

CO₂激光预处理 1.06μm 高反射膜 对吸收和损伤阈值的影响

胡文涛 范正修 刘立明
(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 本文报道用 CO₂ 激光作光学薄膜预处理对薄膜的吸收和损伤阈值的影响。实验对 K₉ 玻璃、硅片、石英作基底的三组样品作了研究, 结果表明, 对石英为基底的 TiO₂/SiO₂ 11 层高反膜进行了 CO₂ 激光辐照处理能提高损伤阈值。

关键词: 激光预处理, 薄膜吸收, 损伤阈值

Effect of CW CO₂ laser conditioned surface on the absorption and damage threshold of optical coatings

Hu Wentao, Fan Zhengxiu, Liu Liming

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

Abstract: The effect of CO₂-laser conditioned surface on the absorption and damage threshold of optical coating is investigated with films coated on the substrates of silicon, fused silica and glass. The results show that the damage threshold of TiO₂/SiO₂ HR coatings deposited on fused silica substrates would be improved after such irradiation.

Key words: laser conditioning, film absorption, damage threshold

一、引言

光学薄膜的吸收可以导致损伤, 减少吸收是提高损伤阈值的一条有效途径。对于减反膜, 损伤往往发生在基板与膜层的界面, 若镀膜前在真空中对基板表面作激光辐照处理, 可使基板表面吸附的杂质解吸, 从而减少样品的吸收, 提高损伤阈值^[1]。而对于高反膜样品, 损伤基本从最外层开始, 要减少样品的吸收, 只能对薄膜本身作一些处理才是有效的。本文讨论 CO₂ 激光对 1.06 μm 多层介质高反膜作辐照处理后, 样品的吸收和损伤阈值的变化。

二、实验方法

分别在 K₉ 玻璃、石英、硅片基底上镀制 11 层 TiO₂/SiO₂ 1.06 μm 高反膜, 每种基底在同

一条件下镀制多块样品,以便在预处理后进行比较。

用于辐照薄膜的连续 CO₂ 激光器的工作波长为 10.6 μm, 输出功率在 0~1500 W 之间可调, 光斑大小接近样品尺寸, 直径约 30 mm。辐照时间 (x+y)*z 表示辐照 x 秒后, 停顿 y 秒再辐照, 总共进行 z 次。

样品的吸收用“光热偏转技术”测试^[2], 实验装置见图 1。由于所测数据仅用于样品间的比较, 因此不需作吸收的绝对测量, 从而略去定标问题。

测试所用的泵浦光和探测光都是波长为 632.8 nm 的 He-Ne 激光, 功率分别为 50 mW 和 0.8 mW。

测试薄膜损伤的实验装置如图 2 所示^[3]。激光系统由 Nd:YAG 振荡器和两级 Nd:YAG 放大器组成, 振荡器采用 LiF 晶体调 Q, 小孔光阑选模, 输出波长为 1.06 μm, 脉宽 10 ns, 工作于单模状态。入射光由一消像差的非球面透镜会聚于样品表面, 光斑直径(1/e²)为 100 μm。薄膜损伤的观察分两种情况: 当样品对可见光透明时, 用置于样品后的显微镜观察是否出现损伤斑点; 当样品不透明时, 在激光入射的一侧观察膜面是否产生荧光。损伤阈值采用 1-on-1 的方式检测, 即在样品表面同一位置上只照射一次激光而不管这一点损坏与否。薄膜损伤阈值定义为两个极值的平均值, 即使薄膜破坏的最低能量和不使薄膜破坏的最高能量的平均值。

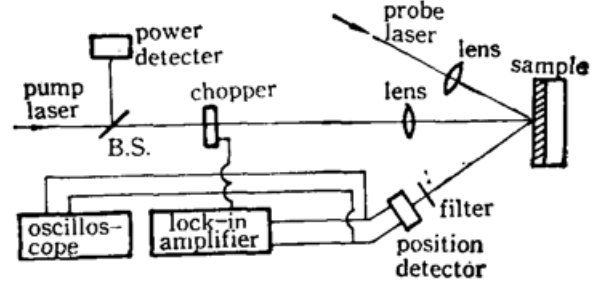


Fig. 1 Experimental setup for absorption testing

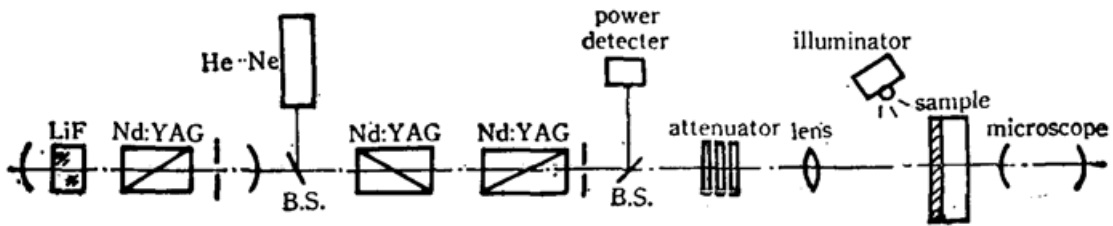


Fig. 2 Experimental setup for damage resistance measurements

三、实验结果及讨论

1. 玻璃基底

在同一条件下镀制 9 块样品, 其中 8 块采用不同的辐照功率和辐照时间作了预处理, 然后在光热偏转装置上测吸收, 结果见表 1。由于玻璃对 10.6 μm 激光的强烈吸收, 在辐照功率密度比薄膜损伤阈值小得多的情况下基底首先炸裂。因此, 这一实验研究的样品不宜用玻璃做基底。由于样品破裂难以装夹, 未测损伤阈值。

表 1 中, 参量 ΔV 为像限探测器的差动输出信号, V 为探测器两像限直流输出之和, ΔV 的大小取决于样品表面形变的斜率, V 则取决于探测光光强和样品表面反射率。对同一基底的样品, 在低频调制下 ΔV/V 表征吸收的相对大小。从表中可以看到: 序号为 1, 2, 4, 5, 6 的样品, 所测得的 V 值比未处理样品小得多, 说明其表面反射率已大为减小, 这是由于这几块样品在预处理时, 基底吸热温升过高而对薄膜的结构产生了不良影响; 序号为 3, 7, 8 的样品, V 值仍接近于未处理样品, 但 ΔV 值均已变小, 说明经过预处理吸收减少, 另外, 还看到: 一次连续辐照的能量越大, 吸收减少的幅值也越大。吸收减小可能是激光辐照使样品表面得到净化

Table 1 Damage threshold of CO₂ laser conditioned coatings on K₉ glass substrates

Sample number	Irradiation power (W)	Irradiation time (s)	Output signal of detector		Sample state after irradiation
			V (mV)	ΔV (μV)	
1	600	1.8	270	4.0	Substrate crack
2	500	1.8	190	1.25	Substrate crack
3	400	1.8	330	1.25	Substrate crack
4	300	4.0	285	5.0	Substrate crack
5	800	1.0	150	1.2	Substrate crack
6	500	(0.5+1.5)*10	290	0.75	Substrate crack
7	700	(0.5+9.5)*10	340	0.75	In good condition
8	1000	(0.2+9.8)*10	320	8.5	Substrate crack
9			340	20.0	In good condition

或结构上得到退火的结果。本实验未对表面形态的变化进行观察研究。

2. 硅片基底

在同一条件下镀制 5 块样品, 对其中 4 块作 CO₂ 激光预处理, 然后测各样品的相对吸收和损伤阈值, 预处理条件和测试结果见表 2。

Table 2 Damage thresholds of CO₂ laser conditioned coatings on silicon substrates

Sample number	Irradiation power (W)	Irradiation time (s)	Output signal of detector		Damage threshold (J/cm ²)
			V (mV)	ΔV (μV)	
1	1000	1.0	430	4.0	6.9
2	800	1.0	435	5.0	6.5
3	700	(1+9)*5	390	6.0	3.9
4	800	(1+9)*5	415	4.75	6.6
5			420	7.0	11.5

从表 2 可以看出: 经 10.6 μm 激光辐照后, 样品的吸收减少, 一次连续辐照的能量越高, 吸收减少越明显。将作过预处理的样品进行比较, 可以看到: 吸收越小, 损伤阈值越高; 与 1, 2, 4 相比, 3 的阈值要低得多, 尽管它的吸收并不大很多, 但由于它的 V 值比其它样品小得多, 亦即其反射率远低于其它样品, 说明它的薄膜结构等已发生变化, 从而导致阈值降低。

未经处理的样品, 吸收值明显比处理过的样品大, 但它的损伤阈值反而高于后者。这说明样品经过预处理, 损伤阈值受到了吸收以外的其它因素的限制。这可能是由于硅片基底对 10.6 μm 激光的吸收比膜层小, 在预处理的过程中基底温升与膜层温升不平衡, 样品冷却后产生附加内应力等不利因素从而使损伤阈值大幅度下降。

3. 石英基底

在同一条件下镀制 4 块样品, 对其中 3 块作 CO₂ 激光辐照处理, 然后测各样品的吸收和

Table 3 Damage thresholds of CO₂ laser conditioned coatings on fused silica substrates

Sample number	Irradiation power (W)	Irradiation time (s)	Output signal of detector		Damage threshold (J/cm ²)
			V (mV)	ΔV (μV)	
1	800	1.0	370	1.30	14.9
2	600	2.0	340	0.85	16.8
3	500	(1+9)*5	360	0.57	20.2
4			370	1.50	13.6

损伤阈值, 结果见表 3。

从表 3 可以看出: 经 10.6 μm 激光辐照, 吸收均减少, 且辐照能量越大吸收减少越明显, 相应的损伤阈值越高, 且高于未处理样品, 说明这组样品作 CO₂ 激光预处理可以提高损伤阈值。

比较硅基底和石英基底的情况, 两者不同之处在于: 石英基底对 10.6 μm 激光的吸收与膜层的吸收相近, 在预处理过程中两者温升平衡, 样品冷却后不会产生附加内应力, 相反, 还可能消除部分原有应力, 而处理后吸收减少, 这样就使损伤阈值提高。

参 考 文 献

- 1 Z. L. Wu, "The effect of cw CO₂-laser irradiated substrate on the damage resistance of optical coatings", Proc. of the 3rd International Symposium on Trends and New Application in Thin Film
- 2 范正修 *et al.*, 光学学报, 10 (4), 369 (1990)
- 3 李仲侠 *et al.*, 光学学报, 11 (1), 94 (1991)