

应变补偿 InGaAsP/InP 量子阱 DFB 激光器与“扇形”光放大器的集成

王志杰 王 圩 王启明

(国家光电子工艺中心 中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 本文在国内首先报道采用 MOVPE 技术研制成功了 InGaAsP/InP 应变补偿型量子阱 DFB 激光器与“扇形”光放大器的集成器件, 实现了 30mW 单纵模工作。采用调制光放大器、静态偏置 DFB 激光器的方法, 产生了低啁啾、高功率的单纵模高频光脉冲。集成器件的研制成功, 为其它含介质光栅反射器的光子集成器件的研制开辟了一条广阔的道路。

EEACC: 4320J, 0510D, 4250

1 引言

DFB 或 DBR 激光器与光放大器的集成器件, 被称为主振功放器件, 即 DFB 或 DBR 激光器工作在优化的工作状态, 保持了高边模抑制比、窄线宽、高调制速率等特性, 而光放大器在以上特性的基础上进行光功率放大, 可以避免单只 DFB 激光器在高电流注入时出现的烧孔和非线性饱和现象而导致跳模或谱线展宽。高功率的主振功放器件广泛地应用于固体激光器的泵浦、光倍频、光通信、生物医学、激光印刷等方面。AT&T 的 Koren 和东京大学的 Nakano 等人在这方面曾做了一些开创性的工作^[1,2]。为提高光放大器饱和输出功率, Craig 提出了扇形波导结构^[3]。东京工业大学的 Bendelli 等人对此结构进行了深入的理论分析和实验研究, 验证扇形波导结构具有保证基横模传输特性、提高饱和输出功率和增益的特点^[4], 是目前实现高功率半导体激光器最有效的方式之一。扇形半导体光放大器通过增大光模式的有效面积, 可以很有效地提高饱和输出功率。而且“扇形”波导结构具有抑制反向自发辐射对腔面反射率的敏感特性, 减小普通宽面光放大器的光丝现象的优点。因此, 此结构一经提出, 就立即引起大功率光器件研制者的极大重视, 在短短的几年内, 以 SDL 公司为代表, 取得了突飞猛进的进展, 实现了 1W 以上的单纵模 CW 工作^[5,6]。

* 自然科学基金(69487010)资助项目

王志杰 男, 1968 年出生, 博士, 从事 MOVPE 晶体生长、光电集成、光子集成器件研究

王 圩 男, 1938 年出生, 研究员, 从事 LPE、MOVPE 晶体生长、光电集成、光子集成器件研究

1996-12-20 收到, 1997-04-08 定稿

2 材料生长及特性

众所周知, 应变量子阱有源介质因具有独特的能带结构而大大优越于晶格匹配的 MQW 介质, 而采用阱、垒之间相反应变的应变补偿量子阱结构, 又会使应变量子阱结构更加优化: 降低整体有源区的平均应变, 有效地克服了单一应变量子阱所具有的应变量的调节度比较小、光致发光谱展宽、易出现增益饱和、调制速率低和寿命受应变影响等缺点^[7,8], 是DFB 激光器与光放大器的集成器件的有源介质的理想选择^[7]。

本文中的 InGaAsP/InP 应变补偿量子阱是在 AIXTRON-200 型 LP-MOCVD 设备上生长的, 材料的详细生长过程请见参考文献[9]。

InGaAsP 量子阱的压应变 $\epsilon_0 = +0.67\%$ 、阱宽为 4.3nm 、 $\lambda_g = 1.48\mu\text{m}$, 垒区 InGaAsP 的应变 ϵ_0 为 -1.88×10^{-3} 、宽为 9.8nm 、 $\lambda_g = 1.1\mu\text{m}$ 。实际生长的 SCH-4QW 结构的(400)晶向的 X 射线双晶衍射曲线如图 1(a)所示: +1 和 -1 卫星峰之间中点的 0 级主峰的应变 $\epsilon_{\text{ave}} = 7.92 \times 10^{-4}$, 说明此结构已实现了应变补偿, 与目前报道的应变补偿 MQW 的 X 射线双晶衍射曲线是一致的^[12]。由图中所示的 2 级以上的卫星峰及其之间的 Pendellosung 条纹, 可以判断出晶体界面非常陡峭, 质量相当好。图 1(b)中的室温 PL 谱的 FWHM 窄至 19.5meV , 这一结果比目前国际报道的单一应变量子阱组成的有源区^[10]的 PL 谱还要窄。

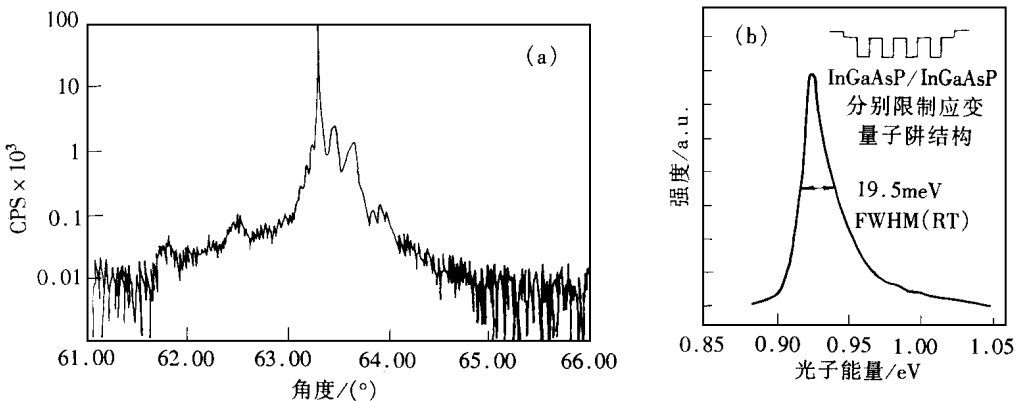


图 1 (a)和(b)分别描述了四个压应变量子阱、张应变垒构成的应变补偿的分别限制MQW 的 X 射线双晶衍射曲线和室温光致发光谱

3 器件制备工艺

本文采用了无 SiO_2 掩膜的条形掩埋工艺, 大大简化了工艺流程, 解决了脊型波导器件遇到 SiO_2 掩膜电接触不好的问题, 提高了成品率。工艺流程如下: (a) 生长包括 InP 缓冲层、分别限制的应变 MQW 有源区和 20nm 厚的 InP 保护盖层的一次外延片; (b) 为防止光栅上的再生长时遇到套准的问题, 在一次外延片上制备 SiO_2 的套刻标志; (c) 采用两次曝光技术: 第一次采用普通曝光方法使非光栅分段区曝光, 第二次是采用全息曝光的方法再次曝光, 经显影、RIE 干法刻蚀等工艺, 在上分别限制波导层上制备出分段光栅, 结果如图 2

(a)所示 (d) 光刻、湿法腐蚀成直条、扇形台面, (e) 再按一般的无 SiO_2 掩膜的条形掩埋工艺, 生长 P-InP 和 N-InP, 光刻 N-InP 开窗口, 再生长 P-InP 和 P^+ -InGaAs 接触层, (f) P 面蒸 Au/Zn/Au, 套刻分离电极 N 面减薄后, 蒸 Au/Ge/Ni 合金、解理、中测后, 选择性能好的芯条, 镀 AR 膜, 制备好的实物照片如图 2(b) 所示

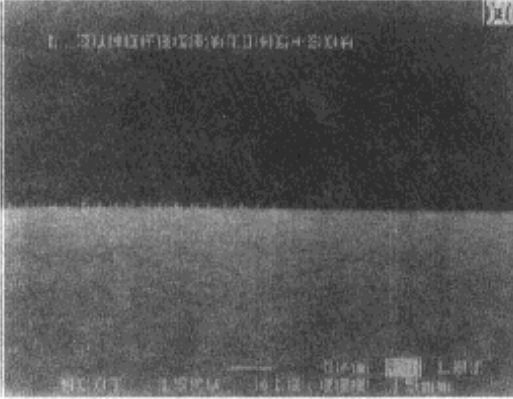


图 2 (a) 制备分段光栅的 SEM 照片

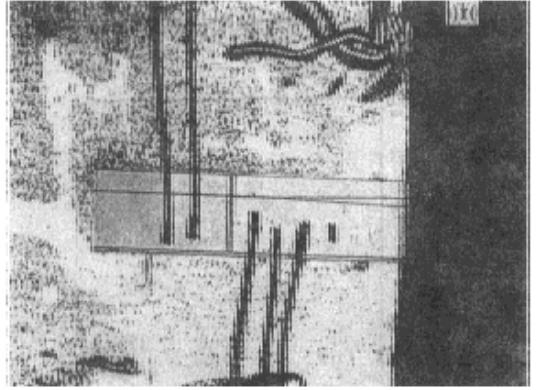


图 2 (b) 集成器件的实物照片

4 特性测试系统

DFB LD 与光放大器集成器件的测试装置如图 3 所示, 集成器件的光功率是由国家计量院校准的 Ge 探测器测量的。集成器件烧结在特殊设计的热沉上, 两段出射光都可由带自聚焦透镜的光纤耦合到光谱仪(日本安立 MS9000IB1 或 HP7095IB, 或带 20 GHz 的 New focus 探测器的 Tektronix CA S803 采样示波器)。

由 HP8110A 电脉冲发生器或 HP8648C 射频信号发生器所产生的 RF 信号经 20 dBm 的功率放大器(信号限制在 1GHz 之内)放大后, 经 T 型偏置器(Bias tee)与直流偏置一起加载到被调制端

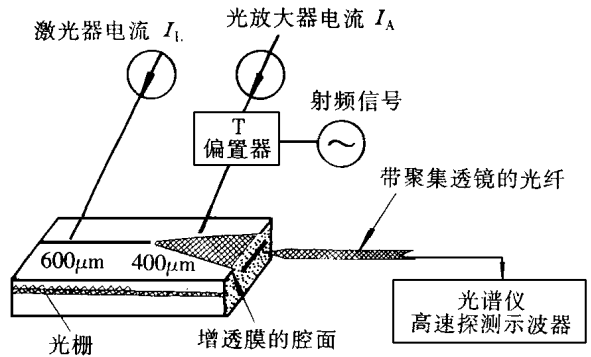


图 3 DFB LD 与光放大器的测试装置的示意图

5 器件特性与分析

5.1 集成器件的静态单纵模特性

实际分立DFB LD 器件的 B_{ragg} 波长是由宽接触激光器的阈值电流附近的发射峰值所决定的, 经多次对 B_{ragg} 波长的正负调节实验, 最终可使 B_{ragg} 波长处于阈值增益剖面的峰值波长附近而获得单纵模。在确定好分立DFB LD 的 B_{ragg} 波长的基础上, 我们首先以

相同的 B_{ragg} 波长制备单片集成器件, 通过调整由腔长、腔面反射率共同决定的复合腔的阈值状态下的自发辐射峰值波长与选取的 B_{ragg} 波长的间距, 使两者重合即可获得高功率、单纵模输出特性。图 3 中所示的 $600\mu\text{m}$ 腔长 DFB 激光器与 $400\mu\text{m}$ 长的扇形光放大器的腔长 (扇面由 $2\mu\text{m}$ 沿腔长方向线性增加到 $30\mu\text{m}$) 的集成器件, 对应的 B_{ragg} 波长选择是合适的: 在两段腔独立注入时所测的自发发射谱, B_{ragg} 波长的选取基本上处在光放大器的自发辐射峰附近。由图 4(a) 可看出: 随着光放大器的注入电流的增加, $L-I$ 的曲线的斜率大有提高,

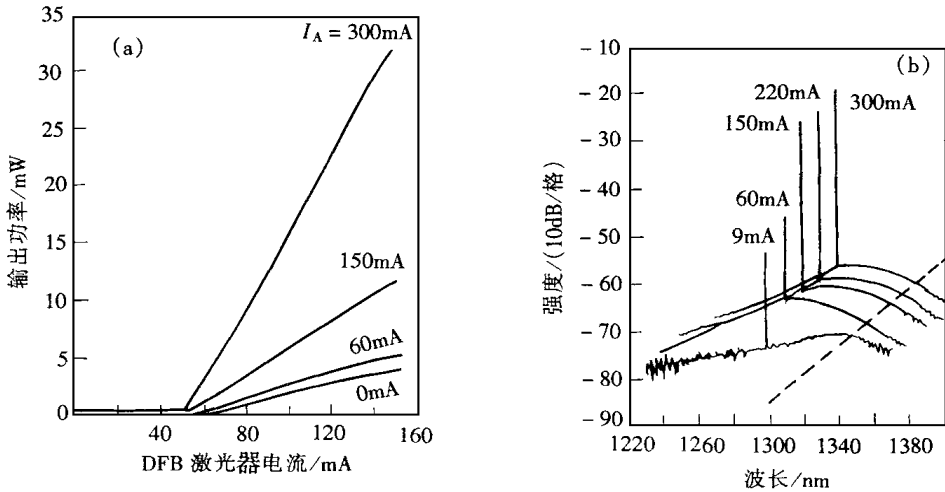


图 4 集成器件的 $L-I$ 曲线及光谱图

这说明了光放大器的增益随着电流的增加而增加, 由图 4(b) 可发现单纵模的幅度随着光放大器的注入电流的增加而增加, 在 $I_{\text{LD}} = 150\text{mA}$ 、 $I_A = 300\text{mA}$, 所对应的 30mW 的功率输出时, 单纵模光谱为 35dB 边模抑制比。这说明了扇形光放大器具有的高饱和增益有利于实现高功率单纵模特性, 可避免普通单立 DFB 激光器在非常高的电流注入时出现功率饱和或 multimode 现象。此器件的远场如图 5 所示, 可看出平行结方向仍能保持基横模

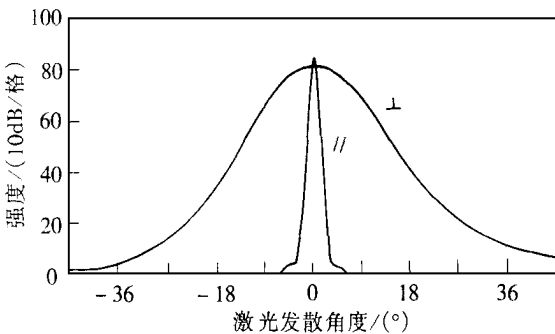


图 5 带扇形的主振功放器件的远场图

5.2 集成器件的动态单纵模特性

由 DFB 激光器与光放大器集成器件产生单模光脉冲的方式有两种: (1) 直接调制 DFB 激光器, 而直流偏置的光放大器只起到对单模光脉冲放大的效应; (2) 直流偏置 DFB 激光器, 而通过对光放大器的调制来实现单模光脉冲。第一种方法的缺点在于 DFB 激光器直接调制时, 由于调制幅度对折射率的影响, 啁啾效应非常明显; 而第二种方法, 由于 DFB 激光器所产生的直流光, 单程地经

过行波放大器。因此, 产生的啁啾很小, 这也是此种方法最诱人之处^[11]。

但是光放大器中的载流子寿命缩短是有极限的, 调制速率一般只有几个 GHz ^[11], 而电吸收调制器依靠量子 Stark 效应可实现几十个 GHz 的调制速率。因此, 对于高速率的光通

信, 放大器调制方法的性能远不如DFB 激光器与电吸收(EA)调制器的集成器件^[12]。然而, 对比EA 调制器与DFB 激光器集成器件,DFB 激光器与光放大器的集成的工艺简便, 且输出功率高,SDL 公司的Krainak 等人曾报道: 对MOPA 单片集成器件中的扇形放大器调制(只用了15MHz)产生高功率、窄线宽的单模光脉冲, 拟用于自由空间光通讯^[13]。以下将对调制光放大器的实验特性进行介绍:

测试结果如图6所示, 对比调制(a)光放大器和(b)DFB 激光器的方法所产生的光脉冲波形和光谱图, 发现: 由于HP70951B 光谱仪的最小分辨率为0.1nm, 在1.2GHz 调制光放大器时基本观察不出光谱展宽, 而665MHz 直接调制DFB 激光器时的光谱展宽几乎是静态光谱的2倍。但由于测试装置本身电路耦合的高频匹配问题, DFB 激光器和光放大器都不能达到较高的调制速率, 都只有1.6GHz 左右, 由调制光放大器的张弛振荡峰的间距可以判断出调制极限可到4~5GHz

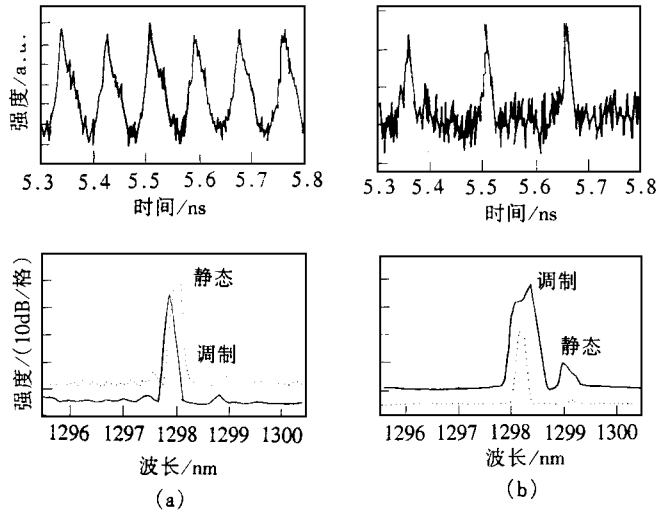


图6 比较(a)DFB LD 直流偏置($I_L = 162\text{mA}$), 1.2GHz Rf (10dBm) 调制光放大器($I_A = 115\text{mA}$), (b) 665MHz Rf (20dBm) 调制DFB LD, 光放大器直流偏置($I_A = 97\text{mA}$)的光谱

6 结论

在国内首先采用MOVPE 技术研制成功了InGaAsP 应变补偿MQW DFB 激光器与扇形光放大器集成工艺, 为其它含介质光栅反射器的光子集成器件的研制开辟了一条广阔的道路; 含扇形腔的单片集成的主振功放器件初步实现了30mW 以上单纵模工作。采用调制光放大器、静态偏置DFB 激光器的方法, 产生了单纵模、低啁啾、高功率的高频光脉冲

参 考 文 献

- [1] U. Koren, T. K. Koch, B. Miller *et al.*, Appl Phys Lett, 1989, 54(21): 2056~ 2058
- [2] Y. Nakano *et al.*, Jpn Appl Phys, 1990, 29(12): 2430~ 2433
- [3] R. R. Craig *et al.*, SPIE, 1988, 893: 25
- [4] G. Bendelli *et al.*, IEEE Photo Techno. Lett, 1991, 3(1): 42~ 43
- [5] Stephen O'Brien *et al.*, Electron Lett, 1995, 31(3): 203~ 205
- [6] R. J. Lang, R. Parke *et al.*, in Semiconductor Lasers: Advanced devices and applications, OSA Technical Digest Series (Optical Society of America, Washington DC, 1995) vol 20, 80~ 82

- [7] Peter J. A. Thijs *et al* , IEEE J. Quantum Electron , 1994, **30**(2): 477~ 499.
- [8] B. I Miller, U. Koren *et al* , Appl Phys Lett , 1991, **58**: 1952~ 1954.
- [9] 王志杰, 陈博, 王圩, 等, 光子学报, 1996, **25**: 292~ 295.
- [10] T. Tsuchiya, M. Komori, K. Uomi *et al* , Electron Lett , 1994, **30**(10): 788~ 799.
- [11] G. P. Agrawal, in Semiconductor Lasers: Past, Present and Future, chapter 10, (AIP Press 1995).
- [12] M. A. Krainak *et al* , OSA Topical Meeting on Semiconductor Lasers: Advanced devices and applications, 89, 1995.
- [13] Michal J. Connelly *et al* , IEEE J. Lightwave Technol , 1992, **10**: 1731.

Strained Compensated InGaAsP/InP MQW DFB Laser Integrated With Tapered Semiconductor Laser Amplifier

Wang Zhijie, Wang Wei and Wang Qiming

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

Received 20 December 1996, revised manuscript received 8 April 1997

Abstract InGaAsP/InP strained compensated MQW DFB laser integration with tapered semiconductor laser amplifier has been successfully realized by LP-MOVPE. It achieves more than 30 mW single longitudinal mode output power. Using amplifier modulation, instead of directly modulating DFB laser, we have achieved lower chirp optical pulse of high frequency. The processing technique will be applied for more complicated cavity structures, such as DFB laser integrated with electronic absorption (EA), modulator or DFB LD, Semiconductor Laser Amplifier (SLA), EA modulation integrated together for WDM source.

EEACC: 4320J, 0510D, 4250