

# 1.55 $\mu\text{m}$ 波段低偏振灵敏度半导体光放大器\*

段子刚 黄格凡<sup>1</sup> 张哲民<sup>1</sup> 刘德明 黄德修

(华中理工大学光电子工程系 武汉 430074)

(<sup>1</sup> 武汉邮电科学研究院 武汉 430074)

**摘要** 研制了 1.55 $\mu\text{m}$  波段低偏振灵敏度的半导体光放大器(SOA)。其有源区材料采用张应变和压应变交替排列的混合应变量子阱结构,由MOCVD生长。张应变量子阱加强了TM模式的增益,改善了SOA的偏振灵敏度。腔长为400 $\mu\text{m}$ 的单端耦合SOA,在160mA偏置下,增益大于16dB,偏振灵敏度约为1.8dB。

PACC: 7340L, 4255P

## 1 引言

半导体光放大器(SOA)在未来的全光网络中起着十分重要的作用。在信息传输方面,SOA可作为前置放大器、中继放大器和功率放大器<sup>[1]</sup>,以及用于光时分复用<sup>[2]</sup>(OTDM)、色散补偿<sup>[3]</sup>和全光再生<sup>[4]</sup>等;在信息交换方面,SOA用于有源光开关<sup>[5]</sup>和波长路由<sup>[6]</sup>;基于SOA的光环型镜(SLALOM),用于光定时、光脉冲整形、光开关和光学解复用<sup>[5]</sup>。由于光信号在普通光纤中传输时没有确定的偏振态,偏振灵敏度足够低的SOA才能获得在实际的光通信系统中的应用。然而,由于能带结构上的原因,普通SOA的偏振灵敏度高达十多个分贝。近年来,采用能带工程使SOA的性能获得了很大的改善。张应变量子阱提高了TM模的增益,SOA的偏振灵敏度达到了EDFA的水平<sup>[1,7]</sup>。就1.55 $\mu\text{m}$ 窗口而言,SOA在波长转换和光交换方面的应用具有不可替代的作用。相对EDFA而言,SOA也有可能降低设备成本。目前,国内尚无1.55 $\mu\text{m}$ 波段的低偏振灵敏度SOA的报道。

## 2 实验

实验用 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 外延片采用AXTRON MOCVD设备生长。反应的V族源为 $\text{PH}_3$ 和 $\text{AsH}_3$ ,III族源为TM-In和TM-Ga,经钽管扩散纯化后的氢气作为载气。衬底材料为InP基片。有源区为由6对交替排列的压应变和张应变量子阱构成。其结构如图1所示。

将外延片减薄、湿法刻蚀双沟后液相外延掩埋生长,制作电极后解埋成条状。用我们开

\* 国家“863”高技术计划资助项目(批准号:863-307-11-5(01))

段子刚 博士生,主要从事光通信有源器件的研究

1999-04-21 收到,1999-06-20 定稿

发的实时镀膜监控技术在 DMDE-450 型光学镀膜机上镀制  $SiO_2$  单层膜增透, 再解理成单个的 SOA 芯片。芯片腔长  $400\mu m$ , 有源区宽为  $2\mu m$ , 增透后的腔面剩余反射率约为  $4 \times 10^{-4}$ 。将经过检测合格的芯片先安装在过渡热沉上, 再安装上热沉, 用拉锥后的单模光纤单端耦合后加电流测试

外延片质量以及对应变的判断由双晶衍射和 PL 谱来确定, 用镀膜前的  $P-I$  特性和光谱特性来检测 TE 和 TM 两个模式的激射情况, 镀膜后的  $P-I$  特性确定腔面增透的情况, 光谱特性能给出蓝移量。芯片所发出的光经过检偏器后由探测器接收, 检偏器对 TE 和 TM 两个模式的损耗近似相等。增益测试的原理如图 2 所示

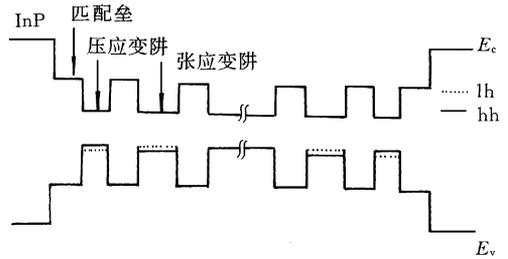


图 1 1.55μm 混合应变量子阱 SOA 有源区结构图

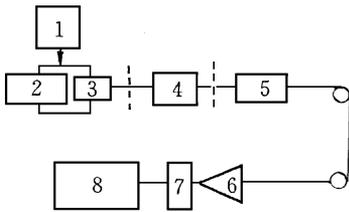


图 2 SOA 增益测试原理图

- 1. 1kHz 调制器; 2. 电源; 3. 半导体激光器;
- 4. 衰减器; 5. 偏振控制器; 6. SOA;
- 7. 光探测器; 8. 选频放大器

### 3 结果与讨论

1kHz 的调制信号经过衰减器和偏振控制器后作为单端单模光纤耦合 SOA 的输入信号, 放大后的信号由大面积探测器送入 1kHz 选频放大器, 强度由选频放大器给出。在某一偏置下, 调整偏振控制器, 便可得到最大输出(或最小输出), 对应最大增益(或最小增益)。

图 3 为混合应变量子阱材料的 X 射线双晶衍射图。图中给出平均应变量约为  $-0.45\%$ , 这表明获得了张应变量子阱。图 4 为混合应变量子阱外延片的 PL 谱, 在外延片的不同位置的两个点进行了测试, 图中可以看出, 材料的  $E_g$  约为  $0.77eV$ 。

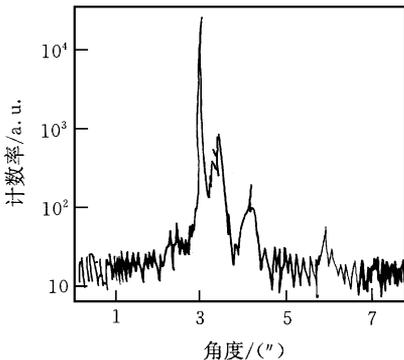


图 3 混合应变量子阱外延片 X 射线双晶衍射图谱

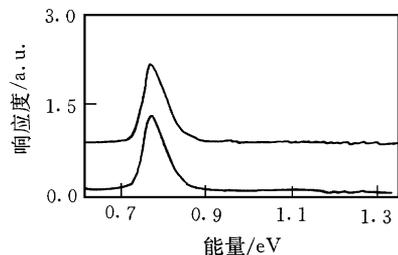


图 4 混合应变量子阱外延片 PL 谱

图 5 为混合应变量子阱激光器(LD)的激射谱, 60mA 下的激射波长为  $1.58\mu m$ 。图 6 为激光器不同偏振模式的  $P-I$  曲线, 分辨率为  $0.2nm$ 。

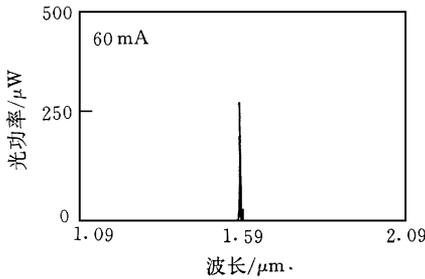


图 5 混合应变量子阱激光器在 60mA 偏置下的激射光谱

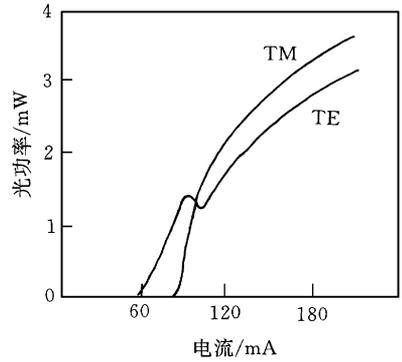


图 6 混合应变量子阱激光器不同偏振模式的 P-I 特性

从图 6 中可以看出, 两个偏振模式均能激射, TE 模阈值电流约为 60mA, TM 模的阈值电流约为 80mA. 这一结果明显高于同一设备的非混合应变量子阱 LD 的结果, 原因有两个, 一是腔长较长, 差不多是普通 LD 的两倍; 另外, 也是主要的原因, 晶体的质量不够好, 气相外延工艺参数有待优化, 这一工作正在进行之中. 在 TM 模的阈值电流附近, 由于模式竞争, TE 模的 P-I 曲线发生扭折, TM 模在开始激射时, 其微分增益较 TE 模大, 随着注入电流的加大, 二者相差不大, 并具有相近的激射功率. 图 7 为增透后混和应变量子阱 SOA 芯片不同偏振模式的 P-I 曲线, 从中可以看出, TM 模的自发发射功率较 TE 模的为大, 这可以用材料的平均应变为张应变来解释.

图 8 是 150mA 注入电流下 SOA 芯片的自发发射谱, 其中心波长为 1.5298μm, 因为能带填充导致约 50nm 的蓝移, 图中阴影部分为腔面剩余反射引起的调制. 图 9 为增益与电流的关系曲线, 160mA 的注入电流下, 增益大于 16dB, 偏振灵敏度 ΔG 约为 1.8dB.

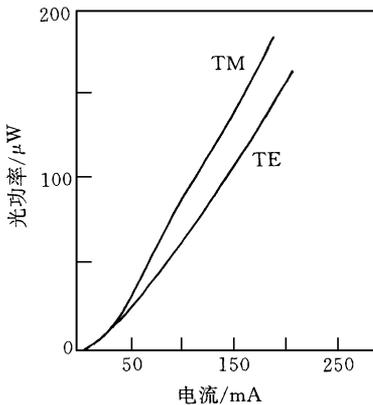


图 7 腔面增透后 SOA 芯片不同偏振模式的 P-I 曲线

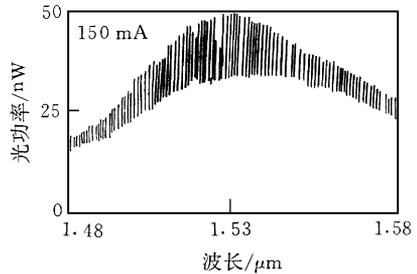


图 8 单端耦合 SOA 在 150mA 偏置下的自发发射光谱

从图 9 中还可看出, TM 模的增益大于 TE 模的增益, 这可以从图 7 中相同偏置下 TM 模的自发发射光功率大于 TE 模的自发发射光功率的现象得到解释. 不难看出, 通过优化张应变量子阱的阱宽和应变量, 偏振灵敏度可以进一步降低.

## 4 结语

采用 MOCVD 工艺成功地生长了 1.55 $\mu\text{m}$  波段混合应变量子阱材料. 张应变量子阱增强了导带电子与轻空穴之间的辐射复合, 提高了 TM 模的增益. 基于混合应变量子阱有源区材料, 获得了双偏振 LD 和低偏振灵敏度 SOA. 但量子阱材料的晶体质量有待提高, 阱宽和应变量参数还可优化, 以期获得高增益和更低的偏振灵敏度.

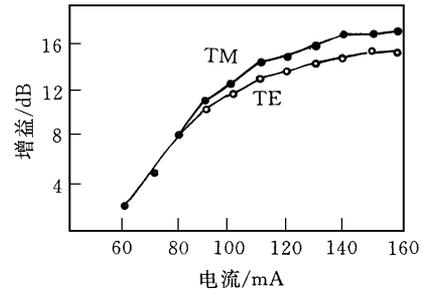


图 9 单端耦合 SOA 的 TE 与 TM 模式的电流与增益关系

## 参 考 文 献

- [1] L. F. Tiemeijer, High performance MQW laser amplifiers for transmission systems operating in 1310nm window at bitrates of Gbit/s and beyond, Proc Twenty-first Eur. Conf. on Opt. Comm. (ECOC'95-Bussel), 1995, 256~266.
- [2] D. K. Hunter *et al.*, IEE Proc -Optoelectron., **142**(3): 1995, 132~142.
- [3] G. P. Agrawal, IEEE J. of Quantum Electronics, **27**(6): 1991, 1843~1849.
- [4] Lee Jinn-Haw *et al.*, Miniature nonlinear optical-loop mirrors with semiconductor optical amplifiers, Proceedings of CLEO, San Francisco, USA, 1998, 413~414.
- [5] R. F. Kaman *et al.*, IEEE Photonics Technology Letters, 1992, **4**(9): 1048~1051.
- [6] K. E. Stubkjaer *et al.*, Optical wavelength converters and their applications, Proc. DOC'95 THB3-1, 54~55.
- [7] K. Magari *et al.*, J. Quantum Electronics, 1994, **30**(3): 695~702.

## Semiconductor Optical Amplifier With Low Polarization Sensitivity in 1.55 $\mu\text{m}$ Waveband

Duan Zigang, Huang Gefan<sup>1</sup>, Zhang Zemin<sup>1</sup>, Liu Deming, Huang Dexiu

(Department of Opto-electronics Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

(<sup>1</sup> Wuhan Telecommunication Device Co. Ltd.)

Received 21 April 1999, revised manuscript received 20 June 1999

**Abstract** Semiconductor optical amplifier (SOA) with low polarization sensitivity in 1.55 $\mu\text{m}$  waveband is reported in this paper. The active layer of SOA grown by MOCVD, is made of tensile and compress strained quantum wells. The polarization sensitivity of SOA is improved for the gain of TM mode is enhanced by tensile strained quantum wells. Under bias current of 160mA, the SOA with 400 $\mu\text{m}$  cavity length and coupled to fiber in one facet performed more than 16dB gain and as low as 1.8dB polarization sensitivity.

**PACC:** 7340L, 4255P