

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0172-03

# 对称和非对称结构光子晶体光纤产生超连续光谱特性的研究

张军<sup>1</sup>, 魏志义<sup>1,2</sup>, 韩海年<sup>1</sup>, 赵玲慧<sup>1</sup>, 聂玉昕<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院物理研究所光物理开放实验室; <sup>2</sup>中国科学院计量测试高技术联合实验室, 北京 100080)

**摘要** 利用对称和非对称结构的光子晶体光纤进行了超连续光谱特性的研究, 在非对称结构光子晶体光纤所产生的超连续光谱中观察到了三次谐波。实验证实了入射激光脉冲偏振态对超连续光谱的影响。这一性质可用于实现对超连续光谱波段的选择和强度的控制, 对超连续光谱的实际应用具有重要意义。

**关键词** 光子晶体光纤; 超连续光谱; 飞秒激光

中图分类号 140.3055 文献标识码 A

## Properties of Super-Continuum Spectra Generated in Photonic Crystal Fibers with Symmetric and Asymmetric Structure

ZHANG Jun<sup>1</sup>, WEI Zhi-yi<sup>1,2</sup>, HAN Hai-nian<sup>1</sup>, ZHAO Ling-hui<sup>1</sup>, Nie Yu-xin<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Laboratory of Optical Physics and Joint Laboratory of Advanced Technology in Measurements Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**Abstract** This paper reports the generation of super-continuum spectra in the photonic crystal fibers with a symmetric and asymmetric structure and ultra-broaden spectra covered from UV to infrared were obtained in both fibers. Especially, the generation of third harmonic wave was observed with the asymmetric photonic crystal fiber, the polarization effects of super-continuum spectra were also studied. Using the polarization effect, it will enable us to control the distribution and relative intensities of super-continuum components, which is very beneficial in many applications.

**Key words** photonic crystal fiber; supercontinuum spectra; femtosecond laser

### 1 引言

超连续光谱在很多领域都具有诱人的应用前景, 如在光频标测量中超连续光谱可以提供甚至两个倍频程的光谱; 利用超连续的超宽光谱可以实现对超短脉冲的压缩; 作为一种多波长的光源超连续对于通信中的波分复用技术具有潜在的应用<sup>[1-4]</sup>。光子晶体光纤按照其结构特点可以分为对称结构和非对称结构两种类型。人们对于这两种光子晶体光纤产生的超连续谱进行了多方面的研究, 但是对于超连续光谱的产生机制以及特性的了解还不完善, 因此对对称结构和非对称结构的光子晶体光纤产生的超连续光谱深入研究具有重要意义<sup>[5-9]</sup>。

产生超连续光谱的种子脉冲激光。光子晶体光纤被放置在一个精密三维调节平移台上, 用一个40×的显微物镜将激光耦合到光纤中, 通过对三维平移台的精密调节可以达到最佳的耦合效率。为防止从光纤前端面反射回去的激光进入振荡器, 在振荡器与光纤之间放置了一个隔离器。

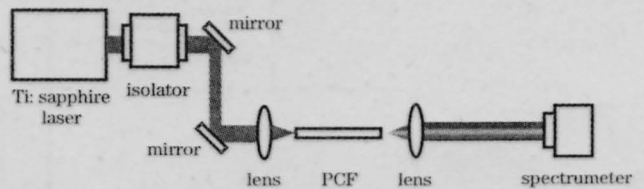


图1 实验装置图

Fig.1 Experimental setup

### 2 实验装置

实验装置如图1所示。钛宝石激光振荡器提供

### 3 对称结构光子晶体光纤产生超连续谱

实验采用的光子晶体光纤的长度为1 cm (由丹

基金项目: 国家自然科学基金(60225005及10227401)和973国家重点基础研究项目(G1999075202)部分资助。

作者简介: 张军(1968-), 男, 中国科学院物理所博士研究生, 主要从事强场物理和飞秒激光方面的研究。

E-mail: junzhang@aphy.iphy.ac.cn

麦 Crystal Fibre Inc 公司提供), 其芯径为  $1.8 \mu\text{m}$ , 零色散波长约在  $760 \text{ nm}$ 。设置激光的中心波长为  $800 \text{ nm}$ , 输出功率为  $200 \text{ mW}$ , 脉宽为  $25 \text{ fs}$ , 对应的单脉冲能量及峰值功率分别为  $2.5 \text{ nJ}$  和  $0.1 \text{ MW}$ 。所测到的总透过功率约为  $35 \text{ mW}$ , 对应的耦合效率约  $17\%$ 。图 2 采用光纤光谱仪 (美国 Ocean Optics 公司) 测量的光谱曲线, 光谱范围是  $500\sim 900 \text{ nm}$ 。

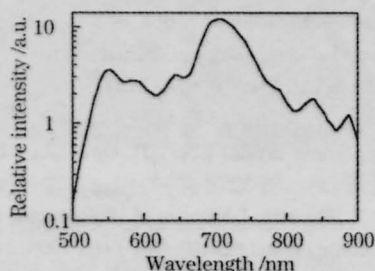


图 2 对称结构光子晶体光纤产生的超连续谱

Fig.2 Supercontinuum generated by the PCFs with symmetric structure

## 4 非对称结构光子晶体光纤产生超连续谱

采用的非对称结构的光子晶体光纤长度为  $25 \text{ cm}$  (由燕山大学提供), 其纤芯的横断面为一椭圆形, 椭圆长轴约为  $2.4 \mu\text{m}$ , 短轴为  $2.0 \mu\text{m}$ 。光纤的包层中空气隙尺寸不等而且呈随机分布, 空气隙中心之间的平均距离约为  $1.8 \mu\text{m}$ , 大的空气隙的直径约为  $1.5 \mu\text{m}$ , 而小的约为  $1.0 \mu\text{m}$ 。包层中的空气填充率约为  $65.3\%$ 。

### 4.1 三次谐波的产生

当输入激光功率在  $180\sim 600 \text{ mW}$  之间时可观察到超连续光谱的产生, 而且观察到了三次谐波的产生, 图 3 为用另外一测量范围可到紫外波段的光谱仪 (Ins-150-252F, Acton Research Corporation) 测量到的光谱曲线。在输入激光中心波长为  $790 \text{ nm}$  时显示所产生的三次谐波的中心波长为  $263.3 \text{ nm}$ 。

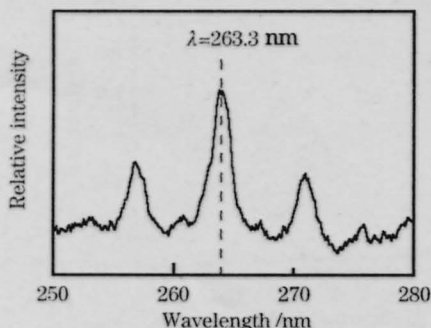


图 3 实验中观察到的三次谐波曲线

Fig.3 Third-harmonic spectrum

### 4.2 超连续谱的偏振特性

首先, 将功率为  $200 \text{ mW}$  的线偏振激光脉冲耦合到光子晶体光纤中, 从光纤中输出的激光经一个 25 倍的显微物镜准直后通过一个格兰棱镜鉴别其偏振态。用光谱仪记录产生的超连续光谱, 如图 4 中上方曲线所示。之后将格兰棱镜旋转  $90^\circ$  再记录超连续光谱, 这时的结果如图中的下方曲线所示。

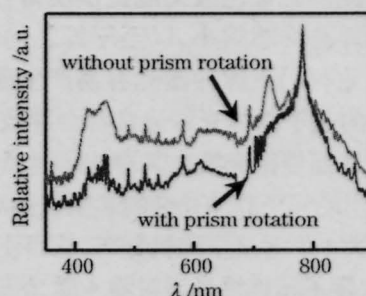


图 4 超连续光谱的偏振特性比较

Fig.4 Comparison of the polarization characters of the supercontinuum spectra

通过对两条曲线的比较后可以发现, 超连续光谱的范围从紫外直到近红外, 光谱曲线不是平滑, 而且某些光谱成分的相对强度在两种情况下存在很大差异, 如在波长为  $530 \text{ nm}$  的位置处。这说明超连续光谱具有偏振性质。

为了进一步揭示输入激光的偏振态对超连续光谱的影响, 我们在耦合物镜之前放置一个半波片以改变输入线偏振光的偏振方向, 并在一个位置先记录下产生的超连续光谱, 如图 5 中上方曲线所示。然后把半波片旋转  $45^\circ$  即激光偏振方向旋转  $90^\circ$  后再记录超连续谱, 如图 5 中下方曲线所示。通过比较图 5 中的两条曲线可以看出, 它们具有与图 4 相似的特点, 即对应于不同的激光偏振方向, 超连续光谱中的某些成分的相对强度存在着很大的差异, 表明输入激光的偏振确实对产生的超连续谱的特性具有重要影响。

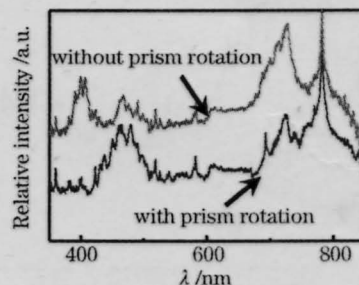


图 5 线偏振入射激光的偏振方向对超连续光谱的影响

Fig.5 Effects of the polarization direction of the incident laser on the supercontinuum spectra

## 5 讨论与分析

超连续光谱的产生是一个复杂的非线性光学过程,如自相位调制、四波混频及喇曼散射等<sup>[1,2]</sup>,而且通常情况下这几种非线性过程同时起作用。通常情况下激光在标准光纤中传播时只能产生正常色散,而在光子晶体光纤中,尤其在包层中空气隙填充率较高时既能提供正常色散又能提供反常色散,以及光子晶体光纤有纤芯很小,以至于纤芯的激光功率密度很高,因此利用飞脉冲激光容易产生超连续谱。非对称结构的光子晶体光纤通常都会导致双折射效应的产生,从而使得光波在其中传播时具有偏振特性。实验所用的光子晶体光纤的芯呈椭圆形状,其包层中空气隙大小不等又呈随机分布,从而使其具有双折射效应,决定了超连续光谱对输入激光偏振态具有选择性。

**致谢** 实验中所用光子晶体光纤由燕山大学红外光纤及传感器研究所提供。感谢张杰研究员对实验的有益建议及刘运全、冯宝华和张东香等人给予的配合和帮助。

### 参 考 文 献

- 1 Stephane Coen, Alvin Hing Lun Chau, Rainer Leonhardt et al.. Supercontinuum generation by stimulated Raman scattering and parametric four-wave mixing in photonic crystal fibers[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2002, **19**(4):753-764
- 2 A. V. Husakou, J. Herrmann. Supercontinuum generation, four-wave mixing, and fission of higher-order solitons in photonic crystal fiber[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2002, **19**(9):2171-2182
- 3 A. V. Husakou, V. P. Kalosha, J. Herrmann. Supercontinuum generation and pulse compression in hollow waveguides [J]. *Opt. Lett.*, 2001, **26**(13):1022-1024
- 4 A. B. Fedotov, A. N. Naumov, A. M. Zheltikov. Frequency-tunable supercontinuum generation in photonic crystal fibers by femtosecond pulses of an optical parametric amplifier[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2002, **19**(9):2156-2164
- 5 D. Mogilevtsev, T. A. Birks, P. St. J. Russell. Group-velocity dispersion photonic crystal fibers[J]. *Opt. Lett.*, 1998, **23**(21):1662-1664.
- 6 A. Ferrando, E. Silvestre, J. Miret et al. Full-vector analysis of a realistic photonic crystal fiber[J]. *Opt. Lett.*, 1999, **24**(5):276-278
- 7 W. J. Wadsworth, A. Ortigosa-Blanch, J. C. Knight et al.. Supercontinuum generation in photonic crystal fibers and optical fiber tapers: a novel light source[J]. *J. Opt. Soc. Am. B*, 2002, **19**(9): 2148-2155
- 8 T. M. Monro, P. J. Bennett, N. G. R. Broderick et al.. Holey fibers with random cladding distributions[J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(4): 206-208
- 9 (a) A. Ortigosa-Blanch, J. C. Knight, W. J. Wadsworth et al.. Highly birefringent photonic crystal fibers[J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(18): 1325-1327  
(b) D. Kominsky, G. Pickrell, R. Stolen. Generation of random-hole optical fiber[J]. *Opt. Lett.*, 2003, **28**(16): 1409-1411

1 Stephane Coen, Alvin Hing Lun Chau, Rainer Leonhardt et al.. Supercontinuum generation by stimulated Raman scattering