

半行波半导体激光放大器超短光脉冲响应及开关特性的实验研究

邱 昆 高以智 周炳琨
(清华大学电子工程系, 100084)

摘要: 本文对半行波半导体激光放大器的脉冲响应及开关特性进行了实验研究。脉宽为 27 ps, 重复频率为 1 GHz 的超短光脉冲串通过放大器后脉冲无展宽。当对放大器的注入电流进行调制时, 放大器可起到高速光开关的作用。

关键词: 放大器, 脉冲响应, 光开关

Experimental study of the ultrashort optical pulse response and switch properties of semi-travelling-wave semiconductor laser amplifier

Qiu Kun, Gao Yizhi, Zhou Bingkun

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing)

Abstract: The experimental study of the ultrashort optical pulses response and switch properties of semi-travelling-wave semiconductor laser amplifier are given in this paper. There is no broadening of optical pulses with the width 27 ps at the repetition rate of 1 GHz after they pass through the amplifier. The amplifier can be a high speed optical switch when the injection current of it is modulated.

Key words: amplifier, pulse response, optical switch

一、引 言

近几年发展和成熟起来的半导体激光放大器是光通讯及其它光学系统中十分有用的元件。利用其放大、吸收及非线性等特性, 放大器可用来直接对光信号进行处理而无需进行光-电转换。利用半导体激光放大器作为接收端的前置放大器, 已经在 4 Gbit/s 速率下将接收灵敏度提高到 -34.3 dBm^[1]; 放大器可用作光通讯系统中的中继放大器, 目前, 用五个放大器串接起来, 获得了 52 dB 的净增益, 使无光-电转换的传输距离达到 420 km^[2]。半导体激光放大器也可以作为光开关或光双稳元件来使用^[3, 4]。

我们曾提出了一种新型的半行波半导体激光放大器 (STWA)^[5]。这种放大器兼有法-珀型放大器 (FPA) 和行波放大器 (TWA) 的特点, 它在作为光增益器件或光开关的同时, 具有滤

波器的作用。

本文对 InGaAsP/InP $1.3\ \mu\text{m}$ 半行波半导体激光放大器的高重复频率超短光脉冲响应及开关特性进行了实验研究。实验结果表明, $1\ \text{GHz}$ 重复频率、 $27\ \text{ps}$ 脉宽的超短光脉冲通过放大器后, 脉冲宽度几乎无变化, 放大器也可以用作增益高速光开关, 对此脉冲串进行开关调制。

二、实验装置及器件

图 1 是放大器脉冲响应及开关特性实验的装置图。激光器 LD 和放大器 $STWA$ 由致

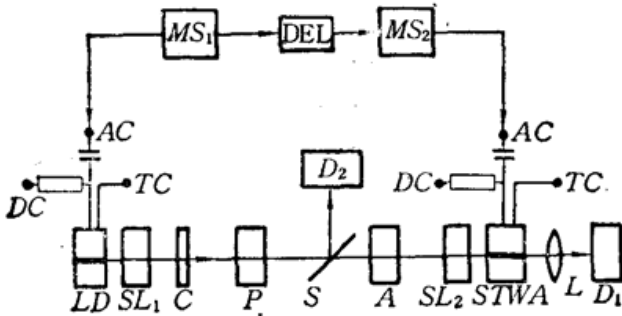


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental set-up

冷器控温, 用两个自聚焦透镜 SL_1 和 SL_2 将光信号耦合进入放大器, 由 SL_2 到放大器作用区的耦合损耗为 $3\ \text{dB}$ 。入射光的偏振态由一个半波片 P 来控制。为消除放大器本身的自发辐射对探测信号的影响, 用斩波器 C 对入射光信号进行斩波, 光信号在进入放大器前, 用分束镜 S 将其分成两束, 以比较光信号经过放大器前后的变化。衰减器 A 用来对光信号进行衰减控制, 以得到在不同的注入功率

下放大器的特性, 同时避免放大器的过饱和。

用两台高频信号发生器 MS_1 及 MS_2 产生 $1\ \text{GHz}$ 及 $500\ \text{MHz}$ 的高频正弦信号, 分别作为光源 LD 和放大器 $STWA$ 的交流驱动信号和开关控制信号。两个信号源之间, 用一可调延时器 DEL 调节相互间的相位差, 以保证放大器的开关信号与入射到放大器的光脉冲信号同步。

实验中所用光源为直接调制 ps 半导体激光器, 激光器偏置在阈值附近, 同时注入频率为 $1\ \text{GHz}$ 的正弦电流, 其峰值电流约为 LD 阈值电流的 0.3 倍。由于增益开关效应, 可产生重复频率为 $1\ \text{GHz}$ 的超短光脉冲。用二次谐波自相关(SHG)法测得脉冲宽度为 $27\ \text{ps}$ 。

半行波放大器是在普通的半导体激光器两端面镀上减反膜后形成的。放大器镀膜前阈值为 $12.5\ \text{mA}$, 镀膜后阈值为 $26\ \text{mA}$, 两端面的剩余反射率约为 5% 。由于剩余反射率的存在, 放大器二端面形成一低精细度的 F-P 腔, 放大器的增益谱受到一定的调制。这种放大器的优点在于它具有较高的增益而对工作条件的要求比 FPA 大大降低, 同时, 放大器对光信号具有波长选择放大性, 因此可以选取单模。

光信号由 Ge APD 高速光电探测器进行检测, 用示波器观测波形。

三、实验结果和讨论

图 2 是放大器在直流情况下对 $1\ \text{GHz}$ 重复频率的超短光脉冲响应的照片, 放大器偏置电流为 $23\ \text{mA}$, 上面为加在激光器上的电流波形, 下面为光脉冲通过放大器后在 Ge APD 上的电响应波形。由于受到探测器响应时间及示波器工作频率的限制 ($500\ \text{MHz}$), 示波器上显示的脉宽并不代表真实的光脉冲宽度。我们用二次谐波自相关法对进入放大器前后的光脉冲进

行了测量,结果如图 3 所示。图 3(a)为输入放大器前光脉冲的 SHG 曲线,图 3(b)是该脉冲串通过放大器后的 SHG 曲线。经拟合认为光脉冲为洛伦兹型,脉冲宽度约为 27 ps。由此可知,超短脉冲通过放大器后,脉冲没有展宽。

图 4 给出了在不同的平均注入功率下放大器的增益随放大器注入电流变化的关系曲线。在一定的平均注入功率下,放大器的增益随注入电流的增加而增大,当电流增加到一定值时,增益达到最大值,此后,随电流的增加,增益将下降,放大器出现饱和。由于放大器的饱和效应,在注入功率大于饱和功率的范围内,放大器的平均注入功率越小,其最大增益越高,如图 5 所示。当平均注入功率为 -14.5 dBm 时,得到放大器的最大增益为 8 dB。继续减小平均注入功率,放大器最大增益将增大,直到注入功率小于饱和功率后,最大增益不再随注入功率变化。

图 4 和图 5 所示的曲线,与放大器直流响应的特性相似。

由于放大器的增益与放大器的注入电流相关,如果对放大器的注入电流进行调制,使放大器在调制高电平时,具有较高增益,处于“开启”状态,而在调制低电平时,没有增益,甚至产生损耗,处于“关闭”状态,那么放大器就能起到光开关的作用。图 6 是放大器对光脉冲的开关效应的照片。放大器偏置在 16 mA,加在放大器上的交流电流峰值为 6 mA,当调节延时器的电压,使放大器的控制电信号与入射光脉冲同步时,得到图 6 所示的结果。加在放大器上的控制

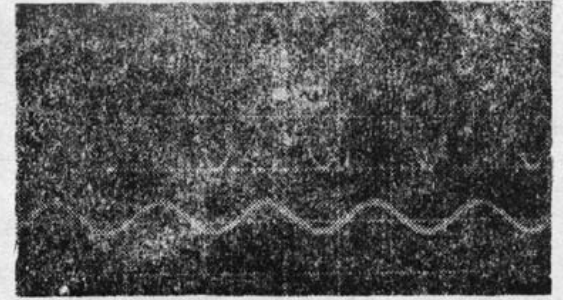


Fig. 2 Photograph of the pulse response of the amplifier top trace: waveform of the modulation current, bottom trace: output from the amplifier

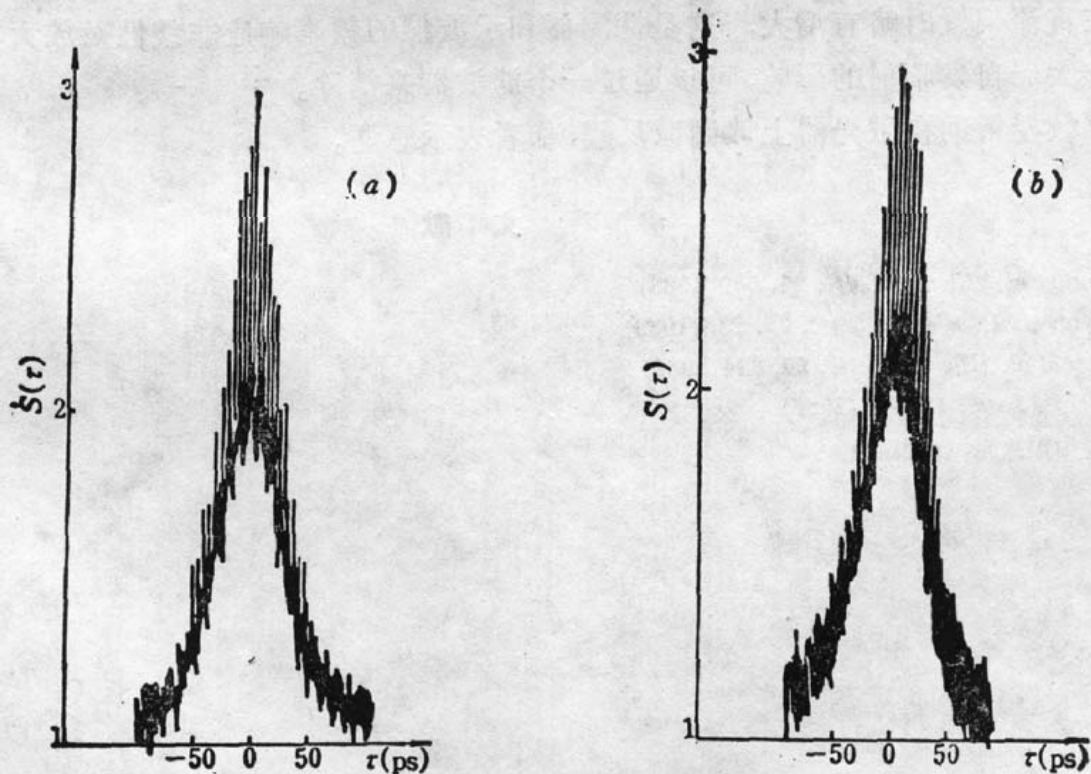


Fig. 3

- (a) SHG trace of the input optical pulses;
- (b) SHG trace of the output optical pulse

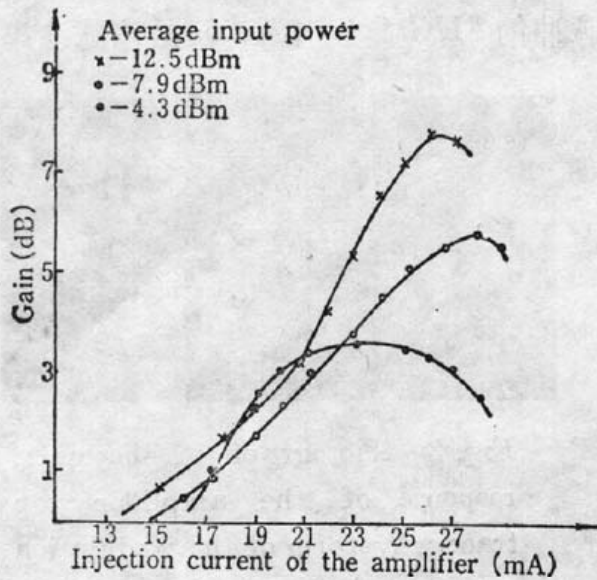


Fig. 4 Gain of the amplifier versus the amplifier injection current at different average input powers

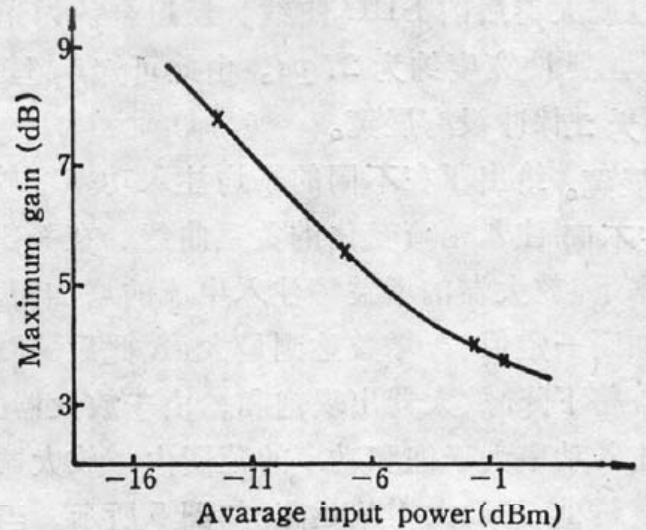


Fig. 5 Maximum gain of the amplifier versus the average input power

信号频率为 500 MHz, 光脉冲重复频率为 1 GHz, 处在控制电信号波峰处的光脉冲通过放大器并得到放大, 处在波谷处的光脉冲在放大器中受到衰减, 不能通过放大器, 所以, 从放大器输出 500 MHz 的光脉冲。用 SHG 法测量此时从放大器输出的光脉冲, 得到脉冲宽度为 27.8 ps, 可知, 脉冲展宽不到 1 ps。

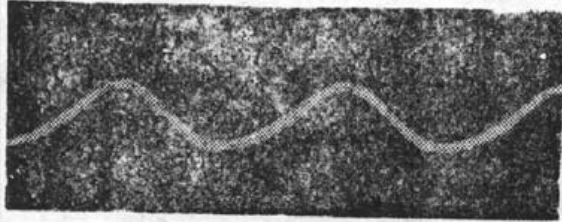


Fig. 6 Switch property of the amplifier

图 6 与图 2 比较, 发现当放大器加有 500 MHz 重复频率的开关控制信号时, 从探测器输出的电信号幅度比放大器仅在直流偏置时略有增大, 这是探测器和示波器的频率响应非线性及放大器的自发辐射所致。放大器自发辐射的影响, 可以通过一个滤波器来消除。

黄德修教授帮助在激光器上镀制减反膜, 作者表示感谢。

参 考 文 献

- 1 N. A. Olsson *et al.*, *Electr. Lett.*, **24**, 569 (1988)
- 2 D. J. Malyon *et al.*, *Electr. Lett.*, **25**, 236 (1989)
- 3 G. Eisensten *et al.*, *Electr. Lett.*, **20**, 624 (1984)
- 4 K. Inoue, *Opt. Lett.*, **12**, 918 (1987)
- 5 邱昆 *et al.*, 中国激光, (待发表)