

1.55 μm InGaAsP/InP 部份增益耦合分布 反馈式激光器/电吸收调制器集成器件*

罗 毅 文国鹏 孙长征

(集成光电子学国家重点联合实验室 清华大学电子工程系 北京 100084)

李同宁 杨新民 王任凡 王彩玲 金锦炎

(武汉电信器件公司 武汉 430074)

摘要 本文首次报道一种结构简单的 1.55 μm InGaAsP/InP 部份增益耦合DFB 激光器与电吸收调制器的单片集成器件. 该器件采用脊波导进行横模限制, 阈值电流范围为 30~ 60mA, 典型边模抑制比大于 40dB, 反向偏压 3V 时的消光比为 11dB.

EEACC: 4320J, 0510D

1 引言

为了满足对通信容量日益增长的需求, 对 10Gb/s 的高速光通信系统的研究越来越受到重视. 光通信系统速率的提高对光源提出了更高的要求. 在目前较为成熟的幅度调制-直接检测的光通信系统中, 系统的性能主要受限于光纤色散和光纤非线性所引起的光信号畸变. 为了尽可能减小色散所带来的影响, 减小光源的调制啁啾是关键之一. 在各种已知的解决方案中, 将调制器和激光器单片集成是最经济有效的. 分布反馈式(DFB)半导体激光器/电吸收(EA)调制器集成器件, 特别是带增益耦合的集成器件, 是用于高速干线光通信的理想的光源. 这是因为增益耦合的DFB 激光器本身具有动态单模且调制啁啾极小的特性, 有助于减小集成器件的动态线宽; 其次, 增益耦合的DFB 激光器有较强的抗端面反射能力, 可减小因端面反射引起的啁啾, 改善集成器件的啁啾特性.

有许多种工艺用于实现激光器和调制器的单片集成, 如分别外延、区域选择性外延、量子阱局部无序化等. 但是, 用一般工艺实现这类器件有很多难点, 如工艺步骤多、成品率低等, 分别外延还存在激光器到调制器的光耦合效率低的问题. 这些集成工艺重点都放在如何

* 本研究得到了国家自然科学基金杰出青年基金(69525407)、“863”高技术计划(863-307-04-06)的资助
罗 毅 男, 1960 年出生, 教授, 博士生导师, 从事半导体光电子学方面的研究
文国鹏 男, 1972 年出生, 博士生, 研究方向为增益耦合型DFB 激光器/电吸收调制器单片集成器件
1997-12-11 收到, 1998-04-22 定稿

实现激光器和调制器的不同带隙 但在多量子阱中, 由于能隙收缩和多体效应等原因, 导致在能隙的低能方向上仍然存在着足够的增益 特别是在应变量子阱材料中, 增益谱更宽, 更平直^[1]. 因而, 可以利用 Bragg 光栅的选频作用, 直接使激光器工作在带隙的低能方向上 同时含吸收光栅的增益耦合 DFB 激光器的最佳工作波长相对于有源层的增益峰有向长波长偏离的倾向 这样, 即使激光器的有源层和调制器波导层采用同一外延层, 也能使静态时激光器工作波长位于调制器吸收边的外侧 于是可以用非常简单的方法实现集成: 即激光器有源层和调制器吸收层采用完全相同的多量子阱结构, 利用 Bragg 光栅将激光器工作波长固定在调制器吸收边的长波长方向 文献[2]曾报道过该种十分简单的结构, 但采用的是折射率耦合机理, 我们几乎同时开展了类似的研究^[3], 并报道了一种基于 GaAs 材料的集成器件 本文首次报道该种结构的 1.55 μm InGaAsP/InP 部份增益耦合 DFB 激光器与电吸收调制器的单片集成器件

2 器件的设计与制作

该集成器件的结构示意图见图 1, 其中激光器部份的有源层和调制器部份的吸收层采用同一分别限制的应变多量子阱层 因此, 该器件不但制作工艺可以大大简化, 而且采用调整激光器发射波长红移量的方法可以设计出具有负啁啾的集成器件 该器件中激光器的光

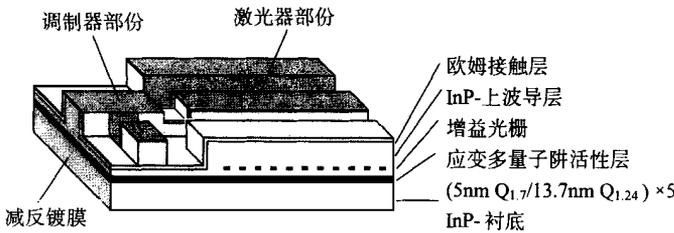


图 1 集成光源结构示意图

栅周期对材料的激子吸收峰有 35nm 的红移 根据我们的计算结果, 此时可以得到 $\alpha = -0.5$ 的负啁啾 集成器件中的激光器部份采用部份增益耦合的 DFB 激光器结构, 并采用脊波导进行横模限制

该集成器件采用两步

MOVPE 外延生长 第一步外延中, 在 n 型 InP 衬底上依次生长 n-InP 缓冲层 (0.5 μm , $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、光荧光峰值在 1.24 μm (表征其能带宽度) 处的 i-InGaAsP (简称 Q_{1.24}) 下波导层 (0.1 μm)、iMQW 有源层 (5 周期, 阱为 Q_{1.7}, 4.5nm; 垒为 Q_{1.24}, 13.7nm)、p⁻-Q_{1.24} 上波导层 (0.1 μm)、p-InP 上限制层 (0.1 μm , $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)、n 型四元光栅层 (Q_{1.24}, 25nm, $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$). 然后利用两次曝光、湿法刻蚀的方法在光栅层上光刻制作了一级部分光栅, 光栅周期 242.7nm. 在二次外延中, 首先生长 20nm 的 p-InP 层, 长平光栅, 接着生长 Q_{1.15} 腐蚀停止层 (50nm)、p-InP 上限制层 II (1.7 μm , $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) 和 p⁺-Q_{1.15} 欧姆接触层 (0.2 μm).

接下去首先光刻二次外延片, 去掉激光器和调制器之间的欧姆接触层, 实现激光器和调制器的电极分离 电极分离区宽为 40 μm . 然后利用湿法腐蚀制作了脊波导, 脊宽 5 μm . 我们仔细选择了脊波导的腐蚀液, 得到了约 70 的倒脊 这样一方面允许使用较宽的脊, 有利于电极的制作、降低了对欧姆接触的要求, 并可以增加电极的寿命; 另一方面, 倒脊对横模的限制作用更强, 有利于器件的单模工作

为了提高集成器件的调制速率, 我们采用图形电极来有效地减小调制器的电容, 并将激光器电极和调制器电极放置在脊的异侧, 以减小两个电极之间的高频耦合, 防止因调制信号耦合到激光器而引起啁啾

电极制作完毕后, 将外延片解理成长约 600 μm 的单片集成器件, 其中激光器部份和调制器部份的长度分别约 400 μm 和 160 μm 。为了增加集成器件的输出功率, 并减小调制器端面反射造成的调制啁啾, 在调制器端面镀了反射率小于 1% 的减反膜。最后将集成器件焊到热沉上, 并引出电极, 进行了初步的测试。

3 器件的静态性能

在脉冲与连续工作的条件下对集成器件的静态工作特性进行测试的结果, 表明器件阈值为 30~60mA, 在室温下实现单模激射, 边模抑制比大于 40dB。器件的隔离电阻一般大于 10k Ω 。图 2 为集成器件在处于开启状态时的典型激射谱。图 3 是在不同反向偏压下调制器端测得的 $P-I$ 特性。在调制器部份加上反向偏压后, 集成器件的输出光功率衰减很明显: 反向偏压 -1.5V 时消光比为 9.6dB, -3V 时为 11dB。调制深度饱和的原因可能是 MQW 层的阱数没有优化。在静态调制过程中没有出现阈值变化、激射波长移动和跳模等现象。我们也测试了激光器端的输出特性, 其功率远低于调制器端且基本不随调制电压变化。

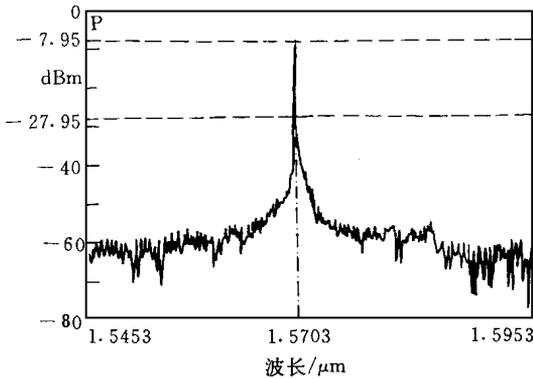


图 2 集成光源处于开启状态时的典型激射谱
测试功率: 4mW, 环境温度: 23 $^{\circ}\text{C}$ 。

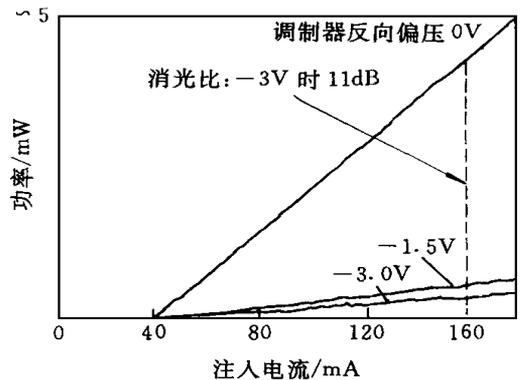


图 3 从调制器端面测量的集成光源 $P-I$ 特性

4 结论

我们利用两步 MOVPE 成功地制作了 1.55 μm 的 InGaAsP/InP 部份增益耦合 DFB 激光器/电吸收调制器集成器件, 典型器件的阈值电流 40mA, 边模抑制比 40dB, 消光比 11dB。这是首次在 InGaAsP/InP 材料系中实现部份增益耦合 DFB 激光器/电吸收调制器集成器件, 该集成器件对高速、长距离干线光纤通信有很大的实用价值。

致谢 在器件的制作和测试过程中, 本文作者得到了武汉电信器件公司刘涛、周宁、胡常炎、顾亮、黄格凡、刘自力、张哲民等人的大力协助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] For example, C. E. Zah *et al* , Electron Lett , 1992, 28: 824~ 825
[2] A. Ramdane *et al* , 14th IEEE International Semiconductor Laser Conference, Hawaii, pp. 39~ 40, Sept. 1994
[3] Y. Luo *et al* , DOC '95, Hong Kong, 1995, 3(6): 98~ 99

1.55 μm InGaAsP/InP Partially Gain-Coupled DFB Laser/Electroabsorption Modulator Integrated Device

Luo Yi, Wen Guopeng, Sun Changzheng

(State Key Lab on Integrated Optoelectronics, Dept. of Electronic Engineering
Tsinghua University, Beijing 100084)

Li Tongning, Yang Xinmin, Wang Renfan, Wang Cailing, Jin Jinyan

(Wuhan Telecommunication Device Cooperation, Wuhan 430074)

Received 11 December 1997, revised manuscript received 22 April 1998

Abstract We report a simple structure for 1.55 μm InGaAsP/InP partially Gain-Coupled DFB Laser/Electroabsorption Modulator monolithic integrated device for the first time. Ridge waveguide is adopted for transverse mode confinement. The threshold current of the devices is distributed over a range of 30~ 60mA, typical side mode suppress ratio is 40dB and on-off ratio is 11dB.

EEACC: 4320J, 0510D