

· 激光应用 ·

薄膜太阳能电池导电膜激光精密切割的实验研究^{**}王宏杰^{**}, 程 化, 王玲丽, 万从尚, 戴嘉骏, 吕福云

(南开大学物理科学学院, 天津 300071)

摘要:通过改善激光谐振腔的参数,实现了高亮度激光输出;利用该激光束,对薄膜太阳能电池的导电膜进行了切割试验。合理地控制激光移动速度、焦点位置和抽运源工作电流等参数,使激光切割缝宽最终小于 40 μm,满足了薄膜太阳能电池制作工艺的要求。

关键词:谐振腔; 光斑直径; 高亮度; 切割缝宽

中图分类号: TN249 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2007)02-0228-03

Experimental Research of Precisely Incising the Electric Film of Thin-film Solar Cell by Laser

WANG Hong-jie^{**}, CHENG Hua, WANG Ling-li, WAN Cong-shang, DAI Jia-jun,

LU Fu-yun

(Institute of Physics, Nankai University, Tianjin 300071, China)

Abstract: By altering the parameters of laser resonator, the high brightness laser was obtained and applied to incise the electric film of the thin-film solar cell. Through reasonably controlling the moving velocity, the focus location of the beam and the driving current of pumping etc, the incised widths were ultimately less than 40 μm, and met the precision of facture technology of the thin-film solar cell.

Key words: resonator; beam diameter; high brightness; width incised

1 引 言

随着激光技术的发展, Nd: YAG 固体激光器的功率、光束质量都得到了提高^[1,2], 因此被广泛地应用于激光加工中。利用激光对薄膜太阳能电池导电膜的切割, 由于导电膜厚度为 20 μm, 从电池制作工艺, 激光切割缝宽最好能控制在 40 μm 以下, 而目前激光切割机的精度一般只有 50 μm, 实际切割此类薄膜时的缝宽约为 70 μm 左右。这主要由于一般的激光切割机采用多模激光作光源, 光斑直径不能聚焦得很小。因此, 研究一种简便可行的实现高亮度激光输出技术具有广泛的实际应用意义。本文通过改进谐振腔的参数, 使输出的激光光斑直径尽量小, 在保证输出激光为基模和不损失较大功率的前提下, 实现了高亮度激光输出。同时, 利用该激光束对薄膜太阳能电池的导电膜进行切割实验, 切割缝宽小于了 40 μm, 满足了薄膜太阳能电池制作工艺的要求^[3]。

2 谐振腔设计和激光参数测量

2.1 光斑直径与腔长关系的分析

在激光器的设计中, 依据光学谐振腔的图解分析与设

计方法推导出输出激光的光斑直径 ω 近似与谐振腔的有效腔长 d 成反比^[4], 即

$$\omega \sim \frac{1}{d} \quad (1)$$

可见, 在同一腔型中, 随着谐振腔的加长, 输出的激光光斑直径将会变小。所以, 要得到高亮度的激光输出, 在满足工艺所要求的高功率的同时, 应该尽量加大腔长, 使输出的激光能量更集中在光束轴线周围^[5]。

2.2 抽运方式的选择

分别采用了普通 Kr 灯抽运和 LD 阵列侧向对称式抽运 2 种方式, 并做了对比实验。将一直径为 1 mm 的小孔固定在二维 X-Y 精密平移台上, 连同激光功率计一起每次平移 1 mm, 用 LP-3C 激光功率计测出激光经平行扩束后(扩束 3 倍)光斑内相对功率密度分布情况。实验及测试装置如图 1、图 2 所示, 其中 Q 是声光调制器, M₁ 是全反镜, M₂ 是输出镜。

在近似相同的腔长和输出功率下, 实际测到 Kr 灯抽运和 LD 抽运时的平均光斑直径分别为 2.33 mm 和 1.25 mm, 即 LD 抽运的激光光斑直径明显小于 Kr 灯抽运时的光斑直径。

* 收稿日期: 2005-11-14 修订日期: 2006-04-10

** E-mail: wang_hj@nankai.edu.cn

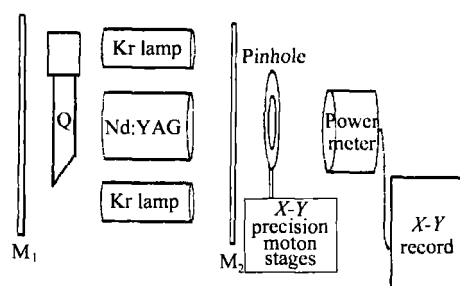


图1 Kr灯抽运时的测试装置图

Fig.1 Measuring setup by Kr pump

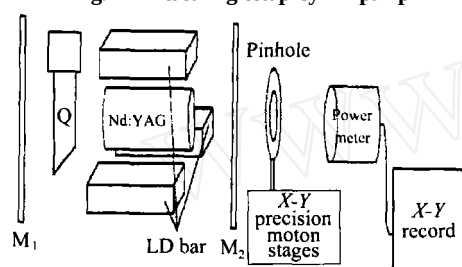


图2 LD抽运时的测试装置图

Fig.2 Measuring setup by LD pump

另外,在LD抽运方式下,是将3个LD阵列在同一圆周上分别相隔120°放置,对称地对其轴线上的Nd:YAG激光棒进行侧向抽运。在此选取短腔长为35.4 cm、长腔长为57.9 cm, Nd:YAG激光棒掺杂浓度为1.2 atom%;尺寸为 $\Phi 4\text{ mm} \times 80\text{ mm}$ 。按照上述同样方法进行测试,测到的相对功率密度分布曲线如图3所示。

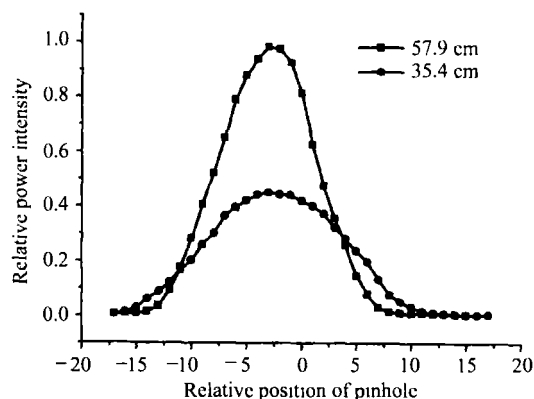


图3 激光相对功率分布

Fig.3 Relative power distribution

从图3可以看出:随着腔长的加长,激光输出功率略有下降;但是,光斑直径明显变小,激光功率密度变大,也就是激光能量更集中在光斑中心,呈现标准的高斯分布,其形成高亮度激光输出,这一结果与前面的理论分析是一致的。

3 激光精密切割的结果及分析

将本实验室的激光切割机按照上述要求进行了相应的

改造,使其以高亮度的激光作为光源,并合理选取光束移动速度、焦点位置和工作电流,对薄膜太阳能电池导电膜进行精密切割,结果如图4所示。

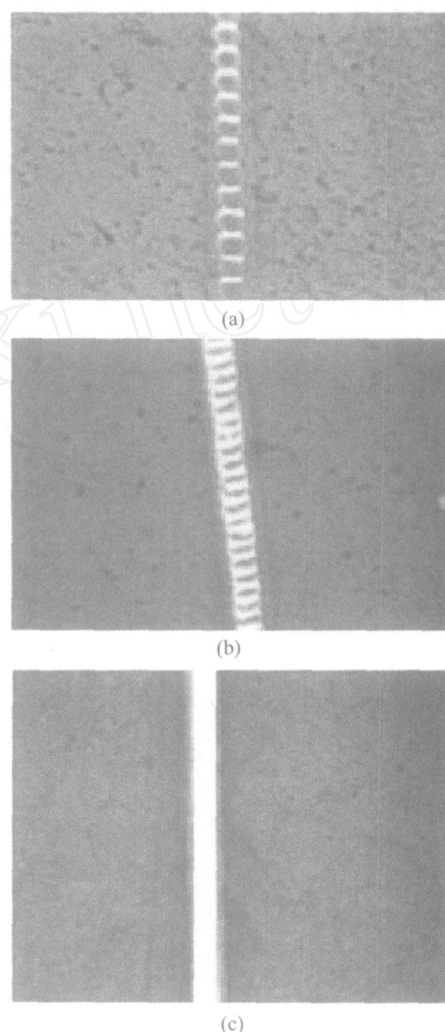


图4 激光切割结果

Fig.4 Laser etching results

图4(a)是相对速度为60 mm/s时的切割结果,切割后的条纹由一系列相连的椭圆形熔迹组成。这是由于相对移动速度太时光斑不重叠的结果。另外,脉冲能量没有被导电膜充分吸收,以至于气化过程非常不稳定。实际过程中,一个脉冲产生的能量沿正方向传递时遇到下一个脉冲产生的反方向传递的能量,于是在相交的地方产生痕迹;而且在垂直于相对运动的方向上,脉冲能量却有充足的时间被吸收,气化的过程比较充分。所以,每个脉冲刻蚀产生的痕迹近似是一椭圆形。

图4(b)是相对速度为45 mm/s时切割结果,相对速度减慢时,切割效果有所好转。

图4(c)是相对速度为30 mm/s时切割结果,每个激光脉冲依次相连,能量被充分吸收,使导电膜发生均匀气化,刻蚀出的条纹变得连贯、均匀,并且边缘呈直线状,刻蚀效果比较理想。在金相显微镜下,测得切割出的导电膜平均缝宽为 $38 \pm 2\text{ }\mu\text{m}$,基本满足了薄膜太阳能电池的制作要求,为其工艺的改善和

质量提高创造了条件。

4 结 论

经理论分析和试验验证,合理地选择谐振腔参数和抽运方式是实现激光高亮度输出的简易方法之一。采用高亮度激光作光源,对薄膜太阳能电池导电膜进行精密切割,其切割的最小缝宽为 $38 \pm 2 \mu\text{m}$ 。

试验所用样品由南开大学光电子薄膜器件与技术研究所提供。在此,对该研究所的耿新华研究员、张德坤和侯国付老师所给予的大力支持和对试验方案的有益指导表示由衷地感谢!

本项目获南开大学第 3 届本科生创新项目基金资助。

参考文献:

- [1] YANG Yang, XU De-gang, YAO Jiarquan. Experimental research of an all-solid-state high power 1 064 nm composite

Nd:YAG laser[J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子 · 激光), 2006, 17(2): 171-174. (in Chinese)

- [2] YANG Cheng-wei, HUO Yurjing, HE Shufang, et al. LD pumped Nd:YAG ceramic laser[J]. Journal of Optoelectronics · Laser (光电子 · 激光), 2004, 15(7): 787-789. (in Chinese)
- [3] DU Yong-chao, WANG Jing-xiao, SUN Yanzheng. Application of laser technique in the field of solar cell[J]. Laser Product World, 2003, 6: 37-40. (in Chinese)
- [4] ZHANG Guang-yin, GUO Shu-guang. Graphic analysis and design method of optical resonator[M]. Beijing: National Defence Industry Public, 2003. 35-49. (in Chinese)
- [5] ZHANG Guang-yin, JIAO Zhi-yong, YAN Chai-fan, et al. Selection of resonator of high power and high brightness solid state laser[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2003, 15(5): 424-426. (in Chinese)

作者简介:

王宏杰 (1959 -), 男, 高级工程师, 从事光电子激光实验教学和科研。