

文章编号: 0258-7025(2002)08-0722-07

增益调制型波长转换中信号光波长的选择

叶亚斌, 郑小平, 张汉一, 滕翔, 施伟伟, 李艳和, 郭奕理

(清华大学电子工程系, 北京 100084)

提要 增益调制型波长转换中, 为得到转换后信号最大的消光比(ER), 信号光波长应该比半导体光放大器(SOA)的小信号增益峰值波长长。采用分段模型, 考虑了SOA中增益谱的不对称性以及增益峰值波长随载流子密度的漂移, 深入研究了信号光功率、ER、参考光功率、波长以及SOA注入电流对选择信号光波长 $\lambda_{pk,s}$ 以及消光比改善量的影响。模拟计算表明, 信号光功率每增加3 dB, $\lambda_{pk,s}$ 就需向长波长移动约7 nm。信号光ER增加、参考光功率增加以及SOA注入电流的增加, $\lambda_{pk,s}$ 需向短波长移动。消光比改善量随信号光功率和电流的增加而显著增加, 随信号ER的增加而降低, 但是参考光功率和波长变化时影响不大。

关键词 半导体光放大器, 波长转换, 消光比

中图分类号 TN 929.11; TN 366 文献标识码 A

Choice of the Signal Wavelength in Wavelength Conversion by Cross Gain Modulation in the SOA

YE Ya-bin, ZHENG Xiao-ping, ZHANG Han-yi,
TENG Xiang, SHI Wei-wei, LI Yan-he, GUO Yi-li

(Department of Electronics Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract In order to acquire the largest extinction ratio (ER) of the converted signal in the cross gain modulation (XGM) wavelength conversion, the signal wavelength $\lambda_{pk,s}$ should be longer than the small signal gain peak wavelength of the semiconductor optical amplifier (SOA). The influence of the signal power, the signal ER, the probe power, the probe wavelength and the drive current of the SOA on $\lambda_{pk,s}$ and the improvement of the ER is studied in detail by using the multisection model, and considering the nonsymmetry of the gain profile and the shift of the gain peak wavelength along with the carrier density. It is shown by numerical simulation that $\lambda_{pk,s}$ should shift to the longer wavelength about 7 nm when the signal power has a increment of 3 dB, while $\lambda_{pk,s}$ should shift to the shorter wavelength when the signal extinction ratio, the probe power and the drive current of the SOA is increased. The improvement of the ER is enlarged remarkably with the increment of the signal power and the SOA drive current, but decreases with the increase of the signal ER. The change of the probe power and the wavelength has little influence on the improvement of the ER.

Key words semiconductor optical amplifier (SOA), wavelength conversion, extinction ratio (ER)

1 引言

下一代骨干通信网是由以全光交叉连接节点(OXC)和全光上下路节点(OADM)为核心组成的全光通信网^[1]。为了能够在波长域也能实现信号的交

换, 必须在 OXC 节点上使用波长转换器。波长转换器的使用可以降低网络阻塞率、提高波长重用率并可以简化网络管理^[2]。

基于半导体光放大器(SOA)中交叉增益调制(XGM)效应的波长转换器具有实现简单、转换速率

收稿日期: 2001-06-06; 收到修改稿日期: 2001-08-17

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(No. 69990540)和国家 863 项目资助课题。

作者简介: 叶亚斌(1975—), 男, 江苏泰兴人, 博士, 主要从事密集波分复用光网络中全光波长转换技术和波长路由算法的研究。E-mail: yeyabin97@mails.tsinghua.edu.cn

高、转换效率高等优点,因此一直是研究的重心^[3,4]。在很多文献中进行理论分析时,或者假设各个波长处的增益相同,或者假设 SOA 的增益谱关于某个中心波长对称。但是实际测试表明,SOA 的增益谱是不对称的,以峰值增益波长为界,在短波长时下降速度较快而在长波长时下降速度较慢,并且在 SOA 中载流子浓度不同时,峰值增益波长也会发生漂移。因此在文献 5 和 6 中分别提出两个模型来模拟 SOA 的增益谱。但是文献 5 只对 SOA 中四波混频(FWM)效应进行了研究,而文献 6 没有对 SOA 中载流子密度和增益谱的变化进行深入研究。

本文采用分段模型,利用文献 6 中的增益模型,对 XGM 波长转换中沿着光传输的方向载流子密度和增益谱变化进行深入研究。分析了信号光功率和消光比,参考光功率和波长以及 SOA 的偏置电流对选择信号光波长以及消光比改善量的影响。

2 理论模型

SOA 中载流子和光传输的速率方程为

$$\frac{\partial N(z,t)}{\partial t} = \frac{I}{qV} - \frac{N(z,t)}{\tau_c} - \sum_i \frac{\Gamma g_i [N(z,t)]}{\hbar \omega_i A_x} P_i(z,t) \quad (1a)$$

$$\frac{\partial P_i(z,t)}{\partial z} = \{\Gamma g_i [N(z,t)] - \alpha_{in}\} P_i(z,t) \quad (1b)$$

其中 $N(z,t)$ 为载流子密度, I 为注入电流, q 为电子电量, V 为有源区体积。 τ_c 为自发辐射载流子寿命, $\tau_c^{-1} = A + BN + CN^2$, 其中 A, B, C 分别为非辐射、辐射和俄歇复合系数。 α_{in} 为材料损耗, Γ 为模式限制因子, g 为增益, $\hbar \omega$ 为光子能量, A_x 为有源区的横截面积。下标 $i = 1, 2$ 分别用来表示信号光和参考光。

把 SOA 平均分成很多段进行研究,并假设在每一段中载流子密度保持不变,其平均载流子浓度为 $N_{av,j}$, 其中 j 表示第 j 段 SOA。用式 (1a) 求平均载流子浓度时,信号光和参考光也必须在这一段中采用平均光功率,因此在第 j 段中,信号光和参考光的平均光功率为

$$\bar{P}_{i,j} = \frac{1}{\Delta L} \int_{(j-1)\Delta L}^{j\Delta L} P_{i,j-1} e^{\int \Gamma g_i(N_{av,j}) - \alpha_{in} dz} dz = \frac{G_j - 1}{\ln(G_j)} \cdot P_{i,j-1} \quad (2)$$

其中, $G_j = e^{\int \Gamma g_i(N_{av,j}) - \alpha_{in} dz}$, ΔL 为每段 SOA 的长度, $P_{i,j-1}$ 为第 $j-1$ 段输出的光功率,把 (2) 代入 (1a)

中,取 $\partial N(z,t)/\partial t = 0$,就可求得第 j 段的平均载流子浓度 $N_{av,j}$ 。

为了拟合非对称的 SOA 增益曲线,采用三次方表示的函数^[6]

$$g(N) = a(N - N_0) - \gamma_1(\lambda - \lambda_N)^2 + \gamma_2(\lambda - \lambda_N)^3 \quad (3)$$

其中 λ_N 为相应载流子密度 N 的峰值增益波长,假设它和载流子密度成线性关系 $\lambda_N = \lambda_0 - \kappa_0(N - N_0)$, λ_0 是 $N = N_0$ 时的峰值增益波长, κ_0 用来表示增益峰值波长随载流子密度的漂移。 a 为微分增益, N_0 为透明载流子密度。 γ_1 和 γ_2 为用于拟合增益曲线的参数,分别用来表示增益带宽和增益的不对称性。

在利用公式 (1a) 求得每段平均载流子浓度之后,再利用公式 (1b) 求得经过这段 SOA 之后信号光、参考光的功率,然后再对下一段求解,最终可得 SOA 的输出情况。

3 模拟计算

计算过程中采用的参数如表 1 所示。

表 1 计算所用参数

Table 1 SOA parameters

Description	Symbol	Value	Unit
SOA length	L	500	μm
Active layer area	A_x	0.3	μm^2
Material loss	α_{in}	20	cm^{-1}
Transparency carrier density	N_0	0.9×10^{18}	cm^{-3}
Confinement factor	Γ	0.3	
Differential gain	a	2.5×10^{-16}	cm^2
Nonradiative recombination constant	A	1×10^8	s^{-1}
Bimolecular recombination constant	B	2.5×10^{-11}	$\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$
Auger recombination constant	C	0.94×10^{-28}	$\text{cm}^6 \text{s}^{-1}$
Gain constant	γ_1	7.4×10^{18}	m^{-3}
Gain constant	γ_2	3.155×10^{25}	m^{-4}
Gain constant	κ_0	3×10^{-32}	m^4

首先需要确定应该把 SOA 分成多少段进行计算比较合适,因为 SOA 分成的段数越多,计算结果就越精确,但是计算时间也会相应增加。图 1 给出了把 SOA 分成 1, 10 和 100 段时的计算结果。SOA

的注入电流为 80 mA,信号光波长为 1550 nm,输入信号的消光比为 10 dB,平均输入功率为 -3 dBm,参考光功率为 -15 dBm。在下面的计算中,如不特别说明,都是采用上面这些参数。

从图 1 可以看出,把 SOA 当成一个整体与分段计算,求得的转换后信号 ER 是不同的。当成一个整体求得的 ER 比分段求得的 ER 要小,而且参考光波长越短,差别也越大。这说明了采用分段模型可以得到更精确的结果。从图 1 还可以看出,把 SOA 分成 10 段和 100 段时,求得的转换后信号光 ER 相同,因此在求 ER 时,把 SOA 分成 10 段已经具有足够的计算精度。但是在研究沿着 SOA 中光传输方向载流子密度和增益谱变化情况时,把 SOA 分成 10 段则有些粗略,因此我们仍然把 SOA 分成 100 段来进行计算。

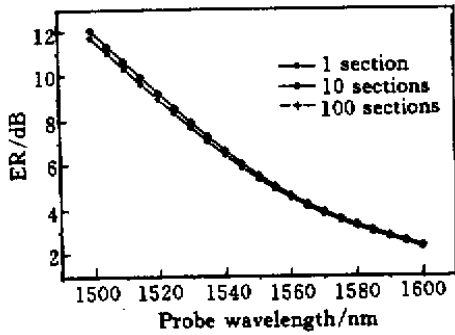


图 1 把 SOA 分成不同段时的计算结果

Fig.1 Output ER as a function of the probe wavelength, when the SOA is divided into different number of sections

在文献 [6] 中已经指出,为了实现转换后光的 ER 最大,信号光的波长应该比 SOA 的小信号增益峰值波长长,但是没有更深入的进行分析。定义消光比的改善量 $ER_I = (ER_{pk, s} - ER_{pk}) / ER_{pk, s} \times 100\%$, 其中 $ER_{pk, s}$ 是最高的转换后信号 ER, $\lambda_{pk, s}$ 为所对应的信号光波长。 ER_{pk} 是信号光波长为 SOA 小信号增益峰值波长 λ_{pk} 时求得的转换后光 ER。因此本文着重研究了 $\lambda_{pk, s}$ 和 ER_I 与波长、功率、SOA 注入电流以及信号光 ER 的关系。

3.1 与波长的关系

图 2 给出了不同参考光波长下,转换后信号的消光比和信号光波长的关系。从图中可以看出,在信号光波长为 1580 nm 左右时,求得的消光比最高。因此 $\lambda_{pk, s}$ 已经远远大于 SOA 偏置电流为 80 mA 时的小信号增益峰值波长 (λ_{pk}) 1550 nm,如图 3。因此验证了文献 [6] 中的结论。信号为“0”和“1”时,

SOA 最后一段的峰值增益波长分别表示为 $\lambda_{pk, 0}$, $\lambda_{pk, 1}$ 。表 2 给出了参考光波长不同时, $\lambda_{pk, s}$ 与 $\lambda_{pk, 0}$, $\lambda_{pk, 1}$ 以及 ER_I 的变化情况。

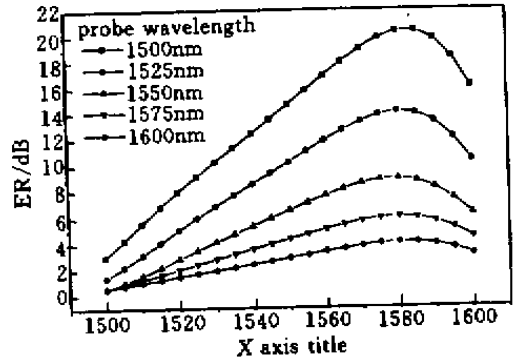


图 2 不同参考光波长下,转换后信号 ER 和信号光波长的关系

Fig.2 Output ER as a function of signal wavelength for different probe wavelengths

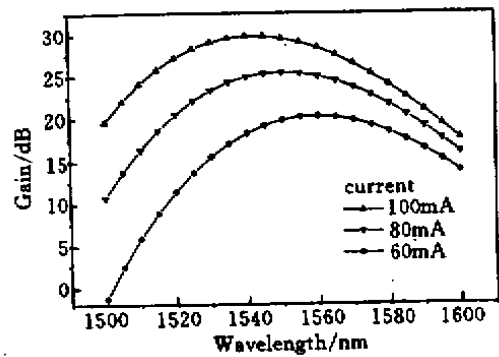


图 3 不同偏置电流下 SOA 的小信号增益曲线

Fig.3 Small signal gain profiles of the SOA for different bias currents

表 2 参考光波长不同时, $\lambda_{pk, s}$ 与 $\lambda_{pk, 0}$, $\lambda_{pk, 1}$ 以及 ER_I 的关系

Table 2 Relationship of $\lambda_{pk, s}$, $\lambda_{pk, 0}$, $\lambda_{pk, 1}$ and ER_I for different probe wavelength

Probe wavelength /nm	$\lambda_{pk, s}$ /nm	$\lambda_{pk, 0}$ /nm	$\lambda_{pk, 1}$ /nm	ER_I /%
1500	1583.1	1570.4	1586.7	28.25
1525	1581.1	1571.6	1586.7	27.38
1550	1579.3	1575.1	1586.5	26.88
1575	1580.6	1575.4	1586.8	27.88
1600	1582.1	1572.0	1586.8	29.17

从表 2 可以看出,随着参考光波长从短波长向长波长变化, $\lambda_{pk, s}$ 先向短波长再向长波长变化,但是总体变化不大。 ER_I 随着参考光波长的增大是先

变小后变大,但是变化也不大。这主要是因为参考光的功率比较低,对载流子密度的影响较小。 $\lambda_{pk,0}$ 先向长波长再向短波长变化,这是因为在信号为“0”时,载流子密度由信号光和参考光共同决定,因此在参考光偏离峰值增益波长较远时(例如 1500 nm, 1600nm)获得的增益也较小,因此功率较低,消耗的载流子较少, $\lambda_{pk,0}$ 也就比较短。当参考光离峰值增益波长较近时(例如 1550 nm, 1575 nm)获得的增益大,因此功率高,消耗的载流子较多, $\lambda_{pk,0}$ 也就比较长。 $\lambda_{pk,1}$ 的变化不大,这是因为,在信号为“1”时,载流子密度主要是由信号光功率决定,因此参考光波长的变化对 $\lambda_{pk,1}$ 的影响不大。

图 4 给出了沿着信号光和参考光传输的方向, SOA 中载流子密度和峰值增益波长的变化情况,其中信号光波长为 1580 nm,参考光波长为 1550 nm。

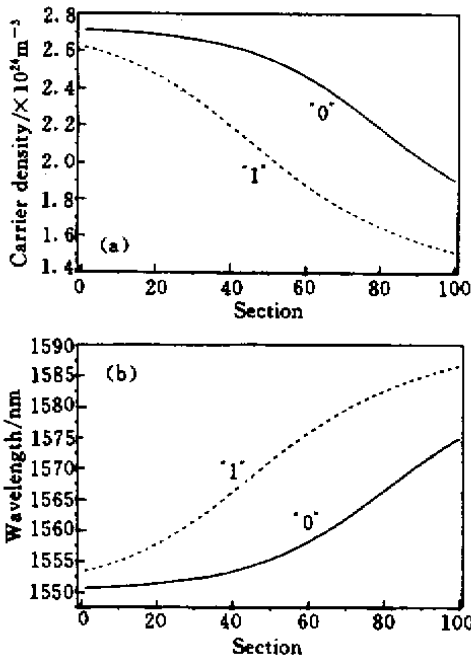


图 4 沿着信号光和参考光传输方向, SOA 中 (a) 载流子密度 (b) 峰值增益波长的变化情况

Fig.4 (a) carrier density and (b) gain peak wavelength along the SOA cavity

从图 4 可以看出,沿着光的传输方向,SOA 中载流子密度和峰值增益波长有很大的变化。在信号为“0”时,SOA 中初始的光功率小,因此载流子密度比较高,峰值增益波长也较短。随着光在 SOA 中的传输和放大,SOA 中载流子密度不断消耗,峰值增益波长也不断向长波长移动。载流子密度从 $2.7 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$ 变化到 $1.9 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$,峰值增益波长从 1550.6

nm 变化到 1574.9 nm。当信号为“1”时,初始光功率就很大,因此光在 SOA 中迅速放大,到 SOA 后半段开始趋向饱和。载流子密度从 $2.6 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$ 变化到 $1.5 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$,峰值增益波长从 1553.3 nm 变化到 1586.6 nm。

正是由于 SOA 的载流子密度和峰值增益波长不断变化,才有转换后信号消光比最大所对应的信号光波长比初始增益峰值波长长的现象出现。如果信号光波长为 SOA 的小信号增益峰值波长,那么虽然在 SOA 的前段可以得到较大的增益,但是在 SOA 的后段得到的增益比较小,因此总体对 SOA 的载流子密度影响较小,参考光的增益变化不大,但是如果信号光波长比 SOA 的小信号增益峰值波长长,那么虽然前段获得的增益小,但是在后段获得的增益较大,因此总体对 SOA 的载流子密度影响较大,参考光的增益变化较大,因此转换后信号的消光比较高。当然如果信号光波长过长,那么转换后信号消光比又会降低。

3.2 与功率的关系

首先看转换后信号消光比和信号光功率的关系。图 5 给出了不同信号光功率下,转换后信号 ER 和信号光波长的关系,参考光功率为 -15 dBm。

从图 5 可以看出,随着信号光功率的增加,转换后信号的 ER 是逐渐增加的,但是在同一信号光波长下,ER 增加的幅度是逐渐降低的。

同时还可以观察到,随着信号光功率的增大, $\lambda_{pk,s}$ 也在向长波长移动。这是因为信号光功率越大,消耗的载流子越多,SOA 中峰值增益波长移动得也就越多。在表 3 中给出了信号光功率不同时, $\lambda_{pk,s}$ 与 $\lambda_{pk,0}$, $\lambda_{pk,1}$ 以及 ER_l 的变化情况。

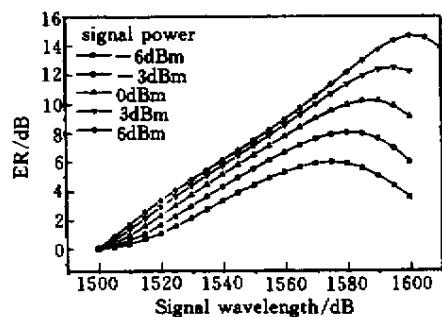


图 5 参考光波长为 1550 nm 时,不同信号光功率时转换后光 ER 和信号光波长的关系

Fig.5 Output ER as a function of signal wavelength for different signal power

表 3 信号光功率不同时, $\lambda_{pk,s}$ 与 $\lambda_{pk,0}$, $\lambda_{pk,1}$ 以及 ER_I 的关系

Table 3 Relationship of $\lambda_{pk,s}$, $\lambda_{pk,0}$, $\lambda_{pk,1}$ and ER_I for different signal power

Signal average power/dBm	$\lambda_{pk,s}$ /nm	$\lambda_{pk,0}$ /nm	$\lambda_{pk,1}$ /nm	ER_I /%
-6	1572.7	1572.9	1583.7	20.17
-3	1579.3	1575.0	1586.5	26.88
0	1586.4	1577.0	1588.8	34.17
3	1593.6	1578.5	1590.4	41.43
6	1600.6	1579.3	1591.3	48.21

从表 3 可以看出, 信号光平均功率每增加 3 dB, $\lambda_{pk,s}$ 就向长波长漂移约 7 nm, $\lambda_{pk,0}$ 和 $\lambda_{pk,1}$ 也随着信号光功率的增加向长波长移动, 但是移动量随着信号光功率增加而降低。这是因为在 SOA 中, 光沿着传输方向迅速得到放大, 到 SOA 后半段已经接近饱和, 因此 $\lambda_{pk,0}$ 和 $\lambda_{pk,1}$ 的变化变缓。但是 $\lambda_{pk,s}$ 的移动速度远高于 $\lambda_{pk,0}$ 和 $\lambda_{pk,1}$, 当信号光平均功率较高时, $\lambda_{pk,s}$ 比 $\lambda_{pk,1}$ 还要大。从表中还可以看出, 随着信号光功率的增加, ER_I 越来越大。因此信号光功率越大, 对信号光波长的选择就越要准确。

图 6 给出了不同参考光功率下, 转换后信号 ER 和信号光波长的关系, 信号光平均功率 -3 dBm, ER 为 10 dB。从图中可以看出, 随着参考光功率的降低, 转换后信号的消光比是逐渐增加的, 但是增加的幅度在逐渐降低。这很容易理解, 因为随着参考光功率的降低, 在信号为“0”时, 参考光获得的增益逐渐增加, 而在信号为“1”时, 参考光增益变化不大(参考光功率远小于信号为“1”时的功率), 因此转换后信号消光比总体增加。表 4 给出了参考光功率不同时, $\lambda_{pk,s}$ 与 $\lambda_{pk,0}$, $\lambda_{pk,1}$ 以及 ER_I 的变化情况。

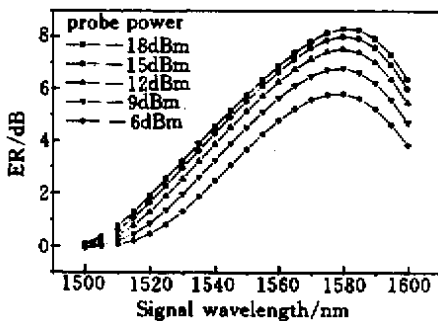


图 6 参考光波长为 1550 nm 不同参考光功率下转换后光 ER 和信号光波长的关系

Fig. 6 Output ER as a function of signal wavelength for different probe power

表 4 参考光功率不同时, $\lambda_{pk,s}$ 与 $\lambda_{pk,0}$, $\lambda_{pk,1}$ 以及 ER_I 的关系

Table 4 Relationship of $\lambda_{pk,s}$, $\lambda_{pk,0}$, $\lambda_{pk,1}$ and ER_I for different probe power

Probe power /dBm	$\lambda_{pk,s}$ /nm	$\lambda_{pk,0}$ /nm	$\lambda_{pk,1}$ /nm	ER_I /%
-18	1580.7	1573.6	1586.6	27.53
-15	1579.3	1575.0	1586.5	26.88
-12	1577.7	1576.5	1586.4	26.56
-9	1576.2	1577.7	1586.1	27.28
-6	1575.2	1578.8	1585.7	29.76

从表 4 看出, 随着参考光功率的增加, $\lambda_{pk,s}$ 和 $\lambda_{pk,1}$ 向短波长漂移, 而 $\lambda_{pk,0}$ 向长波长移动。这可以理解为在信号为“0”时, 参考光功率和信号光功率相差不大, 因此随着参考光功率的增加, 消耗的载流子数也在增加, $\lambda_{pk,0}$ 向长波长移动。在信号为“1”时, 信号光功率远大于参考光功率, 随着参考光功率的增加, 参考光消耗的载流子数在增加, 但是处于 $\lambda_{pk,s}$ 处的信号光消耗的载流子数则有所下降, 因此总体消耗的载流子数减少, $\lambda_{pk,1}$ 向短波长移动。当然总体效果还是消耗的载流子数减少, $\lambda_{pk,s}$ 就向短波长漂移。ER_I 随着参考光功率的增加先略有降低再略有增长, 总体变化不大。

3.3 与 SOA 偏置电流的关系

图 7 给出了不同 SOA 偏置电流下, 转换后光 ER 和信号光波长的关系。可以看出, 随着电流的增加, 转换后信号的 ER 在逐渐增加。这是因为注入电流的增加, 使 SOA 的小信号增益增加, 因此参考光在信号为“0”时获得的增益增加, 而在信号为“1”时获得的增益则相对较少, 因此总体消光比增加。同时还可以观察到, 随着电流的增加, $\lambda_{pk,s}$ 在向短波长

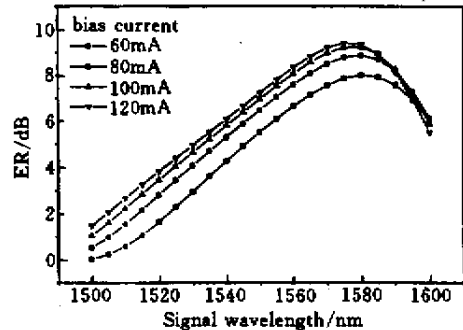


图 7 参考光波长为 1550 nm SOA 偏置电流不同下转换后光 ER 和信号光波长的关系

Fig. 7 Output ER as a function of signal wavelength for different SOA bias current

移动。在表 5 中,比较了各种注入电流情况下,SOA 的小信号峰值增益波长 λ_{pk} 与 $\lambda_{pk,s}$, $\lambda_{pk,D}$, $\lambda_{pk,1}$ 以及 ER_I 的变化情况。

表 5 不同注入电流 I 下, λ_{pk} 与 $\lambda_{pk,s}$, $\lambda_{pk,D}$, $\lambda_{pk,1}$ 以及 ER_I 的关系

Table 5 Relationship of $\lambda_{pk,s}$, $\lambda_{pk,D}$, $\lambda_{pk,1}$ and ER_I for different SOA bias current

I /mA	λ_{pk} /nm	$\lambda_{pk,s}$ /nm	$\lambda_{pk,D}$ /nm	$\lambda_{pk,1}$ /nm	ER_I /%
60	1559.7	1580.9	1574.4	1586.6	17.35
80	1550.2	1579.3	1575.0	1586.5	26.88
100	1542.2	1577.9	1576.2	1586.5	34.45
120	1535.2	1576.6	1577.1	1586.5	41.09

从表 5 可以看出,随着注入电流的增加,SOA 的小信号增益峰值波长 λ_{pk} 和 $\lambda_{pk,s}$ 都向短波长移动。但是电流从 60 mA 增大到 120 mA, λ_{pk} 缩短了 24.5 nm,而 $\lambda_{pk,s}$ 只变化了 4.3 nm。 $\lambda_{pk,D}$ 随着电流的增加向长波长略有移动, $\lambda_{pk,1}$ 则没有受到电流变化的影响。这主要是因为,信号为“0”时,SOA 中初始光功率不大,因此在传输时得到迅速放大。偏置电流越高,放大倍数越大,因此到了 SOA 的后半段,消耗的载流子数就越多,因此造成 $\lambda_{pk,D}$ 向长波长移动。在信号为“1”时,光在 SOA 中经过饱和放大,到 SOA 后半段时,已经进入深饱和状态,因此 $\lambda_{pk,1}$ 基本不受电流变化的影响。 ER_I 则随着偏置电流的增加也显著增大,因此在大偏置电流情况下,也须注意信号光波长的选择。

3.4 与信号光 ER 的关系

图 8 给出了在信号光平均功率不变,改变输入信号 ER 的情况下,转换后信号 ER 和信号光波长的关系。可以看出,转换后信号的 ER 随着信号光 ER 的增加而增加。这是因为信号的 ER 越大,信号“1”时的功率越大,参考光获得的增益就越低,而同时信号“0”时的功率越低,参考光获得的增益越高,因此转换后信号 ER 就越高。但是可以看出信号光 ER 超过 20 dB 之后,转换后光的 ER 已经变化不大了。因为此时信号“1”的功率相差不大,因此参考光获得增益相同,而“0”时参考光远大于信号光功率,参考光获得的增益也基本相同,因此转换后光 ER 变化不大。表 6 给出了信号光 ER 不同时, $\lambda_{pk,s}$ 与 $\lambda_{pk,D}$, $\lambda_{pk,1}$ 以及 ER_I 的变化情况。

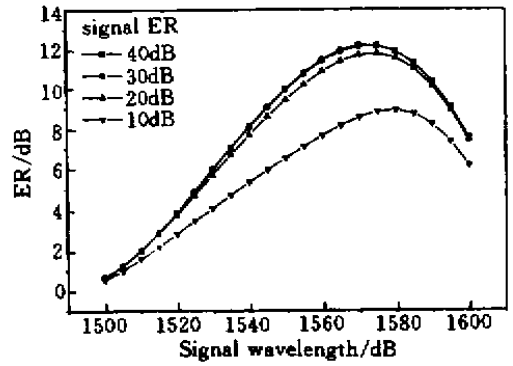


图 8 参考光波长为 1550 nm,信号光 ER 不同时转换后光 ER 和信号光波长的关系

Fig.8 Output ER as a function of signal wavelength under different signal ER

表 6 信号光 ER 不同时, $\lambda_{pk,s}$ 与 $\lambda_{pk,D}$, $\lambda_{pk,1}$ 以及 ER_I 的关系

Table 6 Relationship of $\lambda_{pk,s}$, $\lambda_{pk,D}$, $\lambda_{pk,1}$ and ER_I for different signal ER

Input signal ER/dB	$\lambda_{pk,s}$ /nm	$\lambda_{pk,D}$ /nm	$\lambda_{pk,1}$ /nm	ER_I /%
10	1579.3	1575.0	1586.5	26.88
20	1573.9	1568.5	1586.3	19.78
30	1572.8	1567.1	1586.1	18.34
40	1572.7	1567.0	1586.1	18.19

从表 6 可以看出,随着信号光 ER 的增加, $\lambda_{pk,s}$ 在向短波长偏移,但是在信号光 ER 超过 20 dB 后变化就很小了。在信号为“1”时,不同信号光 ER 下,SOA 最后一段的增益峰值波长基本相同。但是在信号为“0”时,信号光 ER 越高,那么信号“0”时的功率就越低,因此造成了 SOA 中载流子密度的增加,峰值增益波长向短波长移动。 ER_I 随着信号光 ER 的增加而降低,在信号光 ER 超过 20 dB 后变化也已经很小了。

4 结 论

采用分段模型,对基于 SOA 中交叉增益调制效应的波长转换研究表明,SOA 中载流子密度和增益谱沿着光传输的方向是不断变化的。为了能得到最大的转换后光消光比,必须采用波长比初始增益峰值波长 λ_{pk} 长的信号光 $\lambda_{pk,s}$ 。利用模拟计算分析了信号光功率、消光比、参考光功率和 SOA 的偏置电流对 $\lambda_{pk,s}$ 以及消光比的改善量 ER_I 的影响。在信号光消光比为 10 dB 时,信号光平均功率每增加 3

dB, $\lambda_{pk,s}$ 就向长波长移动约 7 nm, 而随着参考光功率的增加, $\lambda_{pk,s}$ 向短波长移动, 但是移动的幅度很小。增加 SOA 的偏置电流, 小信号增益峰值波长会向短波长有几十纳米的移动, 但是 $\lambda_{pk,s}$ 只向短波长变化了几纳米。信号光消光比的增加也可以使 $\lambda_{pk,s}$ 向短波长移动, 但是在消光比超过 20 dB 之后就不会有很大的变化。信号光功率越大, SOA 的偏置电流越高, 采用 $\lambda_{pk,s}$ 做信号光波长时获得的消光比的改善量 ER_I 就越明显。参考光由于功率较低, 因此其功率和波长的变化对 ER_I 没有很大的影响。信号光 ER 的增加会降低 ER_I , 但是在信号光 ER 超过 20 dB 之后则变化不大。

参 考 文 献

- 1 Roberto Sabella, Eugenio Iannone, Emilia Pagano. Optical transport networks employing all-optical wavelength conversion: Limits and features [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1996, **14**(5) 968 ~ 978
- 2 S. J. B. Yoo. Wavelength conversion technologies for WDM network applications [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(6) 955 ~ 966
- 3 Terji Durhuus, Benny Mikkelsen, Carsten Joergensen *et al.*. All-optical wavelength conversion by semiconductor optical amplifiers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1996, **14**(6) :942 ~ 954
- 4 Kristof Obermann, Stephan Kindt, Dirk Breuer *et al.*. Performance analysis of wavelength converters based on cross-gain modulation in semiconductor-optical amplifiers [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1998, **16**(1) 78 ~ 85
- 5 Mark A. Summerfield, Rodney S. Tucker. Frequency-domain model of multiwave mixing in bulk semiconductor optical amplifiers [J]. *IEEE Journal on Sel. Top. in Quantum Electronics*, 1999, **5**(3) 839 ~ 850
- 6 Alan E. Willner, William Shieh. Optimal spectral and power parameters for all-optical wavelength shifting: single stage, fanout, and cascability [J]. *J. Lightwave Technol.*, 1995, **13**(5) :771 ~ 781