

# GaAs/AlGaAs 激光器及其列阵电流注入 及电子线分布研究\*

吴小萍 朱祖华

(浙江大学信息电子工程学系 杭州 310008)

**摘要** 采用连续波电光检测法(CWEOP)测量 GaAs/AlGaAs DH 激光器及其列阵在不同部位的电场分布,研究了这两种器件的注入电流及电力线分布情况

**PACC:** 4260K, 0630L, 4255P

## 1 引言

对于半导体激光器及其列阵,其载流子限制的好坏是一个重要的指标,直接与器件特性密切相关.人们设计了各种不同的器件结构来改善其载流子限制特性.研究工作状态下器件内部电场分布和相应的电流分布,具有十分重要的意义.本文介绍了采用一种新颖的电场分布测量方法——连续波电光检测法<sup>[1]</sup>,直接测量正向偏置条件下半导体激光器及其列阵内的稳态场分布,以此来研究器件中注入电流及电力线的分布情况,为半导体激光器工作机理的研究开辟新的途径.

## 2 实验

实验所测的激光器及列阵都是质子轰击双异质结条形结构,分别由中国科学院半导体研究所和上海光机所制作.激光器样管端面实际尺寸为  $300\mu\text{m} \times 190\mu\text{m}$ ,电极中点处于离左端  $160\mu\text{m}$  处,电极宽约为  $5\mu\text{m}$ ,分为六层:(1)P-GaAs(接触层),(2)P- $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ (上限制层),(3)GaAs(有源层),(4)N- $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$ (下限制层),(5)N-GaAs(缓冲层)和(6) $\text{N}^+\text{GaAs}$ (衬底).列阵由 10 个管芯单元组成,条宽  $5\mu\text{m}$ ,条间距  $8\mu\text{m}$ .

连续波电光检测是基于电光晶体的线性电光效应<sup>[2]</sup>,采用透射光路、横向检测方式<sup>[3]</sup>测量激光器及其列阵,实验装置如图 1 所示. InGaAs 半导体激光器发出的  $1.3\mu\text{m}$  的连续激光作为探测光,经物镜准直,再经起偏器、四分之一波片,被物镜聚集到样品端面,经过样品后,

\* 得到国家八六三计划和集成光电子学国家重点实验室的支持

吴小萍 女,1969 年生,博士生,从事半导体光电器件和光通信波分复用器件研究

朱祖华 男,教授,从事半导体光电子学的研究

1994 年 2 月 4 日收到初稿,1994 年 5 月 13 日收到修改稿

携带了样品内场分布的信息. 经分束片分成两路: 一路用于摄像机监视, 另一路经检偏器后被光探测器和锁相放大器接收, 这样可直接读出与电场强度成正比的电信号. 测列阵时,

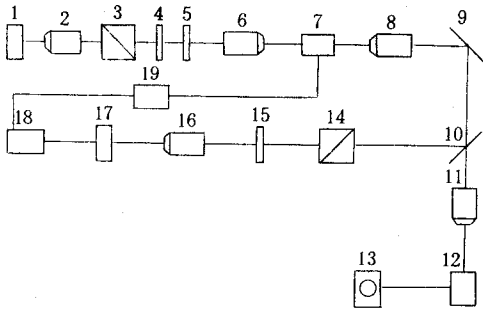


图1 测量LD和LD列阵的实验装置图

- 1:激光器 2,6,8,11,16:物镜 3:起偏器
- 4:四分之一波片 5,15:滤光片 7:样管 9:反射片
- 10:分束片 12:摄像机 13:监视器 14:检偏器
- 17:光探测器 18:锁相放大器 19:电压偏置

为避免列阵本身强烈发光的影响, 在检偏器后设置了相应的滤光片; 同理, 为避免其发出的强光对探测光源工作的影响, 在样管前光路设置了光反射片. 探测光光斑约  $3\mu\text{m}$ . 由于测量是同一光束在样品表面平移扫描, 对每一点所测的电场虽是个综合反映, 但其大小的相对变化也反映了各部分的相对场大小变化. 此外, 通过监视回路观察扫描到样品边缘时光斑变化的情况, 调整光束中心线使与有源区轴线平行.

沿横向  $300\mu\text{m}$  宽度范围内, 对激光器有源区、下限制层、衬底的电场进行扫描测量. 测量是在偏置电流为  $87\text{mA}$  下进行, 其中包含有效值  $37\text{mA}$  和频率为  $830\text{Hz}$  的交变偏置电流. 实验测试结果如图 2 所示. 所测到的电场强度信号都经过斩光信号归一化处理. 所谓斩光信号是指样管在没加偏置情况下, 探测光经过样管后被探测器接收到的光信号, 它直接反映了样管的透光情况, 从中可以推知样管的工艺制作情况. 这样处理, 能够避免由于样管透光不均匀使探测光信号在各点强度不同引入的误差.

由图 2 可见激光器电场分布的特征是:

(1) 沿有源区扫描得到的场强分布曲线有一明显的峰值. 比较测得的场强分布和监视器上观察到半导体发光端面的图像, 发现场强峰值区与有源区发光位置间有一对应关系. 这反映了有源区中注入载流子浓度与激射发光模式之间的联系.

(2) 在下限制层附近, 电场分布曲线仍有峰值, 在衬底底边, 也是如此. 且这三个部位的峰值在曲线中所处的位置几乎是一致的, 只是越远离有源区, 测量得到的场分布曲线越趋于平坦.

列阵测量是在偏置电流为  $85\text{mA}$  下进行, 其中包含有效值为  $35\text{mA}$ , 频率为  $200\text{Hz}$ . 结果<sup>[4]</sup>显示, 列阵有源区电场分布是一个很宽的包络峰, 在这个宽峰上有小峰. 在衬底部位仍有电场峰值, 且峰值区更宽.

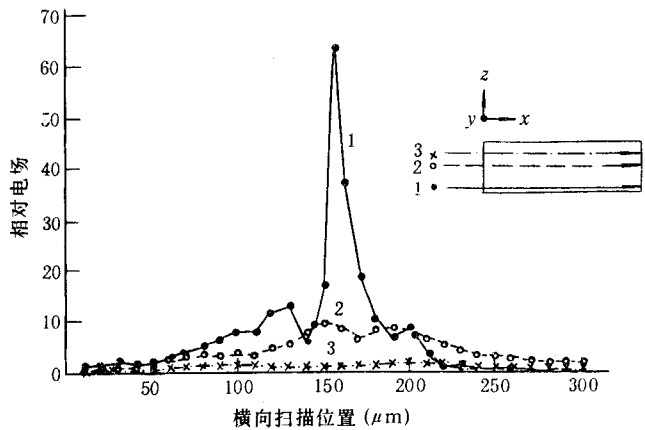


图2 激光器MB-8样管测量所得的电场分布

### 3 分析与讨论

由实验测得的样管在有源区、下限制层和衬底部位的电场分布,采用多项式拟合的方法,求得样管中电场沿端面纵向  $z$  的分布函数,然后对此函数沿纵向  $z$  作定积分,沿样管端面重复此过程,就可求得空间每一点的电位值.由于所测得的电场强度是一个相对值,所以得到的电位也是个相对值.由实验数据处理后得到的 MB-8 激光器样管端面等位线分布如图 3 示.由于电力线与等位线垂直,所以可以知道电力线的走向.从图 3 可以看出,在电极部位,电力线是垂直向下的,而在电极周围,电力线是向两边弯曲延伸向下.电力线是一边向下,一边向两边弯曲到达底电极.越是远离有源区,电力线越是散开,越稀.由于电力线的走向与电流流向的紧密联系,我们可推断注入电流的情况.

据分析<sup>[8]</sup>,半导体激光器的注入电流可由以下几部分组成:

电流由电极注入后,通过载流子限制结构(质子轰击区域或  $\text{SiO}_2$  隔离层),到达上限制层.在上限制层,电子在电场的作用下作横向漂移运动,引起横向扩展电流  $J_s$ ;在有源区,由于结区堆积载流子作用,使在结区载流子浓度大大高于周围区域,载流子浓度差引起横向扩散电流  $J_d$ .这两部分电流称为泄漏电流.而大部分的电流注入在源区后,用于受激辐射复合产生增益  $G$ ,这部分电流为  $J_r$ .此外,还有少量电流用于无辐射复合  $J_{nr}$ 、俄歇复合  $J_{\text{auger}}$  和光腔吸收  $J_{\text{oav}}$ .

电流由电极注入后,中间密集,两边有横向漂移运动引起的横向扩电流  $J_s$  和载流子浓度差引起的横向扩散电流  $J_d$ ;大部分电流注入有源区用于受激辐射复合,下限制层和衬底电阻对它的横向扩展有影响.这从实验上证实了理论结果<sup>[6]</sup>.

对于由十单元组成的列阵器件,在发光区,各单元载流子注入相互之间有迭加,电场是各单元同时工作时的一个综合效应,但在列阵区外,仍有载流子横向扩散效应.

实际的电场分布与样品制作工艺密切相关.液相外延的均匀性,扩 Zn 区的宽度深度,光刻质量, $\text{SiO}_2$  淀积的好坏,电极欧姆接触是否一致,这些都可能影响到样管的电流注入.在测试结果中,发现某些点电场有突变,分析这些点的斩光信号,发现这些点斩光信号很小,即探测激光在这些点的透过率很低,这说明样品在这些点存在缺陷或不均匀性,从而引起在这些点附近载流子的减少或堆积,发生场的扭曲.这可能是造成图 3 所示等电位线不是很平滑的原因.因此,用本实验方法测量所得的结果不但直接反映了被测样管内实际注入电流扩展和载流子限制的特性,也部分反映了被测样管制作工艺情况.

根据有关文献<sup>[7]</sup>,对掺杂浓度  $N$  为  $10^{16}\text{cm}^{-3}$  的 GaAs,其吸收为  $10^{-2}\text{cm}^{-1}$ ,可见样品对探测光的吸收是很小的,由载流子吸收引起的光强变化与线性电光效应引起的光强变化相

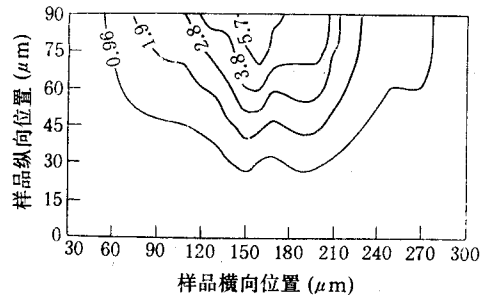


图3 激光器 MB-8 样管端面等位线分布  
(曲线中所标数值指相对电位值)

比可以不考虑.此外,由载流子散射引起的光强变化对测试的影响已由斩光信号的归一化处理得到消除.

**致谢** 诚挚感谢中国科学院半导体研究所陈良惠、徐俊英、张敬明、肖建伟、钱毅等和上海光机研究所方祖捷、金志良、刘斌等给予的帮助.

### 参 考 文 献

- [1] Z. H. Zhu *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1986, **49**(8):432—434.
- [2] 朱祖华,信息光电子学基础,杭州:浙江大学出版社,1990,345—377.
- [3] 朱祖华等,半导体学报,1992, **13**:417—422.
- [4] 吴小萍等,光学学报,待发表.
- [5] W. B. Joyce, S. H. Wemple, *J. Appl. Phys.*, 1970, **41**:3818—3830.
- [6] 郭长志,半导体激光模式理论,北京:人民邮电出版社,1989,401.
- [7] 陈益新,集成光学,上海:上海交通大学出版社,1985,48.

## Study on Current Injected and Equi-potential Line Distribution in GaAs/AlGaAs Lasers and Array Devices

Wu Xiaoping and Zhu Zuhua

(*Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310008*)

Received 4 February 1994, revised manuscript received 13 May 1994

**Abstract** The Continuous Wave Electro-optic Probing (CWEOP) technique is used to measure the electric field distribution in the different regions, active layer, lower-confinement layer and substrate, of GaAs/AlGaAs DH lasers and array devices. Based on the experimental results, we analyze the distribution of current injection and present a new model of current injection in the two optoelectronic devices.

**PACC:** 4260K, 0630L, 4255P