

25 Gb/s 单片集成电吸收调制分布反馈激光器

周代兵 边 静 安 欣 王宝军 张瑞康 赵玲娟 吉 晨 王 圩

(中国科学院半导体研究所半导体材料科学重点实验室, 北京 100083)

摘要 采用选区外延生长应变 InGaAsP/InGaAsP 多量子阱有源层, 制备出带宽为 25 Gb/s 的单片集成电吸收调制分布反馈激光器。激光器区和调制器区的荧光光谱波长分别为 1535 nm 和 1497 nm, 偏调约为 38 nm。利用全息技术在激光器区制备光栅, 集成器件激励在 1549 nm 波长处, 器件的阈值电流为 18 mA, 在 100 mA 直流电流下出光功率大于 10 mW。器件工作在单模状态, 边模抑制比大于 40 dB, 与单模光纤耦合后测得的静态消光比为 23 dB, 器件的 3 dB 响应带宽为 16 GHz。调制器偏压为 -1.7 V, 峰峰值电压为 3.5 V, 在 25 Gb/s 非归零伪随机二进制码 ($2^{15}-1$) 调制下测得器件的背靠背眼图清晰张开, 动态消光比大于 5.7 dB。器件具有低成本、高带宽的特点, 是下一代光纤通信网络的理想光源。

关键词 激光器; 分布反馈激光器; 电吸收调制器; 选择区域生长

中图分类号 O436 文献标识码 A

doi: 10.3788/AOS201535.s114001

25Gb/s Electroabsorption Modulator Monolithically Integrated with Distributed Feedback Laser

Zhou Daibing Bian Jing An Xin Wang Baojun Zhang Ruikang
Zhao Lingjuan Ji Chen Wang Wei

(Key Laboratory of Semiconductor Materials Science, Institute of Semiconductors,
Chinese Academy of Science, Beijing 100083, China)

Abstract A 25 Gb/s InGaAsP/InGaAsP multi-quantum wells electro-absorption modulator monolithically integrated with distributed feedback laser is fabricated by selective area growth. The photoluminescence wavelength variation is 38 nm between the laser area wavelength λ_{PL} of 1535 nm and modulator area wavelength λ_{PL} of 1497 nm. The grating is fabricated at the laser region by holographic lithograph technology. The threshold current of thip lasers is 18 mA and the power is over 10 mW at 100 mA with wavelength of 1549 nm. The side-mode suppression ratio is over 40 dB. Extinction ratio is 23 dB by coupling light into the single mode fiber. The 3 dB-bandwidth of 16 GHz has been measured. A 25 Gb/s eye diagram is measured with a 3.5 V non-return to zero (NRZ) pseudorandom modulation signal at -1.9 V bias. A clearly opening eye-diagram with a dynamic extinction ratio of 5.7 dB has been obtained. This laser is appropriate for next generation of optical fiber transmission systems for its high bandwidth and low cost.

Key words lasers; distributed feedback laser; electro-absorption modulator; selective area growth

OCIS codes 140.3490; 130.3120; 230.3120; 250.5960

1 引 言

近几年,随着互联网的快速发展,光通信系统对光源的带宽容量提出了更高的要求,10 Gb/s 传输带宽的光源已经被大量应用于干线网和城域网,25 Gb/s 传输带宽的光源有望被大量应用于下一代的光通信系

收稿日期: 2015-01-24; 收到修改稿日期: 2015-03-02

基金项目: 国家 863 计划(2011AA010303, 2012AA012203)、国家 973 计划(2011CB301702)、国家自然科学基金(61321063, 6132010601)

作者简介: 周代兵(1980-),男,博士研究生,主要从事光电集成器件方面的研究。E-mail: dbzhou@semi.c.cn

导师简介: 王 圩(1937-),男,研究员,博士生导师,主要从事 InP 基半导体光电子集成器件方面的研究。

E-mail: wwang@semi.ac.cn

统中。电吸收调制分布反馈激光器(EML)具有低成本、低功耗、小尺寸、低啁啾、易于升级换代和大规模生产等优点,已经成为现代光纤通信系统中干线网和城域网光发射模块的首选器件,并将担当起长途高速光纤传输网用光源的主角。

制备 EML 器件的方法有:选区外延生长方法^[1-2](SAG),对接耦合法^[3-4],同一有源区法^[5]和量子混杂法^[6]等。其中 SAG 方法通过控制介质掩模图形的尺寸,一次外延可获得不同禁带宽度的有源层。具有外延次数少、制备工艺简单和光耦合效率高等优点,被广泛地应用于 EML 的制备。

采用 SAG 技术,目前国际上已经有 10 Gb/s EML 器件出售(美国 Multiplex 公司)。2009 年报道 40 Gb/s 行波 EML 器件,器件阈值电流为 18 mA,60 mA 电流下光纤耦合后出光功率达 5 dBm。调制器反向偏置电压在 3 V 时静态消光比大于 15 dB,器件的 3 dB 响应带宽大于 40 GHz。40 Gb/s 下眼图清晰睁开^[7]。国内 1997 年开始研发 EML 器件,报道的最大带宽达到 33 GHz^[8]。器件阈值为 20 mA,100 mA 电流下出光功率为 8 mW,调制器反向偏置电压在 5 V 时静态消光比为 11 dB,但是文章中没有对 EML 器件进行眼图测试。

本文利用 SAG 技术制备 EML 器件,插入损耗低,静态性能良好。采用聚酰亚胺制备电吸收调制器(EAM)区的高频电极,3 dB 响应带宽达到 16 GHz。在非归零(NRZ)伪随机码($2^{15}-1$)调制下,10 Gb/s 和 25 Gb/s 的背靠背眼图清晰张开,动态消光比大于 5.7 dB。

2 设计与制备

EML 器件包括分布反馈激光器(DFB)、隔离沟和电吸收调制器(EAM)三部分,长度分别为 300、50、150 μm 。为防止 DFB 与 EAM 之间的电串扰,对隔离沟进行氢离子注入。EML 集成器件结构示意图如下图 1 所示。

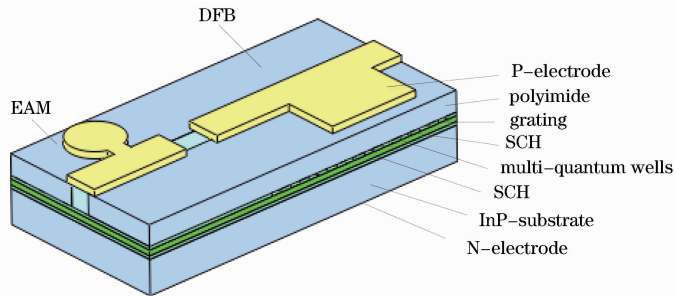


图 1 EML 集成器件结构示意图

Fig.1 Schematic view of EML chip

本文利用 AIXTRON 300 金属有机化学气相沉积(MOCVD)设备进行选区外延生长,设备所用Ⅲ族源为三甲基铟,三乙基镓,V族源为砷烷和磷烷,高纯氢气作为载气。生长过程衬底温度为 650 $^{\circ}\text{C}$ 。

器件制备过程如下:首先在 InP 衬底上生长 800 nm 的 N 型 InP 缓冲层,采用等离子气相沉积(PECVD)生长 150 nm 厚的二氧化硅,并在激光器区域沿[011]晶向光刻出二氧化硅掩膜图形。为使 DFB 区和 EA 区光荧光谱(PL)偏调 35 nm,设计的二氧化硅掩蔽条宽为 8 nm,掩蔽图形之间的选择生长区宽度为 20 μm 。然后利用 MOCVD 设备选区外延生长压应变 InGaAsP/InGaAsP 多量子阱有源区和上下分别限制异质结构(SCH),阱垒为 5 对,厚度分别 4 nm 和 10 nm。

利用微区光荧光谱测试材料的 PL 谱,测得激光器区和调制器区的 PL 谱波长分别为 1535.94 nm 和 1497.09 nm,偏调约为 38 nm。并对 PL 谱光强进行归一化计算,如图 2 所示。激光器与调制器区 PL 谱光强度相差不大,说明激光器区选区外延生长的材料质量良好。

选区外延后腐蚀去掉二氧化硅掩膜层,并在激光器区制备光栅。接着利用 MOCVD 设备生长 1.8 μm 厚的 P 型 InP 盖层和 0.3 μm 厚的 InGaAs 接触层。光刻出 3 μm 脊型波导结构,并对激光器区和调制器区之间的隔离沟进行氢离子注入,然后制备电极和减薄,解理镀膜。最后把管芯绑定在带有 50 Ω 薄膜电阻的高频微带上,如图 3 所示。

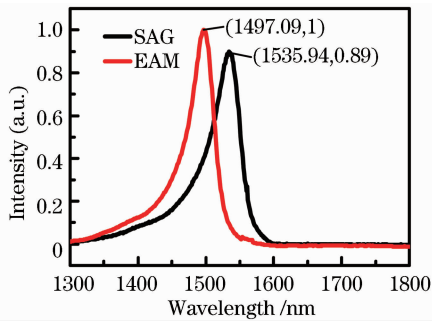


图2 激光器区与调制器区 PL 谱归一化图

Fig. 2 Normalized photoluminescence spectra of DFB area and EAM area

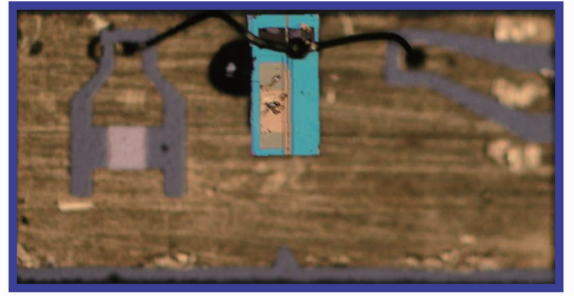


图3 绑定在高频微带上的 EML 芯片

Fig. 3 Photograph of fabricated EML device banded on submount

3 结果与讨论

EML 集成器件激光波长为 1549 nm, 阈值电流为 18 mA, 在 100 mA 电流下 EAM 端出光功率大于 10 mW。器件工作在单模状态, 边模抑制比大于 40 dB。EML 器件的功率-电流 ($P-I$) 曲线如图 4 所示。

把 EAM 端面出光通过单模光纤耦合进光功率计, 测试 EML 器件的静态消光比。DFB 激光器注入 40 mA 直流电流。EAM 加 0~5 V 反向偏压, EAM 在 5 V 反向偏压时获得了 23 dB 的消光比, 如图 5 所示。

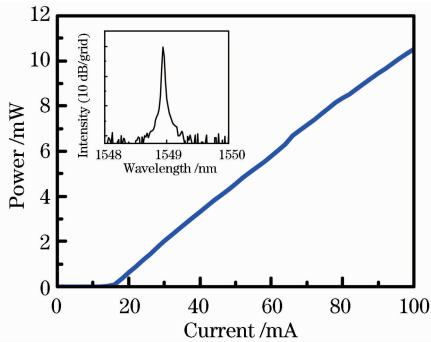
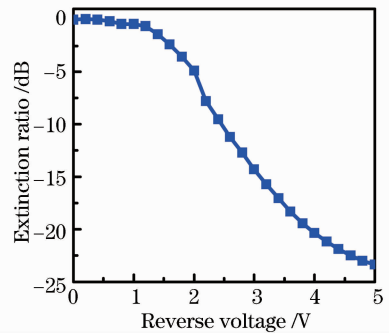
图4 EML 器件的 $P-I$ 曲线和光谱Fig. 4 Typical spectrum and $P-I$ characteristics of EML device

图5 EML 器件静态消光比与调制电压关系图

Fig. 5 Extinction ratio versus modulation bias

利用 Hp 8510C 矢量网络分析仪测试 EML 器件的小信号特性, 为了在高频下阻抗匹配, 调制器与 50Ω 的电阻并联。DFB 激光器的工作电流为 40 mA, EAM 的反向偏压为 1.9 V, 把出光通过单模光纤耦合进光电探测器, 测试的 3 dB 带宽达 16 GHz, 如图 6 所示。

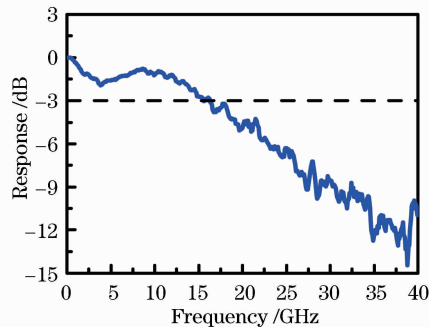


图6 EML 器件的 3 dB 带宽测试图

Fig. 6 3 dB bandwidth of EML device

利用 Anritsu MP 1800A 信号质量分析仪和 Agilent 86100A 示波器, 在非归零伪随机二进制码 (PRBS $2^{15}-1$) 调制下, 分别测试了器件的 10 Gb/s 和 25 Gb/s 的背靠背眼图。图 7(a) 为 10 Gb/s 下的背靠背眼

图,动态消光比为 5.73 dB,通过增大 20%后的标准眼图模板。图 7(b)为 25 Gb/s 调制下的背靠背眼图,眼图清晰睁开,动态消光比为 5.8 dB。

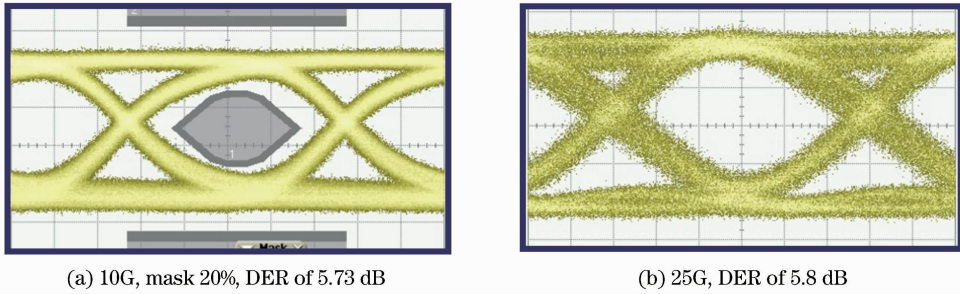


图 7 10 Gb/s 和 25 Gb/s 调制下的背靠背眼图

Fig. 7 Eye diagrams of 10 Gb/s and 25 Gb/s

4 结 论

采用选区外延技术制备出带宽为 25 Gb/s 的电吸收调制分布反馈激光器,集成器件制备工艺简单,适合低成本批量化生产。器件展示出优秀的性能,低阈值、高出光功率和稳定的单模工作状态。采用聚酰亚胺制备高频电极,减小了调制器的电容,提高了器件的 3 dB 带宽,器件的 3 dB 带宽达 16 GHz。25 Gb/s 调制下测得的背靠背眼图清晰张开,动态消光比大于 5.7 dB。这些结果表明制备的 25 Gb/s 电吸收调制分布反馈激光器可作为光通信系统光源,应用于下一代高速光通信系统中。

参 考 文 献

- 1 Q Zhao, J Q Pan, J Zhang, *et al.*. Electroabsorption-modulated laser light-source module using selective area growth for 10 Gb/s transmission[J]. *Acta Physica Sinica*, 2006, 55(3):1259–1263.
- 2 T Tsuchiya, J Shimizu, M Shirai, *et al.*. Selective-area growth of high-crystalline-quality InGaAlAs by metal-organic vapor-phase epitaxy [J]. *J Crystal Growth*, 2003, 248: 384–389.
- 3 Y B Cheng, J Q Pan, F Zhou, *et al.*. A novel butt-joint scheme for the preparation of electro-absorptive lasers[J]. *J Physics D: Applied Physics*, 2008, 41: 035108.
- 4 W Kobayashi, M Arai, Y Yamanaka, *et al.*. Design and fabrication of 10-/40-Gb/s, uncooled electroabsorption modulator integrated DFB laser with butt-joint structure[J]. *J Lightwave Technology*, 2010, 28(1):164–171.
- 5 C Z Sun, B Xiong, J Wang, *et al.*. 10 Gb/s EML module based on identical epitaxial layer scheme[J]. *Chinese J Semiconductors*, 2005, 26(4): 662–666.
- 6 Y B Cheng, J Q Pan, W X Chen, *et al.*. High-power electroabsorption modulator for radio over fibre system[J]. *J Physics D: Applied Physics*, 2007, 40(14): 4120–4122.
- 7 Y H Kwon, J S Choe, J S Sim, *et al.*. 40 Gb/s traveling-wave electroabsorption modulator-integrated DFB lasers fabricated using selective area growth[J]. *ETRI Journal*, 2009, 31(6): 765–769.
- 8 Y B Cheng, J Q Pan, Y Wang, *et al.*. 40-Gb/s low chirp electroabsorption modulator integrated with DFB laser[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2009, 21(6): 356–358.

栏目编辑: 宋梅梅