

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 1-0353-03

飞秒脉冲在光子晶体光纤中的超连续谱产生

王秋国^{1,2} 张 虎^{1,2} 张 霞³ 李 唯⁴ 杨伯君^{1,2}

(¹ 光通信与光波技术教育部重点实验室, 北京 100876; ² 北京邮电大学理学院, 北京 100876
³ 聊城大学物理科学与信息工程学院, 山东 聊城 252000; ⁴ 北京邮电大学国际学院, 北京 100876)

摘要 以 1550 nm 为中心波长, 利用掺铒光纤激光器产生的 120 fs 脉冲序列, 在一段 40 m 长的色散平坦高非线性光子晶体光纤中进行了超连续谱产生的实验研究。实验中光纤的非线性系数约为 $11 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$, 并且在 1500~1650 nm 波长范围内具有平坦的色散曲线, 色散值变化小于 $1.2 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ 。在入纤功率为 20.8 dBm 时, 产生了超过 480 nm (20 dB 带宽) 的超连续谱 (1220~1700 nm), 并且在两个通信窗口均较为平坦, 这在超连续光源、波长变换等方面有重要的应用价值。

关键词 光纤光学; 超连续谱产生; 光子晶体光纤; 飞秒脉冲

中图分类号 TN253; O437 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200936s1.0353

Supercontinuum Generation Using 120 fs Femtosecond Pulse Laser in a Dispersion Flattened Photonic Crystal Fiber

Wang Qiuguo^{1,2} Zhang Hu^{1,2} Zhang Xia³ Li Wei⁴ Yang Bojun^{1,2}

¹ Key Laboratory of Optical Communication and Lightwave Technologies, Ministry of Education, Beijing 100876, China

² School of Science, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

³ School of Physics Science and Information Engineering, Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252000, China

⁴ International School, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China

Abstract Supercontinuum generation using femtosecond pulse in a nonlinear dispersion flattened photonic crystal fiber is experimentally demonstrated. The photonic crystal fiber with a nonlinearity of about $11 \text{ W}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$ is characterized by flattened chromatic dispersion. The chromatic dispersion varies less than $1.2 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ between 1500 nm and 1650 nm. By injecting 120 fs optical pulses into an 40 m-long dispersion-flattened photonic crystal fiber, the supercontinuum with a broadened spectrum of 480 nm (at 20 dB level) is achieved, it has important applications, such as supercontinuum source and optical wavelength conversion.

Key words fiber optics; supercontinuum generation; photonic crystal fiber; femtosecond pulse

1 引 言

超连续谱由于其在光纤通信中的诸多应用而引起人们的广泛关注^[1~3]。光谱超连续展宽(SC)是指一束强度极大的超短光脉冲通过非线性材料后, 由于非线性效应如: 自相位调制(SPM)、交叉相位调制(CPM)、四波混频(FWM)以及受激拉曼散射(SRS)等的共同作用^[4], 使出射光谱中产生许多新的频率成分, 光谱宽度远远大于入射光脉冲的谱宽,

产生超连续谱。1976年, 在 20 m 光纤中首次产生了 180 nm 的超连续谱^[5], 自此以后, 利用不同的非线性光学介质以及超短脉冲源来产生超连续谱的方法迅速发展起来。理论计算和实验结果表明, 利用色散平坦光纤, 可以产生高质量的超连续谱。Mori 等^[6,7]利用单脉冲实现了在色散平坦渐减光纤(DFDF)中产生谱宽 200 nm 以上的超连续谱。近年来, 随着光子晶体光纤的出现与发展, 超连续谱又

基金项目: 国家自然科学基金(60678043)和北京市共建项目(XK100130837)资助课题。

作者简介: 王秋国(1973—), 男, 博士研究生, 讲师, 主要从事光子晶体光纤设计及其在光纤通信中的应用等方面的研究。

E-mail: wangqiuguo0101@sina.com.

导师简介: 杨伯君(1938—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事光子晶体光纤和量子通信等方面的研究。

E-mail: bojunyang99@sina.com

成了人们关注的焦点^[8~11]。本文采用 120 fs 脉冲光源在色散平坦光子晶体光纤中进行了超连续谱产生的实验研究,在抽运功率仅为 20 dBm 时,产生了 20 dB 带宽为 480 nm 的超连续谱。

2 实验设置

实验装置如图 1 所示,抽运光源为一个光纤激光器,它工作在被动锁模状态,产生的锁模脉冲串重复频率为 50 MHz。在光纤激光器后加一个隔离器(isolator)以免有反射光返回激光源。经过偏振控制器(PC)后,光脉冲被耦合进光子晶体光纤(PCF),然后经光衰减器(VOA)衰减后输入到光谱分析仪(OSA)来进行观测。

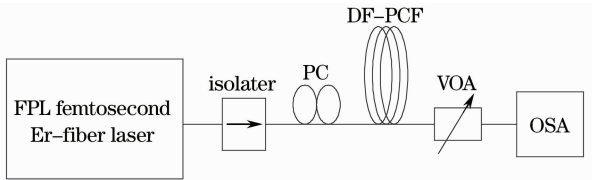


图 1 实验装置

Fig. 1 Experiment Setup

实验中所用到的光子晶体光纤由丹麦的 Crystal Fiber 公司生产,其横截面电子扫描图如图 2 所示。光纤的中心为一个相互对称的三孔结构,每个孔的直径为 $2.1 \mu\text{m}$ 。

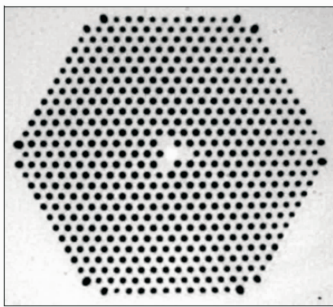


图 2 光子晶体光纤横截面电子扫描图

Fig. 2 Electromicrograph of the fiber

图 3 为光子晶体光纤的色散曲线,它具有较小的正常色散,在 1500~1640 nm 范围内色散均小于 $1.5 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$,光纤的非线性系数和衰减系数分别为 $11 \text{ W}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$ 和 $9 \text{ dB}/\text{km}$,由于光子晶体光纤两端均接有普通单模光纤,因此光纤总的损耗约为 4 dB。

3 实验结果与讨论

本实验中激光器发出的脉冲中心波长为

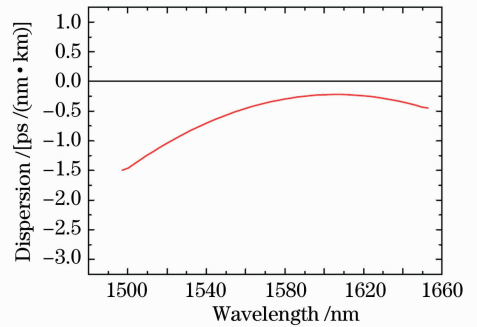


图 3 光子晶体光纤的色散曲线

Fig. 3 Dispersion curve of the PCF

1550 nm,重复频率为 50 MHz。如图 4 所示,激光器脉冲的光谱宽度约为 32 nm。图 5 给出了激光器所发脉冲的自相关迹。

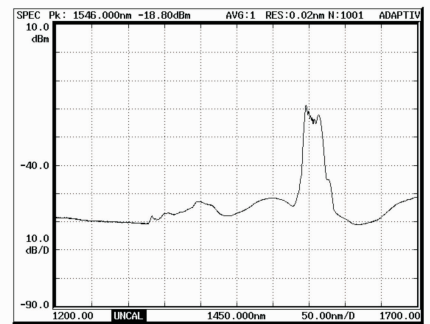


图 4 飞秒激光脉冲光谱图

Fig. 4 Spectra of the femtosecond pulse

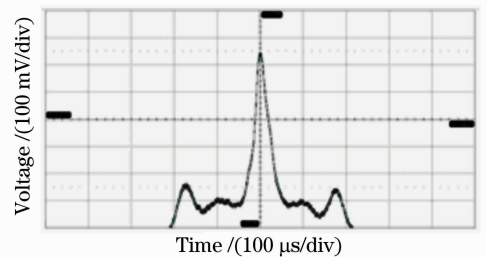


图 5 飞秒激光脉冲的自相关迹

Fig. 5 Autocorrelation trace of the femtosecond pulse

图 6 给出了经过光子晶体光纤后的超连续谱。产生的超连续谱相对平坦,其 12 dB 带宽已经超过了 430 nm, 20 dB 带宽则超过了 480 nm (从 1220~1700 nm,限于光谱分析仪的显示范围,1700 nm 后无法观测)。图 7 给出了超连续谱宽度与抽运功率之间的关系,当抽运功率小于 13 dBm 时,超连续谱宽度随抽运功率增加相对缓慢,当抽运功率在 13~16 dBm 之间时超连续谱宽度变化较快,功率大于 16 dBm 时则再次缓慢增加。这说明,当抽运功率较小时光谱展宽较小,光谱内的频率成分较少,主要是自相位调制 (SPM) 及群速度色散

(GVD)在起作用;当抽运功率越来越大,光谱越来越宽时,由于光谱内的频率成分逐渐增多,光纤中的四波混频效应及交叉相位调制效应加强,使得光谱的展宽更为明显。

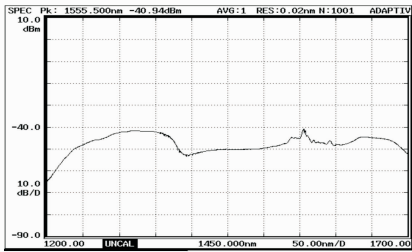


图 6 经光子晶体光纤后产生的超连续谱
Fig. 6 Supercontinuum spectrum generated by photonic crystal fiber

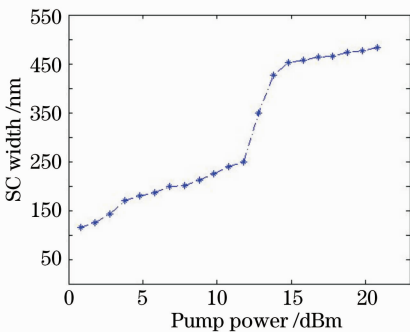


图 7 超连续谱宽度与抽运功率的关系
Fig. 7 Relationship between the pump power and the supercontinuum width

4 结 论

采用 120 fs 激光脉冲,在具有小的正常色散的色散平坦光子晶体光纤中进行了超连续谱的实验研究。在抽运功率为 20.8 dBm 时,得到了 12 dB 带宽超过 430 nm,20 dB 带宽超过 480 nm 的超连续谱。并且,超连续谱在两个通信窗口 1310 nm 和

1550 nm 附近都比较平坦,这将使其在超连续光源和波长变换方面具有重要的应用价值。

参 考 文 献

- 1 I. Hartl, X. D. Li, C. Chudoba *et al.*. Ultrahigh-resolution optical coherence tomography using continuum generation in an air-silica microstructure optical fiber[J]. *Opt. Lett.*, 2008, **26**: 608
- 2 S. A. Diddams, K. J. Jones *et al.*. Direct link between microwave and optical frequencies with a 300 THz femtosecond laser comb [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 2000, **84**: 5102
- 3 Z. Yusoff, P. Petropoulos, K. Furusawa *et al.*. A 36-channel \times 10 GHz spectrally sliced pulse source based on super continuum generation in normally dispersive highly nonlinear holey fiber[J]. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 2003, **15**: 1689
- 4 G. P. Agrawal. *Nonlinear Fiber Optics*[M]. 2nd ed., Academic Press, San Diego, 1995
- 5 C. Lin, R. H. Stolen. New nanosecond continuum for excited-state spectroscopy[J]. *App. Phys. Lett.* 1976, **28** : 216~
- 6 K. Mori, H. Takara, S. Kawanishi *et al.*. Flatly broadened supercontinuum spectrum generated in a dispersion decreasing fiber with convex dispersion profile [J]. *Electron. Lett.*, 1997, **33**(21): 1806~1807
- 7 H. Sone, T. Kawano, M. Imai *et al.*. Numerical analysis of supercontinuum generation in a dispersion flattened/decreasing fiber [C]. Proc of APCC/ OECC'99, 1999. C2S2A: 357~3606
- 8 Feng Xu, Jiansheng Liu, Ruxin Li *et al.*. Pulse compression and supercontinuum at different powers of femtosecond pulses in water [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2007, **5** (8): 490~492
- 9 Chow K. K., Takushima Y., Lin C. *et al.*. Flat supercontinuum generation based on normal dispersion nonlinear photonic crystal fibre[J]. *Electron. Lett.*, 2006, **42**(17): 989~990
- 10 J. Y. Y. Leong, P. Petropoulos, J. H. V. Price *et al.*. High-nonlinearity dispersion-shifted lead-silicate holey fibers for efficient 1- μ m pumped supercontinuum generation [J]. *J. Lightwave Technol.*, 2006, **24**(1): 183~190
- 11 Li Shuguang, Cheng Tonglei, Zhang Huanping *et al.*. Effect of power saturation on spectrum expanding in normal dispersion region of microstructured fiber by femtosecond laser pulses[J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(7): 1041~1044
李曙光,程同蕾,张焕平等. 微结构光纤正常色散区飞秒激光脉冲传输光谱展宽的功率饱和效应[J]. *中国激光*, 2008, **35**(7): 1041~1044