

钎焊工艺的改进及其对激光器性能的影响

王静轩^{1,2}

(1.中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 半导体激光器封装工艺过程对于激光器的输出特性、寿命等性能有重要影响, 其中钎料的选择和焊装工艺是最关键的因素。本文采用磁控溅射的方法, 在 Cu 热沉上制备了 Au80Sn20 合金钎料, 取代了传统的 Pb37Sn63 钎料, 从而对钎焊工艺进行了改进。重点介绍了磁控溅射制备 Au80Sn20 钎料的工艺和激光器的焊装工艺。对比研究了采用 Pb37Sn63 钎料和 Au80Sn20 钎料后激光钎焊的接头强度、输出功率和近场非线性效应。发现采用改进的激光钎焊工艺, 接头的强度、输出功率和近场非线性效应得到很大改善。从而为优化半导体激光器制备工艺和提高半导体激光器的性能奠定基础。

关键词: 封装工艺; Au-Sn 合金; Pb-Sn 合金; 接头强度; 输出功率; 近场非线性效应

中图分类号: TG409; TP391.41 **文献标志码:** B

0 引言

大功率半导体激光器具有较高的电光转化效率, 但是仍会有一部分电功率以热能的方式输出, 随着激光器工作时间的延长, 这部分热能将不断积累, 如果不能将这部分热量及时散掉, 将直接影响激光器的输出功率和使用寿命。因此, 在半导体激光器制备过程中, 通常采用降低激光器热阻、加强热沉与冷却器效率、优化焊装性能等方法有效地将激光器工作时产生的余热及时排出, 由于激光器与热沉之间通过钎料来连接, 钎料的物理特性与焊装可靠性将直接影响激光器性能。以往人们通常选择 Pb-Sn 钎料 (Pb37Sn63),

该钎料具有较低的共晶温度 (183 ℃)、极佳的延展性与润湿性、钎焊性好、耐腐蚀与物理性能较为适宜、价格低廉等优点, 一直以来广泛应用于电子光学封装^[1]。但是铅是有毒重金属, 对人体大脑、神经、肾脏、肝脏等有较大伤害且对环境有较大污染^[2], 铅及铅的化合物已被环境保护机构 (EPA) 列入前 17 种对人体和环境危害最大的化学物质之一。许多欧洲国家已在 2004 年全面禁用了含铅钎料, 欧盟在《关于在电子电器产品设备中禁止使用有害物质指令》中已规定, 自 2006 年 7 月 1 日起, 在欧盟市场上全面禁止销售含有铅等 6 种有毒物质的电子电器设备; 日本也于 2004 年禁止生产或销售使用含铅的电子生产设备。由于铅及含铅钎料将在电子器件中限制使用, 无铅钎料的研发与应用将成为必然趋势。

收稿日期: 2010-05-10

内, 正演模型计算值和试验测量值基本吻合, 绝对误差一般都不超过 0.005 T, 因而说明本文所建立的正演模型在一定范围内具有可靠性。

版社, 2005.

参考文献:

- [1] 程方杰, 单平, 廉金瑞, 等. 铝合金电阻电焊的形核特点[J]. 焊接学报, 2003, 24(2): 35-38.
- [2] Johannes Ruisz, Jurgen Biber and Mario Loipetsberger. Quality evaluation in resistance spot welding by analyzing the weld fingerprint on the metal bands by computer vision[J]. Int. J. Adv. Manuf. Technol., 2007, 33: 952-960.
- [3] 黄卡玛, 赵翔. 电磁场中的逆问题及应用[M]. 北京: 科学出

- [4] 王世莹, 张军, 宋永伦, 等. 电阻点焊电磁环境仿真[J]. 电焊机, 2009, 39(6): 63-65.
- [5] 武佩, 马彦华, 韩宝生, 等. 电阻点焊电磁力的试验分析[J]. 焊接学报, 2006, 27(10): 4-6.
- [6] 王彦飞. 反演问题的计算方法及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [7] 焦其祥. 电磁场与电磁波[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [8] 赵凯华, 陈熙谋. 电磁学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1985.
- [9] 李永平, 张帆. 环形电流的磁场分布[J]. 济南大学学报, 1998, 8(4): 61-64.
- [10] 王竹溪, 郭敦仁. 特殊函数概论[M]. 北京: 科学出版社, 1997.

本文提出采用 Au80Sn20 无铅钎料用于大功率激光器封装, 表 1 给出了 Au80Sn20 钎料与 Pb37Sn63 钎料的物理特性^[3]。由 Au-Sn 合金相图^[4]可以看出, Au80Sn20 合金处于 Au-Sn 二元共晶部位, 共晶点为 280 ℃。本文将着重对 Au-Sn 钎料的制备工艺、钎焊工艺以及封装后激光器的性能进行研究。

表 1 Au-Sn 钎料与 Pb-Sn 钎料的物理特性对比

钎料	熔点 /℃	密度 / $(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	R_m /MPa	A (%)	热胀系数 $\times 10^{-6}/\text{℃}^{-1}$	泊松比	E /GPa	热导率 $[\text{W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}]$
Au80Sn20	280	14.7	275	2	16	0.405	68	57
Pb37Sn63	183	8.4	61	45	24.5	0.35	75.84	50

1 试验

1.1 磁控溅射法制备 Au80Sn20 钎料

在制备 Au80Sn20 钎料前, 需要对 Cu 热沉进行清洗。用丙酮、超声震荡清洗 5 min 左右, 然后用去离子水清洗, 并用氮气吹干。钎料制备过程中分别在 Cu 热沉上交替溅射 Au 层和 Sn 层, 通过摸索 Au 和 Sn 的溅射速率, 并合理控制溅射时间就可以得到整体组分比接近 80:20 的 Au80Sn20 钎料。溅射时靶材的纯度为 99.99%, 溅射前真空系统所能达到的真空度 $>10^{-4}$ Pa, 溅射气体采用纯度为 99.99% 的 Ar。由于磁控溅射装置中放置 Cu 热沉的样品架底部具有加热电阻丝, 因此在完成 Cu 和 Sn 的溅射沉积后, 可以接通样品架的加热电阻丝, 无需将沉积了 Au 和 Sn 合金的热沉移出溅射真空室就可在真空中直接对合金层加热 200~250 ℃, 以实现 Au, Sn 的相互扩散。

1.2 焊装工艺

经过溅射后, 可以在 Cu 热沉表面上得到一小区域的 Au-Sn 合金, 其后工艺就是将激光器管芯压焊到铜热沉上。本试验焊装设备采用的是自行设计、具有调节功能的焊装平台。图 1 为焊装平台的示意图。该焊装平台主要由三维微调平台、电热炉、控制箱、显微镜和探照灯等几部分组成。调节台主要由 3 个微调移动板和 1 个悬臂、1 个吸针组成, 微调移动板可由控制台控制, 实现 x , y , z 3 个方向上的三维移动, 移动精度可达 0.05 mm, 当沿 z 方向向下移动时可以提供压力将激光器管芯压焊到 Cu 热沉上。吸针外接抽气泵, 通过启动控制台吸气按钮, 能够吸附激光器管芯, 同时吸针针头具有一定弹性, 在压管芯时

能缓冲压力而不弄坏管芯。电加热炉也通过控制台上的加热控制按钮控制, 能够升温到 500 ℃, 并能调节保持恒温。热炉上的夹具能够很好地固定热沉。由于激光器管芯很小, 因此配备了探照灯和显微镜, 可以很好地观察钎焊情况。焊装时通以氮气及氢气, 氮气主要用来降低氧气浓度, 而氢气不但能防止氧气进入焊装层中, 还有助焊的作用。

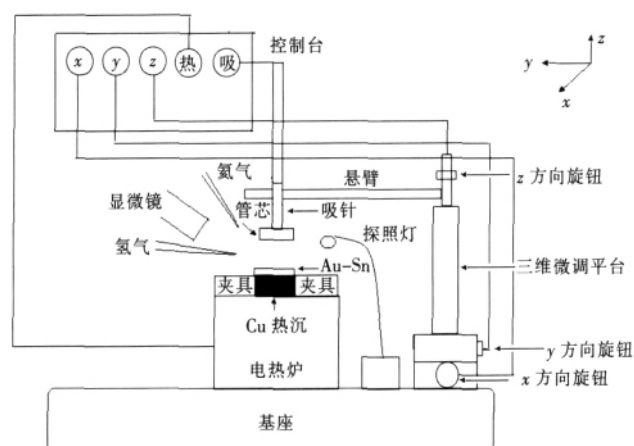


图 1 焊装平台示意图

以下是具体的工艺过程:

- ①先将夹具装到电热炉上。
- ②将管芯吸附到吸管上。吸附时激光器管芯的表面朝下方与热沉进行焊装, 使得发光腔面与热沉间距离缩短, 有利于激光器散热性能的提高。由于管芯很小, 最好用一张白纸垫在下面, 防止管芯掉落时找不着。取放管芯注意不要夹腔面而损坏腔面。先将管芯移动到吸管底下, 调节好显微镜观察, 然后移动吸管, 接近管芯, 打开抽气泵, 管芯便被吸附在吸管上。
- ③接通氮气管和氢气管, 气流量较小, 防止金属加热时氧化。
- ④给电热炉加热。
- ⑤移动吸管, 使管芯正好处在热沉中间, 管芯腔面和热沉端面相切, 然后下移, 使管芯贴在热沉上。
- ⑥关掉电热炉, 自然冷却到室温后将热沉取下。
- ⑦关闭氮气管、氢气管和电源。

1.3 焊装后激光器测试

焊装后, 对钎焊强度、输出光功率、近场非线性效应等进行了测试, 这些测试方法同其他激光器测试方法相同, 在此不详述。为了进行对比研究, 并得到较为准确的数据, 分别对采用 Pb37Sn63 和 Au80Sn20

钎料制备的激光器进行了 15 组试验, 将 15 组试验的平均值作为最终结果予以讨论。

2 试验结果和讨论

2.1 钎料制备工艺的讨论

对于制备 AuSn 钎料, 采用的是磁控溅射的方法, 溅射镀膜的优势就在于其较快的沉积速率。适合于大尺寸基板的整面金属化处理。在沉积过程中还可以通过基板旋转来保证沉积层厚度的一致性, 可以使不同位置膜层厚度偏差在 1% 范围之内。同时, 磁控溅射时还可以进行原位加热, 促进溅射后 Au 层与 Sn 层的扩散, 由于加热过程是在真空中进行的, 避免了钎料的氧化。扩散过程会使钎料微观上变得一致且致密, 有利于钎焊工艺过程中钎料熔融的一致性。

2.2 钎焊工艺的讨论

Ivey 等人对光电子器件封装过程中使用的 AuSn 钎料进行了研究, 发现钎焊时, 首先熔融的 AuSn 在激光器管芯表面通过扩散的方式进行扩散浸润, AuSn 合金内部通过原子共用自由电子的方式进行合金化。Ivey 还发现在钎料与激光器金属镀层间也存在互相扩散的现象。而这一扩散现象将会在焊装完成时在激光器表面形成合金层, 扩散合金层与钎料本身形成的合金互相结合, 从而完成焊装。其中扩散层、激光器管芯和 AuSn 合金层的结构与应力大小决定了整个接头的焊装强度^[5]。本试验中, 通过在 z 方向施加一定压力的方法加速了扩散机制的形成, 使激光器与钎料接触充分、原子键合紧密。并且在加压的过程中, 液态的钎料接触面被不断挤压, 从而削弱了结合面激光器镀层被溶解的现象, 提高了激光器的焊装质量。

2.3 焊装后激光器性能的研究

表 2 给出分别采用 Pb37Sn63 和 Au80Sn20 作为钎料制备的激光器的平均接头强度和平均输出功率。

表 2 采用 Sn63Pb37 和 Au80Sn20 钎料的激光器性能

焊装材料	平均接头强度/MPa	平均输出功率/W
Au80Sn20	47.50	1.030
Pb37Sn63	26.70	0.948

通过对焊装强度的比较, 发现采用 Au80Sn20 合金钎料的接头强度远远高于采用 Pb37Sn63 钎料的接

头强度, 证明 Au80Sn20 合金钎料具有很强的焊装可靠性; 对于激光器输出功率来说, Au80Sn20 合金钎料比 Pb37Sn63 钎料可较好地提高激光器的输出功率。

图 2 和图 3 分别给出了采用 Sn63Pb37 和 Au80Sn20 作为钎料制备的激光器近场非线性效应结果。近场非线性效应主要由 bar 条自身、bar 条与热沉之间的热膨胀系数失配、封装钎料的选择等有关。由图 2 和图 3 可以看出, 采用 Au80Sn20 作钎料可改善近场非线性效应, 得到了较好的激光器近场分布, 基本接近线性。

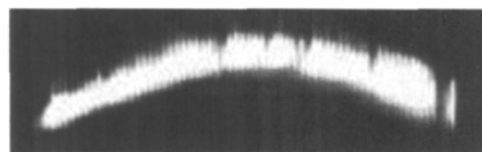


图 2 Pb37Sn63 钎料焊装后, 激光器的近场非线性测试结果

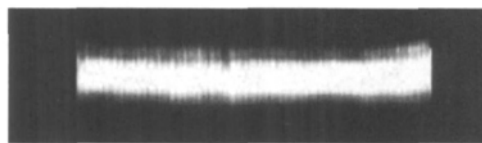


图 3 Au80Sn20 钎料焊装后, 激光器的近场非线性测试结果

3 结论

采用磁控溅射的方法在 Cu 热沉上制备了 Au80Sn20 钎料, 代替了传统的 Pb37Sn63 钎料, 实现了钎料的无铅化, 并利用自行设计的钎焊平台将激光器管芯成功地钎焊到 Cu 热沉上。通过对激光器的性能测试发现, 采用 Au80Sn20 钎料制备的激光器接头强度、输出功率和近场非线性较之采用传统的 Pb37Sn63 钎料制备的激光器有了明显的改善。

参考文献:

- [1] 黄惠珍, 魏秀琴, 周浪. 无铅焊料及其可靠性的研究进展[J]. 电子元件与材料, 2003, 22(4): 39-42.
- [2] Urizar R, Vernier RL. Bismuth Nephropathy[J]. Journal of the American Medical Association, 1996, 198: 187-189.
- [3] 范琳霞, 荆洪阳, 徐连勇. Au80Sn20 无铅钎料的可靠性研究[J]. 电焊机, 2006, 36(11): 14-17.
- [4] 周涛, 汤姆·鲍勃, 马丁·奥德. 金锡焊料及其在电子器件封装领域中的应用[J]. 电子与封装, 2005, 5(8): 5-8.
- [5] Ivey DG. Microstructural characterization of Au/Sn solder for packaging in optoelectronic applications[J]. Micron, 1998, 29(4): 281-287.