

文章编号: 0258-7025(2006)Supplement-0213-03

# 抛物平方变迹啾啾光纤光栅补偿超高斯脉冲的色散

高耀辉, 冯国英, 李小东, 陈建国

(四川大学电子信息学院, 四川 成都 610064)

**摘要** 采用抛物平方变迹啾啾光纤光栅,对超高斯脉冲的色散补偿特性进行了理论分析和数值模拟。数值模拟结果表明,光脉冲在普通单模光纤中传输了一定距离后,由于色散的作用,脉冲发生展宽。用抛物平方变迹啾啾光纤光栅进行色散补偿,比高斯型变迹光纤光栅补偿后的脉冲宽度更窄,峰值功率也更高,但脉冲形状都发生了一些畸变,且随着超高斯阶数的增加脉冲峰值功率逐渐增加,达到一定程度后趋于平缓。

**关键词** 光通信; 啾啾光纤光栅; 抛物平方; 色散补偿; 超高斯脉冲

**中图分类号** TN929.11; TN253 **文献标识码** A

## Chirped Fiber Grating with the Apodization of Parabola Squared Function for Dispersion Compensation of Chirped Gaussian Pulses

GAO Yao-hui, FENG Guo-ying, LI Xiao-dong, CHEN Jian-guo

(College of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China)

**Abstract** Theoretical research and numeric model of dispersion compensation of chirped super Gaussian pulses are presented, using chirped fiber grating with the apodization of parabola squared function. It shows that pulses, after transmitting in a fiber length, will become broadened because of dispersion. When using chirped fiber grating with the apodization of parabola squared function, pulses can be compensated with the results that the width of pulses is more narrow and the max-power is higher, compared with using chirped fiber grating with the apodization of Gaussian function. The pulses are distorted after being compensated. The max-power has something to do with the order of Gaussian pulses.

**Key words** optical communication; chirped fiber grating; parabola squared; dispersion compensation; super Gaussian pulses

### 1 引 言

光纤光栅是近年来在光通信和光纤传感领域内令人感兴趣的新颖光纤器件,它在传感、色散补偿<sup>[1,2]</sup>方面的应用一直受到很大的关注。H. G. Winful<sup>[3]</sup>提出了利用光纤光栅滤波器通过对脉冲非线性啾啾系数的校正来实现对它的压缩。C. P. Kuo 等<sup>[4]</sup>在可见光区域成功地测量了布拉格光栅的负群速度色散值,虽然测出的色散值较大,但用来色散补偿的带宽却很窄<sup>[5,6]</sup>。最早提出采用啾啾光纤光栅进行色散补偿的是 F. Ouellette<sup>[7]</sup>。目前对啾啾光纤光栅色散补偿的研究虽然很多,然而针对不同脉冲形状的却很少。众所周知,不同的激光器所发出的脉冲形状各不相同,采用同一种光纤光栅对不同的脉冲信号进行色散补偿的效果也不同。高斯型是一种普遍的脉冲形状。目前所常用的直接调制半导体激光器发出的光脉冲大多属于方波,因而我们采用带啾啾的超高斯脉冲来做近似,这比起高斯脉冲是一个更好的选择。本文采用抛物平方变迹函

数线性啾啾光纤光栅对超高斯脉冲在光纤中传输的色散进行补偿。

### 2 理论模型及分析

一个初始啾啾为  $C$ , 脉宽为  $t_0$  的超高斯脉冲可描述为<sup>[8]</sup>

$$U(0, t) = \exp\left[-\frac{1+jC}{2}\left(\frac{t}{t_0}\right)^{2m}\right], \quad (1)$$

式中  $m$  为超高阶脉冲阶数,由脉冲沿的锐度决定,当  $m=1$  时,对应的是啾啾高斯脉冲,而对于较大的  $m$  值,对应的是较锐的前后沿的方形脉冲。这样的脉冲在普通单模光纤中传输一定的距离  $z$  后,由于群速度色散作用,光脉冲会在传播过程中展宽,展宽因子的解析表达式为

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_0} = \left[1 + \frac{\Gamma(1/2m)}{\Gamma(3/2m)} \frac{C\beta_2 z}{t_0^2} + \frac{\Gamma(2-1/2m)}{\Gamma(3/2m)} \frac{(1+C^2)(m\beta_2 z)^2}{t_0^4}\right]^{1/2}, \quad (2)$$

**作者简介:** 高耀辉(1980—),男,河南洛阳人,四川大学电子信息学院硕士研究生,主要从事光纤光栅的研究。

E-mail: goal928@163.com

式中  $\sigma_0$  为初始脉冲的均方根脉宽,  $\sigma_1$  为展宽后的均方根脉宽,  $\beta_2$  为群速度色散。

### 3 数值模拟

用啁啾光纤光栅进行色散补偿的方案如图 1 所示。其中 DCG 表示色散补偿光栅。

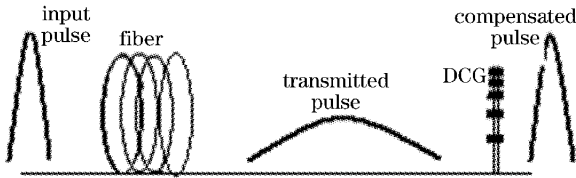


图 1 啁啾光纤光栅色散补偿图

Fig. 1 Dispersion compensation of chirped fiber grating

初始脉宽  $t_0 = 20$  ps 的超高斯脉冲, 在普通单模光纤中传输 120 km 后, 由于色散, 光脉冲展宽, 群速度色散  $\beta_2 = -20$  ps<sup>2</sup>/km。用于脉冲压缩的啁啾光纤光栅长度为 5 cm, 啁啾系数  $F = 30\pi$ , 耦合系数  $k_0 L = 2\pi$ , 常用的高斯变迹和本文所采用的抛物平方变迹函数形式为

$$k = k_0 \exp\left(-\frac{16z^2}{L^2}\right), \quad (3)$$

$$k = k_0 \left(\frac{16}{L^4}\right) \left(\frac{L^2}{4} - z^2\right)^2, \quad (4)$$

当入射脉冲为无初始啁啾的超高斯脉冲时 ( $m=4$ ), 计算所得脉冲经普通光纤展宽后和再经

过啁啾光纤光栅压缩后的脉冲形状如图 2(a), (b) 所示。图 2(a) 是采用高斯变迹啁啾光纤光栅补偿脉冲的色散, 可以看出, 脉冲经过普通光纤传输后, 脉宽明显展宽, 由 20 ps 变为 150 ps, 展宽后的脉冲经高斯型变迹啁啾光纤光栅压缩后, 脉宽变为 30 ps, 但脉冲形状稍微发生了一些变化, 在脉冲两边出现了旁瓣。采用抛物平方变迹啁啾光纤光栅补偿脉冲的色散如图 2(b) 所示, 补偿后的脉宽变为 20 ps, 较图 2(a) 更窄了些, 峰值功率也变高了。当入射脉冲为带初始啁啾 ( $C = -4$ ) 的超高斯脉冲时 ( $m=4$ ), 计算所得脉冲经普通光纤展宽后和再经过啁啾光纤光栅压缩后的脉冲形状如图 2(c), (d) 所示。图 2(c) 是采用高斯变迹啁啾光纤光栅补偿脉冲的色散, 可以看出, 经过普通光纤传输后, 脉冲同样展宽, 脉宽由 20 ps 变为 200 ps, 比无初始啁啾的超高斯脉冲展的更宽, 而且出现了小的调制, 展宽后的脉冲经高斯变迹啁啾光纤光栅压缩后, 脉宽变为 30 ps, 脉冲形状发生了变化, 脉冲峰值功率比初始脉冲低了。采用抛物平方变迹啁啾光纤光栅补偿脉冲的色散如图 2(d), 补偿后的脉宽变为 20 ps, 比图 2(c) 的窄, 峰值功率也更高了。综合图 2 可以发现, 无论采用何种变迹函数的啁啾光纤光栅补偿带初始啁啾的超高斯脉冲后, 都存在小的调制, 脉冲形状都很难恢复到初始形状, 但从补偿后的脉冲宽度和峰值功率而言, 采用抛物平方变迹啁啾光纤光栅是个更好的选择。

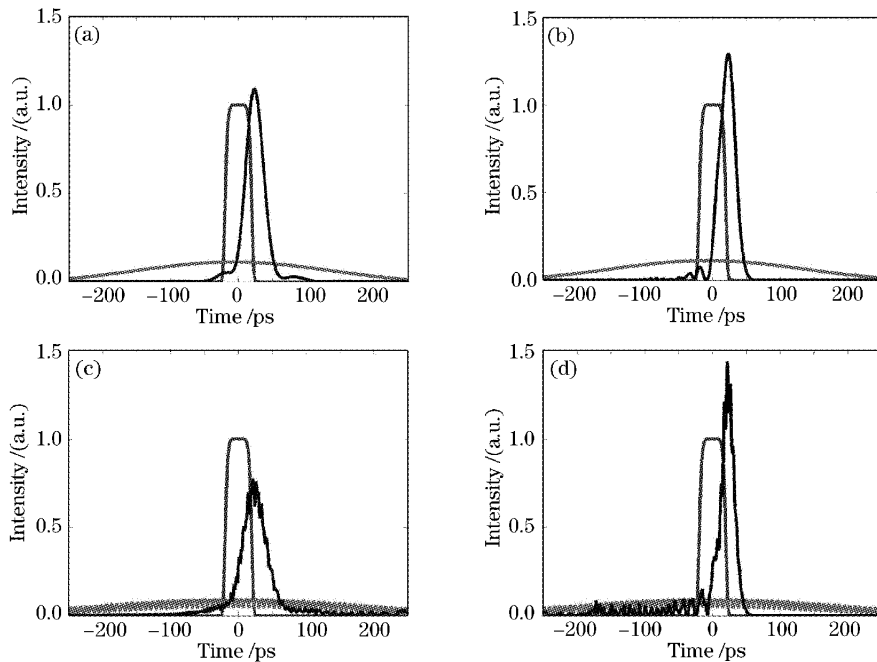


图 2 高斯型和抛物平方型变迹啁啾光纤光栅的色散补偿效果

Fig. 2 Results of compensation using chirped fiber grating with apodization of parabola squared and Gaussian function

无初始啁啾、不同超高斯阶数的光脉冲在普通单模光纤中传输了 120 km 后,采用高斯型和抛物平方型变迹啁啾光纤光栅补偿后的峰值功率变化情况如图 3 所示。可以看出,随着超高斯阶数的增加,脉冲峰值功率逐渐增大,当增加到一定程度后便趋于平缓,甚至出现略微下降趋势。

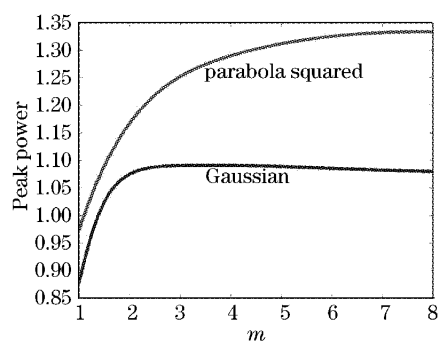


图 3 脉冲峰值功率随脉冲阶数的变化

Fig. 3 Variation of peak power with order of pulses

## 4 结 论

从耦合模方程出发,通过数值模拟,分析讨论了超高斯光脉冲在普通单模光纤中传输了一定距离后,再经过抛物平方变迹啁啾光纤光栅色散补偿后的脉冲形状和峰值功率的变化情况。研究表明,所

采用的光纤光栅比高斯型变迹啁啾光纤光栅补偿脉冲的色散效果更好,虽然脉冲形状都发生了些畸变,但从脉冲宽度和峰值功率角度来考虑,前者比后者的补偿性能优良。这对啁啾光纤光栅的制作和应用于超高斯脉冲的色散补偿,具有一定的指导作用。

## 参 考 文 献

- 1 E. B. Treacy. Optical pulse compression with diffraction gratings [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1969, **QE-5**(9): 454~458
- 2 H. Nakatsuka, D. Grischkowsky, A. C. Balant. Nonlinear picosecond-pulse propagation through optical fibers with positive group velocity dispersion [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1981, **47**(13): 910~913
- 3 H. G. Winful. Pulse compression in optical fiber filters [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1985, **46**(6): 527~529
- 4 C. P. Kuo, U. Österberg, C. T. Seaton *et al.*. Optical fibers with negative group-velocity dispersion in the visible [J]. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(11): 1032~1034
- 5 F. Ouellette. Limits of chirped pulse compression with an unchirped Bragg grating filter [J]. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(32): 4826~4829
- 6 B. J. Eggleton, T. Stephens, P. A. Krug *et al.*. Dispersion compensation over 100 km at 10 Gb/s using a Bragg grating in transmission [J]. in *Technol. Digest. of OFC '96*, post-deadline paper PD5: 1~5
- 7 F. Ouellette. Dispersion cancellation using linearly chirped Bragg grating filters in optical waveguides [J]. *Opt. Lett.*, 1987, **12**(10): 847~849
- 8 Govind P. Agrawal. *Nonlinear Fiber Optics and Applications of Nonlinear Fiber Optics 2003*, (6): 47