

140 Mbit/s 全光波长转换的实验研究*

孙军强 张新亮 陈 娟 刘德明 黄德修 易河清¹

(华中理工大学光电子工程系;¹ 武汉邮电科学研究院 武汉 430074)

提要 对基于半导体光放大器交叉增益调制的波长转换进行了实验研究。实现了速率为 140 Mbit/s 信号的 1.3152 μm 和 1.3014 μm 间的波长转换。并对实验结果作了解释。

关键词 全光波长转换, 交叉增益调制, 半导体光放大器

1 引 言

全光波长转换将成为全光通信系统及未来宽带网络的关键技术。对提高波分复用网络的灵活性、波长的再利用、增加系统的通信容量都具有重要的意义^[1-4]。利用半导体光放大器中的交叉增益调制等非线性效应可实现全光波长转换^[5,6]。半导体光放大器的增益可达 27 dB, 增益带宽可达 50 nm, 应用应变量子阱结构的光放大器, 其性能将比目前普遍采用的体状结构更优越。可改善增益对偏振态的灵敏性。如此宽的光放大器的增益带完全可覆盖波分复用网络系统的传输带宽, 将在波分复用的光纤通信系统中作为解复用器、路由器而获得广泛的应用。随着光子集成(PIC)及光电子集成(OEIC)技术的发展与日趋完善, 由半导体光放大器制成的波长转换器易于与其他的光电器件、半导体器件集成, 为这种波长转换器的实际应用开辟了广阔的前景。

我们在自行研制成半导体光放大器的基础上, 对应用半导体光放大器交叉增益调制机制来实现波长转换进行了实验研究, 并获得了初步的成果。

2 基本原理及实验装置

基于半导体光放大器交叉增益调制的波长转换器的基本原理可简述如下: 当一高强度的深度调制的抽运光(波长为 λ_1) 耦合进入半导体光放大器后, 抽运光将消耗半导体放大器中的载流子, 导致放大器的增益随抽运光强而变化。当抽运光的调制光强增大时, 光放大器的增益将减少, 但调制光强减弱时, 放大器的增益将迅速恢复到原来的数值, 所以放大器的增益同光信号调制相比较呈反相调制。当两种波长的光(一种为强调制的抽运光 λ_1 , 另一种为连续的探测光 λ_2) 同时耦合进入半导体光放大器后, 则呈反相调制的增益将对连续的探测光进行调制, 使得抽运光的信息通过增益调制而传递给探测光, 从而实现了波长转换。其特点是转换前后的

* 国家“863”计划、华为科研基金和湖北省自然科学基金资助课题。

收稿日期: 1998-07-17; 收到修改稿日期: 1998-10-23

信号相位反相。

我们采用的实验装置结构如图 1 所示。图 1(a) 为抽运光与探测光同向注入方式; 图 1(b) 为抽运光与探测光相向注入方式。后者的优点是可不采用滤除初始抽运光信号的滤波器。但还应在探测光的注入端采用光隔离器, 以防止从放大器输出的放大的抽运光信号注入至探测光源, 而影响探测光源。由 3 dB 光纤耦合器将调制的抽运光信号与连续的探测光耦合进入半导体放大器, 3 dB 光纤耦合器的另一端用于监测注入抽运光及探测光的功率大小以及抽运光的波形。并用 AV6361 型光谱分析仪监测激光器的光谱以及半导体光放大器的自发辐射谱特性。因经半导体光放大器输出的信号中包括没有转换的抽运光、连续探测光和已转换的光信号, 在它们中间已转换的光信号强度相对较弱, 因此在实验装置中采用带尾纤的可调滤波器。

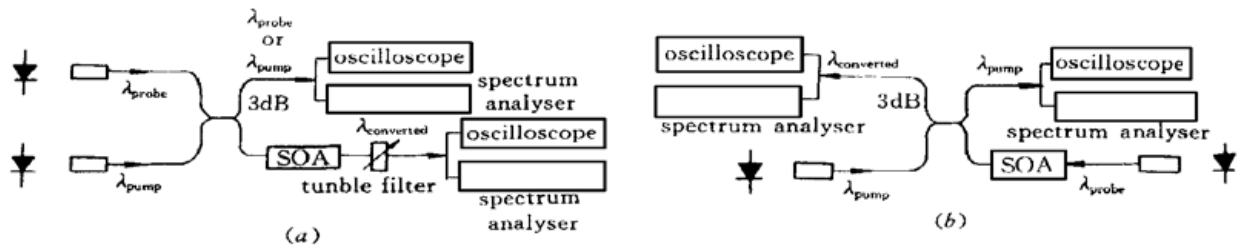


图 1 基于半导体光放大器交叉增益调制全光波长转换的实验装置

(a) 同向注入方式; (b) 相向注入方式

Fig. 1 Experimental setup of all-optical wavelength conversion via cross-gain modulation in semiconductor optical amplifiers (SOA)

(a) co-propagating and (b) counter-propagating injection scheme

3 波长转换器的实验结果与分析

要实现抽运光和探测光之间的波长转换, 抽运光和探测光的光波长应位于半导体光放大器的增益谱范围内。为此, 我们对抽运光源、探测光源以及半导体光放大器的光谱特性进行了测量, 如图 2 所示。两激光器采用的是多量子阱结构, 它们的中心波长分别为 $1.3152 \mu\text{m}$ 和 $1.3014 \mu\text{m}$ 。从它们的光谱特性可以看出, 两者的光谱并不是单纵模结构, 这会影响两波长转换的效率。 $1.3152 \mu\text{m}$ 激光光源的阈值电流为 13.1 mA , $1.3014 \mu\text{m}$ 激光光源的阈值电流为 17.6 mA 。半导体光放大器的增益谱的峰值波长为 $1.2944 \mu\text{m}$, 从 $1.266 \mu\text{m}$ 到 $1.322 \mu\text{m}$ 的光谱范围内, 半导体光放大器都能提供增益。在测量光谱的过程中还发现, 随着半导体光放大器偏置电流的增加, 其增益谱的宽度会变窄, 且增益谱的对称性逐渐被破坏, 增益的峰值逐渐向短波长方向移动(如图 2(c), (d) 所示)。当偏置电流增加到一定值时, 半导体光放大器将演变为激光器工作。这是由于半导体光放大器的两解理面并不是理想增透, 因而存在着一定的剩余反射率($R \approx 10^{-4}$)。从这一点出发, 其偏置电流的选择不能太大, 但是偏置电流又不能选择太小, 否则将不能提供足够的内部增益来实现波长转换。实验中, 我们将半导体光放大器偏置在 40 mA 左右。要实现波长转换的另一个重要参数是半导体光放大器的内部增益。当半导体光放大器的偏置电流为 40 mA 时, 测得放大器的非饱和增益为 -3.0 dB , 这表明, 放大器经前后端面的光纤耦合后, 无净增益, 但考虑到光纤和半导体光放大器的耦合损耗较大, 就放大器而言, 它仍有内部增益, 只是内部增益较小。在外界光信号的作用下, 小的内部增益容易使放大器实现增益饱和。

用 $1.3152 \mu\text{m}$ 的光源作抽运光, 调制速率为 140 Mbit/s , 输入信号的格式为“10001”非归

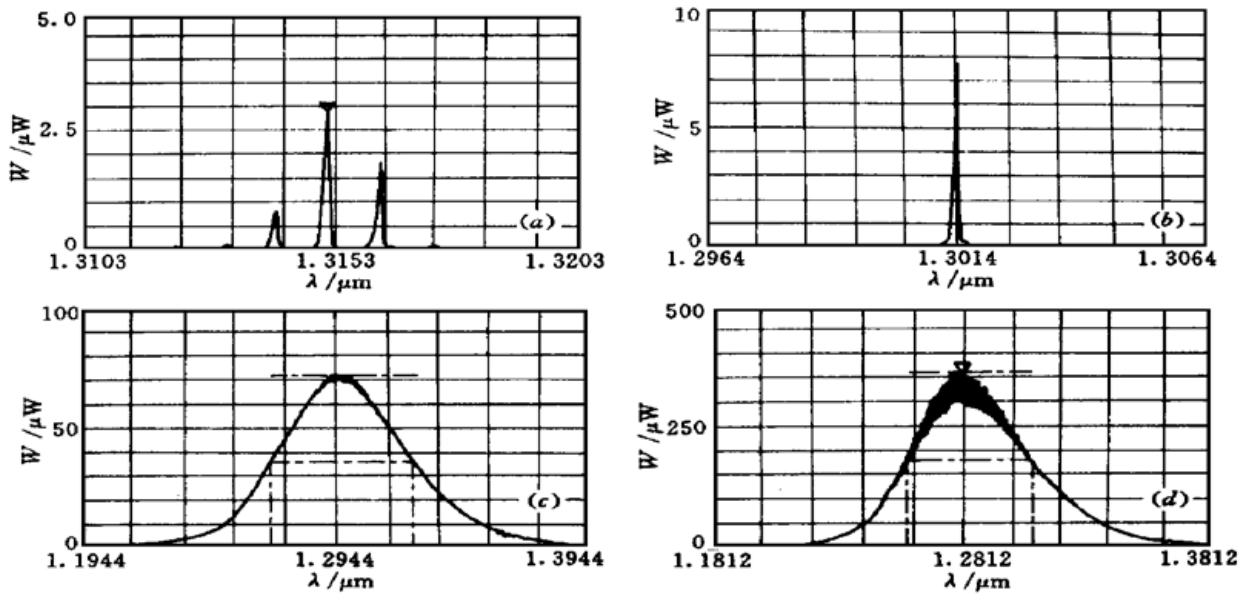


图 2 光谱图

(a) 抽运激光器光谱; (b) 探测激光器光谱;

(c) 电流为 37.5 mA 时半导体光放大器自发辐射光谱; (d) 电流为 58 mA 时半导体光放大器自发辐射光谱

Fig. 2 Spectra of (a) pump laser spectrum, (b) probe laser spectrum, (c) SOA's spontaneous emission spectrum with $I_{bias} = 37.5$ mA, and (d) SOA's spontaneous emission spectrum with $I_{bias} = 58$ mA

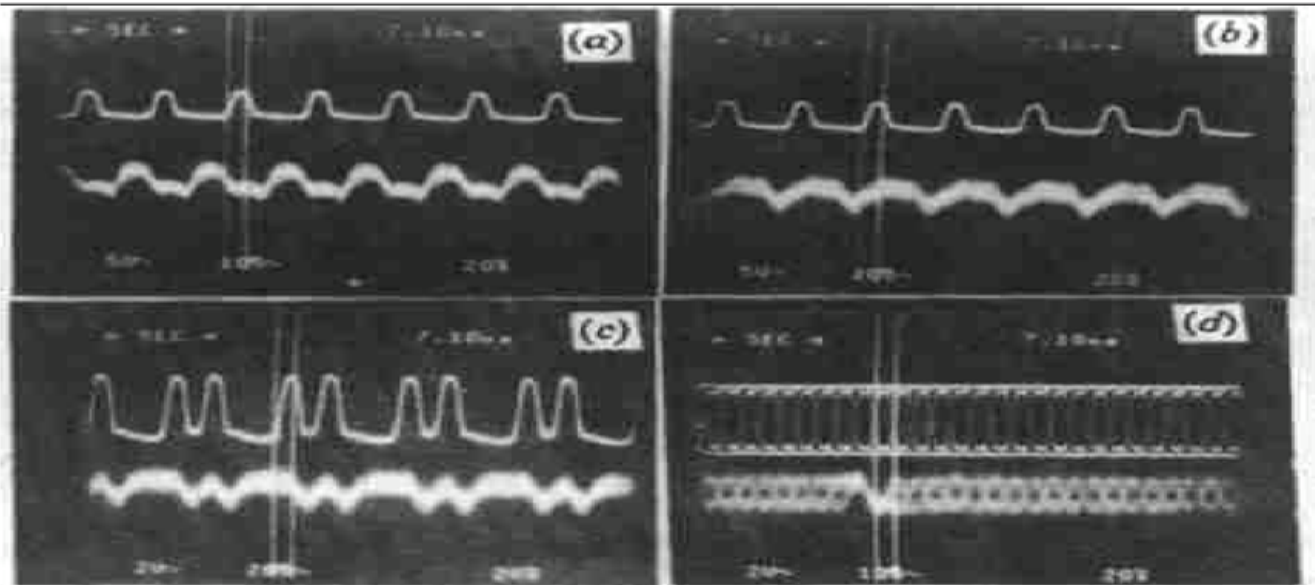


图 3 波长为 $\lambda_1 = 1.3152 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.3014 \mu\text{m}$, 在同向注入的方式下, 示波器显示的波形

(a) 140 Mbit/s '10001'抽运信号; (b) 140 Mbit/s '10001'转换信号;

(c) 140 Mbit/s '101000'转换信号; (d) 140 Mbit/s 转换信号的眼图。示波器的上方波形为对应于抽运信号的电调制波形

Fig. 3 Under co-propagating injection scheme, oscilloscope traces showing (a) a 140 Mbit/s '10001' pump signal; (b) a 140 Mbit/s '10001' converted signal; (c) a 140 Mbit/s '101000' converted signal; (d) 140 Mbit/s converted eye diagram. The upper waveforms are the electrical modulation signals of the pump laser corresponding to their converted signals with $\lambda_1 = 1.3152 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.3014 \mu\text{m}$

零码。将 $1.3014 \mu\text{m}$ 的光源作为连续的探测光。采用如图 1 (a) 所示的抽运光、探测光同向注

入的方式,由 3 dB 的光纤耦合器耦合进入半导体光放大器。开始时,探测光源偏置在 25 mA 处,而放大器偏置在 35 mA 处,调节光学滤波器,没有观察到位相与注入的信号相反的光,仅得到相位与注入的信号相同的光,如图 3 (a) 所示,这说明没有发生波长转换,且此时放大器并没达到增益饱和,仅工作在线性区域。因此一方面要提高半导体光放大器的增益值,另一方面要适当地增加探测光的功率。逐渐提高 1.3014 μm 的探测光源的直流偏置,当其调制电流达到 29.2 mA 时(光放大器的偏置电流也增至 46.3 mA),调节光学滤波器,观察到了位相与注入的信号相反的光,如图 3 (b) 所示,这表明,此时光放大器实现了波长转换。当改变输入信号的格式为“101000”非归零码时,也实现了波长转换后的信号输出,如图 3 (c) 所示。图 3 (d) 所示为经转换后获得 140 Mbit/s 信号的眼图。

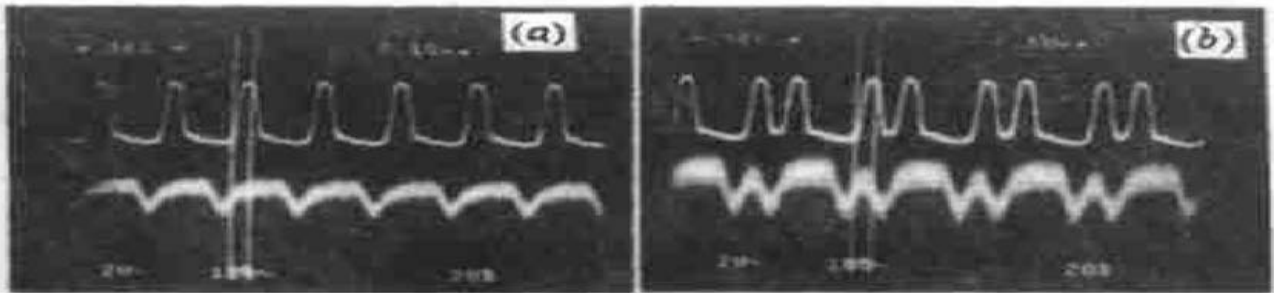


图 4 波长为 $\lambda_1 = 1.3152 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.3014 \mu\text{m}$, 在相向注入的方式下,示波器显示的波形

a) 140 Mbit/s “10001”转换信号; (b) 140 Mbit/s “101000”转换信号; 示波器的上方波形为对应于抽运信号的电调制波形

Fig. 4 Under counter-propagating injection scheme, oscilloscope traces showing (a) a 140 Mbit/s “10001” converted signal; (b) a 140 Mbit/s “101000” converted signal. The upper waveforms are the electrical modulation signals of pump laser corresponding to their converted signals with $\lambda_1 = 1.3152 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.3014 \mu\text{m}$

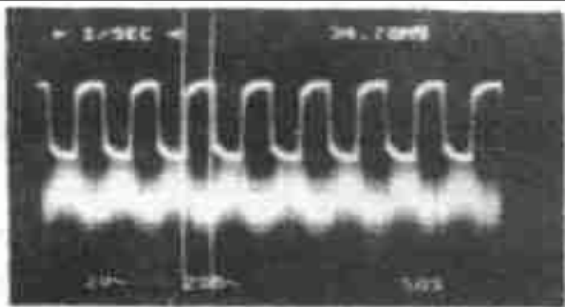


图 5 波长为 $\lambda_1 = 1.3014 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.3152 \mu\text{m}$, 在同向注入的方式下,示波器显示的 34 Mbit/s 的转换信号。示波器的上方波形为对应于抽运信号的电调制波形

Fig. 5 Under co-propagating injection scheme, oscilloscope traces showing 34 Mbit/s converted signal and the upper waveforms corresponding to its electrical modulation signals of pump laser with $\lambda_1 = 1.3014 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 1.3152 \mu\text{m}$

改用如图 1 (b) 所示的抽运光、探测光相向注入的方式,调节探测光源的偏置电流为 33.9 mA,且放大器的偏置在 41 mA 时,得到了调制格式分别为“10001”,“101000”非归零码的波长转换信号,如图 4 (a), (b) 所示。改用波长为 1.3014 μm 的光源作抽运光源,波长为 1.3152 μm 的光源作探测光源,进行从 1.3014 μm 到 1.3152 μm 的波长转换实验,在放大器、探测光源的偏置电流分别为 49.3 mA 和 30.3 mA 时,仅能观测到 34 Mbit/s 的波长转换,如图 5 所示。转换后输出信号附带的噪声也大。这是由于参与波长转换的抽运光、探测光在放大器中经历两种不同的过程。抽运光要使光放大器增益饱和,而探测光要获得放大。由于随着放大器偏置电流的增加,增益峰值向短波方向偏移,长波方向的增益比短波方向的增益小,要使转换后探测光得到足够的放大,必须增加半导体光放大器的偏置电流,以获得更大的增益,但这势必使光放大器产生较大的自发辐射噪声。

由于受到调制信号源的限制,没能做更高比特率的实验。要实现更高比特率甚至 Gbit/s

的全光波长转换,需用混合应变的多量子阱半导体光放大器,不仅可获得高的增益,而且可实现大的增益带宽。这样一方面可以提高波长转换效率,增大波长转换范围,另一方面改善光放大器对注入光信号的偏振灵敏性。尤为重要,波长转换的频率响应带宽虽然可通过降低光放大器的饱和功率等改善,但是光放大器中的上能级载流子寿命对频率响应带宽起着关键的作用。所以采用量子阱光放大器可降低上能级载流子寿命,对增大波长转换的频率响应带宽是很有益的。这正是我们下一步要做的工作。

4 结 论

应用自行研制的半导体光放大器对基于交叉增益调制的全光波长转换进行实验研究,实现了速率为 140 Mbit/s 信号的 1.3152 μm 和 1.3014 μm 相互间的波长转换。实验结果表明,这种全光波长转换特性同波长转换的方向有关。要改善全光波长转换的性能,首要的是提高半导体光放大器的性能,如应采用混合应变的半导体光放大器,以求光放大器提供较高的增益、宽的增益谱宽、良好的偏振特性以及较低的饱和功率。其次是选择合适的抽运光、探测光的注入条件,如两者的波长间隔,注入光放大器的光功率大小等。

参 考 文 献

- 1 D. M. Patrick, R. J. Manning. 20 Gbit/s wavelength conversion using semiconductor nonlinearity. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(3): 252~ 253
- 2 K. Inoue. Noise transfer characteristics in wavelength conversion based on cross-gain saturation in an semiconductor optical amplifier. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1996, **8**(7): 888~ 890
- 3 M. C. Tatham. 20 nm optical wavelength conversion using nondegenerate four-wave mixing. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1993, **5**(11): 1303~ 1306
- 4 J. M. Wiesenfeld, J. S. Perino, A. H. Gnauck *et al.*. Bit error rate performance for wavelength conversion at 20 Gbit/s. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(9): 720~ 721
- 5 T. Durhuus, B. Mikkelsen, C. Joergensen *et al.*. All-optical wavelength conversion by semiconductor optical amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(6): 942~ 945
- 6 J. Zhou, N. Park, J. W. Dawson *et al.*. Efficiency of broadband four-wave-mixing wavelength conversion using semiconductor traveling-wave amplifiers. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1994, **6**(1): 50~ 52

Experimental Study of 140 Mbit/s All-optical Wavelength Conversion

Sun Junqiang Zhang Xinliang Chen Juan Liu Deming Huang Dexiu Yi Heqing¹

Department of Optoelectronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology

¹*Wuhan Research Institute of Post & Telecommunication, Wuhan 430074*

Abstract The wavelength conversion based on cross-gain modulation in a semiconductor optical amplifier (SOA) has been experimentally studied. The wavelength conversion is achieved between the wavelengths of 1.3152 μm and 1.3014 μm with a bit-rate of 140 Mbit/s, and the experimental results are explained.

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