

文章编号: 0258-7025(2002)06-0513-04

# 连续 40 W 808 nm 量子阱线阵二极管 激光封装技术

唐 淳<sup>1,2</sup>, 武德勇<sup>1</sup>, 高松信<sup>1</sup>, 严地勇<sup>1</sup>, 王卫民<sup>1</sup>, 高清松<sup>1</sup>, 陈 军<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川绵阳 621900 )  
(<sup>2</sup> 浙江大学光电信息工程学系光电子技术所, 浙江杭州 310027 )

**提要** 研究了高功率二极管激光(LD)封装中的钎焊料蒸镀工艺和回流焊工艺对芯片焊接状态的影响。在数值模拟和实验研究的基础上,优化了冷却器结构设计,研制出具有热阻低、压降小的铜微通道液体冷却器,可以满足热耗散功率大于 60 W 的二极管激光器散热冷却需要。通过封装实验得到输出功率 40 W,波长 808 nm,谱线半高宽 < 2 nm,电光效率近 40% 的连续线阵二极管激光器。用该激光器进行了抽运 Nd:YAG 固体激光实验,在抽运功率为 40 W 时,获得 11.8 W 单横模固体激光输出,光-光效率约为 30%。

**关键词** 线阵, 二极管激光, 封装, 铜微通道冷却器, 钎焊料, 回流焊

中图分类号 TN 248.4 文献标识码 A

## Package Technique for CW 40 W 808 nm Quantum-well Linear Array Diode Laser

TANG Chun<sup>1,2</sup>, WU De-yong<sup>1</sup>, GAO Song-xin<sup>1</sup>, YAN Di-yong<sup>1</sup>,  
WANG Wei-min<sup>1</sup>, GAO Qing-song<sup>1</sup>, CHEN Jun<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Applied Electronics, CAEP, Mianyang 621900 )  
(<sup>2</sup> Department of Optical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027 )

**Abstract** The effects of indium-solder coating and reflow soldering technique on diode bar soldering state are studied. Based on numerical simulation and experimental research, the design of cooler structure is optimized and the copper micro-channels water cooler with low thermal resistance, low pressure is fabricated, which can meet the needs of cooling diode laser with more than 60W thermal dissipating power. A CW linear array diode laser with output power of 40 W, wavelength of 808 nm, spectral width of less than 2 nm, E-O efficiency of 40% is achieved by packaging experiment. The experiment of pumping Nd: YAG solid-state laser by the diode is carried out. The output power is 11.8 W with single transverse mode and 30% optical-optical efficiency at pumping power of 40 W.

**Key words** linear array, diode laser, package, copper micro-channels cooler, indium solder, reflow soldering

## 1 引 言

二极管激光器(LD)作为小型高效的激光源,在诸多领域有着广泛应用,特别是近年来随着二极管激光输出功率的大幅度提高<sup>[1~3]</sup>,使得单条线阵二极管激光器既可作为固体激光的抽运源又可直接用

于材料处理。高功率二极管激光器的实际应用要求其工作稳定可靠,且具有长的寿命,这取决于二极管芯片的质量及芯片的封装技术。

虽然二极管芯片的电光效率高达 40%~50%,但仍有超过一半的抽运能量转变成废热。对于 40 W 的连续波二极管激光,热耗散功率约为 60 W。

收稿日期 2001-04-02;收到修改稿日期 2001-07-03

作者简介:唐淳(1967—)男,北京市人,副研究员,在读博士,主要从事高功率激光与光电子研究。E-mail: tangchun\_21@

由于芯片与热沉间的热传导面积很小,热通量高达  $1000 \text{ W/cm}^2$ ,因此,为了获得高输出功率及长期可靠的工作,必须对二极管激光芯片的废热进行有效的管理,其中芯片与热沉间的焊接技术及高效液体冷却技术是高功率二极管激光封装的关键环节。本文在研究连续  $10 \text{ W}$  和准连续  $50 \text{ W}$  ( $20\%$  占空比) 二极管激光器的基础上<sup>[4]</sup>,进一步研究了适合更高功率二极管芯片焊接的工艺及低热阻铜微通道液体冷却器,并实验封装出  $40 \text{ W}$   $808 \text{ nm}$  连续线阵二极管激光器,激光器的电-光效率达  $40\%$ ,光谱半高宽 (FWHM) 小于  $2 \text{ nm}$ 。

## 2 封装设计

封装首先要解决的问题是尽可能降低芯片与热沉界面的热阻和电联接的电阻,以便芯片的废热能有效地传导至热沉,以及避免器件大电流工作时焦耳热对芯片性能的影响。高功率连续线阵二极管封装结构如图 1 所示。标准化的  $1 \text{ cm}$  长高功率二极管芯片  $P$  面与高热导无氧铜热沉焊接在一起,确保二极管芯片与热沉界面的热阻降至最低。为了克服二极管芯片 (GaAs) 与铜热沉热膨胀系数不一致导致的界面应力,焊接选用柔软耐热冲击的钎焊料。芯片  $N$  面与镀金绝缘陶瓷片 (金层厚  $7\sim 8 \mu\text{m}$ ) 间用热超声压焊  $200$  根金丝,芯片的负极通过电极压板由陶瓷片镀金面引出。电极引线采用金丝而不用金 (或铜) 箔是为了避免产生应力。绝缘片陶瓷下表面焊接在热沉上,防止金丝焊点的接触电阻及绝缘陶瓷上导电金层在大电流工作时产生热量的积累。

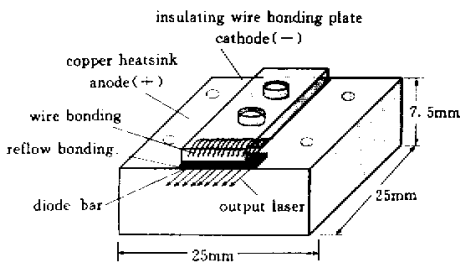


图 1  $40 \text{ W}$  CW 线阵 LD 封装示意图

Fig. 1 Schematic diagram of CW  $40 \text{ W}$  linear array diode laser package

芯片工作时产生的废热经过热传导至热沉下表面,由高效液体冷却器冷却和控温。铜的电、热特性远优于硅,因此铜微通道冷却器较之以硅为材料的

微通道冷却器具有更好的冷却效率<sup>[5]</sup>。为此我们采用高热导无氧铜设计了一种结构简单、加工容易的铜微道液体冷却器,冷却器由多层结构组成,每一层利用精密线切割加工,由银铅焊工艺焊接成整体,不仅提高了封装激光器性能,而且降低了冷却循环系统的设计要求和成本。为了优化冷却器结构参数,建立了冷却器冷却效率数值分析模型<sup>[6]</sup>,并用大型三维有限元程序进行了模拟计算。计算中,对于特定宽度的液体通道,在保持进出水口压差恒定时,得到了通道深及肋宽对冷却器热阻、温度分布的影响及流场变化情况,从而确定了冷却器的最佳结构。优化后的冷却器在水压  $0.8 \text{ atm}$ ,冷却水流量  $800 \text{ ml/min}$  时,热阻约为  $0.35 \text{ K/W}$ ,可以满足热耗散大于  $60 \text{ W}$  的二极管激光芯片散热冷却需要。

## 3 封装实验及结果分析

用于芯片焊接的钎焊料要足够薄以减小界面热阻,因此采用热阻蒸镀的方法在焊接表面蒸镀  $5 \mu\text{m}$  左右的钎层,由于钎表面极易氧化,影响焊接质量,实验中在高真空度 ( $1.33 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ ) 下蒸镀。钎层表面的粗糙程度对芯片焊接质量影响密切,图 2 是用美国 TENCOR 公司 alpha-step 200 型表面轮廓仪测得的陪镀片表面钎层厚度及粗糙度,仪器的厚度测量精度为  $0.1 \text{ nm}$ 。实验结果表明,钎层表面粗糙度为  $1 \mu\text{m}$  时 (如图 2(a)),芯片与热沉间粘接不好,通过调节蒸发源与衬底间的距离、蒸发速率等参数,使钎层表面粗糙度达到  $0.1 \mu\text{m}$  时 (如图 2(b)),得到较好的焊接质量。为了避免钎焊料在焊接时氧化增加界面热阻,芯片焊接采用了高纯氢环境下回流焊工艺。焊接界面的应力是高功率二极管激光封装必须关注的问题,界面应力会导致二极管芯片变形,出现芯片发光单元不在一条直线上的“Smile”现象,严重影响激光器寿命。为此对焊接芯片应力变形情况进行了实验测量,图 3 是激光器在阈值电流附近出光时,由 CCD 相机记录到的芯片激活区图像,图 3(a) 反映出应力造成芯片  $1\sim 2 \mu\text{m}$  “Smile”,通过改进焊接工艺、加载力的方式及夹具结构,得到了没有“Smile”的焊接,见图 3(b)。

图 4 是封装的高功率连续线阵二极管激光输出功率、电压与工作电流曲线,激光器的阈值电流  $19 \text{ A}$ ,在工作电流  $55 \text{ A}$ ,电压  $1.9 \text{ V}$  时,输出功率  $42.1 \text{ W}$ ,串联电阻  $7.2 \text{ m}\Omega$ ,斜效率  $1.06 \text{ W/A}$ 。图 5 是激光的电-光转换效率,最高达  $39.7\%$ ,图 6 是在冷却

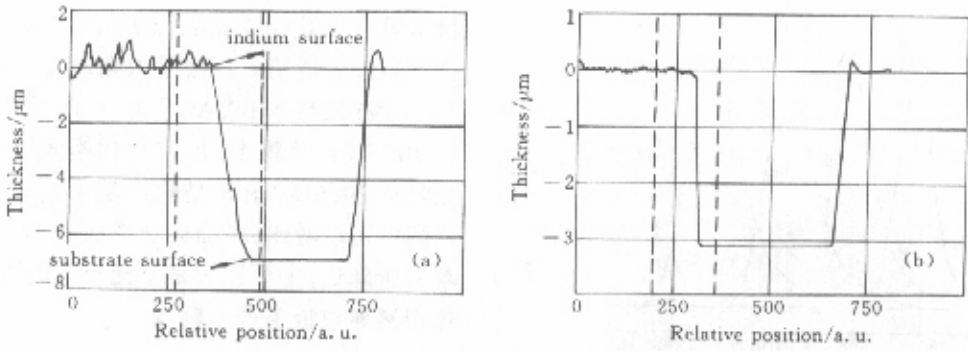


图 2 镀锡层厚度及粗糙度

(a)厚 6.3 μm 粗糙度 1 μm (b)厚 3.1 μm 粗糙度 0.1 μm

Fig.2 Thickness of indium layer and rough level of indium surface

(a) 6.3 μm thickness with 1 μm rough level ;(b) 3.1 μm thickness with 0.1 μm rough level

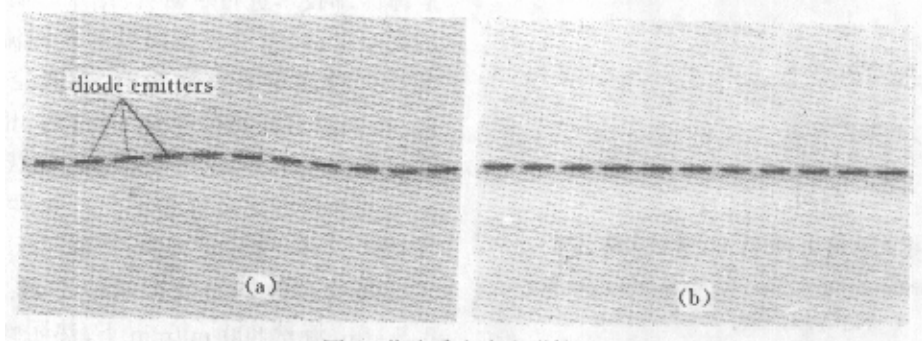


图 3 芯片受应力变形情况

(a)有 2 μm "Smile" (b)无 "Smile"

Fig.3 Distortion state of diode bar under stress

(a) with 2 μm "Smile" ;(b) without "Smile"

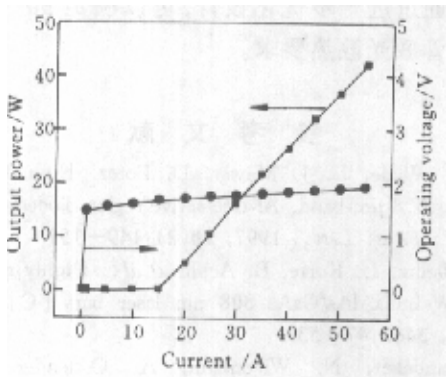


图 4 输出功率、电压与电流关系曲线

Fig.4 Output power and operating voltage as a function of current

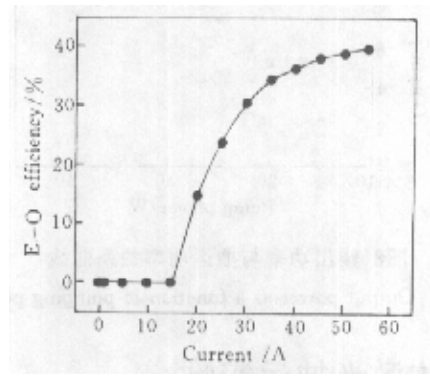


图 5 电-光效率与电流关系曲线

Fig.5 E-O efficiency as a function of current

器水温恒定(设置为 16℃),工作电流不同的光谱曲线,在电流为 25~55 A 时,对应的中心波长为 806.6~811.6 nm,谱线半高宽(FWHM)为 0.98~1.63 nm。谱线宽度较窄,说明芯片在 1 cm 长度方向上冷却均匀,没有引起谱线加宽。通过测量不同工作电流条件下的电压、激光功率、中心波长,得到

波长随热功率的变化率为 0.158 nm/W;在激光功率恒定时,测量不同冷却温度时的激光中心波长,得到波长随芯片结温的变化率为 0.31 nm/K,从而得到封装激光器的总热阻为 0.51 K/W,因此,在 60 W 热功率下(55 A 时),中心波长将向长波方向漂移 9.4 nm,这说明在没有热效应影响时,激光器的中心波长为 802.2 nm,与芯片的波长 802 nm 相吻合。

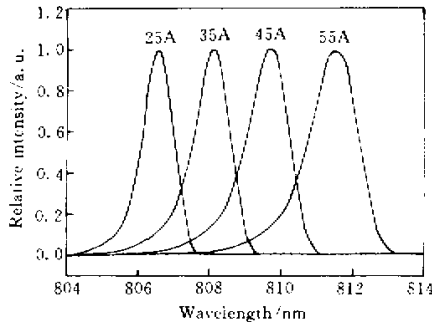


图 6 LD在工作电流不同的光谱曲线

Fig.6 Output spectrum of LD at different current

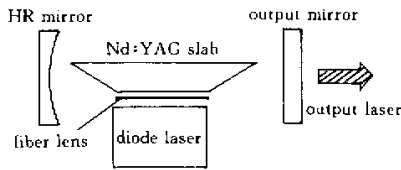


图 7 二极管激光侧抽运 Nd:YAG 激光实验布局

Fig.7 Experimental arrangement for diode side-pumped Nd:YAG laser

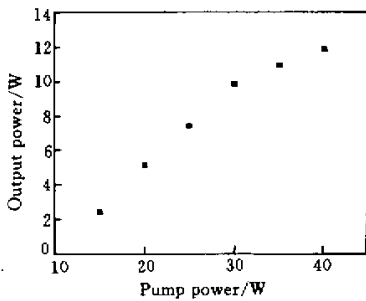


图8 输出功率与抽运功率关系曲线

Fig.8 Output power as a function of pumping power

### 4 固体激光抽运实验

利用封装的 40 W 线阵二极管激光器进行了抽运固体激光实验,实验采用侧抽运结构,实验装置如图 7 所示。激光腔为平凹腔,腔长 20 cm,输出镜为 90% 反射率的平面镜,全反射镜曲率半径 2.2 m,激光介质为 Nd:YAG 晶体,设计为梯形板条,厚 1.2 mm,前表面镀 808 nm 增透膜,后表面镀 808 nm 全反膜。线阵二极管激光采用光纤柱透镜耦合输出,并通过调节耦合光学系统,使抽运光在板条宽度方向为 1.2 mm,实现抽运光与谐振腔基膜体积相匹

配。为了充分利用抽运光能量,采用 1.82 高折射率材料设计了孔径 1 mm,焦距 1.72 mm 的大数值孔径光纤柱面透镜。二极管激光通过冷却循环系统调节发射波长与 Nd:YAG 吸收峰相匹配,在抽运功率为 40 W 时,获得 11.8 W 单横模固体激光输出,光-光效率 29.5%,图 8 是输出功率与抽运功率曲线。从图中可以看出,当抽运功率大于 30 W 时,激光效率有所降低,主要原因是激光板条的冷却效率不够,热积累导致板条产生畸变。

### 5 结 论

对大功率二极管激光芯片封装焊接工艺及高效液体冷却技术进行了研究,结果表明,钎焊料蒸镀时的真空度、镀钎层表面粗糙度及回流焊工艺参数对芯片焊接质量有直接影响,在真空度  $1.33 \times 10^{-5}$  Pa,镀钎层表面粗糙度  $0.1 \mu\text{m}$  时,钎焊料可较好地满足焊接要求,通过控制焊接时加载力的大小,设计均匀的加载方式及焊接工艺参数,可以避免产生界面应力,消除“Smile”现象,研制了一种结构简单、加工容易的高效铜微通道水冷却器,冷却器在水压 0.8 atm,流量 800 ml/min 下,热阻约为 0.35 K/W,可以满足热耗散功率大于 60 W 的二极管激光散热冷却需要。在上述单元技术研究的基础上,封装出 40 W 808 nm 连续大功率线阵二极管激光器。该封装工艺通过进一步优化设计,可以满足 50~100 W 的二极管激光散热要求。

### 参 考 文 献

- 1 J. K. Wade, L. J. Mawst, D. Botez. High continuous wave, 0.8  $\mu\text{m}$ -band, Al-free active-region diode lasers [ J ]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997, **70**( 2 ): 149~151
- 2 C. Hanke, L. Korte, B. Acklin *et al.*. Highly reliable 40 W-CW-InGaAlAs/GaAs 808 nm laser bars [ C ]. *SPIE*, 1999, **3462**: 47~53
- 3 J. Jandeleit, N. Wiedmann, A. Ostlender *et al.*. Packaging and characterization of high power diode lasers [ C ]. *SPIE*, 2000, **3945**: 270~277
- 4 Tang Chun, Wu Deyong, Yan Diyong *et al.*. High-duty cycle, high-power linear array diode laser package technique [ J ]. *High Power Laser and Particle Beam* ( 强激光与粒子束 ), 2000, **12**( 5 ): 544~546 ( in Chinese )
- 5 T. Ebert, J. Beiesenbach, H. G. Treusch *et al.*. Optimization of micro channel heat sink for high power diode laser in copper technology [ C ]. *SPIE*, 1998, **3285**: 25~30
- 6 Wu Deyong, Yan Diyong, Tang Chun *et al.*. Thermal analysis of high average power laser diode arrays [ J ]. *High Power Laser and Particle Beam* ( 强激光与粒子束 ), 2001, **13**( 5 ): 540~543 ( in Chinese )