

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G02B 6/10

G02B 6/16



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 02813742.6

[43] 公开日 2004 年 9 月 1 日

[11] 公开号 CN 1526079A

[22] 申请日 2002.7.5 [21] 申请号 02813742.6

[30] 优先权

[32] 2001. 7. 10 [33] JP [31] 209826/2001

[32] 2002. 1. 21 [33] JP [31] 012017/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2002/006868 2002.7.5

[87] 国际公布 WO2003/007032 日 2003.1.23

[85] 进入国家阶段日期 2004.1.8

[71] 申请人 住友电气工业株式会社

地址 日本大阪

[72] 发明人 大村真树 茂原政一

[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

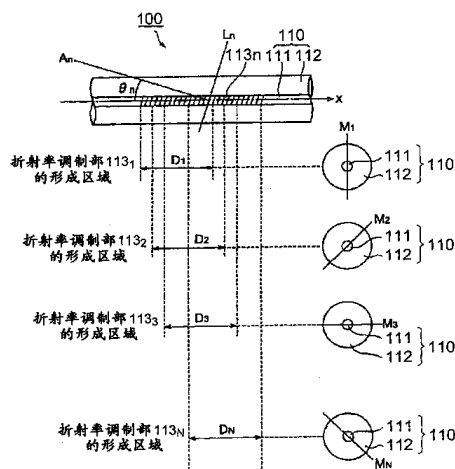
代理人 付建军

权利要求书 2 页 说明书 13 页 附图 11 页

[54] 发明名称 光波导型衍射光栅元件及其制造方法

[57] 摘要

提供一种光波导型衍射光栅元件(倾斜型衍射光栅元件)及其制造方法。其中,对于各折射率调制部 13_n , 将折射率相等的折射率等位面表示为 L_n , 将垂直于折射率等位面 L_n 、将与光纤 10 的光轴(x 轴)相交的直线表示为 A_n , 将直线 A_n 和光轴构成的角表示为 θ_n , 将直线 A_n 和光轴构成的偏移角面表示为 M_n ($n=1 \sim N$)。这时,对于各折射率调制部 13_n , 直线 A_n 和光轴不平行, 直线 A_n 和光轴构成的角 θ_n 不为 0。另外,各折射率调制部 13_n 的偏移角面 M_n 互相不一致。N 个折射率调制部 $13_1 \sim 13_N$ 中的任意两个折射率调制部 13_{n1} 、 13_{n2} 各自的形成区域至少一部分互相重叠。



1. 一种光波导型衍射光栅元件，其特征在于：

沿光波导的长度方向形成 N 个折射率调制部， N 是 2 以上的整数，

上述 N 个折射率调制部各自的垂直于折射率等位面的直线与上述光波导的光轴不平行，

上述 N 个折射率调制部各自的垂直于折射率等位面的直线和光波导的光轴构成的偏移角面互相不一致，且

上述 N 个折射率调制部中的任意两个折射率调制部的各自的形成区域至少有一部分互相重叠。

2. 根据权利要求 1 所述的光波导型衍射光栅元件，其特征在于：上述 N 个折射率调制部各自的偏移角面绕光波导的光轴各偏移 $180^\circ/N$ 。

3. 根据权利要求 1 所述的光波导型衍射光栅元件，其特征在于：上述 N 个折射率调制部各自的偏移角面绕光波导的光轴各偏移 $360^\circ/N$ 。

4. 根据权利要求 1 所述的光波导型衍射光栅元件，其特征在于：上述 N 个折射率调制部各自的垂直于折射率等位面的直线和光波导的光轴构成的角度彼此相同，沿上述光波导的长度方向的形成区域的长度彼此相同，折射率调制周期彼此相同，折射率调制振幅彼此相同。

5. 根据权利要求 1 所述的光波导型衍射光栅元件，其特征在于：透射损失最大的波长中，偏振波相关损失为透射损失最大值的 $1/10$ 以下。

6. 一种光波导型衍射光栅元件的制造方法，其特征在于：

沿光波导的长度方向依次形成 N 个折射率调制部，且使垂直于折射率等位面的直线不平行于光波导的光轴， N 是 2 以上的整数，同时

形成第 n 个折射率调制部时，垂直于折射率等位面的直线和光波导的光轴构成的偏移角面与已经形成的第一至第 $(n-1)$ 个折射率调制部各自的偏移角面中的任何一个都不一致， n 是 2 以上 N 以下的整数，

上述 N 个折射率调制部中的任意两个折射率调制部的各自的形成区域至少有一部分互相重叠。

7. 根据权利要求 6 所述的光波导型衍射光栅元件的制造方法，其特征在于：使上述 N 个折射率调制部各自的偏移角面绕光波导的光轴各偏移 $180^\circ/N$ 。

8. 根据权利要求 6 所述的光波导型衍射光栅元件的制造方法，其特征在于：使上述 N 个折射率调制部各自的偏移角面绕光波导的光轴各偏移 $360^\circ/N$ 。

9. 根据权利要求 6 所述的光波导型衍射光栅元件的制造方法，其特征在于：分别形成上述 N 个折射率调制部时，使垂直于折射率等位面的直线和光波导的光轴构成的角度彼此相同，使沿上述光波导的长度方向的形成区域的长度彼此相同，使折射率调制周期彼此相同，使折射率调制振幅彼此相同。

10. 根据权利要求 6 所述的光波导型衍射光栅元件的制造方法，其特征在于：一边监视透射损失，一边分别形成上述 N 个折射率调制部。

11. 根据权利要求 6 所述的光波导型衍射光栅元件的制造方法，其特征在于：一边监视偏振波相关损失，一边分别形成上述 N 个折射率调制部。

光波导型衍射光栅元件及其制造方法

技术领域

本发明涉及沿光波导的长度方向形成了折射率调制部的光波导型衍射光栅元件及其制造方法。

背景技术

光波导型衍射光栅元件是沿光波导（例如光纤）的长度方向的规定范围形成了折射率调制部的元件。通常的光波导型衍射光栅元件中，与折射率等位面（折射率调制部中的折射率相等的面）垂直的直线与光波导的光轴平行。在此情况下，折射率调制周期为 Λ ，如果光波导的折射率调制部的平均有效折射率为 n_{ave} ，则该光波导型衍射光栅元件有选择地反射满足用 $\lambda = 2n_{ave}\Lambda$ 式表示的布拉格条件式的反射波长为 λ 的光，使其他波长的光透过。在该折射率调制部中反射的反射波长为 λ 的光沿着与入射时相反的方向在光波导中传播。

与此不同，已知一种垂直于折射率等位面的直线与光波导的光轴不平行的光波导型衍射光栅元件（以下称“倾斜型衍射光栅元件”）（参照例如文献“M. J. Holmes 等人，“Ultra Narrow-Band Optical Fibre Sidetap Filters”，ECOC'98，第137-138页（1998）”）。图1A及图1B是现有的倾斜型衍射光栅元件的说明图。图1A是用包含倾斜型衍射光栅元件的光轴的面切断时的剖面图，图1B是用垂直于光轴的面切断时的剖面图。该图所示的现有的倾斜型衍射光栅元件9是，在具有高折射率的纤芯区域91及低折射率的包层区域92的光纤90中，在沿着该纤芯区域91的长度方向的规定范围内形成折射率调制部93。而且，垂直于折射率调制部93的折射率等位面L直线A不与光纤90的光轴（图中的x轴）平行，直线A和光轴构成的角 θ 不为0。在此情况下，沿直线A的折射率调制

周期为 Λ ，如果折射率调制部 93 的平均有效折射率为 n_{ave} ，则该倾斜型衍射光栅元件 9 有选择地反射满足用 $\lambda = 2n_{ave}\Lambda/\sin\theta$ 式表示的布雷格条件式的反射波长为 λ 的光，使其他波长的光透过。在该折射率调制部 93 中反射的反射波长为 λ 的光不在光纤 90 中传播，而发射到光纤 90 的外部。即，该倾斜型衍射光栅元件作为低反射损失的光纤起作用。因此，该倾斜型衍射光栅元件 9 适合作为例如使光纤放大器的增益均衡的增益均衡器使用。

可是，现有的倾斜型衍射光栅元件 9 的损失特性有偏振波相关性。即，在具有平行于由直线 A 和光轴构成的偏移角面 M（图 1A 及图 1B 中的 xy 平面）的偏振波面的偏振波模式、以及具有垂直于偏移角面 M 的偏振波面的偏振波模式中，损失特性不同。

因此，为了降低这样的偏振波相关损失，例如可以考虑将现有的倾斜型衍射光栅元件绕光轴扭转，使偏移角面沿长度方向旋转，使各个偏移角面不同。如果这样做，则长度方向的某位置及另一位置各自的偏振波相关损失互相抵消，能降低偏振波相关损失。

可是，在扭转倾斜型衍射光栅元件的情况下，由于光纤是由玻璃构成的，很脆弱，所以为了降低偏振波相关损失，有必要使折射率调制部增长。另外，在连接多个折射率调制部的情况下，由于熔融连接而需要备有长度富余部，所以折射率调制部总体增长了。现有的倾斜型衍射光栅元件无论如何也不能用较短的尺寸降低偏振波相关损失。

本发明就是为了解决上述问题而完成的，其目的在于提供一种光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）及其制造方法。

发明内容

本发明的光波导型衍射光栅元件的特征在于：（1）沿光波导的长度方向形成 N（N 是 2 以上的整数）个折射率调制部，（2）N 个折射率调制部各自的垂直于折射率等位面的直线不平行于光波导的光轴，（3）N 个折射率调制部各自的垂直于折射率等位面的直线和光

波导的光轴构成的偏移角面互相不一致，（4） N 个折射率调制部中的任意两个折射率调制部各自的形成区域至少一部分互相重叠。

本发明的光波导型衍射光栅元件的制造方法的特征在于：（1）沿光波导的长度方向依次形成 N （ N 是 2 以上的整数）个折射率调制部，且使垂直于折射率等位面的直线不平行于光波导的光轴，同时（2）形成第 n （ n 是 2 以上 N 以下的整数）个折射率调制部时，垂直于折射率等位面的直线和光波导的光轴构成的偏移角面与已经形成的第一至第 $(n-1)$ 个折射率调制部各自的偏移角面中的任何一个都不一致，（3） N 个折射率调制部中的任意两个折射率调制部各自的形成区域至少一部分互相重叠地制造光波导型衍射光栅元件。

本发明的光波导型衍射光栅元件、以及采用本发明的光波导型衍射光栅元件的制造方法制造的光波导型衍射光栅元件形成 N 个折射率调制部，垂直于各折射率调制部的折射率等位面的直线与光波导的光轴不平行，各折射率调制部的偏移角面互相不一致，任意两个折射率调制部各自的形成区域至少一部分互相重叠。由于这样构成，所以光波导型衍射光栅元件的尺寸短，能降低偏振波相关损失。

另外，本发明的光波导型衍射光栅元件的特征在于： N 个折射率调制部各自的偏移角面绕光波导的光轴各偏移 $180^\circ/N$ 。本发明的光波导型衍射光栅元件的制造方法的特征在于：使 N 个折射率调制部各自的偏移角面绕光波导的光轴各偏移 $180^\circ/N$ ，制造光波导型衍射光栅元件。在此情况下，光波导型衍射光栅元件能有效地降低偏振波相关损失。

另外，本发明的光波导型衍射光栅元件的特征在于： N 个折射率调制部各自的偏移角面绕光波导的光轴各偏移 $360^\circ/N$ 。本发明的光波导型衍射光栅元件的制造方法的特征在于：使 N 个折射率调制部各自的偏移角面绕光波导的光轴各偏移 $360^\circ/N$ ，制造光波导型衍射光栅元件。与上述的各偏移 $180^\circ/N$ 的情况相比，在这样各偏移 $360^\circ/N$ 的情况下，光波导型衍射光栅元件能更有效地降低偏振波相关损失。另外， N 可以是奇数，也可以是偶数。如果 N 是偶数，则由

于偏移角面相差 180 度的一对折射率调制部分别具有的非对称性引起的双折射性互相抵消，因此光波导型衍射光栅元件更能有效地降低偏振波相关损失。

另外，在本发明的光波导型衍射光栅元件中，特征在于：N 个折射率调制部各自的垂直于折射率等位面的直线和光波导的光轴构成的角度彼此相同，沿光波导的长度方向的形成区域的长度彼此相同，折射率调制周期彼此相同，折射率调制振幅彼此相同。本发明的光波导型衍射光栅元件的制造方法的特征在于：在分别形成 N 个折射率调制部时，使垂直于折射率等位面的直线和光波导的光轴构成的角度彼此相同，使沿光波导的长度方向的形成区域的长度彼此相同，使折射率调制周期彼此相同，使折射率调制振幅彼此相同。在此情况下，光波导型衍射光栅元件也能有效地降低偏振波相关损失。

另外，在本发明的光波导型衍射光栅元件的特征在于：透射损失最大的波长中，偏振波相关损失为透射损失最大值的 1/10 以下。在此情况下，光波导型衍射光栅元件在光通信领域中作为要求偏振波相关损失小的光学装置（或其一部分）很适用。

另外，本发明的光波导型衍射光栅元件的制造方法的特征在于：一边监视透射损失，一边分别形成 N 个折射率调制部。或者，特征在于：一边监视偏振波相关损失，一边分别形成 N 个折射率调制部。在此情况下，所制造的光波导型衍射光栅元件能有效地降低偏振波相关损失。

附图说明

图 1A 及图 1B 是现有的倾斜型衍射光栅元件的说明图。

图 2 是本实施形态的光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）的说明图。

图 3 是用来说明本实施形态的光波导型衍射光栅元件的制造方法的斜视图。

图 4A、图 4B、图 4C 及图 4D 分别是用来说明本实施形态的光

波导型衍射光栅元件的制造方法的剖面图。

图 5A 及图 5B 是表示本实施形态的光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）的透射特性的图，图 5A 是表示第一个折射率调制部形成结束时刻的透射特性的图，图 5B 是表示第二个折射率调制部形成结束时刻的透射特性的图。

图 6A 及图 6B 分别是表示本实施形态的光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）的透射特性及偏振波相关损失特性的图。

图 7A 及图 7B 分别是表示比较例的光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）的透射特性及偏振波相关损失特性的图。

图 8 是另一实施形态的光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）的说明图。

图 9A 及图 9B 分别是表示只从一个方向照射折射率变化诱导光，形成了一个折射率调制部的倾斜型衍射光栅元件的透射率 T 及偏振波相关损失 PDL 各自的波长相关性的曲线图。

图 10A 及图 10B 分别是表示从相差 90 度的两个方向照射折射率变化诱导光，形成了两个折射率调制部的倾斜型衍射光栅元件 1 的透射率 T 及偏振波相关损失 PDL 各自的波长相关性的曲线图。

图 11A 及图 11B 分别是表示从相差 90 度的 4 个方向照射折射率变化诱导光，形成了 4 个折射率调制部的倾斜型衍射光栅元件 2 的透射率 T 及偏振波相关损失 PDL 各自的波长相关性的曲线图。

具体实施方式

以下，参照附图详细地说明本发明的实施形态。另外，在附图的说明中对同一要素赋予同一标记，省略重复的说明。

图 2 是本实施形态的光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）1 的说明图。在该图中，示出了用包含光轴的面切断时的剖面图、以及用垂直于光轴的面切断时的剖面图。该图所示的本实施形态的倾斜型衍射光栅元件 1 沿着作为光波导的光纤 10 的长度方向，形成 N（N 是 2 以上的整数）个折射率调制部 $13_1 \sim 13_N$ 。光纤 10 是以

石英玻璃为基础的纤维，包括添加了 GeO_2 的纤芯区域 11、以及包围该纤芯区域 11 的包层区域 12。

关于各折射率调制部 13_n (n 是 1 以上 N 以下的任意的整数)，将折射率相等的折射率等位面表示为 L_n ，将垂直于折射率等位面 L_n 、将与光纤 10 的光轴 (x 轴) 相交的直线表示为 A_n ，将直线 A_n 和光轴构成的角表示为 θ_n ，将直线 A_n 和光轴构成的偏移角面表示为 M_n 。

对于各折射率调制部 13_n ，直线 A_n 和光轴不平行，直线 A_n 和光轴构成的角 θ_n 不为 0。即，各折射率调制部 13_n 沿着相对于光轴以角度 θ_n 倾斜的直线，在纤芯区域 11 中形成了周期为 Λ_n 的折射率调制部。另外，各折射率调制部 13_n 的偏移角面 M_n 互相不一致。即，取 N 个折射率调制部 $13_1 \sim 13_N$ 中的任意两个折射率调制部 13_{n1} 、 13_{n2} 时，偏移角面 M_{n1} 和偏移角面 M_{n2} 不一致。

N 个折射率调制部 $13_1 \sim 13_N$ 中的任意两个折射率调制部 13_{n1} 、 13_{n2} 各自的形成区域至少一部分互相重叠。图中，例如折射率调制部 13_1 的形成区域与折射率调制部 13_2 的形成区域一部分重叠，还与折射率调制部 13_3 的形成区域一部分重叠。另外， N 个折射率调制部 $13_1 \sim 13_N$ 各自的形成区域也可以全部一致。

这样，本实施形态的倾斜型衍射光栅元件 1 形成 N 个折射率调制部 $13_1 \sim 13_N$ ，各折射率调制部 13_n 的角度 θ_n 不为 0，各折射率调制部 13_n 的偏移角面 M_n 互相不一致，任意两个折射率调制部 13_{n1} 、 13_{n2} 各自的形成区域至少一部分互相重叠。这样构成的倾斜型衍射光栅元件 1 的尺寸短，能降低与偏振波相关的损失。

另外， N 个折射率调制部 $13_1 \sim 13_N$ 各自的偏移角面 $M_1 \sim M_N$ 正好绕光纤 10 的光轴各偏移 $180^\circ/N$ 。例如，如果 $N = 2$ ，则偏移角面 M_1 和偏移角面 M_2 相正交。另外，例如，如果 $N = 3$ ，则偏移角面 $M_1 \sim M_3$ 绕光纤 10 的光轴各偏移 60° 。由于这样配置偏移角面 $M_1 \sim M_N$ ，所以倾斜型衍射光栅元件 1 能有效地降低偏振波相关损失。

另外，优选地， N 个折射率调制部 $13_1 \sim 13_N$ 的各自的直线 A_n 和

光轴构成的角度 θ_n 彼此相同，沿光纤 10 的长度方向的形成区域的长度彼此相同，折射率调制周期彼此相同，折射率调制振幅彼此相同。通过这样地形成各折射率调制部 13_n，倾斜型衍射光栅元件 1 可以有效地降低偏振波相关损失。

而且，本实施形态的倾斜型衍射光栅元件 1 在透射损失为最大的波长中，偏振波相关损失优选为透射损失最大值的 1/10 以下。这样的倾斜型衍射光栅元件 1 在光通信领域中作为要求偏振波相关损失小的光学装置（或其一部分）很适用，例如作为使光纤放大器的增益均衡的增益均衡器很适用。

其次，说明本实施形态的光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）1 的制造方法。图 3 及图 4A 至图 4D 是说明本实施形态的光波导型衍射光栅元件的制造方法用的图。图 3 是斜视图，图 4A 至图 4D 是用垂直于光轴的面切断时的剖面图。

首先，准备光纤 10、相位光栅掩模 20 及光源 30。如上所述，光纤 10 是以石英玻璃为基础的纤维，包括添加了 GeO_2 的纤芯区域 11、以及包围该纤芯区域 11 的包层区域 12。相位光栅掩模 20 是在石英玻璃平板的一个面上形成了由周期为 2Λ 的槽状凹凸构成的相位光栅的掩模。光源 30 是输出引起光纤 10 的纤芯区域 11 的折射率变化的波长的光（以下称“折射率变化诱导光”）的光源，例如，采用将波长为 248nm 的激光作为折射率变化诱导光输出的 KrF 受激准分子激光光源。

然后，如图 3 所示，相位光栅掩模 20 被配置在光纤 10 的侧面，且使形成了相位光栅的面与光纤 10 相对。另外，这时，相位光栅掩模 20 上的相位光栅的槽方向相对于垂直于光纤 10 的光轴的面，倾斜角度为 θ_1 。在两者这样配置的状态下，从光源 30 输出的折射率变化诱导光 UV 垂直地照射在相位光栅掩模 20 上。伴随该折射率变化诱导光 UV 的照射，由于相位光栅掩模 20 的衍射作用，产生+1 次衍射光和 -1 次衍射光，这些+1 次衍射光和 -1 次衍射光互相干涉，生成周期为 Λ 的干涉条纹。在光纤 10 的添加了 GeO_2 的纤芯区域 11

中，折射率对应于干涉条纹位置上的折射率变化诱导光的能量的大小而升降，因此形成折射率调制部 13_1 。该折射率调制部 13_1 在垂直于折射率等位面 L_1 、与光纤 10 的光轴相交的直线为 A_1 时，该直线 A_1 和光轴构成的角度为 θ_1 ，直线 A_1 和光轴构成的偏移角面 M_1 平行于相位光栅掩模 20 的面（参照图 3 及图 4A）。

这样，如图 4A 所示的配置状态下，使折射率变化诱导光 UV 照射一定时间，形成第一折射率调制部 13_1 。形成后，使折射率变化诱导光 UV 的照射中断，在此期间使光纤 10 绕光轴旋转一定角度，变成图 4B 所示的配置状态。然后，在图 4B 所示的配置状态下，使折射率变化诱导光 UV 照射一定时间，形成第二折射率调制部 13_2 。这样形成的第二折射率调制部 13_2 在垂直于折射率等位面 L_2 、与光纤 10 的光轴相交的直线为 A_2 时，该直线 A_2 和光轴构成的角度为 θ_2 ，直线 A_2 和光轴构成的偏移角面 M_2 平行于相位光栅掩模 20 的面。第二折射率调制部 13_2 的偏移角面 M_2 与已经形成的第一折射率调制部 13_1 的偏移角面 M_1 不一致。

另外，形成了第二折射率调制部 13_2 后，使折射率变化诱导光 UV 的照射中断，在此期间使光纤 10 绕光轴旋转一定角度，变成图 4C 所示的配置状态。然后，在图 4C 所示的配置状态下，使折射率变化诱导光 UV 照射一定时间，形成第三折射率调制部 13_3 。这样形成的第三折射率调制部 13_3 在垂直于折射率等位面 L_3 、与光纤 10 的光轴相交的直线为 A_3 时，该直线 A_3 和光轴构成的角度为 θ_3 ，直线 A_3 和光轴构成的偏移角面 M_3 平行于相位光栅掩模 20 的面。第三折射率调制部 13_3 的偏移角面 M_3 与已经形成的第一折射率调制部 13_1 的偏移角面 M_1 不一致，另外，与已经形成的第二折射率调制部 13_2 的偏移角面 M_2 也不一致。

以后也一样，依次形成第四至第 N 折射率调制部 $13_4 \sim 13_N$ 。形成第 N 折射率调制部 13_N 时，在图 4D 所示的配置状态下，使折射率变化诱导光 UV 照射一定时间，形成第 N 折射率调制部 13_N 。这样形成的第 N 折射率调制部 13_N 在垂直于折射率等位面 L_N 、与光纤 10 的

光轴相交的直线为 A_N 时, 该直线 A_N 和光轴构成的角度为 θ_N , 直线 A_N 和光轴构成的偏移角面 M_N 平行于相位光栅掩模 20 的面。第 N 折射率调制部 13_N 的偏移角面 M_N 与已经形成的第一至第 $(N-1)$ 折射率调制部 13₁ ~ 13_{N-1} 的偏移角面 M_1 ~ M_{N-1} 中的任何一个都不一致。

另外, 相位光栅掩模 20 如果位置照原样固定, 各 θ_n 全部为同一值, 但通过使相位光栅掩模 20 在其面上旋转, 能使各 θ_n 不同。另外, 如果使用一个相位光栅掩模 20, 则在各折射率调制部 13_n 中沿直线 A_n 的折射率调制周期全部为同一值, 但通过更换不同的相位光栅周期的相位光栅掩模, 能使在各折射率调制部 13_n 中沿直线 A_n 的折射率调制周期不同。

这样, 在本实施形态的光波导型衍射光栅元件的制造方法中, 沿光纤 10 的长度方向, 垂直于折射率等位面 L_n 的直线 A_n 与光纤 10 的光轴不平行 (即角度 $\theta_n \neq 0$) 地依次形成 N 个折射率调制部 13₁ ~ 13_N。另外, 形成第 n 折射率调制部 13_n 时, 其偏移角面 M_n 与已经形成的第一至第 $(n-1)$ 折射率调制部 13₁ ~ 13_{n-1} 各自的偏移角面 M_1 ~ M_{n-1} 中的任何一个都不一致。另外, N 个折射率调制部 13₁ ~ 13_N 中的任意两个折射率调制部各自的形成区域至少一部分互相重叠地形成。这样就能制造本实施形态的倾斜型衍射光栅元件 1。

特别优选地, 形成了第 $(n-1)$ 折射率调制部 13_{n-1} 后, 光纤 10 绕光轴旋转一定角度 $180/N$, 形成第 n 折射率调制部 13_n。这样制造的倾斜型衍射光栅元件 1 由于 N 个折射率调制部 13₁ ~ 13_N 各自的偏移角面 M_1 ~ M_N 绕光纤 10 的光轴各偏移 180 度/ N , 所以能有效地降低偏振波相关损失。

另外, 形成各折射率调制部 13_n 时, 正好使垂直于折射率等位面 L_n 的直线 A_n 和光纤 10 的光轴构成的角度 θ_n 彼此相同, 使沿光纤 10 的长度方向的形成区域的长度 D_n 彼此相同, 使折射率调制周期彼此相同, 使折射率调制振幅彼此相同。这样制造的倾斜型衍射光栅元件 1 能有效地降低偏振波相关损失。

另外, 形成各折射率调制部 13_n 时, 适合监视制造过程中的倾

斜型衍射光栅元件 1 的透射损失或偏振波相关损失。这样做，所制造的倾斜型衍射光栅元件 1 能有效地降低偏振波相关损失。

下面，说明本实施形态的光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）1 及其制造方法的实施例。在本实施例中，光纤 10 不仅在纤芯区域 11 中，而且在包层区域 12 中也添加了 GeO_2 。相位光栅掩模 20 的周期不一定，周期沿着垂直于槽方向的方向逐渐变化，中心周期为 1.0650 微米，周期变化率为 10.0nm/cm。光源 10 采用了将波长为 248nm 的激光作为折射率变化诱导光输出的 KrF 受激准分子激光光源。

而且，所制造的本实施例的倾斜型衍射光栅元件 1 有两个折射率调制部 13₁、13₂。两个折射率调制部 13₁、13₂ 各自的形成区域的长度为 5mm，互相全部重叠地形成。折射率调制部 13₁ 的偏移角面 M₁ 和折射率调制部 13₂ 的偏移角面 M₂ 互相正交。

在本实施例的制造方法中，首先形成第一折射率调制部 13₁，然后，在折射率变化诱导光 UV 的照射被中断的期间，使光纤 10 绕光轴旋转 90 度，接着形成了第二折射率调制部 13₂。另外，分别形成两个折射率调制部 13₁、13₂ 时，监视了制造过程中的倾斜型衍射光栅元件 1 的透射损失。

在本实施例中，透射损失最大的波长的透射损失的目标值为 1dB。而且，形成第一折射率调制部 13₁ 时，在被监视的透射损失达到了目标值的 1/2（0.5dB）的时刻，折射率变化诱导光 UV 的照射被中断。另外，接着形成第二折射率调制部 13₂ 时，在被监视的透射损失达到了目标值（1dB）的时刻，折射率变化诱导光 UV 的照射被终止。图 5A 是表示第一折射率调制部 13₁ 的形成结束时刻的透射特性的图，图 5B 是表示第二折射率调制部 13₂ 的形成结束时刻的透射特性的图。如该图所示，本实施例的倾斜型衍射光栅元件 1 的透射损失的最大值在第一折射率调制部 13₁ 的形成结束时刻为 0.5dB，在第二折射率调制部 13₂ 的形成结束时刻为 1.0dB。

图 6A 是表示本实施例的倾斜型衍射光栅元件的透射特性的图，

图 6B 是表示本实施例的倾斜型衍射光栅元件的偏振波相关损失特性的图。另外，图 7A 是表示比较例的倾斜型衍射光栅元件的透射特性的图，图 7B 是表示比较例的倾斜型衍射光栅元件的偏振波相关损失特性的图。这里，比较例的倾斜型衍射光栅元件是不重写的，只有一个折射率调制部的元件。

比较图 6A 和图 7A 可知，本实施例的倾斜型衍射光栅元件及比较例的倾斜型衍射光栅元件的透射光谱的形状相似，二者的透射损失的最大值都是 0.6dB 左右。可是，比较图 6B 和图 7B 可知，比较例的倾斜型衍射光栅元件的偏振波相关损失的最大值为 0.125dB 左右，与此不同，本实施例的倾斜型衍射光栅元件的偏振波相关损失的最大值为 0.03dB 左右。本实施例的倾斜型衍射光栅元件的偏振波相关损失的最大值与比较例的倾斜型衍射光栅元件的偏振波相关损失的最大值相比较，约为 1/4，另外，与本实施例的倾斜型衍射光栅元件的透射损失的最大值相比较，约为 1/20。

图 8 是另一实施形态的光波导型衍射光栅元件（倾斜型衍射光栅元件）2 的说明图。该图中示出了用包含光轴的面切断时的剖面图、以及用垂直于光轴的面切断时的剖面图。该图所示的本实施形态的倾斜型衍射光栅元件 2 沿着作为光波导的光纤 20 的长度方向形成了 N（N 是 2 以上的整数）个折射率调制部 $23_1 \sim 23_N$ 。光纤 20 以石英玻璃为基础，包括添加了 GeO_2 的纤芯区域 21、以及包围该纤芯区域 21 的包层区域 22。

关于各折射率调制部 23_n （n 是 1 以上 N 以下的任意的整数），将折射率相等的折射率等位面表示为 L_n ，将垂直于折射率等位面 L_n 、将与光纤 10 的光轴（x 轴）相交的直线表示为 A_n ，将直线 A_n 和光轴构成的角表示为 θ_n ，将直线 A_n 和光轴构成的偏移角面表示为 M_n 。关于各折射率调制部 23_n 的形成区域、折射率等位面 L_n 、直线 A_n 及角度 θ_n 分别与已经说明的相同。

该倾斜型衍射光栅元件 2 的特征在于各折射率调制部 23_n 的偏移角面 M_n 绕光轴各偏移 $360^\circ/N$ 。另外，图中，使 $N = 4$ 。在此情况

下, 偏移角面相差 180° 的折射率调制部 23_1 、 23_3 分别具有的非对称性引起的双折射性互相抵消, 另外, 偏移角面相差 180° 的折射率调制部 23_3 、 23_4 分别具有的非对称性引起的双折射性互相抵消, 因此光波导型衍射光栅元件 2 更能有效地降低偏振波相关损失。另外, 这里所说的非轴对称性, 是指在折射率变化诱导光照射在光纤 20 上形成的折射率调制部 23_1 中, 在折射率变化诱导光的入射侧, 折射率上升增大而言。因此, 通过使折射率变化诱导光互相从相反的方向照射在光纤 20 上, 形成折射率调制部 23_1 、 23_3 , 由各个非轴对称性引起的双折射性互相抵消。

该倾斜型衍射光栅元件 2 也是在透射损失为最大的波长中, 偏振波相关损失正好为透射损失最大值的 $1/10$ 以下。这样的倾斜型衍射光栅元件 2 也在光通信领域中作为要求偏振波相关损失小的光学装置 (或其一部分) 很适用, 例如作为使光纤放大器的增益均衡的增益均衡器很适用。

图 9A 至图 11B 是分别表示三种倾斜型衍射光栅元件的透射率 T 及偏振波相关损失 PDL 各自的波长相关性的曲线图。图 9A 及图 9B 表示只从一个方向照射折射率变化诱导光, 形成了一个折射率调制部的倾斜型衍射光栅元件。图 10A 及图 10B 表示从相差 90° 的两个方向照射折射率变化诱导光, 形成了两个折射率调制部的倾斜型衍射光栅元件 1。图 11A 及图 11B 表示从相差 90° 的四个方向照射折射率变化诱导光, 形成了四个折射率调制部的倾斜型衍射光栅元件 2。

在各个倾斜型衍射光栅元件 1 及倾斜型衍射光栅元件 2 中, 各折射率调制部重叠地形成。

比较图 9A、图 10A 及图 11A 可知, 三种倾斜型衍射光栅元件各自的透射率 T 的波长相关性大致相同。另一方面, 比较图 9B、图 10B 及图 11B 可知, 形成了一个折射率调制部的倾斜型衍射光栅元件的偏振波相关损失 PDL 也达到了 0.127dB , 与此不同, 倾斜型衍射光栅元件 1 的偏振波相关损失 PDL 小, 为 0.023dB , 倾斜型衍射光栅元件 2 的偏振波相关损失 PDL 更小, 为 0.016dB 。

产业上利用的可能性

如上所述，如果采用本发明，则形成 N (N 是 2 以上的整数) 个折射率调制部，各折射率调制部的垂直于折射率等位面的直线与光波导的光轴不平行，各折射率调制部的垂直于折射率等位面的直线和光波导的光轴构成的偏移角面互相不一致，任意两个折射率调制部各自的形成区域至少一部分互相重叠。这样构成的光波导型衍射光栅元件的尺寸短，能降低偏振波相关损失。

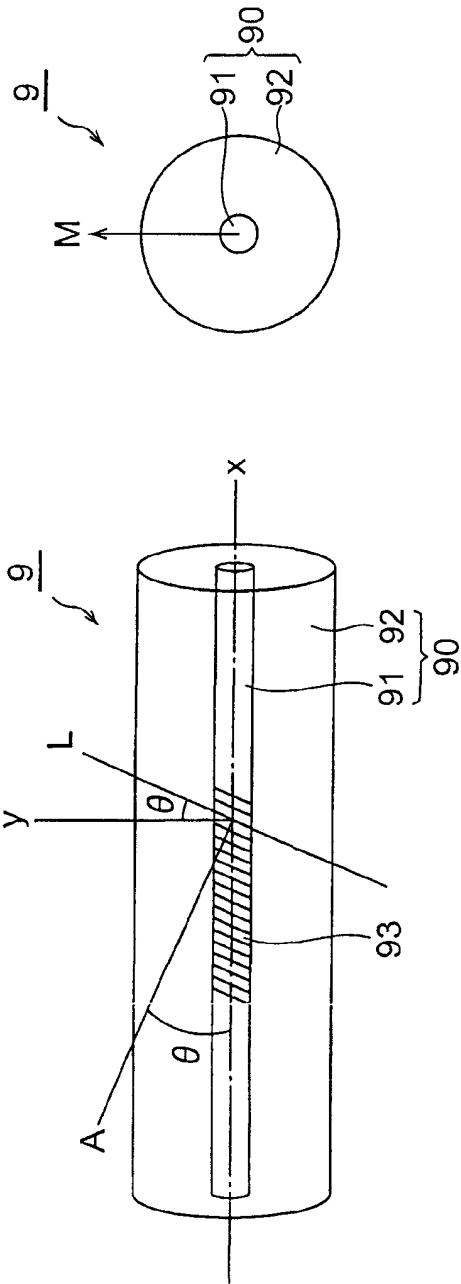


图1A

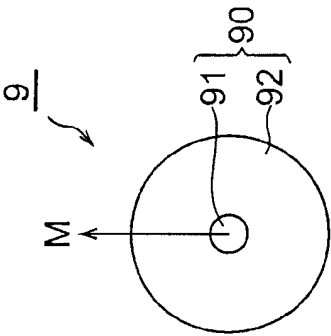


图1B

图2

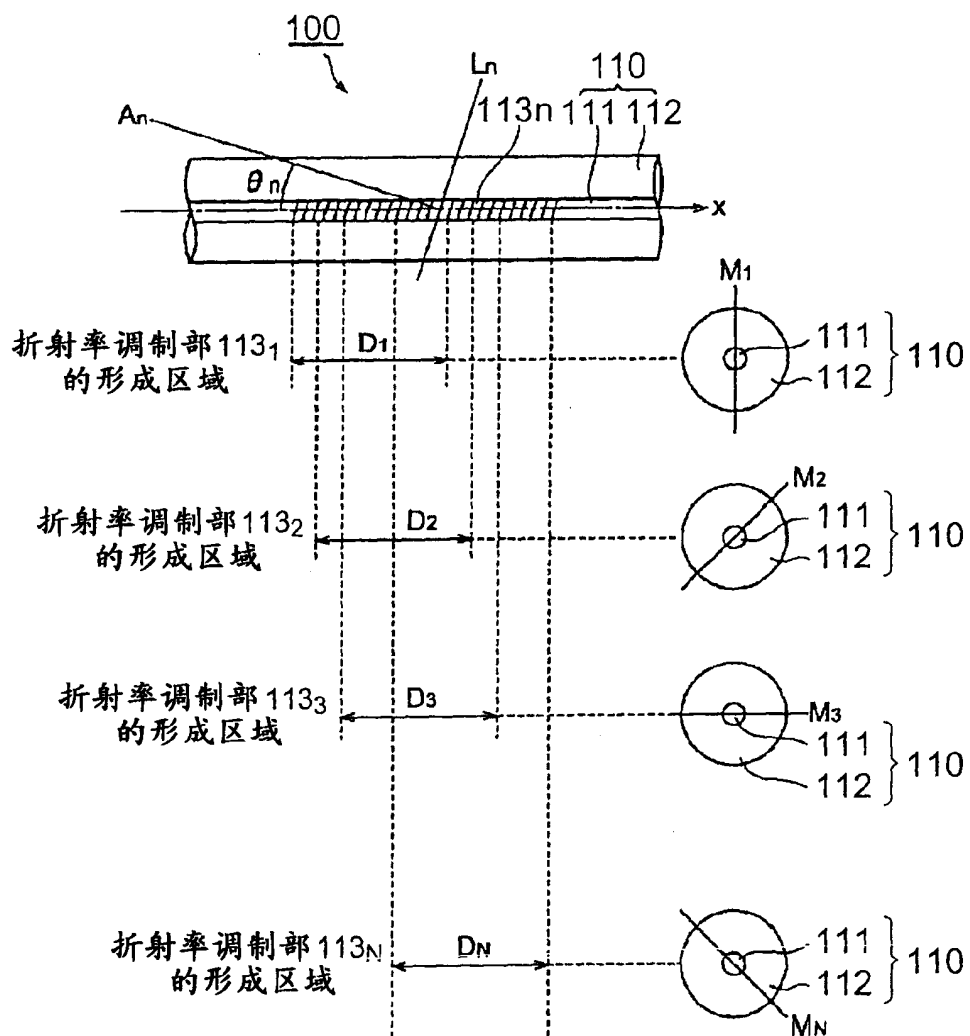
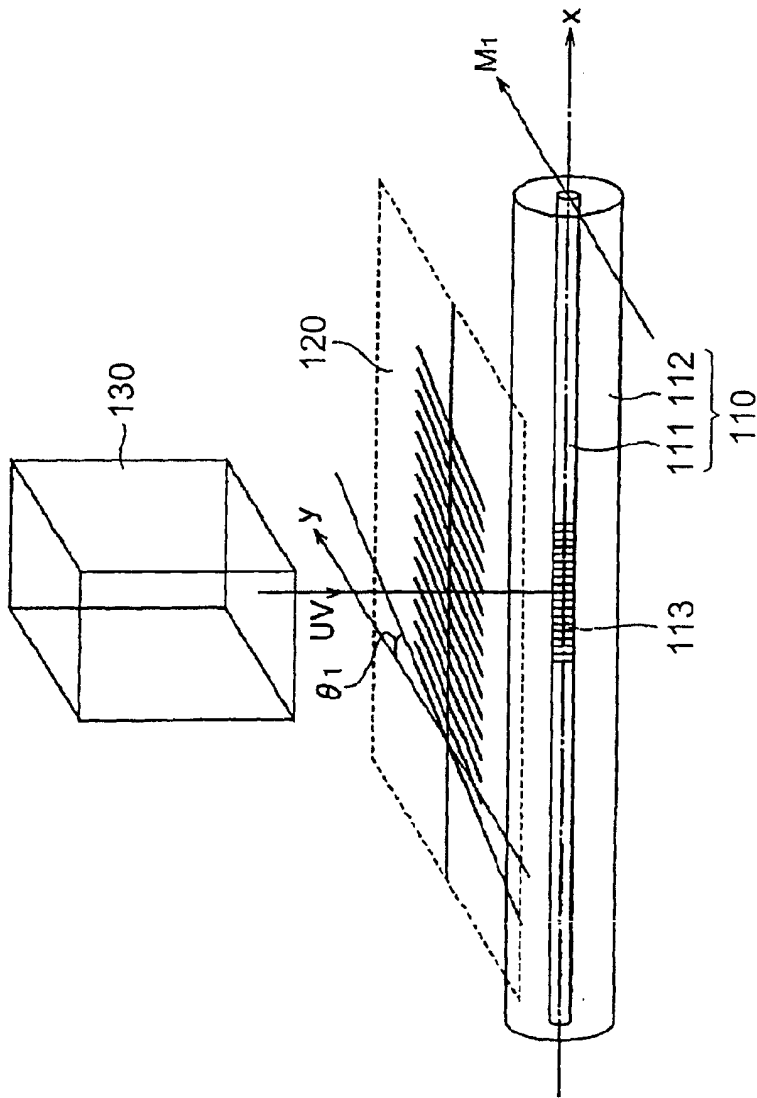


图3



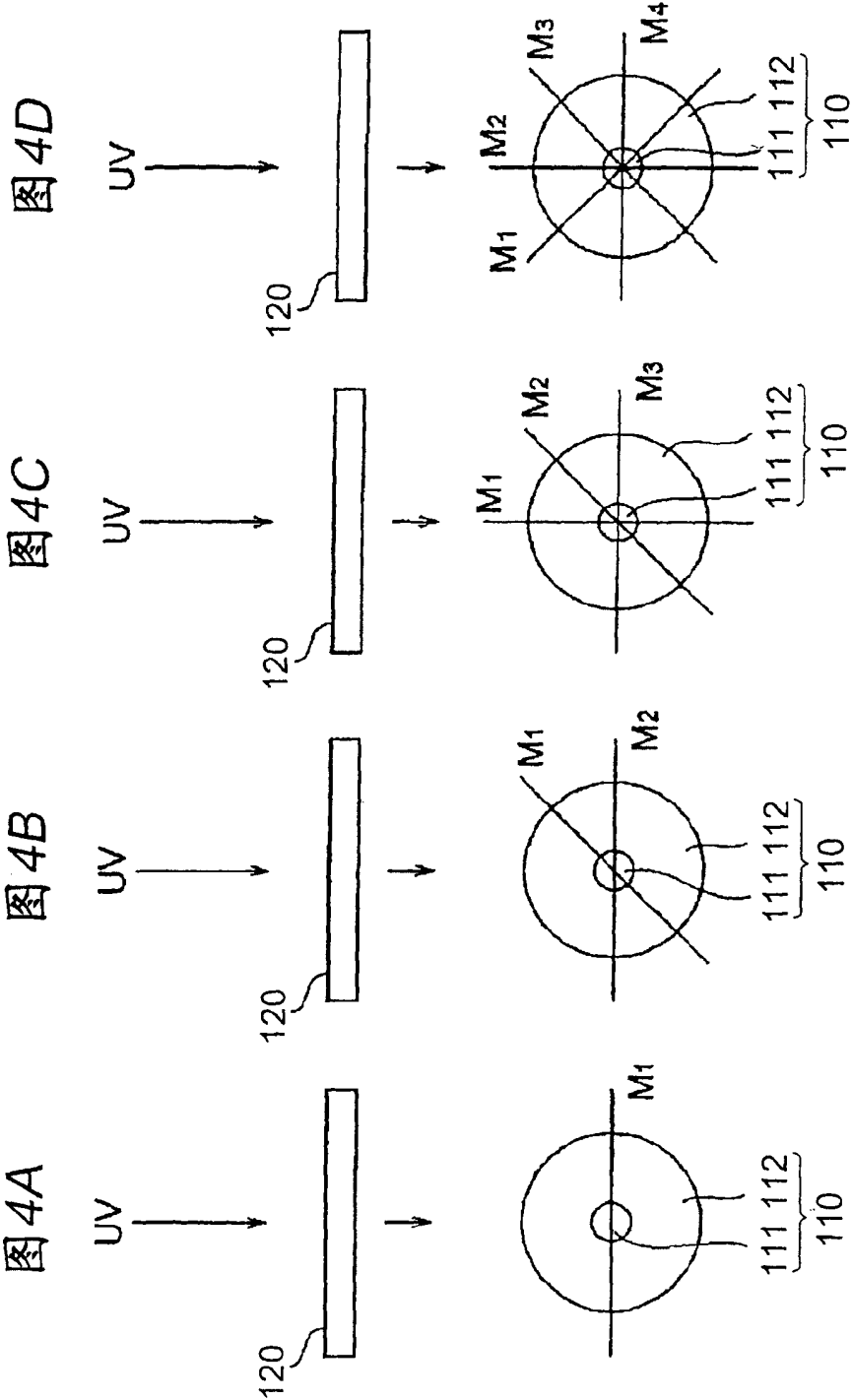


图5A

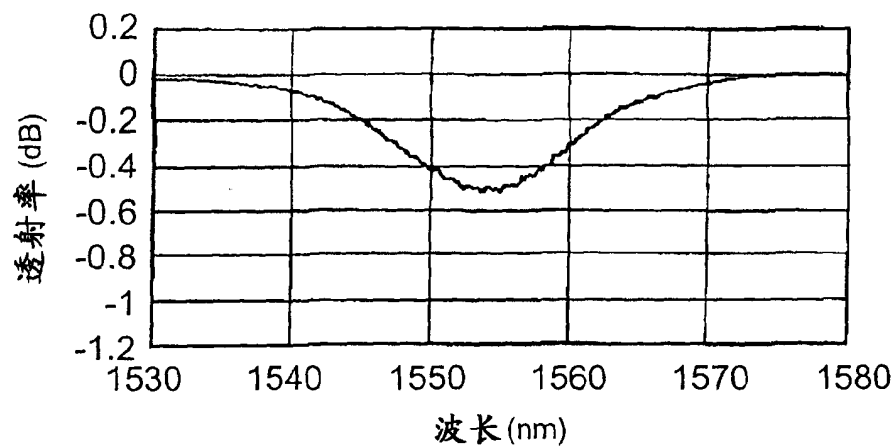


图5B

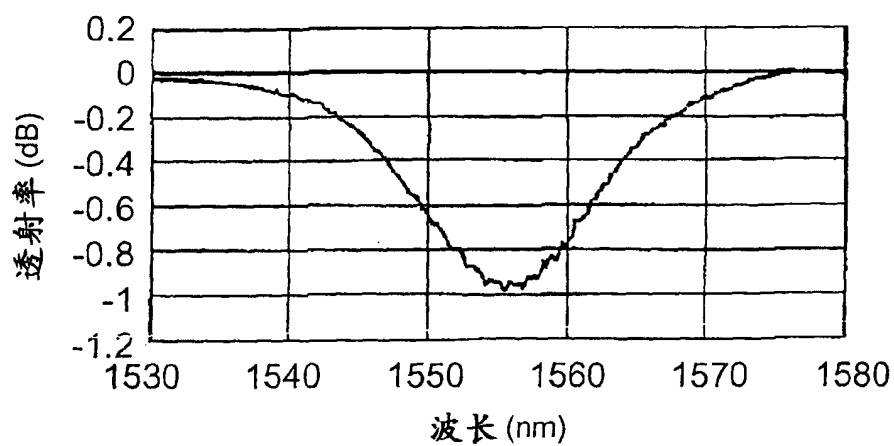


图 6A

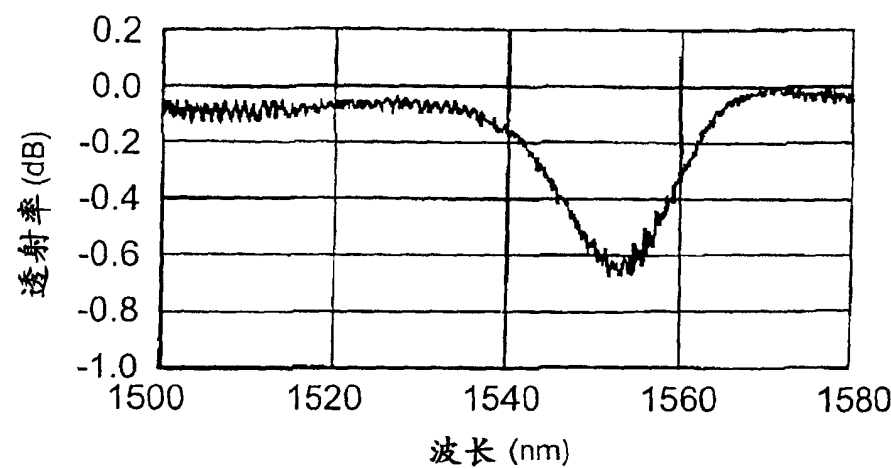


图 6B

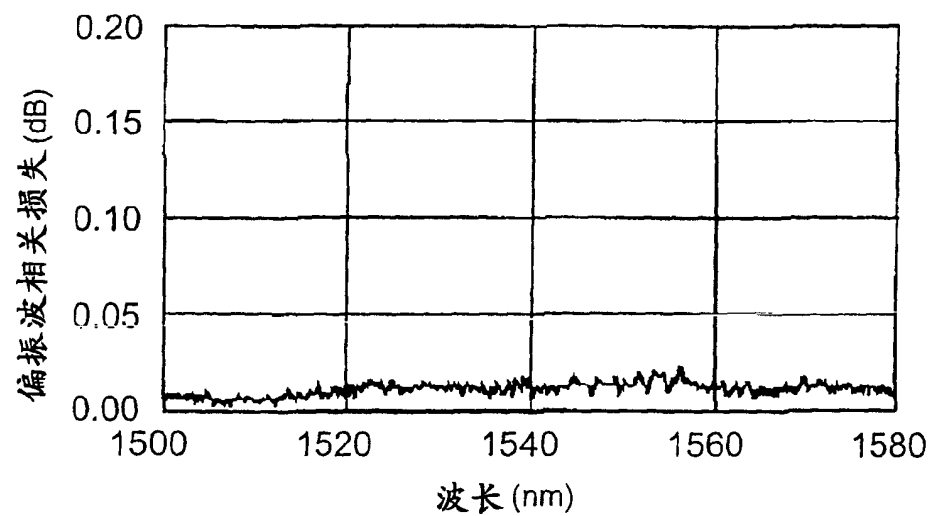


图 7A

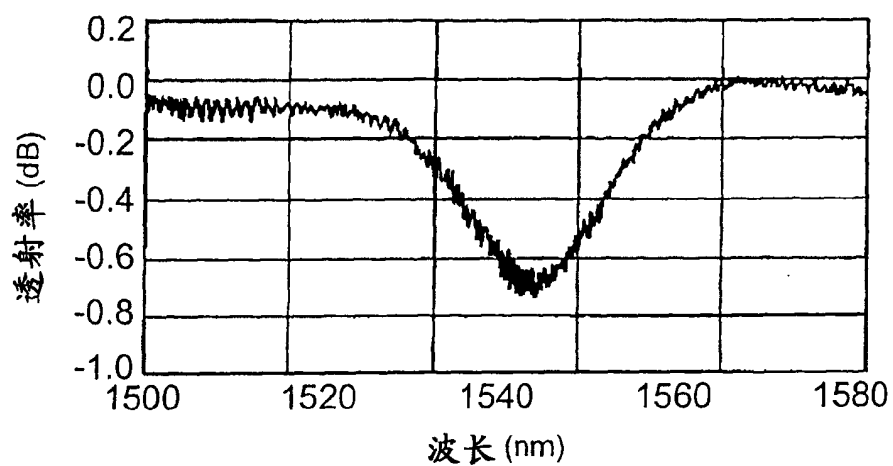


图 7B

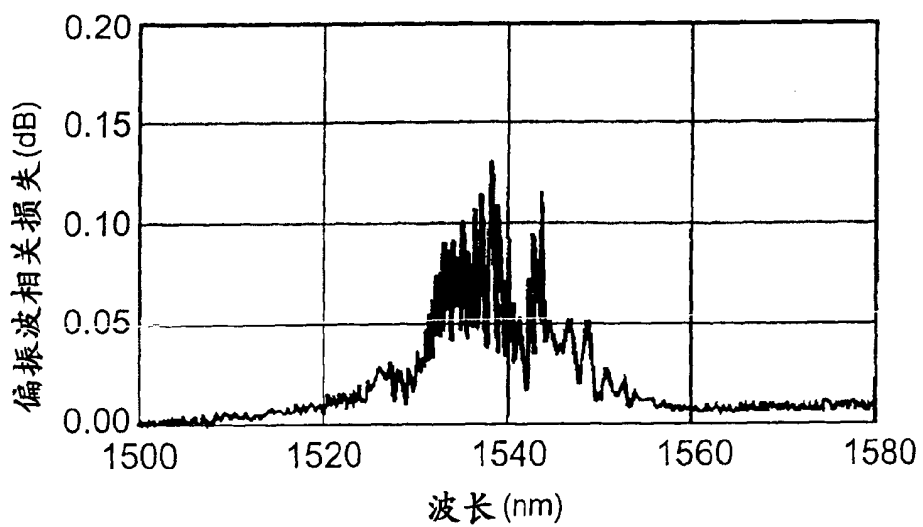


图 8

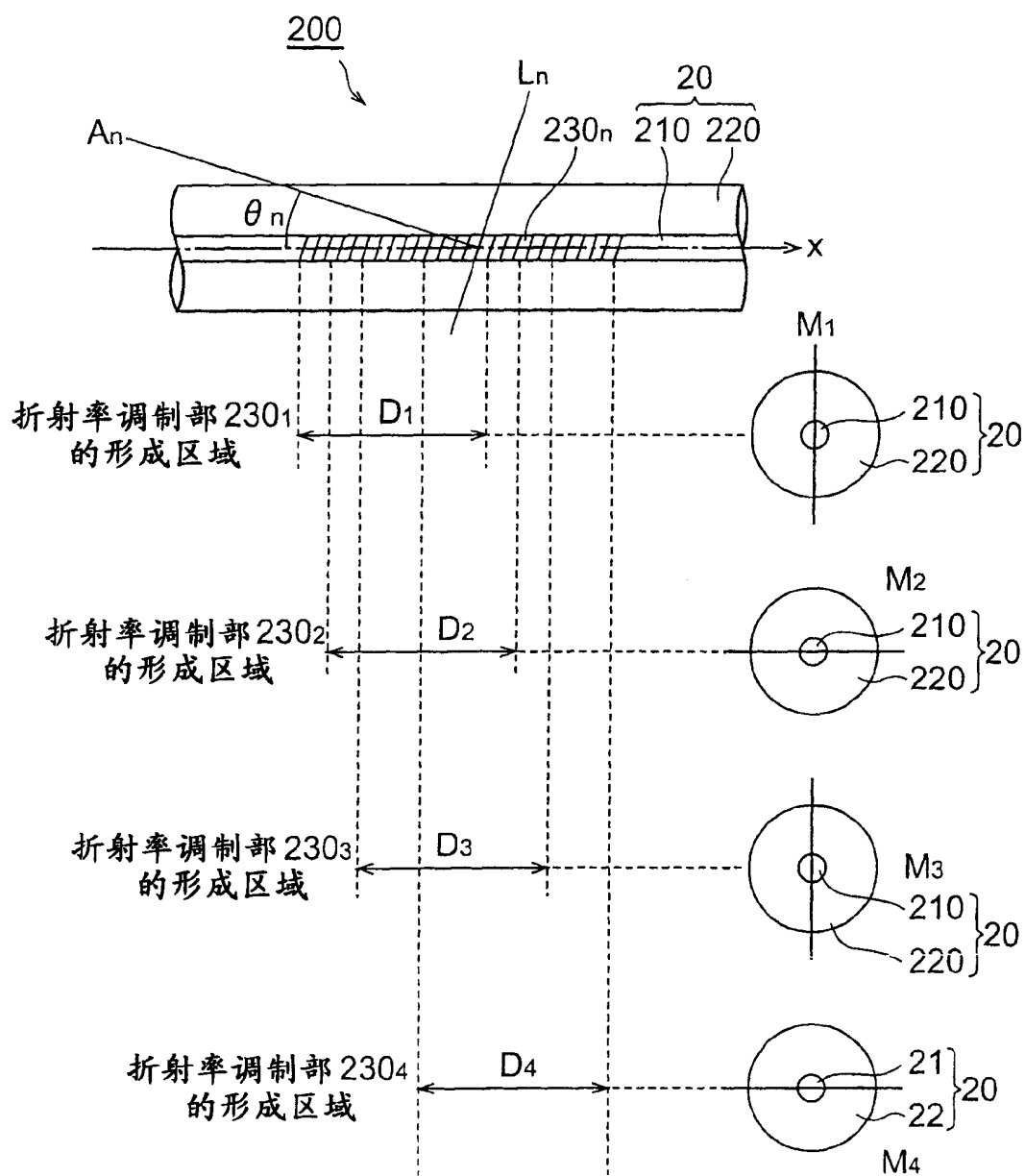


图 9A

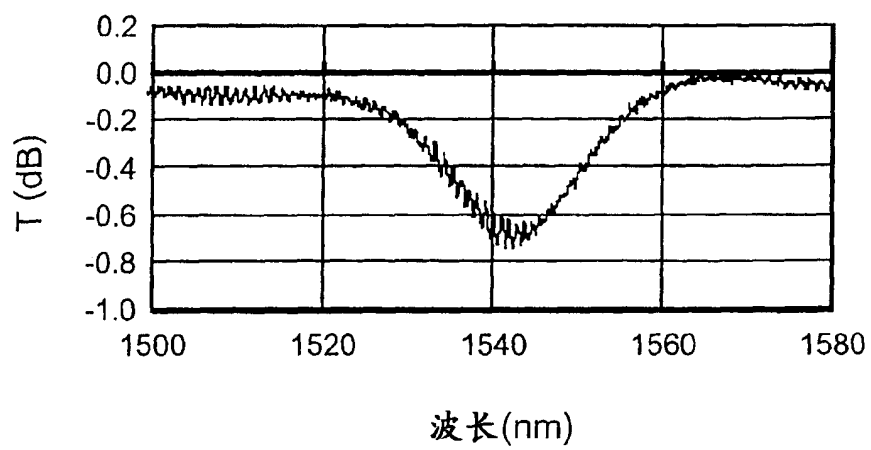


图 9B

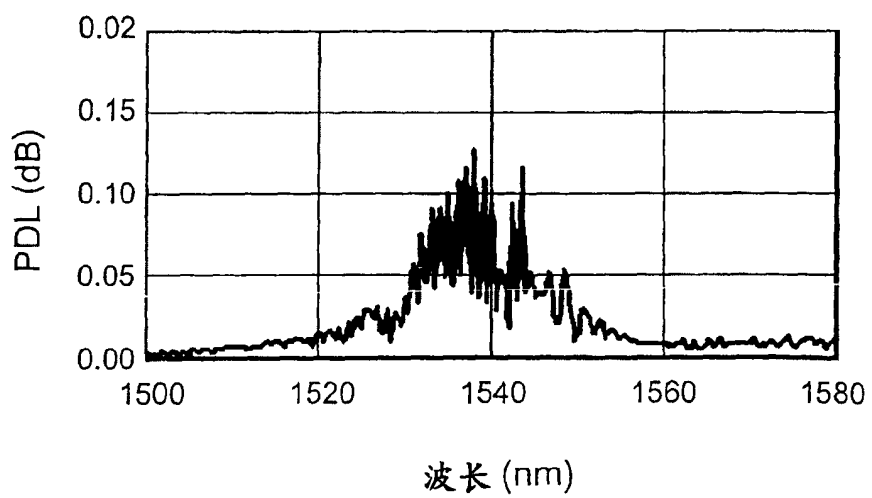


图10A

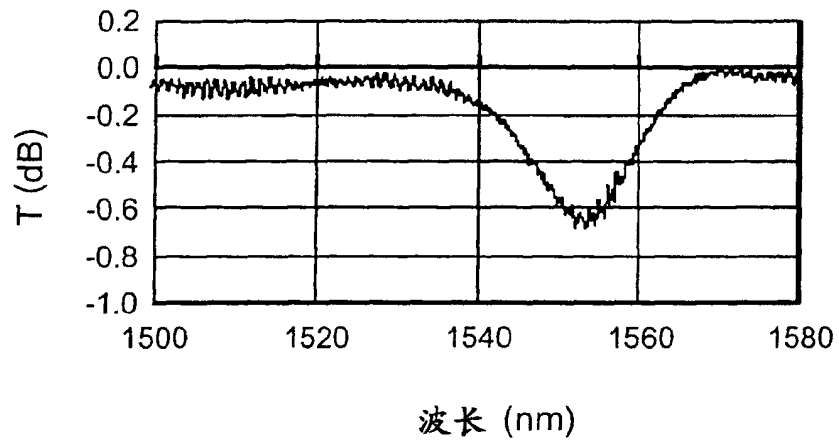


图10B

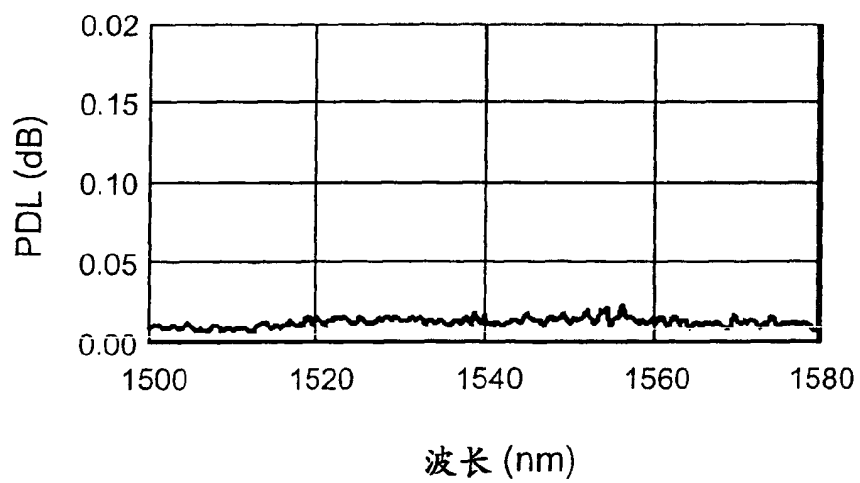


图 11A

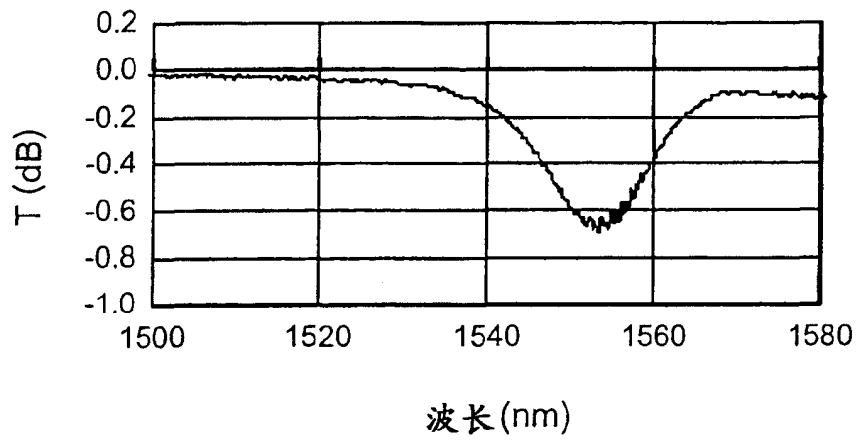


图 11B

