

文章编号:1001-5078(2009)1337-04

· 光学材料器件与薄膜 ·

1064 nm 激光平板偏振膜的研制

贺才美, 陈德江, 涂建军, 缪金义, 陈 忠, 杜亚清
(江苏曙光光电有限责任公司光学制造部, 江苏 扬州 225009)

摘 要:根据军用光学仪器的使用要求,在平板 K9 基底上镀制偏振膜,要求在 56.4° 角入射条件下,激光波长 1064 nm 处满足 $T_p > 99\%$, $T_s < 1\%$,且膜层抗激光损伤阈值应 $\geq 600 \text{ MW/cm}^2$ 。采用电子束真空镀膜的方法并加以离子辅助沉积系统,通过选择 HfO_2 和 SiO_2 作为高低折射率材料,利用 Macleod 软件进行膜系设计与分析,采用 LightRatioPeak 光值比例法进行监控,优化工艺参数,减少监控误差,在平板 K9 基底上成功镀制符合使用要求的偏振膜。所镀膜层不仅满足光谱要求,且顺利通过膜层环境测试,完全满足军用光学仪器的使用要求。

关键词:光学薄膜;平板偏振膜;真空镀膜;离子辅助沉积;激光损伤阈值

中图分类号: O484.1 **文献标识码:** A

Study and fabrication of 1064 nm laser flat polarizer

HE Cai-mei, CHEN De-jiang, TU Jian-jun, MIU Jin-yi, CHEN Zhong, DU Ya-qing
(Optical Manufacture Department, Jiangsu Shuguang Opto-Electronics CO., LTD., Yangzhou 225009, China)

Abstract: Aiming at the using requirements of the military optical instrument, we deposit laser flat polarizer on substrate of K9 flat glass. With incident angle 56.4° , at the wavelength 1064 nm, T_p is higher than 99%, T_s is less than 1%, and the laser-induced damage threshold over 600 MW/cm^2 . We adopt electronic beaming vacuum depositing method with the aid of ion assistant deposition systems, chose HfO_2 and SiO_2 as the material of high and low refractive index, using Macleod software to design and analyse the film structure and LightRatioPeak as monitor method, through optimizing technical parameters and reducing thickness error, we successfully deposit polarizer on the substrate of K9 flat glass to achieve the requirements. The coating not only satisfies the spectral requirements, but also passes the environment testing, it perfectly meet the applying demand of military optical instruments.

Key words: optical thin film; flat polarizer; vacuum coating; ion assistant deposition (IAD); laser-induced damage threshold

1 引 言

在激光领域中,随着激光器向高功率方向的发展,越来越多的光学薄膜器件工作在强激光辐射的环境下。在各种高功率激光薄膜中,激光偏振膜的损耗最大,最易遭到强激光的破坏,造成膜层击穿或烧毁。虽然简单的制备工艺就可以制出光谱性能较好的偏振膜,但由于其较好的性能只能出现在一个很窄的光谱范围,其光谱往往易受环境温度和湿度

的影响而发生波长漂移现象,即使做得出好的偏振膜,其性能也很难在使用过程中保持稳定,这就影响了整个系统的性能。由于偏振膜的性能对激光系统的整体性能有着重大的影响,因此研究偏振膜的膜系设计与监控方法,并找到合适稳定的工艺参数,对

作者简介:贺才美(1983-),男,工程师,硕士研究生,研究方向为光学薄膜技术。E-mail: hecaimei2003@yahoo.com.cn

收稿日期: 2009-07-15

于高性能抗激光平板偏振膜的研制非常重要。

本文通过选择 HfO_2 和 SiO_2 作为高低折射率材料,利用 Macleod 进行膜系设计分析与工艺反馈,改进监控方法和优化工艺参数,制备出满足使用要求的平板偏振膜,并给出了综合测试 results 和实测光谱曲线。

2 材料选择

选择光学薄膜材料,要考虑材料的透明度、吸收和散射性、折射率、机械牢固度和化学稳定性等。根据使用要求选择材料,常用的高折射率材料有 TiO_2 , ZrO_2 , Ta_2O_5 , Y_2O_3 等材料,在用 PVD 方法沉积成膜后各有优缺点,就这四种材料而言,前三种具有相对较高的折射率,在制备偏振膜时,可提高消光比。但 TiO_2 膜层在电子枪加热蒸发过程中先分解生成低价氧化物,后在充氧条件下进行氧化还原,因存在氧化还原不彻底性以及这种材料本身对激光能量有累积作用的缺点,使所成薄膜的吸收明显增大,而膜料 ZrO_2 在沉积过程中容易形成大的颗粒或造成结构的不均匀,致使膜层的粗糙度增大使散射损耗增大。吸收和散射损耗的增大对抗激光性能都极为不利,而 Y_2O_3 膜料能形成光滑致密的膜层,具有较高的损伤阈值,但它的折射率相对较低,使得成膜难以达到高的消光比。而 HfO_2 具有较低的吸收系数,且承受的抗激光损伤阈值较高。综合考虑,我们选用 HfO_2 作为高折射率材料,与之匹配的低折射率材料选择 SiO_2 。

3 膜系设计

平板偏振片是利用 S 光和 P 光对于倾斜置于平行光路中的膜系具有不同的有效折射率: $n_p = n/\cos\theta$, $n_s = n \cdot \cos\theta$ 。这样膜系对于 P 偏振光和 S 偏振光就像两个膜系,这个膜系对于两个偏振分量的反射带宽发生了变化,一般来说, S 偏振光的反射带宽比 P 光的反射带宽大。此时,如果通过选择中心波长,使工作波长或波段落在 P 偏振和 S 偏振的反射带边缘之间,就可以实现 P 偏振光高透射, S 偏振光高反射的偏振分光。

该平板偏振膜的要求是在 K9 基底上, 56.4° 角入射条件下, 1064 nm 波长处满足 $T_p > 99\%$, $T_s < 1\%$, 且膜层的抗激光损伤阈值应 $\geq 600 \text{ mW/cm}^2$ 。

根据使用要求进行膜系设计,主要考虑以下三点:①为了减少累积误差,总的层数不宜过多;②单

层膜不宜偏厚,以免造成应力过大产生膜层龟裂、脱膜等;③厚度易于监控,减少监控误差。利用 Macleod 软件进行膜系设计,先采用 $\text{Al}(\text{HL})^{10} \text{H}|\text{Sub}$ 周期膜系,其中 H 代表高折射率材料 HfO_2 , L 代表低折射率材料 SiO_2 , Sub 表示基底 K9, A 表示空气。参考波长为 1357 nm , 其 $950 \sim 1150 \text{ nm}$ 光谱理论设计曲线如图 1(a) 所示。

由图 1(a) 可以看出,设计曲线基本满足设计要求,但是由于上述曲线满足条件的波长带宽太窄,没有考虑实际工艺的误差和波长偏移,工艺重复性不好。为了优化 P 偏振光在邻近截止带区域的透过率以获得高的消光比和比较大的带宽,并结合设备膜厚光控特性,重新优化得到理想膜系如下:

$\text{Al}0.65 \text{ L}0.86 \text{ H}1.04 \text{ L}0.74 \text{ H}0.78 \text{ L}0.74 \text{ H}1.08 \text{ L}0.86 \text{ H}1.11 \text{ L}0.72 \text{ H}1.11 \text{ L}0.72 \text{ H}1.11 \text{ L}0.72 \text{ H}1.11 \text{ L}0.72 \text{ H}1.11 \text{ L}0.72 \text{ H}1.11 \text{ L}0.72 \text{ H}1.30 \text{ L}0.72 \text{ H}0.88 \text{ L}0.66 \text{ H}0.96 \text{ L}0.75 \text{ H}0.92 \text{ L}0.93 \text{ H}|\text{Sub}$, 参考波长为 1222 nm , 其 $950 \sim 1150 \text{ nm}$ 光谱理论设计曲线如图 1(b) 所示。

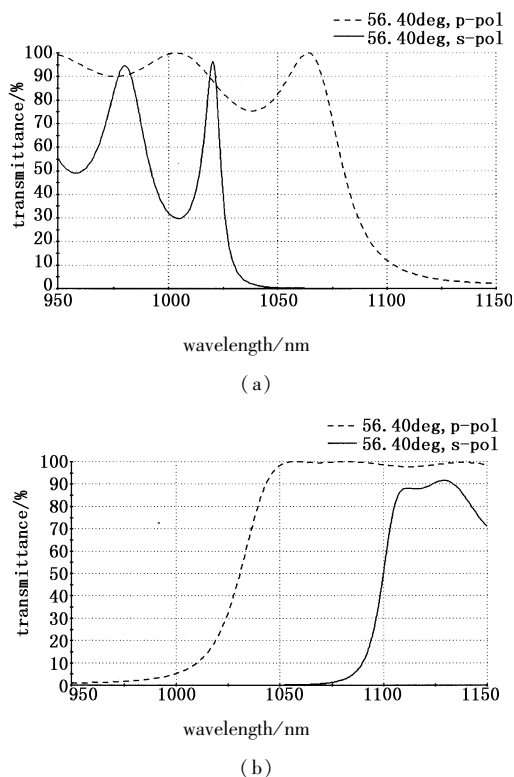


图1 56.4° 角入射时 $950 \sim 1150 \text{ nm}$ 波段范围内理论设计光谱透射率曲线

Fig. 1 the theory design curve for the transmittance in $950 \sim 1150 \text{ nm}$ with incident angle of 56.4°

4 镀膜实验

薄膜制备工作是在日本光驰 OPFC-1300 真空镀膜机上完成的。配置双电子枪和离子辅助蒸发系统——RF 射频离子源,后者主要作用是在成膜前对基片进行预清洗并使基片表面活化,改善膜基过渡层的结构和性质,在沉积过程中对蒸发材料的分子或原子进行辅助轰击,增加膜层的附着力和堆积密度。为了减少直接蒸发 HfO₂ 材料在薄膜中产生的针孔缺陷和节瘤缺陷,我们利用金属钨蒸发离子束

反应沉积 HfO₂ 薄膜,其薄膜结构均匀,缺陷密度低,激光损伤阈值高^[1-2]。

本次薄膜制备工作的基片为平板 K9 玻璃,烘烤温度定为 250 ℃,本底真空为 2.0 × 10⁻³ Pa。根据材料的特性,并综合考虑膜厚控制的精确性、工艺的重复性,经过多次实验,最终确定 HfO₂ 的沉积速率大约在 0.3 nm/s, SiO₂ 的沉积速率调整为 0.8 nm/s。其辅助离子源主要技术参数如表 1 所示。

表 1 HfO₂ 和 SiO₂ 的离子源沉积参数
Tab.1 Ion sources deposition parameters for HfO₂ and SiO₂

	Beam		Neutralizer		Gas capacity/sccm		
	Voltage/V	Current/mA	A _{cc} /V	(E/B)/%	O ₂	Ar-1	Ar-2
Clean coating	600	600	600	160	30	5	6
HfO ₂	1200	800	600	160	40	0	8
SiO ₂	900	800	600	160	30	5	6

注:Ar-1,Ar-2 分别表示通入射频离子源和中和器中的两路氩气。

膜厚控制采用 Hom2-R-VIS350 型光学膜厚控制仪,利用透射式进行控制。监控方法采用 LightRatioPeak 光值比例法,其控制方法是根据比例来计算停止光值。利用 Macleod 软件 Runsheet 模块进行光学监控模拟,综合考虑设备光控特性和膜系特点,多次调整各个膜层的光学监控波长,以减少监控误差,最后确定其理想模拟光控曲线如图 2 所示。

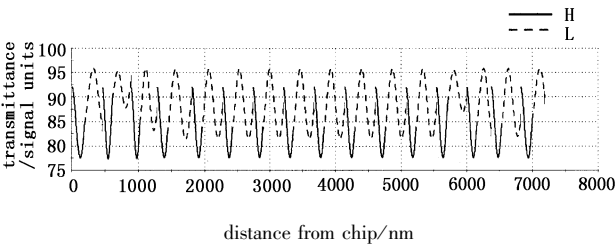


图 2 模拟光控曲线

Fig.2 the analog curve of optical monitor

5 测试结果与分析

采用日立 U-4100 型分光光度计对样品进行光谱测试。采用 Macleod 的 ReverseEngineer 模块进行工艺反馈研究,经过多次实验,最后实测光谱曲线如图 3 所示,其中实线为 S 光,虚线为 P 光。

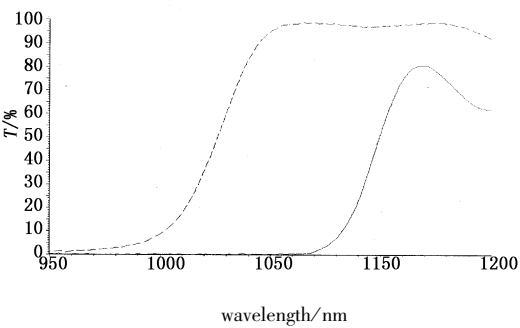


图 3 K9 基底上 950~1150 nm 波段范围内实测透射率曲线

Fig.3 measured transmittance curve coated on K9 substrate in 950~1150 nm waveband

由图 3 可以看出,样品镀膜后,1064 nm 波长处的 T_p 为 99.1%, T_s 为 0.2%,满足光学仪器光谱要求。虽然结果满足使用要求,但还达不到理论设计的要求,利用 ReverseEngineer 模块和经验分析其原因,主要有以下几个方面:①此工艺条件下,实际材料的折射率低于设计时的折射率;②膜系设计时没有考虑材料折射率的不均匀性,而实际镀膜过程中材料存在折射率的不均匀性;③镀膜过程中膜厚存在一定的累积误差;④理论上没有考虑玻璃背面的影响,而测试结果是包括背面的散射等影响;⑤由于膜系层数比较多,膜层比较厚,HfO₂ 材料存在累积

吸收。

为了保证光学元件的可靠性,对样品进行了环境试验,按照兵器行业 WJ1853 - 2004 标准测试内容如下:

(1)附着力测试:用符合 GB/T2407 - 1992 的优等品胶黏带紧贴在膜层表面,然后以垂直与表面的方向,并从边缘开始迅速拉开,膜层未有脱膜现象。

(2)中度摩擦测试:经压力为 4.9 N,外裹清洁、干燥的脱脂布的摩擦头摩擦 50 次,膜层无肉眼可见的磨痕或脱膜。

(3)抗激光测试:利用半脉宽 15 ns,波长 1064 nm,峰值密度 600 MW/cm² 的激光辐射膜层 200 次后,膜层无损坏。

6 总 结

通过选择 HfO₂ 和 SiO₂ 的高低折射率材料匹配,并利用 Macleod 软件进行膜系设计分析与工艺反馈,采用先进的 LightRatioPeak 光值比例法进行监控,优化工艺参数如烘烤温度、离子源、真空度等,减少监控误差,在平板 K9 基底上成功镀制符合使用

要求的偏振膜。虽然制备的偏振膜基本满足使用要求,但是还达不到理论设计的要求,所以进一步提高消光比,增强抗激光损伤阈值,成为今后研究和改进的方向。

参考文献:

- [1] Zhang Dawei, Lu Weige, Shao Jianda, et al. The investigation of laser-induced damage threshold of HfO₂ films prepared with oxygen ion beam assisted deposition[J]. Laser Journal, 2007, 28(3): 31 - 32. (in chinese)
张大伟, 吕玮阁, 邵建达, 等. 氧离子束辅助沉积氧化铪薄膜的激光损伤阈值研究[J]. 激光杂志, 2007, 28(3): 31 - 32[9].
- [2] Gao Weidong, Zhang Weili, Fan Shuhai, et al. Effects of the structure of HfO₂ thin films on its laser-induced damage threshold [J]. Scope on ACTA Photonica Sinica, 2005, 34(2): 176 - 179. (in chinese)
高卫东, 张伟丽, 范树海, 等. HfO₂ 薄膜的结构对抗激光损伤阈值的影响[J]. 光子学报, 2005, 34(2): 176 - 179.