

文章编号: 0258-7025(2003)06-0518-03

对 40 Gb/s OTDM 系统中光纤光栅色散补偿器进行偏振模色散补偿的研究

李唐军, 王目光, 石玉磊, 崔杰, 简水生

(北方交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

摘要 改变光纤光栅紫外曝光系统,在相位掩模板后插入一个旋转装置,使得光纤在制作过程中可以进行某种旋转。通过这种方法制作的光纤光栅偏振模色散减小到平均差分群时延(DGD)约为 0.2 ps,而没加旋转制作的光纤光栅平均 DGD 约为 18.2 ps。采用两个这种低偏振模色散(PMD)的光纤布拉格光栅(FBG),成功地在 40 Gb/s 光时分复用(OTDM)系统中补偿了约 2040 ps 的色散,该系统在经过 122 km 普通单模光纤传输后,未发现 PMD 的影响,传输功率代价小于 1.4 dB。

关键词 光电子学;偏振模色散;光纤光栅;光时分复用

中图分类号 TN 929.11 **文献标识码** A

PMD Compensation of FBGs in a 40 Gb/s OTDM System

LI Tang-jun, WANG Mu-guang, SHI Yu-lei, CUI Jie, JIAN Shui-sheng

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

Abstract BY modifying phase mask UV exposure system and inserting a circumvolved device which making optical fiber rotation in back of the phase mask, the PMD in fiber Bragg gratings (FBGs) is compensated. The average differential group delays (DGD) are 18.2 ps and 0.2 ps before and after compensation, respectively. These have already be used to 40 Gb/s OTDM system as dispersion compensators, and polarization mode dispersion (PMD) in 122 km G. 652 SMF was successfully compensated by two chirped FBGs in a 40Gb/s OTDM transmission system.

Key words optoelectronics; PMD; fiber grating; OTDM

1 引言

在高速光时分复用(OTDM)系统中,高速超短光脉冲的传输技术是十分关键的技术。因此,探索和研究在普通单模光纤中传输 40 Gb/s 光脉冲具有重要的意义。在 40 Gb/s(4×10 Gb/s)的 OTDM 系统中,采用 G. 652 光纤,利用光纤光栅进行色散补偿^[1,2],这在国内外的报道尚较少。

另一方面,40 Gb/s 光脉冲传输系统光源脉冲宽度是 4~5 ps,所以光纤光栅的偏振模色散的影响已不可忽略。在普通的一阶色散和高阶色散均被补偿以后,如果不消除光纤光栅器件本身的偏振模色散(PMD),传输皮秒量级的光脉冲将很困难^[3,4]。

我们采用琼斯矩阵本征值法较精确地测量了光纤布拉格光栅(FBG)的 PMD,并对光纤光栅进行了 PMD 补偿的研究并取得了重大进展。补偿前的平均差分群时延(DGD)约为 18.2 ps,补偿后的平均 DGD 约为 0.2 ps,补偿的效果十分显著^[5~7]。

我们采用两个经 PMD 补偿的光纤光栅,成功地补偿了 40 Gb/s OTDM 系统中传输 122 km 普通单模光纤的色散。传输部分的功率代价为 1.4 dB。

2 线性啁啾光纤光栅 PMD 的理论

相对于均匀 FBG,线性啁啾 FBG 的双折射更为严重,因为在同样条件下,啁啾光栅有更大的色

收稿日期:2002-03-11;收到修改稿日期:2002-12-30

基金项目:国家自然科学基金(编号:60177027)和国家 863 高科技项目(编号:2001AA120204)资助课题。

作者简介:李唐军(1956.3—),女,北方交通大学副教授,硕士,主要从事光纤通信系统研究。E-mail: tjli@center.njtu.edu.cn

散^[8]。变迹 FBG 的 PMD 比非变迹 FBG 的 PMD 更严重。为了评价在光纤光栅中的 PMD 大小,我们考察光纤光栅的布拉格波长 λ_{Bragg} 随模有效折射率 n_{eff} 的变化情况。根据光纤光栅的耦合模方程和相位匹配条件^[9],如果线性光纤光栅的中心布拉格波长为

$$\lambda_{\text{Bragg}} = 2n_{\text{eff}}\Lambda \quad (1)$$

Λ 为光栅周期。则反射布拉格波长随模有效折射率的变化^[8]

$$\delta\lambda_{\text{Bragg}} = \lambda_{\text{Bragg}} \frac{\delta n_{\text{eff}}}{n_{\text{eff}}} \quad (2)$$

把公式中模折射率的变化用双折射 B 代替^[3],得到

$$\delta\lambda_{\text{Bragg}} = \lambda_{\text{Bragg}} \frac{B}{n_{\text{eff}}} \quad (3)$$

假设一个线性啁啾 FBG 的色散为 D (ps/nm), 布拉格波长的变化引起偏振态的变化,这导致的差分群时延 τ_{PMD} 为

$$\tau_{\text{PMD}} = \delta\lambda_{\text{Bragg}} D \quad (4)$$

由式(3),(4)可得

$$\tau_{\text{PMD}} = \lambda_{\text{Bragg}} B' D \quad (5)$$

式中 $B' = B/n_{\text{eff}}$, 为归一化双折射。

由(5)式, τ_{PMD} 正比于归一化双折射 B' 。对于一定的色散 D , 要减小 τ_{PMD} 必须减小 B' 。

例如:当色散 $D = 1000$ ps/nm, $\lambda_{\text{Bragg}} = 1546.1$ nm, $\tau_{\text{PMD}} = 18.2$ ps 时,归一化双折射 $B' = 1.8 \times 10^{-5}$ ps。如果希望 τ_{PMD} 减小到 0.2 ps, 则 B' 需要减小到 9.8×10^{-8} 。

3 实验结果

由上述分析可知,为了减小光纤光栅的 PMD, 必须减小光栅中的双折射 B' 。为此,我们进行了多种减小 B' 方法的尝试,包括利用适当长度的保偏光纤与光纤光栅旋转适当角度熔接,光纤光栅与另一光栅旋转适当角度熔接等方法。这些方法对 FBG 的 PMD 补偿都有一定的作用。实验表明,改变光纤光栅紫外曝光系统,在相位掩模板后插入一个旋转装置,使光纤在制作过程中可以进行某种旋转。通过这种方法制作的光纤光栅偏振模色散减小到平均 DGD 约为 0.2 ps(见图 1(a)),而没加旋转制作的光纤光栅平均 DGD 约为 18.2 ps(见图 1(b))。与其他几种补偿方法相比,这种方法具有插入损耗小、补偿效果更为理想的优点。我们采用两个这种低 PMD 的 FBG,成功地在 40 Gb/s OTDM 系统中

补偿了约 2040 ps 的色散,该系统在经过 122 km 普通单模光纤传输后,未发现 PMD 的影响,传输功率代价小于 1.4 dB。

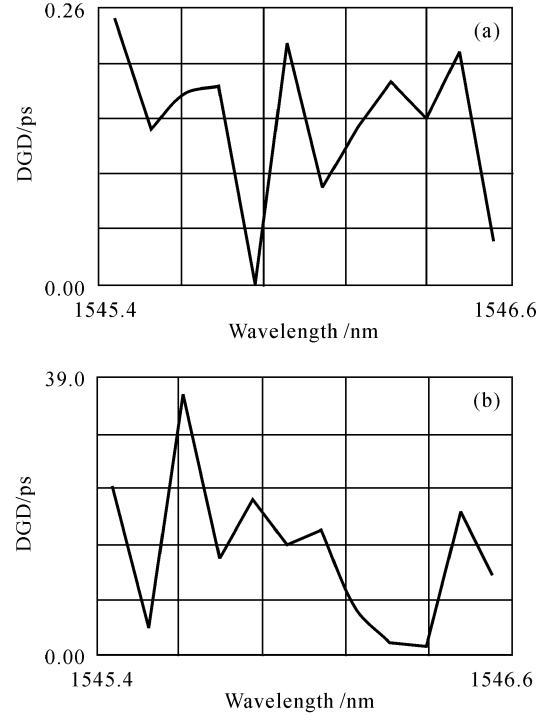


图 1 补偿后(a)和补偿前(b)差分群时延随波长的变化
Fig. 1 DGD vs wavelength after (a) and before (b) compensation

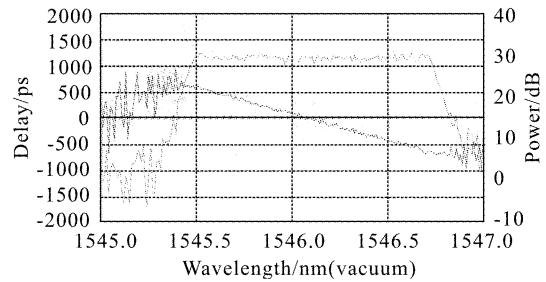


图 2 光纤光栅的反射谱和时延曲线
Fig. 2 Reflection spectrum and time-delay of a FBG at 1546.1 nm

制作的两个光纤光栅的中心布拉格波长分别为 1546.1 nm 和 1546.2 nm, 通带宽度约为 1.4 nm, 纹波系数小于 40 ps。其反射谱和时延曲线见图 2。

整个补偿实验系统框图见图 3。其中,增益开关 DFB 激光器(G-S DFB)在误码仪的输出时钟信号的驱动下,产生重复频率为 9.95328 GHz, 脉宽~23 ps 的光脉冲(脉冲重复频率与时钟频率相同)。此光脉冲先注入色散补偿光纤(DCF)中进行线性压缩,之后用 EDFA1 放大,放大后的光脉冲注入梳状

色散光纤(CDPF)再进行非线性压缩,从而获得脉宽 ~ 5 ps,时间抖动 ~ 1.3 ps的超短光脉冲, ~ 5 ps的超短光脉冲经LiNbO₃调制器调制产生10 Gb/s归零伪随机码(码序列为 $2^{23}-1$)信号。调制后的光信号经EDFA放大后注入光时分复用器,复用成40 Gb/s的信号,其中第四路信号幅度很低。图4即为40 Gb/s调制信号的眼图。复用后的40 Gb/s信号首先经过一段长为56 km的G.652光纤传输并用一个宽带啁啾光纤光栅进行补偿,之后再经过另一段长为66 km的G.652光纤传输并用啁啾光纤光

栅补偿。光纤的平均色散为 17 ps/nm·km,损耗为 0.20 dB/km。40 Gb/s信号经122 km G.652光纤传输并补偿后的眼图见图5。由图可见,脉冲宽度基本恢复到了传输前的宽度,同时眼图张开很好,说明信号的信噪比较好。这是由于光纤光栅同时也起到滤波器的作用,抑制了传输链路上EDFA自发辐射噪声(ASE)的累积。由于采用了偏振无关的解复用器件以及对光纤光栅的PMD进行了补偿,整个系统在测试过程中很稳定,没有观察到传输链路上PMD对系统性能的影响。

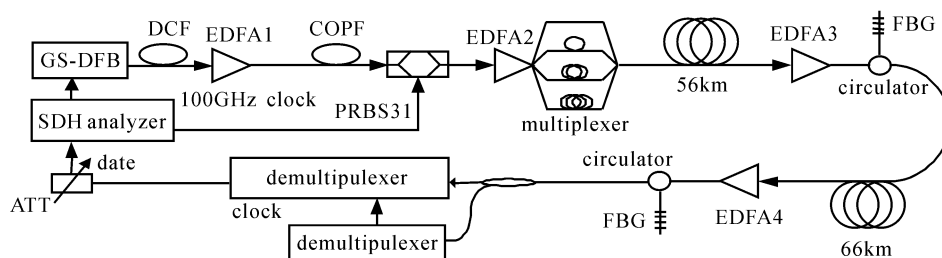


图3 40 Gb/s 实验装置

Fig. 3 40 Gb/s OTDM transmission system

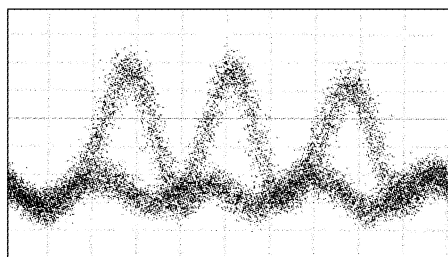


图4 40 Gb/s 调制信号的眼图

Fig. 4 40 Gb/s modulated signal eye diagram

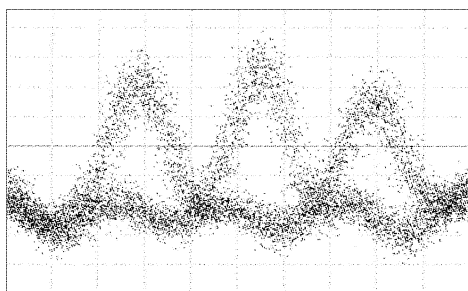


图5 122 km G.652 光纤传输并补偿后的眼图

Fig. 5 PMD compensated 40 Gb/s signal eye diagram after 122 km G.652 fiber transmission

参 考 文 献

- Jian Shuisheng, Yan Fengping, Li Tangjun *et al.*. 4×10 Gb/s 800 km transmission system on G.652 fiber with dispersion compensation by chirped FBG [J]. *Science in China (Series E)*, 2002, **45**(6):661~665
- Chen Genxiang, Jiang Zhonggao, Li Tangjun *et al.*. Experimental investigation of temperature induced Bragg wavelength shift in UV written fiber Bragg gratings [C]. *SPIE*, 1998, **3552**:129~132
- Ning Tigang, Tan Zhongwei, Yan Liu *et al.*. Simulated and experimental study on high bit rate transmission effect of high PMD fiber [C]. *SPIE*, 2002, **4904**:21~27
- Wang Muguang, Jian Shuisheng. Statistics of the Gauss pulse broadening due to interaction of PMD and polarization dependent loss in long optical fibers [C]. *SPIE*, 2002, **4904**:244~247
- Y. L. Shi, T. J. Li. Based on adaptive controller polarization mode dispersion compensator [C]. *SPIE*, 2002, **4904**:223~225
- Zhongwei Tan, Yongjun Fu, Tigang Ning *et al.*. Writing Bragg grating on high-birefringence fiber for PMD compensation [C]. *SPIE*, 2002, **4902**:240~253
- Yongjun Fu, Yan Liu, Zhongwei Tan *et al.*. Study on polarization mode dispersion in chirped fiber Bragg grating [C]. *SPIE*, 2002, **4904**:248~252
- Wei Daoping, Li Tangjun, Zhao Yucheng *et al.*. High repetition rate optical pulse generation using a rational harmonic mode-locking technique in a fiber ring laser [J]. *Chinese J. Lasers*, 2002, **B10**(1):11~14
- Gong Yan-dong, Guan Ya-li, Jian Shui-sheng. Research on PMD compensation in high-speed communication system [J]. *Optical Fiber & Electric Cable (光纤与电缆及其应用技术)*, 2000, (3):16~19 (in Chinese)