

## 1.3 $\mu\text{m}$ 行波式半导体激光放大器\*

罗 斌 陈建国 卢玉村

(四川大学光电科学技术系, 成都)

**摘要:** 利用多级尝试法对主动监控法进行优化, 获得了两端面剩余模式反射率几何平均值小于 $3 \times 10^{-4}$ 的行波式半导体激光放大器, 并在1.3 $\mu\text{m}$ 波段获得了20dB的信号增益。

### 1.3 $\mu\text{m}$ travelling-wave semiconductor laser amplifier\*

Luo Bin, Chen Jianguo, Lu Yucun

(Department of Optoelectronics Science and Technology, Sichuan University)

**Abstract:** With the aid of multi-step trials, the active monitoring method adopted to control the deposition of the AR coatings on the facets of the semiconductor lasers has been optimized. As a result, a travelling-wave semiconductor amplifier with an average facet reflectivity of less than  $3 \times 10^{-4}$  has been obtained, and 20dB signal gain at 1.3 $\mu\text{m}$  has been observed.

### 一、引 言

行波式半导体激光器(TWA)在光通信系统中有着重要的地位,它可以作为探测器的前置放大器,全光中继器,信号的功率放大器等,因而近年来一直受到人们的极大关注。

所谓行波放大器,理论上要求信号在器件中一次通过。但实际上,由于半导体二极管端面总有剩余的模式反射率,即使端面带角也无法完全消除<sup>[1]</sup>,这将使得信号的增益因受二极管F-P腔模效应的影响而有一定的波动。在物理上,通常要求行波放大器在宽带范围内增益的波动小于3dB<sup>[2]</sup>。经过计算,O'Mahony<sup>[3]</sup>提出一个简易的判别方法:当放大器的小信号放大倍数与其端面剩余反射率的几何平均值的乘积小于0.17时,它可称为TWA。例如,对于具有25dB小信号增益的TWA,其端面剩余反射率的几何平均值应小于 $5.3 \times 10^{-4}$ 。由此可见,制作TWA的关键问题将是如何消除半导体激光器两端面的反射率。

利用逐渐逼近最佳停镀点的多级尝试法,我们对主动监控法进行了优化。获得了单面剩余反射率小于 $9 \times 10^{-5}$ 和双面剩余反射率几何平均值低于 $3 \times 10^{-4}$ 的半导体二极管。做成了1.3 $\mu\text{m}$ 波段的可调谐激光器和行波式半导体激光放大器,当TWA偏置在镀前阈值电流的3.5倍时,得到了20dB的信号增益,并对放大器的某些特性进行了研究。

\* 国家教委博士点基金和自然科学基金资助项目。

## 二、TWA 的 制 造

如引言中所述,制造TWA首先要解决的是在半导体激光器的两个端面上镀制极低反射率的减反射膜。近年来,世界上颇具影响力的一些实验室都先后采用了主动监控法来实时地监控减反射膜的镀制<sup>[4,5]</sup>。针对我们设备较为落后的现状,我们除采用了主动监控法外<sup>[6,7]</sup>,又采用多级尝试法对主动监控法进行了更进一步的优化,使 $10^{-4}$ 量级的减反射膜的镀成几率大大提高,其中部分达到了 $10^{-5}$ 量级。

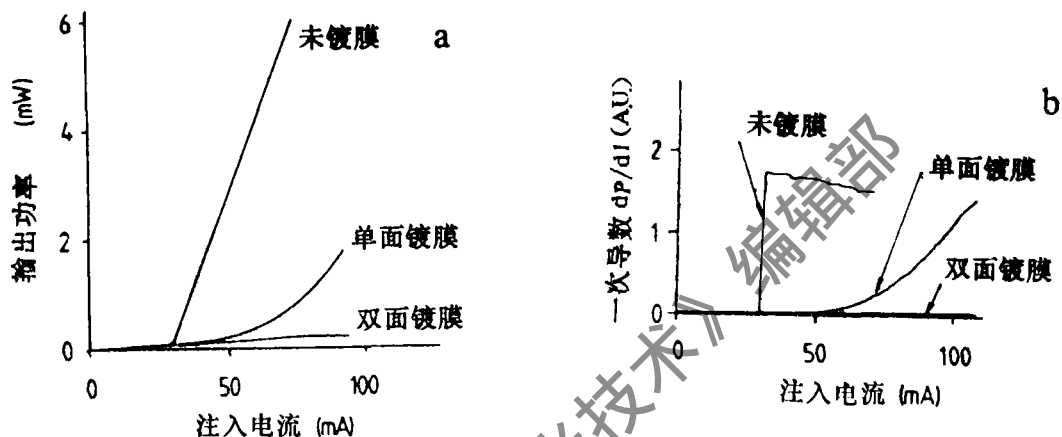


图1 半导体激光器的 $P-I$ 曲线和 $dP/dI-I$ 曲线  
a— $P-I$ 曲线 b— $dP/dI-I$ 曲线

图1是一只半导体激光器在镀减反射膜以前单面镀膜和双面镀膜后的 $P-I$ (功率-电流)曲线以及 $dP/dI-I$ 曲线。测量 $dP/dI-I$ 曲线时,为了保证微分的真实性,交流调制电流的幅度始终控制在0.1mA以下。值得注意的是,对于单面镀了减反射膜的二极管,由于另一端还有较强的反馈作用,因而器件在大电流偏置时仍有较强的放大自发辐射, $P-I$ 曲线与 $dP/dI-I$ 曲线都呈现出较大的上升趋势,这和两面都镀了减反射膜的二极管有较明显的差别。

在图2中,我们给出了半导体二极管的自发辐射谱,其中a是单面镀减反射膜的二极管的

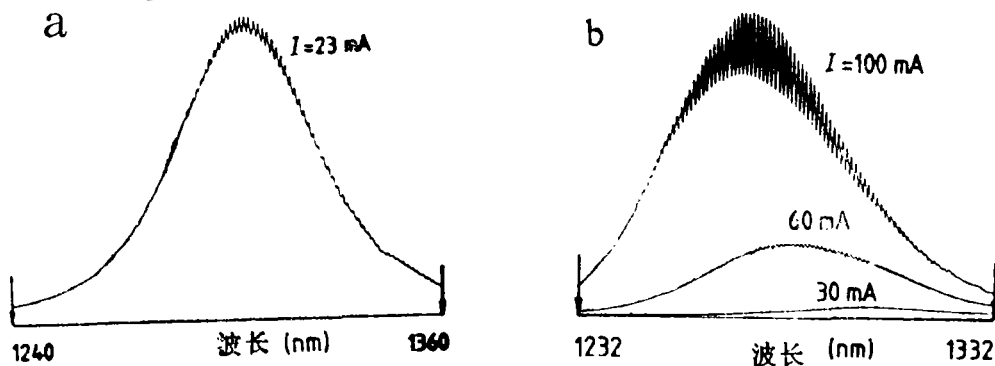


图2 半导体二极管的自发辐射谱  
a—单面镀 b—双面镀

谱, b是双面镀膜减反射膜的二极管在几个不同电流下的谱。由测量偏置在镀膜前阈值时的二极管自发辐射谱上的调制度, 可以确定其端面剩余反射率<sup>[8]</sup>。a中管子镀膜前阈值电流为23mA, 由谱图可以确定其镀膜面剩余反射率小于 $9 \times 10^{-5}$ 。b中管子镀膜前阈值是28mA。此时已很难准确地定出谱图上的调制度, 因而已不易用Kaminow<sup>[8]</sup>的方法定出准确的剩余反射率值, 这与Eisenstein<sup>[9]</sup>报道的情况相似。利用放大的谱图, 采取提高波峰与波谷差值的办法(该法我们另撰文报道), 可以确定该管两端面剩余模式反射率的几何平均值小于 $3 \times 10^{-4}$ 。这两个反射率值都是目前国内报道的最好值。

根据O'Mahony<sup>[3]</sup>提出的判据, 图2b中的二极管可用作单程增益为27.5dB的TWA的增益介质(如果它能提供这么大的增益的话)。

### 三、TWA 的研究

由于一段TWA运行在较高的电流下, 因而其增益峰值波长往往比它镀膜前阈值附近的振荡波长要短上百个埃。为了获得较高的增益, 需要建立可调谐的半导体激光器作为信号光源, 实现信号波长与放大器波长的匹配。利用图2a中给出的单面镀膜减反射膜的二极管, 在60mA的偏置电流下, 我们实现了40nm宽带范围内的单模调谐。

宽带单模调谐输出的实现, 使我们得以合理地选择与放大器相匹配的信号波长, 对TWA进行研究时, 以可调谐外腔激光器的单模输出作为信号光源, 并通过光纤和TWA进行耦合。同时, 为了获得比较大的、稳定的放大输出, 我们使用光纤偏振控制器对输入信号的偏振适当地加以控制。放大后的光信号从TWA的另一端输出, 经由单色仪以后, 对放大曲线加以记录。图3是对应于同一单色输入信号, TWA分别运行在100mA和20mA两种情况下的输出谱。因为TWA偏置于20mA时的输出光信号较弱, 我们将记录仪的灵敏度提高了一个数量级。从图中可以看出, 在1276nm处, TWA对单色输入信号有明显放大。由于放大器工作在100mA时, 运行电流已超过镀膜前阈值的3.5倍, 器件发热等对特性有所影响。我们利用功率计直接对单色仪在1276nm处的单色输出读数, TWA运行在100mA时的瞬时输出要比20mA

时大100倍以上。由于耦合进TWA的信号很难确定, 并考虑到TWA的透明电流低于20mA, 因此, 我们粗略地把20mA时TWA的输出作为耦合到放大器中去的信号, 这样TWA运行在100mA时的信号增益已超过20dB。由于可以肯定耦合进TWA的信号要比TWA在20mA时输



图3 TWA放大曲线

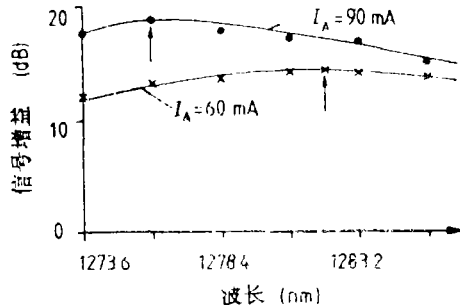


图4 TWA增益与波长关系曲线

出小,因此,这种估算使得测量结果比实际值偏小。

在图4中,我们给出了当放大器电流 $I_A$ 等于60mA和90mA两种情况下,TWA的增益随波长变化的曲线,图中用箭头指示出了增益的峰值。由于测量时,并未采取特别的措施以保证信号波长与放大器的剩余反射率形成的F-P腔模的峰值波长相重合,测量到的增益有时可能对应波峰,有时可能对应波谷,因而实验点散落在曲线的两侧。从图中可以看到,这些分散点落在曲线附近 $\pm 1\text{dB}$ 的范围内,表明增益波动小于2dB,满足行波放大器增益波动应小于3dB这一基本要求。

另一个明显的特征是增益峰值随电流上升而向短波方向移动,这与TWA自发辐射谱的峰值随电流变化的趋势是一致的,这种现象也是放大器的特征之一。

#### 四、结 论

采用逐渐逼近最佳停机点的多级尝试法,对主动监控法进行了优化,大大提高了镀成 $10^{-4}$ 数量级的剩余反射率膜的几率。利用镀膜端面反射率小于 $9 \times 10^{-7}$ 的半导体二极管作成的外腔式调谐光源,对两端剩余反射率几何平均值小于 $3 \times 10^{-4}$ 的TWA进行了研究,获得了20dB的单程增益。同时,增益波动小于2dB,满足对行波放大器提出的基本要求。

机电部44所提供了测量光谱用的低噪声大窗口探测器,南光机器厂刘家玉同志制作了偏振控制器,西南交通大学吕鸿昌等同志提供了实验用的半导体激光器,在此一并表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] Marcuse D. Lightwave Technol, 1989; LT-7:336
- [2] Simon J. J Opt Commun, 1983; 4:51
- [3] O'Mahony M. Lightwave Technol, 1988; LT-6:531
- [4] Saitoh T, Mukai T. Lightwave Technol, 1985; LT-3:288
- [5] Eisenstein G, Raybon G, Stulz L W. Lightwave Technol, 1988; LT-6: 12
- [6] Chen J, Lu Y, Li D. J Opt Commun, 1991; 12:17
- [7] Chen J, Li D, Lu Y. Appl Opt, 1991; 30:4554
- [8] Kaminow I P, Eisenstein G, Stulz L W. Quantum Electron, 1983; QE-19:493
- [9] Eisenstein G, Stulz L W. Appl Opt, 1984; 23:161

收稿日期:1992年1月24日。

#### • 产品简讯 •

#### 二极管泵浦激光器

Optilas公司的全系列二极管泵浦激光器波长从YAG的 $1.06\mu\text{m}$ ~ $1.32\mu\text{m}$ 和 $0.53\mu\text{m}$ 延伸到电信工业感兴趣的波长。该类器件包括输出功率50mW以上,运转波长 $1.5\mu\text{m}$ 的掺Er激光器 and 在该波长上小信号增益高于30dB的独特的光纤放大器。另外开发了一种测距/寻的指示器试验的Q开关激光器和无跳模80GHz调谐的单纵模种子激光器。

译自Electro Opt, 1992; 22(99):UK23 中尧译 马理校