



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104865622 B

(45)授权公告日 2016.08.24

(21)申请号 201510179211.0

(22)申请日 2015.04.16

(73)专利权人 浙江工业大学

地址 310014 浙江省杭州市下城区朝晖六区潮王路18号浙江工业大学

(72)发明人 乐孜纯 孙运利 杜颖

(74)专利代理机构 杭州斯可睿专利事务所有限公司 33241

代理人 王利强

(51)Int.Cl.

G02B 3/14(2006.01)

G02B 26/02(2006.01)

(56)对比文件

CN 1372650 A,2002.10.02,

审查员 肖伏凤

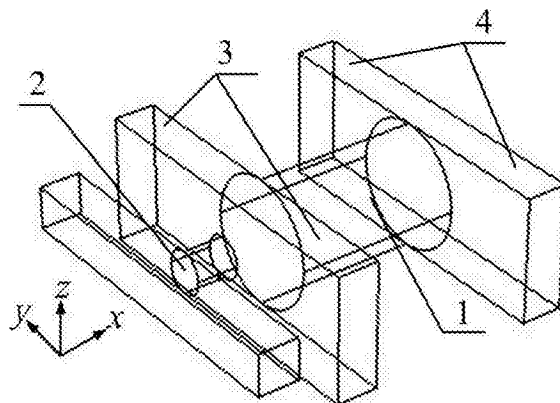
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法

(57)摘要

一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,包括以下步骤:(1)向微腔中注入芯层流体和包层流体,芯层流体和包层流体彼此之间只存在扩散和对流运动而不发生化学反应,包层流体均衡地环绕着芯层流体,芯层流体和包层流体之间不存在相对滑移,两者是具有不同折射率的两种流体;(2)微透镜的光束传播方向与流体流动方向一致;(3)通过调节流体流速、温度、浓度或微流体种类,控制流体扩散过程,实现对微腔中折射率空间分布的调控;(4)当平均流速和芯层流速大于高流速阈值时,腔内的折射率分布的中心区域的折射率最高且为恒定值,伴随着微腔边缘区域的渐变折射率分布形成出射光线焦斑。本发明有效地动态调节焦斑、灵活性良好。



1. 一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,其特征在于:该焦斑动态调节方法采用片内焦斑动态可调的流体微透镜,所述流体微透镜包括微腔、芯层流道、包层流道和出口流道,所述包层流道与所述微腔的进口的周围一圈均连通,所述芯层流道与芯层入口连通,所述芯层入口的内径比所述微腔的内径小,且所述芯层入口与所述微腔在同一根轴线上,所述芯层入口的出口处与所述包层流道连通且正对所述微腔的进口,所述微腔的出口与所述出口流道连通;

所述焦斑动态调节方法包括以下步骤:

(1)通过所述芯层流道和包层流道,向所述微腔中注入芯层流体和包层流体,所述芯层流体和包层流体彼此之间只存在扩散和对流运动而不发生化学反应,包层流体均衡地环绕着芯层流体,所述芯层流体和包层流体之间不存在相对滑移,所述芯层流体和包层流体是具有不同折射率的两种流体;

(2)所述微透镜的光束传播方向与流体流动方向一致;

(3)通过调节流体流速、温度、浓度或微流体种类,控制流体扩散过程,实现对所述微腔中折射率空间分布的调控;

(4)在流体高流速的情况下,进行焦斑尺寸动态调节:当平均流速和芯层流速大于高流速阈值时,微腔中心的两相流体之间没有足够的时间扩散,这时腔内的折射率分布的中心区域的折射率最高且为恒定值,伴随着微腔边缘区域的渐变折射率分布,形成出射光线焦斑。

2. 如权利要求1所述的一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,其特征在于:所述步骤(3)中,所述扩散对流过程由流体平均速度 U 和扩散系数 D 决定,其中扩散系数 D 受浓度 C 和温度 T 影响,因此改变流体平均速度 U 、浓度 C 和温度 T 会对渐变折射率流体微透镜的性能有调控作用。

3. 如权利要求1或2所述的一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,其特征在于:所述步骤(3)中,在假定液体温度不变,液体的扩散系数 D 、浓度 C 和平均速度 U 将是扩散对流过程的影响因素,直接决定渐变折射率流体微透镜的聚焦性能。

4. 如权利要求1或2所述的一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,其特征在于:所述步骤(4)中,保持液体温度、质量分数、微流体种类不变,且芯层流速大于 $5 \times 10^3 \text{pL/s}$,得出流速变化对微腔内流体折射率分布的影响,从而实现对渐变折射率流体微透镜的焦斑尺寸的动态调节。

5. 如权利要求1或2所述的一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,其特征在于:沿着液体流动方向的折射率分布用公式表示为:

$$n = 1.1 \times 10^{-12} s^6 - 2.2 \times 10^{-13} s^5 - 6.45 \times 10^{-9} s^4 - 2.73 \times 10^{-10} s^3 + 3.62 \times 10^{-6} s^2 + 1.99 \times 10^{-6} s + 1.3533$$

其中,变量 $s = \sqrt{y^2 + z^2}$, y 和 z 代表坐标轴 y 轴和 z 轴对应的坐标参量。

6. 如权利要求1或2所述的一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,其特征在于:所述中心折射率恒定区域的尺寸是决定焦斑尺寸的主要因素,边缘渐变折射率区域与中心恒定折射率区域共同决定了渐变折射率流体微透镜的折射率分布,从而实现焦斑尺寸的动态调控。

7. 如权利要求1或2所述的一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,其特征在于:所述芯层流道、包层流道平行布置,且所述包层流道与所述微腔的轴线呈相互垂直布置。

一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法

技术领域

[0001] 本发明属于光学微透镜领域,尤其涉及一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法。

背景技术

[0002] 现有的流体微透镜,通常采用液-液透镜,一般均为片外聚焦型流体微透镜,无法实现片上系统的集成。最近,怀特赛兹教授小组开发了一种可动态调节液-液透镜表面曲率的微透镜,实现了片内焦距可调(Tang, Sindy K.Y.; Stan, Claudiu A.; Whitesides, George M, Dynamically reconfigurable liquid-core liquid-cladding lens in a microfluidic channel, Lab. Chip., 8(2008):395-401, 基于微流体通道的动态可调液体芯层-液体包层透镜,片上实验室, 8(2008):395-401)。然而,利用液-液透镜界面实现的微透镜需要很高的层流速度来保持该曲面的稳定,意味着为保证微透镜的稳定持续的工作,必须不间断注入大流量的液体。

发明内容

[0003] 为了克服已有流体微透镜无法动态调节焦斑、灵活性较差的不足,本发明提供一种可以有效地动态调节焦斑、灵活性良好的基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法。

[0004] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:

[0005] 一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,该焦斑动态调节方法采用片内焦斑动态可调的流体微透镜,所述流体微透镜包括微腔、芯层流道、包层流道和出口流道,所述包层流道与所述微腔的进口的周围一圈均连通,所述芯层流道与芯层入口连通,所述芯层入口的内径比所述微腔的内径小,且所述芯层入口与所述微腔在同一根轴线上,所述芯层入口的出口处与所述包层流道连通且正对所述微腔的进口,所述微腔的出口与所述出口流道连通,所述焦斑动态调节方法包括以下步骤:

[0006] (1)通过所述芯层流道和包层流道,向所述微腔中注入芯层流体和包层流体,所述芯层流体和包层流体彼此之间只存在扩散和对流运动而不发生化学反应,包层流体均衡地环绕着芯层流体,所述芯层流体和包层流体之间不存在相对滑移,所述芯层流体和包层流体是具有不同折射率的两种流体;

[0007] (2)所述微透镜的光束传播方向与流体流动方向一致;

[0008] (3)通过调节流体流速、温度、浓度或微流体种类,控制流体扩散过程,实现对所述微腔中折射率空间分布的调控;

[0009] (4)在流体高流速的情况下,进行焦斑尺寸动态调节:当平均流速和芯层流速大于高流速阈值时,微腔中心的两相流体之间没有足够的时间扩散,这时腔内的折射率分布的中心区域的折射率最高且为恒定值,伴随着微腔边缘区域的渐变折射率分布,形成出射光线焦斑。

[0010] 进一步,所述步骤(3)中,所述扩散对流过程由流体平均速度U和扩散系数D决定,其中扩散系数D受浓度C和温度T影响,因此改变流体平均速度U、浓度C和温度T会对渐变折射率流体微透镜的性能有调控作用。

[0011] 更进一步,所述步骤(3)中,在假定液体温度不变,液体的扩散系数D、浓度C和平均速度U将是扩散对流过程的影响因素,直接决定渐变折射率流体微透镜的聚焦性能。

[0012] 所述步骤(4)中,保持液体温度、质量分数、微流体种类不变,且芯层流速大于 $5 \times 10^3 \text{pL/s}$,得出流速变化对微腔内流体折射率分布的影响,从而实现渐变折射率流体微透镜的焦斑尺寸的动态调节。

[0013] 更进一步,沿着液体流动方向的折射率分布用公式表示为:

$$[0014] \quad n = 1.1 \times 10^{-12} s^6 - 2.2 \times 10^{-13} s^5 - 6.45 \times 10^{-9} s^4 - 2.73 \times 10^{-10} s^3 + 3.62 \times 10^{-6} s^2 + 1.99 \times 10^{-6} s + 1.3533$$

[0015] 其中,变量 $s = \sqrt{y^2 + z^2}$,y和z代表坐标轴y轴和z轴对应的坐标参量;

[0016] 所述中心折射率恒定区域的尺寸是决定焦斑尺寸的主要因素,边缘渐变折射率区域与中心恒定折射率区域共同决定了渐变折射率流体微透镜的折射率分布,从而实现焦斑尺寸的动态调控。

[0017] 所述芯层流道、包层流道平行布置,且所述包层流道与所述微腔的轴线呈相互垂直布置。

[0018] 本发明的技术构思为:与上述液-液透镜相比,渐变折射率流体微透镜(L-GRIN)基于不同折射率层流的扩散和对流原理工作,而不是依赖于固定的液-液曲面,因此不需要高层流速度,经证实对液体的消耗量比液-液透镜少了100多倍。并且L-GRIN微透镜是通过动态调节流体条件,而非改变微透镜表面曲率来实现折射率渐变的,因此其光学特性实时可调谐。从原理上来看,渐变折射率流体微透镜(L-GRIN)有可能实现片内焦距动态可调。

[0019] 本发明的有益效果主要表现在:能有效地动态调控焦距、调控灵活性好。

附图说明

[0020] 图1是片内焦距与焦斑动态可调的流体微透镜的结构图,其中,x、y、z代表坐标轴,x轴方向代表流体流动方向、同时也是入射光束传播方向,yoz代表垂直光轴的截面,xoy代表包含光轴的截面。

[0021] 图2是片内焦距与焦斑动态可调的流体微透镜的截面图。

[0022] 图3是沿着液体流动方向的不同横截面的折射率分布图。

[0023] 图4是模拟的数据和拟合的曲线图。

具体实施方式

[0024] 下面结合附图对本发明做进一步说明。

[0025] 参照图1~图4,一种基于渐变折射率流体微透镜的焦斑动态调节方法,该焦斑动态调节方法采用片内焦斑动态可调的流体微透镜,所述流体微透镜包括微腔1、芯层流道2、包层流道3和出口流道4,所述包层流道3与所述微腔1的进口的周围一圈均连通,所述芯层流道2与芯层入口5连通,所述芯层入口5的内径比所述微腔1的内径小,且所述芯层入口5与

所述微腔1在同一根轴线上,所述芯层入口5的出口处与所述包层流道3连通且正对所述微腔1的进口,所述微腔1的出口与所述出口流道4连通,所述焦斑动态调节方法包括以下步骤:

[0026] (1)通过所述芯层流道和包层流道,向所述微腔中注入芯层流体和包层流体,所述芯层流体和包层流体彼此之间只存在扩散和对流运动而不发生化学反应,包层流体均衡地环绕着芯层流体,所述芯层流体和包层流体之间不存在相对滑移,所述芯层流体和包层流体是具有不同折射率的两种流体;

[0027] (2)所述微透镜的光束传播方向与流体流动方向一致;

[0028] (3)通过调节流体流速、温度、浓度或微流体种类,控制流体扩散过程,实现对所述微腔中折射率空间分布的调控;

[0029] (4)在流体高流速的情况下,进行焦斑尺寸动态调节:当平均流速和芯层流速大于高流速阈值时,微腔中心的两相流体之间没有足够的时间扩散,这时腔内的折射率分布的中心区域的折射率最高且为恒定值,伴随着微腔边缘区域的渐变折射率分布,形成出射光线焦斑。

[0030] 进一步,所述步骤(3)中,所述扩散对流过程由流体平均速度U和扩散系数D决定,其中扩散系数D受浓度C和温度T影响,因此改变流体平均速度U、浓度C和温度T会对渐变折射率流体微透镜的性能有调控作用。

[0031] 更进一步,所述步骤(3)中,在假定液体温度不变,液体的扩散系数D、浓度C和平均速度U将是扩散对流过程的影响因素,直接决定渐变折射率流体微透镜的聚焦性能。

[0032] 所述步骤(4)中,保持液体温度、质量分数、微流体种类不变,且芯层流速大于 5×10^3 pL/s,得出流速变化对微腔内流体折射率分布的影响,从而实现渐变折射率流体微透镜的焦斑尺寸的动态调节。

[0033] 更进一步,沿着液体流动方向的折射率分布用公式表示为:

$$[0034] \quad n = 1.1 \times 10^{-12} s^6 - 2.2 \times 10^{-13} s^5 - 6.45 \times 10^{-9} s^4 - 2.73 \times 10^{-10} s^3 + 3.62 \times 10^{-6} s^2 + 1.99 \times 10^{-6} s + 1.3533$$

[0035] 其中,变量 $s = \sqrt{y^2 + z^2}$, y和z代表坐标轴y轴和z轴对应的坐标参量。

[0036] 所述中心折射率恒定区域的尺寸是决定焦斑尺寸的主要因素,边缘渐变折射率区域与中心恒定折射率区域共同决定了渐变折射率流体微透镜的折射率分布,从而实现焦斑尺寸的动态调控。

[0037] 所述芯层流道2、包层流道3平行布置,且所述包层流道3与所述微腔1的轴线呈相互垂直布置。

[0038] 本实施例中,芯层液体和包层液体分别注入通过芯层入口5和包层入口,分别通过出口流出。流体微透镜的主要部分是一个微型圆柱腔,圆柱腔内的流体的扩散和对流过程将会出现渐变折射率分布。流体微透镜的截面设计如图2,入口直径设计为 $50 \mu\text{m}$,包层进口的直径设计为 $150 \mu\text{m}$ 。乙二醇溶液(芯层液体)与去离子水(DI,包层液体)同时注入腔体,xoy截面上轴对称的渐变折射率分布:近轴折射率最大,沿着腔中心轴线方向和垂直轴线方向的折射率分布渐变减小。

[0039] 采用有限元法(FEM)和光线追迹法来模拟和优化参数。器件的折射率分布可以通

过模拟和计算两相流体扩散和对流过程稳定后在微腔中的浓度获得。在微腔内,流体的扩散和对流影响了流体微透镜的折射率分布,对流扩散过程, $U=(Q_{\text{core}}+Q_{\text{clad}})/R^2\pi$ 代表腔体的流体速度, Q_{core} 和 Q_{clad} 分布代表芯层和包层的流速, R 为包层流体的直径。

[0040] 因为扩散对流过程的决定性因素包括流体平均速度 U 和扩散系数 D ,而扩散系数又受浓度 C 和温度 T 的影响,因此改变流体平均速度 U 、浓度以及温度,会对流体微透镜的性能有很重要的调节作用。例如,乙二醇溶液中的质量分数由0.025变为0.95时,去离子水和乙二醇之间的扩散系数从 $3.75 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ 变为 $1.17 \times 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ 。另外,乙二醇质量分数为0.8不变,当温度变化从30℃到50℃时,液体的扩散系数从 $3.15 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ 变为 $6.45 \times 10^{-10} \text{m}^2/\text{s}$ 。因此在假定液体的温度不变的前提下,液体的扩散系数 D 、浓度 C 和平均速度 U 将是扩散对流过程的主要影响因素,其直接决定了微透镜的聚焦性能。假设将去离子水和乙二醇溶液分别选为包层和芯层液体,并且假定包层芯层液体流速相同无相对滑移进行计算。高流速可以实现焦斑大小的调节。因此,输出光束的焦斑可以通过调节流体的速度来实现。

[0041] 在平均流速和芯层流速足够高的情况下,微腔中心流速两相流体并没有足够的时间扩散。这时腔内的折射率分布将会有一种特殊的现象,即中心区域的折射率保持最高并且为恒定值。这种情况下,中心区域的折射率不会对入射光线有有效的聚焦作用。这时的入射光线通过微透镜的折射率不变的中心区域时,伴随着边缘的渐变折射率的聚焦作用,将产生一个较大的出射光线焦斑。主要分析这种复杂的折射率分布对光线焦斑的影响,包括流速足够高且两相流体无相对滑移和流速相对较低且两相流体有相对滑移两种情况。为了控制可变因素,保持包层流速不变为 $40 \times 10^3 \text{pL}/\text{s}$,芯层的流速变化从 $2 \times 10^3 \text{pL}/\text{s}$ 到 $50 \times 10^3 \text{pL}/\text{s}$ 步长为 $5 \times 10^3 \text{pL}/\text{s}$ 。图3展示了沿着液体流动方向的不同横截面的折射率分布情况,位置分别为 $x=50\mu\text{m}, 100\mu\text{m}, 150\mu\text{m}, 200\mu\text{m}$ 和 $250\mu\text{m}$ 。仿真结果显示,沿着液体流动方向折射率几乎不发生变化,这验证了前面的假设。在芯层流速保持 $Q_{\text{core}}=25 \times 10^3 \text{pL}/\text{s}$ 不变时,图3给出了中心折射率不变的区域宽度为 $24\mu\text{m}$ 。这个折射率不变的区域半径直接决定了出射光线的焦斑半径。渐变折射率分布曲线的半高宽和中心区域的宽度与芯层流速有直接关系。边界的扩散区域与芯层折射率不变的区域共同决定了折射率分布,从而调控焦距与焦斑的状态。同时发现,当芯层流速大于 $10 \times 10^3 \text{pL}/\text{s}$ 时,流速对焦斑和焦距的调节也变得缓慢。因此,在此范围内可以有效控制焦斑的大小。

[0042] 采用六级多项式作为拟合曲线。由图3可以看出,入射和出口的折射率分布并没有明显的变化。这个折射率分布可以表达为:

$$[0043] \quad n=1.1 \times 10^{-12} s^6 - 2.2 \times 10^{-13} s^5 - 6.45 \times 10^{-9} s^4 - 2.73 \times 10^{-10} s^3 + 3.62 \times 10^{-6} s^2 + 1.99 \times 10^{-6} s + 1.3533$$

[0044] 其中,变量 $s = \sqrt{y^2 + z^2}$, y 和 z 代表图1所示坐标轴 y 轴和 z 轴 对应的坐标参量;图4给出了模拟的数据和拟合的曲线。通过光线追迹法,模拟了入射光线经过器件的过程和聚焦效果。结果显示焦斑大小为 $23.5\mu\text{m}$,焦距为 $235.3\mu\text{m}$ 。这种可以调整焦斑大小的能力在片上聚焦以及检测系统有着十分重要的应用。

[0045] 本实施例的流体微透镜,调控乙二醇(芯层液体)的质量分数和两种液体的流速是改变输出光束的焦距的有效方法:当质量分数从0.05提升到0.4的过程中,焦距从 $942\mu\text{m}$ 减小到 $11\mu\text{m}$;当保持流速不变时,通过将芯层流速从 $0.5 \times 10^3 \text{pL}/\text{s}$ 增加至 $5 \times 10^3 \text{pL}/\text{s}$,微透镜

焦距变化从 $127.1\mu\text{m}$ 降至 $8\mu\text{m}$ 。并且,当保持包层流速较大时,通过增加芯层的流速可以有效调整出射焦斑的大小。

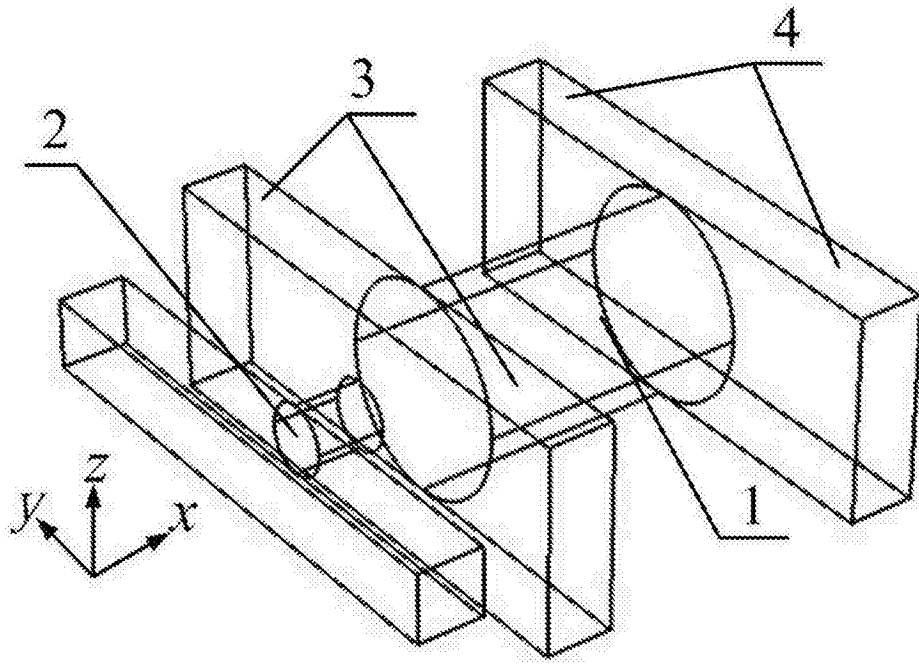


图1

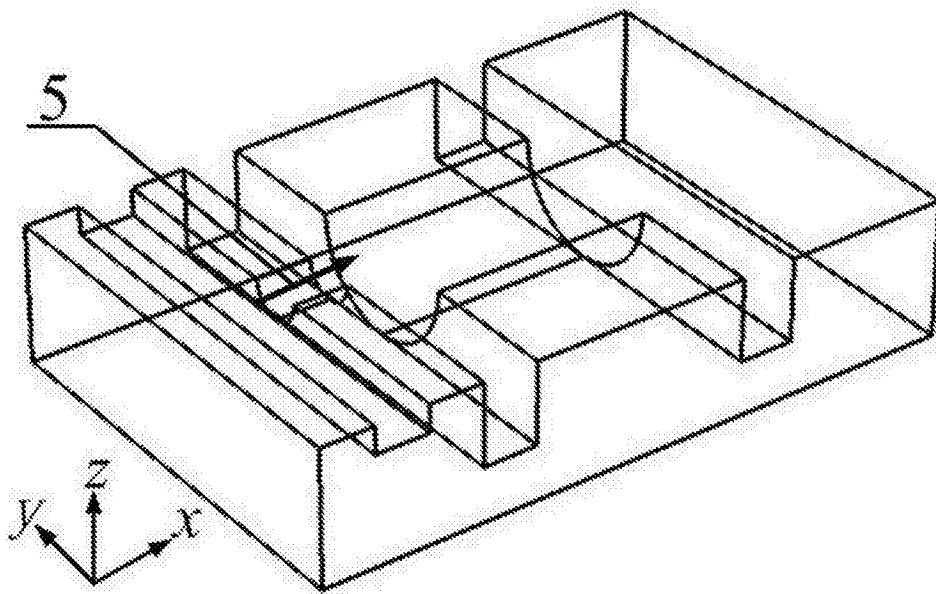


图2

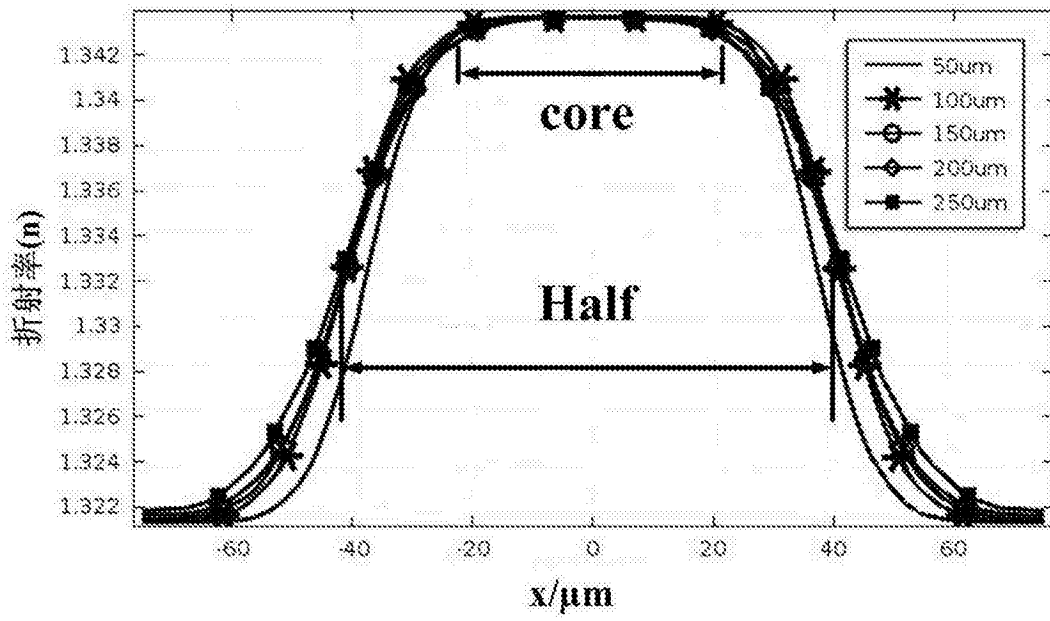


图3

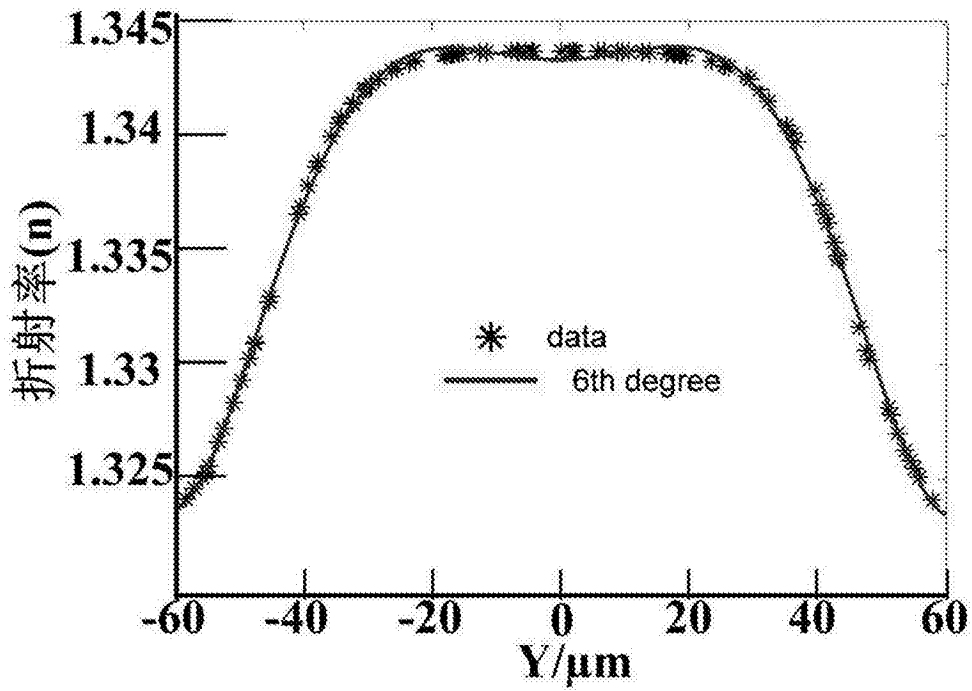


图4