

## 2.5 Gb/s 1.55 $\mu\text{m}$ InGaAsP/InP 分布反馈 激光器/电吸收调制器单片集成器件\*

罗毅 孙长征 文国鹏

(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 吴又生 王任凡 王彩玲 黄涛 金锦炎

(武汉电信器件公司 武汉 430074)

**摘要** 本文在已经报道的采用直接集成方法制作的 1.55  $\mu\text{m}$  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的基础上,进一步对器件的性能进行了改进,并采用标准 14 脚蝶型管壳对集成器件进行了封装。封装后的发射模块阈值电流约为 20~30mA,边模抑制比大于 40dB,耦合输出光功率大于 2mW,在 3V 的反向调制电压下消光比约为 17dB。我们还在 2.5 Gb/s 波分复用系统上对集成器件进行了传输实验。经过 240km 普通单模光纤传输后,在误码率为  $10^{-10}$  的情况下功率代价小于 0.5dB。

EEACC: 4320J, 0510D

### 1 引言

随着现代光纤通讯向长距离、大容量、高速率方向发展,对数字光纤系统的光源提出了更高的要求。激光器与外调制器单片集成器件由于其频率啁啾小、耦合效率高、制作成本低等优点而成为未来高速光纤通讯系统的理想光源。目前,2.5Gb/s 分布反馈(DFB)半导体激光器/电吸收(EA)调制器集成器件已逐渐成为干线光纤通讯系统的主要光源。

在 DFB 激光器/EA 调制器集成器件的制作中的一个关键是实现激光器激射波长与调制器带隙的匹配。目前已报道的多种工艺方法,如分别外延、区域选择性外延、量子阱局部无序化等,这些方法往往工艺步骤比较复杂、工艺条件比较苛刻,因而成品率较低。我们于 1994 年

\* 本研究得到了国家“863”高技术计划(863-307-04-06),国家自然科学基金杰出青年基金(69525407),自然科学基金重大基金(69896260)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

孙长征 男,1970 年出生,博士,研究方向为高速单片光子集成器件

1998-10-29 收到,1998-12-17 定稿

首次提出了在DFB激光器/电吸收调制器集成器件中激光器的有源层与调制器的波导层共用一个外延层的简单结构<sup>[1]</sup>,并于1995年成功地研制了具有该结构的GaAs<sub>1-x</sub>In<sub>x</sub>As/GaAs集成器件<sup>[2]</sup>。几乎同时,法国Ramdane等报道了类似结构的集成器件<sup>[3]</sup>。1998年7月,我们报道了1.55 $\mu$ m 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<sup>[4]</sup>。

本文在以前的研究基础上对器件的特性进行了进一步的改进,主要是通过优化激光波长的红移量与制作工艺,降低了器件的阈值,提高了器件的输出光功率,同时还进一步增大了调制器的消光比。对封装模块进行了2.5Gb/s调制下的传输实验,获得了与国外同类器件类似的优异特性,从而证明了采用我们提出的新结构的部份增益耦合DFB激光器与电吸收调制器的单片集成器件在2.5Gb/s干线光纤通讯系统中具有良好的应用前景。

## 2 器件的结构与特性改善

图1为该集成器件的结构示意图,其原理与制作工艺步骤已在以前的报道中有了详细介绍<sup>[4]</sup>。由于该器件的激光器有源层和调制器波导层采用同一分别限制的应变多量子阱结构,其制作工艺大大简化。同时,在器件中引入增益耦合机制,可以提高DFB激光器的单模成品率,并改善集成器件的啁啾特性。

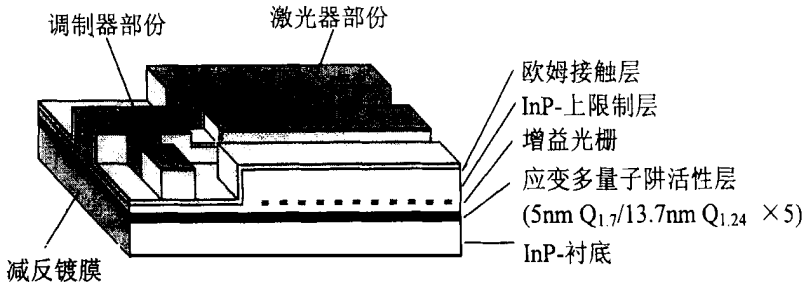


图1 集成光源结构示意图

为了进一步改善器件的特性,我们仔细地研究了激光波长相对于量子阱激子吸收峰的红移量对器件工作特性的影响。

实验表明,当激光波长红移量过小时(小于20nm),器件的输出光功率明显降低,且输出光强的 $P-I$ 曲线的线性变差。这主要是因为此时激光波长过于靠近量子阱的吸收边,即使在零偏压的状态下,调制器部分的吸收仍然很严重。这就造成器件的损耗较大,输出功率下降,同时调制器吸收的非线性也造成 $P-I$ 曲线线性恶化。

另一方面,当激光波长红移量大于40nm时,器件单模成品率下降,容易出现 $F-P$ 模式激射,同时调制器的消光比也有所下降。我们分析造成这一现象的主要原因是红移量过大时,DFB模式的激光波长处于增益谱边缘,难以获得足够的增益,造成 $F-P$ 模式首先激射,同时由于DFB模式激光波长与激子吸收峰相隔较远,削弱了由量子限制Stark效应引起的调制效果。

根据以上实验与分析结果,我们认为30nm左右的激光波长红移量是实际集成器件的最优值,并依此进行了集成器件的制作。

除了选择合理的激射波长红移量外,我们还利用选择性湿法刻蚀制作了倒台形脊波导以改善欧姆接触,同时增强对横模的限制 为减小调制器部分的电容,我们利用剥离的方法制作了图形电极,并将调制器与激光器的电极放置在脊波导的异侧以减小两部分之间的高频耦合

解理后集成器件管芯的激光器部份和调制器部份的长度分别约  $400\mu\text{m}$  和  $200\mu\text{m}$ . 为了增加器件的输出功率并减小调制器端面反射造成的啁啾,调制器端面进行了减反镀膜,镀膜后反射率小于 1%. 为了将此集成器件应用于实际的光纤通讯系统,我们将管芯焊到过渡热沉上,引出电极,并进一步耦合封装为标准的 14 脚蝶型发射模块

### 3 器件的静态性能

封装为发射模块后,集成器件阈值电流典型值为  $20\sim 30\text{mA}$ ,最小值可达  $15\text{mA}$ ,微分效率约  $0.06\text{mW}/\text{mA}$ . 阈值以上的边模抑制比可大于  $40\text{dB}$ ,输出光功率(出纤)约为  $2\text{mW}$ . 图 2 是在调制器部分加上不同的反向偏压时,集成器件的  $P-I$  特性,图 3 为其静态调制特性 从中可以看出,在反向偏压为  $3\text{V}$  时,光功率衰减可达到  $17\text{dB}$ . 在静态调制过程中阈值没有变化,同时输出波长保持稳定,无跳模等现象

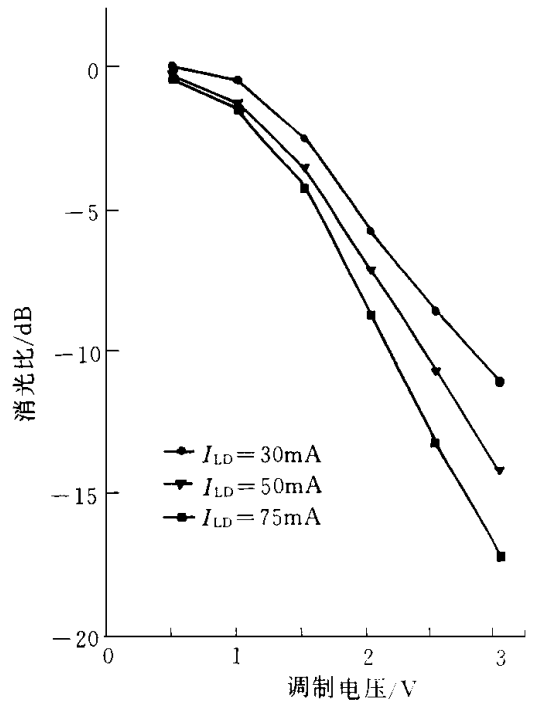
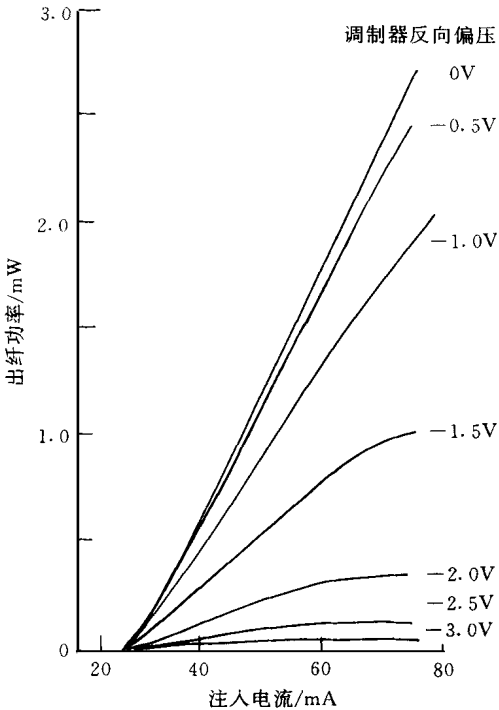


图 2 集成器件在调制器不同偏压下的  $P-I$  特性  
器件为标准蝶型封装

图 3 集成器件的调制特性  
器件为标准蝶型封装

#### 4 高速调制特性和 2.5Gb/s 系统传输实验

我们利用码长为  $2^{23}-1$  的伪随机非归零码对发射模块的调制器部分进行调制, 调制信号的峰-峰值为 2V, 直流偏置为 -1V. 图 4 是发射模块的误码特性, 可以看到经过 240 公里普通单模光纤的传输以后, 在  $10^{-10}$  的误码率下的功率代价小于 0.5dB. 测试中, 由于我们的器件激光波长为 1.542 $\mu$ m, 落在 EDFA 增益谱的边缘, 对其传输特性有一定的影响. 如果我们在下一步研究制作中将器件的激光波长调整到 1.55 $\mu$ m, 相信传输特性会有进一步的改善.

#### 5 结论

我们在已有的工作基础上, 对利用直接集成的方法制作的 1.55 $\mu$ m InGaAsP/InP 部份增益耦合 DFB 激光器/电吸收调制器集成光源的器件特性进行了进一步的改善. 通过调整激光波长红移量至最佳值 (对于我们的量子阱材料为 30nm), 我们制作的集成器件的阈值电流为 20~30mA, 边模抑制比大于 40dB, 出纤功率大于 2mW, 3V 反向偏压下的消光比为 17dB. 我们还对制作的集成器件进行了封装, 制作了标准 14 脚蝶形发射模块, 并进行了高速调制下的传输实验. 在 2.5Gb/s 的调制速率下经过 240km 的普通单模光纤的传输后, 误码率为  $10^{-10}$  时功率代价小于 0.5dB. 这是国内首次利用 DFB 激光器/电吸收调制器集成器件实现 2.5Gb/s 的高速传输. 该集成器件在高速、长距离干线光纤通信中将有很大的实用价值.

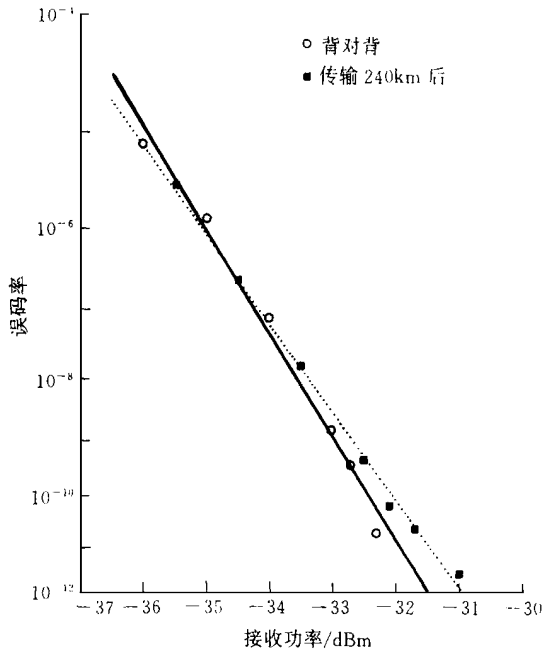


图 4 发射模块的误码特性

**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] 罗毅, 等, GaAs/GaAs 增益耦合型分布反馈式半导体激光器/电吸收型调制器单片光子集成器件的研制, 第六届纤维光学集成光学学术会议, 四川成都: 1994 年 10 月, p146.
- [2] Y. Luo *et al.*, DOC 95, Hong Kong: Jun 1995, Vol 3, pp. 98~99
- [3] A. Ramdane *et al.*, 14th IEEE International Semiconductor Laser Conference, Hawaii: Sept. 1994, pp. 39~40
- [4] 罗毅, 等, 半导体学报, 1998, 19(7): 557~560

## 2. 5Gb/s 1.55 $\mu\text{m}$ InGaAsP/InP DFB Laser/Electroabsorption Modulator Integrated Device

Luo Yi, Sun Changzheng, Wen Guopeng

*(State Key Laboratory on Integrated Optoelectronics, Department of Electronic Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084)*

Li Tongning, Yang Xinmin, Wu Yousheng, Wang Renfan,  
Wang Cailing, Huang Tao, Jin Jinyan

*(Wuhan Telecommunication Device Corporation, Wuhan 430074)*

Received 29 October 1998, revised manuscript received 17 December 1998

**Abstract** Based on our previously reported work on a 1.55  $\mu\text{m}$  InGaAsP/InP partially-gain-coupled DFB laser/electroabsorption modulator monolithic integrated device fabricated using a very simple device structure, we improved the performance of the device and constructed a standard 14-pin butterfly packaged transmitter module. The threshold current of the module is around 20~30nA, with over 40dB side mode suppress ratio. The coupled output optical power is 2mW, and the extinction ratio under 3V reverse bias is greater than 17dB. 2.5Gb/s transmission over 240km of standard fiber is demonstrated, power penalty less than 0.5dB has been obtained at BER =  $10^{-10}$ .

**EEACC:** 4320J, 0510D