

色散平坦渐减光纤产生平坦超宽 超连续谱的特性研究*

陈泳竹^{1)†} 李玉忠¹⁾ 徐文成²⁾

1) 广东技术师范学院广东省数控技术重点实验室 广州 510635)

2) 华南师范大学光子信息技术实验室 广州 510631)

(2006 年 6 月 19 日收到 2008 年 6 月 10 日收到修改稿)

提出了色散平坦渐减光纤的一种新型色散模型.从频域的全场方程出发,通过数值计算对该种光纤中平坦超连续谱的产生展开了较系统深入的研究.研究表明,该种光纤相比常规色散平坦渐减光纤可以产生更宽的平坦超连续谱,其平坦谱宽可达 1000 nm 以上.进一步的研究表明,光纤的初始峰值色散参量、色散参量微分常量、渐减系数和抽运脉冲的宽度、孤子阶数、初始啁啾等参数对该种光纤中平坦超宽超连续谱的形成都有着非常重要的影响.

关键词:超连续谱,色散平坦渐减光纤,群速度色散,自相位调制

PACC:4265,4280M,4281D,4265S

1. 引言

光时分复用(OTDM)技术和密集波分复用(DWDM)技术的结合是建立未来高速、大容量光通信系统的主要方向.这种光通信系统的一个关键技术是获得稳定的高重复率多波长超短光脉冲.熟知的增益开关分布式反馈光纤激光器(GS-DFB)和锁模光纤激光器(MLFL)都只能产生单一波长的近变换极限超短光脉冲,而依靠选取特定波长的若干个 GS-DFB 或 MLFL 作为 OTDM/DWDM 通信光源会给工作带来很大的不便.利用光纤的超连续(SC)谱技术则是一种非常有效的方法^[1-7].SC 谱是指当一束高强度的超短光脉冲通过非线性光学介质时出现的光谱展宽现象,即出射光谱中产生许多新的频率成分,且光谱的宽度远远大于入射光脉冲的谱宽.光纤中的 SC 谱,其频谱展宽机理主要源自光纤中的自相位调制(SPM)、交叉相位调制、四波混频、受激拉曼散射(SRS)等非线性效应和光纤群速度色散(GVD)的共同作用^[8].其中最重要的是 SPM 和 GVD 的共同作用,因为相对其他非线性效应而言,SPM 更容易发生而且起着先导作用.

目前,用于产生 SC 谱的光纤主要有色散位移

光纤、色散平坦光纤、色散渐减光纤、色散平坦渐减光纤、锥形光纤及光子晶体光纤等多种^[9-21].由于色散平坦渐减光纤兼具色散平坦光纤和色散渐减光纤的特点,其产生的 SC 谱具有所需光纤长度短、抽运脉冲的脉冲宽度相对较宽、抽运脉冲的功率较低及产生的 SC 谱稳定性高、平坦度好等优点,因而获得了广泛的研究和应用.本文提出一种新型色散模型的色散平坦渐减光纤,与常规色散平坦渐减光纤不同,这种光纤更有利于平坦超宽 SC 谱的产生.从频域的全场方程出发,通过数值计算对这种光纤产生平坦超宽 SC 谱展开了较为系统而深入的研究.

2. 理论模型

2.1. 描述 SC 谱产生的频域全场方程

时域的广义非线性薛定谔方程通常被用来描述光纤中超短光脉冲的传输及其频谱演化,但对于光谱范围达到几百纳米甚至上千纳米的 SC 光脉冲的描述,采用频域的全场方程则更加精确^[21].假定 SC 谱的频谱范围为 $[\omega_0 - \delta\Omega, \omega_0 + \delta\Omega]$,其中 ω_0 为抽运光脉冲的中心圆频率.定义 $A(z, \tau)$ 为全场的无

* 广东省教育厅自然科学基金(批准号:0159)和广东技术师范学院自然科学基金(批准号:109212)资助的课题.

† E-mail: chyzh1160@sina.com

量纲慢变复振幅($\tau = t - z/V_0$, V_0 是 ω_0 处的群速度) $\tilde{A}(z, \Omega)$ 为全场的频域谱($A(z, \tau)$ 的傅里叶变换). 由此可得描述超光脉冲在光纤中传输的频域全场方程为^[22]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \tilde{A}(z, \Omega)}{\partial z} \\ &= -i\Delta(\Omega)\tilde{A}(z, \Omega) - \Gamma(\Omega)\tilde{A}(z, \Omega) \\ & - (1 + \Omega/\omega_0)Q_K \text{FT}_{\Omega} [A(z, \tau)|A(z, \tau)|^2] \\ & - (1 + \Omega/\omega_0)Q_R \text{FT}_{\Omega} (A \text{FT}_{\tau}^{-1} \{S_R \text{FT}_{\Omega} [|A(z, \tau)|^2] \}) \end{aligned} \quad (1)$$

(1) 式等号右边前两项为线性项, 分别表示色散效应和光纤损耗; 后两项为非线性项, 分别表示克尔效应(包括 SPM、自陡峭(self-steepening))和 SRS 效应.

$$\Delta(\Omega) = \sum_{k=2}^{\infty} \beta_0^{(k)} \frac{\Omega^k}{k!},$$

$$\beta_0^{(k)} = \frac{d^k \beta}{d\omega^k}(\omega_0),$$

$$Q_K = \frac{\omega_0}{c} \frac{3\chi_{1111}^{(3)}}{n_0} \frac{c\mu_0}{4n_0} \frac{P_0}{A_{\text{eff}}},$$

$$Q_R = \frac{\omega_0}{c} G_R \frac{P_0}{A_{\text{eff}}}.$$

这里 FT_{Ω} 表示傅里叶变换, FT_{τ}^{-1} 表示傅里叶逆变换; $\beta_0^{(k)}$ 为各阶 GVD 系数(k 表示色散阶数); $\chi_{1111}^{(3)}$ 为(1, 1, 1, 1)方向的克尔极化张量; G_R 为拉曼增益系数; P_0 为脉冲光功率; A_{eff} 为纤芯有效横截面积; S_R 为拉曼散射响应函数,

$$S_R(\Omega) = \frac{\Gamma_R \Omega_R}{\Omega_R^2 - \Omega^2 + i\Gamma_R \Omega}, \quad (2)$$

式中 Ω_R 表示光纤拉曼频移, Ω_R 的经验取值为 $2\pi \times 13.2$ THz; Γ_R 表示拉曼唯象线宽, $\Gamma_R = 2\pi \times 13.67$ THz.

2.2. 色散平坦渐减光纤色散特性

常规色散平坦渐减光纤的色散同时具有色散平坦光纤和色散渐减光纤色散的双重特性, 其色散参量 $D(\lambda, z)$ 与光波波长 λ 满足二次幂函数关系, 且沿着传输距离 z 其值呈线性由入端的正值递减为出端的负值(二阶 GVD 值呈线性由入端的负值递减为出端的正值)^[14-16]. 为增强频谱的展宽, 本文将色散平坦渐减光纤的色散参量 $D(\lambda, z)$ 表示为

$$D(\lambda, z) = D_p \left(1 - \frac{z}{L_0}\right) + K(\lambda - \lambda_p)^4. \quad (3)$$

式中 K 为光纤色散参量 D 关于波长 λ 的四阶微分

常量(为负值), D_p 为初始峰值色散量, L_0 为色散渐减系数(L_0 为光纤峰值色散刚好渐减为零时的传输距离), λ_p 为光纤峰值色散波长. 利用关系式

$$\beta_0^{(k)} = \left. \frac{d^k \beta}{d\omega^k} \right|_{\omega=\omega_0},$$

$$D = \frac{d\beta_1}{d\lambda},$$

$$\omega = \frac{2\pi\nu}{\lambda},$$

可由(3)式求得该种色散平坦渐减光纤中抽运脉冲中心波长 λ_0 处各阶 GVD 的具体表达式^[23]

$$\begin{aligned} \beta_2(\lambda_0, z) &= -\frac{\lambda_0^2}{2\pi c} D_p \left(1 - \frac{z}{L_0}\right), \\ \beta_3(\lambda_0, z) &= \left(-\frac{\lambda_0^2}{2\pi c}\right)^2 \frac{2D_p}{\lambda_0} \left(1 - \frac{z}{L_0}\right), \\ \beta_4(\lambda_0, z) &= \left(-\frac{\lambda_0^2}{2\pi c}\right)^3 \frac{6D_p}{\lambda_0^2} \left(1 - \frac{z}{L_0}\right), \\ \beta_5(\lambda_0, z) &= \left(-\frac{\lambda_0^2}{2\pi c}\right)^4 \frac{24D_p}{\lambda_0^3} \left(1 - \frac{z}{L_0}\right), \\ \beta_6(\lambda_0, z) &= \left(-\frac{\lambda_0^2}{2\pi c}\right)^5 \left[\frac{120D_p}{\lambda_0^4} \left(1 - \frac{z}{L_0}\right) + 24K \right], \\ \beta_7(\lambda_0, z) &= \left(-\frac{\lambda_0^2}{2\pi c}\right)^6 \left[\frac{720D_p}{\lambda_0^5} \left(1 - \frac{z}{L_0}\right) + \frac{720K}{\lambda_0} \right]. \end{aligned} \quad (4)$$

3. 数值计算及结果分析

计算中对色散平坦光纤参量取值如下: 峰值色散参量 $D_p = 6$ ps/nmkm, $L_0 = 582$ m, 传输距离 $z = 1.05L_0$, 色散参量四阶微分常量 $K = -3.0 \times 10^{-12}$ ps/nm⁵km, 非线性折射率系数 $n_2 = 3.2 \times 10^{-20}$ m²/W, 纤芯有效横截面积 $A_{\text{eff}} = 50$ μm^2 . 同时, 假设抽运脉冲为双曲正割型, 其中心波长 $\lambda_0 = \lambda_p = 1550$ nm, 脉冲宽度 $T_{\text{FWHM}} = 4$ ps, 脉冲孤子阶数 $N = 1.87$,

$$N^2 = \frac{\gamma P_0 T_0^2}{|\beta_2|},$$

其中 γ 为非线性参量^[23],

$$\gamma = \frac{n_2 \omega_0}{c A_{\text{eff}}},$$

$$T_0 = \frac{T_{\text{FWHM}}}{2\ln(1 + 2^{1/2})}.$$

除特别说明外, 下面的计算中都采用上述参数值. 应用以上参数对方程(1)进行数值计算, 获得的 SC 谱如图 1(a)所示, 为便于比较, 同时给出在相同条件下由常规色散平坦渐减光纤(光纤色散参量二阶微

分量 $K' = -3 \times 10^{-4} \text{ ps/nm}^3 \text{ km}$ 产生的 SC 谱如图 1(b) 所示. 由此可见, 前者的平坦谱远远宽于后者 (据文献 16 报道, 常规色散平坦渐减光纤中产生的 SC 谱的平坦谱宽最多可达 400 nm), 达到了 1000 nm 以上; 而且由于高阶 GVD 和高阶非线性的影响, 前者频谱已不对称, 其长波区要比短波区宽.

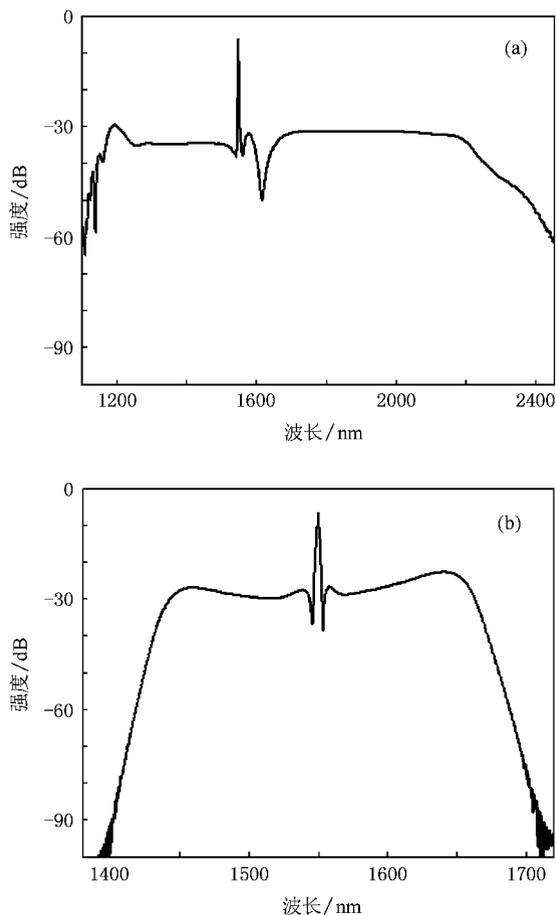


图 1 两种不同色散平坦渐减光纤中产生的 SC 谱 (a) 新型光纤产生的 SC 谱 (b) 常规光纤产生的 SC 谱

3.1. 光纤参数的影响

3.1.1. 常量 K 的影响

在色散平坦渐减光纤中, SC 谱的形成主要是由于光纤 SPM 效应和光纤各阶 GVD 的共同作用. 由 (4) 式可知, 光纤的高阶 (六阶以上) GVD 与光纤色散参量的四阶微分常量 K 相关, 因而 K 对平坦 SC 谱的形成会产生重要影响. 保持其他参数不变, 对 K 分别取 $-6.0 \times 10^{-12} \text{ ps/nm}^5 \text{ km}$, $-3.0 \times 10^{-12} \text{ ps/nm}^5 \text{ km}$, $-1.5 \times 10^{-12} \text{ ps/nm}^5 \text{ km}$, 通过数值计算我们获得了不同 SC 谱, 结果如图 2 所示. 从图 2 可见, 随着常量 K 绝对值的减小, 平坦谱宽显著加宽, 但

同时频谱的平坦度和对称性逐渐劣化, 其中心频谱 (对应抽运脉冲的中心波长) 右侧的凹陷则更加明显. 进一步研究表明, 常量 K 绝对值太大或太小都不能形成平坦 SC 谱. 综合考虑后认为, 选取常量 $K = -3.0 \times 10^{-12} \text{ ps/nm}^5 \text{ km}$ 的色散平坦渐减光纤产生 SC 谱比较合理.

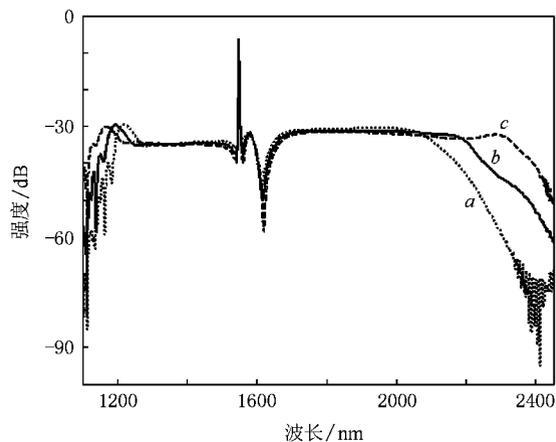


图 2 微分常量 K 取不同值时产生的 SC 谱 曲线 a 为 $K = -6.0 \times 10^{-12} \text{ ps/nm}^5 \text{ km}$, 曲线 b 为 $K = -3.0 \times 10^{-12} \text{ ps/nm}^5 \text{ km}$, 曲线 c 为 $K = -1.5 \times 10^{-12} \text{ ps/nm}^5 \text{ km}$

3.1.2. 渐减系数 $1/L_0$ 的影响

色散平坦渐减光纤中 SC 谱的产生及其频谱的展宽主要是由于孤子的绝热压缩效应, 光纤色散渐减系数 $1/L_0$ 的选取 (即光纤长度 L_0 的选取) 则对脉冲的这种压缩效应有着直接的关联, 从而对平坦 SC 谱的产生有着非常重要的影响. 图 3 给出了 L_0 的取值分别为 700, 582, 520 m 时获得的 SC 谱. 由此可见, 色散渐减系数 $1/L_0$ 越大 (即 L_0 越小) 越不利于

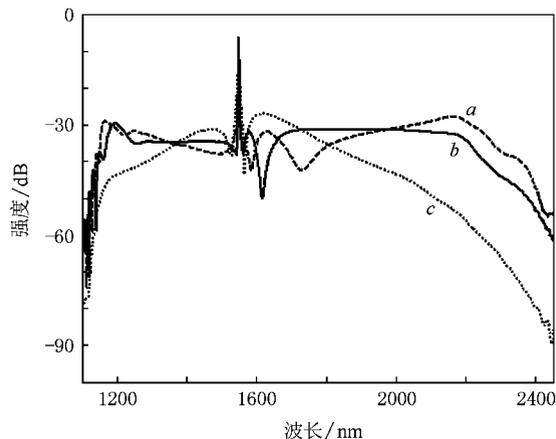


图 3 色散渐减系数 $1/L_0$ 取不同值时产生的 SC 谱 曲线 a 为 $L_0 = 700 \text{ m}$, 曲线 b 为 $L_0 = 582 \text{ m}$, 曲线 c 为 $L_0 = 520 \text{ m}$

频谱的展宽,太大则不能形成 SC 谱;色散渐减系数 $1/L_0$ 越小(即 L_0 越大)越有利于频谱的展宽,但太小并不能使频谱获得进一步的展宽,相反会使产生的 SC 谱平坦度变差.所以综合考虑后认为,选取 $L_0 = 582$ m 时的色散渐减系数比较合理.

3.1.3. 峰值色散参量 D_p 的影响

同样由(4)式可知,色散平坦渐减光纤的 GVD 不仅与常量 K 的大小有关而且也与光纤初始峰值色散参量 D_p 的大小相关,参量 D_p 的值也对该种光纤中 SC 谱的形成有着非常重要的影响.保持孤子阶数不变($N = 1.87$),同时考虑到不同的 D_p 值获得最佳 SC 谱的 L_0 值也不同,选取色散参量 D_p 和 L_0 的值分别如下: $D_p = 9$ ps/nmkm, $L_0 = 388$ m; $D_p = 6$ ps/nmkm, $L_0 = 582$ m; $D_p = 3$ ps/nmkm, $L_0 = 1164$ m. 由此获得不同的 SC 谱如图 4 所示.由图 4 可知,随着光纤的初始峰值色散参量 D_p 的增大,产生的 SC 谱随之增宽,同时所需光纤长度越短(即 L_0 越小).当参量 D_p 增大到一定程度后,其对频谱展宽的增强效应已不明显,且 SC 谱的平坦度开始劣化(中心频谱右侧处的凹陷更加明显).所以综合考虑后认为,选取初始峰值色散参量 $D_p = 6$ ps/nmkm 较合理.

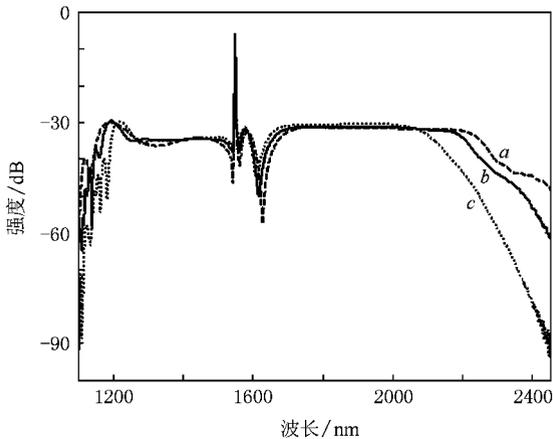


图 4 初始峰值色散参量 D_p 取不同值时产生的 SC 谱. 曲线 a 为 $D_p = 9$ ps/nmkm, $L_0 = 388$ m; 曲线 b 为 $D_p = 6$ ps/nmkm, $L_0 = 582$ m; 曲线 c 为 $D_p = 3$ ps/nmkm, $L_0 = 1164$ m

3.2. 抽运脉冲参数的影响

3.2.1. 脉冲宽度 T_{FWHM} 的影响

由文献[23]可知,光纤中的高阶 GVD 对光脉冲传输和频谱演化的影响效果与脉冲初始宽度密切相关.因此抽运脉冲的脉冲宽度对该种光纤中 SC 谱的形成也有着极其重要的影响.保持孤子阶数不变

($N = 1.87$),同时考虑到不同脉冲宽度 T_{FWHM} 获得最佳 SC 谱的 L_0 值也不同,抽运脉冲宽度 T_{FWHM} 和光纤长度 L_0 的取值分别如下: $T_{FWHM} = 2$ ps, $L_0 = 146$ m; $T_{FWHM} = 4$ ps, $L_0 = 582$ m; $T_{FWHM} = 6$ ps, $L_0 = 1309$ m. 经过计算获得不同 SC 谱如图 5 所示.显然,抽运脉冲的脉冲宽度越窄,则所需光纤长度越短,产生 SC 谱的频谱越宽且平坦.随着抽运脉冲宽度的进一步变窄,SC 谱的平坦度逐步劣化,其中心频谱右侧的凹陷更为明显并向长波方向偏移.所以综合考虑后认为,选取抽运脉冲宽度 $T_{FWHM} = 4$ ps 较为合理.

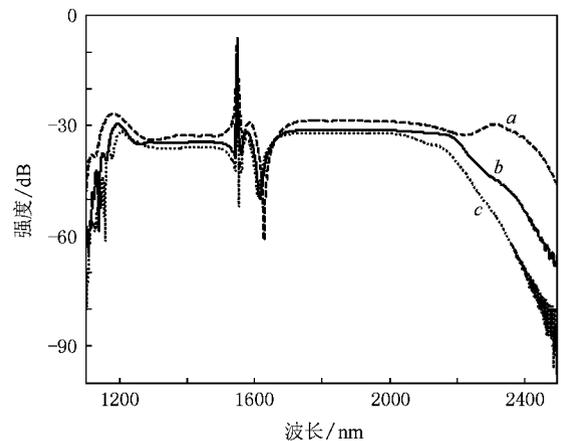


图 5 抽运脉冲宽度 T_{FWHM} 取不同值时产生的 SC 谱. 曲线 a 为 $T_{FWHM} = 2$ ps, $L_0 = 146$ m; 曲线 b 为 $T_{FWHM} = 4$ ps, $L_0 = 582$ m; 曲线 c 为 $T_{FWHM} = 6$ ps, $L_0 = 1309$ m

3.2.2. 脉冲孤子阶数 N 和峰值功率 P_0 的影响

在色散平坦渐减光纤中产生 SC 谱,其频谱的展宽机理主要源自光纤中的 SPM 效应诱导的频率啁啾的积累.而 SPM 效应的强弱取决于抽运脉冲的孤子阶数(在其他参数不变的情况下,直接与抽运脉冲的峰值功率相关),所以抽运脉冲的孤子阶数(峰值功率的大小)对 SC 谱也有着十分重要的影响.图 6 为保持其他参数不变的条件下,改变抽运脉冲孤子阶数(峰值功率)所获得的不同 SC 谱.图 6 中的抽运脉冲的孤子阶数 N 和峰值功率 P_0 分别如下: $N = 2.09$, $P_0 = 2.5$ W; $N = 1.87$, $P_0 = 2$ W; $N = 1.75$, $P_0 = 1.75$ W. 由图 6 可见,孤子阶数太低时频谱得不到充分的展宽,从而不能形成 SC 谱;当孤子阶数 $N \approx 1.75$ 时,SC 谱开始形成.随着孤子阶数的增大,SC 谱的频谱也随之增宽,平坦度也越来越好;当孤子阶数 $N = 1.87$ 时,SC 谱的平坦度达到最佳,进一

步增大孤子阶数, SC 谱的平坦度则开始劣化. 所以要在该种色散平坦渐减光纤中产生平坦宽带的 SC 谱, 抽运脉冲的孤子阶数 N 既不能太低也不能太高, 其最佳取值为 1.87 左右.

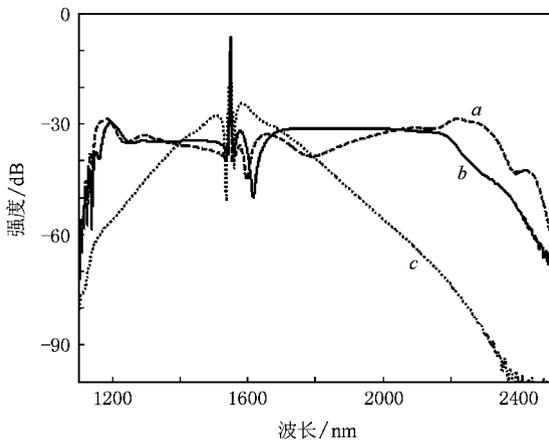


图 6 孤子阶数 N 取不同值时产生的 SC 谱. 曲线 a 为 $N = 2.09$, $P_0 = 2.5$ W; 曲线 b 为 $N = 1.87$, $P_0 = 2$ W; 曲线 c 为 $N = 1.75$, $P_0 = 1.75$ W

3.2.3. 脉冲初始啁啾的影响

脉冲的初始啁啾会对脉冲的传输和演化起到控制和制约作用^[23], 所以抽运脉冲的初始啁啾也会对色散平坦渐减光纤中 SC 谱的形成产生十分重要的影响. 保持所有参数不变, 选取抽运脉冲的初始频率啁啾 C 值分别为 $+1, 0, -1$, 通过计算得到了不同的 SC 谱, 结果如图 7 所示. 结果表明: 一定的正啁啾有利于 SC 谱的增宽, 但不利于平坦 SC 谱的形成, 且随着正啁啾的增大, SC 谱的平坦度会随之进一步劣化, 最终导致不能产生 SC 谱. 负啁啾的存在则不利于频谱的展宽, 从而不利于平坦超宽 SC 谱的形成, 负啁啾越小(其绝对值越大)越不利于 SC 谱的

产生, 当其值减小到 -1 附近, 已经得不到展宽的频谱(即不能形成 SC 谱)了. 总之, 在该种光纤中抽运脉冲的初始啁啾不利于平坦 SC 谱的产生.

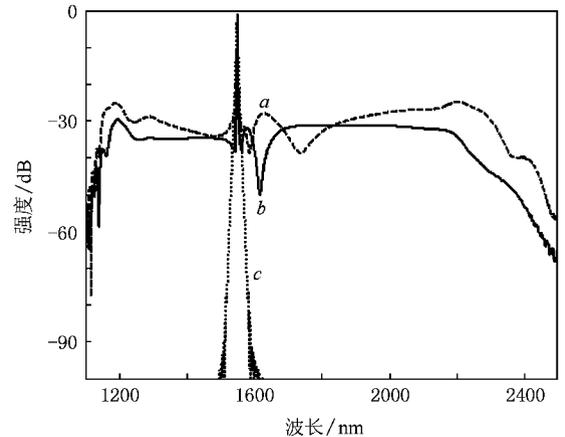


图 7 取不同初始啁啾 C 值产生的 SC 谱. 曲线 a 为 $C = +1$, 曲线 b 为 $C = 0$, 曲线 c 为 $C = -1$

4. 结 论

提出了色散平坦渐减光纤的一种新型色散模型, 并从频域的全场方程出发, 通过数值计算系统地研究了该种光纤中 SC 谱的产生. 研究表明, 与常规色散平坦渐减光纤相比, 该种光纤更有利于平坦宽带 SC 谱的产生, 所产生平坦超宽 SC 谱的平坦谱宽可达 1000 nm 以上. 进一步系统深入地研究了初始峰值色散参量、色散参量微分常量、渐减系数等参量和抽运脉冲的脉冲宽度、孤子阶数、初始啁啾等参数对该种光纤中产生平坦超宽 SC 谱的重要影响. 所得结果对于 SC 谱的实验研究及 SC 谱光纤的设计都具有一定的指导作用.

- [1] Morioka T, Mori K, Saruwatari M 1994 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **6** 365
- [2] Sotobayashi H, Kitayama K 1999 *Opt. Lett.* **24** 1820
- [3] Kawanishi S, Takara H, Uchiyama K, Shake I, Mori K 1999 *Electron. Lett.* **35** 826
- [4] Sotobayashi H, Kitayama K 1999 *Electron. Lett.* **35** 1966
- [5] Boivin L, Taccheo S, Doerr C R, Schiffer B, Stulz L W, Monnard R, Lin W 2000 *Electron. Lett.* **36** 335
- [6] Boyraz O, Kim J, Islam N M, Coppinger F, Jaliliet B 2000 *J. Lightwave Technol.* **18** 2167
- [7] Yamada E, Takara H, Ohara T, Sato K, Morioka T, Jinguji K,

Itoh M, Ishii M 2001 *Electron. Lett.* **37** 304

- [8] Alfano R R 1989 *The Supercontinuum Laser Source* (Berlin: Springer-Verlag)
- [9] Chen Y Z, Xu W C, Cui H, Xu Y Z, Yu B T, Liu S H 2004 *Acta Opt. Sin.* **24** 1468 (in Chinese) [陈泳竹、徐文成、崔虎、徐永钊、于丙涛、刘颂豪 2004 光学学报 **24** 1468]
- [10] Jia D F, Ge C F, Hu Z Y, Wang Z Y, Li S C 2005 *Acta Opt. Sin.* **25** 746 (in Chinese) [贾东方、葛春风、胡智勇、王肇颖、李世忱 2005 光学学报 **25** 746]
- [11] Sotobayashi H, Kitayama K 1998 *Electron. Lett.* **34** 1336
- [12] Wu Y, Lou C Y, Han M, Wang T, Gao Y Z 2002 *Chin. Phys.* **11**

578

- [13] Chen Y Z , Li Y Z , Qu G , Xu W C 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 717 (in Chinese)[陈泳竹、李玉忠、屈 圭、徐文成 2006 物理学报 **55** 717]
- [14] Mori K , Takara H , Kawanishi S , Saruwatari M , Morioka T 1997 *Electron. Lett.* **33** 1806
- [15] Okuno T , Onishi M , Nishimura M 1998 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **10** 72
- [16] Xu Y Z , Xu W C , Yu B T , Chen Y Z , Cui H , Liu S H 2004 *Acta Opt. Sin.* **24** 772 (in Chinese)[徐永钊、徐文成、于丙涛、陈泳竹、崔 虎、刘颂豪 2004 光学学报 **24** 772]
- [17] Birks T A , Wadsworth W J , Russell P S J 2000 *Opt. Lett.* **25** 1415
- [18] Cheng C F , Wang X F , Lu B 2004 *Acta Phys. Sin.* **53** 1826 (in Chinese)[成纯富、王晓方、鲁 波 2004 物理学报 **53** 1826]
- [19] Li S G , Zhou G Y , Xing G L , Hou L T , Wang Q Y , Li Y F , Hu M L 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1599 (in Chinese)[李曙光、周桂耀、邢光龙、侯蓝田、王清月、栗岩锋、胡明列 2005 物理学报 **54** 1599]
- [20] Jia Y Q , Yan P G , Liu K C , Zhang T Q , Zhu X N 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1809 (in Chinese)[贾亚青、闫培光、吕可诚、张铁群、朱晓农 2006 物理学报 **55** 1809]
- [21] Xu W C , Gao J L , Liang Z Q , Chen Q H , Liu S H 2006 *Chin. Phys.* **15** 715
- [22] Francois P L 1991 *J. Opt. Soc. Am. B* **8** 276
- [23] Agrawal G P 2001 *Nonlinear Fiber Optics* (3rd ed) (San Diego : Academic)

Research on flat ultra-wideband supercontinuum generated in dispersion-flattened decreasing fiber^{*}

Chen Yong-Zhu^{1)†} Li Yu-Zhong¹⁾ Xu Wen-Cheng²⁾

1) *Key Laboratory of Numerical Controlled Technology of Guangdong Province , Guangdong Polytechnic Normal University , Guangzhou 510635 , China*

2) *Laboratory of Photonic Information Technology , South China Normal University , Guangzhou 510631 , China*

(Received 19 June 2006 ; revised manuscript received 10 June 2008)

Abstract

Different from the conventional model of dispersion-flattened decreasing fiber , a novel dispersion model of dispersion-flattened decreasing fiber is proposed and supercontinuum generation in is simulated and analyzed by utilizing the total field formation in the frequency domain. It is found that the supercontinuum generated in the latter is by far wider than that in the former and the flat bandwidth can be greater than 1000 nm. It is further found that both the fiber parameters , such as peak dispersion , differential constant of the dispersion , and decreasing coefficient of the dispersion , and the pump pulse parameters , including pulse width , soliton order and frequency chirp , are crucial to the flat ultra-wideband supercontinuum generation in the fiber.

Keywords : supercontinuum spectrum , dispersion-flattened decreasing fiber , group-velocity dispersion , self-phase modulation

PACC : 4265 , 4280M , 4281D , 4265S

^{*} Project supported by the Natural Science Foundation of the Education Bureau of Guangdong Province , China (Grant No. 0159) and the Natural Science Foundation of Guangdong Polytechnic Normal University , China (Grant No. 109212).

[†] E-mail : chyzh1160@sina.com