(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2015 年 7 月 30 日 (30.07.2015)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2015/109861 A1

(51) 国际专利分类号:
G02B 6/036 (2006.01) *G02B 6/028* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2014/087158

(22) 国际申请日: 2014 年 9 月 23 日 (23.09.2014)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201410037490.2 2014 年 1 月 26 日 (26.01.2014) CN

(71) 申请人: **烽火通信科技股份有限公司 (FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO.,LTD)** [CN/CN]; 中国湖北省武汉市东湖开发区关东科技园东信路 5 号, Hubei 430074 (CN)。

(72) 发明人: **罗文勇 (LUO, Wenyong)**; 中国湖北省武汉市东湖开发区关东科技园东信路 5 号, Hubei 430074 (CN)。 **李诗愈 (LI, Shiyu)**; 中国湖北省武汉市东湖开发区关东科技园东信路 5 号, Hubei 430074 (CN)。 **陈伟 (CHEN, Wei)**; 中国湖北省武汉市东湖开发区关东科技园东信路 5 号, Hubei 430074 (CN)。 **莫琦 (MO, Qi)**; 中国湖北省武汉市东湖开发区关东科技园东信路 5 号, Hubei 430074 (CN)。 **柯一礼 (KE, Yili)**; 中国湖北省武汉市东湖开发区关东科技园东信路 5 号, Hubei 430074 (CN)。 **胡福明 (HU, Fuming)**; 中国湖北省武汉市东湖开发区关东科技园东信路 5 号, Hubei 430074 (CN)。

(74) 代理人: **北京捷诚信通专利事务所(普通合伙) (BEIJING PSCU PATENT OFFICE)**; 中国北京市西城区三里河一区 5-5, Beijing 100045 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

[见续页]

(54) **Title**: SMALL BENDING RADIUS SINGLE-MODE OPTICAL FIBER WITH COMPATIBILITY

(54) **发明名称** : 一种具有兼容性的小弯曲半径单模光纤

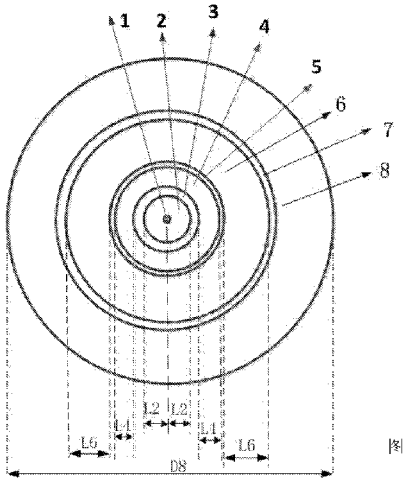


图 1 / **Fig. 1**

(57) **Abstract**: A small bending radius single-mode optical fiber with compatibility comprises a core gradient layer (1), a germanium-doped core layer (2), a first transition layer (3), a first wrapping layer (4), a second transition layer (5), a second wrapping layer (6), a third transition layer (7) and a third wrapping layer (8), said layers being arranged concentrically from the inner to the outer. The difference of relative index of refraction of the core gradient layer (1) is Δn1, which is realized through an equation: Δn1 = a1(x1 + x_ + x_) + b1; the difference of relative index of refraction of the first transition layer (3) is Δn3, which is realized through an equation: Δn3 = b3(1 - a3x_)0.5; the difference of relative index of refraction of the second transition layer (5) is Δn5, which is realized through an equation: Δn5 = a5x_ + b5; the difference of relative index of refraction of the third transition layer (7) is Δn7, which is realized through an equation: Δn7 = a7x_+ b7. The small bending radius single-mode optical fiber with compatibility achieves a quite strong resistance to bending the radius of which is below 2mm, and is well compatible with conventional single-mode optical fibers.

(57) **摘要**:

[见续页]

WO 2015/109861 A1

(84) **指定国** (除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，包括由内至外同心设置的芯层渐变层（1）、掺锗芯层（2）、第一过渡层（3）、第一包层（4）、第二过渡层（5）、第二包层（6）、第三过渡层（7）和第三包层（8）；芯层渐变层（1）的相对折射率差为 Δn1，以 $\Delta n1=a_1(x_1+x^2_1+x^3_1)+b_1$ 实现，第一过渡层（3）的相对折射率差为 Δn3，以 $\Delta n3=b_3(1-a_3x^2_3)^{0.5}$ 实现，第二过渡层（5）的相对折射率差为 Δn5，以 $\Delta n5=a_5x^2_5+b_5$ 实现，所述第三过渡层（7）的相对折射率差为 Δn7，以 $\Delta n7=a_7x^2_7+b_7$ 实现。所述具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，实现弯曲半径达 2mm 以下的超强抗弯曲能力，同时可实现与常规单模光纤的良好兼容。

一种具有兼容性的小弯曲半径单模光纤

技术领域

本发明涉及单模光纤领域，具体来讲是一种具有兼容性的小弯曲半径单模光纤。

背景技术

目前通信网络的建设带动了光纤入户和 ODN 技术的飞速发展，这二者都对光纤的抗弯曲性能提出了很高的要求。光纤在弯曲条件下，会发生光信号的衰减，这是由于光纤弯曲后有部分功率的光泄漏了出去，这些泄漏出的光将会被涂层材料等吸收从而发热。有研究发现常规 G.652D 单模光纤做成的跳线，当在弯曲半径 15mm 条件下长时间工作时，由于持续的发热，会造成其两个连接端点间的损坏，造成接续损耗的持续降低，并带来不可恢复的损害。对于 ODN 中小配线盒内将大量光纤弯曲布线而言，由于光纤弯曲带来的光功率泄漏造成的发热将会给 ODN 的通信稳定带来严重影响。

光纤的抗弯曲性能的提升不仅有利于保证光信号传输的高质量，而且可以减小其所在通信系统的整体发热量，提升该系统的整体性能。世界各先进光纤企业针对通信网络的热点技术 ODN 技术对超强抗弯光纤技术的需求，展开了深入的研究。我国的光纤光缆企业目前主要集中在 ITUT-G.657 所要求的弯曲半径 10mm 或更小的小弯曲半径单模光纤如 G.657B2/3 的技术研究。

但是随着 ODN 技术为适应光纤网络和 3G 网络的建设对占地空间的要求，往往需要在极小的配线盒内布置大量的设备，此时留给用

于设备间高速、高带宽通信连接的光纤的空间将更为狭小，其对光纤的弯曲性能要求越来越高，越来越多的应用需要弯曲半径小于 3mm 乃至 2mm 以下的超强抗弯单模光纤。同时，这种超强抗弯单模还需要与普通单模光纤具有良好的兼容性，二者之间的单点熔接损耗需要控制在一个可以接受的较小范围内。

对于光纤入户而言，其所选用的光纤事实上需要具有两个关键特性，其一是抗弯曲能力，即小弯曲半径低损耗的光信号传输，这是其根本特性；其二是需要与常规 G.652 光纤具有一定的兼容特性。因为在当前骨干网和城域网乃至接入网的前端，大量铺设的光纤基本都是 G.652 光纤，如果在光纤入户段选用的光纤与其兼容特性差，即使其具有良好的弯曲性能，但是由于其在与常规 G.652 光纤熔接时损耗大，也会造成光信号在二者对接时大量损耗，从而额外需要更大的光增益，或者入户端干脆仍选用 G.652 光纤。因此，虽然当前已有抗弯曲光纤，但是由于其与常规 G.652 光纤兼容性能差，并不能满足光纤入户市场的大量采用。

发明内容

针对现有技术中存在的缺陷，本发明的目的在于提供一种具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，实现弯曲半径达 2mm 以下的超强抗弯曲能力，同时可实现与常规单模光纤的良好兼容。

为达到以上目的，本发明采取的技术方案是：一种具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，包括同心设置的芯层渐变层、掺锗芯层，以及由内至外同心设置的第一包层、第二包层和第三包层，所述掺锗芯层与第一包层之间设有第一过渡层，第一包层和第二包层之间设有第二过渡层，第二包层和第三包层之间设有第三过渡层；所述芯层渐变层的相对折射率差为 Δn1，是以$\Delta n1 = a_1(x_1 + x_1^2 + x_1^3) + b_1$实现，其中

x_1为芯层渐变层内任一点到其中轴线的距离；a_1为芯层渐变层的渐变系数，b_1为芯层渐变层的渐变稳定系数，a_1的取值范围为 0.5%～2%，b_1的取值范围为 0～0.2%；所述第一过渡层的相对折射率差为 Δn3，是以$\Delta n3 = b_3(1 - a_3x_3^2)^{0.5}$实现，其中$x_3$为第一过渡层 3 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与掺锗芯层 2 外边缘之间的距离，a_3、b_3为过渡系数，a_3的取值范围为 0.3～0.8，b_3的取值范围为 0.3%～0.8%；所述第二过渡层的相对折射率差为 Δn5，是以$\Delta n5 = a_5x_5^2 + b_5$实现，其中$x_5$为第二过渡层 5 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第一包层 4 外边缘之间的距离，a_5、b_5为过渡系数，a_5的取值范围为-1.0%～-0.3%，b_5的取值范围为 0～0.1%；所述第三过渡层的相对折射率差为 Δn7，是以$\Delta n7 = a_7x_7^2 + b_7$实现，其中$x_7$为第三过渡层 7 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第二包层 6 外边缘之间的距离，a_7、b_7为过渡系数，a_7的取值范围为 0.1%～0.4%，b_7的取值范围为-1.3%～-0.3%。

在上述技术方案的基础上，所述掺锗芯层的厚度与第一包层的厚度比值范围在 0.5～2.0 之间。

在上述技术方案的基础上，所述掺锗芯层的厚度与第二包层的厚度比值范围在 0.2～1.0 之间。

在上述技术方案的基础上，所述掺锗芯层的相对折射率差的范围是 0.2%～0.8%。

在上述技术方案的基础上，所述第一包层的相对折射率差的范围是 0～0.1%。

在上述技术方案的基础上，所述第二包层的相对折射率差的范围是-1.3%～-0.3%。

在上述技术方案的基础上，所述第三包层的直径为 80μm 或

125μm，为石英包层。

在上述技术方案的基础上，当工作波长在 1550nm 时，所述小弯曲半径单模光纤衰减在 0.2dB/km 以下，弯曲半径在 2mm 时，附加损耗在 0.35dB 以下。

本发明的有益效果在于：

1、所述惨锗芯层外面设有多个包层，低掺锗含量的第一包层、深掺氟含量的第二包层和由石英包层组成的第三包层，从而形成了一种山形波导结构，从减少宏弯损耗和微弯损耗两个方面来加强光纤的抗弯曲能力。

2、掺锗芯层与第一包层、第一包层与第二包层、第二包层与第三包层之间均设立过渡层，并在掺锗芯层内采用芯层渐变层，从而优化光纤的模式特性和应力特性，从而小弯曲半径单模光纤与常规 G.652 单模光纤熔接时，其熔接点的损耗可以控制到很小的程度，与常规单模光纤的良好兼容特性，从而为光纤入户、ODN 技术用光纤奠定基础。

附图说明

图 1 为本发明具有兼容性的小弯曲半径单模光纤端面结构示意图；

图 2 为本发明具有兼容性的小弯曲半径单模光纤波导结构示意图；

图 3 为具有兼容性的小弯曲半径单模光纤模场控制示意图；

图 4 为图 1 中包层直径 125μm 时的光纤弯曲附加损耗；

图 5 为图 1 中包层直径 80μm 时的光纤弯曲附加损耗。

具体实施方式

以下结合附图对本发明作进一步详细说明。

如图 1 所示，本发明具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，包括由内至外同心设置的芯层渐变层 1、掺锗芯层 2、第一过渡层 3、第一包层 4、第二过渡层 5、第二包层 6、第三过渡层 7 和第三包层 8。其中，芯层渐变层 1 在掺锗芯层 2 的内部，第一过渡层 2 位于掺锗的芯层 1 与第一包层间 4 之间，第二过渡层 5 位于第 1 包层 4 与第二包层 6 之间，第三过渡层 7 位于第二包层 6 与第三包层 8 之间。所述掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第一包层 4 的厚度 L4 比值范围在 0.5～2.0 之间。所述掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第二包层 6 的厚度 L6 比值范围在 0.2～1.0 之间。所述第三包层 8 为石英包层，其直径 D8 为 80μm 或 125μm，涂覆后本发明小弯曲半径单模光纤直径为 200μm 或 245μm。

如图 2 所示，所述芯层渐变层 1 的折射率为 n1，掺锗芯层 2 的折射率为 n2，第一过渡层 3 的折射率为 n3，第 1 包层 4 的折射率为 n4，第三过渡层 5 的折射率为 n5，第二包层 6 的折射率为 n6，第三过渡层 7 的折射率为 n7，第三包层 8 的折射率为 n8；选取第三包层 8 的折射率 n8 为等效石英包层的折射率 n。在实现上述折射率时，采用相对折射率差的办法，以石英包层的折射率 n 为基准，各波导层与石英包层之间有一个相对折射率差，以此为标准来测算并实现本发明的山形波导结构所包括的各层折射率。相对折射率差采用公式为：

$$\Delta n=(n'-n)/(n'+n)\times 100\% \qquad \text{公式（1）}$$

其中，n 为石英包层的折射率，即本发明对应为第三包层 8 的折射率 n8，n′为与之相比较的对应层的折射率。

对本发明而言，当计算芯层渐变层1的折射率与石英包层相对折射率差时，公式中n′取值纤芯折射率n1；当计算掺锗芯层折射率与石

英包层相对折射率差时，公式中n′取值纤芯折射率n2；当计算第一过渡层3芯层与石英包层的相对折射率差时，式中n′取值第一过渡层折射率n3；当计算第一包层4与石英包层的相对折射率差时，式中n′取值第一包层折射率n4；当计算第二过渡层5与石英包层的相对折射率差时，式中n′取值第二过渡层折射率n5；当计算第二包层6与石英包层的折射率差时，式中n′取值掺氟包层的折射率n6；当计算第三过渡层7与石英包层的折射率差时，式中n′取值第三过渡层的折射率n7。

则由公式（1）可以分别得到芯层渐变层 1 的相对折射率差 Δn1，掺锗芯层 2 的相对折射率差为 Δn2，第一过渡层 3 的相对折射率差为 Δn3，第一包层 4 的相对折射率差为 Δn4，第二过渡层 5 的相对折射率差为 Δn5，第二包层 6 的相对折射率差为 Δn6，第三过渡层 7 的相对折射率差为 Δn7。所述掺锗芯层 2 的相对折射率差的范围是 0.2%～0.8%；所述第一包层 4 的相对折射率差的范围是 0～0.1%，为微掺锗包层；所述第二包层 6 的相对折射率差的范围是-1.3%～-0.3%，为深掺氟包层。

所述芯层渐变层 1 的相对折射率差为 Δn1，是以$\Delta n1 = a_1(x_1 + x_1^2 + x_1^3) + b_1$实现，其中$x_1$为芯层渐变层 1 内任一点到其中轴线的距离；$a_1$为芯层渐变层 1 的渐变系数，$b_1$为芯层渐变层 1 的渐变稳定系数；$a_1$的取值范围为 0.5%～2%，$b_1$的取值范围为 0～0.2%。

所述第一过渡层 3 的相对折射率差为 Δn3，是以$\Delta n3 = b_3(1 - a_3x_3^2)^{0.5}$实现，其中$x_3$第一过渡层 3 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与掺锗芯层 2 外边缘之间的距离，a_3、b_3为过渡系数；a_3的取值范围为 0.3～0.8，b_3的取值范围为 0.3%～0.8%。

所述第二过渡层 5 的相对折射率差为 Δn5，是以$\Delta n5 = a_5x_5^2 + b_5$实现，其中$x_5$为第二过渡层 5 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同

心圆与第一包层 4 外边缘之间的距离，a_5、b_5为过渡系数；a_5的取值范围为-1.0%～-0.3%，b_5的取值范围为 0～0.1%。

所述第三过渡层 7 的相对折射率差为 Δn7，是以$\Delta n7 = a_7 x_7^2 + b_7$实现，其中$a_7$为第三过渡层 7 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第二包层 6 外边缘之间的距离，a_7、b_7为过渡系数；a_7的取值范围为 0.1%～0.4%，b_7的取值范围为-1.3%～-0.3%。

如图 3 所示，本发明通过掺锗纤芯 2、第一包层 4、第二包层 6 和第三包层 8 对小弯曲半径光纤的模场进行了三重控制，并通过纤芯渐变层 1、第一过渡层 3、第二过渡层 5 和第三过渡层 7 对模场特性进行了适应 G.652 的优化，其外延模场近似 G.652 光纤模场，其核心模场则为小弯曲半径光纤的特性模场。

下面通过具体实施例对本发明做进一步说明。

实施例 1：

本实施例中小弯曲半径单模光纤的第三包层 8 的直径 D8 为 125μm，芯层渐变层 1 的相对折射率差为 Δn1，以$\Delta n1 = a_1(x_1 + x_1^2 + x_1^3) + b_1$实现，其中$x_1$为芯层渐变层 1 内任一点到其中轴线的距离；$a_1$为芯层渐变层 1 的渐变系数，$b_1$为芯层渐变层 1 的渐变稳定系数；$a_1$的取值范围为 0.5%，$b_1$的取值范围为 0。

掺锗芯层 2 的相对折射率 Δn2 保持稳定，恒定为 0.2%。

所述第一过渡层 3 的相对折射率差为 Δn3，以$\Delta n3 = b_3(1 - a_3 x_3^2)^{0.5}$实现，其中$x_3$第一过渡层 3 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与掺锗芯层 2 外边缘之间的距离，a_3、b_3为过渡系数；a_3的取值范围为 0.8，b_3的取值范围为 0.3%。

所述第一包层 4 的相对折射率差 Δn4 保持稳定，恒定为 0%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第一包层 4 的厚度 L4 的比值为 2.0。

所述第二过渡层 5 的相对折射率差为 Δn5，以$\Delta n5 = a_5 x_5^2 + b_5$实现，其中$x_5$为第二过渡层 5 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第一包层 4 外边缘之间的距离，a_5、b_5为过渡系数；a_5的取值范围为-0.65%，b_5的取值范围为 0.05%。

所述第二包层 6 的相对折射率差 Δn6 保持稳定，恒定为-0.8%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第二包层 6 的厚度 L4 的比值在 1.0。

所述第三过渡层 7 的相对折射率差为 Δn7，以$\Delta n7 = a_7 x_7^2 + b_7$实现，其中$a_7$为第三过渡层 7 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第二包层 6 外边缘之间的距离，a_7、b_7为过渡系数；a_7的取值范围为 0.25%，b_7的取值范围为-0.8%。

由图 4 中可知，本实施例中，小弯曲半径单模光纤的 1550nm 衰减为 0.191dB/km，其与常规 G.652 光纤的熔接损耗达到 0.08dB，其在 2mm 弯曲半径下的附加损耗为 0.345dB。

实施例 2：

本实施例与实施例 1 结构基本相同，所述第三包层 8 的直径 D8 为 125μm，芯层渐变层 1 的相对折射率差为 Δn1，以$\Delta n1 = a_1(x_1 + x_1^2 + x_1^3) + b_1$实现，其中$x_1$为芯层渐变层 1 内任一点到其中轴线的距离；$a_1$为芯层渐变层 1 的渐变系数，$b_1$为芯层渐变层 1 的渐变稳定系数；$a_1$的取值范围为 1%，$b_1$的取值范围为 0.2%。

掺锗芯层 2 的相对折射率 Δn2 保持稳定，恒定为 0.5%。

所述第一过渡层 3 的相对折射率差为 Δn3，以$\Delta n3 = b_3(1 - a_3 x_3^2)^{0.5}$实现，其中$x_3$第一过渡层 3 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与掺锗芯层 2 外边缘之间的距离，a_3、b_3为过渡系数；a_3的取值范围为 0.5，b_3的取值范围为 0.5%。

所述第一包层 4 的相对折射率差 Δn4 保持稳定，恒定为 0.05%，

掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第一包层 4 的厚度 L4 的比值为 1.0。

所述第二过渡层 5 的相对折射率差为 Δn5，以$\Delta n5 = a_5 x_5^2 + b_5$实现，其中$x_5$为第二过渡层 5 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第一包层 4 外边缘之间的距离，a_5、b_5为过渡系数；a_5的取值范围为-0.3%，b_5的取值范围为 0.1%。

所述第二包层 6 的相对折射率差 Δn6 保持稳定，恒定为-0.3%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第二包层 6 的厚度 L4 的比值在 0.5。

所述第三过渡层 7 的相对折射率差为 Δn7，以$\Delta n7 = a_7 x_7^2 + b_7$实现，其中$a_7$为第三过渡层 7 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第二包层 6 外边缘之间的距离，a_7、b_7为过渡系数；a_7的取值范围为 0.1%，b_7的取值范围为-0.3%。

由图 4 中可知，本实施例中，小弯曲半径单模光纤的 1550nm 衰减为 0.193dB/km，其与常规 G.652 光纤的熔接损耗达到 0.11dB，其在 2mm 弯曲半径下的附加损耗为 0.332dB。

实施例 3：

本实施例与实施例 1 结构基本相同，所述第三包层 8 的直径 D8 为 125μm，芯层渐变层 1 的相对折射率差为 Δn1，以$\Delta n1 = a_1(x_1 + x_1^2 + x_1^3) + b_1$实现，其中$x_1$为芯层渐变层 1 内任一点到其中轴线的距离；$a_1$为芯层渐变层 1 的渐变系数，$b_1$为芯层渐变层 1 的渐变稳定系数；$a_1$的取值范围为 2%，$b_1$的取值范围为 0.1%。

掺锗芯层 2 的相对折射率 Δn2 保持稳定，恒定为 0.8%。

所述第一过渡层 3 的相对折射率差为 Δn3，以$\Delta n3 = b_3(1 - a_3 x_3^2)^{0.5}$实现，其中$x_3$第一过渡层 3 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与掺锗芯层 2 外边缘之间的距离，a_3、b_3为过渡系数；a_3的取值范围为 0.3，b_3的取值范围为 0.8%。

所述第一包层 4 的相对折射率差 Δn4 保持稳定，恒定为 0.1%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第一包层 4 的厚度 L4 的比值为 0.5。

所述第二过渡层 5 的相对折射率差为 Δn5，以$\Delta n5 = a_5x_5^2 + b_5$实现，其中$x_5$为第二过渡层 5 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第一包层 4 外边缘之间的距离，a_5、b_5为过渡系数；a_5的取值范围为-1.3%，b_5的取值范围为 0%。

所述第二包层 6 的相对折射率差 Δn6 保持稳定，恒定为-1.3%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第二包层 6 的厚度 L4 的比值在 0.2。

所述第三过渡层 7 的相对折射率差为 Δn7，以$\Delta n7 = a_7x_7^2 + b_7$实现，其中$a_7$为第三过渡层 7 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第二包层 6 外边缘之间的距离，a_7、b_7为过渡系数；a_7的取值范围为 0.4%，b_7的取值范围为-1.3%。

由图 4 中可知，本实施例中，小弯曲半径单模光纤的 1550nm 衰减为 0.194dB/km，其与常规 G.652 光纤的熔接损耗达到 0.15dB，其在 2mm 弯曲半径下的附加损耗为 0.311dB。

实施例 4：

本实施例所述第三包层 8 的直径 D8 为 80μm，芯层渐变层 1 的相对折射率差为 Δn1，以$\Delta n1 = a_1(x_1 + x_1^2 + x_1^3) + b_1$实现，其中$x_1$为芯层渐变层 1 内任一点到其中轴线的距离；$a_1$为芯层渐变层 1 的渐变系数，$b_1$为芯层渐变层 1 的渐变稳定系数；$a_1$的取值范围为 0.5%，$b_1$的取值范围为 0。

掺锗芯层 2 的相对折射率 Δn2 保持稳定，恒定为 0.2%。

所述第一过渡层 3 的相对折射率差为 Δn3，以$\Delta n3 = b_3(1 - a_3x_3^2)^{0.5}$实现，其中$x_3$第一过渡层 3 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与掺锗芯层 2 外边缘之间的距离，a_3、b_3为过渡系数；a_3的

取值范围为 0.8， b_3的取值范围为 0.3%。

所述第一包层 4 的相对折射率差 Δn4 保持稳定，恒定为 0，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第一包层 4 的厚度 L4 的比值为 2.0。

所述第二过渡层 5 的相对折射率差为 Δn5，以$\Delta n5 = a_5x_5^2 + b_5$实现，其中$x_5$为第二过渡层 5 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第一包层 4 外边缘之间的距离，a_5、b_5为过渡系数；a_5的取值范围为-0.75%，b_5的取值范围为 0.06%。

所述第二包层 6 的相对折射率差 Δn6 保持稳定，恒定为-0.9%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第二包层 6 的厚度 L4 的比值在 1.0。

所述第三过渡层 7 的相对折射率差为 Δn7，以$\Delta n7 = a_7x_7^2 + b_7$实现，其中$a_7$为第三过渡层 7 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第二包层 6 外边缘以光纤中心为圆心的同心圆间的距离，a_7、b_7为过渡系数；a_7的取值范围为 0.3%，b_7的取值范围为-0.9%。

由图 5 中可知，本实施例中，小弯曲半径单模光纤的 1550nm 衰减为 0.195dB/km，其与常规 G.652 光纤的熔接损耗达到 0.13dB，其在 2mm 弯曲半径下的附加损耗为 0.332dB。

实施例 5：

本实施例与实施例 5 结构基本相同，所述第三包层 8 的直径 D8 为 80μm，芯层渐变层 1 的相对折射率差为 Δn1，以$\Delta n1 = a_1(x_1 + x_1^2 + x_1^3) + b_1$实现，其中$x_1$为芯层渐变层 1 内任一点到其中轴线的距离；$a_1$为芯层渐变层 1 的渐变系数，$b_1$为芯层渐变层 1 的渐变稳定系数；$a_1$的取值范围为 1.3%，$b_1$的取值范围为 0.2%。

掺锗芯层 2 的相对折射率 Δn2 保持稳定，恒定为 0.6%。

所述第一过渡层 3 的相对折射率差为 Δn3，以$\Delta n3 = b_3(1 - a_3x_3^2)^{0.5}$实现，其中$x_3$第一过渡层 3 内任一点所处的以光纤中心为圆

心的同心圆与掺锗芯层 2 外边缘之间的距离，a_3、b_3为过渡系数；a_3的取值范围为 0.6， b_3的取值范围为 0.45%。

所述第一包层 4 的相对折射率差 Δn4 保持稳定，恒定为 0.05%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第一包层 4 的厚度 L4 的比值为 0.9。

所述第二过渡层 5 的相对折射率差为 Δn5，以$\Delta n5 = a_5 x_5^2 + b_5$实现，其中$x_5$为第二过渡层 5 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第一包层 4 外边缘之间的距离，a_5、b_5为过渡系数；a_5的取值范围为-0.3%，b_5的取值范围为 0.1%。

所述第二包层 6 的相对折射率差 Δn6 保持稳定，恒定为-0.3%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第二包层 6 的厚度 L4 的比值在 0.4。

所述第三过渡层 7 的相对折射率差为 Δn7，以$\Delta n7 = a_7 x_7^2 + b_7$实现，其中$a_7$为第三过渡层 7 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第二包层 6 外边缘之间的距离，a_7、b_7为过渡系数；a_7的取值范围为 0.1%，b_7的取值范围为-0.3%。

由图 5 中可知，本实施例中，小弯曲半径单模光纤的 1550nm 衰减为 0.197dB/km，其与常规 G.652 光纤的熔接损耗达到 0.16dB，其在 2mm 弯曲半径下的附加损耗为 0.312dB。

实施例 6：

本实施例与实施例 5 结构基本相同，所述第三包层 8 的直径 D8 为 80μm，芯层渐变层 1 的相对折射率差为 Δn1，以$\Delta n1 = a_1(x_1 + x_1^2 + x_1^3) + b_1$实现，其中$x_1$为芯层渐变层 1 内任一点到其中轴线的距离；$a_1$为芯层渐变层 1 的渐变系数，$b_1$为芯层渐变层 1 的渐变稳定系数；$a_1$的取值范围为 2%，$b_1$的取值范围为 0.1%。

掺锗芯层 2 的相对折射率 Δn2 保持稳定，恒定为 0.8%。

所述第一过渡层 3 的相对折射率差为 Δn3，以$\Delta n3 = b_3(1 -$

$a_3x_3^2)^{0.5}$实现，其中x_3第一过渡层 3 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与掺锗芯层 2 外边缘之间的距离，a_3、b_3为过渡系数；a_3的取值范围为 0.3， b_3的取值范围为 0.8%。

所述第一包层 4 的相对折射率差 Δn4 保持稳定，恒定为 0.1%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第一包层 4 的厚度 L4 的比值为 0.5。

所述第二过渡层 5 的相对折射率差为 Δn5，以$\Delta n5 = a_5x_5^2 + b_5$实现，其中$x_5$为第二过渡层 5 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第一包层 4 外边缘之间的距离，a_5、b_5为过渡系数；a_5的取值范围为-1.3%，b_5的取值范围为 0。

所述第二包层 6 的相对折射率差 Δn6 保持稳定，恒定为-1.3%，掺锗芯层 2 的厚度 L2 与第二包层 6 的厚度 L4 的比值在 0.2。

所述第三过渡层 7 的相对折射率差为 Δn7，以$\Delta n7 = a_7x_7^2 + b_7$实现，其中$a_7$为第三过渡层 7 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第二包层 6 外边缘之间的距离，a_7、b_7为过渡系数；a_7的取值范围为 0.4%，b_7的取值范围为-1.3%。

由图 5 中可知，本实施例中，小弯曲半径单模光纤的 1550nm 衰减为 0.199dB/km，其与常规 G.652 光纤的熔接损耗达到 0.19dB，其在 2mm 弯曲半径下的附加损耗为 0.297dB。

本发明不局限于上述实施方式，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也视为本发明的保护范围之内。本说明书中未作详细描述的内容属于本领域专业技术人员公知的现有技术。

权 利 要 求 书

1．一种具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，包括同心设置的芯层渐变层、掺锗芯层，以及由内至外同心设置的第一包层、第二包层和第三包层，其特征在于：所述掺锗芯层与第一包层之间设有第一过渡层，第一包层和第二包层之间设有第二过渡层，第二包层和第三包层之间设有第三过渡层；

所述芯层渐变层的相对折射率差为 $\Delta n1$，是以$\Delta n1 = a_1(x_1 + x_1^2 + x_1^3) + b_1$实现，其中$x_1$为芯层渐变层内任一点到其中轴线的距离；$a_1$为芯层渐变层的渐变系数，$b_1$为芯层渐变层的渐变稳定系数，$a_1$的取值范围为 0.5%～2%，$b_1$的取值范围为 0～0.2%；

所述第一过渡层的相对折射率差为 $\Delta n3$，是以$\Delta n3 = b_3(1 - a_3x_3^2)^{0.5}$实现，其中$x_3$为第一过渡层 3 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与掺锗芯层 2 外边缘之间的距离，a_3、b_3为过渡系数，a_3的取值范围为 0.3～0.8，b_3的取值范围为 0.3%～0.8%；

所述第二过渡层的相对折射率差为 $\Delta n5$，是以$\Delta n5 = a_5x_5^2 + b_5$实现，其中$x_5$为第二过渡层 5 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第一包层 4 外边缘之间的距离，a_5、b_5为过渡系数，a_5的取值范围为-1.0%～-0.3%，b_5的取值范围为 0～0.1%；

所述第三过渡层的相对折射率差为 $\Delta n7$，是以$\Delta n7 = a_7x_7^2 + b_7$实现，其中$x_7$为第三过渡层 7 内任一点所处的以光纤中心为圆心的同心圆与第二包层 6 外边缘之间的距离，a_7、b_7为过渡系数，a_7的取值范围为 0.1%～0.4%，b_7的取值范围为-1.3%～-0.3%。

2．如权利要求 1 所述具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，其特征在于：所述掺锗芯层的厚度与第一包层的厚度比值范围在 0.5～2.0 之间。

3．如权利要求 1 所述具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，其特征在于：所述掺锗芯层的厚度与第二包层的厚度比值范围在 0.2～1.0 之间。

4．如权利要求 1 所述具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，其特征在于：所述掺锗芯层的相对折射率差的范围是 0.2%～0.8%。

5．如权利要求 1 所述具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，其特征在于：所述第一包层的相对折射率差的范围是 0～0.1%。

6．如权利要求 1 所述具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，其特征在于：所述第二包层的相对折射率差的范围是-1.3%～-0.3%。

7．如权利要求 1 所述具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，其特征在于：所述第三包层的直径为 80μm 或 125μm，为石英包层。

8．如权利要求 1 所述具有兼容性的小弯曲半径单模光纤，其特征在于：当工作波长在 1550nm 时，所述小弯曲半径单模光纤衰减在 0.2dB/km 以下，弯曲半径在 2mm 时，附加损耗在 0.35dB 以下。

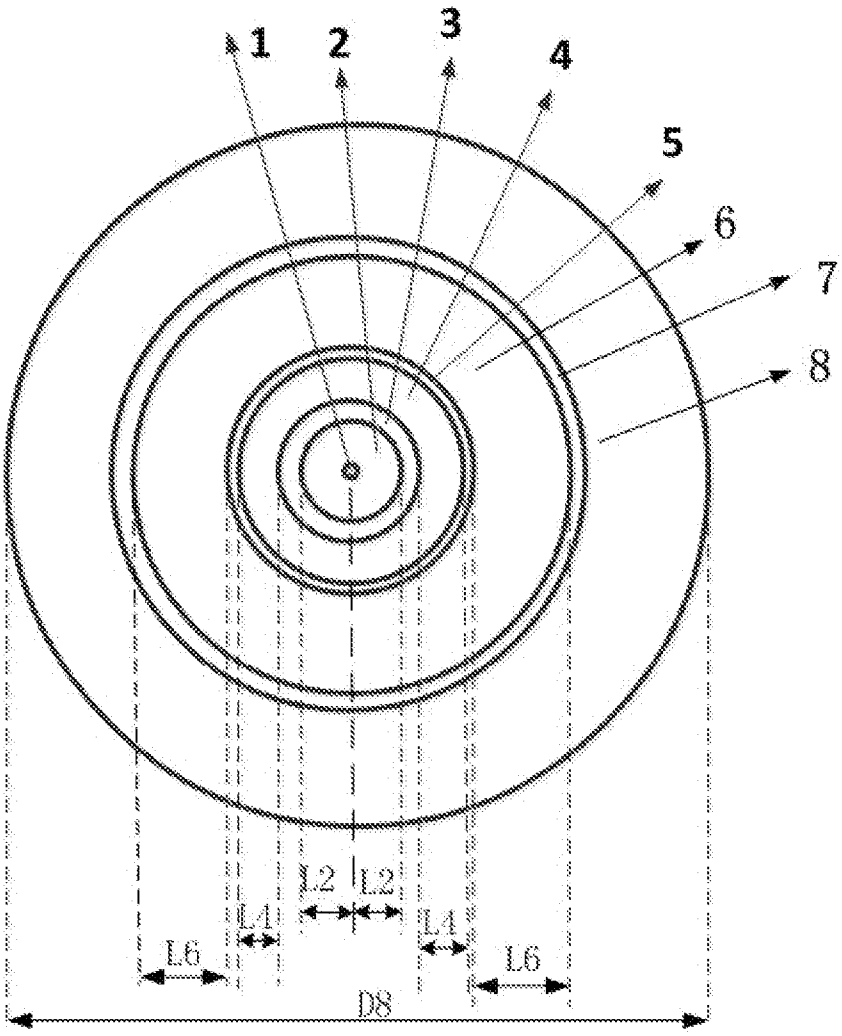


图 1

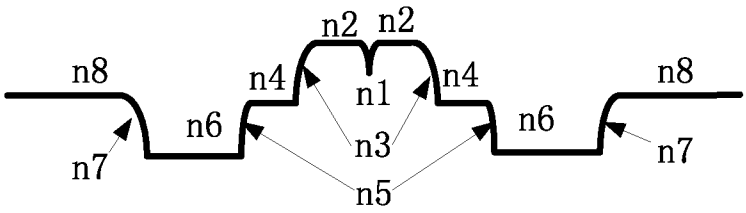


图 2

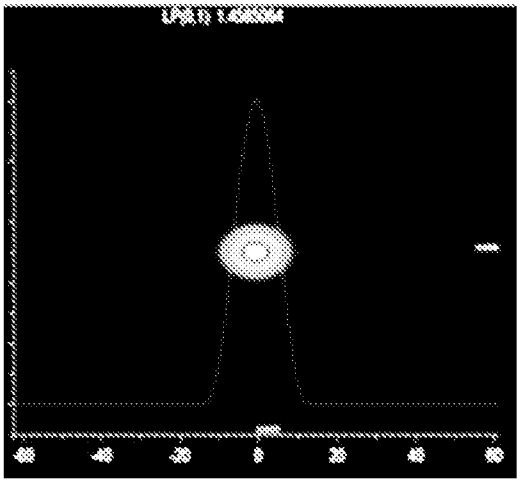


图 3

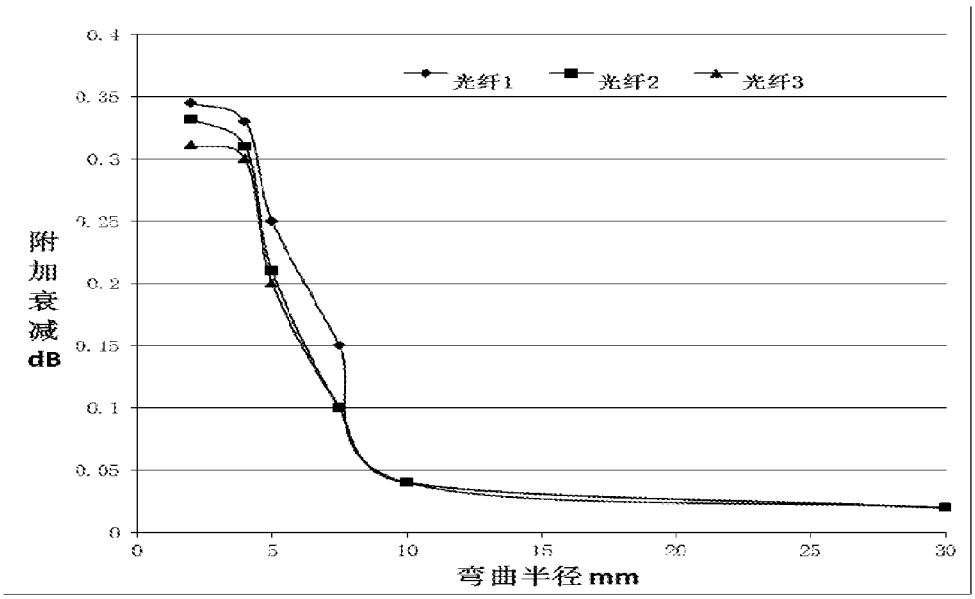

0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
附加衰减dB
光纤1
光纤2
光纤3
0
5
10
15
20
25
30
弯曲半径 mm

图 4

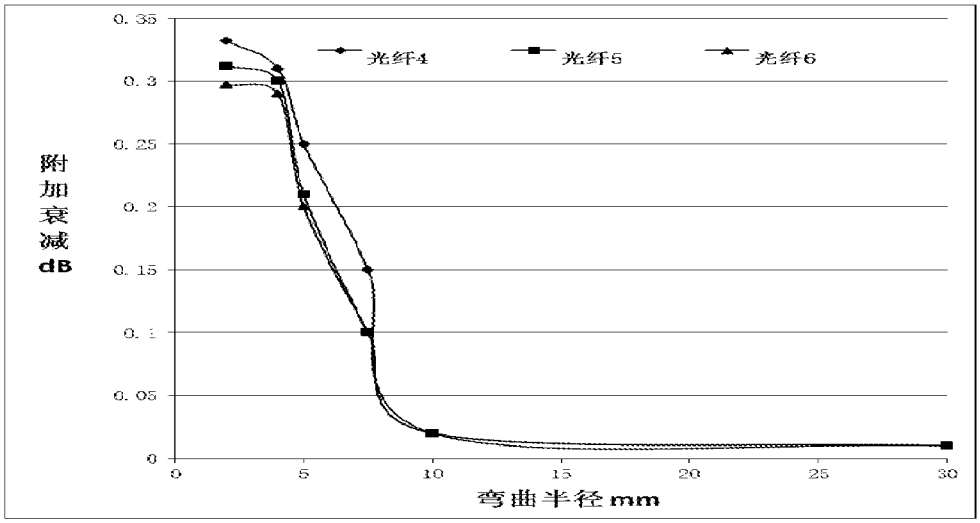

0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
光纤4
光纤5
光纤6
附加衰减dB
0
5
10
15
20
25
30
弯曲半径mm

图 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2014/087158

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/036 (2006.01) i; G02B 6/028 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, EPODOC, WPI: FIBERHOME TELECOMMUNICATION; LUO, Wenyong; LI, Shiyu; CHEN, Wei; MO, Qi; KE, Yili; HU, Fuming; loss, optical fibre, single-mode, transition, refractive index, concave or sink or low or little, low 2w loss, single 2w mode, fiber, bend+, core, cladding, graded, relative, refractive, index, radius, difference, doped, germanium or Ge

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 103869410 A (FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD.), 18 June 2014 (18.06.2014), description, paragraphs [0006]-[0089], claims 1-8, and figures 1-5	1-8
A	CN 103472525 A (FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD. et al.), 25 December 2013 (25.12.2013), description, paragraphs [0068]-[0115], claims 1-10, and figures 1-6	1-8
A	CN 1818728 A (JIANGSU HENGTONG OPTICAL FIBER TECHNOLOGY CO., LTD.), 16 August 2006 (16.08.2006), the whole document	1-8
A	CN 102944910 A (YANGTZE OPTICAL FIBRE AND CABLE COMPANY LTD.), 27 February 2013 (27.02.2013), the whole document	1-8
A	CN 102667554 A (CORNING INC.), 12 September 2012 (12.09.2012), the whole document	1-8
A	WO 2013090759 A1 (OFS FITEL, LLC.), 20 June 2013 (20.06.2013), the whole document	1-8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
10 December 2014 (10.12.2014)	**24 December 2014 (24.12.2014)**
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer **ZHONG, Jie** Telephone No.: (86-10) **82245109**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2014/087158

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103869410 A	18 June 2014	None	
CN 103472525 A	25 December 2013	None	
CN 1818728 A	16 August 2006	CN 100371747 C	27 February 2008
CN 102944910 A	27 February 2013	WO 2014067292 A1	08 May 2014
CN 102667554 A	12 September 2012	JP 2013512463 A	11 April 2013
		WO 2011066061 A3	01 September 2011
		WO 2011066061 A2	03 June 2011
		US 7876990 B1	25 January 2011
		CN 102667554 B	30 April 2014
		KR 20120102718 A	18 September 2012
		RU 2012126122 A	27 December 2013
		EP 2504726 A2	03 October 2012
WO 2013090759 A1	20 June 2013	EP 2791718 A1	22 October 2014

国际检索报告

国际申请号 PCT/CN2014/087158

A. 主题的分类

G02B 6/036(2006.01)i；G02B 6/028(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G02B

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用）)

CNPAT,CNKI,EPODOC,WPI:烽火通信，罗文勇，李诗愈，陈伟，莫琦，柯一礼，胡福明，损耗，光纤，单模，弯曲，半径，渐变，芯，过渡，包层，中心，相对，折射率，凹 or 陷 or 低 or 小，掺杂，锗，low 2w loss,single 2w mode, fiber, bend+, core, cladding, graded, relative, refractive, index, radius, difference,doped, germanium or Ge

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 103869410 A (烽火通信科技股份有限公司) 2014年 6月 18日 (2014-06-18) 说明书第[0006]-[0089]段、权利要求1-8、附图1-5	1-8
A	CN 103472525 A (烽火通信科技股份有限公司等) 2013年 12月 25日 (2013-12-25) 说明书第[0068]-[0115]段、权利要求1-10、附图1-6	1-8
A	CN 1818728 A (江苏亨通光纤科技有限公司) 2006年 8月 16日 (2006-08-16) 全文	1-8
A	CN 102944910 A (长飞光纤光缆有限公司) 2013年 2月 27日 (2013-02-27) 全文	1-8
A	CN 102667554 A (康宁股份有限公司) 2012年 9月 12日 (2012-09-12) 全文	1-8
A	WO 2013090759 A1 (OFS FITEL, LLC.) 2013年 6月 20日 (2013-06-20) 全文	1-8

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

"A" 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

"E" 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

"L" 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

"O" 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

"P" 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

"T" 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

"X" 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

"Y" 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

"&" 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2014年 12月 10日	2014年 12月 24日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 中国 传真号 (86-10)62019451	钟杰 电话号码 (86-10)82245109

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2014/087158

检索报告引用的专利文件			公布日（年/月/日）	同族专利			公布日（年/月/日）
CN	103869410	A	2014年 6月 18日	无			
CN	103472525	A	2013年 12月 25日	无			
CN	1818728	A	2006年 8月 16日	CN	100371747	C	2008年 2月 27日
CN	102944910	A	2013年 2月 27日	WO	2014067292	A1	2014年 5月 08日
CN	102667554	A	2012年 9月 12日	JP	2013512463	A	2013年 4月 11日
				WO	2011066061	A3	2011年 9月 01日
				WO	2011066061	A2	2011年 6月 03日
				US	7876990	B1	2011年 1月 25日
				CN	102667554	B	2014年 4月 30日
				KR	20120102718	A	2012年 9月 18日
				RU	2012126122	A	2013年 12月 27日
				EP	2504726	A2	2012年 10月 03日
WO	2013090759	A1	2013年 6月 20日	EP	2791718	A1	2014年 10月 22日