

ICS 号
中国标准文献分类号

团 体 标 准

团体标准编号
代替的团体标准编号

光热透镜法弱吸收率测试仪

Photothermal-Lensing Absorption Measuring

Instrument (PLI)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国光学光电子行业协会 发布

目录

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语	1
4 原理	2
5 要求	3
6 试验方法	5
7 检验规则	6
8 标志、包装、运输及贮存	7
9 质量保证	8

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。

本文件由中国光学光电子行业协会提出并归口。

本文件起草单位：福建福晶科技股份有限公司、中国科学院福建物质结构研究所、闽都创新实验室、中国工程物理研究院化工材料研究所。

本文件主要起草人：张星、吴少凡、郑发鲲、李小强。

本文件版权归中国光学光电子行业协会所有。未经事先书面许可，本文件的任何部分不得以任何形式或任何手段进行复制、发行、改编、翻译、汇编或将本文件用于其他任何商业目的等。

光热透镜法弱吸收率测试仪

1 范围

本文件给出了光热透镜法弱吸收率测试仪（PLI）的原理、要求、试验方法、检验标准、标志、包装、运输及贮存、质量保证等。

本文件适用于透射式探测构型的光热透镜法弱吸收率测试仪（PLI）对激光晶体、元件的表面吸收（或薄膜吸收）、体吸收（以下简称“仪器”）。

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 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

GB/T 1.2-2020 标准化工作导则 第2部分：以 ISO/IEC 标准化文件为基础的标准化文件起草规则

GB/T 12519-2021 分析仪器通用技术条件

GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件

GB/T 13966-2013 分析仪器术语

GB/T 15313-2008 激光术语

GB/T 18883-2022 室内空气质量标准

GB/T 25480-2010 仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法

GB/T 25915.1-2021 洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级

GB/T 29252-2012 实验室仪器和设备质量检验规则

GB/T 3102.6-1993 光及有关电磁辐射的量和单位

GB 7247.1-2012 激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求

RB/T 047-2020 检验检测机构管理和技术能力评价 设施和环境通用要求

ISO 23701:2023 Optics and photonics—Laser and laser-related equipment—Photothermal technique for absorption measurement and mapping of optical laser components（激光器和激光相关设备 激光光学元件吸收分布测量 光热成像法）

3 术语

GB/T 15313、GB/T 13966-2013界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1 光热透镜法弱吸收率测试仪 Photothermal-Lensing Absorption Measuring Instrument (PLI)

通过表面热透镜法检测激光晶体和光学元件的弱吸收特性的设备。

3.2 吸收 absorption

激光光学元件吸收的辐射通量。

3.3 吸收率 absorptance

吸收辐射通量与输入辐射通量的比值。

3.4 吸收分布 absorption distribution

吸收率分布 absorptance distribution

测量的吸收（3.1）/吸收率（3.2）与样品位置的函数。

3.5 重复性 repeatability

用相同的方法、相同的式样，在相同的条件下测得的一系列结果之间的一致程度，用相对标准差 RSD 表示。

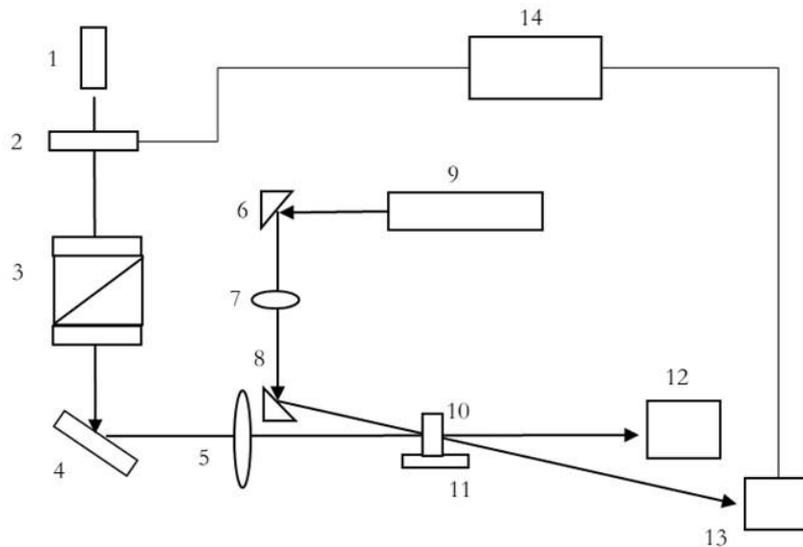
3.6 稳定性

在规定工作条件下，输入保持不变，在规定时间内仪器示值保持不变的能力，用相对极差 RR 表示。

4 原理

光热透镜法弱吸收率测试仪（PLI）利用一束泵浦激光照射样品表面，样品产生表面形变分布或体内折射率梯度分布，形成热透镜效应。同时用另一束探测激光照射在样品同一区域时，探测激光的中心光强的变化可作为光热信号。校准由光电探测器探测得的光热信号，通过信号处理、数据分析获得被测样品的吸收值。

透射构型的光热透镜法弱吸收率测试仪使泵浦光束与探测光束的交点沿着样品深度方向运动，可区分测量表面吸收和体吸收。用该交点对样品进行二维或三维扫描测量，可绘制样品吸收或吸收率的二维或三维分布图。



标引序号说明：

- | | |
|--------------|------------|
| 1. 泵浦光源 | 8. 反射镜 |
| 2. 斩波器 | 9. 探测光源 |
| 3. 激光衰减器 | 10. 待测样品 |
| 4. 反射镜 | 11. 样品位移平台 |
| 5. 透镜（XY 调整） | 12. 功率计 |
| 6. 反射镜 | 13. 光电探测器 |
| 7. 透镜 | 14. 锁相放大器 |

图 1 透射式 PLI 光路图

5 要求

5.1 仪器正常工作条件

仪器在下列条件下应能正常工作：

- 环境温度 15℃~35℃；
- 相对湿度 30%~65%；
- 无明显烟尘；
- 无影响仪器使用的振动和电磁干扰。

5.2 使用性能

光热透镜法弱吸收率测试仪应具有以下配置和功能：

- 泵浦光路系统、探测光路系统、样品位移平台、光电探测系统；
- 设定 PLI 控制单元中的各项控制参数：激光参数、运动扫描参数、校验参数；
- 数据采集、分析及处理软件；
- 仪器校准和故障诊断测试；

5.3 泵浦激光

- a) 连续/准连续激光，偏振态由偏振器控制，激光波长、入射角、偏振态与被测样品的实际使用情况一致；
- b) 功率通过衰减器可连续调节，调节过程光斑轮廓不改变，使热变形引起的光热信号被探测到且不损伤样品；
- c) 光路中的功率计在长时间扫描测量过程实时监控激光功率；
- d) 泵浦光斑聚焦尺寸根据扫描测量区域大小、吸收扫描测量的空间分辨率和光热信号信噪比选择。

5.4 探测激光

- a) 连续波激光；
- b) 功率较小，在被测样品中的吸收热可忽略；
- c) 探测光斑在被测样品表面或内部两束光交叉区域约为泵浦光斑的 3 倍。

5.5 光学斩波器、锁相放大器

光学斩波器对泵浦光束调频进行周期性调制，获得光热信号的最佳信噪比。

锁相放大器的频率应与泵浦光束的调制频率设置一致，时间常数根据时间分辨率要求和光热信号信噪比设置。

5.6 性能特性

5.6.1 重复性

重复性用相对标准差 RSD 表示。要求同一样品，在相同条件下连续测量 10 次， $RSD \leq 5\%$ 。

5.6.2 稳定性

仪器稳定性用极差 RR 表示，即测量过程最大值与最小值的差与平均值之比。 $RR \leq 10\%$ 。

5.7 安全要求

- a) 根据 GB 7247.1-2012 采取安全措施，设置防护罩、挡板，配带激光防护眼镜等；
- b) 按 GB 7247.1-2012 5.1~5.11 的要求对仪器标记。

5.8 仪器外观

- a) 仪器所有电镀表面不应有脱皮现象；
- b) 喷漆或喷塑表面应色泽均匀，不应有明显的擦伤、露底、裂纹、起泡现象；
- c) 外露零部件结合处应整齐，无粗糙不平现象；
- d) 面板上的文字、符号、标志应端正清晰。

5.9 运输、运输贮存

吸收仪在包装状态下，贮存地点及周围环境不应有腐蚀性气体，环境温度、空气相对湿度符合 GB/T 25480-2010 第 3 章的规定。室内保持空气流通，地面干净。全部实验完成后，将仪器至于正常工作条件下进行检验，应符合 5.2~5.5 要求。

6 试验方法

6.1 试验条件

- a) 试验均应在 5.1 规定的条件下进行；
- b) 实验前仪器配置激光器应开机至少预热 30min，保持输出稳定；
- c) 设置锁相放大器参数、斩波器频率，满足 5.5；

6.2 校准

6.2.1 泵浦校准

泵浦激光校准。泵浦光束与探测光束调至同一高度，泵浦光束与探测光束焦点落在交点上。探测光束对准光电探测器，测得最大信号值。调节图 1 中 5 泵浦聚焦透镜的 XY 调整轴，至功率计在横轴与纵轴获得最大信号值。

6.2.2 标片校准

标片的热物理性质与被测样品相同，不含有任何非线性吸收成分。标片使用 Newport FRQ-ND02 金属中性密度滤光片。

与被测样品相同实验条件下，重复 5 次测量标片，结果取平均值，与标称吸收率测量偏差 ≤ 10%。

6.3 试验过程

通过电控扫描平移台控制被测样品的位置。在控制软件中设置被测样品的扫描测量区域和扫描步长，对样品进行光热扫描测量，记录每个扫描位置所对应的光热信号幅值和相位。光热信号幅值分布代表了被测样品的吸收分布。对标片进行校准后，用已知绝对吸收率值的标片对光热信号幅值进行标定，利用式 (1) ~ (2) 计算被测样品的吸收率绝对值：

$$S = \Delta I / I_{DC} \dots\dots\dots (1)$$

$$A = (S/S_0) \cdot (P/P_0) \cdot A_0 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

S ——光热信号幅值	A ——待测样品吸收率
S_0 ——标片标定时光热信号幅值	A_0 ——标片吸收率
ΔI ——光电探测器测得探测光束光强变化	P ——样品测量时泵浦光功率
I_{DC} ——表示探测光的直流流量	P_0 ——标片标定时泵浦光功率

6.3.1 表面（膜层）吸收和体（基板）吸收测量

按 6.2.2 对基体标片校准，样品运动平台按测试需求沿样品深度方向运动，对样品进行一维扫描测量，得到被测样品的吸收/吸收率的沿深度的分布。

标定接近镀膜表面的最大光热信号幅值，计算表面（膜层）吸收。

标定远离镀膜表面的在基板内部的光热信号幅值，计算体（基板）吸收。

6.3.2 二维/三维吸收分布测量

按 6.2.2 进行标片校准，样品运动平台按测试需求在二维/三维运动，对样品进行二维/三维扫描测量，得到被测样品的吸收/吸收率的二维/三维分布。

6.3.3 新泵源测量

更换泵浦光源后按照 6.2.1 进行泵浦光源校准，根据测试需求按照 6.3.1~6.3.2 进行测量。

6.4 重复性

仪器的重复性用相对标准差表示，用式（3）计算：

$$RSD = \frac{1}{N} \times \frac{1}{\bar{N}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n-1}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

N ——测量次数；

\bar{N} —— n 次测量的平均计数值；

N_i ——第 i 次测量的计数值。

6.5 稳定性

仪器的重复性用相对标准差表示，用式（4）计算：

$$RR = \frac{N_{MAX} - N_{MIN}}{\bar{N}} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

式中：

N_{MAX} ——测量过程中的测量结果最大值；

N_{MIN} ——测量过程中的测量结果最小值；

\bar{N} ——测量过程中的测量结果平均值。

7 检验规则

7.1 检验分类

仪器的检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

- a) 每台仪器应经检验合格，并附有仪器合格证方能出厂。
- b) 出厂检验按报表 1 要求进行。

7.3 型式检验

凡属于下列情况之一者，应按本标准进行型式检验：

- a) 新仪器或者老仪器转厂生产的试制定型鉴定；
- b) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响仪器性能时；
- c) 仪器长期停产，恢复生产时；
- d) 正常生产，按周期进行型式检验；
- e) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- f) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时。
- g) 用户提出进行型式检验的要求时。

表 1 PLI 出厂检验和型式检验

序号	项目	对应条款	检验方案	出厂检验	型式检验
1	重复性 (RSD)	5.7.1	6.3.4	✓	✓
2	稳定性 (RR)	5.7.2	6.3.5	✓	✓
3	安全防护	5.8	目视	✓	✓
4	仪器外观	5.9	目视	✓	✓
5	仪器成套性	5.10	目视	✓	✓

8 标志、包装、运输及贮存

8.1 标志

每台吸收仪应在主机外壳的明显位置固定铭牌(标志)，其内容包括下列各项：

- a) 制造厂名称；
- b) 仪器型号；
- c) 仪器名称；
- d) 商标；
- e) 制造日期或出厂编号。

8.2 包装

8.2.1 仪器包装应符合GB/T 13384中防潮、防震包装规定。

8.2.2 仪器装箱应具备以下条件：

- a) 装箱单；
- b) 使用说明书；
- c) 质量合格证。

8.3 运输及贮存

8.3.1 运输

仪器在包装完整的情况下,可用一般的交通工具运输。运输过程中应按印刷的运输标志要求进行运输作业,应防止雨淋、翻倒、曝晒及剧烈冲击。

8.3.2 贮存

吸收仪在包装状态下,贮存地点及周围环境不应有腐蚀性气体,环境温度、空气相对湿度符合GB/T 25480-2010第3章的规定。室内保持空气流通,地面干净。

9 质量保证

在用户遵守保管和使用原则的条件下,仪器自发货之日起12个月内,因制造质量不良而不能正常工作时,制造厂应无偿为用户修理或更换零部件(不包括易损易耗件的调换)。

参考文献

- [1] 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
- [2] GB/T 1.2-2020 标准化工作导则 第2部分：以 ISO/IEC 标准化文件为基础的标准化文件起草规则
- [3] GB/T 3102.6-1993 光及有关电磁辐射的量和单位
- [4] GB/T 15313-2008 激光术语
- [5] RB / T 047-2020 检验检测机构管理和技术能力评价 设施和环境通用要求
- [6] GB/T 18883-2022 室内空气质量标准
- [7] GB/T 25915.1-2021 洁净室及相关受控环境 第1部分：按粒子浓度划分空气洁净度等级
- [8] GB 7247.1-2012 激光产品的安全 第1部分：设备分类、要求
- [9] ISO 23701:2023 Optics and photonics — Laser and laser-related equipment — Photothermal technique for absorption measurement and mapping of optical laser components
- [10] GB/T 12519-2021 分析仪器通用技术条件
- [11] GB/T 13966-2013 分析仪器术语
- [12] GB/T 13384-2008 机电产品包装通用技术条件
- [13] GB/T 25480-2010 仪器仪表运输、贮存基本环境条件及试验方法
- [14] GB/T 29252-2012 实验室仪器和设备质量检验规则
- [15] 李斌成,王静,RISTA U Detlev.激光薄膜特性参数测试方法标准化进展(特邀)[J].光子学报, 2022, 51(9):10.
- [16] Alexandrovski A , Fejer M , Markosian A ,et al.Photothermal common-path interferometry (PCI): new developments[J].Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 2009, 7193.DOI:10.1117/12.814813.
- [17] 胡海洋,范正修,赵强.表面热透镜技术探测光学薄膜的微弱吸收[J].光学学报, 2001, 21(2):5.DOI:10.3321/j.issn:0253-2239.2001.02.006.
- [18] 范树海,贺洪波,邵建达,等.表面热透镜薄膜吸收测量灵敏度提高方法[J].物理学报, 2006, 055(002):758-763.
- [19] 鲁江涛,程鑫彬,沈正祥,等.单层膜体吸收与界面吸收研究[J].物理学报, 2011, 60(4):5.DOI:CNKI:SUN:WLXB.0.2011-04-110.

中国光学光电子行业协会

团体标准

标准名称

T/COEMA ****—20**

※

中国光学光电子行业协会编印

北京市朝阳区酒仙桥路4号（100015）

电话：010-84321457

网址：www.coema.org.cn

邮箱：coema@coema.org.cn

版权专有 侵权必究