

光电器件

# 大功率半导体激光器模块散热结构的数值优化

尧舜, 丁鹏, 张亮, 张辉, 曹银花, 王智勇

(北京工业大学 激光工程研究院 国家产学研激光技术中心, 北京 100022)

**摘要:** 考虑大功率半导体激光 bar 外延结构中 GaAs 衬底热阻导致 p、n 面散热的非对称性, 利用商用有限元软件 Ansys 对目前常用的 DPSSL 侧泵浦源亚封装子模块的散热性能进行了分析和结构优化, 并根据优化结构实际制备出 3 bar 激光线阵泵浦源, 其连续输出功率超过 120 W, 中心波长为 807.7 nm, 光谱宽度(FWHM)为 2.8 nm。该数值分析结果对根据实际需要设计、封装出不同结构尺寸的大功率半导体激光泵浦源模块具有现实的指导意义。

**关键词:** 大功率半导体激光器; 泵浦源; 温度分布; 结构优化

**中图分类号:** TN365 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001 - 5868(2008)01 - 0049 - 03

## Numerical Optimization of Heat Dissipation of High Power Diode Laser Module

YAO Shun, DING Peng, ZHANG Liang, ZHANG Hui, CAO Yin-hua, WANG Zhi-yong

(Institute of Laser Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022, CHN)

**Abstract:** A two-dimensional analysis procedure for the thermal performance of high power diode laser array module has been developed with considering the difference of thermal resistance between p side and n side of the package and applied to optimize the module design. The thermal resistance of the module is also investigated by changing the size of the heat spreader. A 3 bar laser diode arrays pump source whose output power is over CW 120 W and the central wavelength is 807.7 nm with a FWHM of 2.8 nm by following the results of optimization ensures the numerical procedure.

**Key words:** high power diode laser; pump source; thermal resistance; structure optimize

## 1 引言

半导体激光泵浦固体激光器(DPSSL)以其高效率、高光束质量、结构紧凑、长寿命等优点在军事、工业、医疗、科研等领域得到了广泛的发展及应用<sup>[1]</sup>,同时也极大地促进了大功率半导体激光泵浦源的发展。特别是半导体阵列亚封装模块结合普通背冷式水冷热沉形成的侧泵浦尽管只具有中等的光功率输出,但是利用该结构泵浦源对固体激光棒进行多级泵浦仍能获得超大功率输出而满足一些特殊领域的应用,同时由于低廉的价格,使其越来越多地取代泵浦灯而真正走向市场<sup>[2]</sup>。目前,这种泵浦源模块的基本构成单元,即亚封装模块主要有两种形

式,一种是热扩散片与绝缘层一体的 bars in grooves 结构<sup>[3,4]</sup>,另一种是利用高导热金属作为热扩散片结合绝缘陶瓷形成的夹层结构<sup>[5]</sup>。2005年纽约大学 A. Gourevitch 等人<sup>[6]</sup>在忽略激光 bar 的 p、n 面结构差异的情况下给出了 bars in grooves 结构的热模型和解析解,而对于夹层结构的详细分析尚未见文献报道。夹层结构的优点在于激光 bar 的封装与热沉的加载可以分两步进行且多个激光 bar 共用同一个热沉,结构紧凑,亚封装模块便于更换,同时避免了 bars in grooves 结构中,沟道侧壁对激光 bar 施加的应力,制作方便,寿命相对较长。尽管国内已有几家机构能够量产该结构泵浦源,但其具体结构参数仍以模仿国外成型产品为主。而近年来大功率半导体激光器的性能不断提高,其热特性和

收稿日期:2007 - 04 - 16.

散热要求均有所改变,致使很多已有的结构尺寸并不一定是最佳。本文从固体中热传导的基本理论入手,给出夹层结构亚封装模块热阻与各部分组件尺寸的定量关系,这对突破固有结构,根据实际需要设计出最佳泵浦源整体结构具有指导意义和现实意义。

## 2 模块结构及计算模型

图 1(a), (b) 为泵浦源及夹层结构亚封装模块结构图,半导体激光 bar 与无氧铜热扩散片以及高热绝缘陶瓷先构成亚封装模块,然后加载到普通背冷式水冷热沉表面,子热沉同时充当电极与热传导路径。

虽然 bars in grooves 结构和夹层结构就热传导路径上均是激光 bar 双面散热,但是由于在夹层结构中,热扩散片采用无氧铜材料,其热导很高(398 W/(m·K)),同时其厚度通常仅比激光 bar 腔长稍大,结构热阻较小,因此计算时必须考虑激光 bar 的 p 面与 n 面结构的差异。双面散热量在改变支架尺寸的同时根据其平均热阻比值动态分配,而不能简单认为 p, n 面散热量一致<sup>[6]</sup>,这是其热结构中 with bars in grooves 结构的主要区别,这将在后边的计算中得到证实。正因如此,建立微分方程解析求解时涉及到积分方程的求解,这在数学上非常困难,因此我们利用有限元软件 Ansys 求其数值解。

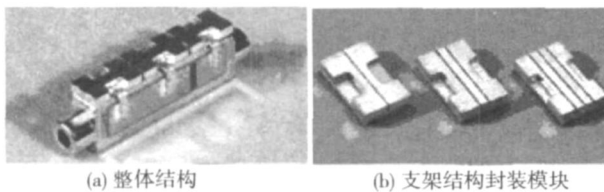


图 1 常用半导体激光泵浦源

计算模型如图 2,在该模型中,由于夹层结构中热扩散片的长度与激光 bar 的横向长度相差非常小(通常在 1 mm 之内),因此忽略热扩散片纵向尺寸对整个热结构的影响,将其简化为一个二维模型,忽略激光 bar 腔长上热流密度的变化,加载一个均匀线热源到矩形热扩散片侧面<sup>[6,7]</sup>。在厚度方向上将激光 bar 分为 GaAs 衬底和有源区两部分。在有源区内加载与激光 bar 发热量相当的体发热密度;假定模块底部与理想热沉相连,绝缘陶瓷底面施加恒定温度 0 的边界条件,此时计算的温度分布即为相对底面温升值。同时由于热辐射与空气自然对流散热量很小,在其他边界均施加绝热条件。其中

GaAs 厚度为 120 μm,热导为 45 W/(m·K),有源区厚度为 1 μm,热导值 44 W/(m·K),热扩散片宽度为 a,厚度为 d,绝缘陶瓷厚度 g。热扩散片为 Cu(398 W/(m·K)),绝缘材料取 AlN(188 W/(m·K))。

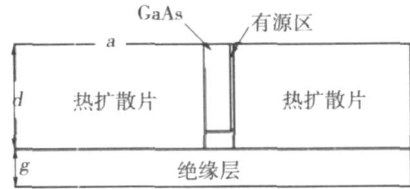
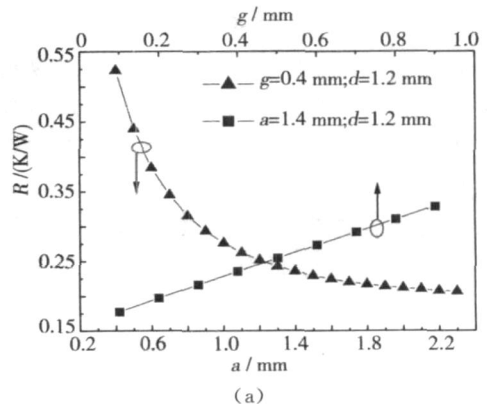


图 2 夹层结构计算模型

## 3 计算结果及分析

图 3 给出了稳态计算下得到的模块热阻与绝缘层厚度 g、热扩散片宽度 a、厚度 d 的关系,其中热阻值 R 是取计算所得模块内部最高温升与激光 bar 发热量的商而得到。由计算结果可以得到,当 g、d 为定值时,随着热扩散片宽度 a 的增大热阻 R 迅速下降并逐渐趋于饱和;而当热扩散片宽度 a 一定时,热阻 R 与绝缘层厚度 g、热扩散片厚度 d 均成正比。单纯就降低结构热阻而言,应尽量增大热扩散片宽度 a,减小绝缘层厚度 g 和热扩散片厚度 d,但同时也应考虑实际泵浦源的尺寸和封装工艺。在实际中,对于腔长 1 mm 的激光 bar 封装,我们选择了 a=1.4 mm, g=0.4 mm, d=1.2 mm 这一参数优化组合,因为进一步增大 a 的值并不能明显减小热阻,而高热陶瓷 AlN 太薄在封装过程中很容易断裂,而热扩散片太薄容易导致激光 bar 的后腔面封装时被焊料污染。图 4 为该尺寸下计算得到的发热量为 40 W 时单 bar 模块内部温升分布和热流分布。由该图可以看出,模块中 p、n 面邻近的热扩散片内部温升分布和热流分布差别很大,这证实了建模时充分考虑 p、n 面结构差异的重要性。



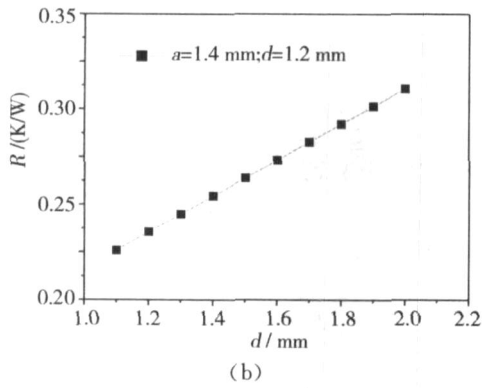


图3 稳态下模块热阻与绝缘层厚度、热扩散片宽度、厚度的关系

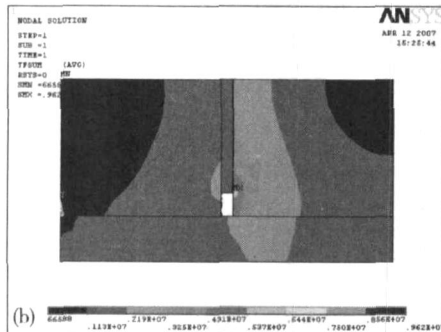
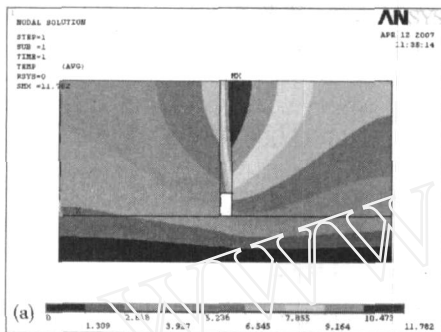


图4 发热量为40 W时单bar模块内部温升分布(a)和热流密度分布(b)

### 4 实验结果及总结

根据前边得到的优化尺寸,实际制作出连续输出40 W亚封装模块。用In合金焊料将三个模块线形排列焊接在大通道水冷热沉表面,形成了半导体激光侧泵浦源,通过冷却水循环系统对热沉提供冷却水,水流量为6 L/min,冷却水温设置为20。图5(a),(b)分别为泵浦源工作时的光谱分布曲线以及P-I, V-I特性曲线,当泵浦源输出功率为120 W时,光谱中心波长807.7 nm,谱宽(FWHM)2.8 nm满足泵浦光所需指标。尽管目前我们尚不能通过实验直接验证仿真计算结果的精度,但是计算结果为制作这种模块提供了指导思路,并根据计算结果实际

获得了所需参数的大功率半导体激光泵浦源。

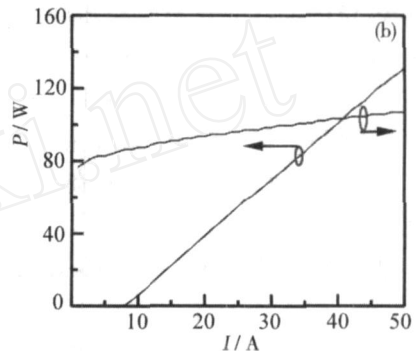
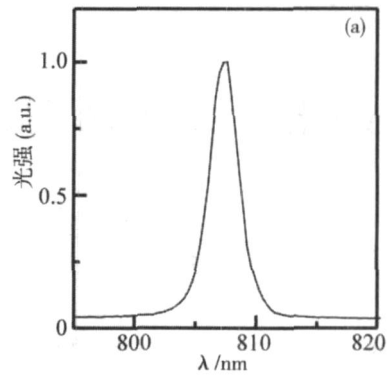


图5 所得泵浦源整体输出参数

### 参考文献:

- [1] 杜祥瑞. 对高平均功率DPL的几点认识[J]. 强激光与粒子束, 2005, 17(S): 1-3.
- [2] Stephens E, Goings J. Microchannel cooling ups power capacity for laser-diode bars[J]. Laser Focus World, 2006, 42(5): S7-S9.
- [3] Endriz J G, Vakili M, Browder G S, et al. High power diode laser arrays [J]. IEEE J. Quantum Electron., 1992, 28(4): 952-965.
- [4] Karpinski A A. Monolithic laser diode array [P]. United States, 5040187, 1991.
- [5] Stephens E F, Micke D W, Boxell A D. Laser diode packaging [P]. United States, 5913108, 1999.
- [6] Gourevitch A, Laikhtman B, Westerfeld D, et al. Transient thermal analysis of InGaAsP-InP high-power diode laser arrays with different fill factors [J]. J. Appl. Phys., 2005, 97: 084503.
- [7] Honea E C, Skidmore J A, Freitas B L, et al. Modeling the effect of heatsink performance on high peak-power laser-diode-bar pump sources for solid state lasers [J]. Proc. SPIE, 1998, 3 285: 178-189.

### 作者简介:

尧舜(1979-),男,重庆人,博士,助理研究员,从事大功率半导体激光系统集成及散热的研究工作。

E-mail: yaoshun@bjut.edu.cn