第 55 卷 第 3 期 2006 年 3 月
1000-3290/2006/55(03)/1259-05

物 理 学 报
ACTA PHYSICA SINICA

Vol.55,No.3,March,2006
©2006 Chin. Phys. Soc.

用于 10Gb/s 传输系统的电吸收调制器与分布反馈激光器集成光源*

赵 谦† 潘教青 张 靖 李宝霞 周 帆 王宝军 王鲁峰 边 静 赵玲娟 王 圩

(中国科学院半导体研究所国家光电子工艺中心,北京 100083)

(2005 年 7 月 22 日收到;2005 年 8 月 17 日收到修改稿)

采用超低压(22×10^2 Pa)选择区域生长(selective area growth,SAG)金属有机化学气相沉积(metal-organic chemical vapor deposition,MOCVD)技术成功制备了应变型 InGaAsP/InGaAsP 电吸收调制器(electroabsorption modulator,EAM)与分布反馈激光器(distribute feedback laser,DFB)单片集成光源的新型光电器件.实验结果表明,采用该技术制备的集成器件表现出了良好的性能:激射阈值为 19 mA,出光功率接近 7 mW,边模抑制比(side-mode suppression ratio,SMSR)大于 40 dB,将该集成器件出射光耦合进普通单模光纤后进行测量,获得了 16 dB 的消光比,器件 3 dB 响应带宽达到了 10 GHz 以上.将该集成器件完全封装后成功进行了 10 Gb/s 非归零码(non-return zero,NRZ)的传输实验:在误码率为 10^{-10} 的传输条件下于普通单模光纤中传输了 53.3 km,色散代价小于 1.5 dB,动态消光比大于 8 dB,且眼图清晰张开.

关键词:超低压,选择区域生长,集成光电子器件,10 Gb/s

PACC:4282,7280E,8115H

1. 引 言

用于高速通信系统的 1.55 μm 波长范围的外腔调制因其低啁啾的调制特性日益受到关注.其中,DFB 激光器与 EAM 单片集成器件更是由于具有高耦合效率、低驱动电压、低封装成本等优势而越来越引起研究人员的注意.然而由于 DFB 与 EAM 的能带带隙通常相差 40—50 meV,因此如何在同一衬底上获得这样大的能带带隙偏调量成为制备这种单片集成器件的关键性难题之一.

近年来,能带控制工程取得了显著进展.其中,一种新型的能带控制方法:选择区域生长(SAG)法吸引了大量研究人员的兴趣[1—4].SAG 方法是在平面衬底的特定区域覆盖介质膜掩蔽,利用介质膜掩蔽对材料生长速率产生影响的厚度增强效应,简单地通过改变介质膜掩蔽图形尺寸实现不同带隙的多量子阱(multiple quantum well,MQW)结构在同一衬底上的单片集成,从而极大地提高了能带控制手段的自由度.EAM 的器件性能对入射波长与吸收带边之间的能量偏调量十分敏感,采用该方法可以通过合理设计介质膜掩蔽图形的尺寸精确控制 DFB 与 EAM 之间的能带偏调量,从而达到优化设计的目的.SAG 方法具有工艺简单、外延次数少、能获得较高的波导耦合效率等优点,对于制作集成光电子器件而言是一种十分实用的技术.

本文采用超低压(22×10^2 Pa)SAG MOCVD 生长技术,成功制作了应变型 InGaAsP/InGaAsP EAM 与 DFB 单片集成的新型光源.这是目前国内外文献报道中采用的最低的选择生长沉积气压.实验结果表明,采用该技术制备的集成器件表现出了优良的性能:激射阈值为 19 mA,出光功率接近 7 mW,边模抑制比大于 40 dB,将该集成器件出射光耦合进普通单模光纤后进行测量,获得了 16 dB 的消光比,器件 3 dB 响应带宽达到了 10 GHz 以上.将该集成器件完全封装后成功进行了 10 Gb/s 非归零码(non-return zero,NRZ)的传输实验:在误码率为 10^{-10} 的传输条件下于普通单模光纤中传输了 53.3 km,色散代价小

* 国家重点基础研究发展规划(973)项目(批准号:G2000068301),国家高技术研究发展计划(863)项目(批准号:2002AA312150),国家自然科学基金(批准号:90101023,60176023,60476009)资助的课题.

† E-mail:qzhao@red.semi.ac.cn

于 1.5 dB，动态消光比大于 8 dB，且眼图清晰张开．这也是目前国内文献报道中传输距离最远的纪录．

2. 实验过程

本文采用超低压（22×10^2 Pa）SAG MOCVD 技术制备应变型 InGaAsP/InGaAsP EAM 与 DFB 单片集成器件．MOCVD 设备为 AIXTRON-200 型，采用三甲基铟（TMIn），三乙基镓（TEGa）作为Ⅲ族源；砷烷（AsH_3）和磷烷（PH_3）作为Ⅴ族源，高纯氢气（H_2）作为载气，衬底为掺硫的（100）n-InP．在外延生长过程中，衬底温度为 655℃，Ⅴ/Ⅲ为 250，沉积气压为 22×10^2 Pa，而仍然保持较快的平面区生长速度为 1.8 μm/h．

介质膜掩蔽图形的制作过程如下：首先，在衬底上采用等离子体增强化学气相沉积法（PECVD）沉积上厚约 200 nm 的 SiO_2，接着沿衬底的[011]晶向刻蚀出掩蔽图形．为了保证选择区域内的 MQW 材料的生长均匀性，我们采用了带尖端的掩蔽图形，如图 1 中的插图所示．掩蔽图形的 SiO_2 宽度（W_m）从 15 μm 变化到 30 μm，长度为 600 μm；掩蔽图形之间的选择生长区宽度（W_g）为 15 μm，尖端区的长度为 50 μm．

本文采用微区光荧光（μ-PL）对材料质量进行表征．激励光源为 514.5 nm 的 Ar 离子激光器，激励光斑直径约为 4 μm．整个测试过程在室温下进行．

3. 结果与讨论

利用超低压 SAG 技术（22×10^2 Pa）生长的 MQW 材料，我们制作了 InGaAsP/InGaAsP 应变型 EAM/DFB 单片集成光源．整个集成器件的有源区由 8 对 0.6%压应变的量子阱构成，阱厚约 8.2 nm，垒厚约 9 nm．上、下光限制层厚约 100 nm（λ_{PL} = 1200 nm）．图 1 为该集成器件的 DFB 与 EAM 部分的 PL 谱图．

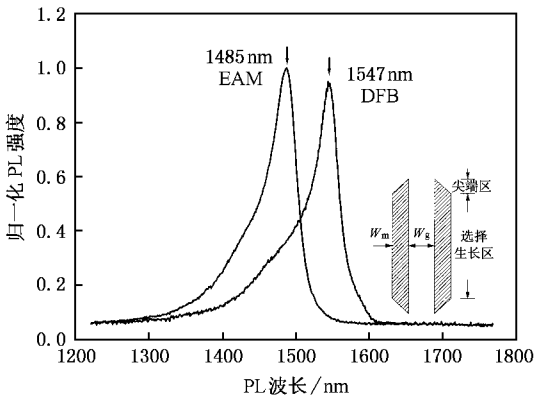


图 1 室温下测量得到的 DFB 与 EAM 部分的 PL 谱图 （插图为选择生长 InGaAsP/InGaAsP MQW 材料时使用的介质膜掩蔽图形结构示意图）

选择生长区为 DFB 激光器，而平面生长区为 EAM，EAM 与 DFB 部分的 PL 波长分别是 1485 和 1547 nm．该结果表明，我们采用超低压 SAG 技术在选择生长区域内外获得了 62 nm 的波长偏移，这样的 MQW 材料结构有利于低啁啾的 EAM[5]．器件结构采用深脊条形，在文献[6]中详细报道了器件的制作过程．图 2 给出了 EAM/DFB 单片集成光源的结构示意图．其中，DFB 长 300 μm，EAM 长 150 μm，电隔离沟长 50 μm．从图 2 的插图中可以看到，在选择生长区与平面生长区之间是 MQW 结构厚度缓变的过渡区域．

图 3 所示是典型的 EAM/DFB 单片集成器件的输出光强－电流曲线．器件的阈值电流为 19 mA，输

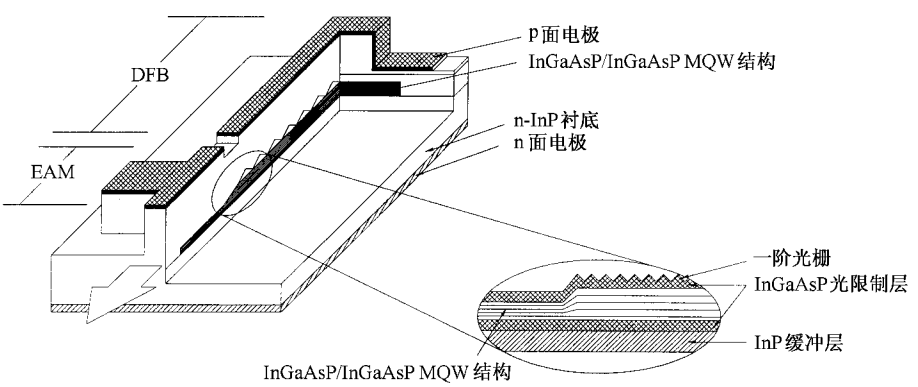


图 2 EAM/DFB 单片集成光源的器件结构示意图 （插图显示了选择生长区与平面生长区之间的 MQW 结构厚度缓变的过渡区域）

出光功率约为 7 mW.插图中是该器件的在 80 mA 注入电流下的激射光谱图,可以看到,边模抑制比(side mode suppression ratio, SMSR)大于 40 dB.这也说明采用超低压 SAG 技术能够获得良好的材料质量和较高的耦合效率.为了进一步分析器件的性能,我们还测试了 EAM 的消光比(extinction ratio, ER),如图 4 所示.

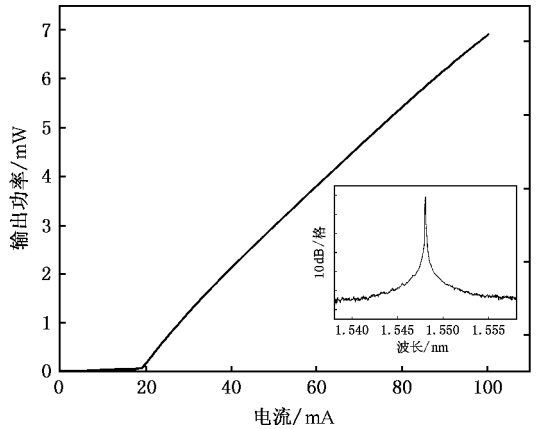


图 3　采用超低压 SAG 技术生长的 MQW 制作的 EAM/DFB 单片集成光源的光强-电流曲线　(插图为 DFB 端注入电流为 80 mA 时的激射光谱图,边模抑制比大于 40 dB)

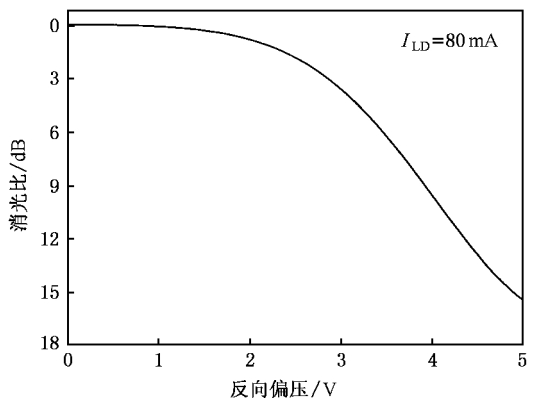


图 4　不同偏压下 EAM 的消光比特性

在测试过程中,将 EAM 端的出射光耦合入普通单模光纤(single mode fiber, SMF),偏压从 0 V 变化到 5 V,DFB 激光器端的注入电流为 80 mA.从图中可以看到,在 5 V 偏压时获得了超过 16 dB 的消光比.在较高的偏压下残余的输出光功率十分微弱,这也说明了 DFB 与 EAM 之间获得了很高的耦合效率.为了了解器件的响应带宽,我们还进一步测量了器件在 3 V 反向偏压下的小信号响应,如图 5 所示.EAM/DFB 单片集成器件管芯烧结在 50Ω 阻抗匹配的高频热沉上,固定在 7 针蝶形模块里,随后进行了完全封装.该完全模块包括半导体致冷器、背光探测器和光学耦合系统,模块外形如图 5 中的插图所示.测试条件为 EAM 端外加 3V 反向偏压,DFB 端的注入电流为 100 mA.从图中可以看出,器件的 3dB 带宽大于 10 GHz,这样宽的频率响应带宽完全能够满足 10 Gb/s 的系统传输要求.

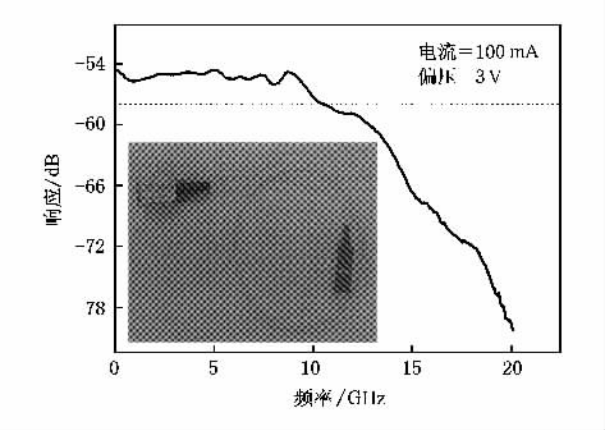


图 5　集成器件 EAM 部分的频率响应曲线　(插图为完全封装的 7 针蝶形模块外形照片)

为了检验该模块的高速传输性能,我们在普通单模光纤中进行了 10 Gb/s, NRZ 调制下的传输实验,伪随机码长度为 $2^{23}-1$.图 6 所示为 10 Gb/s NRZ 电信号调制下的眼图.从图中可以看出,整个眼图清晰张开,且调制下的动态消光比大于 8.3 dB.为充分了解该模块的高速性能,我们还测量了在调制速率为 10^{-10} 情况下的误码率特性,如图 7 所示.可以看到,接收机的灵敏度高达 - 18.9dBm.在经过了 53.3km 的传输距离后,整个模块的色散代价小于 1.5 dB,表明该模块具有相当低的啁啾特性.这也是

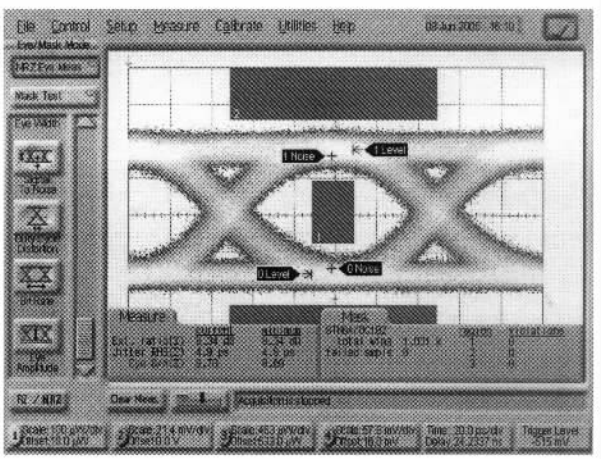


图 6　10 Gb/s NRZ 信号调制下的眼图

目前国内文献报道的在 10 Gb/s 非归零伪随机码调制下的最远传输距离.实验结果充分说明,采用超低压 SAG 技术,合理优化 DFB 与 EAM 之间的波长偏移,完全能够获得高速、低啁啾的 EAM/DFB 单片集成光源.

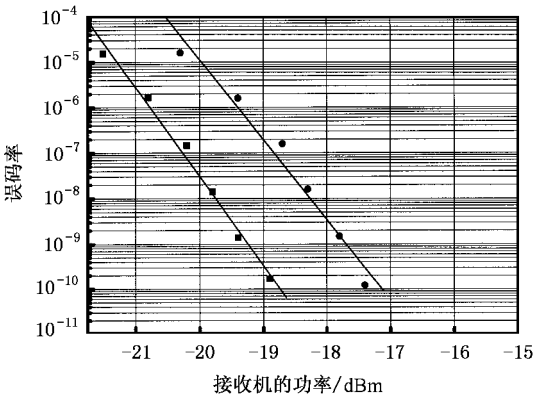


图 7 EAM/DFB 单片集成模块在 10 Gb/s NRZ 信号调制下的传输特性

4. 结 论

本文采用超低压(22×10^2 Pa)SAG MOCVD 技术成功制备了波长偏调量达 62 nm 的 EAM/DFB 单片集成光源.该方法极大简化了集成器件的制作工艺,显示出了优良的器件性能:激射阈值为 19 mA,出光功率接近 7 mW,SMSR 大于 40 dB,将该集成器件出射光耦合进单模光纤后进行测量,获得了 16 dB 的消光比,器件 3 dB 响应带宽达到了 10 GHz 以上.在对器件进行了 7 针蝶形模块的完全封装后,我们在普通单模光纤中进行了 10 Gb/s 非归零伪随机码的传输实验.在调制速率为 10^{-10} 情况下,经过了 53.3 km 的传输距离后,整个模块的色散代价小于 1.5 dB,且整个调制眼图清晰张开.实验结果充分表明,超低压 SAG 技术是一种制备高速、低啁啾 EAM/DFB 单片集成光源的完全可行的方法.

[1] Sakata Y, Hosoda T, Sasaki Y, Kitamura S, Yamamoto M, Inomoto Y, Komatsu K 1999 *IEEE J. Quantum Electron.* **35** 368

[2] Sudo S, Yokoyama Y, Nakazaki T, Mori K, Kudo K, Yamaguchi M, Sasaki T 2000 *J. Crystal Growth* **221** 189

[3] Edward H S, 2000 *Solid State Electron.* **44** 147

[4] Zhao Q, Pan J Q, Zhang J, Zhou G T, Wu J, Zhou F, Wang B J, Wang L F, Wang W 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 261 (in Chinese) [赵 谦、潘教青、张 靖、周光涛、伍 剑、周 帆、王宝军、王鲁峰、王 圩 2006 物理学报 **55** 261]

[5] Lin S C, Yu P K L, Chang W S C 1989 *Appl. Phys. Lett.* **34** 1100

[6] Zhao Q, Pan J Q, Zhou F, Wang B J, Wang L F, Wang W 2005 *Semicond. Sci. Technol.* **20** 544

Electroabsorption-modulated laser light-source module using selective area growth for 10 Gb/s transmission*

Zhao Qian†　Pan Jiao-Qing　Zhang Jing　Li Bao-Xia　Zhou Fan　Wang Bao-Jun
Wang Lu-Feng　Bian Jing　Zhao Ling-Juan　Wang Wei

(*National Research Center of Optoelectronics Technology*, *Institute of Semiconductors*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100083, *China*)

(Received 22 July 2005; revised manuscript received 17 August 2005)

Abstract

In this work, a novel light source of strained InGaAsP/InGaAsP MQW EAM monolithically integrated with DFB laser is fabricated by ultra-low-pressure (22×10^2 Pa) selective area growth (SAG) MOCVD technique. Superior device performances have been obtained, such as low threshold current of 19 mA, output light power of about 7 mW, and over 16 dB extinction ratio at 5 V applied voltage when coupled into a single mode fiber. Over 10 GHz 3 dB bandwidth in EAM part is developed with a driving voltage of 3 V. After the chip is packaged into a 7-pin butterfly compact module, 10-Gb/s NRZ transmission experiments are successfully performed in standard fiber. A clearly-open eye diagram is achieved in the module output with over 8.3 dB dynamic extinction ratio. Power penalty less than 1.5 dB has been obtained after transmission through 53.3 km of standard fiber, which demonstrates that high-speed, low chirp EAM/DFB integrated light source can be obtained by ultra-low-pressure (22×10^2 Pa) SAG method.

Keywords: ultra-low-pressure, selective area growth, integrated optoelectronics, 10 Gb/s
PACC: 4282, 7280E, 8115H

* Project supported by the National "973" Program (Grant No. G2000068301), the National "863" Program (Grant No. 2002AA312150), and the National Natural Sciences Foundation of China (Grant Nos. 90101023, 60176023, 60476009).

† E-mail: qzhao@red.semi.ac.cn