

双离子束溅射沉积薄膜的光学特性 与激光损伤研究

汤雪飞 范正修 王之江

(中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800)

摘 要 对氧化物薄膜的双离子束溅射沉积作了系统地实验研究。考察了离子束溅射工艺参数对薄膜光学特性的影响, 制备了折射率接近于块材料的 TiO_2 和 ZrO_2 薄膜, 显著降低了 TiO_2 、 ZrO_2 和 SiO_2 薄膜的光吸收损耗, TiO_2 和 ZrO_2 薄膜的抗激光损伤阈值得到显著提高。用双离子束溅射沉积 $1.06 \mu\text{m}$ 多层高反膜, 得到了大于 99.5% 的高反射率, 经高温退火处理的双离子束溅射沉积高反膜的抗激光损伤阈值同热蒸发沉积的高反膜相比有所提高。

关键词 离子束溅射, 薄膜, 光学特性 激光损伤。

1 引 言

离子束溅射沉积工艺, 在成膜过程中保持高的真空度, 溅射粒子带有较高的能量, 因此用离子束溅射沉积制备的光学薄膜具有高的堆积密度和极细微的微观结构^[1,2], 折射率接近于块材料, 薄膜具有高的光学稳定性和较低的散射损耗^[3]; 高能溅射粒子沉积在基板上时能将吸附的杂质溅离基板或已沉积膜层, 因此增加了薄膜的吸附力并降低了杂质含量。使用双离子束溅射沉积技术可以更充分地改善膜层的化学计量比, 使薄膜的吸收降低到极低的水平^[4]。以上这些特征提高了离子束溅射沉积薄膜的激光损伤阈值, 因此该技术在制备强激光薄膜方面具有良好的应用前景。

用离子束溅射沉积工艺制备光学薄膜, 在国外已有较大发展, 在国内尚属起步阶段, 作者用双离子束溅射沉积工艺制备了不同离子能量、离子束流密度的氧离子辅助溅射沉积 TiO_2 、 ZrO_2 和 SiO_2 薄膜。对不同工艺条件下制备的薄膜进行折射率、光吸收等光学特性测试, 考察了离子束溅射沉积工艺参数对薄膜光学特性的影响。测试了离子束溅射沉积薄膜的激光损伤阈值, 并且与热蒸发沉积和离子辅助沉积薄膜的损伤阈值作了比较分析。用石英晶体振荡监控膜层制备了 $1.06 \mu\text{m}$ 波长 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 多层高反射率薄膜。

2 实验安排

2.1 薄膜样品制备

图 1 是双离子束溅射沉积系统结构示意图。扩散泵抽运的真空室直径为 400 mm。溅射枪是口径为 100 mm 的 Kaufman 型宽束聚焦离子源, 焦距为 150 mm, 输出离子能量可达 1500 eV, 束流可达 150 mA, 离子束以 45° 入射角轰击靶面。辅助枪是口径为 100 mm 的 Kaufman 型宽束平行离子源, 辅助离子以 60° 入射角轰击基板。这两种离子源都带有中和灯丝发射电子中和离子束。法拉第筒用于监测到达基板的辅助离子束流密度。采用石英晶体振荡法控制膜厚, 基板架可以调整到靶面的距离, 并施加转动以改善膜厚的均匀性。溅射靶固定在水冷工作台上。可以安放四块溅射靶, 通过旋转工作台更换溅射材料。

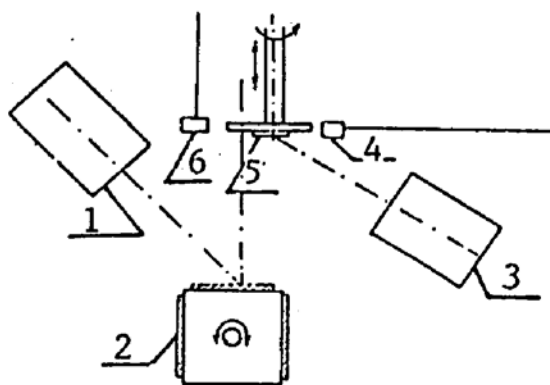


Fig. 1 Schematic diagram of IBSD system

使用金属 Zr、Ti 靶制备 TiO_2 、 ZrO_2 薄膜, 用晶体 Si 靶制备 SiO_2 薄膜。用单质靶进行溅射沉积可以提高沉积速率。

制备这三种材料的薄膜时, 先将真空室的本底气压抽到 $9.3 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ 以下, 然后给溅射枪注入工作气体氩气, Ar 偏压为 $8 \times 10^{-3} \text{ Pa}$, 再给辅助枪注入工作气体氧气, 使真空室内氧偏压为 $2.67 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ 。在沉积薄膜之前, 先用辅助枪对旋转中的基片施加能量为 300 eV、束流为 30 mA 的氧离子轰击, 对基片进行预清洗。

溅射沉积薄膜时, 调节溅射枪的工作参数, 使溅射离子能量为 1000 eV, 离子束流为 100 mA, 并在沉积过程中保持这些参数的稳定。制备过程中基板不加烘烤。

为了考察辅助离子束工艺参数对薄膜光学性能的影响, 制备了离子能量分别为 200 eV、300 eV, 离子束流密度分别为 $30 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 、 $60 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 、 $90 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 和 $120 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 的离子束辅助溅射沉积 TiO_2 、 ZrO_2 和 SiO_2 单层膜。薄膜的制备参数如表 1 所示。考虑到要在 YAG 激光器上进行损伤实验, 薄膜光学厚度尽量控制在 $1.06 \mu\text{m}$ 的四分之一波长附近。薄膜厚度控制用时间监控法或石英晶体振荡法。

Table 1 Deposition parameters of IBSD

	insert gas	partial pressure	ion energy (eV)	ion current (mA)	current density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
sputtering gun	Ar	$6 \times 10^{-5} \text{ Pa}$	1000	100	
assistant gun	O_2	$2 \times 10^{-4} \text{ Pa}$	200 or 300		30, 60, 90 or 120
sputtering material	Ti		Zr		Si
deposition rate	3.5~5 nm/min		4~6 nm/min		20~25 nm/min
substrate temperature	60°C~90°C				

为了把离子束溅射沉积工艺与其它工艺作一比较, 还用热蒸发沉积和离子辅助沉积工艺制备了 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 单层膜^[5]。用热蒸发沉积制备薄膜时对基板施加了烘烤。用石英晶体振荡膜厚监控法, 对膜层厚度进行监控, 制备了 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 多层高反膜。

2.2 薄膜特性测试

用光谱仪绘出薄膜的透过率谱线或反射率谱线, 根据谱线的极值点确定薄膜的折射率和厚度。薄膜的吸收测量在光热偏转法弱吸收测量装置上进行^[5]。抗激光损伤阈值测量在波长为 1.06 μm 、脉宽为 10 ns 的 YAG 激光装置上进行。损伤实验采用 1-on-1 方式, 即在样品同一位置只照射一个激光脉冲, 而不管这一位置发生破坏与否。用光学显微镜观察损伤。

3 单层膜实验结果

测量了热蒸发沉积, 离子辅助沉积和不同工艺条件下离子束溅射沉积 TiO_2 、 ZrO_2 、 SiO_2 单层膜的折射率, 消光系数和抗激光损伤阈值。表 2、表 3、表 4 分别列出了这三种材料的单层膜测试结果。下面分别讨论这三种材料的折射率、光吸收等光学特性和激光损伤阈值。

Table 2 Optical properties and damage threshold of TiO_2 single layer

No.	energy (eV)	density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	nd (nm/4)	n	k (10^{-4})	threshold (J/cm^2)	rate (nm/min)
T1	0	0	1037	2.30	3.0	46.0 ± 8.0	9.35
T2	200	60	1030	2.36	2.52	36.9 ± 7.1	9.30
T3	200	90	1008	2.37	2.8	50.0 ± 14.3	9.33
T4	200	120	972	2.39	0.9	44.9 ± 8.7	9.16
T5	200	30	1083	2.35	2.4	34.8 ± 7.5	9.20
T6	300	60	1094	2.34	2.2	39.4 ± 8.9	9.29
T7	300	90	1067	2.36	2.5	54.0 ± 15.4	9.03
T8	300	120	1060	2.35	0.81	54.2 ± 15.8	8.98
T9	300	180	980	2.35	0.6	53.3 ± 14.8	8.65
T10	IAD*		630	2.48	3.6	16.5 ± 2.8	
T11	evaporated		1165	2.23	13.0	13.3 ± 2.4	

Table 3 Optical properties and damage threshold of ZrO_2 single layer

No.	energy (eV)	density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	nd (nm/4)	n	k (10^{-4})	threshold (J/cm^2)	rate (nm/min)
Z1	0	0	970	2.07	2.8	48.2 ± 9.7	11.02
Z2	200	40	1045	2.15	2.2	50.8 ± 10.3	10.88
Z3	200	45	1045	2.16	1.9	47.2 ± 8.8	10.59
Z4	200	60	1005	2.15	2.5	42.6 ± 7.4	10.46
Z5	200	90	995	2.16	1.8	58.3 ± 15.1	10.36
Z6	200	120	930	2.15	0.64	37.4 ± 6.5	10.27
Z7	300	30	1035	2.15	2.1	47.0 ± 8.5	10.68
Z8	300	45	1015	2.14	1.0	58.7 ± 15.3	10.57
Z9	300	60	1050	2.13	1.5	43.8 ± 9.3	10.38
Z10	300	120	990	2.06	0.92	37.7 ± 5.7	9.70
Z11	IAD		641	2.07	4.0	24.0 ± 3.6	
Z12	evaporated		1112	1.96	7.0	23.5 ± 3.8	

Table 4 Optical properties and damage threshold of SiO₂ single layer

No.	energy (eV)	density ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	nd (nm/4)	n	k (10^{-4})	threshold (J/cm^2)	rate (nm/min)
S1	200	30	1064	1.48	1.6	39.4 ± 5.5	
S2	200	60	1040	1.47	1.2	39.1 ± 3.4	
S3	200	90	1071	1.48	1.2	40.5 ± 5.7	38.6
S4	IAD		624	1.49		39.3 ± 4.6	
S5	evaporated		1033	1.44	2.0	38.9 ± 4.1	
S6	300	180	980	1.48	0.5	45.8 ± 6.6	

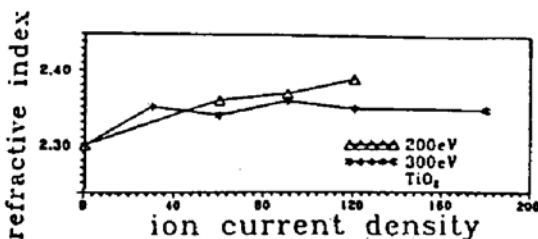
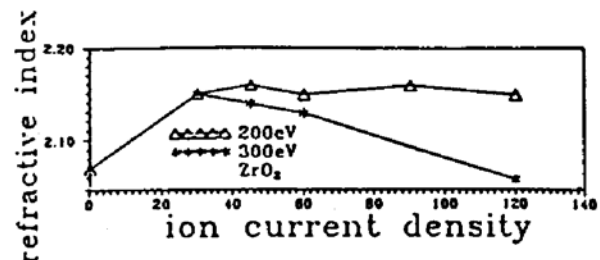
* IAD; Ion assisted evaporation deposition

3.1 折射率

薄膜折射率的高低与薄膜的致密程度紧密关联,而薄膜的堆积密度是由成膜过程中成膜粒子的激活能决定的.热蒸发沉积的薄膜,由于蒸发粒子能量低,薄膜结构疏松,折射率低于块状材料.通过在蒸发沉积过程中给基板加热或用离子辅助沉积的方法提高薄膜吸附粒子的迁移力,可以增加薄膜的致密性,提高薄膜的折射率.离子束溅射沉积的薄膜,由于溅射薄膜材料的粒子具有较高的动能,沉积在基板上形成的薄膜已经具有较高的堆积密度,在此基础上施加离子辅助,所以,用离子束溅射沉积可以进一步改善薄膜的致密性,得到折射率接近块材料的薄膜.

图 2 所示为双离子束溅射沉积的 TiO₂ 单层膜在辅助枪离子能量分别为 200 eV、300 eV 时薄膜折射率随辅助离子束流密度变化曲线.图 2 是参照表 2 中的数据绘制的,折射率是 1.06 μm 波长下的值.从图中可以看出,未加离子辅助时,离子束溅射沉积的 TiO₂ 单层膜的折射率已达 2.30,高于施加了烘烤的热蒸发沉积薄膜(2.23).施加了离子辅助后,在辅助离子能量为 200 eV 时,折射率随辅助离子束流密度增加进一步提高;辅助离子能量为 300 eV 时,离子束流密度超过一定限度之后,折射率略呈下降趋势.

图 3 所示为双离子束流溅射沉积的 ZrO₂ 单层膜在辅助枪离子能量分别为 200 eV、300 eV 时薄膜折射率随辅助离子束流密度变化曲线.图中曲线参照表 3 中的数据绘制,折射率为 1.06 μm 波长下的值.从图中可以看出,未加离子辅助时,离子束溅射沉积的 ZrO₂ 单层膜折射率为 2.07,而加烘烤的热蒸发沉积 ZrO₂ 薄膜的折射率为 1.96(见表 3).施加 200 eV 能量的离子辅助时,ZrO₂ 薄膜的折射率可以达到 2.16,辅助离子束流密度增加,薄膜折射率变化不大.。施加 300 eV 能量的离子辅助时,随着辅助离子束流密度的增加,ZrO₂ 薄膜折射率呈下降趋势较为明显

Fig. 2 Refractive index of DIBS TiO₂ single layerFig. 3 Refractive index DIBS ZrO₂ single layer

实验结果表明双离子束溅射沉积可以进一步提高 TiO₂ 和 ZrO₂ 薄膜的折射率,使其接近

于块状材料的折射率值。辅助离子束轰击基板能提高薄膜的折射率是因为辅助离子对生长中的薄膜有离子掺合和表面原子反冲植入作用,使薄膜致密化。同时辅助离子对生长中的薄膜也有溅射作用,会把已沉积的薄膜粒子溅离膜层。当溅射作用大于离子掺合和表面原子反冲植入作用时,薄膜的致密化程度就会有所降低,导致薄膜的折射率不再随辅助离子束流密度的增加而增加,有时还会出现下降趋势。这跟热蒸发离子辅助沉积中的现象是一致的。图 4 和图 5 分别给出了在辅助离子能量为 200 eV 和 300 eV 时,双离子束溅射沉积的 TiO_2 、 ZrO_2 薄膜沉积速率随辅助离子束流密度变化的情况,曲线是根据表 2 和表 3 的数据归一化之后绘制的。从图中可以看出,施加了离子辅助之后,薄膜的沉积速率都有不同程度的下降,随着辅助离子束流密度的增加,沉积速率下降得更多;辅助离子能量越高,沉积速率随离子束流密度增加而下降的趋势就更明显。这说明在沉积过程中辅助离子会把已沉积的薄膜粒子溅离膜面,图中沉积速率下降的幅度就间接体现了辅助离子对生长中薄膜的溅射强度。注意到图 5 中 ZrO_2 薄膜在辅助离子能量为 300 eV 时,离子束流密度增加沉积速率下降幅度较大,因此薄膜的折射率随着离子束流密度增加而下降的趋势较为明显。

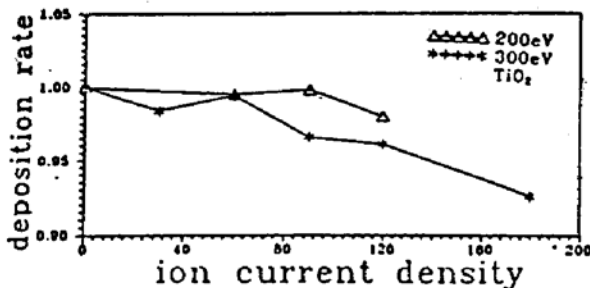


Fig. 4 Deposition rate of IBSD TiO_2 single layer

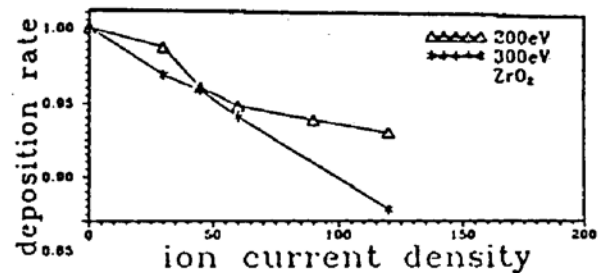


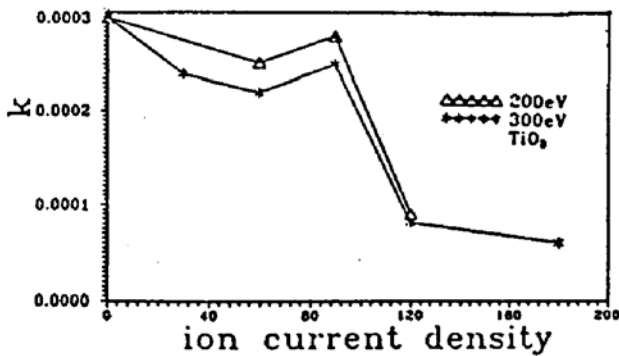
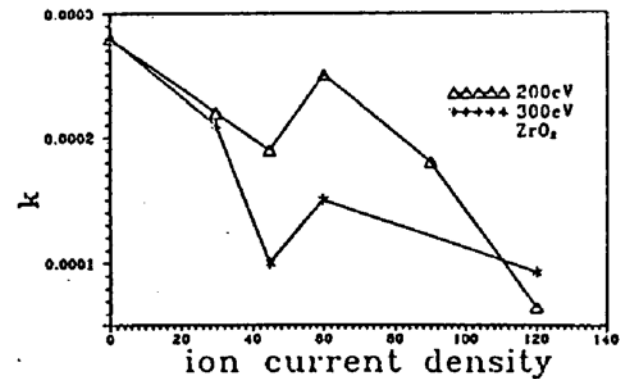
Fig. 5 Deposition rate of IBSD ZrO_2 single layer

3.2 光吸收特性

光学薄膜的光吸收特性与薄膜的化学计量比紧密相关。对于氧化物薄膜,当氧的组份偏低时,薄膜呈现大的光吸收。在离子束溅射沉积 TiO_2 、 ZrO_2 和 SiO_2 薄膜的实验中,使用的是单质 Ti、Zr 和 Si 靶,单质原子在溅射和沉积到基板成膜的过程中,与注入真空室的氧充分反应生成氧化物薄膜。在未施加离子辅助时,单质原子完全依靠与真空室中氧气的相互作用生成氧化物薄膜,这时真空室中的氧偏压要足够高,以保证沉积到基底的单质原子能被充分氧化,得到低光学吸收的氧化物薄膜。表 2 至表 4 中的离子束溅射沉积薄膜,真空室中的氧偏压为 $2.7 \times 10^{-2} \text{Pa}$,从表中可以看出未加辅助的离子束溅射沉积薄膜的消光系数保持较低的水准。在施加了离子辅助之后情况就不同了。给辅助离子源注入的工作气体是纯氧。氧气分子被离化以后以一定的能量和束流密度轰击生长中的薄膜。具有高化学活性的离化氧与到达基底的未被氧化的单质的原子相互作用,可以使沉积材料更充分地被氧化,使化学计量比更加完善,进一步改善光吸收特性。

图 6 和图 7 分别示出了在辅助离子能量为 200 eV 和 300 eV 时,双离子束溅射沉积的 TiO_2 、 ZrO_2 薄膜的消光系数离子束流密度变化的情况,曲线依据表 2 和表 3 中的数据绘制。由于在用光热偏转法测量弱吸收时用 He-Ne 光作为泵浦光,因此给出的消光系数皆为 633 nm 时的值。

从图中和表中可以看出,用氧离子辅助离子束溅射沉积薄膜的光吸收与热蒸发沉积的薄膜相比明显降低。随着辅助离子束流密度的增加,薄膜的光吸收呈下降趋势。这是由于束流

Fig. 6 Extinction coefficient of IBSD TiO₂ single layerFig. 7 Extinction coefficient of IBSD ZrO₂ single layer

密度增加的时候, 离化氧与溅射沉积粒子相互作用的机会增大的缘故。用高离子束流密度的氧离子辅助离子束溅射沉积 TiO₂、SiO₂ 和 ZrO₂ 薄膜, 光吸收与热蒸发沉积的薄膜相比降低了近一个数量级, TiO₂ 膜的降低幅度相比之下更大一些。从图 6 和图 7 还可以看出, 辅助离子能量从 200 eV 增加到 300 eV 时, 同样的束流密度下薄膜的光吸收特性并不会出现较大的区别, 这说明辅助离子流密度是影响双离子束溅射沉积薄膜光吸收特性的主要参数。

3.3 激光损伤阈值

从表 2 给出的 TiO₂ 单层膜的激光损伤阈值测量结果可以看出, 用离子束溅射沉积的 TiO₂ 单层膜的激光损伤阈值与热蒸发沉积的薄膜相比有了较大幅度的改善, 阈值提高二倍以上。从表 3 给出的 ZrO₂ 单层膜激光损伤阈值测量结果可以看出, 离子束溅射沉积的 ZrO₂ 单层膜的激光损伤阈值与热蒸发沉积的薄膜相比也有明显的改善, 阈值提高的幅度比 TiO₂ 膜小。从表 4 给出的 SiO₂ 单层膜的激光损伤阈值测量结果可以看出, 离子束溅射沉积的 SiO₂ 单层膜的激光损伤阈值与热蒸发沉积的薄膜相比略有提高。

在损伤实验过程中发现, 热蒸发沉积薄膜受激光脉冲辐照以后在显微镜下的可见破坏面积大小各异, 有时小到勉强可分辨的微小点, 而离子束溅射沉积的薄膜的破坏情况大都是较大面积的破坏, 损伤部位的膜层崩裂成碎末喷溅出来。这说明离子束溅射薄膜的整体机械强度较高。

离子束溅射沉积的薄膜的堆积密度可接近块状材料, 薄膜的微观结构致密细微, 避免了疏松柱状结构带来的结构缺陷, 表面的致密性减少了杂质吸附, 薄膜的整体光吸收特性得到了很大的改善, 薄膜的热物性参数如热容、热导率与热蒸发薄膜相比也得到了改善, 薄膜的机械强度和对基板的附着力得到了提高。这些薄膜特性的改善为提高薄膜的抗激光损伤阈值创造了条件。

在离子束溅射沉积薄膜过程中, 非薄膜材料的溅射污染是造成薄膜杂质缺陷的主要原因。非薄膜材料的溅射污染主要来自两方面: 一是离子源本身。由于双离子束溅射使用的两支离子枪均为 Kaufman 型离子源, 它用灯丝发射电子来离化工作气体, 经引出栅引出离子束。灯丝高温下的升华释放出金属原子(钨), 工作气体中含有氧气时, 离化的氧与灯丝材料反应生成金属氧化物, 这些杂质混杂在引出的离子束中对生长中的薄膜产生污染。同时离子流在通过引出栅输出时, 对引出栅的溅射作用也会产生一些杂质污染薄膜。另一个污染源是

离子束对非靶材料的溅射污染。溅射离子束对溅射靶支撑件的溅射作用尽管通过对离子束聚焦已经减少到最低限度,但还是不能完全避免;辅助构件的溅射作用会对薄膜的溅射靶面构成污染。所有这些污染物影响了薄膜的抗激光强度。

4 离子束溅射沉积高反膜

在单层膜离子束溅射沉积工艺探索和特性分析的基础上,用石英晶体振荡膜厚控制仪对膜厚监控,制备了离子束溅射沉积 $1.06 \mu\text{m}$ 高反膜。高反膜系中高折射率材料选用 TiO_2 ,低折射率材料选用 SiO_2 。用相同的制备参数沉积这两种材料,制备参数如表 5 所示。

Table 5 Deposition parameters of IBSD HR coating

sputtering gun			assistant gun		
Ar pressure	energy	density	O_2 pressure	energy	density
$8.0 \times 10^{-3} \text{ Pa}$	1000 eV	100 mA	$2.7 \times 10^{-2} \text{ Pa}$	300 eV	$120 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

样品 1 的膜系结构为 $A/(H/L)^9/H/S$ 。样品 2 在样品 1 的基础上在表面加了一层低折射率保护膜为 $A/2L/(H/L)^9/H/S$,并在烘烤箱中作了高温退火处理。

对这两种样品的高反射率测量表明,两块样品在 $1.06 \mu\text{m}$ 处的反射率均大于 99.5%。图 8 为加了保护膜的样品的光谱测量结果。从图中可以看出薄膜反射带宽有了较大的改善,反射率大于 95% 的反射带宽约为 320 nm,而热蒸发沉积的高反膜反射带宽在 240 nm 左右。对这两种溅射沉积样品和热蒸发沉积的带保护膜的高反膜进行破坏实验,得到如下结果:溅射沉积样品 1: $37.1 \pm 6.5 \text{ J}/\text{cm}^2$; 溅射沉积样品 2: $66.5 \pm 14.1 \text{ J}/\text{cm}^2$; 热蒸发沉积样品: $48.0 \pm 8.8 \text{ J}/\text{cm}^2$ 。

实验结果表明,对离子束溅射沉积高反膜进行高温退火处理有利于损伤阈值的提高。离子束溅射沉积的薄膜内应力要比热蒸发沉积薄膜高,对于 TiO_2 和 SiO_2 膜层,均呈现压应力^[55],用它们制备的多层高反膜,内应力累积较高给薄膜带来较重的应力负荷,影响了抗激光损伤性能。经高温退火后薄膜的应力负荷有所降低,抗激光强度有所提高。

离子束溅射沉积高反膜的强度激光损伤阈值与热蒸发沉积的薄膜相比有所提高,但提高幅度没有像单层 TiO_2 膜那样高。这一方面是由于经过退火处理之后,薄膜依然可能残余相当的内应力。另一方面,单层 SiO_2 薄膜的抗激光损伤阈值仅比热蒸发的薄膜略有提高,而在多层高反膜系中,紧领最外层 TiO_2 膜层的 SiO_2 膜层内部的电场分布也接近于最大值,因此 SiO_2 膜层的阈值提高幅度小也可能是离子束溅射沉积高反膜损伤阈值提高幅度不大的原因之一。

结论 不同工艺条件下制备的双离子束溅射沉积 TiO_2 、 ZrO_2 和 SiO_2 单层膜的折射率、光吸收和抗激光损伤阈值等特性的测试分析结果表明,在一定的工艺条件下,双离子束溅射沉积

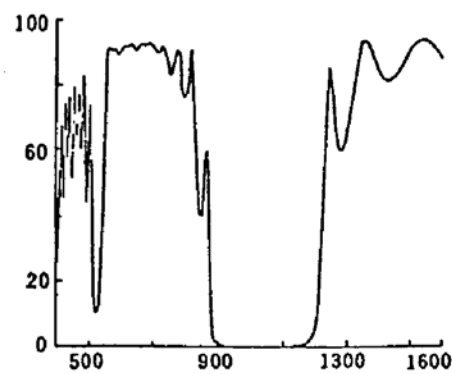


Fig. 8 Transmittance spectrum of IBSD HR coating

的 TiO_2 和 ZrO_2 薄膜的折射率高于热蒸发沉积的薄膜, 接近于块状材料; 双离子束溅射沉积的 TiO_2 、 ZrO_2 和 SiO_2 薄膜的光吸收得到明显的改善, 比热蒸发沉积的薄膜提高近一个数量级; TiO_2 薄膜的抗激光损伤阈值提高了二倍以上, ZrO_2 薄膜的激光损伤阈值也有大幅度的提高, SiO_2 薄膜的损伤阈值与热蒸发沉积的薄膜相比略有提高。

用双离子束溅射沉积 $1.06 \mu\text{m}$ 多层高反膜, 得到了大于 99.5% 的高反射率; 多层高反膜的透射光谱曲线表明反射带宽度明显增加。激光损伤实验表明对离子束溅射沉积的多层高反膜进行高温退火处理有助于激光损伤阈值的提高。经高温退火的双离子束溅射沉积高反膜的激光损伤阈值同热蒸发沉积的高反膜相比有所提高。

参 考 文 献

- [1] J. K. G. Panitz, G. R. Hills, D. R. Tallant, Microstructural variations in aluminum oxide coatings deposited using a dual beam ion system. *J. Vacuum Sci. & Technol.*, 1990, A8(3): 1313
- [2] Brad Pond, R. A. Schmell, C. K. Carniglia *et al.*, Comparison of the sputter deposition with those of electron beam evaporated films. *NIST Spec. Publ.*, 1986, 752: 410
- [3] A. Kalb, Neutral ion beam sputter deposition of high quality optical films. *Opt. News*, 1986, 12(8): 13
- [4] A. Kalb, M. Mildebrath, V. Sanders, Neutral ion beam deposition of high reflectance coatings for use in ring laser gyroscopes. *J. Vacuum Sci. & Technol.*, 1986, A4(3): 436
- [5] Xuefei Tang, Zhengxiu Fan, Effect of ion assisted deposition on optical properties of thin films. *Proc. SPIE*, 1990, 1323: 67

Laser-Induced Damage and Optical Properties of Dual Ion Beam Sputter Deposited Coatings

Tang Xuefei Fan Zhengxiu Wang Zhijiang

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

(Received 1 November 1993; revised 25 April 1994)

Abstract Experiments of dual ion beam sputter deposited (DIBS) oxide coatings were investigated systematically. The influences of ion beam sputter parameters on optical properties of thin film were analyzed. Refractive indices of TiO_2 and ZrO_2 films approach to those of bulk materials. Optical absorptions of TiO_2 , ZrO_2 and SiO_2 coatings are reduced significantly. Laser-induced damage thresholds of TiO_2 and ZrO_2 are enhanced obviously. DIBS HR coating was prepared and its reflectance is higher than 99.5%. Its laser induced damage threshold is improved by high temperature annealing treatment, higher than that of e-gun evaporated coating.

Key words ion beam sputtering, coating, optical property, laser-induced damage.