

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410102473.9

[51] Int. Cl.

G02B 6/02 (2006.01)

G02B 6/00 (2006.01)

H04B 10/12 (2006.01)

H04B 10/02 (2006.01)

[45] 授权公告日 2008年3月12日

[11] 授权公告号 CN 100374887C

[22] 申请日 2004.12.23

[21] 申请号 200410102473.9

[30] 优先权

[32] 2003.12.23 [33] FR [31] 0315226

[73] 专利权人 德雷卡通信技术有限公司

地址 荷兰阿姆斯特丹市

[72] 发明人 利昂内尔·普罗沃

伊莎贝拉·邦格朗

卡洛斯·德巴罗斯

[56] 参考文献

CN1359474A 2002.7.17

CN1347512A 2002.5.1

US2002/0131160A1 2002.9.19

WO00/51268A1 2000.8.31

审查员 安蕾

[74] 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

代理人 张维

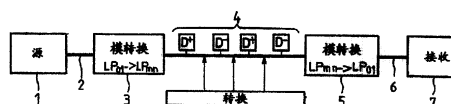
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 6 页

[54] 发明名称

色散受控的高阶模多模光纤

[57] 摘要

本发明涉及使用在波分复用传输网络中的色散受控光纤。在其中至少能传输一个高阶模的多模光纤在径向上由围绕有光包层的单个中心纤芯组成，以及对于所述高阶模或所述高阶模的至少一个，纵向上包括交替的正色散光纤部分(D+)和负色散光纤部分(D-)。



1. 一种多模光纤，能传输至少一个高阶模，在径向上由围绕有光包层的单个中心纤芯组成，

其特征在于，对于所述高阶模或所述高阶模的至少一个，在纵向上该光纤包括交替的正色散光纤部分(D+)和负色散光纤部分(D-)。

2. 根据权利要求1的光纤，其特征在于，光纤的每个部分(D+,D-)有一个色散斜率 C' ，在波长1550nm处，对于所述高阶模，该色散斜率的绝对值小于 $0.015\text{ps}/\text{nm}^2\cdot\text{km}$ 。

3. 根据权利要求1的光纤，其特征在于，光纤的每个部分(D+,D-)有一个有效表面积 S_{eff} ，在波长1550nm处，对于所述高阶模，该有效表面积大于 $70\mu\text{m}^2$ 。

4. 根据权利要求3的光纤，其特征在于，光纤的每个部分(D+,D-)有一个有效表面积 S_{eff} ，在波长1550nm处，对于所述高阶模，该有效表面积大于 $80\mu\text{m}^2$ 。

5. 根据权利要求4的光纤，其特征在于，光纤的每个部分(D+,D-)有一个有效表面积 S_{eff} ，在波长1550nm处，对于所述高阶模，该有效表面积大于 $200\mu\text{m}^2$ 。

6. 根据权利要求1的光纤，其特征在于，该高阶模是 LP_{02} 模。

7. 根据权利要求1的光纤，其特征在于，该纤芯有包括至少三部分的可变折射率分布。

8. 根据权利要求7的光纤，其特征在于，该纤芯的所有部分的折射率大于包层的折射率。

9. 根据权利要求7的光纤，其特征在于，该纤芯中只有离中心最远的部分的折射率低于包层的折射率。

10. 根据权利要求1的光纤，其特征在于，该纤芯有变化的折射率分布，包括折射率大于包层的中心部分，以及该纤芯变化的折射率分布还包括和中心部分接触的部分，该部分是基准，其折射率介于包层的折射率和中心部分的折射率之间。

11. 根据权利要求1的光纤,其特征在于,所述光纤通过拉制同一个预制棒而得到。

12. 根据权利要求1的光纤,其特征在于,该纤芯在正色散光纤部分(D+)和负色散光纤部分(D-)之间有一个外半径的相对差,所述相对差小于11%。

13. 根据权利要求1的光纤,其特征在于,该光纤有一个有效表面积 S_{eff} 与纤芯截面积的比率,在波长1550nm处,对于所述高阶模,该比率至少为10%。

14. 一种光传输系统,依次包括:

发射光信号的源;

本质上用来传输基模 LP_{01} 的单模光纤部分;

将信号从基模 LP_{01} 转换成高阶模 LP_{mn} 的第一模转换器;

根据前述任一权利要求的多模光纤,在该光纤中可以以所述高阶模 LP_{mn} 传输所述信号;

将信号从该高阶模 LP_{mn} 转换成基模 LP_{01} 的第二模转换器;

本质上用来传输基模 LP_{01} 的单模光纤部分;

所述光信号的接收机。

色散受控的高阶模多模光纤

技术领域

本发明涉及尤其适宜使用在波分复用传输网络中的色散受控光纤（“DMF”代表“色散受控光纤”）。色散受控光纤是纵向上包括正色散光纤部分和与之交替的负色散光纤部分的光纤。色散受控光纤一般应用于波分复用传输网络中，尤其适合于如下一个或多个波段：从1460nm到1530nm的S波段，从1530nm到1570nm的C波段，从1570nm到1625nm的L波段，从1625nm到1675nm的U波段。

背景技术

根据第一现有技术，例如在国际专利申请 WO 00/63732 中所描述的，该已知的色散受控单模光纤唯一能进行有效传输的导波模式是 LP_{01} 模，该色散受控单模光纤的有效表面积能够达到 $60\mu\text{m}^2$ ，外围（也就是外部）纤芯损坏半径超过 $20\mu\text{m}$ 。该现有技术的一个缺点是有效表面积对纤芯截面积（对应于外部纤芯半径的平方乘以 π ）的比率较小，最多大约 5%。

根据第二现有技术，例如在国际专利申请 WO 00/16131 中所描述的，该已知的光纤中包含多个纤芯，其中一些是正色散的，另一些是负色散的，为了交替经过正色散和负色散，转换器允许信号从一个纤芯传到另一个纤芯。该现有技术的缺点是过于复杂。

根据第三现有技术，例如在法国专利申请 FR 2842610 中所描述的，该已知的单模色散受控光纤有大约 $40\mu\text{m}^2$ 的有效表面积。该现有技术的缺点是有效表面值相对较低。

根据第四现有技术，例如在美国专利 US 6418256 中所描述的，该已知的传输系统依次包括：以 LP_{01} 模传导信号的单模光纤，将基

模 LP_{01} 转换成高阶模 LP_{02} 的模转换器，补偿在 LP_{02} 模的信号的色散的光纤。这种通过转换器分别使用单模光纤和多模光纤的系统完全不同于色散受控光纤，而且更加的复杂。

根据第五个现有技术，国际申请 WO 00/51268 涉及一种用来传输有光能的光信号的光传输系统，所述系统包括：

用来接收所述有光能的光信号的空间模转换器，其中所述空间模转换器将所述低阶空间模有光能的光信号转换成高阶空间模有光能的光信号；

与所述空间模转换器进行光通信的光纤，其中所述光纤主要以所述高阶空间模传输全部的所述光能。要注意的是，该低阶空间模是基空间模，该高阶空间模是 LP_{02} 空间模。该文档并不提供包括多个纤芯的光纤，所述多个纤芯中一部分具有正色散，其余的具有负色散。

发明内容

本发明涉及多模色散受控光纤，信号是以高阶模而不是基模传输的，因此将单芯光纤的简单性与光几何性质的更好的折中，例如有效表面积和/或有效表面积与纤芯截面积之比，结合在了一起。高阶模同样允许了一方面高的有效表面积与另一方面小的色散斜率的更好的折中，同时保持了合理的纤芯截面积，所以生产这种光纤的成本并不是特别高。

根据本发明，提供了一种多模光纤，在其中能传输至少一个高阶模，在径向上由围绕有光包层的单个中心纤芯组成，其特征在于，对于所述高阶模或所述高阶模的至少一个，在纵向上该光纤包括交替的正色散光纤部分(D+)和负色散光纤部分(D-)。

附图说明

在作为举例给出的如下描述和附图的帮助下，可以更好地理解本发明，以及其它的特性和优点，其中：

图 1 示意性地描述了含有依照本发明的色散受控光纤的光传输系统；

图 2 示意性地描述了具有相反符号的色散的两类光纤部分的折射率分布，其中该折射率分布为半径的函数；

图 3 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第一个实施例的平均折射率分布，它是半径的函数；

图 4 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第一个实施例的色散曲线，它是波长的函数；

图 5 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第一个实施例的一组光几何性质；

图 6, 9, 12 分别示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第二个、第三个和第四个实施例的平均折射率分布，它们是半径的函数；

图 7, 10, 13 分别示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第二个、第三个和第四个实施例的色散曲线，它们是波长的函数；

图 8, 11, 14 分别示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第二个、第三个和第四个实施例的一组光几何性质。

具体实施方式

图 1 示意性地描述了包含了依照本发明的色散受控光纤的系统的实施例。该系统依次包括：发射光信号的源 1；本质上用来传输基模 LP_{01} 的单模光纤 2；将信号从基模 LP_{01} 转换成高阶模 LP_{mn} 的模转换器 3；依照本发明的色散受控光纤 4；将信号从高阶模 LP_{mn} 转换成基模 LP_{01} 的模转换器 5；本质上用来传输基模 LP_{01} 的单模光纤 6；光信号接收机 7。

该色散受控光纤 4 包括互相交替的正色散光纤部分 $D+$ 和负色散光纤部分 $D-$ 。为了简洁的目的，图 1 中仅示出了四个部分，但光纤 4 可以包括更多的部分。在两个 $D+$ 部分之间是 $D-$ 部分。两个 $D-$ 部分之间是 $D+$ 部分。

D+和 D-部分可以是长度相同的，但也可以是长度不同的。不同正色散部分的正色散值，每单位长度，最好是全部互相大约相等。不同负色散部分的负色散值，每单位长度，最好是全部互相大约相等，且其绝对值，每单位长度，都最好等于不同正色散部分的正色散值。通过分别对不同部分的长度加权得到的光纤不同部分色散的总和与色散受控光纤的残余色散相一致。每个给出的应用都需要一个最大残余色散门限，超过这个值将恶化所述应用的运行。在每个给出的应用中都要选择不同部分的色散和长度值，使得不超过这个最大残余色散门限。最好在尽可能宽的光谱范围内，该残余色散接近于零。

该色散受控光纤有相互交替的正色散光纤部分和负色散光纤部分，最好通过纤芯折射率分布的径向尺寸的位似(homothetic)变换来得到色散值的改变。这种改变能够通过至少四种方法实现。

根据第一种方法，在从预制棒抽拉成光纤的过程中，改变光纤的外径。根据第二种方法，使用固定的光纤外径，通过纵向改变再装入的，从其拉出光纤的预制棒的直径来产生变化。根据第三种方法，至少两种不同预制棒的多个切片相互交错重新构成用来拉制光纤的预制棒。根据第四种方法，至少两种不同光纤的多个部分相交错的首尾焊接起来或是连接起来。前两种方法比其它的更实际和更有效。

最好通过拉制同一个预制棒，且更改所述一个预制棒的性质来得到依照本发明的色散受控光纤。最好选择正色散光纤部分和负色散光纤部分间的纤芯外径相对差 $(Rc_+ - Rc_-) / Rc_+$ 小于 11%，这样能使在不同部分间的信号损耗较小。

正色散光纤部分和负色散光纤部分间的转换要遵守绝热性(adiabaticity)标准，也就是，为了避免在转换中出现传输模式的耦合，这会劣化由光纤传输的信号的质量，该转换必须是与光纤纤芯尺寸成比例的充分渐进的转换，这一点在实际中是广泛遵守的，特别是在采用前两种方法的时候。

图 2 示意性地描述了具有相反符号的色散的两类光纤部分的折

射率分布，它们为半径的函数。横坐标轴表示纤芯半径的值，称作半径，表示为 μm ，该半径从光纤中心开始，该光纤是关于光轴旋转对称的。纵坐标表示与包层折射率的差值再乘以1000的值，且没有单位，也就是所述纤芯某点的折射率小于包层的折射率的值，所述的折射率差值命名为 Δn 。所示的曲线是纤芯折射率分布，它是纤芯半径的函数，这里强制将包层的折射率设为0。

系数小于1的简单径向位似变换允许从正色散光纤部分的纤芯折射率分布到负色散光纤部分的纤芯折射率分布的转变。正色散光纤部分的折射率分布用实线，曲线 $P+$ 表示，而负色散光纤部分的折射率分布用虚线，曲线 $P-$ 表示。图2和其它图中的折射率分布的值都是波长为633nm情况下的值，这是因为习惯上用这个波长来测量预制棒的折射率分布。而在使用诸如1550nm传输波长情况下它们并没有很大不同，对于本领域的技术人员来说，要制造相应的光纤，所给出的633nm处的折射率分布已经足够。图2中每一个折射率分布都由相连接的三部分组成，也就是中心部分10，基准部分(pedestal)11，埋入部分12，外面还有折射率恒定的包层13。该中心部分10是圆形台阶，以梯度处中止，基准部分11是一个台阶，埋入部分12是一个台阶，台阶是矩形。 R_{c+} 表示正色散光纤部分的纤芯外半径。 R_{c-} 表示负色散光纤部分的纤芯外半径。整个是半径的函数的折射率，在光纤中心和纤芯外围之间，对于使此光纤成为多模光纤，以及对于能够在所述光纤中传输高阶模来说，是足够高的。

最好地，在依照本发明的色散受控光纤中，在波长1550nm处，对于所述高阶模，每个 $D+$ 或是 $D-$ 光纤部分都有一个色散斜率，这个斜率的绝对值小于 $0.015\text{ps}/\text{nm}^2\cdot\text{m}$ ，以便能够仅仅通过小的半径改变而容易地改变色散斜率的符号。因此对于依照本发明的色散受控光纤，可以得到小的平均色散斜率，这意味着能够在宽的光谱带上方便的使用所述光纤。

在依照本发明的色散受控光纤中，在波长1550nm处，对于所述高阶模，每个 $D+$ 或是 $D-$ 光纤部分都有相对高的有效表面积，该值最

优选大于 $70\mu\text{m}^2$ ，优选大于 $80\mu\text{m}^2$ ，最好能大于 $200\mu\text{m}^2$ 。由于能较好的抵御非线性效应，当光纤处于高的折射功率下，高的有效表面积能使光纤有更好的表现。

用以传输信号的高阶模最好是 LP_{02} 模。然而也可以是诸如 LP_{11} 模或 LP_{03} 模，或其它高阶模。每个高阶模都与基模 LP_{01} 不同。

可以利用纤芯折射率分布的不同形式来生产依照本发明的色散受控光纤。在色散受控光纤不同性质间产生更好的折中时，例如在保持一定限度的纤芯截面积的同时，通过增加有效表面积减小色散斜率，有些比其它的更好。最好地，可变纤芯折射率分布包括至少三部分，甚至至少四部分。图 12 到 14 描述的对应用于第四个实施例的实施方式中，纤芯所有部分的折射率都大于包层的折射率。图 3 到 11 描述的对应用于第一、二、三个实施例的另一实施方式中，只有最远离中心的纤芯部分的折射率小于包层的折射率。

优选地，在依照本发明的色散受控光纤中，为了在小的色散斜率和大的有效表面积之间产生最好的折中，纤芯的中心部分的折射率大于包层的折射率，和中心部分接触的是基准部分，它的折射率介于包层的折射率和中心部分的折射率之间。

优选地，依照本发明的色散受控光纤中有效表面积与纤芯截面积的比率在波长 1550nm 情况下至少为 10%。

图 3 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第一个实施例的平均折射率分布，它是半径的函数。该平均折射率分布对应于从该平均折射率分布，可以得到分别有正的色散和负的色散的 D+ 和 D- 部分的折射率分布。可以通过对该平均折射率分布进行增加的径向位似变换来得到 D+ 部分的折射率分布；在图 3 中是 +3.23%，这对应系数是 1.0323。可以通过对平均折射率分布进行收缩的径向位似变换来得到 D- 部分的折射率分布；在图 3 中是 -3.23%，这对应系数是 0.9677。横坐标轴表示纤芯半径的值，单位是 μm ，半径从光纤的中心开始，该光纤是关于光轴旋转对称的。纵坐标轴表示与包层折射率差值的 1000 倍，没有单位，意味着纤芯位置的折射率小于包层

的折射率，此折射率差值通过 Δn 给出。所示的曲线是纤芯折射率分布曲线，它是纤芯半径的函数，这里强制将包层的折射率设为0。图3和其它图中的折射率的值都是在波长为633nm情况下给出的。图3中折射率分布由相连接的三部分组成，也就是中心部分10，基准部分11，埋入部分12，外面还有折射率恒定的包层13。中心部分10是一个圆形台阶，也就是以梯度处中止，基准部分11是一个台阶，埋入部分12是一个台阶，每个台阶都是矩形的。

图4示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第一个实施例的色散曲线，该色散曲线是波长的函数。所示的三条色散曲线，在纵坐标轴上以ps/nm.km表示，是波长的函数，称作 λ ，并在横坐标轴上以nm表示。曲线PM表示图3所示的平均折射率分布的色散曲线，它是波长的函数。曲线d+表示通过系数为1.0323，也就是通过增加3.23%的径向位似变换得到的正色散光纤部分折射率分布的色散曲线，它是波长的函数。曲线d-表示通过系数为0.9677，也就是通过缩减3.23%的径向位似变换得到的负色散光纤部分折射率分布的色散曲线，它是波长的函数。

图5示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第一个实施例的一组光几何性质。第一行RAY+3.23%的值对应于正色散光纤部分D+，意味着将平均分布增加了3.23%以得到所述D+部分。第二行RAY-3.23%的值对应于负色散光纤部分D-，意味着将平均分布收缩了3.23%以得到所述D-部分。

光纤部分的名称之后的第一列表示理论截止波长，命名为 λ_{cth} ，以nm表示。下一列表示波长1550nm时的模直径，命名为 $2w_{02}$ ，以 μm 表示。下一列表示波长1550nm时的有效表面积，命名为 S_{eff} ，以 μm^2 表示。下一列表示零色散波长，也就是色散自相抵消的波长，命名为 λ_0 ，以nm表示。下一列表示波长1550nm时的纤芯有效折射率差的1000倍，这个差值命名为 Δ_{neff} 。下一列表示波长1550nm时的色散，命名为C，以ps/nm.km表示。下一列表示波长1550nm时的色散斜率，命名为 C' ，以ps/nm².km表示。下一列表示波长1550nm

且光纤部分绕上半径为 10mm 的套筒时的曲率损失，命名为 PC 10mm，以 dB/m 表示。下一列表示波长 1550nm 且光纤部分绕上 100 圈半径为 30mm 的套筒时的曲率损失，命名为 PC 30mm 100_{coils}，以 dB 表示。下一列表示波长 1625nm 且光纤部分绕上半径为 10mm 的套筒时的曲率损失，命名为 PC 10mm，以 dB/m 表示。下一列表示波长 1625nm 且光纤部分绕上 100 圈半径为 30mm 的套筒时的曲率损失，命名为 PC 30mm, 100_{coils}，以 dB 表示。

图 6 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第二个实施例的平均折射率分布，该平均折射率分布是半径的函数。

图 7 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第二个实施例的色散曲线，该色散曲线是波长的函数。曲线 d+表示通过系数为 1.0487，也就是通过增加 4.87% 的径向位似变换得到的正色散光纤部分折射率分布的色散曲线，它是波长的函数。曲线 d-表示通过系数为 0.9513，也就是通过压缩 4.87% 的径向位似变换得到的负色散光纤部分折射率分布的色散曲线，它是波长的函数。

图 8 示意性地分别描述了依照本发明的色散受控光纤第二个实施例的一组光几何性质。

图 9 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第三个实施例的平均折射率分布，该平均折射率分布是半径的函数。

图 10 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第三个实施例的色散曲线，它是波长的函数。曲线 d+表示通过系数为 1.0417，也就是通过增加 4.17% 的径向位似变换得到的正色散光纤部分折射率分布的色散曲线，它是波长的函数。曲线 d-表示通过系数为 0.9583，也就是通过压缩 4.17% 的径向位似变换得到的负色散光纤部分折射率分布的色散曲线，它是波长的函数。

图 11 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第三个例子的一组光几何性质。

图 12 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第四个例子的平均折射率分布，它们是半径的函数。该折射率分布由 4 段台阶形

式的部分组成，这相连接的各部分从中心开始，依次是中心部分、基准部分、外围部分 14，另一个外围部分 15，外面还有包层 13。

图 13 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第四个例子的色散曲线，它们是波长的函数。曲线 d+ 表示通过系数为 1.0609，也就是通过增加 6.09% 的径向位似变换得到的正色散光纤部分折射率分布的色散曲线，它是波长的函数。曲线 d- 表示通过系数为 0.9394，也就是通过压缩 6.09% 的径向位似变换得到的负色散光纤部分折射率分布的色散曲线，它是波长的函数。

图 14 示意性地描述了依照本发明的色散受控光纤第四个例子的一组光几何性质。

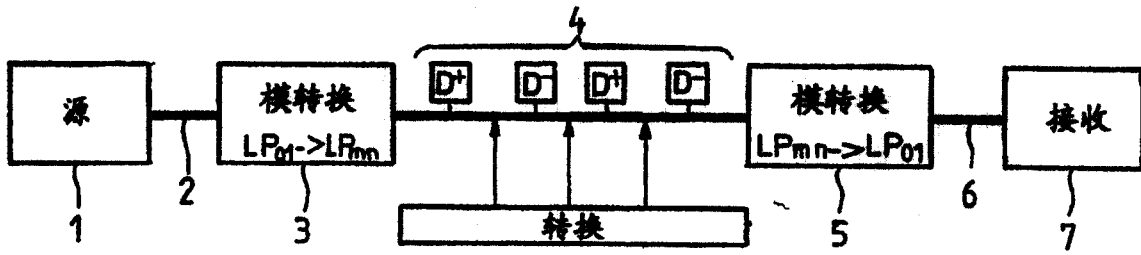


图 1

	λ_{ch}	$2w_{02}$	S_{01}	λ_0	Δn_{eff}	C	C'	PC 10mm	PC 30mm 100 fs	PC 10mm	PC 30mm 100 fs
	nm	μm	μm^2	nm	$\times 10^2$	ps/nm-km	ps/nm ² -km	dB/m	dB	dB/m	dB
RAY +3.23 %	2217	4.496	87	1350	5.92	4.0	0.0066	4.0E-10	7.2E-10	8.2E-07	2.2E-09
RAY -3.23 %	2078	4.432	86	N/A	4.84	-4.0	-0.0009	2.0E-06	4.6E-08	1.5E-03	7.2E-19

图 5

	λ_{ch}	$2w_{02}$	S_{01}	λ_0	Δn_{eff}	C	C'	PE 10mm	PC 30mm 100 fs	PC 10mm	PC 30mm 100 fs
	nm	μm	μm^2	nm	$\times 10^2$	ps/nm-km	ps/nm ² -km	dB/m	dB	dB/m	dB
RAY +4.87%	2440	5.34	88	1321	7.3	6	0.0088	3.8E-13	3.8E-06	2.7E-11	5.1E-44
RAY -4.87%	2229	4.436	86.5	N/A	5.66	-6	-0.0009	4.8E-09	9.6E-37	8.5E-06	1.9E-26

图 8

	λ_{ch}	$2w_{02}$	S_{01}	λ_0	Δn_{eff}	C	C'	PC 10mm	PC 30mm 100 fs	PC 10mm	PC 30mm 100 fs
	nm	μm	μm^2	nm	$\times 10^2$	ps/nm-km	ps/nm ² -km	dB/m	dB	dB/m	dB
RAY +4.17 %	2120	5.13	105.2	1308	3.94	5.0	0.0066	1.8E-08	3.1E-18	1.8E-01	8.0E-13
RAY -4.17 %	1980	5.07	106.6	N/A	2.88	-5.0	0.0039	4.8E-09	4.4E-10	2.9E+01	4.4E-06

图 11

	λ_{ch}	$2w_{02}$	S_{01}	λ_0	Δn_{eff}	C	C'	PC 10mm	PC 30mm 100 fs	PC 10mm	PC 30mm 100 fs
	nm	μm	μm^2	nm	$\times 10^2$	ps/nm-km	ps/nm ² -km	dB/m	dB	dB/m	dB
RAY +6.09%	2000	7.264	240.3	1390	4.17	7	0.0254	5.6E-01	2.6E-18	7.1E+00	1.8E-14
RAY -6.09%	1745	7.486	275.8	1745	3.41	-7	-0.0056	3.5E+01	1.1E+03	2.5E+02	1.1E-08

图 14

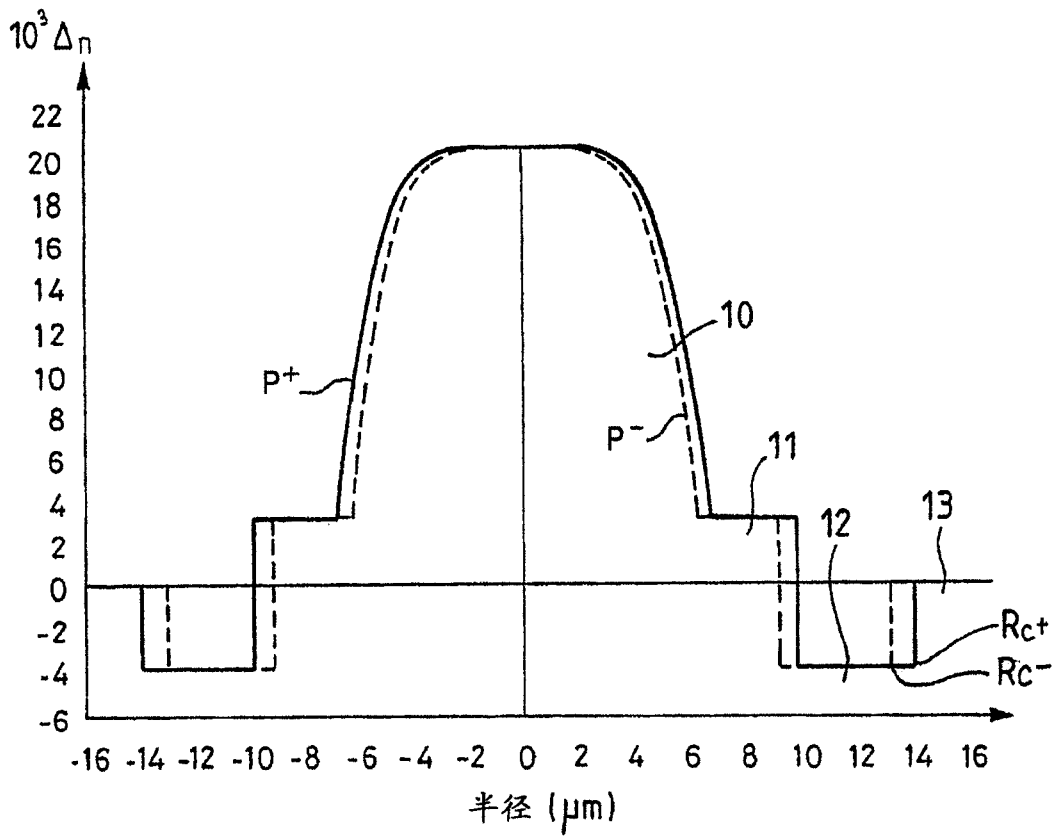


图 2

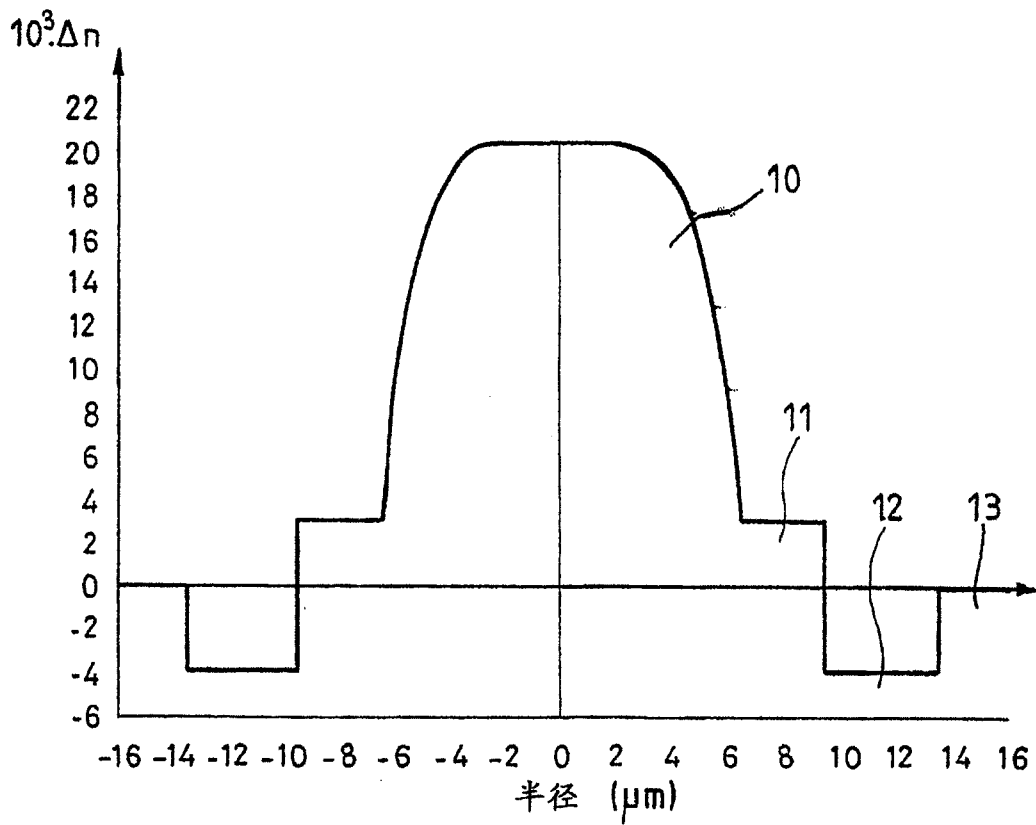


图 3

色散
(ps/nm-km)

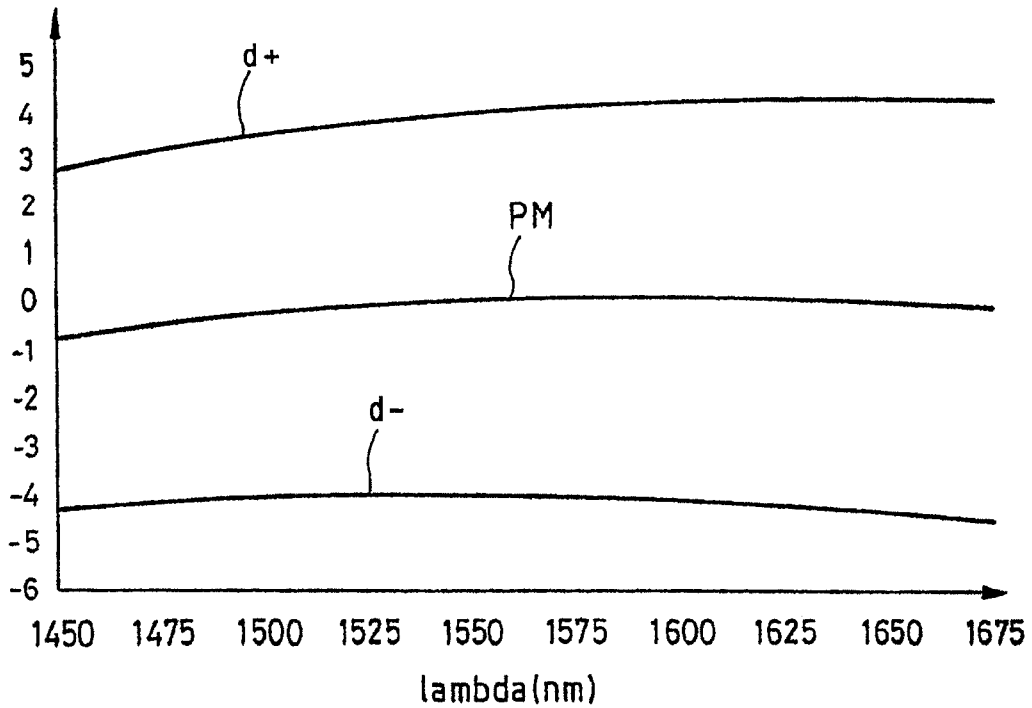


图 4

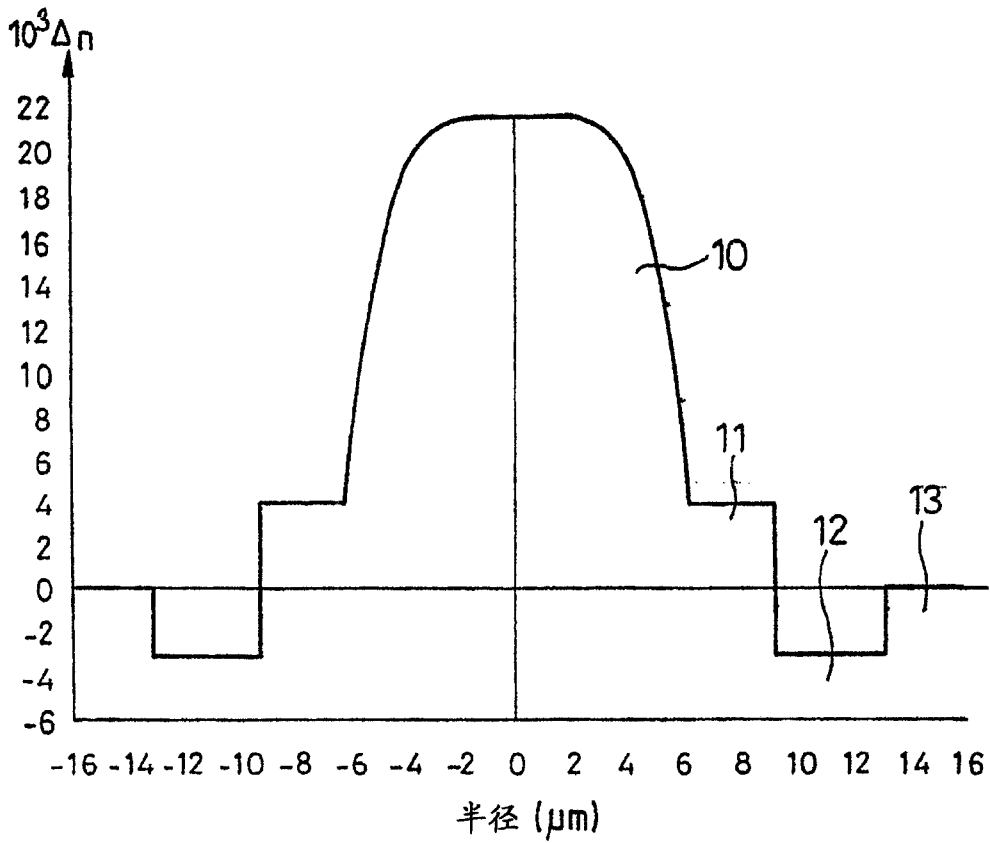


图 6

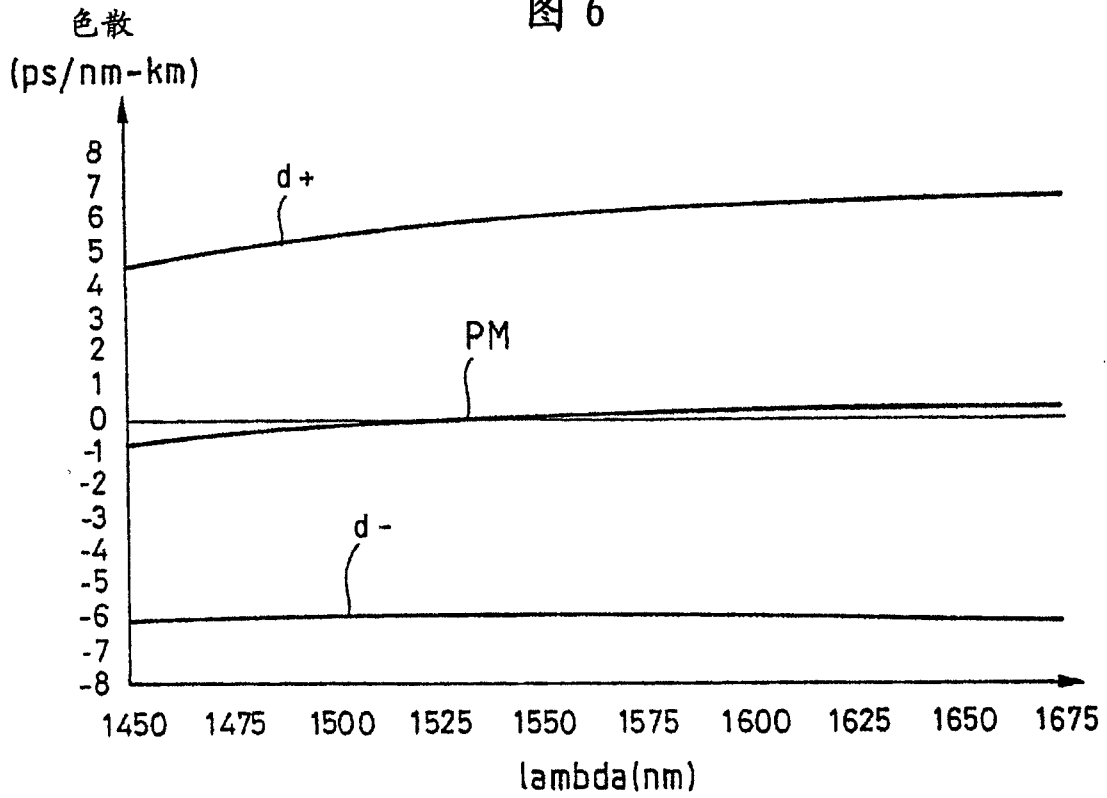


图 7

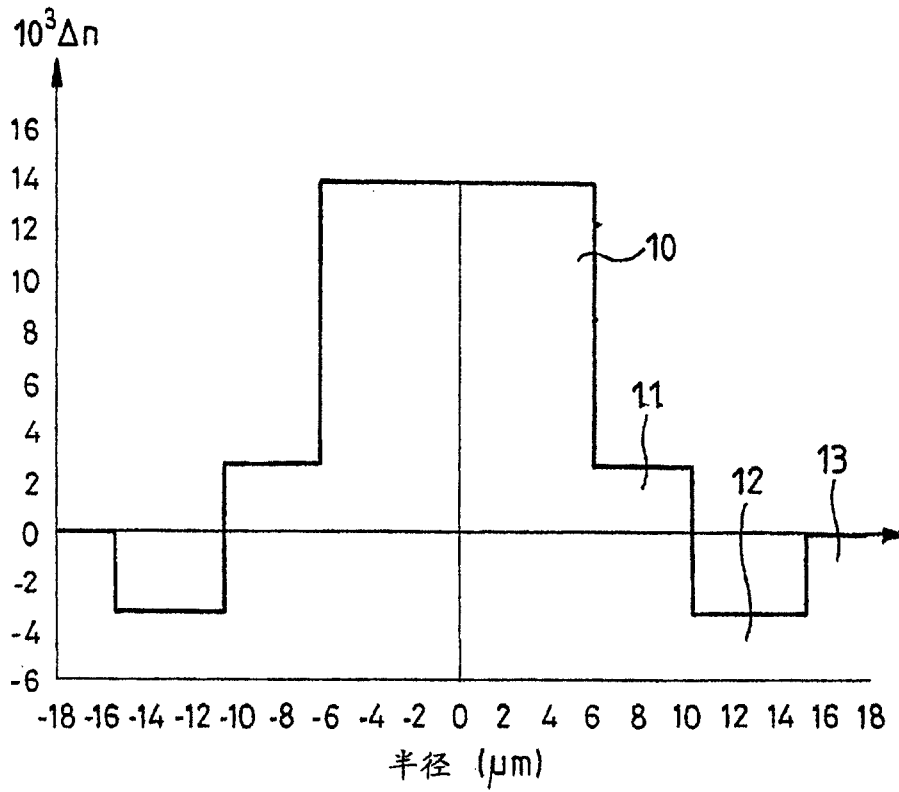


图 9

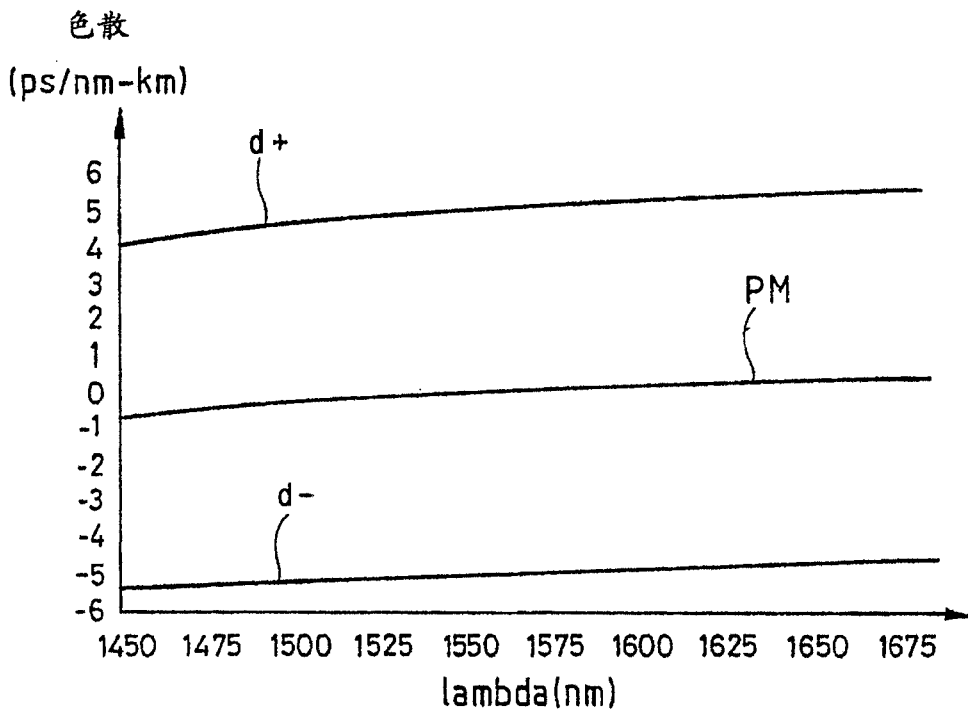


图 10

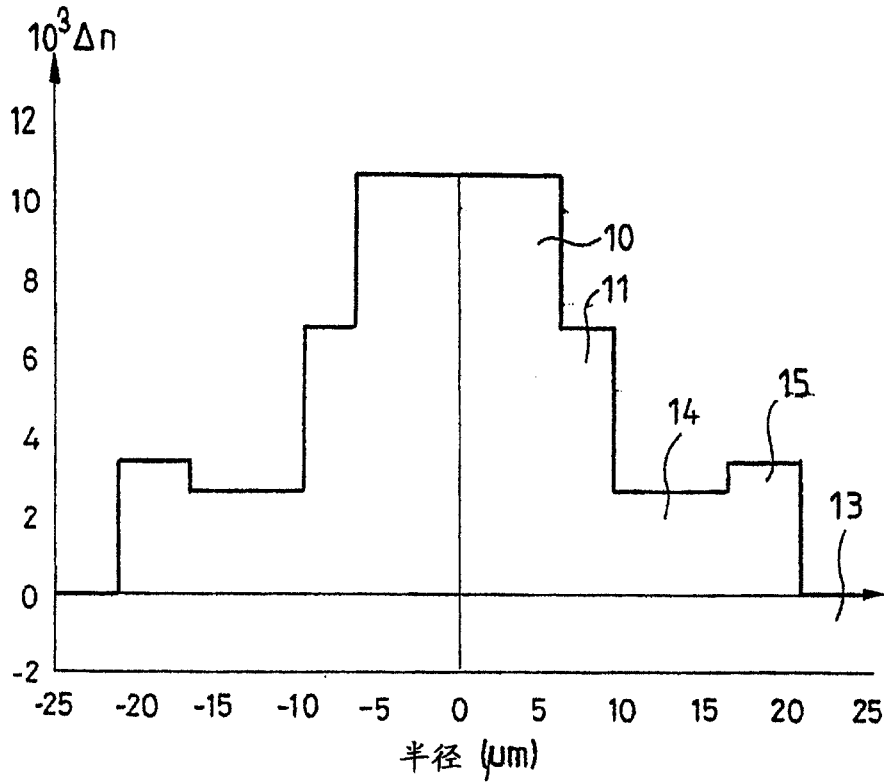


图 12

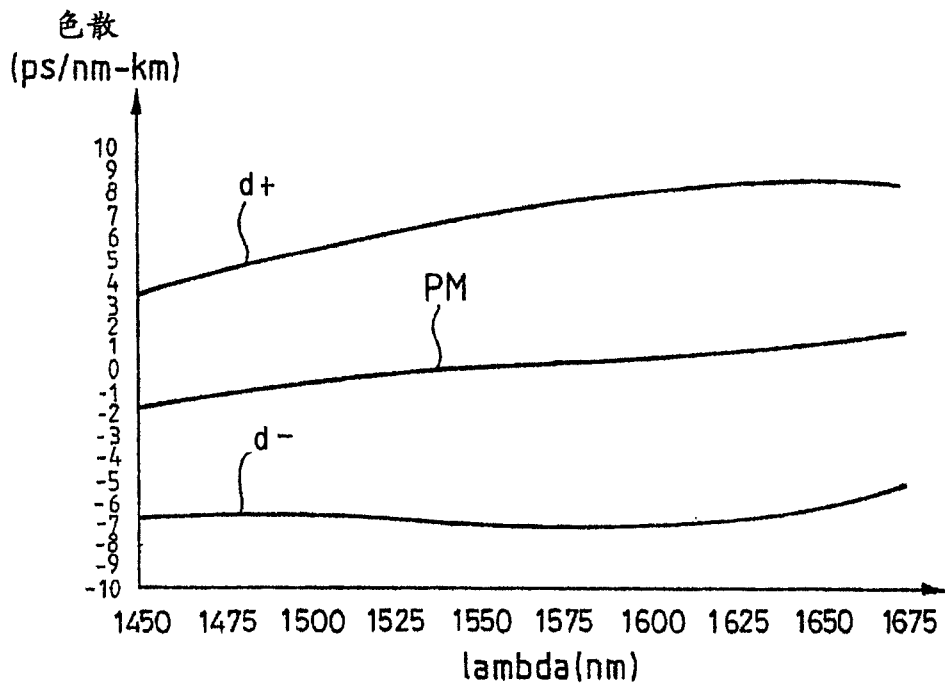


图 13