

半行波半导体激光放大器的实验研究

邱 昆 高以智 周炳琨

(清华大学电子工程系, 100084)

提要: 本文提出一种新型的半导体激光放大器, 这种放大器在作为光增益器件或光开关的同时, 具有选取单模的作用。

关键词 半行波、放大器、减反膜

Experimental study on semi-travelling-wave semiconductor laser amplifiers

Qiu Kun, Gao Yizhi, Zhou Bingkun

(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing)

Abstract: A novel semiconductor laser amplifier called semi-travelling-wave amplifier is proposed and the experimental results are given. This amplifier can be an optical filter while used as an optical gain device or an optical switch.

Key words: Semi-travelling-waves, amplifiers, antireflection-coatings

一、引言

半导体激光放大器在光通讯系统中扮演着越来越重要的角色, 它们可以作为系统中的功率放大器、前置放大器和中继器等线性放大器件来使用^[1~3], 也可以作为光脉冲整形和双稳态元件及光开关等非线性器件来使用^[4]。

一般地, 半导体激光放大器分为两类, 即法布里-珀罗型放大器(FPA)和行波放大器(TWA)^[5]。法-珀型放大器就是一般的激光二极管, 但其工作电流低于激光器阈值电流, 这种半导体激光放大器具有较高的增益, 但其带宽很窄, 对光源的波长、偏振态及温度控制有严格的要求; 行波放大器是在激光器芯片两端面镀上减反膜, 使两端面的反射率极低(理想情况下反射率为零)而形成的, 因而这种放大器具有很宽的带宽和较高的饱和功率。

本文提出一种新型的半导体激光放大器, 该放大器在芯片两端面上具有一定的剩余反射率, 可称为半行波半导体激光放大器(STWA)。这种放大器兼有法-珀型放大器和行波放大器的特点, 在作为光增益器件或光开关的同时, 具有滤波器的作用。

二、半行波放大器

半行波放大器是在普通的半导体激光器的两个端面镀上一定的减反膜(TiO_2 , SiO_2 双层

膜)后形成的,每个端面上的反射率降低到约5%(用光谱间接法测量^[6]),由于这些剩余反射率的存在,这种放大器的增益谱既不象行波放大器那样几乎是自发发射谱,也不象法-珀型放大器那样是一系列分离的、极窄的FP模谱,而是具有一定调制的自发发射谱,如图1所示。自发发射谱受调制的深度和宽度取决于放大器两端面剩余反射率的大小,可以通过对减反膜的镀制来控制。这样,这种放大器既能起到一个法-珀标准具的作用,可以用来在多纵模输入下选取单模,又具有增益或光开关的作用。

由于端面上镀有了一定的减反膜,半行波半导体激光放大器比法-珀型放大器具有更宽的增益带宽和更高的饱和功率,同时,这种放大器也具有比较高的增益,而它对光源波长偏振态及光源和放大器温度控制的要求大大降低。

放大器镀膜前阈值(I_{th})为12.5 mA,镀膜后阈值为26 mA,其中心发射波长为1.3180 μm ($T=20^\circ\text{C}$, $I=25\text{ mA}$),为了获得最大增益,选择中心波长也为1.3180 μm 的激光器作为光源。

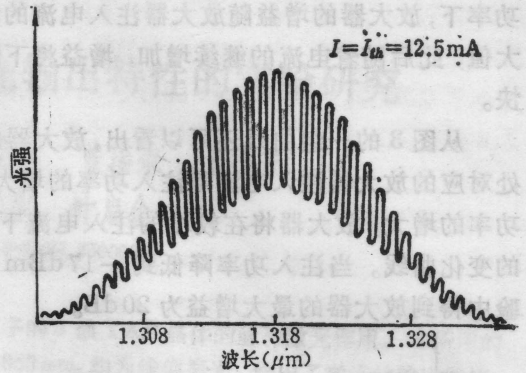


图1 半行波放大器的增益谱曲线(I_{th} 为放大器镀膜前的阈值电流)

三、实验与结果

图2是半行波半导体激光放大器实验的装置图。光源为普通的半导体激光器。激光器LD和放大器STWA都致冷恒温在20°C。用两个自聚焦透镜SL1和SL2将光信号耦合进入放大器,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,以得到在不同注入功率下,放大器的特性,同时避免放大器饱和。

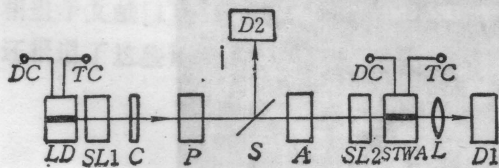


图2 STWA 实验装置图

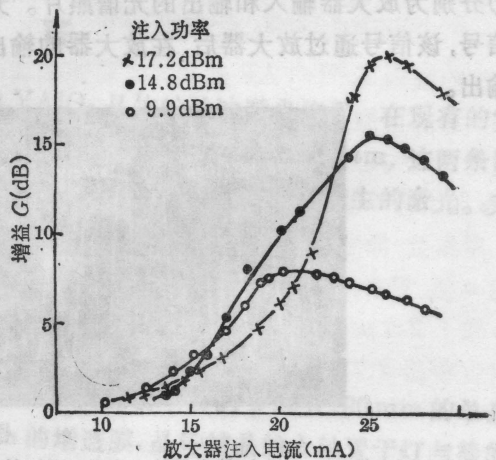


图3 不同注入功率下放大器增益随注入电流的变化

图3给出了放大器在不同的注入功率下,增益随放大器注入电流的变化。在一定的注入功率下,放大器的增益随放大器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,此后随着电流的继续增加,增益将下降。注入功率越小,曲线越陡,增益随电流变化越快。

从图3的一组曲线还可以看出,放大器的最大增益随注入功率的减小而增大,且最大增益处对应的放大器注入电流随注入功率的增大而减小。这是放大器的饱和效应所致,随着注入功率的增大,放大器将在较小的注入电流下即达到饱和。图4是放大器最大增益随注入功率的变化曲线。当注入功率降低到-17 dBm以下后,最大增益不再随注入功率而发生变化。实验中得到放大器的最大增益为20 dB。

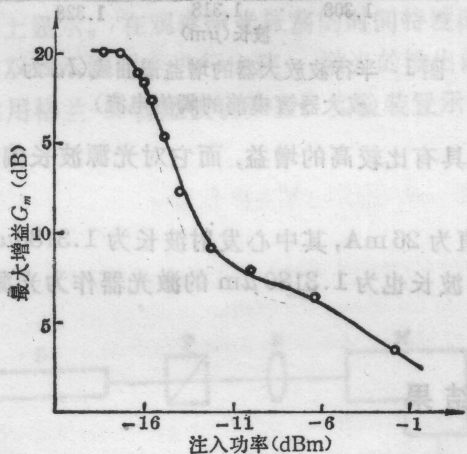


图4 放大器最大增益随注入功率的变化

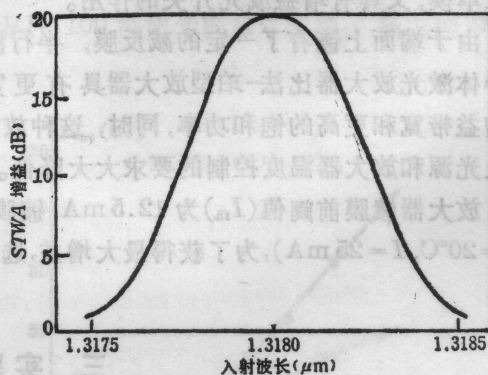


图5 放大器增益与入射光波长的关系

由于半行波放大器增益谱曲线受到调制,所以放大器对不同波长的输入信号具有不同的增益。图5是放大器注入电流在25 mA时,增益随入射光波长变化的曲线。当入射光信号波长由放大器的中心波长1.3180 μm 增大或减小0.5 nm时,在相同大小的注入功率下,放大器的增益由20 dB降到1 dB。利用这种放大器对波长的选择放大性,可以实现选模。图6(a)和6(b)分别为放大器输入和输出的光谱照片。光源在1GHz重复频率的正弦电流调制下输出多模信号,该信号通过放大器后,在放大器的输出端得到了边模抑制比大于32 dB的很稳定的单模输出。

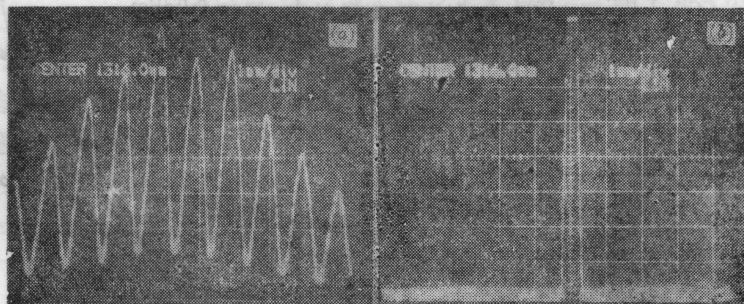


图6

(a) 放大器输入光谱; (b) 放大器输出光谱,放大器 $I=20\text{ mA}$

(下转第83页)

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{\tau_s \tau_p} \left(\frac{I}{I_{th}} - 1 \right) \right]^{1/2}.$$

式中 τ_s 为载流子寿命, τ_p 为光子寿命。超短电脉冲的作用就是在张弛振荡第一个峰值之后用增益开关方法使后面的振荡截止。由上式可见, 泵浦电流越大, 张弛振荡的周期就越短, 可以获得的脉冲就越窄。本实验采用梳状波发生器, 把正弦振荡的高频电流压缩为窄的尖脉冲, 提高了泵浦电流的峰值。以实测梳状波电流数据估算, 正弦电流幅度约 40 mA, 而梳状波电流峰值为 200 mA, 因此脉宽可下降 $\sqrt{5}$ 倍。梳状波与正弦调制相比还有利于张弛振荡第一个峰值以后的截止, 获得较为理想的波形。

半导体激光瞬态过程的理论还告诉我们, 激光输出是在电流注入开始的一段时间之后才出现的, 这一时间称为延迟时间。这相应于载流子积累到阈值增益所需的时间, 它正比于载流子的寿命。为了克服延迟时间的影响, 必须给激光器加正向偏置。显然低于阈值太多的偏置不能完全克服延迟时间的影响; 而高于阈值太多时, 又不利于张弛振荡的彻底截止。因此略低于阈值的偏置加上梳状波电流底部不能完全避免的低频成份, 可以获得较好的结果。这正是本文实验结果所反映的情况。

半导体超短脉冲激光器具有体积小、重量轻、效率高、调制简易、速率高、易与光纤耦合、波长与许多光电子材料和器件匹配等优点, 因而深受重视。本文报道的直接调制超短光脉冲, 已经成功地用于光探测器测应时间测量及其他光电子器件的测量研究。

作者感谢上海科技大学无线电系王佩珍、孙德鑫同志为本课题研制了梳状波发生器。

参 考 文 献

- 1 G Eisenstein *et al.*, *Electr. Lett.*, **21**(5), 137 (1980)
- 2 Y. Silberberg *et al.*, *Opt. Lett.*, **9** (11), 507 (1984)
- 3 张位在, *激光*, **9** (11), 724 (1982)
- 4 J. Au Yeung, *Appl. Phys. Lett.*, **38** (5), 308 (1981)
- 5 C. Yin *et al.*, *Electr. Lett.*, **16** (15), 600 (1980)
- 6 S. L. Shapiro, *Ultrashort Light Pulses*, 100 (1977)
- 7 H. C. Casey, Jr. *et al.*, *Heterostructure Lasers*, 1978, 259

(上接第 90 页)

当入射光的偏振态由竖直方向旋转到水平方向时, 在相同的注入功率下, 放大器的增益稍微减小, 但变化不超过 2 dB。实验还发现, 当光源和放大器的温度控制在 0.2 $^{\circ}\text{C}$ 变化范围时, 放大器具有稳定的增益。

感谢黄德修教授帮助在激光器上镀制减反膜。

参 考 文 献

- 1 M. J. O' manhony, *IEEE J. Lightwave Tech.*, **LT-6** (4), 531 (1988)
- 2 N. A. Olsson, P. Garbinskin, *Electr. Lett.*, **22**, 1114 (1986)
- 3 I. M. Marshall *et al.*, *Electr. Lett.*, **22**, 253 (1986)
- 4 K. Inoue, *Electr. Lett.*, **23**, 921 (1987)
- 5 T. Saitoh, T. Mukai, *IEEE J. Lightwave Tech.*, **LT-6** (11), 1656 (1988)
- 6 黄德修 *et al.*, *光学学报*, **7** (11), 1036 (1987)