

文章编号: 0253-2239(2001)11-1381-03

13 cm 长线性啁啾光纤光栅的研制*

谢增华 宁提纲 裴 丽 李唐军 简水生

(北方交通大学光波技术研究所, 北京 100044)

摘要: 运用程控微位移扫描曝光技术结合相位掩模法, 成功地研制了长为 13 cm、带宽为 0.8 nm、反射率为 90% 的宽带线性啁啾光纤光栅, 经测试其色散值为 -1700 ps/nm 。实验研究结果表明, 对于 10Gb/s 的传输系统, 所研制的光栅能很好地补偿 100 km 普通单模光纤的色散。

关键词: 光纤通信; 啁啾光纤光栅; 色散补偿

中图分类号: TN253 文献标识码: A

1 引 言

目前已经铺设的光纤线路中所使用的绝大多数光纤为非色散位移光纤(G. 652), 它在 $1.31 \mu\text{m}$ 处的色散为零, 但在 $1.55 \mu\text{m}$ 处大约有 $17 \text{ ps/nm}\cdot\text{km}$ 的色散, 这已经成为把现有光纤通信系统升级为高速率和超高速率光纤通信的主要障碍。随着波分复用技术(WDM)的迅速发展, 利用色散补偿技术, 把现有的 G652 光纤通信系统升级为工作于 $1.55 \mu\text{m}$ 波段的低损耗通信窗口, 在掺铒光纤放大器的有效增益谱内实现多路高速光纤通信系统, 近年来引起了人们极大的兴趣和关注^[1~3]。

已经提出的色散补偿方法有^[4]: 色散补偿光纤、激光预啁啾、中点光谱反转、色散支持传输以及啁啾光纤光栅等。其中比较成熟的技术为色散补偿光纤和啁啾光纤光栅。然而色散补偿光纤色散补偿值小(每公里仅约为 -100 ps/nm), 在长距离大容量通信系统中会产生非线性及较大的线路损耗, 而且价格较贵, 所以采用色散补偿光纤并不十分理想。

利用啁啾光纤光栅进行色散补偿普遍认为是一种非常有效的方法, 因为啁啾光纤光栅插入损耗低、色散补偿量大、体积小、成本低, 是一种全光纤的无源偏振不敏感器件。此外, 啁啾光纤光栅不产生非线性, 能与各种不同的光纤线路和波分复用系统很好地兼容, 且能补偿高阶色散^[5]。但光纤光栅在实际用于色散补偿时, 在光栅和光发射波长要求相互匹配, 光栅反射波长的温度稳定性不好以及用于符

合 ITU-T 要求的多路密集波分复用系统色散补偿的情况下, 都希望光栅有较大的带宽。迄今为止已有多种方法来解决这一问题。Ouellette 等对长 12 cm 的抽样光栅利用机械啁啾化的方法得到了啁啾抽样光栅(每个反射峰的带宽为 0.36 nm), 并实现了两路 10 Gb/s 信号在 G. 652 光纤上传输 240 km ^[6]。文献[4]中采用悬臂梁对 10 cm 长的均匀光栅进行调谐得到线性啁啾光栅, 并应用其对 2.5 Gb/s、脉冲宽度为 19 ps 的信号实现了 133 km 的 G. 652 光纤传输的色散补偿。但以上方法都采用了机械调谐, 在产生啁啾时, 光栅的反射波长同时被改变, 且在调谐前必须将光栅设法固定在机械装置上, 这给色散补偿和光栅的封装带来了不利的影响。另外, Gnauck 等运用多个啁啾光纤光栅相互级联在 6.5 nm 宽的范围内实现了 8 路色散补偿^[7], 但每个光栅的长度为 1 m, 而色散值仅为 -1350 ps/nm , 所能补偿的中继间隔长度为 80 km。可以想象, 这样长的光栅制作使用和封装都有相当的难度。

本文采用程控微位移扫描曝光技术, 运用长度为 14 cm 的线性啁啾掩模版, 研制出有效长度为 13 cm、带宽为 0.8 nm、反射率为 90% 的宽带线性啁啾光纤光栅, 经测试其色散值为 -1700 ps/nm , 实验中可补偿 100 km 的普通单模光纤的色散。

2 实验装置

制作线性啁啾光纤光栅(LCFGs)所采用的实验装置如图 1 所示。实验中所用的紫外光源为德国 Lambda Physik 公司生产的 ComPex 205 型 248 nm KrF 准分子激光器, 其输出的激光脉冲经过柱面透镜会聚后直接照射在相位掩模版上, 线性啁啾相位

* 国家自然科学基金(69999612)、国家 863 高科技项目和北方交通大学攀登基金资助课题。

掩模版的长度为 14 cm。光敏光纤经仔细调整与掩模版靠近且平行,与掩模光栅条纹垂直,然后与掩模版一起固定在水平微位移平台上,平台在计算机的

精确控制下沿光纤的轴向移动,这样紫外光就同时扫描整个掩模版长度。写入光栅用光谱分析仪进行监测,光源采用掺铒光纤放大器的自发辐射。

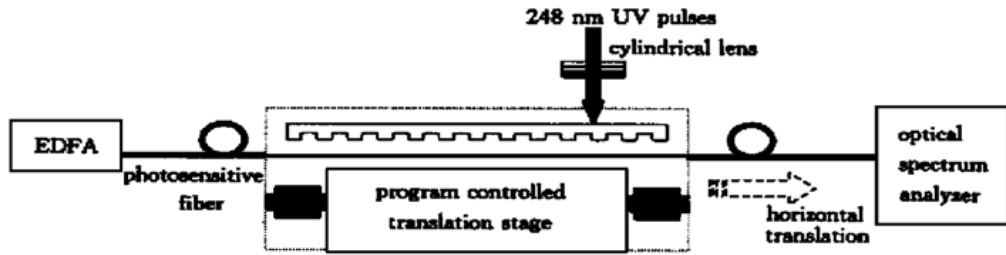


Fig. 1 The experimental setup for fabricating the 13 cm linearly chirped fiber grating

3 实验结果及讨论

运用上述实验装置在 B/Ge 共掺光敏光纤上写入线性啁啾光纤光栅,实验所用的掩模版中心周期为 1068.2 nm,全程啁啾量为 0.68 nm,由于光栅两端的切趾效果,所以光栅的有效长度为 13 cm。

图 2 为在 B/Ge 共掺光纤上得到的光栅图形。其中图 2(a) 为所得光栅的透射谱,中心波长为 1546.7 nm,深为 -10 dB,可以得到光栅的反射率为 90%。图 2(b) 为用英国 EG&G 公司生产的 CD400 色散测试系统得到的光栅时延特性与波长的变化曲线,同时得到了光栅的反射功率谱,可以看出,反射功率谱十分平坦,这有利于实现色散补偿。另外,可以测出光栅的 3 dB 带宽约为 0.8 nm。

性特性,从中可算出光栅色散值约为 -1700 ps/nm。光栅时延曲线偏离线性的波动最大值小于 ±50 ps,如图 4 所示。

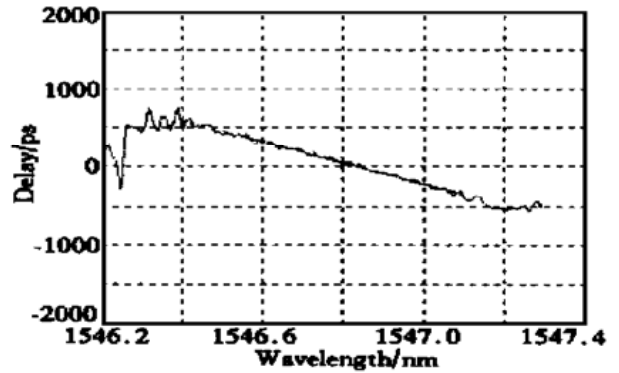


Fig. 3 Linear of the delay curve

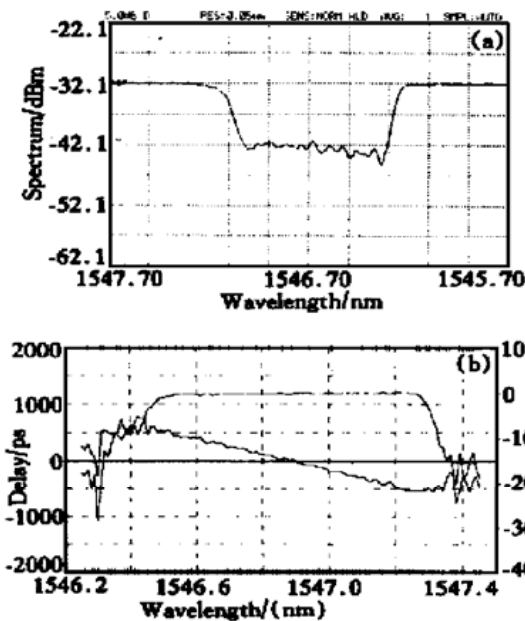


Fig. 2 Linearly chirped fiber grating produced in B/Ge codoped fiber . (a) Transmission spectrum of the grating ; (b) Time delay characteristic and power spectrum

图 3 为对所得光栅的时延曲线在中心波长附近进行线性拟合后的结果,可看出该光栅有良好的线

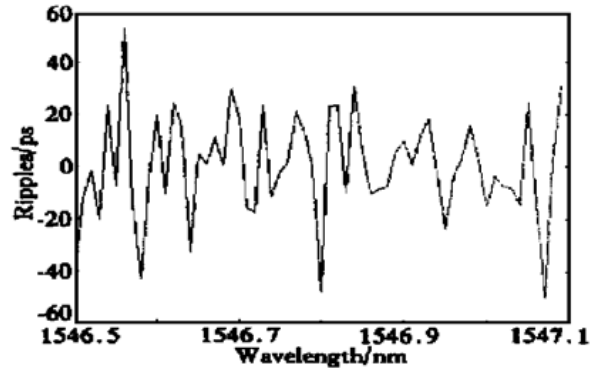


Fig. 4 Ripples of the delay response

将上述光栅用于色散补偿的实验装置如图 5 所示。对增益开关量子阱分布反馈激光器 DFB 进行 10 Gb/s 调制后产生 38 ps 宽的原始光脉冲信号,其中心波长为 1546.74 nm。输出脉冲经掺铒光纤放大器放大后进入 100 km 的普通单模光纤,脉冲展宽为 273 ps,再经所研制的线性啁啾光纤光栅(带环形器)进行脉冲压缩,最后由通信信号分析仪(OA)测得补偿后的脉冲宽为 40 ps,结果如图 6 所示。

从以上结果可以看出,色散补偿后的脉冲比原始脉冲的宽度稍有展宽,但基本上恢复了原始脉冲宽度和形状。另外,补偿后的脉冲幅度有所降低。

光脉冲不能完全恢复原始脉宽有多方面的原因, 其中主要是光纤光栅的色散补偿特性与光纤色散特性

不能完全吻合, 光纤光栅的时延有波动, 存在高阶色散和偏振模色散等。

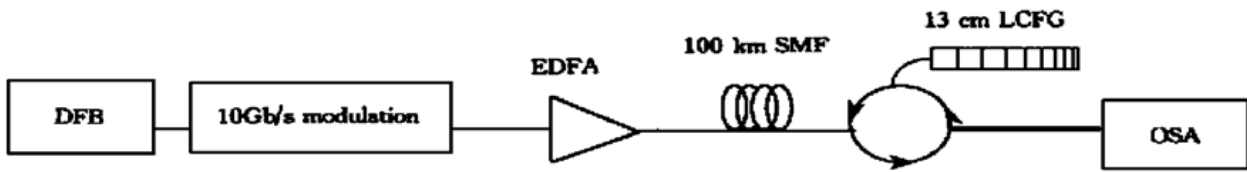


Fig. 5 The experimental setup of dispersion compensation using the produced LCFG

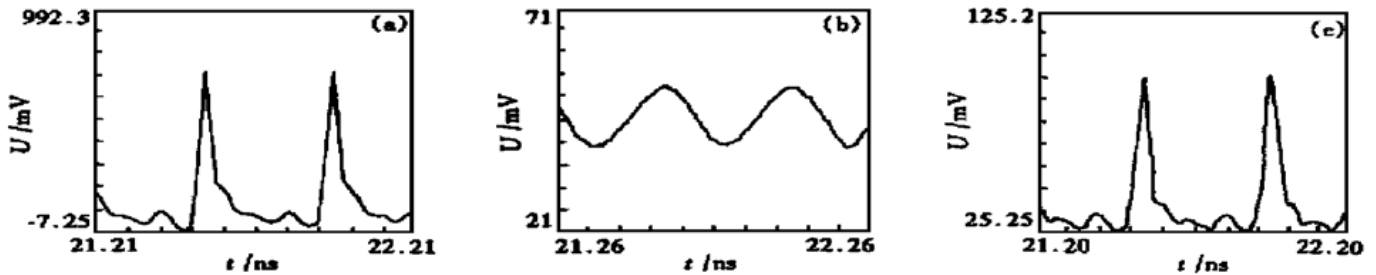


Fig. 6 Experimental results of dispersion compensation of 100 km SMF using the LCFG. (a) Original optical pulse; (b) Expanded optical pulse after 100 km SMF; (c) Pulse after dispersion compensation

结论 采用线性啁啾掩模版结合程控微位移扫描曝光技术, 研制成了 13 cm 长 0.8 nm 带宽、色散值达 -1700 ps/nm 的线性啁啾光纤光栅。利用所研制的光栅实现了 10 Gb/s 信号速率 100 km 普通单模光纤的色散补偿传输。实验证明, 利用这种方法可制作带宽和色散值较大、长度较长的光栅, 可实现复杂折射率调制以及适当切趾的光栅, 且重复性很好。

参 考 文 献

- [1] Loh W H, Laming R I, Gu X *et al.*. 10 cm chirped fiber Bragg grating for dispersion compensation at 10 Gbit/s over 400 km of non-dispersion shifted fiber. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(25): 2203~ 2204
- [2] 秦玉文, 赵玉成, 李唐军 等. 光纤光栅色散补偿实验研

- 究. *光学学报*, 1998, **18**(11): 1597~ 1598
- [3] 舒学文, 黄德修, 阮 玉. 啁啾高斯脉冲经啁啾光纤光栅反射后的传输特性. *光学学报*, 1999, **19**(10): 1305~ 1309
- [4] 简水生, 赵玉成, 魏道平等. 利用啁啾和波长同时可调谐的光纤光栅进行单模光纤色散补偿实验. *中国科学 (E 辑)*, 1999, **29**(2): 124~ 129
- [5] Gnauck A H, Wiesenfeld J M, Garrett L D *et al.*. 4 × 40 Gb/s, 75-km WDM transmission over conventional fiber using a broadband fiber grating. *Proc. OFC/IOOC '99*, FA4-1
- [6] Ouellette F, Krug P A, Stephens T *et al.*. Broadband and WDM dispersion compensation using chirped sampled fiber Bragg gratings. *Electron. Lett.*, 1995, **31**(11): 899~ 901
- [7] Gnauck A H, Garrett L D, Forghieri F *et al.*. 8 × 20Gb/s 315-km, 8 × 10 Gb/s 480-km WDM transmission over conventional fiber using multiple broad-band fiber gratings. *Photo. Tech. Lett.*, 1998, **10**(10): 1495~ 1497

Fabrication of 13 cm Linearly Chirped Fiber Grating

Xie Zenghua Ning Tigang Pei Li Li Tangjun Jian Shuisheng
(*Institute of Lightwave Technology, Northern Jiaotong University, Beijing 100044*)
(Received 18 September 2000; revised 26 December 2000)

Abstract: A 13 cm long linearly chirped fiber Bragg grating is achieved by precisely translating the photosensitive fiber and linearly chirped phase mask assembly as the ultraviolet writing beam is scanning. Reflectivity of up to 90%, bandwidth over 0.8 nm and dispersion as high as -1700 ps/nm have been measured. It is sufficient to compensate the dispersion over 100 km standard single-mode fiber of 10 Gb/s optical pulses at 1547.74 nm.

Key words: optical fiber communication; chirped fiber gratings; dispersion compensation