

文章编号: 1000-7032(2009)06-0882-06

# 一种新的低非线性宽带色散补偿微结构光纤的设计

侯尚林, 韩佳巍

(兰州理工大学 理学院, 甘肃 兰州 730050)

**摘要:** 采用矢量光束传输法对空气孔包层呈正六边形分布的微结构光纤的色散和非线性特性进行了数值模拟。通过分别调节内三层空气孔的直径和包层空气孔节距, 设计了一种低非线性宽带色散补偿微结构光纤。该光纤在波长  $1.55 \mu\text{m}$  处具有  $-3\ 235.8 \text{ ps/nm/km}$  的大负色散, 可在以  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的  $100 \text{ nm}$  宽带波长范围对相当于自身长度 190 倍的普通单模传输光纤进行宽带色散补偿(色散补偿率偏移在  $0.5\%$  以内), 同时该光纤可在此宽带波长范围内保持非线性系数低于  $5 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ 。

**关键词:** 光纤光学; 微结构光纤; 矢量光束传输法; 色散补偿; 非线性

中图分类号: TN929.11

PACS: 42.81.Dp

PACC: 4280M; 6185; 4281F

文献标识码: A

## 1 引 言

随着光网络向高速、宽带大容量和超远距离传输发展, 色散和非线性成为现代高速宽带光纤通信系统的主要限制因素, 目前主要色散补偿技术有色散补偿光纤(Dispersion compensation fibers, DCFs)、预啾啾、频谱反转、色散管理传输及啾啾光纤光栅等<sup>[1]</sup>。其中, 色散补偿光纤因其技术相对简单和成熟, 升级潜力大, 性能稳定等优点而得到广泛应用<sup>[2]</sup>。但波分复用(Wavelength division multiplexing, WDM)系统在较宽的带宽内采用多信道(波长)传输信号, 因此需要在宽带波长范围内实现色散补偿, 即同时应对普通单模光纤的色散和色散斜率进行补偿<sup>[3]</sup>; 另一方面, 在工作波长范围内应尽量减少或避免非线性效应以保证较大的光功率能够得以有效传输<sup>[4]</sup>。由于传统的色散补偿光纤难以满足上述要求, 其在 WDM 系统中的使用受到了很大限制。

微结构光纤(Microstructure fibers, MFs)是由沿轴向规则地排列着空气孔的石英阵列包层和一个破坏了包层结构周期性的缺陷纤芯组成, 具有很多突出的优点, 如: 无截止单模传输、高双折射、大的数值孔径、独特的色散和非线性等<sup>[5-7]</sup>。由于结构设计的特殊性和高度可调性, 其在特定的

工作波长带宽内可以有效地对普通单模传输光纤的色散和色散斜率同时进行补偿<sup>[8-11]</sup>。

近年来, 利用具有呈六角形分布的空气孔包层结构, 或具有双纤芯结构的微结构光纤实现大负色散或宽带色散补偿的研究见诸报道<sup>[12-17]</sup>, 但这些设计难以同时满足在工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  处实现低于  $-600 \text{ ps/nm/km}$  的大负色散和宽于 C 波段的补偿带宽。此外, 也有报道利用纤芯掺杂的微结构光纤实现宽带色散补偿的研究<sup>[18,19]</sup>, 但纤芯掺杂则提升了损耗和光纤制造的困难。Yang 等<sup>[20]</sup>设计的微结构光纤可实现负色散曲线在 C 波段范围内由  $-380 \sim -420 \text{ ps/nm/km}$  呈线性变化; Wang 等<sup>[21]</sup>设计的微结构光纤在工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  处实现了  $-1\ 725.1 \text{ ps/nm/km}$  的大负色散, 且在  $100 \text{ nm}$  的宽带波长范围内的色散补偿率偏移为  $0.8\%$ 。尽管上述设计可以同时实现大负色散和宽带色散补偿, 但是并未考虑非线性效应的影响。

本文采用矢量光束传输法(Vectorial Beam Propagation Method, VBPM)<sup>[22]</sup>对包层空气孔呈正六边形分布的微结构光纤进行了数值模拟, 分别计算了内三层空气孔的直径和空气孔节距对微结构光纤的色散特性和非线性系数的影响。优化设计了一种低非线性宽带色散补偿微结构光纤,

收稿日期: 2009-04-27; 修订日期: 2009-06-08

基金项目: 甘肃省自然科学基金(3ZS062-B25-036); 兰州理工大学博士启动基金和优秀青年教师培养计划资助项目

作者简介: 侯尚林(1970-), 男, 甘肃天水人, 博士, 主要从事新型光纤与光传感技术光子晶体光纤技术和光纤光栅技术的研究。  
E-mail: houshanglin@gmail.com, Tel: (0931)2757032

在工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  处的色散可达  $-3\ 235.8 \text{ ps/nm/km}$ , 可以实现在以  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的  $100 \text{ nm}$  波长范围内对相当于自身长度  $190$  倍的普通单模传输光纤进行宽带色散补偿(色散补偿率偏移在  $0.5\%$  以内), 并在此宽带波长范围内保持非线性系数低于  $5 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ 。研究结果为设计适合 WDM 系统传输的低非线性宽带色散补偿光纤提供理论参考。

## 2 理论模型

采用 VBPM 进行数值分析的微结构光纤的截面图如图 1 所示, 由纯石英和呈正六边形分布的六层空气孔组成。  $d_1 \sim d_4$  依次分别是由纤芯向外一到四层空气孔的直径,  $d_5$  是第五、六层空气孔的直径,  $\Lambda$  是包层空气孔节距。

微结构光纤的总色散为<sup>[13]</sup>

$$D(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_{\text{eff}}}{d\lambda^2} + D_m(\lambda) \quad (1)$$

式中  $\lambda$  为真空中的光波长,  $c$  为真空中光速,  $n_{\text{eff}}$  为有效折射率,  $D_m(\lambda)$  为材料色散。

微结构光纤的非线性系数为<sup>[23]</sup>:

$$\gamma = \frac{n_2 \omega_0}{c A_{\text{eff}}} = \frac{2\pi n_2}{\lambda A_{\text{eff}}} \quad (2)$$

式中  $n_2 = 2.76 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$  为石英的非线性折射率,  $\omega_0$  为角频率, 光纤基模的有效面积  $A_{\text{eff}}$  定义为:

$$A_{\text{eff}} = \left( \iint_s |E_t|^2 dx dy \right)^2 / \left( \iint_s |E_t|^4 dx dy \right) \quad (3)$$

式中  $E_t$  是横电场矢量,  $s$  是微结构光纤的横截面。

在  $1.5 \sim 1.6 \mu\text{m}$  波长范围内, 普通单模传输光纤 G. 652 的色散随波长线性变化且色散斜率保持不变, 其色散值可用公式表示<sup>[24]</sup>:

$$D_{\text{SMF}}(\lambda) = 14 + 60(\lambda - 1.5) \quad (4)$$

为判断宽带色散补偿程度, 定义色散补偿率(Dispersion compensation ratio, DCR)<sup>[12]</sup>:

$$\text{DCR} = \left| \frac{D_{\text{SMF}}(\lambda) L_{\text{SMF}}}{D_{\text{MF-DC}}(\lambda) L_{\text{MF-DC}}} \right| \quad (5)$$

其中  $D_{\text{SMF}}(\lambda)$  和  $D_{\text{MF-DC}}(\lambda)$  分别是工作波长所对应的单模传输光纤和色散补偿微结构光纤的色散,  $L_{\text{SMF}}$  和  $L_{\text{MF-DC}}$  分别是单模传输光纤和色散补偿微结构光纤的长度。

## 3 数值结果与分析

微结构光纤横截面如图 1 所示, 由于模式光场

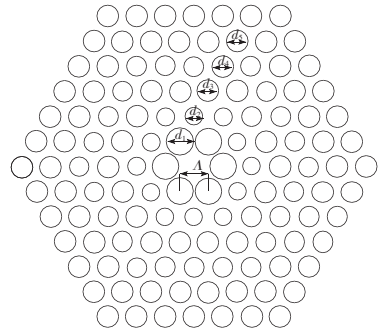


图 1 低非线性色散补偿微结构光纤截面图

Fig. 1 Cross profile of the microstructure fiber for dispersion compensation with low nonlinearity.

主要分布在纤芯附近, 离纤芯最近层的空气孔对微结构光纤的传输特性起主要作用。下面主要分析微结构光纤包层中内三层空气孔直径和空气孔节距对于色散和非线性特性的影响。

$d_1$  对于微结构光纤的色散特性和非线性系数的影响如图 2 所示, 其中  $d_2 = 0.59 \mu\text{m}$ ,  $d_3 = 0.73 \mu\text{m}$ ,  $d_4 = 0.68 \mu\text{m}$ ,  $d_5 = 0.74 \mu\text{m}$ ,  $\Lambda = 1 \mu\text{m}$ 。在图 2(a) 中, 色散随着波长的增加而减小并且色散斜率保持为负值。在以工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的  $100 \text{ nm}$  长波段范围内, 色散随着  $d_1$  的增大而减小。当分别选取  $d_1$  为  $0.90, 0.91, 0.92 \mu\text{m}$

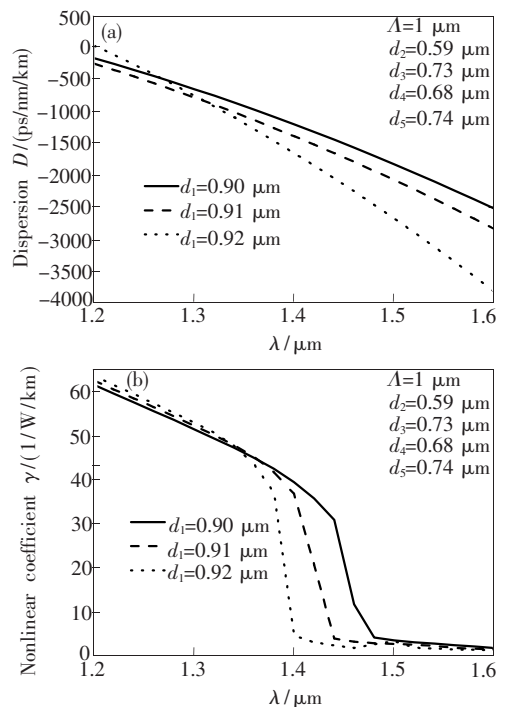


图 2  $d_1$  对微结构光纤色散(a)和非线性系数(b)的影响  
Fig. 2 The influence of  $d_1$  on the dispersion (a) and the nonlinearity (b) of the MF

时,  $1.55 \mu\text{m}$  波长处的色散分别为  $-2\,168.7$ ,  $-2\,448.7$ ,  $-3\,235.8 \text{ ps/nm/km}$ 。在图 2(b) 中, 非线性系数随着波长的增加而减小, 并且随波长的增加非线性系数由高向低发生突变, 但  $d_1$  对发生突变的波长有明显的影响。除此之外,  $d_1$  的变化对于以波长  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的  $100 \text{ nm}$  的长波段范围内的非线性系数的影响不大。随着  $d_1$  的增大, 非线性系数的突变波长段向短波长方向移动, 当  $d_1$  增大到一定值后可以在以  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的宽波段范围内保持非线性系数低于  $5 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ 。由于微结构光纤的结构限制, 第一层空气孔的直径须有上限以保证其间分布的纯石英能够支持光纤的纤芯, 考虑实际制造和模拟结果, 选取  $d_1 = 0.92 \mu\text{m}$  是合适的。

$d_2$  对于微结构光纤的色散特性和非线性系数的影响如图 3 所示, 其中  $d_1 = 0.92 \mu\text{m}$ ,  $d_3 = 0.73 \mu\text{m}$ ,  $d_4 = 0.68 \mu\text{m}$ ,  $d_5 = 0.74 \mu\text{m}$ ,  $\Lambda = 1 \mu\text{m}$ 。在图 3(a) 中, 色散也是随波长的增加而减小且色散斜率保持为负值。在以工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的  $100 \text{ nm}$  长波段范围内色散随着  $d_2$  的减小而先减小后增大。由图可知, 不同  $d_2$  取值在  $1.55 \mu\text{m}$  波长处的色散分别是  $-1\,954.9 \text{ ps/nm/km}$  ( $d_2 = 0.63 \mu\text{m}$ ),  $-3\,705.1 \text{ ps/nm/km}$  ( $d_2 = 0.61$

$\mu\text{m}$ ),  $-3\,235.8 \text{ ps/nm/km}$  ( $d_2 = 0.59 \mu\text{m}$ ) 和  $-2\,854.0 \text{ ps/nm/km}$  ( $d_2 = 0.58 \mu\text{m}$ )。在图 3(b) 中,  $d_2$  的变化对于以波长  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的  $100 \text{ nm}$  的长波段范围内的非线性系数的影响比较大, 主要是由非线性系数的突变引起的。非线性系数的突变波长段随着  $d_2$  的减小向短波长方向移动, 取  $d_2$  在  $0.63 \mu\text{m}$  以下时突变波长可以小于  $1.5 \mu\text{m}$ , 但是当  $d_2 = 0.58 \mu\text{m}$  及更小时, 非线性系数曲线在波长  $1.5 \sim 1.6 \mu\text{m}$  的  $100 \text{ nm}$  波长范围内有突变, 不利于在此宽波段内保持低非线性效应。综上所述, 取  $d_2 = 0.59 \mu\text{m}$  为宜。

$d_3$  对于微结构光纤的色散特性和非线性系数的影响如图 4 所示。在图 4(a) 中, 色散也是随波长的增加而减小且色散斜率保持为负值。在以工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的  $100 \text{ nm}$  长波段范围内, 色散随着  $d_3$  的减小而减小, 有利于在波长  $1.55 \mu\text{m}$  处实现大负色散。工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  处的色散分别为  $-1\,913.2 \text{ ps/nm/km}$  ( $d_3 = 0.79 \mu\text{m}$ ),  $-2\,586.0 \text{ ps/nm/km}$  ( $d_3 = 0.75 \mu\text{m}$ ),  $-3\,235.8 \text{ ps/nm/km}$  ( $d_3 = 0.73 \mu\text{m}$ ),  $-8\,878.2 \text{ ps/nm/km}$  ( $d_3 = 0.72 \mu\text{m}$ )。同时由图 4(b) 可以看出,  $d_3$  对非线性系数的突变波长影响很大, 突变波长随着  $d_3$  的减小向短波长方向移动, 有利于

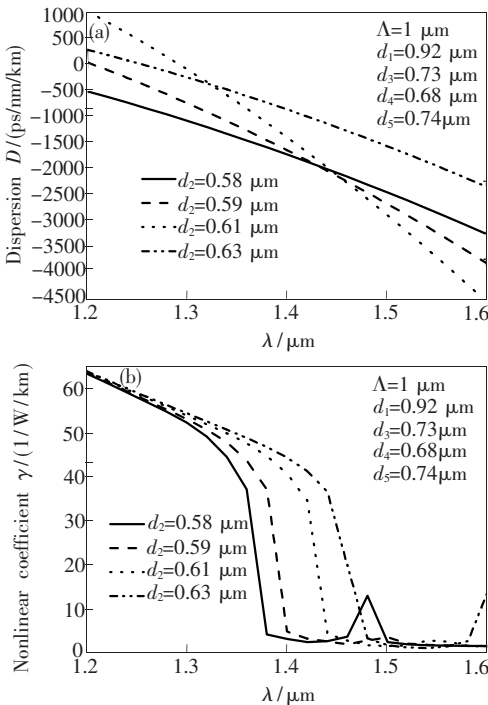


图 3  $d_2$  对微结构光纤色散(a)和非线性系数(b)的影响  
Fig. 3 The influence of  $d_2$  on the dispersion (a) and the nonlinearity (b) of the MF

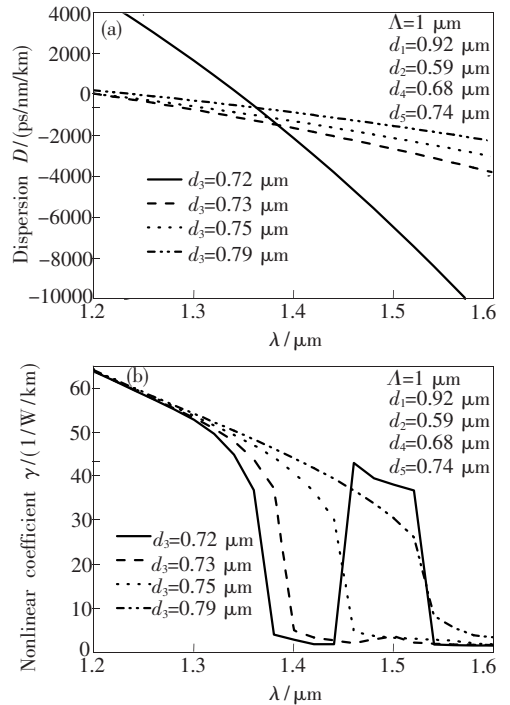


图 4  $d_3$  对微结构光纤色散(a)和非线性系数(b)的影响  
Fig. 4 The influence of  $d_3$  on the dispersion (a) and the nonlinearity (b) of the MF

在以  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的宽波段范围内保持低于  $5 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$  的非线性系数。但是当  $d_3 = 0.72 \mu\text{m}$  时,非线性系数曲线在  $1.5 \mu\text{m}$  附近有个明显的突起,不利于在此宽带长波段内保持低非线性效应。综合考虑以上的模拟结果,取  $d_3 = 0.73 \mu\text{m}$  是合适的。

节距  $\Lambda$  对于微结构光纤的色散特性和非线性系数的影响如图 5 所示。在图 5(a) 中,色散随波长的增加而减小且色散斜率一直保持为负值。在以工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的长波段范围内色散随着  $\Lambda$  的减小而减小,有利于在波长  $1.55 \mu\text{m}$  处实现大负色散。 $1.55 \mu\text{m}$  处的色散分别为  $-3100.9 \text{ ps/nm/km}$  ( $\Lambda = 1.01 \mu\text{m}$ ),  $-3235.8 \text{ ps/nm/km}$  ( $\Lambda = 1 \mu\text{m}$ ),  $-3826.0 \text{ ps/nm/km}$  ( $\Lambda = 0.99 \mu\text{m}$ )。在图 5(b) 中,  $\Lambda$  的变化对于非线性系数的突变波长段的影响不大。但当  $\Lambda = 0.99$  时,非线性曲线在波长  $1.52 \mu\text{m}$  附近也有一个突

起,造成在  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的近  $100 \text{ nm}$  宽带内非线性系数很大。综合考虑大负色散和低非线性的因素,取值  $\Lambda = 1.00 \mu\text{m}$ 。

在保持微结构光纤的结构参数  $d_4 = 0.68 \mu\text{m}$ ,  $d_5 = 0.74 \mu\text{m}$  的基础上,根据以上的分析,分别优化选取  $d_1 = 0.92 \mu\text{m}$ ,  $d_2 = 0.59 \mu\text{m}$ ,  $d_3 = 0.73 \mu\text{m}$  和  $\Lambda = 1 \mu\text{m}$ 。该微结构光纤在工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  处的色散为  $-3235.8 \text{ ps/nm/km}$ ,对于普通单模传输光纤的色散补偿倍数约为 190。由式(4)和(5)可得色散补偿率曲线如图 6 所示,可见该光纤在  $1.5 \sim 1.6 \mu\text{m}$  的  $100 \text{ nm}$  宽带波长范围内的色散补偿率偏移保持在  $0.5\%$  以内,可以很好地实现宽带色散补偿。

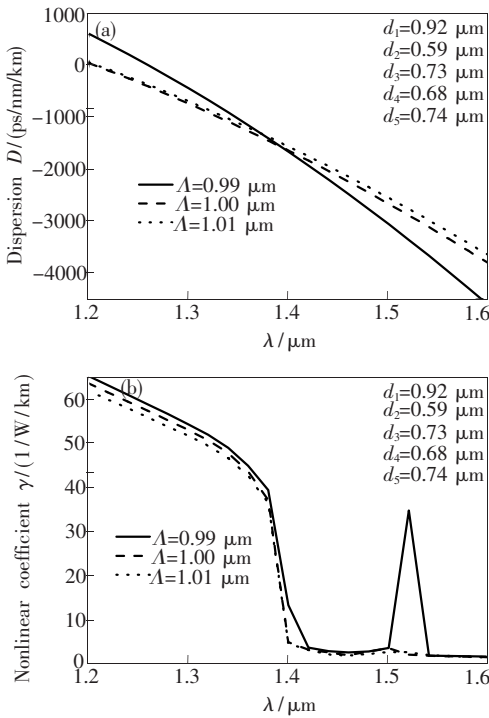


图 5 节距  $\Lambda$  对微结构光纤(a)色散和(b)非线性系数的影响

Fig.5 The influence of intercept  $\Lambda$  on the dispersion (a) and the nonlinearity (b) of the MF

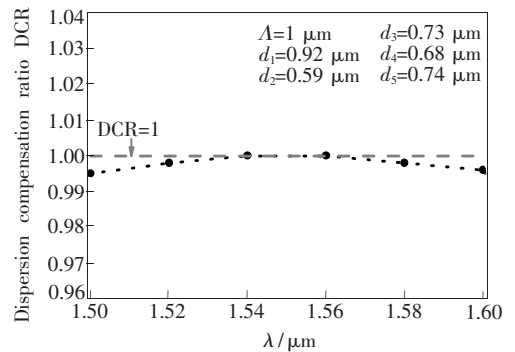


图 6 所设计的微结构光纤的色散补偿率曲线

Fig.6 The curve of dispersion compensation ratio (DCR) of the proposed MF

### 4 结 论

采用矢量光束传输法对微结构光纤进行了数值分析,通过调节内三层空气孔的直径和空气孔节距,设计了一种不仅可以实现宽带色散补偿而且具有低非线性效应的微结构光纤。该光纤在以工作波长  $1.55 \mu\text{m}$  为中心的  $100 \text{ nm}$  宽带范围内不仅可以以  $0.5\%$  的最大补偿偏移率实现对相当于自身长度 190 倍的普通单模传输光纤的宽带色散补偿,而且可以在此宽带波长范围内保持非线性系数低于  $5 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ 。与先前的报道相比,本设计方案不仅实现了更好的宽带色散补偿效果,并且具备低非线性效应,为基于宽带色散补偿微结构光纤的光纤器件的选材和应用提供参考。

### 参 考 文 献:

[ 1 ] Yang Guangqiang, Zhang Xia, Ren Xiaomin, et al. Experimental research on dispersion compensation of 10 Gb/s clock

- signal using photonic crystal fiber [J]. *Chin. J. Lasers* (中国激光), 2005, **32**(9):1221-1224 (in Chinese).
- [ 2 ] Grüner-Nielsen L, Wandel M, Kristensen P, *et al.* Dispersion-compensating fibers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2005, **23**(11):3566-3579.
- [ 3 ] Birks T A, Mogilevtsev D, Knight J C, *et al.* Dispersion compensation using single-material fibers [J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(6):674-676.
- [ 4 ] Liu Y, Berkey G. Single-mode dispersion-shifted fibers with effective area over 100  $\mu\text{m}^2$  [J]. *IEEE*, 1998, **1**:41-42.
- [ 5 ] Wang Daobin, Hou Shanglin, Ren Guodong, *et al.* Band structure of Suzuki phase photonic crystal [J]. *Chin. J. Lumin.* (发光学报), 2008, **29**(5):885-890 (in Chinese).
- [ 6 ] Shen L, Huang W, Jian S, *et al.* Design of photonic crystal fibers for dispersion-related applications [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2003, **21**(7):1644-1651.
- [ 7 ] Koshiha M, Saitoh K. Structural dependence of effective area and mode field diameter for holey fibers [J]. *Opt. Express*, 2003, **11**(15):1746-1756.
- [ 8 ] Knight J C, Birks T A, Russell P S J, *et al.* All-silica single-mode optical fiber with photonic crystal cladding [J]. *Opt. Lett.*, 1999, **21**(19):1547-1549.
- [ 9 ] Broeng J, Mogilevtsev D, Barkou S E, *et al.* Photonic crystal fibers: A new class of optical waveguides [J]. *Opt. Fiber Technol.*, 1999, **5**(3):305-330.
- [ 10 ] Breck Hitz. Photonic crystal fiber proposed for telecom dispersion compensation [J]. *Photonics Spectra*, 2006, **40**(12):102-103.
- [ 11 ] Zhang Xia, Ren Xiaomin, Xu Yongzhao, *et al.* Broadband dispersion compensation using microstructure fibers [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5**(1):11-13.
- [ 12 ] Poli F, Cucinotta A, Fucchi M, *et al.* Characterization of microstructured optical fibers for wideband dispersion compensation [J]. *J. Opt. Soc. Am. A*, 2003, **20**(10):1958-1962.
- [ 13 ] Shen L P, Huang W P, Chen G X, *et al.* Design and optimization of photonic crystal fibers for broad-band dispersion compensation [J]. *IEEE Photon. Tech. Lett.*, 2003, **15**(4):540-542.
- [ 14 ] G r me F, Auguste J, Blondy J, *et al.* Design of dispersion-compensating fibers based on a dual-concentric-core photonic crystal fiber [J]. *Opt. Lett.*, 2004, **29**(23):2725-2727.
- [ 15 ] Ni Yi, Zhang Lei, An Liang, *et al.* Dual-core photonic crystal fiber for dispersion compensation [J]. *Photo Technol Lett.*, 2004, **16**(6):1516-1518.
- [ 16 ] Yang Sigang, Zhang Yejin, Peng Xiaozhou, *et al.* Theoretical study and experimental fabrication of high negative dispersion photonic crystal fiber with large area mode field [J]. *Opt. Express*, 2006, **14**(7):3015-3023.
- [ 17 ] Takeshi Fujisawa, Kunimasa Saitoh, Keisuke Wada, *et al.* Chromatic dispersion profile optimization of dual-concentric-core photonic crystal fibers for broadband dispersion compensation [J]. *Opt. Express*, 2006, **14**(2):893-900.
- [ 18 ] Zsigri B, L egsgaard J, Bjarklev A, *et al.* A novel photonic crystal fibre design for dispersion compensation [J]. *Opt. A: Pure. Appl. Opt.*, 2004, **6**(7):717-720.
- [ 19 ] Kim Soan, Kee ChulSik, Ko Do-Kyeong, *et al.* A dual-concentric-core photonic crystal fiber for broadband dispersion compensation [J]. *J. Korean Physical Society*, 2006, **49**(4):1434-1437.
- [ 20 ] Yang Sigang, Zhang Yejin, He Lina, *et al.* Broadband dispersion-compensating photonic crystal fiber [J]. *Opt. Lett.*, 2006, **31**(19):2830-2832.
- [ 21 ] Wang Zinan, Ren Xiaomin, Zhang Xia, *et al.* A novel design for broadband dispersion compensation microstructure fiber [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2006, **4**(11):625-627.
- [ 22 ] Saitoh K, Koshiha M. Full-vectorial imaginary-distance beam propagation method based on a finite element scheme: application to photonic crystal fibers [J]. *IEEE Quant. Electron.*, 2002, **38**(7):927-933.
- [ 23 ] Mortensen N A. Effective area of photonic crystal fibers [J]. *Opt. Express*, 2002, **10**(7):341-348.
- [ 24 ] ITU-T Recommendation G. 652 Characteristics of a Single-Mode Optical Fibre and Cable [S]. Geneva: International Telecommunication Union, 2005.

## Design of a Novel Microstructure Fiber with Broadband Dispersion Compensation and Low Nonlinearity

HOU Shang-lin, HAN Jia-wei

(School of Science, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**Abstract:** The dispersion-induced broadening of the optical pulses and nonlinear effects are the adverse limitation in modern optical communications; moreover, high powers can be transmitted without and unwanted nonlinear effects in high-speed and long-haul optical systems. The advent of microstructure fiber affords a novel approach to address these difficulties. For compensating the positive dispersion of the single mode fiber over a wide wavelength range in wavelength division multiplexing systems, the microstructure fiber for broadband dispersion compensation have large negative dispersion magnitudes and proper negative dispersion slope while keeping low nonlinearity. The dispersive and nonlinear properties of the microstructure fiber with hexagonally distributed air-holes in the cladding are numerically simulated by using the vectorial beam propagation method. A microstructure fiber for broadband dispersion compensation with low nonlinearity was designed through separately adjusting the diameters of the inner three air-hole rings and the lattice pitch in the cladding. The proposed microstructure fiber has a large negative dispersion of  $-3\ 235.8$  ps/nm/km at the wavelength of  $1.55\ \mu\text{m}$ , which can compensate (to within 0.5% of the dispersion compensation ratio) the dispersion of 190 times length of standard single mode fiber over the entire 100 wavelength range centered at  $1.55\ \mu\text{m}$ . Furthermore, the proposed fiber also can retain the nonlinear coefficient lower than  $5\ \text{W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$  over this wide wavelength range. The proposed microstructure fiber can be used as function of dispersion-compensating device in high-capacity and long-distance modern optical transmission systems.

**Key words:** fiber optics; microstructure fiber; vectorial beam propagation method; dispersion compensation; nonlinearity

**CLC number:** TN929.11    **PACS:** 42.81.Dp    **PACC:** 4280M; 6185; 4281F    **Document code:** A