

# 基于半导体光放大器交叉偏振调制效应实现正、反相波长变换\*

周云峰 张君毅 伍 剑 林金桐

(北京邮电大学 55 号信箱, 光通信与光波技术教育部重点实验室, 北京 100876)

**摘 要** 利用琼斯矩阵, 对基于半导体光放大器中的交叉偏振调制效应实现全光波长变换进行了理论分析. 结果表明, 利用这种机制可以实现同相与反相波长变换. 在实验上同时实现了 10 Gb/s 归零信号的正相与反相波长变换, 输出消光比分别达到了 6.9 dB 和 8.1 dB.

**关键词** 光纤通信; 全光波长变换; 半导体光放大器; 交叉偏振调制效应

**中图分类号** TN929.1      **文献标识码** A

## 0 引言

全光波长变换器是未来全光通信网络中的关键器件. 利用全光波长变换器, 可以实现波长的本地动态分配, 从而既充分利用了网络资源, 解决了光网络中的冲突问题, 同时又优化了网络管理<sup>[1]</sup>. 半导体光放大器由于具有非线性系数高、尺寸小、功耗低和易于集成等许多优势, 是目前实现全光波长变换功能的最具应用前景的器件. 用于实现全光波长变换的半导体光放大器的非线性效应主要有交叉增益调制效应、交叉相位调制效应以及四波混频<sup>[2~4]</sup>. 交叉增益调制和交叉相位调制依赖于半导体光放大器中带间载流子密度的动态变化, 而四波混频则起源于半导体光放大器中的带内动态效应<sup>[5]</sup>.

交叉偏振调制是半导体光放大器中的另一种非线性效应<sup>[6]</sup>, 已引起了研究者广泛的兴趣. 目前, 大多数商用的半导体光放大器都具有较好的偏振无关性, 但实际上, 由于半导体光放大器波导结构的不对称性, 其本身仍或多或少地存在双折射. 而 TE-TM 模之间较小的折射率的差异就能够引起两种模式之间的较大的相对相移, 所以当光波经过半导体光放大器后, 其偏振态就会发生旋转. 另外, 在抽运光/探测光应用中, 抽运光会引进额外的双折射, 从而调制探测光的偏振态. 这就是交叉偏振调制效应.

由于交叉偏振调制效应导致光的偏振态发生变化, 一方面会给半导体光放大器的某些应用带来不利影响, 如降低四波混频波长转换的转换效率<sup>[7]</sup>, 削弱交叉相位调制型干涉器件的干涉效果<sup>[6]</sup>; 但另一方面, 也可以利用它来实现光逻辑<sup>[8]</sup>、光解复用<sup>[9]</sup>以及波长变换<sup>[10]</sup>等. 因此, 对此进行研究有着重要的意义.

本文从理论和实验两个方面对基于半导体光放大器交叉偏振调制效应的波长转换技术进行了研究. 首次利用琼斯矩阵, 对此类型的全光波长转换器的传输特性进行了理论分析, 并在实验上首次同时实现了 10 Gb/s 归零信号的正相与反相波长变换, 输出消光比分别达到了 6.9 dB 和 8.1 dB.

## 1 工作原理

基于半导体光放大器的交叉偏振调制效应实现全光波长变换的原理结构见图 1<sup>[7]</sup>. 抽运光和探测光分别经过偏振控制器 PC<sub>1</sub> 和 PC<sub>2</sub> 耦合进入半导体光放大器, 带通滤波器将输出的抽运光滤除, 探测光则经偏振控制器 PC<sub>3</sub> 以及检偏器输出. 调节检偏器的透光方向, 就可以有选择地实现同相或者反相波长变换.

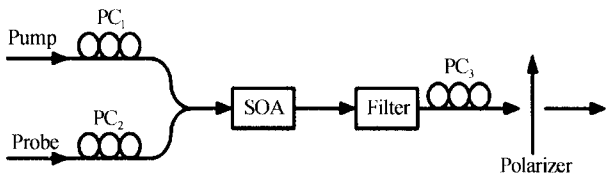


图 1 交叉偏振调制波长转换原理结构图  
Fig. 1 Schematic diagram of wavelength conversion based on cross polarization modulation in SOA

将入射光场分解为 TE 模和 TM 模两个分量( $x$  方向和  $y$  方向), 此波长转换器的特性可以用如下琼斯矩阵  $J$  完整描述.

$$\begin{bmatrix} E_x^{\text{out}} \\ E_y^{\text{out}} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} E_x^{\text{in}} \\ E_y^{\text{in}} \end{bmatrix},$$
$$J = J_1 \cdot J_2 = \begin{bmatrix} \cos^2 \theta & \frac{1}{2} \sin 2\theta \\ \frac{1}{2} \sin 2\theta & \sin^2 \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} G^{\text{TE}} e^{j\phi_{\text{TE-TM}}} & 0 \\ 0 & G^{\text{TM}} \end{bmatrix} =$$
$$\begin{bmatrix} G^{\text{TE}} e^{j\phi_{\text{TE-TM}}} \cos^2 \theta & \frac{1}{2} G^{\text{TM}} \sin 2\theta \\ \frac{1}{2} G^{\text{TE}} e^{j\phi_{\text{TE-TM}}} \sin 2\theta & G^{\text{TM}} \sin^2 \theta \end{bmatrix}$$

\* 国家自然科学基金(No. 90401025)资助项目  
Tel: 010-62282332      Email: zhangjy@cqupt.edu.cn  
收稿日期: 2005-03-09

式中,  $J_1$  和  $J_2$  分别是检偏器和半导体光放大器的传输矩阵.  $\theta$  是检偏器的透过方向与半导体光放大器 TE( $x$ ) 方向的夹角,  $G^{\text{TE/TM}}$  和  $\phi_{\text{TE-TM}}$  分别是探测光两个分量得到的半导体光放大器的增益以及相移之差.

假设  $E_x^{\text{in}} = E_y^{\text{in}}$ . 如果  $\theta = \frac{1}{4}\pi$ , 可以看出, 没有抽运光时, 即  $\phi_{\text{TE-TM}} \approx 0$ , 输出为 0, 输出端没有信号; 若抽运光使  $\phi_{\text{TE-TM}} \approx \pi$ , 那么输出端就会有信号输出. 即实现了同相波长变换. 同样, 如果  $\theta = -\frac{1}{4}\pi$ , 则可以实现反相波长变换.

## 2 实验研究

实验装置见图 2. 可调谐激光源产生的连续光经偏振控制器  $\text{PC}_1$  和隔离器进入半导体光放大器,

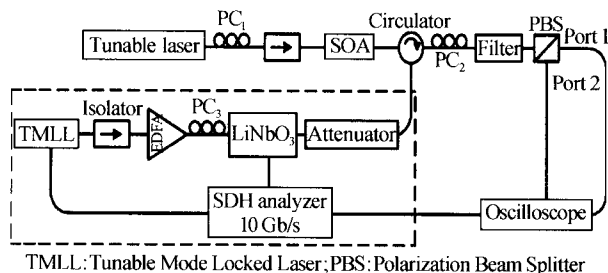


图 2 实验装置图  
Fig. 2 Experimental setup

用作探测光, 其波长为 1549.60 nm. 抽运信号光由图中虚框部分产生, 10 Gb/s 归零信号, 波长为 1545.17 nm, 经环形器反向通过半导体光放大器. 变换后的探测光信号经环形器、偏振控制器  $\text{PC}_2$  和滤波器, 由偏振分束器的两个输出端口输出.

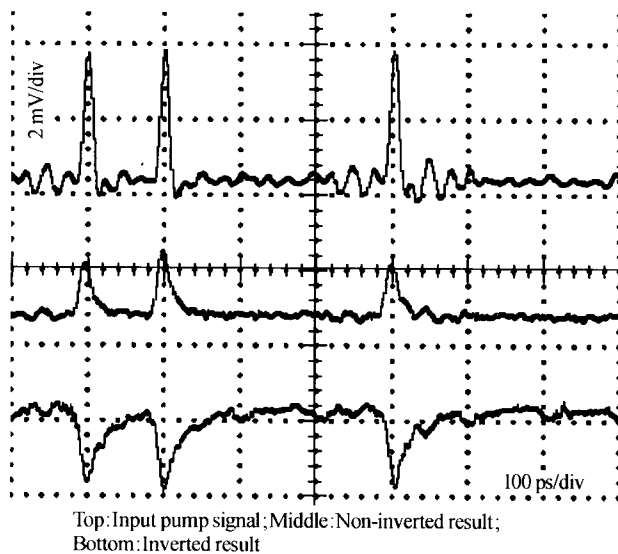


图 3 10 Gb/s 归零信号的波长转换结果  
Fig. 3 Wavelength conversion results of 10 Gb/s RZ signal

实验中, 输入连续探测光的偏振方向与半导体光放大器的  $x$ 、 $y$  方向的夹角大约为  $45^\circ$ <sup>[11]</sup>. 另外, 为同时实现正相与反相波长变换, 在没有抽运信号输入时, 通过调节偏振控制器  $\text{PC}_2$ , 使偏振分束器的一个端口的输出功率为最小.

图 3 给出了 10 Gb/s 归零信号的波长转换结果. 实验中, 输入半导体光放大器的探测光功率为 -5 dBm, 抽运光的功率为 2 dBm. 转换后的输出消光比分别为 6.9 dB (反相) 和 8.1 dB (同相).

## 3 讨论

实验研究发现, 增大抽运光的输入功率可以提高转换后信号的消光比, 但另一方面, 由于半导体光放大器交叉增益调制效应的影响, 输出的脉冲宽度也会同时相应变宽. 因此, 在实际应用中, 应根据需要适当地调整参量. 利用此方案实现波长变换的速率可以达到几十个 Gbit/s.

### 参考文献

- Wiesenfeld J M, Glance B, Gnauck A H, et al. Wavelength conversion techniques for optical networks. *Proceeding of European Conference on Optical Communication*, 1998, **1**: 655~656
- 张宏斌, 邱昆, 李中桂. 基于半导体光放大器交叉增益调制 (SOA-XGM) 波长变换器仿真研究. *光子学报*, 2002, **31** (3): 337~344
- Zhang H B, Qiu K, Li Z G. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31** (3): 337~344
- 董建绩, 张新亮, 黄德修. 基于单端耦合 SOA 的波长转换器啁啾特性分析. *光子学报*, 2005, **34** (2): 255~258
- Dong J J, Zhang X L, Huang D X. *Acta Photonica Sinica*, 2005, **34** (2): 255~258
- 迟楠, 齐江, 郑远, 等. 超宽带可调谐 SOA 四波混频波长转换器的实验研究. *光子学报*, 2000, **29** (7): 654~658
- Chi N, Qi J, Zheng Y, et al. *Acta Photonica Sinica*, 2000, **29** (7): 654~658
- Durhuus T, Mikkelsen B, Joergensen C, et al. All-optical wavelength conversion by semiconductor optical amplifiers. *Journal of Lightwave Technology*, 1996, **14** (6): 942~954
- Soto H, Erasme D, Guekos G. Cross-polarization modulation in semiconductor optical amplifiers. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1999, **11** (8): 970~972
- Diez S, Schmidt C, Ludwig D, et al. Effect of birefringence in a bulk semiconductor optical amplifier on four-wave mixing. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1998, **10** (2): 212~214
- Soto H, Erasme D, Guekos G. 5 Gb/s XOR optical gate

- based on cross-polarization modulation in semiconductor optical amplifiers. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2001, **13**(4):335~337
- 9 Patrick D M, Ellis A D, Davies D A O, *et al.* Demultiplexing using polarization rotation in a semiconductor laser amplifier. *IEEE Electronics Letters*, 1994, **30**(4):341~342
- 10 Stephens M F C, Asghari M, Penty R V, *et al.* Demonstration of ultrafast all-optical wavelength conversion utilizing birefringence in semiconductor optical amplifiers. *IEEE Photonics Technology Letters*, 1997, **9**(4):449~451
- 11 Doreen H J S, Lenstra D, Liu Y, *et al.* Nonlinear polarization rotation in semiconductor optical amplifiers: theory and application to flip-flop memories. *IEEE Journal of Quantum Electronics*, 2003, **39**(1):141~148

## Simultaneous Inverted and Non-inverted Wavelength Conversion Based on Cross Polarization Modulation in Semiconductor Optical Amplifier

Zhou Yunfeng, Zhang Junyi, Wu Jian, Lin Jintong

P.O. Box 55, Key Laboratory of Optical Communication & Lightwave Technologies, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876

Received date: 2005-03-09

**Abstract** Based on cross polarization modulation effect in semiconductor optical amplifier (SOA), wavelength conversion was analyzed theoretically. Which shows that wavelength conversion can be realized. Both inverted and non-inverted wavelength conversions of 10 Gb/s RZ signal were experimentally achieved simultaneously for the first time, with 8.1 dB and 6.9 dB output extinction ratio respectively.

**Keywords** Optical communication; All-optical wavelength conversion; Semiconductor Optical Amplifier (SOA); Cross polarization modulation



**Zhou Yunfeng** was born in 1973 in Henan Province. He received his B.S. degree in East China University of Science & Technology (ECUST), Shanghai, China, in 1995. Currently he is a Ph. D candidate of Beijing University of Posts & Telecommunications (BUPT). At present, he is working on all-optical signal processing and all-optical wavelength conversion based on Semiconductor Optical Amplifier (SOA) in optical communication systems.