

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0477-03

# 1064 nm 偏振薄膜的激光损伤特性

胡建平, 马平, 许乔, 张问辉, 段利华

(成都精密光学工程研究中心, 四川 成都 610041)

**摘要** 实验研究了偏振膜的0°和56°角激光损伤特性。研究表明,对于未镀SiO<sub>2</sub>覆盖层的偏振膜,S和P激光0°和56°角入射的损伤图貌为疤痕和膜层剥离,而对于镀SiO<sub>2</sub>覆盖层的偏振膜,0°和56°S偏振光的激光损伤主要为疤痕,56°P偏振光的激光损伤为30~50 μm的孔洞,孔洞形成的原因与深入基片亚表面的抛光粉微粒有关。

**关键词** 激光技术; 激光损伤; 偏振膜; SiO<sub>2</sub>覆盖层

中图分类号 TN24; O484.4 文献标识码 A

## Laser Damage Properties of Polarizers Coatings at 1064 nm

HU Jian-ping, MA Ping, XU Qiao, ZHANG Wen-hui, DUAN Li-hua

(Chengdu Fine Optical Engineering Research Center, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract** The laser induced damage of polarizer has been studied by use of 1064 nm laser with 10 ns pulse duration at the incident angle of 0° and 56°. The experiment results show that the damage morphology is scald and delamination for polarizer coating without SiO<sub>2</sub> overcoat and with SiO<sub>2</sub> overcoat when laser incident at angle 0° and 56° for S polarization light. For P polarization light, the damage of polarizer with SiO<sub>2</sub> overcoat is mainly pits about 30~50 μm in size caused by polishing powder, and the pit size is almost independent on the energy density of the incident laser.

**Key words** laser technique; laser damage; polarizer; SiO<sub>2</sub> overcoat

## 1 引言

偏振膜是高功率激光器中的重要光学元件之一,其抗激光损伤能力对于高功率激光系统是一个关键的技术指标,其激光损伤阈值的大小直接影响激光器的输出功率和性能<sup>[1]</sup>。

偏振膜的抗激光损伤能力与多种因素有关,主要与镀膜材料、镀膜工艺、薄膜中的电场分布、膜系设计、激光波长和脉宽等因素有关<sup>[2,3]</sup>。国内外研究表明,高损伤阈值的激光薄膜采用HfO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>膜料组合在同样的镀制条件下,效果最佳<sup>[4]</sup>,另外,SiO<sub>2</sub>覆盖层也是提高激光薄膜损伤阈值的重要手段<sup>[5]</sup>。

本文主要研究光学中心镀制的1064 nm偏振膜的激光损伤特性。用1-on-1激光损伤方式,针对不同的偏振膜样品,研究了0°和56°入射角的偏振膜的激光损伤形态及特性。

## 2 实验条件及方法

### 2.1 薄膜样品

镀膜基片为φ40 mm×5 mm的K9光学玻璃,基

片的表面均方根粗糙度小于1.0 nm,基片镀膜前用酒精和丙酮清洗干净。

实验用偏振膜采用HfO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>膜堆,用真空电子束蒸镀而成。偏振膜的中心波长为1054 nm,偏振片的使用角度为56.5°,其光谱曲线如图1所示。偏振片样品分两种,最外层加镀和不加镀SiO<sub>2</sub>覆盖层。

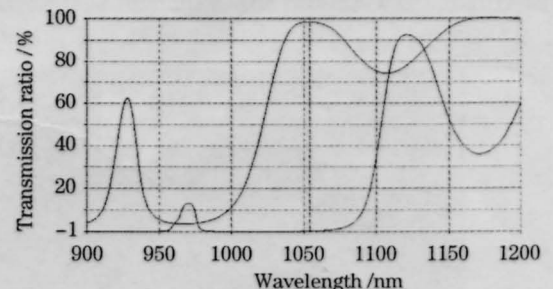


图1 偏振膜的光谱曲线

Fig.1 Spectra of 1064 nm polarizer

### 2.2 实验装置和方法

激光损伤阈值测量系统是由单纵膜Nd:YAG调Q激光器,He-Ne准直光源,分光光楔,3 m聚焦凸镜,可移动样品平台,能量计和CCD光束分析仪组

作者简介: 胡建平(1964-),男,成都精密光学工程研究中心副研究员,主要从事光学元件激光损伤研究。

E-mail: hujp2000@sohu.com

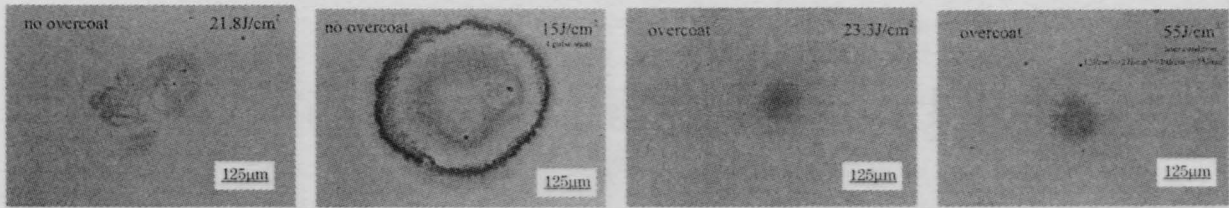


图2 偏振膜 0°的激光损伤形貌

Fig.2 Laser damage morphologies of polarizer at 0° incident

成。测试激光由 Nd:YAG 调 Q 脉冲激光器输出, 激光输出模式  $TEM_{00}$ , 波长 1064 nm, 脉宽(FWHM) 为 10 ns, 最大脉冲能量 1.5 J, 能量稳定性为  $\pm 5\%$ , 样品平台可 X-Y-Z 三方向移动和水平面旋转, 能保证测试光斑在薄膜不同区域和以偏振角  $56.5^\circ$  进行激光损伤测试。激光能量用美国 EM500 大能量探头能量计测量, 测量精度约  $\pm 1\%$ , 测试点光斑的有效面积用 CCD 光束分析仪测量, 测得光斑平均等效面积为  $0.66 \text{ mm}^2$ 。

薄膜的激光损伤实验主要采用单次激光脉冲照射样品薄膜唯一点的——对应即 1-on-1 方式, 激光损伤图貌用莱卡的 Normaski 显微镜分析。损伤实验激光光束的入射角为  $0^\circ$  和  $56.5^\circ$ , 入射激光为 P 和 S 偏振光, 激光损伤能量密度从小到大, 每一激光能量密度测试 10 个点, 能量之间的增量为  $5 \text{ J/cm}^2$ 。

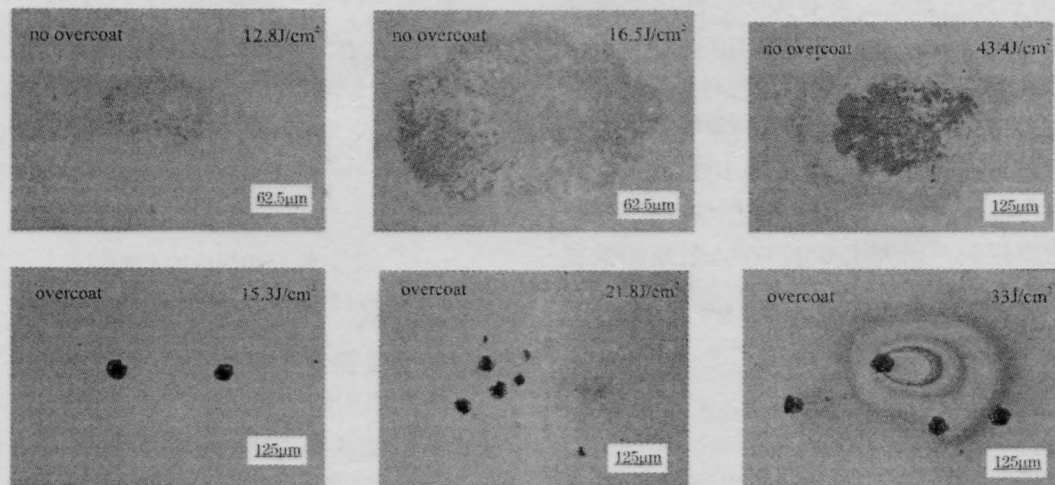
### 3 实验结果与分析

#### 3.1 激光损伤图貌

偏振膜的  $0^\circ$  激光入射角损伤如图 2 所示, 从图中可以看出, 加镀  $\text{SiO}_2$  覆盖层和没有加镀覆盖层的激光损伤图貌与 1064 nm 高反膜的激光损伤图貌相

似<sup>①</sup>, 实质上, 1064 nm 偏振膜  $0^\circ$  使用即是 1064 nm 高反膜。而加镀  $\text{SiO}_2$  覆盖层的膜面激光损伤尺度小, 基本上为烧伤疤痕, 没有层裂发生。而没加镀  $\text{SiO}_2$  层的激光损伤尺度大, 而且对于激光能量大, 或多次激光打击, 还形成膜层剥离。

$56^\circ$  角 P 偏振光对偏振膜的激光损伤图貌如图 3 所示, 可以看出, 没有加镀  $\text{SiO}_2$  覆盖层的偏振膜的激光损伤图貌与其  $0^\circ$  入射角的激光损伤图貌相似, 基本表现为激光烧伤疤痕和表层薄膜的剥离, 只是由于  $56^\circ$  角入射, 烧伤面为椭圆面。而加镀  $\text{SiO}_2$  覆盖层的偏振膜的激光损伤图貌与  $0^\circ$  相比, 相差较大。在低能量密度的激光作用下, 薄膜损伤为孔洞, 表面没有烧伤疤痕, 中等能量密度的激光损伤主要为孔洞, 有时也有膜面烧伤疤痕, 但与孔洞的相关性不大, 说明损伤的机理不一样。高能量密度的激光损伤除了形成孔洞和疤痕外, 还有薄膜表层剥离现象发生。无论是低能量密度还是高能量密度的激光损伤, 对于加镀  $\text{SiO}_2$  覆盖层的偏振膜, P 偏振光  $56^\circ$  角入射对薄膜的激光损伤形态的一个显著特点就是形成孔洞, 孔洞的大小在  $30\sim 50 \mu\text{m}$  左右, 并且随激光能量密度的增加变化较小。例如, 激光能量从  $15 \text{ J/cm}^2$  增

图3  $56^\circ$  入射偏振光对偏振膜的激光损伤形貌Fig.3 Laser damage morphologies of polarizer at  $56^\circ$  incident

加到  $33 \text{ J/cm}^2$ , 随着激光能量的不同, 薄膜表面会出现疤痕和薄膜表层剥离, 但孔洞的大小基本相同。

偏振膜  $S$  偏振光的  $56^\circ$  激光损伤图貌与各自的  $0^\circ$  激光损伤图貌相似, 表现为疤痕和膜层剥离, 只是由于激光倾斜入射, 损伤面为椭圆形。

### 3.2 损伤图貌分析

从激光损伤图貌可以看出, 偏振膜的激光损伤对于  $S$  偏振和  $P$  偏振光主要表现为疤痕、膜层剥离和孔洞, 但对于是否镀了  $\text{SiO}_2$  覆盖层, 损伤的形式各有侧重。没有镀  $\text{SiO}_2$  覆盖层的偏振膜, 对于  $S$  偏振和  $P$  偏振光的  $0^\circ$  和  $56.5^\circ$  角入射, 主要表现为疤痕和膜层剥离, 激光损伤为最外层的  $\text{HfO}_2$  膜层烧伤, 烧伤过程中产生强等离子体闪光, 初始损伤耐激光连续打击能力差。而镀  $\text{SiO}_2$  覆盖层的偏振膜, 对于  $0^\circ$  入射激光, 损伤主要表现为疤痕, 并且耐激光连续打击能力强。对于  $56.5^\circ$  入射激光,  $S$  偏振的激光损伤主要表现为疤痕, 而  $P$  偏振光的一个显著特征的激光损伤特点是孔洞, 孔洞的形状均为圆形, 大小较一致, 约  $30\sim 50 \mu\text{m}$  左右, 与激光能量密度高低的关系不明显, 可以推断出孔洞形成的机理应该相同。孔洞形成的原因与微小颗粒吸收激光能量有关, 膜层中的颗粒主要为膜料镀制过程中形成, 其损伤特点是形成孔洞, 并以孔洞为圆心形成烧伤疤痕<sup>[4]</sup>, 孔洞和疤痕的形成相关。从这一点看, 偏振膜激光损伤产生的大部分孔洞不是由膜层中的节瘤缺陷造成的, 应与基片和薄膜交界面上的吸收微粒有关。基片在抛光过程中, 有少量抛光粉残留在基片表面和深入基片亚表面, 形成均匀分布。由于抛光粉微粒大小均匀, 位于基片表面及亚表面, 因而由其引起的激光损伤形成的孔洞表现为大小基本一致, 且与激光能量关联不大。至于未加镀  $\text{SiO}_2$  覆盖层的偏振

片,  $56^\circ$  入射角的激光损伤形态未出现孔洞现象, 而与其  $0^\circ$  入射角的激光损伤形态相同, 主要是因为  $\text{HfO}_2$  膜层容易烧伤形成等离子体闪光, 等离子体闪光对激光脉冲的激光能量有屏蔽作用, 使得激光到达基片表面能量较低, 因而孔洞形成的少。

### 参考文献

- 1 M. R. Kozlowski, I. M. Thomas, J. H. Campbell *et al.*. High-power-optical Coatings for a Mega-Joule Class ICF Laser [C]. *SPIE*, 1992, **1782**: 105-119
- 2 F. Y. Genin, C. J. Stolz, T. Reitter *et al.*. Effect of Electric Field Distribution on the Morphologies of Laser-Induced Damage in Hafnia-Silica Multilayer Polarizers[R] UCRL-JC-124873, 1997
- 3 C. J. Stolz, F. Y. Genin, T. A. Reitter *et al.*. Effect of  $\text{SiO}_2$  Overcoat Thickness on Laser Damage Morphology of  $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$  Brewster's Angle Polarizers at 1064 nm[R] UCRL-JC-124875, 1997
- 4 C. Fournet, B. Pinot, B. Geenen *et al.*. High Damage Threshold Mirrors and Polarizers in the  $\text{ZrO}_2/\text{SiO}_2$  and  $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$  Dielectrics Systems [C]. *SPIE*, 1991, **1624**:282-293
- 5 Fu Xiongying, Kong Mingdong, Hu Jianping. The deposition of high threshold reflecting coating with high damage threshold for 1064 nm pulse laser [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 1999, **11**(4):413-417  
付雄鹰, 孔明东, 胡建平. 波长 1064 nm 脉冲激光高阈值反射膜的研制[J]. *强激光与粒子束*, 1999, **11**(4): 413-417
- 6 Hu Jianping, Qiu Fuming, Fu Xiongying *et al.*. Effect of  $\lambda/2$  silica overcoat on laser damage of  $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$  high reflecting coating [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001, **13**(2):137-141  
胡建平, 邱服民, 付雄鹰 等.  $\text{SiO}_2$  半波覆盖层对  $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$  高反射膜激光损伤的影响[J]. *强激光与离子束*, 2001, **13**(2):137-141
- 7 Hu Jianping, Chen Mei, Fu Xiongying *et al.*. Relation between laser damage and defects of  $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$  HR coating [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2001, **13**(5):529-532  
胡建平, 陈梅, 付雄鹰 等.  $\text{HfO}_2/\text{SiO}_2$  高反射膜的缺陷及其激光损伤[J]. *强激光与粒子束*, 2001, **13**(5):529-532