

文章编号: 0253-2239(2003)06-0656-6

控制光和信号光频差对太赫兹光非对称解复用器性能的影响*

温亮生 伍 剑 林金桐

(北京邮电大学光通信中心, 北京 100876)

摘要: 讨论了半导体光放大器中的带间效应, 及载流子热效应、谱烧孔效应、双光子吸收以及超快非线性折射等带内效应对半导体光放大器的动态特性的影响, 讨论了两种情况: 1) 保持控制光波长不变而改变信号光频率, 2) 保持控制光和信号光频率相同而同时改变它们的频率下半导体光放大器的增益、相位动态特性以及太赫兹光非对称解复用器的开关窗口特性。数值结果表明, 为了得到较为平坦而窄的开关窗口, 控制光波长应与信号光波长相同, 且其与半导体光放大器增益谱中心波长的差值应该大一些。

关键词: 信息光学; 太赫兹光非对称解复用器; 半导体光放大器; 开关窗口; 光时分复用

中图分类号: TN2 文献标识码: A

1 引 言

近年来, 由于太赫兹光非对称解复用器 (TOAD) 具有开关窗口小等优良特性, 成为光通信中的关键器件之一, 倍受关注^[1~3]。利用太赫兹光非对称解复用器可以从高速的光时分复用 (OTDM) 信号中解复用单路信号, 也可以作为强度鉴别器实现时钟信号的提取^[4]、结合锁相技术实现比特自同步^[5]等。在光时分复用分组交换网络中, 还可以用来实现分组的地址识别及路由^[6,7]。

为了得到更小的开关窗口, 以实现高的开关速度以及减小“开启”和“关断”时间, 注入到太赫兹光非对称解复用器的信号光和控制光的脉冲宽度越来越窄。一般说来, 对于半导体光放大器 (SOA), 当脉冲宽度小于 10 ps 且脉冲强度比较大时, 除了考虑一般的非线性增益压缩效应外, 还必须考虑由于带内效应, 诸如载流子热效应 (CH)、谱烧孔效应 (SHB)、超快非线性折射效应 (UNR) 和双光子吸收效应 (TPA) 而导致非线性增益压缩效应^[8,9]。考虑到这些效应, 半导体光放大器增益的动态效应将与控制光和信号光的频差有很大的关系。同时, 在太赫兹光非对称解复用器的实际应用中, 控制光和信号光的输入一般采用波分复用和正交偏振复用两种

机制。波分复用是指控制光和信号光采用不同波长, 在太赫兹光非对称解复用器的输出端用滤波器滤除控制光。正交偏振复用是指控制光和信号光波长相同, 但偏振方向正交, 在太赫兹光非对称解复用器的输出端采用检偏器滤除控制光。因此, 研究太赫兹光非对称解复用器的性能与控制光和信号光之间的频差的关系是非常有必要的。

本文考虑了两种情况: 1) 在控制光波长不变的情况下, 信号光频率改变时半导体光放大器的增益、相位的动态效应, 以及太赫兹光非对称解复用器的开关窗口特性; 2) 保持控制光和信号光的频率相同的情况下, 同时改变控制光和信号光的频率时半导体光放大器的增益、相位的动态效应、太赫兹光非对称解复用器的开关窗口特性。数值结果表明, 太赫兹光非对称解复用器开关窗口的平坦性与控制光及信号光的频率也有很大的关系。为了得到较为平坦而窄的开关窗口, 控制光波长应与信号光波长一致, 且其与半导体光放大器增益谱中心波长的差值应该大一些。

2 理论模型

太赫兹光非对称解复用器是一种非对称的光纤环路器件, 其结构示意图如图 1 所示。其工作原理是利用半导体光放大器的交叉相位调制 (XPM) 和交叉增益调制 (XGM)。一般在实际应用中, 控制光的功率要远远大于信号光的功率, 当控制光经过半

* 国家自然科学基金 (60072035) 资助课题。

E-mail: weilis-wen@hotmail.com

收稿日期: 2002-04-17; 收到修改稿日期: 2002-08-02

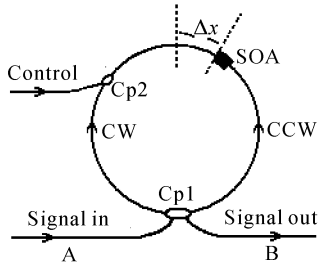


Fig. 1 Configuration of TOAD

导体光放大器时,使得半导体光放大器处于饱和状态。在存在控制光的情况下,由于半导体光放大器的位置在环中不是对称的,顺时针(CW)和逆时针

(CCW)方向的信号光通过半导体光放大器时得到的增益就不一样,其相位的改变量也不一样。当它们到达耦合器1(Cp1)时相互干涉,在端口B得到输出的信号光。若没有控制脉冲,顺时针和逆时针方向的脉冲得到的增益和相位的改变量都一样,则在Cp1处干涉后将端口A反射回去。通过改变半导体光放大器与环中心之间的距离,就可以得到不同大小的开关窗口。

在半导体光放大器中,考虑到载流子热效应、谱烧孔效应及双光子吸收等效应,控制光脉冲、顺时针方向信号脉冲及逆时针方向信号脉冲的功率 P , 相位 ϕ , 增益 G 满足如下方程^[10]

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_{\text{ctr}}}{\partial z} &= \frac{G_{\text{ctr}} - \varepsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \varepsilon_1 P_{\text{ctr}}} P_{\text{ctr}} - 2\Gamma_2 \beta_2 \frac{1}{\sigma} P_{\text{ctr}} - \alpha_{\text{int}} P_{\text{ctr}}, \\ \frac{\partial \phi_{\text{ctr}}}{\partial z} &= -\frac{1}{2} \left(\alpha_{\text{N}} G_{\text{ctr}} - \alpha_{\text{T}} \frac{\varepsilon_1 G_{\text{ctr}} P_{\text{ctr}} + \varepsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \varepsilon_1 P_{\text{ctr}}} \right) - \Gamma_2' \frac{\omega_{0\text{-ctr}}}{C} n_2 \frac{1}{\sigma} P_{\text{ctr}}, \\ \frac{\partial G_{\text{ctr}}}{\partial t} &= \frac{G_{\text{s}0} - G_{\text{ctr}}}{\tau_{\text{s}}} - \frac{1}{E_{\text{s-ctr}}} \frac{G_{\text{ctr}} - \varepsilon_2 P_{\text{ctr}}^2}{1 + \varepsilon_1 P_{\text{ctr}}} P_{\text{ctr}} + \Gamma_2 \beta_2' P_{\text{ctr}}^2, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_{\text{CW}}}{\partial z} &= \frac{G_{\text{CW}} - \varepsilon_2 P_{\text{CW}}^2}{1 + \varepsilon_1 P_{\text{CW}}} P_{\text{CW}} - \alpha_{\text{int}} P_{\text{CW}} - \left[2\Gamma_2 \beta_2 \frac{1}{\sigma} + \text{Re}(\eta_{\text{ctr-sgl}}) \right] P_{\text{ctr}} P_{\text{CW}}, \\ \frac{\partial \phi_{\text{CW}}}{\partial z} &= -\frac{1}{2} \left(\alpha_{\text{N}} G_{\text{CW}} - \alpha_{\text{T}} \frac{\varepsilon_1 G_{\text{CW}} P_{\text{CW}} + \varepsilon_2 P_{\text{CW}}^2}{1 + \varepsilon_1 P_{\text{CW}}} \right) - \left[\Gamma_2' \frac{\omega_{0\text{-sgl}}}{C} n_2 \frac{1}{\sigma} + \frac{1}{2} \text{Im}(\eta_{\text{ctr-sgl}}) \right] P_{\text{ctr}}, \\ \frac{\partial G_{\text{CW}}}{\partial t} &= \frac{G_{\text{s-sgl}} - G_{\text{CW}}}{\tau_{\text{s}}} + \Gamma_2 \beta_2' P_{\text{ctr}}^2 - \frac{1}{E_{\text{s-sgl}}} \frac{G_{\text{CW}} - \varepsilon_2 P_{\text{CW}}^2}{1 + \varepsilon_1 P_{\text{CW}}} P_{\text{CW}}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial P_{\text{CCW}}}{\partial z} &= \frac{G_{\text{CCW}} - \varepsilon_2 P_{\text{CCW}}^2}{1 + \varepsilon_1 P_{\text{CCW}}} P_{\text{CCW}} - \alpha_{\text{int}} P_{\text{CCW}} - \left[2\Gamma_2 \beta_2 \frac{1}{\sigma} + \text{Re}(\eta_{\text{ctr-sgl}}) \right] P_{\text{ctr}} P_{\text{CCW}}, \\ \frac{\partial \phi_{\text{CCW}}}{\partial z} &= -\frac{1}{2} \left(\alpha_{\text{N}} G_{\text{CCW}} - \alpha_{\text{T}} \frac{\varepsilon_1 G_{\text{CCW}} P_{\text{CCW}} + \varepsilon_2 P_{\text{CCW}}^2}{1 + \varepsilon_1 P_{\text{CCW}}} \right) - \left[\Gamma_2' \frac{\omega_{0\text{-sgl}}}{C} n_2 \frac{1}{\sigma} + \frac{1}{2} \text{Im}(\eta_{\text{ctr-sgl}}) \right] P_{\text{ctr}}, \\ \frac{\partial G_{\text{CCW}}}{\partial t} &= \frac{G_{\text{s-sgl}} - G_{\text{CCW}}}{\tau_{\text{s}}} + \Gamma_2 \beta_2' P_{\text{ctr}}^2 - \frac{1}{E_{\text{s-sgl}}} \frac{G_{\text{CCW}} - \varepsilon_2 P_{\text{CCW}}^2}{1 + \varepsilon_1 P_{\text{CCW}}} P_{\text{CCW}}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其中下标 ctr, CW, CCW 分别代表控制光、顺时针信号光和逆时针信号光, sgl 代表信号光。 $\text{Re}(x)$ 表示取 x 的实部, $\text{Im}(x)$ 为取 x 的虚部。 $\eta_{\text{ctr-sgl}}$ 为控制光和信号光之间的耦合项, 其表达式为

$$\eta_{\text{ctr-sgl}} = \eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{CD}} + \eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{CH}} + \eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{SHB}}, \quad (4)$$

其中

$$\eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{CD}} = \frac{g_{\text{s-sgl}} \alpha_{\text{sgl}} \tau_{\text{s}} (1 - i\alpha_{\text{N}})}{\hbar \omega_{0\text{-sgl}} \sigma} \frac{1}{-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_{\text{s}} + 1} \frac{1}{-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_1 + 1}, \quad (5)$$

$$\eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{CH}} = \varepsilon_{\text{T}} g_{\text{s-sgl}} (1 - i\alpha_{\text{T}}) \frac{1}{-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_{\text{h}} + 1} \frac{1}{-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_1 + 1}, \quad (6)$$

$$\eta_{\text{ctr-sgl}}^{\text{SHB}} = \varepsilon_{\text{SHB}} g_{\text{s-sgl}} (1 - i\alpha_{\text{SHB}}) \frac{1}{-i(\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}}) \tau_1 + 1}, \quad (7)$$

分别表示与载流子耗尽、载流子热效应和谱烧孔效应相关的耦合系数, 其中

$$g_{\text{s-sgl}} = G_{\text{s-sgl}} / (1 + P_{\text{a}} / P_{\text{sat}}),$$

P_{a} 为信号光的平均功率, P_{sat} 为波长为信号光波长时材料的饱和功率。 $G_{\text{s-sgl}}$ 为信号光的小信号增益, 其详细的数值计算参见文献[11]。其它各参量的意

义及数值计算时所采用的值参照表 1。

Table 1 Parameters and their values for numerical calculation

Variable	Value
Frequency of control pulse ($\omega_{0\text{-ctr}}$)	1.216×10^{15}
Peak power of control pulse P_{ctr}/W	0.5
Peak power of signal pulse P_{sgl}/W	0.001
Period of control pulse T_{ctr}/s	400×10^{-12}
Small signal gain fro control pulse $G_{\text{s-ctr}}/\text{m}^{-1}$	3.24×10^4
Width of the active region of SOA w/m	1.5×10^{-6}
Depth of the active region of SOA d/m	0.3×10^{-6}
Length of the active region of SOA L/m	200×10^{-6}
Area of active region of SOA σ/m^2	$\sigma = wd$
Carrier lifetime τ_s/s	200×10^{-12}
Traditional confinement factor (Γ)	0.3
Confinement factor for TPA (Γ_2)	0.5
Confinement factor for UNR (Γ'_2)	0.28
Coefficient for TPA $\beta_2(\text{m}/\text{W})$	37×10^{-11}
Differential gain for control pulse α_0/m^2	3×10^{-20}
Nonlinear refractive index coefficient $n_2/(\text{m}^2/\text{W})$	-3.5×10^{-16}
Internal linear lost of SOA $\alpha_{\text{int}}/\text{m}^{-1}$	2000
Nonlinear gain compression factor ϵ_1/W^{-1}	0.2
Nonlinear gain compression for TPA $\epsilon_2/\text{m}^{-1}\text{W}^{-2}$	200
Nonlinear gain compression for CH ϵ_T/W^{-1}	0.13
Nonlinear gain compression for SHB $\epsilon_{\text{SHB}}/\text{W}^{-1}$	0.07
Traditional linewidth enhancement factor α_N	5.0
Temperature linewidth enhancement factor α_T	3.0
Linewidth enhancement factor for SHB α_{SHB}	0.1
Time for carrier-carrier scattering τ_1/s	50×10^{-15}
Time for carrier-photon scattering τ_h/s	700×10^{-15}
Transparent carrier density N_0/m^{-3}	1×10^{24}

假设输入脉冲为理想的孤子脉冲,以控制脉冲为基准,调节顺时针信号脉冲与控制光脉冲之间的时间差 T_d ,这样在进入半导体光放大器时逆时针信号脉冲与控制光脉冲之间的时差为 $T_d - T_{\text{off}}$,其中 $T_{\text{off}} = 2\Delta x/v$, v 为光在光纤中的传播速度。采用四阶龙格-库塔(Runge-Kutta)方法,求解三组一阶偏微分方程组(1)、(2)、(3),可以得到经过半导体光放大器后控制光、顺时针信号光和逆时针信号光功率、相位和瞬时增益。最后顺时针信号光得到的总增益 $G_{\text{total}}(T_d)$ 和相位的改变量 P_{change} 分别为

$$G_{\text{total}}(T_d) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} P_{\text{CW}}(L, t) dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} P_{\text{CW}}(0, t) dt}, \quad (8)$$

$$P_{\text{change}}(T_d) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} \phi(L, t) P_{\text{CW}}(L, t) dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} P_{\text{CW}}(L, t) dt}, \quad (9)$$

在到达耦合器 1 时顺时针信号光和逆时针信号光的电场分别为

$$A_{\text{CW}}(T_d) = \sqrt{P_{\text{CW}}(L, t)} \exp[i\phi_{\text{CW}}(L, t)], \quad (10)$$

$$A_{\text{CCW}}(T_d) = \sqrt{P_{\text{CCW}}(L, t)} \exp[i\phi_{\text{CCW}}(L, t)], \quad (11)$$

则从端口 A 反射回去的功率及从端口 B 透射的功率分别为

$$P_A(T_d) = |A_{\text{CW}}(T_d) + A_{\text{CCW}}(T_d)|^2, \quad (12)$$

$$P_B(T_d) = |A_{\text{CW}}(T_d) - A_{\text{CCW}}(T_d)|^2, \quad (13)$$

值得注意的是,在达到耦合器 1 时顺时针信号脉冲和逆时针信号脉冲中心位置是相等的,因此在计算时应将逆时针信号脉冲在时域上向后平移 T_{off} 。这时太赫兹光非对称解复用器的透过率 $T_{\text{TOAD}}(T_d)$ 为

$$T_{\text{TOAD}}(T_d) = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} P_B(T_d) dt}{\int_{-\infty}^{+\infty} P_A(T_d) dt + \int_{-\infty}^{+\infty} P_B(T_d) dt}, \quad (14)$$

每改变一个 T_d ,可以得到一组传输结果。

3 结果与讨论

根据以上模型,本文计算了增益谱中心波长为 $1.55 \mu\text{m}$ 的半导体光放大器两种情况,1) 保持控制光频率 $\omega_{0\text{-ctr}} = 1.216 \times 10^{15} \text{ Hz}$ (对应波长为 $1.55 \mu\text{m}$) 不变而改变信号光频率 $\omega_{0\text{-sgl}}$; 2) 以 $\omega' = 1.216 \times 10^{15} \text{ Hz}$ 为参考频率,保持 $\omega_{0\text{-sgl}} - \omega_{0\text{-ctr}} = 0$,同时改变控制光和信号光频率的情况下半导体光放大器的增益、相位动态特性和太赫兹光非对称解复用器的开关窗口特性。

3.1 控制光频率不变时半导体光放大器的频率特性

令信号光和控制光之间的频率差 $\Delta f = (\omega_{0\text{-sgl}} - \omega_{0\text{-ctr}})/2\pi$ 。图 2 显示了 Δf 从 -2 THz 到 $+2 \text{ THz}$ 变化,脉冲宽度为 1 ps 时半导体光放大器的增益动态特性。从图 2 可以看出,当 $|\Delta f|$ 增大时,半导体光放大器的饱和深度减小。这主要是因为,控制光的波长 $1.55 \mu\text{m}$ 是半导体光放大器增益谱的中心波长,当 $|\Delta f|$ 越大时,信号光的波长离增益谱的中心波长越远,其所对应的小信号增益就越小^[11]。从图 2 中还可以看出,当 $|\Delta f|$ 相等时, Δf 的正负号对半导体光放大器的增益的动态特性的影响是非常大

的。造成这种现象的原因是控制光和信号光之间的相互耦合,体现在方程组(2)的第一个等式中的 $\text{Re}(\eta_{\text{ctr-sgl}})$ 项。数值计算的结果表明,当 Δf 由 $\Delta f < 0$ 变化到 $\Delta f > 0$ 时, $\text{Re}(\eta_{\text{ctr-sgl}})$ 的值也随着由负变正。这表明,在控制光频率一定时,由于控制光和信号光之间的相互耦合, $\Delta f < 0$ 时半导体光放大器的饱和深度较小,而当 $\Delta f > 0$ 时半导体光放大器的饱和深度较大。

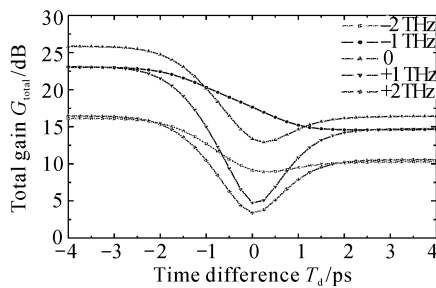


Fig. 2 Dynamic gain of SOA as duration of control pulse is 1 ps

与文献[10]的计算结果不同的是,当控制脉冲和信号脉冲之间的时差超过两个脉冲宽度时,这种影响将随着控制脉冲和信号脉冲的远离而消失,这体现在方程组(2)第一个等式右边的第三项中的 P_{ctr} 。因为当 $|T_d|$ 大于两个脉冲宽度时,对于信号光脉冲中心所在位置 z 来说, P_{ctr} 将很小,因而 $\text{Re}(\eta_{\text{ctr-sgl}})$ 的影响就可以忽略。半导体光放大器的相位的动态特性与 Δf 的关系如图 3 所示。其相位的差值随 $|\Delta f|$ 的增大而减小,而当 $|\Delta f|$ 相等而符号不同时,由于控制光和信号光之间的相互耦合,其相位特性有所不同。而当 $|T_d|$ 大于两个脉冲宽度时,控制光和信号光之间的相互耦合的影响将消失。

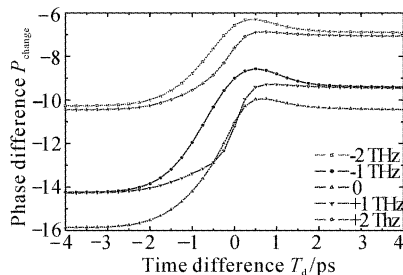


Fig. 3 Dynamic phase of SOA as duration of control pulse is 1 ps

3.2 控制光频率不变时的开关窗口特性

图 4 表示 $T_{\text{off}} = 10$ ps 时太赫兹光非对称解复用器的开关窗口特性与 Δf 的关系。从图中可以看出, $|\Delta f|$ 越大,太赫兹光非对称解复用器的透过率也越大。这主要是因为, $|\Delta f|$ 越大时,半导体光放

大器的饱和深度越小,这样太赫兹光非对称解复用器的顺时针信号和逆时针信号所得到的增益的差值减小。当 $|\Delta f| < 2$ THz 时,在开关窗口的前、后沿,即在 T_d 约为 -0.75 ps 和 8.75 ps 处有一个尖峰,这与文献[12]中当半导体光放大器有增益时的实验结果一致。而当 $|\Delta f| = 2$ THz 时,这两个尖峰基本消失,这主要是因为这时整个开关窗口中的太赫兹光非对称解复用器的透过率都很高,超过了 80%。从图中还可以看出,当 $\Delta f < 0$ 时,在 T_d 约为 10 ps 处还有一个小峰,而当 $\Delta f > 0$ 时却没有,这与文献[10]的结果也有所不同。

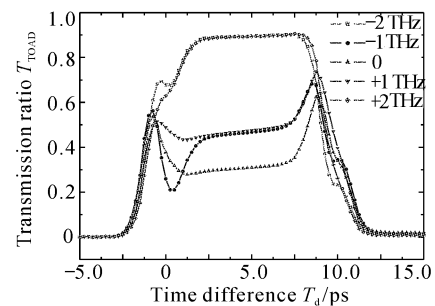


Fig. 4 Switching window of TOAD, $T_{\text{off}} = 10$ ps

图 5 给出的是 $T_d = 4$ ps 时从端口 B 输出的脉冲波形。从图中可以看出,由于不同的 $|\Delta f|$ 对应的半导体光放大器的小信号增益不同,脉冲的功率不同。归一化后发现它们是几乎重叠在一起的,这说明脉冲形状基本相同。

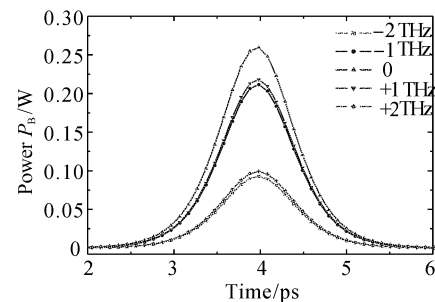


Fig. 5 Waveform of output signal pulse of TOAD

3.3 控制光和信号光频率同时改变时的频率特性

令信号光频率和参考频率之间的差 $\Delta f' = (\omega_{0\text{-sgl}} - \omega')/2\pi$ 。图 6、图 7 分别显示了控制光和信号光频率同时改变时半导体光放大器的增益动态特性和相位动态特性。从图中可以看出, $|\Delta f'|$ 越大,增益越小,饱和深度也越小,而当 $|\Delta f'|$ 相等时,半导体光放大器的动态特性相同。图中显示的当 $|\Delta f'| = 2$ THz 时增益和相位数值上的差别是因为半导体光放大器的增益谱关于波长在 $\lambda = 1.55$ μm 处最大,且左右对称,而在频率上不是关于 $\omega' = 1.216$

$\times 10^{15}$ Hz 对称^[11]。所有当 $|\Delta f'| = 2$ THz 时,这种不对称性导致的小信号增益的差别就显现出来了。

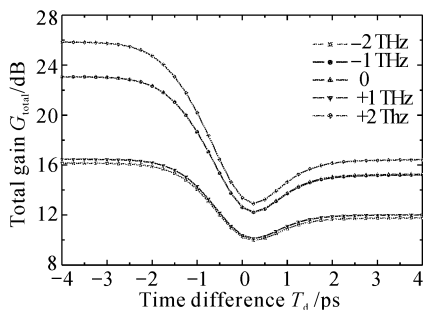


Fig. 6 Dynamic gain of SOA when the frequency of control and signal pulses change together

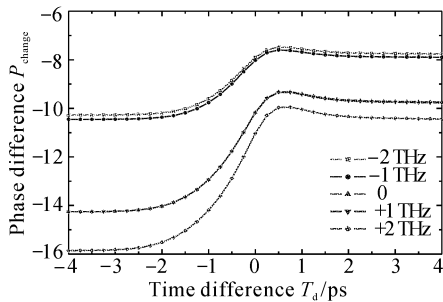


Fig. 7 Dynamic phase of SOA when the frequency of control and signal pulses changes together

3.4 控制光和信号光频率同时改变时的开关窗口特性

图 8 给出了控制光和信号光频率同时改变时太赫兹光非对称解复用器的开关特性。与图 4 比较不难发现, $\Delta f < 0$ (对应的 $\Delta f' < 0$) 时的开关窗口有明显的不同。 $\Delta f = -1$ THz (对应 $\Delta f' = -1$ THz) 时的 $T_d = 0$ ps 处的下巴已经没有了, $\Delta f = -2$ THz (对应 $\Delta f' = -2$ THz) 时 $T_d = -0.7$ ps 处的小峰也没有了。同时 $\Delta f < 0$ (对应 $\Delta f' < 0$) 时 $T_d = 10$ ps 处的小峰也没有了。

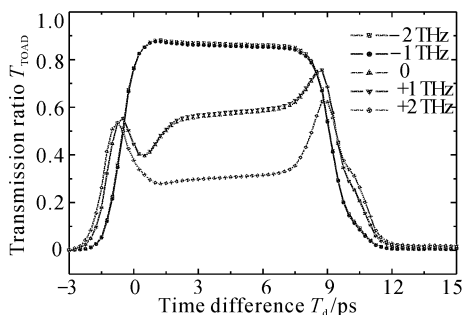


Fig. 8 Switching window of TOAD when the frequency of control and signal pulses changes together

图 9 给出了 $|\Delta f| = 2$ THz ($|\Delta f'| = 2$ THz) 时

两种情况下太赫兹光非对称解复用器的开关窗口特性。从图中可以明显的看出,与第一种情况相比较,在第二种情况,即控制光和信号光频率同时改变的情况下,太赫兹光非对称解复用器的开关特性更加平坦,开关窗口的大小也更小,更接近 T_{off} 。因此在实际应用中可以采用第二种情况。对于使用增益谱中心波长为 $1.55 \mu\text{m}$ 的半导体光放大器的太赫兹光非对称解复用器来说,控制光和信号光波长相同且为 $1.534 \mu\text{m}$ 或 $1.566 \mu\text{m}$ 时 (对应为 $|\Delta f'| = 2$ THz),能得到较大的透过率,且开关窗口很平坦,开关窗口的大小更接近 T_{off} 。

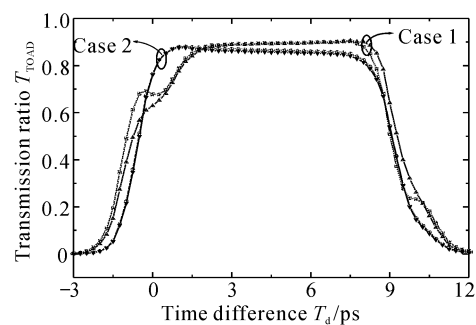


Fig. 9 Switching windows of TOAD for different cases (Case 1: $|\Delta f| = 2$ THz, Case 2: $|\Delta f'| = 2$ THz)

结论 本文在同时考虑了带间效应以及载流子热效应、谱烧孔效应及双光子吸收等带内效应对半导体光放大器的影响下计算了两种情况:1) 保持控制光波长 $1.55 \mu\text{m}$ 不变而改变信号光频率 $\omega_{0\text{-sgl}}$; 2) 以 $1.55 \mu\text{m}$ 所对应频率为参考频率,保持 $\omega_{0\text{-ctr}} - \omega_{0\text{-sgl}} = 0$,同时改变控制光和信号光频率半导体光放大器的增益、相位动态特性和太赫兹光非对称解复用器的开关窗口特性。通过数值计算,发现半导体光放大器的饱和深度对太赫兹光非对称解复用器的透过率有很大的影响。为了得到较大的透过率,半导体光放大器的饱和深度不能太大。数值结果还表明在第二种情况下太赫兹光非对称解复用器的开关窗口较第一种情况有更好的特性,开关窗口更为平坦,开关窗口更小,更接近 T_{off} 。因此在实际应用中,为了得到较为平坦而窄的开关窗口,控制光波长应与信号光波长一致,且其与半导体光放大器增益谱中心波长的差值应该大一些。

参 考 文 献

- 1 Sokoloff J P, Prucnal P R, Glesk I *et al.*. A terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD). *IEEE Photon.*

- Technol. Lett.*, 1993, **5**(7):787~790
- 2 Manning R J, Kelly A E, Poustie A J *et al.*. All improved semiconductor optical amplifier for ultrafast all-optical signal processing. *Nonlinear Optics '98; Materials, Fundamentals and Applications Topical Meeting*, 1998, 159~161
- 3 Robinson B S, Hall K K. Experimental analysis of switching windows in semiconductor based all-optical switches. Conference on *Lasers and Electro-Optics*, San Francisco, 2000. 331~332
- 4 Deng K L, Glesk I, Kang K I *et al.*. Unbalanced TOAD for optical data and clock separation in self-clocked transparent OTDM networks. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1997, **9**(6):830~833
- 5 Zhou Xiang, Ye Peida, Guan K J *et al.*. A novel OTDM frame synchronization scheme based on a terahertz optical asymmetric de-multiplexer with feedback. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 1999, **11**(1):125~127
- 6 Glesk I, Solokoff J P, Prucnal P R. All-optical address recognition and self-routing in a 250 Gbit/s packet-switched network. *Electron. Lett.*, 1994, **30**(16):1322~1323
- 7 Yu B Y, Toliver P, Runser R J *et al.*. Packet-switched optical networks. *IEEE Micro*, January/February, 1998, 28~38
- 8 Mork J, Mecozzi A. Theory of the ultrafast optical response of active semiconductor waveguides. *J. Opt. Soc. Am. (B)*, 1996, **13**(8):1803~1816
- 9 Uskov A, Mork J, Mark J. Wave mixing in semiconductor laser amplifiers due to carrier heating and spectral-hole burning. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1994, **30**(8):1769~1781
- 10 Tang J M, Shore K A. Analysis of the characteristics of TOAD's subject to frequency-detuned control and signal picosecond pulses. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1999, **35**(11):1704~1712
- 11 Obermann K, Kindt S, Breuer D *et al.*. Performance analysis of wavelength converters based on cross-gain modulation in semiconductor-optical amplifiers. *J. Lightwave Technol.*, 1998, **16**(1):78~84
- 12 Kao Y H, Goltser I V, Islan M N *et al.*. Ultrafast optical logic gate using a semiconductor laser amplifier operating at transparency in a loop mirror. *CLEO '97, CTUJ4*, 1997. 94~95

Analysis of the Performance of TOAD Due to the Frequency Detuning of Control and Signal Pulse

Wen Liangsheng Wu Jian Lin Jintong

(Optical Communication Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

(Received 17 April 2002; revised 2 August 2002)

Abstract: The dynamic characteristics of semiconductor optical amplifiers (SOA) and the performance of switching window of terahertz optical asymmetric demultiplexers (TOAD) are investigated numerically by taking into account not only interband effects but also intraband effects, such as carrier heating, spectral hole burning, two-photon absorption, and ultrafast nonlinear refraction. Two cases are considered. 1) change the frequency of signal pulse while let the wavelength of control pulse unchanged. 2) change the frequency of control and signal pulse on the condition that the frequency of control pulse is the same as that of signal pulse. Numerical results show that in order to obtain flat and narrow switching window, the wavelength of control and signal pulse should be the same, and the difference between the wavelength of control pulse and the center wavelength of SOA's gain spectral should be little larger.

Key words: information optics; terahertz optical asymmetric demultiplexer (TOAD); semiconductor optical amplifiers (SOA); switching window; optical time division multiplexing (OTDM)