

基于半导体光纤环形腔激光器的 新型全光 AND 门和 NOR 门^{*}

李培丽¹⁾²⁾ 黄德修¹⁾ 张新亮¹⁾ 朱光喜¹⁾

1) 华中科技大学武汉光电国家实验室, 武汉 430074)

2) 华中科技大学电子信息与工程系, 武汉 430074)

(2006 年 4 月 27 日收到, 2006 年 8 月 10 日收到修改稿)

提出了一种新型的基于半导体光纤环形腔激光器(SFRL)中同时发生的四波混频效应和交叉增益调制效应同时实现全光 AND 门和 NOR 门方案, 并建立了这种全光逻辑门完整的宽带理论模型. 通过数值模拟的方法, 研究了输入信号光峰值功率及 SFRL 中两个耦合器的耦合比对此种全光逻辑门输出特性的影响.

关键词: 半导体光纤环形腔激光器, 全光逻辑门, 四波混频, 交叉增益调制

PACC: 4260D, 4265C, 4280S

1. 引 言

随着光通信网络的飞速发展, 为了克服传统电信号处理技术的速度瓶颈问题, 未来高速光网络必须采用超快全光信号处理技术. 全光逻辑器件是其中的一个关键部件, 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. 目前利用非线性元件中的非线性效应已经能实现所有的简单全光 AND, OR, NOT, XOR 等逻辑运算功能^[1-5]. 在文献中, 全光逻辑 AND 门主要采用半导体光放大器(SOA)中的四波混频(FWM)效应^[1]或交叉偏振调制^[6]、微环形腔中的 FWM 效应^[4]和级联 SOA 中的交叉增益调制(XGM)效应^[7]实现, 全光逻辑 NOR 门通常利用 SOA, 半导体光纤环形腔激光器(SFRL)中的 XGM 效应^[8,9]、半导体量子井中的子能级带间跃迁和带间跃迁^[10]以及对称双微环^[11]来实现.

本文提出了一种基于 SFRL 中同时发生的 FWM 效应和 XGM 效应同时实现逻辑 AND 和 NOR 功能的新型逻辑门方案. 在这种方案中, 具有宽带平滑可调谐、高功率和单模工作等优点的 SFRL 自身可以提供连续光, 无需外部连续光源, 因此结构简

单、易于实现. 由于利用的是 SFRL 中的同时发生的 FWM 效应和 XGM 效应实现的全光逻辑门, 其逻辑输出的消光比较高. 利用这种方案, 可以同时实现全光逻辑 AND 和 NOR 功能. 并且建立了这种全光逻辑门完整的宽带理论模型, 利用宽带理论模型, 通过数值模拟的方法, 研究了输入信号光峰值功率及 SFRL 中两个耦合器的耦合比对此种全光逻辑门输出特性的影响.

2. 工作原理

图 1 为这种全光逻辑门的结构示意图. SOA, 耦合器 2, 耦合器 3, 隔离器和可调谐滤波器(TF)构成了 SFRL. 环形腔中的隔离器可以稳定激光发射功率, 防止环中发生后向反射, 使 SFRL 工作在行波状态. 可调谐滤波器是它的选频元件. 逻辑门的工作原理为: 两束波长靠得比较近的强信号光 S_1 和 S_2 经耦合器 2 耦合进环形腔, 与 SFRL 产生的激光光 P 一起输入 SOA 中, 调节偏振控制器(PC), 使 S_1 和 S_2 的偏振方向相互平行. S_1 和 S_2 在 SOA 中发生 FWM 效应, 产生两个新波长的光: 转换光 C 和卫星波 C_1 . 同时, 对于工作在阈值以上的 SFRL, 有外部光输入时, 由于增益饱和效应, 在激光器激射波长 P 处的增

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目(批准号: G2000036605), 国家高技术研究发展计划(批准号: 2002AA312160), 武汉市青年晨光人才计划(批准号: 200350021062)和华中科技大学博士后科研专项基金资助的课题.

益将下降. 如果输入光功率达到一定程度使增益小于损耗时, 激光光会被抑制, 只有自发辐射, 输出功率很小. 因此, 激光光 P 被 S_1 和 S_2 调制, 即 P , S_1 和 S_2 之间发生了 XGM 效应. 而且, 激光光被调制的深度很深, 其输出消光比较高^[12].

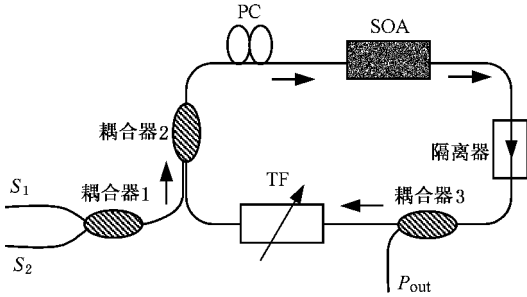


图 1 基于 SFRL 中同时发生的 FWM 和 XGM 效应同时实现的全光 AND 和 NOR 门结构示意图

当信号光 S_1 和 S_2 只要有一个为“0”时, S_1 和 S_2 之间不会发生 FWM 效应, 故在波长 C 处输出为“0”; 只有当信号光 S_1 和 S_2 都为“1”时, FWM 效应才发生, 产生转换光 C , 波长 C 处输出为“1”. 因此, 两信号光发生的 FWM 效应实际上实现了逻辑 AND 输出. 同时, 在 SFRL 中也发生了 XGM 效应. 当信号光 S_1 和 S_2 都为“0”时, SOA 中的载流子用于光波 P 的放大, 光波 P 的输出功率最大, 为“1”; 当信号光 S_1 和 S_2 有一个或全为“1”时, 强信号光消耗了大部分载流子, 由于增益饱和效应, 使光波 P 的输出功率很小, 为“0”. 因此, SOA 中的 XGM 效应实现了逻辑 NOR 输出. 其真值表如表 1.

从耦合器 3 输出的光波中有 P , S_1 , S_2 , C 和 C_1 , 用滤波器分别滤出光波 C 和 P , 就可以同时实现逻辑 AND 和 NOR 功能了.

表 1 逻辑门的真值表

S_1	S_2	C (AND)	P (NOR)
0	0	0	1
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	1	0

3. 理论模型

本方案利用的是 SFRL 中同时发生的两强信号光之间的 FWM 效应和三个光波之间的 XGM 效应实

现的全光逻辑 AND 门和 NOR 门. 由于两个输入信号光功率都比较大, 除了考虑 FWM 效应产生的转换光外, 产生的卫星波也不容忽视. 因此考虑了 SOA 的材料增益谱、载流子的空间分布、光场的纵向空间分布和宽带自发辐射, 建立了完整的基于 SFRL 的全光逻辑 AND 门和 NOR 门宽带理论模型. 在模拟中, 采用了分段模型, 即将整个 SOA 看成由 n 个子段串连而成, 当 n 足够大时, 可近似认为在这些子段中载流子浓度的分布是均匀的. 在子段 i 中, 两束信号光、激光光、转换光和卫星波的传输方程可表示为^[13]

$$\frac{dA_{p,i}}{dz} = \frac{1}{2} \left[\frac{\Gamma g_{p,i}}{1 + P_i/P_s} (1 - i\alpha_i) - \alpha_i \right] A_{p,i}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{dA_{s_1,i}}{dz} = & \frac{1}{2} \left[\frac{\Gamma g_{s_1,i}}{1 + P_i/P_s} (1 - i\alpha_i) - \alpha_i \right] A_{s_1,i} \\ & - \frac{\Gamma g_{s_1,i}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left(\eta_{s_1 s_2} |A_{s_2,i}|^2 \right. \\ & \left. + \eta_{s_1 c} |A_{c,i}|^2 + \eta_{s_1 c_1} |A_{c_1,i}|^2 \right) A_{s_1,i} \\ & - \frac{\Gamma g_{s_1,i}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left(\eta_{s_2 s_1} + \eta_{c s_1} \right) \\ & \times A_{s_2,i} A_{c,i} A_{s_1,i}^* + \eta_{s_2 c_1} A_{s_2,i}^2 A_{c_1,i}^* \Big], \quad (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dA_{s_2,i}}{dz} = & \frac{1}{2} \left[\frac{\Gamma g_{s_2,i}}{1 + P_i/P_s} (1 - i\alpha_i) - \alpha_i \right] A_{s_2,i} \\ & - \frac{\Gamma g_{s_2,i}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left(\eta_{s_2 s_1} |A_{s_1,i}|^2 \right. \\ & \left. + \eta_{s_2 c} |A_{c,i}|^2 + \eta_{s_2 c_1} |A_{c_1,i}|^2 \right) A_{s_2,i} \\ & - \frac{\Gamma g_{s_2,i}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left(\eta_{s_1 s_2} + \eta_{c_1 s_2} \right) \\ & \times A_{s_1,i} A_{c_1,i} A_{s_2,i}^* + \eta_{s_1 c} A_{s_1,i}^2 A_{c,i}^* \Big], \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dA_{c,i}}{dz} = & \frac{1}{2} \left[\frac{\Gamma g_{c,i}}{1 + P_i/P_s} (1 - i\alpha_i) - \alpha_i \right] A_{c,i} \\ & - \frac{\Gamma g_{c,i}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left(\eta_{c s_1} |A_{s_1,i}|^2 \right. \\ & \left. + \eta_{c s_2} |A_{s_2,i}|^2 + \eta_{c c_1} |A_{c_1,i}|^2 \right) A_{c,i} \\ & - \frac{\Gamma g_{c,i}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left(\eta_{s_2 c_1} + \eta_{s_1 c_1} \right) \\ & \times A_{s_1,i} A_{s_2,i} A_{c_1,i}^* + \eta_{s_1 s_2} A_{s_1,i}^2 A_{s_2,i}^* \Big], \quad (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{dA_{c_1,i}}{dz} = & \frac{1}{2} \left[\frac{\Gamma g_{c_1,i}}{1 + P_i/P_s} (1 - i\alpha_i) - \alpha_i \right] A_{c_1,i} \\ & - \frac{\Gamma g_{c_1,i}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left(\eta_{c_1 s_1} |A_{s_1,i}|^2 \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \eta_{c_1 s_2} |A_{s_2 i}|^2 + \eta_{c_1 c} |A_{c i}|^2) A_{c_1 i} \\
& - \frac{\Gamma g_{c_1 i}}{\chi(1 + P_i/P_s)} \left[(\eta_{s_2 c} + \eta_{s_1 c}) \right. \\
& \left. \times A_{s_1 i} A_{s_2 i} A_{c i}^* + \eta_{s_2 s_1} A_{s_2 i}^2 A_{s_1 i}^* \right], \quad (5)
\end{aligned}$$

其中 A 为光场的慢幅变化, $P_i = \sum_j |A_{j i}|^2$ 为第 i 个

子段中总的光功率, Γ 为限制因子, α 为载流子密度脉动引起的线宽增强因子, α_i 为 SOA 的内部损耗, P_s 为饱和功率, 下标 i 代表 SOA 中第 i 个子段.

η_{ij} 代表混频波之间的非线性相互作用, 可以分为三个部分: 载流子密度脉动(CDP)、载流子加热(CH)和光谱烧孔(SHB), 其表示式为

$$\eta_{ij} = \eta_{ij}^{\text{CDP}} + \eta_{ij}^{\text{CH}} + \eta_{ij}^{\text{SHB}}, \quad (6)$$

$$\eta_{ij}^{\text{CDP}} = \frac{(1 - i\alpha)}{P_s} \times \frac{1}{[1 - i(\omega_j - \omega_j)\tau_s][1 - i(\omega_j - \omega_j)\tau_{\text{SHB}}]}, \quad (7)$$

$$\eta_{ij}^{\text{CH}} = \frac{\epsilon_{\text{CH}}(1 - i\alpha_{\text{CH}})}{[1 - i(\omega_j - \omega_j)\tau_{\text{CH}}][1 - i(\omega_j - \omega_j)\tau_{\text{SHB}}]}, \quad (8)$$

$$\eta_{ij}^{\text{SHB}} = \frac{\epsilon_{\text{SHB}}(1 - i\alpha_{\text{SHB}})}{1 - i(\omega_j - \omega_j)\tau_{\text{SHB}}}, \quad (9)$$

其中 ϵ_{CH} , ϵ_{SHB} 分别为载流子加热和光谱烧孔引起的增益压缩因子; α_{CH} , α_{SHB} 分别为载流子加热和光谱烧孔的线宽增强因子. τ_s , τ_{CH} 和 τ_{SHB} 分别为载流子寿命、载流子加热弛豫时间和光谱烧孔弛豫时间.

$g_{j i}(N)$ 为 SOA 的材料增益, 由密度矩阵可以推导出其理论表达式为^[14]

$$\begin{aligned}
g(v, N) &= \frac{e^2 |M|^2}{4\pi^2 \epsilon_0 m_0^2 c n_g v} \left(\frac{8\pi^2 m_c m_{\text{hh}}}{h^2(m_c + m_{\text{hh}})} \right)^{\frac{3}{2}} \\
&\times (h\nu - E_g)^{-1} [f_c(\nu) + f_v(\nu) - 1], \quad (10)
\end{aligned}$$

计算放大自发辐射(ASE)噪声时, 考虑了 ASE 的宽带谱分布, 把整个 ASE 谱宽从 λ_1 到 λ_m 分为 m 段, 假设 ASE 只在分立的波长上存在. 在 SOA 的第 i 子段, 波长为 λ_j 的 ASE 的传输方程可表示为

$$\begin{aligned}
\pm \frac{dW_{j i}^{\pm}(z, t)}{dz} &= [\Gamma g_{j i}(N) - \alpha_i] \\
&\times W_{j i}^{\pm}(z, t) + \Gamma g'_{j i} \frac{hc^2}{\lambda_j^3}. \quad (11)
\end{aligned}$$

描述 SOA 中载流子变化的速率方程为

$$\begin{aligned}
\frac{dN_i}{dt} &= \frac{I}{ewdL} - (c_1 N_i + c_2 N_i^2 + c_3 N_i^3) \\
&- \sum_{j=s_1, s_2, c, c_1} g_{j i} \frac{G_{j i} - 1}{\ln G_{j i}} \frac{|A_{j i}|^2 \lambda_j}{hcw} \\
&- g_{p i} \left[\frac{2g_{p i}}{\bar{g}_{j i}} \left(\frac{G_{p i} - 1}{\ln G_{p i}} - 1 \right) \right. \\
&\left. + \frac{G_{p i} - 1}{\ln G_{p i}} \frac{|A_{p i}|^2 \lambda_p}{hcw} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&- \sum_{j=1}^m g_{j i} \left[\frac{2g_{j i}}{\bar{g}_{j i}} \left(\frac{G_{j i} - 1}{\ln G_{j i}} - 1 \right) \right. \\
&\left. + \frac{G_{j i} - 1}{\ln G_{j i}} \frac{\Delta\lambda(W_{j i}^+ + W_{j i}^-)\lambda_j}{hcw} \right], \quad (12)
\end{aligned}$$

其中(10)(11)和(12)式中参数表示意义与文献[15]中相同.

由于只有激光光 P 可以在 SFRL 中环绕, 因此边界条件为

$$A_p(0) = A_p(L)\epsilon_1 k_2 k_3, \quad (13)$$

式中 ϵ_1 , k_2 和 k_3 分别为在 SFRL 中不包括两个耦合器的耦合比的所有损耗、耦合器 2 的耦合比和耦合器 3 的耦合比.

4. 理论结果

利用前面建立的宽带理论模型对这种全光逻辑门进行了数值模拟. 计算所用参数值如表 2 所示, 参数的选取主要参考文献[13][16]和[17]. 取两入射信号光 S_1 和 S_2 为 10 Gb/s 的无啁啾理想超高斯序列, 调制格式分别为 1000110011100111 和 110001101110011, 对应中心波长为 1550 nm 和 1551 nm, 峰值功率都为 7 dBm; 使 SFRL 的激光波长为 1540 nm, SOA 的注入电流为 150 mA, 耦合器 1、2 和 3 的耦合比都为 0.5. 图 2 给出了两输入信号光 S_1 , S_2 输出激光光 P 和输出转换光 C 的波形. 从图 2(c)和(d)中可以看出输出的激光光 P 波形为 0011000100001000, 正是信号光 S_1 和 S_2 的逻辑 NOR 运算结

果,而输出的转换光 C 波形为 1000010001100011 则是信号光 S_1 和 S_2 的逻辑 AND 运算结果.因此,分别滤出激光光 P 和转换光 C ,就可以同时实现全光逻辑 NOR 和 AND 功能.

表 2 计算采用的参数值

参量符号	取值
有源区长度 $L/10^{-4}$ m	5
有源区宽度 $w/10^{-6}$ m	3.3
有源区厚度 $d/10^{-6}$ m	0.15
非辐射复合系数 $c_1/10^8$ s $^{-1}$	1.5
双分子复合系数 $c_2/10^{-17}$ m $^3 \cdot$ s $^{-1}$	2.5
Auger 复合系数 $c_3/10^{-41}$ m $^6 \cdot$ s $^{-1}$	9.4
SOA 的内部损耗 $\alpha_1/10^3$ m $^{-1}$	4
光限制因子 Γ	0.3
折射率 n	3.22
饱和功率 $P_{\text{sat}}/10^{-2}$ W	1.0
CH 线宽增强因子 α_{CH}	3.6
SHB 线宽增强因子 α_{SHB}	0.1
CH 引起的增益压缩因子 $\epsilon_{\text{CH}}/W^{-1}$	4
SHB 引起的增益压缩因子 $\epsilon_{\text{SHB}}/W^{-1}$	6
载流子寿命 $\tau_s/10^{-10}$ s	1.6
谱烧孔弛豫时间 $\tau_2/10^{-13}$ s	1.0
载流子加热弛豫时间 $\tau_1/10^{-13}$ s	6.5
不包括两个耦合器的耦合比的所有损耗 ϵ_1	0.4
耦合器 1 的耦合比 k_1	0.5
导带中电子有效质量 $m_c/10^{-32}$ kg	4.10
价带中中空穴有效质量 $m_{\text{hh}}/10^{-31}$ kg	4.19
价带中轻空穴有效质量 $m_{\text{lh}}/10^{-32}$ kg	5.06
ASE 谱的起始波长 $\lambda_1/10^{-6}$ m	1.400
ASE 谱的结束波长 $\lambda_m/10^{-6}$ m	1.600
ASE 谱的分段数 m	20
SOA 的分段数 n	20

这种新型逻辑门是利用 SFRL 中同时发生的 FWM 效应和 XGM 效应实现的,因此输入信号光峰值功率是影响其逻辑输出特性的一个重要因素.图 3 和图 4 给出了输入信号光峰值功率分别为 1.5 dBm 和 15 dBm 时的输出激光光和输出转换光波形.从图 3(a)可以看出,当输入信号光峰值功率比较小时, S_1 和 S_2 中只有一个为“1”与两者都为“1”的激光光(即逻辑 NOR)输出功率不同,出现次极大,这与文献[9]中的实验结果一致.当次极大功率比较大时,会增大误码率,影响逻辑输出的质量.这主要是

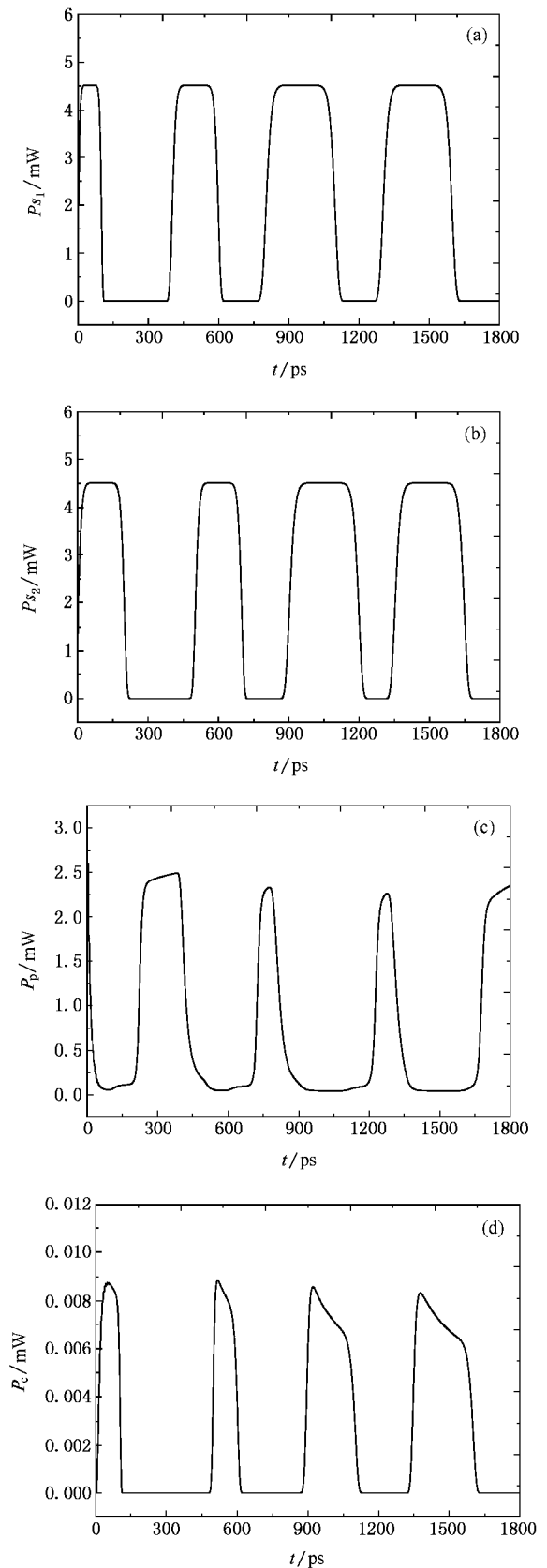


图 2 新型全光逻辑 AND 门和 NOR 门数值模拟结果 (a) 输入信号光 1 的波形 (b) 输入信号光 2 的波形 (c) 输出激光光的波形 (d) 输出转换光的波形

由于输入信号光为“1”时的功率不够大,当只有一个为“1”时,不足以使 SOA 达到深度增益饱和的缘故.同时,对比图 3(d)和 3(b),弱的输入信号光也使转换光 α (即逻辑 AND) 的输出弱很多.

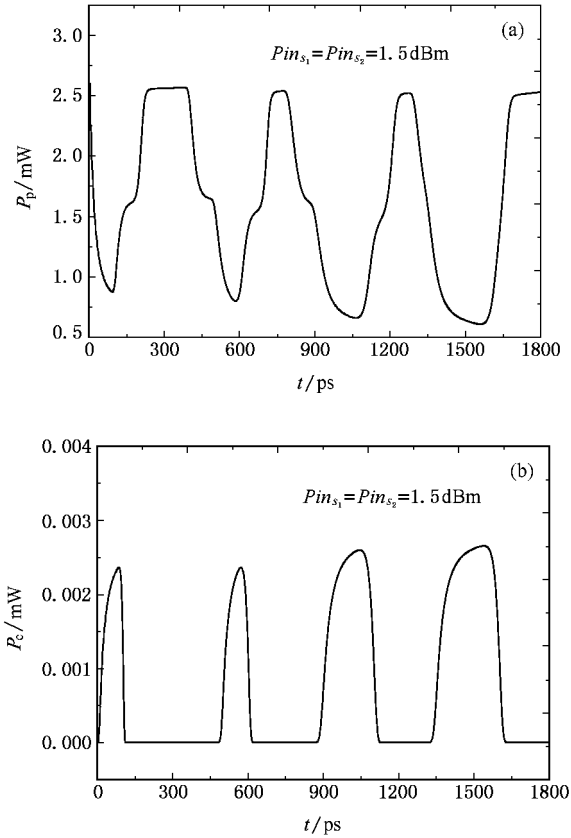


图 3 输入信号光峰值功率为 1.5 dBm 时 (a) 输出激光光的波形 (b) 输出转换光的波形

如果输入信号光太强,当 S_1 和 S_2 连续有一个或都为“1”时,其在 SOA 传输过程中不断被放大而消耗大量的载流子,将会导致增益下降较大.即使随后 S_1 和 S_2 都为“0”,但如果 S_1 和 S_2 都为“0”的持续时间很短,当下一个脉冲来时,载流子来不及恢复到原来的水平, P 的输出就比较小,则出现图 4(a) 中所示的情形.此时,由于脉冲序列的峰值功率相差太大,而不能实现有效的 NOR 逻辑功能.从图 4(b) 也可以看出,此时逻辑 AND 的输出质量也不好.

所以,要同时实现逻辑 AND 和 NOR 功能,两信号光的输入峰值功率有一个有效范围,不能太小,也不能太大.太小时,不仅逻辑 NOR 的输出质量差,而且逻辑 AND 的输出也比较小;太大时,不能实现有效的逻辑 NOR 和逻辑 AND 输出,同时太大的输入信号光功率也会损坏 SOA.

同样, SFRL 中两个耦合器的耦合比也对这种逻辑

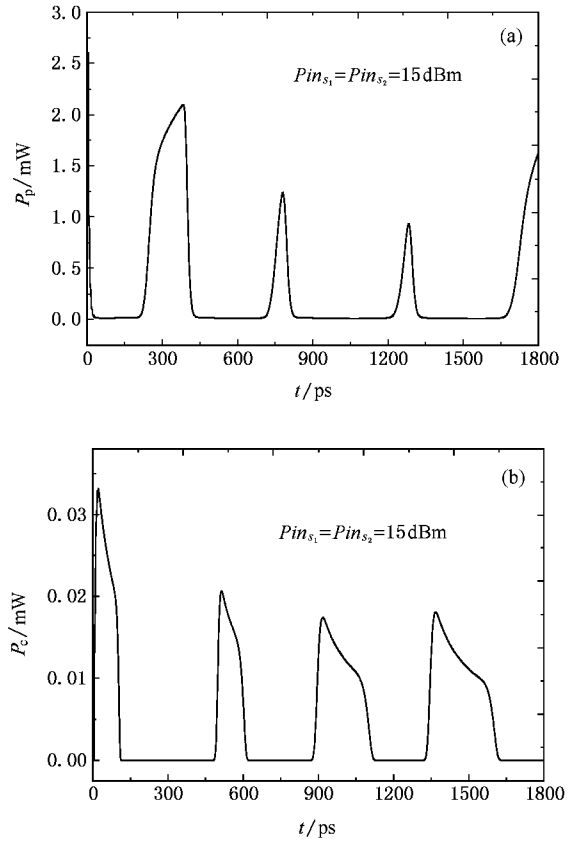


图 4 输入信号光峰值功率为 15 dBm 时 (a) 输出激光光的波形 (b) 输出转换光的波形

门的逻辑输出特性起着很重要的作用.图 5 和图 6 分别给出了耦合器 2 和耦合器 3 的耦合比 k_2 、 k_3 对逻辑 AND 和逻辑 NOR 输出的影响.

从图 5 中可以看出,随着耦合比 k_2 的增大,有效输入信号光峰值功率增大了. k_2 的增大,意味着在 SFRL 中环绕的激光光部分增大,输入到 SFRL 中的信号光减小了,由前面的分析可知,要想得到比较强的 FWM 效应和好的逻辑 NOR 输出,就需要增强输入信号光.随着 k_2 的增大, SFRL 腔中的耦合系数增大,损耗减小,使 SFRL 的输出激光光增强^[18].因此,如图 5(a) 所示,被调制后输出的激光光峰值功率随 k_2 的增大而增大.从图 5(b) 中可以看出,输出转换光峰值功率随 k_2 的增大而增大.这主要是由于 k_2 的增大,使有效输入信号光功率值增大,从而输入到 SOA 中信号光功率增大,增强了 FWM 效应的缘故.

如图 6 所示,随着 k_3 的增大,有效输入信号光峰值功率也增大了.而且 k_3 的增大,使输出激光光的功率减小,这同文献 18 中的实验结果符合.虽然

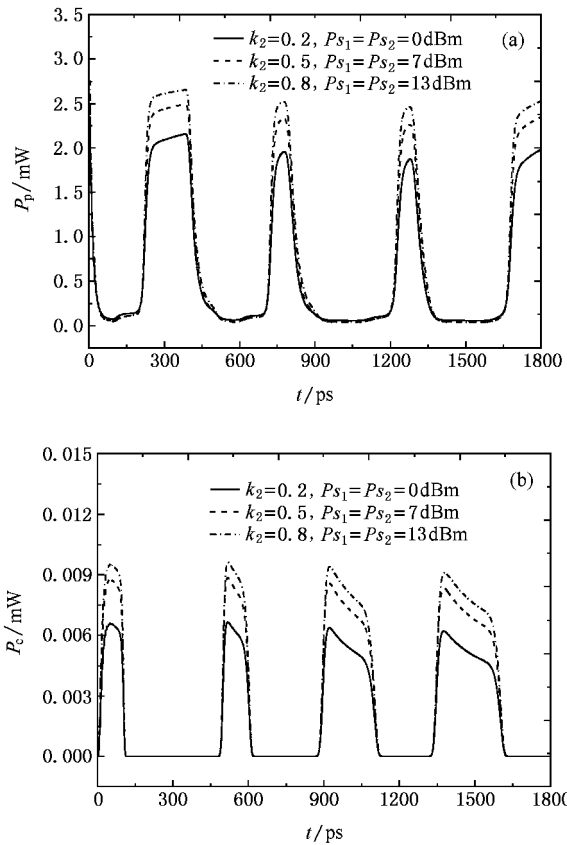


图 5 耦合器 2 的耦合比不同时 (a) 输出激光光的波形 (b) 输出转换光的波形

k_3 大时, 输入到 SOA 中的信号光功率增大, 使从 SOA 中输出的转换光功率增大, 但由于 k_3 越大, 则输出部分越少, 从而 SFRL 中输出的转换光功率变小. 当然, 如果 k_3 太小, 也会使激光光^[18]和转换光的输出减弱.

5. 结 论

提出了一种基于 SFRL 中同时发生的 FWM 效应和 XGM 效应同时实现全光 AND 和 NOR 功能的

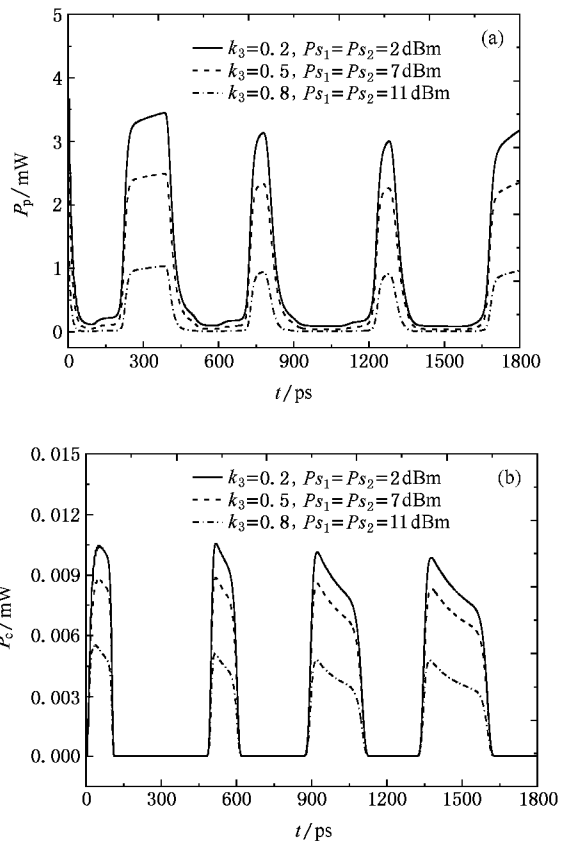


图 6 耦合器 3 的耦合比不同时 (a) 输出激光光的波形 (b) 输出转换光的波形

新型逻辑门方案; 建立了这种全光逻辑门完整的宽带理论模型, 并用数值模拟的办法, 研究了输入信号光功率和耦合器的耦合比对这种全光逻辑门输出特性的影响. 结果表明, 两信号光的输入峰值功率有一个有效范围, 在这个范围内, 可同时实现全光 AND 和 NOR 功能; 环形腔中耦合器 2 的耦合比 k_2 越大, 输出的激光光和转换光随之增强, 但使输入信号光的有效功率值提高, 随着耦合器 3 的耦合比 k_3 的减小, 输出的激光光和转换光随之增大, 并且输入信号光的有效功率值减小, 但也不能太小.

- [1] Nasset D, Tatham M C, Cotter D 1995 *Electronics Letters* **31** 896
 [2] Guo Q, Zhang X P, Hu W, Shou Q 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 1832 (in Chinese) [郭旗、张霞萍、胡巍、寿倩 2006 物理学报 **55** 1832]
 [3] Bogoni A, Poti L, Proietti R, Meloni G, Ponzini F, Ghelfi P 2005 *Electronics Letters* **41** 435

- [4] Mikroulis S, Simos H, Roditi E, Syvridis D 2005 *IEEE Photon Technology Letters* **17** 1878
 [5] Kim J H, Jhon Y M, Byun Y T, Lee S, Woo D H, Kim S H 2002 *IEEE Photonics Technology Letters* **14** 1436
 [6] Soto H, Diaz C A, Topomondzo J, Erasme D, Schares L, Guekos G 2002 *IEEE Photonics Technology Letters* **14** 498

- [7] 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]
- [8] Sharaiha A , Li H W , Marchese F ,Bihan J L 1997 *Electronics Letters* **33** 323
- [9] Zhao C , Zhang X L , Liu H R , Liu D M ,Huang D X 2005 *Optics Express* **13** 2793
- [10] Naruse M , Yoshida H , Miyazaki T , Kuboto F ,Ishikawa H 2005 *IEEE Photonics Technology Letters* **17** 1701
- [11] Ibrahim T A , Amarnath K , Kuo L C , Grover R , Van V ,Ho P T 2004 *Optics Letters* **29** 2779
- [12] Lin Q Y ,Yang S L 2002 *Optoelectronic Technology & Information* **15** 6 (in Chinese)[林其银、杨胜利 2002 光电子技术与信息 **15** 6]
- [13] Simos H , Bogris A , Syvridis D 2004 *Journal of Lightwave Technology* **22** 595
- [14] Mikkelsen B 1994 *Ph. D Thesis Denmark University of Technical* p163
- [15] Li P L , Zhang X L , Chen J , Huang L R ,Huang D X 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 1222 (in Chinese)[李培丽、张新亮、陈 俊、黄黎蓉、黄德修 2005 物理学报 **54** 1222]
- [16] Durhuus T , Mikkelsen B , Stubkjaer K E 1992 *Journal of Lightwave Technology* **10** 1056
- [17] Connelly M J 2001 *IEEE Journal of Quantum Electronics* **37** 439
- [18] Pan W , Zhang X X , Luo B , Liu H C ,Chen J G 2003 *Laser Technology* **27** 229 (in Chinese)[潘 伟、张晓霞、罗 斌、吕鸿昌、陈建国 2003 激光技术 **27** 229]

Novel all-optical AND and NOR gates based on semiconductor fiber ring laser^{*}

Li Pei-Li^{1,2)} Huang De-Xiu¹⁾ Zhang Xin-Liang¹⁾ Zhu Guang-Xi¹⁾

1) Wuhan National Laboratory for Optoelectronics , Huazhong University of Science and Technology , Wuhan 430074 ,China)

2) Department of Electronics and Information , Huazhong University of Science and Technology , Wuhan 430074 ,China)

(Received 27 April 2006 ; revised manuscript received 10 August 2006)

Abstract

A new scheme for all-optical AND gate and NOR gate based on simultaneous four-wave mixing (FWM) and cross-gain modulation (XGM) in a semiconductor fiber ring laser (SFRL) is proposed , and a comprehensive broad-band dynamic model of this kind of all-optical logic gates is presented . By numerical simulation , the effects of the input signal peak power and the coupling of the couplers in SFRL on the output performances of the logic gates are analyzed .

Keywords : semiconductor fiber ring laser , all-optical logic gate , four-wave mixing , cross-gain modulation

PACC : 4260D , 4265C , 4280S

^{*} Project supported by the State Key Development Program for Basic Research of China (Grant No. G2000036605) , the National High Technology Development Program of China (Grant No. 2002AA312160) , the “ Chen Guang ” Foundation of Wuhan , China (Grant No. 2003500201602) , and the Specialized Research Foundation for Post-doctoral Scientists of Huazhong University of Science and Technology , China .