

# 增益调制型波长转换器消光比均衡的研究\*

叶亚斌 郑小平 张汉一 费运思 陈雯路 郭奕理

(清华大学电子工程系 北京 100084)

**提要** 利用半导体光放大器(SOA)中交叉增益调制(XGM)效应成功地实现了 622 Mb/s 和 2.5 Gb/s 信号的波长转换。对波长上/下转换性能的研究表明,使用增益峰值波长比信号波长长的 SOA 可以有效地实现上/下转换效率和消光比均衡,从而使这种类型的波长转换器在波分复用器(WDM)全光网中获得更大的应用。

**关键词** 半导体光放大器,交叉增益调制,波长转换

波长转换器是波分复用器(WDM)全光网中的关键器件<sup>[1,2]</sup>。它可以降低光交叉互连(OXC)节点的阻塞率,避免波长路径间的碰撞,实现波长的分区重用,提高波长路由的效率,简化网络的结构及其管理,可调谐波长转换器加上固定输出滤波器阵列可实现有效的光空间交换。

全光波长转换有多种方法可以实现。例如,利用半导体光放大器(SOA)中的交叉增益调制(XGM)效应或者交叉相位调制(XPM)效应<sup>[3]</sup>,半导体光放大器<sup>[4]</sup>或光纤<sup>[5]</sup>中的四波混频效应(FWM),有饱和吸收区的双稳激光器,注入锁定的激光器,DBR 激光器中的频率或强度调制效应<sup>[6]</sup>,另外还有利用 LiNbO<sub>3</sub> 波导中的相位匹配进行波长转换<sup>[7]</sup>。

目前,利用 SOA 中的 XGM 效应进行波长转换的研究受到重视<sup>[1,3,8]</sup>。这种波长转换器的特点是转换效率高、工作速率高、波长转换范围宽、信号输出功率大、体积小并易于集成。但是它有两个明显的缺点。一个缺点是引入了一定的噪声和啁啾<sup>[3]</sup>,这可以通过加滤波器来改善。另一个缺点是上转换(信号光的波长比直流光的波长短)比下转换(信号光的波长比直流光的波长长)的转换性能差,如果一个 OXC 节点中有多个 XGM 型波长转换器,那么上转换和下转换的波长转换器的输出信号幅度就会相差很大,相应地就会增加网络中功率均衡的压力,而且不利于级联,制约了这种波长转换器的应用。为克服这个缺点,本文提出使用增益峰值波长比信号光波长长的 SOA 可以有效地实现上/下转换的消光比均衡,实验完成了 622 Mb/s 和 2.5 Gb/s 信号的波长转换并验证了这一点。

## 1 原 理

SOA 中利用 XGM 效应进行波长转换时信号光  $\lambda_1$  和直流光  $\lambda_2$  的输入和输出的关系为<sup>[8]</sup>

\* 国家自然科学基金、863 计划项目及清华大学青年科学基金资助项目。

收稿日期: 1998-11-23; 收到修改稿日期: 1998-12-28

$$\left[ \left[ \frac{G_1}{\bar{G}_1} \right]^{1/\beta} \bar{G}_2 - 1 \right] = \frac{1}{\beta x_{10}} \left[ \ln \left[ \frac{\bar{G}_1}{G_1} \right] - x_{10}(G_1 - 1) \right] \quad (1)$$

$$\left[ \left[ \frac{G_2}{\bar{G}_2} \right]^\beta \bar{G}_1 - 1 \right] = \frac{\beta}{x_{10}} \left[ \ln \left[ \frac{\bar{G}_2}{G_2} \right] - x_{20}(G_2 - 1) \right] \quad (2)$$

其中  $G_i$  为波长  $\lambda_i$  的饱和增益,  $\bar{G}_i$  为单个波长通过时的未饱和增益,  $\beta = A_{g1}/A_{g2}$  为波长  $\lambda_1$  和  $\lambda_2$  处的微分增益的比,  $x_{i0}$  为输入光强。信号光的输入可以表示为  $x_{10} = \{x_{10}^{on}; x_{10}^{off}\}$ ,  $x_{10}^{on}$  是信号光为

“1”时的功率,  $x_{10}^{off}$  是信号光为“0”时的功率。 $x_{10}$  调制了载流子密度并因而调制了直流光的增益, 输出信号的消光比可表示为  $ER_{out} = G_2^{on}/G_2^{off}$ , 其中  $G_2^{on} = G_2(x_{10}^{off})$  是当信号光为“0”时直流光所获得的增益,  $G_2^{off} = G_2(x_{10}^{on})$  是当信号光为“1”时直流光所获得的增益。图 1 是在不同信号光波长的情况下上/下转换的消光比( $ER_{out}$ ) 计算机模拟结果。

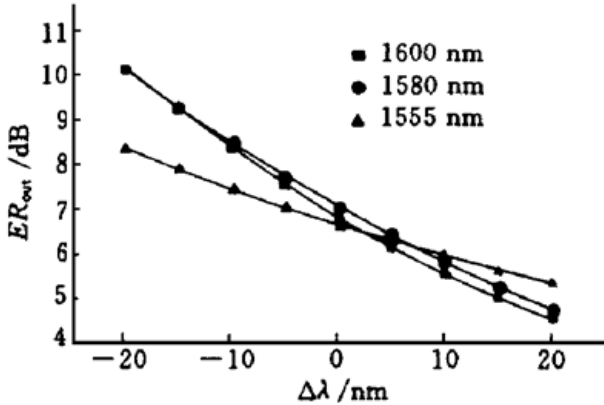


图 1 信号光波长不同时上/下转换的消光比 (SOA 的增益峰值波长为 1580 nm)

Fig. 1 Output extinction ratio as a function of wavelength shift under different signal wavelength (the gain peak wavelength of SOA is 1580 nm)

计算中输入信号光的消光比取为 10 dB, SOA 增益的峰值波长为 1580 nm。对三种不同的信号光 1600 nm, 1580 nm, 1555 nm 的模拟计算结果表明, 信号光的波长大于或等于 SOA 的峰值增益波长时, 虽然在下转换时可获得较高的消光比, 但是上转换的消光比很差。而当信号光的波长小于 SOA 的峰值增益波长时, 虽然下转换的消光比降低了,

但可以看出在整个上/下转换范围内曲线明显平坦了, 上/下转换消光比的差异由信号光为 1580 nm 时的 6 dB 下降到 3 dB。这说明选择峰值增益波长比信号光波长长的 SOA, 在合适的条件下可以实现上/下波长转换消光比的均衡。

## 2 实验研究

图 2 是利用 SOA 中 XGM 效应进行波长转换的实验系统。其中 SOA 的峰值增益波长为 1580 nm, 偏置电流为 120 mA 时小信号增益为 10 dB。信号光波长  $\lambda_s = 1555.508$  nm, 注入进 SOA 中的功率为 1.1 dBm。直流光 ( $\lambda_c$ ) 是由可调谐外腔半导体激光器(ECL)产生的, 实验中波长调谐范围为 1540~ 1570 nm, 注入进 SOA 中的功率为 -2.5 dBm。偏振控制器(P.C.)调

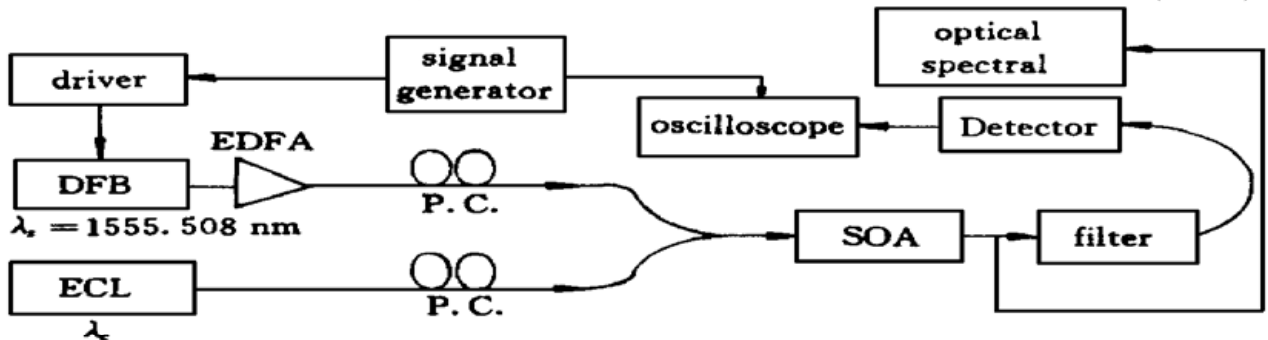


图 2 实验系统示意图

Fig. 2 The diagram of experimental setup

整信号光和直流光的偏振方向,使得这两束光的偏振方向和 SOA 的 TE 模方向一致,以获得最大的增益。SOA 的输出光用一个可调谐滤波器滤出  $\lambda_c$ , 即得到转换后的信号光,经探测器变成电信号输出到示波器上和调制信号进行比较。

实验中对 622 Mb/s 和 2.5 Gb/s 的信号进行了波长转换研究,结果分别如图 3 (a), (b) 所示。图中下面的波形是输入信号光的波形,上面的波形是经过转换后的  $\lambda_c$  的波形,可以看出信号光和转换后的光是反相的,这说明实现了波长转换。

图 4 是所测得的上/下转换的消光比,从中可以看出实验波长转换的范围为 1540~ 1570 nm, 由于信号光的波长为 1555.5 nm, 因此上/下转换的波长范围都约为 15 nm。再从所测试的消光比可以看出,虽然下转换仍然比上转换的消光比高,但是消光比相差不大,只有 1~ 2 dB。

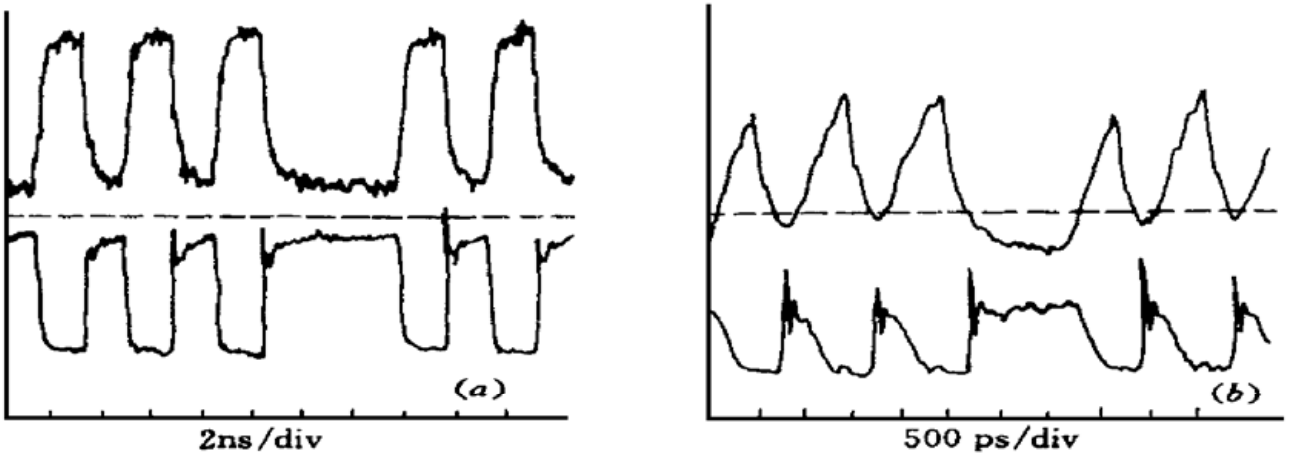


图 3 信号转换波形

Fig. 3 Waveforms of signal wavelength conversion

(a) 622 Mb/s; (b) 2.5 Gb/s

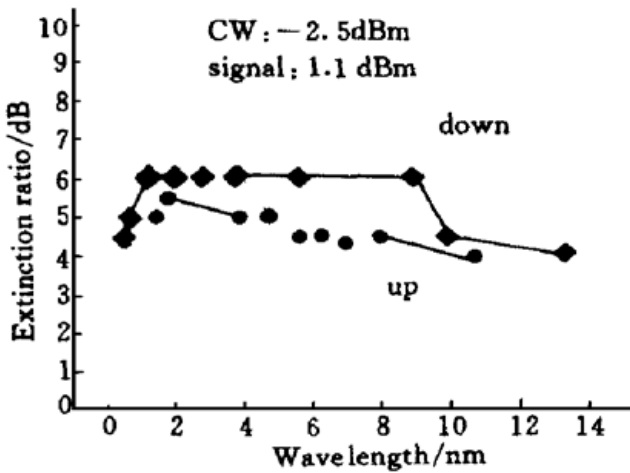


图 4 上/下波长转换的消光比

Fig. 4 Extinction ratio of up/down wavelength conversion

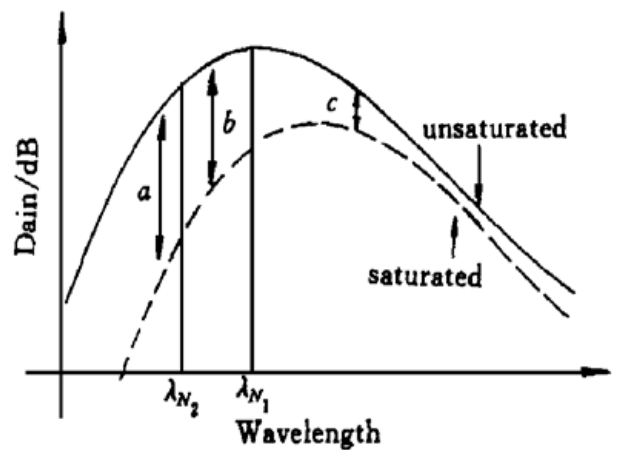


图 5 增益饱和效应引起增益峰值波长红移

Fig. 5 Gain peak wavelength red-shift by gain saturated effect

### 3 讨 论

上述实验结果可以从图 5<sup>[9]</sup>形象地得到物理解释。图中实线是信号光为  $x_{10}^{off}$  时的增益曲线,虚线是信号光为  $x_{10}^{on}$  时的增益曲线,可以看到在注入很强的信号光  $x_{10}^{on}$  时引起了 SOA 的增

益饱和,并使增益峰值向长波长方向移动,即产生能带倒空效应。如果把信号光波长选在  $\lambda_{V1}$  处,则上/下转换的消光比可以用线段  $c$  和  $b$  来表示,可以明显看出上转换比下转换差。如果把信号光波长选在  $\lambda_{V2}$  处,则上/下转换的消光比可以用线段  $a$  和  $b$  表示,可以看出上转换和下转换已相差不多。这说明如果信号光的波长小于 SOA 的峰值增益波长,可以有效地均衡上/下转换的消光比。

在实际的全光网络 OXC 节点中,选用这种消光比均衡的波长转换器可以降低网络功率均衡的要求,有利于级联,减少误码,提高网络性能。因此,本文的研究成果将促进基于 XGM 效应的波长转换器在 WDM 网络中获得更大的应用。

**致谢** 本课题得到中国科学院半导体研究所工程中心的大力支持和帮助,作者在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- 1 Terji Durhuus, Benny Mikkelsen, Carsten Joergensen *et al.*. All-optical wavelength conversion by semiconductor optical amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(6): 942~ 954
- 2 S. J. B. Yoo. Wavelength conversion technologies for WDM network applications. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(6): 955~ 966
- 3 Dominique Marcenac. Travelling wave effects for wavelength conversion by cross-gain and cross-phase modulation in optical amplifiers. *International J. Optoelectronics*, 1995, **10**(5): 325~ 329
- 4 D. Nasset, D. D. Marcenac, P. L. Mason *et al.*. Simultaneous wavelength conversion of two 40 Gbit/s channels using four-wave mixing in a semiconductor optical amplifier. *Electron. Lett.*, 1998, **34**(1): 107 ~ 108
- 5 Takashi Yamamoto, Masataka Nakazawa. Highly efficient four-wave mixing in an optical fiber with intensity dependent phase matching. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(3): 327~ 329
- 6 T. Durhuus, R. J. S. Pedersen, B. Mikkelsen *et al.*. Optical wavelength conversion over 18 nm at 2.5 Gb/s by DBR-laser. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(1): 86~ 88
- 7 C. Q. Xu, H. Okayama, M. Kawahara. 1.5  $\mu\text{m}$  band efficient broadband wavelength conversion by difference frequency generation in a periodically domain-inverted LiNbO<sub>3</sub> channel waveguide. *Appl. Phys. Lett.*, 1993, **63**(26): 3559~ 3561
- 8 Kristof Obermann, Stephan Kindt, Dirk Breuer *et al.*. Performance analysis of wavelength converters based on cross-gain modulation in semiconductor-optical amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 1998, **16**(1): 78~ 85
- 9 Alan E. Willner, William Shieh. Optimal spectral and power parameters for all-optical wavelength shifting: single stage, fanout, and cascability. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(5): 771~ 781

## Study on Extinction Ratio Equalization of Up/Down Wavelength Conversion Based on Cross-gain Modulation in Semiconductor Optical Amplifier

Ye Yabin Zheng Xiaoping Zhang Hanyi Fei Yunsi Chen Wenlu Guo Yili  
(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

**Abstract** The wavelength conversion of 622 Mb/s and 2.5 Gb/s channels based on XGM in SOA has been successfully realized. The study on performance of up/down conversion shows that extinction ratio of up/down conversion can be effectively equalized when a SOA with gain peak wavelength longer than signal wavelength is used. So the wavelength converters based on XGM will have more applications in WDM all-optical network.

**Key words** semiconductor optical amplifier, cross-gain modulation, wavelength conversion