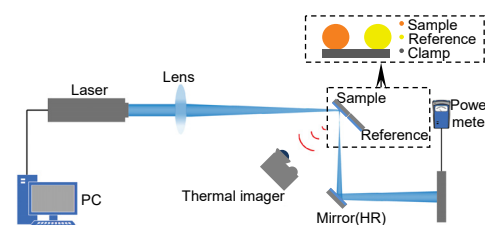


DOI: 10.12086/oe.2021.210071

基于红外热像仪的光学薄膜吸收测试方法

荆建行^{1,2}, 孔明东^{2*}, 王强², 郭春²¹ 中国科学院大学光电学院, 北京 100049;² 中国科学院光电技术研究所薄膜光学技术研究所, 四川 成都 610209

摘要: 光学薄膜在制备和使用过程中会因缺陷和污染等产生吸收中心, 当薄膜受激光辐照后, 吸收中心吸收光能会产生热信号, 根据热信号可以测量光学薄膜的光学吸收损耗。本文提出基于红外热像仪测量薄膜光学吸收损耗的方法, 在测试中加入参考样品可以减少环境温度变化和热像仪噪声对于温度测试结果的影响, 对测量过程温度场取一定面积进行平均减少了激光指向波动和光斑分布不理想导致的有限元仿真计算误差。使用本方法测试了小尺寸 45° 的高反膜吸收损耗, 测试得到吸收损耗为 7.60 ppm, 且测试了同批次大尺寸光学薄膜样品吸收损耗的空间分布情况。使用本方法测量的光学薄膜吸收率和激光量热测试结果一致, 不需要长时间的恒温 and 严格环境温度控制, 且测试样品尺寸不受限制。

关键词: 薄膜光学; 吸收损耗; 红外热像仪; 有限元; 吸收测量

中图分类号: O436.2

文献标志码: A

荆建行, 孔明东, 王强, 等. 基于红外热像仪的光学薄膜吸收测试方法[J]. 光电工程, 2021, 48(6): 210071

Jing J H, Kong M D, Wang Q, et al. Measurement of absorption loss of optical thin-film by infrared thermal imaging[J]. *Opto-Electron Eng*, 2021, 48(6): 210071

Measurement of absorption loss of optical thin-film by infrared thermal imaging

Jing Jianhang^{1,2}, Kong Mingdong^{2*}, Wang Qiang², Guo Chun²¹ School of Optoelectronics, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;² Optical Thin Film Technology Laboratory, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China

Abstract: During the preparation and use of the optical thin film, the absorption center will be generated due to defects and pollution. When the optical thin film is irradiated by a laser, the absorption center absorbs light energy and generates thermal signals, according to which the optical absorption loss of an optical film can be measured. The method proposed in this paper for measuring the optical absorption loss of a thin film based on a thermal imager. The addition of a reference sample in the test can reduce the impact of the changes of environmental temperature and the thermal imager noise on the temperature test results. Taking a certain area of the temperature field recorded

收稿日期: 2021-03-15; 收到修改稿日期: 2021-05-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61805247); 中国科学院青年创新促进会资助项目; 四川省科技计划项目

作者简介: 荆建行(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事光学薄膜技术的研究。E-mail: jingjianhang@126.com

通信作者: 孔明东(1973-), 男, 博士, 副研究员, 主要从事光学薄膜的设计、镀膜工艺、性能测试分析的研究。

E-mail: kongmingdong@126.com

版权所有©2021 中国科学院光电技术研究所

by the thermal imager during the entire laser irradiation process can reduce the errors of the finite element simulation calculation caused by the laser pointing fluctuations and the unsatisfactory spot distribution. Using this method, the absorption loss of a small-size 45° high-reflection film was tested to be 7.60 ppm, and the spatial distribution of the absorption loss of the same batch of large-size optical film samples were tested. The absorption of the optical film measured by this method is consistent with the result of the laser calorimetry test. This method does not require long-term constant temperature and strict environmental temperature control, and the tested sample size is not limited.

Keywords: optical thin film; absorption loss; infrared thermography; finite element; absorption measurement

1 引言

对于光学薄膜吸收损耗是必须考虑的参数, 对于强吸收区光学薄膜材料的吸收边特性可以使用光谱方法计算得到^[1]。光学薄膜光谱透明区在制备和使用过程中因薄膜缺陷和污染而产生薄膜对光的弱吸收作用, 通常使用光热方法得到薄膜吸收信息。该方法通常使用激光照射光学薄膜, 薄膜的吸收中心会吸收光能导致镀膜器件的温度上升, 通过测量激光照射时薄膜表面温度信息便可以计算出薄膜的光学吸收。根据测量激光辐照薄膜样品时的热效应计算薄膜吸收的主要方法有激光量热法^[2]、光热偏转法^[3-5]、表面热透镜法^[6-8]、光声光谱法^[9]等。

激光量热法采用一束较小功率激光辐照薄膜样品并使用热敏电阻(或热电偶)测量受辐照及冷却时样品温度的变化过程, 用函数拟合方法计算得到样品吸收率的数值。光热偏转法是利用样品受激光辐照之后, 热效应产生薄膜折射率梯度场, 当探测光束穿过该区域后方向发生偏转并使用位敏传感器探测光束的偏转信号, 从而测定样品的吸收系数。表面热透镜法与光热偏转法类似, 但探测光束采用的是大光斑的光束, 使用探测光束辐照整个温度场所致的热包区域, 表面热包会使探测光束的波前发生畸变, 通过记录反射探测光束的衍射图样计算得到薄膜样品的吸收率。光声光谱法是利用一束周期调制光入射到放置于密闭的声光池中的样品上, 周期变化的光信号产生周期变化的光声池的声压信号, 样品薄膜的吸收与光声信号成正比, 检测系统检测光声信号后就能计算得到薄膜的吸收率。激光量热法是国际薄膜吸收损耗检测标准(ISO11551)推荐的测量标准^[10], 使用该方法测量对环境温度变化十分敏感, 测量前需要较长的温度稳定时间以达到可靠的实验精度; 光热偏转法、表面热透镜法、光声光谱法等测量方法是近年来发展起来的用作实验室测量光学薄膜吸收损耗的技术, 测试时需要较

高的实验技巧才能得到可靠的数据。

红外热像仪通过对目标物的红外热辐射探测、光电转换、信号处理、计算机图像显示等技术将目标物的温度场分布的图像转换成可视图像, 可实现直接对大功率激光系统中使用的光学薄膜器件实时非接触精准测温^[11], 整个温度测试过程中不受光学薄膜的散射影响, 将测试的光学薄膜温度变化数据和有限元方法结合, 可以仿真计算得到光学薄膜的吸收率, 为光学薄膜的吸收测试提供了一种新方法。

2 实验装置

2.1 样品准备

实验样品是采用美国 Veeco 公司生产的 Spector 行星式离子束沉积系统溅射高纯度 Ta 靶和石英制备 Ta₂O₅/SiO₂ 45°高反射膜, 制备时采用的基片为Φ30 mm 和Φ200 mm 的熔融石英。Spector 镀膜机有两个离子源, 主离子源为 16 cm 的射频离子源, 辅助源为 12 cm 的射频离子源。制备前将真空室抽至 6.67×10^{-4} Pa, 使用辅助源对基片清洗 15 min, 以去除基片表面的杂质及增大膜料分子与基板的表面附着力。溅射 Ta 靶和石英靶时均设置主离子源的束压为 1250 V, 束流为 600 mA, 充入 16 sccm 的氩气; 辅助离子源束压为 250 V, 束流为 200 mA, 充入 8 sccm 的氩气和 22 sccm 的氧气的混合气体; 真空室充入 8 sccm 的氧气。PerkinElmer Lambda 1050 分光光度计上测试得到的本次样品的反射率曲线如图 1 所示, 在波长为 1000 nm~1100 nm 范围内薄膜高反, 反射率大于 99.9%。

2.2 测试装置

用于本次测试的红外激光器为锐科光纤激光技术公司(Raycus) RFL-C1000 型光纤激光器, 激光中心波长为 1080 nm, 激光功率与运行模式可调, 最大光功率为 1000 W, 输出功率稳定度为±1.5%, 实验中采用连续出光模式, 设置激光器功率为 1000 W。采用 CCD

相机测试激光器输出激光光斑的能量分布图如图 2 所示, 激光器输出的能量分布可以拟合为高斯函数, 光束质量 $M^2 \leq 1.2$ 。

获取激光器辐照光学薄膜实验过程中温度变化信息的热像仪为灵敏度可达 20 mK 的 FLIR T1040 型高清长波红外热像仪, 该热像仪测试软件根据物体辐射率、相对湿度、大气温度、物体距离及物体周围的有效温度等信息, 可以计算得到物体的温度场信息^[12]。在以上参数信息中, 相对湿度、大气温度、物体距离、物体周围有效温度信息等参数通过外在仪器测量得到, 但被测物的辐射率需要在测温前对其标定^[13]。标定时将被测物放入恒温箱, 用热电偶测试物体的实际温度, 调整热像仪的辐射率参数使得热像仪的测试温度与热电偶的测试温度一致, 标定后得到该光学薄膜样品的辐射率为 0.85。

测量薄膜吸收的实验装置如图 3 所示, 激光输出后经过透镜聚焦, 待测样品放置于焦点前, 在样品平行一侧放置一片与待测样品相同的参考样品, 用于测试环境温度变化和热像仪噪声引起的温度变化。待测

样品和参考样品与夹持工装之间使用低热传导材料间隔, 减少样品与工装之间的热传导。测量时计算机控制激光器的输出, 激光束经过目标物和高反镜后到达光功率计, 热像仪位于测试样品的法线方向。激光辐照前, 打开热像仪记录两个样品的温度信息, 激光辐照 60 s 左右, 温度变化变缓, 停止激光辐照; 继续使用热像仪记录样品冷却过程中的温度变化直至温度变化速率较小。

3 薄膜辐照温度测试与有限元模型

3.1 薄膜辐照温升测试

激光辐照光学薄膜样品时, 由于光学薄膜吸收中心吸收光能转化为热能会导致被测样品的温度升高; 停止辐照后因热对流温度又降低, 采用热像仪记录其温度变化过程。通过辐照时和辐照后的温度变化可以计算光学薄膜的吸收。由于测试激光器出光微弱抖动导致测试样品辐照区域的温度场存在波动, 且激光器输出光斑并非理想的高斯分布, 所以需要在数据提取时取一定大小的辐照区域平均温度来减少其影响。如

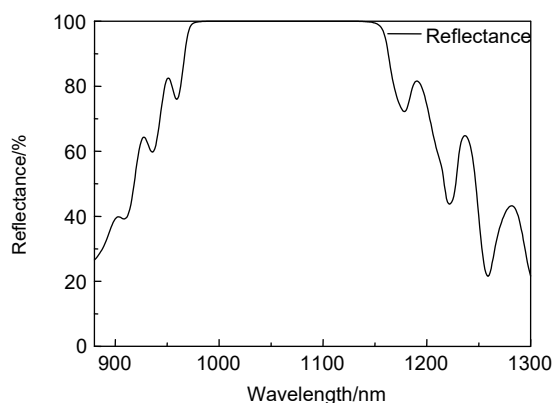


图 1 高反膜反射光谱

Fig. 1 The reflection spectrum of the high reflective film

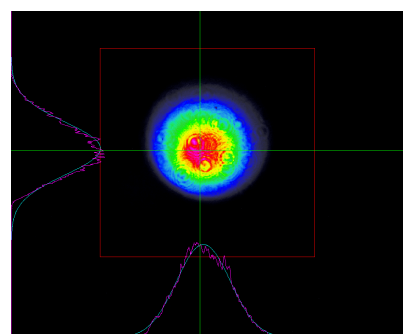


图 2 激光光斑测试图

Fig. 2 Image of the tested laser spot

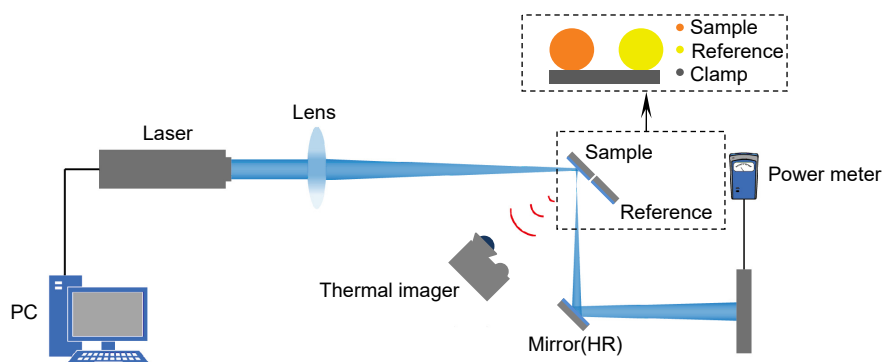


图 3 热像仪测量吸收装置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the thermal imager measuring absorption device

图 4 所示, 热像仪记录得到分别在测试样品辐照中心和参考样品取相同大小区域的平均温度变化曲线, 两曲线的差值为测试过程中的绝对温度变化, 图中蓝色曲线为辐照前初始温度为起点的测试过程中测试样品温度变化曲线, 该曲线代表去除环境温度及热像仪噪声影响后的样品温度变化数值。

当近高斯分布的激光光束辐照在镀膜光学元件上, 由于光学薄膜吸收产生的热量使光学元件温度升高, 吸收热量从辐照点不断向四周扩散从而使光学元件整体出现温度变化。吸收越大, 温升越高; 距离激光辐照中心越近, 温升越高。图 5 为以激光辐照中心为圆心, 不同大小圆形区域面积内平均温升随时间变化曲线。Max 曲线是激光辐照区的温度最大值随时间的变化曲线, 该最大值在光学元件上有随机跳动, 同时从 CCD 上可以测试到激光指向在辐照过程有轻微的随机跳动。当选择平均温度的面积较小时, 温度曲线噪声明显; 当选择的面积较大时噪声可以很好抑制, 但平均温升数值明显减少, 将降低吸收测试的灵敏度。

3.2 有限元模型

当红外激光连续辐照薄膜样品时, 因该薄膜样品在 1080 nm 波段高反, 透射率小于 0.1%, 激光量热测试未镀膜基底的吸收小于 10 ppm, 估算镀膜后基底对激光的吸收小于 0.01 ppm。所以, 可以忽略镀膜基底的吸收损耗对样品温升的影响, 可以忽略薄膜基底的吸收损耗。一束光斑半径为 a 的高斯分布光束照射在半径为 b 、厚度为 d 的光学薄膜样品上, 根据热传导理论, 样品内的温度场 T 分布满足热传导方程^[14-17]:

$$\nabla^2 T(r, z, t) = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial t}, \quad (1)$$

其中: r 为距辐照中心的径向距离, z 为距镀膜前表面

距离, α 为基底材料热扩散系数, t 为时间变量。测试过程中样品前表面($z=0$)存在光热吸收与对流热损耗, 样品后表面($z=d$)和径向边界($r=b$)只存在热对流损耗, 故热传导方程的边界条件可以表示为

$$K \frac{\partial T(r, z, t)}{\partial z} \Big|_{z=0} + HT(r, z, t) \Big|_{z=0} = -Q(r, t), \quad (2)$$

$$\frac{\partial T(r, z, t)}{\partial z} \Big|_{z=d} + \frac{H}{K} T(r, z, t) \Big|_{z=d} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial T(r, z, t)}{\partial z} \Big|_{r=b} + \frac{H}{K} T(r, z, t) \Big|_{r=b} = 0. \quad (4)$$

假设测试样品的初始温度为 0, 激光器辐照前样品与环境处于热平衡状态, 初始条件可以表示为

$$T(r, z, t) \Big|_{t=0} = 0, \quad (5)$$

其中: K 是基底材料的热导率, H 为测试样品与环境的对流换热系数, Q 为薄膜吸收功率密度, 当高斯分布的激光光束辐照薄膜样品时, Q 可以表示为

$$Q(r, t) = \frac{2PA}{\pi a^2} \exp\left(-\frac{2r^2}{a^2}\right), \quad (6)$$

其中: P 为辐照激光的输出功率, A 是入射激光波长处样品薄膜吸收率, a 为其辐照在样品上的光斑半径。

光学薄膜吸收入射激光产生热量的热传导方程、边界条件、初始条件使用有限元软件 ANSYS Multiphysics 进行计算。由于光学薄膜厚度远小于基底材料厚度, 可忽略光学薄膜质量对温升及其分布的影响。薄膜基底为熔融石英, 其物理参数如表 1 所示, 激光辐照光学元件的半径为 1.2 mm, 样品的直径为 30 mm, 厚度为 3.0 mm。对测试镀膜石英样品建立有限元模型, 激光辐照光学薄膜产生的热量作为表面热源作用于石英基片的表面, 其分布为 CCD 测试光斑拟合的高斯分布。

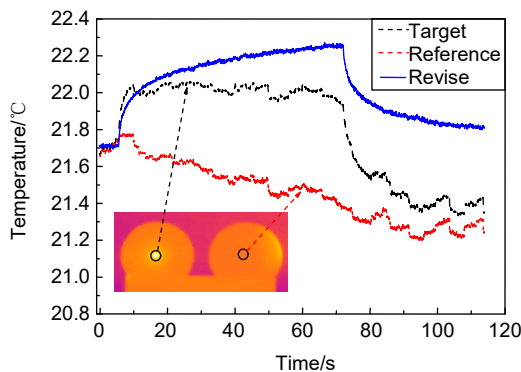


图 4 激光辐照时待测和参考样品温度变化

Fig. 4 Temperature changes of measured and reference during laser irradiation

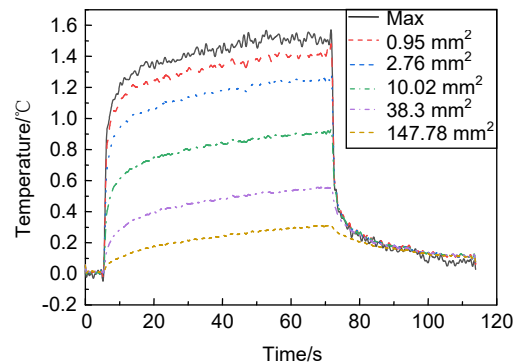


图 5 激光辐照点中心为圆心不同

面积区域平均温度变化曲线

Fig. 5 Average temperature changes curves of different areas

表 1 熔融石英材料热物理参数
Table 1 Thermophysical parameters of fused silica

Material	Thermal conductivity/(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	Density/(kg·m ⁻³)	Heat capacity/(J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹)
Fused silica	1.4	2200	746

用有限元模型和已知的熔石英材料参数、激光功率拟合得到的高斯分布激光束,对光学元件光致发热和自然冷却的温度变化过程进行计算,光学元件的热对流换热系数 H 和光学薄膜吸收率 A 是未知参数。冷却过程的温度下降由热对流换热系数 H 决定,温升过程与薄膜吸收率 A 和换热系数 H 都相关。同时拟合热对流换热系数 H 和光学薄膜吸收率 A ,使计算拟合得到的温度变化曲线与热像仪测量得到的变化曲线相一致(图 6),该吸收率 A 就是光学薄膜的有限元计算吸收损耗。

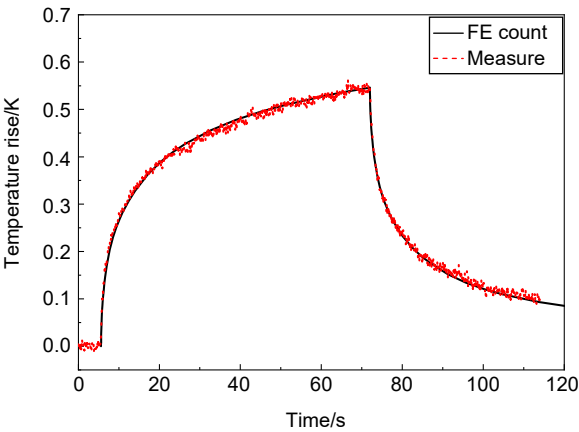


图 6 有限元方法温度变化拟合
Fig. 6 The temperature variation fitting of the finite element method

4 数据分析

由于有限元计算没有考虑对激光的指向随机跳动,同时对激光能量分布使用拟合高斯分布进行近似,因此计算温度和实际测试温度会有一定的误差。所以从测试温度场中以辐照点为中心取一定区域平均温度来计算薄膜吸收率更能符合实际情况。用有限元方法对不同大小区域平均温度的变化曲线拟合,求解其光学吸收率,计算得到的光学吸收率如表 2 所示,随着所取区域的逐渐增大,光学薄膜吸收的计算值有增大

的趋势。对于同一样品,采用汉诺威激光中心激光量热计测试,该量热计为根据国际标准(ISO11551)搭建的绝热型激光量热计。测试时,记录时长 120 s 温度漂移曲线,功率为 15 W 的近红外激光辐照 120 s 的温升曲线,时长 300 s 的样品在恒温箱内的温度下降曲线,如图 7 所示,通过指数拟合方法测试得到的样品吸收为 7.582 ppm,与热像仪测试的计算值比较发现,取面积为 38.30 mm² 的平均温度变化曲线计算得到的光学吸收值与激光量热计测量得到的吸收值最接近,这是因为当取平均温度的面积越小,温度曲线的噪声和激光指向波动以及激光光斑偏离理想高斯分布等因素导致有限元计算的吸收率稍偏小;当取平均温度的面积是实际激光辐照光斑的数倍时,激光指向的波动等影响作用减少,基于热像仪得到的吸收率数据和激光量热方法测试的数据一致。但当取平均温度的面积太大时,温度上升数值不明显,热像仪本身的测量精度会引入较大误差导致计算的吸收率出现较大误差。经过多次实验,选择平均温升为激光辐照区温度最大值 Max 温升三分之一的区域为较为理想的温度场面积区域。

众所周知,激光量热计一般测试的都是较小样品,对于大口径的光学元件测量是个难点。使用热像仪测试大功率激光辐照下的光学薄膜吸收,可以不受样品尺寸的限制。而且,通过激光辐照大尺寸光学元件的不同位置,测试得到不同位置处的吸收数据,用于表征大尺寸元件光学薄膜吸收率的均匀性分布情况。本文对直径为 200 mm、厚度为 10 mm 的高反射光学薄膜石英玻璃样品进行均匀性分布测试,距测试样品中心点不同半径处的 10 个点测量其吸收损耗,计算得到的吸收损耗值如图 8 所示,不同位置处的光学薄膜样品吸收率虽存在一定的差异,但这种差异比较小,光学吸收值都在 7.6 ppm 附近,该光学薄膜样品在径向的吸收率分布比较均匀。

表 2 不同面积区域平均温度计算吸收值

Table 2 The absorption values of average temperature in different areas were calculated

Area/(mm ²)	Max	0.95	2.76	10.02	38.30	149.79
Absorptivity/ppm	7.45	7.45	7.45	7.48	7.60	7.80

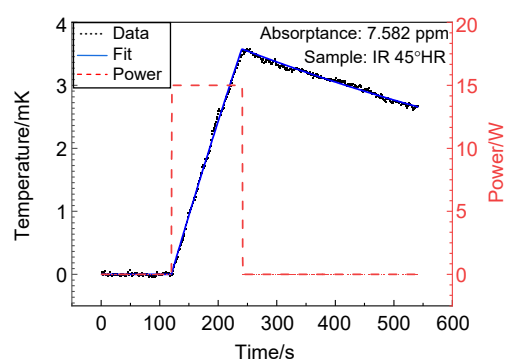
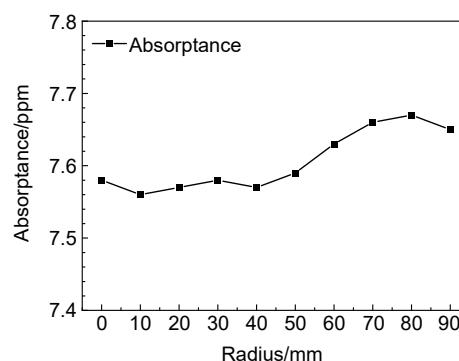
图7 激光量热法 Ta₂O₅/SiO₂ 多层 45°高反镜测试结果Fig. 7 The measured results of the laser calorimetry Ta₂O₅/SiO₂ multilayer 45° high mirror

图8 大尺寸光学薄膜吸收损耗径向分布

Fig. 8 The distribution of the radius and the absorption loss in large size optical thin film

5 结 论

本文提出的基于热像仪测量薄膜光学吸收损耗的方法, 相较于已有的测量方法光路结构简单, 加入参考样品可以排除环境温度变化和热像仪噪声对于温度测试结果的影响, 因此不需要长时间的恒温 and 严格的环境温度控制。为减少激光指向波动和光斑分布不理想导致的有限元计算误差, 对热像仪记录的测试全过程的温度场取一定面积进行平均, 数倍激光辐照光斑面积温度平均计算得到的光学薄膜吸收率和激光量热测试结果一致。相较国际标准中推荐的激光量热法, 热像仪测试的样品尺寸不受限制, 并且可以测试光学薄膜样品吸收损耗的空间分布情况。

参考文献

- [1] Kong M D, Li B C, Guo C, et al. Characteristics of absorption edge of SiO₂ films[J]. *Opto-Electron Eng*, 2019, **46**(4): 180220. 孔明东, 李斌成, 郭春, 等. SiO₂ 光学薄膜的吸收边特性[J]. *光电工程*, 2019, **46**(4): 180220.
- [2] Willamowski U, Ristau D, Welsch E. Measuring the absolute absorptance of optical laser components[J]. *Appl Opt*, 1998, **37**(36): 8362–8370.
- [3] Kuo P K, Munidasa M. Single-beam interferometry of a thermal bump[J]. *Appl Opt*, 1990, **29**(36): 5326–5331.
- [4] Saito H, Irikura M, Haraguchi M, et al. New type of photothermal spectroscopic technique[J]. *Appl Opt*, 1992, **31**(12): 2047–2054.
- [5] Jiang Y G, Liu H S, Chen D, et al. Ultraviolet absorption film technology based on ion beam sputtering Ta₂O₅ thin films[J]. *Opt Prec Eng*, 2019, **27**(3): 527–532. 姜玉刚, 刘华松, 陈丹, 等. 基于离子束溅射 Ta₂O₅ 薄膜的紫外吸收膜技术[J]. *光学精密工程*, 2019, **27**(3): 527–532.
- [6] Commandré M, Roche P. Characterization of optical coatings by photothermal deflection[J]. *Appl Opt*, 1996, **35**(25): 5021–5034.
- [7] Wu Z L, Reichling M, Hu X Q, et al. Absorption and thermal conductivity of oxide thin films measured by photothermal displacement and reflectance methods[J]. *Appl Opt*, 1993,

32(28): 5660–5665.

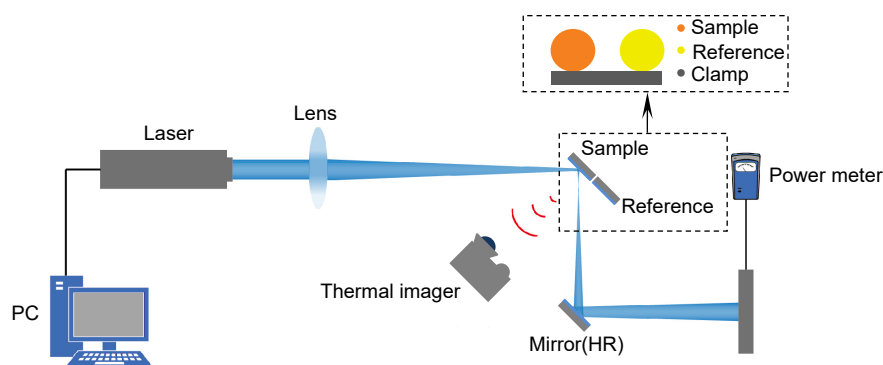
- [8] Wang Y R, Li B C, Liu M Q. Measurement of thermal deformation using surface thermal lens technique[J]. *High Power Laser Part Beams*, 2010, **22**(8): 1805–1809. 王艳茹, 李斌成, 刘明强. 表面热透镜技术测量光学薄膜样品表面热变形[J]. *强激光与粒子束*, 2010, **22**(8): 1805–1809.
- [9] McDonald F A, Wetsel Jr G C. Generalized theory of the photoacoustic effect[J]. *J Appl Phys*, 1978, **49**(4): 2313–2322.
- [10] ISO. Optics and photonics-Lasers and laser-related equipment-Test method for absorptance of optical laser components: ISO 11551: 2019[S]. Geneva, Switzerland: ISO, 2019.
- [11] Yang L, Yang Z. *Principle and Technology of Infrared Thermal Imaging Temperature Measurement*[M]. Beijing: Science Press, 2012. 杨立, 杨桢. 红外热成像测温原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [12] FLIR Systems Inc. *User Manual FLIR T10xx Series*[M]. State of Oregon, America, 2018.
- [13] Li Y H, Sun X G, Yuan G B. Accurate measuring temperature with infrared thermal imager[J]. *Opt Prec Eng*, 2007, **15**(9): 1336–1341. 李云红, 孙晓刚, 原桂彬. 红外热像仪精确测温技术[J]. *光学精密工程*, 2007, **15**(9): 1336–1341.
- [14] Wood W L, Lewis R W. A comparison of time marching schemes for the transient heat conduction equation[J]. *Int J Numer Methods Eng*, 1975, **9**(3): 679–689.
- [15] Chen M S, Jiang H M, Liu Z J. Three-dimensional temperature field model of thermally decomposing resin composite irradiated by laser[J]. *High Power Laser Part Beams*, 2011, **23**(3): 642–646. 陈敏孙, 江厚满, 刘泽金. 激光辐照下复合材料树脂基热分解 3 维温度场模型[J]. *强激光与粒子束*, 2011, **23**(3): 642–646.
- [16] Dai F, Xiong S M, Zhang Y D. Finite element analysis of temperature rise of optical thin film element under laser irradiation[J]. *Infrared Laser Eng*, 2008, **37**(4): 714–718. 代福, 熊胜明, 张云洞. 激光辐照下光学薄膜元件升温的有限元分析[J]. *红外与激光工程*, 2008, **37**(4): 714–718.
- [17] Wang Y R, Li B C, Liu M Q. Laser-induced temperature distributions in finite radial-size optical mirror[J]. *High Power Laser Part Beams*, 2010, **22**(2): 335–340. 王艳茹, 李斌成, 刘明强. 激光照射有限尺寸高反射光学元件的温度场[J]. *强激光与粒子束*, 2010, **22**(2): 335–340.

Measurement of absorption loss of optical thin-film by infrared thermal imaging

Jing Jianhang^{1,2}, Kong Mingdong^{2*}, Wang Qiang², Guo Chun²

¹School of Optoelectronics, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

²Optical Thin Film Technology Laboratory, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China



Schematic diagram of thermal imager measuring absorption device

Overview: During the preparation and use of the optical thin film, the absorption center will be generated due to defects and pollution. When illuminating optical film by laser light, the absorption center will absorb light energy and effectively generate the thermal signals. There are many methods for measuring the optical absorption loss of optical films, such as the laser calorimeter method, photothermal deflection method, surface thermal lens method, and so on. These methods have some problems, such as long measurement time, the influence of scattering on optical absorption, and the high requirement of spatial light position detector. The accuracy of the infrared thermal imager has been able to measure relatively small temperature changes in recent years, which provides the possibility for the measurement of the optical thin film absorption based on the infrared thermal imager. Infrared thermal imaging has unique advantages in measuring the absorption loss of optical films due to their simple measurement of the optical path, rapid measurement, and non-contact accurate temperature measurement.

The method proposed in this paper is based on thermal imager to measure the optical absorption loss of thin films. The method proposed in this paper for measuring the optical absorption loss of a thin film based on a thermal imager is simpler than the existing method, and it can measure the absorption of thin films of optical elements in the laser. The addition of a reference sample in the test can reduce the impact of the changes of environmental temperature and the thermal imager noise on the temperature test results. Taking a certain area of the temperature field recorded by the thermal imager during the entire laser irradiation process can reduce the errors of the finite element simulation calculation caused by laser pointing fluctuations and the unsatisfactory spot distribution. The temperature change curve of the film during laser irradiation is obtained by a thermal imager, and the accurate absorption value of the film sample can be calculated through finite element simulation.

In this paper, a thermal imager was used to test the absorption loss of a small 45° high-reflection film. The absorption loss was 7.6 ppm, and the spatial distributions of the absorption loss of the same batch of large-size optical film samples were tested, the optical absorption was consistent. The absorption of the optical film measured by this method is consistent with the result of the laser calorimetry test. This method does not require long-term constant temperature and strict environmental temperature control, and the tested sample size is not limited.

Jing J H, Kong M D, Wang Q, *et al.* Measurement of absorption loss of optical thin-film by infrared thermal imaging[J]. *Opto-Electron Eng*, 2021, 48(6): 210071; DOI: 10.12086/oe.2021.210071

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (61805247), Youth Innovation Promotion Association, CAS, and Sichuan Province Science and Technology Plan

* E-mail: kongmingdong@126.com