功率密度(即，每单位面积内有较高的功率)的系统内产生不可接受的色散的非线性作用是自相位调制。可以把波导纤心设计成有较大的有效面积从而减小功率密度来控制自相位调制。另一种方案是控制波导总色散的符号，从而使波导的总色散抵消自相位调制的色散作用。
- 15

具有正色散(正号意味着短波长的信号以高于长波长信号的速度行进)的波导将产生与自相位调制的作用相反的色散作用，因而，基本上消除了自相位调制色散。

因此，需要的光纤是：

- 20 -在 1530nm 至 1570nm 波长范围内为单模；
-在 1530nm 至 1570nm 波长范围之外有一零色散波长；
-在 1530nm 至 1570nm 波长范围内具有很小的正总色散；和
-保持通常的诸如高强度、低衰减和抵抗由弯曲引起的损耗等通常的高性能波导的特性。

- 25 从成本和加工的观点来看，容易制造以及波导性能对加工变化的不敏感也是非常希望有的特性。

在美国专利 4,715,679(Bhagavatula)中全面描述了用具有不同折射率分布的纤心段，把结构加入到光纤纤心中以提供光纤设计的灵活性的原理。分段纤心的原理可以用于实现诸如这里所述的那些独特的光纤特性的组合。

- 30 下面的定义是根据现有技术中的通常用法。

-术语折射率分布(refractive index profile)可以与折射率分布(index profile)互换使用。

-纤心区域半径用折射率来限定。特定的区域在该区域折射率特征的始点处开始，而在该区域折射率特征的终点处结束。半径具有这种定义，除非在文本中另有注明。

- 35 -纤心线预制棒直径(core preform diameter)是在把被拉制的预制棒拉成最终的

光纤直径前的整个纤心区域的大小。在任何情况下,该术语并不把新颖的折射率分布限制成具体波导的制造工艺,或者暗示在制造具有新颖折射率分布的波导中特定的工艺更优于其它工艺。

-缩写 WDM 表示波分复用。

5 -缩写 SPM 表示自相位调制,这是一种非线性光学现象,其中功率密度在特定的功率大小以上的信号相对于低于该功率密度的信号以不同的速度在波导内行进。

-缩写 FWM 表示四波混合,这是一种两个或更多个信号在波导内干涉而产生不同频率的信号的现象。

-术语 Δ_i 表示下式定义的折射率的相对大小,

10 $\% \Delta_i = 100 \times (n_i^2 - n_c^2) / 2n_c^2$, 其中,除非另有规定, n_i 是区域 i 内的最大折射率, n_c 为包层区域的折射率。对于此处揭示和描述的折射率分布,第二纤心段折射率 $\Delta_2\%$, 即 $\Delta_2\%$, 涉及该纤心区域的最小折射率。

-术语 α (alpha) 折射率分布涉及以 $\%(\Delta(r))$ 表示的折射率分布, $\% \Delta(r)$ 如下式:

15 $\% \Delta(r) = \% \Delta(r_0) (1 - [(r - r_0) / (r_1 - r_0)]^\alpha)$

其中 r 的范围为 $r_0 \leq r \leq r_1$, Δ 如上定义, α 是确定分布形状的指数。

-销钉阵列弯曲测试(pin array bend test)用于对光纤的相对抗弯曲性进行比较。为了进行该测试,对基本上没有引入的弯曲损耗的光纤测量其衰减损耗。然后把光纤绕销钉阵列弯曲,再次测量衰减。弯曲带来的损耗是两次测得的衰减之间的差值。销钉阵列是一组按单行排列并在平面上保持固定垂直位置上的十个圆柱销钉。销钉的中心至中心间距为 5mm。销钉直径为 0.67mm。如图 4 所示,使光纤在相邻销钉的相对侧通过。在测试期间,把光纤用正好足以使它与销钉外缘的一部分贴合的张力放置。

25 已经找到了满足上述高性能要求的光纤族。新颖光纤以分段纤心为特征,即,纤心区域至少有两个不同的段,每段具有如美国专利申请 S. N. 08/323,795 所述的特定折射率分布。

新颖光纤的第一方面以具有三段的纤心区域为特征。每个段用其最大折射率 n_i ($i=1, 2, 3$)、从波导纵向对称轴测得的半径 r_i 以及相对于包层折射率 n_c 定义的折射率差 Δ_i 来描述。在本说明书中的详述部分定义了这些半径。

30 另外,每个段都具有特征折射率分布。新颖三段纤心光纤的纤心的第一中心段具有一个 α 折射率,其中 $\alpha=1$ 。折射率差 $\Delta_1\% \leq 0.90\%$ 。第二段,相邻并环绕中心段的环形。环形的折射率分布基本上是平的,并且 $\Delta_2\% \leq 0.024\%$ 。第三纤心段围绕并相邻于第二段。第三段的折射率分布为带圆角阶跃形状。折射率差为 $\Delta_3\% \leq 0.20\%$ 。从 $\Delta_i\%$ 的值可以看出的,这样来每段的最大折射率 n_i , 从而 $n_1 > n_3 > n_2 \geq n_c$, 其中 n_c 为包层折
35 射率。

给出具有所述的折射率分布形状以及所述 $\Delta_i\%$ 的这种三段纤心,可以发现多组半

径 r_1 、 r_2 和 r_3 ，它们提供了具有下面性能的光纤：

- 零色散波长， $\lambda_0 \leq 1530\text{nm}$ ；
- 在 1530nm 至 1570nm 范围内，总色散斜率 $< 0.065\text{ps/nm}^2\text{-km}$ ；
- 销钉阵列弯曲损耗 $< 12\text{dB}$ ；
- 5 -模场直径 $\geq 7.4\mu\text{m}$ ；
- 截止波长(在光纤上测得的) $\lambda_c < 1450\text{nm}$ ；以及

在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内，总色散为正，并且其大小在约 0.50 至 3.0ps/nm-km 的范围内。

- 新颖折射率分布的 Δ 一般可以这样描述， $\Delta_1\%$ 在约 0.57% 至 0.90% 范围内， $\Delta_2\%$ 在约 0 至 0.024% 范围内， $\Delta_3\%$ 在约 0.08% 至 0.20% 的范围内。半径 r_1 、 r_2 和 r_3 的范围分别约为 $3.0\mu\text{m}$ 至 $3.8\mu\text{m}$ 、 $5.7\mu\text{m}$ 至 $12.05\mu\text{m}$ 和 $6.8\mu\text{m}$ 至 $12.4\mu\text{m}$ 。符合这些对 $\Delta\%$ 和半径的限制的折射率分布的数目有无限多个。因此，应当理解，不可能对所有参数在这些范围内的折射率分布进行研究。而且还应理解，不是在给定的参数范围内的所有的折射率分布均具有新颖波导的性能。然而，如从下面给出的被研究光纤参数
- 15 的一些范围的表 1 中可以看出，已经完成了足够多的模拟工作，证明了折射率分布参数的这些所揭示的范围清楚地描述了本发明的范围。

- 在本发明的第一方面的较佳实施例中，折射率分布参数 $\Delta_1\%$ 、 $\Delta_2\%$ 和 $\Delta_3\%$ 分别约为 0.73%、0.012% 和 0.18%，而 r_1 、 r_2 和 r_3 分别约为 $3.4\mu\text{m}$ 、 $9.0\mu\text{m}$ 和 $9.6\mu\text{m}$ 。这些值可以看作这些折射率分布参数的中心值。即，这些折射率分布参数是开始研究
- 20 每个参数的允许范围的理想起始点。

- 本发明的第二方面是第一方面的子集。属于该子集的折射率分布族具有作为对制造变化较不敏感的高性能波导的特别吸引人的特性。该第二方面的光纤有三段纤心折射率分布。该折射率分布参数范围被限定为本发明的第一方面的较佳实施例中确定的中心值附近的范围。尤其是，对于新颖折射率分布族， $\Delta_1\%$ 为 $0.73\% \pm 0.05\%$ ， $\Delta_2\%$
- 25 $\%$ 为 $0.12\% \pm 0.12\%$ ， $\Delta_3\%$ 为 $0.18\% \pm 0.05\%$ ， r_1 为 $3.4\mu\text{m} \pm 0.4\mu\text{m}$ ， r_2 为 $9.0\mu\text{m} \pm 3.0\mu\text{m}$ ， r_3 为 $9.6\mu\text{m} \pm 2.8\mu\text{m}$ ， r 为 $10.2\mu\text{m} \pm 3\mu\text{m}$ 。

此折射率分布族提供了具有模场直径大于 $8.3\mu\text{m}$ 、弯曲损耗小于 8dB 以及在 1530nm 至 1570nm 波长范围内正总色散的范围约为 0.5ps/nm-km 至 3.0ps/nm-km 的光纤。因此，本子集的波导的性能优于本发明的第一方面限定的母集的性能。

- 30 应当理解，折射率分布参数在上述刚给出的范围约两倍的各范围内的光纤可具有新颖光纤的性能。因此，就此处包含的可工作的波导参数组的组数来说，可认为上面刚给出的各参数范围是保守的。

- 本发明的第二方面的附加特征是光纤性能对因制造变化引起的光纤折射率分布的变化不敏感。以除一个折射率分布参数以外的所有折射率分布参数保持在其中心位置
- 35 为约束，来模拟光纤的性能。余下的一个折射率分布参数可以在如本发明的第二方面所限定的范围内变化。

因此, 当允许 $\Delta_1\%$ 变化 $\pm 0.05\%$ 时, 计算出光纤的性能为:

—模场直径 $> 8.3 \mu\text{m}$;

—销钉阵列弯曲损耗 $< 7\text{dB}$;

— λ_c 在约 1390nm 至 1410nm 的范围内;

5 — λ_o 在约 1510nm 至 1515nm 的范围内; 以及

—在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内色散斜率在约 $0.059\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 至 $0.061\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 的范围内。

当允许纤心半径 r 变化 $\pm 0.08 \mu\text{m}$ 时, 计算出光纤的性能为:

—模场直径 $> 8.3 \mu\text{m}$;

10 —销钉阵列弯曲损耗 $< 8\text{dB}$;

— λ_c 在约 1380nm 至 1450nm 的范围内;

— λ_o 在约 1500nm 至 1525nm 的范围内; 以及

—在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内色散斜率在约 $0.059\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 至 $0.061\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 的范围内。

15 当允许 $\Delta_3\%$ 变化 $\pm 0.05\%$ 时, 计算出光纤的性能为:

—模场直径 $> 8.35 \mu\text{m}$;

—销钉阵列弯曲损耗 $< 6\text{dB}$;

— λ_c 在约 1250nm 至 1550nm 的范围内;

— λ_o 在约 1500nm 至 1525nm 的范围内; 以及

20 —在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内色散斜率在约 $0.059\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 至 $0.061\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 的范围内。

当允许 r_3 变化 $\pm 0.25 \mu\text{m}$ 时, 计算出光纤的性能为:

—模场直径 $> 8.35 \mu\text{m}$;

—销钉阵列弯曲损耗 $< 6\text{dB}$;

25 — λ_c 在约 1350nm 至 1450nm 的范围内;

— λ_o 在约 1510nm 至 1513nm 的范围内; 以及

—在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内色散斜率在约 $0.059\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 至 $0.061\text{ps}/\text{nm}^2\text{-km}$ 的范围内。

30 可以预料, 参数之间有利的影响, 即一个参数的移动消除了另一个参数移动的负面结果的相互影响可以大大地提高上面描述的光纤族的容限。

图 1 是三段纤心折射率分布的一般示意图, 它示出了折射率分布范围的定界。

图 2 是本申请的新颖折射率分布的一个例子。

图 3a、3b、3c 和 3d 示出了光纤性能对折射率分布参数变化的敏感性。

图 4 是销钉阵列弯曲测试的示意性顶视图。

35 此处描述的新颖的光纤包括具有三段的纤心区域。这些段以给定段的折射率分布特性而彼此有区别。三段纤心区域为光纤的设计提供了足够的灵活性, 以适应宽的功

能要求。可以改变以提供特定的光纤性能的参数是：

三个域中每个区域的 Δ %；

三个区域中每个区域的半径；以及

三个区域中每个区域的折射率分布形状。

- 5 这里描述的新颖光纤的特性是：在规定的 1530nm 至 1570nm 波长范围内正的总色散，以抵消 SPM 的非线性作用；在规定的波长范围内非常低的色散斜率，以使 WDM 操作变得容易；以及零色散在规定的波长外，以限制由于四波混频产生的色散。正色散一般小于 3ps/nm/km，这能实现较长的无再生的系统。有利的是，规定的波长范围基本上与掺铒光放大器的峰值增益曲线一致。因此，新颖光纤非常适于具有高比特率或者
- 10 装有光放大器或者再生器间隔较长的系统。

另外，纤心区域的设计是简单的，这意味着衰减可与阶跃折射率的光纤相比拟，因而制造成本维持尽可能低。

- 极好的波导特性和性能包括与阶跃折射率光纤相同的强度特性和疲劳性能。而且，新颖光纤的弯曲性与现在可以获得的色散位移光纤一样好或者更好。在图 4 中示出了证实关于相对弯曲性能说明的销钉阵列弯曲测试。光纤 32 在销钉 34 的交错侧经过。销钉固定地安装在基板 30 上。把光纤拉紧，以使光纤与销钉表面一部分的形状一致。
- 15

- 参见图 1，用 2、6 和 8 表示折射率分布可以调节的三个纤心段。在这三段的每一段中，由该段径向的每个点处的特定折射率来确定折射率分布。可以调节每段的径向范围来获得较佳的光纤特性。如图所示，中心纤心区域 2 半径的长度表示成 4。在这种情况下，对于所有模拟的情况，从轴的中心线到外推的中心折射率分布与 x 轴交点来测量中心纤心的半径。
- 20

- 第一环形区域 6 由半径 4 和半径 7 来定界，半径 7 延伸到从第二环形区域的半宽度点拉出的垂线 5。第二环形区域 8 的特征半径选成长度 12，它从纤心中心线延伸到段 8 的基部的中点(用点 3 表示)。第二环形半径的这种约定在所有模拟的情况下使用。对于对称的折射率分布的一种方便的折射率分布量度是垂线 5 之间的宽度 10。线 5 与段 10 的半宽度点有关。第二环形宽度的这种约定在所有模拟的情况下使用。
- 25

例子 1-三段正色散光纤

- 30 图 2 中示出了三段纤心区域折射率分布。在中心折射率分布段内的中心线下陷是由于在波导预制棒加工期间，掺杂剂从光纤的中心线扩散造成的。中心段是 α 折射率分布，约为 1 且 Δ_1 约为 0.73%。中心半径约为 $3.4\mu\text{m}$ 。第二段为 $\Delta_2\%$ 接近零内外半径分别为 $3\mu\text{m}$ 和 $9\mu\text{m}$ 的环形段 18。第三段 20 的宽度约为 $0.95\mu\text{m}$ ， Δ_3 约为 0.14%，到段中点的半径约为 $9.5\mu\text{m}$ 。

- 35 该波导的预计性能是：

$-\lambda_0=1511\text{nm}$ ；

- 色散斜率=0.06ps/nm²-km;
 - 模场直径=8.4 μ m;
 - 在光纤形式时, λ_c=1412nm; 而在成缆后, λ_c=1100nm;
 - 在 1530nm 至 1570nm 的波长范围内, 总色散在 1-3ps/nm-km 范围内; 和
 - 销钉阵列弯曲损耗=5.6dB, 与负色散三段波导损耗的 8dB 平均值相比是有利的。
- 注意, 例子 1 的光纤满足为 WDM、有限的四波混频、减少的 SPM 以及与掺铒光放大器一起使用而设计的高性能单模光纤的每一项指标。

图 3a、3b、3c 和 3d 这四幅图示出了这种新颖光纤对于纤心区域参数变化的不敏感性。

10

例子 2-弯曲损耗和模场敏感度

- 图 3a 是弯曲损耗对模场半径的曲线图, 其中, Δ % = 0.73% 可以在 + / - 0.01 Δ % 范围内变化。拉制前的纤心预制棒半径可以变化约为 2.5%, 其中, 在拉制前的纤心预制棒半径一般在 3.5mm-6mm 的范围内。把该特定半径选择为一参数, 因为纤心预制棒半径的变化可能导致不同的相对段间隔以及段半径差。对于第三段, Δ₃% 取
- 15 0.18% +/- 0.05%。第三段的半径为 9.6 μ m +/- 0.25 μ m。

- 为了产生图 3a 的曲线 22、24、28, 把三个参数保持在它们的中点上, 而把第四个参数在其上限和下限之间变化。因此, 通过计算预制棒半径为 3.5mm, Δ₃% 为 0.18%, r₃ 为 9.6 μ m 以及 Δ₁ 在 0.72% 至 0.74% 的范围内变化时的弯曲损耗和模场直径来得到线 24。同样, 通过计算 Δ₁% 为 0.73%, Δ₃% 为 0.18%, r₃ 为 9.6 μ m 以及
- 20 预制棒直径在 3.5 μ m +/- 2.5% 的范围内变化时的弯曲损耗和模场直径来得到线 22。类似地产生曲线 26 和 28, 具体的参数值是 Δ₃% 为 0.18% +/- 0.05%, r₃ 为 9.6 μ m +/- 0.25 μ m。

- 如上所述, 特别的是纤心区域参数可以变化, 而弯曲损耗仍保持低于 8dB, 模场直径仍保持在 8.30 μ m 至 8.5 μ m 的范围内。
- 25

表 1 示出了各纤心区域折射率参数的中点值和范围, 它们限定了新颖的折射率分布族。

表 1

	Δ ₁ %	r ₁	Δ ₂ %	Δ ₃ %	r ₃	段 3 宽度
平均值	0.73%	3.4 μ m	0.012%	0.18%	9.6 μ m	1.2 μ m
范围	+ / 0.10%	+ / - 0.2	+ / .006%	+ / - 0.05%	+ / - 1.4	+ / - 0.5

30

例子 2-波导截止和模场直径

参见图 3b, 此处所示的四条曲线是以与图 3a 内的曲线相似的方式产生的。请注意, 对于段 1 的 Δ₁%, 预制棒半径和 r₃ 的所述的变化、截止波长在 1350nm

至 1450nm 这一非常窄的范围内。当预制棒半径在其预定的约为 $3.5\text{mm} \pm 2.5\%$ 的范围内变化时，将可以看出较大的截止波长变化。然而，即使在这种情况下，光纤仍具有全部的功能，因为成缆后的截止波长将在约 1100nm 以下。通常，成缆会相对于在进一步加工之前测得的光纤的截止波长减小约 400nm。

- 5 模场直径的变化再次被限制在 $8.30\text{ }\mu\text{m}$ 至 $8.5\text{ }\mu\text{m}$ 这一窄的范围内。

例子 3-零色散波长和模场直径

- 如上述例子 1 和 2 中的一样，四个纤心区域参数可以在所选的值范围内变化。参见图 3c，模场直径在 $8.3\text{ }\mu\text{m}$ 至 $8.5\text{ }\mu\text{m}$ 的范围内，零色散波长 λ_0 被有利地限制在约
10 为 1500nm 至 1520nm 的范围内。因此，对于新颖光纤纤心区域的参数有较大变化的情况， λ_0 仍保持在与掺铒光放大器的峰值增益范围一致的 WDM 区域，即 1530nm 至 1570nm，之外。

例子 4-总色散斜率和模场直径

- 15 如图 3d 所示，当在它们各自的变化范围内选取纤心参数时，则模场在 $8.3\text{ }\mu\text{m}$ 至 $8.5\text{ }\mu\text{m}$ 的范围内，总色散斜率在 0.059 至 $0.061\text{ps/nm}^2\text{-km}$ 这一较窄的范围内。

- 观察这四张曲线图，图 3a、3b、3c 和 3d，显然可见模场直径对 r_3 预定的变化均不敏感。而且，可以看出这些例子中所研究的四个参数对色散斜率的变化都有大体相等的影响。图 3 的敏感度曲线上的点簇强烈地显示了容易制造该新颖正色散纤心区域
20 设计。

我们预计利用关键纤心区域参数的制造容差，甚至有更大的灵活性。我们知道，这些参数之间相互影响，因此，我们可以改变一个参数的作用来消除另一个参数变化的作用。因此，成对地或者对三个或更多个一组的参数变化进行研究，从而确定更宽的纤心设计族，它们在关键的波长范围内给出正色散以及高性能光纤的那些特征。

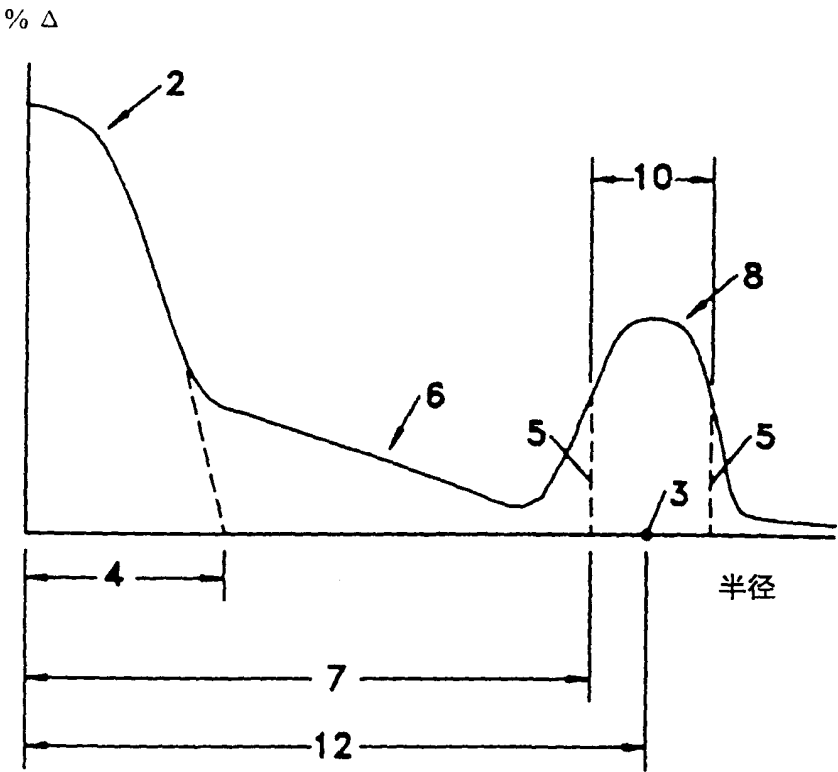


图 1

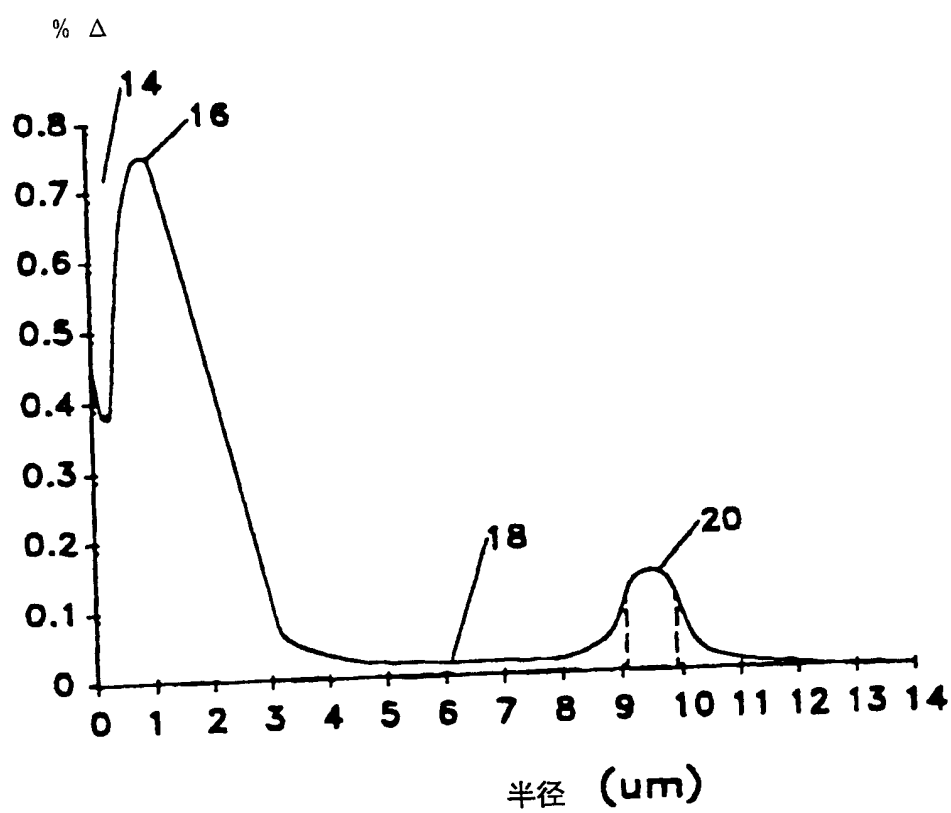


图 2

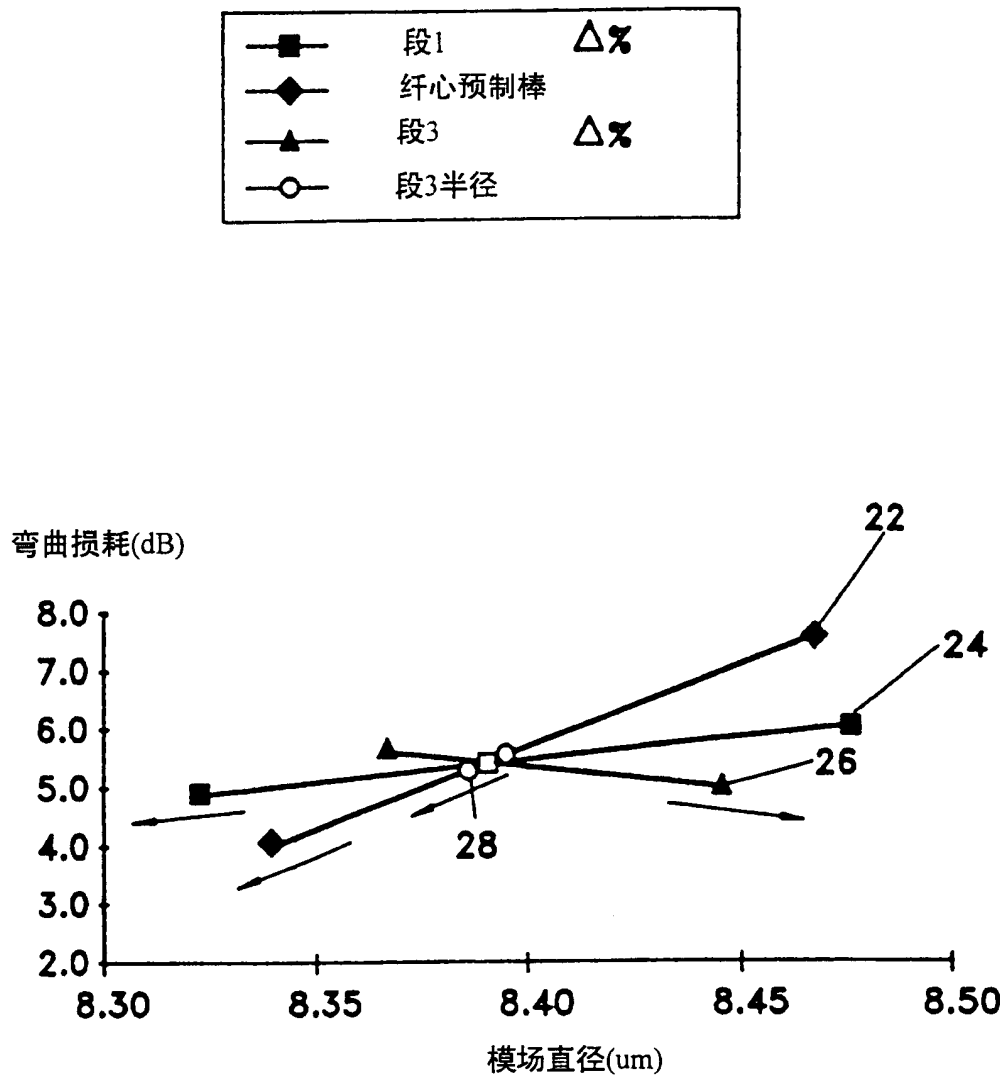


图 3a

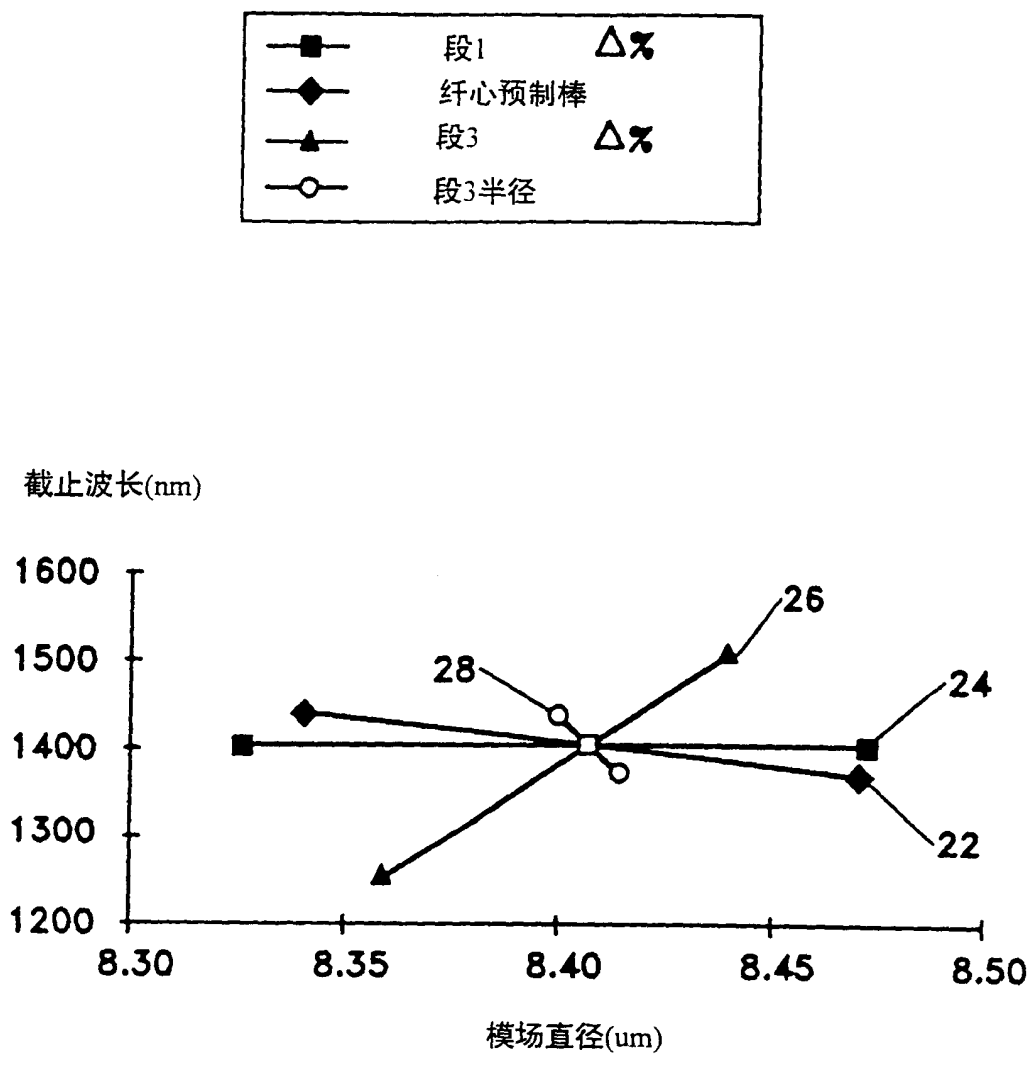


图 3b

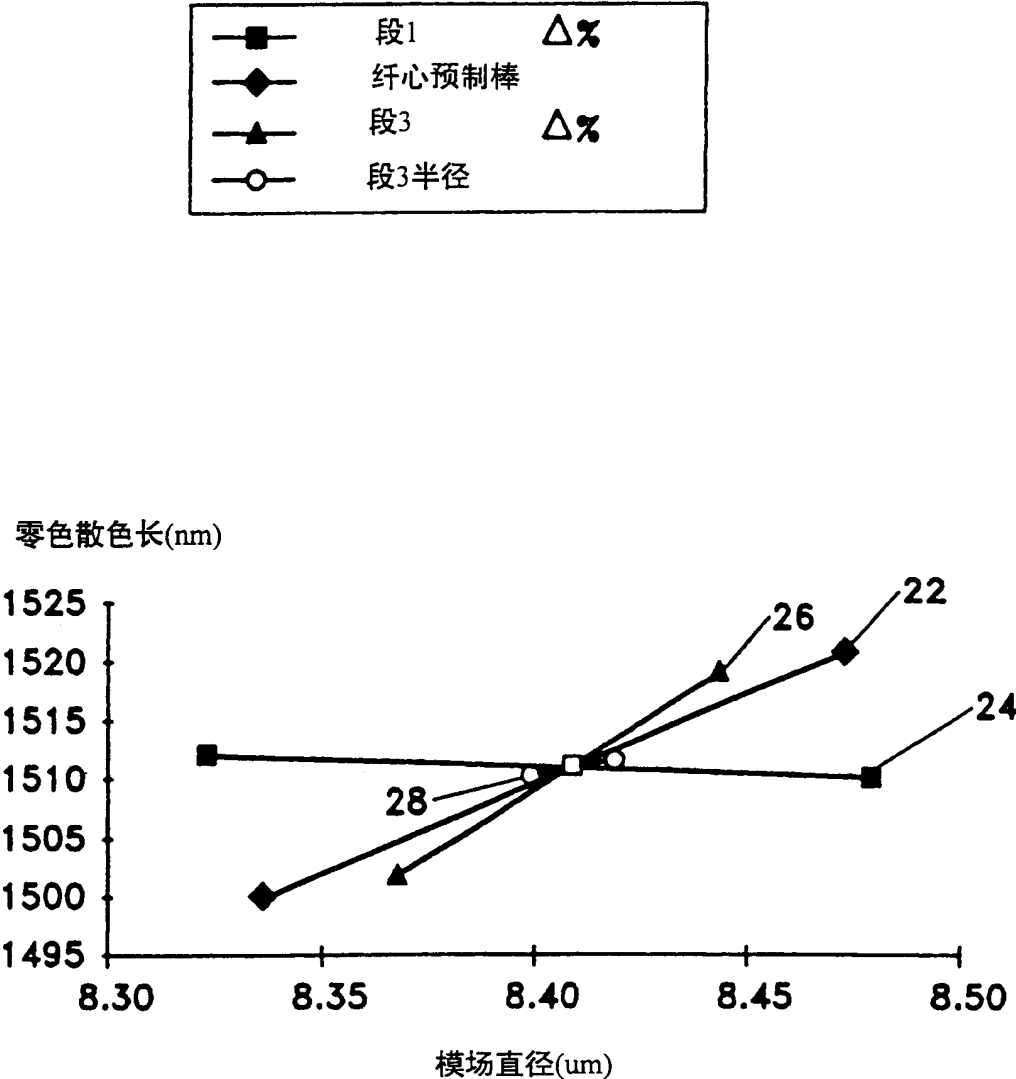


图 3c

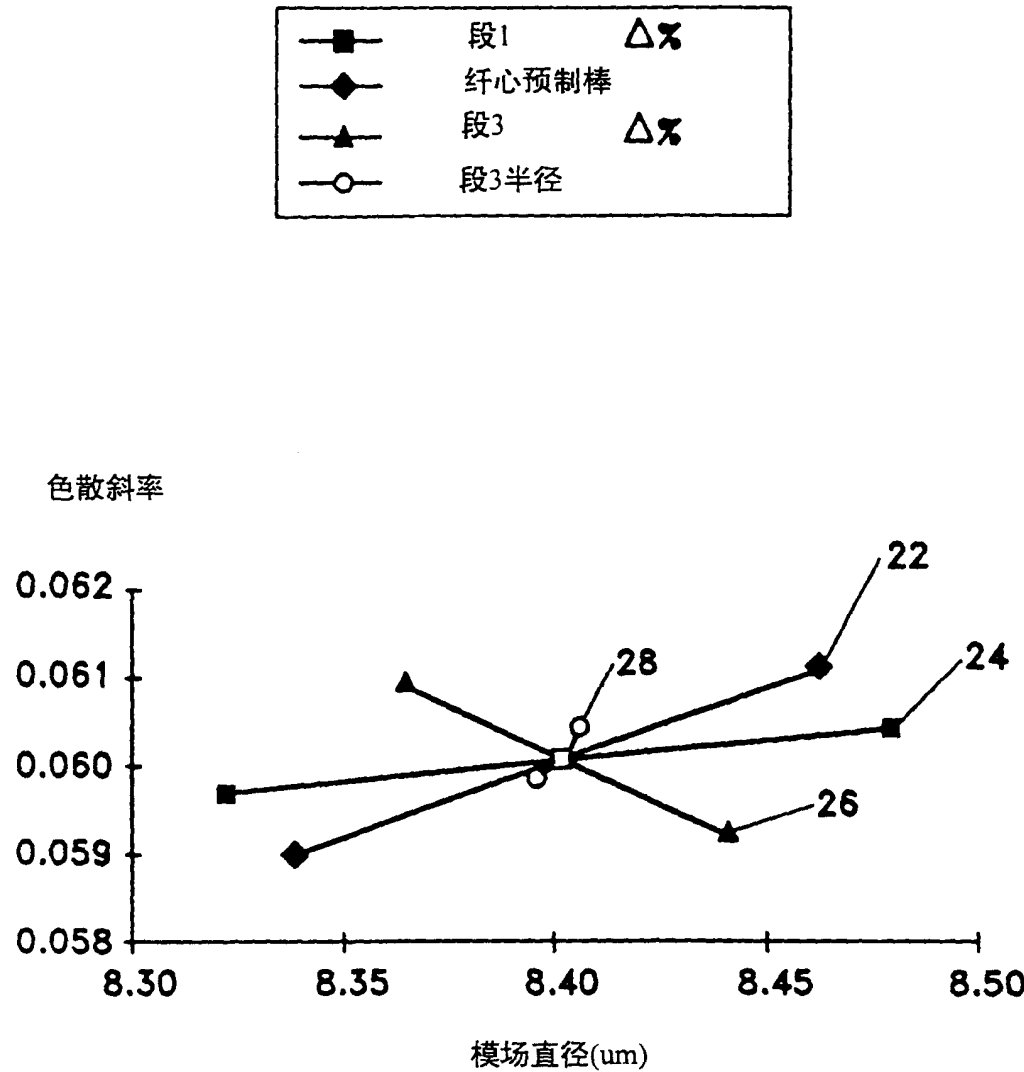


图 3d

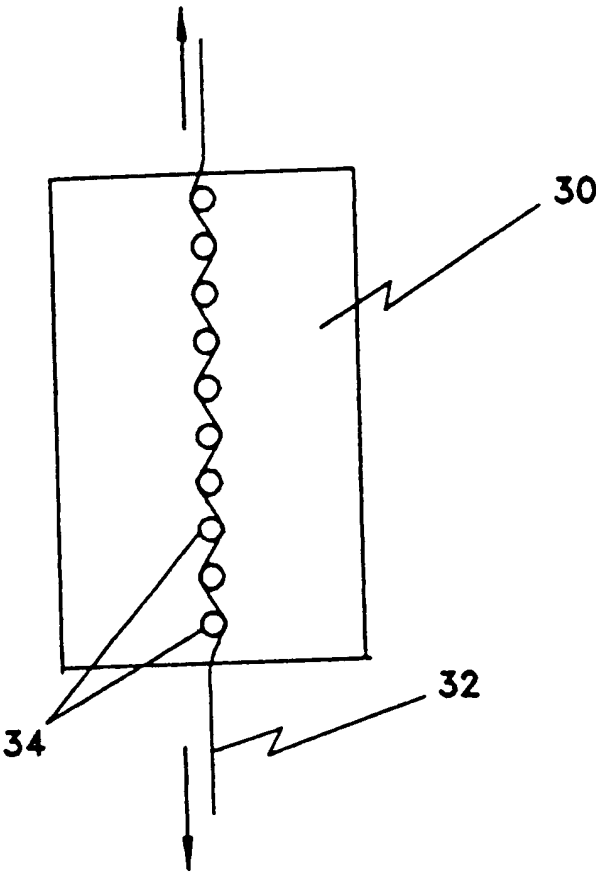


图 4