

刻蚀腔 InGaAsP/InP 双异质结 激光器的制作与特性*

颜学进 张权生 石志文 杜 云 祝亚芹 罗丽萍 朱家廉 吴荣汉 王启明

(中国科学院半导体研究所 集成光电子学国家重点实验室 北京 100083)

摘要 本文报道了用反应离子刻蚀(RIE)与晶向湿法化学腐蚀(XWCE)相结合沿 InP 衬底(110)方向获得工作波长 $1.3\mu\text{m}$ 的 InGaAsP/InP 双异质结激光器的腔面的方法. 用 $\text{CH}_4 : \text{H}_2 : \text{Ar}_2$ 的混合物作干法刻蚀的反应气体, 用 $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HCl} : \text{H}_2\text{O}_2$ 作湿法腐蚀的腐蚀剂, 我们获得了质量较好的激光器的光学腔面. 用一个刻蚀腔面与一个解理面组成激光器的 F-P 腔, 我们获得了它的宽接触阈值电流和微分子量子效率与用传统的解理腔面的激光器的宽接触阈值电流与微分子量子效率相当的激光器.

PACC: 4255P, 4260D, 4260, 4282

1 引言

虽然在半导体激光器作分立元件使用时, 用解理来获得激光器的腔面是一个非常有效的方法, 但是在正在发展和将要发展的半导体光子器件之间, 光子器件与电子器件之间的单片集成技术中, 激光器的腔面再也不能用解理来获得, 而需要寻找一种新的获得腔面的方法.

在 DFB 或 DBR 半导体激光器与电吸收调制器的单片集成中, 就用掩埋的光栅代替解理腔实现了单片集成^[1,2]. 此外, 用湿法腐蚀^[3,4]或干法刻蚀或两者结合^[5], 也得到了激光器的光学腔面. 并且干法刻蚀腔面的方法有许多种, 例如: 反应离子刻蚀(RIE)^[6], 离子束刻蚀(IBE)^[7]及化学辅助的离子束刻蚀(CAIBE)^[8]等.

本文报告了利用反应离子刻蚀与晶向湿法化学腐蚀相结合的技术来得到激光器腔面的方法和用该方法得到的刻蚀腔面的激光器的性能. 本实验反应离子刻蚀在国家光电子工艺中心进行, 仪器型号是 GIR300.

* 国家自然科学基金及集成光电子学国家重点实验室资助项目

颜学进 男, 1960 年生, 博士研究生, 从事半导体激光器与电吸收调制器集成研究
1996 年 9 月 9 日收到初稿, 1996 年 12 月 9 日收到修改稿

2 激光器腔面的制作工艺

作为激光器的腔面,它要求表面平整,光滑,无损伤层,并且应与有源层垂直.为此,我们选用反应离子刻蚀与晶向湿法化学腐蚀技术相结合来制作激光器的 F-P 腔面.反应离子刻蚀有高度的各向异性,对各外延层无选择腐蚀,并且侧蚀很小,损伤深度也很小,能刻蚀出几乎与外延面垂直的腔面.然而,为了提高光学腔面的质量,我们还选择了晶向湿法化学腐蚀技术用它来进一步提高腔面与外延面的垂直度,并改进腔面的光洁度使之成为激光器所需要的光学腔面.

现介绍激光器腔面的制作工艺如下:

1、用等离子增强汽相沉积的方法在双异质结构(InGaAsP/InP/InGaAsP(有源区)/InP/衬底)的液相外延样品的外延面上生长 300nm 厚的 SiNO 膜.

2、沿着 InP 衬底(110)方向(倒台)光刻出 $4\mu\text{m}$ 宽的条形,用氢氟酸(HF)去掉条上的 SiNO 膜.

3、再用反应离子刻蚀技术得到 $4\mu\text{m}$ 宽, $3\mu\text{m}$ 深的 U 形槽,刻蚀使用的气体是甲烷,氢气和氯气的混合物.

4、然后用晶向湿法化学腐蚀方法,对刻蚀面进行加工和修正,以得到满足上述要求的激光器的光学腔面.

在反应离子刻蚀后,我们分别实验了 HCl : CH₃COOH : H₂O₂ (1 : 2 : 1) (KKI), H₃PO₄ : HCl : H₂O₂ (1 : 2 : 3) 及 H₂SO₄ : HCl : H₂O₂ (1 : 1 : 8) 三种腐蚀液,将这些腐蚀液恒温在 20℃ 时我们分别用它们对反应离子刻蚀后的腔面进行了湿法化学腐蚀实验,结果发现前二种腐蚀液效果不好,最后一种腐蚀液能通过控制腐蚀液的温度和腐蚀的时间来满足上述对激光器光学腔面的要求.图 1 给出了将腐蚀液(H₂SO₄ : HCl

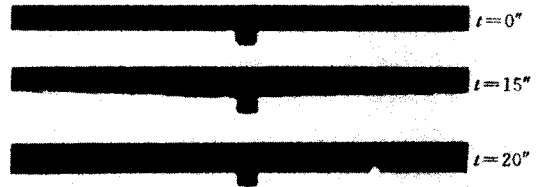


图 1 用腐蚀液 H₂SO₄ : HCl : H₂O₂ (1 : 1 : 8) 将反应离子刻蚀后的腔面腐蚀不同时间后的端面形貌照片(放大倍数 1000)

: H₂O₂) 恒温在 20℃ 时,用它处理反应离子刻蚀的 U 形槽不同时间后和反应离子刻蚀后未湿法化学腐蚀的端面形貌照片.实验发现,15 秒的时间为最佳腐蚀时间.如果再加长时间腔面就会呈现倒台形.同时照片上也给出了有源区的位置.

3 刻蚀腔激光器性能

在激光器的腔面制作好后,用光刻胶面掩蔽起来,然后使用了常规的带胶蒸发的方法做电极,这样就完成了整个制作过程.我们用了一个刻蚀面和一个刻蚀面和一个解理面组成了激光器的 F-P 腔.在室温脉冲工作的条件下,它的宽接触阈值电流是 1.4A,微分量子效率是 3.3%,图 2 给出了它的注入电流与输出光功率的(I-L)特性曲线.此外,它的正向压降为

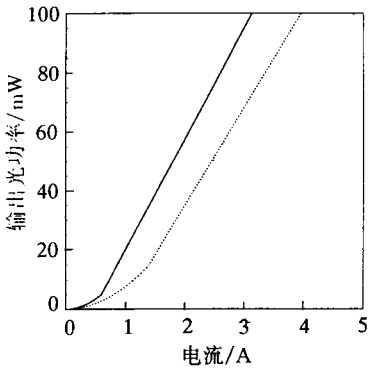


图 2 反应离子刻蚀腔面与解理腔面 InGaAs/InP 双异质结激光器的宽接触的 $I-L$ 特性曲线
实线:解理腔面,虚线:刻蚀腔面.

0.8V,反向击穿电压为 2.0V,串联电阻是 2.0 Ω .

为了解制作出的激光器腔面的质量,我们在该片的两个刻蚀面之间解理出了两个面都为解理面的管芯.它的宽接触阈值电流为 0.6A,微分子量子效率是 3.7%,此外它的 $I-L$ 特性曲线也在图 2 中给出.其阈值电流低主要是由于管芯面积小.除此数据之外,该实验片刚外延好时宽接触的实验数据如下,在室温脉冲工作的条件下:宽接触的阈值电流的典型值 1.2~1.5A,正向压降 0.8V,反向击穿电压 2.0V,串联电阻 2.0 Ω .我们发现这些值与刻蚀腔面激光器的相应值基本相同.

4 小结与讨论

我们将反应离子刻蚀与晶向湿法化学腐蚀相结合,在大约 $5 \times 6 \text{mm}^2$ 的 InGaAsP/InP 双异质结构的外延片上制作了间距 $300 \mu\text{m}$ 的激光器腔面,用一个这个面和一解理面做腔面的激光器的宽接触阈值电流和微分子量子效率与解理腔面激光器的值无明显变化.从而说明用反应离子刻蚀与晶向湿法化学腐蚀制作激光器腔面的方法是成功的,将此方法用于半导体光电子器件单片集成是非常有意义的.并且用这种方法制作腔面的工艺简单,容易控制,重复性好,成本也较低,此外,还可以通过提高光刻质量来消除 U 形槽两边的划痕,通过调整腐蚀液各成分之间的比例,使得它对 InP 和 InGaAsP 两薄层材料的腐蚀速率相同等方法来提高制作腔面的质量.

致谢 作者感谢国家集成光电子开放实验室的高俊华、王洪杰二位师傅在光刻等工艺中给予的帮助.

参 考 文 献

- [1] K. Wakita, K. Sato, L. Kotaka *et al.*, IEEE Photon. Technol. Lett., 1993, 5(8):899~901.
- [2] G. Raybon, P. B. Hansen, U. Koren *et al.*, Electron. Lett., 1992, 28(2):188~190.
- [3] T. Kambayash, C. Kitahara and K. Iga, Jpn. J. Appl. Phys., 1980, 19(1):79~85.
- [4] K. Iga, M. A. Pollack, B. I. Miller *et al.*, IEEE J. Quantum Electron., 1980, QE-16(10):1044~1046.
- [5] L. A. Coldren, K. Furuy, B. I. Miller *et al.*, IEEE J. Quantum Electron., 1982, QE-18(10):1679~1686.
- [6] L. A. Coldren, K. Iga, B. I. Miller *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1980, 37(8):681~683.
- [7] N. Bouadma, J. F. Hogrel, J. Charil *et al.*, IEEE J. Quantum Electron., 1987, QE-23(6):909~914.
- [8] P. Vettiger, M. K. Benedict, G. L. Bona *et al.*, IEEE J. Quantum Electron., 1991, QE-27(6):1319~1329.

Fabrication and Characteristics of Etched Cavity InGaAsP/InP DH Lasers

Yan Xuejing, Zhang Quansheng, Shi Zhiwen, Du Yun, Zhu Yaqin, Luo Liping,

Zhu Jialian, Wu Ronghan and Wang Qiming

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences and

National Integrated Optoelectronics Laboratory, Beijing 100083)

Received 9 September 1996, revised manuscript received 9 December 1996

Abstract We report the use of reactive-ion etching (RIE) and crystallographic wet chemical etching (XWCE) to form mirror facets on InGaAsP/InP double-heterostructure lasers ($\lambda = 1.3 \mu\text{m}$) along InP substrate (110) orientation and the reactive gas and chemical etching solution used in this experiment are $\text{CH}_4 : \text{H}_2 : \text{Ar}_2$ mixture and $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HCl} : \text{H}_2\text{O}_2 (1 : 1 : 8)$, respectively. Lasers, in which one of the facet mirrors is etched by this technique and the other is formed by cleaving, have threshold currents and quantum efficiencies comparable to those of lasers with conventionally cleaved mirrors.

PACC: 4255P, 4260D, 4260, 4282