第18卷第3期 半 导 体 学 报 Vol. 18, No. 3
1997年3月 CHINESE JOURNAL OF SEMICONDUCTORS Mar., 1997

LP-MOVPE 生长的 1.3μm InGaAsP/InP 张压应变交替 MQW 特性

王志杰 陈 博 王 圩 张济志 朱洪亮 周 帆 金才政 马朝华 王启明

(国家光电子工艺中心 集成光电子学国家重点联合实验室 中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 本文在国内首次报道了LP-MOVPE法生长高质量的压、张应变交替InGaAsP多量子阱结构的研制过程及其材料的高精度X射线双晶摇摆衍射曲线和光致发光谱特性表征. 在此材料基础之上制作的平面掩埋条形结构激光器经过双腔面镀增透射膜后,其TE模与TM模自发发射谱光强差为3dBm,呈现偏振补偿特性.

EEACC: 4320J, 0510D, 4250

1 引言

替代光-电-光中继,实现全光中继的光通信一直是倍受人们重视的热点. 半导体行波光放大器是作为全光中继器的重要元件. 然而通常的体材料和压应变量子阱半导体行波光放大器(SLA),只具有很强的TE偏振模式放大作用,然而光在光纤传输中具有偏振的不确定性,这对于作为光中继器的SLA无疑是个很大的妨碍. 而1.5μm工作的掺铒光纤放大器(EDFA)却具有偏振无关的放大特性和低插入损耗,致使半导体光放大器相对逊色. 然而1.3μm波段的光纤放大器的特性至今还不够理想,因此研制1.3μm偏振不灵敏光放大器是目前国际上的一大研究方向[1].

为了实现偏振补偿,可以考虑从调整TE和TM的光限制因子和改变TE和TM光增益及降低端面镀膜反射率等方面来实现. 国外从90年代初已开始了这方面的研究,国内还未见报道. 从文献报道有以下几种方法:

①用亚微米阱宽的有源区,改变波导结构,即增厚有源区厚度或减窄波导区宽度来实现近乎方形的波导,以实现TE和TM相当的限制因子,达到偏振补偿作用[2],但存在注入阈值较高和不利于与其它光子器件集成的问题.

②在量子阱阱区(或垒区)引入(−0.1%∼−0.25%的)张应变[3,4],在张应变作用下,轻重空穴带分离,轻空穴子带移动到重空穴子带之上,提高了TM模增益. 而器件优化自由度较少.

王志杰 男,1968年生,硕士学位,现在中国科学院半导体所攻读博士学位,从事MOVPE晶体生长、光电集成、光子集成器件的研究工作,曾参加多项863课题研究并发表了20多篇论文
陈 博 男,1972年生,硕士学位,现在中国科学院半导体所攻读博士学位
王 圩 男,1938年生,研究员,从事LPE、MOVPE晶体生长、光电集成、光子集成器件的研究工作

1996年7月2日收到初稿,1996年11月5日收到修改稿

③使用压、张应变交替的多量子阱有源区[1,5]，这种方法的量子阱有源区的能带示意图如图 1 所示，压应变阱提供大部分的 TE 模增益，张应变阱提供全部的 TM 模增益和另一小部分的 TE 模增益，这种方法可以通过两类阱的应变量、阱宽和阱数控制发射波长和 TE、TM 模的增益，灵活方便.

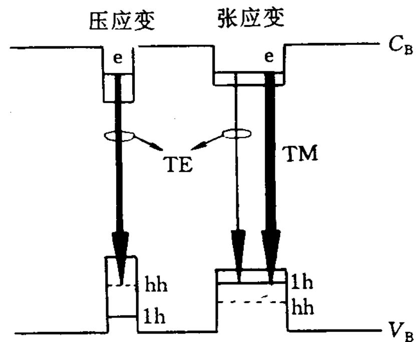

图 1　压、张交替 MQW 的偏振特性示意图

本文国内首次报道了 LP-MOVPE 法生长高质量的压、张应变交替 InGaAsP 多量子阱结构的研制过程及其材料特性. 在此材料基础之上制作的平面掩埋条形结构激光器经过双腔面镀增透射膜后，其 TE 模与 TM 模自发发射谱光强差为 3dBm，呈现偏振补偿特性.

2　结构生长

样品是由水平生长室的德国 AIXTRON 200 型 MOVPE 设备上生长的. 衬底座和 2 英寸衬底由气体从石墨舟主体托起旋转，以便获得大面积均匀生长. 有机源为三甲基铟(TMIn)和三甲基镓(TMGa)，Ⅴ族源为 100%磷烷(PH_3)和砷烷(AsH_3)，p 型和 n 型掺杂剂分别为二乙基锌(DEZn)和 2%的硅烷(SiH_4)，载气为经过钯管纯化过的氢气，总氢气流量为 6.75L/min. 生长室温度为 655℃、压力 20mbar.

由于Ⅲ族源和Ⅴ族源都具备两套入室口，大大简化了生长控制. 控制好张、压量子阱的组分的生长参数，采用 2 秒钟的Ⅲ族源生长中断、Ⅴ族源保护的界面控制技术，生长了分别限制异质结多量子阱(SCH-MQW)结构，如图 2 所示，在 2 英寸掺 S 的(100)晶向 n-InP 衬

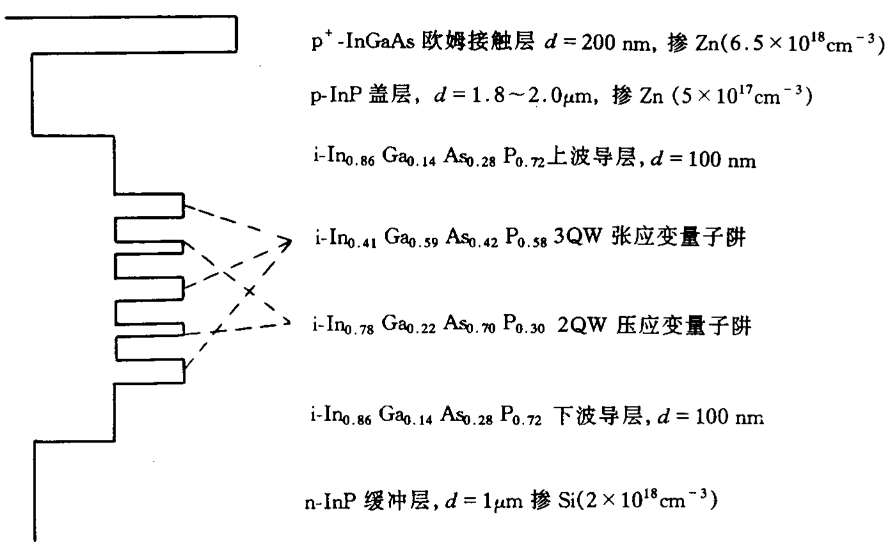

图 2　压、张应变交替量子阱结构示意图

底上依次生长 n-InP 缓冲层(Si 掺杂，$2\times10^{18}cm^{-3}$)，不掺杂的下波导层，不掺杂的压、张应

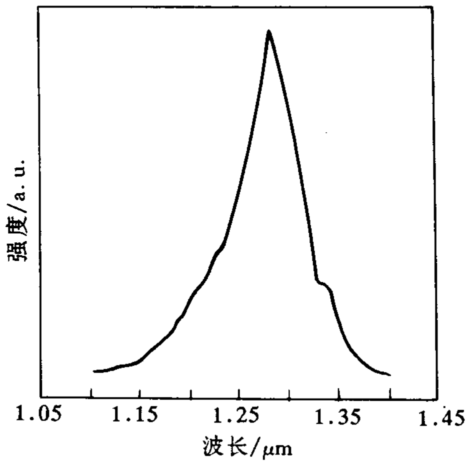

图 3 压、张应变 SCH-MQW 结构室温 PL 谱

变交替的多量子阱 InGaAsP/InGaAsP 有源区，不掺杂的上波导层，p-InP 盖层（Zn 掺杂，$5\times10^{17}cm^{-3}$），P^{+}-InGaAs 欧姆接触层（Zn 掺杂，$6.5\times10^{18}cm^{-3}$）. 上、下波导层和垒区均为与 InP 匹配的四元 $In_{0.86}Ga_{0.14}As_{0.28}P_{0.72}$层（$\lambda_{PL}=1.1\mu m$），多量子阱有源区为张应变量子阱和压应变量子阱交替组成，张应变量子阱材料为 $In_{0.58}Ga_{0.42}As_{0.63}P_{0.37}$，压应变量子阱材料为 $In_{0.78}Ga_{0.22}As_{0.69}P_{0.31}$.

3 材料特性测试

图 3、图 4 分别为压、张应变交替 MQW 结构的 PL 谱和 X 射线衍射双晶摇摆曲线，由 PL 谱可知 $\lambda_{PL}=1.282\mu m$，从 X 射线双晶摇摆曲线可以看到 5 级以上卫星峰，说明此结构具有陡峭的界面，而每层有非常好的晶格完整性和均匀性，由衬底峰（最高峰）右侧的张应变卫星峰要强于左侧的压应变卫星峰，说明这个结构的张应变成分要强于压应变成分，由图中数据计算可知平均应变量-0.22%为张应变.

4 器件特性测试

把此结构片用 MOCVD 技术二次外延（Overgrowth）制成 PBH 条形结构激光器，用图 5 所示方法测量激光器阈值之下的 TE、TM 模（荧光）自发发射谱，由自发发射谱来评价其 TM 和 TE 模的增益特性.

由激光器发射的光经物镜 1 扩束成平行光束，由 Glan-Tylor 棱镜选出偏振态后经物镜 2 聚焦到自聚焦透镜，耦合进光纤，

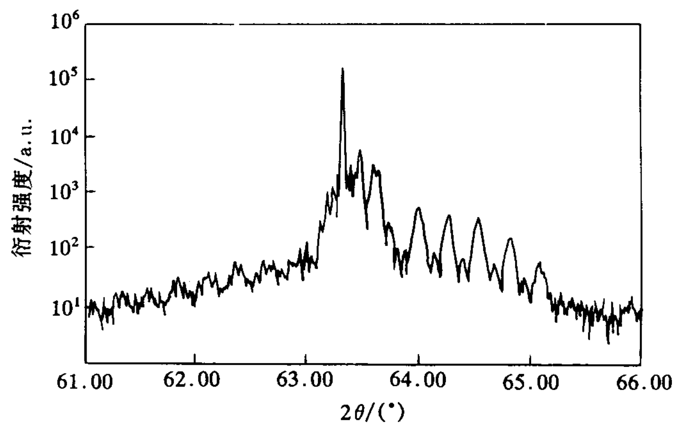

图 4 压、张应变 SCH-MQW 结构 X 射线双晶衍射摇摆曲线

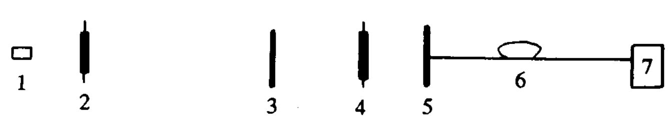

图 5 偏振态测量光路示意图

1. 激光器；2. 物镜 1；3. Glan-tylor 棱镜；4. 物镜 2；5. 自聚焦透镜；6. 光纤；7. 光谱仪(MS9001B1 型).

由光纤耦合进光谱仪测试其各偏振态下的光谱. 由于光路中各物镜、棱镜、光纤耦合和空气损耗，进入光谱仪中的信号较弱，一般为几百个 pW（-70dBm）左右.

图 6 给出了不同腔长下，自然解理面激光器的 TE、TM 模偏振态自发发射谱峰值光功

率的差. 由图 6 可以看出在不同腔长时，随着腔长的增长，P_{TE} 与 P_{TM} 差距减少，但腔长大于 600μm 后变化平缓，且 TE 模增益大于 TM 模增益. 为了降低端面反射率 $R_{TE}>R_{TM}$的影响，取 500μm 腔长，两面镀增透膜(AR)后发现 TE 模光功率小于 TM 模光功率，我们测的结果是 TE/TM 光功率峰值只相差 3dBm，其 TE/TM 模的自发发发射谱如图 7 所示. 此结果可与 K. Mageri[4] 报道的 TE/TM 峰值光功率差 2dBm 相比拟.

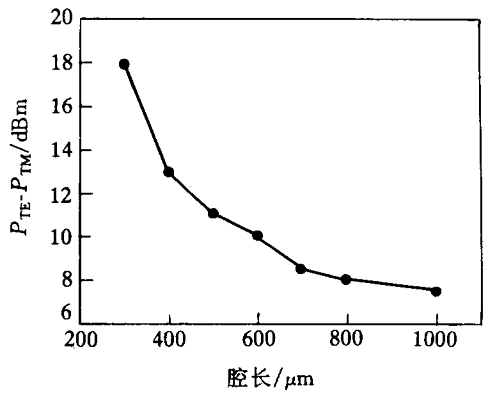

图 6　不同腔长下的 TE 与 TM 模自发发射光功率差曲线

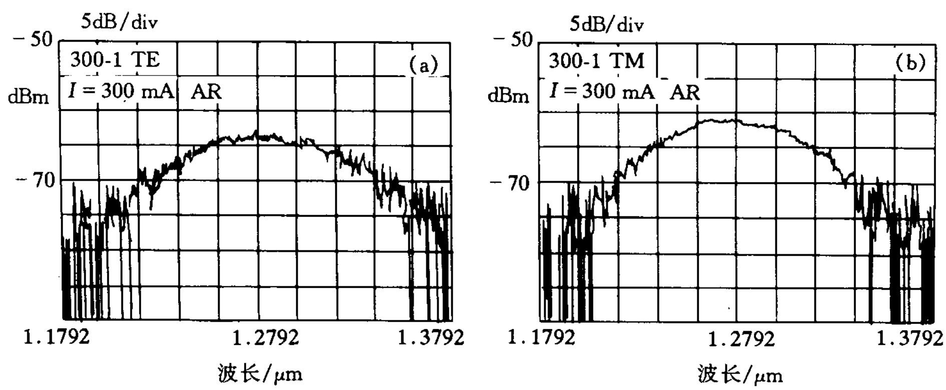

图 7　500μm 腔长激光器经双面镀 AR 膜后的 TE 和 TM 模自发发射谱

5　结论

我们报道了 LP-MOVPE 法生长高质量的压、张应变交替 InGaAsP 多量子阱结构的研制过程及其材料特性. 在此材料基础之上制作的平面掩埋条形结构激光器经过双腔面镀增透射膜后，其 TE 模与 TM 模自发发射谱光强差为 3dBm，呈现偏振补偿特性. 可用之作为研制偏振补偿放大器、调制器及偏振开关激光器等光通信元件的理想偏振补偿有源介质.

致谢　作者感谢国家光电子工艺中心毕可奎、汪孝杰、王玉田、庄岩、边静、白云霞、丛立方等同志在端面镀膜、激光器测试、X 光测试、烧结、解理等工艺及测试方面的大力支持.

参　考　文　献

[1]　L. F. Tiemeijier, P. J. A. Thijs *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1993, **62**(8): 826.
[2]　T. Saitoh, T. Mukai *et al.*, Optical and Quantum Electron., 1989, **21**: 347～358.

[3] M. Okamoto *et al.*, IEEE J. Quantum Electron., 1991, **27**(6): 1463.

[4] K. Magari *et al.*, IEEE Photonics Technol Lett., 1991, **3**(11): 998.

[5] A. Mathur and P. Daniel Dapkus, Appl. Phys. Lett., 1992, **61**(24): 2845.

[6] A. Ougazzden, D. Sigogene *et al.*, Eectron. Lett., 1995, **31**(15): 1242～1243.

Characteristic of 1.3μm InGaAsP/InP Tensile and Compressive Strained Alternated MQW Grown by LP-MOVPE

Wang Zhijie, Chen Bo, Wang Wei, Zhang Jizhi, Zhu Hongliang, Zhou Fan, Jin Chaizheng, Ma Chaohua and Wang Qiming

(*National Research Center for Optoelectronics Technology, National Integrated Optoelectronics Labortory, Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100083)

Received 2 July 1996, revised manuscript received 5 November 1996

Abstract High quality 1.3μm InGaAsP/InP gain medium with tensile and compressive strained multi-quantum wells grown by Low Pressure Metalorganic Chemical Vapor Deposition (LP-MOCVD) is reported. The Anti-Reflection film coated PBH laser based on this structure is found that the power difference of transverse electric(TE) and transverse magnetic (TM) spontaneous emissions is only 3dB which indictes to have approximate gain in both TE and TM modes.

EEACC: 4320J, 0510D, 4250