

用散射光观察激光损伤的动态过程

龚辉 李成富 孙旻 李仲伉

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

提 要

本文利用散射光观察强激光对光学材料损伤的动态过程, 详细说明了材料损伤时, 散射光变化特点、以及损伤阈值的确定和散射光变化与损伤形貌的关系. 并研究了激光损伤累积效应.

关键词 激光损伤, 散射.

1 引 言

随着高功率激光器的广泛应用, 强激光对光学材料损伤的研究更加迫切. 目前, 人们主要是对激光损伤现象的研究, 测试样品损伤阈值及其影响参数. 损伤的测试手段多种多样, 开始人们多以光学显微镜观察为主. 研究损伤的静态过程, 劳动强度大, 易受主观因素影响. 后来, 人们采用了一些新的测试手段, 如透过波形变化法^[4]. 它是利用光学材料发生损伤后, 透过波形被削平, 判断损伤. 然而, 它只能对损伤定性研究, 测量精确度不高. 现今人们又利用热光偏转法测试损伤^[1,3,5]. 该方法精确度很高, 但是测试设备复杂, 实验要求高. 为了更好地研究损伤动态过程, 更深入地认识损伤机理, 有必要发展新的损伤测试手段. 本文是利用散射光探测损伤的动态过程.

2 实 验

2.1 实验装置

光路设置如图1所示, 损伤光源为波长 $0.53 \mu\text{m}$ 的 YAG 倍频脉冲激光, 脉冲半宽度 10 ns . 激光经三棱镜折射, 使 $1.06 \mu\text{m}$ 与 $0.53 \mu\text{m}$ 激光分离, $0.53 \mu\text{m}$ 激光被反射, 从左侧经过透镜聚焦在样品上, 焦斑直径为 $56 \mu\text{m}$ ($1/e^2$). He-Ne 光源作为探测光源 (功率为 6.2 mW), 经斩波 (斩波频率 80 Hz), 被分束片 (45° 角 $0.53 \mu\text{m}$ 高透, $0.6328 \mu\text{m}$ 高反) 反射, 与损伤光源共轴. 经透镜聚焦在样品上, 与损伤光焦

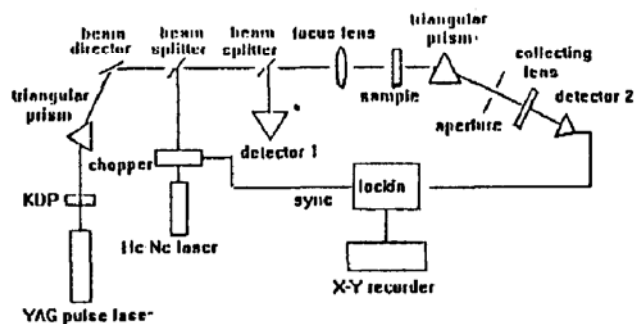


Fig. 1 experiment arrangement for detecting scatter change

点位置相匹配,在损伤光焦点处,其光斑直径为 $257 \mu\text{m}$ ($1/e^2$). He-Ne 光与损伤光透过样品,经三棱镜分束,用透镜收集 He-Ne 光,并用光阑消除杂光. 探测器 2 的输出信号输入到锁相放大器进行放大. 用 X-Y 记录仪记录. 斩波器的参考信号输入到锁相放大器,用于锁定相位. 探测器 1 监测伤能量.

2.2 实验方法

光通过样品时,使透射光强减弱的因素有两个,一是光的吸收;二是光的散射. 前者是入射光能转化为样品的热能等其它形式的能量,后者则只是光能量的空间分布改变了. 虽然这两种因素的本质不同,但都使透射光强减弱. 激光对样品的损伤主要指对样品的宏观破坏,影响透射光变化主要是散射,吸收变化微不足道. 因此,探测透过样品的 He-Ne 光强在损伤后的变化量,即可认定为散射光的变化.

如果测试样品对 He-Ne 光不透过,可采用其它光源为探测光. 为了确定该方法的可靠性,实验测试了几种样品:KDP 晶体、钽玻璃、 $1.06 \mu\text{m}$ 高反膜 ($\lambda/4$ 15 层 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$),基底为 K9 玻璃. 发现固有散射一般都很小. 对于划痕、凹痕、表面颗粒等较大缺陷,当被光照射,会出现亮的散射点. 对不同缺陷的散射强弱可评价该方法对固有缺陷的敏感性. 一般有缺陷的散射光是无缺陷的许多倍. 表 1 列举了对一些缺陷探测的灵敏度. 可见,通过探测散射光强弱变化可以检测损伤.

Table 1 Sensitivity to imperiections

imperfection type	relative sensity
small pit	high
large pit	very high
small particulate	high
large particulate	very high
scratch particulate	very high
drag wipe redldue	high

激光损伤实验采用 1-on-1 方式^[6].

调节光路时一定要使 He-Ne 光与损伤光共轴. 在低能量测试时,样品受损伤激光照射,由于光吸收的存在将在样品内部产生热波,从而使其表面发生形变. 探测光(He-Ne)入射这一区域时,其透射将发生相应的偏转,使透射光强减弱. 这是可逆变化,在 X-Y 记录仪中表现为一个尖角波形. 透射光强没有发生永久变化,样品未发生宏观破坏. 在大能量时,X-Y 记录仪中出现一个

阶梯波形,透射光发生永久性变化,说明散射光增强,样品发生破坏. 可以测出散射光变化量.

3 结果与分析

3.1 高反薄膜、KDP 晶体和钽玻璃的损伤

对于高反膜,结果如图 2 所示. 当损伤光脉冲能量增加,损伤出现,散射光加强,随着损伤光脉冲能量继续增加,散射光强变化也逐渐增加,与损伤能量成线性关系. 取散射光变化平均值作直线外延,把散射光强开始发生变化时,认为出现损伤,推断出阈值. 显微镜(30 x)观察测量,两者损伤阈值接近,用 Leize 干涉衬显微镜观察损伤形貌,如图 3 所示,从左向右损伤能量增加,损伤点机械破坏加大,最右的制作点基底已暴露.

KDP 晶体表面损伤散射变化与损伤能量成线性关系,如图 4 所示利用直线外延即可确定损伤阈值. 其不同能量下的损伤形貌如图 5 所示,损伤形貌基本类似,损伤能量变大,损伤点变大. KDP 晶体的体损伤如图 4(b)所示,当损伤发生时,散射光强变化陡增,近似直线变化,能量变大后,散射变化趋于平稳. 钽玻璃体损伤结果如图 6,图 7 所示. 钽玻璃体损伤时,散射光变

化也与损伤能量成线性关系. 图 7 为损伤形貌(垂直损伤光束方向拍照), 可以看到钹玻璃体损伤具有动态自聚焦现象.

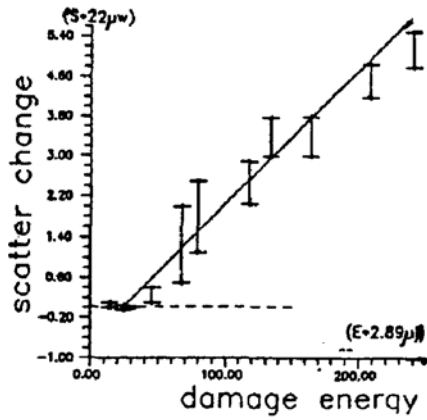


Fig. 2 scatter change versus damage energy at 1.06 μm HR/15 film



Fig. 3 micrograph of the damage site for the HR film

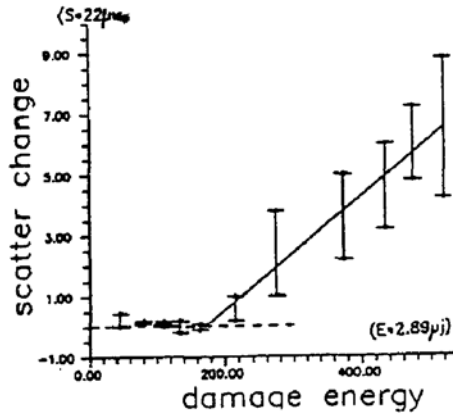


Fig. 4 scatter change versus damage energy on KDP surface

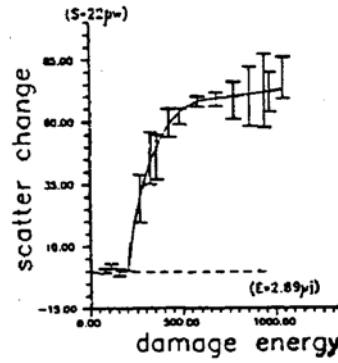


Fig. 6 scatter change versus damage energy in Nd : Glass bulk



Fig. 5 damage micrograph on KDP surface

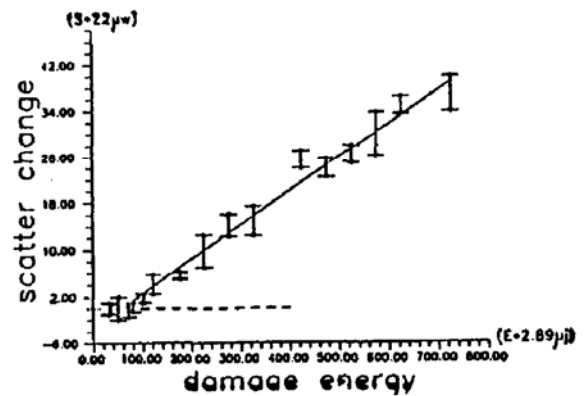




Fig. 7 micrograph of the damage site in Nd-Glass bulk

3.2 激光损伤的累积效应

在重复频率激光作用下,光学材料的损伤具有一定的累积效应.低重复频率下,主要表现为结构变化或特性变化的累积.利用该方法可有效确定低重复频率下多脉冲损伤情况.对于高反膜,如图 8 所示,用低于损伤阈值的脉冲能量入射,在前两个脉冲,没有出现损伤,第三个脉冲时出现了一个小的损伤点.随着入射次数继续增加,损伤点边缘产生烧蚀,散射光信号变化陡增,入射次数再增多,高反膜基底暴露,散射光变化趋向稳定.

多次钕玻璃体损伤如图 9 所示,虚线为高于损伤阈值脉冲能量入射.第一个脉冲时,钕玻璃就发生破坏.入射脉冲次数增加,在自聚焦点运动路线上,出现新的损伤.随着损伤程度加剧,对入射损伤能量衰减增大,难以形成更大的破坏,损伤趋向饱和,散射光强变化逐渐平稳.实线为低于损伤阈值能量入射.第六个脉冲后出现损伤,随着入射次数增加,散射光强变化逐渐变强,损伤加剧.

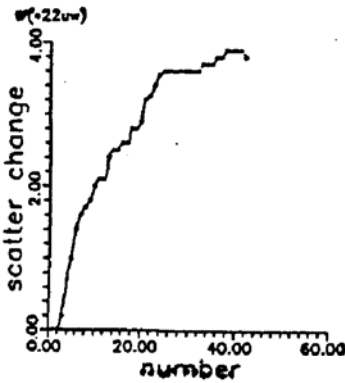


Fig. 8 scatter change versus damage number

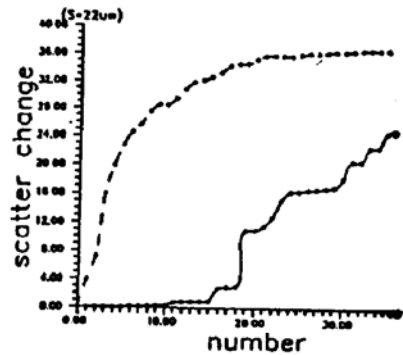


Fig. 9 scatter change versus damage number in Nd : Glass bulk

4 结 论

该方法是依据样品散射光变化研究损伤的动态过程.测试了 KDP 晶体、钕玻璃和 1.06 μm 高反膜三种不同类型的光学材料,得出光学材料损伤时,散射光的变化与损伤能量成线性关系.测试损伤阈值结果见表 2,可以看到其结果比显微镜测得结果低,说明该方法测试精确度高,测试范围广.尤其可贵的是,可利用计算机控制,实现自动检测,用程序完成数据处理.使损伤测试进入一个新阶段.现在作者正致力于这方面工作,并已取得了可喜进步.

Table 2 Some sample laser damage thresholds at 530 nm

sample	microscope(30×) observation		scatter change detection	
	bulk (J/cm ²)	surface (J/cm ²)	bulk (J/cm ²)	surface (J/cm ²)
Nd : Glass	0. 21	15. 96	7. 25	* *
KDP	27. 28	19. 60	25. 23	19. 01
HR *	* *	3. 17	* *	2. 82

参 考 文 献

- [1] M. Mohebi, J. Q. Liang, M. J. Soileau, Polarization dependence of absorption and laser induced surface damage thresholds in wire grid polarizers. *Appl. Opt.*, 1989, **28**(17) : 3681
- [2] S. C. Seitel, Mark T. Babb, Laser-induced damage detection and assessment by enhanced surface scattering. *NBS Spec. Pub.*, 1986 : 650
- [3] Mireille Commandre, Emile Pelletier, Measurements absorption loss in TiO₂ films by a collinear photothermal deflection technique. *Appl. Opt.*, 1990, **29**(28) : 4277
- [4] M. J. Soileau, Laser-induced damage in antireflection coatings of LiNbO₃ crystal. *NBS. Spec. Pub.*, 1980 : 620
- [5] 吴周令, 范正修等, 光学薄膜激光损伤的光热偏转法实时研究. *光学学报*, 1990, **10**(3) : 245
- [6] 孙 旻, 李成富, 李仲伢, LN 晶体的激光损伤研究. *光学学报*, 1993, **13**(11) : 1036~1039

Observation high power laser induced damage process by scattering

GONG Hui LI Chengfu SUN Yang LI Zhongya

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

(Received 18 September 1992; revised 23 December 1992)

Abstract

High power laser induced damage process is observed by scattering. Features of scattering change after sample damaged, and extrapolating damage threshold, scatter change versus laser damage morphology are described. Moreover, the laser damage accumulation effect is studied

Key words laser damage, scattering.