

半导体光放大器引起的光控器件中的 信号损伤分析*

王拥军^{1)†} 吴重庆²⁾ 王 智²⁾ 王亚平²⁾ 忻向军¹⁾

1) (北京邮电大学电子工程学院, 信息光子学与光通信教育部重点实验室, 北京 100876)

2) (北京交通大学光信息科学与技术研究所, 发光与光信息技术教育部重点实验室, 北京 100044)

(2009 年 8 月 19 日收到; 2009 年 11 月 2 日收到修改稿)

在双环耦合全光缓存器的基础上分析了全光分组交换网络中以半导体光放大器(SOA)为相移器件的反馈型全光缓存器输出的信号损伤, 包括 SOA 的非线性及载流子恢复时间限制引起的脉冲畸变与连续码流中的图样失真和 SOA 的自发辐射噪声累积引起的信噪比恶化及缓存器结构引起的“漏光”问题. 理论分析及实验结果表明, 在采用反相控制并注入高功率控制光的情况下, 脉冲畸变与图样失真被抑制, 由信噪比恶化及漏光决定的光分组的缓存圈数被限制在 20—30 圈. 得到的结果对基于 SOA 的光缓存器及逻辑器件同样具有借鉴作用.

关键词: 全光分组交换, 全光缓存器, 信号损伤, 半导体光放大器的噪声分析

PACC: 4280S, 4265, 4290

1. 引 言

由于具有卓越的开关效应、极高的非线性系数及较小的物理尺寸, 半导体光放大器(SOA)常被用在全光分组交换网络或全光信号处理器的逻辑器件中, 例如在全光分组交换网络中, SOA 被用作光缓存器中的开关器件^[1,2]或非线性相移器件^[3,4], 实现光分组对不同长度缓存介质的选择或写入和读出功能. 对于前向式光缓存器^[1], 光分组需要经过多个 SOA; 对于反馈式光缓存器^[2-4], 光分组需要多次经过同一个 SOA. 当光分组多次经过 SOA 时, SOA 的非线性增益及自发辐射噪声的累积会引起光缓存器输出的信号损伤, 限制光缓存器的输出性能. 文献[1]提出的多级树形前向式光缓存器中, 只进行了两级三个分枝的缓存实验; 文献[2-4]提出的反馈式光缓存器中, 光分组的缓存圈数仅为 12 或更少; 而文献[5]提出使用插入放大过程的方法, 也仅仅使光分组的缓存圈数提高到 50. 这些文献只是提出了实现光分组缓存的方法, 对于限制光缓存器性能的原因没有进行深入的分析. 本文将结合双环

耦合全光缓存器(double loop optical buffer, 简记为 DLOB), 对引起光缓存器信号损伤的原因进行全面的分析, 主要包括 SOA 的非线性与载流子寿命限制引起的脉冲畸变及连续码流中图样失真, SOA 的放大自发辐射(ASE)噪声的累积引起的信噪比恶化及 DLOB 结构造成的“漏光”等. 本文得到的结论对于以 SOA 为相移器件的光缓存器和光逻辑器件的研究具有指导作用.

2. DLOB 的工作原理

DLOB 的结构如图 1 所示, 3×3 耦合器的 1, 4 端口分别和 3, 6 端口连接, 构成 DLOB 的左环和右环, SOA 作为相移器被偏心放置在右环中, 调节偏振控制器(PC)保证 1, 3 端口或 4, 6 端口的光处于同一偏振方向, 右环中的两个波分复用器(WDM)用来向 SOA 引入控制光及滤除环内的控制光. 由于注入了不同功率的控制光脉冲, 右环中顺时针(CW)方向和逆时针(CCW)方向的光分组(信号光)通过 SOA 后产生了相位差 $\Delta\varphi$, $\Delta\varphi$ 可以表示为^[6]

* 国家重点基础研究发展计划(批准号:2010CB328300)、国家自然科学基金(批准号:60677004)、国家高技术研究发展计划(批准号:2009AA01Z220, 2007AA03Z447)和教育部新世纪优秀人才支持计划(批准号:NECT-07-0111)资助的课题.

† E-mail: wangyj1284@yahoo.com.cn

$$\begin{aligned}\Delta\varphi &= \varphi_{\text{CW}}(t) - \varphi_{\text{CCW}}(t) \\ &= -\frac{\alpha}{2} \ln \frac{G_{\text{CW}}}{G_{\text{CCW}}},\end{aligned}\quad (1)$$

其中 φ_{CW} 和 φ_{CCW} 与 G_{CW} 和 G_{CCW} 分别为 CW 方向和

CCW 方向的信号光相位与增益, α 表示 SOA 的线宽增强因子。

信号光经过 3×3 耦合器干涉后, 暂不考虑 DLOB 中的功率损耗, 1, 2, 3 端口分配到的信号光功率为^[7]

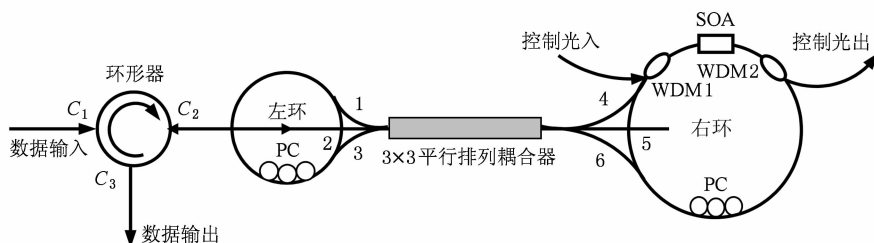


图1 DLOB 的结构示意图

$$\begin{bmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ P'_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{8} G_{\text{CCW}} P_{\text{in}} \left[1 - 2 \exp\left(-\frac{\Delta\varphi}{\alpha}\right) \cos(\Delta\varphi) + \exp\left(-\frac{2\Delta\varphi}{\alpha}\right) \right] \\ \frac{1}{4} G_{\text{CCW}} P_{\text{in}} \left[1 + 2 \exp\left(-\frac{\Delta\varphi}{\alpha}\right) \cos(\Delta\varphi) + \exp\left(-\frac{2\Delta\varphi}{\alpha}\right) \right] \\ \frac{1}{8} G_{\text{CCW}} P_{\text{in}} \left[1 - 2 \exp\left(-\frac{\Delta\varphi}{\alpha}\right) \cos(\Delta\varphi) + \exp\left(-\frac{2\Delta\varphi}{\alpha}\right) \right] \end{bmatrix}, \quad (2)$$

其中 $P_{\text{in}} = |E_{\text{in}}|^2$ 为初始注入 DLOB 的信号光功率。由(2)式可知, 保持 SOA 的工作状态不变, 使 $\Delta\varphi = 0$, 则 $P'_1 = P'_3 = 0$, $P'_2 = G_{\text{CCW}} P_{\text{in}}$, 即信号光全部由 2 端口输出, 1, 3 端口没有信号光输出, 相当于信号没有被缓存而是直接由 DLOB 输出。当 $\Delta\varphi \approx \pi$ 时, P'_2 出现极小值, 此时信号光由 1, 3 端口输出。当 CW 方向的信号光通过 SOA 时, 通过 WDM1 引入一个与 CW 方向的光分组同步但波长不同的控制光脉冲, 使 $\Delta\varphi \approx \pi$, 数据包就被“写入”了 DLOB。保持 SOA 的工作状态不变, 光分组就会沿左右环按“ ∞ ”形不断绕行, 即光分组被缓存进了 DLOB。经过 k 圈缓存后, 再次注入与 CW 方向同步的读出控制光脉冲, 使 $\Delta\varphi$ 再次改变 π , 3×3 耦合器各端口输出的光功率为

$$\begin{bmatrix} P'_1 \\ P'_2 \\ P'_3 \end{bmatrix} = P_{\text{in}} G_{\text{CCW}}^{k+1} L^{k+1} \begin{bmatrix} \frac{1}{32} \left[1 - \exp\left(-\frac{2\pi}{\alpha}\right) \right]^2 \\ \frac{1}{16} \left[1 + \exp\left(-\frac{\pi}{\alpha}\right) \right]^2 \\ \frac{1}{32} \left[1 - \exp\left(-\frac{2\pi}{\alpha}\right) \right]^2 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

由此可见, P'_1, P'_3 接近极小值, P'_2 接近极大值, 光分组被缓存 k 圈后由 2 端口读出。

3. DLOB 的信号损伤分析

从以上对 DLOB 缓存过程的分析可以看出, 由于光分组多次经过 SOA, SOA 的非线性增益、交叉增益调制(XGM)、交叉相位调制(XPM)、载流子寿命、自发辐射噪声的累积及 SOA 对 CW 与 CCW 方向信号光的不同增益造成的写入漏光都会引起 DLOB 输出的信号损伤。

信号损伤的表现之一是脉冲畸变及连续码流中的图样失真, 它们一般是由 SOA 的非线性增益、XGM、XPM 及载流子恢复时间引起的。分析脉冲畸变与图样失真需要建立光脉冲通过 SOA 时的传输方程及 SOA 的动态增益方程, 当综合考虑 SOA 的载流子消耗、载流子加热、光谱烧孔、双光子吸收、非线性折射率及 SOA 的 ASE 噪声和群速度色散, 光脉冲在 SOA 中的传输方程及局部增益系数 g 可以表示为^[8]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial A(z, \tau)}{\partial \tau} - \frac{j}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A(z, \tau)}{\partial \tau^2} \\ &= \frac{1}{2} \frac{g - \varepsilon_2 P^2}{1 + \varepsilon_1 P} - \frac{j}{2} \left[\alpha_N g - \alpha_T \frac{\varepsilon_1 g P + \varepsilon_2 P^2}{1 + \varepsilon_1 P} A(z, \tau) \right] \end{aligned}$$

$$-\left(\Gamma_2\gamma + j\Gamma_2'\frac{\omega_0}{c}n_2\right)\frac{1}{\sigma}PA(z,\tau)$$
$$-\frac{1}{2}a_{\text{int}}A(z,\tau), \tag{4}$$

其中 $A(z,\tau)$ 为光脉冲的慢变振幅, $P = |A(z,\tau)|^2$, β_2 为二阶群色散系数, ε_1 为载流子加热和光谱烧孔引起的非线性增益压缩系数, ε_2 为双光子吸收引起的非线性增益压缩系数, α_N 为载流子浓度引起的线宽增强因子, α_T 为温度引起的线宽增强因子, Γ_2 为双光子吸收限制因子, Γ_2' 为与非线性折射率有关的限制因子, γ 为双光子吸收系数, $\gamma' = \alpha_N\beta_2/(h\nu\sigma^2)$, σ 为 SOA 有源区的有效面积, n_2 为非线性折射率, τ_c 为载流子寿命, ω_0 为信号光的中心角频率, a_{int} 为损耗系数, c 为光速, g_0 为小信号增益系数, E_s 为 SOA 的饱和能量.

方程(4),(5)没有解析解,我们采用分步傅里叶法和分段法进行数值求解,可以得到光脉冲在 SOA 中的演化情况. 表 1 列出了计算中用到的 SOA 的参数.

表 1 计算中相关参量的取值		
参 量	取 值	
有源区长度 L/mm	1	
有源区宽度 $d/\mu\text{m}$	1.5	
有源区厚度 $w/\mu\text{m}$	0.17	
模式限制因子 Γ	0.39	
双光子吸收有关的限制因子 Γ_2	0.6	
非线性折射率有关的限制因子 Γ_2'	0.3	
损耗系数 $a_{\text{int}}/\text{m}^{-1}$	2×10^3	
群速度色散系数 $\beta_2/\text{s}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	5×10^{-24}	
线宽增强因子 α_N	5	
温度引起的线宽增强因子 α_T	1.1	
非线性折射率 $n_2/\text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$	-3.5×10^{-16}	
载流子加热和光谱烧孔引起的非线性增益压缩系数 $\varepsilon_1/\text{W}^{-1}$	0.2	
双光子吸收引起的非线性增益压缩系数 $\varepsilon_2/\text{W}^{-1}$	70	
双光子吸收系数 $\gamma/\text{m} \cdot \text{W}^{-1}$	3.7×10^{-10}	
小信号增益系数 g_0/dB	20	
载流子寿命 τ_c/ps	300	
饱和功率 E_s/J	6.9×10^{-12}	

3. 1. 正相光脉冲控制法引起的信号损伤

当注入 SOA 的信号光功率较小时,达到 π 相移

需要的控制光功率也比较小. 使用正相光脉冲控制法^[9],在光分组被写入 DLOB 时,由于注入了同步高功率控制光脉冲,写入时的脉冲失真比较小,在缓存过程中,注入的辅助光比较小或不注入辅助光,脉冲失真主要来自这个多次循环过程. 当输入三阶超高斯脉冲的幅值为 200 μW ,辅助光功率为 300 μW 时,三阶高斯脉冲被缓存 10 圈($k = 10$)时计算得到的 DLOB 输出结果如图 2 所示,图中的 t_0 为三阶超高斯脉冲的半宽度(光强为峰值的 $1/e$ 处). 从图 2 可以看出,当脉冲前沿到达时,SOA 中的载流子较多,使得脉冲前沿获得较大的增益. 由于脉冲前沿消耗了大量的载流子得不到及时恢复,脉冲其他部分的增益变小,经过多圈累积后出现严重的脉冲畸变. SOA 中载流子浓度的变化会引起 SOA 有源区折射率的变化,而折射率变化会引起频率啁啾. 由于脉冲前沿载流子浓度变化很大,使得脉冲前沿出现较大的频率啁啾(图 3).

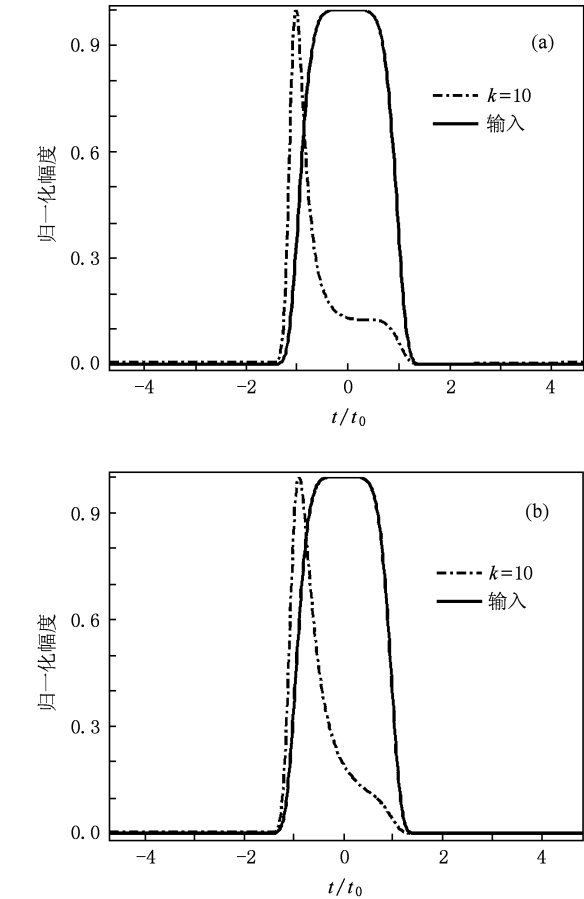


图 2 不同码率的三阶超高斯脉冲的计算结果 (a) 622 Mbit/s, (b) 2.488 Gbit/s

图 4 (a) 为实际测得的 2.488 Gbit/s 码流中

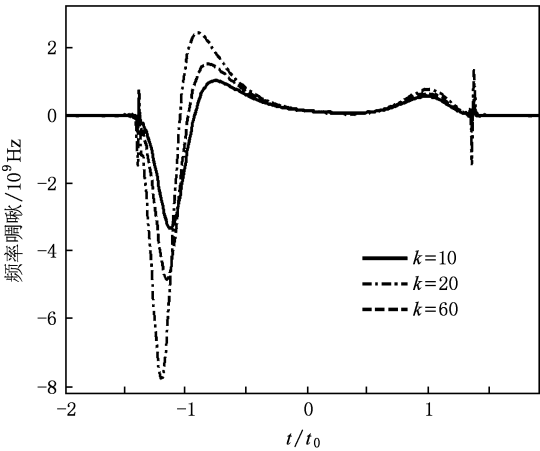


图3 三阶超高斯脉冲的频率啁啾

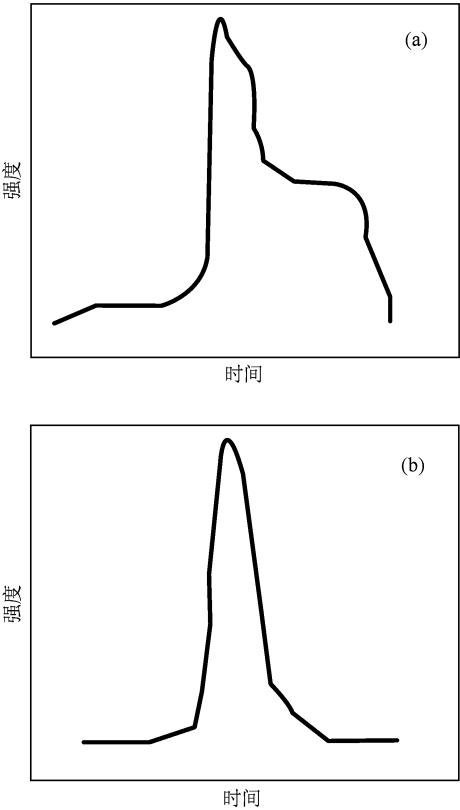


图4 2.488 Gbit/s 码流中不同宽度的脉冲缓存 10 圈后的形状 (a)“111”, (b)“1”

“111”码(接近 622 Mbit/s 时三阶高斯脉冲)缓存 10 圈时出现尖峰的波形;图 4(b)为 2.488 Gbit/s 码流中“1”码缓存 10 圈出现的前沿变陡,后沿变缓,脉冲底部变宽的波形.实验结果与计算结果基本相符.

对于一个多脉冲的随机码流,不仅每个脉冲都产生波形畸变,而且对码流中不同顺序的脉冲产生

的畸变也不同.前一个脉冲因受非线性影响造成输出脉冲的幅值和前后沿变化,增益还没有完全恢复,如果这时后续脉冲接踵而至,将产生明显的图样失真.在 DLOB 缓存过程中,比特流要多次通过 SOA,导致图样失真加剧.图 5(a)为 2.488 Gbit/s 的三阶超高斯码流中图样“101”缓存 10 圈的计算结果,图 5(b)为一个在环长为 500 m 的 DLOB 中对 2.488 Gbit/s 码流中图样“10001101”缓存 10 圈的波形.实验结果与理论计算基本相符.

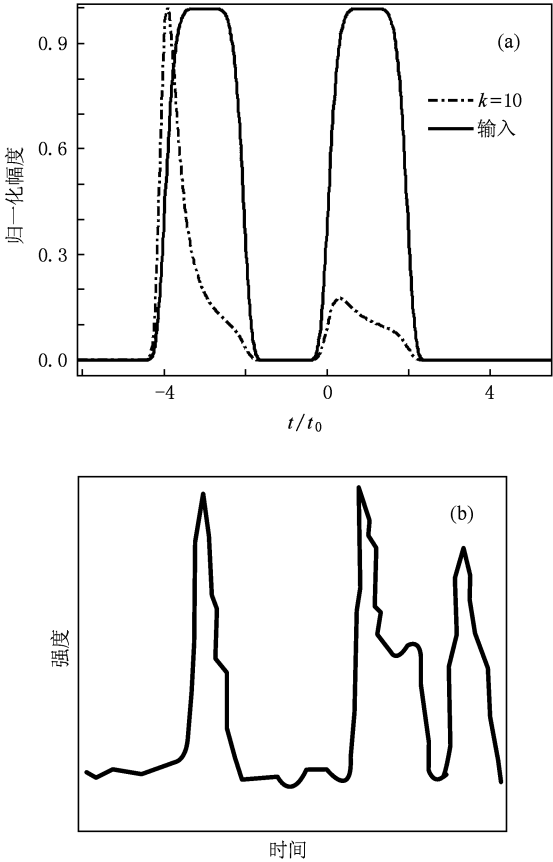


图5 码率为 2.488 Gbit/s 连续码流中的图样 (a)图样“101”计算结果, (b)图样“10001101”缓存 10 圈后的实验结果

3.2. 反相光脉冲控制法引起的信号损伤

3.2.1. 单脉冲畸变及连续码流中的图样失真

从以上分析可以看出,在控制光功率较小时, DLOB 的输出出现严重的脉冲畸变和图样失真,导致 DLOB 的缓存圈数被限制在 10 以下.这就要求我们转换思路,提高控制光与辅助光的功率,使用反相光脉冲控制法^[9],使脉冲在 SOA 中循环累积的非线性失真降低到最小,同时可以保证足够的输出信号光功率.图 6 所示为输入三阶超高斯脉冲,脉冲功

率为 300 μW , 控制光为 6 mW 时的计算结果. 从图 6 可以看出, 控制光功率提高后, SOA 处于深度饱和状态, 脉冲各个部分的增益变化很小, 缓存 40 圈后, 低码速率的脉冲在前沿出现尖峰, 然后增益趋于平稳, 高码速率的脉冲码形顶部呈平缓下降的趋势, 与以上讨论的低功率控制光的情况相比, 脉冲的形变很小, 可以忽略. 图 7 为实验中测得的注入高功率控制光时, 不同宽度的光脉冲在 DLOB 缓存 40 圈后的形状, 与理论分析符合较好.

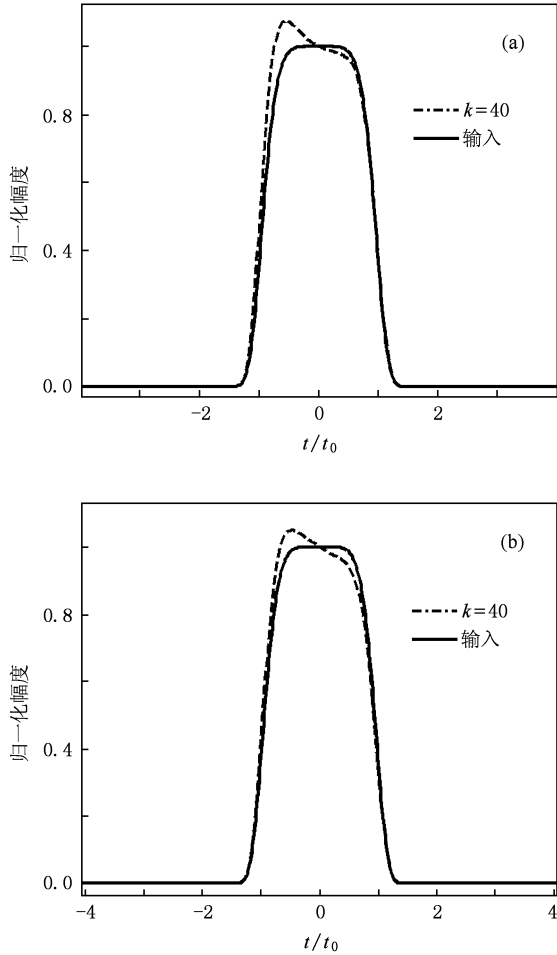


图 6 不同码率的三阶超高斯脉冲的计算结果 (a) 622 Mbit/s, (b) 2.488 Gbit/s

对于连续码流的情况, 由于高功率的控制光饱和了 SOA, SOA 的载流子浓度随信号码流的变化很小, 输出码流的幅值趋于一致. 图 8 是比特率为 2.488 Gbit/s 码流中图样“101”缓存 40 圈的计算结果与缓存 40 圈的实验结果, 两者符合很好. 文献[10]仅对读出时的脉冲畸变与频率啁啾进行了分析, 使用的是准静态增益公式, 得到的结果不够完整.

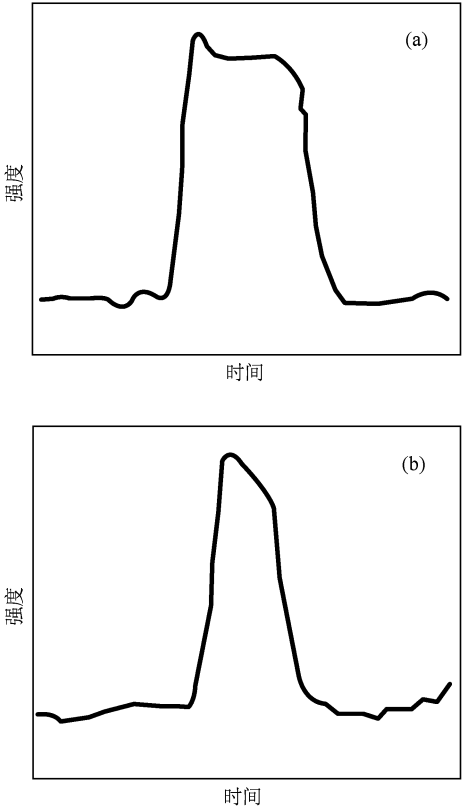


图 7 2.488 Gbit/s 码流中不同宽度的光脉冲缓存 40 圈后的形状 (a)“111”, (b)“1”

3.2.2. ASE 噪声引起的信号损伤

脉冲畸变与图样失真并不是造成 DLOB 信号损伤的唯一因素, SOA 的 ASE 噪声的积累也会严重影响输出信号的质量. 考虑反相光脉冲控制并注入高功率控制光的情况, 假定输入信号光是相干的, 写入到 DLOB 中的信号光光子数的均值和方差可以表示为^[11]

$$\langle n_0 \rangle = G'L'\langle n_{in} \rangle + (G' - 1)n_{sp}\Delta f, \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \sigma_0^2 = G'L'\langle n_{in} \rangle + (G' - 1)n_{sp}\Delta f \\ + 2G'L'(G' - 1)n_{sp}\langle n_{in} \rangle \\ + (G' - 1)^2n_{sp}^2\Delta f, \end{aligned} \quad (7)$$

其中 L 为左右环的插入损耗, L' 为环行器的 C_1 或 C_3 端口到 SOA 的损耗, G' 为写入或读出时 SOA 的增益, n_{sp} 和 $\langle n_{in} \rangle$ 分别为 SOA 的自发辐射系数和输入光的平均光子数. 缓存 k 圈后, 输出信号光光子数的均值 $\langle n_{out} \rangle$ 和方差 σ_{out}^2 分别为

$$\begin{aligned} \langle n_{out} \rangle = \left[G' \frac{\langle n_0 \rangle}{2} (LG)^k + (G - 1) \right. \\ \left. \times n_{sp}\Delta f \sum_{i=1}^k (LG)^{k-i} LG' \right] \end{aligned}$$

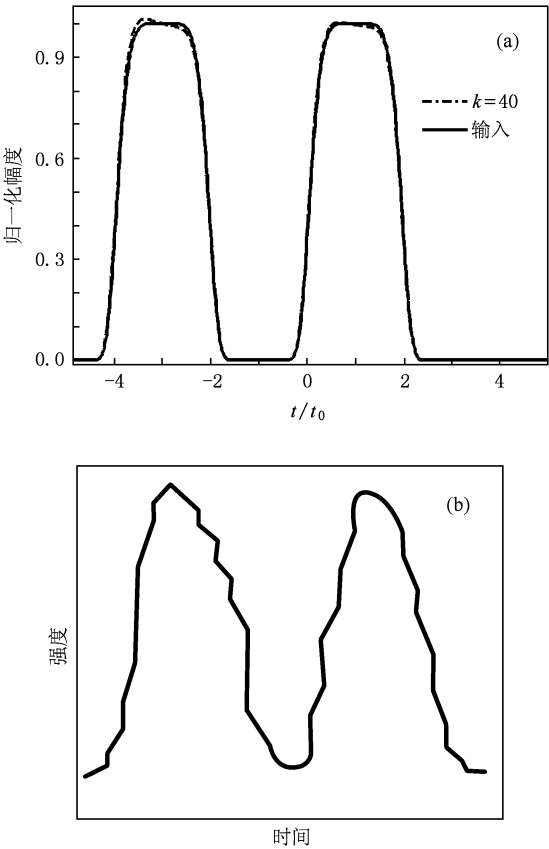


图 8 2.488 Gbit/s 码流中“101”缓存 40 圈后的图样 (a) 计算结果, (b) 实验结果

$$+ (G' - 1)n_{sp}\Delta f \Big] L', \tag{8}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{out}^2 = & \left[\frac{\langle n_0 \rangle}{2} (LG)^k LG' + (G - 1) \right. \\ & \times n_{sp} \Delta f \sum_{i=1}^k (LG)^{k-i} LG' + (G' - 1)n_{sp} \Delta f \\ & + \langle n_0 \rangle n_{sp} (G - 1) (LG')^2 \sum_{i=1}^k (LG)^{2k-i} \\ & + \langle n_0 \rangle n_{sp} (G' - 1) (LG)^k LG' \\ & + n_{sp}^2 \Delta f (G - 1)^2 (LG')^2 \sum_{i=1}^k (LG)^{2k-2i} \\ & + n_{sp}^2 \Delta f (G' - 1)^2 + 2n_{sp}^2 \Delta f (G - 1)^2 (LG')^2 \\ & \times \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^k (LG)^{2k-i-j} + 2n_{sp}^2 \Delta f (G - 1) \\ & \times (G' - 1) (LG') \sum_{i=1}^k (LG)^{k-i} \\ & \left. + \left(\frac{\sigma_0^2}{4} - \frac{\langle n_0 \rangle}{2} \right) (LG)^{2k} (LG')^2 \right] L'^2, \tag{9} \end{aligned}$$

其中 G 是缓存过程中 SOA 的增益. 输出光信号被光探测器接收并转换为电信号, 电信号经放大后进行

检测. 忽略放大器的热噪声, 接收到的电信号的信噪比 R_{SN} 为

$$R_{SN} = \frac{G'^4 L'^4 \eta_c^2 \eta_q^2 \langle n_{in} \rangle^2}{8B_0 \sigma_{out}^2}, \tag{10}$$

其中 η_c 和 η_q 分别为探测器的耦合系数和量子效率, B_0 为信号的比特率. 将参数 $n_{sp} = 4.2, B_0 = 2.488 \text{ Gbit/s}, \Delta f = 100 \text{ GHz}, \eta_c \eta_q = 0.9, G = 1.5, G' = 4.4, LG = 0.85$ 代入 (6) — (10) 式, 可以得到 DLOB 输出信号的信噪比与缓存圈数 k 的关系, 结果如图 9 所示. 从图 9 可以看出, 缓存 30 圈时, 信噪比下降到 10 dB 左右. 由信噪比决定的 DLOB 的缓存圈数一般为 20—30.

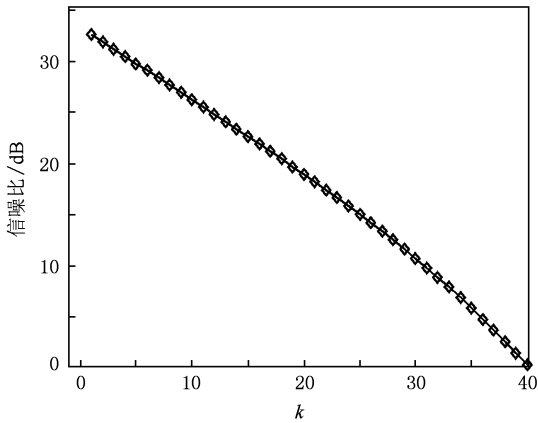


图 9 信噪比与缓存圈数 k 的关系

3.2.3. 输出光功率衰减及漏光引起的信号损伤

由 (2) 式知, 当 $\Delta\varphi \approx \pi$ 时, 3×3 耦合器的 2 端口有漏光输出, 漏光幅值比输入光功率约小 18 dB. 当漏光与线路中的其他光分组交叠时, 会导致其他分组出现乱码; 当输出的信号光功率下降到与漏光功率可以相比拟时, 接收机将无法判断哪一个是被缓存的数据包. 图 10 给出了输出信号光功率与缓存

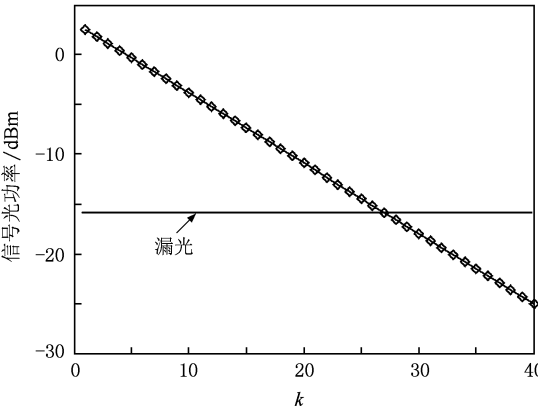


图 10 输出光功率与缓存圈数 k 的关系

圈数的变化曲线及漏光曲线,由此可以看出由漏光决定的 DLOB 的缓存圈数不超过 26.

4. 结 论

从本文的分析可知,基于 SOA 的光控器件的信号损伤主要来自于 SOA 的非线性增益和增益恢复时间的限制造成的单个脉冲的畸变及连续码流中

的图样失真,SOA 的 ASE 噪声积累引起的信噪比恶化及器件结构引起的写入漏光. 利用使 SOA 深度饱和的反相高功率控制光可以有效抑制脉冲畸变和图样失真,同时使由 SOA 自发辐射噪声引起的信噪比恶化及器件结构引起的写入漏光决定的光缓存器的缓存圈数提高到 20—30. 这些结论对基于 SOA 的光控器件同样适用.

[1] Yeo Y K, Yu J J, Chang G K 2004 *Photon. Technol. Lett.* **16** 2559

[2] Cheng M, Wu C Q, Liu H 2008 *Chin. Phys. Lett.* **25** 426

[3] Liu A M, Wu C Q, Gong Y D 2004 *Photon. Technol. Lett.* **16** 2129

[4] Tian C Y, Wu C Q, Li Z Y, Guo N 2008 *Photon. Technol. Lett.* **20** 578

[5] Wang Y J, Wu C Q, Shu D, Zhao X, Yang S S, Zhao S, Wang Y P 2009 *Chin. Phys. Lett.* **26** 044211

[6] Eiselt M, Pieper W 1995 *J. Lightwave Technol.* **13** 2099

[7] Li Y J, Wu C Q, Fu S N, Shum P, Gong Y D, Zhang L R 2007 *J. Quantum Electron.* **43** 508

[8] Li J, Huang D X, Sun J Q, Zhang X L 2003 *Opt. Prec. Eng.* **11** 68 (in Chinese) [李 均、黄德修、孙军强、张新亮 2003 光学精密工程 **11** 68]

[9] Wang Y J, Wu C Q, Shu D, Zhao X 2008 *Chin. J. Lasers* **35** 1930 (in Chinese) [王拥军、吴重庆、疏 达、赵 曦 2008 中国激光 **35** 1930]

[10] Li Y J, Wu C Q, Wang Y J, Tang Q S 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 952 (in Chinese) [李亚捷、吴重庆、王拥军、唐清善 2007 物理学报 **56** 952]

[11] Yamamoto Y 1980 *J. Quantum Electron.* **16** 1073

Signal impairment analysis of optical controlled apparatus caused by semiconductor optical amplifier^{*}

Wang Yong-Jun^{1)†} Wu Chong-Qing²⁾ Wang Zhi²⁾ Wang Ya-Ping²⁾ Xin Xiang-Jun¹⁾

1) (Key Laboratory of Information Photonics and Optical Communications of Ministry of Education, School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

2) (Key Laboratory for Luminescence and Optical Information Technology of Ministry of Education, Institute of Optical Information Science and Technology, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

(Received 19 August 2009; revised manuscript received 2 November 2009)

Abstract

This paper analyzes the signals impairment in the semiconductor optical amplifier (SOA) based optical buffer for optical packets switching networks, including the shape distortion of single pulse and the pattern dependent distortion of the continuous bit stream due to the SOA's nonlinearity and the limitation of its carrier lifetime, the deterioration of signal-to-noise ratio caused by the accumulation of amplified spontaneous emission noise of the SOA, and the power leakage. The theoretical analysis and experimental results indicate that the buffered circle is restricted to 20—30, as determined by the signals impairment when a negative control optical pulse with high power is injected into SOA.

Keywords: all optical packets switching, all optical buffer, signals impairment, noise analysis of semiconductor optical amplifier

PACC: 4280S, 4265, 4290

^{*} Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. 2010CB328300), the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60677004), the National High Technology Research and Development Program of China (Grant Nos. 2009AA01Z220, 2007AA03Z447) and the Program for the New Century Excellent Talents in University of Ministry of Education, China (Grant No. NCET-07-0111).

[†] E-mail: wangyj1284@yahoo.com.cn