

大功率半导体激光器阵列稳态温度分布分析

谢红云¹ 陈国鹰¹ 安振峰² 辛国锋¹ 康志龙¹

(1 河北工业大学信息学院, 天津 300130)

(2 中国电子科技集团公司第十三研究所, 石家庄 050051)

摘要: 通过对大功率激光器阵列热现象的分析, 采用有限元分析法建立了大功率激光器稳态工作时的空间温度分布模型, 给出了具体的温度分布曲线, 由此模型得出大功率激光器阵列沿谐振腔方向有一定的温度差. 该模型给出的载体、芯片的温度分布, 可以指导阵列载体、散热器的设计, 优化它们的尺寸. 样品的实验数据与模型的理论预测结果吻合得很好.

关键词: 大功率; 激光器阵列; 热模型; 温度分布

PACC: 6855; 7865

中图分类号: TN248.4

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2003)10-1084-05

1 引言

大功率激光器阵列在军事国防、工业加工、材料处理等许多行业应用广泛. 对于大功率激光器阵列的两个主要参数即功率和波长, 研究者已进行了大量的研究^[1,2]. 由于热功耗引起有源区的温升会使激光器转换效率减小, 输出功率下降, 激光波长红移, 严重时会使激光器彻底毁坏, 因此, 分析激光器阵列的温度分布对指导系统更好地散热和冷却有重要意义^[3,4].

现有文献对横向阵列温度研究较多^[5-7], 而对纵向温度研究很少. 大功率激光器有很高的端面功率密度, 纵向的温度分布影响谐振腔的工作状态并决定各项性能参数. 本文把重点放在横向、纵向的温度分布上, 建立了大功率激光器准连续稳态工作时的空间二维温度分布模型, 给出了具体的温度分布. 由于影响激光器阵列系统工作温度的因素很多, 阵列的发光单元间存在热耦合和叠加, 对温度的具体数值有一定的影响^[8]. 在模拟过程中, 将其效果等效到阵列中每个发光单元的有源区, 用热功率密度来代表. 同时各个发光单元纵向和横向的温度分布趋势是相似的, 可以从模拟的曲线得到这种趋势. 理论

计算结果与测试数据吻合得很好.

2 模型建立及数值计算

大功率激光器阵列的热源大致可分为三种^[9]:

(1) 电流注入有源区后, 电子与空穴的非辐射复合释放的热量.

(2) 激光器激励后, 与光子吸收相关的过程, 包括自发辐射复合再吸收、自由载流子吸收、其他对光子的散射、衍射、吸收等产生的热.

(3) 注入电流增大时, 欧姆损耗产生的焦耳热.

处于准连续工作方式下阵列加电后, 有电脉冲时, 激光器有源区会出现热积累; 脉冲过后, 有源区出现热弛豫, 热积累过程和热弛豫过程交替进行. 一定时间后, 有源区达到动态的平衡温度. 对于高占空比或者连续工作的激光器阵列来说, 这个时间一般大约为几百 ms^[9].

激光器阵列达到稳定的工作状态后, 热传导遵循方程:

$$k \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + Q = 0$$

式中 T 为温度; k 为材料热传导系数; Q 为热功率密度.

谢红云 女, 1978 年出生, 硕士, 从事半导体光电的研究和大功率激光器的设计与制作.

2002-09-30 收到, 2003-06-25 定稿

计算中, 采取了以下的合理近似^[8]: 首先, 考虑各种热源因素, 阵列中各发光单元的热量按一定的比例(这里选 15%) 耦合与叠加后, 将激光器中各种热源集中在有源区统一考虑, 并且认为每个发光单元的有源区有一致的热功率密度. 其次, 材料的热传导系数、热容不随温度变化, 保持恒定. 最后, 由于管芯为 p 面朝下烧焊在载体上, 认为有源区的热只通过 p 型层向下传至载体, 不通过 n 型层和衬底向上传. 综合以上分析, 采用如下的边界条件:

(1) 与周围环境有对流热传^[9], 在不用其他外界辅助设备状态下, 空气的传导系数取 $5W/(m^2 \cdot K)$, 环境温度为 293K.

(2) 载体底端通过水冷器控制. 水冷器的盖层为 1mm, 循环水温保持恒定的温度 288K.

计算采用的参数如表 1 所示. 激光器芯片和载体(包含水冷器盖层) 尺寸相差甚多, 在计算过程中采用大小不同的有限元分步进行. 载体为 $100\mu m \times 100\mu m$, 芯片为 $2\mu m \times 2\mu m$.

表 1 计算所用参数

Talbe 1 Parameters in the calculation

层	横向 $x/\mu m$	纵向 y/mm	$k/(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$
有源层(AlGaAs)	0.01	1	13
波导层(AlGaAs)	0.19	1	13
限制层(AlGaAs)	1.2	1	13
接触层(GaAs)	0.3	1	44
欧姆层	0.5	1	318
焊料层	6	1	60
载体(Cu)	2000	4	400
水冷器盖层(Cu)	1000	4	400

首先, 将芯片作为等效热源, 分析载体的温度分布. 然后, 在载体数据的基础上, 分析芯片的温度分布. 计算中, 对有限元进行热平衡分析, 建立差分方程, 求解差分方程组, 得出每个元素的温度分布数据.

3 模拟结果

图 1 和图 2 分别给出了载体(不含水冷器盖层, 后皆同) 和芯片在横向和纵向的二维温度分布, 从图中可以得到载体和芯片在两个方向都存在一定的温度梯度.

图 3 是计算得出的激光器阵列载体横向的温度分布. 从图中可以看出, 在边界条件下, 载体的最高温度出现在与芯片连接处, 也就是芯片这个等效热

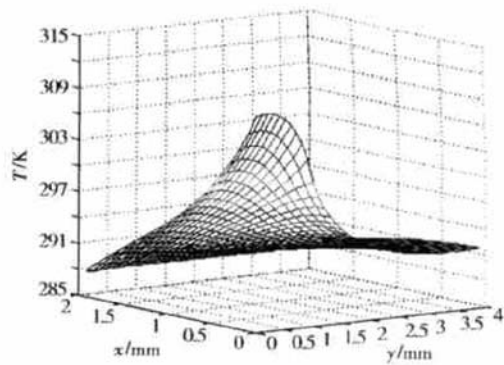


图 1 载体的二维温度分布

Fig. 1 Two dimensional temperature distribution of sub-mount

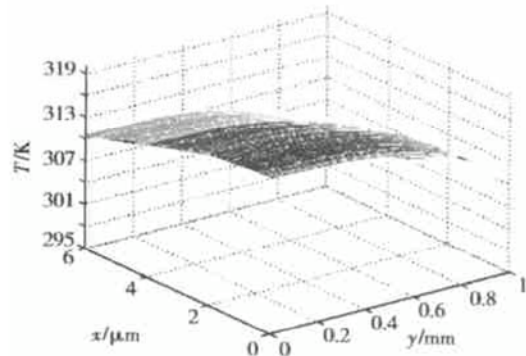


图 2 芯片的二维温度分布

Fig. 2 Two dimensional temperature distribution of chip

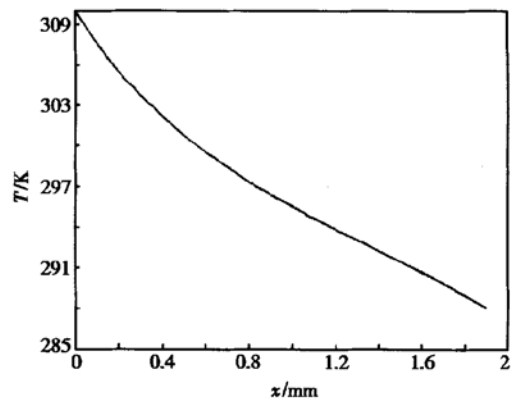


图 3 阵列载体横向温度分布

Fig. 3 Temperature distribution of submount in the transverse direction

源的温度为 309.8K. 图 4 是计算得出的阵列载体纵向的温度分布. 该曲线是载体顶端与芯片连接处的温度分布. 芯片的腔长为 1mm, 等效热源集中在这一部分, 从图中可以看出, 在 1mm 附近温度下降的速

度很快,载体的二维传热效果很明显.这一点在对芯片纵向分布分析时作具体解释.在 2.5mm 以后,载体的温度趋于恒定,保持在 292.4K 左右.载体前端面与后端面有 17.4K 左右的温差.

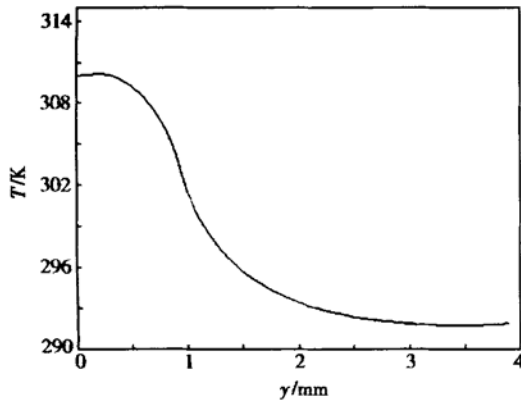


图 4 阵列载体纵向温度分布

Fig. 4 Temperature distribution of submount in the longitudinal direction

图 5 和图 6 分别是芯片的温度分布曲线.从图 5 中可以看出,在激光器稳态工作时,有源区的温度达到了 316.5K.在 8 μm 这么薄的区域内存在有将近 7K 的温度差,表明高占空比大功率激光器阵列的有源区有很高的热功率密度.从图 6 的纵向分布,可得出芯片前腔面附近和后腔面附近存在有 9.5K 左右的温差,并且,在接近后腔面处,温度下降非常迅速.

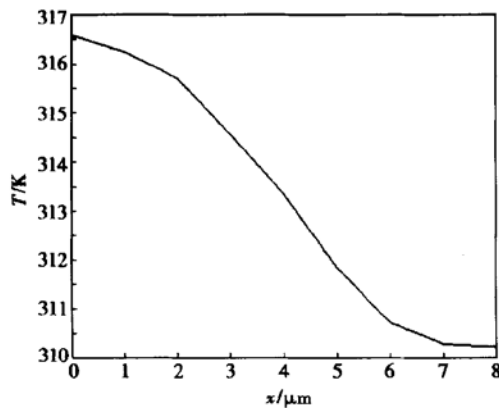


图 5 芯片横向温度分布

Fig. 5 Temperature distribution of chip in the transverse direction

我们可以这样理解这种现象:激光器阵列烧焊在载体上时,前腔面与载体的前端面平行,这种放置方式,使激光器阵列前腔面附近的区域产生的热只能向下传导,而在后腔面附近,由于载体尺寸在纵向

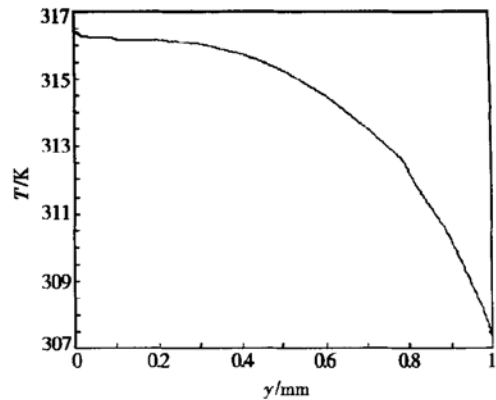


图 6 芯片纵向的温度分布

Fig. 6 Temperature distribution of chip in the longitudinal direction

上比芯片大出很多,而且载体通常是高热传导率的材料,所以芯片后腔面附近的热可以以较高的热传速率向两个方向传导.这样,载体就起到了二维热传导的作用^[8],如图 7 所示.

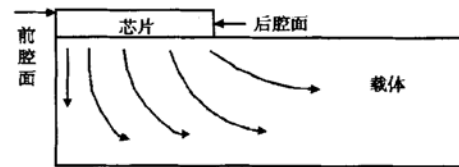


图 7 载体的二维热传导示意图

Fig. 7 Schematic diagram of two dimensional thermal conducting of submount

4 实验

实验采用的 808nm AlGaAs/GaAs 大功率激光器线阵列,为 MOCVD 外延技术生长 GRIN-SCH-SQW 结构.管芯为标准的 1cm 宽线阵列,由 60 个发光单元组成,每个发光单元的发射孔径为 90 μm ,单元间隔为 60 μm .芯片各层的材料及厚度如表 1 所示.

半导体激光器中影响激光波长的因素有很多^[1],同时波长对温度的变化有很高的灵敏度.对功率达到几十 W 的大功率激光器线阵列,由热产生的温度变化引起的波长变化占相当大的比重.通常测定波长的变化量可以得到激光器工作温度的变化.

在脉冲条件下工作的激光器阵列,从加电起,有脉冲时,出现热积累过程,使得有源区的温度升高;脉冲过后,出现热弛豫过程,有源区温度相应地会下降.这样热积累和热弛豫过程交替进行,周而复始,

一段时间后激光器工作在一种动态的热平衡状态. 文献[10]针对这个过程进行了研究, 得出达到这种平衡状态所需的时间(一般为几百 ms)和最终的平衡温度与阵列的散热装置和结构有关.

为得到激光器稳定工作时有源区的工作温度, 要测定激光波长的变化量. AlGaAs/GaAs 材料的大功率激光器波长对温度的偏移率约是 $0.27\text{nm}/\text{K}$ ^[5, 10]. 量子阱激光器有很高的内量子效率, 由此可以认为在激光器开始激射(电流约 10A), 稳定工作时, 有源区热积累不严重, 温度与环境温度相当. 到工作电流为 70A, 稳定工作时, 由于大的光功率同时会产生大的热功率, 有源区的温度升高, 会使激射的波长发生偏移. 实验中, 通过水冷散热器控制器件载体温度, 循环水温度保持在 288K. 采用 Q8381 Optical Spectrum Analyzer 光谱分析仪, 测定激光器在 10~70A 电流范围内波长的变化, 由波长偏移量得到有源区的温升. 实验数据如表 2 所示. 经换算得到电流为 70A, 电压为 2.3V 的稳态条件下, 有源区温度升高 23K, 此时的工作温度应为 316K 左右, 与模拟的结果 316.5K 吻合得很好. 同时, 在实验过程中, 用热电偶实时测量了载体顶部芯片附近(1mm 范围内)的温度, 数据见表 2. 在 70A 时, 测量的温度为 311K, 与图 4 给出的数据基本是匹配的(考虑到热电偶的测量误差).

表 2 实验测试数据

Table 2 Test data

I/A	V/V	P/W	λ/nm	T/K
10	1.7	0.17	804.0	293
20	1.8	8.6	805.3	295
30	1.86	18.4	806.2	297
40	2.01	29.3	807.2	300
50	2.08	40.1	808.2	304
60	2.18	50.2	809.1	307
70	2.32	61.8	810.2	311

5 结论

通过对大功率激光器阵列热现象的分析, 建立

了大功率激光器阵列稳态工作时的空间温度分布模型. 模拟结果表明, 大功率激光器阵列芯片因前腔面的功率密度高, 同时它在载体上的装配方式, 使纵向有 9.5K 左右的温差, 载体在纵向上有 17.4K 的温差. 测试数据验证了模型的预测结果. 模型给出的芯片载体的温度分布曲线, 可以指导激光器阵列载体散热器(通常为水冷器)的设计, 优化它们的几何尺寸, 为器件小型化做好理论基础.

参考文献

- [1] Zhu Donghai, Liang Jiben, Xu Bo, et al. Influential factors and control of wavelength of 808nm GaAs/AlGaAs high power laser diode. Chinese Journal of Semiconductors, 1997, 18(2): 108 (in Chinese) [朱东海, 梁基本, 徐波, 等. 808nm 大功率半导体激光器波长的影响因素及控制. 半导体学报, 1997, 18(2): 108]
- [2] Zhu Donghai, Wang Zhanguo, Liang Jiben, et al. High power high temperature operation of AlGaAs single quantum well lasers. Chinese Journal of Semiconductors, 1997, 18(5): 391 (in Chinese) [朱东海, 王占国, 梁基本, 等. 高温连续输出 AlGaAs 大功率单量子阱激光器的工作特性. 半导体学报, 1997, 18(5): 391]
- [3] Endriz J G, Vakili M, Browder G S. High power diode laser arrays. IEEE J Quantum Electron, 1992, 28(4): 952
- [4] Bezotosnyi V V, Kumy Kov K. Modeling of the thermal parameters of high power linear laser diode arrays: two dimensional transient model. Quantum Electron, 1998, 28(3): 217
- [5] Sakamoto M, Endriz J G, Scifres D R. 20W CW monolithic AlGaAs (810nm) laser diode arrays. Electron Lett, 1992, 28(2): 178
- [6] Sakamoto M, Cardinal M R, Endriz J G. Performance characteristic of high power CW, 1cm wide monolithic AlGaAs laser diode arrays with a 2mm total aperture width. Electron Lett, 1990, 26(7): 422
- [7] Sakamoto M, Endriz J G, Scifres D R. 120W CW output power from monolithic AlGaAs (800nm) laser diode array mounted on diamond heatsink. Electron Lett, 1992, 28(2): 197
- [8] Puchert R, Bärwolff A, Tomm J W. Facet temperature limits of GaAlAs/GaAs high power laser diode arrays. CLEO'97, 1997: CM A7
- [9] Puchert R, Bärwolff A. Influence of the mounting configuration on the transient thermal behavior of high power laser diode arrays. Electronic Components and Technology Conference, 1997: 1254
- [10] Voss M, Lier C, Menzel U. Time-resolved emission studied of GaAs/AlGaAs laser diode arrays on different heatsinks. J Appl Phys, 1996, 79(2): 1170

Temperature Distribution Analysis of High Power Laser Arrays in Static Working Condition

Xie Hongyun¹, Chen Guoying¹, An Zhenfeng², Xin Guofeng¹ and Kang Zhilong¹

(1 College of Information, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China)

(2 The 13th Research Institute of CETC, Shijiazhuang 050051, China)

Abstract: A model of temperature distribution is built for high power laser arrays under the thermal analysis of the static working condition by FEM. There is a temperature difference along the cavity's longitudinal direction of the laser according to the calculation results of the model. The distribution of temperature gained from the model gives a certain reference to the design of laser array's submount and cooler. Experimental results from test of the laser diode wavelengths and the test data of the thermal coupler match the theoretical predication well.

Key words: high power; laser diode array; thermal model; temperature distribution

PACC: 6855; 7865

Article ID: 0253-4177(2003)10-1084-05

Xie Hongyun female, was born in 1978, master. She majors in optoelectronics and the design of high power laser diode array.

Received 30 September 2002, revised manuscript received 25 June 2003

©2003 The Chinese Institute of Electronics