

探针扫描法快速测量半导体激光阵列 Smile 效应

贾冠男, 尧舜, 潘飞, 高祥宇, 王智勇

(北京工业大学 激光工程研究院, 北京 100124)

摘要: 为克服传统光学方法测量半导体激光阵列 (LDA) Smile 效应时存在的光学系统搭建精度要求高、测试人员素质要求高、后期数据处理繁杂测量时间长等缺点, 通过用机械接触式台阶仪的探针扫描焊接后 LDA 芯片 N 面的方式, 快速测量 LDA 的 Smile 效应, 并将之与传统光学方法测量的 Smile 效应进行对比。结果表明, 两者形态完全一致, 差别小于 $1\ \mu\text{m}$ 。用台阶仪测量 LDA Smile 效应耗时小于 $1\ \text{min}$ 。此方法能为芯片焊接工艺优化 Smile 效应提供快速反馈, 可方便集成在大批量生产流水线中对 LDA 的 Smile 效应进行实时监测。

关键词: 激光器; 半导体激光阵列; Smile 效应; 光束质量

中图分类号: TN248.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)12-3576-04

Smile effect of laser diode arrays measured by stylus scan method

Jia Guannan, Yao Shun, Pan Fei, Gao Xiangyu, Wang Zhiyong

(Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Traditional optical methods which are used to measure the Smile effect of laser diode arrays (LDA) have problems such as high precision optical system setting up, high operator quality requirements, vast and complex subsequent data processing, long measuring time and so on. In this paper, a new method that scanned the N side of mounted LDA chips with the stylus of a mechanical contacting profiler was proposed to measure the Smile effect of LDA quickly. The measuring result was compared with the Smile effect measured by a traditional optical method. And the comparison indicates that their shapes are uniform and the difference is less than 1 micrometre. Using a profiler to measure the Smile effect of LDA takes little time less than 1 minute. The method can provide feedbacks quickly in chips bonding process to minimize the Smile effect, and can be easily integrated into high production lines to monitor the Smile effect of laser diode arrays in real time.

Key words: lasers; laser diode array; Smile effect; beam quality

收稿日期: 2015-04-07; 修订日期: 2015-05-13

基金项目: 北京市委组织部优秀人才培养计划(2012D005015000005); 北京市教委项目(KM201110005017)

作者简介: 贾冠男(1988-), 男, 博士生, 主要从事大功率半导体激光器封装方面的研究。Email: jiaguannan@emails.bjut.edu.cn

导师简介: 尧舜(1979-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事大功率半导体激光系统集成方面的研究。Email: yaoshun@bjut.edu.cn

0 引言

大功率半导体激光器因其体积小、光电转换效率高、稳定性好等优点,被广泛应用于工业、军事、科研等领域^[1-2]。由于热沉表面平整度、热沉材料与半导体激光阵列(LDA)芯片衬底材料之间热膨胀系数不匹配等原因,导致焊接后 LDA 芯片中各个发光单元在快轴方向上产生微小的位移,引起发光弯曲,这种现象被称为 Smile 效应^[3]。目前,采用优良的焊接工艺,可将 LDA 的 Smile 效应的大小控制在 $1\ \mu\text{m}$ 以内,但当焊接工艺较差时,Smile 效应将高达 $6\ \mu\text{m}$ 甚至更大^[4]。Smile 效应会增加快轴准直镜引起的离轴像差^[5],引起 LDA 光束质量劣化^[6],影响器件寿命与发光的偏振性^[7],对半导体激光器在泵浦固体激光、光纤耦合和外腔线宽窄化等中的应用产生不利影响^[8-10]。因此,在 LDA 芯片焊接过程中对 Smile 效应的测量与控制是十分必要的。

目前常用光学方法测量 LDA 的 Smile 效应,例如近场扫描光学显微镜法^[11]、干涉成像法^[12]、LDA 放大成像法^[12]等。这些方法虽然测量精度较高,但存在一系列缺陷。首先,光学方法对测量装置中光学器件的加工精度和装置的装调精度要求很高,微小的加工误差或装调误差会引起较大的测量误差;其次,光学方法对测试人员的素质要求高,测试人员需要具备一定的专业知识与熟练的操作技能;另外,光学方法需要进行繁杂的后期数据处理,测量时间也很长。由于传统光学方法的上述缺陷,其只能用于实验过程中对 Smile 效应的精确测量,却无法在批量化生产过程中实现对 LDA 芯片焊接 Smile 的实时监测,确保焊接工艺保持正常稳定。而这一问题,正是众多从事 LDA 芯片焊接工艺研究的科研单位和企业高度关注并希望解决的。

文中提出通过机械接触式探针扫描焊接后 LDA 芯片 N 面的方式,利用台阶仪快速测量 LDA 的 Smile 效应。与传统光学方法的测量结果相比,Smile 形态完全一致,Smile 值差别小于 $1\ \mu\text{m}$ 。此方法避免了传统光学方法的上述缺陷,能在焊接完成后 1 min 内完成 Smile 测量,为芯片焊接工艺优化 Smile 效应提供快速反馈,可方便集成在大批量生产流水线中对 LDA 芯片的焊接 Smile 进行实时监测。

1 实验原理及方案

1.1 实验原理

Smile 效应的实质是由于热应力等因素导致 LDA 芯片焊接时发生形变,从而引起各个发光单元在快轴方向上发生位移。LDA 芯片可以看做一个刚体,同时芯片 N 面经过磨抛减薄后表面粗糙度小于 $0.1\ \mu\text{m}$,因此可以用焊接后芯片 N 面的起伏来反映发光单元在快轴方向的位移,即可以利用台阶仪,通过机械接触式探针扫描芯片 N 面的方式,测量 LDA 的 Smile 效应。

台阶仪测量原理见图 1。尖端直径 $2.5\ \mu\text{m}$ 的探针(Stylus)在样品表面扫描时,随着样品表面的起伏变化,探针绕着弹性轴承转动,从而使反射镜(Mirror)的角度变化,最终导致经反射镜反射后打在光电探测器(Photo detector)上的激光光斑的位置发生变化。光斑位置的变化会引起光电探测器上电压的变化,而该变化经过模数转换后就能重现样品的形变。

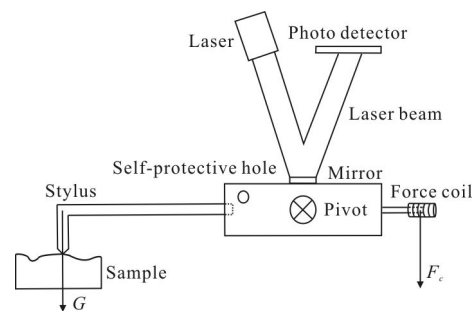


图 1 台阶仪测量原理图

Fig.1 Schematic diagram of profiler measuring

1.2 实验方案

实验首先采用美国 KLA-TENCOR 公司生产的 AlphaStep D-100 台阶仪扫描焊接后 LDA 芯片的 N 面,测量其 Smile 效应,然后采用光学方法测量 LDA 的 Smile 效应,并与台阶仪的测量结果进行对比。

将完成焊接的 LDA 器件放置于 AlphaStep D-100 台阶仪的测量平台上,选取其芯片 N 面上靠近前腔面的区域,用台阶仪的探针沿慢轴方向扫描整个 LDA 芯片的 N 面,测量 Smile 效应。扫描时调整器件放置的位置使扫描线路尽可能与芯片前腔面平行。AlphaStep D-100 台阶仪的测量精度为 $0.01\ \mu\text{m}$ 。

光学方法测量 LDA Smile 效应的测量装置示意图如图 2 所示。快轴准直后的 LDA 光束首先经过 1 个平凸柱透镜对慢轴光束进行压缩, 然后被聚焦镜聚焦至装有衰减片的 6.45 μm/pixel 的 CCD 相机上。实验中采用的快轴准直镜(FAC)焦距为 600 μm, 准直后快轴发散角小于 3 mrad; 聚焦镜焦距为 250 mm。

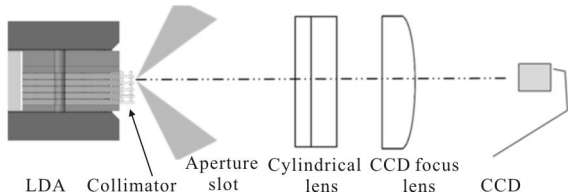


图 2 LDA Smile 测量装置示意图

Fig.2 Principle setup for measuring LDA Smile

LDA 上各个发光单元偏离快轴准直镜中心的距离 Δy_n 、快轴准直镜焦距 f_{FAC} 、各个发光单元准直后指向角 δ_n 之间有如下关系^[13]:

$$\delta_n = \Delta y_n / f_{FAC} \quad (1)$$

CCD 上各个光斑质心偏离中心位置的距离 ΔY_n 、聚焦镜焦距 f 、各个发光单元准直后指向角 δ_n 之间的关系, 可根据几何光学近似描述为:

$$\delta_n = \Delta Y_n / f \quad (2)$$

根据 Smile 的定义以及公式(1)、(2)可知, LDA 的 Smile 值 Δy 和 CCD 成像的 Smile 值 ΔY 之间的关系为:

$$\Delta y = f_{FAC} / f \cdot \Delta Y \quad (3)$$

利用 Matlab 软件, 先将 CCD 图片信息转换成灰度数据, 进行归一化处理再求取各个发光单元质心。计算公式^[14]如下:

$$x_c = \frac{\sum_{x=i}^m \sum_{y=j}^n F(x,y)x}{\sum_{x=i}^m \sum_{y=j}^n F(x,y)} \quad (4)$$

$$y_c = \frac{\sum_{x=i}^m \sum_{y=j}^n F(x,y)y}{\sum_{x=i}^m \sum_{y=j}^n F(x,y)} \quad (5)$$

式中: x_c 和 y_c 为光斑质心的行坐标和列坐标; x 和 y 为各个像素点的行坐标和列坐标; m 和 n 为各个发光单元光斑所占的行和列的范围; $F(x,y)$ 表示各个像素点对应的强度值。由光斑质心坐标和 CCD 的像素尺寸可以计算出 CCD 成像后的 Smile 值 ΔY , 再根据公式(3)即可计算出 LDA 的 Smile 值 Δy 。

2 实验结果及分析

2.1 实验结果

分别用台阶仪和光学方法测量了 16 个用 In 焊料封装的 LDA 器件的 Smile 效应, Smile 值的对比结果及差值如图 3(a)、(b)所示。对比了 16 个 LDA 器件的台阶仪及光学方法测量 Smile 形态、CCD 拍摄 LDA 光斑形态, 三者完全一致。任取 3 个器件, 对比结果如图 4(a)~(c)所示。

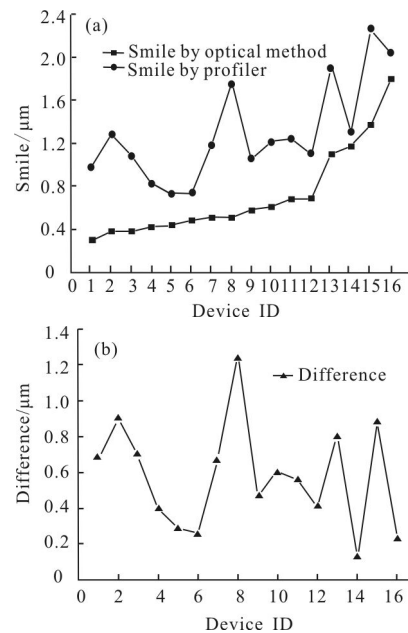


图 3 16 个 LDA 器件台阶仪测量和光学方法测量 Smile 值对比

Fig.3 Comparison between Smile by profiler and optical method of 16 LDA devices

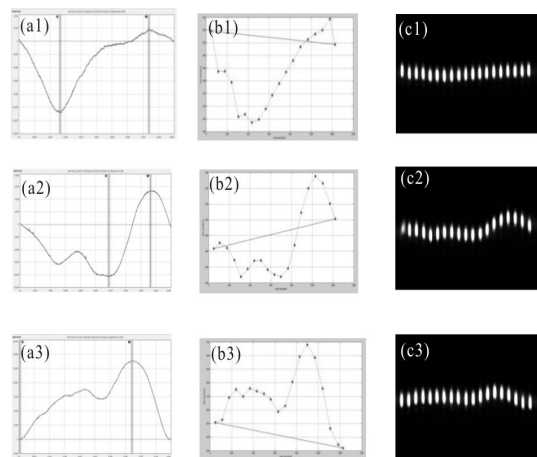


图 4 台阶仪及光学方法测量 Smile 形态、CCD 拍摄 LDA 光斑图对比

Fig.4 Comparison among Smile profile by profiler, optical method and LDA beam spot shape by CCD

2.2 分析讨论

据图 3 可知,用台阶仪测量的 Smile 值与用光学方法测量的 Smile 值十分接近。在测量的 16 组对比数据中,只有 1 组数据差值为 $1.3\ \mu\text{m}$,其余 15 组数据的差值全部小于 $1\ \mu\text{m}$ 。两种方法测量结果存在差别的主要原因是 FAC 加工及安装精度、CCD 分辨率、光学系统装配精度等因素导致用光学方法测得的 Smile 值与 LDA 实际 Smile 值之间存在一定误差。

在大批量工程生产中,并不关心每个 LDA 的精确 Smile 值,而是需要十分快速地测量出每个 LDA 的近似 Smile 值,并对各个 LDA 的 Smile 值进行横向比较,从而达到对批量焊接中 LDA 的 Smile 值进行实时监测的目的,以便在 Smile 值出现异常时能够及时反应。这对于大批量工程生产中保证 LDA 芯片焊接工艺稳定性、提高成品率有着十分重要的意义。传统光学方法的测量结果虽然精确,但其测量速度慢,无法满足工程生产的要求。上述实验表明,用台阶仪测量 LDA Smile 效应的测量精度完全能够满足工程生产的要求,而且该方法简便快捷,可在 LDA 焊接完成后 1 min 内获得测量结果,方便集成在大批量生产流水线中对 LDA 的焊接 Smile 进行实时监测。

由图 4 可以看出,用台阶仪测量的 Smile 形态与用光学方法测量的 Smile 形态以及 CCD 拍摄的 LDA 光斑形态完全吻合,即用台阶仪可以测量 LDA Smile 的精确形态。这种能够快速获得每个器件的 Smile 形态的方法,可以在分析 Smile 工艺问题时为研究人员提供及时反馈,指导其有针对性地开展降低 Smile 效应的焊接工艺实验。

3 结 论

通过机械接触式探针扫描 LDA 芯片 N 面的方式,利用台阶仪快速测量焊接后 LDA Smile 效应,并与传统光学方法的测量结果进行对比。结果表明,两种方法所测 Smile 形态完全一致,Smile 值差别小于 $1\ \mu\text{m}$ 。台阶仪测量 LDA Smile 效应的方法操作简便,焊接完成后 1 min 内即可获得测量结果,能在工艺人员优化 Smile 过程中提供快速反馈,可以方便集成在大批量生产流水线中对 LDA 芯片的焊接 Smile 进行实时监测,保证焊接工艺稳定性、提高成品率。

参考文献:

- [1] Andre Timmermann, Jens Meinschien, Perter Bruns, et al. Next generation high-brightness diode laser offer new industrial applications[C]// SPIE, 2008, 6876: 68760U.
- [2] Ma Xiaoyu, Wang Jun, Liu Suping. Present situation of investigations and applications in high power semiconductor lasers [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(2): 189-194. (in Chinese)
- [3] Wang Xiangpeng, Li Zaijin, Liu Yun, et al. Smile effect and package technique for diode laser arrays [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2010, 18(3): 552-557. (in Chinese)
- [4] Li Yi, Zheng Gang, Lei Jun, et al. Relation between smile effect and packaging of laser diode arrays [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2014, 26(3): 031004. (in Chinese)
- [5] Shi Guanghui. Improved method for semiconductor laser coupling[J]. *Chinese Optics*, 2013, 6(3): 343-351. (in Chinese)
- [6] Bachmann F, Loosen P, Poprawe R. High-power Diode Laser[M]. Berlin: Springer Verlag, 2007: 40-45, 131-135.
- [7] Su Zhouping, Lou Qiheng, Dong Jingxing, et al. Beam quality improvement of laser diode array by using off-axis external cavity[J]. *Opt Express*, 2007, 15(19): 11776-11780.
- [8] Talbot C L, Friese M E J, Wang D, et al. Linewidth reduction in a large-Smile laser diode array [J]. *Appl Opt*, 2005, 44(29): 6264-6268.
- [9] Li Yuandong, Wu Yongfu, Hu Meng, et al. Influencing factors on spectral linewidth of external cavity laser [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2014, 43(1): 94-97. (in Chinese)
- [10] Hu Liming, Zhu Hongbo, Wang Lijun. High-brightness pumping module of fiber coupled diode laser [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(2): 361-365. (in Chinese)
- [11] Herzog W D, Unlu M S, Godlaerg B B, et al. Beam divergence and waist measurements of laser diodes by near-field scanning optical microscopy[J]. *Appl Phys Lett*, 1997, 70(6): 688-690.
- [12] Mart L, Ramos J A, Mart R A. Interferometric method for characterizing the Smile of laser diode bars [J]. *Optics Communications*, 2007, 275: 359-371.
- [13] Roehner M, Muentz H, Schroeder O, et al. Characterization device for diode-laser-stack beam propagation[C]//SPIE, 2003, 4932: 608-614.
- [14] Wang Wei, Chen Huaixin. New method for centroid detecting of focal spot based on optimizing detecting window[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2006, 18(8): 1249-1252. (in Chinese)