

# 基于 PolSK 调制的四波混频型超快全光译码器<sup>\*</sup>

李培丽<sup>1)†</sup> 黄德修<sup>2)</sup> 张新亮<sup>2)</sup>

1) 南京邮电大学光电工程学院, 南京 210046)

2) 华中科技大学武汉光电国家实验室, 武汉 430074)

(2008 年 7 月 27 日收到, 2008 年 9 月 14 日收到修改稿)

提出了一种新型的基于半导体光放大器(semiconductor optical amplifier, SOA)中四波混频(four-wave mixing, FWM)效应的超快全光译码器方案, 方案中采用了偏振移位键控(polarization-shift-keying, PolSK)信号光. 考虑 SOA 的偏振相关性, 建立了这种全光译码器完整的偏振相关宽带理论模型. 通过数值模拟的方法, 从理论上实现了超快全光译码器, 并研究了两输入信号光功率、SOA 注入电流和 SOA 的偏振相关性对全光译码器输出特性的影响.

关键词: 全光译码器, 偏振移位键控, 四波混频, 半导体光放大器

PACC: 4280S, 4265M, 4270Q

## 1. 引 言

全光逻辑器件是超快全光信号处理技术中的一个关键部件, 可应用到信头处理、净荷定位、时钟提取、信号再生、光分组自路由和光信号编码等节点功能上, 引起了国内外研究者的广泛关注. 利用半导体光放大器(semiconductor optical amplifier, SOA)、光纤、波导等非线性元件中的非线性效应, 已经能够实现所有的简单全光逻辑运算功能<sup>[1-7]</sup>. 但是, 简单逻辑运算单元的信号处理能力毕竟有限, 为了进一步提高网络的可承载信息容量, 需要发展具有复杂逻辑运算功能的全光逻辑运算电路. 全光译码器是一种重要的复杂逻辑器件, 目前文献中报道的实现全光译码器主要是基于 SOA 中的交叉偏振调制效应<sup>[8]</sup>、交叉增益调制效应和四波混频(four-wave mixing, FWM)效应<sup>[9,10]</sup>、基于光纤延时线等实现的<sup>[11,12]</sup>.

本文利用偏振移位键控(polarization-shift-keying, PolSK)信号光, 基于 SOA 中 FWM 效应的偏振选择原理, 提出了一种新型的超快全光译码器方案. 由于采用了功率恒定的 PolSK 信号光, 可以消除 SOA 中的码型效应; 并且利用了 SOA 中的 FWM 效应, 可以实现超快译码功能, 结构紧凑、便于集成. 建立了这种超快全光译码器完整的偏振相关宽带理论模型, 利用偏振相关宽带理论模型, 通过数值模拟的方法, 从

理论上实现了超快全光译码器, 并研究了两输入信号光功率、SOA 注入电流和 SOA 的偏振相关性对全光译码器输出特性的影响.

## 2. 工作原理

本文提出的超快全光译码器中, 利用了 SOA 中 FWM 效应的偏振选择原理, 即 FWM 效应的强弱与两输入光的偏振态夹角有关, 当夹角为 0 时, FWM 效应最强, 当夹角为 90°时, FWM 效应就不会发生. 本方案中采用的输入信号光是 PolSK 信号, 就是调制光波的偏振态, 使两个正交偏振态分别表示二进制中的逻辑“0”和“1”.

图 1 为超快全光译码器的结构示意图. 两束 PolSK 信号光分别经耦合器(optical coupler, OC)分成两部分后, 交叉输入到两个 SOA 中, 在 SOA 中发生 FWM 效应. 偏振控制器(polarization controller, PC) 1 和 2 调节两信号光的相对偏振态, 使它们的偏振分量相互平行; “1”和“1”偏振分量平行; “0”和“0”偏振分量平行. 这样, 输入到 SOA 的信号光就会在两个偏振方向上都满足 FWM 效应的偏振选择原理, 分别发生 FWM 效应. 注意, 输入到 SOA<sub>2</sub> 中的 S<sub>2</sub> 经过了一个半波片, 其偏振态旋转 90°, 使 S<sub>2</sub> 的逻辑“0”变为“1”, “1”变为“0”. 表 1 给出了两个 SOA 的输

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金(批准号: 60707006)、南京邮电大学引进人才科研启动基金(批准号: NY207142)资助的课题.

<sup>†</sup> E-mail: lplthl@sohu.com

入信号光和输出共扼光的情况.表中“1”代表光的偏振态为给定的线偏振态;“0”代表光的偏振态为垂直方向的线偏振态;“无”代表不产生共扼光.两个 SOA 的输出共扼光分别由光滤波器(band pass filter, BPF)1 和 2 滤出.用偏振分束器 1(polarization beam separation, PBS)把 BPF<sub>1</sub> 滤出的共扼光的两个偏振

态分离,可分别实现逻辑 AND 和 NOR 功能.同样用 PBS<sub>2</sub> 把 BPF<sub>2</sub> 滤出的共扼光的两个偏振态分离,则可分别实现逻辑  $S_1 \bar{S}_2$  和  $\bar{S}_1 S_2$  功能.译码器的真值表如表 2 所示.把输出的逻辑 AND, NOR,  $\bar{S}_1 S_2$  和  $S_1 \bar{S}_2$  结合起来,就可以实现全光译码器.

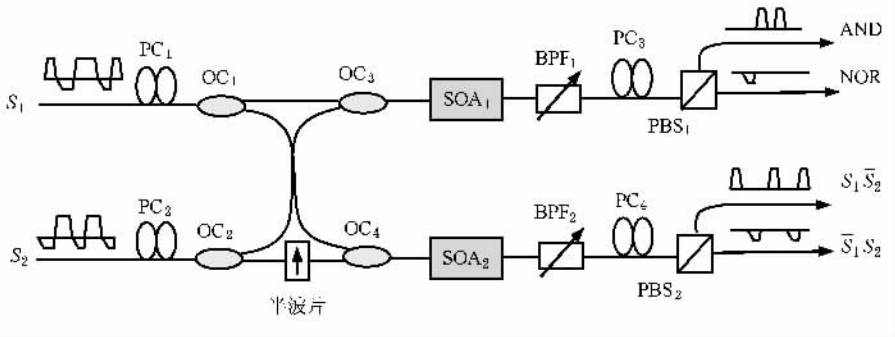


图 1 基于 PolSK 调制的 FWM 型超快全光译码器的结构示意图

表 1 两个 SOA 的输入信号光和输出共扼光情况

SOA <sub>1</sub>		SOA <sub>2</sub>			
输入的两信号光	输出的共扼光	输入的两信号光	输出的共扼光		
0	0	0	0	1	无
0	1	无	0	0	0
1	0	无	1	1	1
1	1	1	1	0	无

表 2 译码器的真值表

输入光		译码器			
S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	AND	$\bar{S}_1 S_2$	$S_1 \bar{S}_2$	NOR
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

### 3. 理论模型

在基于 PolSK 调制的 FWM 型超快译码器中,由于 PolSK 信号包含有两个相互垂直的偏振分量,为了能更准确地研究这种译码器的各种特性,必须要考虑 SOA 的偏振相关性.因此,本文建立了基于 PolSK 调制的 FWM 型超快译码器的偏振相关宽带理论模型.为了简单起见,假设 PolSK 输入信号光的两个偏振分量平行于 SOA 有源区的两个主轴,分别激发 SOA 中的 TE 模和 TM 模.各光波可以表示为

$$E_j(z, t) = [A_j^{TE}(z, t)x + A_j^{TM}(z, t)y]e^{i(\omega_j t - k_j z)} + c.c. \quad (j = s_1, s_2, c, sat)$$

其中  $A_j^{TE}$  和  $A_j^{TM}$  为光波两个偏振分量(对应 TE 模和 TM 模)的慢变化振幅包络,  $k_j = n_j \omega_j / c$  为对应光波频率  $\omega_j$  处的波数,  $n_j$  为对应的有效折射率.在 SOA 中,可以认为 TE 模和 TM 模之间只通过载流子浓度动态变化间接相互作用.采用 SOA 的分段模型.在每个 SOA 的子段中,两束信号光、共扼光和卫星波的 TE 模和 TM 模传输方程可表示为<sup>[13,14]</sup>

$$\begin{aligned} \frac{dA_{s1,i}^{TE/TM}}{dz} = & \frac{1}{2} \left[ \frac{\Gamma^{TE/TM} g_{s1,i}^{TE/TM}}{1 + P_i/P_s} (1 - i\alpha_i) - \alpha_l \right] A_{s1,i}^{TE/TM} \\ & - \frac{\Gamma^{TE/TM} g_{s1,i}^{TE/TM}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left\{ \eta_{s1,s2} |A_{s2,i}^{TE/TM}|^2 \right. \\ & + \eta_{s1,c} |A_{c,i}^{TE/TM}|^2 \\ & + \eta_{s1,sat} |A_{sat,i}^{TE/TM}|^2 \left. \right) A_{s1,i}^{TE/TM} \\ & - \frac{\Gamma^{TE/TM} g_{s1,i}^{TE/TM}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left\{ (\eta_{s2,s1} + \eta_{c,s1}) \right. \\ & \times A_{s2,i}^{TE/TM} A_{c,i}^{TE/TM} A_{s1,i}^{TE/TM*} \\ & \left. + \eta_{s2,sat} A_{s2,i}^{TE/TM} A_{sat,i}^{TE/TM*} \right\}, \quad (2) \\ \frac{dA_{s2,i}^{TE/TM}}{dz} = & \frac{1}{2} \left[ \frac{\Gamma^{TE/TM} g_{s2,i}^{TE/TM}}{1 + P_i/P_s} (1 - i\alpha_i) - \alpha_l \right] A_{s2,i}^{TE/TM} \\ & - \frac{\Gamma^{TE/TM} g_{s2,i}^{TE/TM}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left\{ \eta_{s2,s1} |A_{s1,i}^{TE/TM}|^2 \right. \\ & + \eta_{s2,c} |A_{c,i}^{TE/TM}|^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \eta_{s2, \text{sat}} | A_{s2, i}^{\text{TE/TM}} |^2 ) A_{s2, i}^{\text{TE/TM}} \\
& - \frac{\Gamma^{\text{TE/TM}} g_{s2, i}^{\text{TE/TM}}}{\chi (1 + P_i/P_s)} \left[ (\eta_{s1, s2} + \eta_{\text{sat}, s2}) \right. \\
& \times A_{s1, i}^{\text{TE/TM}} A_{\text{sat}, i}^{\text{TE/TM}} A_{s2, i}^{\text{TE/TM}*} \\
& \left. + \eta_{s1, c} A_{s1, i}^{\text{TE/TM}} A_{s2, i}^{\text{TE/TM}*} \right], \quad (3)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{dA_{c, i}^{\text{TE/TM}}}{dz} = & \frac{1}{2} \left[ \frac{\Gamma^{\text{TE/TM}} g_{c, i}^{\text{TE/TM}}}{1 + P_i/P_s} (1 - i\alpha_i) - \alpha_l \right] A_{c, i}^{\text{TE/TM}} \\
& - \frac{\Gamma^{\text{TE/TM}} g_{c, i}^{\text{TE/TM}}}{\chi (1 + P_i/P_s)} \left[ \eta_{c, s1} | A_{s1, i}^{\text{TE/TM}} |^2 \right. \\
& + \eta_{c, s2} | A_{s2, i}^{\text{TE/TM}} |^2 \\
& + \eta_{c, \text{sat}} | A_{\text{sat}, i}^{\text{TE/TM}} |^2 ) A_{c, i}^{\text{TE/TM}} \\
& - \frac{\Gamma^{\text{TE/TM}} g_{c, i}^{\text{TE/TM}}}{\chi (1 + P_i/P_s)} \left[ (\eta_{s2, \text{sat}} + \eta_{s1, \text{sat}}) \right. \\
& \times A_{s1, i}^{\text{TE/TM}} A_{s2, i}^{\text{TE/TM}} A_{\text{sat}, i}^{\text{TE/TM}*} \\
& \left. + \eta_{s1, s2} A_{s1, i}^{\text{TE/TM}} A_{s2, i}^{\text{TE/TM}*} \right], \quad (4)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{dA_{\text{sat}, i}^{\text{TE/TM}}}{dz} = & \frac{1}{2} \left[ \frac{\Gamma^{\text{TE/TM}} g_{\text{sat}, i}^{\text{TE/TM}}}{1 + P_i/P_s} (1 - i\alpha_i) - \alpha_l \right] A_{\text{sat}, i}^{\text{TE/TM}} \\
& - \frac{\Gamma^{\text{TE/TM}} g_{\text{sat}, i}^{\text{TE/TM}}}{\chi (1 + P_i/P_s)} \left[ \eta_{\text{sat}, s1} | A_{s1, i}^{\text{TE/TM}} |^2 \right. \\
& + \eta_{\text{sat}, s2} | A_{s2, i}^{\text{TE/TM}} |^2 \\
& + \eta_{\text{sat}, c} | A_{c, i}^{\text{TE/TM}} |^2 ) A_{\text{sat}, i}^{\text{TE/TM}} \\
& - \frac{\Gamma^{\text{TE/TM}} g_{\text{sat}, i}^{\text{TE/TM}}}{\chi (1 + P_i/P_s)} \left[ (\eta_{s2, c} + \eta_{s1, c}) \right. \\
& \times A_{s1, i}^{\text{TE/TM}} A_{s2, i}^{\text{TE/TM}} A_{c, i}^{\text{TE/TM}*} \\
& \left. + \eta_{s2, s1} A_{s2, i}^{\text{TE/TM}} A_{s1, i}^{\text{TE/TM}*} \right], \quad (5)
\end{aligned}$$

其中  $\Gamma^{\text{TE}}$  和  $\Gamma^{\text{TM}}$  分别为 TE 模和 TM 模的模场限制因子,  $g^{\text{TE}}$  和  $g^{\text{TM}}$  分别为 TE 模和 TM 模的材料增益系数,  $P_i$  为第  $i$  子段的总功率, 表示为  $P_i = \sum_j (|A_{j, i}^{\text{TE}}|^2 + |A_{j, i}^{\text{TM}}|^2)$  ( $j = s1, s2, c, \text{sat}$ ), 其他参数的意义与文献 [13] 中相同。

SOA 中放大自发辐射 (amplified spontaneous emission, ASE) 的计算采用谱分段的方法, 在 SOA 的第  $i$  子段, 波长  $\lambda_j$  处 ASE 的 TE 模和 TM 模传输方程可表示为

$$\begin{aligned}
\pm \frac{dW_{j, i}^{\text{TE}\pm}}{dz} = & \left[ \Gamma^{\text{TE}} g_{j, i}^{\text{TE}} (N_i, \lambda_j) - \alpha_{\text{int}} \right] W_{j, i}^{\text{TE}\pm} \\
& + \Gamma^{\text{TE}} R_{st}^{\text{TE}} (N_i, \lambda_j) \frac{hc^2}{\lambda_j^3}, \quad (6)
\end{aligned}$$

$$\pm \frac{dW_{j, i}^{\text{TM}\pm}}{dz} = \left[ \Gamma^{\text{TM}} g_{j, i}^{\text{TM}} (N_i, \lambda_j) - \alpha_{\text{int}} \right] W_{j, i}^{\text{TM}\pm}$$

$$+ \Gamma^{\text{TM}} R_{st}^{\text{TM}} (N_i, \lambda_j) \frac{hc^2}{\lambda_j^3}, \quad (7)$$

其中  $W_{j, i}^{\text{TE/TM}}(z, t)$  为波长  $\lambda_j$  处 ASE 的 TE 模和 TM 模的功率谱密度。

SOA 中载流子的速率方程可表示为

$$\begin{aligned}
\frac{dN}{dt} = & \frac{I}{eAL} - (c_1 N + c_2 N^2 + c_3 N^3) \\
& - \sum_{j=s1, s2, c, \text{sat}} \left( g_j^{\text{TE}} \frac{G_j^{\text{TE}} - 1}{\ln G_j^{\text{TE}}} \frac{|A_j^{\text{TE}}|^2 \lambda_j}{hcA} \right. \\
& \left. + g_j^{\text{TM}} \frac{G_j^{\text{TM}} - 1}{\ln G_j^{\text{TM}}} \frac{|A_j^{\text{TM}}|^2 \lambda_j}{hcA} \right) \\
& - \sum_{j=1}^{20} \left\{ g_j^{\text{TE}} \left[ \frac{2g_j^{\text{TE}}}{g_j^{\text{TE}}} \left( \frac{G_j^{\text{TE}} - 1}{\ln G_j^{\text{TE}}} - 1 \right) \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{G_j^{\text{TE}} - 1}{\ln G_j^{\text{TM}}} \frac{\Delta\lambda (W_j^{\text{TE}+} + W_j^{\text{TE}-}) \lambda_j}{hcA} \right] \right. \\
& \left. + g_j^{\text{TM}} \left[ \frac{2g_j^{\text{TM}}}{g_j^{\text{TM}}} \left( \frac{G_j^{\text{TM}} - 1}{\ln G_j^{\text{TM}}} - 1 \right) \right. \right. \\
& \left. \left. + \frac{G_j^{\text{TM}} - 1}{\ln G_j^{\text{TM}}} \frac{\Delta\lambda (W_j^{\text{TM}+} + W_j^{\text{TM}-}) \lambda_j}{hcA} \right] \right\}, \quad (8)
\end{aligned}$$

其中  $\bar{g}_{j, i}^{\text{TE/TM}}$  和  $G_{j, i}^{\text{TE/TM}}$  分别为光波  $\lambda_j$  处的 TE 模和 TM 模在 SOA 第  $i$  子段中的净增益系数和获得的增益, 可以表示为

$$\bar{g}_{j, i}^{\text{TE/TM}} = \Gamma^{\text{TE/TM}} g_{j, i}^{\text{TE/TM}} - \alpha_{\text{int}}, \quad (9)$$

$$G_{j, i}^{\text{TE/TM}} = \exp \left[ \left( \Gamma^{\text{TE/TM}} g_{j, i}^{\text{TE/TM}} - \alpha_{\text{int}} \right) \cdot l \right], \quad (10)$$

(6)(7)和(8)式中其他参数的意义与文献[13]中相同。

## 4. 理论结果

利用建立的偏振相关宽带理论模型, 对基于 PolSK 调制的 FWM 型超快全光译码器进行了数值模拟。在模拟中, 两入射信号光  $S_1$  和  $S_2$  为同步的 40Gbit/s 伪随机 RZ-PolSK 序列, RZ 的占空比为 1:4, 中心波长分别为 1550 nm 和 1551 nm, 峰值功率都为 20 mW, 输入消光比为 15 dB, SOA 的注入电流为 250 mA, 所有耦合器的耦合比都取 0.5。

在无应变体材料 SOA 中, TE 模的增益比 TM 模的增益大, 主要是由 TE 模的模场限制因子比 TM 模的模场限制因子大引起的, 而两者的材料增益是相同的, 即  $g^{\text{TE}} = g^{\text{TM}}$ 。取  $\Gamma^{\text{TE}} = 0.3$ ,  $\Gamma^{\text{TM}} = 0.29$ 。输入一束波长为 1550 nm、功率为 10 mW 的连续光, 使它的偏振方向分别对应 SOA 的 TE 模和 TM 模, 计算可得 SOA 的偏振相关度为 1.1164 dB, 可认为所用的 SOA

是偏振相关的. 由于 SOA 有源区比较短, 可以忽略 SOA 中 TE 模和 TM 模的模式色散. 其他参数见文献 [13].

图 2 给出了超快全光译码器的模拟结果. 图 2 (a) 和 (b) 是两输入 RZ-PolSK 信号的 20 位取样脉冲序列在“1”偏振方向(TE 模)的波形, 对应的 PolSK 信号分别为“11001011000101011001”和“01110000111110110010”. 图 2 (c) (d) (e) 和 (f) 分别为译码器的 AND, NOR,  $S_1 \bar{S}_2$ ,  $\bar{S}_1 S_2$  输出波形. 把逻辑 AND, NOR,  $S_1 \bar{S}_2$  和  $\bar{S}_1 S_2$  的输出结合起来可以

实现译码器.

在基于 SOA 的器件中, 由于载流子具有一定的寿命, 增益恢复较慢, 会产生码型效应, 限制了器件工作速率的提高. PolSK 信号具有功率恒定性, 可以消除码型效应. 因此, 从图 2 中的输出波形看不到码型效应, 可以实现超快工作. 这也正是这种多功能全光逻辑门的一个优点. 从图 2 中还可以看出, 由于 SOA 的偏振相关性, TE 模的增益大于 TM 模的增益, 导致逻辑 AND 和  $\bar{S}_1 S_2$  的输出大于逻辑 NOR 和  $S_1 \bar{S}_2$  的输出.

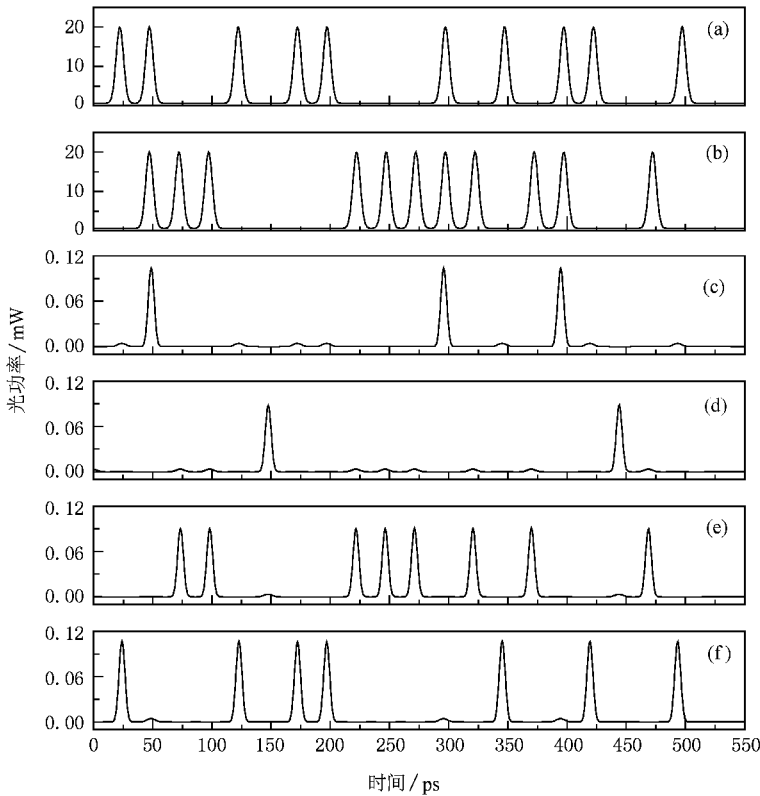


图 2 基于 PolSK 调制的 FWM 型超快全光译码器的模拟结果 (a) 和 (b) 分别为输入信号光  $S_1$  和  $S_2$  在“1”偏振方向上的波形 (c)–(f) 分别为译码器的 AND, NOR,  $S_1 \bar{S}_2$ ,  $\bar{S}_1 S_2$  输出波形

在逻辑器件中, 逻辑“1”的输出峰值光功率和输出消光比是评价逻辑门质量的两个很重要的参数, 低的逻辑“1”输出峰值光功率和输出消光比将会引起大的误码率. 因此, 我们理论研究了这种超快译码器的逻辑“1”输出峰值光功率和输出消光比随两输入信号光峰值功率和 SOA 注入电流的变化, 还研究了 SOA 的偏振相关性对译码器的影响. 在译码器中, 消光比定义为输出逻辑“1”的平均功率与输出逻辑“0”的平均功率之比, 表示为  $ER = 10 \log_{10} P(1)$

$P(0)$ .

图 3 所示为译码器输出逻辑“1”的峰值光功率和输出消光比随输入信号光 2 功率的变化情况. 在 SOA 中, FWM 的效率由两输入信号光功率和 SOA 的增益两者相互作用共同决定. 输出共轭光功率正比于输入信号光 2 的功率和 SOA 的增益. 因此, 当输入信号光 2 比较弱时, SOA 尚未达到饱和, 随着输入信号光 2 的增强, 输出共轭光随之增强, 进一步增强输入信号光 2, SOA 就处于深饱和状态, 增益下降,

导致输出共轭光减弱,如图 3(a)所示.同时可以看出,对某一个输入功率来说,AND 和  $\bar{S}_1 S_2$ (对应 TE 模)的逻辑“1”输出强于 NOR 和  $S_1 \bar{S}_2$ (对应 TM 模)的逻辑“1”输出.

从图 3(b)中可以看出,随着输入信号光 2 的增强,译码器的输出消光比减小.这是由于采用的输入信号光消光比是固定的,即使当输入信号光功率很大时,对应逻辑输出“0”的输入信号光也属于小信号输入范围,即 SOA 处于未饱和状态.因此,逻辑输出“0”的功率随输入信号光功率的增大而增大.但是,随着输入信号光 2 功率的增大,输出逻辑“1”的光功率先增大后下降.从而导致了消光比随输入信号光 2 的增大而下降.对某一个输入功率来说,逻辑 NOR 和  $S_1 \bar{S}_2$  的输出消光比要优于 AND 和  $\bar{S}_1 S_2$  的输出消光比,如图 3(b)所示.

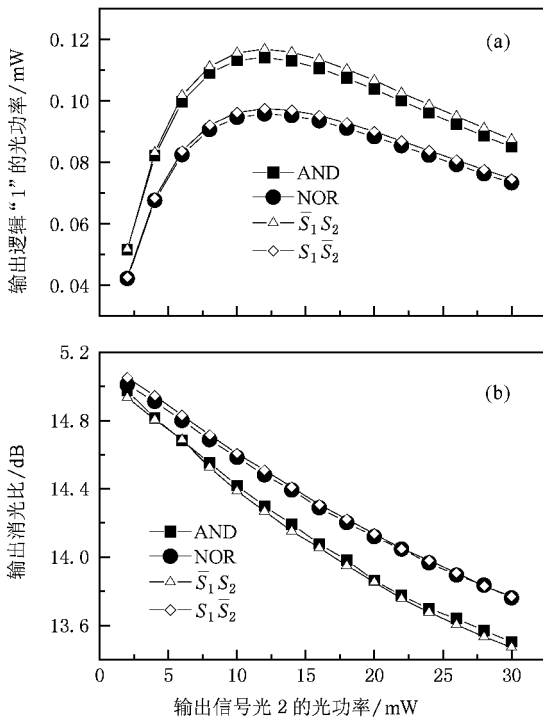


图 3 基于 PolSK 调制的 FWM 型超快全光译码器中 (a) 输出逻辑“1”的峰值光功率 (b) 输出消光比随输入信号光 2 功率的变化

图 4 所示为译码器输出逻辑“1”的峰值光功率和输出消光比随输入信号光 1 功率的变化情况.从图 4(a)中看出,与输出逻辑“1”随输入信号光 2 的变化趋势不同,在输入信号光 1 从 2 mW 增大到 30 mW 时,输出逻辑“1”随之增大.这是由于共轭光的功率是正比于输入信号光 1 功率的平方.即使当输

入信号光 1 增大到已经使 SOA 处于深饱和状态,但由增大输入信号光功率引起共轭光的增大作用还是大于 SOA 饱和效应引起的增益降低作用.因此,输出逻辑“1”的光功率随输入信号光 1 功率的增大而增大.在模拟中,当输入信号光 1 的功率增大到 80 mW 时,输出逻辑“1”的光功率开始随输入信号光 1 功率增大而减小.在实际应用中,SOA 的输入光功率不能太强,否则会损坏 SOA.

共轭光的功率正比于输入信号光 1 功率的平方,意味着增强信号光引起共轭光增大的幅度在输入信号光 1 比较弱时比在输入信号光 1 比较强时要小.也就是输出逻辑“0”随输入信号光 1 的增大幅度小于输出逻辑“1”的增大幅度.因此,即使随着输入信号光 1 功率的增大,SOA 的饱和程度加深,译码器的输出消光比也随之增大,如图 4(b)所示.

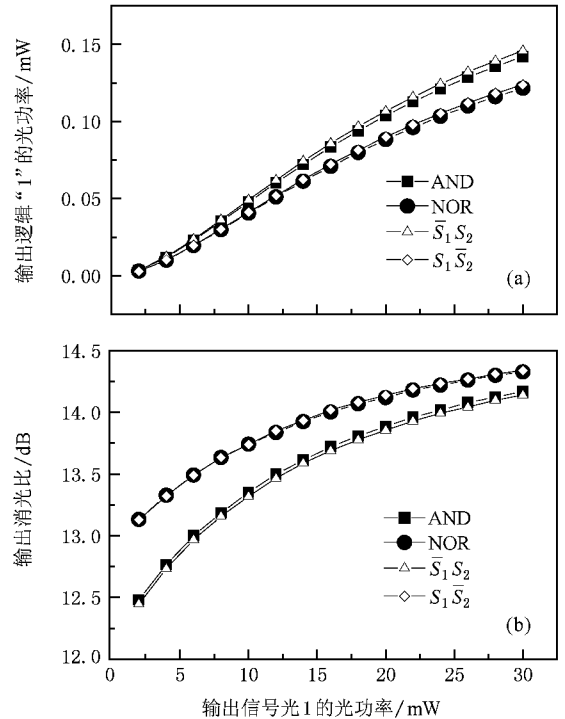


图 4 基于 PolSK 调制的 FWM 型超快全光译码器中 (a) 输出逻辑“1”的峰值光功率 (b) 输出消光比随输入信号光 1 功率的变化

图 5 所示为译码器的输出“1”峰值光功率和输出消光比随 SOA 注入电流的变化情况. SOA 注入电流的增大,使载流子浓度增大,从而提高了 SOA 的增益.因此,逻辑门的输出“1”峰值光功率随 SOA 注入电流的增大而增大.

随着 SOA 注入电流的增大,SOA 的增益随之增

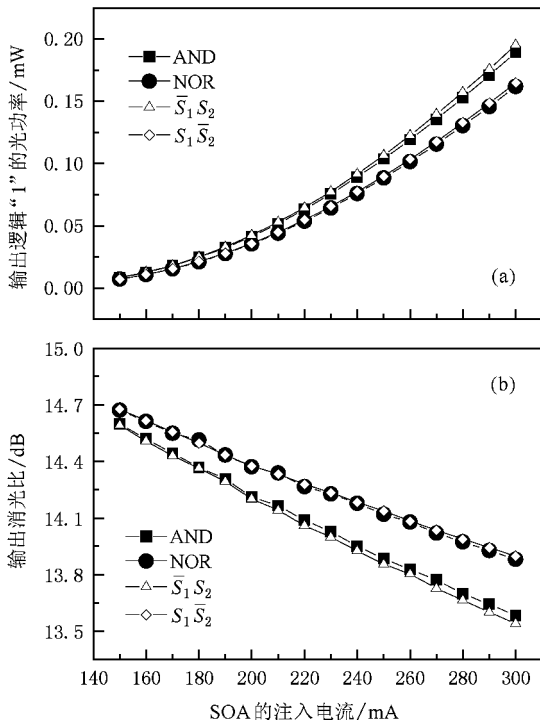


图 5 基于 PolSK 调制的 FWM 型超快全光译码器中 (a) 输出逻辑“1”的峰值光功率 (b) 输出消光比随 SOA 注入电流的变化

大, 逐渐达到饱和. 在小信号光输入时, SOA 的增益随注入电流的变化幅度要大于大信号输入时的变化幅度. 逻辑输出为“0”和“1”时, 分别对应于小信号光输入情况和大信号输入情况. 则当逻辑输出“0”时, SOA 增益随注入电流增大的幅度比逻辑输出“1”时大. 因此, 随着 SOA 注入电流的增大, 逻辑“0”输出功率比逻辑“1”输出功率增大得快. 如图 5 (b) 所示, 译码器的输出消光比随 SOA 注入电流的增大而下降.

我们也研究了 SOA 中 TE 模和 TM 模限制因子相差比较大的情况下超快全光译码器的输出. 图 6 是  $\Gamma^{TE} = 0.3$  和  $\Gamma^{TM} = 0.25$  时译码器的输出波形. TE 模和 TM 模限制因子之差的增大, 导致 SOA 的偏振相关度增大. 从图 6 中看出, 此时逻辑 NOR 和  $S_1\bar{S}_2$  的输出远小于逻辑 AND 和  $\bar{S}_1S_2$  的输出. 同时与图 2 相比, 逻辑 AND 和  $\bar{S}_1S_2$  的输出增强了, 逻辑 NOR 和  $S_1\bar{S}_2$  的输出减弱了. 因此, SOA 的偏振相关性会影响这种多功能超快逻辑门的输出特性. 目前, SOA 的偏振相关度可以低于 0.5dB, 因此, 完全可以满足本方案对 SOA 偏振相关度的要求.

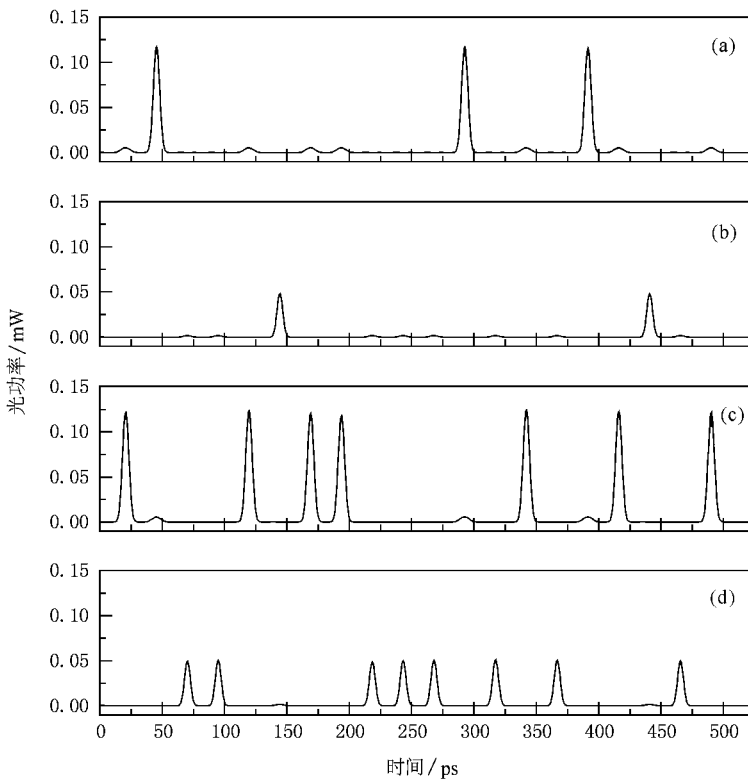


图 6 当  $\Gamma^{TE} = 0.3$  和  $\Gamma^{TM} = 0.25$  时, 基于 PolSK 调制的 FWM 型超快全光译码器的模拟结果 (a)–(d) 分别为逻辑 AND, NOR,  $S_1S_2$ ,  $S_1\bar{S}_2$  的输出波形

## 5. 结 论

本文提出了一种新型的基于 PolSK 调制的 FWM 型超快全光译码器方案. 考虑了 SOA 的偏振相关性, 建立了这种超快全光译码器完整的偏振相关宽带理论模型. 通过数值模拟的方法, 从理论上实现了超快全光译码器, 并研究了译码器输出逻辑“1”的峰值功率和输出消光比随两个输入信号光功率和 SOA 的注入电流的变化, 以及 SOA 的偏振相关性对译码器的影响. 结果表明: 在一般输入功率范围内, 大的输入信号光 1 峰值功率不仅可以提高译码器输

出逻辑“1”的峰值功率, 并且可以改善其输出消光比特性; 译码器输出逻辑“1”峰值功率随输入信号光 2 的功率增大先上升后下降, 即输入信号光 2 存在有一个最佳输入功率值, 译码器输出消光比则随输入信号光 2 的功率增大而下降; 增大 SOA 的注入电流, 可以提高译码器输出逻辑“1”的光功率, 但降低了输出消光比; SOA 偏振相关性较大时逻辑 NOR 和  $S_1 \bar{S}_2$  的输出远小于逻辑 AND 和  $\bar{S}_1 S_2$  的输出, 利用偏振不相关的 SOA 可以得到输出特性优良的超快全光译码器. 因此, 要获得高性能译码器, 应该综合考虑这些因素的影响, 选取最佳的器件和工作参数.

- [ 1 ] Dorren H J S, Yang X L, Mishra A K, Li Z G, Ju H, Waardt H de, Khoe G D, Simoyama T, Ishikawa H, Kawashima H, Hasama T 2004 *IEEE J. Select. Topics in Quantum Electron.* **10** 1079
- [ 2 ] Bogris A, Velanas P, Syvridis D 2007 *IEEE Photon. Technol. Lett.* **19** 402
- [ 3 ] Zhang X L, Dong J J, Wang Y, Huang D X 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 2066 (in Chinese)[张新亮、董建绩、王颖、黄德修 2005 物理学报 **54** 2066]
- [ 4 ] Zhao C, Zhang X L, Dong J J, Huang D X 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 4150 (in Chinese)[赵蝉、张新亮、董建绩、黄德修 2006 物理学报 **55** 4150]
- [ 5 ] Dong J J, Zhang X L, Wang Y, Huang D X 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 2222 (in Chinese)[董建绩、张新亮、王阳、黄德修 2008 物理学报 **57** 2222]
- [ 6 ] Wang Y, Zhang X L, Huang D X 2004 *Chin. Phys.* **13** 882
- [ 7 ] Liang T K, Nunes L R, Tsuchiya M, Abedin K S, Miyazaki T, Van Thourhout D, Dumon P, Baets R, Tsang H K 2006 *OFC OFP1* (California March 5—10, 2006)
- [ 8 ] Soto H, Gutierrez A 2006 *Optics Express* **14** 9000
- [ 9 ] Wang Y, Zhang X L, Dong J J, Huang D X 2007 *Optics Express* **15** 15080
- [ 10 ] Zhang J L, Wang Z, Shu D 2008 *Optics & Optoelectronic technology* **6** 29 (in Chinese)[张金磊、王智、疏达 2008 光学与光电技术 **6** 29]
- [ 11 ] Zhou H Q, Liu G S, Ma J X 2000 *Optical Communication Technology* **24** 50 (in Chinese)[周浩强、刘国驷、马君显 2000 光通信技术 **24** 50]
- [ 12 ] Li O, Wu J X 1999 *Journal of China Institute of Communications* **20** 91 (in Chinese)[李鸥、鄂江兴 1999 通信学报 **20** 91]
- [ 13 ] Li P L, Huang D X, Zhang X L, Zhu G X 2006 *Optics Express* **14** 11839
- [ 14 ] Yang X, Lenstra D, Khoe G D, Dorren H J S 2003 *Optics Communications* **223** 169

# Ultrahigh-speed all-optical encoder based on four-wave mixing in semiconductor optical amplifiers with PolSK modulated signals<sup>\*</sup>

Li Pei-Li<sup>1)†</sup> Huang De-Xiu<sup>2)</sup> Zhang Xin-Liang<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> College of Optoelectronic Engineering, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210046, China)

<sup>2)</sup> Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

(Received 27 July 2008; revised manuscript received 14 September 2008)

## Abstract

A novel scheme for ultrahigh-speed all-optical encoder based on four-wave mixing ( FWM ) in semiconductor optical amplifiers ( SOAs ) with PolSK modulated signals is proposed. Considering the polarization dependency of SOA , a comprehensive polarization-dependent broad-band dynamic model is presented. By numerical simulation , this kind of all-optical encoder is theoretically realized , and the effects of two input signal powers , injected current , and polarization dependency of SOA on the output performance of the encoder are analyzed.

**Keywords :** all-optical encoder , PolSK , four-wave mixing , semiconductor optical amplifier

**PACC :** 4280S , 4265M , 4270Q

<sup>\*</sup> Project supported by the National Natural Science Foundation of China ( Grant No. 60707006 ) , the Scientific Research Foundation of Nanjing University of Posts and Telecommunications , China ( Grant No. NY207142 ).

<sup>†</sup> E-mail : lplthl@sohu.com