

熊猫型保偏光纤中应力区失配 对光纤性能影响的研究*

延凤平[†] 卫 延 傅永军 魏 淮 龚桃荣 王 琳 李一凡 刘 鹏
刘 洋 陶沛琳 曲美霞 简水生

(全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044)

(北京交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

(2008 年 1 月 12 日收到, 2008 年 6 月 9 日收到修改稿)

采用弹性力学理论和复变函数法导出了熊猫型保偏光纤应力双折射的近似解析表达式. 利用有限元法数值分析了熊猫型保偏光纤的双折射特性. 结果表明, 与采用纤芯中心应力相比, 采用芯区平均应力表示光纤的双折射较为精确, 且结果与解析法导出的芯区中心应力双折射计算结果相比误差小于 0.18%. 在此基础上进一步分析了应力区失配对熊猫型保偏光纤的双折射所产生的影响, 并通过实验测试证明了分析结果的正确性.

关键词: 偏振保持光纤, 应力区失配, 双折射, 拍长

PACC: 4281F, 7820F, 0630M

1. 引 言

保偏光纤 (polarization-maintaining fiber, PMF), 在相干光通信、光纤传感和偏振敏感的集成光学部件等方面都有广泛的应用^[1]. 将它与偏振器组合起来可以很容易地获得稳定的偏振模式^[2,3]. 从 PMF 的构成来看, 主要是将单模光纤的圆对称变为几何或热应力的 (x, y) 轴对称^[4,5], 从而形成各向异性的双折射. 其中熊猫偏振保持光纤 (panda polarization-maintaining fiber, panda-PMF) 主要是由热应力形成的应力型保偏光纤, 其保偏性能比较好, 在光纤陀螺、水听器等方面起着重要的作用^[6]. 纤芯掺 Er^{3+} 后制成的掺铒保偏光纤 (erbium-doped polarization-maintaining fiber, EDPMF), 由于可以保持主偏振方向的光在介质内传输过程中偏振方向基本不发生变化, 被用来制作具有光学谐振腔的增益介质, 满足相位相干加强条件. 因此, 在高稳定性、窄线宽的光纤激光器中有重要的应用前景.

有关结构应力在光纤纤芯产生双折射而形成的保偏光纤 (简称应力致双折射型保偏光纤) 的研究, 文

献中讨论的主要是结构参数的优化设计问题. 也就是说如何设计一种结构使保偏光纤的偏振保持性能、传输损耗、弯曲损耗等参数在要求的工作波长窗口内均达到均衡最优, 或者其中几个参数达到最优^[7-9]. 但是保偏光纤在制作过程中难免会产生与设计结构上的偏差, 如在横截面上应力区大小不一, 应力区相对于纤芯中心的对称结构失配等. 应力致双折射型保偏光纤的结构设计与参数数值模拟有多种方法, 最常用的有两类: 一类是解析法, 如热弹性势能法、微元算法等^[10,11]. 对于一些相对简单的光纤结构, 这类方法可得到问题的精确解, 但计算复杂. 另一类是数值法, 如微扰法、有限差分法、有限时域差分法和有限元方法等. 其中, 有限元方法因具有计算简单、实用、精度高, 且能够处理复杂的几何形状和分析不均匀的各向异性介质等特点而得到广泛的应用^[12-14].

本文采用弹性力学原理和复变函数法导出了熊猫型保偏光纤应力双折射的近似解析表达式. 利用有限元法数值分析了熊猫型保偏光纤的双折射特性. 结果表明, 与采用纤芯中心应力相比, 采用芯区平均应力表示光纤的双折射较为精确. 在此基础上进一步分析了应力区失配对熊猫型保偏光纤的双折

* 国家自然科学基金 (批准号: 60577034) 资助的课题.

[†] E-mail: fpyan@bjtu.edu.cn

射所产生的影响,并通过实验测试证明了分析结果的正确性.

2. 理论分析

图 1 表示了所分析的熊猫型保偏光纤横截面结构示意图,它由纤芯和含有应力区的包层所组成.其中纤芯为掺有 Ge 的 SiO_2 , 以提高其折射率并把单模工作特性作为主要目标;应力区为高浓度掺 B 的 SiO_2 , 且为了提高光纤的偏振保持性能,应力区掺 B 的浓度越高越好.其余的包层部分为纯石英.根据文献 [3] 中的分析方法,并结合具体的使用要求设计熊猫型偏振保持光纤的结构参数如下:

$$\begin{aligned} D &= 125 \mu\text{m}, r = 2.89 \mu\text{m}, \\ a &= 31.81 \mu\text{m}, b = 8.67 \mu\text{m}, \end{aligned}$$

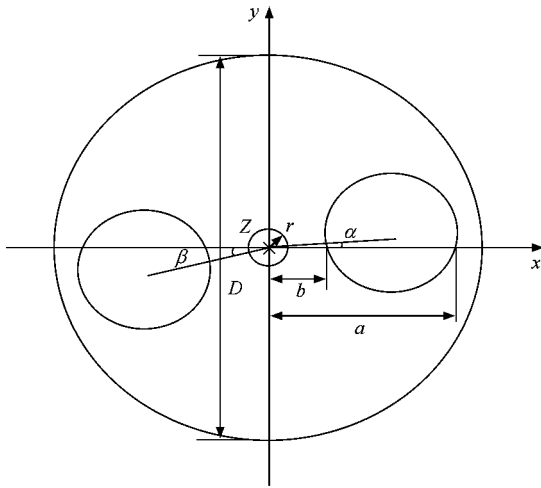


图 1 熊猫型 EDPMF 光纤横截面组成示意图

其中, D 表示光纤外径, r 表示纤芯半径, b, a 分别表示纤芯到应力区最近和最远的距离.建立如图 1 所示的直角坐标系,其中 z 轴为光纤纤芯的轴向,方向垂直指向纸内. α 和 β 分别表示光纤纤芯两边应力区中心与光纤纤芯的中心连线偏离坐标轴 x 的角度.

于是,应力区的热膨胀系数可表示为^[6]

$$\alpha_{\text{sap}} = (1 - m_p) \alpha_{\text{SiO}_2} + m_p \alpha_{\text{B}_2\text{O}_3}, \quad (1)$$

其中 m_p 表示 B 的掺杂浓度(mol 百分比), α_{SiO_2} , $\alpha_{\text{B}_2\text{O}_3}$ 分别为 SiO_2 和 B_2O_3 的热膨胀系数.在本光纤预制棒制作工艺中,测得 m_p 为 18,由 $\alpha_{\text{SiO}_2} = 5.4 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$, $\alpha_{\text{B}_2\text{O}_3} = 1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 可得 $\alpha_{\text{sap}} = 2.24 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$.其余参数选取为 $E = 78 \times 10^9 \text{N/m}^2$, $\nu =$

$$0.186, \Delta T = 1300^\circ\text{C}, \alpha_{\text{core}} = 1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}.$$

为了在 $1.55 \mu\text{m}$ 通信窗口内光纤为单模传输,取其截止波长 $1.392 \mu\text{m}$,因为应力区离芯区较远,可以不考虑应力区对截止波长的影响,选取 $n_{\text{core}} = 1.443$,可计算得 $\Delta n = 1.172 \times 10^{-2}$.

由于在光纤应力区掺 B 导致其与光纤包层的热膨胀系数产生较大的差异,而且这种差异随着应力区中 B 浓度的增加而越显著.当光纤预制棒拉制成光纤后,其温度将由约 2000°C 下降到约 20°C ,此时光纤中会存在残余应力.考虑到光纤的纵向均匀性,因此这一残余应力的问题就转化成为二维平面内的应变问题.根据弹光理论,折射率与应力之间的关系可表示为^[8]

$$\begin{aligned} N_x - N_0 &= c_1 \sigma_x + c_2 (\sigma_y + \sigma_z), \\ N_y - N_0 &= c_1 \sigma_y + c_2 (\sigma_x + \sigma_z), \end{aligned} \quad (2)$$

其中 N_0 表示应力为零时材料的初始折射率, σ_x, σ_y 和 σ_z 分别表示沿 x, y 和 z 方向的应力, c_1 和 c_2 分别表示材料沿 x, y 方向的应力-弹光系数.将(2)式中的两式相减可得

$$N_x - N_y = c (\sigma_x - \sigma_y), \quad (3)$$

其中 $c = c_1 - c_2$, 称作相关应力-弹光系数,对于熊猫型 EDPMF, c_1 和 c_2 分别取为 $-0.7572448 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{N}$, $-4.18775 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{N}$ ^[7], 则 $c = 3.55 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{N}$.

于是光纤横截面任意一点的双折射可表示为

$$B = N_x - N_y. \quad (4)$$

当 PMF 的纤芯尺寸和外径相比很小(如 $2r/D < 10$)时,应力双折射 B_s 近似等于纤芯中心处的应力双折射 B_{s0} ,即

$$\begin{aligned} B_s &\approx B_{s0} = N_x - N_y \\ &= c (\sigma_x(0,0) - \sigma_y(0,0)). \end{aligned} \quad (5)$$

由于单模光纤中的光功率主要集中在纤芯传输,并且纤芯的应力一般是不均匀的,可以用纤芯的平均应力 B^* 来表示光纤的应力双折射,即

$$B_s \approx B^* = \frac{\iint_{\text{core}} c (\sigma_x - \sigma_y) \lambda dA}{\iint_{\text{core}} dA}. \quad (6)$$

根据拍长和双折射的关系

$$L = \frac{\lambda}{B},$$

可由双折射计算出在给定波长处的拍长,便于与实验测得的数据进行比较.

3. 数值仿真

在无应力区失配的理想情况下,采用有限元法计算得到纤芯中心应力如下:

$$\sigma_x(0,0) = 8.8528 \times 10^7 \text{ Pa},$$

$$\sigma_y(0,0) = -4.5223 \times 10^7 \text{ Pa},$$

其中符号取正表示为拉应力,符号取负表示为压应力.将 σ_x, σ_y 分别代入(5)(6)式得 $B_{s0} = 4.5883 \times 10^{-4}, B^* = 4.5907 \times 10^{-4}$.而文献[4]给出计算双折射的解析解,根据这种方法计算得到的双折射为 $B_{s0} = 4.5912 \times 10^{-4}$.折算成 1550 nm 处的拍长分别为 3.3782 mm, 3.3760 mm 和 3.3764 mm.如果把解析解看成是精确解的话,表明采用平均应力计算的应力双折射值更接近精确解,误差为 0.01%.

应力区失配分为几种情况:1)右边应力区向上或者向下偏移;2)左边应力区向上或者向下偏移;3)左右两边应力区同时偏移.下面分别进行讨论.

3.1. 右边应力区偏移

先分析左边应力区保持理想状态,右边应力区分别偏移 $0.5^\circ, 1^\circ, 1.5^\circ$ (正值表示逆时针,负值表示顺时针),导致应力区中心线与光纤纤芯轴向非共面即应力区失配对应应力双折射产生的影响.令右边向上偏移的距离为 m ,根据文献[4]的弹性力学原理加复变函数的方法,可以推出此时纤芯中心处的应力双折射为

$$B_{s0} = \frac{cE\Delta\alpha\Delta T}{2(1-\nu)} \left[\left(\frac{a-b}{a+b} \right)^2 + \frac{3}{2} m^2 (a-b)^2 \right] + \frac{(a-b)[\chi(a+b)^2 - 8m^2]}{((a+b)^2 - 4m^2)^2 + 16m^2(a+b)^2}$$

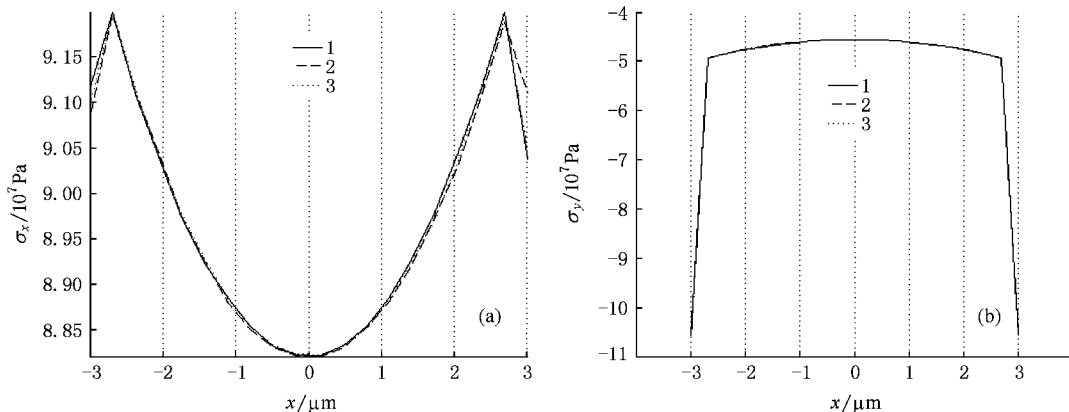


图2 理想情况、右边应力区偏移 1° 和 -1° 时 (a) σ_x , (b) σ_y 沿 x 的分布

$$- \frac{3}{4} (a^2 - b^2)^2 \}, \quad (7)$$

其实,当左边应力区保持理想状态右边应力区偏移角度为负时,或者当右边应力区保持理想状态左边应力区偏移角度为正或负时,由弹性力学加复变函数法推出的纤芯中心处应力双折射的计算公式和(7)式相同,下面就不再重复.

分别采用三种方法计算光纤的应力双折射结果如表1.

表1 右边应力区分别偏移 $0.5^\circ, 1^\circ, 1.5^\circ$ 时的应力双折射

	0.5°	1°	1.5°
解析法纤芯中心	4.5906×10^{-4}	4.5889×10^{-4}	4.5863×10^{-4}
有限元法纤芯中心	4.5862×10^{-4}	4.5890×10^{-4}	4.5881×10^{-4}
有限元法平均应力	4.5835×10^{-4}	4.5832×10^{-4}	4.5826×10^{-4}

从表1可以看出,采用解析法和有限元法平均应力得出的应力双折射的大小变化趋势一致,随右边应力区偏移角度增加而减小,且两种方法所得结果相差不超过 0.16%;当使用有限元法来计算时,只用纤芯中心的应力来近似就不是很准确了,可以从图2找到原因.

图2(a)和(b)分别表示了应力区无偏移、右边应力区偏移 1° 和 -1° 时芯区沿 x 方向的应力分布,分别用实线、虚线和点线表示,记为 1, 2, 3.可以看出在芯区应力分布不是很均匀,沿 x 方向是拉应力,在纤芯中心处最小,沿 y 方向是压应力,且在纤芯中心处最大.图2(b)中 1 和 2 基本重合,表明右边应力区偏移对芯区沿 x 方向压应力的分布几乎没有影响,而图2(a)中的 1 和 2 在芯区的左边几乎重合,在芯区右边 2 比 1 要小,说明右边应力区偏移使沿 x 方向的拉应力减小,特别是芯区右边的拉应力

减小比较明显一些.这充分说明了采用有限元法计算应力双折射时,使用芯区的平均应力来近似比使用芯区中心来近似更合乎实际情况一些.

右边应力区偏移角度为负时对芯区应力双折射的影响和偏移角度为正应该一样,首先从(7)式计算纤芯中心处的应力时,尽管 m 符号相反,但是含 m 的项都是平方项,所以如果向下偏移和向上偏移距离一样时,计算结果相同;其次,从图2也可以看出,不论是 σ_x 还是 σ_y 在芯区曲线2和3几乎完全重合,所以计算出的芯区平均应力双折射应相差不大,从结构上解释是由于熊猫型 EDPMF 是关于 x 轴对称的.

3.2. 左边应力区偏移

对于熊猫型偏振保持光纤来说,由于所考虑的光纤横截面结构中两个应力区相对于纤芯呈对称分布状态,因此左边应力区偏移角度为正和负对应力

双折射的影响是一样的.这里只分析左边应力区偏移为负的情况.如表2所示,分别为采用三种方法计算左边应力区偏移 -0.5° , -1° , -1.5° 时应力双折射的结果.

表2 左边应力区分别偏移 -0.5° , -1° , -1.5° 时的应力双折射

	-0.5°	-1°	-1.5°
解析法纤芯中心	4.5906×10^{-4}	4.5889×10^{-4}	4.5863×10^{-4}
有限元法纤芯中心	4.5832×10^{-4}	4.5785×10^{-4}	4.5792×10^{-4}
有限元法平均应力	4.5862×10^{-4}	4.5839×10^{-4}	4.5825×10^{-4}

从表2同样可以看出,采用解析法和有限元法平均应力计算应力双折射的结果随着左边应力区偏移角度绝对值的增加,变化趋势一致,都是逐渐减小,并且二者结果的误差不超过0.11%;而采用有限元纤芯中心的应力所得结果发生跳变,就不能认为很精确的了.这也可以从图3找到原因.

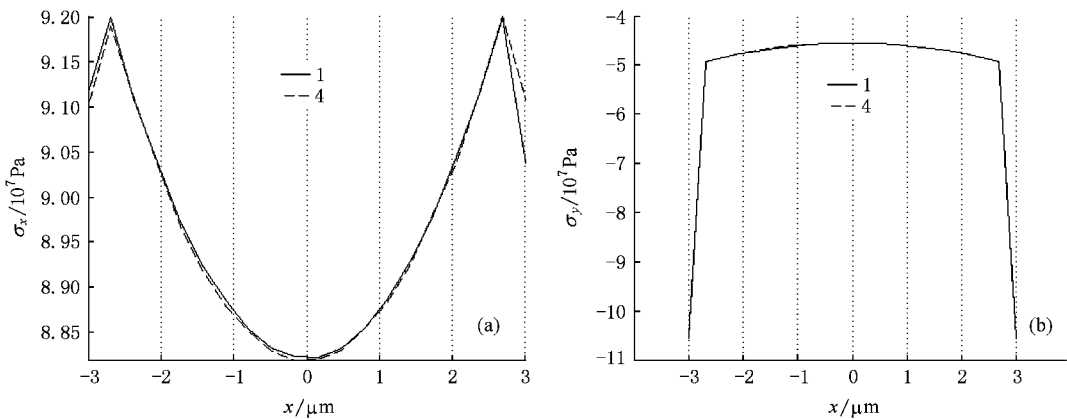


图3 理想情况和左边应力区偏移 -1.5° 时纤芯中(a) σ_x , (b) σ_y 沿 x 的分布

图3表示理想情况和左边应力区偏移 -1.5° 时纤芯里沿 x 方向的应力分布,分别用实线和虚线表示,并记为1和4.可以看出,纤芯应力分布不是很均匀,理想情况下,沿 x 方向纤芯中心处拉应力最小,压应力最大,但是当左边应力区偏移后,使拉应力减小,特别使纤芯左边的拉应力减小较为明显,如图3(a),而对压应力影响较小,如图3(b).

3.3. 左右两边应力区同时偏移

应力区失配最差的情况就是两边应力区同时偏移,下面以左边应力区偏移角度为负右边应力区偏移角度为正来进行分析.设左边应力区向下偏移的距离为 m_1 ,右边应力区向上偏移的距离为 m_2 ,由弹性力学原理加复变函数方法推出此时纤芯处中心处

的应力双折射为

$$B_{s0} = \frac{cE\Delta\alpha\Delta T}{\chi(1-\nu)} \left\{ \frac{3}{2}(m_1^2 + m_2^2)(a-b)^2 + \frac{(a-b)[\chi(a+b)^2 - 8m_1^2]}{((a+b)^2 - 4m_1^2) + 16m_1^2(a+b)^2} + \frac{(a-b)[\chi(a+b)^2 - 8m_2^2]}{((a+b)^2 - 4m_2^2) + 16m_2^2(a+b)^2} - \frac{3}{4}(a^2 - b^2)^2 \right\}. \quad (8)$$

从(8)式可以看出,采用解析法计算时,左右两边应力区上移或下移所得结果是一样的,下面采用三种方法计算了左边应力区偏移 -0.5° , -0.5° , -1° , -1.5° 和 1.5° 时,右边应力区同时相应偏移 0.5° , 1° , 1° , 1.5° 和 1.5° 五种情况.结果如表3.

表 3 左右两边同时偏移时五种不同情况下的应力双折射

左边偏移角度	-0.5°	-0.5°	-1°	-1.5°	1.5°
右边偏移角度	0.5°	1°	1°	1.5°	1.5°
解析法纤芯中心	4.5900×10^{-4}	4.5884×10^{-4}	4.5864×10^{-4}	4.5814×10^{-4}	4.5814×10^{-4}
有限元法纤芯中心	4.5833×10^{-4}	4.5847×10^{-4}	4.5810×10^{-4}	4.5763×10^{-4}	4.5861×10^{-4}
有限元法平均应力	4.5843×10^{-4}	4.5841×10^{-4}	4.5826×10^{-4}	4.5733×10^{-4}	4.5738×10^{-4}

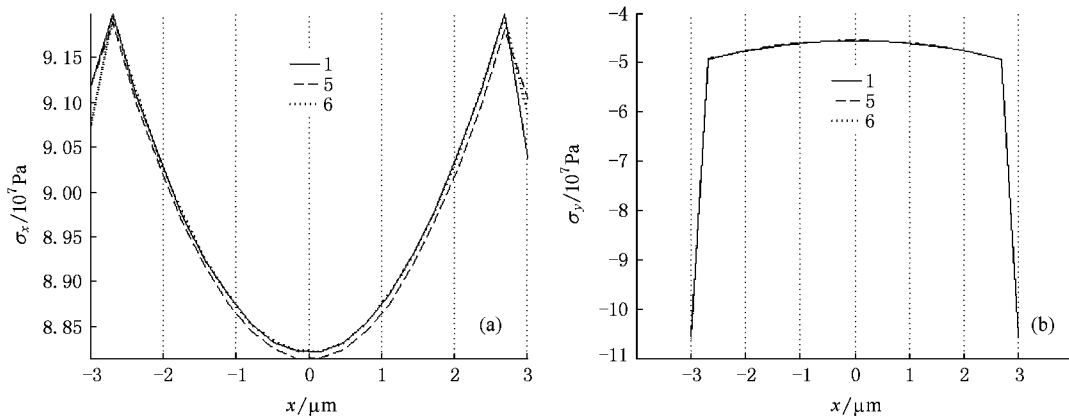
从表 3 可以看出,当两边应力区同时偏移时,应力双折射比一边偏移时要小,说明两边应力区同时偏移对应力双折射的影响大于只有一边应力区偏移的情况;并且采用有限元法计算时,用纤芯中心近似得出应力双折射的结果有跳变,而用平均应力计算的结果随应力区偏移程度的加大逐渐减小,和解析法计算的变化趋势一致,并且误差不超过 0.18%。还可以看出两边应力区分别朝两个方向偏移和同时向上偏移相同的角度时,即第 4 种和第 5 种情况,用平均应力计算二者结果几乎一样,和解析法的一致,也和前面的结论一致。

图 4 表示的是理想情况、左右两边应力区同时偏移 1.5°和左右两边应力区同时分别偏移 -0.5°、1°时纤芯中 σ_x 和 σ_y 沿 x 轴的分布,分别用实线、虚线和点线来表示,记为 1、5、6。从图 4 可以看出,沿 x 方向纤芯应力分布不是很均匀的,特别是拉应力;并且在图 4(a)中曲线 1、6、5 在芯区表示的数值依次减

小,这表明左右两边应力区同时偏移时,沿 x 方向芯区两边应力都减小,并且偏移程度越大,减小的越多。图 4(b)中,三曲线基本重合,表明应力区同时偏移时沿 x 方向的压应力也几乎无影响。这也充分说明了表 3 中采用有限元法平均应力来表示应力双折射的有效性。

表 4 利用数字显微镜测得的两根光纤横截面结构参数

No	1	2	
纤芯直径/ μm	5.4	4.1	
包层直径/ μm	130	125	
应力区直径/ μm	左	21.5	24
	右	21.3	24.5
应力区中心距纤芯	左	29	23.5
	右	28.6	24.8
右应力区中心与纤芯中心连线偏离左应力区中心与纤芯中心连线的角度($^\circ$)	4	-5	

图 4 理想情况和左右两边应力区分别同时偏移 1.5°和偏移 0.5°、1°时纤芯中(a) σ_x 、(b) σ_y 沿 x 的分布

4. 实验结果分析

利用上述新工艺实际制作了两根熊猫型偏振保持光纤,拉丝长度分别为 2.8 km 和 2.5 km。其横截

面照片分别如图 5(a)、(b)所示。在这两根光纤中作为应力区的掺 B 棒由同一根掺 B 棒制成,其中 B 掺杂浓度为 18%,所引起的折射率下陷为 0.8%。利用数字显微镜测得的两根光纤横截面的结构参数如表 4 所示。

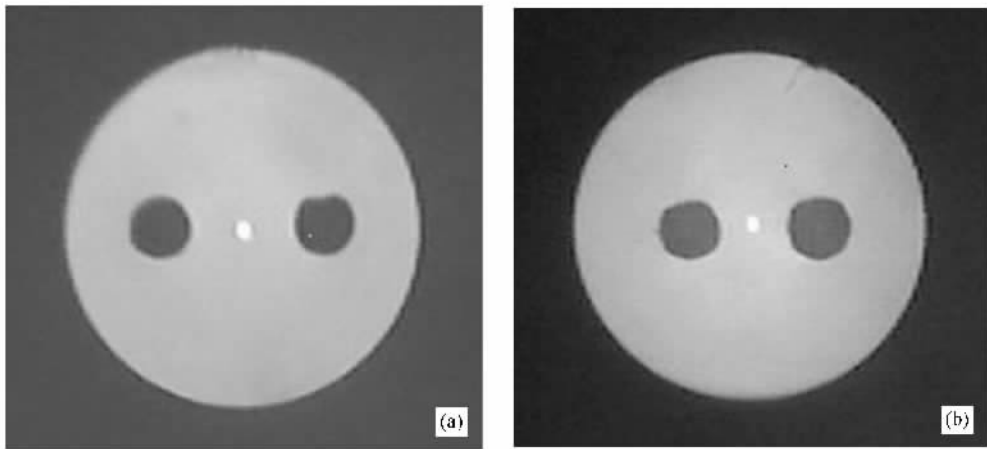


图 5 实验研制的熊猫型偏振保持光纤横截面照片 (a)No.1 偏振保持光纤 (b)No.2 偏振保持光纤

于是根据有限元纤芯中心方法分析得出的两偏振保持光纤 No.1、No.2 的双折射系数分别为 1.734×10^{-4} 和 3.136×10^{-4} ;根据有限元平均应力方法分析得出的两偏振保持光纤 No.1、No.2 的双折射系数分别为 1.744×10^{-4} 和 3.124×10^{-4} .分别在两根光纤上截取长度为 1500 mm 的样品 ,利用周期为 1.054

μm 的相位掩模板在两个样品上紫外写入光纤光栅后所得到的反射谱如图 6(a)(b)所示 .经计算 ,得到其双折射分别是 1.727×10^{-4} 和 3.112×10^{-4} .对于有限元平均应力方法计算结果而言 ,实验值与理论分析值分别相差 0.98%、0.39% ,由此证明了文中所给出的数值分析方法的正确性 .

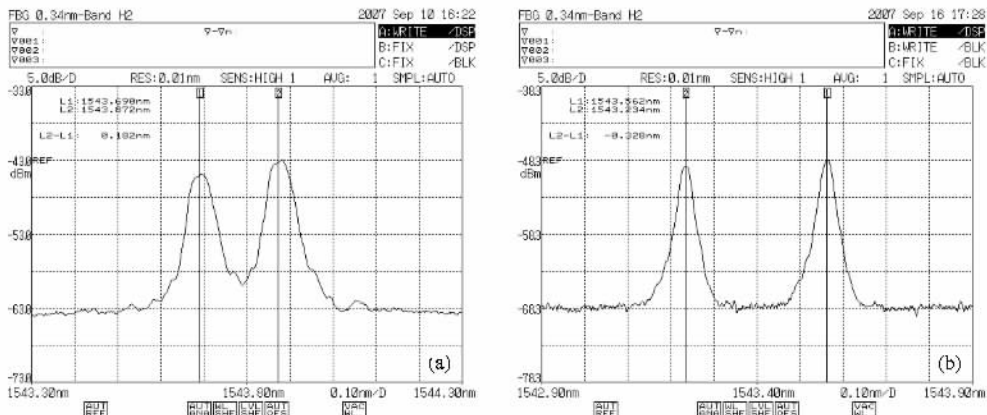


图 6 紫外写入光纤光栅的反射谱 (a)No.1 偏振保持光纤 (b)No.2 偏振保持光纤

5. 结 论

本文设计了一种性能较好的熊猫型保偏光纤 ,采用弹性力学原理和复变函数法导出了熊猫型保偏光纤应力双折射的近似解析表达式 ,结合有限元法数值分析了熊猫型保偏光纤应力区失配对其应力双折射所产生的影响 .结果表明左边应力区偏移时会减小芯区左边的拉应力 ,对芯区右边的拉应力影响

不大 ,右边应力区向上或向下偏移时刚好相反 ,但二者都对压应力几乎没有影响 .当两边应力区同时向下或向上偏移时 ,应力双折射的减小比较明显 .当应力区有偏移时 ,采用有限元法计算时用纤芯中心来近似光纤的应力双折射会随偏移程度的不同发生跳变 ,采用芯区的平均应力来近似比较精确 ,与解析公式推出的纤芯中心应力公式计算结果的误差不超过 0.18% .这对熊猫型 PMF 的研究和制造有重要的指导意义 .

- [1] Rashleigh S C 1983 *J. Lightw. Tech.* LT-1 312
- [2] Zeng L, Lou C Y, Zhang E Y 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1241 (in Chinese) [曾 丽、娄彩云、章恩耀 2005 物理学报 **54** 1241]
- [3] Zhang X H, Yao Z H, Li X Y, Li C M, Feng K C, Wang Z M 2003 *Acta Phys. Sin.* **52** 840 (in Chinese) [张喜和、姚治海、李晓英、李春明、冯克成、王兆民 2003 物理学报 **52** 840]
- [4] Jia G Z, Shi P M, Yang X Y, Zhang J P, Fan G L 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4575 (in Chinese) [贾维国、史培明、杨性愉、张俊萍、樊国梁 2006 物理学报 **55** 4575]
- [5] Edvold B, Palsdotir B 1994 *Proc. SPIE* **2289** 69
- [6] Zheng K, Chang D Y, Fu Y J 2007 *Chin. Phys.* **16** 478
- [7] Lou S Q, Ren G B, Yan F P, Jian S S 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1229 (in Chinese) [娄淑琴、任国斌、延凤平、简水生 2005 物理学报 **54** 1229]
- [8] Li Z Z, Hu Y M, Yang H Y *et al* 2005 *Acta Opti. Sin.* **25** 1013 (in Chinese) [李智忠、胡永明、杨华勇 等 2005 光学学报 **25** 1013]
- [9] Ren G J, Zhang Q, Wang P, Yao J Q 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 3917 (in Chinese) [任广军、张 强、王 鹏、姚建铨 2007 物理学报 **56** 3917]
- [10] Xiao R, Hou J, Jiang Z F 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 4550 (in Chinese) [肖 瑞、侯 静、姜宗福 2007 物理学报 **56** 4550]
- [11] Liu Y G, Mang X H *et al* 2005 *Chin. Phys.* **14** 991
- [12] Guan R F, Zhu F L, Gan Z Y, Huang D X, Liu S 2005 *Opt. Fiber Tech.* **11** 240
- [13] Liu Y A, Rahman B M A 1995 *J. Lightw. Tech.* **13** 142
- [14] Tsai K H, Kim K S, Morse T F 1991 *J. Lightw. Tech.* **9** 7

Study on the performance of stress area mismatched Panda polarization-maintaining fiber *

Yan Feng-Ping[†] Wei Yan Fu Yong-Jun Wei Huai Gong Tao-Rong Wang Lin Li Yi-Fan
Liu Peng Liu Yang Tao Pei-Lin Qu Mei-Xia Jian Shui-Sheng

(Key Laboratory of All Optical Networks & Advanced Telecommunication Networks , Ministry of Education , Beijing 100044 , China)

(Institute of Lightwave Technology , Beijing Jiaotong University , Beijing 100044 , China)

(Received 12 January 2008 ; revised manuscript received 9 June 2008)

Abstract

An approximate analytical expression of the stress birefringence for Panda polarization-maintaining fiber (Panda-PMF) was deduced by using elasticity theory and complex function method. Based on this expression , the birefringence properties of this fiber were analyzed numerically by using the finite-element method. The results show that the birefringence expressed by core average stress mode is more accurate than that expressed by the core center stress mode and the error of the former is less than 0.18% compared with that of the analytic method. Further more , the birefringence degradation of the Panda-PMF induced by stress area mismatch was analyzed and proved by the related experiment.

Keywords : polarization-maintaining fiber (PMF) , stress area mismatch , birefringence , beat length

PACC : 4281F , 7820F , 0630M

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60577034).

[†] E-mail : fpyan@bjtu.edu.cn