

# 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

刘颖 姜秀英 刘素平 张晓波 杜国同

(吉林大学电子工程系, 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)

**提要** 报道了分布布拉格反射镜(DBR)中具有渐变层的垂直腔面发射激光器的研究结果。器件是采用钨丝掩膜两次质子轰击方法制备的。该方法是目前报道的垂直腔面发射激光器制作方法中最简单的。初步的实验已实现室温宽脉冲高占空比激射, 最低阈值为 18 mA, 最大峰值功率大于 2 mW, 激射波长为 871 nm, 串联电阻一般为 100~200  $\Omega$ 。

**关键词** 垂直腔, 面发射激光器, 半导体激光器

## 1 引言

垂直腔面发射激光器具有许多边发射激光器无法比拟的优良特性, 主要包括以下几点: 由于其腔长短, 有较大的纵膜间距, 可动态单膜工作; 适合长距离相干光通信; 适合制成高密度二维列阵, 可实现二维光互联和信息处理; 适合制成光电子集成组件; 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用探针测试, 便于工业化生产等等。而且它在光通信、光计算、光互联、光存储等方面显示越来越重要的作用。因此垂直腔面发射激光器成为近年来各先进国家研究的热门课题, 并已取得了很大的进展, 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, 如小柱状结构<sup>[1]</sup>、蘑菇状结构<sup>[2]</sup>、四个半导体空气桥支撑结构<sup>[3]</sup>、质子轰击结构<sup>[4]</sup>、部分镜面破坏结构<sup>[5]</sup>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。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 6~10  $\mu\text{m}$  才能达到要求, 而且这样厚的胶膜要刻成几  $\mu\text{m}$  的小圆柱难度可想而知。为了克服上述困难, 我们设计了一种用钨丝做掩膜二次质子轰击和扩锌相结合的新结构垂直腔面发射激光器<sup>[6]</sup>。虽然采用了扩锌工艺以降低串联电阻, 但是其串联电阻仍然较大, 一般 300~500  $\Omega$ , 而且阈值电流很大(500~700 mA)。最近, 我们采用分布布拉格反射镜中具有渐变层的外延片结构, 无需扩锌就可以大大降低串联电阻<sup>[7]</sup>, 从而实现了室温宽脉冲(10  $\mu\text{s}$ )、高占空比(1:10)脉冲电流条件下的激射。

### 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(Si:  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) GaAs 单晶片, 各外延层依次为: *n* 型(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(Si:  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) AlAs/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 半波长异质外延层(下 DBR 反射镜), 为了降低串联电阻,

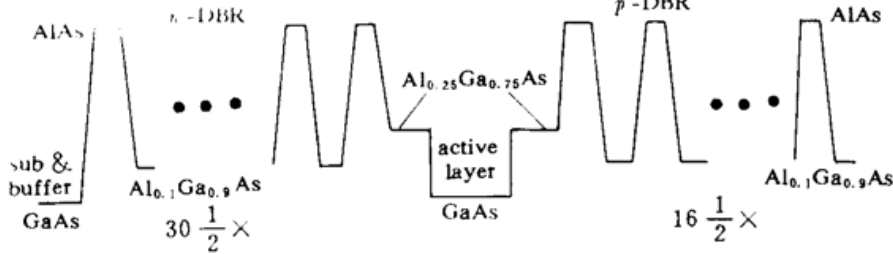


Fig. 1 Schematic diagram of the layer structure and Al composition

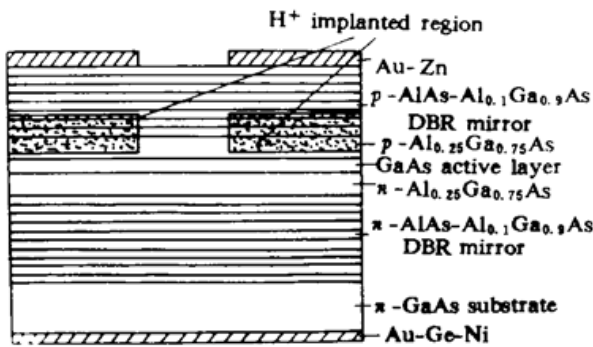


Fig. 2 Schematic diagram of the device structure

在 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 和 AlAs 之间引入了组分 *x* 从 0.1 到 1 渐变的 25 nm 的 Al<sub>*x*</sub>Ga<sub>1-*x*</sub>As 层<sup>[7]</sup>; 半波长的 *n* 型(Si:  $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As 下限制层; 未掺杂的两个波长的 GaAs 有源层; 半波长的 *P* 型(Be:  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>As 上限制层;  $16 \frac{1}{2}$  对  $\frac{1}{4}$  波长 *P* 型(Be:  $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) AlAs/Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 异质外延层(上 DBR 反射镜), 同样,

为了降低串联电阻, 在 AlAs 和 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>As 层之间引入组分 *x* 从 0.1 到 1 渐变的 25 nm 的 Al<sub>*x*</sub>Ga<sub>1-*x*</sub>As 层<sup>[7]</sup>; 25 nm 的 Al<sub>*x*</sub>Ga<sub>1-*x*</sub>As 层包含在  $\frac{1}{4}$  波长内。引入渐变层的分布布拉格反射镜的反射率与突变情况相比只稍稍降低且可以通过调整 DBR 的层数来弥补, 具体的理论分析及推导请参见文献 [8]。最后为 12 nm *P* 型(Be:  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ) Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>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 Au-Zn-Au 150 nm 再进行能量 350 keV、剂量  $8 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  的 H<sup>+</sup> 质子轰击, 然后将模架转 90°, 即使钨丝与原来的方向垂直, 进行第二次质子轰击, 剂量同前, 能量为 300 keV, 而后再蒸 Au-Zn-Au, 最后去掉模架, 背面减薄蒸 Au-Ge-Ni, 450 °C 下微合金 30 s。器件的结构如图 2 所示。

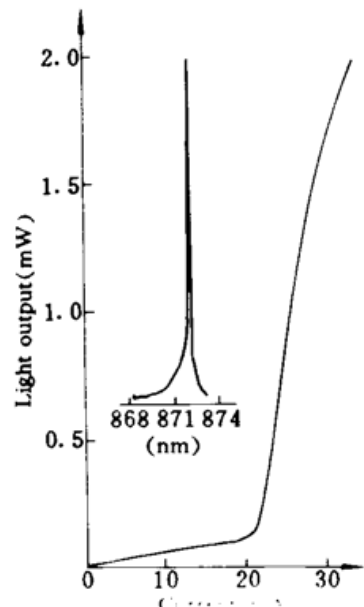


Fig. 3 The curve shows light output power versus current. The left is the spectrum

### 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 1.4 V, 反向击穿电压大于 6 V,

由伏安特性可以估算出器件的串联电阻,一般为  $120\sim 200\ \Omega$ ,最小可达  $100\ \Omega$ 。对我们所研制的器件结构,在脉宽为  $10\ \mu\text{s}$ ,占空比为  $1:10$  的脉冲电流条件下,最小阈值电流为  $18\ \text{mA}$ ,最大输出功率为  $2.0\ \text{mW}$ ,激射波长为  $871\ \text{nm}$ ,谱线半宽为  $0.24\ \text{nm}$ 。器件的光功率电流曲线和光谱图如图 3 所示。我们用红外变相管观察了器件的远场分布,有的器件呈基横模激射,有的器件呈多横模激射,其主要原因除了外延片质量不均匀外,钨丝直径  $15\ \mu\text{m}$  则出光窗口  $15\times 15\ \mu\text{m}^2$  比较大,另外,两次质子轰击的深度不可能完全一致,这几方面都可能多横模激射。

从以上的实验结果看,器件的串联电阻还比较大,一是外延片质量有待进一步提高,二是两次质子轰击的总剂量已达  $10^{15}\ \text{cm}^{-2}$  量级,稍大一些,其前沿对电流阻碍作用加大。阈值电流为  $18\ \text{mA}$  还不算小,如果减小钨丝直径可望降低阈值。因此,提高外延片的质量,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,实现室温连续激射。

### 参 考 文 献

- 1 Y. H. Lee, J. L. Jewell, A. Scherer *et al.*. Room-temperature Continuous-wave vertical-cavity single-quantum-well microlaser diodes. *Electr. Lett.*, 1989, **25**:1376
- 2 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
- 3 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**:265
- 4 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**(11):710
- 5 T. G. Dziura, Y. J. Yang, R. Fernandez *et al.*. Singlemode surface-emitting laser using partial mirror disordering. *Electr. Lett.*, 1993, **29**(14):1236
- 6 Jiang Xiuying, Du Guotong, Liu Suping *et al.*. Vertical-cavity surface-emitting lasers fabricated twice by implantation using tungsten wire as mask and zinc diffusion. *Chinese J. of Lasers*, 1994, **B3**(1):1
- 7 K. Tai, L. Yang, Y. H. Wang *et al.*. Drastic reduction of series resistance in doped semiconductor distributed Bragg reflectors for surface-emitting lasers. *Appl. Phys. Lett.*, 1990, **56**:2496
- 8 Randall S. Geels, Scott W. Corzine, A. Coldren. InGaAs vertical-cavity surface emitting lasers. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1991, **27**(6):1359

## Vertical-cavity Surface-emitting Lasers Among Distributed Bragg Reflectors with Grading Layers

Liu Ying Jiang Xiuying Liu Suping Zhang Xiaobo Du Guotong

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

**Abstract** A novel vertical-cavity surface-emitting laser with grading DBR is reported in this paper. The structure is obtained by twice deep  $\text{H}^+$  implantations which use a crossed tungsten wire as the implantation mask. The fabrication process is the simplest ever reported in vertical-cavity surface-emitting lasers fabrications. In the primary experiment, the lasing wavelength of  $871\ \text{nm}$ , the lowest threshold current of  $18\ \text{mA}$  and the largest output power of  $2\ \text{mW}$  are obtained under pulse condition at room temperature using a current source with a  $10\ \mu\text{s}$  pulse-width and  $100\ \mu\text{s}$  cycle. The series resistances of the device are  $100\sim 200\ \Omega$ .

**Key words** vertical-cavity, surface-emitting laser, semiconductor laser