

基于SOA-XPM的波长变换器研究*

邱 昆** 李中桂 张宏斌

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】研究了PTDS软件仿真平台上半导体光放大器交叉相位调制(SOA-XPM)波长变换器的变换特性,分析了运用波长转换器时输入信号光功率、输入探测光功率、偏置电流等对变换信号的消光比 E_x 、 Q 值及误码率BER的影响,并对该波长转换器的变换特性进行了研究,其研究结果对优化设计SOA-XPM波长变换器有一定的参考价值。

关键词 波长转换; 全光波长变换器; 半导体光放大器; 交叉相位调制; 光传输设计套件
中图分类号 TN913.24

随着全球通信业务迅速增长及业务种类的日趋多样,对信息传输速率与网络通信容量提出了更高的要求^[1]。波长变换器在未来宽带高速光通信网中具有重要作用,它可增加波长的重用性,克服交换节点处因波长争用所造成的网络阻塞问题^[2~5],因而增强了波长路由光网络的动态路由能力,对可用波长数有限、节点数较多的大型网状网络,其作用尤为明显。随着传输速率及容量的迅速提高,对波长变换器开发利用是目前的研究热点之一。

本文在PTDS(Photonic Transmission Design Suite)软件仿真平台上对半导体光放大器(SOA)交叉相位调制(XPM)的全光波长变换器的变换特性作了仿真实验研究,分析了输入信号光功率、输入探测光功率、偏置电流等因素对变换信号的消光比 E_x 、 Q 值及误码率BER的影响。

1 PTDS仿真研究

PTDS是VPI公司在Photonic Design Automation(PDA)光子自动化设计工具基础上开发而来,具有综合设计环境的光子传输设计套件。本文在PTDS平台上对SOA-XPM波长变换器作仿真实验研究,以为该类波长变换器的优化设计提供依据。

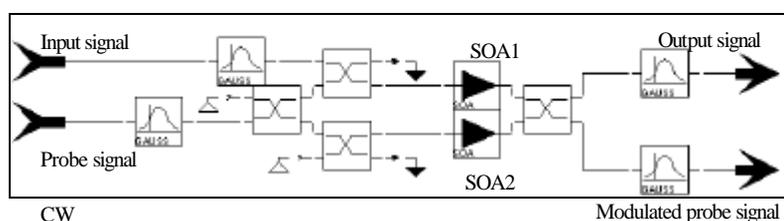


图1 同向输入式SOA-XPM波长变换器PTDS仿真实验图

根据泵浦光造成SOA中折射率变化的原理可制成SOA中交叉相位调制(XPM)的全光波长变换器。图1为实现波长变换的功能模块XPM的结构示意图,其结构为同向注入式Mach-Zehnder型双臂结构,SOA1和SOA2两个半导体光放大器分别放置于Mach-Zehnder干涉仪的两个臂上。波长为 I_1 的探测光(CW)被均等地耦合到干涉仪上的两个半导体光放大器中,而波长为 I_2 的信号光(或称泵浦光)从相同方向(也可以从反方向)通过一耦合器只耦合到其中一只放大器中,即SOA1中(也可以按不同

2001年11月7日收稿

* 教育部高等学校优秀青年教师科研奖励计划资助项目

** 男 37岁 教授 博士生导师

的比例同时耦合到两只光放大器中)。信号光“0”，“1”的变化，将引起该波导臂折射率随之变化。这样，探测光通过两波导臂时将经历不同的折射率作用，从而产生相应的相位差，通过器件的干涉特性即可将这种相位的调制作用转换为强度调制，将信号光所携带的信息转换到探测光波长载波上，实现信道波长变换。

本文通过对输出探测光的 E_x 、 Q 因子和误码率BER的测定来研究和分析SOA-XPM波长变换器的变换特性。

2 仿真实验结果与讨论

首先对图2~12中所用参数符号作介绍： I_1 和 I_2 为SOA1、SOA2的偏置电流， P_S 和 P_{CW} 为输入信号光和输入探测光的强度， f_s 、 f_{CW} 为输入信号光和输入探测光的频率。仿真实验所用参数如表1所示。

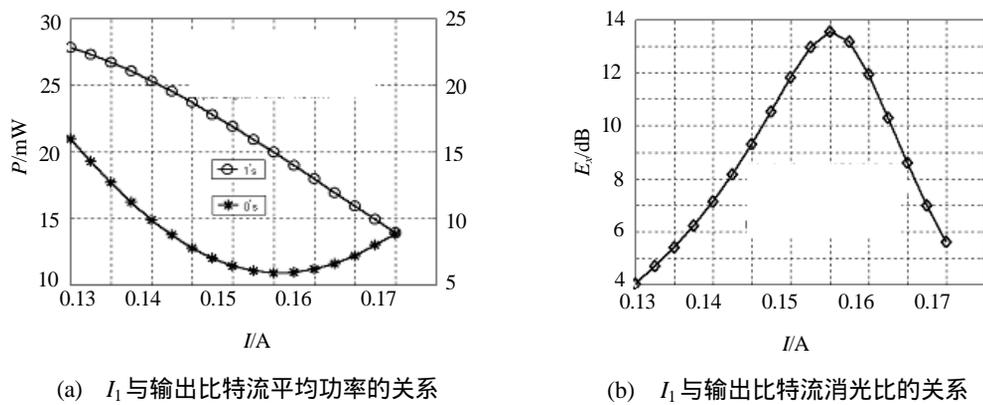


图 2 偏置电流 I_1 对输出比特流平均功率及消光比的影响关系

表1 SOA-XPM波长变换器参数

参数	P_{CW}	P_S	f_{CW}	f_S	比特率	I_1	I_2	放大器长度	放大器宽度
取值	1.0 mW	1.0 mW	193.3 THz	193.1 THz	2.5 Gb/s	0.155 A	0.155 A	5.0×10^{-4} m	3.0×10^{-6} m
参数	微分增益	复合系数A	复合系数B	复合系数C	初始载流子浓度	放大器高度	光限制因子		
取值	$2.78 \times 10^{-20} m^2$	$1.43 \times 10^8 mol/s$	1.0×10^{-16}	$3.0 \times 10^{-41} m^6/s$	$3.0 \times 10^{24} mol/m^3$	8.0×10^{-8} m	0.15		

在SOA2的注入电流为0.15 A，探测光频率为193.3 THz，输入信号频率为193.1 THz，探测光功率为1 mW，输入信号功率也为1 mW情况下，图2a为SOA1的偏置电流 I_1 对输出“1”码和“0”码光功率的影响情况，图2b为 I_1 对输出调制探测光消光比的影响关系。图2a说明随着偏置电流 I_1 的逐渐增大，输出“1”码的平均功率不断下降，而对“0”码的平均功率的影响为非单调变化。当 I_1 从一很小值开始增大时，“0”码的平均功率不断下降，当 I_1 增大到一定值后(如0.155 A)，“0”码的平均功率开始增加，这会造成消光比的下降，图2b所示结果说明了这点。比较图2a和图2b可知，在 I_1 从0.130~0.155 A的变化过程中，虽然“1”和“0”码的平均功率都在下降，但“0”的下降幅度要小于“1”的幅度，故消光比呈增大趋势。一般地讲，增大 I_1 会削弱输出调制探测光的强度，但适当增大 I_1 有利于提高调制探测光的消光比。

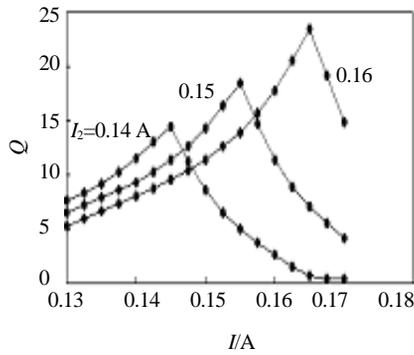
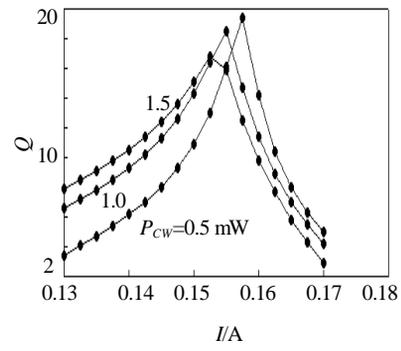
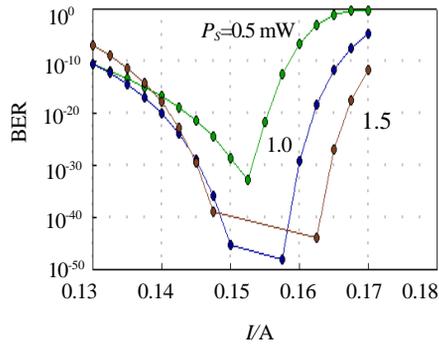
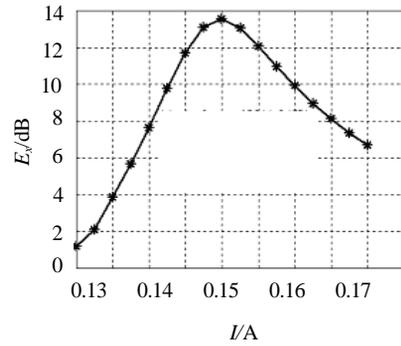
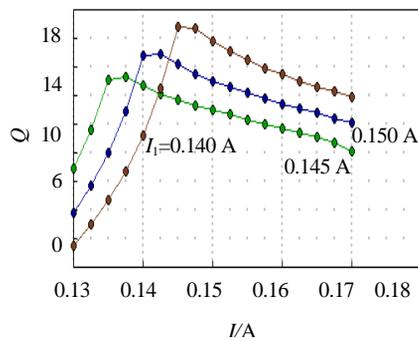
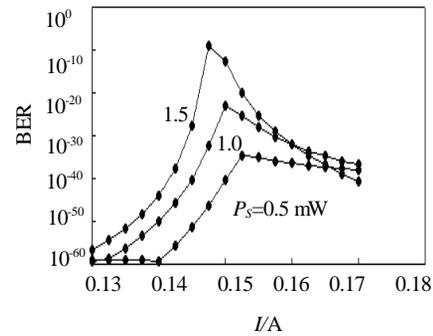
图3 不同 I_2 条件下, I_1 对调制探测光 Q 值的影响图4 不同 P_{CW} 条件下, I_1 对调制探测光 Q 值的影响图5 不同 P_S 条件下, I_1 对调制探测光 BER 的影响图6 I_2 对输出消光比的影响图7 不同 I_1 条件下, I_2 对调制探测光 Q 值的影响图8 不同 P_S 条件下, I_2 对调制探测光 BER 的影响

图3为不同 I_2 条件下, I_1 对调制探测光 Q 值的影响。从图示结果看出, Q 先随 I_1 的增大而增大, 当增大到最大值开始下降。需要指出的是这种变化的转折点所对应的电流 I_1 因 I_2 值的不同而不同, I_2 越大, 转折点对应的 I_1 值就越大, 经过观测可进一步发现, 在其他条件给定情况下, 转折点对应的 I_1 电流值总比 I_2 值大一等间隔值, 间隔值为0.005 A。

图4和图5分别为不同 P_{CW} 、 P_S 条件下, I_1 对调制探测光 Q 值和BER的影响, 其结果与图3规律相似, 只是转折点所对应的 I_1 电流值不一样。从图4可以看出, 当 P_{CW} 分别为0.5 mW、1.0 mW和1.5 mW时, 对应的转折点 I_1 值分别为0.157 5 A、0.155 0 A和0.152 5 A, 说明转折点 I_1 值随 P_{CW} 的增大而减小。同样从图5可知, 当 P_S 为0.5 mW、1.0 mW和1.5 mW时, 对应的转折点 I_1 值分别为0.152 5 A、0.155 0 A和0.157 5 A, 说明转折点 I_1 值随 P_S 的增大而增大, 此情况刚好与前者相反。

综上所述, SOA1的偏置电流 I_1 对调制探测信号的消光比 E_x 、 Q 值和BER等性能参数有较大的影

响, I_1 太大或太小都会削弱调制探测光的信号质量, 所以应对 I_1 作适中选择, 同时还应注意到 I_1 的优化值与其他参数有密切关系, 因而应结合其他参数的变化按上述仿真规律作相应的调整。

图6给出了在SOA1注入电流为0.155 A, 探测光频率为193.3 THz, 输入信号光频率为193.1 THz, 探测信号功率为1 mW, 输入信号功率也为1 mW的情况下, SOA2的偏置电流 I_2 对输出信号的消光比的影响情况。由图可见, 当 I_2 大于0.15 A后, 消光比呈下降趋势。图7为不同 I_1 条件下, I_2 对调制探测光 Q 值的影响, 与图3所示的 I_1 影响规律相似。图8给出不同 P_S 值下, I_2 对调制探测光BER的影响情况。与图5相似, 只是较小的 P_S 值对应的转折点电流 I_2 较大, 这与图5的结果相反。图9为在不同 P_{CW} 条件下, I_2 对调制探测光 Q 值的影响关系, 与图4相似, 不同的是 P_{CW} 越大, 转折点对应的 I_2 越大, 在这一点上同样与图4所示的情况刚好相反。

图10为SOA1的注入电流为0.155 A, SOA2的注入电流为0.15 A, 探测信号频率为193.3 THz, 输入信号频率为193.1 THz的情况下, 输入信号光强度 P_S 对输出比特流平均功率的影响关系。图10表明, 输出比特流“1”和“0”的平均功率均随 P_S 增大而增大, 但增长的速率大不一样。在 P_S 较小范围, $P_S < 0.5$ mW, “1”的平均功率增长率大于“0”比特流的平均功率增长速率, 因而消光比增大; 当

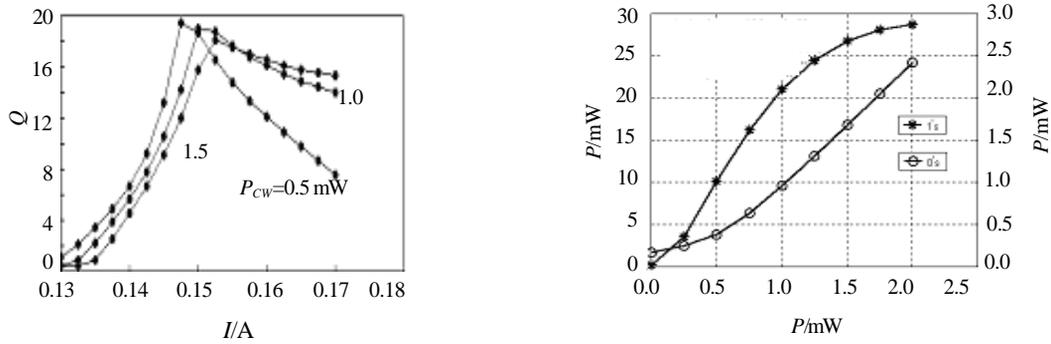


图 9 不同 P_{CW} 条件下, I_2 对调制探测光 Q 值的影响 图 10 输入信号光强度 P_S 对输出比特流平均功率的影响

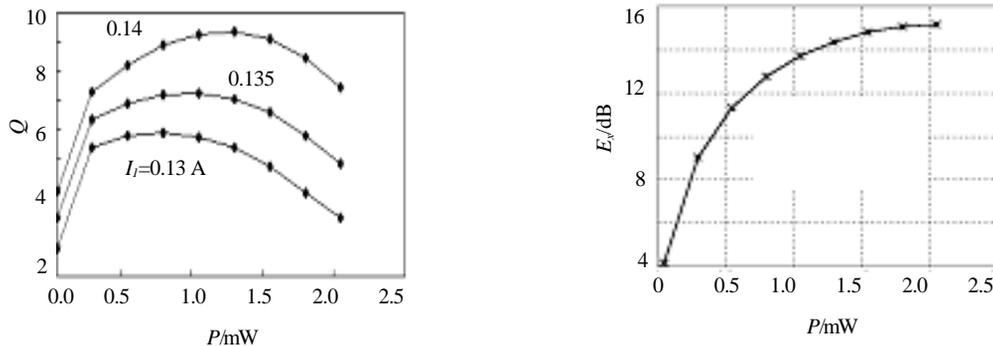


图 11 不同 I_1 条件下, P_S 对调制探测光 Q 值的影响 图 12 输入探测光强度对输出流消光比的影响

P_S 增大到一定值并继续增大时 (> 0.5 mW), “0” 比特流平均功率的增长速率大于 “1” 比特流的增长速率, 此后消光比开始不断下降。

图11为几个不同 I_1 条件下, P_S 对调制探测光 Q 值的影响关系。由图可见, 输入信号功率太强或太弱都会削弱调制探测光的 Q 值, 使误码率恶化。另外, P_S 取值的动态范围与 I_1 、 I_2 等参数的取值有关, 一般地讲, P_S 的优化取值范围大约在0.25~1.50 mW之间。图12给出了SOA1和SOA2的注入电流分别为0.155 A和0.150 A, 探测信号频率为193.3 THz, 输入信号频率为193.1 THz, 输入信号功率为1 mW时, 输入探测光强度 P_{CW} 对消光比的影响关系, 表明增大输入探测光的强度有益于增大消光比, 当 P_{CW} 足够大时, 消光比的增加趋于平缓, 从图可以看出增大 P_{CW} 有利于提高输出信号的质量。

基于SOA-XPM的半导体波长变换器有较高的输出消光比, 仿真结果接近15 dB, 远大于基于SOA-XGM的半导体波长变换器(几个dB的消光比), 有较好的波长变换性能, 因而是目前相对看好, 研究较多的一类波长变换器。

3 结束语

本文对SOA-XPM的波长变换器作了大量PTDS仿真实验研究, 分析了各变换特性曲线, 为优化设置该类波长变换器参数提供了指导依据。研究表明, 增大 I_1 会削弱输出调制探测光的强度, 但适当增大 I_1 有利于提高调制探测光的消光比; I_2 的增大有利于增大输出调制探测光的强度, 但 I_2 太大会削弱输出比特流的消光比; I_1 和 I_2 的取值彼此间有优化匹配问题, 仿真结果表明, I_2 比 I_1 小适当值可使变换性能达到最优化; 增大输入信号光强度 P_S 有利于提高输出探测光的强度, 但要取得好的调制探测光性能, 需对 P_S 的值作适中选择, P_S 的优化取值范围大约在0.25~1.50 mW之间; 增大 P_{CW} 有利提高输出信号的质量, 但 P_{CW} 太大会削弱输出比特流的强度, P_{CW} 的合理取值范围在0.25~2.00 mW之间; SOA-XPM的半导体波长变换器有很高的输出信号消光比, 仿真结果接近15 dB。

参 考 文 献

- 1 张宏斌, 邱 昆, 周 东. 波分复用光纤通信技术. 电子科技大学学报, 2000, 29(4): 334-341
- 2 李乐民. WDM网上运行IP的研究. 电子科技大学学报, 2000, 29(4): 331-336
- 3 Yoo S J B. Wavelength conversion technologies for WDM network applications. Lightwave Tech., 1996, 14(6): 955-966
- 4 Subramaniam S. All-optical networks with sparse wavelength conversion. IEEE/ACM Trans. Networking, 1996, 4(4): 544-557
- 5 Barry R A, Humblet P A. Models of blocking probability in all-optical networks with and without wavelength changers. IEEE JSAC/Lightwave Tech., 1996, 14(5): 858-867

Investigation on Characteristics of All-optical Wavelength Converter Based on SOA-XPM

Qiu Kun Li Zhonggui Zhang Hongbin

(Inst of Telecommunication and Information Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The characteristics of all-optical wavelength converter based on SOA-XPM are investigated on PTDS (Photonic Transmission Design Suite) simulator. Through extensive numerical simulation, the effects of the operational parameters when using such kind of wavelength converters, such as the signal average power, probe average power and injection current on the performance indexes of the modulated probe signal such as Q value, extinction ratio and BER are emulated and analyzed thoroughly. And the performance of the wavelength converter is studied. Some results, which are useful to the optimal design of the wavelength converter based on SOA-XPM, are obtained.

Key words wavelength conversion; all-optical wavelength converter; semiconductor optical amplifier; cross-phase modulation; photonic transmission design suite