

文章编号: 0258-7025(2004)02-0129-04

钨丝掩模二次倾斜离子注入 850 nm 室温 连续垂直腔面发射激光器

王海嵩¹, 杜国同^{1*}, 崔宏峰¹, 许呈栋¹, 宋俊峰¹, 杜云², 陈弘达², 吴荣汉²

(¹ 吉林大学电子科学与工程学院 集成光电子学国家重点联合实验室, 吉林 长春 130023)
(² 中国科学院半导体研究所 集成光电子学国家重点联合实验室, 北京 100083)

摘要 采用钨丝做掩模, 进行倾斜的离子注入优化电流限制区, 制作出室温连续的垂直腔面发射激光器件。该器件的最低阈值电流为 1.4 mA, 串联电阻约 207 Ω , 输出光功率超过 1 mW。

关键词 激光技术; 钨丝掩模; 离子注入; 垂直腔面发射激光器

中图分类号 TN 248.4 文献标识码 A

Room Temperature CW 850 nm Vertical Cavity Surface Emitting Lasers Fabricated by Tilt Ion Implanting Using Tungsten Wires as Mask

WANG Hai-song¹, DU Guo-tong¹, CUI Hong-feng¹, XU CHENG-dong¹,
SONG Jun-feng¹, DU Yun², CHEN Hong-da², WU Rong-han²

(¹ College of Electronic Science & Engineering, State Key Lab
on Integrated Optoelectronics, Jilin University, Changchun, Jilin 130023, China)
(² State Key Lab on Integrated Optoelectronics, Institute of Semiconductor,
The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract Room temperature CW vertical cavity surface emitting lasers were fabricated by tilt ion implanting and optimizing ion distribution around the active region. The device, whose threshold current was as low as 1.4 mA, gives the maximum more than 1 mW light power.

Key words laser technique; tungsten wires as mask; ion implanted; vertical cavity surface emitting lasers

1 引言

垂直腔面发射激光器(VCSEL)的出射光斑呈圆形, 发散角很小, 利于与光纤耦合。谐振腔主要是由外延生长的上下两组高反射率的 DBR (Distributed Bragg Reflector) 反射镜构成, 腔长很短, 因此纵模间距大, 有利于动态单纵模工作, 并且阈值电流很低。这种器件最显著的一个特点是由于出光方向垂直于外延片方向, 因此不用解理就可以进行

测试, 还可以进行二维光子集成, 制成大面积的激光器阵列。波长在 850 nm 的垂直腔面发射激光器大多采用离子注入结构, 这种技术工艺比较简单, 成本低廉, 但器件对电流限制若稍有不足, 则阈值电流就大, 一般在 4 mA 以上。此外, 还有一种湿氮氧化技术, 采用这种技术制作的器件对电流限制较好, 使阈值电流更低, 可以达到 2 mA 以下, 缺点是工艺比较复杂, 成本高, 器件的寿命问题不易解决。但是, 最近这些问题得到了较好的解决, 湿氮氧化技术大有

收稿日期 2002-11-12; 收到修改稿日期 2003-06-10

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60077021, No. 60107002 和 No. 69896260)资助项目。

作者简介: 王海嵩(1975—), 男, 吉林大学电子科学与工程学院博士研究生, 主要从事垂直腔面发射激光器件及其模式控制相关研究。E-mail: hs_wang@email.jlu.edu.cn

* 通信联系数据

取代离子注入技术势头。如果能够改进离子注入技术使阈值电流降下来,则离子注入技术在工艺简单方面的优势就可以充分得到发挥,并使离子注入器件重新得到人们的重视。文献[1~3]报道了钨丝作掩模离子注入的简单技术,具有比普通的光刻胶掩模更为简单的工艺,适于工业化生产。本文采用这种技术并进一步优化注入角度,制得阈值电流较低的垂直腔面发射激光器。

2 工艺设计与实验

实验中器件所采用的外延是用金属氧化物化学气相淀积(MOCVD)生长的。衬底选用 n 型($\text{Si } 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)GaAs 单晶片。光学谐振腔部分主要由 16.5 对 $1/4$ 波长的 P 型($\text{Be } 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)AlAs/ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 上 DBR 层,半波长的 P 型($\text{Be } 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 上限制层,3 个 8 nm 厚的 GaAs 量子阱有源区,半波长的 n 型($\text{Si } 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 下限制层,以及 30.5 对 $1/4$ 波长的 N 型($\text{Si } 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)AlAs/ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 下 DBR 层组成。为了降低串联电阻,在上下 DBR 层的 AlAs 和 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 层之间引入了 25 nm 厚的组份 x 从 0.1 到 1 渐变的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层。25 nm 的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层包含在 $1/4$ 波长内。引入渐变层的 DBR 的反射率与突变层相比只稍降低一些,可以用调整 DBR 层数的方法弥补。12 nm 厚的高掺杂 P 型($\text{Be } 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 作为欧姆接触层。外延片的结构示意图如图 1 所示。

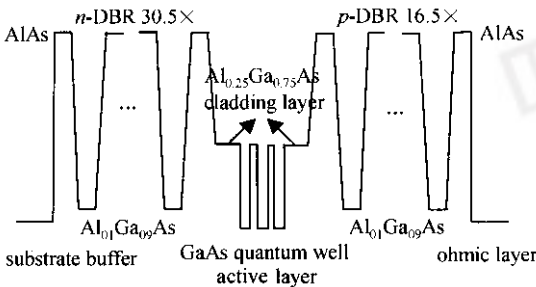


图 1 外延片结构图
Fig. 1 Structure of wafer

对于离子注入器件,如何对器件的电流进行很好的限制是提高器件性能的主要方面。我们对文献[4]中的注入离子沿入射轴的分布公式进行了简单的扩展,使之适应倾斜的离子注入的计算。 $n(x) =$

$\frac{s}{\sqrt{2\pi}\Delta R_p} \exp\left[-\frac{(x - R_p \cos\theta)^2}{2\cos^2\theta\Delta R_p^2}\right]$, 其中 s 为注入剂量, ΔR_p 为射程的标准偏差, θ 为入射离子相对于外延片法线方向倾斜的角度。从理论上,倾斜角度越大,对电流限制越好。而注入离子在垂直方向上的注入深度要比垂直注入时浅,因此要想使注入离子达到有源区的位置就必须增加离子的能量。但过大的倾斜角度容易造成有源区偏离出光窗口的中心位置,影响出射光的质量。考虑到离子注入是一个较为复杂的过程,能量、剂量、入射角度、退火条件的不同选择都会对结果产生较大的影响,通过对理论公式和实践经验的综合考虑,进行了以下工艺过程。

制备好的外延片经清洁处理后,用直径 $20 \mu\text{m}$, 钨丝间距 $300 \mu\text{m}$ 的模架作掩模,蒸镀大约 150 nm 厚的 Cr-Au。然后进行第一次质子注入,能量 440 keV,剂量为 $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 。在以前的报道中,我们一般采用 6° 的倾角来避免隧道效应的发生。而在本次实验的离子注入时,使离子束与外延片有一个较大的倾角(约为 10°),这样可以实现在避免隧道效应的同时,减小器件内部的有源区面积,达到限制注入电流的目的,又可以避免由于过大的倾斜注入导致有源区的位置在垂直方向上偏离出光窗口。第一次质子注入后,将钨丝模架旋转 90° ,即钨丝与原

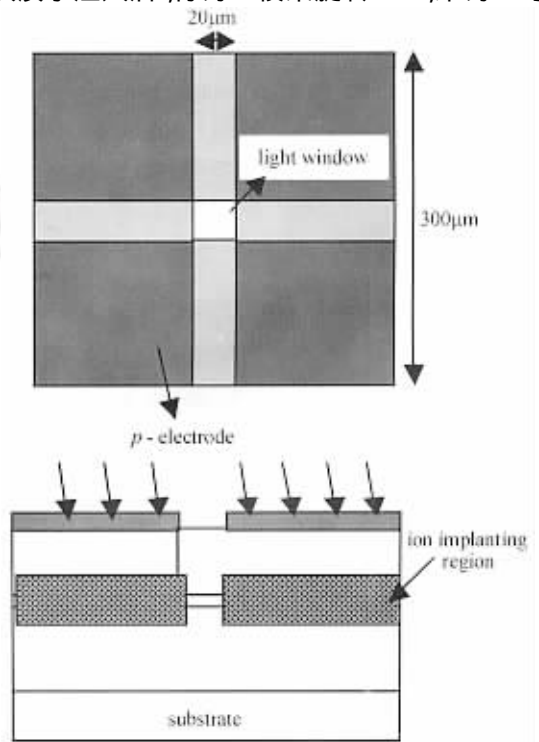


图 2 器件的出光表面和结构图
Fig. 2 Device structure and surface of light window

来的方向垂直,进行第二次质子注入。采用的剂量和倾斜角度方式不变,而能量改为 400 keV。而后 再蒸镀 150 nm 厚的 Cr-Au 作为顶面电极。最后去 掉模架,背面减薄并蒸镀 Au-Ge-Ni 后,在 450℃ 下微 合金 30 s。器件的出光窗口和结构示意图如图 2 所 示。根据离子注入的能量,注入离子应该在器件内 部 3.5 μm 处有源区附近分布浓度最大。同时,倾 斜离子注入使有源区的面积略小于顶面钨丝形成的 出光窗口,形成电流限制。

3 实验结果与讨论

器件的 $P-I$ 特性和 $V-I$ 特性曲线如图 3 所示。 从图中可以看出,器件的开启电压为 1.2 V,串联电 阻约为 207 Ω。器件的串联电阻稍大是由于器件表 面蒸镀电极和合金的效果不是很理想所致。同时, 合金不好还有可能影响离子损伤的晶格的恢复,造 成电阻过大。通过改善外延片的处理条件和制作电 极时的工艺参数可以降低串联电阻。在室温直流条

件下,器件的阈值电流达到 1.4 mA。这样的阈值电 流达到了我们已知的离子注入器件的最好水平^[5], 即使在湿氮氧化器件中也是较低的。器件在 $4.3I_{th}$ 电流下,输出光功率为 0.92 mW,刚开始进入饱和 和区,并没有达到完全饱和状态。如果继续增加电 流,功率可以达到 1 mW 以上。图 4 给出了其他部分 器件的 $P-I$ 和 $V-I$ 特性。从图中可看出器件的阈 值电流基本在 2 mA 左右,说明倾斜的离子注入对 器件内部的电流起到了良好的限制作用。通过调整 钨丝直径,有望得到更低的阈值电流。

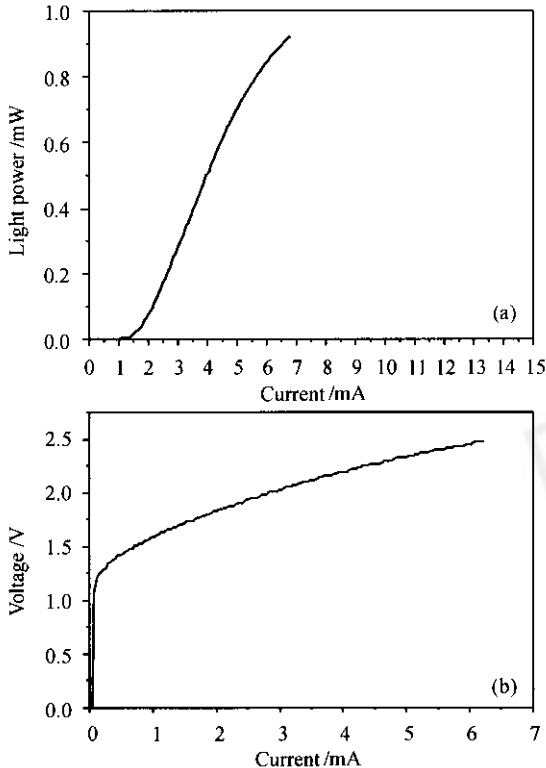


图3 器件的光功率和伏安特性曲线
(a) 光功率-电流特性曲线 (b) 电压-电流特性曲线

Fig. 3 Schematic of light power and voltage versus current

(a) schematic of light power versus current ;
 (b) schematic of voltage versus current

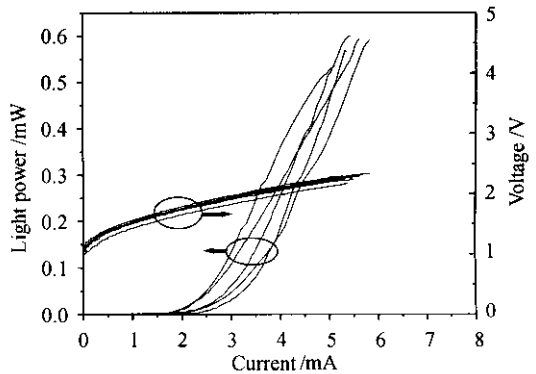


图4 部分器件的 $P-I$ 和 $V-I$ 曲线

Fig. 4 $P-I$ and $V-I$ character of some device

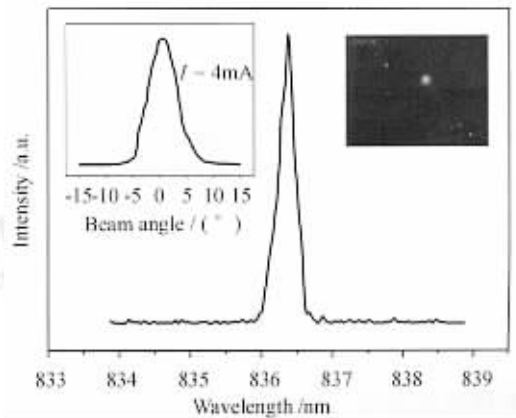


图5 激光光谱和远场图

Fig. 5 Schematic of spectrum and far-field

当注入电流为 4 mA 时,在器件工作区的光谱 和远场分布如图 5 所示。器件的激光波长为 835.37 nm,发散角约为 5°,当注入电流增大时,发 散角略有增加。测试时,器件在工作区内以良好的 基横模工作,当电流增加使器件进入饱和区后,高 阶横模(TEM₁₁)才开始激励。

从以上的实验结果来看,器件的总体特性达到 了离子注入器件的较高水平。但是,器件的外量子

效率还不是很高,这说明注入的离子对有源区造成了一定的破坏,如果进一步对参数进行优化,应该可以得到更好的结果。

4 结 论

采用钨丝掩模和倾斜的质子注入工艺,得到了阈值电流最低达 1.4 mA 的 850 nm 垂直腔面发射激光器,这种工艺为商品生产中的离子注入器件实现低阈值电流提供了可行方案。

参 考 文 献

- 1 Liu Ying, Jiang Xiuying, Liu Suping *et al.*. Vertical-cavity surface-emitting lasers among distributed Bragg reflectors with grating layers [J]. *Chinese J. Lasers*, 1996, **A23**(1) :40 ~42
刘 颖,姜秀英,刘素平等. 分布布拉格反射镜中具有渐变层的垂直腔面发射半导体激光器[J]. 中国激光, 1996, **A23**(1) :40 ~42
- 2 Li Xuemei, Liu Ying, Jiang Xiuying *et al.*. Vertical-cavity surface-emitting lasers of H-shape [J]. *Chinese J. Lasers*, 1998, **A25**(1) : 18 ~20
李雪梅,刘 颖,姜秀英等. H 型结构垂直腔面发射激光器[J]. 中国激光, 1998, **A25**(1) :18 ~20
- 3 Liu Ying, Du Guotong, Jiang Xiuying *et al.*. Room temperature CW novel vertical-cavity surface-emitting semiconductor lasers [J]. *Chinese J. Semiconductors*, 1995, **16**(12) 951 ~954
刘 颖,杜国同,姜秀英等. 室温连续的新结构垂直腔面发射半导体激光器[J]. 半导体学报, 1995, **16**(12) 951 ~954
- 4 Liu Ying. Investigation of GaAlAs/GaAs H⁺ implanted vertical cavity surface emitting laser by using tungsten wires as mask [D]. *Doctor Degree Thesis of Jilin University*, 1996. 78
刘 颖. 钨丝掩膜质子轰击 GaAlAs/GaAs 垂直腔面发射激光器研究 [D]. 吉林大学博士学位论文, 1996. 78
- 5 Y. J. Yang, T. G. Dziura, R. Fernandez *et al.*. Low-threshold operation of a GaAs single quantum well mushroom structure surface-emitting laser [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(16) :1780 ~1782