

文章编号: 0258-7025(2003)01-0053-04

适于 InGaAsP 光放大器偏振不灵敏的增益介质

殷景志¹, 刘素萍², 刘宗顺², 王新强¹, 殷宗友¹, 李正庭¹, 杨树人¹, 杜国同¹

(¹ 吉林大学电子工程系, 吉林 长春 130023; ² 中国科学院半导体所, 北京 100083)

摘要 研制了适于 InGaAsP 光放大器偏振不灵敏的增益介质, 采用有源区内交替的张应变和压应变排列的混合应变量子阱结构, 器件做成带有倾角的扇形。实验中发现该结构既抑制了激射又改善了器件的偏振灵敏性, 实现了偏振灵敏度小于 0.5 dB, 100 mA 偏置时可达 0.1 dB。在较大的电流范围内, 峰的半高全宽(FWHM)为 40 nm。

关键词 物理光学; InGaAsP; 张应变阱; 压应变阱; 偏振不灵敏; 增益介质

中图分类号 O 436.3 文献标识码 A

Polarization Insensitive Gain Medium for InGaAsP Optical Amplifiers

YIN Jing-zhi¹, LIU Su-ping², LIU Zong-shun², WANG Xin-qiang¹,
YIN Zong-you¹, LI Zheng-ting¹, YANG Shu-ren¹, DU Guo-tong¹

¹ Department of Electronic Engineering, State Key Laboratory on
Integrated Optoelectronics, Jilin University, Changchun, Jilin 130023, China
² Institute of Semiconductor, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China

Abstract It is fabricated that polarization insensitive gain medium for InGaAsP optical amplifiers. The active layer is a structure with alternating tensile and compressive strain quantum wells. The waveguide is made a taper with angled facets. In the experiment it is found that the structure can suppress the lasing and decrease the polarization sensitivity. The imbalance between TE and TM gains is less than 0.5 dB at bias current 125 mA, and 0.1 dB at 100 mA. FWHM is 40 nm within large current.

Key words physics optics; InGaAsP; tensile well; compressive well; polarization insensitivity; gain medium

1 引言

在光通信系统中, 使用具有偏振不灵敏的光放大器, 可补偿通信系统中的光损耗。采用多量子阱结构(MQW)制作的半导体光放大器(SOA), 可获得高饱和输出功率^[1], 快的增益响应时间^[2], 宽的增益带宽^[3], 并且易于与光子集成电路集成^[4]。然而 MQW SOA 的缺点是增益的偏振灵敏性, 该特性限制了器件在光通信方面的应用。因通信中传输的光偏振方向是随意的, 理论分析表明: 无应变和压应变 QW, TE 模的增益总是比 TM 模的增益大。因为这

时的价带的子能带顶是重空穴带, 注入空穴大部分占据 E_{hh1} 能级, $E_{cl} \rightarrow E_{hh1}$ 的光跃迁总是有利于 TE 模的增益; 而对于张应变, 价带的子能带顶是轻空穴, 导致 $E_{cl} \rightarrow E_{hh1}$ 的光跃迁, 从而使 TM 模的增益大于 TE 模的增益。注意到压应变、无应变和张应变 QW 结构中 TE 模增益与 TM 模增益的关系, 我们采用在有源区内交替的张应变和压应变排列的混合应变量子阱结构, 器件做成带有倾角的扇形。结果表明, 该结构既抑制了器件的激射又改善了器件的偏振灵敏性, 适于作光放大器偏振不灵敏的增益介质。

收稿日期: 2001-09-17; 收到修改稿日期: 2001-12-12

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(编号: 69896260)资助课题。

作者简介: 殷景志(1960—), 女, 吉林大学电子工程系副教授, 在职博士, 主要从事光电器件的研制。E-mail: ysr@mail.

2 器件的制作

样品是用 MOCVD 设备生长的, V 族源是 PH_3 和 AsH_3 , III 族源为 TMIIn 和 TMGa , 经钨管扩散纯化后的氢气作为载气, 衬底材料为 InP 基片。采用分别限制层提高载流子的注入效率, 增加器件的量子效率。依次在 InP 衬底上生长下盖层 $n\text{-InP}$ ($d = 1 \mu\text{m}$, 掺 $\text{Si } 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), 下限制层 $\text{In}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{As}_{0.28}\text{P}_{0.72}$ ($d = 120 \text{ nm}$), 有源区由 4 个压应变阱层 $\text{In}_{0.83}\text{Ga}_{0.17}\text{As}_{0.67}\text{P}_{0.33}$ ($d = 4.5 \text{ nm}$), 3 个张应变阱层 $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{As}_{0.78}\text{P}_{0.22}$ ($d = 11 \text{ nm}$) 及晶格匹配的垒层 $\text{In}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{As}_{0.28}\text{P}_{0.72}$ ($d = 15 \text{ nm}$) 交替组合而成, 上限制层 $\text{In}_{0.86}\text{Ga}_{0.14}\text{As}_{0.28}\text{P}_{0.72}$ ($d = 120 \text{ nm}$), 上盖层 $p\text{-InP}$ ($d = 1.5 \mu\text{m}$, 掺 $\text{Zn } 5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) 和欧姆接触层 $P^+ \text{-InGaAs}$ ($d = 200 \text{ nm}$, 掺 $\text{Zn } 6.5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)。具体结构如图 1 所示。

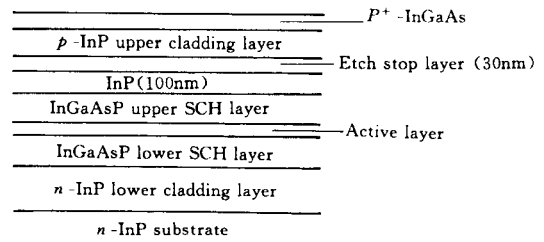


图 1 样品的结构

Fig. 1 Structure of samples

图 2 为外延片的 X 射线双晶衍射和荧光(PL)谱。器件采用脊型波导结构, 这样可避免做 BH 结构的二次外延, 工艺简单, 易于实现。为了减小端面的反射, 将脊形波导做成与端面成一定的角度, 以抑制光的反射。

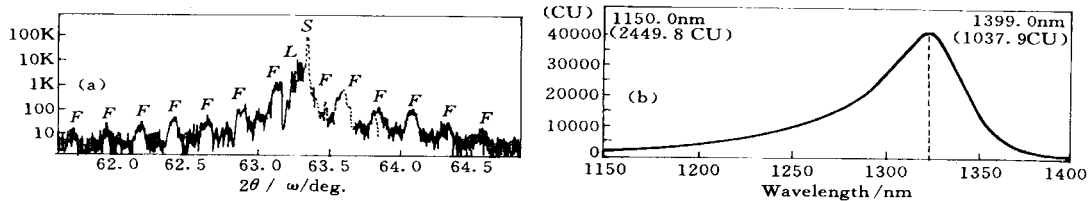


图 2 (a) X 射线双晶衍射; (b) PL 谱

Fig. 2 (a) Double crystal X-ray diffraction; (b) Photoluminescence

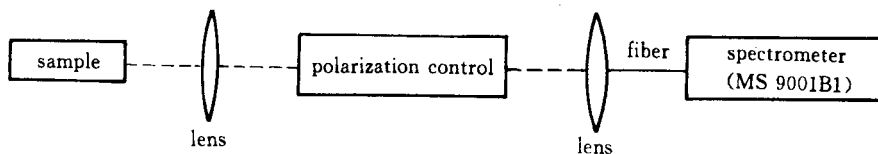


图 3 测试系统

Fig. 3 Experimental setup

3 实验结果和测试

用光谱仪对样品进行了不同电流 (50 ~ 190 mA) 下的光谱测量, 测试光路如图 3 所示。

实验中用的样品参数如表 1。其中样品 3# 在两个偏置电流下的放大自发辐射(ASE)谱如图 4。测量中用偏振控制器来获得 TE 和 TM 模式。

从图 4 中可看到: 样品 3# 在 125 mA 偏置时, 峰值波长处 TE, TM 模的 ASE 谱相差 0.5 dB, 两个模的 FWHM 差值是 1.6 nm; 在 100 mA 偏置时,

TE, TM 模的 ASE 谱相差大约 0.1 dB, 两个模的 FWHM 差值是 1.2 nm。观察一定偏置电流下两个偏振模的光谱曲线发现, 它们的形状基本上是相同的, 这足以证明该器件偏振是不灵敏的。

表 1 样品的结构参数

Table 1 Structure parameters of samples

Sample	Length/ μm	Tilted angle/ $^\circ$	Taper angle/ $^\circ$
3#	1000	3	2
2#	1000	5	0

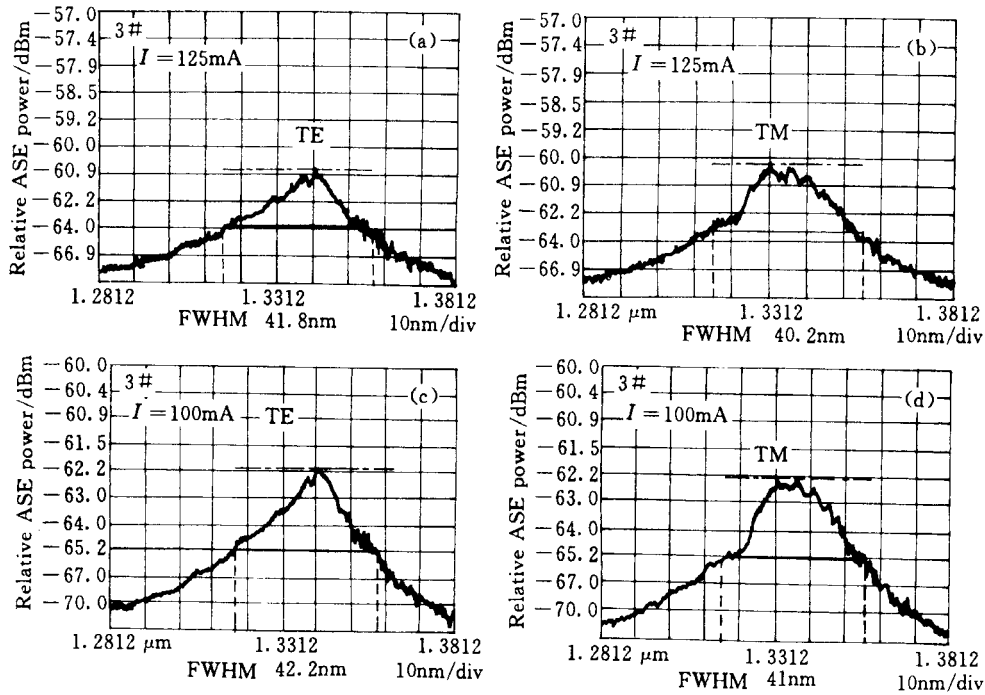


图 4 样品 3# 在不同偏置电流下的 ASE 谱

Fig. 4 ASE spectrum of sample 3# at different current

(a), (b) $I = 125$ mA; (c), (d) $I = 100$ mA

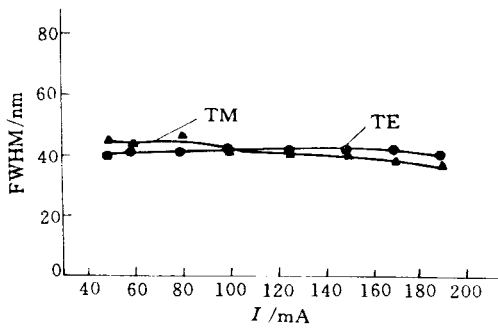


图 5 不同电流下样品 3# 的 FWHM

Fig. 5 FWHM of sample 3# at different current

图 5 给出了样品 3# 在不同电流下两个模对应的 FWHM。可以看到, TE 模的 FWHM 值在较大的电流范围内, 能保持在 40 nm; 而 TM 模的 FWHM 值随电流的加大略有减小。

我们知道, 器件的偏振灵敏性是与材料及器件的结构有关的。在材料的设计上, 注意到: 张应变 QW 中, 从导带到轻空穴带的跃迁提供 TE, TM 模式的增益, 但 TM 模式的增益远大于 TE 模式的增益; 对压应变 QW, 从导带跃迁到重空穴带提供 TE 模式的增益, 而没有 TM 模式的增益。放大的增益谱和偏振特性可通过应变变量、阱宽及应变类型的阱

数来调节。有源区采用 4 压 3 张交替的量子阱, 并使张应变的阱宽大于压应变的阱宽, 同时注意到当张应变的阱宽大于 10 nm 时, 在两种类型的阱中存在明显的载流子再分布, 这有利于获得偏振不灵敏的增益介质^[5], 实验中已得到了证实。

在半导体光放大器中, 行波光放大器被认为是有用的光器件。但要求它的端面反射率较低, 以保证获得宽的带宽和较大的饱和输出功率。要得到低的面反射率, 就要求在器件的两面镀膜, 且对所镀膜介质的折射率和厚度严格控制, 工艺上实现较难。为此我们采取使所做的波导与解理面成一定的倾角, 来抑制器件的激射。从图 5 的结果看, 器件在 190 mA 时, 没有激射。

图 6 是样品 2# 的光谱曲线。它的材料结构和样品 3# 是相同的, 但它们的器件结构则不同。样品 2# 采取倾斜结构, 倾角为 5°, 条宽 3 μm; 在样品 3# 中, 除了考虑倾斜外, 还引进了 2° 的张角。从图 6 明显地观察到了样品 2# 在 100 mA 时, TM 模式有激射的趋势, 这与以前的报道相一致^[6], 即在张应变阱中的电子态比压应变阱中的电子态有低的跃迁能量, 因此在大多数器件中, TM 模式有低的阈值。比较图 4 与图 6 发现, 采取了张角结构后, 阈值电流提高了。

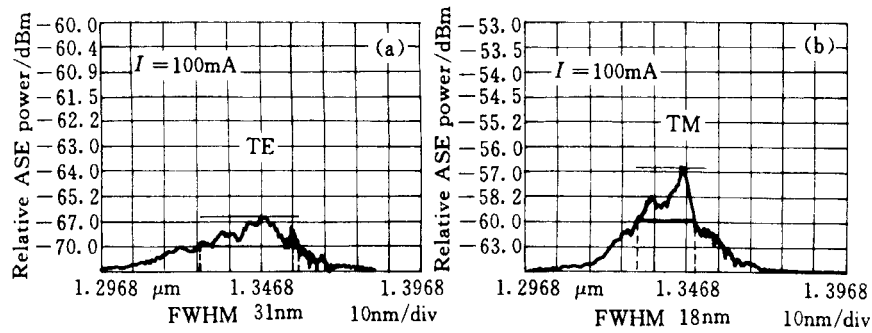


图 6 样品 2[#] 在 $I = 100$ mA 时的 ASE 谱

Fig. 6 ASE spectrum of sample 2[#] at $I = 100$ mA

参 考 文 献

- 1 M. Bagley, G. Sherlock, D. M. Cooper *et al.*, Broadband operation of InGaAsP-InGaAs GRIN-SC-MQW BH amplifier with 115 mW output power [J]. *Electron. Lett.*, 1990, **26**(8):512~513
- 2 R. Y. Zhang, J. Dong, F. Zhou *et al.*, A novel polarization-insensitive semiconductor optical amplifier structure with large 3 dB bandwidth [C]. *SPIE*, 2001, **4580**:116~123
- 3 G. Eisenstein, U. Koren, G. Raybon *et al.*, Large-and small-signal gain characteristics of 1.5 μm multiple well optical amplifiers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56** (13):1201~1203
- 4 Yumin Zhang, P. Paul, Ruden. 1.3 μm polarization-insensitive optical amplifier structure based on coupled quantum wells [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1999, **35**(10):1509~1514
- 5 Mark Silver, A. F. Phillips, A. R. Adams *et al.*, Design and ASE characteristics of 1550-nm polarization-insensitive semiconductor optical amplifiers containing tensile and compressive wells [J]. *IEEE J. Quantum Electron.*, 2000, **36**(1):118~122
- 6 Atul Mathur, P. Daniel Dapkus. Polarization insensitive strained quantum well gain medium for lasers and optical amplifiers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **61**(24):2845~2847