

# 具有金属反射膜的钨丝掩蔽两次质子轰击垂直腔面发射激光器

杜国同 姜秀英 刘素平 刘 颖 高鼎三

(吉林大学电子工程系 电子科学与技术研究所 长春 130023)

(国家集成光电子联合实验室吉林大学实验区)

**摘要** 本文报道了一种工艺较简单的新结构垂直腔面发射激光器的设计与初步研制结果。所用的外延片是由分子束外延生长的,下镜面是由 $30\frac{1}{2}$ 对 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}/\text{AlAs}$ 异质膜构成的分布布拉格反射器,上镜面是由 $8\frac{1}{2}$ 对 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}/\text{AlAs}$ 异质膜构成的分布布拉格反射器及半反射半透明的金属膜组合构成。器件的电流注入区由钨丝掩蔽两次质子轰击形成。器件初步研制已实现了室温脉冲激射,阈值最低 $320\text{mA}$ ,最大峰值功率可达 $9\text{mW}$ 。

**PACC:** 8560JB, 7340KP

## 1 引言

垂直腔面发射激光器(VC-SELD)有许多优良特性,如适合制成高密度二维阵列,可进行二维光互联和信息处理;适合制成光电子集成组件;由于腔长短,有较大的纵模间距(在同一横模内为 $100$ — $200\text{\AA}$ )可动态单模工作,适合长距离相干光通讯;有发散角小的圆形光束,便于光纤耦合;在分离成单个芯片之前可以用探针测试,便于工业化生产等等。因此垂直腔面发射激光器成为近几年世界先进国家研究的热门课题,并取得了很大的进展。为了取得良好的特性,人们研制了许多种结构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>等等。但这些结构工艺都较复杂,大都需要几次套板光刻和淀积 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 膜,离子刻蚀等工艺,难度较大。另外,要使垂直腔面发射激光器产生良好的激射,镜面反射率要大于95%,这样分布布拉格反射器(DBR)需要20对以上的 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}/\text{AlAs}$ 异质外延层。由于p型DBR上镜面中层数这样多的异质结势垒的作用,往往使垂直腔面发射激光器串联电阻较大,有的数千欧姆以上。为了克服上述困难,我们设计并研制了一种具有金属反射膜的钨丝掩蔽两次质子轰击新结构垂直腔面发射激光器,初步实验实现了室温脉冲激射。

杜国同 男,1945年生,教授、博士导师,当前从事半导体光电子学专业

姜秀英 女,1945年生,副教授,当前从事电子材料与元器件专业

1993年9月5日收到初稿,1993年12月15日收到修改稿

## 2 器件的结构与制造工艺

器件所用的晶体材料是分子束外延(MBE)生长的。衬底是n型掺杂浓度为 $1-4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  GaAs 单晶片。(100)方向生长,各外延层依次是:n型( $1-4 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )GaAs 缓冲层,  $0.1 \mu\text{m}$  厚, $30 \frac{1}{2}$  对 n型( $0.8-2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}/\text{AlAs}$   $\frac{1}{4}$  波长异质外延层(下 DBR 反射镜),n型( $0.8-2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) $0.19 \mu\text{m}$  厚 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  下限制层,p型( $1-3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ ) $0.484 \mu\text{m}$  厚 GaAs 有源层,p型( $1-3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) $0.19 \mu\text{m}$  厚 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$  下限制层, $8 \frac{1}{2}$  对 p型( $1-3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}/\text{AlAs}$   $\frac{1}{4}$  波长异质外延层(上 DBR 反射器),p型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}$  位相匹配层, $300 \text{ \AA}$  Au/Ag 金属膜反射镜。这里 Au/Ag 金属膜和 $8 \frac{1}{2}$  对 DBR 构成复合上反射镜面,总反射率理论计算值为 97%。

器件结构如图 1 所示。具体制造工艺简述如下:采用制造质子轰击条型边发射激光器的钨丝掩膜模具,钨丝直径  $15 \mu\text{m}$ 。将外延晶体片用少许光刻胶粘到钨丝掩膜模具托上,用钨丝压紧安装好。为了辨别方向,最好将钨丝平行(或垂直)外延片的某一解理面,然后放入蒸发台蒸金,厚度为  $1000-1500 \text{ \AA}$ 。蒸金后进行第一次  $\text{H}^+$  质子轰击,轰击能量为  $250 \text{ keV}$ ,注入剂量为  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^2$ 。轰击后拆下模托转动  $90^\circ$  角再装好,即钨丝和第一次掩蔽的条垂直交叉,进行第二次质子轰击,条件同第一次。然后再放入蒸发台中蒸金,两次蒸金总共  $3000 \text{ \AA}$  左右。第二次蒸金后取下外延片,减薄,背面蒸 Au-Ge-Ni。最后在  $250^\circ\text{C}$  左右  $\text{H}_2$  气氛保护下合金 30 秒。这样在钨丝的交叉点两次  $\text{H}^+$  质子都没轰击到而形成电流注入区。其它轰击到的区域成为高阻区。电流可以通过金属反射膜注入到有源区。在钨丝交叉点以外的区域两次蒸金加厚,便于键合电极引线,而交叉点处蒸不上金,只有原来的 Au/Ag 反射膜。这层反射膜是半透明的(反射率 $\sim 80\%$ ,透射率 $\sim 20\%$ ),此处即形成出光窗口。器件管芯解理制备好后用银浆一个个粘在集成电路用的塑料管壳上,键合好上电极引线,就可以测试了。

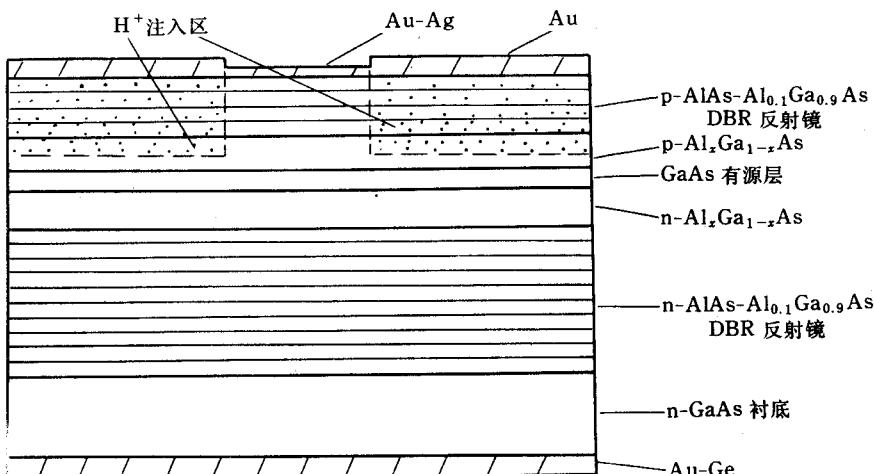


图 1 具有金属反射膜的钨丝掩蔽两次质子轰击 VC-SELD 结构图

### 3 器件的特性

器件的电流-电压特性仍呈现为典型的二极管电流-电压特性,正向导通电压约1.2V,反向击穿电压大于6V。由伏安特性可算出器件的串联电阻一般30—40Ω,最低20Ω左右。首次研制的该结构器件,实现了室温脉冲激射,阈值电流大都在400—600mA范围,最低320mA,激射峰在8900Å左右,最大脉冲峰值功率可达9mW。图2给出4#、6#两支器件的光功率-电流曲线,该曲线是在脉宽200ns,占空比为1:1000的脉冲电流条件下测试的。图3给出了6#管不同脉冲电流下测得的光谱图。从图3可以看出该器件处于多纵模工作状态,这是由于器件处于多横模工作状态的原因。我们用红外变相管观察了器件的远场光强分布图样,发现大多数器件呈多横模激射状态。这是由于钨丝直径(15μm)还较粗,且两次质子轰击的深度不一致所造成。其它器件光谱的测量情况同6#器件基本相同,都只是在略高于阈值一个很小的电流范围内,接近单纵模,再稍加电流,高阶横模就开始振荡,于是出现多纵模状态。由此看来,要想得到较大范围的单纵模工作,必须保持较大范围的基本横模工作状态才行。这也正是目前垂直腔面发射激光器中人们正在研究的一个重要课题。

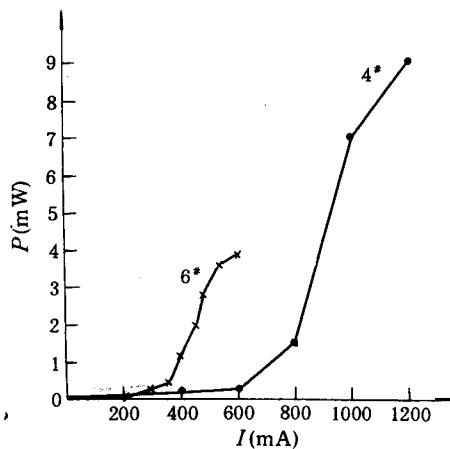


图2 4#、6#器件在脉冲条件下的光功率-电流曲线

粗,且两次质子轰击的深度不一致所造成。其它器件光谱的测量情况同6#器件基本相同,都只是在略高于阈值一个很小的电流范围内,接近单纵模,再稍加电流,高阶横模就开始振荡,于是出现多纵模状态。由此看来,要想得到较大范围的单纵模工作,必须保持较大范围的基本横模工作状态才行。这也正是目前垂直腔面发射激光器中人们正在研究的一个重要课题。

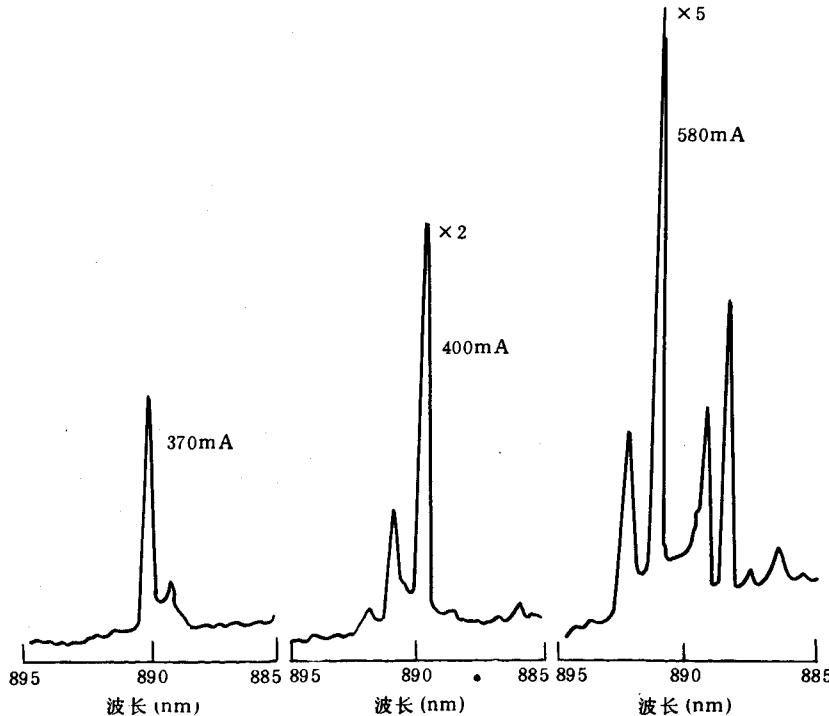


图3 6#器件在不同脉冲电流下的光谱图

## 4 结束语

我们设计并研制了一种具有金属反射膜的钨丝掩蔽两次质子轰击新结构垂直腔面发射激光器。由金属反射膜和少数几对DBR构成的复合上反射镜面比单纯由几十对DBR构成的上反射镜面串联电阻低，并具有导电和可作出光窗口的双重作用。所研制的器件串联电阻最低 $20\Omega$ 左右，实现了室温脉冲射击，阈值最低 $320mA$ ，最大峰值功率可达 $9mW$ ，激射波长在 $8900\text{\AA}$ 左右，大多数器件呈多横模工作状态。

**致谢** 本实验的外延片材料由国外朋友提供，质子轰击工艺在中国科学院长春物理所完成，在此表示感谢，同时感谢李素文、刘自强等同志在实验中给与的帮助。

## 参 考 文 献

- [1] Y. H. Lee, J. L. Jewell, A. Scherer *et al.*, Electron. Lett., 1989, **25**(20):1378.
- [2] Y. J. Yang, T. G. Dziura, R. Fernandez *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1991, **58**(16):1780.
- [3] Guotong Du, J. Lin, J. K. Gamelin *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1991, **59**(3):265.
- [4] B. Tell, Y. H. Lee, K. F. Brown—Goebeler *et al.*, Appl. Phys. Lett., 1990, **57**(18):1855.

## Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers With Thin Metal Mirror Fabricated by Twice Implantation Using Tungsten Wire as Mask

Du Guotong, Jiang Xiuying, Liu Suping, Liu Ying and Gao Dingsan

(Department of Electronics Engineering and Institute of Electronic Science and Technology Jilin University,

National Integrated Optoelectronics Joint Laboratory Jilin University Region, Changchun 130023)

Received 5 September 1993, revised manuscript received 15 December 1993

**Abstract** We have devised a novel vertical-cavity surface-emitting Laser structure. The epitaxial layers have been grown by molecular beam epitaxy (MBE). The bottom mirror consists of 30.5 pairs  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.7}\text{As}/\text{AlAs}$  multilayer distributed Bragg reflector (DBR). The top mirror is a hybrid reflector consisting of 8.5 pairs  $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{As}/\text{AlAs}$  multilayer DBR and semitransparent metal film. The structure is obtained by twice  $\text{H}^+$  implantation using tungsten wire as an implant mask. The lowest threshold current is  $320\text{mA}$ , and the highest peak light output power is  $9\text{mW}$  under room-temperature pulsed conditions.

**PACC:** 8560JB, 7340KP