文章编号：1000-7032(2010)01-0137-04

光纤中超连续谱的产生及多波长输出

况庆强[1]，桑明煌[1]，梁培斯[1]，陈 浩[2]，张祖兴[1]
（1. 江西师范大学 物理与通信电子学院，江西 南昌 330022； 2. 江西教育期刊社，江西 南昌 330027）

摘要： 为了产生高重复频率的多波长短光脉冲，利用锁模掺铒光纤激光器作为抽运光源，对色散位移光纤中的脉冲光谱展宽进行了实验研究，成功地实现了45 nm超连续谱的产生，并滤波得到了多波长输出。实验还发现，光纤激光器的输出脉冲的稳定不够和功率不高是制约这个实验结果的主要因素。

关 键 词： 超连续光源；锁模；频谱展宽；多波长输出
中图分类号： TN248.1 **PACS：** 42.60.Fc **PACC：** 4260K **文献标识码：** A

1 引 言

光纤超连续谱（Supercontinuum，SC）技术能在较宽的光谱范围内同时产生高重复频率的多波长短光脉冲，和其它短光脉冲光源相比，超连续光纤光源作为近年来光通信领域最重要的研究成果之一，也是最近几年得到国内外广泛研究的一种新型多波长光源[1~5]。这种光源在常温下可以得到稳定的多波长输出，并具有噪声低、带宽范围大、性能稳定、易于控制等优点，成为密集波分复用（DWDM）系统的多波长光源研究中的热点[6~8]。

本文是在进行光纤激光器调制，也就是主动锁模过程的基础上，对光纤中脉冲光谱展宽进行了相关的实验研究。实现了超连续光谱的产生和多波长的输出，也得出了锁模脉冲稳定性和功率大小是制约这个实验结果的主要原因。

2 实验结构及脉冲输出的调节

实验光路系统设计示意图如图1所示。

泵浦光源主要是980 nm激光器，本实验采用的泵浦光源是Hope Optic Communications Co. Ltd生产的Fls-980 nm半导体激光器。图中隔离器和3:7的光分路器的作用就是要解决锁模不稳定和峰值功率不够的问题，并对锁模的波形作进一步调整。在此实验中所采用的是2×2型3:7的单模标准光分路器，其工作波长为1 550 nm。用于观察输出波形的是HP 54610B型的数字存储示波器。光谱分析仪是测试本实验最终结果的仪器，它可以测量各个信号光的功率和波长，并记录下各种相关数据和图像。本实验使用的光谱分析仪为EXFO出品的IQ-203型Optical Test System中的IQ-5240型OSA（Optical Spectrum Analyzer）。实验中为完成调制输出脉冲信号，监测脉冲频谱展宽和多波长输出并纪录结果等，系采用此数字存储示波器并配合使用OSA来实现的。

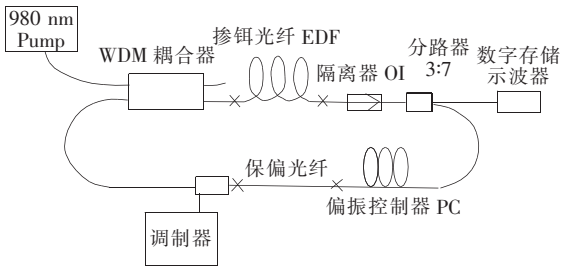

图1 实验装置图

Fig. 1 The diagram of experimental setup

另外，在此实验中，我们还用到了其它的一些仪器：实验室自制的100~200 GHz的波长交错复用器（Optical Interleaver）、把光信号变为电信号的光电转换器、微波源为国营庆华仪器厂生产的天水牌XG-13型超高频功率信号发生器、用于强度调制的铌酸锂（$LiNbO_3$）电光调制器等等。

收稿日期： 2009-03-24；**修订日期：** 2009-06-23
基金项目： 国家自然科学基金(60807014)；江西省自然科学基金(2008GQS0050)；江西省教育厅科技项目(GJJ09152)；江西师范大学青年成长基金(1996)资助项目
作者简介： 况庆强(1974-)，男，江西高安人，主要从事光纤通信、光纤激光器及光纤传感技术的研究。
E-mail：kqq1209@163.com

实验在完成仪器搭建过程后,调制输出脉冲信号,由示波器观测到的输出波形如图2所示。

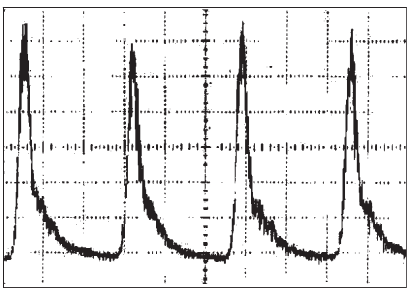

图2 由示波器观察到的输出波形

Fig. 2 The output waveform measured from oscillograph

3 结果与讨论

将输出信号输入OSA,并继续在小范围进行微调。因为示波器测得的是脉冲峰值功率电平,而且探测能力也已经接近极限,所以我们无法对输出波形进行量化,只能定性地观测输出波形。而接入OSA后就可以精确地找出最佳的调制频率并且进行定量分析。

经过进一步的微调,输出信号基本达到了稳定和功率高这个目标,满足了进一步实验的要求。OSA显示的光谱如图3所示。

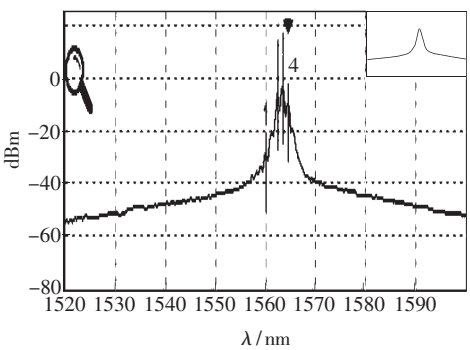

图3 OSA的输出频谱图(没有通过DSF)

Fig. 3 The output frequency spectrum by OSA without DSF

从图3中可以看到,中心波长为1 563.434 nm,峰值功率为-3.21 dBm,脉冲光谱宽约10 nm,是比较理想的输出脉冲。但是其主峰旁边的弱峰可能还是因为不稳定造成的。

在得到了比较理想的输出脉冲之后,将光纤激光器的输出脉冲通过5 km的色散位移光纤(DSF)之后,再接入OSA来观察频谱,实验装置如图4所示。

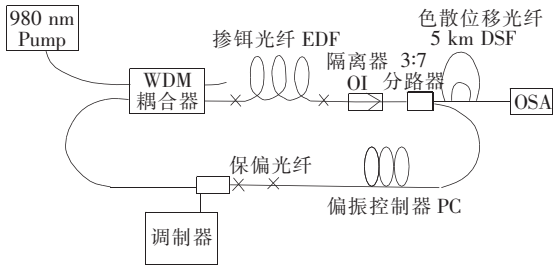

图4 接入DSF后的实验装置图

Fig. 4 The diagram of experimental setup with DSF

通过OSA得到的频谱如图5。与图3相比,可以看到十分明显的脉冲频谱展宽。这是由于光纤中多种非线性效应,包括调制不稳定、交叉相位调制,孤子自频移等共同作用的结果。

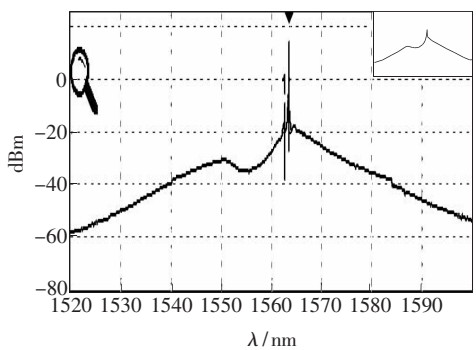

图5 OSA的输出频谱图(通过DSF)

Fig. 5 The output frequency spectrum by OSA with DSF

通过DSF之后,峰值功率变为了-5.96 dBm,这点说明DSF的损耗是很小的,符合理论上的分析。通过改变频谱图的纵坐标,由图6可以更加清晰的看到-40 dB以上的谱宽是45 nm左右,是比较理想的实验结果,达到了实验的目的。

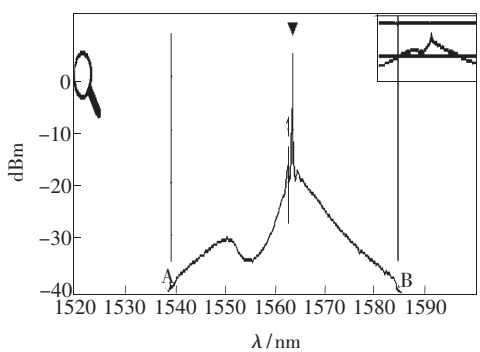

图6 放大后的频谱图(通过DSF)

Fig. 6 The frequency spectrum after amplification with DSF

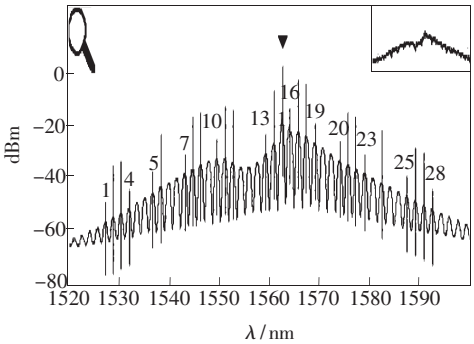

图 7　经交错复用器滤波后的频谱

Fig. 7　The frequency spectrum after filtering by interleaver

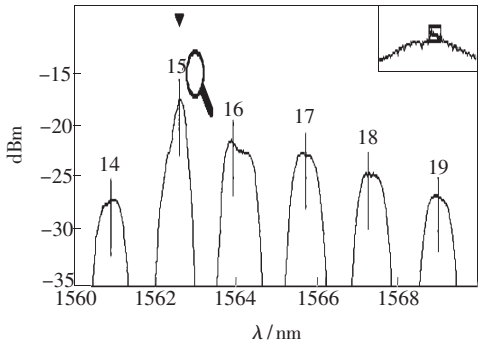

图 8　放大的经交错复用器滤波后的频谱

Fig. 8　The amplified frequency spectrum after filtering by interleaver

最后，再在 DSF 后加入 100 ~ 200 GHz 的波长交错复用器（Interleaver）进行滤波，再用 OSA 测得的频谱如图 7，坐标分辨率提高后如图 8。

通过图 7 和图 8，可以看到多波长的输出，实现了多波长输出的目的。但是也发现 Interleaver 能够滤出峰值大于 −30 dB 以上的脉冲的数目仅有 6 个。中心波长间距为 2.0 nm 左右，这是由于 Interleaver 本身的性能决定的。波长数目的不足说明所制作的多波长光纤激光器的脉冲输出功率仍然不够高，需要在以后的实验中继续改进。

4　结　　论

在激光器的主动调制锁模的基础上，通过改进方案，优化结构，成功地实现了输出脉冲的光谱展宽和多波长输出，而且从实验结果可以看出脉冲稳定性和功率大小是制约实验结果的主要原因。当然，由于实验条件的限制，还存在着很多的不足，如超连续谱宽和多波长输出数目都不够，这归根结底是由于光纤激光器的输出脉冲不够稳定和功率不够高而导致的。有待于今后进一步优化实验方案。

参　考　文　献：

[1] Boivin L, Taccheo S, Doerr C R, *et al*. A supercontinuum source based on an electroabsorption-modulated laser for long distance DWDM transmission [J]. *IEEE*, *Photonics Technology Letters*, 2000, **12**(12):1695-1697.

[2] Zhao Y, Bakker L, Khoe G D, *et al*. Theoretical and experimental characterization of supercontinuum generation in non-linear optical fiber [J]. *Proceedings Symposium IEEE/LEOS Benelux Chapter*, 2003:169-172.

[3] Wu Jian, Lou Caiyun, Li Yuhua, *et al*. 74 nm 2.5 GHz supercontinuum generation in a dispersion-shifted fiber [J]. *Communication*, *APCC/OEE*'199, 1999, **2**:1384-1386.

[4] Govind P Agrawal. *Nonlinear Fiber Optics* [M]. London: Academic Press, 2001.

[5] Hu Hongwu, Wu Liang, Kuang Qingqiang, *et al*. Effects of intensity-dependent phase-matching factor on four wave mixing [J]. *J. Jiangxi Normal University* (Natural Science) (江西师范大学学报，自然科学版), 2006, **30**(3):271-273 (in Chinese).

[6] Chen Yongzhu. Research on the characteristics of supercontinuum spectrum generation [D]. Guangzhou: Huanan Normal University, 2003 (in Chinese).

[7] Djafar K Mynbaev, Lowell L Scheiner. *Optical Fiber Communication Technology* [M]. Beijing: Machinery Industry Press (in Chinese).

[8] Jia Dongfang, Huang Chao, Song Lijun, *et al*. The generation and applications of supercontinuum optical pulse [J]. *Study on Optical communications* (光通信研究), 2000, (6):22-26 (in Chinese).

Supercontinuum Generation and Multi-wavelength Output in Fiber

KUANG Qing-qiang[1], SANG Ming-huang[1], LIANG Pei-si[1], CHEN Hao[2], ZHANG Zu-xing[1]

(1. *College of Physics & Communication Electronics*, *Jiangxi Normal University*, *Nanchang* 330022, *China*;
2. *The Society of Jiangxi Education Periodical*, *Nanchang* 330022, *China*)

Abstract: In order to obtain multi-wavelength short pulse source with high-repetition frequency, supercontinuum (SC) spectrum generation in dispersion-shifted fiber (DSF) was experimentally investigated. In use of actively mode-locked Er-doped fiber laser as pump, supercontinuum with 40 nm width was obtained. And the experiment also demonstrated that the stability and power of the pump pulse are important factors for supercontinuum generation.

Key words: supercontinuum source; mode-locked; pulse widening; multi-wavelength output

CLC number: TN248.1 **PACS**: 42.60.Fc **PACC**: 4260K **Document code**: A

Received date: 2009-03-24

第5届徐叙瑢发光学优秀青年学术论文评定的通知

根据中国物理学会发光分会第10届常务委员会的决定,在2010年召开第12届全国发光学学术会议期间,将进行第5届徐叙瑢发光学优秀青年学术论文的评定。凡1975年5月31日以后出生的35岁以下,从事发光学及相关专业的各大学、研究所的教学、科研人员以及相关企业的工程技术人员均可申报。具体条件为:

1. 拥护党的改革开放政策,为知识创新工程、教学和科研努力工作并作出成绩。

2. 申请人需提供自2007年以来在国内外科技刊物上发表的学术论文(或在国际学术会议上的邀请报告)3~5篇,一式3份。申请人必须是论文的第一署名作者。

3. 学术论文所涉及的专业方向应是:凝聚态物质的激发态过程;凝聚态物质的光学性质;发光学及其应用等方面。

4. 申请人需有论文投至2010年10月在苏州召开的第12届全国发光学学术会议,且必须亲自到会宣读论文,并参加闭幕式颁奖仪式。

5. 申请人申报时需有申请人所在单位(或导师)的推荐函,并附本人简历及身份证的复印件。

第4届徐叙瑢发光学优秀青年学术论文的评定设一等奖1名、二等奖2名。中国物理学会发光分会将聘请国内知名学术专家5~7名组成评定小组,采用邮寄通讯方式对申请人的论文分别进行评定。并在第12届全国发光学学术会议期间,对各位专家的评定结果进行综合。最后由发光分会常务委员会进行讨论,确定优秀论文作者的人选。

申请人所提供的论文,需每篇一式3份,务于2010年5月31日前寄至中国物理学会发光分会秘书处,刘洪楷(收)。通讯地址为:长春市东南湖大路3888号(邮编:130033)

中国物理学会发光分会

2010年1月15日