

文章编号: 1672 - 058X(2009)01 - 0080 - 04

用于大功率半导体激光器阵列 散热的微通道热沉的研制

唐裕霞

(重庆工商大学 计算机科学与信息工程学院, 重庆 400067)

摘要:理论分析了微通道热沉的热阻的组成,采用微机械加工技术和铜直接粘接技术(DBC)制作了冷却大功率半导体激光器阵列的5层结构的无氧铜微通道热沉;通过测试,用其封装的808 nm线阵二极管激光器准连续输出功率达38.5 W,无氧铜微通道热沉热阻为0.645 W^{-1} ,热沉的表面温度均匀性好,能有效散热,满足散热要求。

关键词:半导体激光器;微通道热沉;热阻

中图分类号: TN 365

文献标识码: A

半导体激光器的研究中,随着输出功率的提高,对激光器散热能力要求也越来越高。如果激光器散热不及时,势必造成结温升高,从而使激光器的阈值电流密度升高,电光转换效率降低,激光波长发生严重温漂,严重影响器件的寿命和可靠性。因此如何及时消除因耗散功率所转化的热量是当今制备高效高可靠性高稳定性半导体激光器阵列的关键。目前,国内外主要采用无源热沉和有源热沉来实现对半导体激光器的散热。无源热沉的散热能力有限,一般适用于低功率连续或超短脉冲大功率半导体激光器阵列的散热,而对于大功率连续、准连续半导体激光器阵列,其输出功率高,需采用更为有效的高效液体冷却器进行散热,即有源热沉。在此采用无氧铜做热沉材料,制作一种叠层铜微通道热沉,该热沉制备工艺简单,制作成本低,并且热沉的水密封性好,导热性好,利于大功率半导体激光器阵列的散热,提高激光器阵列的光功率密度。

1 叠层微通道热沉的热阻分析

图1为叠层微通道热沉结构示意图。为了得到微通道热沉的基本结构参数,采用简单的一维模型分析对微通道的热阻进行分析,如图2所示。设微通道深 d_c ,微通道沟道宽 c ,微通道叶片宽 f ,冷却液压降 P 。在此模型下,微通道叶片中只考虑 z 方向的热流, x 、 y 方向的热流忽略不计;在微通道内,只考虑 y 方向的热流, x 和 z 方向的热流忽略不计。当激光器芯片在微通道顶部表面产生热量 P_T 时,热量传递经过如下3个过程:

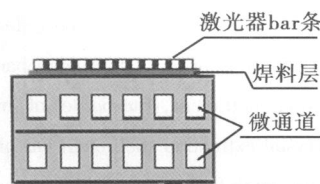


图1 叠层微通道热沉结构示意图

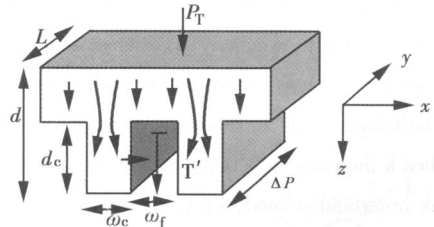


图2 微通道内热流模型分析图

- (1) 热传导期 P_{cond} : 激光器芯片单位面积上产生的热量 Q 沿 z 方向流进下方微通道热沉的叶片中。
- (2) 对流传导期 P_{conv} : 在微通道叶片与冷却液的界面处热量沿 x 方向从微通道叶片进入冷却液。

收稿日期: 2008 - 07 - 13; 修回日期: 2008 - 12 - 01。

作者简介: 唐裕霞 (1977 -), 女, 重庆市荣昌县人, 讲师, 从事电子器件与物理学研究。

(3) 冷却液质流热转换期 P_{cap} : 微通道内, 冷却液携带热量沿着通道流动, 冷却液温度升高, 将热量带走。假设传递过程中没有其他能量损失则 $P_{cond} = P_{conv} = P_{cap} = P_T$ 。因此热沉的总热阻 R_T 为:

$$R_T = \frac{T}{P_T} = \frac{T_D - T_0}{P_T}$$

热量传递的这 3 个阶段对微通道热阻均有贡献, 分别为: 传导热阻 $R_{cond} = \frac{1}{k_m} \frac{d}{A}$ 。 γ 是形状因子, 描述热传导的有效厚度, 由冷却器顶部和微通道层高度组成。 $R_{conv} = \frac{1}{hA_{eff}}$, h 为对流热转换系数。 $A_{eff} = N(L \times c + 2 \frac{Tanh(d_c \sqrt{2h/k_m})}{d_c \sqrt{2h/k_m}} L \times d_c)$, 为固体与液体的有效接触面积, 其中 N 为微通道的数量, L 为微通道的长, c 是微通道的宽, d_c 是微通道的深度, k_m 为微通道基体材料的热导率, f 是微通道叶片的宽度。质流热阻 $R_{cap} = \frac{1}{m c_p}$, c_p 为冷却液的定压比热容, $m = \rho c d_c v$, ρ 是冷却液的密度, v 是冷却液的流速。另外, 热量从热沉基体进入微通道叶片时, 热流成漏斗型, 对热流有限制作用, 因此还存在限制热阻 R_{cont} , 即 $R_{cont} = \frac{1}{NL k_m} \ln \frac{1}{\sin[\frac{f}{2(c+f)}]}$ 。

所以, 微通道热沉的总热阻为: $R_T = R_{cond} + R_{conv} + R_{cap} + R_{cont}$

由上分析可知, 微通道热阻大小与微通道密度、深度、宽度、叶片宽度、冷却液压降、冷却液物理性质及热沉材料的物理性质等均有关系。为此, 要获得低热阻的微通道热沉, 必须对微通道热沉结构进行合理设计, 以便达到最好的散热效果; 同时还要兼顾制造的可行性以及制作成本等问题。

2 微通道热沉的制作

铜和硅都是具有良好导热性的热沉材料, 但硅的成本比铜高, 且较小的塑形形变就可导致硅的碎裂, 因此在此选用无氧铜做微通道热沉材料, 另选自来水 (或去离子水) 作冷却液。微通道和叶片宽度均为 $200 \mu m$, 通道深 $350 \mu m$, 多管宽度 $1000 \mu m$ 。首先利用微机械加工方法分别在 $15 \times 15 \times 0.5 mm$ 的高热导率无氧铜上制备出微通道层、导水层、水密封层, 而后对各层表面进行物理抛光、化学抛光、清洗, 并在氮气保护下快速吹干, 然后将各层按图 3 所示方式叠放, 注意各层要严格对齐。而后采用铜直接粘接技术 (DBC) 将其在高温下烧结 2 h, 制成叠层无氧铜微通道热沉。然后再对其分别进行物理、化学抛光, 而后清洗吹干, 最后所得到的微通道热沉尺寸为 $15 \times 15 \times 1.7 mm$ (如图 4)。为了将激光器 bar 条烧结在热沉上, 必须在微

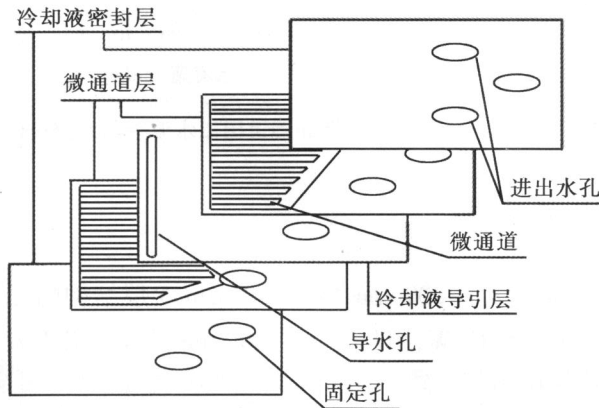


图 3 叠层无氧铜微通道热沉各层结构图

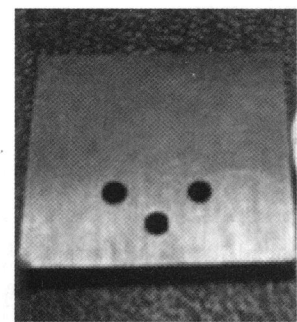


图 4 叠层微通道热沉实物图

通道热沉表面镀上一层焊料。焊料主要起热导和粘结作用, 焊料层的厚度必须适中, 并且焊层表面均匀性要好。焊料可用纯 In 、纯 Sn 、 $Au - Sn$ 或 $Au - Ge$ 易熔合金, 铜的热导率较高为 $82 W/m \cdot K$, 且价格比较便宜性, 因此选用铜作焊料, 采用真空镀膜机在铜热沉表面蒸镀一层约 $10 \mu m$ 厚的铜膜, 所得铜膜表面平整、均匀、

光滑。

3 实验及测试结果

选用腔长 $150\ \mu\text{m}$ 、间隔 $50\ \mu\text{m}$ 、隔离沟道 $10\ \mu\text{m}$ 的 $808\ \text{nm}$ 无铝大功率半导体激光器阵列条,将其扣焊在所制作的热沉上,对激光器 bar 条的光电特性进行测试。测试时用水作冷却液,进口处水温 $20\ ^\circ\text{C}$,进出口水压降 $1.5\ \text{bar}$,水的流量 $50\ \text{cc}/\text{min}$ 。在室温下对器件进行测试,重复频率 $1\ 000\ \text{Hz}$,脉冲宽度 $200\ \mu\text{s}$,占空比 20% 。图 5 和图 6 分别是激光器的 $P-I/V$ 特性曲线和激光光谱,由图 5 可见,当工作电流 $50\ \text{A}$,工作电压 $2\ \text{V}$ 时,激光阈值电流 $11\ \text{A}$,准连续输出功率 $38.5\ \text{W}$,斜率效率 $1\ \text{W}/\text{A}$,光电转换效率为 38.5% 。通过测试,激光器的热功率中心波长漂移为 $0.20\ \text{nm}/\text{W}$,中心波长温漂为 $0.31\ \text{nm}/^\circ\text{C}$,所以无氧铜微通道热沉总热阻为 $0.645\ \text{W}$,具有良好的散热效果。图 6 是激光器的光谱曲线,激光器中心波长为 $807.5\ \text{nm}$,线宽为 $2.5\ \text{nm}$,用该无氧铜微通道热沉冷却半导体激光器可获得较好的光电特性。

实验中,还测试了激光器进出口水温差与水流速的关系,如图 7 所示,横坐标为水流速,纵坐标为进出水口温差。从图 7 中可见,当水的流速为 $10\ \text{cc}/\text{min}$ 时,进出口处水的温差为 $16\ ^\circ\text{C}$,随着微通道内水的流速增大,进出口处水的温差呈抛物线形下降,当水的流速超过 $50\ \text{cc}/\text{min}$ 时,进出口处水的温差趋于稳定,约为 $2\ ^\circ\text{C}$ 。因此,采用微通道热沉冷却大功率半导体激光器,不仅可以有效地散热,而且还能保持热沉表面温度均匀一致,以免引起激光器局部地方热富集,导致激光光谱出现多峰现象,甚至引起激光器局部快速退化,导致激光器突然失效。

图 5 无氧铜微通道热沉冷却单个激光器 bar 条的功率 $P-I/V$ 曲线

图 7 激光器进出口水温差与水流速的关系曲线

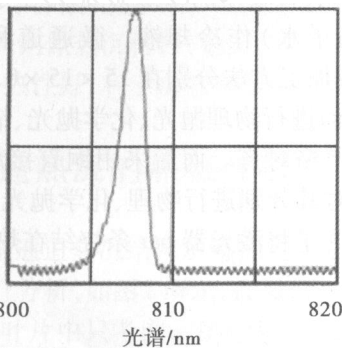
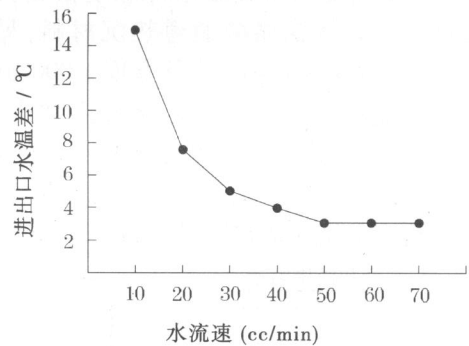


图 6 无氧铜微通道热沉冷却单个激光器 bar 条的光谱曲线



4 结 论

通过对微通道热沉的热流分析,制作了 $d_c = 350\ \mu\text{m}$, $c_c = 200\ \mu\text{m}$, $f_c = 200\ \mu\text{m}$, 5 层结构的无氧铜微通道热沉。通过测试,无氧铜微通道热沉的总热阻为 $0.645\ \text{W}$,用其封装的 $808\ \text{nm}$ 线阵二极管激光器准连续输出功率达 $38.5\ \text{W}$ 。且该热沉的表面温度能够保持均匀一致。如果对其进一步优化设计,可满足 $50\sim 100\ \text{W}$ 的高功率二极管激光器的散热要求。

参考文献:

- [1] BENETT J, FREITAS L, BEACH J, et al Microchannel heatsink for high - average - power laser diode arrays[C]. SPIE, 1992, 453 - 465
- [2] KRAUSE K, TREUSCH G, LOOSEN P, et al Microchannel coolers for high power laser diodes in copper technology[C]. SPIE,

1994, 2148: 351 - 358

- [3] BEACH R, BENETT W, Freitas B, et al Modular microchannel cooled heatsinks for high average power laser diode arrays[C]. IEEE J Quantum Electron, 1992, 28(4): 966 - 976
- [4] LOOSEN P. Cooling and packaging of high - power diode lasers[C]. High - Power Diode Laser, Topics Appl Phys 2000, 289 - 301
- [5] EBERT T. Optimization of microchannel heatsinks for high power diode lasers in copper technology[C]. SPIE, 1998, 24 - 29
- [6] 唐淳, 武德勇. 高占空比、高功率线阵二极管激光器封装技术 [J]. 强激光与粒子束, 2003, 12(5): 544 - 546
- [7] 马杰慧, 方高瞻, 蓝永生. 应用于大功率激光二极管阵列的单片集成微通道制冷热沉 [J]. 半导体学报, 2005, 26(3): 476 - 479

Microchannel heatsink for the heat dissipation of high power semiconductor laser diode arrays

TANG Yu - xia

(School of Computer Science and Information Engineering, Chongqing Technology and Business University, Chongqing, 400067)

Abstract: The thermal resistance of microchannel heatsink is theoretically analyzed. An Oxygen - free copper microchannel heat sink consisting of five copper sheets is designed and fabricated. By testing, the uniformity of the face temperature of the microchannel heatsink is good and the thermal resistance is $0.645 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{W}$. The output power of the high power semiconductor diode laser linear arrays packaged with the microchannel heatsink is 38.5W .

Keyword: semiconductor laser diode arrays; microchannel heatsink; thermal resistance

责任编辑:代晓红

(上接第 53 页)

- [27] MATSUMURA S, BEPPU H, TOSHIMA K. Enzyme - Catalyzed Ring - Opening Polymerization of Four - Membered Lactones: Preparation of Poly(ϵ -propiolactone) and Poly(ϵ -malic acid) [J]. ACS Symposium Series, 1998, 684: 74 - 89
- [28] WAHLBERG J, PERSSON P, OLSSON T, et al. Structural Characterization of a Lipase - catalyzed Copolymerization of ϵ -caprolactone and D, L - lactide [J]. Biomacromolecules, 2006, 4(4): 1068 - 1071
- [29] 孙俊全, 崔立强, 吴兰亭. 乙酰基丙酮络合物催化合成聚乳酸 [J]. 功能高分子学报, 1996, 9(2): 252 - 253
- [30] CHEN H, LI H, ZHAO X. Ring Opening Polymerization of L - lactide Initiated by Creatinine [J]. Biomaterials, 2005, 25(27): 5797 - 5801
- [31] JOSE E, MERCED M, ANTON D M. Ring - opening Polymerization of Lactone Catalyzed by Decamolybdate Anion [J]. Polymer, 2007, 44: 6767 - 6772

Advances in the synthesis by catalysts of biomedical polymers of polylactides

CHEN Ji

(Engineering Research Centre for Waste Oil Recovery Technology and Equipment, Ministry of Education, Chongqing Technology and Business University Chongqing 400067, China)

Abstract: PLA is a well - known biocompatible and biodegradable polymer. In this paper, the advances on selection and use of catalysts for ring - opening polymerization of PLA are reviewed and the future work in this area is also evaluated.

Keywords: PLA; ring - opening polymerization; catalysts

责任编辑:李翠薇