

文章编号: 1001-3806(2007)04-0381-03

## 激光辐照 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 薄膜损伤时间简捷测量

周维军, 袁永华, 桂元珍

(中国工程物理研究院 流体物理研究所, 绵阳 621900)

摘要: 为了测量激光辐照薄膜的起始时间, 采用了一种简洁易行的测量方法, 利用波长  $1.06\mu\text{m}$  和  $1.315\mu\text{m}$  连续激光以及  $1.06\mu\text{m}$  单脉冲激光辐照典型薄膜光学元件, 通过探测器接收激光脉冲信号和薄膜表面的激光反射信号, 薄膜表面反射信号在激光辐照过程中的某个时刻发生突变, 发生突变的时间对应着薄膜发生损伤的时间。得到  $1.06\mu\text{m}$  连续激光强度为  $7133\text{W}/\text{cm}^2$  时, 反射信号在  $0.8\text{s}$  发生突变, 强度为  $11776\text{W}/\text{cm}^2$  时, 反射信号在  $0.4\text{s}$  发生变化;  $1.06\mu\text{m}$  单脉冲激光能量为  $48.725\text{mJ}$ 、 $97.45\text{mJ}$ 、 $194.9\text{mJ}$  时, 薄膜损伤时间为  $3.63\text{ns}$ 、 $2.727\text{ns}$  和  $1.09\text{ns}$ ;  $1.315\mu\text{m}$  连续激光强度为  $2743\text{W}/\text{cm}^2$  时, 反射光信号在辐照时间  $t=3.44\text{s}$  发生突变; 强度为  $4128\text{W}/\text{cm}^2$  时, 薄膜表面反射光信号在辐照时间  $t=1.44\text{s}$  发生突变。结果表明, 通过测量薄膜表面反射信号的突变来确定薄膜损伤的起始时间, 对于薄膜抗激光加固, 以及提高光电系统的抗激光能力有着重要的意义。

关键词: 薄膜; 激光; 时间测量; 损伤

中图分类号: O484.5 文献标识码: A

### Simple time measurement of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ film damaged by laser

ZHOU Wei-jun, YUAN Yong-hua, GUI Yuan-zhen

(Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

**Abstract** A simple method was used to study the initiative time of the thin film irradiated by laser in which adopting  $1.06\mu\text{m}$ ,  $1.315\mu\text{m}$  CW laser and  $1.06\mu\text{m}$  single pulse to irradiate typical optical film elements, laser reflex from the surfaces of film elements was measured, reflected signal happened to change in a certain time, which is in accordance with time of film damaged by laser. The damaged time was  $0.8\text{s}$  and  $0.4\text{s}$  when  $1.06\mu\text{m}$  CW laser density was  $7133\text{W}/\text{cm}^2$  and  $11776\text{W}/\text{cm}^2$  respectively. The damage time was  $3.63\text{ns}$ ,  $2.727\text{ns}$  and  $1.09\text{ns}$  when  $1.06\mu\text{m}$  single pulse laser energy was  $48.725\text{mJ}$ ,  $97.45\text{mJ}$ ,  $194.9\text{mJ}$  respectively. The damaged time was  $3.44\text{s}$  and  $1.44\text{s}$  when  $1.315\mu\text{m}$  CW laser density was  $2743\text{W}/\text{cm}^2$  and  $4128\text{W}/\text{cm}^2$  respectively. Result shows the method of measuring reflected signal of damaged thin films can obtain damaged time of film and it is helpful for improving the laser resistance of film.

**Key words** films; laser; time measurement; damage

## 引 言

光学薄膜是光学探测系统中最先接收入射激光的部分,也是易损伤的薄弱环节。激光对光电设备的破坏,首先是损伤光学薄膜,然后才破坏光学元件及光学系统。因此提高薄膜的激光损伤阈值,对保护光学探测系统具有十分重要的意义<sup>[1-4]</sup>。现在,随着激光技术的快速发展,激光功率有了很大的提高,这对于光电探测系统来说是一个致命的威胁。任何一种薄膜无论采用反射式或者吸收式,在激光功率超过薄膜的损伤阈值时,薄膜就被破坏,光电系统就要面临失效。因

此,研究不同功率激光辐照薄膜损伤时间对于提高薄膜忍耐度方面有着至关重要的作用<sup>[5-10]</sup>。目前,大部分激光薄膜损伤都研究不同薄膜的激光损伤阈值,以及温度场和应力场分布,很少有介绍激光损伤薄膜的时间测量方法的,作者采用试验测量的方式,对  $1.06\mu\text{m}$  连续激光、 $1.06\mu\text{m}$  单脉冲激光以及  $1.315\mu\text{m}$  连续激光辐照薄膜的损伤时间进行了测量,从而得到了薄膜抗激光损伤的时间范围,这对于薄膜的抗激光加固,提高光电系统的性能有着重要的意义。

## 1 实验条件及实验方法

实验选用典型光电系统中位于探测器前的  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  分光薄膜元件。损伤时间测试系统由波长  $1.06\mu\text{m}$  Nd:YAG 连续激光器、 $1.06\mu\text{m}$  脉冲激光、 $1.315\mu\text{m}$  连续激光器、分光镜、聚焦透镜、探测器、能量计、滤光片以及示波器等组成。脉冲激光器脉宽

作者简介:周维军(1978-),男,研究实习员,硕士,主要从事激光与物质相互作用及光纤通信的研究。

Email: zhouxin78@163.com

收稿日期: 2006-05-29; 收到修改稿日期: 2006-07-10

10ns 模式为 TEM<sub>00</sub>, 脉宽波动小于 5%, 激光器在设定的工作电压下, 能量输出稳定。损伤时间测量采用 1-on-1 的方式, 即 1 个点只辐照 1 次。避免因激光预处理带来的影响。损伤时间通过示波器给出。

薄膜元件是在基底玻璃表面镀 T<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> 薄膜, 位于探测器前, 其作用是滤除杂散光如激光抽运灯光的干扰, 同时又具有分光的作用, 使得不同波长的光到达探测器表面, 达到针对不同目标探测的目的。实验中使用的主激光出射光束经过分光镜一部分透射, 一部分反射, 反射光经过滤光片辐照在探测器 1; 透射光经过焦距为 220mm 的透镜聚焦在焦点处的实验元件表面。探测器 2 用来测量薄膜表面的激光反射信号。激光损伤薄膜时间测量光路如图 1 所示。

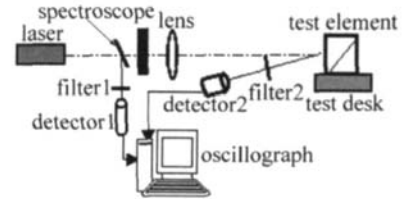


Fig 1 Experimental layout for time laser damaging films

## 2 实验结果

### 2.1 1.06μm 脉冲激光辐照薄膜元件损伤时间测量

在 1.06μm 脉冲激光辐照薄膜元件破坏效应实验中, 光斑直径 0.13mm, 在实验过程中, 通过在透镜前放置适当的衰减片来实现不同能量密度激光对薄膜元件辐照的要求。典型实验信号记录如图 2 所示。图中

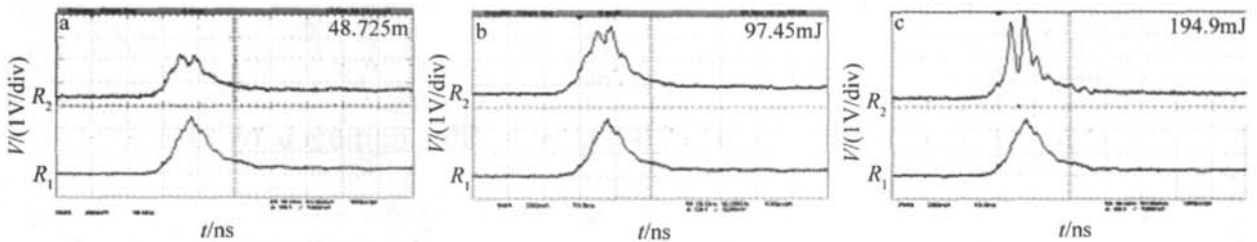


Fig 2 Measuring result of damaged film time under different laser energy

R<sub>1</sub> 是经过衰减后用光电管 1 测量的脉冲激光波形, R<sub>2</sub> 是激光辐照薄膜表面反射信号, 激光辐照能量分别为 48.725mJ, 97.45mJ, 194.9mJ 时, 脉冲激光辐照薄膜元件所测量的激光信号与反射信号波形如图 2 所示。从图 2a 中可以看出, 激光辐照能量为 48.725mJ 薄膜元件表面反射信号在一个单脉宽内发生突变, 反射信号突变的位置就是薄膜发生损伤的时刻, 说明薄膜此时发生损伤, 通过示波器可以测量出薄膜的损伤时间为 3.63ns。增加激光辐照能量为 97.45mJ, 如图 2b 所示, 反射信号幅度增加, 反射信号发生突变的时间缩短, 也就是薄膜发生损伤的时间缩短, 时间为 2.72ns。能量增加 194.9mJ 时, 从图 2c 可以看出, 反射信号在 1.09ns 时刻发生突变, 薄膜损伤时间为 1.09ns。从图 2a~图 2c 损伤时间分别为 3.63ns, 2.72ns 和 1.09ns 得知, 激光能量越高, 薄膜损伤时间越短, 信号下降越明显, 激光对薄膜破坏越显著。

### 2.2 1.06μm 连续激光辐照薄膜元件损伤时间测量结果

1.06μm 连续激光不同强度下辐照薄膜元件损伤时间测量结果如图 3 所示。实验中激光光斑直径 1mm, 辐照时间 5s, 辐照功率分别为 5W, 126W, 208W, 对应的激光强度为 283W/cm<sup>2</sup>, 7133W/cm<sup>2</sup> 和 11776W/cm<sup>2</sup>。从图中可以看出, 当激光辐照功率为 5W 时, 反射光信号幅度没有变化, 说明在激光辐照时间段内薄膜的反射特性没有变化, 薄膜没有发生损伤。

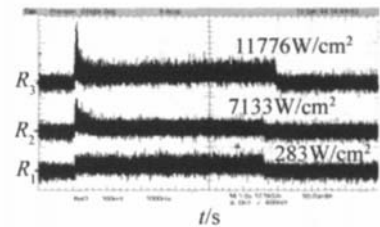


Fig 3 Measuring result of film damage time under different laser density

但随着激光辐照功率的增加, 反射信号幅度发生突变, 而且发生突变的时间也随着辐照功率的增加在缩短; 在激光辐照强度为 7133W/cm<sup>2</sup> 时, 反射信号在 0.8s 发生突变, 说明薄膜在 0.8s 时刻发生损伤; 激光辐照强度为 11776W/cm<sup>2</sup> 时, 反射信号在 0.4s 发生变化, 损伤时间为 0.4s。

### 2.3 1.315μm 连续激光辐照薄膜元件损伤时间测量结果

图 4 中给出 1.315μm 连续激光辐照薄膜元件用光电管测量到的激光输出信号和反射信号的典型实验结果。通过测量、比较激光辐照过程中得到的激光信

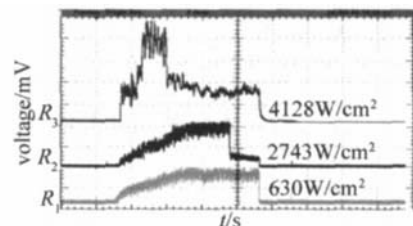


Fig 4 Measuring result of film damage time under different laser density

号和反射信号,可以实时监测薄膜破坏的时间。图中  $R_1$  为激光信号;  $R_2$  和  $R_3$  是激光束辐照薄膜元件表面的反射信号。从图中可以看出,当激光强度为  $630\text{W}/\text{cm}^2$  时薄膜表面反射光信号在激光辐照过程中没有发生变化,说明薄膜没有损伤;当激光强度为  $2743\text{W}/\text{cm}^2$  时,薄膜表面反射光信号在辐照时间  $t=3.44\text{s}$  发生突变,也就是薄膜发生损伤的时间,当激光强度增加到  $4128\text{W}/\text{cm}^2$  时,薄膜表面反射光信号在辐照时间  $t=1.44\text{s}$  发生突变,薄膜在此刻发生损伤。

### 3 结 论

以某种光电探测系统中所使用的特殊薄膜光学元件为实验样品,利用不同波长、不同工作方式激光辐照薄膜,通过测量薄膜表面激光反射信号随时间的变化过程,得到了一种简捷测量薄膜损伤时间的方法。在实验中,薄膜表面反射信号在激光辐照过程中发生突变,说明由于薄膜特性发生改变而引起反射信号特性发生变化。通过此方法,可以使用简单的仪器快速测量出薄膜激光损伤所发生的时刻,这对于研究并提高薄膜抗激光加固有着一定的参考价值。

#### 参 考 文 献

[1] GAO Zh Y, GAO Y, ZHANG KH. Military photo electricity system

[M]. Beijing: Beijing Institute of Science and Technology Press, 1996. 7: 1~20 (in Chinese).

- [2] ZHOU W J, YUAN Y H, GUI Y Zh *et al* Research on damage of  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  film induced by  $1.06\mu\text{m}$  CW laser [J]. Laser Technology, 2006, 30(1): 77~81 (in Chinese).
- [3] LI Zh Y, DENG H, FAN Zh X.  $1.06\mu\text{m}$  laser induced of Ti:Zr thin-film optical coating [J]. Chinese Journal of Laser, 1988, 16(7): 413~416 (in Chinese).
- [4] XIA J J, LI Zh Y, CHENG L.  $532\text{nm}$  laser induced damage to optical film [J]. Laser Technology, 1996, 20(3): 378~379 (in Chinese).
- [5] ZHOU W J, YUAN Y H, GUI Y Zh Thermal effect of  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2/\text{K}_9$  film by  $1.06\mu\text{m}$  CW laser [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2006, 17(9): 1308~1311 (in Chinese).
- [6] MASUD M, NEVILLE C G A, GOODMAN J W. Laser induced local heating of multilayer [J]. Appl Opt, 1982, 21(6): 1107~1114.
- [7] ZHAO Q, FAN Zh X, WANG Zh J Digital analysis of laser induced thermal process in optical coatings [J]. Acta Optica Sinica, 1999, 19(8): 1020~1023 (in Chinese).
- [8] COHEN S S, BERMSTEIN TB, WYATT PW *et al* The effect of multiple laser pulses on damage to thin metallic films [J]. Appl Phys, 1992, 71(2): 630~637.
- [9] QIANG X W, ZHANG J Q, LIU F *et al* Thermal stress damage of semiconductors induced by laser beam [J]. Chinese Journal of Lasers, 2000, 27(8): 710~713 (in Chinese).
- [10] GONG H, EICH F, CUI J W *et al* Optical damage study of materials with high repetitive laser pulse irradiation [J]. Acta Optica Sinica, 1996, 16(2): 229~231 (in Chinese).

(上接第 380 页)

灵敏度更高。通常能得到的光学玻璃其双折射类别为两类,按照无色光学玻璃国家标准 GB903-1987 的规定,两类意味着其最长边中部单位长度上的光程差为  $6\text{nm}/\text{cm}$ ,与该值已经比较接近。所以,上述结论具有一定实际意义。

### 4 结 论

影响块状传感头灵敏度的因素包括:材料的线性双折射和加工角差,其中后者的影响较小,可忽略。而前者的影响较大,尤其是水平段,光程较长,使传感头灵敏度迅速下降;垂直小段则由于光程较短,影响稍小,但对高精度(如 0.2 级)测量仍是不可忽略的。点式传感头的结构相对简单,其灵敏度影响因素只有一个:材料的线性双折射,但其光程比块状的要短的多,单位长度内的线性双折射  $\delta_s$  增加时,灵敏度变化不大。当  $\delta_s$  超过一定值时,点式传感头的灵敏度更高。

实际应用中可根据需要来选择具体的传感头形式。具备直通式最简结构的点式传感头,降低了加工难度和成本,同时也为温度补偿等手段的采用提供了更多的空间。但点式传感头的非闭合结构,易受外磁

场干扰的缺陷<sup>[10]</sup>,是需要考虑解决的问题之一。

#### 参 考 文 献

- [1] LIU S YE M, ZHU Y *et al*  $220\text{kV}$  combined optical voltage and current transformer [J]. SPIE, 1999, 3897: 728~733.
- [2] NING Y N, JACKSON D A. Demountable optical current sensor using a bulk glass sensing element [J]. SPIE, 1993, 2070: 305~312.
- [3] LI E, LU Y, MACALPINE J *et al* Optical current transducer and its signal processing analysis [J]. SPIE, 1996, 2895: 2~7.
- [4] LI H B. Study on the sensing probe of optical current sensor [J]. Acta Optica Sinica, 1997, 17(7): 946~949 (in Chinese).
- [5] TABOR W J, CHEN F S. Electromagnetic propagation through materials possessing both Faraday rotation and birefringence experiments with ytterbium orthoferrite [J]. Appl Phys, 1969, 40(7): 2760~2765.
- [6] JAECKELN A A, LIETZ M. Elimination of disturbing birefringence effects on Faraday rotation [J]. Appl Opt, 1972, 11(3): 617~621.
- [7] ROCHFORD K B, ROSE A H, DEETER M N. Faraday effect current sensor with improved sensitivity-bandwidth product [J]. Opt Lett, 1994, 19(22): 1903~1905.
- [8] SATO T, TAKAHASHI G, NUI Y. Method and apparatus for optically measuring a current [P]. European Patent 0088419A1, 1983-09-09.
- [9] YI B. Research on performance and compensation methods of optical current transducers [D]. Wuhar Huazhong University of Science and Technology, 1996. 36~37 (in Chinese).
- [10] LI H B, CHEN Q, LIU Y B. Research of disturbance caused by magnetic crosstalk within point type optical current transformer [J]. Journal of Transducer Technology, 2004, 23(4): 16~18 (in Chinese).