

室温连续的新结构垂直腔面 发射半导体激光器*

刘 颖 杜国同 姜秀英 刘素平 张晓波 赵永生 高鼎三

(集成光电子学国家重点联合实验室吉林大学实验区 长春 130023)

林世鸣 康学军 高洪海 高俊华 王红杰

(中国科学院半导体研究所 北京 100083)

摘要 本文报道了室温连续激射的 GaAs/GaAlAs 新结构垂直腔面发射半导体激光器的最新研究结果. 该器件结构是采用钨丝掩膜四次质子轰击方法制备的, 这种方法是目前报道的垂直腔面发射激光器制作工艺中最简单的. 对于直径 $15\mu\text{m}$ 的钨丝, 器件的最低阈值电流为 17mA , 最大光输出功率达 4mW , 微分量子效率高达 65% .

PACC: 4255P, 7340L

1 引言

近几年人们对垂直腔面发射半导体激光器进行了广泛的研究, 其中包括减小阈值电流, 降低串联电阻, 改善温度特性, 提高模式稳定性, 增加输出功率, 制造可寻址列阵和调谐波长等等. 为此人们研制了许多种结构的垂直腔面发射激光器, 如小柱状结构^[1], 蘑菇状结构^[2], 四个半导体空气桥支撑结构^[3], 质子轰击结构^[4], 微腔环形结构^[5]和质子轰击与扩 Zn 相结合结构^[6]等等. 这些结构工艺都比较复杂, 难度极大, 大都需要几次套板光刻, 选择腐蚀, 离子刻蚀, 真空扩散等工艺. 质子轰击结构是其中工艺较简单且特性又好的一种结构, 但是用光刻胶做质子轰击的掩膜也是一项较难的工艺, 因为有源区上面有限制层和多层异质介质膜分布布拉格反射器, 需要较深的质子轰击, 光刻胶掩膜需要 $6\text{--}10\mu\text{m}$ 才能达到要求, 而且这样厚的胶膜要刻成几 μm 的小圆柱难度可想而知. 为了克服上述困难, 我们曾设计了一种用钨丝做掩膜二次质子轰击新结构垂直腔面发射激光器^[7]. 初步实验只实现了室温准连续激射. 整个制作过程只包括质子轰击和蒸镀金属电极, 大大简化了制作工艺. 最近, 我们在此基础上通过调整质子轰击的能量和剂量以及合金过程, 实现了室温连续, 并且降低了阈值电流, 大大提高了输出功率.

* "863"高技术基金资助项目

刘 颖 男, 1965年生, 讲师, 从事专业: 半导体光电子学
杜国同 男, 1945年生, 教授, 从事专业: 半导体光电子学
林世鸣 男, 1945年生, 副研, 从事专业: 半导体光电子学
1995年4月2日收到初稿, 1995年6月26日收到修改稿

2 实验

实验中器件所用的外延片是分子束外延(MBE)生长的. 衬底选用 n 型($\text{Si}; 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)GaAs 单晶片, 各外延层依次为: n 型($\text{Si}; 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)GaAs 缓冲层, 厚 $0.1 \mu\text{m}$; $30 \frac{1}{2}$ 对 n 型($\text{Si}; 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)AlAs/ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ $\frac{1}{4}$ 波长异质外延层(下 DBR 反射镜), 为了降低串联电阻, 在 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 和 AlAs 之间引入了组分 x 从 0.1 到 1 渐变的 25nm 的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层; 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; 未掺杂的两个波长的 GaAs 有源层; 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; $16 \frac{1}{2}$ 对 $\frac{1}{4}$ 波长 P 型($\text{Be}; 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$)AlAs/ $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 异质外延层(上 DBR 反射镜), 同样, 为了降低串联电阻, 在 AlAs 和 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 层之间引入组分从 0.1 到 1 渐变的 25nm 的 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层; 最后为 12nm P 型($\text{Be}; 2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$) $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$ 重掺杂的欧姆接触层, 外延片的结构及 Al 含量如图 1 所示. 取制备好的外延片, 用直径 $15 \mu\text{m}$ 钨丝间距 $300 \mu\text{m}$ 的模架作掩膜, 蒸镀厚约

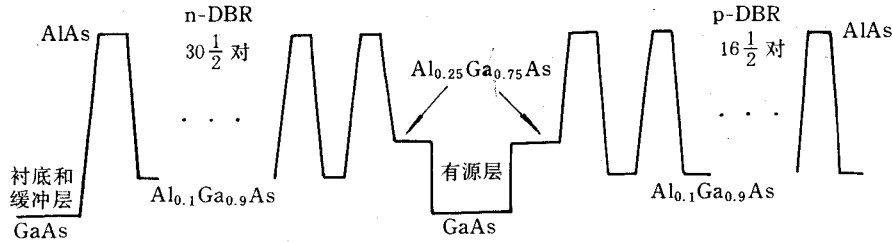


图 1 外延层结构及 Al 组份

250nm 的 Au-Zn-Au 层, 而后进行能量为 400keV 和 380keV 的两次质子轰击, 使其前沿分别达到有源区的下部和上部, 注入剂量均为 $8 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$. 然后将模架转 90° , 即使钨丝与原来的方向垂直, 进行第三、四次质子轰击, 剂量同前, 能量分别为 320keV 、 280keV , 其前沿同样分别达到有源区的下部和上部, 最后再蒸 Au-Zn-Au, 厚约 50nm , 去掉模架, 背面减

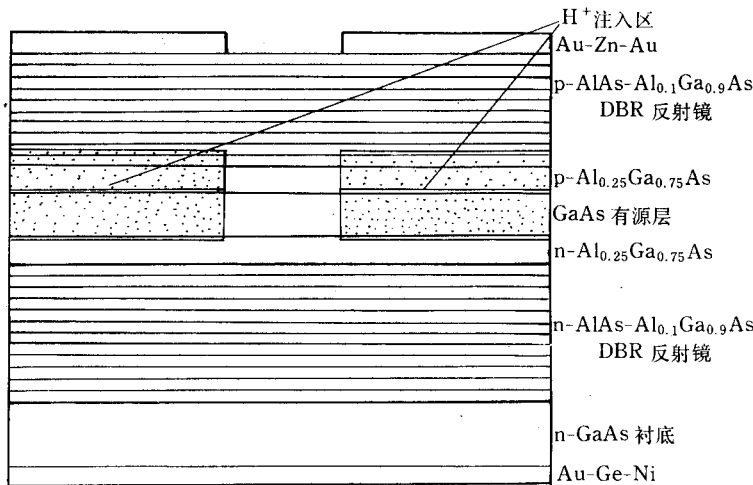


图 2 器件的结构

薄蒸 Au-Ge-Ni, 460°C 下微合金 30 秒. 器件的结构如图 2 所示.

3 实验结果与讨论

器件的伏安特性为典型的二极管的特性, 正向导通电压为 1.2—1.4V, 反向击穿电压大于 6V, 由伏安特性可以估算出器件的串联电阻, 一般为 120—200 Ω , 最小可达 100 Ω . 对我们所研制的器件结构, 实现了室温连续, 最小阈值电流 17mA, 阈值电流密度一般在 7.5—13kA/cm² 之间, 最大输出功率 4.0mW, 激射波长为 871nm, 谱线半宽 0.2nm, 微分量子效率高达 65%, 器件的光功率电流曲线和光谱图如图 3 所示. 我们测量了器件的远场分布, 远场随角度呈对称的高斯分布, 最小谱线半宽为 6°, 用红外变相管观察到的器件的近场分布为 3 μm 左右的圆形光斑. 器件的光谱和远场测量以及近场的观测都是在室温脉宽 10 μs 、高占空比 1:10 脉冲电流条件下进行的.

由于采用钨丝交叉掩蔽, 这样只有交叉点两次蒸金都没蒸上、四次质子轰击都没有离子注入, 从而在交叉点上同时形成出光窗口和电流注入区, 钨丝直径 15 μm , 间距 300 μm , 这样管芯大小为 300 \times 300 μm^2 , 出光窗口为 15 \times 15 μm^2 . 除交叉点外都蒸上了 Au-Zn-Au 上电极, 这样电流可以漏斗状注入有源区. 另外在每个钨丝掩蔽方向上进行两次质子轰击, 使其前沿分别达到有源层的下部和上部, 从而有源区在出光窗口四周的电流限制明显加强, 有效地防止了电流扩展效应^[8], 这就是我们实现室温连续激射, 并且获得高的微分量子效率的主要原因. 根据器件的远场和近场结果, 可见器件是基横模激射, 具有发散角较小的对称的圆形光束. 器件的串联电阻还比较大, 一个是外延片质量有待进一步提高, 另一个就是四次质子轰击加一起剂量已达 10¹⁵cm⁻² 量级, 稍大一些, 其前沿对电流阻碍作用加大. 阈值电流为 17mA 还不算小, 如果减小钨丝直径可望降低阈值. 因此, 降低钨丝直径, 调整注入剂量, 准确控制轰击深度, 可望降低串联电阻, 减小阈值电流.

4 结论

采用钨丝掩膜质子轰击新工艺制备垂直腔面发射激光器, 这种新工艺是目前制作垂直腔面发射激光器工艺中最简单的. 已经实现室温连续激射, 最低阈值 17mA, 最大输出功率 4.0mW, 激射波长 871nm.

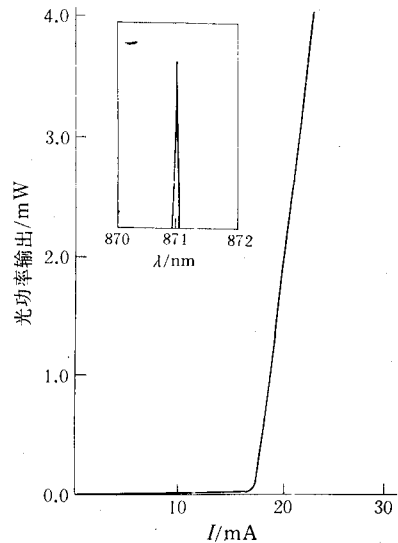


图 3 光功率电流曲线和光谱

参 考 文 献

- [1] Y. H. Lee, J. L. Jewell, A. Scherer *et al.*, *Electron. Lett.*, 1989, **25**:1377.
- [2] Y. J. Yang, T. G. Dziura, R. Fernandez *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **58**:1780.
- [3] Guotong Du, J. Lin, J. K. Gamelin *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1991, **59**:265.
- [4] Y. H. Lee, B. Tell, K. Brown—goebeler *et al.*, *Electron. Lett.*, 1990, **26**:710.
- [5] J. Lin, J. K. Gamelin, G. T. DU *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **60**:2851.
- [6] Y. J. Yang, T. G. Dziura, T. Bardin *et al.*, *Electron. Lett.*, 1992, **28**:274.
- [7] Guotong Du, Ying Liu and Dingsan Gao, Top Surface-emitting Laser Fabricated by Twice Implantations Using Tungsten Wire as Mask, IEEE LEOS'94, Boston USA, 1994:258.
- [8] Guotong Du, Fanghai Zhao, Xiaobo Zhang *et al.*, *Optical and Quantum Electron.*, 1993, **25**:745.

Room Temperature CW Novel Vertical-Cavity Surface-Emitting Semiconductor Lasers

Liu Ying, Du Guotong, Jiang Xiuying, Liu Suping
Zhang Xiaobo, Zhao Yongsheng and Gao Dingsan

(National Integrated Optoelectronic Joint Laboratory, Jilin University Region, Changchun 130023)

Lin Shiming, Kang Xuejun, Gao Honghai, Gao Junhua and Wang Hongjie

(Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Received 2 April 1995, revised manuscript received 26 June 1995

Abstract A RT CW novel GaAs/GaAlAs vertical-cavity surface-emitting semiconductor laser is reported. The structure is obtained by four times deep H⁺ implantations using the crossed tungsten wire as the implantations mask. The fabrication process is the simplest ever reported in vertical-cavity surface-emitting lasers fabrication. The lasing wavelength of about 871 nm, the lowest threshold current of 1.7 mA, the largest output power of 4.0mW and the maximum differential quantum efficiency of 65% were obtained.

PACC: 4255P, 7340L