

doi :10.3969/j.issn.1009-671X.2011.12.001

激光火工品反射特性的高精度自动测试

曹军胜

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

摘 要: 激光火工品光窗口的反射特性是激光点火系统光路连续性检测的基础. 文中针对目前激光火工品反射率测试精度低、速度慢等缺点,采用光分路方法和低功率窄脉冲测试技术研制出一种激光火工品反射率自动测试系统,该系统具有高安全性、高精度、高稳定度等特点,并能大幅度提高测试效率,对激光火工品的生产和应用具有重要意义.

关键词: 激光点火;激光火工品;光窗口;反射率

中图分类号:TN248 文献标志码:A 文章编号:1009-671X(2011)12-0001-04

High-precision automatic test for laser initiators

CAO Junsheng

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: The reflectivity of laser initiators' optical windows is the basis of the optical continuity test for laser ignition system. In order to overcome the shortcomings of the current method to test the reflectivity of the optical windows such as low accuracy and slowness of laser ignition's reflectivity test, an automatic test system with high security, high-precision and high stability was developed using optical splitter method and low-power narrow-pulse test technology. This system can significantly improve test efficiency and it will have an important for both production and application of laser initiators.

Keywords: laser ignition; laser initiators; optical windows; reflectivity

半导体激光器因其体积小、重量轻、效率高、成本低等优点已经在工业、医疗、通信、军事等各个领域获得了广泛应用^[1-10].例如,半导体激光器作为一种新型点火光源已越来越受到航空、航天、武器系统等高可靠应用领域的重视,实用型激光火工品的发展非常迅速^[11].目前激光火工品光窗口的反射特性是激光点火系统光路连续性检测的基础,光窗口反射率的一致性又是激光火工品工程化应用的关键,因此,激光起爆器光窗口反射率的准确测量对于激光火工品的生产和应用具有重要意义.

目前激光火工品反射率的测量仍采用人工方法,即用一定功率和波长的光通过光纤照射于激光火工品光窗口,然后测量反射光的功率,将反射光功率与入射光功率相除获得被测激光火工品的反射率.该方法简单、直观,但存在以下显著缺点:1)测

量精度低.受测量安全性的制约,入射光功率必须远低于激光起爆器的点火阈值,反射光更是仅为入射光功率的几十分之一.低功率入射光和反射光的测量受光源稳定性、光功率计精度以及测量过程中的人为因素影响,测量精度很难提高,测量结果重复性差;2)测量效率低.从光功率测量到反射率计算均为人工方法,过程繁琐,效率低.

文中介绍一种用于测量激光火工品光窗口反射率的自动测量仪器,能够克服目前人工测量方法的缺点,实现测量的准确性、安全性和高效性.

1 原 理

图 1 为目前人工方法测量激光火工品光窗口反射率的示意图,所需设备和材料包括光源、双光纤光

收稿日期:2011-09-16.

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金资助项目(61006054),吉林省自然科学基金资助项目(Y1433UM110).

作者简介:曹军胜(1978-),男,副研究员,主要研究方向:半导体激光器的应用、半导体激光器的可靠性,E-mail:caojsh@jlu.edu.cn.

缆、光功率计以及被测火工品。用光功率计测出光源功率 P_0 和反射光功率 P_1 ，则反射率为 $\frac{P_1}{P_0} \times 100\%$ 。图 2 为测试光缆与光窗口的界面。图 2(a)中，测试光缆的双芯插头通过陶瓷套管与激光火工品的光窗口（双格林透镜）同轴对接；图 2(b)为光窗口中的光路原理；图 2(c)为测试光缆双芯插头的截面。

如引言中所述，这种测试方法受光源稳定性、光功率计精度以及测量过程中的人为因素影响（如分别测试 P_0 、 P_1 时光路接插件产生的误差），测量精度很难提高，测量结果重复性差。

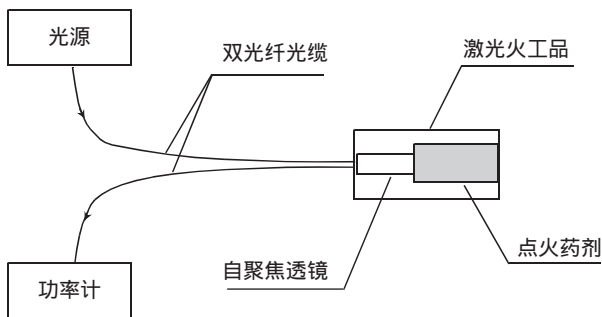
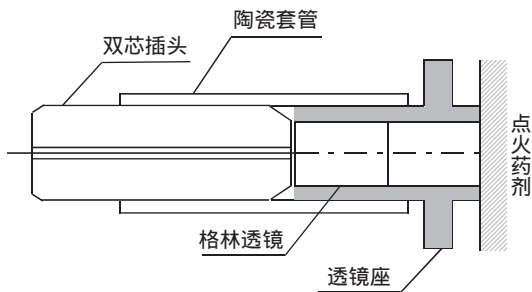
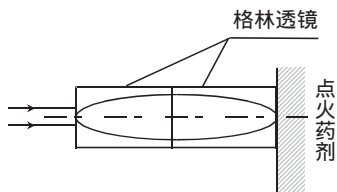


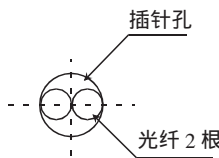
图 1 激光火工品光窗口测试



(a) 双芯插头与格林透镜同轴对接



(b) 格林透镜中的光路



(c) 双芯插头截面

图 2 激光火工品光窗口

文中提出的改进方法的关键是采用光分路方法与低功率、窄脉冲测试技术，测试光路原理如图 3 所示。脉冲光源产生功率为 P_0 的矩形单脉冲光，经光分路器分为 αP_0 与 $(1-\alpha)P_0$ 2 路，其中 $(1-\alpha)P_0$ 分量由光探测器 1 转换为电压信号 V_1 ，设光探测器 1 的光电转换系数为 A ，则 $V_1=A(1-\alpha)P_0$ ；光分路器的另一路即 αP_0 分量经火工品光窗口反射后输入光探测器 2，设反射率为 β ，光探测器 2 的光电转换系数为 B ，则光探测器 2 的输出电压 $V_2=B\alpha P_0\beta$ 。测出 V_1 、 V_2 后，可据此计算出光窗口的反射率 $\beta=\frac{A}{B}(1-\alpha)\frac{V_2}{V_1}$ 。对于给定的系统 A 、 B 、 α 均为常数，因此反射率只与 V_1 、 V_2 的比值有关。为简单起见，光探测器 1、2 可选择相同的单元，为了将其输入光功率控制在合适的动态范围，可将光分路器的分光比选择为接近光窗口反射率的数值。例如，某个型号激光火工品的光窗口反射率设计值为 5%，则可将光分路器的 α 值定为 0.95。

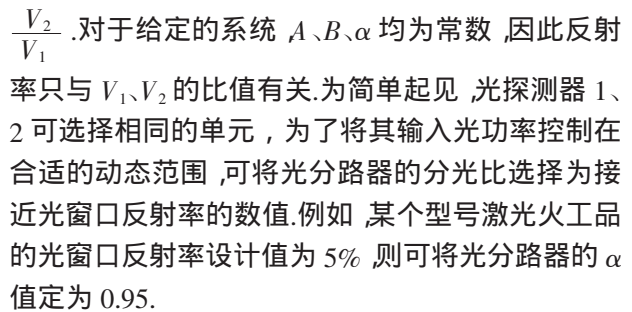


图 3 改进测试方法光路原理

2 测试系统设计

根据改进方法设计的自动测试系统如图 4 所示，包括控制部分与光路部分，其中光路部分对应图 3 所示的原理图，由激光器、光分路器、被测火工品以及 2 路光探测器组成；控制部分包括激光器驱动电流源、微控制器、多通道 A/D 转换器、D/A 转换器以及按键和 LCD 显示器等。该系统工作原理为：微控制器通过 D/A 转换器、压控电流源为激光器提供矩形单脉冲驱动电流，在激光器单脉冲工作期间通过多路 A/D 转换器检测 2 路光探测器的输出电压，并由此计算被测激光火工品的光窗口反射率。

如前所述，对于给定的系统，反射率仅与 2 路光探测器输出电压的比值有关，但比例系数需要精确调整。为确定该比例系数，本系统设计了一种软件校正的方法，前提是需要一个已知反射率的“标准样品”。执行校准功能时，将标准样品接入测试系统，测量 2 路光探测器的输出电压并计算其比值，然后将该比值与标准样品的反射率进行比例映射，并保存

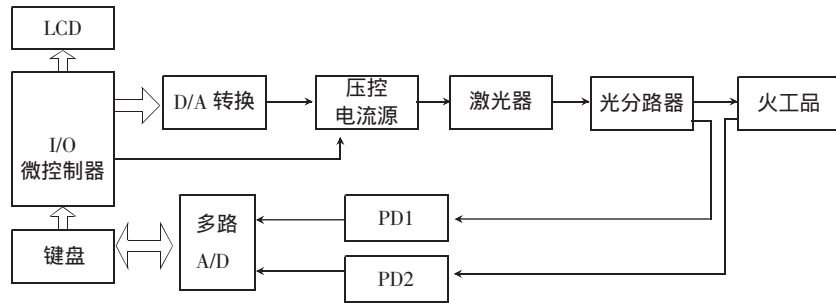


图 4 测试系统结构

映射系数, 这样, 当测量其他样品时, 根据实测比值和该映射系数即可计算出被测样品的真实反射率。

本系统采用 12 位 A/D 转换器, 反射率测量值保留小数点后 2 位, 如 5.01%, 激光器波长 808 nm; 测量时输出功率 60 μ W, 单次测量时间 20 ms。

3 测试结果

利用本系统对部分激光火工品样品进行了测试, 验证了本系统安全性高、运行稳定、测试结果重复性良好等优点。

1) 连续工作稳定性试验。将某样品接入测试系统, 系统工作在“重复测量模式”下, 测量频率 1 次/s。测试初始值为 5.02%, 连续工作 8 h 后测试值为 5.00%, 漂移量为 -0.02%。

2) 测试光缆与主机间的插拔试验。测试光缆(即图 1 中的双光纤光缆)用来连接测试系统主机和被测火工品。本试验内容为: 将被测火工品接入系统后, 分别多次插拔测试光缆与主机连接的 2 个 FC 接头, 观察测试结果重复性。测试结果见表 1、2。

表 1 反射光路 FC 接头插拔试验结果

FC 接头插拔次数	反射率/%
初始值	4.90
1	4.91
2	4.91
3	4.92
4	4.91
5	4.92
6	4.92
7	4.92
8	4.92
9	4.93
10	4.93

表 2 出射光路 FC 接头插拔试验结果

FC 接头插拔次数	反射率/%
初始值	4.92
1	4.92
2	4.92
3	4.92
4	4.91
5	4.91
6	4.92
7	4.92
8	4.91
9	4.92
10	4.91

表 1 中最小值 4.90%, 最大值 4.93%; 表 2 中最小值 4.91%, 最大值 4.92%。可见, FC 接头的插拔误差一般不超过 0.03%, 能够满足工程化应用的要求。

3) 被测火工品与测试光缆间的插拔试验, 结果见表 3、4。

表 3 火工样品 1 插拔试验结果

火工品插拔次数	反射率/%
初始值	5.00
1	4.97
2	4.96
3	4.96
4	4.96
5	4.96
6	4.95
7	4.90
8	4.99
9	5.08
10	4.90

表 4 火工样品 2 插拔试验结果

火工品插拔次数	反射率/%
初始值	7.25
1	7.25
2	7.30
3	7.33
4	7.32
5	7.28
6	7.34
7	7.35
8	7.30
9	7.29
10	7.30

样品 1 的测试结果中,最小值 4.90%,最大值 5.08% 样品 2 的测试结果中,最小值 7.25%,最大值 7.35%。可见,火工品的插拔误差远高于系统漂移以及 FC 接头插拔带来的误差。激光火工品作为非标器件,其工艺水平仍有待进一步提高。

4) 单次测量过程中,照射到激光火工品表面的光功率为 $60 \mu\text{W}$,照射时间 20 ms,单脉冲能量 $1.2 \mu\text{J}$,比被测激光火工品的点火阈值能量(10mJ)低约 4 个数量级,因此安全裕度很高。

4 结束语

本测试系统改进了目前人工测试激光火工品光窗口反射率的不足,主要优点总结如下:1)测试简便、快速,只需在测试光缆上接入被测样品,其反射率可在瞬间测得。2)安全性高,每次测试只需 1 个激光窄脉冲,其能量远小于火工品的点火阈值。3)测试精度高,每次测试仅需 1 个激光脉冲,对激光器的

长期稳定性要求低,2 路探测器完全相同,抗共模干扰(如温漂)能力强。4)测试结果重复性好,影响测试重复性的主要因素是激光火工品与测试光缆的插拔一致性,这需要进一步提高激光火工品的工艺水平。

本系统的成功研制大幅度提高了激光火工品光窗口特性测试的精度和效率,对激光点火技术的工程化应用具有重要意义。本系统可广泛应用于激光火工品的生产和应用。

参考文献:

- [1] 王祥鹏,梁雪梅,李再金,等. 880 nm 半导体激光器列阵及光纤耦合模块[J]. 光学精密工程, 2010, 18(5): 1021-1027.
- [2] 李再金,胡黎明,王焯,等. 808 nm 含铝半导体激光器的腔面镀膜[J]. 光学精密工程, 2010, 18(6): 1258-1263.
- [3] 李毅,黄毅泽,王海方,等. 980 nm 半导体激光器双布拉格光纤光栅波长锁定器 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(7): 1468-1475.
- [4] 王焯,张岩,秦莉,等. 高功率半导体激光器列阵封装引入应变的测量[J]. 光学精密工程, 2010, 18(9): 1951-1958.
- [5] 王祥鹏,李再金,刘云,等. 半导体激光器列阵的 smile 效应与封装技术[J]. 光学精密工程, 2010, 18(3): 552-557.
- [6] 陈洪芳,钟志,丁雪梅. 激光外差干涉的非线性误差补偿 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(5): 1043-1047.
- [7] 丛梦龙,李黎,崔艳松. 控制半导体激光器的高稳定度数字化驱动电源的设计 [J]. 光学精密工程, 2010, 18(7): 1629-1636.
- [8] 冯志庆,白兰,张增宝. 高能激光反射镜热变形补偿[J]. 光学精密工程, 2010, 18(8): 1781-1787.
- [9] 王建军,张沛露,李岩. 激光告警内场仿真试验系统的设计[J]. 光学精密工程, 2010, 18(9): 1936-1942.
- [10] 郑祺峰,杨慎华,邓春萍,等. 应用 Nd:YAG 激光加工连杆初始裂解槽[J]. 光学精密工程, 2010, 18(1): 142-148.
- [11] 胡艳,沈瑞琪,叶迎华. 激光点火技术的发展[J]. 含能材料, 2000, 8(3): 141-143.