

1.55 μm 多量子阱行波光放大器

李丽娜 曹望和 王立军 武胜利 傅德惠 刘云

(中国科学院长春物理所 长春 130021)

提要 介绍了 1.55 μm 波段的多量子阱(MQW)行波式半导体激光放大器的制备及其特性的测量。其测量结果,在注入脉冲电流条件下,内增益为 20 dB,饱和输出峰值功率为 40 mW。
关键词 多量子阱光放大器,半导体激光,行波放大

1 引 言

将光信号直接放大的光放大器是实现全光通信的关键性部件,研制光放大器是光纤通信领域最引人关注的重大课题之一。随着量子阱激光器的发展,量子阱结构的光放大器越来越受到人们的重视。与双异质(DH)行波放大器相比,量子阱行波光放大器的饱和输出功率大,调制速度快(THz 量级),泵浦功率小,增益带宽大。而且能够通过增加放大器腔长提高放大器增益^[1~3]。虽然这两种结构的光放大器采用了相同的器件工艺,但量子阱结构却明显优于 DH 结构的光放大器。因此在多通道光放大、高速调制放大以及波分复用、频分复用中显示其独特的长处。将在光纤通信中继器、功率补偿器、探测器前置放大、光幅值与光相位调制器、光开关和逻辑门元件等方面具有广泛的应用前景。

2 器件的研制

1.55 μm MQW 材料是采用 InGaAs/InGaAsP/InP 体系,在 n -InP (001)面上用 MOCVD 方法生长。有源光波导采用梯度折射率分别限制异质结构(GRIN-SCH)。阱层为 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ (宽为 10 nm),垒层为 InGaAsP(宽为 10 nm)。无应变量子阱层的 $x = 0.53$,放大器腔长为 630 μm 。芯片结构如图 1 所示。

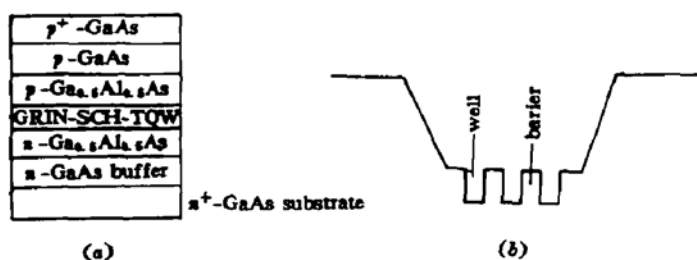


图 1 芯片结构

Fig. 1 Wick piece structure

经 $\sim 700^\circ\text{C}$ 闭管 Zn 扩散之后,在 p -GaAs 与 n -GaAs 表面分别蒸镀 Cr-Au 和 Au-Ga-Ni 合金电极。用质子轰击形成 8 μm 的条形。解理后,两面溅射氮化硅消反射介质膜。溅射前,先把系

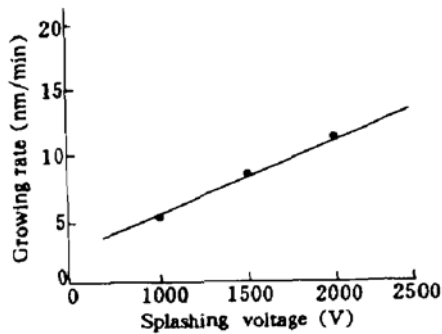


图 2 介质膜生长速率与溅射电压的关系
Fig. 2 Growing rate of a medium film as a function of splashing voltage

统抽至 $\leq 1.33 \times 10^{-4}$ Pa 的高真空,然后打开通气阀通入 Ar+N₁ 混合气体,混合比 $\sim 3:1$,并使系统内气压稳定在 6.65×10^{-1} Pa,溅射电压为 2600 V。在正式溅射前,先空溅 15 min,以驱除水气杂质,更利于系统稳定及膜的质量和厚度控制。我们发现在系统内气压属正常范围 $3.99 \sim 10.64 \times 10^{-1}$ Pa 内,溅射速率大致与溅射电压成线性关系。混合气体的起辉电压约为 900 V,超出正常气压范围,起辉电压则大幅度上升或下降。混合气体的比例及压强在一定范围内变动时,介质膜的折射率及生长厚度变化不灵敏。

溅射消反射介质膜后的芯片可用椭圆偏振仪测量其折射率和厚度。根据单层介质膜反射率公式^[4]

$$R = \frac{(n_0 - n_2)^2 \cos^2 \frac{\delta_1}{2} + \left(\frac{n_0 n_2}{n_1} - n_1\right)^2 \sin^2 \frac{\delta_1}{2}}{(n_0 + n_2)^2 \cos^2 \frac{\delta_1}{2} + \left(\frac{n_0 n_2}{n_1} + n_1\right)^2 \sin^2 \frac{\delta_1}{2}}$$

$$\delta_1 = \frac{4\pi}{\lambda} n_1 d_1 \cos i_1$$

其中 n_0, n_1, n_2 分别为入射介质、膜层和基底的折射率, i_1 为光在膜层中的折射角。由此公式可以看出,通过控制折射率与厚度可得到 $< 10^{-3}$ 的腔面反射率。

3 MQW 行波光放大器的特性测量

MQW 行波光放大器的增益特性测量系统如图 3 所示。

由于激光器和放大器是在注入脉冲电流条件下工作,这就要求激光器和放大器的注入电流、频率、相位必须同步。因此,我们用注入激光器的脉冲电源同时触发注入放大器的脉冲电源,以保证注入激光器的电流和注入放大器的电流完全同步。

实验用注入电脉冲的频率为 10 kHz,激光器注入电流脉宽一般在 1 μ s 左右,放大器注入电流脉宽一般取 10 μ s。将放大的信号光,经探测器用锁相放大器进行测量。锁相放大器的参考信号与激光器和放大器的注入电脉冲必须保持同步状态,用带有锥半球透镜的单模光纤对光放大器进行输出、输入耦合,耦合效率分别为 70%、15%。

实验结果表明, MQW 行波放大器的增益随腔长增大而增大。说明 MQW 行波放大器有源光波导的内部吸收损耗很小,行波放大器的增益与注入电流的关系如图 4 所示。

从图中可以看出,光放大器的增益随注入电流的增加而增大。当注入电流为 300 mA 时,放大器内增益为 20 dB。

放大器饱和输出功率也是光放大的主要参数。行波光放大器的小信号增益 g_0 和饱和功率

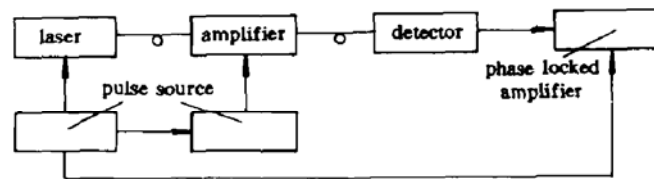


图 3 增益特性测量系统示意图

Fig. 3 Schematic diagram of a measurement system of gain characteristics measurement

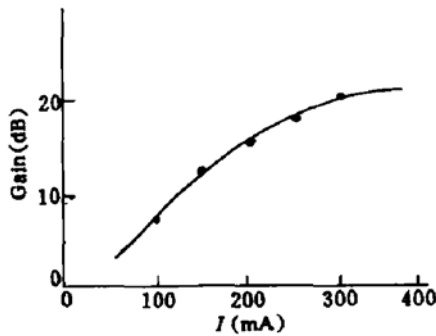


图 4 注入电流与光放大增益的关系

Fig. 4 Optical amplifier gain as a function of injection current

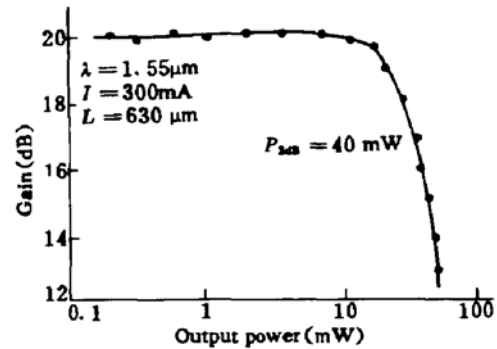


图 5 输出功率与光放大增益的关系

Fig. 5 Optical amplifier gain as a function of output power

P_s 不是独立的参数 $g_0 = \Gamma a(N - N_0)$ 。其中, Γ 为模式限制因子, a 为微分增益系数, N 和 N_0 分别表示载流子密度和透明载流子密度^[3]。DH 结构行波放大器的 Γ 一般为 0.3~0.5, 而多量子阱结构的行波放大器 Γ 为 0.02~0.05。 $P_s = h\nu A / \Gamma a \tau$, 其中 A 为有源区面积, τ 为增益恢复时间。 τ 由载流子寿命决定, 其载流子寿命在 0.2~0.3 ns, 多量子阱结构由于阱中载流子密度大, 导致复合几率大, 而使 τ 小, 已测得的 τ 在 7~60 ps 之间。MQW 光放大器的 Γ 和 τ 较小, 在大载流子密度下其微分增益系数 a 也变小。因而能得到较大饱和输出功率。我们测得的饱和输出峰值功率为 40 mW。

因此, 根据光放大器的不同应用要求, 设计和选取适当的光放大器的光波导结构、腔长、阱宽与阱数等来控制 Γ 值, 就能得到所需的器件增益和饱和输出功率。

参 考 文 献

- 1 G. Eisenstein, U. Koren, G. Raybon *et al.*. Large- and small-signal gain characteristics of 1.5 μm multiple quantum well optical amplifiers. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**(13): 1201~1203
- 2 G. Eisenstein, U. Koren, G. Raybon *et al.*. Gain and gain saturation spectra in 1.5 μm multiple quantum well optical amplifiers. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **57**(4): 333~335
- 3 J. M. Wiesenfeld, G. Raybon, U. Koren *et al.*. Gain spectra and gain compression of strained-layer multiple quantum well optical amplifiers. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(3): 219~221
- 4 母国光, 战元龄. 光学(第一版). 北京: 人民教育出版社, 1978. 441

1.55 μm MQW Traveling-wave Optical Amplifier

Li Lina Cao Wanghe Wang Lijun Wu Shengli Fu Dehui Liu Yun

(Changchun Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

Abstract In this paper, preparation of the 1.55 μm MQW traveling-wave type semiconductor laser amplifier and the characteristics measurement are introduced. Under the condition of pulsed current injection, a gain of 20 dB and a saturation output power of 40 mW are obtained.

Key words multiple quantum well optical amplifier, semiconductor laser, traveling-wave amplifier