

ICS 11.040.01

CCS L 51



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—2026

深紫外全固态激光器主要性能参数 测试方法

Testing method for main performance parameters of deep ultraviolet
solid-state lasers

(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测试条件	2
4.1 环境条件	2
4.2 激光器预热与稳定	2
4.3 光路调试要求	2
4.4 安全防护	2
5 测试设备	2
6 测试项目与测试方法	3
6.1 波长及光谱特性测试	3
6.2 连续波输出功率测试	3
6.3 脉冲激光参数测试	3
6.4 光束质量测试	4
6.5 功率不稳定性测试	4
6.6 电光转换效率测试	4
6.7 偏振度测试	5
7 数据处理与结果评定	5
7.1 数据异常值剔除	5
7.2 平均值计算	5
7.3 标准偏差计算	5
7.4 结果评定规则	5
8 测试报告	6

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

深紫外全固态激光器主要性能参数测试方法

1 范围

本文件规定了深紫外全固态激光器主要性能参数测试的测试条件、测试设备、测试项目与测试方法、数据处理与结果评定、测试报告。

本文件适用于输出波长190nm~280nm、基于非线性频率变换技术的全固态深紫外激光器性能参数测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 6360 激光功率能量测试仪器规范
- GB/T 7247.1 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求
- GB/T 15175 固体激光器主要参数测量方法
- GB/T 25481 在线紫外/可见分光光谱分析仪
- JJG 312 激光能量计
- JJF 2040 功率分析仪校准规范
- JJF 2170 激光光束分析仪校准规范

3 术语和定义

GB/T 15175界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

深紫外全固态激光器 deep ultraviolet solid-state lasers

以固体激光介质为增益介质，通过倍频、和频等非线性光学频率变换技术，实现输出波长190nm~280nm的全固态激光器件。

3.2

峰值波长 peak wavelength

深紫外激光器输出光谱中，光功率密度最大处对应的波长，单位为纳米（nm）。

3.3

光谱半高全宽 full width at half maximum of spectrum

激光光谱中，光功率密度为峰值一半的两个波长之间的差值，表征激光单色性，单位为纳米（nm）。

3.4

连续波输出功率 continuous wave output power

连续波深紫外激光器在额定工作条件下，单位时间内输出的激光能量，单位为毫瓦（mW）或瓦（W）。

3.5

电光转换效率 electro-optical conversion efficiency

激光器输出光功率与输入电功率的比值，表征光电能量转换效率，用百分数（%）表示。

4 测试条件

4.1 环境条件

测试应在符合以下要求的洁净光学实验室进行，环境参数应实时监测并记录：

- a) 环境温度：(23±2)℃，测试过程中温度波动≤±0.5℃/h；
- b) 相对湿度：45%RH~75%RH，无凝露；
- c) 大气压强：86kPa~106kPa；
- d) 振动条件：测试台面固有振动频率>10Hz，振幅≤5 μm；
- e) 光照条件：实验室避光，无强光直射测试光路，背景光干扰≤0.1 μW/cm²；
- f) 供电条件：AC 220V±1%，50Hz±0.5Hz，配备稳压电源，谐波失真≤2%。

4.2 激光器预热与稳定

测试前，深紫外激光器应在额定工作模式下预热稳定，预热时间要求如下：

- a) 连续波深紫外激光器：预热时间≥30min，功率波动≤±0.5%后方可测试；
- b) 脉冲深紫外激光器：预热时间≥20min，单脉冲能量波动≤±1%后方可测试

4.3 光路调试要求

应满足以下要求：

- a) 测试光路应准直、同轴，避免光束截断、杂散光干扰；
- b) 光学元件表面洁净，无划痕、污渍；
- c) 深紫外波段光学元件应采用紫外增透膜，反射损耗≤1%；
- d) 测试前应对光路进行校准，确保光束中心与测试设备探测中心重合。

4.4 安全防护

安全防护应符合GB 7247.1中的有关规定。

5 测试设备

测试设备应经计量检定合格，且在检定有效期内，设备精度满足表1要求。

表1 测试设备技术指标要求

设备名称	技术指标要求	检定依据
深紫外激光功率计	波长范围：190nm~280nm	GB/T 6360
	功率量程：1 μW~10W	
	测量精度：±2%	
	分辨率：0.1 μW	
深紫外激光能量计	波长范围：190nm~280nm	JJG 312
	能量量程：1nJ~100mJ	
	测量精度：±3%	
	分辨率：1nJ	
深紫外光谱分析仪	波长范围：190nm~300nm	GB/T 25481
	分辨率：≤0.05nm	
	波长准确度：±0.02nm	
光束质量分析仪（M ² 仪）	波长范围：190nm~280nm	JJF 2170
	束宽测量精度：±3%	
	M ² 测量范围：1.0~10.0	
	采样率：≥5GS/s	

设备名称	技术指标要求	检定依据
	时间分辨率： $\leq 100\text{ps}$	
电功率分析仪	电压量程：0~300V	JJF 2040
	电流量程：0~10A	
	精度： ± 0.5 级	
环境参数监测仪	温度精度： $\pm 0.1^\circ\text{C}$	—
	湿度精度： $\pm 1\%\text{RH}$	
	气压精度： $\pm 0.1\text{kPa}$	
光学调整架、衰减片、光阑	深紫外增透，衰减精度可调，光阑孔径精准可控	—
注：深紫外波段光学衰减片应选用氟化钙、熔融石英等深紫外透过率高的基材。		

6 测试项目与测试方法

6.1 波长及光谱特性测试

6.1.1 测试原理

采用光栅分光原理，通过深紫外光谱分析仪对激光光束进行分光扫描，采集光谱分布数据，确定峰值波长、光谱半高全宽及光谱纯度。

6.1.2 测试步骤

应按照以下步骤进行：

- 开启光谱分析仪，预热30min，用标准波长校准光源进行波长校准，校准误差 $\leq \pm 0.01\text{nm}$ ；
- 调试激光器输出光路，通过光纤耦合或自由空间耦合方式，将激光引入光谱分析仪入射口，入射光功率控制在探测器线性量程内（避免饱和）；
- 设置光谱分析仪参数：扫描范围190nm~280nm，扫描步长0.01nm，积分时间100ms，平均次数3次；
- 启动扫描，采集光谱曲线，记录光谱峰值对应的波长，即为峰值波长；
- 在光谱曲线上找到峰值50%高度对应的左右两个波长点，计算差值，即为光谱半高全宽；
- 重复测试5次，剔除异常值，取算术平均值作为最终测试结果。

6.1.3 数值要求

峰值波长偏差 $\leq \pm 0.1\text{nm}$ ，光谱半高全宽 $\leq 0.1\text{nm}$ （窄线宽激光器），光谱纯度 $\geq 99.5\%$ （无杂散峰）。

6.2 连续波输出功率测试

6.2.1 测试原理

基于光电探测原理，深紫外激光功率计探测器将光信号转换为电信号，经校准后直接读取输出功率值。

6.2.2 测试步骤

应按照以下步骤进行：

- 开启深紫外功率计，预热20min，进行校零操作，消除背景光干扰；
- 将功率计探测器放置于激光器输出光路中，确保光束完全覆盖探测器感光面（感光面直径 \geq 光束直径1.5倍）；
- 激光器稳定运行后，连续采集功率数据，采样间隔1s，采集时长10min；
- 读取实时功率值，计算算术平均值，即为平均输出功率；
- 改变激光器工作电流（10%、50%、100%额定电流），重复测试，记录不同工况下的输出功率。

6.3 脉冲激光参数测试

6.3.1 单脉冲能量测试

应按照以下步骤进行：

- 开启深紫外能量计，预热15min，完成校零与波长校准；
- 将能量计探测器置于光路中，确保脉冲光束完全入射感光面，避免旁瓣光漏射；

c) 采集连续100个脉冲能量值，剔除最大值、最小值各5个，剩余90个数据取平均值，即为单脉冲能量。

6.3.2 脉冲宽度与重复频率测试

应按照以下步骤进行：

- 将高速光电探测器接入示波器，探测器响应时间 $\leq 50\text{ps}$ ，适配深紫外脉冲激光；
- 调试光路，使激光入射光电探测器，示波器设置为外触发模式，触发阈值适中；
- 采集脉冲波形，读取脉冲上升沿、下降沿及半高全宽，即为脉冲宽度；测量相邻脉冲间隔，计算倒数得到脉冲重复频率；
- 重复测试10次，取平均值，脉冲宽度测试误差 $\leq \pm 50\text{ps}$ ，重复频率误差 $\leq \pm 0.1\%$ 。

6.3.3 峰值功率计算

峰值功率按公式（1）计算：

$$P_{peak} = \frac{E_p}{\tau_p} \quad (1)$$

式中：

- P_{peak} ——峰值功率，单位为瓦（W）；
 E_p ——单脉冲能量，单位为焦耳（J）；
 τ_p ——脉冲宽度（半高全宽），单位为秒（s）。

6.4 光束质量测试

6.4.1 测试原理

采用双曲线拟合法，测量激光光束在不同传输位置的束宽，拟合得到束腰半径和远场发散角，计算 M^2 因子。

6.4.2 测试步骤

应按照以下步骤进行：

- 将 M^2 光束质量分析仪安装在高精度位移导轨上，导轨行程 $\geq 500\text{mm}$ ，定位精度 $\leq 0.1\text{mm}$ ；
- 激光器输出准直光束，在束腰位置及远场位置，均匀选取至少10个测试点，相邻测试点间距 $\geq 20\text{mm}$ ；
- 逐点测量光束束宽，记录每个位置的X、Y方向束宽值；
- 通过分析仪软件拟合束宽随传输距离的变化曲线，计算X、Y方向 M^2 因子，取最大值作为测试结果；
- 要求拟合相关系数 $R^2 \geq 0.995$ ，否则重新调试光路测试。

6.5 功率不稳定性测试

6.5.1 测试原理

长时间监测激光器输出功率，计算功率最大值、最小值与平均值的相对偏差，表征功率稳定性。

6.5.2 测试步骤

应按照以下步骤进行：

- 激光器稳定运行后，用功率计连续采集数据，采样间隔1s，连续测试时长：短期（1h）、长期（8h）；
- 记录测试周期内功率最大值 P_{max} 、最小值 P_{min} 、平均值 P_{avg} ；
- 按公式（2）计算功率不稳定性：

$$S = \frac{P_{max} - P_{min}}{2P_{avg}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

S ——功率不稳定性，单位为百分数（%）。

6.5.3 数值要求

1h功率不稳定性 $\leq \pm 0.5\%$ ，8h功率不稳定性 $\leq \pm 1.0\%$ 。

6.6 电光转换效率测试

6.6.1 测试原理

同时测量激光器输出光功率和输入电功率，计算两者比值得到电光转换效率。

6.6.2 测试步骤

应按照以下步骤进行：

- a) 将电功率分析仪串联接入激光器供电回路，测量输入电压、电流，计算输入电功率 P_{in} ；
- b) 同时用功率计测量激光器输出光功率 P_{out} ，待数值稳定后，同步记录两组数据；
- c) 按公式（3）计算电光转换效率：

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

η ——电光转换效率，单位为百分数（%）。

6.7 偏振度测试

6.7.1 测试步骤

应按照以下步骤进行：

a) 在光路中插入高消光比格兰-泰勒偏振器（消光比 $\geq 40\text{dB}$ ），旋转偏振器至 360° ，每隔 10° 记录一次透射光功率；

b) 找到最大功率 P_{max} 和最小功率 P_{min} ，按公式（4）计算偏振度：

$$P_{dop} = \frac{P_{max} - P_{min}}{P_{max} + P_{min}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

P_{dop} ——偏振度，单位为百分数（%）。

6.7.2 数值要求

深紫外激光器偏振度 $\geq 98\%$ 为合格。

7 数据处理与结果评定

7.1 数据异常值剔除

采用格拉布斯（Grubbs）准则剔除异常数据，置信水平95%，若测试数据与平均值偏差超过3倍标准偏差，视为异常值予以剔除，剔除后有效数据数量 \geq 原始数据的80%。

7.2 平均值计算

对于重复测试数据，按公式（5）计算算术平均值：

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5)$$

式中：

\bar{x} ——测量平均值；

n ——有效测试次数；

x_i ——第 i 次测试数据。

7.3 标准偏差计算

按公式（6）计算实验标准偏差 s ：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

7.4 结果评定规则

所有测试项目结果均满足本文件及产品技术要求，判定为合格；若有任一项目不满足要求，判定为不合格，应重新调试或检修后复测。

8 测试报告

测试报告应客观、完整、准确记录测试全过程，包含以下内容：

- a) 报告编号、测试日期、测试地点；
- b) 激光器型号、编号、生产单位、额定参数；
- c) 测试依据标准（本文件编号及名称）；
- d) 测试设备名称、型号、检定证书编号；
- e) 测试环境条件（温度、湿度、气压）；
- f) 各测试项目原始数据、处理结果；
- g) 测试光路示意图、光谱曲线、光束轮廓图；
- h) 测试结论、合格判定；
- i) 测试人员、审核人员、批准人员签字及单位盖章。

注：测试报告一式三份，由测试单位、委托单位、存档单位分别保管，保存期限不少于3年。
