

文章编号 : 0253-2239(2002)07-0839-03

# 4 × 10 Gb/s 412 km 密集波分复用光纤光栅 色散补偿的实验\*

宁提纲 简水生 裴 丽 谢增华 延凤平 李唐军 童 治 魏 淮 王目光

(北方交通大学光波技术研究所,北京 100044)

摘要: 研制了一种多波长啁啾光纤布拉格(Bragg)光栅,波长、波长间隔符合 ITU-T 标准,利用这种多波长啁啾光栅可以同时多信道波长进行色散补偿,光栅的每个波长补偿范围满足 ITU-T 对应信道波长波动的要求,并进行了 4 × 10 Gb/s、412 km 波分复用色散补偿实验,实验结果比色散补偿光纤模块要好,无误码功率代价都小于 2 dB。

关键词: 色散补偿;啁啾光栅;多波长啁啾光栅;波分复用

中图分类号: TN253 文献标识码: A

## 1 引 言

目前全世界铺设的上亿公里通信光纤大部分为 G.652 光纤,其零色散点位于 1310 nm 附近,在 1550 nm 处约有 17 ps/(km·nm)的色散,色散已成为对已铺设光纤通信系统进行升级扩容的主要障碍<sup>[1,2]</sup>。啁啾光纤光栅补偿法是行之有效的方案,它具有成本低、结构简单、插入损耗小、性能可靠等优点<sup>[1]</sup>。特别是在波分复用系统中,文献[3]采用 6.5 nm 宽带(6 个光栅级联)光纤光栅补偿 8 信道波分复用信号,很难对不同的信道分别给予不同的补偿,因为在 1550 nm 窗口色散有一定的斜率,在高速的波分复用系统中每个信道产生的色散量不同,每个信道补偿量也不同;文献[3]采用 6 个宽带光纤光栅级联,不能滤掉反射峰之间未用波长范围内的放大器自发辐射噪声,利用色散补偿光纤补偿也存在同样的问题<sup>[5]</sup>。文献[5,6]采用啁啾抽样光栅进行多信道色散补偿,各信道的啁啾量一样,不能对不同信道的不同色散值进行不同色散补偿;各子光栅的衔接相位要求严格,光栅构造困难。

我们采用相位掩模法<sup>[7-9]</sup>很容易在光纤中写入多个布拉格反射波长的啁啾光栅,可以同时多个信道波长的色散进行补偿,每个布拉格反射波长的啁啾量都是单独控制,可以对 1550 nm 窗口各信道

色散斜率进行补偿,也可以抑制反射峰之间未用波长范围内的放大器放大自发辐射;并且减少了光栅熔接损耗。

## 2 实 验

写入光栅的光纤是标准的普通单模光纤(Corning SMF-28<sup>T</sup>)经 130 MPa、15 天的高纯氢处理得到的。是采用相位掩模法写入多波长光栅的。写入的紫外光源是 KrF 准分子激光器,波长为 248 nm,脉冲功率为 130 mJ,脉冲持续时间为 20 ns,脉冲频率选 10 Hz。写入光栅的 3 dB 带宽为 0.3 nm,反射谱示于图 1,四个光栅和对应传输的波长,每个分离的反射峰外层(宽峰)的为光栅的反射谱,对应光谱中的内层(窄峰)为传输波长的谱。写入的光栅补偿时延设计为 100 km,由于采用较好的切趾,用色散分析仪测得时延分析其纹波在 ±10 ps 以内,这样的纹波是很好的,一般报道的最好时延纹波为 ±20 ps。

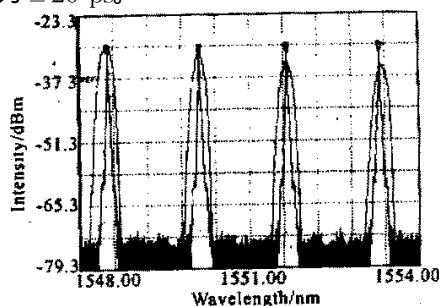


Fig. 1 Spectrum of grating and transmitted wavelength

\* 国家 863 项目、国家自然科学基金、北方交通大学论文攀登基金资助课题

E-mail: njtulight@hotmail.com

收稿日期 2001-07-02;收到修改稿日期 2001-08-20

图 2 示出了时延曲线 图中曲线从上往下依次为波长  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  的。波长轴范围： $\lambda_1$  对应波长 1548.44 nm~1548.74 nm)  $\lambda_2$  对应波长 1550.05 nm ~ 1550.36 nm,  $\lambda_3$  对应波长 1551.63 nm ~ 1551.93 nm  $\lambda_4$  对应波长 1553.13 nm~1553.63 nm。

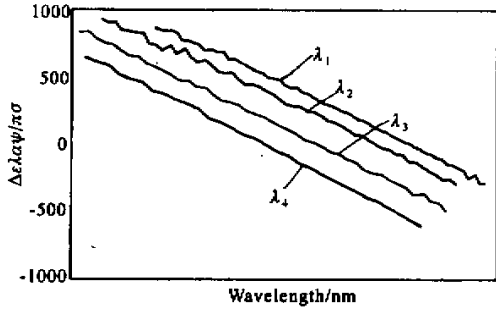


Fig.2 Delay of each grating in one group

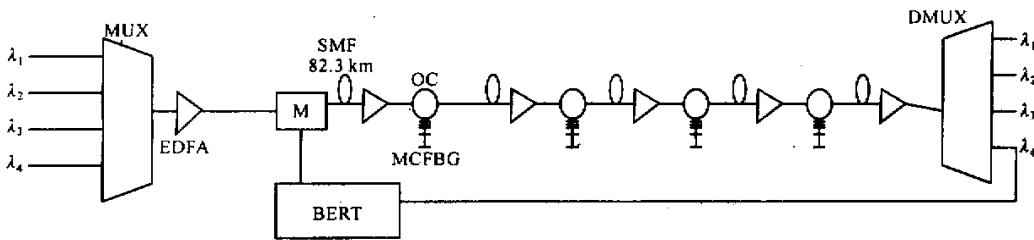


Fig.3 Tested diagram of 4×10 Gb/s DWDM transmission

四个信道的眼图如图 4 所示,功率代价如图 5 所示,四路无误码传输 412 km 的功率代价分别为 1.2 dB、2 dB、0.4 dB、-0.9 dB,图 4、图 5 中的  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  同图 3。由图 4 可以看出眼图张得很开,只有  $\lambda_2$  一路的眼图差些,这是由于在送去测试时这组有根光栅被碰伤,这路的功率代价为 2 dB,其余各路都低于 1.5 dB,第 4 路的功率代价为负的,还不能很好的解释,可能是这路光发送的边瓣严重,经光栅

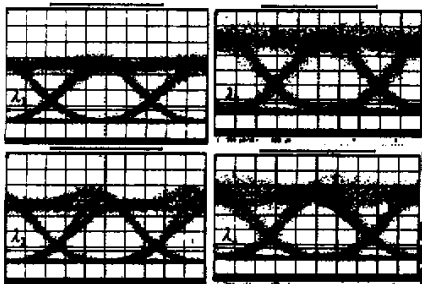


Fig.4 Eye diagram for 10 Gb/s after 412 km transmission each channels

色散补偿系统如图 3,波长  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  值分别为 1548.594 nm、1550.135 nm、1551.798 nm、1553.345 nm,经合波器(MUX:Multiplexer)合波预放大后送入调制器(M:Modulator),预放大使调制后的各路信号为 0 dBm,调制信号是由误码仪(BERT:BER Tester)产生的  $2^{23}-1$  伪随机码(PseudoRandom Bit Sequence, PRBS),传输共分为 5 段,前 4 段都是先经过 82.3 km 普通单模光纤(SMF:single-mode fiber),然后放大,掺铒光纤放大器的增益为固定值 20 dB,再经环行器(OC:Optical Circulator)用光纤光栅色散补偿,最后一段没有用光栅进行色散补偿(前面 4 个光栅的总补偿量设计为 400 km),直接进入解复用器(DMUX:Demultiplexer),解复用后的信道轮流送入误码仪进行误码率(BER:bit-error rate)测试。实验所用的四组光栅的插入损耗(包含环行器)都小于 4 dB。

后,滤掉了边瓣,改善了消光比,或由于通道的失真,不理想的光源发送眼图部分地得到了提高。

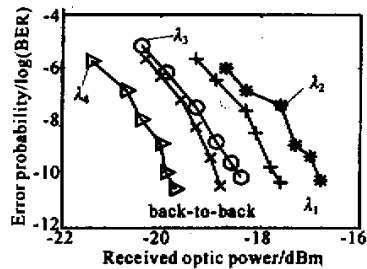


Fig.5 Tested result of BER each channels

以上是四路合波后一起传输,为研究各路之间是否有影响,每次只传输一个波长,测得  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$ 、 $\lambda_4$  各路的功率代价分别为 -0.17 dB、0.78 dB、0.41 dB、0.48 dB,误码率曲线如图 6。单独传输时的误码特性优于四路同时传输,说明合路后传输,尽管信道间隔为 200 GHz,多路传输的光信号会对其他信道产生影响,增加了传输的无误码功率代价。

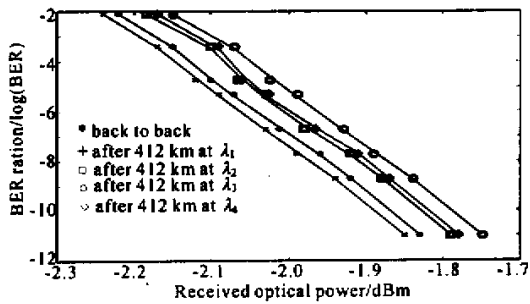


Fig. 6 Tested result of BER each channels at transmission one by one

**结束语** 本文提出了一种波分复用系统色散补偿的新方法,采用多波长啁啾光纤光栅,能同时进行多信道波长的色散补偿,每个信道的补偿范围满足 ITU-T 工作波长及其波长波动的要求,并且可以滤除反射峰之间未用波长范围内的放大器放大自发辐射;至今国内外尚没有利用多波长啁啾光纤光栅进行色散补偿这方面的报道,这种啁啾光纤光栅色散补偿减小了器件的尺寸、熔接损耗,并容易对各信道波长的色散值不同施加不同的补偿量,这在波分复用、密集波分复用系统成为发展方向的今天,是非常有价值的。四路传输 412 km 后无误码的功率代价都小于 2 dB,我们的另外实验初步证实利用光栅补偿更高的传输距离更大的传输比特率的链路的色散也是可以的;另外,通过实验发现多路波长同时传输,信道间相互影响,增加了系统的无误码功率代价。

本项目是由北方交通大学、清华大学、北京大学、北京邮电大学合作完成。北方交通大学提供色散补偿模块(光纤光栅+环行器)。在清华大学测试

时,董毅老师,王建萍博士后做了很多工作,深表谢意。

## 参 考 文 献

- [1] Erdogan T. Fiber grating spectra. *J. Lightwave Technol.*, 1997, **15**(8):
- [2] Liu Songhao, Du Weichong, Tan Huayao *et al.*. Dispersion compensation by chirped optical fiber grating in optical fiber communication system. *Acta Optical Sinica* (光学学报), 2000, **20**(1): 24~28 (in Chinese)
- [3] Gnauck A H, Garrett L D *et al.*. 820 Gb/s 315 km, 810 Gb/s 480 km WDM transmission over conventional fiber using multiple broad-band fiber grating. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1998, **10**(10): 1495~1497
- [4] Chen L R. Influence of grating group delay ripple on the reduction of dispersion induced intensity noise in subcarrier multiplexed systems. *Opt. Commun.*, 2001, **187**(1~3): 125~128
- [5] Ennser K, Ibsen M, Durkin M *et al.*. Influence of nonideal chirped fiber grating characteristics on dispersion cancellation. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1998, **10**(10): 1476~1478
- [6] Ouellette F, Krug P A *et al.*. Broadband and WDM dispersion compensation using chirped sampled fiber Bragg grating. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(11): 899~900
- [7] Ibsen M, Durkin M K *et al.*. Sinc-sampled fiber Bragg grating for identical multiple wavelength operation. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1998, **10**(6): 842~844
- [8] Kashyap R. Design of step-chirped fiber Bragg gratings. *Opt. Commun.*, 1997, **136**: 461~469
- [9] Mihailov S J, Bilodeau F *et al.*. Compensation of fiber Bragg grating dispersion-compensators made with holographic and e-beam written phase masks. *IEEE Photonics Technol. Lett.*, 1999, **11**(5): 572~574
- [10] Ania-Castañón J D, Garcia-Fernandez P *et al.*. Stable multisoliton pulses in dispersion management with fiber Bragg gratings. *Opt. Lett.*, 2000, **25**(3): 159~161

## 4 × 10 Gb/s 412 km DWDM Dispersion Compensation Using Multiwavelength Chirped Fiber Bragg Grating

Ning Tigang Jian Shuisheng Pei Li Xie Zenghua Yan Fengping

Li Tangjun Tong Zhi Wei Huai Wang Muguang

(Institute of Lightwave Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044)

(Received 2 July 2001; revised 20 August 2001)

**Abstract:** A new multiwavelength chirped fiber Bragg grating (MCFBG), with ITU-T standard wavelength and space of neighbored wavelength was fabricated. The one MCFBG can compensate multichannels' dispersion of 100 km fiber span at the same time. Experiment of  $4 \times 10$  Gb/s 412 km WDM dispersion compensation without bit-error rate have been demonstrated. The compensative result with MCFBG is better than that with dispersion compensation fiber module.

**Key words:** dispersion compensation; chirped fiber Bragg grating; MCFBG; WDM