

H 型结构垂直腔面发射激光器

李雪梅 刘颖 姜秀英 王之岭 赵永生 杜国同 武胜利 王立军

(吉林大学实验区集成光电子联合国家重点实验室 长春 130023) (中国科学院长春物理所 长春 130021)

提要 报道了一种结构新颖的 H 型垂直腔面发射激光器。器件是由钨丝掩膜一次质子轰击和选择腐蚀相结合制备的, 实验已实现在脉宽为 $20 \mu\text{s}$, 占空比为 $1:10$ 的脉冲电流条件下的室温激射。

关键词 垂直腔面发射激光器, 钨丝掩膜质子轰击, 选择腐蚀

垂直腔面发射激光器^[1~4]具有许多优良特性, 引起人们的极大兴趣和广泛研究。包括由于腔长短, 有较大的纵模间距, 可动态单模工作; 适合制成高密度二维阵列; 有发散角小的圆形光束, 便于光纤耦合; 在分离成单个管芯之前可以单片检测, 便于工业生产等。为了取得良好的特性, 人们研制了多种结构的垂直腔面发射激光器, 例如蘑菇状结构^[5]、四个半导体空气桥结构^[6]、质子轰击结构^[7]及湿氮氧化结构等^[8]。这些结构的外延片一般都是 MOCVD 或 MBE 一次外延生长的, 后工艺制备各不相同, 器件结构大都需要几次套版光刻、选择腐蚀、离子刻蚀、离子注入、真空扩散、湿氮氧化等工艺。这些工艺相当复杂, 难度极大。质子轰击结构是其中工艺简单, 而且特性又好的一种结构, 但是为了掩蔽高能量的质子轰击, 以往的质子轰击掩膜都采用光刻胶的复合膜, 一般包括介质膜、厚的高温(200°C) 坚膜的光刻胶膜(约 $6 \mu\text{m}$) 和薄的金属膜, 这样的掩膜制作工艺复杂, 且有一定难度, 同时为了实现小的电流注入, 又要刻蚀成直径几个微米的小柱, 难度可想而知。为了简化工艺, 提高器件的成品率, 便于工业化生产, 我们设计并研制了一种钨丝掩膜质子轰击与选择腐蚀相结合的新结构垂直腔面发射激光器。

1 实 验

外延片是由分子束外延生长的, 衬底选用 $n\text{-GaAs}$ ($\text{Si}: 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) 单晶片, 各外延层包括: $0.1 \mu\text{m}$ 厚的 GaAs 缓冲层 ($\text{Si}: 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), 30.5 对 $n\text{-AlAs}/\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ $1/4$ 波长多层介质膜 ($\text{Si}: 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, 下 DBR 反射镜), 在 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 和 AlAs 间生长一层厚 25 nm 组分 $x \approx 0.1$ 到 1 的渐变 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层; $1/2$ 波长的 $n\text{-Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 下限制层 ($\text{Si}: 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$); 不掺杂的两个波长的 GaAs 有源区; $1/2$ 波长的 $p\text{-Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{As}$ 上限制层 ($\text{Be}: 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$); 16.5 对 $p\text{-AlAs}/\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ $1/4$ 波长上多层介质膜 ($\text{Be}: 3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$), 同样在 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 和 AlAs 之间有厚 25 nm 的组分渐变的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层。最后是 12 nm 厚的重掺杂 $p\text{-Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 欧姆接触层 ($\text{Be}: 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)。外延层结构如图 1 所示。器件的结构如图 2 所示。

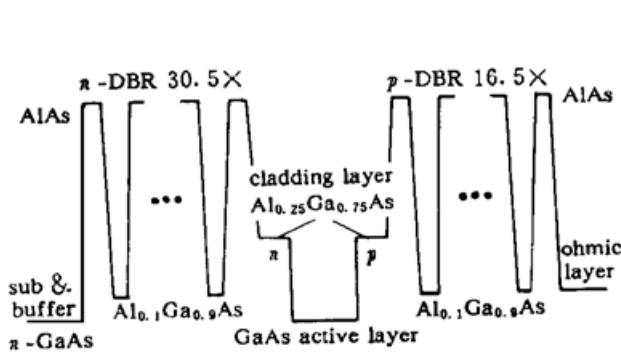


图 1 外延层结构

Fig. 1 Epitaxial layer structure

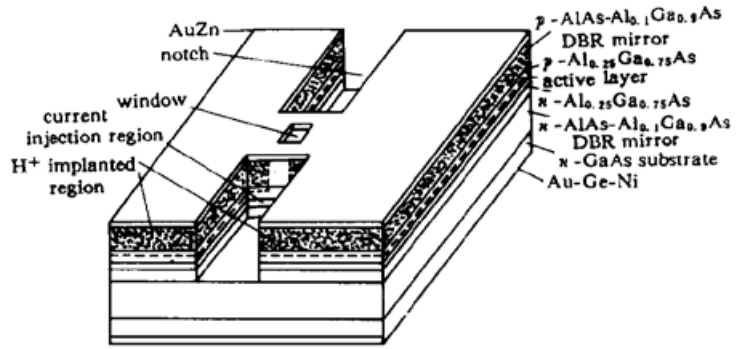


图 2 器件的结构

Fig. 2 Structure of the device

具体制备工艺如下: 首先蒸 Au-Zn 在 P 面做欧姆接触电极, 并采用 Lift-off 工艺去掉出光窗口 [8×8 (μm)] 和将被刻蚀成沟槽部分的 Au-Zn。用直径 15 μm 钨丝掩蔽出光窗口和将被刻蚀成沟槽的部分, 进行质子轰击, 以形成高阻区, 取下钨丝掩膜, 用光刻胶掩蔽, 用非选择性腐蚀液向下刻出沟槽至下 DBR 层, 再用选择性腐蚀液对 GaAs 有源区侧向腐蚀, 减小电流注入区, 以减小阈值和保持单模激射。而有源区以上各层不腐蚀, 保证了电流畅通, 减小串联电阻。最后衬底减薄, 蒸 Au-Ge-Ni, 500℃ 以下微合金 1 min, 使 H⁺ 质子轰击通过的区域晶体质量得以恢复, 保持导电性, 而 H⁺ 质子停留的前沿区域成为高阻绝缘区。这样在出光窗口左右两侧是质子轰击高阻区, 前后两侧是刻蚀的沟槽, 电流通过窗口周围, 漏斗状注入到 GaAs 有源区, 器件制备好后, 不用解理成单个管芯, 就可以用探针直接进行测试。

2 实验结果和讨论

器件的伏安特性如图 3 所示, 特性良好, 正向导通电压为 1.2 V, 反向击穿电压大于 6 V。研制的器件实现了在脉宽为 20 μs, 占空比为 1:10 的宽脉冲、低占空比的电流条件下室温激射, 阈值电流为 20~50 mA, 激射峰在 878 nm 处, 图 4 给出了一只器件的光功率-电流曲线。由图可见输出峰值功率超过了 2 mW。图 5 给出了另一只器件不同电流的激射光谱。由于有源区是体材料结构, 并且对有源区的侧向腐蚀尚未找到合适的腐蚀液, 做得不理想, 窗口前后沟槽

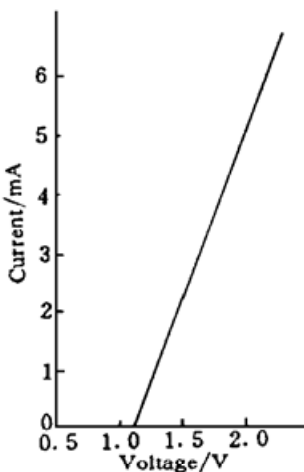


图 3 器件的伏安特性

Fig. 3 Device $V-I$ characteristics

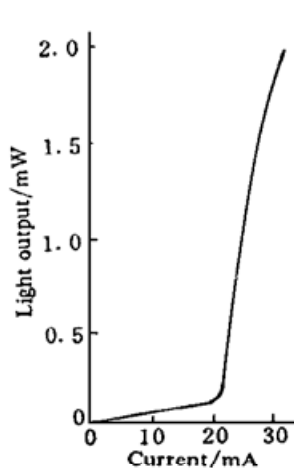


图 4 光功率-电流曲线

Fig. 4 Light output-current curve

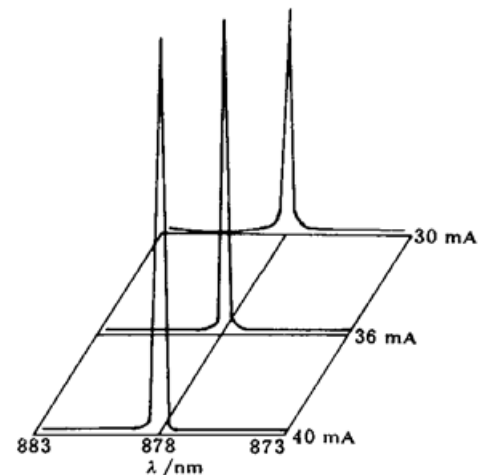


图 5 不同电流的发射光谱

Fig. 5 Emission spectra for different currents

的距离较大, 约 $40\ \mu\text{m}$, 这样电流注入区约 $40 \times 15\ (\mu\text{m})$, 和其它结构相比较, 因此阈值电流也较大, 电流稍加大, 即出现多纵模激射。通过器件的远场观察, 发现出现多纵模的原因是由于沟槽方向有源区较宽, 因而出现了多横模振荡的缘故。如果减小沟槽前后之间的距离及钨丝直径, 可以降低阈值电流, 实现单纵模激射, 并可望实现室温直流连续工作。

我们采用钨丝掩膜在出光窗口左右两边进行质子轰击, 前后刻蚀成沟槽, 形成电流隔离区的方法制备出了 H 型新结构垂直腔面发射激光器, 实验已实现在脉宽为 $20\ \mu\text{s}$, 占空比为 $1:10$ 的脉冲电流条件下的室温激射, 最低阈值为 $20\ \text{mA}$, 最大输出峰值功率为 $2\ \text{mW}$, 激射波长为 $878\ \text{nm}$ 。

致谢 感谢美国加州大学 Irvine 分校 Henry P. Lee 教授对本工作的支持。本工作是在集成光电子国家重点联合实验室吉林大学实验区开放课题资助下完成的。

参 考 文 献

- 1 Sakaguchi T., Koyama F., Iga K.. Vertical cavity surface-emitting laser with an AlGaAs/AlAs Bragg reflector. *Electr. Lett.*, 1988, **24**(15) : 928~ 929
- 2 Ibaiki A., Kawashima K., Furusawa K. *et al.*. Buried heterostructure GaAs/GaAlAs distributed Bragg reflector surface emitting laser with very low threshold ($5.2\ \text{mA}$) under room temperature CW conditions. *Jpn. J. Appl. Phys.*, Pt. 2, 1989, **28**(4) : L667~ L668
- 3 Zinkiewicz L. M., Roth T. J., Mawst L. J. *et al.*. High-power vertical-cavity surface-emitting Al-GaAs/GaAs diode lasers. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**(20) : 1959~ 1961
- 4 Jewell J. L., Scherer A., McCall S. L. *et al.*. Low-threshold electrically pumped vertical-cavity surface-emitting microlasers. *Electr. Lett.*, 1989, **25**(17) : 1123~ 1124
- 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. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**(16) : 1780~ 1782
- 6 Guotong Du, J. Lin, J. K. Gamelin *et al.*. Ohmic heating and series resistance of a vertical-microcavity surface-emitting laser. *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **59**(3) : 265~ 267
- 7 Y. H. Lee, B. Tell, K. Brown-Goebeler *et al.*. Top surface-emitting GaAs four-quantum well lasers emitting at $0.85\ \mu\text{m}$. *Electr. Lett.*, 1990, **26** : 710~ 711
- 8 Kent D. Choquette, K. L. Lear, R. P. Schneider *et al.*. Fabrication and performance of selectively oxidized vertical-cavity lasers. *IEEE Photonics Tech. Lett.*, 1995, **7**(11) : 1237~ 1239

Vertical-cavity Surface-emitting Lasers of H-shape

Li Xuemei Liu Ying Jiang Xiuying Wang Zhiling Zhao Yongsheng Du Guotong
(National Integrated Optoelectronics Joint Laboratory, Jilin University, Changchun 130023)

Wu Shengli Wang Lijun

(Changchun Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130021)

Abstract A novel H-shaped vertical-cavity surface-emitting laser is reported in this paper. The structure is obtained by H^+ implant using tungsten wires as the mask and the lift-off etching technique. The current is conducted through regions between notches and windows, then funneled into the GaAs active layer. In a preliminary experiment, at room temperature 0.1 duty cycle $20\ \mu\text{s}$ width pulses operation has been realized.

Key words vertical-cavity surface-emitting laser, bombardment using tungsten wires as the mask, lift-off etching technique