

文章编号: 0258-7025(2006)08-1066-03

多芯微结构光纤产生超连续谱

宋学鹏, 陈 波, 林健飞, 张 霞, 黄永清, 任晓敏

(北京邮电大学光通信与光波技术教育部重点实验室, 北京 100876)

摘要 报道了一种多芯微结构光纤(MF)产生超连续谱的现象,利用钛宝石飞秒激光器产生的 20 fs 光脉冲序列,通过一段长约 40 cm 的多芯微结构光纤,获得了展宽超过 600 nm 的光谱(400~1000 nm),而且当耦合位置不同时,可以得到不同颜色的光谱成分。实验结果表明,由非规则填充气孔组成的多芯微结构光纤可以出现超强的非线性性和超连续谱展宽。

关键词 光电子学;微结构光纤;超连续谱;飞秒激光;光子带隙

中图分类号 TN 253 **文献标识码** A

Supercontinuum Generation in Multi-Core Microstructure Fiber

SONG Xue-peng, CHEN Bo, LIN Jian-fei,

ZHANG Xia, HUANG Yong-qing, REN Xiao-min

(Key Laboratory of Optical Communication & Lightwave Technologies of Ministry of Education,
Beijing University of Post and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract Supercontinuum spectra can be generated in a novel multi-core microstructure fiber (MF) with random air lines. Over 600-nm-wide broadening spectrum (400~1000 nm) is obtained after the 20 fs laser pulse train from a Ti:sapphire laser oscillator at 820 nm wavelength transmitting a 40-cm-long multi-core MF. The visible light can be tuned by adjusting input end of the MFs. The experimental results show that super non-linearity occurs as the MFs with random air lines are used for generation of supercontinuum.

Key words photoelectronics; microstructure fiber; supercontinuum; femtosecond laser; photonic bandgap

1 引 言

微结构光纤(MF)作为新型光纤受到人们广泛的关注。它具有独特的波导特性,允许所设计的光纤具有高的非线性系数和可控的色散零点。高的非线性系数和适当的色散条件是产生超连续谱的介质要求,因此微结构光纤与传统光纤相比更容易产生超连续谱,用这种光纤可以在整个可见光区甚至近红外区产生超连续谱,因此近年来,科研人员在利用微结构光纤产生超连续谱方面进行了深入的研究^[1~8]。本文报道了利用超短脉冲通过多芯微结构光纤产生超连续谱的实验研究。

2 实验装置

实验中所用微结构光纤的长度为 40 cm,其横截面扫描电镜(SEM)图如图 1 所示。该光纤中央的结构类似于三角结构的全内反射型微结构光纤,但空气孔排列不太规则,平均间距约为 1 μm ,填充比约为 0.7。在中央区域外的部分可看作外包层,其空气孔间距约为 20 μm ,填充比约为 0.75,外包层的存在可以增大光纤的数值孔径,从而增加耦合到光纤中的光功率。由于该光纤的结构复杂,所以难以精确地从理论上分析其特性。考虑到光纤的模场分布和色散主要取决于靠近中央区域包层的空气孔排

收稿日期:2005-10-31;收到修改稿日期:2006-03-10

基金项目:国家 973 计划(2003CB314906),教育部重大项目(104046)和北京教委共建项目(XK100130437)资助课题。

作者简介:宋学鹏(1977—),男,河北邢台人,北京邮电大学博士研究生,主要从事光纤通信、微结构光纤方面的研究。

E-mail: xpsong@sina.com

导师简介:任晓敏(1958—),男,山西孝义人,北京邮电大学教授,博士生导师,主要从事光纤通信与光波技术、半导体光电子学等方面的研究。E-mail: xmren@bupt.edu.cn

布, 忽略去外包层的影响, 并将光纤的包层看作规则分布的三角结构, 这样可以估算出光纤的模场面积为 $2.5 \mu\text{m}^2$ 。由于该微结构光纤主要由二氧化硅组成, 取 $n_2 = 2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$, 则相应的非线性系数为 $\gamma = k_0 \cdot n_2 / A_{\text{eff}} \approx 82 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

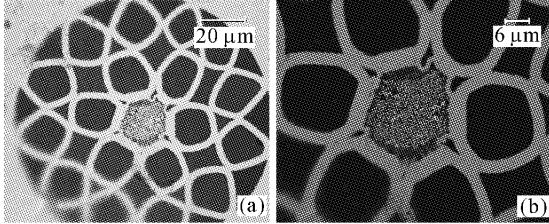


图 1 实验所用微结构光纤的扫描电镜图(a)及其局部放大图(b)

Fig. 1 SEM micrograph of MF (a) and amplification core (b)

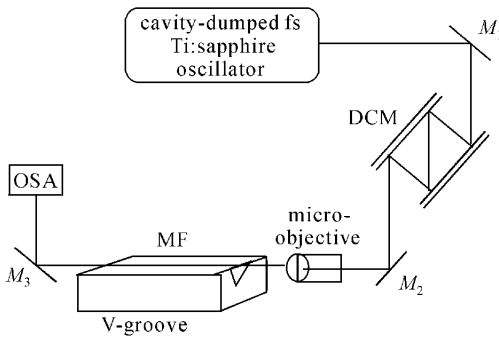


图 2 超连续谱产生实验装置图

Fig. 2 Experimental setup of supercontinuum generation

实验装置如图 2 所示(图中 M_1, M_2, M_3 为反射镜, DCM 为色散预补偿啁啾镜), 采用掺钛蓝宝石飞秒激光器作为产生超连续谱的激光光源。激光器出射脉冲宽度为 20 fs, 重复频率为 90 MHz, 波长可调谐范围为 750~850 nm。激光与光纤之间的耦合元件为显微物镜 MO, 其放大倍率和数值孔径分别为 40 和 0.65。将显微物镜置于精密三维可调平台上, 而将微结构光纤置于刻有 V 型槽的固定平台上。为防止光纤振动而导致耦合不稳定, 实验中保持光纤固定不动, 调节显微物镜的位置以实现最佳耦合。用 HR2000CG-UV-NIR 光谱仪 (OSA) 检测出射频谱, 该光谱仪的量程为 200~1200 nm, 分辨率为 0.5 nm。

3 实验结果及分析

将激光器的中心波长设置在 820 nm, 输出平均

功率为 370 mW, 对应的单脉冲能量及峰值功率分别为 4.1 nJ 和 0.2 MW。为了避免光谱仪饱和, 检测光谱时对接收光进行了衰减, 因此光谱图仅能反映各种频率成分强度分布的相对大小(图 3)。从图 3 中可以看到与入射光相比, 光谱展宽了很多, 从 400~1000 nm, 展宽约 600 nm。由于光纤太短, 限制了光谱的充分展宽, 因此不能得到典型的超连续谱。在实验中观察到, 随着入射光功率的增加, 光谱在中心波长附近逐渐展宽, 这是自相位调制作用的结果。同时, 随着入射光功率的进一步增加, 出现了红移的谱峰, 这可能是由于入射光脉冲处于光纤的反常色散区, 而且光脉冲很短, 光谱很宽, 所以发生了拉曼散射, 导致光谱出现新的低频成分。这个过程随入射功率的增加而持续进行。当光功率增加到 210 mW 时, 在短波方向又出现了新的谱峰, 而且随着光功率的增大, 短波方向的谱峰逐渐增强。这可能是由于首先产生的反斯托克斯受激发射才导致短波处的展宽。

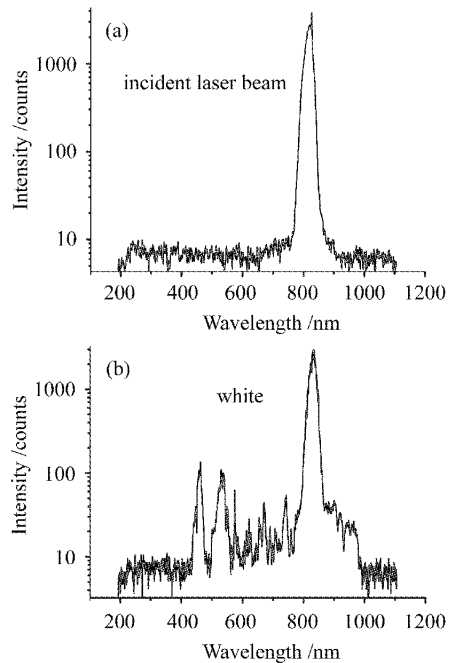


图 3 原始光谱图(a)和通过微结构光纤得到的超连续谱图(b)

Fig. 3 Original spectrum (a) and supercontinuum generation of MF (b)

实验中还发现, 保持入射光功率 370 mW 不变, 进一步调节显微物镜的位置, 会使出射光的颜色发生变化, 仔细调节微调架, 可以观察到红、绿、蓝等多种颜色, 光谱图如图 4 所示。分析如下: 由于光纤结构的不规则性, 当调节显微物镜与光纤相对位置时,

光就会耦合到光纤中不同的“芯”上,由于各芯周围空气孔分布的不同,导致了局部非线性系数的不同和色散特性的差异。这些改变了光纤的非线性效应,进而使出射光谱发生改变。也可以从光子带隙的角度来解释,由于多芯微结构光纤包层不是严格的周期结构(特别是相对于不同的纤芯而言),因此对不同位置和方向的入射,带隙结构也不相同,它被称作不完全的光子带隙。如果纤芯大小和径向方向无序气隙折射率变化的长度与某种光的波长可比拟,则该频率范围内的光子将受到散射体的多重强散射而产生干涉,使其沿光纤径向的传播受到极大抑制,从而限制在纤芯中,而其他频率的光则从包层泄漏出去。正是由于上述不完全光子带隙的存在,才导致了当耦合位置不同时,产生的出射光颜色和模场分布也不尽相同。

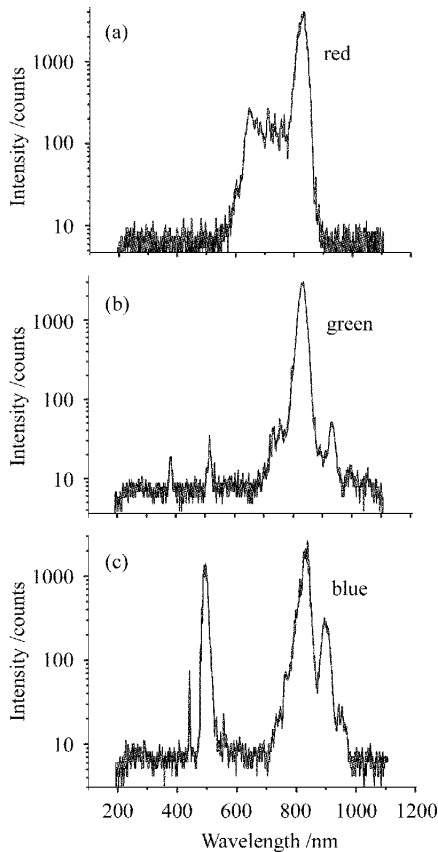


图4 入射光功率为370 mW时,调节耦合位置得到的出射光光谱

Fig. 4 Output spectra with different coupling position at 370 mW input power

4 结 论

采用钛宝石飞秒激光器作为抽运源,通过一段多芯微结构光纤,获得的光谱宽度超过600 nm。实验证明了由非规则填充气孔组成的多芯微结构光纤可以出现类似的超强非线性和超连续谱展宽。通过调节激光入射光纤截面的位置就可以得到不同颜色的光谱成分,观测到了在单芯微结构光纤中的非线性现象,说明非均匀的微结构光纤同样具有重要的研究和应用前景。

致谢 实验中所用多芯微结构光纤由燕山大学提供。感谢中国科学院物理所魏志义研究员和韩海年博士在实验方面所给予的帮助。

参 考 文 献

- 1 V. V. Ravi Kanth Kumar, A. K. Gorge, W. H. Reeves *et al.*. Extruded soft glass photonic crystal fiber for ultrabroad supercontinuum generation [J]. *Opt. Express*, 2002, **10**(25): 1520~1525
- 2 J. K. Ranka, R. S. Windeler, A. J. Stentz. Visible continuum generation in air-silica microstructure optical fibers with anomalous dispersion at 800 nm [J]. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(1): 25~27
- 3 J. Herrmann, D. Griebner, N. Zhavoronkov *et al.*. Experimental evidence for supercontinuum generation by fission of higher-order solitons in photonic crystal fibers [J]. *QELS*, 2002, **QWE6**:165~166
- 4 K. Sakamaki, M. Nakao, M. Naganuma *et al.*. Soliton induced supercontinuum generation in photonic crystal fiber [J]. *J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 2004, **10**(5):876~884
- 5 Li Shuguang, Ji Yuling, Zhou Guiyao *et al.*. Supercontinuum generation in holey microstructure fibers by femtosecond laser pulses [J]. *Acta Physica Sinica*, 2004, **53**(2):478~483
李曙光,冀玉领,周桂耀等. 多孔微结构光纤中飞秒激光脉冲超连续谱的产生[J]. *物理学报*, 2004, **53**(2):478~483
- 6 Hu Minglie, Wang Qingyue, Li Yanfeng *et al.*. Supercontinuum generation and transmission in a random distorted microstructure fiber [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(5):567~569
胡明烈,王清月,栗岩峰等. 非均匀微结构光纤中超连续光的产生和传输[J]. *中国激光*, 2004, **31**(5):567~569
- 7 Jia Dongfang, Ge Chunfeng, Hu Zhiyong *et al.*. Studies on supercontinuum generation in dispersion shifted fiber by using mode-locked fiber laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(6): 746~750
贾东方,葛春风,胡智勇等. 利用锁模光纤激光器在色散位移光纤中产生超连续谱的研究[J]. *光学学报*, 2005, **25**(6):746~750
- 8 Yuping Zhang, Yi Zheng, Xiaojun Huang *et al.*. Supercontinuum generation with 15-fs pump pulses in microstructured fiber with combination core and random cladding [J]. *Chin. Opt. Lett.*, 2004, **2**(2):122~124