

文章编号: 1002-2082(2004)03-0017-03

# 矩形控制脉冲在半导体光放大器中对高斯信号脉冲的压缩效应分析

兰明建<sup>1</sup>, 吴建伟<sup>2</sup>

(1. 重庆工商大学 理学院, 重庆 400067; 2. 河海大学理学院, 江苏 南京 210098)

**摘要:** 提出了在半导体光放大器中应用矩形控制脉冲对高斯信号脉冲进行脉冲压缩的新方案。应用Matlab 软件数值模拟的结果表明: 在保持信号脉冲的峰值增益不变的情况下, 具有较高能量的矩形控制脉冲能使输出信号脉冲的宽度得到大幅度压缩。

**关键词:** 半导体光放大器; 矩形控制脉冲; 高斯信号脉冲; 信号脉冲压缩

**中图分类号:** TN36

**文献标识码:** A

## Analysis of Compression Characteristics of Gaussian Signal Pulse in Semiconductor Optical Amplifiers by Utilizing Rectangular Control Pulse

LAN Ming-jian<sup>1</sup>, WU Jian-wei<sup>2</sup>

(1. School of Science, Chongqing technology and business university, Chongqing 400067, China;

2. School of Science, Hehai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In this paper, we present a new project for semiconductor optical amplifiers (SOA), in which Gaussian signal pulse can be compressed by using the rectangular control pulse. Numerical simulation results show that the width of Gaussian signal pulse can be strongly compressed by utilizing the rectangular control pulse. Under this situation, a stable peak power of the signal pulse can still be obtained by Matlab software.

**Keywords:** semiconductor optical amplifier; Gaussian signal pulse; rectangular control pulse; compression of signal pulse

### 引言

半导体光放大器(SOA)具有体积小, 带宽宽, 易于与其它半导体光器件集成和开关速度快等优点, 因此越来越受到人们的广泛关注<sup>[1~3]</sup>。SOA 对信号脉冲的放大特性一直是人们讨论的热点<sup>[4~5]</sup>。但由于SOA 的增益饱和特性和较长的增益恢复时间, 使输出的高斯信号脉冲的前沿变陡, 后沿形成长而平缓的拖尾; 相对于输入脉冲而言, 输出脉冲被展宽。基于此, 我们采用矩形控制脉冲与高斯信号脉冲同时同向输入SOA 的方法, 使输出信号脉冲的宽度得到了大幅度压缩。在实际的光通信中, 这种方法对于脉冲整形, 降低码间干扰等将具有重

要的应用价值。

### 1 理论分析

考虑理想的行波半导体光放大器, 采用经典的分段模型<sup>[6]</sup>, 因此在SOA 中载流子密度  $N$  和光功率  $P$  满足以下方程<sup>[7]</sup>:

$$\frac{\partial N_j(z, T)}{\partial T} = \frac{I}{qV} - \frac{N_j}{\tau_c} - \sum_w \frac{\Gamma g_{w,j}(N(z, T))}{h\omega_w A_{\text{cross}}} \bar{P}_{w,j} \quad (1)$$

$$\frac{\partial P_w(z, T)}{\partial z} = \Gamma (g_w(N(z, T)) - a_{\text{int}}) P_w(z, T) \quad (2)$$

式中,  $N$  为载流子密度;  $j$  表示SOA 的不同部

收稿日期: 2003-04-28; 收到修改稿日期: 2003-08-16

作者简介: 兰明建(1976-), 男, 汉族, 四川德阳人, 主要从事非线性光学方面的研究。

分;  $T=t-z/V_g$ ,  $V_g$  是群速度;  $I$  是 SOA 的注入电流;  $V$  是每一个 SOA 的体积;  $q$  是电子电量;  $\tau_c$  是自发辐射载流子寿命,  $\tau_c^{-1}=A+BN+CN^2$ , 其中  $A, B, C$  分别为非辐射、双分子及俄歇复合系数;  $\omega$  表示信号光和探测光;  $\Gamma$  是模式限制因子;  $h\omega$  为光子能量;  $A_{cross}$  为有源区横截面面积;  $\alpha_{int}$  为内部损耗;  $\bar{P}_{w,j}$  为第  $j$  部分的平均光功率, 可由下式给出:

$$\begin{aligned} \bar{P}_{w,j} &= \frac{1}{\Delta L} \int_{(j-1)\Delta L}^{j\Delta L} P_{w,j-1} e^{(\Gamma g_w(N) - \alpha_{int})z} dz \\ &= \frac{G_j - 1}{\ln(G_j)} P_{w,j-1} \end{aligned} \quad (3)$$

式中,  $G_j = e^{(\Gamma g_w(N) - \alpha_{int})\Delta L}$ ;  $\Delta L$  为每一部分的长度;  $P_{w,j-1}$  是第  $j-1$  部分的输出功率;  $g_w(N)$  为材料增益, 可表示为

$$g_w(N) = a_1(N - N_0) - a_2(\lambda - \lambda_N)^2 + a_3(\lambda - \lambda_N)^3 \quad (4)$$

式中,  $a_1$  是微分增益系数;  $N_0$  是透明载流子密度;  $a_2, a_3$  是由实验确定的常数;  $\lambda_N (= \lambda_0 - a_4(N - N_0))$  是载流子密度为  $N$  时峰值增益波长;  $\lambda_0$  是透明峰值波长;  $a_4$  是常数。

输入 SOA 的高斯信号脉冲功率可表示为

$$P_{sig} = P_{s0} \exp\left[-\left(\frac{T}{T_0}\right)^2\right] \quad (5)$$

式中,  $P_{s0}$  为输入高斯脉冲的峰值功率;  $T_0$  为输入高斯脉冲的  $1/e$  半宽度。输入 SOA 的矩形脉冲的功率可表示为

$$P_{jc} = \begin{cases} P_{j0} \dots \dots \dots \left| \frac{T}{T_0} \right| \leq a \\ 0 \dots \dots \dots \left| \frac{T}{T_0} \right| > a \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $P_{j0}$  是输入矩形脉冲的最大功率;  $a$  为一数值。为了得到较好的输出信号脉冲波形,  $a$  的取值与  $T_0$  的大小相关。

## 2 结果与讨论

数值模拟中, SOA 的参数如表 1 所示。

表 1 数值模拟中的 SOA 参数

Table 1 Parameters of SOA in numerical simulation

参数	符号	数值	单位
微分增益	$a_1$	$2.5 \times 10^{-20}$	$m^2$
增益系数	$a_2$	$7.4 \times 10^{18}$	$m^{-3}$
增益系数	$a_3$	$3.155 \times 10^{25}$	$m^{-4}$

参数	符号	数值	单位
增益系数	$a_1$	$3 \times 10^{-32}$	$m^4$
SOA 长度	$L$	$5 \times 10^{-8}$	$m$
有效涂层面积	$A_{cross}$	$0.3 \times 10^{-12}$	$m^2$
约束因数	$\Gamma$	0.3	
非辐射复合系数	$A$	$1.5 \times 10^{18}$	$s^{-1}$
双分子复合系数	$B$	$2.5 \times 10^{-17}$	$m^3 s^{-1}$
俄歇复合系数	$C$	$9.4 \times 10^{-41}$	$m^6 s^{-1}$
微分折射率	$dn/dN$	$-1.2 \times 10^{-26}$	$m^3$
内损耗	$\alpha_{int}$	2 000	$m^{-1}$
透明载流子密度	$N_0$	$0.9 \times 10^{24}$	$m^{-3}$
透明峰值波长	$\lambda_0$	1 605	$nm$
截面	$m$	10	
SOA 偏流	$I$	100	$mA$

图 1 给出了在不同的矩形控制脉冲功率下, 高斯信号脉冲的输出波形。作图时所用的数据为  $T_0$ 。

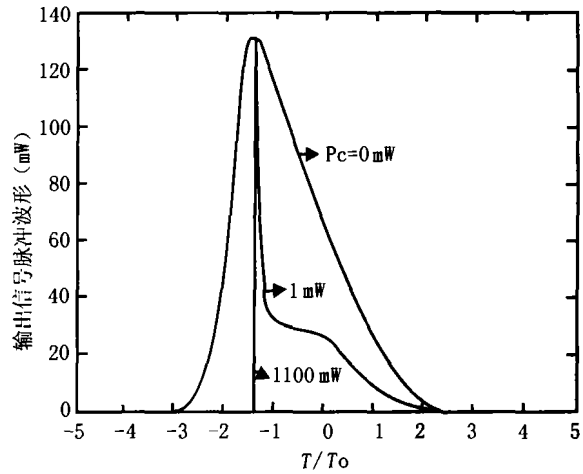


图 1 在不同控制脉冲输入功率下 SOA 输出的信号脉冲波形

Fig. 1 The output signal pulse shapes at the different input control pulse powers (0~100 mW)

$=100$ , 信号光的波长  $\lambda_{sig}=1\ 550\ nm$ , 矩形脉冲的波长  $\lambda_{jc}=1\ 570\ nm$ ,  $a=1.4$ ,  $P_{s0}=1\ mW$ 。从图中可以看出, 矩形控制脉冲使输出信号脉冲的后沿得到了压缩; 矩形脉冲的输入能量越大, 从 SOA 输出的信号脉冲的后沿压缩得越厉害, 脉冲宽度也变得越窄。这是由于信号脉冲与控制脉冲同时输入 SOA 时, 信号脉冲的前端得到有效放大, 使峰值功率提高; 随着脉冲在 SOA 中的传输, 具有较高能量的矩形脉冲在 SOA 中占据主导地位, 使 SOA 迅速发生增益饱和, 载流子数减少, SOA 的增益区向长波方向移动; 此时, 矩形控制脉冲仍处于增益区, 信号脉冲逐渐向 SOA 的吸收区靠近; 当其脉冲后沿到来时, 对 SOA 受激辐射的能力大大降低, 脉冲后

沿得到一定程度的压缩;随着控制脉冲能量的进一步增加,SOA 的饱和程度进一步加深,增益区向长波方向漂移得越厉害。此时,信号脉冲完全处于 SOA 的吸收区。因此,当信号脉冲的后沿到来时完全被受激吸收,从而使输出信号脉冲波形大大压缩并得到整形,而信号脉冲的峰值增益基本保持不变。

图 2 给出了输出信号脉冲的半值全宽比(输出信号的半值全宽度/输入信号的半值全宽度)随输入矩形脉冲功率的变化曲线。作图所用的其它数据与图 1 相同。从图中可以看出,随着输入矩形脉冲功率的增加,信号脉冲的半值全宽比将逐渐变小,

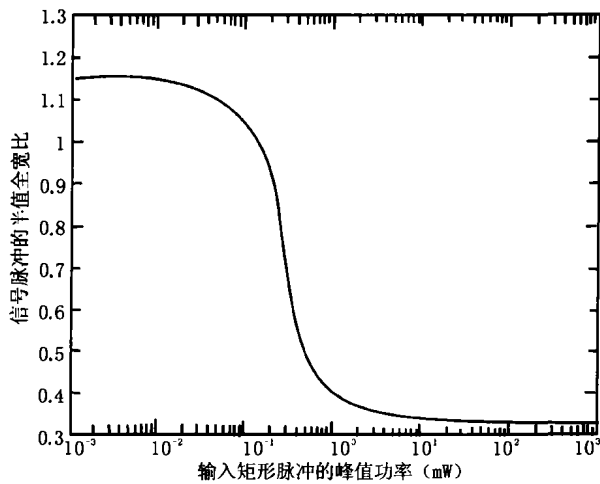


图2 信号脉冲的半值全宽比随输入控制脉冲功率的变化曲线  
Fig. 2 The variation of FWHM of output signal pulse with input control pulse powers

但在 0.1~1 mW 之间时,半值全宽比减小得最快。这是由于随着矩形脉冲输入功率的增加,SOA 的载流子数逐渐减少,发生增益饱和,增益区向长波方向移动,信号脉冲也由增益区向吸收区过渡,因而信号脉冲的后沿将部分甚至完全产生受激吸收,使输出信号脉冲被压缩。当输入的矩形控制脉冲功率在 0.1~1 mW 之间时,SOA 的载流子密度改变迅速,增益区向长波方向移动的速度也较快,因而输出信号脉冲的半值全宽比变化也十分剧烈。当输入矩形脉冲的功率足够大时,载流子被耗尽,其密度基本保持不变,增益区也不再移动,因而信号脉冲的半值全宽比趋于稳定。

### 3 结论

数值模拟的结果表明,在保持输出信号脉冲的峰值增益基本不变的情况下,该方案可以使脉冲宽度得到有效压缩;输入矩形控制脉冲的功率越大,输出高斯信号脉冲的脉宽将被压得越窄。在实际光通信系统中,这种新方案对于脉冲整形,降低码间干扰等方面将具有重要的实用价值。

#### 参考文献:

- [1] Mehdi Asghari, Ian H White, Richard V Penty. Wavelength conversion using semiconductor optical amplifiers [J]. *IEEE/OSA J Lightwave Technol*, 1997, 15(7):1181-1190.
- [2] Toshio Watanabem, Norio Sakaida, Hiroshi Yasaka, Fumiyoshi Kano, Masafumi Koga. Transmission performance of chirp-controlled signal by using semiconductor optical amplifier [J]. *IEEE/OSA J Lightwave Technol*, 2000, 18(8):1069-1077.
- [3] Regis S Fan, R Brian Hooker. Hybrid optical switch using passive polymer waveguides and semiconductor optical amplifiers [J]. *IEEE/OSA J Lightwave Technol*, 2000, 18(4):546-554.
- [4] Agrawal G P, Olsson N A. Self-phase modulation and spectral broadening of optical pulse in semiconductor laser amplifiers [J]. *IEEE J Quant Electron*, 1989, 25(11):2297-2306.
- [5] J M Tang, P S Spencer, K A Shore. The influence of gain compression on picosecond optical pulses in semiconductor optical amplifiers [J]. *J Modern Optics*, 1998, 45(6):1211-1218.
- [6] Terji Durhuus, Benny Mikkelsen, Kristian E Stubkjaer. Detailed dynamic model for semiconductor optical amplifiers and their crosstalk and intermodulation distortion [J]. *IEEE/OSA J Lightwave Technol*, 1992, 10(8):1056-1064.
- [7] Hanxing Shi. Performance analysis on semiconductor laser amplifier loop mirrors [J]. *IEEE/OSA J Lightwave Technol*, 2002, 20(4):682-688.