

(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 6 月 25 日 (25.06.2015)



(10) 国际公布号
WO 2015/090049 A1

- (51) 国际专利分类号:
G02B 6/02 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2014/081894
- (22) 国际申请日: 2014 年 7 月 9 日 (09.07.2014)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201310693100.2 2013 年 12 月 18 日 (18.12.2013) CN
- (71) 申请人: 江苏大学 (JIANGSU UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (72) 发明人: 陈明阳 (CHEN, Mingyang); 中国江苏省镇江市学府路 301 号, Jiangsu 212013 (CN)。
- (74) 代理人: 南京知识律师事务所 (ZHISHI LAW FIRM OF INTELLECTUAL PROPERTY); 中国江苏省南京市新模范马路 5 号南京科技广场 B 座 9 楼, Jiangsu 210009 (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, LT, 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。

- (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, 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)。

根据细则 4.17 的声明:

— 发明人资格(细则 4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

(54) Title: FEW-MODE OPTICAL FIBRE WITH LOW DEGENERACY

(54) 发明名称: 一种低简并度少模光纤

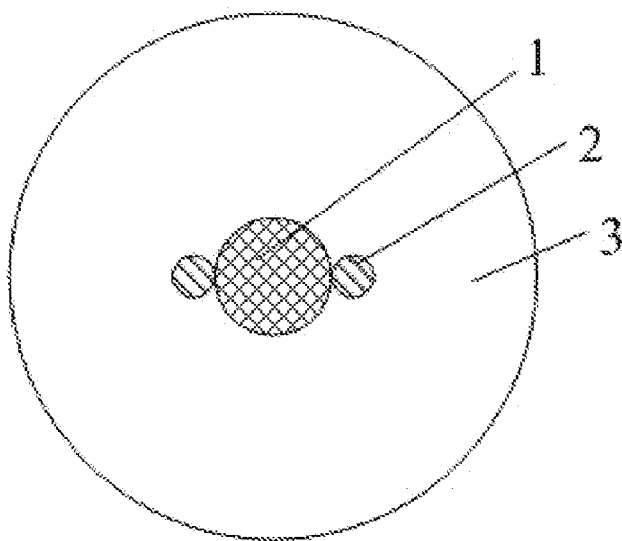


图 1 /Fig.1

(57) Abstract: A few-mode optical fibre with low degeneracy, comprising a fibre core and cladding (3), wherein the fibre core is composed of a main fibre core (1) and 2N auxiliary fibre cores (2), the main fibre core (1) being located in the centre of an optical fibre, the 2N auxiliary fibre cores (2) being symmetrically arranged on the two sides of the main fibre core (1), and the centre of the main fibre core (1) and the centre of the 2N auxiliary fibre cores (2) being located on the same straight line; the main fibre core (1) has the same refractive index as that of the auxiliary fibre cores (2), and the boundary of the main fibre core (1) is tangent to the boundary of the adjacent auxiliary fibre cores (2), the boundaries of the two adjacent auxiliary fibre cores (2) being tangent; and all the diameters of the auxiliary fibre cores (2) are less than the diameter of the main fibre core (1), and the diameters of the auxiliary fibre cores (2) decrease gradually from inside to outside. Destroying the circular symmetry of a refractive index distribution of the optical fibre by introducing the auxiliary fibre cores (2) so as to form a refractive index distribution with double symmetry. This kind of refractive index distribution demotes a four-fold degenerate high-order mode to a two-fold degenerate mode, thereby increasing an effective refractive index difference therebetween, and enabling a mode field distribution form of the high-order mode to be fixed.

(57) 摘要:

[见续页]

WO 2015/090049 A1



一种低简并度少模光纤，包括纤芯和包层（3），所述纤芯由一个主纤芯（1）和 $2N$ 个辅助纤芯（2）所组成，所述主纤芯（1）位于光纤中心，所述 $2N$ 个辅助纤芯（2）对称的排布在所述主纤芯（1）两侧，所述主纤芯（1）的中心和 $2N$ 个辅助纤芯（2）的中心处于同一直线上；所述主纤芯（1）和辅助纤芯（2）的折射率相同，所述主纤芯（1）边界与相邻的所述辅助纤芯（2）边界相切，相邻的两个所述辅助纤芯（2）的边界相切；所述辅助纤芯（2）直径均小于所述主纤芯（1）直径，且所述辅助纤芯（2）直径由内向外依次递减。通过引入辅助纤芯（2），破坏光纤的折射率分布的圆对称性，形成具有二重对称性的折射率分布。这种折射率分布使四重简并的高阶模降为二重简并模，增大两者的有效折射率差，并使高阶模的模场分布形式固定。

说明书

一种低简并度少模光纤

技术领域

本发明涉及光纤通信领域，具体分为可实现降低模式简并度的少模光纤。

背景技术

普通光纤的基模由两个简并的线性偏振模组成。光纤的高阶模根据其对称性和简并度，由两个或 4 个简并模组成，如 LP_{11} 模， LP_{21} 模均由四个简并模组成，而 LP_{02} 模则由两个线性偏振模组成。对于四个简并模组成的高阶模，其每种线性偏振态均由两个模式组成。这两个模式的模场分布不同，而传输常数相同。在传输过程中，这两个模式将由于光纤折射率分布的变化和外界环境的影响而发生耦合，两个模式能量发生交换。

模分复用技术被认为是提高光纤通信容量的一种新技术。在模分复用系统中，不同的模式被作为不同信息的通道，从而实现通信容量的成倍增加【D. J. Richardson, J. M. Fini, and L. E. Nelson. Space-division multiplexing in optical fibres (光纤中的空分复用技术). *Nat. Photon.*, 2013, 7(5): 354-362】。为实现有效的模式复用，不同模式之间应该能够实现较独立的传输，从而避免模式间耦合造成传输信号之间的串扰。为此，需要降低高阶模的简并度。双模光纤在模式转换器、模式选择耦合器、声光移频器、干涉型光纤传感器等方面均具有广泛的应用。双模光纤指仅允许传输两个线性偏振基模即 LP_{01} 模和两个 LP_{11} 模的光纤。这同样需要通过增大高阶模的模式双折射来实现【W. Jin, Z. Wang, and J. Ju. Two-mode photonic crystal fibers (双模光子晶体光纤). *Opt. Express*, 2005, 13(6): 2082-2088】【双模光子晶体光纤及其应用，专利号 ZL200510118576.9】。

降低高阶模简并度的方法包括采用椭圆芯光纤【H. Kubota and T. Morioka. Few-mode optical fiber for mode-division multiplexing (用于模分复用的少模光纤). *Opt. Fiber Technol.*, 2011, 17(5): 490-494】以及光子晶体光纤【双模光子晶体光纤及其应用，专利号 ZL200510118576.9】。其制作技术都相对复杂。

发明内容

针对现有技术的不足，本发明提供一种降低高阶模简并度的少模光纤。本发明的技术方案是，一种低简并度少模光纤，包括纤芯和包层，所述纤芯由一个主纤芯和 $2N$ 个辅助纤芯所组成，所述主纤芯位于光纤中心，所述 $2N$ 个辅助纤芯对称的排布在所述主纤芯两侧，所述主纤芯的中心和 $2N$ 个辅助纤芯的中心处于同一直线上；所述主纤芯和辅助纤芯的折射率相同，所述主纤芯边界与相邻的所述辅助纤芯边界相切，相邻的两个所述辅助纤芯的边界相切；所述辅助纤芯直径均小于所述主纤芯直径，且所述辅助纤芯直接由内向外依次递减，其

中 N 为正整数。

进一步, 所述主纤芯直径应满足: $d_m > \frac{2.405\lambda}{\pi\sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}}$, 辅助纤芯直径应满足:

$d_{a,i} < \frac{2.405\lambda}{\pi\sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}}$, 其中, $1 \leq i \leq N$, λ 为光波长, n_{core} 为纤芯折射率, n_{clad} 为包层折射率, d_m 为主纤芯直径, $d_{a,i}$ 为第 i 号辅助纤芯的直径。

进一步, 所述主纤芯直径应满足: $\frac{1.4\lambda}{\pi\sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}} < d_m < \frac{2.405\lambda}{\pi\sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}}$, 其中: λ 为光波长, n_{core} 为纤芯折射率, n_{clad} 为包层折射率, d_m 为主纤芯直径。

本发明的有益效果是: 通过引入辅助纤芯, 破坏光纤的折射率分布的圆对称性, 形成具有二重对称性的折射率分布。这种折射率分布使四重简并的高阶模降为二重简并模, 其中一对简并模模场向辅助纤芯扩展; 而另一对简并模处于远离辅助纤芯的方向分布, 与引入辅助纤芯时差别较小; 由此, 增大两者的有效折射率差, 并使高阶模的模场分布形式固定。同时, 光纤基模仍具有较好的圆对称性, 有利于与普通光纤的连接。

附图说明

图 1 为本发明的一种实施例的横截面示意图;

图 2 为椭圆芯光纤中不同模式的模场分布图, 其中 (a) LP_{01} 模, (b) LP_{11X} 模, (c) LP_{11Y} 模, (d) LP_{21X} 模, (e) LP_{21Y} 模;

图 3 为图 1 所示结构中不同模式的模场分布图, 其中 (a) LP_{01} 模, (b) LP_{11X} 模, (c) LP_{11Y} 模, (d) LP_{21X} 模, (e) LP_{21Y} 模, (f) LP_{02} 模, (g) LP_{31X} 模, (h) LP_{31Y} 模;

图 4 为图 1 所示实施例中不同模式的有效折射率随辅助纤芯直径的变化曲线;

图 5 为本发明的另一种实施例的横截面示意图;

图 6 图 1 所示结构不同模式的模场分布图, 其中 (a) LP_{01} 模, (b) LP_{11Y} 模;

图中, 1, 主纤芯; 2, 辅助纤芯; 3, 基质材料。

具体实施方式

一种低简并度少模光纤, 由纤芯和包层组成, 所述纤芯由一个主纤芯和 $2N$ 个辅助纤芯所组成 (N 为正整数), 所有纤芯的折射率均相同。主纤芯的中心与所有辅助纤芯的中心均位于同一直线上。主纤芯中心与相邻辅助纤芯中心的间距 $L_{m,a}$ 满足: $L_{m,a} = (d_m + d_{a1})/2$ 。相邻两个辅助纤芯的中心间距 $L_{i,i+1}$ 满足: $L_{i,i+1} = (d_{a,i} + d_{a,i+1})/2$, 这里 $i=1 \sim N-1$ 。即辅助纤芯位于主纤芯两侧, 且主纤芯边界与相邻辅助纤芯边界相切, 相邻辅助纤芯的边界相切。光纤横截面折射率

分布具有轴对称性和中心对称性。辅助纤芯的直径满足 $d_{a,1} < d_m$, 且有 $d_{a,i} > d_{a,i+1}$, 这里 $i=1 \sim N-1$ 。主纤芯和辅助纤芯均具有圆对称性。

其中, d_m 为主纤芯的直径; 与主纤芯相邻的辅助纤芯标记为 1 号辅助纤芯, 与 1 号辅助纤芯相邻的辅助纤芯标记为 2 号辅助纤芯, 依次类推; $d_{a,i}$ 表示第 i 号辅助纤芯的直径。 L_m 表示主纤芯中心与相邻辅助纤芯 (即 1 号辅助纤芯) 中心的间距; $L_{i,i+1}$ 表示相邻两个辅助纤芯 (位于主纤芯同一侧的 i 号辅助纤芯和 $i+1$ 号辅助纤芯) 的中心间距。

作为本发明的进一步改进, 主纤芯直径应满足: $d_m > \frac{2.405\lambda}{\pi \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}}$, 辅助纤芯直径应满足: $d_{a,i} < \frac{2.405\lambda}{\pi \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}}$, 这里 $i=1 \sim N$, λ 为光波长, n_{core} 为纤芯折射率, n_{clad} 为包层折射率。

本发明光纤可实现实现双模传输。此时, 主纤芯直径应满足:

$$\frac{1.41}{\pi \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}} < d_m < \frac{2.405\lambda}{\pi \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}}.$$

本发明通过在主纤芯两侧引入辅助纤芯的方法, 使光纤折射率分布具有二重对称, 从而使高阶模的模场分布对称轴固定。假设主纤芯位于坐标轴中心, 且辅助纤芯的中心均位于 X 轴。则四重简并的高阶模将形成沿 X 轴对称和沿 Y 轴对称的两种模场分布, 这里简称其为 X 模和 Y 模。对于 Y 模, 由于辅助纤芯的存在, 光将向辅助纤芯扩展, 从而使此模式的有效折射率增大。而对于 X 模, 由于模式需要保持其对称性和与 Y 模的正交性, 其模式将远离辅助纤芯。即 X 模的有效折射率与引入辅助纤芯前相近。由于引入辅助纤芯后光纤折射率分布呈二重对称, 此时, 模场分布必须符合光纤的折射率分布要求。这样, 四重简并的高阶模中原有的四个简并模式中的其中两个模式将呈现沿 Y 轴对称, 其能流方向为沿 X 轴方向, 从而使能量向辅助纤芯转移, 使其有效折射率提高。而另两个模式与引入辅助纤芯前差别较小。这样, 简并模之间形成大的折射率差。由耦合理论, 有效折射率相近的模式间容易发生能量耦合, 因此, 增大模式间的有效折射率差以后, 可以有效避免传输时模式间的能量耦合。此外, 高阶模的模场分布固定, 可以方便与其它光纤的连接, 并有利于组成多芯光纤或光纤耦合器时实现高效、有选择性的模式耦合。

椭圆芯光纤和高双折射的光子晶体光纤中的模式会导致光纤中所有模式均发生变形, 包括光纤基模也具有二重对称性。如图 2 所示为椭圆芯光纤的基模和和高阶模的模场分布图。由图可见, 椭圆芯光纤中的模式场变形较严重。

图 3 给出了本发明光纤的模场分布图。与椭圆芯光纤和高双折射的光子晶体光纤不同, 光纤基模仍具有类似圆对称的模场分布。这是因为, 对于圆纤芯来说, 光纤基模具有圆对称

性。由于少模光纤的归一化频率较大，基模能量主要集中在纤芯区，因此，辅助纤芯对其影响较小。特别地，因为辅助纤芯仅边界点与主纤芯相切，主纤芯附近区域仍以基质材料（即包层）为主，基质材料足以束缚光纤基模，因此当引入的辅助纤芯较小时，光纤基模仍将维持其原对称性。只有当辅助纤芯足够大或主纤芯的归一化频率较小时，其模场分布才会发生一定的变形。由光纤理论可知，当不存在辅助纤芯时，其 LP_{11} 模、 LP_{21} 模、 LP_{31} 模均为四重简并模。而引入辅助纤芯后，由图可见，其四重简并模降为二重简并模，即分裂为 Y 模和 X 模。其中 X 模与引入辅助纤芯前模场相似，而 Y 模则向辅助纤芯扩展，并可随辅助纤芯的增大而发生一定的变形。

图 4 为图 1 所示实施例中不同模式的有效折射率随辅助纤芯直径的变化曲线。由图可见，。简并模的有效折射率相等。当引入辅助纤芯后，其四重简并模降为二重简并模。以 LP_{11} 模为例，其 $LP_{11}Y$ 模的有效折射率随着辅助纤芯直径的增大而增大。而其 $LP_{11}X$ 模的有效折射率基本不随辅助纤芯直径的变化而变化。因此，选择合适的辅助纤芯，即可使同一偏振态下光纤中传输的模式均具有一定的折射率差，减小不同模式之间的耦合。

辅助纤芯的折射率应与主纤芯相同。若辅助纤芯的折射率低于主纤芯，其作用减弱。若辅助纤芯的折射率高于主纤芯，则易导致主纤芯中主要能量向辅助纤芯扩展，从而使模场发生严重变形，同时辅助纤芯会因为被低折射率材料包围而形成单独的模式。

在实际使用时，可以不传输模场向辅助纤芯扩展的那组高阶模，而只传输圆对称光纤中的二重简并模和四重简并模经降低简并度后有效折射率变化较小的那组模式，这些模式与普通光纤中的模式具有更好的相似性，易于实现低损耗连接。

利用光纤中 LP_{11} 模的两组模式的有效折射率不同的特点，还可以实现具有双模传输特性的光纤。即这种光纤中仅存在基模和 $LP_{11}Y$ 模，而其 $LP_{11}X$ 模被截止。这是因为 $LP_{11}Y$ 模由于能量被扩展到辅助纤芯，其有效折射率较大，而其 $LP_{11}X$ 模仍保持在主纤芯中，其有效折射率较小。选择合适光纤参数即可使 $LP_{11}X$ 模截止。

对于双模光纤要求：其主纤芯直径应满足：
$$\frac{1.41}{\pi \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}} < d_m < \frac{2.4051}{\pi \sqrt{n_{\text{core}}^2 - n_{\text{clad}}^2}}$$
。即在无辅助纤芯时，光纤应为单模传输。如图 3(c)所示， $LP_{11}Y$ 模有部分能量在辅助纤芯中传输，因此，辅助纤芯的引入对于 $LP_{11}Y$ 模来说，其等效的纤芯面积增大，从而使该模式能够产生。另对于 $LP_{11}X$ 模来说，其模场分布仍与引入辅助纤芯时相似，因此，当纤芯归一化频率较小时，此模式仍无法形成。主纤芯应与辅助纤芯组成足以形成 $LP_{11}Y$ 模的折射率分布。

本发明光纤可以采用与光子晶体光纤相似的制作方法来实现。比如将高折射率介质柱

排布成纤芯，用低折射率介质柱组成包层，将其放置于石英管中形成固定结构，再经拉丝形成所需尺寸的光纤结构。由于不存在空气孔，光纤的制作时不需要复杂的控制以保持空气孔，在光纤使用如与普通光纤连接时也更为简单。制作时也比需要复杂制作工艺的椭圆芯光纤更为简单。实现双模传输时，本发明光纤的纤芯尺寸更大，从而更有利于与普通单模光纤的连接，且带宽比椭圆芯光纤宽。

实施例一：

光纤横截面如图 1 所示。主纤芯直径 $d_m=20\ \mu\text{m}$ ，1 号辅助纤芯直径 $d_{a1}=6\ \mu\text{m}$ ，纤芯与包层折射率差 0.01。在波长为 $1.55\mu\text{m}$ 时，其模式场分布如图 3 所示，模式的有效折射率如图 4 所示。

实施例二：

光纤横截面如图 1 所示。主纤芯直径 $d_m=10\ \mu\text{m}$ ，1 号辅助纤芯直径 $d_{a1}=4\mu\text{m}$ ，纤芯与包层折射率差 0.004。在波长为 $1.39\sim 1.73\ \mu\text{m}$ 范围内，光纤均为双模传输。

实施例三：

光纤横截面如图 5 所示。主纤芯直径 $d_m=10\ \mu\text{m}$ ，1 号辅助纤芯直径 $d_{a1}=4\ \mu\text{m}$ ，2 号辅助纤芯直径 $d_{a2}=3\ \mu\text{m}$ ，纤芯与包层折射率差 0.004。在波长为 $1.42\sim 1.9\ \mu\text{m}$ 范围内，光纤均为双模传输。其模场分布如图 6 所示，可见基模主要能量仍集中在主纤芯中，而其 $LP_{11}Y$ 模的主要能量集中在辅助纤芯中。

上述附图仅为说明性示意图，并不对本发明的保护范围形成限制。应理解，这些实施例只是为了举例说明本发明，而非以任何方式限制本发明的范围。

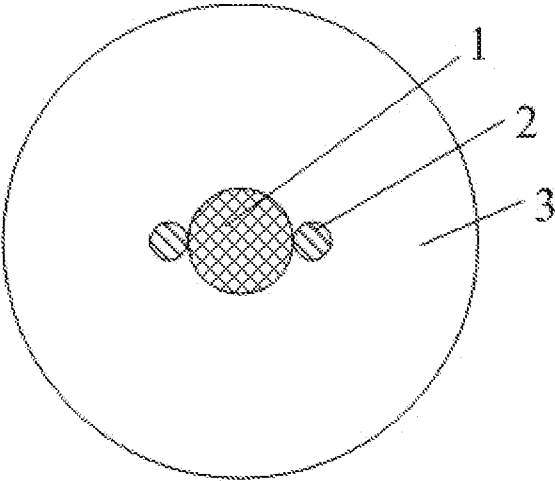
1. 1. 一种低简并度少模光纤，包括纤芯和包层，其特征在于，所述纤芯由一个主纤芯和 2N 个辅助纤芯所组成，所述主纤芯位于光纤中心，所述 2N 个辅助纤芯对称的排布在所述主纤芯两侧，所述主纤芯的中心和 2N 个辅助纤芯的中心处于同一直线上；所述主纤芯和辅助纤芯的折射率相同，所述主纤芯边界与相邻的所述辅助纤芯边界相切，相邻的两个所述辅助纤芯的边界相切；所述辅助纤芯直径均小于所述主纤芯直径，且所述辅助纤芯直接由内向外依次递减，其中 N 为正整数。

2. 根据权利要求书 1 所述的一种低简并度少模光纤，其特征在于，所述主纤芯直径应满

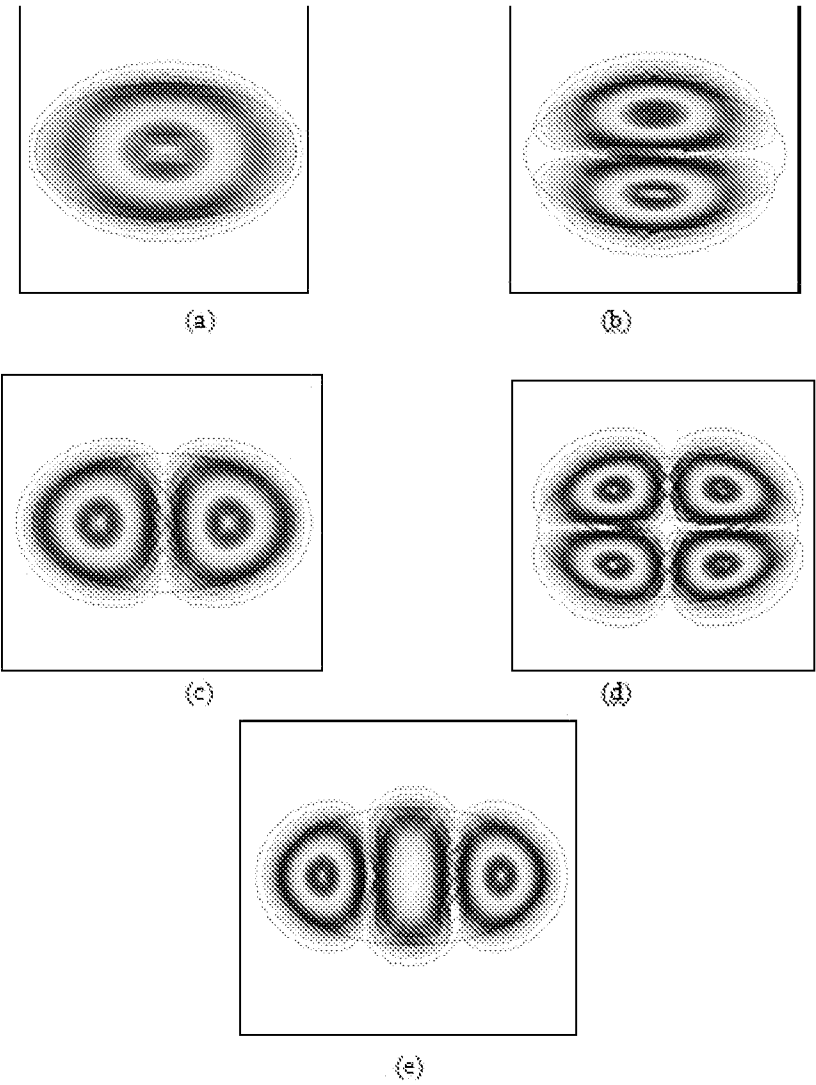
足：
$$d_m > \frac{2.405\lambda}{\pi\sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2}}, \quad d_{a,i} < \frac{2.405\lambda}{\pi\sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2}},$$
 其中， $1 \leq i \leq N$ ， λ 为光波长， n_{core} 为纤芯折射率， n_{clad} 为包层折射率， d_m 为主纤芯直径， $d_{a,i}$ 为第 i 号辅助纤芯的直径。

3. 根据权利要求书 1 所述的一种低简并度少模光纤，其特征在于，所述主纤芯直径应满

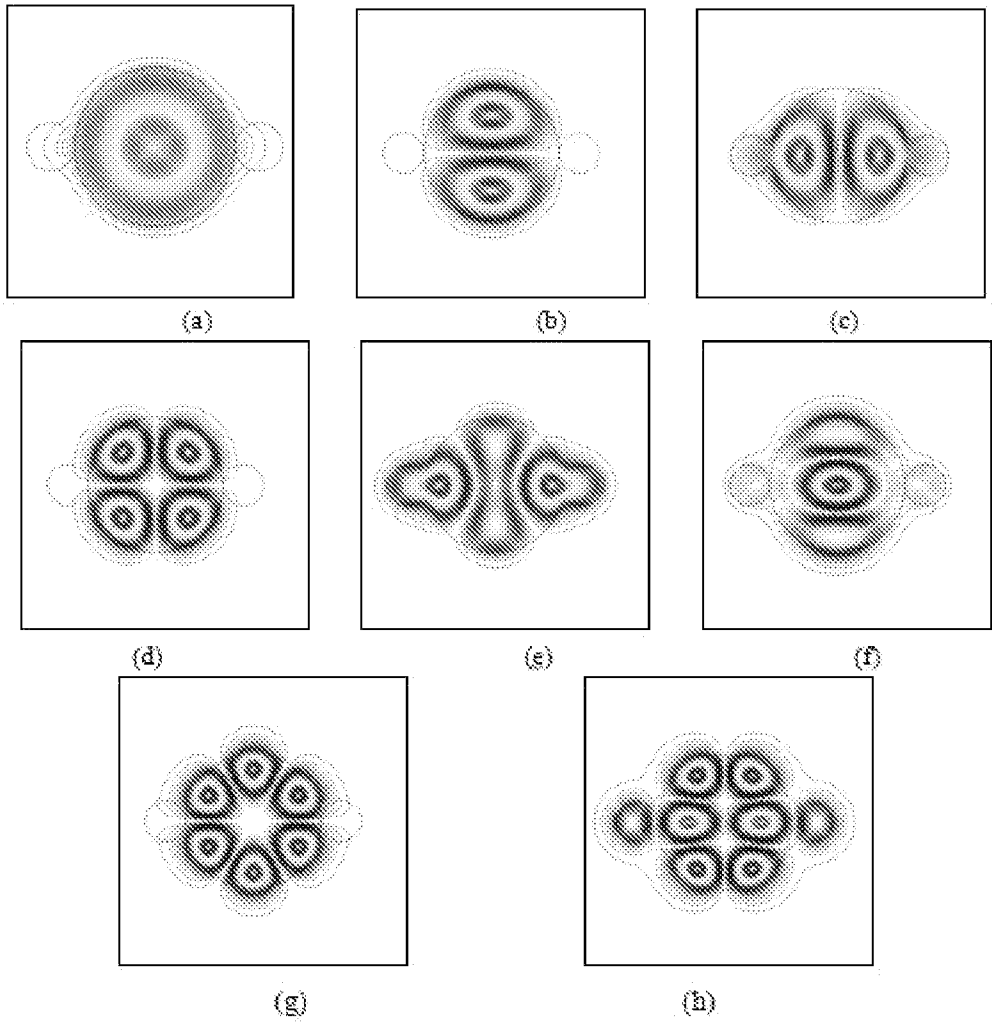
足：
$$\frac{1.4\lambda}{\pi\sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2}} < d_m < \frac{2.405\lambda}{\pi\sqrt{n_{core}^2 - n_{clad}^2}},$$
 其中： λ 为光波长， n_{core} 为纤芯折射率， n_{clad} 为包层折射率， d_m 为主纤芯直径。



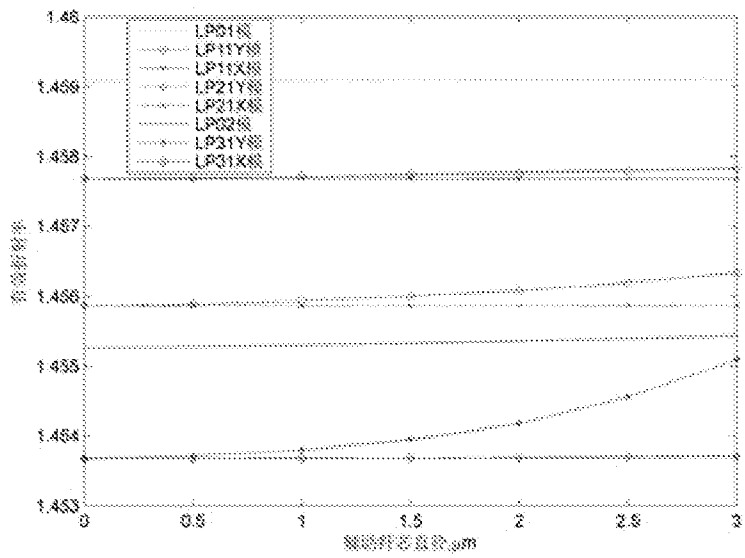
【图号】 图 1



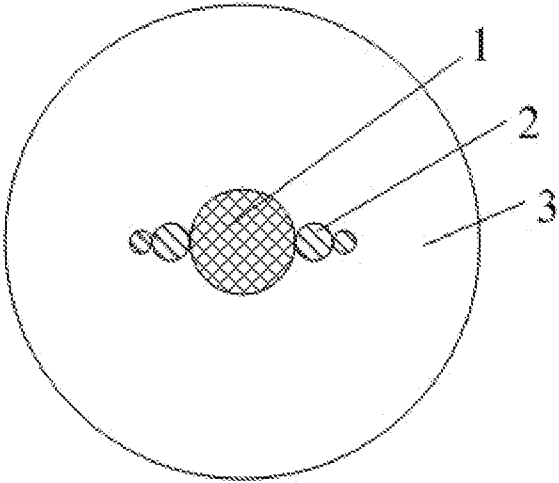
【图号】 图 2



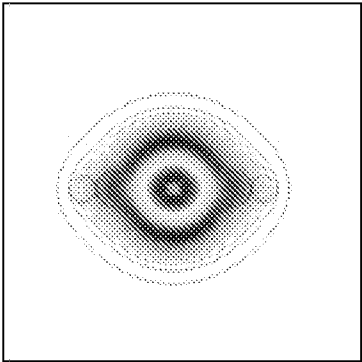
【图号】 图 3



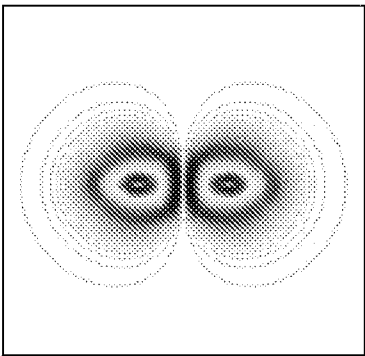
【图号】 图 4



【图号】 图 5



(a)



(b)

【图号】 图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2014/081894

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/02 (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 6/-; G02B 1/-

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, WPI, EPODOC: few mode, fiber?, fibre?, core?, multi+, three, five, diameter?, contact+, tangen+

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2013044988 A1 (FUJIKURA LTD.) 21 February 2013 (21.02.2013) description, paragraphs [0004], [0005], [0025]-[0027] and figure 1	1-3
Y	CN 101852889 A (HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY) 06 October 2010 (06.10.2010) description, paragraph [0044] and figure 5	1-3
Y	CN 102904641 A (INFORMATION COMMUNICATION BRANCH, JIANGXI ELECTRIC POWER CO., LTD.) 30 January 2013 (30.01.2013) description, paragraph [0012]	2, 3
PX	CN 103698843 A (JIANGSU UNIVERSITY) 02 April 2014 (02.04.2014) description, paragraphs [0010]-[0025] and figures 1-6	1-3
A	US 2005094952 A1 (GONTHIER FRANCOIS) 05 May 2005 (05.05.2005) the whole document	1-3

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 01 September 2014	Date of mailing of the international search report 29 September 2014
Name and mailing address of the ISA 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 LI, Jie Telephone No. (86-10) 010-61648477

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2014/081894

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
US 2013044988 A1	21 February 2013	US 8750663 B2	10 June 2014
		JP 2013041148 A	28 February 2013
		JP 5351938 B2	27 November 2013
CN 101852889 A	06 October 2010	CN 101852889 B	19 December 2012
CN 102904641 A	30 January 2013	None	
CN 103698843 A	02 April 2014	None	
US 2005094952 A1	05 May 2005	USRE 44262 E1	04 June 2013
		US 7046875 B2	16 May 2006

A. 主题的分类		
G02B 6/02 (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 6/-; G02B 1/-		
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, WPI, EPDOC: 少模, 光纤, 阵列, 芯, 多芯, 三芯, 五芯, 直径, 接触, 相切, few mode, fiber?, fibre?, core?, multi+, three, five, diameter?, contact+, tangen+		
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
Y	US 2013044988 A1 (FUJIKURA LTD.) 2013年 2月 21日 (2013 - 02 - 21) 说明书第[0004], [0005], [0025]-[0027]段、附图1	1-3
Y	CN 101852889 A (哈尔滨工程大学) 2010年 10月 06日 (2010 - 10 - 06) 说明书第[0044]段、附图5	1-3
Y	CN 102904641 A (江西省电力公司信息通信分公司 等) 2013年 1月 30日 (2013 - 01 - 30) 说明书第[0012]段	2-3
PX	CN 103698843 A (江苏大学) 2014年 4月 02日 (2014 - 04 - 02) 说明书第[0010]-[0025]段、附图1-6	1-3
A	US 2005094952 A1 (GONTHIER FRANCOIS 等) 2005年 5月 05日 (2005 - 05 - 05) 全文	1-3
☐ 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 9月 01日		2014年 9月 29日
ISA/CN的名称和邮寄地址		授权官员
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		李洁
传真号 (86-10)62019451		电话号码 (86-10)010-61648477

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2014/081894

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)
US	2013044988	A1	2013年 2月 21日	US	8750663	B2	2014年 6月 10日
				JP	2013041148	A	2013年 2月 28日
				JP	5351938	B2	2013年 11月 27日
CN	101852889	A	2010年 10月 06日	CN	101852889	B	2012年 12月 19日
CN	102904641	A	2013年 1月 30日	无			
CN	103698843	A	2014年 4月 02日	无			
US	2005094952	A1	2005年 5月 05日	US	RE44262	E1	2013年 6月 04日
				US	7046875	B2	2006年 5月 16日