

一种 GaAs/GaAlAs 分别限制单量子阱 锁相阵列激光器

朱龙德

(中国科学院半导体研究所,北京)

G. A. B. Feak, J. M. Ballantyne

(美国康乃尔大学电机系)

D. K. Wagner, P. L. Tibanyi

(美国麦道公司光电子中心)

1989年3月18日收到

本文描述一种由 MOCVD 生长的 GaAs/GaAlAs 分别限制单量子阱片子制作的锁相阵列大功率激光器。由十个单横模器件耦合而成的列阵器件,其阈值电流为 67mA,线性输出功率大于 500mW,微分量子效率达 60%。列阵器件由强耦合区和弱耦合区构成,考察了强耦合区的几何结构对耦合模即输出远场分布的影响。

主题词: MOCVD, GaAs/GaAlAs 分别限制单量子阱结构,锁相阵列激光器,列阵阈值电流,输出功率,微分量子效率,耦合结构,耦合模

一、引言

概念上由微波相控阵天线推广而来的锁相阵列半导体激光器是近十年来大力研究的一种器件^[1-6]。目的是,用阵列多个激光器的方法提高光输出功率,同时列阵中各单横模条型激光器之间使振荡模式耦合,实现各激光器输出光场之间有确定的空间相位关联,最好是做到各激光器之间振荡模式相位差为零,以实现光束宽度由列阵发射面线度的衍射极限决定的窄的单光束高功率器件。相干光大功率器件,尤其是单光束高功率锁相激光器有各种重要的应用前景,如,因为它体积小,效率高,只要把波长调节为 $0.807\mu\text{m}$,是用来泵浦掺 Nd-YAG 和掺 Nd 玻璃激光器的理想光源;相干光高功率激光器输出可以聚焦到直径 $2.5\mu\text{m}$ 的光点^[7],聚焦后功率密度可达 $2\text{MW}/\text{cm}^2$,因此可以用来做高数据速率信息记录;单光束器件也可以直接用在点-点宇宙光通信和光纤通信中。

我们用 MOCVD 方法生长了 GaAs/GaAlAs 分别限制梯度折射率单量子阱结构 (GRINSCH SQW) 的片子,由这些片子做成的宽接触激光器的阈值电流密度为 500—

1200A/cm²。由化学辅助离子束刻蚀 (CAIBE) 技术制作了低阈值单横模激光器^[4], 器件的成品率很高, 一致性和重复性也好。因此可以用做阵列激光器的单元器件。在一种引入可饱和吸收区的脊形波导锁相阵列器件中以一定的成品率获得了同相位耦合模 (单光束) 激射^[5]。本文报道具有另一种模式耦合构形的 GaAs/GaAlAs GRIN SCH SQW 脊形波导锁相阵列激光器的实验结果。

二、阵列的模式耦合构形和器件制作

用低压(76托) MOCVD 方法生长了 GaAs/GaAlAs 分别限制单量子阱结构的激光器片子。量子阱宽度为 100 Å, GaAs 量子阱夹在两个对称的厚度各为 0.2 μm 的渐变折射率 (铝组份从 0.2 变至 0.5) 未掺杂波导层中间^[6], 片子的宽接触激射阈值电流密度当腔长为 300 μm 时为 690 A/cm²。用化学辅助离子束刻蚀技术制作了脊形波导结构^[8]。在同一片子上与阵列器件一起制作的条形宽度为 2.5 μm 的脊形波导激光器, 当腐蚀深度控制到量子阱 0.2—0.3 μm 时, 表现出很好的折射率导引横向导波特性, 即激光器的光功率-电流曲线的线性度在所测量的 20 mW 范围内很好, 而且具有稳定的近场单光点分布。

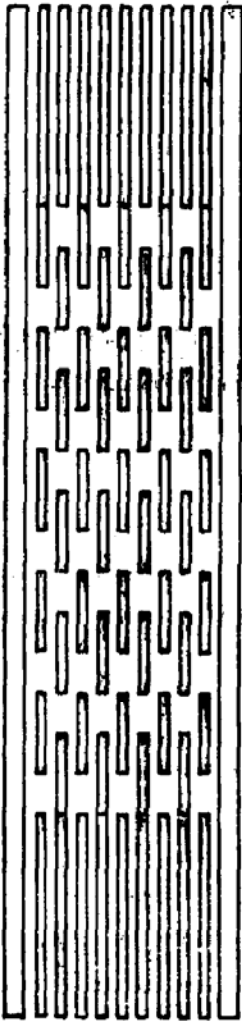


图1 脊形波导相位耦合阵列激光器的耦合构形。它由中部强耦合区和两端弱耦合区构成; 对强耦合区, 构形(a)中条形之间沟槽长度为 20 μm, 未腐蚀区长度为 10 μm, 构形(b)中沟槽区和未腐蚀区长度都是 15 μm。

相位耦合激光器阵列用上述之脊形波导工艺作成。阵列由十个中心距离为 5 μm 的激光器并列而成, 每个条形的脊形宽度为 2.5 μm。激光器的平面阵列构形如图 1, 图中方框部份为腐蚀沟槽区。一个阵列器件由三部份构成, 器件中部 150 μm 长的区域为强耦合区, 或者叫光混合区, 器件两头各有 50 μm 长的全沟槽区, 是为稳定每个条形器件的横模特性而引入的弱耦合区。实验了两种构形, 构形(a)中两个脊形波导之间的耦合区由 20 μm 长的沟槽区和 10 μm 长的未腐蚀区构成; 构形(b)中沟槽区和未腐蚀区长度都是 15 μm。两个条形之间有沟槽时光模式耦合由沟槽区中衰减尾波的重叠而实现, 而没有沟槽时光不受限制而发生光的混合。强耦合区中沟槽区和未腐蚀区长度比值的改变是为了观察光混合强度和条形之间区的注入对耦合模式的影响。阵列的两侧各有 5 μm 宽的沟槽以隔离阵列模。腐蚀完阵列图形之后淀积 1400 Å 的 SiO₂ 膜, 阵列区上开 48.75 μm 宽的电极条形窗口, 电子束蒸发 Ti/Pt/Au 做 P 面电极。由于露出的 GaAlAs 上只能形成肖特基接触, 电流只能由未腐蚀的部分注入。衬底一侧减薄并做 Au/Ge/Ni 电极之后沿设计的解离位置解离成条。

三、列阵激光器的特性和分析

用脉冲宽度为 $0.5\mu\text{s}$, 重复频率为 1000Hz 的驱动电流, 没有烧结且 P 面朝上把解离条放在镀金铜热衬的条件下测量了列阵激光器的激射特性. 单个条形激光器的烧结实验表明, 这种脉冲测量阈值电流和烧结后直流测量结果之间相差小于 10%. (a) 和 (b) 两种构形激光器具有基本相同的输出特性, 如图 2 所示. 器件的一致性很好. 列阵的阈值电流为 67mA , 1000mA 下输出 400mW , 1300mA 下输出大于 500mW . 因没有烧结, 注入电流没有再增大. 器件的外微分子效率为 60%. 列阵输出 350mW 功率时器件上电压降为 2.3V , 注入电流为 880mA , 相应的总功率效率为 17%. 用摄影仪观察的近场光分布为均匀的光点, 而且光点之间由逐渐变弱的光连接起来. 这说明, 片子的均匀性、器件工艺的完善使列阵中各个激光器的激射特性一致, 而且比起单个条形激光器, 往两侧横向扩散载流子的利用率提高, 导致每条激光器平均有低至 6.7mA 的阈值电流和高的微分子效率. 功率至 300mW 线性增加, 以后虽有热效应引起的轻微亚线性, 但 500mW 输出时仍没有饱和倾向, 也未见灾变伤害. 有源区为 $0.1\mu\text{m}$ 厚的双异质结 GaAs/GaAlAs 激光器, 镜面灾变伤害的功率限度为 $30\text{mW}/2.5\mu\text{m}$ 条宽. 我们的 GRINSCH 结构器件有 $0.4\mu\text{m}$ 厚的光限制波导区, 而且横向上有脊形波导引入的光的软限制, 镜面上光功率密度降低, 因此实验上得到的每个条形平均 50mW 的安全输出是合理的. 和宽接触激光器比较, 列阵激光器不仅输出相干的光功率, 而且安全输出的功率也大. 这是因为它是由相对独立的条形激光器之间相位耦合构成的, 只要材料和工艺比较均匀, 在端面上光输出均匀, 而宽接触激光器, 均匀性要求更高, 如果材料和电极稍不均匀, 就导致非均匀注入和激射, 并引起局部过早的灾变伤害, 而且光场和注入载流子的相互作用导致不稳定的空间上非相干的光丝, 因此即使看起来均匀发光, 其远场宽度远比衍射极限大, 不能用光学系统聚焦到小点.

列阵激光器在平行于结平面内的远场发射分布如图 3 所示, 它反映实际振荡的列阵耦合模式. 图 3(a) 是列阵构形为 (a) 的器件发射分布, 可见电流为阈值的 1.4 倍为止器件以单峰发射, 其半高宽度为 2.5 度, 功率为 14mW . $L = 48.5\mu\text{m}$ 的相干发射线元的衍射极限射束宽度

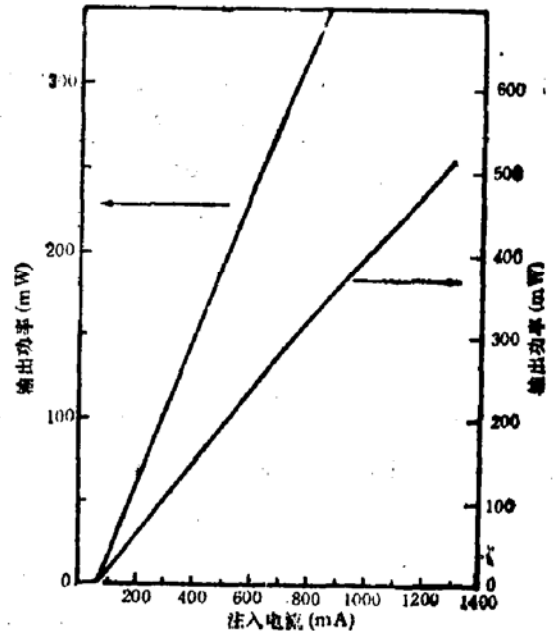


图 2 相位耦合列阵激光器的空间相干光输出功率和注入电流的关系

$$2\theta_s = \frac{2\lambda}{\pi L} = 0.65 \text{ 度},$$

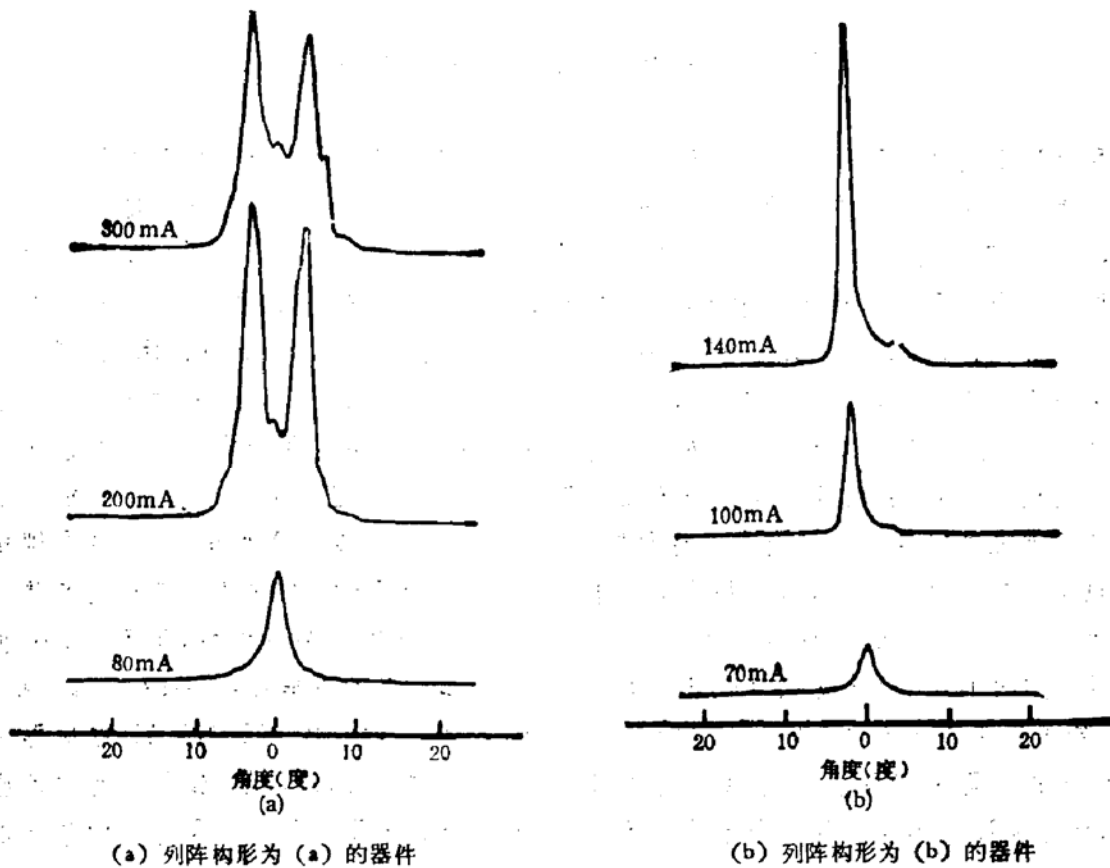


图3 相位耦合列阵激光器的远场发射角度分布

用衍射理论算出的列阵器件发射峰半高宽度,当邻近条形之间的相位差 $\varphi = 0$ 而成为单峰时为 0.4° ^[4]. 说明器件虽以单峰发射,其半宽度比理论极限大 4—6 倍,这可能是因为在脉冲工作中器件有源区瞬态温度、电流分布等工作参数不恒定引起的,当然也不能排除高阶列阵模参与. 电流增至 200mA 时远场发射分布变为两个光束,两束分开 7° ,而衍射理论算出的分开角度

$$2\theta_{\max} = 2 \tan^{-1} \left(\frac{\lambda}{2D} \right) = 9.0^\circ,$$

其中 D 是条形间中心间距. 计算和理论比较符合,说明 $\varphi = \pi$ 的耦合模占主导. 电流增至 300mA 时波形主要由四个峰叠加,说明更多的高阶模被激发,列阵构形为 (b) 的激光器直到二倍阈值仍以单峰输出,单峰功率可达 35mW,半功率宽度为 1.3° ,比构形 (a) 的更窄,较接近理论值,如图 3(b). 电流再增加时仍以原来的单峰为主,一边出现不对称的边峰,这可能与探针触点接触列阵一侧而造成的高电流下非对称不均匀注入有关,因为 CAIBE 腐蚀的脊形波导是刀切式的理想的方形^[5],棱角处电极很薄. 上述结果说明,列阵构形 (b) 比 (a) 更容易以 $\varphi = 0$ 的列阵基模振荡. 这意味着强耦合区中增大未腐蚀区相对于沟槽区的比例有利于各条形振荡模式之间零相位耦合. 这个实验事实是可以理解的. 在强耦合区中,除了各条形传输模衰减尾波之间重叠耦合(在有沟槽区)之外,在未腐蚀区中有很强的衍射耦合. 另外,各条形之间的区域里增大平均增益,有利于抑制 $\varphi = \pi$ 的反相位耦合列阵模.

四、结 论

用 MOCVD 生长的 GaAs/GaAlAs 梯度折射率分别限制单量子阱片子, 采用化学辅助离子束刻蚀技术, 制作了脊形波导相位耦合大功率阵列激光器。器件的阈电流为 67mA, 输出功率大于 500mW, 外微分量子效率为 60%, 总功率效率为 17%。输出特性具有较好线性度。阵列激光器在低电流下单光束激射。实验了具有强耦合中心区和弱耦合镜面区的构形, 实验表明强耦合区中提高未腐蚀区相对于沟槽区长度的比例有利于零相位耦合的阵列基模式振荡。

致谢: 本工作得到麦道公司光电子中心的支持。

参 考 文 献

- [1] D. R. Scifres, W. Streifer, and R. D. Burnham, *Appl. Phys. Lett.*, **34**, 259(1979).
- [2] D. R. Scifres, C. Lindström, R. D. Burnham, W. Streifer, and T. L. Paoli, *Electron. Lett.*, **19**, 169(1983).
- [3] J. V. Ziel, R. M. Mikulyak, H. Temkin, R. A. Logan, and R. Dupuis, *IEEE J. Quant. Electron.*, **QE-20** 1259 (1984).
- [4] D. R. Scifres, W. Streifer, and R. D. Burnham, *IEEE J. Quant. Electron.*, **QE-15**, 917(1979).
- [5] E. Kapon, J. Katz, and A. Yariv, *Optics Lett.*, **9**, 125(1984).
- [6] J. K. Butler, D. E. Ackley, and D. Botez, *Appl. Phys. Lett.*, **44**, 293(1984).
- [7] D. R. Scifres, R. A. Sprague, W. Streifer, and R. D. Burnham, *Appl. Phys. Lett.*, **41**, 1121(1982).
- [8] L. D. Zhu, G. A. B. Feak, R. J. Davis, and J. M. Ballantyne, *IEEE J. Quant. Electron.*, **QE-23**, 309 (1987).
- [9] L. D. Zhu, G. T. B. Feak, and J. M. Ballantyne, D. K. Wagner, and Peter Tihanyi, *Appl. Phys. Lett.*, **50**, 1550(1987).

A Kind of Phased Array Lasers Made of GaAs/GaAlAs Graded Index Separate Confinement Single Quantum Well Heterostructures

Zhu Longde

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing)

G. A. B. Feak, J. M. Ballantyne

(School of Electrical Engineering, Cornell University, USA)

D. K. Wagner, P. L. Tihanyi

(Opto-electronics Center, McDonnell Douglas Astronautics Co., USA)

Abstract

Phase-locked array lasers made of MOCVD-grown GaAs/GaAlAs, graded-index separate-confinement heterostructure single quantum well wafer were investigated. The threshold current of the array composed of ten ridge waveguide fundamental lateral mode lasers was 67 mA, linear output power was more than 500 mW, external differential quantum efficiency was 60%. The configuration of the arrays consisted of strongly coupling central region and weakly coupling mirror regions, and effect of the geometrical configuration of the strongly coupling region on the coupled supermode was examined.

KEY WORDS: MOCVD, GaAs/GaAlAs, graded-index separate-confinement single quantum well structure, phased array laser, Array threshold, Output power, Differential quantum efficiency, Coupling structure, super mode