



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105911619 B

(45)授权公告日 2017.12.19

(21)申请号 201610398866.1

C03B 20/00(2006.01)

(22)申请日 2016.06.07

C03B 33/06(2006.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

C03C 3/06(2006.01)

申请公布号 CN 105911619 A

C03C 17/245(2006.01)

C03C 15/00(2006.01)

(43)申请公布日 2016.08.31

审查员 陈春艳

(73)专利权人 长飞光纤光缆股份有限公司

地址 430074 湖北省武汉市东湖新技术开发区光谷大道九号

(72)发明人 毛召召 熊良明 罗杰 郭飞  
郭王欢

(74)专利代理机构 武汉臻诚专利代理事务所  
(普通合伙) 42233

代理人 郝新慧

(51) Int. Cl.

G02B 3/00(2006.01)

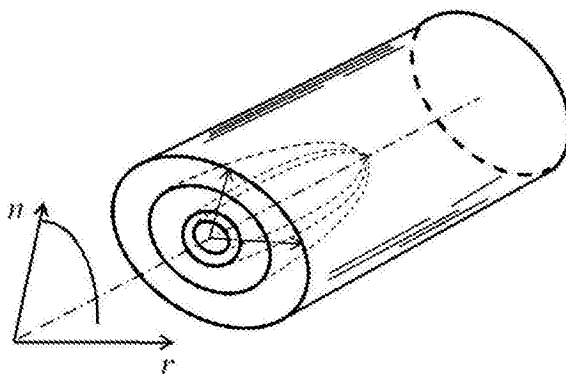
权利要求书1页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种梯度折射率石英玻璃透镜

(57)摘要

本发明属于光学器件技术领域,公开了一种梯度折射率石英玻璃透镜,在其内部沿径向方向折射率连续减小或连续增大,折射率相对于透镜的对称轴呈圆对称分布,实现与纯石英玻璃折射率相比的最大折射率差为 $\pm 0.08$ ,所述透镜不含有害的铊、铅重金属元素,未镀增透膜情况下,紫外-可见-红外透光率最大可达91%,透镜长度范围为1~50mm,直径范围为0.1~50mm。



1. 一种梯度折射率石英玻璃透镜,其特征在于,在其内部沿径向方向折射率连续减小或连续增大,折射率相对于透镜的对称轴呈圆对称分布,与纯石英玻璃折射率相比的最大折射率差为 $\pm 0.08$ ,未镀增透膜情况下,紫外-可见-红外透光率最大可达91%,所述透镜的长度范围为1~50mm,直径范围为0.1~50mm。

2. 根据权利要求1所述的梯度折射率石英玻璃透镜,其特征在于,在折射率区间 $[n_{\text{SiO}_2} - 0.08, n_{\text{SiO}_2} + 0.08]$ 内,其径向方向上任一位置处的折射率与该位置到中心轴的距离之间可以表示为任意多项式型的关系,其中 $n_{\text{SiO}_2}$ 为纯石英的折射率。

3. 根据权利要求2所述的梯度折射率石英玻璃透镜,其特征在于,所述任意多项式型的关系包括三角函数型、直线型、抛物线型、高次曲线型中的一种或几种组合。

4. 根据权利要求1或2所述的梯度折射率石英玻璃透镜,其特征在于,在径向方向上任一位置处的折射率 $n$ 满足以下方程:

$$n(r) = \left| \sum_{i=0} k_i r^i \right|$$

其中, $r$ 为径向方向上所述位置到中心轴的距离, $i=0,1,2,\dots$ 。

5. 根据权利要求4所述的梯度折射率石英玻璃透镜,其特征在于,当 $i=0$ 时,为纯石英玻璃透镜,折射率在径向方向上相同。

6. 根据权利要求4所述的梯度折射率石英玻璃透镜,其特征在于,当 $i=2, k_1=0$ 时, $n(r) = k_0 + k_2 r^2$ ,折射率在径向方向上为抛物线型。

7. 根据权利要求1或2所述的梯度折射率石英玻璃透镜,其特征在于,其径向截面为圆形。

8. 根据权利要求1或2所述的梯度折射率石英玻璃透镜,其特征在于,其入射及发射端面为平面、球面或非球面。

9. 根据权利要求1或2所述的梯度折射率石英玻璃透镜,其特征在于,其组成为掺杂有Ge、F、P、B中一种或多种元素的石英玻璃。

## 一种梯度折射率石英玻璃透镜

### 技术领域

[0001] 本发明属于光学器件技术领域,更具体地,涉及一种梯度折射率石英玻璃透镜。

### 背景技术

[0002] 梯度折射率 (GRIN) 透镜,是指材料内部折射率沿某一方向连续变化的光学透镜,梯度折射率分布类型有三种:径向梯度折射率、轴向梯度折射率、球面梯度折射率。径向梯度折射率透镜应用范围最广、最受关注,其中折射率沿径向连续减小,且光能够汇聚为一点的称为自聚焦透镜;折射率沿径向连续增大,对光起发散作用的称为自散焦透镜。自聚焦和自散焦透镜光路示意图分别如图1和图2,光线在其中逐步汇聚或发散。梯度折射率透镜具有准直、聚焦、发散、耦合及成像等特性,并能有效减少单色像差,包括球差、像差、畸变、场曲和像散,加上它柱状小巧的外形特点,可以在多种不同的微型光学系统中更加方便的使用。梯度折射率透镜是光通讯无源器件中必不可少的基础元器件,并在集成光学领域如微型光学系统、准直器、激光器、光开关、医用光学仪器、光学复印机、传真机、扫描仪等设备有着广泛的应用。

[0003] 透镜按材质分类主要有玻璃和塑料两大类。塑料镜片易于成型、质量轻、成本低且使用广泛,但受到塑料材质先天致命缺点的影响,如热膨胀、易吸水、不耐有机溶剂、光学系数范围窄且易随温度变化等缺点,仍难以取代玻璃镜片在光学产品中的应用。光学玻璃由于其优异的透光性能和热膨胀、折射率方面的特性,在高层次的产品中仍然占据主导地位。随着精密光学系统的发展,梯度折射率玻璃应用也越来越广,光学系统对梯度折射率玻璃的折射率分布和玻璃质量都提出了更高的要求。

[0004] 从关于梯度折射率玻璃透镜的专利分布来看,较多是基于梯度折射率透镜在光器件中的应用展开的,而透镜制备技术并不多,可见梯度折射率透镜应用广而有效的制备手段少。制备梯度折射率玻璃透镜的常用方法包括:离子交换法、溶胶凝胶法、中子辐照法、体扩散法和化学气相沉积等。

[0005] 离子交换方法是最早用来制备梯度折射率玻璃的方法,利用金属离子浓度差异作用下的扩散性,离子迁移形成梯度折射率分布。离子交换有两种方式:(1)熔体中的离子交换。熔融玻璃拉丝法是一种一次成型的工艺,熔融的玻璃液澄清均化后,从下方挤出,成一定直径的玻璃棒,为了获得梯度折射率,在玻璃液中心一定深度注入另一种组分玻璃液,经过一定的离子扩散后,从下方挤出成型。专利CN1495139A中介绍了一种双层熔体结构,通过离子扩散获得梯度折射率棒状透镜的方法。此法离子自由扩散形成梯度折射率,很难控制且易产生污染,从喷嘴口挤出时,容易发生反玻璃化,因此成品率较低,加之无法制备大体积原件、工序复杂、制作成本高,显然不能满足对梯度折射率光学玻璃性能、产量的要求。(2)固态下的离子交换。专利US6845634B2中将直径1.8mm掺有铈元素的玻璃棒,放置在硝酸钾的盐浴锅中,560℃加热68~72小时,离子交换而形成抛物线型的折射率分布。此法样品必须有着较小的尺寸,才能达到一定的离子扩散深度,花费时间长,成品率低,对折射率分布的控制能力有限。

[0006] 溶胶凝胶法以金属醇盐为原料,使之形成凝胶后干燥烧结制得梯度折射率玻璃体,但该法制备的玻璃体较脆、透明度较差,且生产周期长。体扩散法是将不同折射率的玻璃块体,按折射率分布放置,并在一定热处理条件下使界面融合,以获得梯度折射率分布。该法可获得大尺寸元件,且初始折射率分布易于控制,但只能制备轴向梯度折射率透镜,不能设计径向折射率分布。

[0007] 化学气相沉积利用化学反应在管内或衬底上沉积玻璃,控制原料浓度以控制折射率分布,该法控制精确,但操作困难,生产温度高、周期长。

[0008] 专利TW200641403A介绍了一种离子注入法,以透镜为基体,金属单质在电场下离子化,加速进入透镜,形成离子浓度梯度分布,获得梯度折射率透镜。该法能直接在透镜中形成梯度折射率,控制较为精确,但折射率只能沿轴向分布,且深度较浅,高能离子化对设备要求较高。专利US005630857A介绍了一种多层不同密度玻璃熔体堆叠的方法,高密度熔体在下方,低密度熔体依次倾倒在上方,由密度差获得梯度折射率差。此法仅适合一个方向的梯度折射率玻璃,且过程较难控制,单层折射率分布不均匀。

[0009] 综上所述,现有梯度折射率玻璃透镜制备技术仍存在较多问题,包括很难实现折射率径向均匀变化的精确控制,较多工艺仅能达到单侧或轴向折射率分布,不能实现折射率的圆对称分布。主流的离子交换工艺,在离子交换的过程中,控制温度、时间及离子浓度、电场等参数,径向折射率分布以抛物线形为主,折射率分布类型有限,离子交换时间长,仅在样品尺寸较小时起效,制备大尺寸透镜有着很大的限制,且玻璃中的铊、铅等重金属成分对人体有害。

## 发明内容

[0010] 针对现有技术中存在的问题,本发明提供了一种梯度折射率石英玻璃透镜,旨在提供包括径向折射率渐变减小的石英玻璃透镜和径向折射率渐变增大的石英玻璃透镜,解决现有技术中石英玻璃透镜不具有良好光学性能的技术问题。

[0011] 为了实现上述目的,本发明提供了一种梯度折射率石英玻璃透镜,在其内部沿径向方向折射率连续减小或连续增大,折射率相对于透镜的对称轴呈圆对称分布,与纯石英玻璃折射率相比的最大折射率差为 $\pm 0.08$ ,所述透镜的长度范围为1~50mm,直径范围为0.1~50mm。

[0012] 在本发明的一个实施例中,在折射率区间 $[n_{\text{SiO}_2} - 0.08, n_{\text{SiO}_2} + 0.08]$ 内,所述梯度折射率石英玻璃透镜在径向方向上任一位置处的折射率与该位置到中心轴的距离之间可以表示为任意多项式型的关系,其中 $n_{\text{SiO}_2}$ 为纯石英的折射率。

[0013] 在本发明的一个实施例中,所述任意多项式型的关系包括三角函数型、直线型、抛物线型、高次曲线型中的一种或几种组合。

[0014] 在本发明的一个实施例中,所述梯度折射率石英玻璃透镜在径向方向上任一位置处的折射率 $n$ 满足以下方程:

$$[0015] \quad n(r) = \left| \sum_{i=0} k_i r^i \right|$$

[0016] 其中, $r$ 为径向方向上所述位置到中心轴的距离, $i=0,1,2,\dots$ 。

[0017] 在本发明的一个实施例中,当 $i=0$ 时,所述梯度折射率石英玻璃透镜为纯石英玻

璃透镜,折射率在径向方向上相同。

[0018] 在本发明的一个实施例中,当 $i=2, k_1=0$ 时, $n(r)=k_0+k_2r^2$ ,所述梯度折射率石英玻璃透镜的折射率在径向方向上为抛物线形。

[0019] 在本发明的一个实施例中,所述梯度折射率石英玻璃透镜的径向截面为圆形。

[0020] 在本发明的一个实施例中,所述梯度折射率石英玻璃透镜的入射及发射端面为平面、球面或非球面。

[0021] 在本发明的一个实施例中,所述梯度折射率石英玻璃透镜的组成为掺杂有Ge、F、P、B中一种或多种元素的石英。

[0022] 与现有产品相比,本发明提供的梯度折射率石英玻璃透镜,具有以下有益效果:

[0023] 1、本发明实施例提供的梯度折射率石英玻璃透镜,实现不同的剖面折射率分布,同时径向方向上折射率控制更为精确,有着更好的使用效果。

[0024] 2、本发明实施例提供的梯度折射率石英玻璃透镜,与通用的石英光纤材质相同,匹配度高,损耗低;其直径范围为 $0.1\sim 50\text{mm}$ ,透镜尺寸范围远超一般梯度折射率透镜,降低了在某些光学器件的使用要求,适应大尺寸应用场合。

[0025] 3、本发明实施例提供的梯度折射率石英玻璃透镜,其掺杂元素不含铊、铅等有毒重金属离子,制备时间相对较短、且单次生产量大,能大大提高其效率。

[0026] 4、本发明实施例提供的梯度折射率石英玻璃透镜,通过熔缩及拉制都能制备圆柱状玻璃,直接径向切片,横截面抛光即能得到梯度折射率透镜,加工简单。

## 附图说明

[0027] 图1为平行光入射自聚焦玻璃透镜光路示意图;

[0028] 图2为平行光入射自散焦玻璃透镜光路示意图;

[0029] 图3为本发明实施例中GRIN棒径向折射率分布示意图;

[0030] 图4为一种梯度折射率透镜及折射率分布示意图;

[0031] 图5为两种类型的径向折射率分布示意图;

[0032] 图6为本发明实施例一所述的自聚焦石英玻璃透镜折射率分布图;

[0033] 图7为本发明实施例一所述的自聚焦石英玻璃透镜透光率图;

[0034] 图8为本发明实施例三所述的自散焦石英玻璃透镜折射率分布图。

## 具体实施方式

[0035] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0036] 在梯度折射率玻璃透镜制造过程中的主要控制要素为:折射率分布均匀性及玻璃品质。在几种方法中,化学气相沉积是一种折射率精确控制的方法,本发明采用等离子体化学气相沉积(Plasma Chemical Vapor Deposition, PCVD)方法沉积梯度折射率石英玻璃,该方法中炉体温度更低,相比其他方法可以节省能耗。本发明方法中,微波腔产生的高频微波使 $\text{O}_2$ 电离形成等离子体,原料分子受电子碰撞而分解电离,并反应沉积在衬管内壁。随着

谐振腔周期性的轴向运动,控制原料中Ge、F、P、B元素含量,沉积出一层层折射率渐变的玻璃层,从而实现折射率径向上对称的均匀梯度分布。熔缩得到的实心GRIN棒,裂纹、气泡等缺陷少,透镜品质高。控制沉积时间及玻璃棒拉细的程度,能够获得不同直径的圆柱形GRIN棒,直接切片即可制备不同尺寸的梯度折射率玻璃透镜。该工艺流程直接获得使用所需直径的透镜,再切割成不同的厚度,加工简便,效率高。

[0037] 可以通过如下制备方法得到本发明的梯度折射率石英玻璃,步骤主要包括六部分:沉积、熔缩、腐蚀、拉细、切割及抛光,具体地:

[0038] (1) 沉积:气体原料输运进入PCVD石英衬管中,衬管外径20~100mm。微波谐振腔内使得O<sub>2</sub>电离,在900~1500℃温度下沉积玻璃层,控制Ge、F、P、B元素含量以获得连续变化的折射率分布。对石英玻璃而言,Ge是提高折射率的成分,F、P、B则会降低折射率。初始F、P、B元素含量多Ge元素含量少,随着沉积进行F、P、B元素含量逐渐减少Ge元素含量逐渐增多,最终可形成中心折射率高,径向折射率逐渐降低的折射率分布。反之,则为中心折射率低,径向折射率逐渐升高的折射率分布。

[0039] 上述提供Ge、F、P、B元素的成分可以为GeCl<sub>4</sub>、PCl<sub>3</sub>、POCl<sub>3</sub>、PF<sub>3</sub>、BCl<sub>3</sub>、BF<sub>3</sub>、C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、CF<sub>4</sub>、SF<sub>6</sub>。出于原料安全考虑,BF<sub>3</sub>、PCl<sub>3</sub>、PF<sub>3</sub>不予使用,以SiCl<sub>4</sub>质量含量为一个单位,其他组分含量分别为:GeCl<sub>4</sub>:0~50%,POCl<sub>3</sub>:0~10%,BCl<sub>3</sub>:0~10%,C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>+CF<sub>4</sub>+SF<sub>6</sub>:0~40%,O<sub>2</sub>:100%~200%。沉积时间6~20小时,沉积玻璃层数共1000~100000层,单层厚度范围10nm~10μm。原料组成与折射率值之间由公式表示,通过校正实际测试折射率值与设定值之间的偏差,调整组分比例,使得实际折射率愈趋近于设定值。

[0040] (2) 熔缩:衬管中心无法沉积至封闭状态,将衬管转移至熔缩炉熔缩,在1500~2500℃高温下,管内部保持一定负压,使玻璃管在内外压差及表面张力的作用下产生收缩,衬管内径逐渐缩小至完全消失得到GRIN棒。熔缩过程中,层间离子扩散使得折射率更加趋于连续渐变。熔缩过程中,衬管不停旋转,防止软化时衬管弯曲,旋转频率10~100r/min,熔缩完成后,GRIN棒直径10~50mm。

[0041] 图3为GRIN棒径向折射率分布示意图,其方程为:

$$[0042] \quad n(r) = n_0 \left( 1 - \frac{(\sqrt{A}r)^2}{2} \right)$$

[0043] 式中,n<sub>0</sub>:表示自聚焦透镜的中心折射率

[0044] r:表示自聚焦透镜的半径

[0045]  $\sqrt{A}$ :表示自聚焦透镜的折射率分布常数

$$[0046] \quad n(r) = \left| \sum_{i=0} k_i r^i \right|$$

[0047] 在折射率分布通式中,i=2,k<sub>1</sub>=0,k<sub>2</sub>=-A/2,折射率即为抛物线形分布。

[0048] (3) 腐蚀:由于PCVD沉积在衬管内部进行,所以熔缩后,最外层为非梯度折射率区域,对中心有效区域能起到保护作用,避免化学或物理损害。折射率测试能够确定GRIN棒芯包层大小,可根据实际需求腐蚀部分外表面或不腐蚀,以获得合适的芯包比。

[0049] (4) 拉细:将GRIN棒竖直悬吊于高温炉内,炉内下方温度1000~2200℃,玻璃逐渐熔融后流下,经过800~1200℃保温炉,控制一定的下拉速度及进给量,能够准确调控GRIN

棒直径,拉制直径越小,拉制速度越快,最快速度能达到2000m/min,拉细后直径0.1~10mm,将GRIN棒截断成0.1~3m长度的短棒收集。与纯石英折射率( $n_{\text{SiO}_2}$ )相比,最大折射率差 $\Delta n$ 为 $\pm 0.08$ ,折射率变化区间为 $[n_{\text{SiO}_2} - 0.08, n_{\text{SiO}_2} + 0.08]$ , $\sqrt{A}$ 最大为0.535。

[0050] (5) 切割:将未拉制及已经拉制过的GRIN棒沿径向切割,不同直径的GRIN棒切割成不同长度的预型透镜。中心与外层折射率差一定时,直径越小,折射率曲率越大,折光效应越显著,需要相对较短的长度实现光的汇聚与发散。根据实际折射率分布来切割长度,优选的长度范围1~50mm。

[0051] 对于抛物线形折射率分布的自聚焦石英透镜,根据不同波长下的使用需求,切割成不同的长度。测试使用波长下的折射率随半径分布曲线,计算折射率梯度常数 $\sqrt{A}$ 。“节距”P指占光线在透镜中传播正弦波周期数值,一般为1/4周期左右,即平行光第一次与光轴相交,同样根据透镜长度,也可为1/4+n/2个正弦波周期。根据设定好的“节距”,由下式计算透镜所需长度:

$$[0052] \quad L = \frac{2\pi P}{\sqrt{A}}$$

[0053] 同样,也能够计算透镜焦距:

$$[0054] \quad f = \frac{1}{n_0 \sqrt{A} \sin(\sqrt{A}L)}$$

[0055] (6) 抛光:由于GRIN透镜实际传光区域不包含衬管熔缩而成的外层,外层可以起到保护作用,GRIN棒侧表面已经为光滑的镜面,不需要做过多处理,切割成的柱状的预型透镜后,需要对切割截面进行处理,切削抛光得到平面透镜、球面透镜或非球面透镜。

[0056] 图4为一种抛物线形折射率分布的自聚焦透镜示意图,径向截面上中心轴距离r处折射率呈圆对称,平行入射光线在中心汇聚。一般自聚焦透镜以多元组分的硼硅酸盐为主,主要原因是该类玻璃形成温度低,易于制备,特别是对于离子交换法,高温下离子交换时间长,需要样品有着相对较低的软化温度,离子才能更好的移动以形成折射率差。而石英玻璃熔融温度高,显然,离子交换法不适宜制备石英玻璃材质的梯度折射率透镜。但同时,石英光学玻璃相比一般组分的光学玻璃,有着极大的优势,具有更好的透光率,具有更好的耐高温性能,硬度高、耐磨、耐腐蚀、耐热震性,有着更小的热膨胀系数,在光通信1310nm、1550nm波段中有着更低的衰减系数,在恶劣工作场合下,石英玻璃是获得高稳定光学参数必不可少的材料。

[0057] 常见的离子交换法,通过控制外界离子浓度、加热温度、时间等间接参数控制离子扩散分布,人为很难准确调控折射率,折射率一般随径向表现为近似抛物线形分布。离子交换法制备的透镜尺寸小,直径在数毫米以下,多采用铈、铅等有害重金属离子进行交换,且离子交换时间长、效率低。PCVD法能够精确控制纳米级厚度玻璃层掺杂元素含量,手段更为直接,并根据需要,可以实现三角函数型、直线型、抛物线型、三次曲线型或其他高次曲线型或多种曲线组合而成的折射率分布,总之,在我们所能达到的折射率区间内,能够实现所需的任意折射率分布。如图5折射率分布示意图中,1为抛物线形折射率分布,2为线性分布。

[0058] 进一步地,为了制备本发明实施例提供的梯度折射率石英玻璃透镜,以下给出了几种制备过程的实施例:

## [0059] 实施例一

[0060] (1) 直径31mm的石英玻璃衬管,厚2mm,安装在PCVD设备上,通入 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{GeCl}_4$ 、 $\text{O}_2$ 气体,炉体加热温度1100℃,在高频微波作用下开始沉积,初始 $\text{C}_2\text{F}_6$ 含量处于最大值, $\text{GeCl}_4$ 含量处于最小值,随后 $\text{C}_2\text{F}_6$ 用量逐渐降低, $\text{GeCl}_4$ 用量逐渐升高,一定阶段 $\text{C}_2\text{F}_6$ 降为0,继续通入 $\text{GeCl}_4$ 沉积,全过程沉积8个小时,PCVD自动结束完成整个沉积过程。

[0061] (2) 沉积完成后,转移衬管至熔缩炉,在2100℃下熔缩,衬管以40r/min速度旋转,设定温度程序,从中间开始形成密封后,向两侧扩展,至中心孔道完全闭合,熔缩成直径25mm的GRIN棒。折射率曲线如图6,折射率呈现水平的区域为衬管部分,中心区域是折射率表现为抛物线型的自聚焦透镜部分,直径19mm。初始通入较多量的 $\text{C}_2\text{F}_6$ ,折射率存在断崖式降低,随后 $\text{C}_2\text{F}_6$ 含量逐渐降低, $\text{GeCl}_4$ 含量逐渐增加,折射率呈抛物线型上升,最后阶段持续加大 $\text{GeCl}_4$ 用量进一步提高折射率。中心抛物线部分,折射率随径向分布方程为:

$$[0062] \quad n(r) = n_0 \left( 1 - \frac{(\sqrt{A}r)^2}{2} \right)$$

[0063] 其中, $n_0 = 1.4786$ , $\sqrt{A} = 0.0242 \text{cm}^{-1}$ 。

[0064] (3) 将GRIN棒腐蚀至直径21mm,得到0.9芯包比的GRIN棒,清洗为拉细工序做准备。

[0065] (4) 将腐蚀好的GRIN棒转移拉细,GRIN棒竖直吊在炉体内部,炉体下方温度1800℃,棒下端熔融变细并掉落,经过800℃保温炉,再经过冷却室,通过控制下方施加拉力及进给量调整得到直径2mm的细GRIN棒,拉制速度50m/min。GRIN棒拉细后,中心与外层之间折射率差值基本不变,由于直径变小, $\sqrt{A}$ 值增大。

[0066] (5) 将长的细GRIN棒切割成2~20mm不等的预型透镜,端面抛光成平行镜面,即为梯度折射率自聚焦玻璃透镜。选取直径10mm未镀增透膜的GRIN透镜测试透光率,如图7,紫外-可见-红外均有着较高透光率,最大透光率为91%。

## [0067] 实施例二

[0068] (1) 直径35mm的石英玻璃衬管,厚3mm,安装在PCVD设备上,通入 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{C}_2\text{F}_6$ 、 $\text{SF}_6$ 、 $\text{O}_2$ 气体,炉体加热温度1100℃,在高频微波作用下开始沉积,生成F掺杂 $\text{SiO}_2$ ,降低折射率。最初通入少量的 $\text{C}_2\text{F}_6 + \text{SF}_6$ ,沉积缓冲层,一段时间后,将 $\text{C}_2\text{F}_6 + \text{SF}_6$ 用量调至最大,随后 $\text{C}_2\text{F}_6 + \text{SF}_6$ 含量逐渐降低, $\text{GeCl}_4$ 含量逐渐增加,沉积8个小时,完成整个沉积过程。

[0069] (2) 沉积完成后,转移衬管至熔缩炉,在2100℃下熔缩,衬管以60r/min速度旋转,设定温度程序,从中间开始形成密封后,向两侧扩展,至中心孔道完全闭合,熔缩成直径30mm的GRIN棒。

[0070] (3) 将该GRIN棒切割成长度10~50mm不等的预型透镜,端面抛光成镜面,即为 $\Phi 30$ 大尺寸的梯度折射率自聚焦玻璃透镜。中心抛物线型区域为符合条件的梯度折射率区域,周围部分可以切除掉,也可以作为透镜封装区域,起到固定的作用。

## [0071] 实施例三

[0072] (1) 直径50mm的石英玻璃衬管,厚4mm,安装在PCVD设备上,通入 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{GeCl}_4$ 、 $\text{O}_2$ 气体,炉体加热温度1200℃,在高频微波作用下开始沉积,生成Ge掺杂 $\text{SiO}_2$ ,初始通入 $\text{GeCl}_4$ 含量逐渐增加,折射率提高。沉积2个小时后, $\text{GeCl}_4$ 用量到一定值时,又逐渐降低,与此同时逐渐添加 $\text{C}_2\text{F}_6 + \text{CF}_4 + \text{POCl}_3$ ,后续沉积时间8个小时,最终 $\text{GeCl}_4$ 用量到最低值, $\text{C}_2\text{F}_6 + \text{CF}_4 + \text{POCl}_3$ 用



量到最大值,结束整个沉积过程,总沉积时间10个小时。

[0073] (2) 沉积完成后,转移衬管至熔缩炉,在2000℃下熔缩,衬管以40r/min速度旋转,设定温度程序,从中间开始形成密封后,向两侧扩展,至中心孔道完全闭合,熔缩成直径27mm的GRIN棒。折射率曲线如图8,折射率表现为抛物线型的中心区域为自散焦透镜部分,直径20mm。初始GeCl<sub>4</sub>含量逐渐升高,折射率上升,随后其含量下降,而F、P元素含量增加,折射率出现抛物线型降低。

$$[0074] \quad n(r) = n_0 \left( 1 + \frac{(\sqrt{A}r)^2}{2} \right)$$

[0075] 其中,  $n_0 = 1.4355$ ,  $\sqrt{A} = 0.0226 \text{cm}^{-1}$ 。

[0076] (3) 将GRIN棒腐蚀至直径25mm,得到0.8芯包比的GRIN棒,清洗干净为拉细工序做准备。

[0077] (4) 将熔缩好的GRIN棒转移拉细,将其竖直吊在炉体内部,炉体下方温度1900℃,棒下端熔融变细并掉落,经过800℃保温炉,再经过冷却室,通过控制下方施加拉力及进给量调整得到直径2mm的细GRIN棒,拉制速度50m/min。GRIN棒拉细后,中心与外层之间折射率差值基本不变,由于直径变小, $\sqrt{A}$ 值增大。

[0078] (5) 将长的细GRIN棒切割成2~20mm不等的预型透镜,一侧端面抛光成垂直中心轴的镜面,另一侧抛光成与中心轴8°角镜面,即为梯度折射率自散焦玻璃透镜。

[0079] 实施例四

[0080] (1) 直径45mm的石英玻璃衬管,厚4mm,安装在PCVD设备上,通入SiCl<sub>4</sub>、GeCl<sub>4</sub>、O<sub>2</sub>气体,炉体加热温度1200℃,在高频微波作用下开始沉积,生成Ge掺杂SiO<sub>2</sub>,提高折射率。初始GeCl<sub>4</sub>含量逐渐升高至一定值,后逐渐降低,与此同时逐渐添加C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>+CF<sub>4</sub>+BCl<sub>3</sub>,沉积8个小时,完成整个沉积过程。

[0081] (2) 沉积完成后,转移衬管至熔缩炉,在2000℃下熔缩,衬管以60r/min速度旋转,设定温度程序,从中间开始形成密封后,向两侧扩展,至中心孔道完全闭合,熔缩成直径30mm的GRIN棒。

[0082] (3) 直接将该GRIN棒切割成10~50mm不等的预型透镜,端面抛光成镜面,即为梯度折射率自散焦玻璃透镜。中心抛物线型区域为符合条件的梯度折射率区域,周围部分可以切除掉,也可以作为透镜封装区域,起到固定的作用。

[0083] 明显地,本发明采用PCVD方法制造梯度折射率玻璃透镜,能够自由而精确的控制折射率分布,折射率呈中心对称分布,不同尺寸透镜呈较好的圆柱状,以上实施例仅做简要说明。

[0084] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

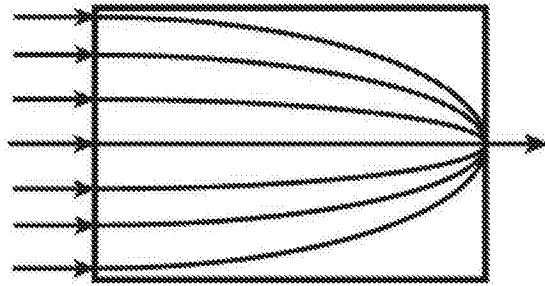


图1

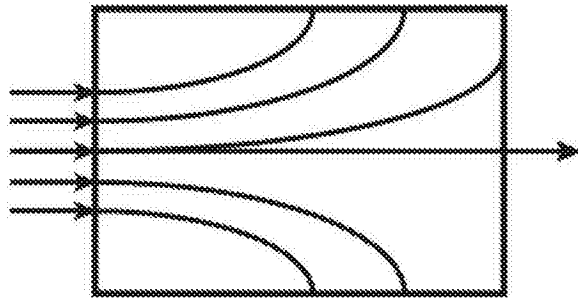


图2

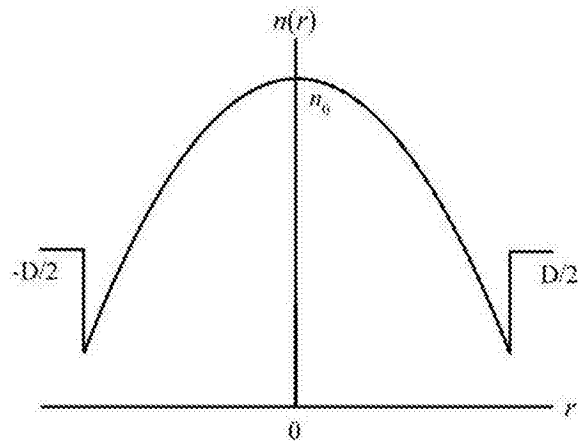


图3

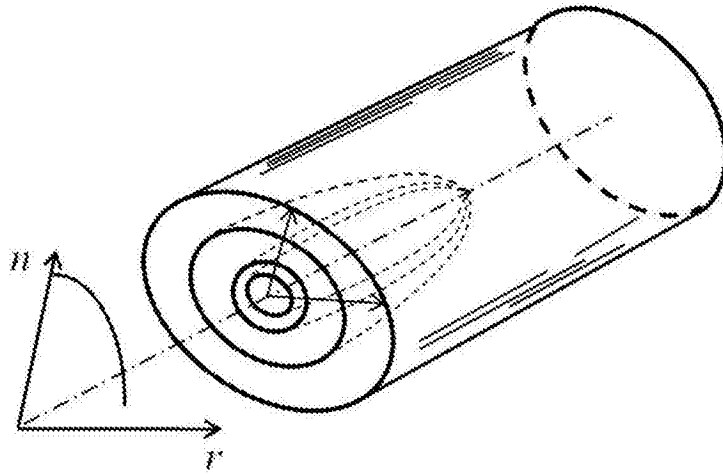


图4

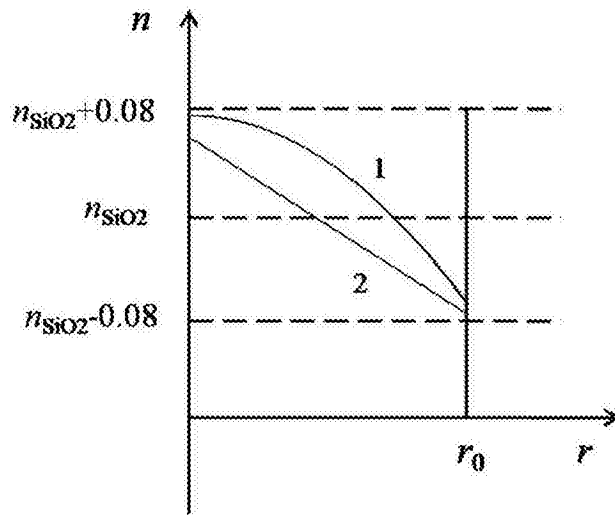


图5

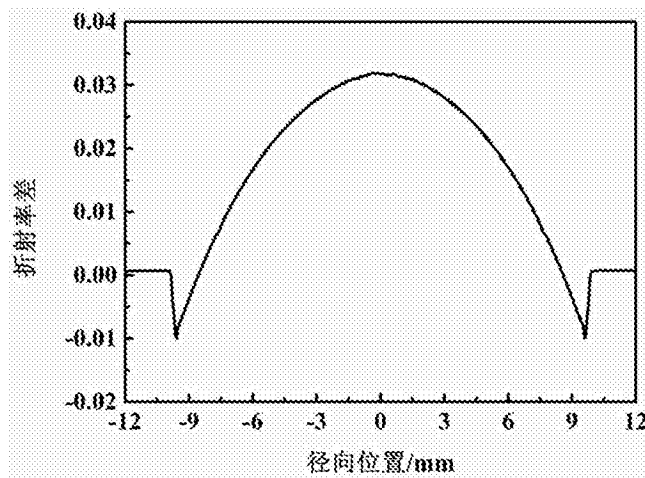


图6

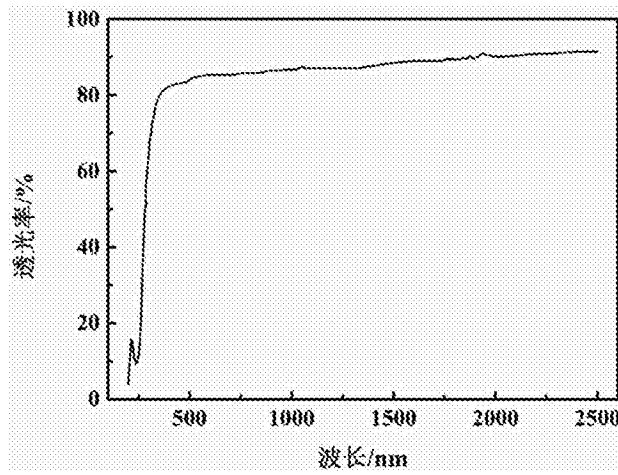


图7

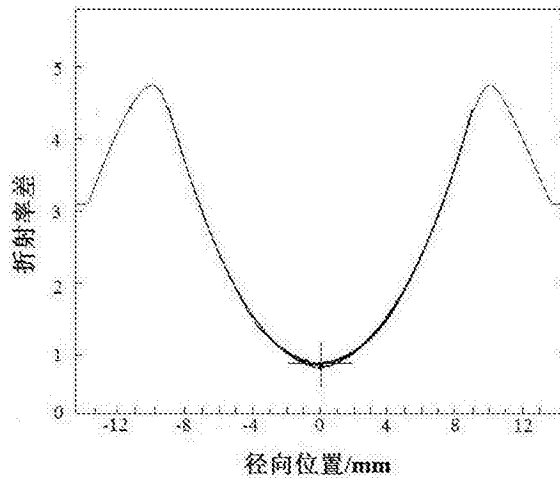


图8