



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111965757 A

(43) 申请公布日 2020.11.20

(21) 申请号 202011011039.5

(22) 申请日 2020.09.23

(66) 本国优先权数据

202010389634.6 2020.05.10 CN

(71) 申请人 桂林电子科技大学

地址 541004 广西壮族自治区桂林市桂林
金鸡路1号

(72) 发明人 苑立波 孟令知

(51) Int. Cl.

G02B 6/125 (2006.01)

G02B 6/13 (2006.01)

G02B 6/26 (2006.01)

G02B 6/028 (2006.01)

G02B 6/12 (2006.01)

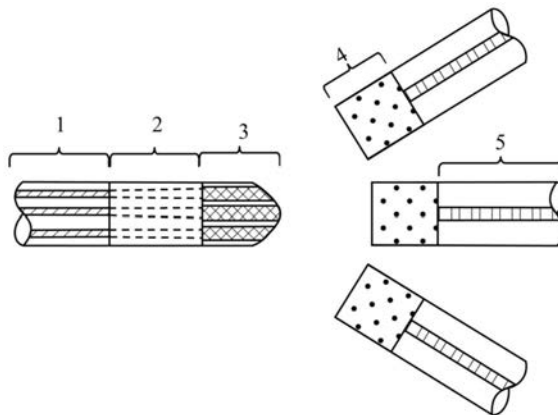
权利要求书2页 说明书15页 附图18页

(54) 发明名称

基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器

(57) 摘要

本发明提供的是一种基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器。其特征是：它由多芯光纤1、多芯光纤热扩散段2、纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3、自聚焦透镜4和单模光纤5组成。本发明主要解决多芯光纤端出射光束扇入扇出及准直的问题。本发明具有制作简单、成本低、结构紧凑的优点。本发明可用于光纤通信传输系统和光纤传感系统，可广泛应用于多芯光纤与单模光纤之间、多芯光纤与波导之间以及多芯光纤与其他光学器件之间的耦合连接。



1. 一种基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器。其特征是：它由多芯光纤1、多芯光纤热扩散段2、纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3、自聚焦透镜4和单模光纤5组成。所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器中多芯光纤热扩散段2位于多芯光纤1和渐变折射率大芯径多芯光纤3之间，多芯光纤热扩散段2与渐变折射率大芯径多芯光纤3熔接。所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器在多芯光纤热扩散段2施加热扩散，多芯光纤热扩散段2形成折射率渐变区，能够绝热的保持基模传输，并且使多芯光纤中的光束扩束。所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行特殊设计，实现多芯光纤端出射光束的准直。对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行纤端研磨，实现多芯光纤端出射光束的分束。

2. 根据权利要求1所述的多芯光纤1包括但不限于双芯光纤，三芯光纤，四芯光纤，七芯光纤，即多芯光纤1的纤芯数大于等于2，且多芯光纤可以具有不同的纤芯分布和纤芯结构。

3. 根据权利要求1所述的基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器中，渐变折射率大芯径多芯光纤3的长度为0.25节距，或者0.25节距加上1节距的整数倍，即长度为0.25节距，1.25节距，2.25节距，3.25节距等。

4. 根据权利要求1所述的基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器中，渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯分布与多芯光纤1的纤芯分布相同，但渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯直径大于或等于多芯光纤1的纤芯直径。

5. 根据权利要求1所述的基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器中，多芯光纤1、多芯光纤热扩散段2和渐变折射率大芯径多芯光纤3具有一种或多种掺杂剂。

6. 根据权利要求1所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器的制备方法，其特征是包括如下步骤：

1)、对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行特殊设计

对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行特殊设计的两个基本原则是：(1) 渐变折射率大芯径多芯光纤3的包层与多芯光纤1的包层尺寸相同，且纤芯的数量也相同，具有相同的分布方式，纤芯共轴；(2) 渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯芯径，大于或等于多芯光纤1的纤芯芯径，但是渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯不互相重叠。

2)、对多芯光纤热扩散段2进行热扩散处理

对多芯光纤热扩散段2进行热扩散处理，多芯光纤热扩散段2的折射率分布渐变为稳定的准高斯分布，使多芯光纤端出射光束扩束。

3)、对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行纤端研磨

对渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤端进行研磨，实现多芯光纤端出射光束的分束。渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤端形状研磨为，包括但不限于圆弧形，球形，圆台，锥形，棱形等。

4)、基于准直光束的直接对准耦合

多芯光纤扇入扇出分束器，单模光纤5前端连接长度为0.25节距，或1.25节距，2.25节距，3.25节距等的自聚焦透镜4，将自聚焦透镜4与渐变折射率大芯径多芯光纤3进行空间直接对准耦合，即自聚焦透镜4的轴线依次与纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3出射的准直光束的轴线重合。

5)、选择填充空气或匹配液等

渐变折射率大芯径多芯光纤3与自聚焦透镜4之间的空间氛围可以为空气,匹配液等。使用折射率大于或等于纤芯折射率的匹配液注入自聚焦透镜4与渐变折射率大芯径多芯光纤3进行空间直接对准耦合的空间,可在实现多芯光纤端出射光束的准直及分束的基础上,同时消除多芯光纤各个纤芯之间信号的串扰。

7. 根据权利要求1所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器的制备方法,自聚焦透镜4与渐变折射率大芯径多芯光纤3进行空间直接对准耦合,自聚焦透镜4的轴线依次与纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3出射的准直光束的轴线重合。

基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器

(一) 技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器,可用于光纤通信传输系统和光纤传感系统,可广泛应用于多芯光纤与单模光纤之间、多芯光纤与波导之间以及多芯光纤与其他光学器件之间的耦合连接,属于光纤通信领域。

(二) 背景技术

[0002] 光纤通信系统是信息时代不可或缺的神系统,光纤准直器是光无源器件中的一个重要组成部分,在光纤通信系统和光纤传感系统中有着极其普遍的应用。光纤准直器的主要作用是将光纤端出射的光束变成平行光,或者将平行光汇聚入射到光纤端中。目前光纤准直透镜主要有三种:自聚焦型透镜、微球透镜、衍射透镜。

[0003] 自聚焦型透镜是在光纤末端加上一段具有渐变折射率梯度,且直径大于光纤直径的棒。这种类型的准直器,通常因为自聚焦棒直径比较大,约为1mm而光纤直径为125 μm 。因此无法做到紧凑和小尺寸。

[0004] 微球透镜是在光纤末端通过特殊的制造方法,制造一个球面透镜。这种微球透镜制造难度大,设备要求高,而且因为在光纤末端制造了一个微型透镜,限制了光纤插入连接的可能性。

[0005] 衍射透镜是通过在二氧化硅棒末端进行光刻字产生,然后焊接到光纤上。这种技术的缺点是,需要光刻字掩模和光纤端部的精确对准,因此制造困难,无法进行批量生产。

[0006] 伴随着光纤网络的普及,以及互联网行业的迅速发展,各行各业对于信息通讯的要求越来越高,对光纤通信系统的超大容量传输和长距离传输提出了更高的要求。基于此,单模光纤已经不能够满足当前的需求,多芯光纤必然会在光纤通信系统和光纤传感系统中应用的越来越普遍,因此,迫切需要一种基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器,同时具有对光束准直和对多芯光纤各纤芯中的光束分束的功能,来满足多芯光纤在光纤通信系统和光纤传感系统中的应用需求,同时需要具有成本低,制作简单,结构紧凑的优势。

[0007] 专利CN200910067689.9公开了一种基于高折射率固体芯光子晶体光纤的光纤分束器,包括高折射率固体芯光子晶体光纤、微透镜阵列、多束集成导出单模光纤、固定毛细管及其外套管。其特点是采用了微透镜阵列置入在高折射率固体芯光子晶体光纤的输出端,单模光纤集束排列与光子晶体光纤对齐,实现了光子晶体光纤的分束。但是光纤尺寸不匹配,无法同时解决多芯光纤端出射光束准直及分束的问题。

[0008] 专利CN201010617489.9公开了一种双芯光纤的耦合装置及其制造方法,其特点是采用熔融拉锥的方式,实现了双芯光纤到单芯光纤的分束,但是不能解决多芯光纤端出射光束的准直,且实现纤芯数大于2的多芯光纤到单芯光纤的分束。

[0009] 专利CN201310713985.8公开了一种光纤分束装置,其特点是采用了锥形光纤,用于将输入光纤的注入光束进行扩束,并采用了光纤分束器实现了分束功能。因为使用锥形光纤进行扩束,限制了使用的范围,而且制造连接比较困难,不能够有效实现多芯光纤端出

射光束的准直及分束。

[0010] 专利CN201510111281.2公开了一种基于自组装原理的多芯光纤扇出接头制作方法,其特点是采用机械加工或氢氟酸光纤腐蚀处理的方式减小单模光纤的直径,利用毛细现象进行自组装,实现多芯光纤到单模光纤的分束。该方法使用了氢氟酸,污染环境,属于危险药品,而且不能够实现多芯光纤出射光束的准直。

[0011] 专利CN201610136717.8公开了一种具有相位调制功能的多芯光纤分束器,其特点是采用波导的方式对多芯光纤各纤芯进行分束。该方法没有提到对多芯光纤光束的准直,且尺寸较大,也不能够普遍对多种多芯光纤进行分束。

[0012] 本发明公开了一种基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器,本发明可用于光纤通信传输系统和光纤传感系统,可广泛应用于多芯光纤与单模光纤之间、多芯光纤与波导之间以及多芯光纤与其他光学器件之间的耦合连接。该基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器采用热扩散技术对多芯光纤进行扩芯,通过采用一段特殊设计的渐变折射率大芯径多芯光纤连接多芯光纤,并对渐变折射率大芯径多芯光纤纤端研磨,实现多芯光纤端出射光束的扩束、准直及分束。与在先技术相比,对多芯光纤热扩散处理,以及采用特殊设计的纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤,同时实现了对多芯光纤端出射光束进行扩束、准直及分束的功能。该基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器具有制作简单、成本低、结构紧凑的优点。

(三) 发明内容

[0013] 本发明的目的在于提供一种制作简单、成本低、结构紧凑的一种基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器。

[0014] 本发明的目的是这样实现的:

[0015] 该基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器由多芯光纤1、多芯光纤热扩散段2、纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3、自聚焦透镜4和单模光纤5组成。所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器中多芯光纤热扩散段2位于多芯光纤1和渐变折射率大芯径多芯光纤3之间,多芯光纤热扩散段2与渐变折射率大芯径多芯光纤3熔接。所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器在多芯光纤热扩散段2施加热扩散,多芯光纤热扩散段2形成折射率渐变区,能够绝热的保持基模传输,并且使多芯光纤中的光束扩束。所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行特殊设计,实现多芯光纤端出射光束的准直。对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行纤端研磨,实现多芯光纤端出射光束的分束。

[0016] 热扩散技术常用于基模场的扩展,热扩散能够使多芯光纤中,掺杂剂分布渐变为稳定的准高斯分布。如图1所示,在多芯光纤热扩散段2进行加热,引入热扩散过程,使得多芯光纤热扩散段2中,掺杂剂分布渐变为稳定的准高斯分布,且光纤的归一化频率在加热过程中不变。准高斯分布的掺杂剂分布,使多芯光纤热扩散段2的折射率分布渐变为准高斯分布,使多芯光纤中的基模场扩展,并且可以绝热的传输,实现多芯光纤端出射光束的扩束。

[0017] 在热扩散过程中,随时间t的变化,局部掺杂浓度C可表示为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \nabla \cdot (D \nabla C) \quad (1)$$

公式(1)中D是掺杂剂扩散系数;t是加热时间。D主要取决于不同掺杂剂的种类、主体材料以及局部加热温度。在大多数情况下,考虑锗在光纤的纤芯中的扩散时,在其轴对称几何结构上,光纤的加热温度相对于径向位置r几乎是均匀不变的,并且假定扩散系数D相对于径向位置r是不变的。在实践中,忽略轴向上的掺杂剂的扩散,则在圆柱坐标系中简化扩散方程(1)为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(rD \frac{\partial C}{\partial r} \right) \quad (2)$$

[0018] 掺杂剂的掺杂浓度C是径向距离r与加热时间t的函数。扩散系数D也受加热温度的影响,表示为:

$$D(z) = D_0 \exp \left[-\frac{Q}{RT(z)} \right] \quad (3)$$

公式(3)中T(z)表示加热温度,单位为K,与炉内光纤的纵向位置相关;R=8.3145(J/K/mol)是理想气体常数;参数D₀和Q可以从实验数据中得到。考虑初始边界条件

$$\begin{cases} C = 0, & r = a, \quad t \geq 0 \\ C = f(r) & 0 < r < a, \quad t = 0 \end{cases} \quad (4)$$

[0019] 掺杂剂局部掺杂浓度分布C可以表示为:

$$C(r,t) = \frac{2}{a^2} \sum_{n=1}^{\infty} \exp(-D\alpha_n^2 t) \frac{J_0(r\alpha_n)}{J_1^2(a\alpha_n)} \int_0^a r f(r) J_0(r\alpha_n) dr \quad (5)$$

公式(5)中f(r)是初始浓度分布,在光纤边界表面r=a处的浓度为0。J₀是第一类零阶Bessel函数,特征值α_n是其正根

$$J_0(a\alpha_n) = 0 \quad (6)$$

[0020] 假设光纤在整个热扩散区域的折射率分布与掺杂剂分布成比例,则热扩散后光纤的折射率分布可表示为:

$$n^2(r) = n_{co}^2 + (n_{cl}^2 - n_{co}^2)C(r,t) \quad (7)$$

公式(7)中n_{cl}和n_{co}分别是光纤包层和纤芯的折射率。在加热温度场为1600℃时,双芯光纤(如图2a)和三芯光纤(如图2b)的折射率分布,随加热时间t的变化。曲线201、202、203、204分别为双芯光纤加热0小时、0.1小时、0.2小时、0.3小时后,沿光纤径向方向的折射率分布;曲线205、206、207、208分别为三芯光纤加热0小时、0.1小时、0.2小时、0.3小时后,沿光纤径向方向的折射率分布。经过一定时间的热扩散处理后,光纤的折射率分布趋向于更稳定的准高斯分布。

[0021] 渐变折射率透镜已经广泛应用于准直、聚焦和耦合等光学元件和器件。渐变折射率透镜是指折射率沿轴向、径向或者球面连续变化的透镜。对于径向渐变折射率透镜,最常见的是折射率在中心轴是最大,并且随着径向距离中心轴的距离增大而减小。其折射率分布服从平方率分布:

$$n^2(r) = n_0^2 [1 - g^2 r^2] \quad (8)$$

公式(8)中n₀是渐变折射率透镜轴线上的折射率,r是距中心轴的径向距离,g是渐变折

射率透镜的聚焦参数。

[0022] 在渐变折射率透镜中,光线沿着正弦曲线传播,直到到达透镜的后表面。光线完成一个正弦周期传播的长度,表示为一个节距,如图3所示。曲线301表示光线沿正弦曲线前进,传播一个周期的长度302,为一个节距。一个节距用P来表示。

[0023] 光束由多芯光纤热扩散段2出射,输入渐变折射率大芯径多芯光纤3后,经过 $0.25P$ 出射,光束变为平行光,即实现准直效果;光束由多芯光纤热扩散段2出射,输入渐变折射率大芯径多芯光纤3后,经过 $0.5P$ 出射,光束在后表面处会聚,即实现聚焦效果。

[0024] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,为了实现多芯光纤端出射光束的扩束,可以根据光束扩束的需要,使用含有一种或多种掺杂的不同掺杂剂的多芯光纤,对多芯光纤热扩散段2的加热时间和加热温度进行设计,通过热扩散的方法,增长加热时间,增大加热温度,可以使得多芯光纤的光束直径变大。使用一种或多种掺杂的不同掺杂剂,不影响基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器功能的实现。

[0025] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,为了实现多芯光纤端出射光束的准直,并且解决多芯光纤各个芯之间信号串扰的问题,需要对渐变折射率大芯径多芯光纤3的结构进行特殊设计。对渐变折射率大芯径多芯光纤3特殊设计的两个基本原则是:(1)渐变折射率大芯径多芯光纤3的包层与多芯光纤1的包层尺寸相同,且纤芯的数量也相同,具有相同的分布方式,纤芯共轴;(2)渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯芯径,大于或等于多芯光纤1的纤芯芯径,但是渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯不互相重叠。

[0026] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,为了实现多芯光纤端出射光束的准直,光束由多芯光纤热扩散段2出射,输入渐变折射率大芯径多芯光纤3后,经过 $0.25P$,光束变为平行光,即实现准直效果。输入渐变折射率大芯径多芯光纤3的总长度也可以是 $0.25P$ 加上 $1P$ 的整数倍,即 $0.25P, 1.25P, 2.25P, 3.25P$ 等。

[0027] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行特殊设计,使得渐变折射率大芯径多芯光纤3的芯径大于或等于多芯光纤热扩散段2最大芯径,实现多芯光纤端出射光束扩束并准直。对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行特殊设计,渐变折射率大芯径多芯光纤3的包层与多芯光纤1的包层尺寸相同,且纤芯的数量也相同,具有相同的分布,纤芯共轴。渐变折射率大芯径多芯光纤3中每个纤芯的芯径可以特殊设计,数值孔径和自聚焦常数也可以特殊设计,使每个纤芯的芯径、数值孔径和自聚焦常数都不相同,但是要满足渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯之间不互相重叠。

[0028] 热扩散过程中炉子加热区温度场分布如图4所示,曲线401为炉子加热区中心轴上的温度分布;402处为温度场中心位置,温度最高。制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,将一段较长多芯光纤放入炉子加热区中心轴上进行热扩散处理,经过一定时间的加热,多芯光纤热扩散区的掺杂剂的浓度分布渐变为准高斯分布。炉子加热区的长度通常在厘米量级以上,保证梯度温度场中的折射率缓慢变化为准高斯分布。

[0029] 经过一定时间的加热,对多芯光纤完成了热扩散处理后,在对多芯光纤热扩散区加热温度最高处进行切割处理,即可制作获得两根相同的可以对多芯光纤1光束扩束的,多

芯光纤1和多芯光纤热扩散段2。

[0030] 将经过特殊设计的渐变折射率大芯径多芯光纤3的各个纤芯轴线,与多芯光纤热扩散段2的各个纤芯轴线对准,并进行纤端焊接。然后使用光纤切割刀对渐变折射率大芯径多芯光纤3定长度切割,经过切割后,渐变折射率大芯径多芯光纤3的长度变为 $0.25P$,或者渐变折射率大芯径多芯光纤3的总长度也可以是 $0.25P$ 加上 $1P$ 的整数倍,即 $0.25P$, $1.25P$, $2.25P$, $3.25P$ 等。即可实现对多芯光纤热扩散段2扩束后的出射光束的准直。

[0031] 为了实现多芯光纤端出射光束的分束,对渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤端进行研磨,使渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤端形状研磨为,包括但不限于圆弧形,球形,圆台,锥形,棱形。

[0032] 多芯光纤1包括但不限于双芯光纤,三芯光纤,四芯光纤,七芯光纤,即多芯光纤1的纤芯数大于等于2。而且对于多芯光纤不同的纤芯分布和纤芯结构,只要满足对渐变折射率大芯径多芯光纤3特殊设计的两个基本原则,都可实现对多芯光纤端出射光束的准直。

[0033] 单模光纤5前端连接长度为 $0.25P$,或 $1.25P$, $2.25P$, $3.25P$ 等的自聚焦透镜4,单模光纤的数量与多芯光纤1纤芯数量相同。将自聚焦透镜4与渐变折射率大芯径多芯光纤3进行空间直接对准耦合,即自聚焦透镜4的轴线依次与纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3出射的准直光束的轴线重合。调节自聚焦透镜4与纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3纤端的空间距离,可实现多芯光纤扇入扇出分束器的功能。

[0034] 渐变折射率大芯径多芯光纤3与自聚焦透镜4之间的空间氛围可以为空气,匹配液等。使用折射率大于或等于纤芯折射率的匹配液注入自聚焦透镜4与渐变折射率大芯径多芯光纤3进行空间直接对准耦合的空间,可在实现多芯光纤端出射光束的准直及分束的基础上,同时消除多芯光纤各个纤芯之间信号的串扰。

[0035] 本发明提供的基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器,由多芯光纤1、多芯光纤热扩散段2、纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3、自聚焦透镜4和单模光纤5组成。与在先技术相比,对多芯光纤热扩散处理,以及采用特殊设计的纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤,同时实现了对多芯光纤端出射光束进行扩束、准直及分束的功能。该基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器具有制作简单、成本低、结构紧凑的优点。

(四)附图说明

[0036] 图1是一种基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器的结构示意图。

[0037] 图2a是双芯光纤的折射率分布随着加热时间 t 的变化在温度场为 1600°C 内的变化的示意图,而图2b是三芯光纤折射率分布随着加热时间 t 的变化在温度场为 1600°C 内的变化的示意图。

[0038] 图3是在渐变折射率透镜中光线沿着正弦曲线传播的示意图。

[0039] 图4是对多芯光纤加热时炉子加热区中心轴上的温度分布的示意图。

[0040] 图5a是双芯光纤的横截面示意图,图5b是双芯光纤扇入扇出分束器的切面示意图。

[0041] 图6a是双芯光纤扩束准直段的折射率分布,图6b是双芯光纤扩束准直段的纤芯中

光束传播图,图6c是不经过准直的纤端研磨的双芯光纤端光束出射的光场分布,图6d是经过准直的纤端研磨的双芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场分布,图6e是不经过准直的纤端研磨的双芯光纤端光束出射光场的光强分布,图6f是经过准直的纤端研磨的双芯光纤扇入扇出分束器光束出射光场的光强分布。

[0042] 图7a是三芯光纤的横截面示意图,图7b是三芯光纤扇入扇出分束器的切面示意图。

[0043] 图8a是三芯光纤扩束准直段的折射率分布,图8b是三芯光纤扩束准直段的纤芯中光束传播图,图8c是不经过准直的纤端研磨的三芯光纤端光束出射的光场分布,图8d是经过准直的纤端研磨的三芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场分布,图8e是不经过准直的纤端研磨的三芯光纤端光束出射光场的光强分布,图8f是经过准直的纤端研磨的三芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场的光强分布。

[0044] 图9a是四芯光纤的横截面示意图,图9b是四芯光纤扇入扇出分束器的切面示意图。

[0045] 图10a是四芯光纤扩束准直段的折射率分布,图10b是四芯光纤扩束准直段的纤芯中光束传播图,图10c是不经过准直的纤端研磨的四芯光纤端光束出射的光场分布,图10d是经过准直的纤端研磨的四芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场分布,图10e是不经过准直的纤端研磨的四芯光纤端光束出射光场的光强分布,图10f是经过准直的纤端研磨的四芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场的光强分布。

[0046] 图11a是七芯光纤的横截面示意图,图11b是七芯光纤扇入扇出分束器的切面示意图。

[0047] 图12a是七芯光纤扩束准直段的折射率分布,图12b是七芯光纤扩束准直段的纤芯中光束传播图,图12c是不经过准直的纤端研磨的七芯光纤端光束出射的光场分布,图12d是经过准直的纤端研磨的七芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场分布,图12e是不经过准直的纤端研磨的七芯光纤端光束出射光场的光强分布,图12f是经过准直的纤端研磨的七芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场的光强分布。

(五) 具体实施方式

[0048] 下面结合具体的实施例来进一步阐述本发明。

[0049] 本发明提供的基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器由多芯光纤1、多芯光纤热扩散段2、纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3、自聚焦透镜4和单模光纤5组成。所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器中多芯光纤热扩散段2位于多芯光纤1和渐变折射率大芯径多芯光纤3之间,多芯光纤热扩散段2与渐变折射率大芯径多芯光纤3熔接。所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器在多芯光纤热扩散段2施加热扩散,多芯光纤热扩散段2形成折射率渐变区,能够绝热的保持基模传输,并且使多芯光纤中的光束扩束。所述基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行特殊设计,实现多芯光纤端出射光束的准直。对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行纤端研磨,实现多芯光纤端出射光束的分束。

[0050] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,为了实现多芯光纤端出射光束的扩束,可以根据光束扩束的需要,使用含有一种或多种掺杂的不同

掺杂剂的多芯光纤,对多芯光纤热扩散段2的加热时间和加热温度进行设计,通过热扩散的方法,增长加热时间,增大加热温度,可以使得多芯光纤的光束直径变大。使用一种或多种掺杂的不同掺杂剂,不影响基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器功能的实现。

[0051] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,为了实现多芯光纤端出射光束的准直,并且解决多芯光纤各个芯之间信号串扰的问题,需要对渐变折射率大芯径多芯光纤3的结构进行特殊设计。对渐变折射率大芯径多芯光纤3特殊设计的两个基本原则是:(1)渐变折射率大芯径多芯光纤3的包层与多芯光纤1的包层尺寸相同,且纤芯的数量也相同,具有相同的分布方式,纤芯共轴;(2)渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯芯径,大于或等于多芯光纤1的纤芯芯径,但是渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯不互相重叠。

[0052] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,为了实现多芯光纤端出射光束的准直,光束由多芯光纤热扩散段2出射,输入渐变折射率大芯径多芯光纤3后,经过 $0.25P$,光束变为平行光,即实现准直效果。输入渐变折射率大芯径多芯光纤3的总长度也可以是 $0.25P$ 加上 $1P$ 的整数倍,即 $0.25P, 1.25P, 2.25P, 3.25P$ 等。

[0053] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行特殊设计,使得渐变折射率大芯径多芯光纤3的芯径大于或等于多芯光纤热扩散段2最大芯径,实现多芯光纤端出射光束扩束并准直。对渐变折射率大芯径多芯光纤3进行特殊设计,渐变折射率大芯径多芯光纤3的包层与多芯光纤1的包层尺寸相同,且纤芯的数量也相同,具有相同的分布,纤芯共轴。渐变折射率大芯径多芯光纤3中每个纤芯的芯径可以特殊设计,数值孔径和自聚焦常数也可以特殊设计,使每个纤芯的芯径、数值孔径和自聚焦常数都不相同,但是要满足渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤芯之间不互相重叠。

[0054] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,将一段较长多芯光纤放入炉子加热区中心轴上进行热扩散处理,经过一定时间的加热,多芯光纤热扩散区的掺杂剂的浓度分布渐变为准高斯分布。炉子加热区的长度通常在厘米量级以上,保证梯度温度场中的折射率缓慢变化为准高斯分布。

[0055] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,对一段较长多芯光纤进行一定时间的加热,完成了热扩散处理后,在对多芯光纤热扩散区加热温度最高处进行切割处理,即可制作获得两根相同的可以对多芯光纤1光束扩束的,多芯光纤1和多芯光纤热扩散段2。

[0056] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,将经过特殊设计的渐变折射率大芯径多芯光纤3的各个纤芯轴线,与多芯光纤热扩散段2的各个纤芯轴线对准,并进行纤端焊接。然后使用光纤切割刀对渐变折射率大芯径多芯光纤3定长度切割,经过切割后,渐变折射率大芯径多芯光纤3的长度变为 $0.25P$,或者渐变折射率大芯径多芯光纤3的总长度也可以是 $0.25P$ 加上 $1P$ 的整数倍,即 $0.25P, 1.25P, 2.25P, 3.25P$ 等。即可实现对多芯光纤热扩散段2扩束后的出射光束的准直。

[0057] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,多芯光纤1包括但不限于双芯光纤,三芯光纤,四芯光纤,七芯光纤,即多芯光纤1的纤芯数大于等于

2.而且对于多芯光纤不同的纤芯分布和纤芯结构,只要满足对渐变折射率大芯径多芯光纤3特殊设计的两个基本原则,都可实现对多芯光纤端出射光束的准直。

[0058] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,为了实现多芯光纤端出射光束的分束,对渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤端进行研磨,使渐变折射率大芯径多芯光纤3的纤端形状研磨为,包括但不限于圆弧形,球形,圆台,锥形,棱形。

[0059] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,单模光纤5前端连接长度为0.25P,或1.25P,2.25P,3.25P等的自聚焦透镜4,单模光纤的数量与多芯光纤1纤芯数量相同。将自聚焦透镜4与渐变折射率大芯径多芯光纤3进行空间直接对准耦合,即自聚焦透镜4的轴线依次与纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3出射的准直光束的轴线重合。调节自聚焦透镜4与纤端研磨的渐变折射率大芯径多芯光纤3纤端的空间距离,可实现多芯光纤扇入扇出分束器的功能。

[0060] 本发明制备基于准直光束直接对准耦合的多芯光纤扇入扇出分束器时,渐变折射率大芯径多芯光纤3与自聚焦透镜4之间的空间氛围可以为空气,匹配液等。使用折射率大于或等于纤芯折射率的匹配液注入自聚焦透镜4与渐变折射率大芯径多芯光纤3进行空间直接对准耦合的空间,可在实现多芯光纤端出射光束的准直及分束的基础上,同时消除多芯光纤各个纤芯之间信号的串扰。

[0061] 实施例1:

[0062] 本实施例双芯光纤扇入扇出分束器的结构为双芯光纤-双芯光纤热扩散段-渐变折射率大芯径双芯光纤-自聚焦透镜-单模光纤,即选用双芯光纤,如图5a所示。本实施例所选用的双芯光纤601的几何尺寸为,包层607直径为125 μm 、纤芯606直径均为9 μm ,两纤芯在一条线上,两纤芯轴线距中心轴间距均为30 μm ,纤芯606的数值孔径均为0.14;所选用渐变折射率大芯径双芯光纤603的几何尺寸为,外包层608直径为125 μm 、纤芯609直径均为30 μm ,纤芯609的数值孔径均为0.14,且纤芯自聚焦常数相同。双芯光纤601和渐变折射率大芯径双芯光纤603的纤芯分布相同。所选用光纤的掺杂剂种类均为锗。所选用的自聚焦透镜604为,纤芯半径为50 μm 的多模光纤。

[0063] 如图5b是双芯光纤扇入扇出分束器的切面示意图。本实施例双芯光纤扇入扇出分束器的制备步骤为:确定双芯光纤601的具体参数,根据渐变折射率大芯径双芯光纤603设计的两个基本原则,对渐变折射率大芯径双芯光纤603的参数进行特殊设计。选取一段双芯光纤601,放入炉子加热区中心轴上作热扩散处理。

[0064] 热扩散处理的具体实施方式为:选用的炉子加热区长度为3cm,加热区温度场分布如图4所示。一段双芯光纤601放入炉子加热区中心轴上进行热扩散处理,加热区中心位置402温度最高。加热时间为0.2小时,为使双芯光纤热扩散段602渐变为圆对称准高斯分布。

[0065] 经过热扩散处理的双芯光纤,在加热温度最高点的位置402处对双芯光纤进行切割,即可得到两段双芯光纤601+双芯光纤热扩散段602。取其中一段的双芯光纤601+双芯光纤热扩散段602,将经过特殊设计的渐变折射率大芯径双芯光纤603,纤芯611的轴线分别与双芯光纤热扩散段602的纤芯609的轴线对准,并进行焊接。在渐变折射率大芯径双芯光纤603的0.25P处进行定长度切割,也可以根据需要在1.25P,2.25P,3.25P等处进行定长度切割。

[0066] 将定长度切割后的双芯光纤601+双芯光纤热扩散段602+渐变折射率大芯径双芯

光纤603,对渐变折射率大芯径双芯光纤603的纤端612进行研磨,本实施例将渐变折射率大芯径双芯光纤603的纤端612研磨为圆弧形。

[0067] 在单模光纤605前端连接节距为 $0.25P$ 的自聚焦透镜604,也可以根据需要选取 $1.25P$, $2.25P$, $3.25P$ 等长度的自聚焦透镜604,自聚焦透镜604选取多模光纤。单模光纤605的数量与双芯光纤601纤芯606数量相同。将自聚焦透镜604与渐变折射率大芯径双芯光纤603进行空间直接对准耦合,即自聚焦透镜604的轴线依次与纤端研磨的渐变折射率大芯径双芯光纤603出射的准直光束的轴线重合。可根据需要调节自聚焦透镜604与纤端研磨的渐变折射率大芯径双芯光纤603纤端的空间距离。

[0068] 本实施例制备基于准直光束直接对准耦合的双芯光纤扇入扇出分束器时,渐变折射率大芯径双芯光纤603与自聚焦透镜604之间的空间氛围可以为空气,匹配液等。使用折射率大于或等于纤芯折射率的匹配液注入自聚焦透镜604与渐变折射率大芯径双芯光纤603进行空间直接对准耦合的空间613,可实现双芯光纤端出射光束的准直及分束,并消除双芯光纤各个纤芯之间信号的串扰。本实施例选用折射率为 1.8 的匹配液,注入自聚焦透镜604与渐变折射率大芯径双芯光纤603进行空间直接对准耦合的空间613。

[0069] 通过以上的处理方式,即可制备得到双芯光纤扇入扇出分束器。该双芯光纤扇入扇出分束器,从双芯光纤601处注入光束,即可实现光束的准直及分束,并解决了各个芯之间信号串扰的问题。

[0070] 利用有限元法对光纤热扩散处理过程建立模型,对热扩散处理过程中折射率分布的变化进行仿真,如图6a是双芯光纤扩束准直段的折射率分布的切面,双芯光纤热扩散段2具有平稳渐变的折射率分布过渡,且是稳定的准高斯分布,因此该双芯光纤扇入扇出分束器的基模能够高耦合效率的转变成为渐变折射率大芯径双芯光纤3的基模。

[0071] 利用Beam Propagation Method对双芯光纤扇入扇出分束器进行仿真,仿真结果如图6b所示,是双芯光纤扩束准直段的纤芯中光束传播的切面图。从仿真结果可以看出,光束在双芯光纤热扩散段602,即616处实现扩束,在渐变折射率大芯径双芯光纤603的617处切割可实现聚焦,在618处切割可实现准直。根据需要在光束准直处,即 $0.25P$, $1.25P$, $2.25P$, $3.25P$ 等处进行切割,即可实现双芯光纤扇入扇出分束器的出射光束的准直。

[0072] 为了对比基于准直光束直接对准耦合的双芯光纤扇入扇出分束器,与不经过准直的纤端经过相同方式研磨的双芯光纤扇入扇出分束器,利用有限元法分别对是否经过准直的双芯光纤端光束出射的光场进行仿真。如图6c是不经过准直的纤端研磨的双芯光纤端光束出射的光场分布,图6d是经过准直的纤端研磨的双芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场分布,图6e是不经过准直的纤端研磨的双芯光纤端光束出射光场的光强分布,图6f是经过准直的纤端研磨的双芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场的光强分布。619处、620处分别是不经过准直的纤端研磨的双芯光纤的出射端,经过准直的纤端研磨的双芯光纤扇入扇出分束器的出射端。光纤端光束出射光场的光强分布取能量最大值的 $1/2e$,从图6e和图6f可以看出,经过准直的纤端研磨的双芯光纤扇入扇出分束器的准直与分束效果非常好,经过准直的纤端研磨的双芯光纤扇入扇出分束器端出射光束的传播距离是不经过准直的纤端研磨的双芯光纤端出射光束的传播距离的3倍以上。

[0073] 本发明实施例提供的双芯光纤扇入扇出分束器,具有制作简单、成本低、结构紧凑的优点。与在先技术相比,由于对渐变折射率大芯径双芯光纤603进行了特殊设计,并采用

了热扩散技术、纤端研磨技术,可实现双芯光纤端出射光束的扩束、准直和分束,且解决了各个芯之间信号串扰的问题。

[0074] 实施例2:

[0075] 本实施例三芯光纤扇入扇出分束器的结构为三芯光纤-三芯光纤热扩散段-渐变折射率大芯径三芯光纤-自聚焦透镜-单模光纤,即选用三芯光纤,如图7所示。本实施例所选用的三芯光纤801的几何尺寸为,包层807直径为125 μm 、纤芯806直径均为9 μm ,三个芯在一条线上,中间芯位于中心轴上,两侧纤芯距中间芯轴线间距为30 μm ,纤芯806的数值孔径均为0.14;所选用渐变折射率大芯径三芯光纤803的几何尺寸为,外包层811直径为125 μm 、纤芯810直径均为30 μm ,纤芯810的数值孔径均为0.14,且纤芯自聚焦常数相同。三芯光纤801和渐变折射率大芯径三芯光纤803的纤芯分布相同。所选用光纤的掺杂剂种类均为锗。所选用的自聚焦透镜804为,纤芯半径为50 μm 的多模光纤。

[0076] 如图7b是三芯光纤扇入扇出分束器的切面示意图。本实施例三芯光纤扇入扇出分束器的制备步骤为:确定三芯光纤801的具体参数,根据渐变折射率大芯径三芯光纤803设计的两个基本原则,对渐变折射率大芯径三芯光纤803的参数进行特殊设计。选取一段三芯光纤801,放入炉子加热区中心轴上作热扩散处理。

[0077] 热扩散处理的具体实施方式为:选用的炉子加热区长度为3cm,加热区温度场分布如图4所示。一段三芯光纤801放入炉子加热区中心轴上进行热扩散处理,加热区中心位置402温度最高。加热时间为0.2小时,为使三芯光纤热扩散段802渐变为圆对称准高斯分布。

[0078] 经过热扩散处理的三芯光纤,在加热温度最高点的位置402处对三芯光纤进行切割,即可得到两段三芯光纤801+三芯光纤热扩散段802。取其中一段的三芯光纤801+三芯光纤热扩散段802,将经过特殊设计的渐变折射率大芯径三芯光纤803,纤芯810的轴线分别与三芯光纤热扩散段802的纤芯808的轴线对准,并进行焊接。在渐变折射率大芯径三芯光纤803的0.25P处进行定长度切割,也可以根据需要在1.25P,2.25P,3.25P等处进行定长度切割。

[0079] 将定长度切割后的三芯光纤801+三芯光纤热扩散段802+渐变折射率大芯径三芯光纤803,对渐变折射率大芯径三芯光纤803的纤端812进行研磨,本实施例将渐变折射率大芯径三芯光纤803的纤端812研磨为圆弧形。

[0080] 在单模光纤805前端连接节距为0.25P的自聚焦透镜804,也可以根据需要选取1.25P,2.25P,3.25P等长度的自聚焦透镜804,自聚焦透镜804选取多模光纤。单模光纤805的数量与三芯光纤801纤芯806数量相同。将自聚焦透镜804与渐变折射率大芯径三芯光纤803进行空间直接对准耦合,即自聚焦透镜804的轴线依次与纤端研磨的渐变折射率大芯径三芯光纤803出射的准直光束的轴线重合。可根据需要调节自聚焦透镜804与纤端研磨的渐变折射率大芯径三芯光纤803纤端的空间距离。

[0081] 本实施例制备基于准直光束直接对准耦合的三芯光纤扇入扇出分束器时,渐变折射率大芯径三芯光纤803与自聚焦透镜804之间的空间氛围可以为空气,匹配液等。使用折射率大于或等于纤芯折射率的匹配液注入自聚焦透镜804与渐变折射率大芯径三芯光纤803进行空间直接对准耦合的空间813,可实现三芯光纤端出射光束的准直及分束,并消除三芯光纤各个纤芯之间信号的串扰。本实施例选用折射率为1.8的匹配液,注入自聚焦透镜804与渐变折射率大芯径三芯光纤803进行空间直接对准耦合的空间813。

[0082] 通过以上的处理方式,即可制备得到三芯光纤扇入扇出分束器。该三芯光纤扇入扇出分束器,从三芯光纤801处注入光束,即可实现光束的准直及分束,并解决了各个芯之间信号串扰的问题。

[0083] 利用有限元法对光纤热扩散处理过程建立模型,对热扩散处理过程中折射率分布的变化进行仿真,如图8a是三芯光纤扩束准直段的折射率分布的切面,三芯光纤热扩散段802具有平稳渐变的折射率分布过渡,且是稳定的准高斯分布,因此该三芯光纤扇入扇出分束器的基模能够高耦合效率的转变为准高斯分布大芯径三芯光纤803的基模。

[0084] 利用Beam Propagation Method对三芯光纤扇入扇出分束器进行仿真,仿真结果如图8b所示,是三芯光纤扩束准直段的纤芯中光束传播的切面图。从仿真结果可以看出,光束在三芯光纤热扩散段802,即816处实现扩束,在渐变折射率大芯径三芯光纤803的817处切割可实现聚焦,在818处切割可实现准直。根据需要在光束准直处,即 $0.25P$, $1.25P$, $2.25P$, $3.25P$ 等处进行切割,即可实现三芯光纤扇入扇出分束器的出射光束的准直。

[0085] 为了对比基于准直光束直接对准耦合的三芯光纤扇入扇出分束器,与不经过准直的纤端经过相同方式研磨的三芯光纤扇入扇出分束器,利用有限元法分别对是否经过准直的三芯光纤端光束出射的光场进行仿真。如图8c是不经过准直的纤端研磨的三芯光纤端光束出射的光场分布,图8d是经过准直的纤端研磨的三芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场分布,图8e是不经过准直的纤端研磨的三芯光纤端光束出射光场的光强分布,图8f是经过准直的纤端研磨的三芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场的光强分布。819处、820处分别是不经过准直的纤端研磨的三芯光纤的出射端,经过准直的纤端研磨的三芯光纤扇入扇出分束器的出射端。光纤端光束出射光场的光强分布取能量最大值的 $1/2e$,从图8e和图8f可以看出,经过准直的纤端研磨的三芯光纤扇入扇出分束器的准直与分束效果非常好,经过准直的纤端研磨的三芯光纤扇入扇出分束器端出射光束的传播距离是不经过准直的纤端研磨的三芯光纤端出射光束的传播距离的3倍以上。

[0086] 本发明实施例提供的三芯光纤扇入扇出分束器,具有制作简单、成本低、结构紧凑的优点。与在先技术相比,由于对渐变折射率大芯径三芯光纤803进行了特殊设计,并采用了热扩散技术、纤端研磨技术,可实现三芯光纤端出射光束的扩束、准直和分束,且解决了各个芯之间信号串扰的问题。

[0087] 实施例3:

[0088] 本实施例四芯光纤扇入扇出分束器的结构为四芯光纤-四芯光纤热扩散段-渐变折射率大芯径四芯光纤-自聚焦透镜-单模光纤,即选用四芯光纤,如图9所示。本实施例所选用的四芯光纤1001的几何尺寸为,包层1007直径为 $125\mu\text{m}$ 、纤芯1006直径均为 $9\mu\text{m}$,在正交线上分布着四个芯,每个芯轴线与中心轴的间距为 $30\mu\text{m}$,纤芯1006的数值孔径均为0.14;所选用渐变折射率大芯径四芯光纤1003的几何尺寸为,外包层1010直径为 $125\mu\text{m}$ 、纤芯1011直径均为 $30\mu\text{m}$,纤芯1011的数值孔径均为0.14,且纤芯自聚焦常数相同。四芯光纤1001和渐变折射率大芯径四芯光纤1003的纤芯分布相同。所选用光纤的掺杂剂种类均为锗。所选用的自聚焦透镜1004为,纤芯半径为 $50\mu\text{m}$ 的多模光纤。

[0089] 如图9b是四芯光纤扇入扇出分束器的切面示意图。本实施例四芯光纤扇入扇出分束器的制备步骤为:确定四芯光纤1001的具体参数,根据渐变折射率大芯径四芯光纤1003设计的两个基本原则,对渐变折射率大芯径四芯光纤1003的参数进行特殊设计。选取一段

四芯光纤1001,放入炉子加热区中心轴上作热扩散处理。

[0090] 热扩散处理的具体实施方式为:选用的炉子加热区长度为3cm,加热区温度场分布如图4所示。一段四芯光纤1001放入炉子加热区中心轴上进行热扩散处理,加热区中心位置402温度最高。加热时间为0.2小时,为使四芯光纤热扩散段2渐变为圆对称准高斯分布。

[0091] 经过热扩散处理的四芯光纤,在加热温度最高点的位置对四芯光纤进行切割,即可得到两段四芯光纤1001+四芯光纤热扩散段1002。取其中一段的四芯光纤1001+四芯光纤热扩散段1002,将经过特殊设计的渐变折射率大芯径四芯光纤3,纤芯1011的轴线分别与四芯光纤热扩散段1002的纤芯1009的轴线对准,并进行焊接。在渐变折射率大芯径四芯光纤1003的0.25P处进行定长度切割,也可以根据需要在1.25P,2.25P,3.25P等处进行定长度切割。

[0092] 将定长度切割后的四芯光纤1001+四芯光纤热扩散段1002+渐变折射率大芯径四芯光纤1003,对渐变折射率大芯径四芯光纤1003的纤端1012进行研磨,本实施例将渐变折射率大芯径四芯光纤1003的纤端1012研磨为圆弧形。

[0093] 在单模光纤1005前端连接节距为0.25P的自聚焦透镜1004,也可以根据需要选取1.25P,2.25P,3.25P等长度的自聚焦透镜1004,自聚焦透镜1004选取多模光纤。单模光纤的数量与四芯光纤1纤芯数量相同。将自聚焦透镜1004与渐变折射率大芯径四芯光纤1003进行空间直接对准耦合,即自聚焦透镜1004的轴线依次与纤端研磨的渐变折射率大芯径四芯光纤1003出射的准直光束的轴线重合。可根据需要调节自聚焦透镜1004与纤端研磨的渐变折射率大芯径四芯光纤1003纤端的空间距离。

[0094] 本实施例制备基于准直光束直接对准耦合的四芯光纤扇入扇出分束器时,渐变折射率大芯径四芯光纤1003与自聚焦透镜1004之间的空间氛围可以为空气,匹配液等。使用折射率大于或等于纤芯折射率的匹配液注入自聚焦透镜1004与渐变折射率大芯径四芯光纤1003进行空间直接对准耦合的空间1013,可实现四芯光纤端出射光束的准直及分束,并消除四芯光纤各个纤芯之间信号的串扰。本实施例选用折射率为1.8的匹配液,注入自聚焦透镜1004与渐变折射率大芯径四芯光纤1003进行空间直接对准耦合的空间1013。

[0095] 通过以上的处理方式,即可制备得到四芯光纤扇入扇出分束器。该四芯光纤扇入扇出分束器,从四芯光纤1001处注入光束,即可实现光束的准直及分束,并解决了各个芯之间信号串扰的问题。

[0096] 利用有限元法对光纤热扩散处理过程建立模型,对热扩散处理过程中折射率分布的变化进行仿真,如图10a是四芯光纤扩束准直段的折射率分布的切面,四芯光纤热扩散段1002具有平稳渐变的折射率分布过渡,且是稳定的准高斯分布,因此该四芯光纤扇入扇出分束器的基模能够高耦合效率的转变为准折射率大芯径四芯光纤1003的基模。

[0097] 利用Beam Propagation Method对四芯光纤扇入扇出分束器进行仿真,仿真结果如图10b所示,是四芯光纤扩束准直段的纤芯中光束传播的切面图。从仿真结果可以看出,光束在四芯光纤热扩散段1002,即1016处实现扩束,在渐变折射率大芯径四芯光纤3的1017处切割可实现聚焦,在1018处切割可实现准直。根据需要在光束准直处,即0.25P,1.25P,2.25P,3.25P等处进行切割,即可实现四芯光纤扇入扇出分束器的出射光束的准直。

[0098] 为了对比基于准直光束直接对准耦合的四芯光纤扇入扇出分束器,与不经过准直的纤端经过相同方式研磨的四芯光纤扇入扇出分束器,利用有限元法分别对是否经过准直

的四芯光纤端光束出射的光场进行仿真。如图10c是不经过准直的纤端研磨的四芯光纤端光束出射的光场分布,图10d是经过准直的纤端研磨的四芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场分布,图10e是不经过准直的纤端研磨的四芯光纤端光束出射光场的光强分布,图10f是经过准直的纤端研磨的四芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场的光强分布。1019处、1020处分别是不经过准直的纤端研磨的四芯光纤的出射端,经过准直的纤端研磨的四芯光纤扇入扇出分束器的出射端。光纤端光束出射光场的光强分布取能量最大值的 $1/2e$,从图10e和图10f可以看出,经过准直的纤端研磨的四芯光纤扇入扇出分束器的准直与分束效果非常好,经过准直的纤端研磨的四芯光纤扇入扇出分束器端出射光束的传播距离是不经过准直的纤端研磨的四芯光纤端出射光束的传播距离的3倍以上。

[0099] 本发明实施例提供的四芯光纤扇入扇出分束器,具有制作简单、成本低、结构紧凑的优点。与在先技术相比,由于对渐变折射率大芯径四芯光纤1003进行了特殊设计,并采用了热扩散技术、纤端研磨技术,可实现四芯光纤端出射光束的扩束、准直和分束,且解决了各个芯之间信号串扰的问题。

[0100] 实施例4:

[0101] 本实施例七芯光纤扇入扇出分束器的结构为七芯光纤-七芯光纤热扩散段-渐变折射率大芯径七芯光纤-自聚焦透镜-单模光纤,即选用七芯光纤,如图11所示。本实施例所选用的七芯光纤1201的几何尺寸为,包层1207直径为 $125\mu\text{m}$ 、纤芯1206直径均为 $9\mu\text{m}$,中间芯位于中心轴上,在正六边形的六个角上分布着其他六个芯,每个芯轴线与中心轴的间距为 $30\mu\text{m}$,纤芯1206的数值孔径均为0.14;所选用渐变折射率大芯径七芯光纤1203的几何尺寸为,外包层1211直径为 $125\mu\text{m}$ 、纤芯1210直径均为 $30\mu\text{m}$,纤芯1210的数值孔径均为0.14,且纤芯自聚焦常数相同。七芯光纤1201和渐变折射率大芯径七芯光纤1203的纤芯分布相同。所选用光纤的掺杂剂种类均为锗。所选用的自聚焦透镜1204为,纤芯半径为 $50\mu\text{m}$ 的多模光纤。

[0102] 如图11b是七芯光纤扇入扇出分束器的切面示意图。本实施例七芯光纤扇入扇出分束器的制备步骤为:确定七芯光纤1的具体参数,根据渐变折射率大芯径七芯光纤1203设计的两个基本原则,对渐变折射率大芯径七芯光纤1203的参数进行特殊设计。选取一段七芯光纤1201,放入炉子加热区中心轴上作热扩散处理。

[0103] 热扩散处理的具体实施方式为:选用的炉子加热区长度为3cm,加热区温度场分布如图4所示。一段七芯光纤1201放入炉子加热区中心轴上进行热扩散处理,加热区中心位置402温度最高。加热时间为0.2小时,为使七芯光纤热扩散段1202渐变为圆对称准高斯分布。

[0104] 经过热扩散处理的七芯光纤,在加热温度最高点的位置对七芯光纤进行切割,即可得到两段七芯光纤1201+七芯光纤热扩散段1202。取其中一段的七芯光纤1201+七芯光纤热扩散段1202,将经过特殊设计的渐变折射率大芯径七芯光纤1203,纤芯1210的轴线分别与七芯光纤热扩散段1202的纤芯1208的轴线对准,并进行焊接。在渐变折射率大芯径七芯光纤1203的0.25P处进行定长度切割,也可以根据需要在1.25P,2.25P,3.25P等处进行定长度切割。

[0105] 将定长度切割后的七芯光纤1201+七芯光纤热扩散段1202+渐变折射率大芯径七芯光纤1203,对渐变折射率大芯径七芯光纤1203的纤端1212进行研磨,本实施例将渐变折射率大芯径七芯光纤1203的纤端1212研磨为圆弧形。

[0106] 在单模光纤1205前端连接节距为0.25P的自聚焦透镜1204,也可以根据需要选取

1.25P, 2.25P, 3.25P等长度的自聚焦透镜1204, 自聚焦透镜1204选取多模光纤。单模光纤1205的数量与七芯光纤1201纤芯数量相同。将自聚焦透镜1204与渐变折射率大芯径七芯光纤1203进行空间直接对准耦合, 即自聚焦透镜1204的轴线依次与纤端研磨的渐变折射率大芯径七芯光纤1203出射的准直光束的轴线重合。可根据需要调节自聚焦透镜1204与纤端研磨的渐变折射率大芯径七芯光纤1203纤端的空间距离。

[0107] 本实施例制备基于准直光束直接对准耦合的七芯光纤扇入扇出分束器时, 渐变折射率大芯径七芯光纤1203与自聚焦透镜1204之间的空间氛围可以为空气, 匹配液等。使用折射率大于或等于纤芯折射率的匹配液注入自聚焦透镜1204与渐变折射率大芯径七芯光纤1203进行空间直接对准耦合的空间1213, 可实现七芯光纤端出射光束的准直及分束, 并消除七芯光纤各个纤芯之间信号的串扰。本实施例选用折射率为1.8的匹配液, 注入自聚焦透镜1204与渐变折射率大芯径七芯光纤1203进行空间直接对准耦合的空间1213。

[0108] 通过以上的处理方式, 即可制备得到七芯光纤扇入扇出分束器。该七芯光纤扇入扇出分束器, 从七芯光纤1201处注入光束, 即可实现光束的准直及分束, 并解决了各个芯之间信号串扰的问题。

[0109] 利用有限元法对光纤热扩散处理过程建立模型, 对热扩散处理过程中折射率分布的变化进行仿真, 如图12a是七芯光纤扩束准直段的折射率分布的切面, 七芯光纤热扩散段1202具有平稳渐变的折射率分布过渡, 且是稳定的准高斯分布, 因此该七芯光纤扇入扇出分束器的基模能够高耦合效率的转变为准直渐变折射率大芯径七芯光纤1203的基模。

[0110] 利用Beam Propagation Method对七芯光纤扇入扇出分束器进行仿真, 仿真结果如图12b所示, 是七芯光纤扩束准直段的纤芯中光束传播的切面图。从仿真结果可以看出, 光束在七芯光纤热扩散段1202, 即1216处实现扩束, 在渐变折射率大芯径七芯光纤1203的1217处切割可实现聚焦, 在1218处切割可实现准直。根据需要在光束准直处, 即0.25P, 1.25P, 2.25P, 3.25P等处进行切割, 即可实现七芯光纤扇入扇出分束器的出射光束的准直。

[0111] 为了对比基于准直光束直接对准耦合的七芯光纤扇入扇出分束器, 与不经过准直的纤端经过相同方式研磨的七芯光纤扇入扇出分束器, 利用有限元法分别对是否经过准直的七芯光纤端光束出射的光场进行仿真。如图12c是不经过准直的纤端研磨的七芯光纤端光束出射的光场分布, 图12d是经过准直的纤端研磨的七芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场分布, 图12e是不经过准直的纤端研磨的七芯光纤端光束出射光场的光强分布, 图12f是经过准直的纤端研磨的七芯光纤扇入扇出分束器光束出射的光场的光强分布。1219处、1220处分别是不经过准直的纤端研磨的七芯光纤的出射端, 经过准直的纤端研磨的七芯光纤扇入扇出分束器的出射端。光纤端光束出射光场的光强分布取能量最大值的 $1/2e$, 从图12e和图12f可以看出, 经过准直的纤端研磨的七芯光纤扇入扇出分束器的准直与分束效果非常好, 经过准直的纤端研磨的七芯光纤扇入扇出分束器端出射光束的传播距离是不经过准直的纤端研磨的七芯光纤端出射光束的传播距离的3倍以上。

[0112] 本发明实施例提供的七芯光纤扇入扇出分束器, 具有制作简单、成本低、结构紧凑的优点。与在先技术相比, 由于对渐变折射率大芯径七芯光纤1203进行了特殊设计, 并采用了热扩散技术、纤端研磨技术, 可实现七芯光纤端出射光束的扩束、准直和分束, 且解决了各个芯之间信号串扰的问题。

[0113] 以上所述, 仅为本发明的优选实施例, 但本发明的保护范围并不局限于此。任何本

领域的技术人员根据本发明的精神和范围,对本发明进行各种改动和变化,均应包含在本发明权利要求保护范围内。

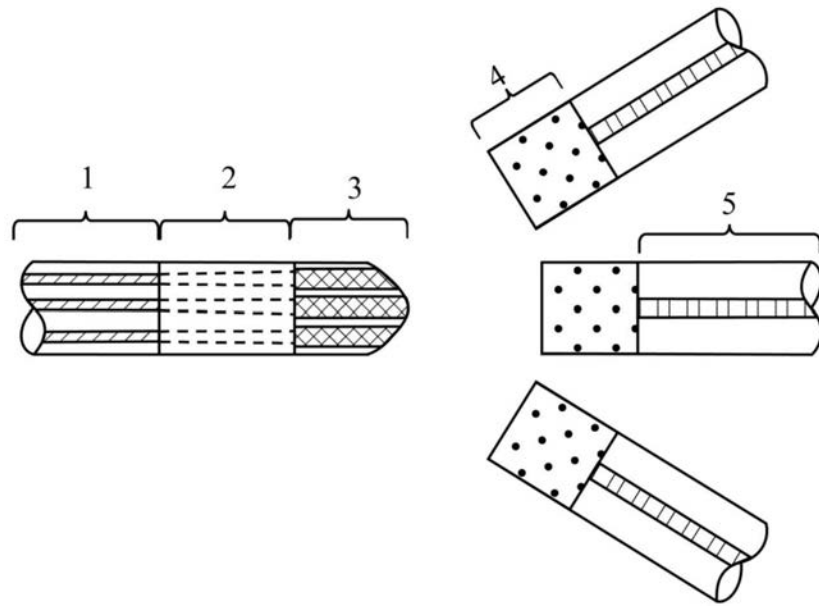


图1

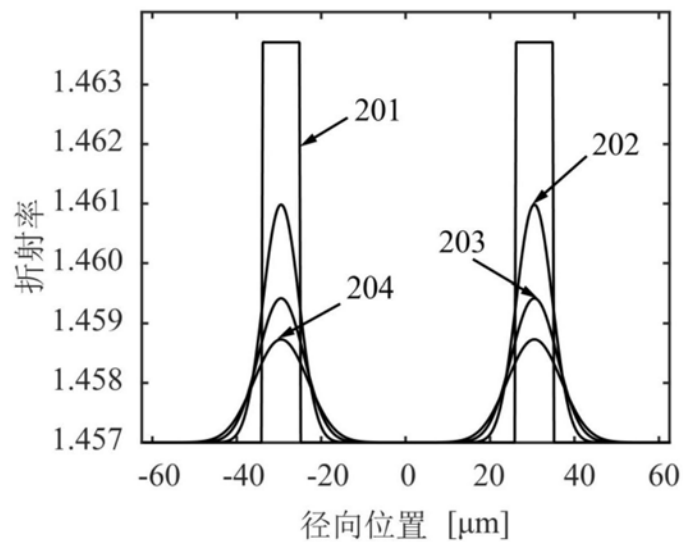


图2a

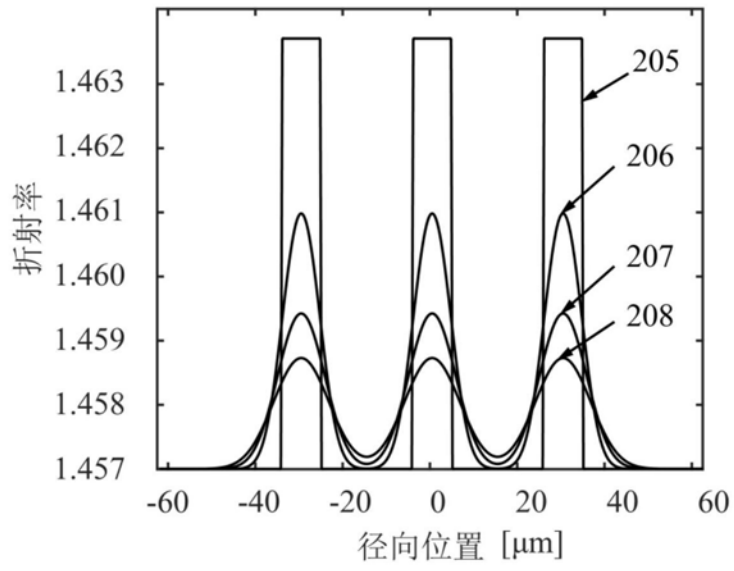


图2b

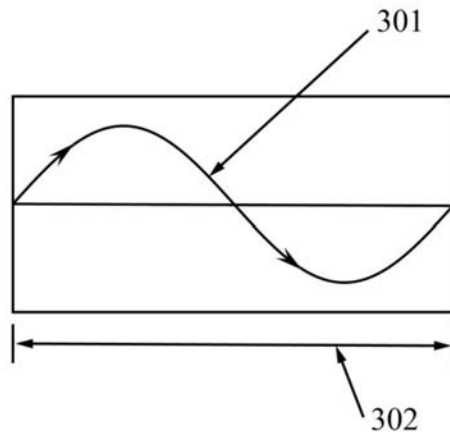


图3

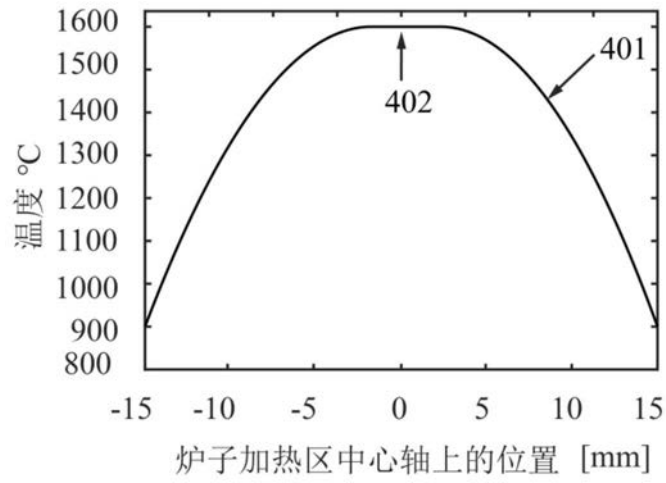


图4

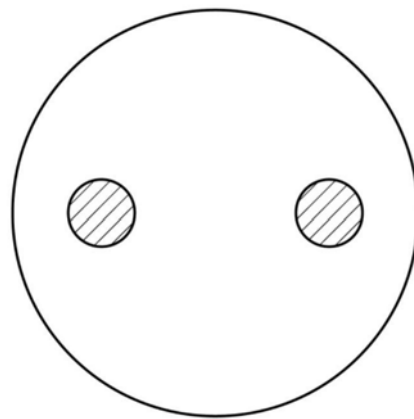


图5a

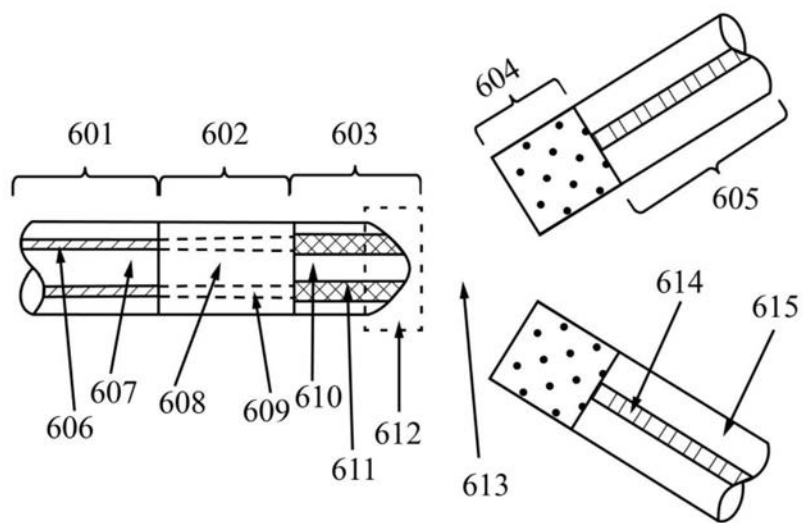


图5b

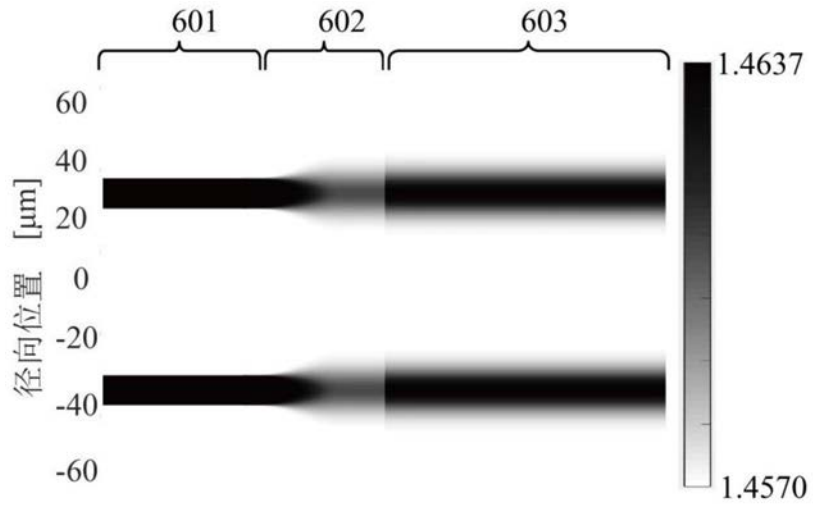


图6a

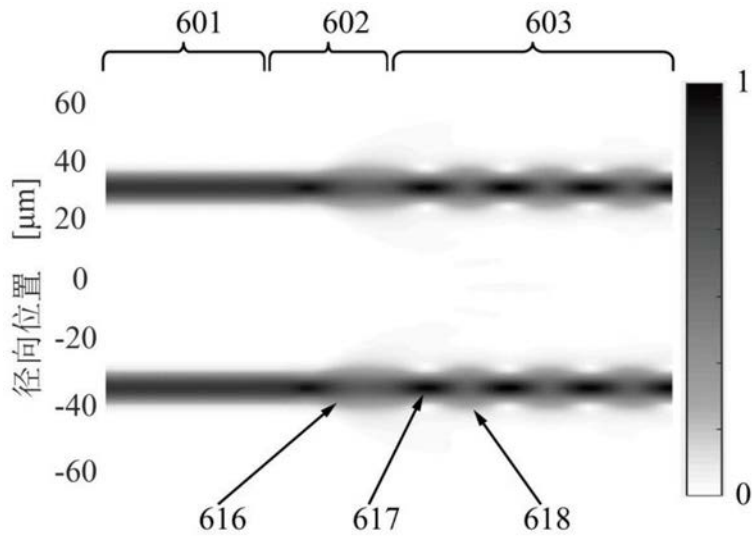


图6b

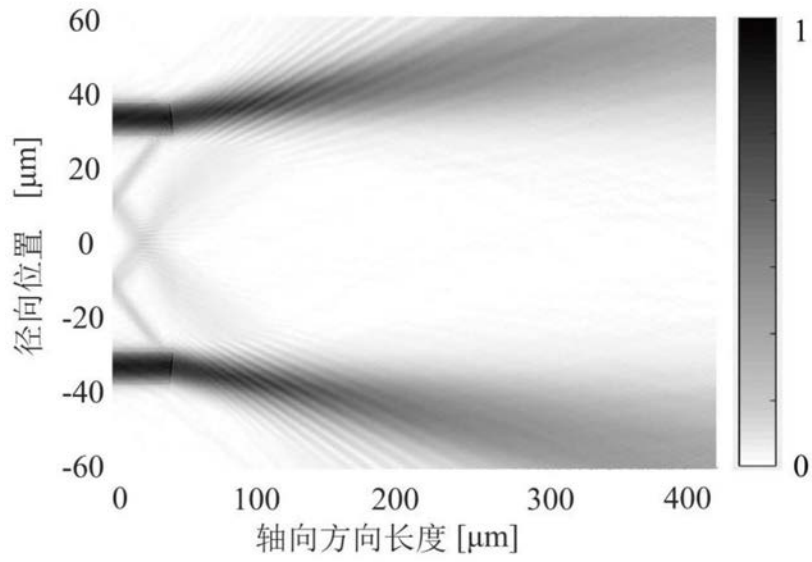


图6c

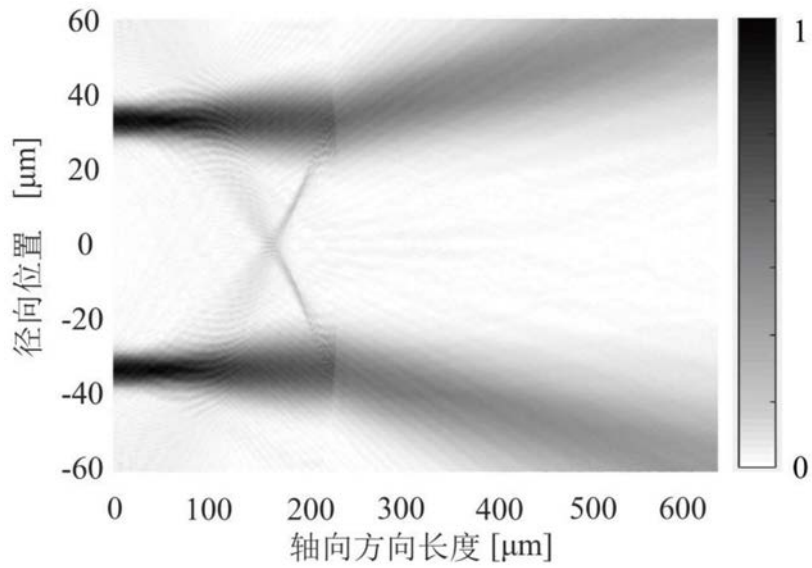


图6d

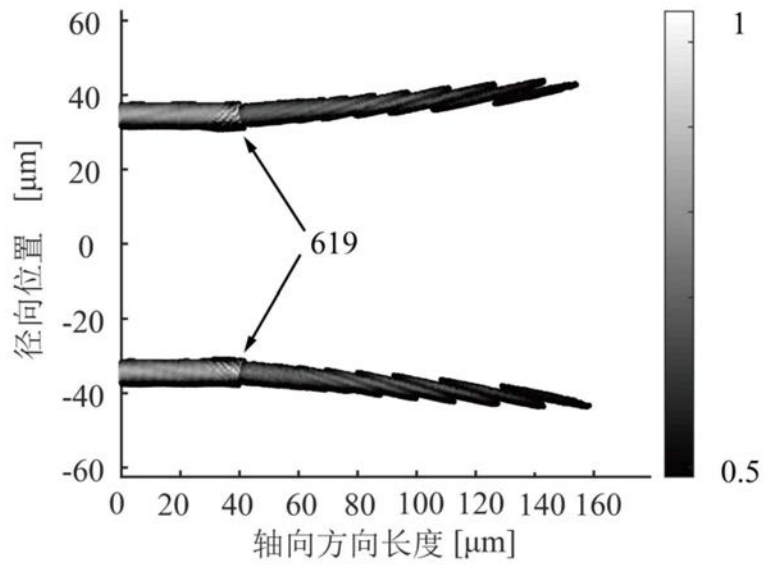


图6e

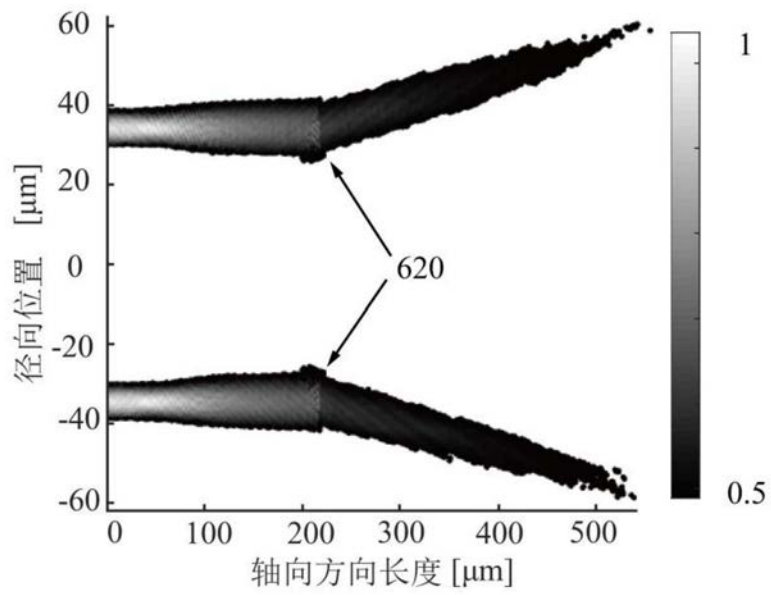


图6f

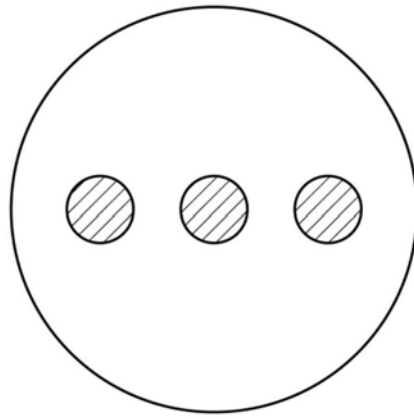


图7a

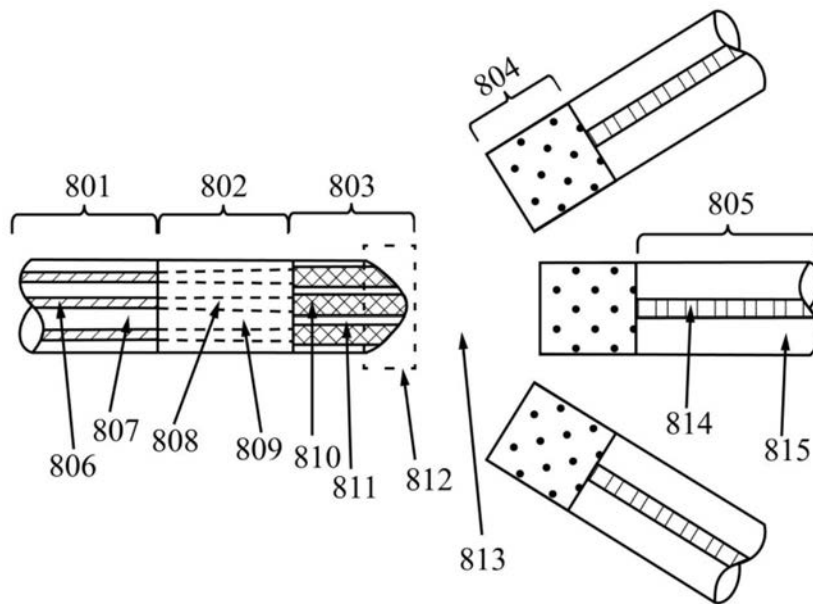


图7b

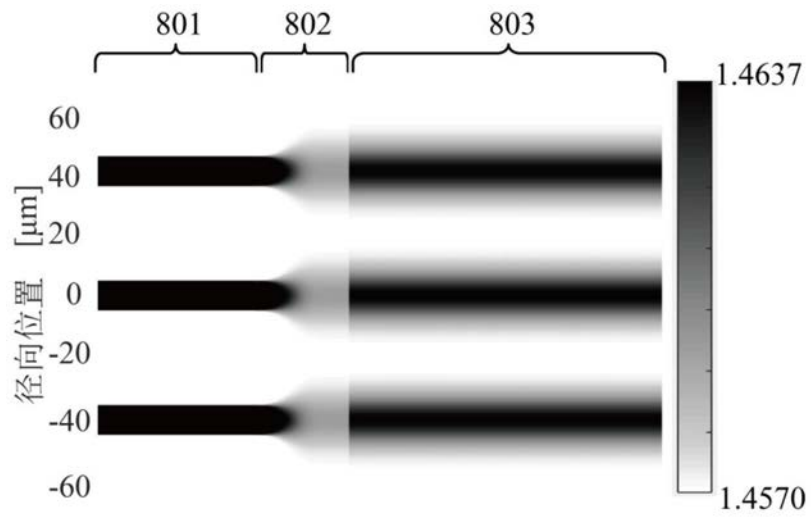


图8a

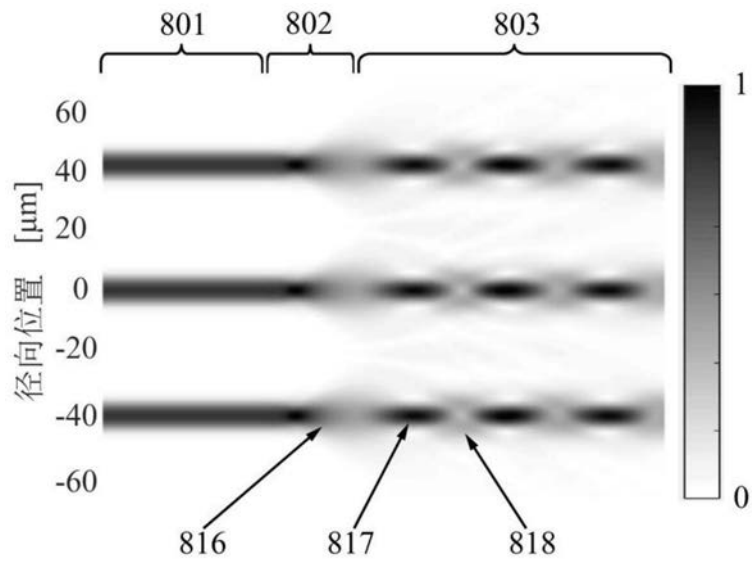


图8b

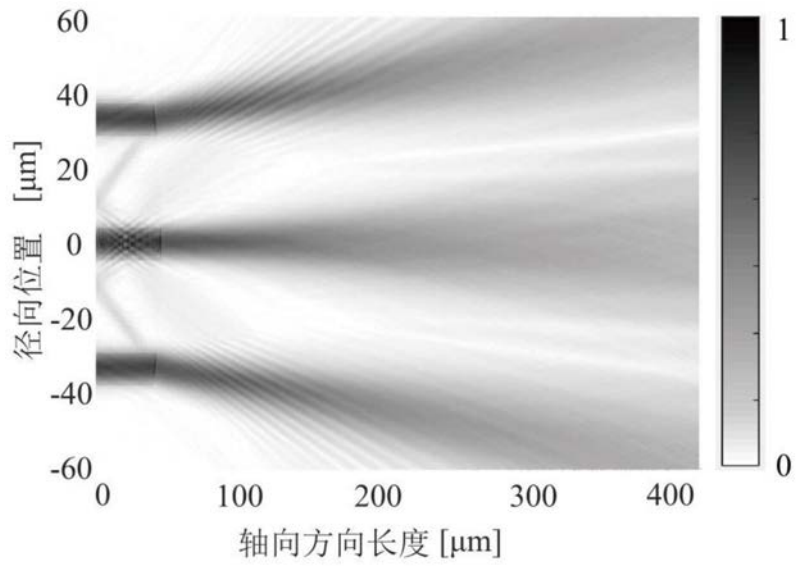


图8c

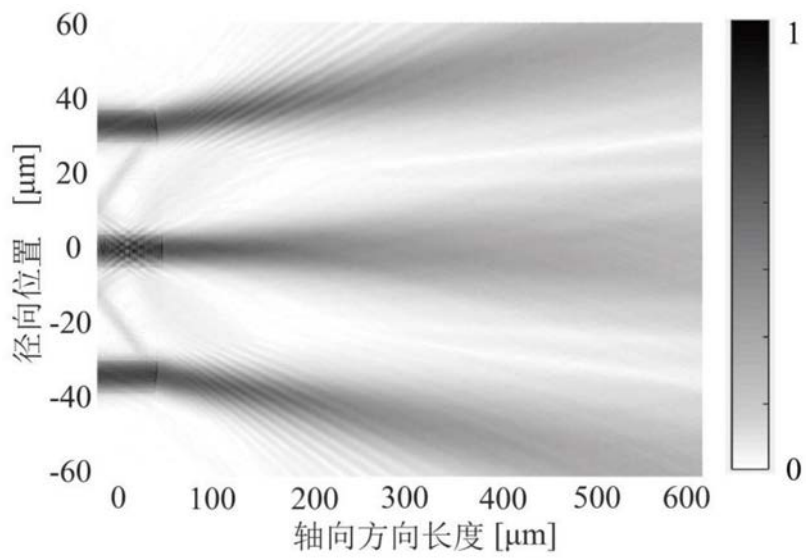


图8d

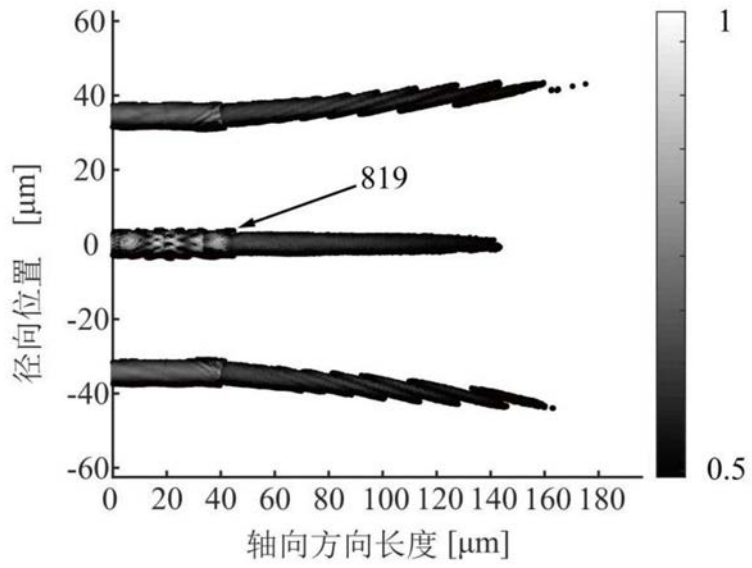


图8e

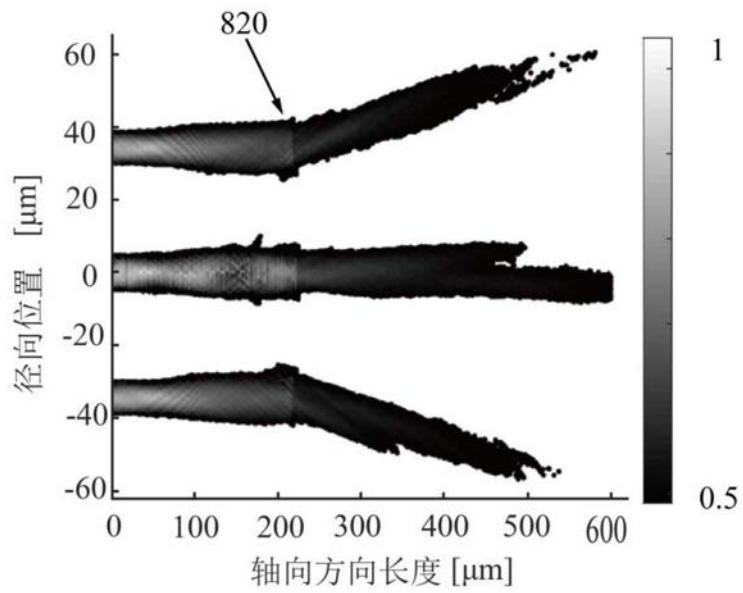


图8f

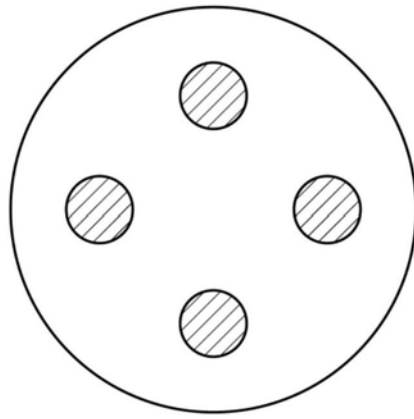


图9a

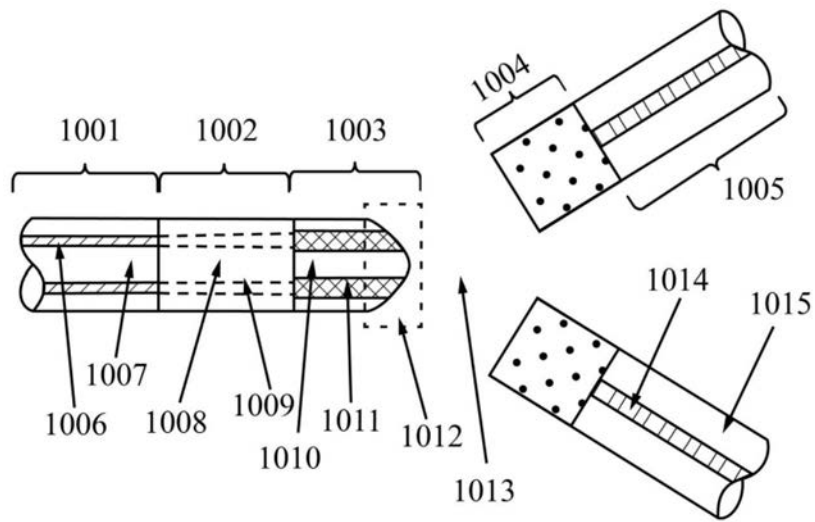


图9b

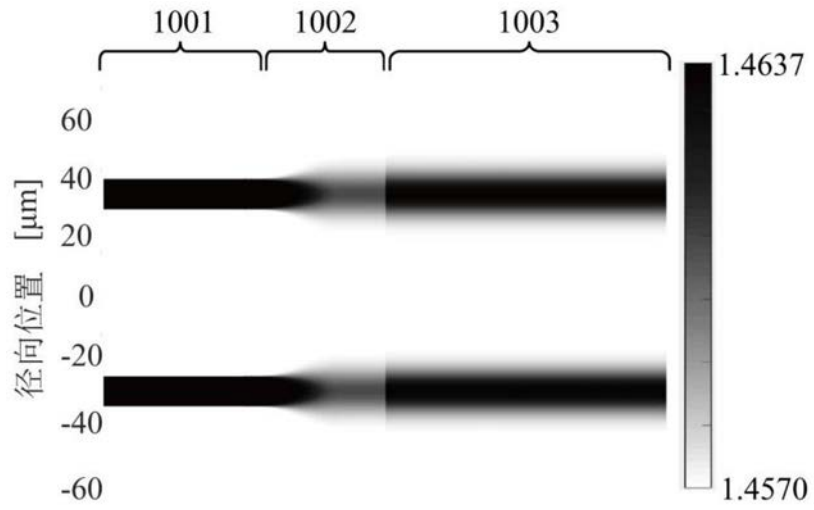


图10a

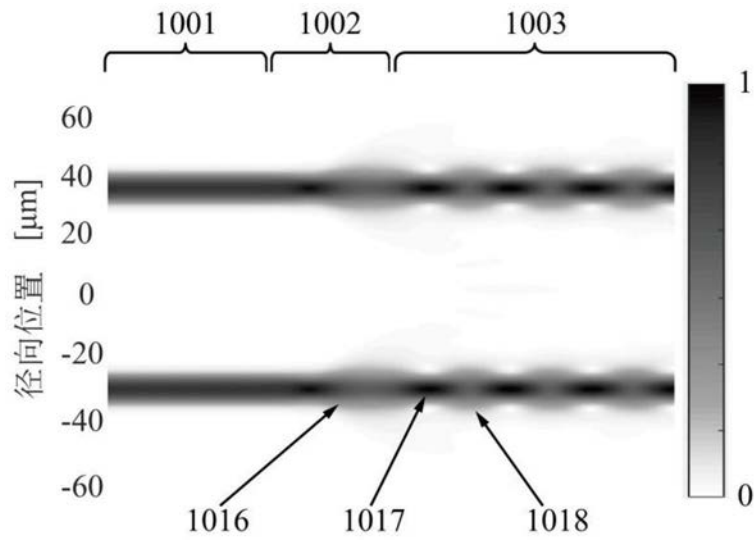


图10b

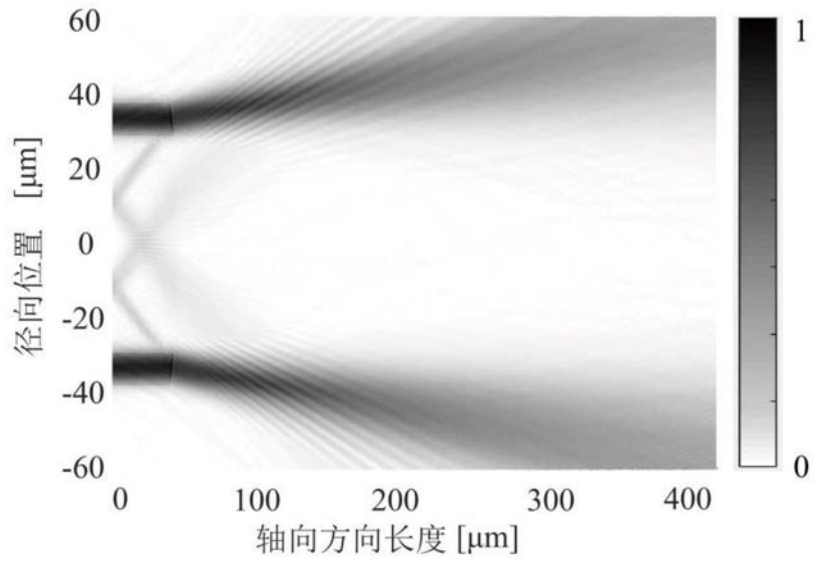


图10c

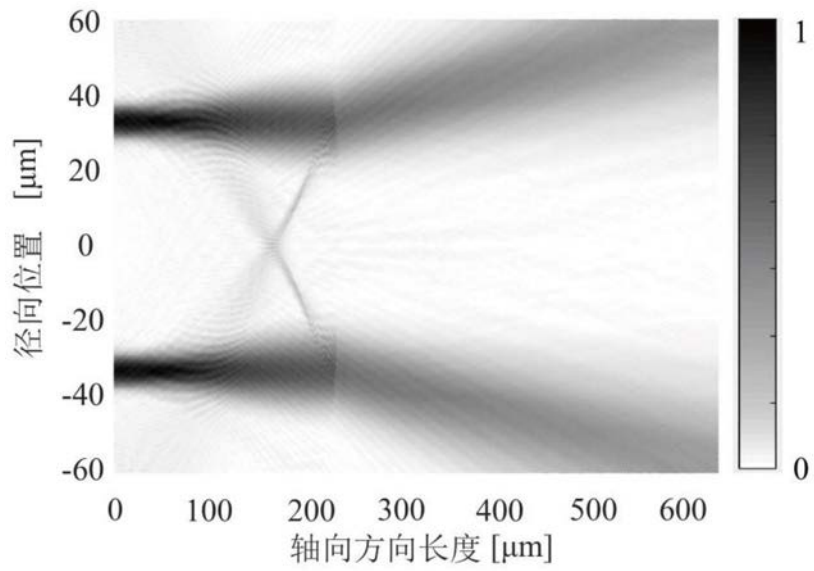


图10d

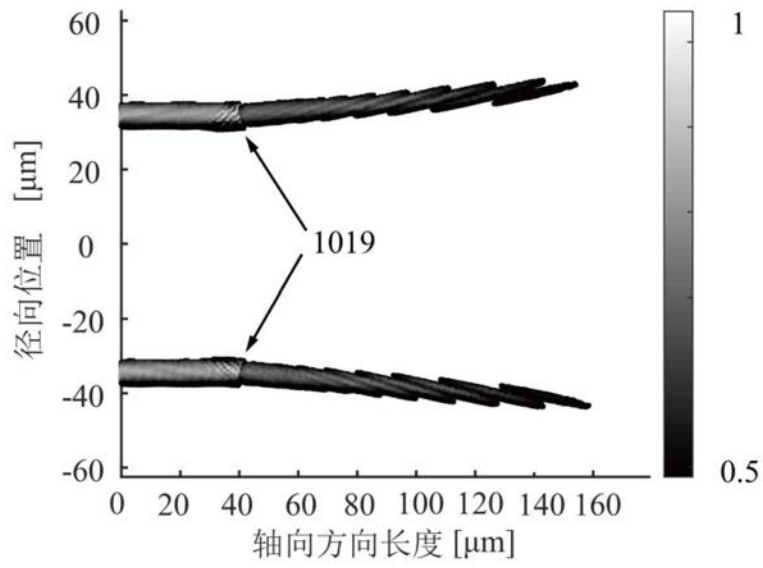


图10e

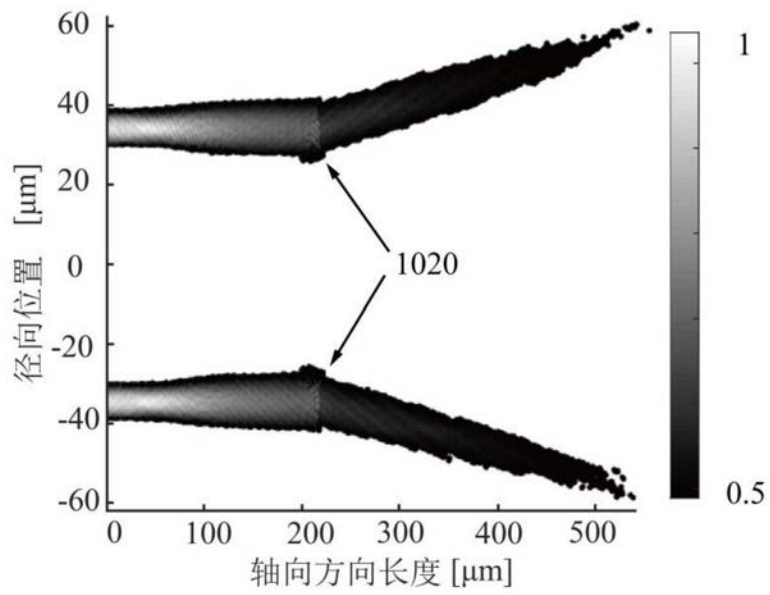


图10f

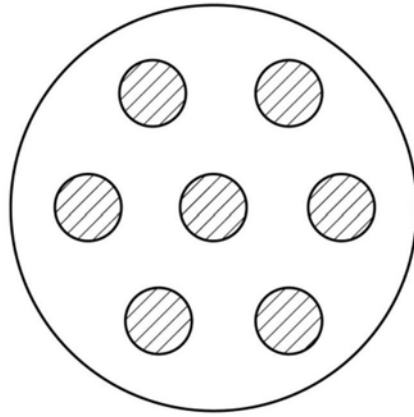


图11a

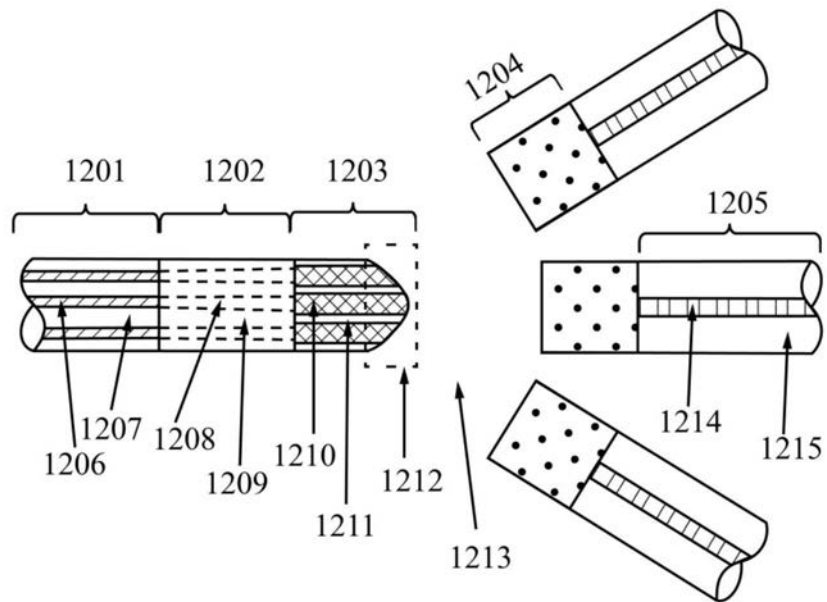


图11b

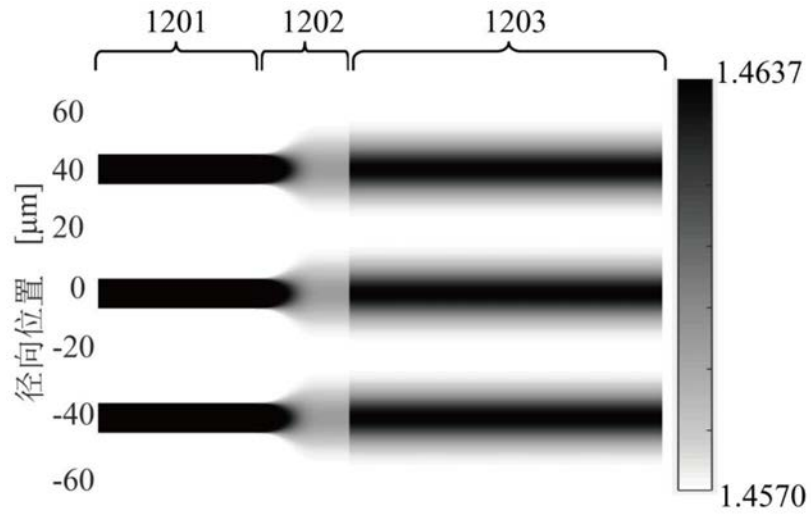


图12a

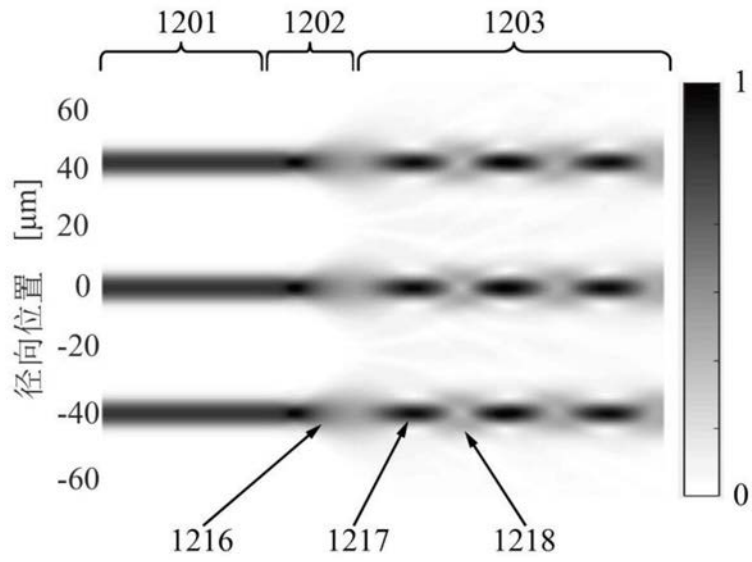


图12b

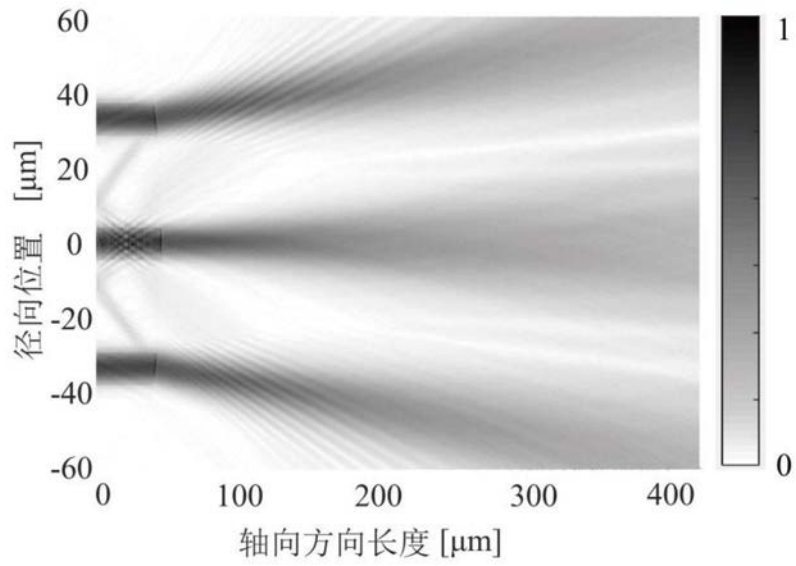


图12c

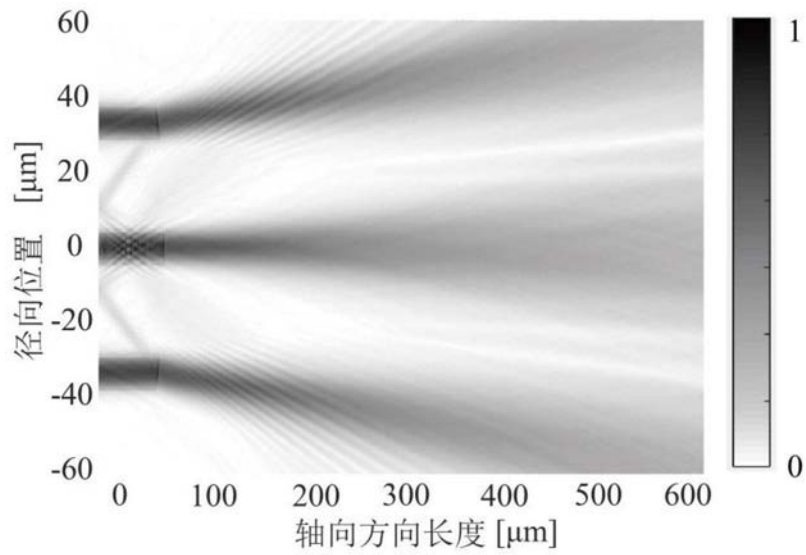


图12d

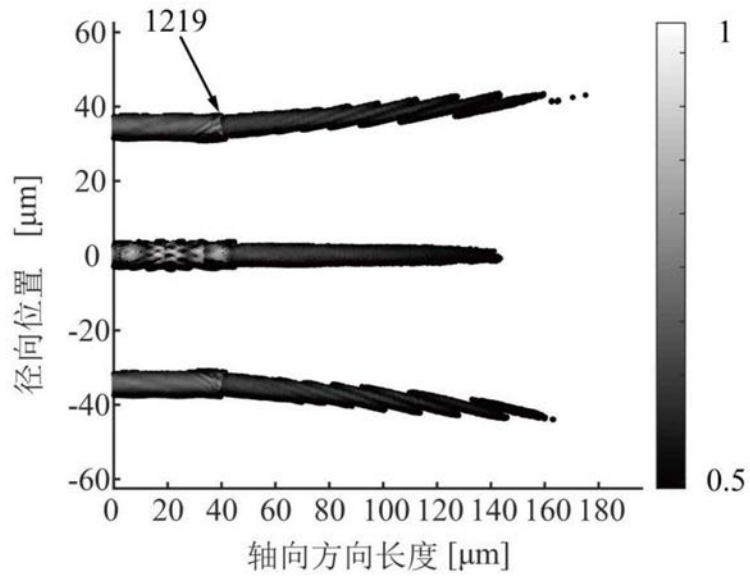


图12e

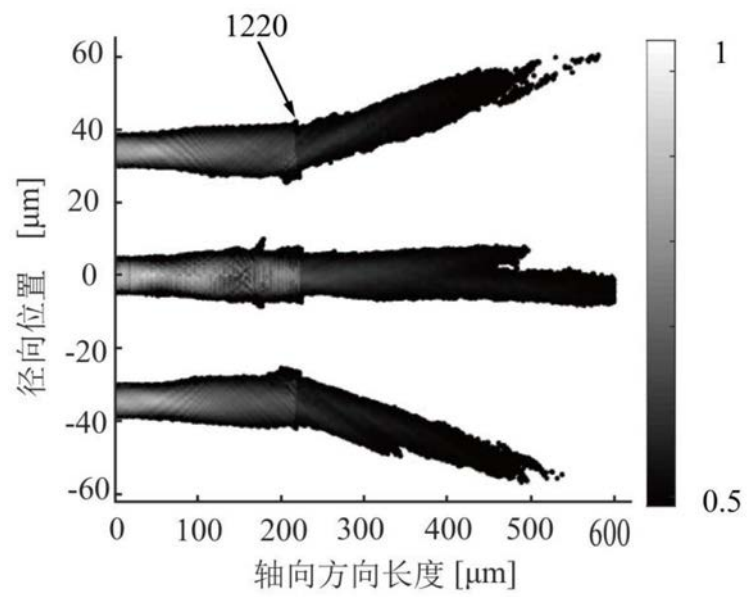


图12f