

宽接触半导体激光器及激光器列阵 丝状发光现象研究

吴小萍 朱祖华

(浙江大学信息电子工程学系, 杭州 310008)

摘 要 用连续波电光检测法直接测量宽接触半导体激光器及激光器列阵的电场分布, 分析器件的丝状发光现象, 并初步解释了产生的原因.

关键词 宽接触半导体激光器, 半导体激光器列阵, 电场分布.

1 引 言

随着光电子技术的发展, 对器件的工艺提出了越来越高的要求. 在制作半导体激光器时, 为了能尽快检验工艺制作质量, 在外延生长了有源区、限制层、缓冲层等之后, 不经任何横向限制工艺而直接进入蒸发减薄、解理封装等后工艺, 这就是所谓的宽接触样品, 其特点是载流子是均匀注入, 没有横向限制, 发光区较宽.

采用一种新型的无损的电场测量技术——连续波电光检测法^[1,2], 已经测量了 GaAs/GaAlAs 双异质结条形激光器单管有源区的电场分布^[3], 其有源区电场分布曲线有一个峰, 峰所处的位置与发光区位置之间有一对应关系. 本文用连续波电光检测法测量了宽接触半导体激光器及发光区较宽的列阵器件的电场分布, 分析丝状发光现象, 并解释其产生的原因.

2 实 验

连续波电光检测方法是基于电光晶体的线性电光效应. 当电光晶体样品加了偏置电场后, 通过它的探测激光会发生快光与慢光之间的相移, 引起偏振状态的变化, 利用一对正交的偏振器和一块四分之一波片可将此变化转化为光强度的变化, 通过对相应偏振状态变化的测量, 就可获得样品内的电场分布.

实验检测方式如图 1 所示意: 采用透射光路, 横向电光检测方式, 即探测激光的传播方向与所加的电场方向正交, 此时电光相位延迟为^[4]:

$$\Gamma_z = (\pi/\lambda)n_0^3\gamma_{41}L_yV_z/d_z \quad (1)$$

* 国家科委 863 高科技及集成光电子学国家重点实验室资助课题.

收稿日期: 1993 年 7 月 26 日; 收到修改稿日期: 1993 年 11 月 11 日

式中, V_z 为 Z 方向施加的电压, d_z 为施加电压方向的厚度, L_z 为探测激光在晶体中经过的距离, n_o 为 GaAs 晶体的折射率, γ_{41} 为 GaAs 晶体的线性电光系数, λ 为探测激光的波长. 实验装置如图 2 所示. InGaAsP 激光器发出的 $1.3 \mu\text{m}$ 的激光作为探测光, 由物镜准直, 再经起偏器和四分之一波片后, 由 40 倍物镜聚焦, 垂直入射样品 (110) 面, 透过被测样品, 经分束片后分成两路: 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. 当激光束沿着 x 方向扫描时, 便得到样品内沿 x 方向的 E_z 电场分布. 在测量列阵时为避免列阵本身强烈发光的影响, 在光路中设置了相应的滤光片. 实验所测试的宽接触激光器是由中国科学院半导体研究所制作的, 是 GaAs/GaAlAs 双异质结结构. 实验测量了偏置电流为 1.5 mA 和 1.0 mA 条件下的有源区电场分布, 测试结果如图 3、图 4 所示.

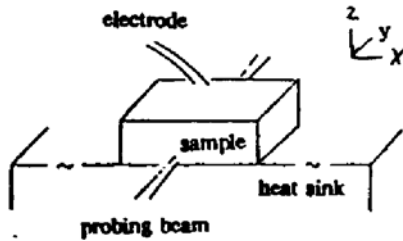


Fig. 1 E-O probing configuration

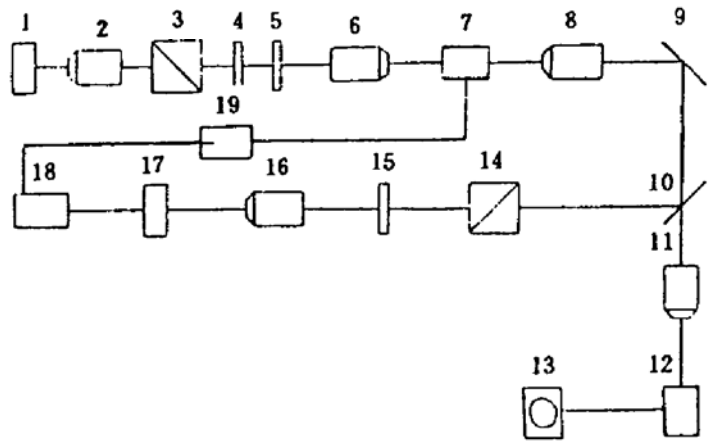


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental setup for LD and LD array 1 — laser; 2, 6, 8, 11, 16 — objective; 3 — polarizer; 4 — quarter wavelength plate; 5, 15 — filter; 7 — sample; 9 — reflector; 10 — beamsplitter; 12 — TV camera; 13 — monitor; 14 — analyzer; 17 — photodetector; 18 — lock-in amplifier; 19 — voltage supply

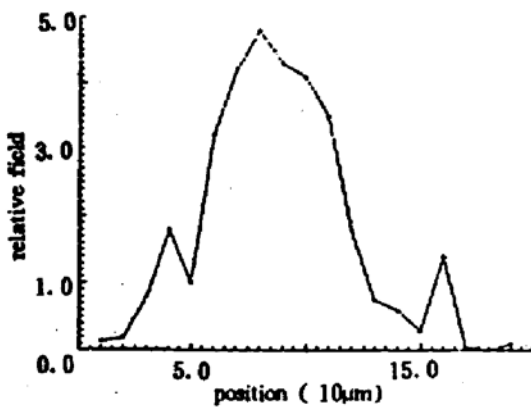


Fig. 3 Measured electric field distribution in the active layer for broad contact LD ($I=1.5 \text{ mA}$)

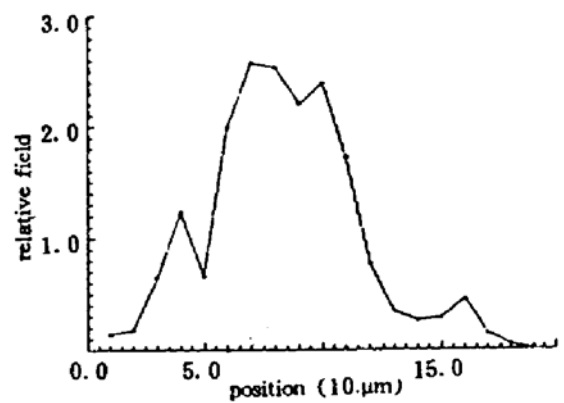


Fig. 4 Measured electric field distribution in the active layer for broad contact LD ($I=1.0 \text{ mA}$)

实验所测试的半导体激光器锁相列阵是由中国科学院上海光机所制作的, 样管由 10 个管芯单元组成, 条宽 $5 \mu\text{m}$, 条间距 $8 \mu\text{m}$, 单元间由 SiO_2 淀积隔离, 条区间的电流限制主要是由 N-P-i-N 反向结提供的. 测量是在偏置电流为 85 mA 下进行, 其中包含有效值为 35 mA , 频率为 200 Hz 的交变偏置电流. 其有源区电场分布如图 5 所示.

3 讨 论

光源器件中同时存在光场、电场的相互影响. 在外加偏置电场作用下, 载流子注入光源器件后, 发生自发复合或受激复合, 建立了稳态光场; 这个光场又会反过来影响器件的载流子分布和电场分布. 实验中测试到的宽接触激光器和激光器列阵电场分布的结果, 是丝状发光现象在电场中的直接反应.

丝状发光现象最早是在宽接触激光器中发现的. 它是指沿整个端面宽度的发射并不均匀, 而有局部发光的趋势, 这些受激发射区称为光丝, 发射就是许多阈值和电流密度不同的光丝的共同结果. 电流增大时光丝的数目增多. 每个光丝有其自身的阈值.

光丝的形成一般认为是由注入载流子浓度耗尽引起的折射率局部增大和由发光区域和不发光区域间的准费米能级之差引起的折射率阶跃所致^[6]; 从工艺角度看, 1) 由于外延不均匀, 使某些区域损耗较小, 这个区域的光丝便优先受激. 2) 由于有源区 Al 组分的分布不均匀, 引起光谱的多组纵模和纵模组的模式竞争, 使近场出现多峰, 光输出特性产生扭曲. 具体分析如下: $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 禁带宽度 E_g 与铝组分 x 的关系, 在 300 K 时为:

$$E_g = 1.439 + 1.042x + 0.469x^2 \quad (2)$$

由于有源区 Al 组分的不均匀, 使禁带宽度发生变化, 从而在各位置发射不同波长的光, 其光增益不等, 这就使得注入电流在有些位置用于发射激光, 在另一些位置用于增大自发辐射^[6].

从图 3、图 4 可以看出宽接触激光器有源区电场分布有多个宽峰出现. 正是由于在发光区各处光增益不同, 引起注入载流子在各个位置的分配不同, 电场出现起伏, 出现有异样的凹点和谷点. 这表现在光场上是引起各处波长和强度不同的光丝同时发光, 即所谓的丝状发光现象. 当注入电流由 1.0 mA(有效值)增加到 1.5 mA(有效值)时, 其峰的形状和高低会相应改变, 这可以定性地认为发光是许多不同阈值和电流密度的光丝的共同作用. 在电流较小时, 由于器件结构和工艺制作上的种种原因, 引起沿着有源区横向各处的光增益并不均匀, 光增益较高的区域优先受激发光, 载流子大部分注入到这些区域, 使在这些区域附近电场较大. 在电流较大时, 由于注入载流子对折射率的影响^[7], 载流子注入较多, 引起折射率下降, 导致增益相应的变化. 又由于光增益随注入载流子的增多而以非线性规律变化, 存在着增益饱和等复杂的机理, 这样就使得沿有源区横向的光增益分布情况与电流较小时不同, 使注入电流在各处的分配情况发生变化, 电场分布也就相应地发生变化. 相应地, 在注入电流不同的条件下, 被激发的光丝数目和位置也会发生变化, 表现为丝状发光的形状不同.

对于所测的激光器锁相列阵, 发光区较宽, 用于载流子注入限制的 SiO_2 层较浅, 结构上与宽接触激光器有相似之处. 从监视回路观察到的样品端面的发光情况看, 也观察到了类似丝状发光现象; 其电场分布在理想情况下应是均匀对称多个小峰的排列, 而实际测得的电场并非如此, 这可以用丝状发光现象来试着解释.

从图 5 中可以看到, 列阵有源区电场分布是在一个宽峰上有小峰起伏, 小峰的位置和变化幅度不是一致的, 分析其原因, 主要是由于实际的电场分布与样品制作工艺密切相关. 列阵每个激光器单元在工艺制作中不可能完全一致, 液相外延的均匀性, 扩 Zn 区的宽度深度, 光刻质量, SiO_2 淀积的好坏, 电极欧姆接触是否一致, 这些都可能影响到每个管子的电流注入, 使各个管子泵浦情况不同, 正向导通电阻小的单元, 电流注入就多一些, 从而引起各单元发光不均.

从广义上讲,这种由于各单元不一致而引起的各处发光不同,也可以看作是一种丝状发光现象。只是宽接触激光器中,局部发光区域的大小及位置是任意的,而在列阵中各局部发光不均的区域就是各不同的单元。与宽接触激光器分析类似,由于各单元情况不一致,引起各单元分配到的注入载流子不同,造成各单元发光不均,在电场上就表现为测得的列阵有源区电场分布中,各小峰的位置和变化幅度不一致。

总之,由于器件结构及工艺的特点,使注入载流子在各处分配不均匀,各处的增益也不同,

这在电场上表现为电场分布有多个宽峰或是不均匀的起伏,而在光场上则表现为丝状发光。

结 论 用连续波电光检测法,成功地测量了宽接触激光器及激光器列阵的电场分布。宽接触激光器和列阵有源区电场分布的特点,是器件丝状发光现象在电场上的表现,其产生的原因都归结为由于各处光增益不同,引起注入载流子在各处分配不均。这项工作为器件的机理分析提供了有益的帮助。

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、钱毅等和中国科学院上海光机所方祖捷、金志良、刘斌等给予的帮助。

参 考 文 献

- [1] Z. H. Zhu, J.-P. Weler, S. Y. Wang, S. Wang, New measurement technique: CW electro-optic probing Field. *Appl. Phys. Lett.*, 1986, 49(8): 432~434
- [2] Y. H. Lo, Z. H. Zhu, C. L. Pan *et al.*, *Appl. Phys. Lett.*, 1987, 50(17): 1125~1127
- [3] 朱祖华,王硕勤,丁纯等, 半导体激光器中电场分布特性的连续波电光检测. *半导体学报*, 1992, 13(7): 417~422
- [4] 朱祖华, 信息光电子学基础, 杭州, 浙江大学出版社, 1990: 345~377
- [5] [美]H. C. 凯西, M. B. 帕尼什, 异质结构激光器, 下册, 北京, 国防工业出版社, 1985: 291
- [6] 单振国, GaAlAs/GaAs DH 激光器发光位置的实验研究. *半导体学报*, 1983, 4(3): 265~274
- [7] 郭长志, 半导体激光模式理论, 北京, 人民邮电出版社, 1989: 34

Phenomenon of Filaments for Broad Contact LD and LD Array

Wu Xiaoping Zhu Zuhua

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

(Received 26 July 1993; revised 11 November 1993)

Abstract This paper introduces a new nondestructive method — Continuous Wave Electro-Optic Probing (CWEOP) used for detecting the electric field distribution of broad contact semiconductor LD and LD array. The phenomenon of filaments is analysed and the cause is explained.

Key words broad contact LD, LD array, electric field distribution.

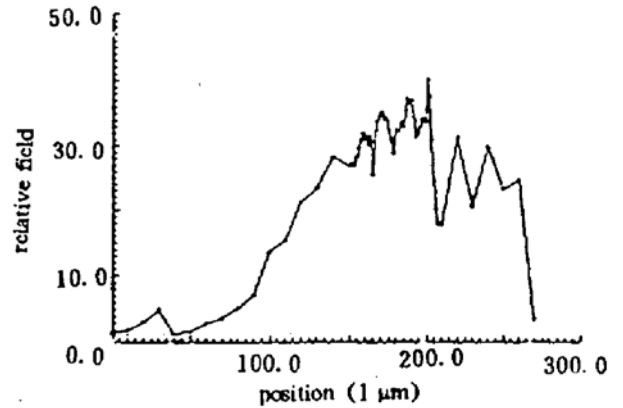


Fig. 5 Measured electric field distribution in the active layer for LD array