



## (12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111562649 A

(43)申请公布日 2020.08.21

(21)申请号 202010527020.X

(22)申请日 2020.06.11

(71)申请人 南开大学

地址 300071 天津市南开区卫津路94号

(72)发明人 岳洋 耿文璞 李意桥 姜纪聪

王英宁 方宇熙 王志 刘艳格

(74)专利代理机构 天津耀达律师事务所 12223

代理人 张耀

(51)Int.Cl.

G02B 6/036(2006.01)

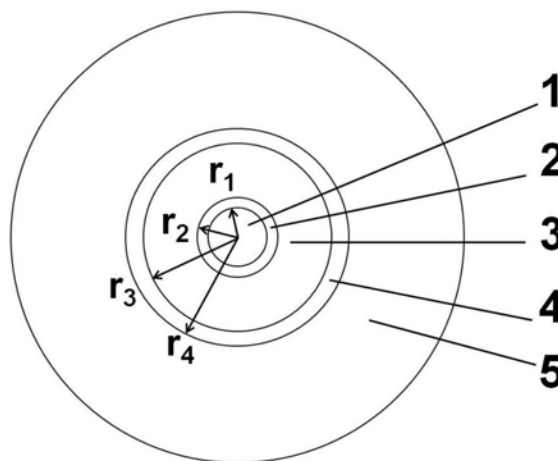
权利要求书1页 说明书3页 附图3页

### (54)发明名称

一种涡旋光色散补偿光纤

### (57)摘要

本发明涉及一种涡旋光色散补偿光纤,应用于光纤通信和光学信号处理等技术领域。色散的存在极大限制了非线性效应的出现与应用范围,本发明提供一种可用于实现色散补偿的光纤技术方案:这种光纤,它的包层包含两层高折射率圆环,涡旋光被束缚在环形区域中传播,可以通过改变环形区域和包层的材料改变折射率对比度,进而改变光纤的色散性质,上述横截面结构沿光纤的长度方向不变。本发明的有益效果:该光纤在一定波长范围内有较大负色散,通过适当调节圆环位置、环宽度和光纤材料可以实现负色散大小和所在波长范围的调整。适当增加纤芯包层折射率对比度、环间距离和环宽度,可以使最大负色散变大。



1. 一种涡旋光色散补偿光纤,其特征在于:所述光纤纤芯存在两个同心环形区域,其折射率高于包层折射率。

2. 根据权利要求1所述的涡旋光色散补偿光纤,其特征在于:该光纤包括纤芯和套于所述纤芯外的光纤包层,所述光纤包层包括第一层环形区域、环间包层、第二层环形区域和外光纤包层;所述第一层环形区域、环间包层、第二层环形区域由内而外依次设于所述纤芯和所述外光纤包层之间;所述纤芯、第一层环形区域、环间包层、第二层环形区域、外光纤包层的折射率 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$ 、 $n_5$ 之间满足: $n_1$ 、 $n_3$ 、 $n_5$ 的值小于 $n_2$ 、 $n_4$ 的值。

3. 根据权利要求2所述的涡旋光色散补偿光纤,其特征在于:光纤横截面上第一层环形区域的环宽度大于第二层环形区域的环宽度。

4. 根据权利要求1或2或3所述的涡旋光色散补偿光纤,其特征在于:通过适当增加两环形区域距离 $r_3-r_1$ ,可以加大负色散,并且收紧存在较大负色散的波长范围;其中 $r_3$ 为环间包层宽度, $r_1$ 为纤芯宽度。

5. 根据权利要求4所述的涡旋光色散补偿光纤,其特征在于:光纤材料为掺锗二氧化硅或Schott玻璃或 $As_2S_3$ 。

6. 根据权利要求5所述的涡旋光色散补偿光纤,其特征在于:第一层环形区域、第二层环形区域材料为掺锗二氧化硅,纤芯包层材料为二氧化硅。

7. 根据权利要求5所述的涡旋光色散补偿光纤,其特征在于:第一层环形区域、第二层环形区域材料为SF57玻璃,该材料在波长为1550nm处折射率为1.80;纤芯包层材料为SF2玻璃,该材料在波长为1550nm处折射率为1.62。

8. 根据权利要求1或2所述的涡旋光色散补偿光纤,其特征在于:纤芯为椭圆形纤芯。

9. 根据权利要求8所述的涡旋光色散补偿光纤,其特征在于:纤芯内以空气填充。

## 一种涡旋光色散补偿光纤

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种涡旋光环形光纤,尤其是涉及具有色散补偿特性的环形光纤。应用于光纤通信和光学信号处理等技术领域。

### 背景技术

[0002] 涡旋光具有独特的场分布,其中心位置存在相位奇点,并且奇点处光强为零,光波相位在垂直于传播方向上呈螺旋分布,具备轨道角动量。涡旋光分为偏振涡旋光和相位涡旋光,偏振涡旋光由径向矢量光束 $TM_{01}$ 和角向矢量光束 $TE_{01}$ 两种模式组成,相位涡旋光又称轨道角动量(OAM)涡旋光,OAM模式可以表示为 $OAM_{l,m}$ ,其中 $l$  ( $l = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ )是拓扑电荷, $m$ 是对应于模式在径向方向上的强度分布的径向顺序。对于在光纤中传输的OAM模式可以由矢量本征模通过以下关系组成:

$$[0003] \quad OAM_{\pm l, m}^{\pm} = HE_{l+1, m}^{even} \pm jHE_{l+1, m}^{odd}$$

$$[0004] \quad OAM_{\pm l, m}^{\mp} = EH_{l-1, m}^{even} \pm jEH_{l-1, m}^{odd}$$

[0005] 例如当拓扑电荷数为1时,OAM涡旋光由 $HE_{21}^{even}$ 和 $HE_{21}^{odd}$ 两种模式线性组合而成( $OAM_{1,1} = HE_{2,1}^{even} + i \times HE_{2,1}^{odd}$ )。涡旋光可作为一种不同于相位、偏振的传输光信息的载体,这意味着涡旋光为信息传输提供了新的维度以及拓展了新的信道。

[0006] 当光在光纤中传输时,光纤的色度色散是限制其传输质量的一大障碍,传输距离越远,色散效应越大,这将导致码间串扰使得误码率增大,降低信息传输效率及距离。要想使色散损失最小化,提升光纤性能,需要使用具有负色散的色散补偿光纤,通过周期性的平衡光纤的正色散来提升光纤性能。用于色散补偿的光纤有布拉格光纤和光子晶体光纤等。2003年T.D.Engeness等人在“Dispersion tailoring and compensation by modal interactions in OmniGuide fibers”,Optics express,11,1175-1196(2003)中提出一种将缺陷层引入周期性多层的布拉格光纤,该光纤利用 $TE_{01}$ 模式产生较大的负色散,但根据其原理可知实际传输损耗可能不会很低。2015年J.Hsu等人在“Wavelength-tunable dispersion compensating photonic crystal fibers suitable for conventional/coarse wavelength division multiplexing systems”,Journal of Lightwave Technology,33,2240-2245(2015)中提出一种混合结构的波长可调色散补偿光子晶体光纤,具有较大的负色散系数,但是光子晶体光纤的制造工艺较为复杂,成本较高。

### 发明内容

[0007] 鉴于上述情况,本发明提供一种具有较大负色散的涡旋光色散补偿光纤,旨在传输涡旋光并且简化具有较大负色散特性的光纤结构。

[0008] 本发明采用的技术方案具体为:

[0009] 这种具有较大负色散的涡旋光色散补偿光纤,包括纤芯和套于所述纤芯外的光纤包层,所述光纤包层包括第一层环形区域、环间包层、第二层环形区域和外光纤包层,所述

第一层环形区域、所述环间包层和所述第二层环形区域由内而外依次设于所述纤芯和所述外光纤包层之间；其中：所述纤芯、所述第一层环形区域、所述环间包层、所述第二层环形区域、所述外光纤包层折射率 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$ 、 $n_5$ 之间满足 $n_1$ 、 $n_3$ 、 $n_5$ 的值小于 $n_2$ 、 $n_4$ 的值，即环第一层区域和第二层环形区域折射率均大于其他区域；所述光纤材料在满足上述折射率分布情况下可为掺锗二氧化硅、Schott玻璃、 $As_2S_3$ 等材料的组合。

[0010] 在这种结构中，光纤横截面上第一层环形区域的环宽度大于第二层环形区域的环宽度。在环形区域折射率高于包层区域的基础上，模式被限制在两个环形区域内传输，在一定折射率对比度和结构参数下，第一层环形区域中涡旋光的有效折射率随波长的减小比第二层环形区域中的有效折射率减小快，两环中同一模式折射率在某一波长处彼此接近，在该波长附近发生强烈的模式耦合，形成复合模式即对称模式和反对称模式，对称模式具有负色散而反对称模式具有正色散。本发明所述具有较大负色散的涡旋光色散补偿光纤采用具有较大负色散的对称模式。

[0011] 本发明的有益效果：通过选择环形区域和纤芯包层的材料、适当调节环宽度或两环形区域位置，可以实现不同模式最大负色散的大小和所在波长范围的调整。数值计算结果表明通过适当增加两环形区域距离( $r_3-r_1$ )，可以加大负色散，并且收紧存在较大负色散的波长范围。适当调整第一层环形区域宽度可以改变最大负色散所在波长。

## 附图说明

[0012] 图1是本发明的光纤横截面的结构示意图。

[0013] 图2是本发明的光纤结构中 $r_1=1\mu m$ ， $r_2=2\mu m$ ， $r_3=12\mu m$ ， $r_4=12.6\mu m$ 时 $TE_{01}$ 、 $TM_{01}$ 和 $HE_{21}$ 模式的色散随波长变化。

[0014] 图3是本发明的光纤结构中 $r_1=1\mu m$ ， $r_3=10\mu m$ 时 $TE_{01}$ 模式的色散随波长、 $r_2$ 和 $r_4$ 的变化。

[0015] 图4是本发明光纤结构中 $r_1=1\mu m$ ， $r_2=2\mu m$ 时 $TE_{01}$ 模式的色散随波长、 $r_3$ 和 $r_4$ 值的变化。

[0016] 图5是本发明的光纤结构中 $HE_{21}$ 、 $HE_{31}$ 、 $HE_{41}$ 和 $HE_{61}$ 的色散随波长变化情况。

[0017] 图中：1.纤芯；2.第一层环形区域；3.环间包层；4.第二层环形区域；5.外光纤包层；

[0018]  $r_1$ .纤芯半径； $r_2$ .第一层环形区域半径； $r_3$ .环间包层半径； $r_4$ .第二层环形区域半径。

## 具体实施方式

[0019] 下面结合附图对本发明的具体实施方式做进一步说明：

[0020] 实施例1：

[0021] 本发明具有较大负色散的涡旋光色散补偿光纤如图1所示，包括由内而外的纤芯1、第一层环形区域2、环间包层3、第二层环形区域4、外光纤包层5，折射率分别为 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$ 、 $n_5$ ，所述第一层环形区域2和第二层环形区域4为同心高折射率圆环，折射率大于其他区域，折射率分布满足 $n_1=n_3=n_5$ ， $n_2=n_4$ ， $n_1<n_2$ ，所述光纤材料在满足上述折射率分布情况下可为掺锗二氧化硅、Schott玻璃、 $As_2S_3$ 等材料的组合，更高阶OAM模式通过调整也可以存在

较大负色散。本实施例中,环形区域材料为掺锗摩尔浓度40mol%的二氧化硅材料,纤芯包层材料为二氧化硅,上述横截面结构沿光纤的长度方向不变。

[0022] 当 $r_1=1\mu\text{m}$ ,  $r_2=2\mu\text{m}$ ,  $r_3=12\mu\text{m}$ ,  $r_4=12.6\mu\text{m}$ 时 $\text{TE}_{01}$ 、 $\text{TM}_{01}$ 和 $\text{HE}_{21}$ 模式的色散随波长变化情况如图2所示。从图中可以看到本发明的光纤中所传输的不同模式涡旋光能够实现较大的负色散。

[0023] 图3为 $r_1=1\mu\text{m}$ ,  $r_3=10\mu\text{m}$ 时不同 $r_2$ 和 $r_4$ 值对应的 $\text{TE}_{01}$ 模式的色散随波长变化曲线。从图中可以看到,通过调整 $r_2$ 和 $r_4$ 也就是环形区域宽度可以选择负色散所在波长范围。

[0024] 图4为 $r_1=1\mu\text{m}$ ,  $r_2=2\mu\text{m}$ 时不同 $r_3$ 和 $r_4$ 值对应的 $\text{TE}_{01}$ 模式的色散随波长变化曲线。从图中可以看到,通过调整 $r_3$ 和 $r_4$ 也就是两个环形区域间距离可以在所在波长基本不变的情况下改变光纤最大负色散的大小以及存在负色散的带宽。

[0025] 实施例2:

[0026] 本实施例的涡旋光色散补偿光纤结构如图1所示,包括由内而外的纤芯1、第一层环形区域2、环间包层3、第二层环形区域4、外光纤包层5,折射率分别为 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$ 、 $n_5$ ,所述第一层环形区域2和第二层环形区域4为同心高折射率圆环,折射率分布满足 $n_1=n_3=n_5$ ,  $n_2=n_4$ ,  $n_1<n_2$ 。本实施例中,所用材料为Schott玻璃,环形区域材料为SF57玻璃,该材料在波长为1550nm处折射率为1.80,纤芯包层材料为SF2玻璃,该材料在波长为1550nm处折射率为1.62,上述横截面结构沿光纤的长度方向不变。

[0027] 图5为 $\text{HE}_{21}$ 、 $\text{HE}_{31}$ 、 $\text{HE}_{41}$ 和 $\text{HE}_{61}$ 的色散随波长变化情况,图中各个模式的参数为, $\text{HE}_{21}$ :  $r_1=1\mu\text{m}$ ,  $r_2=1.7\mu\text{m}$ ,  $r_3=5\mu\text{m}$ ,  $r_4=5.6\mu\text{m}$ ;  $\text{HE}_{31}$ :  $r_1=1\mu\text{m}$ ,  $r_2=1.95\mu\text{m}$ ,  $r_3=5\mu\text{m}$ ,  $r_4=5.6\mu\text{m}$ ;  $\text{HE}_{41}$ :  $r_1=1\mu\text{m}$ ,  $r_2=1.95\mu\text{m}$ ,  $r_3=5\mu\text{m}$ ,  $r_4=5.4\mu\text{m}$ ;  $\text{HE}_{61}$ :  $r_1=1\mu\text{m}$ ,  $r_2=3\mu\text{m}$ ,  $r_3=5\mu\text{m}$ ,  $r_4=5.6\mu\text{m}$ 。从图中可以看到本发明的光纤中传输的更高阶模式涡旋光能够实现较大的负色散。

[0028] 进一步的,截面为圆形的纤芯1还可以设计为椭圆形纤芯,也可以以空气填充纤芯,通过设计实现涡旋光色散补偿。

[0029] 该发明能够实现色散补偿的光纤材料有很多选择及组合方式,因此任何包含本发明的进一步扩展也属于本发明的保护范围。

[0030] 以上结合附图对本发明实施例进行了详细说明,此处的附图是用来提供对本发明的进一步理解。但本发明的保护范围不限于公开的实施例,意在覆盖所附权利要求的精神和范围之内所包括的多种变形和等效设置,并且本发明光纤中存在具有较大负色散的更高阶涡旋光模式。因此,对属于本发明技术构思,并且仅仅是技术方案显而易见的改动,均应属于本发明保护范围。

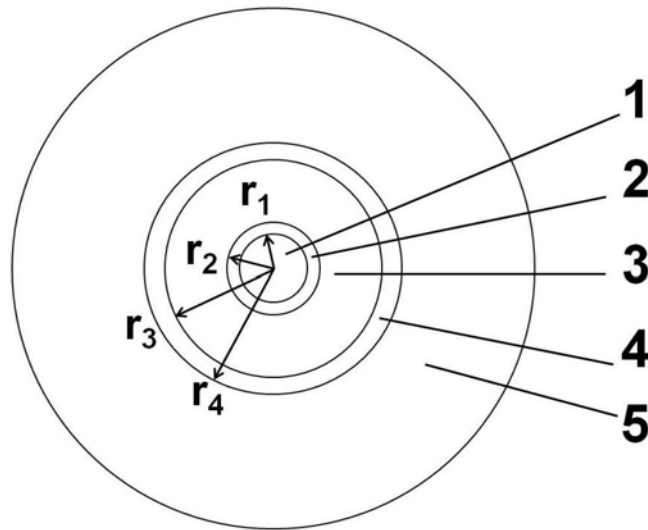


图1

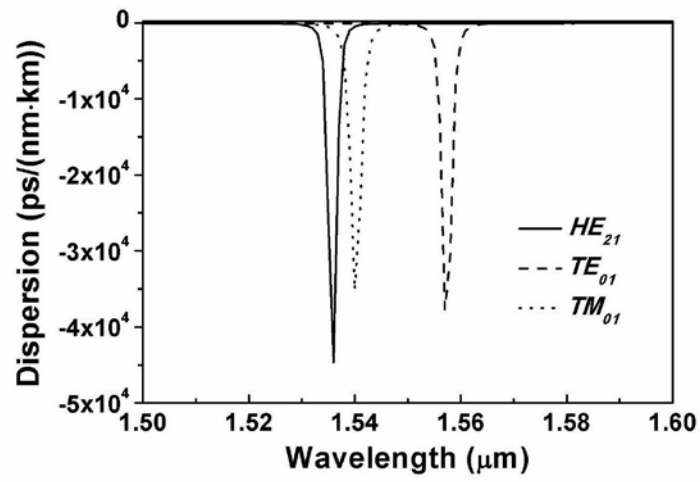


图2

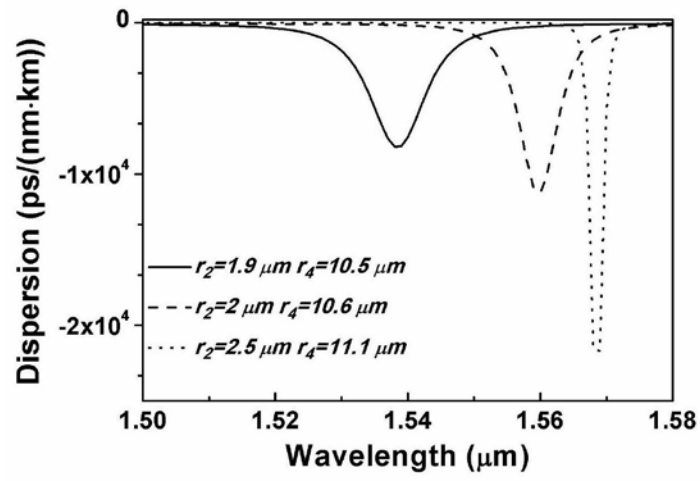


图3

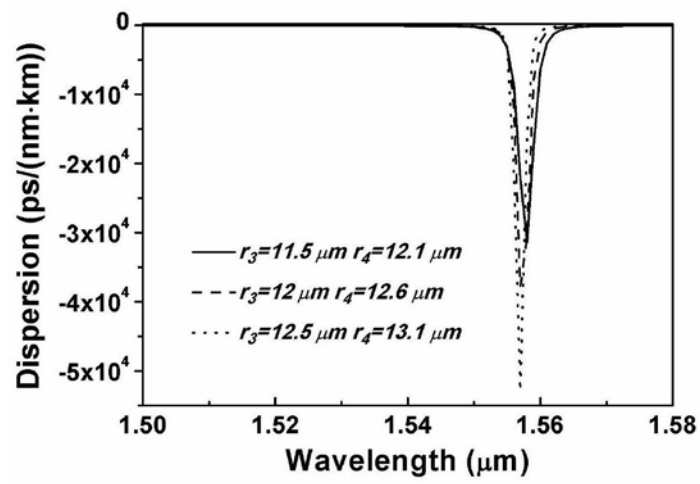


图4

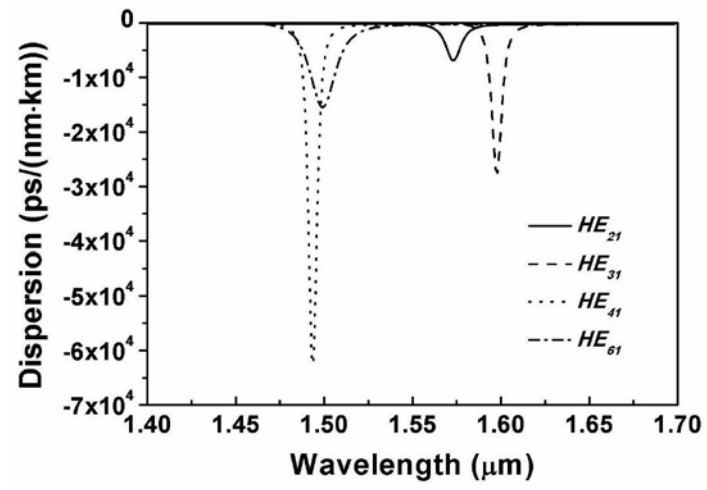


图5