



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107783224 A

(43)申请公布日 2018.03.09

(21)申请号 201710955867.6

(22)申请日 2017.10.13

(71)申请人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72)发明人 汪滢莹 汪晓聪 丁伟 高寿飞  
王璞

(74)专利代理机构 北京路浩知识产权代理有限公司 11002

代理人 王莹 吴欢燕

(51)Int.Cl.

G02B 6/024(2006.01)

G02B 6/032(2006.01)

G02B 6/02(2006.01)

G02B 6/036(2006.01)

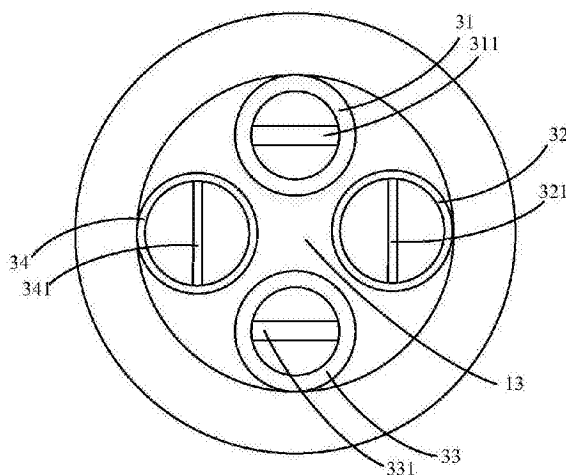
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

### (54)发明名称

一种保偏的空芯光纤

### (57)摘要

本发明提供了一种保偏的空芯光纤包括:包层区域和由所述包层区域确定的纤芯区域;所述包层区域包括多个子包层区域;相对于所述纤芯区域对称的任意两个位置上的子包层区域的厚度相同;对于所述任意两个位置所在直线的正交方向,所述正交方向上相对于所述纤芯区域对称的两个位置上的子包层区域的厚度与所述任意两个位置上的子包层区域的厚度不同;所述包层区域的折射率大于所述纤芯区域的折射率。本发明提供的保偏的空芯光纤,通过正交方向上厚度不同的包层区域,实现了具有保偏性能的空芯光纤,可广泛应用于高质量的光纤陀螺仪、精密干涉传感、量子计算、原子光谱和保偏光学放大器中。



1. 一种保偏的空芯光纤,其特征在于,包括:包层区域和由所述包层区域确定的纤芯区域;所述包层区域包括多个子包层区域;

相对于所述纤芯区域对称的任意两个位置上的子包层区域的厚度相同;对于所述任意两个位置所在直线的正交方向,所述正交方向上的子包层区域的厚度与所述任意两个位置上的子包层区域的厚度不同;

所述包层区域的折射率大于所述纤芯区域的折射率。

2. 根据权利要求1所述的保偏的空芯光纤,其特征在于,所述包层区域包括:至少一个微毛细管组;每个所述微毛细管组中的所有微毛细管等距排成一个圆环;

所述微毛细管组中每一微毛细管的管壁厚度为100nm~2 $\mu$ m。

3. 根据权利要求2所述的保偏的空芯光纤,其特征在于,所述包层区域包括第一微毛细管组,所述第一微毛细管组中包括四的倍数个第一微毛细管;

相对于所述纤芯区域对称的任意一对第一微毛细管的管壁厚度相同;对于所述任意一对第一微毛细管所在直线的正交方向,所述正交方向上的一对第一微毛细管的管壁厚度与所述任意一对第一微毛细管的管壁厚度不同。

4. 根据权利要求3所述的保偏的空芯光纤,其特征在于,所述第一微毛细管组中的每个第一微毛细管中均设置有至少一个与所述纤芯区域相对的薄壁;所述薄壁与所述第一微毛细管的材料相同;

相对于所述纤芯区域对称的任意一对第一微毛细管中的薄壁厚度相同;对于所述任意一对第一微毛细管所在直线的正交方向,所述正交方向上的一对第一微毛细管中的薄壁厚度与所述任意一对第一微毛细管中的薄壁厚度不同。

5. 根据权利要求3所述的保偏的空芯光纤,其特征在于,所述包层区域还包括第二微毛细管组;

所述第一微毛细管组中的所有第一微毛细管等距排成第一圆环,所述第二微毛细管组中的所有第二微毛细管排成第二圆环;所述第二圆环位于所述第一圆环的外侧,且与所述第一圆环邻接;

所述第二圆环中与每一个所述第一微毛细管对应的第二微毛细管的个数为至少1个。

6. 根据权利要求1所述的保偏的空芯光纤,其特征在于,所述包层区域包括至少一个椭圆管组或至少一个圆管组,在距离所述包层区域最近的一个椭圆管组或一个圆管组中包括四的倍数个椭圆管或圆管;

相对于所述纤芯区域对称的任意一对椭圆管或任意一对圆管的管壁厚度相同;对于所述任意一对椭圆管或任意一对圆管所在直线的正交方向,所述正交方向上的一对椭圆管或一对圆管的管壁厚度与所述任意一对椭圆管或任意一对圆管的管壁厚度不同。

7. 根据权利要求1-6中任一项所述的保偏的空芯光纤,其特征在于,所述纤芯区域填充有惰性气体、空气或处于真空。

8. 根据权利要求7所述的保偏的空芯光纤,其特征在于,所述包层区域的材料包括:二氧化硅、软玻璃或塑料。

9. 根据权利要求8所述的保偏的空芯光纤,其特征在于,还包括:支撑体;所述支撑体为空心圆柱体,所述空心圆柱体与所述包层区域固接。

10. 根据权利要求9所述的保偏的空芯光纤,其特征在于,所述空心圆柱体的材料包括:

二氧化硅、软玻璃或高硼硅玻璃。

## 一种保偏的空芯光纤

### 技术领域

[0001] 本发明涉及光学与激光光电技术领域,更具体地,涉及一种保偏的空芯光纤。

### 背景技术

[0002] 目前,由于实芯光纤存在两个固有缺陷,即端面反射损耗和光纤中因结构不均匀性及缺陷形成高的热点损耗,这两个固有损耗限制了实芯光纤的应用。所以,空芯光纤(Hollow-core Fiber,HCF)的研究逐渐成为热点。采用空芯的光纤,而不是传统掺杂高纯度硅的纤芯,其优点是光纤性能不受纤芯材料特性的限制。传统光纤的损伤阈值、衰减、非线性效应和群速度色散等参数都要受到硅材料相应参数的影响。通过合理设计,空芯光纤可以实现超过99%的光在空气中而不是在玻璃中传播,从而大大降低了光纤材料特性对光学性质和光纤性能的影响。

[0003] 如图1所示,现有技术中公开了一种空芯光纤,由空芯区域11、包层结构12和保护套管14。空芯区域11的截面形状是方形、矩形、多边形或圆形,包层结构12的截面形状是方形、圆形或多边形。在光纤的横截面上,在各个方向上有一对或数对方形排列的直角三角形小孔结构13,两相邻小孔的相邻直角边构成截角的直角棱镜。光主要沿纵向传输,在横向光在包层结构中经两次或多次(近似)全反射,反至空芯区,由此限制光束发散而形成导模。该光纤非线性效应小,损耗小,单模工作的波长范围大,可传输超短脉冲,或制作其它光电器件。

[0004] 但是,由于很多光电器件性能的实现是基于光纤的保偏性能的实现,即一束偏振光经过光纤传输后,偏振态保持不变。但现有技术中还没有对空芯光纤的保偏性能进行研究,所以急需设计出一种具有保偏性能的空芯光纤,以扩展空芯光纤的应用范围。

### 发明内容

[0005] 为克服上述问题或者至少部分地解决上述问题,本发明提供了一种保偏的空芯光纤,具有保偏的性能。

[0006] 本发明提供了一种保偏的空芯光纤包括:包层区域和由所述包层区域确定的纤芯区域;所述包层区域包括多个子包层区域;相对于所述纤芯区域对称的任意两个位置上的子包层区域的厚度相同;对于所述任意两个位置所在直线的正交方向,所述正交方向上的两个位置上的子包层区域的厚度与所述任意两个位置上的子包层区域的厚度不同;所述包层区域的折射率大于所述纤芯区域的折射率。

[0007] 优选地,所述包层区域包括:至少一个微毛细管组;每个所述微毛细管组中的所有微毛细管等距排成一个圆环;所述微毛细管组中每一微毛细管的管壁厚度为100nm~2μm。

[0008] 优选地,所述包层区域包括第一微毛细管组,所述第一微毛细管组中包括四的倍数个第一微毛细管;相对于所述纤芯区域对称的任意一对第一微毛细管的管壁厚度相同;对于所述任意一对第一微毛细管所在直线的正交方向,所述正交方向上的一对第一微毛细管的管壁厚度与所述任意一对第一微毛细管的管壁厚度不同。

[0009] 优选地,所述第一微毛细管组中的每个第一微毛细管中均设置有至少一个与所述纤芯区域相对的薄壁;所述薄壁与所述第一微毛细管的材料相同;相对于所述纤芯区域对称的任意一对第一微毛细管中的薄壁厚度相同;对于所述任意一对第一微毛细管所在直线的正交方向,所述正交方向上的一对第一微毛细管中的薄壁厚度与所述任意一对第一微毛细管中的薄壁厚度不同。

[0010] 优选地,所述包层区域还包括第二微毛细管组;所述第一微毛细管组中的所有第一微毛细管等距排成第一圆环,所述第二微毛细管组中的所有第二微毛细管排成第二圆环;所述第二圆环位于所述第一圆环的外侧,且与所述第一圆环邻接;所述第二圆环中与每一个所述第一微毛细管对应的第二微毛细管的个数为至少1个。

[0011] 优选地,所述包层区域包括至少一个椭圆管组或至少一个圆管组,在距离所述包层区域最近的一个椭圆管组或一个圆管组中包括四的倍数个椭圆管或圆管;相对于所述纤芯区域对称的任意一对椭圆管或一对圆管的管壁厚度相同;对于所述任意一对椭圆管或任意一对圆管所在直线的正交方向,所述正交方向上的一对椭圆管或一对圆管的管壁厚度与所述任意一对椭圆管或任意一对圆管的管壁厚度不同。

[0012] 优选地,所述纤芯区域填充有惰性气体、空气或处于真空。

[0013] 优选地,所述包层区域的材料包括:二氧化硅、软玻璃或塑料。

[0014] 优选地,所述空芯光纤还包括:支撑体;所述支撑体为空心圆柱体,所述空心圆柱体与所述包层区域固接。

[0015] 优选地,所述空心圆柱体的材料包括:二氧化硅、软玻璃或高硼硅玻璃。

[0016] 本发明提供一种保偏的空芯光纤,通过正交方向上厚度不同的包层区域,实现了具有保偏性能的空芯光纤,可广泛应用于高质量的光纤陀螺仪、精密干涉传感、量子计算、原子光谱和保偏光学放大器中。

## 附图说明

[0017] 图1为现有技术中空芯光纤的横截面的结构示意图;

[0018] 图2为本发明实施例提供的一种保偏的空芯光纤的横截面的结构示意图;

[0019] 图3为本发明实施例提供的一种保偏的空芯光纤的横截面的结构示意图;

[0020] 图4为本发明实施例提供的一种保偏的空芯光纤内的光场分布的横截面的结构示意图;

[0021] 图5为本发明实施例提供的一种保偏的空芯光纤的横截面的结构示意图;

[0022] 图6为本发明实施例提供的一种保偏的空芯光纤的横截面的结构示意图;

[0023] 图7为本发明实施例提供的一种保偏的空芯光纤的横截面的结构示意图;

[0024] 图8为本发明实施例提供的一种保偏的空芯光纤的横截面的结构示意图。

## 具体实施方式

[0025] 下面结合附图和实施例,对本发明的具体实施方式作进一步详细描述。以下实施例用于说明本发明,但不用来限制本发明的范围。

[0026] 本发明一实施例提供了一种保偏的空芯光纤,包括:包层区域和由所述包层区域确定的纤芯区域;所述包层区域包括多个子包层区域;相对于所述纤芯区域对称的任意两

个位置上的子包层区域的厚度相同;对于所述任意两个位置所在直线的正交方向,所述正交方向上相对于所述纤芯区域对称的两个位置上的子包层区域的厚度与所述任意两个位置上的子包层区域的厚度不同;所述包层区域的折射率大于所述纤芯区域的折射率。

[0027] 具体地,首先确定包层区域,则由包层区域包围的区域即为纤芯区域。由于是空芯光纤,通常在空芯光纤的纤芯区域填充有空气、稀有气体或将纤芯区域抽成真空状态。包层区域的材料的折射率要高于纤芯区域的折射率,以将光限制在纤芯区域内传输。所以包层区域的材料可以选择二氧化硅、软玻璃或塑料。

[0028] 如图2所示,设相对于纤芯区域23对称的任意两个位置上的子包层区域21的厚度相同,厚度设为 $d_1$ 。则在两个子包层区域21所在直线的正交方向上相对于纤芯区域23对称的两个子包层区域22的厚度也相同,将此厚度设置为 $d_2$ 。为使空芯光纤具有保偏性能,需要满足如下条件:厚度 $d_1$ 与厚度 $d_2$ 不相等。由于 $d_1$ 与 $d_2$ 不相等,则光在空芯光纤内传输时,在相互正交的这两个方向上会产生不同的损耗,避免线偏振光沿光纤的一个特征轴传输时,部分光耦合进入另一个与之垂直的特征轴,进而保证了线偏振光的偏振态。

[0029] 本实施例中,通过正交方向上厚度不同的包层区域,实现了具有保偏性能的空芯光纤,可广泛应用于高质量的光纤陀螺仪、精密干涉传感、量子计算、原子光谱和保偏光学放大器中。

[0030] 在上述实施例的基础上,所述包层区域包括:至少一个微毛细管组;每个所述微毛细管组中的所有微毛细管等距排成一个圆环;所述微毛细管组中每一微毛细管的管壁厚度为 $100\text{nm}\sim 2\mu\text{m}$ ,即微毛细管具有和空芯光纤的工作波长在同一数量级上的厚度。

[0031] 具体地,微毛细管相对于纤芯区域的曲率可正可负,在此不做具体限定。但由于利用曲率为负的微毛细管得到的空芯光纤性能优于利用曲率为正的微毛细管得到的空芯光纤。通常选取曲率为负的微毛细管作为包层区域。

[0032] 每个微毛细管组中的微毛细管的外壁半径长度均应保证纤芯区域和包层区域整体上的对称结构。当包层区域包括第一微毛细管组时,第一微毛细管组中包括四的倍数个第一微毛细管;相对于所述纤芯区域对称的一对第一微毛细管的管壁厚度相同,在正交方向上的两对第一微毛细管的管壁厚度不同。在此,对每一第一微毛细管的半径不做限定,但需要保证的是,相邻两个第一微毛细管的中心轴之间的距离应该不小于 $10\mu\text{m}$ ,且要保证相邻两个第一微毛细管的外壁之间的间隙尽量小,也可以相互接触,只是相互接触得到的空芯光纤的性能略次于相邻两个第一微毛细管的外壁不接触得到的空芯光纤的性能,但均可实现保偏的效果。具体采用接触的方式或不接触的方式在此不做具体限定。

[0033] 需要说明的是,当包层区域是由多个独立的区域构成时,且保偏的空芯光纤的纤芯区域填充有空气时,由于实际制作中纤芯区域与包层区域之间并没有明确的边界,可以使纤芯区域的空气布满整个包层区域周围。此时,多个独立的区域不能独立的设置在光纤中,即不能漂浮在空气中,需要在空芯光纤外侧设置有:支撑体;支撑体可以为空心圆柱体,空心圆柱体与包层区域固接,用于在空气中支撑起包层区域,使包层区域的位置固定。这里的固接可理解为,空心圆柱体与包层区域之间存在直接接触,以通过空心圆柱体固定包层区域,还可以是空心圆柱体与包层区域之间没有直接接触,而是通过固定薄壁将空心圆柱体与包层区域固定在一起,其中,固定薄壁的材料与包层区域的材料相同或与空心圆柱体的材料相同。作为固接的替换方案,也可将空心圆柱体与包层区域一体化制成。

[0034] 支撑体不限于是空心圆柱体,也可以是其他具有空心结构的、起支撑作用的环状体。为保证空芯光纤在制作过程中容易拉制,支撑体需选取与包层区域熔点相同或差异较小的材料,作为优选方案,可选择与包层区域相同的材料,即二氧化硅、软玻璃或塑料,还可选用高硼硅玻璃。

[0035] 如图3所示,第一微毛细管组中包括四个第一微毛细管,分别为第一微毛细管31、第一微毛细管32、第一微毛细管33和第一微毛细管34。其中,每两个相邻的第一微毛细管之间的距离相等,这个距离可以是两个第一微毛细管的中心轴之间的距离,也可以是指两个第一微毛细管的外壁之间的最短距离。四个第一微毛细管围成的中间区域即为纤芯区域13,第一微毛细管31和33的位置相对设置,在第一微毛细管31和33的中心轴的垂线方向相对设置有第一微毛细管32和34,第一微毛细管31和33的管壁厚度相同,第一微毛细管32和34的管壁厚度相同,但第一微毛细管31和32的管壁厚度不同。在4个第一微毛细管构成的圆环外面固接有空心圆柱体35。这里,由于是空芯光纤,光纤的纤芯中填充有惰性气体、空气或抽成真空,实际上并没有真实的纤芯边界,而是在空心圆柱体35包围的、除4个第一微毛细管外的剩余区域36内均填充有与光纤纤芯内相同的填充物,以下均假设填充空气,即纤芯区域13和剩余区域36已融为一体。

[0036] 在利用保偏的空芯光纤进行光的传输时,光从4个第一微毛细管围成的纤芯区域13的中心轴射入。图3中纤芯区域13的中心轴与空心圆柱体35的中心轴重合。但是当纤芯区域13与空心圆柱体35不完全接触时,可能会导致二者的中心轴产生一定的偏移,但是这对空芯光纤的光传输性能和保偏性能并没有实质影响。从空芯光纤的截面观察空芯光纤内部的光场分布示意图如图4所示。光场分布区域41的边界类似于内凸的枕形。

[0037] 本实施例中,通过设置4的倍数个第一微毛细管作为空芯光纤的包层区域,使正交方向上的两对第一微毛细管的管壁厚度不同,从而实现保偏性能。

[0038] 在上述实施例的基础上,第一微毛细管组中的每个第一微毛细管中均设置有至少一个与纤芯区域相对的薄壁;薄壁与第一微毛细管的材料相同。相对于所述纤芯区域对称的任意一对第一微毛细管中的薄壁厚度相同;对于所述任意一对第一微毛细管所在直线的正交方向,所述正交方向上相对于所述纤芯区域对称的一对第一微毛细管中的薄壁厚度与所述任意一对第一微毛细管中的薄壁厚度不同,且厚度大小与所在的第一微毛细管的管壁厚度大小之间是相互独立。

[0039] 具体地,如图5所示,以每个第一微毛细管中均设置有一个与纤芯区域相对的薄壁为例,第一微毛细管31中设置有与纤芯区域13相对的第一薄壁311,第一微毛细管32中设置有与纤芯区域13相对的第二薄壁321,第一微毛细管33中设置有与纤芯区域13相对的第三薄壁331,第一微毛细管34中设置有与纤芯区域13相对的第四薄壁341。第一薄壁311的厚度与第三薄壁331的厚度相同,第二薄壁321的厚度与第四薄壁341的厚度相同,第一薄壁311的厚度与第二薄壁321的厚度不同,且若设第一微毛细管31的管壁厚度大于第一微毛细管32的管壁厚度,则相应地,内部设置的第一薄壁311的厚度大于第二薄壁321的厚度。

[0040] 当每个第一微毛细管中均设置有多于一个的、与纤芯区域相对的薄壁时,同一第一微毛细管中的各薄壁的厚度大小任意,只需保证等间距的平行设置。

[0041] 本实施例中,通过在每一个第一微毛细管中设置与纤芯区域相对的薄壁,进一步使正交方向上两对第一微毛细管的损耗差异增大,进而提高正交方向上的消光比,使保偏

性能增强,保偏度进一步增加。

[0042] 在上述实施例的基础上,包层区域还包括第二微毛细管组;第一微毛细管组中的所有第一微毛细管等距排成第一圆环,第二微毛细管组中的所有第二微毛细管排成第二圆环;第二圆环位于第一圆环的外侧,且与第一圆环邻接;第二圆环中与每一个第一微毛细管对应的第二微毛细管的个数为至少1个。

[0043] 如图6和图7所示,图6为第二圆环中与每一个第一微毛细管对应的第二微毛细管的个数为1个,图7为第二圆环中与每一个第一微毛细管对应的第二微毛细管的个数为2个。在此,对第二微毛细管组中各第二微毛细管的管壁厚度和半径均不做限定。

[0044] 本实施例中,第二微毛细管组的存在,增加了空芯光纤的反谐振层,降低了空芯光纤的整体损耗,同时也起到支撑包层区域的作用。由于第二微毛细管组起支撑作用,所以也可用实心的细棒代替,本发明在此不做具体限定。

[0045] 在上述实施例的基础上,所述包层区域不限于是由多个微毛细管构成,也可以由一个矩形管构成,如图2所示的那样。

[0046] 在上述实施例的基础上,所述包层区域包括至少一个椭圆管组或至少一个圆管组,在距离所述包层区域最近的一个椭圆管组或至少一个圆管组中包括四的倍数个椭圆管或圆管;

[0047] 相对于所述纤芯区域对称的任意一对椭圆管或任意一对圆管的管壁厚度相同;对于所述任意一对椭圆管或任意一对圆管所在直线的正交方向,所述正交方向上的一对椭圆管或一对圆管的管壁厚度与所述任意一对椭圆管或任意一对圆管的管壁厚度不同。

[0048] 具体地,当所述包层区域包括至少一个圆管组时,在距离所述包层区域最近的一个圆管组中包括四的倍数个椭圆管或圆管;

[0049] 相对于所述纤芯区域对称的任意一对圆管的管壁厚度相同;对于所述任意一对圆管所在直线的正交方向,所述正交方向上的一对圆管的管壁厚度与所述任意一对圆管的管壁厚度不同。

[0050] 具体地,如图3、图4和图5所示,以包层区域包括第一微毛细管组为例,在第一微毛细管组中包括四个第一微毛细管,所述四个第一微毛细管均为圆管。如图6和图7所示,以包层区域包括第一微毛细管组和第二微毛细管组为例,在第一微毛细管组中包括四个第一微毛细管,所述四个第一微毛细管均为圆管。图6中的第二微毛细管组中包括四个第二微毛细管,所述四个第二微毛细管也均为圆管。图7中的第二微毛细管组中包括八个第二微毛细管,所述八个第二微毛细管也均为圆管。

[0051] 当所述包层区域包括至少一个椭圆管组时,在距离所述包层区域最近的一个椭圆管组中包括四的倍数个椭圆管;

[0052] 相对于所述纤芯区域对称的任意一对椭圆管的管壁厚度相同;对于所述任意一对椭圆管所在直线的正交方向,所述正交方向上的一对椭圆管的管壁厚度与所述任意一对椭圆管的管壁厚度不同。

[0053] 具体地,如图8所示,以包层区域包括第一微毛细管组为例,在第一微毛细管组中包括四个第一微毛细管,所述四个第一微毛细管均为椭圆管。当包层区域中包括多个微毛细管组时,同一微毛细管组内的每个微毛细管同样可以为圆管或椭圆管。

[0054] 需要注意的是,当包层区域中包括多个微毛细管组时,每个微毛细管组中只需保

证所述微毛细管组内相对于所述纤芯区域对称的任意两个位置上的微毛细管同为圆管或椭圆管即可。

[0055] 本实施例中,为包层区域的具体形状结构提供了选择的方案。

[0056] 最后,本发明的方法仅为较佳的实施方案,并非用于限定本发明的保护范围。凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

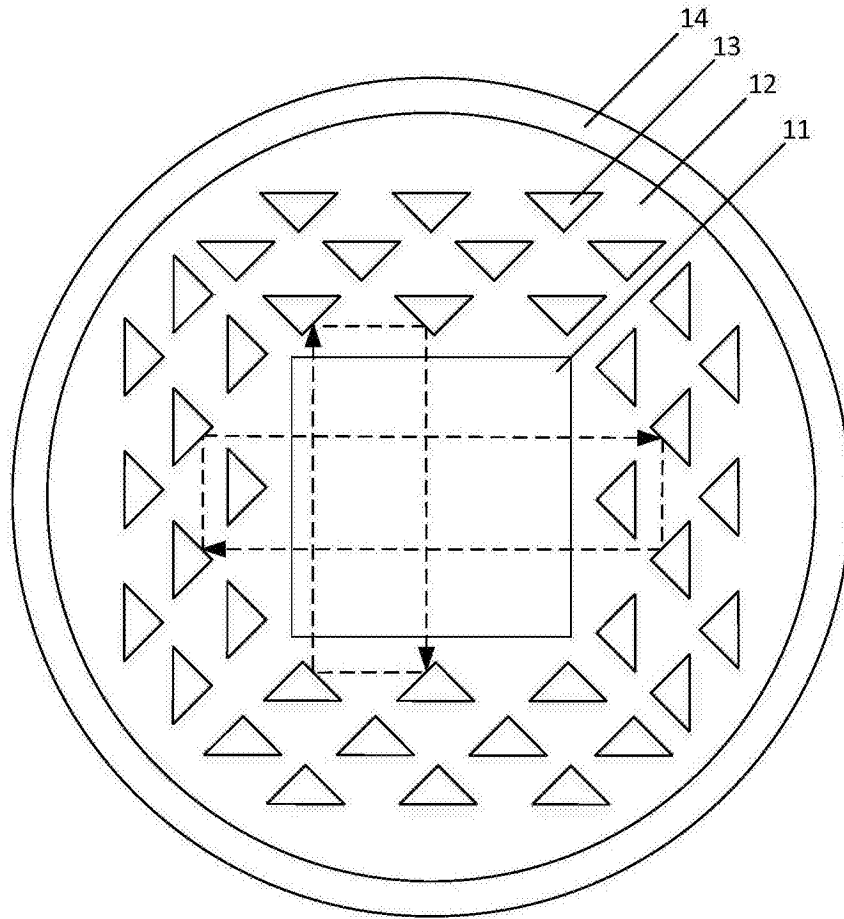


图1

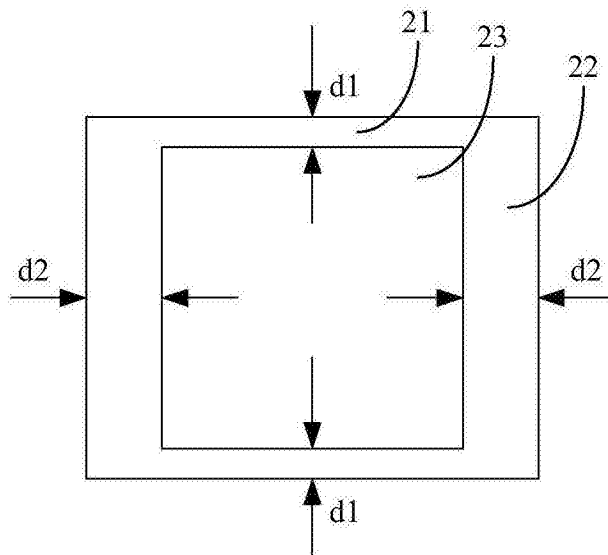


图2

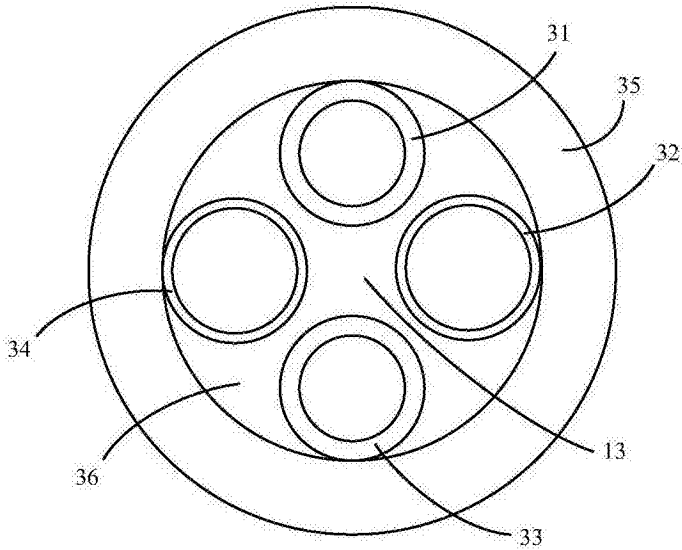


图3

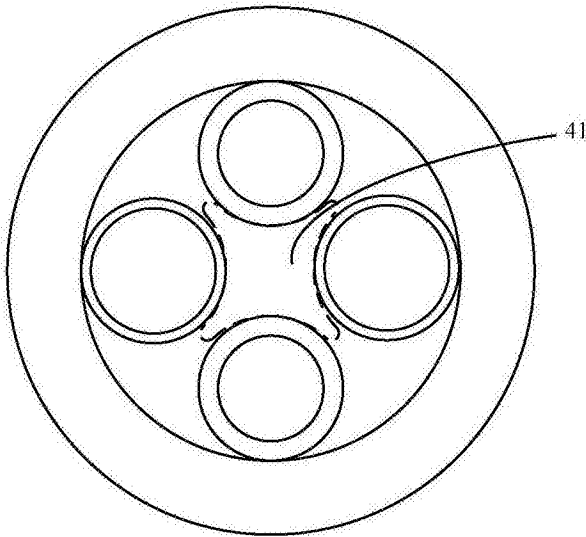


图4

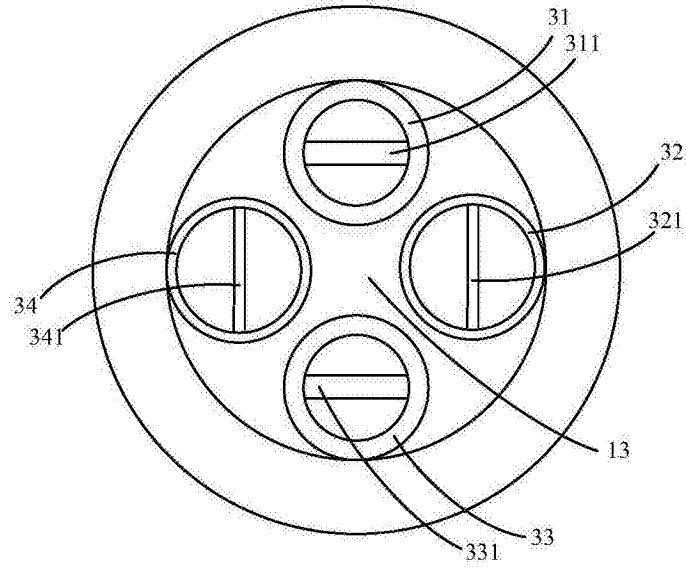


图5

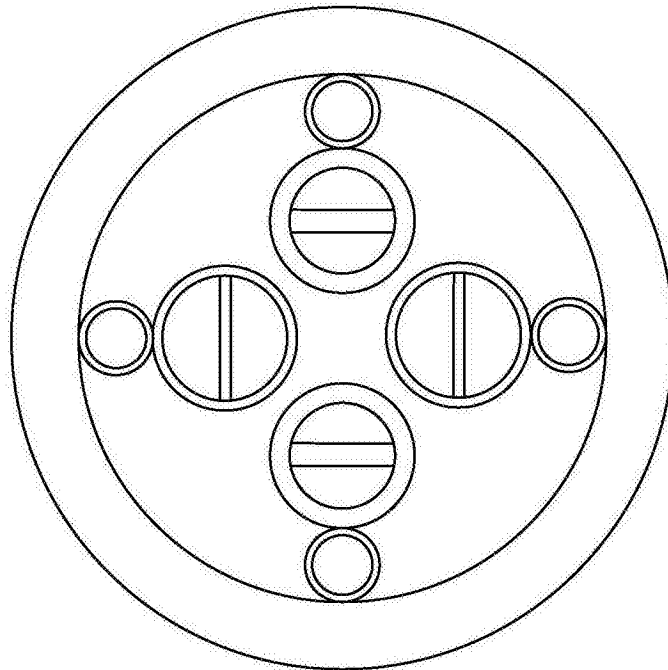


图6

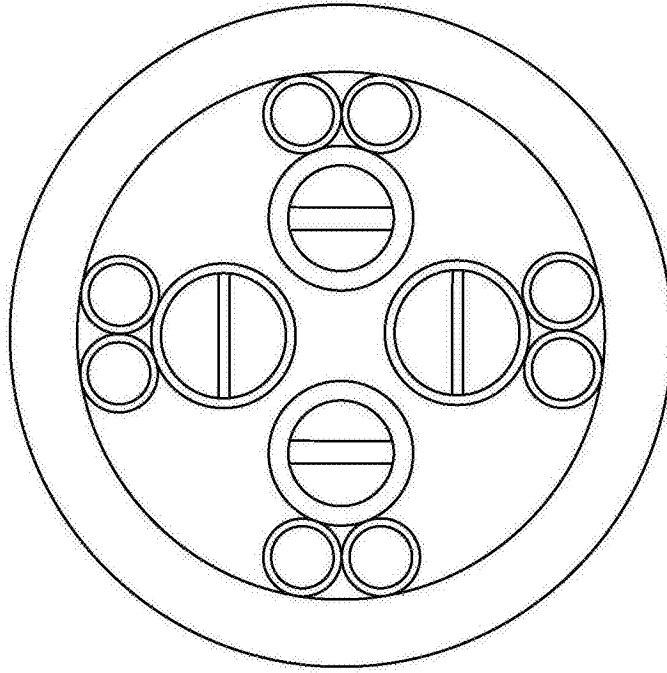


图7

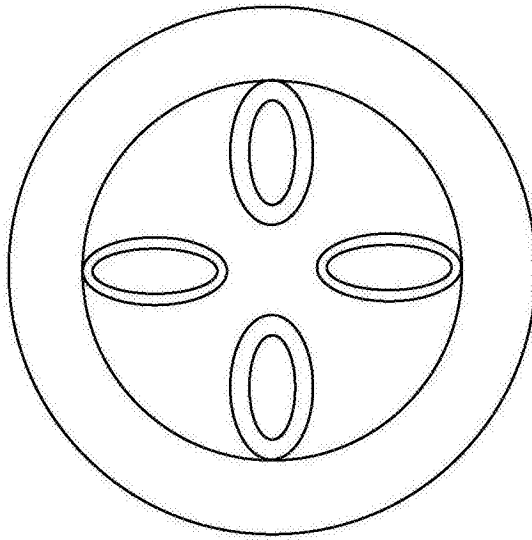


图8