

MOCVD 实现 InGaAsP 波导对接生长的研究*

张瑞康^{†,1} 董 雷^{1,2} 余永林³ 王定理^{1,4} 张 靖¹ 陈 磊¹ 江 山¹

(1 武汉光迅科技股份有限公司, 武汉 430074)

(2 山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

(3 华中科技大学武汉国家光电实验室, 武汉 430074)

(4 武汉大学物理科学与技术学院 声光材料与器件教育部重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 采用低压 MOCVD 技术, 通过对界面和对接工艺的优化, 获得了高质量的 InGaAsP 材料构成的对接波导, 测量得到的对接波导光学损耗为 7cm^{-1} , 说明该技术可以用来制作高质量的光电子集成器件.

关键词: MOCVD; 对接生长; 波导

EEACC: 2530C

中图分类号: TN304. 055

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2008)06-1177-03

1 引言

半导体光电子器件的单片集成是目前的发展趋势. 研制此类器件需要在同一平面上不同区域生长高质量的不同带隙的半导体材料, 这成为半导体集成光电子器件研制的难点所在. 目前, 已有多种方法实现不同材料的集成制作, 如: 选择区域生长 (selective area growth)^[1]、偏移量子阱 (offset quantum well)^[2]、量子阱混杂 (quantum wells intermixing)^[3]、对接生长 (butt-joint growth)^[4] 等, 其中对接生长方法由于可以独立地对不同区域的材料进行优化设计, 可以制作出高性能的集成光电子器件, 成为国外许多研究机构和公司的研究热点^[5~7].

利用对接生长技术制作光电子器件的关键在于如何获得良好的对接界面, 减少界面的反射以及波导间的耦合损耗. 对接生长技术实际上是非平面选区生长过程, 材料生长质量不仅和 MOCVD (metalorganic chemical vapor disposition) 的生长参数相关, 而且和生长前的界面形貌有直接关系. 中国科学院半导体研究所在国内最先开展了对接生长技术的研究, 并采用多量子阱对接制作了高质量的电吸收调制 DFB 激光器^[8]. 在研究中他们指出, 对接界面处的量子阱会弯曲或形成空洞, 从而导致光损耗, 降低器件质量. 并提出腐蚀部分对接界面处的波导可以降低耦合损耗, 提高器件性能. 但这样增加了器件制作的复杂程度. 目前针对波导对接生长以及对接质量的表征的报道不多. 作者通过研究生长界面对对接质量的影响, 获得了高质量的对接界面, 并通过制作扩展腔 FP 激光器, 测量了对接波导的损耗, 结果和文献报道的相当. 这些研究为制作高性能集成半导体光电子器件奠定了基础.

2 实验

所有样品由 Thomas Swan CCS MOCVD 设备生长, 生长温度为 625°C , 压力为 13332.2Pa , III 族有机金属源为三甲基铟 (TMIn)、三甲基镓 (TMGa), V 族源为砷烷 (AsH_3) 和磷烷 (PH_3), 衬底都是 S 掺杂的 (001) 取向的 n-InP, 外延层结构包括 6 个压应变量子阱 (0.8%), 阱层和垒层厚度分别为 5 和 10nm. 量子阱上下区域各有 100nm 厚的 InGaAsP ($\lambda = 1.24\mu\text{m}$) 波导层. 利用刻蚀 SiO_2 掩模划分出有源区和无源波导区. 采用选择性湿法腐蚀技术, 将处于无源波导区中的材料全部腐蚀直到 n 型缓冲层. 利用对接技术生长 320nm 厚的 InGaAsP ($\lambda = 1.42\mu\text{m}$) 无源波导.

完成上述对接生长后, 去掉 SiO_2 掩模, 再利用 MOCVD 技术依次生长 40nm 厚的 p 型 InP, 20nm 厚的 InGaAsP 抗腐蚀层 ($\lambda = 1.05\mu\text{m}$), $1.7\mu\text{m}$ 厚的 p 型 InP 和 300nm 厚的 p⁺ 型 InGaAs 接触层. 光刻脊波导后, 光刻去掉量子阱波导和 InGaAsP 体材料波导之间 $50\mu\text{m}$ 区域里的 InGaAs 接触层, 形成电隔离区; PECVD 生长 350nm 厚的 SiO_2 后, 光刻电极窗口和采用带胶剥离技术形成 Ti/Pt/Au p 面电极. 芯片减薄至 $100\mu\text{m}$, 溅射 Ti/Pt/Au n 面电极、合金、解理后, 就形成如图 3 所示的扩张腔 FP 激光器.

3 结果与讨论

图 1 是对接生长横截面的 SEM 图. 对接界面会引入多余的反射和波导损耗, 因此高质量的对接界面是获得良好的器件性能的关键. 图 1 为 InGaAsP 量子阱和 InGaAsP 波导区界面在 $[01\bar{1}]$ 方向的扫描电镜图片. 3 个样品的生长条件相同, 由图可以看出, SiO_2 下面的侧

* 国家高技术研究发展计划 (批准号: 2006AA03Z427), 国家重点基础研究发展规划 (批准号: 2003CB314903) 和国家自然科学基金 (批准号: 60677024) 资助项目

† 通信作者. Email: ruikang.zhang@accelink.com

2007-10-16 收到, 2007-12-05 定稿

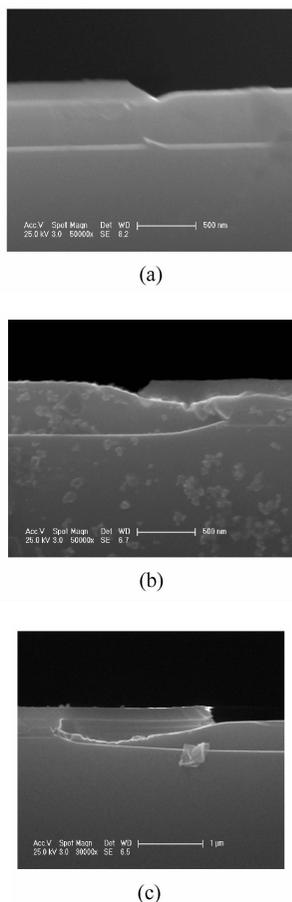


图 1 不同腐蚀形貌对对接结果的影响

Fig.1 SEM photograph of sample with different undercuts after butt-joint regrowth

蚀深度对对接界面的质量有很大的影响. 侧向腐蚀是由于腐蚀液对 InGaAsP 材料腐蚀的各向同性造成的. 侧蚀太浅, 由于 SiO₂ 掩模的增强作用, 对接界面处的 InGaAsP 波导的厚度将大于远离界面处的 InGaAsP 波导的厚度, 降低了对接界面的质量; 相反, 如果 SiO₂ 下面侧蚀太深, 深度大于 III 族反应物在表面的迁移长度, 就使得生长后 SiO₂ 掩模下留下空洞, 同样降低了对接界面的质量, 如图 1(b) 和 (c) 所示. 因此, 对接生长中, SiO₂ 下面的侧蚀深度的控制非常关键, 根据我们的实验结果, 侧蚀深度为 300nm 时可以获得高质量的对接界面, 如图 1(a) 所示.

外延材料的质量对器件性能影响也是至关重要的, 图 2 为进行对接生长后外延片的光荧光测试结果. 由于作为激发光源的 Ar 离子激光器的光斑直径约为 1mm, 因此得到的光荧光就包含了量子阱区和无源波导区激发的荧光. 由图可以看到, 峰值波长为 1.529 和 1.424 μm 的荧光峰, 分别对应量子阱区和对接波导区, 两个峰的半高宽(FWHM)为 36 和 51meV, 和在平面衬底上相同参数生长的 InGaAsP 材料的光荧光相比, 不仅 FWHM 相当, 而且峰值波长也一致. 说明在生长过程中 SiO₂ 掩模对材料组分的影响小, 可以在不同区域生长高质量的、组分基本均匀的 InGaAsP 材料. 因此利用对接生长技术可以研制高性能的集成光电子器件.

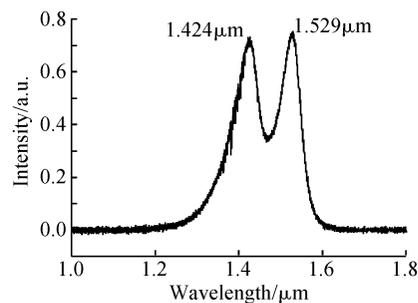


图 2 对接后的 PL 谱

Fig.2 PL spectrum of the sample after butt-joint regrowth

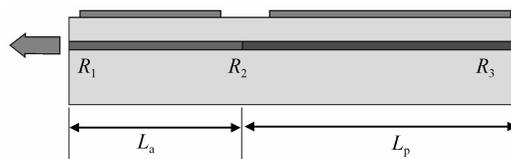


图 3 扩展腔 FP 激光器结构的示意图

Fig.3 Schematic structure of active/passive cavity laser

为了测量对接波导的波导损耗, 完成对接生长后制作了脊波导结构的扩展腔激光器, 脊宽约为 1.9 μm, 图 3 为器件的示意图. 其中 L_a 为量子阱有源区的长度, L_p 为对接波导区的长度, R_1 为有源区和空气界面的反射率, R_3 为对接波导和空气的界面反射率, 相对于半导体/空气界面的反射, 对接波导间的反射率很小, 可以忽略. 因此器件的斜率效率就由 (1) 式给出^[9], 其中 α_i 和 α_p 分别为有源区和无源波导区的损耗系数, R_2 由 (4) 式给出. 通过拟合斜率效率和 L_p 的关系, 可以得到无源波导区的损耗系数.

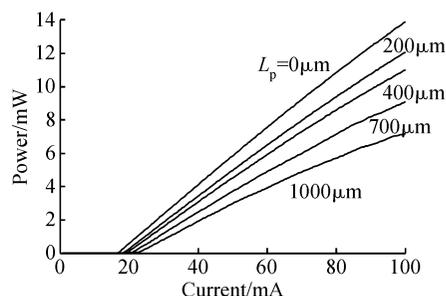
$$\eta_d = \eta_i \eta_{da} \eta_{dp} \quad (1)$$

$$\eta_{da} = \frac{\ln \sqrt{1/R_1 R_2}}{\alpha_{ia} L_a + \ln \sqrt{1/R_1 R_2}} \quad (2)$$

$$\eta_{dp} = \frac{(1 - R_1)/\sqrt{R_1} + (1 - R_3)/\sqrt{R_3}}{(1 - R_1)/\sqrt{R_1} + (1 - R_3 e^{-2\alpha_p L_p})/\sqrt{R_3} e^{-\alpha_p L_p}} \quad (3)$$

$$R_2 = R_3 e^{-2\alpha_p L_p} \quad (4)$$

当 L_a 为 350 μm 时, 在只有有源区注入电流下, 不同对接波导长度的激光器的 $P-I$ 曲线如图 4 所示, 随着对接波导长度的增加, 器件阈值电流增加, 斜率效率降低.

图 4 不同对接腔长的 $P-I$ 曲线Fig.4 $P-I$ curve of active/passive cavity lasers with various cavity lengths

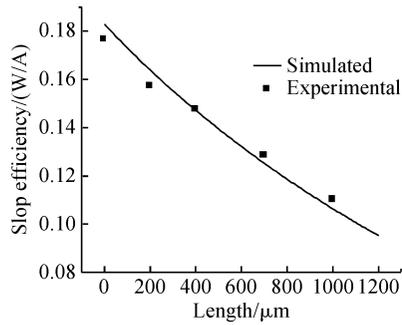


图 5 不同腔长的扩展腔激光器的斜率效率

Fig. 5 Slope efficiency of active/passive cavity lasers with various cavity lengths

图 5 为不同腔长的斜率效率和拟合曲线,得到无源波导的损耗为 7cm^{-1} ,这和采用量子阱混杂得到的结果相当^[3].说明损耗主要是由 p 型材料的自由载流子吸收和散射损耗引起的,而对接界面引起的损耗很小,可以忽略,这为制作高性能的集成半导体光电子器件奠定了坚实的基础。

4 结论

本文通过腐蚀形貌对 InGaAsP 材料对接生长影响的研究,获得了高质量的对接界面和对接材料,并通过制作扩展腔 FP 激光器,模拟测量了对接波导的损耗为 7cm^{-1} ,结果和文献报道的相当.本研究为制作高性能

的集成半导体光电子器件奠定了坚实的基础。

参考文献

- [1] Van Caenegem T, Moerman I, Demeester P. Selective area growth on planar masked in p substrates by metal organic vapour phase epitaxy (MOVPE). *Prog Cryst Growth Charac*, 1997, 35: 263
- [2] Mason B, Fish G A, DenBaars S P, et al. Widely tunable sampled grating DBR laser with integrated electroabsorption modulator. *IEEE Photonics Technol Lett*, 1999, 11(6): 638
- [3] Skogen E J, Barton J S, Denbaars S P, et al. Tunable sampled-grating DBR lasers using quantum-well intermixing. *IEEE Photonics Technol Lett*, 2002, 14(9): 1243
- [4] Strzoda R, Ebbinghaus G, Seherg T, et al. Studies on the butt-coupling of InGaAsP-waveguides realized with selective area metal organic vapor phase epitaxy. *J Cryst Growth*, 1995, 154(1): 27
- [5] Adams D M, Rolland C, Yu J, et al. Gain-coupled DFB integrated with a Mach-Zehnder modulator for 10Gbit/s transmission at $1.55\mu\text{m}$ over NDSF. *Proc SPIE*, 1997, 3038: 45
- [6] Kawano K, Kohtoku M, Okamoto H, et al. Coupling and conversion characteristics of spotsizer-converter integrated laser diodes. *IEEE J Sel Topics Quantum Electron*, 1997, 3(6): 1351
- [7] Yan Xuejin, Xu Guoyang, Zhu Hongliang, et al. Monolithic integration of a MQW DFB laser and EA modulator in the $1.55\mu\text{m}$ wavelength. *Chinese Journal of Semiconductors*, 1999, 20(5): 412
- [8] Hu Xiaohua, Wang Wei, Zhu Hongliang, et al. A novel LP-MOCVD butt-joint growth method on MQW electroabsorption-modulated DFB lasers. *Chinese Journal of Semiconductors*, 2003, 24(8): 841
- [9] Coldren L, Corzine S. Diode lasers and photonic integrated circuits. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1995

Studies on the Butt-Joint of a InGaAsP-Waveguide Realized with Metalorganic Vapor Phase Epitaxy*

Zhang Ruikang^{1,†}, Dong Lei^{1,2}, Yu Yonglin³, Wang Dingli^{1,4}, Zhang Jing¹, Chen Lei¹, and Jiang Shan¹

(1 Accelink Technologies Co., Ltd, Wuhan 430074, China)

(2 School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

(3 Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

(4 Key Laboratory of Acoustic and Photonic Materials and Devices of Ministry of Education, Department of Physics, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: An InGaAsP waveguide is integrated laterally to MQW using LP-MOCVD butt-joint technology. High quality for the re-growth interface and material is achieved. The loss of the butt-jointed waveguide is 7cm^{-1} . This demonstrates the applicability of butt-joint technology in fabricating high quality future photonic integrated circuits.

Key words: MOCVD; butt-joint growth; waveguide

EEACC: 2530C

Article ID: 0253-4177(2008)06-1177-03

* Project supported by the National High Technology Research and Development Program of China (No. 2006AA03Z427), the State Key Development Program for Basic Research of China (No. 2003CB314903), and the National Natural Science Foundation of China (No. 60677024)

† Corresponding author. Email: ruikang.zhang@accelink.com

Received 16 October 2007, revised manuscript received 5 December 2007