

等离子体辅助沉积大口径无漂移平板偏振膜

赵元安 杨向东

孔明东 付雄鹰

(四川大学西区物理所, 成都, 610065) (成都精密光学工程研究中心, 成都, 610041)

摘要: 报道了用等离子体辅助(Plasma-IAD)沉积技术镀制中心波长在 1054nm 的大口径(大于 0.9m²)无漂移偏振膜。经高温高湿处理后,中心波长的漂移小于 1nm。

关键词: 等离子体辅助沉积 无漂移偏振膜 波长漂移

Large aperture shift-free polarizer deposited by Plasma-IAD

Zhao Yuanan, Yang Xiangdong

(Institute of Physics, West Campus of Sichuan University, Chengdu, 610065)

Kong Mingdong, Fu Xiongying

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

Abstract: The plasma-ion assisted deposition (Plasma-IAD) process has been applied in deposition of large aperture shift-free polarizers at 1054nm. The shift of the center wavelength is less than 1nm when the polarizer is put in high temperature and high humidity environment.

Key words: Plasma-IAD shift-free polarizer wavelength shift

引 言

强激光系统中应用的平板偏振膜,为了满足高损伤阈值的要求,设计出的膜系的可用偏振区域往往比较窄^[1,2]。如用传统电子束蒸镀技术沉积,因沉积粒子能量低,沉积后的膜层致密性差,是一种柱状多晶结构,当环境温度湿度发生变化时,膜层发生水汽的吸附、脱附现象,导致波长漂移^[3],可能使实际偏振区域漂离使用的光波范围。提高膜层的填充密度、改善膜层的致密性可以使这一问题得以解决。提高膜层填充密度主要是要提高沉积粒子的能量,主要途径有提高基片温度和利用离子辅助沉积等方法。对于前者,基片温度过高会导致薄膜的反蒸发加大,对膜层的沉积非常不利,对于后者,虽然能提高膜层的致密性,但可利用的基片面积很小。等离子体辅助镀膜法是一种提高膜层致密性并能在大基片范围内保持良好一致性的镀膜技术^[4-7]。该方法在提高膜层的填充密度,改善膜层的致密性方面起到了非常重要的作用。

我们主要用传统电子束蒸镀法和 Plasma-IAD 方法镀制中心波长为 1054nm 的平板偏振膜,比较了两种方法所得膜片经高温高湿处理后波长漂移情况,研究了工艺参数对膜层致密性的影响,选择能形成致密薄膜的工艺参数,制备了大口径无漂移偏振膜。

1 等离子体辅助沉积技术的实验装置及原理

实验装置是从德国 Leybold 公司引进的 APS1504 镀膜机,其等离子源原理见图 1。等离子源主要由如下部分组成:石墨加热器、表面积较大的 LaB₆ 阴极、阳极柱状圆筒和螺旋电磁体,阴极 LaB₆ 间接地由石墨加热器加热,当在等离子源内充入 Ar 气时,伴随着热电子发射,

阴极和阳极之间的直流电压就会产生辉光放电的等离子体。由于螺线管磁场围绕在阳极筒上, 等离子体电子在轴向移动增强而在径向移动变弱。电子绕磁力线作螺旋运动, 因此, 等离子体被引向基片架方向。反应气体通过置于阳极圆筒顶部的圆环导入, 由于高密度等离子体处于等离子源上方, 使反应气体激化且部分离化, 这正是生长恰当化学计量配比薄膜所需要的。由于等离子体散布于等离子源与基片架之间的空间, 电子束蒸发的材料也变成部分离化的, 因此, 这样不仅产生了离子辅助沉积, 实际上也有离子镀现象发生^[7]。

等离子源对真空室壁即地而言是绝缘的, 由于离子的大量移动, 等离子体相对于真空室壁和基片架之间有一正的自偏压。离子能量主要由等离子源和真空室的自偏压决定, 而这自偏压的大小取决于所加的放电电压、磁场强度和真空室压力等因素。

APS 等离子源的功率最大可达 10kW, 总离子流可达 5A。放电工作气体为高纯 (99.99%) Ar 气体从 APS 源系统内导入两放电电极之间。在蒸镀氧化物材料时, 一般会失一定量的 O₂, 为维持适当的化学计量配比, 在 APS 源上方开口处导入了反应气体 O₂, 正好可被拉出的离子碰撞电离, 这对失氧的原子或分子重新俘获氧原子更容易一些^[4]。

Hwangbo 等人解释用氩离子辅助沉积导致膜层形貌结构改变的原因。用到达基片表面的每一分子处离子的动量 P 来描述:
$$P = \delta(2M_i E_i)^{1/2} \quad (1)$$
 式中, δ 是离子与每一到达分子的比率。 M_i 是离子质量, E_i 是离子的动能。若对于没使用离子辅助沉积时 $P = 0\text{MeV}/\text{C}$, 而对于一般的氩离子辅助沉积时, P 在 $0 \sim 3.6\text{MeV}/\text{C}$ 之间。由此可见, 被蒸发材料的原子或分子从加速的等离子体离子获得碰撞动量, 从而当原子或分子在基片表面上成膜过程中, 迁徙速率变大, 由此生成的薄膜致密, 且可减少柱状晶体结构, 从而形成无定型的致密薄膜^[8]。

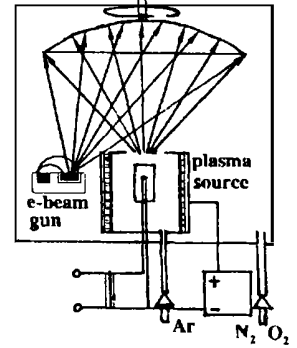


Fig. 1 Plasma-IAD: principle of operation

2 偏振膜的镀制

选择 HfO₂ 作为高折射率材料, SiO₂ 作为低折射率材料, 根据光学平板偏振分光镜的优化设计^[9], 设计出中心波长为 1054nm 的膜系如下。

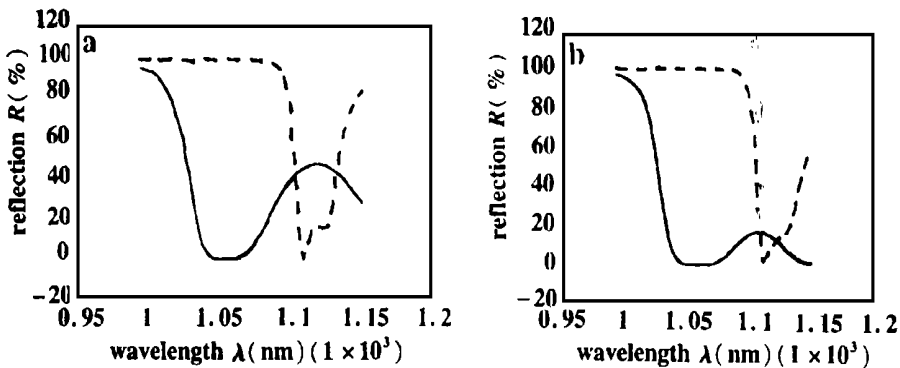


Fig. 2 Calculated reflection vs wavelength for design (a) and design (b) for p polarized light (solid line) and s polarized light (dashed line)

(1) Subl(HL)⁷H1.96L(HL)⁷|Air 监控波长为 1040nm, 入射角为 56.7°; (2) Subl(HL)⁴H1.42L(HL)²H1.5L(HL)²H1.42L(HL)⁴|Air 监控波长为 1015nm, 入射角为 56.7°。H 表示光学厚度为 $\lambda/4$ 的高折射率材料, L 表示光学厚度为 $\lambda/4$ 的低折射率材料, 在中心波长 1054nm 处, p 光的透射率大于 99%, s 光的透射率小于 0.5%, 两种膜系的计算反射率曲线见图 2。分别利用传统电子束蒸镀和等离子体助镀法镀制上述两种膜系。实验中, 基片选用直径为 40mm 的 K9 玻璃, 每轮实验在行星式工盘架上放置两块基片, 一块置于工盘架中央, 另一块置于工盘架边缘。

3 实验结果

通过系列实验发现在利用 Plasma-IAD 镀膜时, 本底真空压力越小, 折射率越高; 氧气或氩气流量增大, 折射率降低; 蒸发速率增加, 折射率也将增加。偏压增加, 离子能量增加, 放电电流增加, 离子流密度增加, 但只有离子流密度和离子能量值合适时, 才会对成膜质量有益处, 否则将降低膜层质量。总结上述结论及实验结果, 得出利用 Plasma-IAD 蒸镀 HfO₂ 和 SiO₂ 的最佳工艺参数, 见表 1。

Table 1 Technical parameters

	deposition rate (nm/s)	bias voltage (V)	discharge current (A)	argon flow (sccm/s)	oxygen flow (sccm/s)
HfO ₂	0.5±0.02	100	40	12	25
SiO ₂	0.4±0.05	120	50	10	8

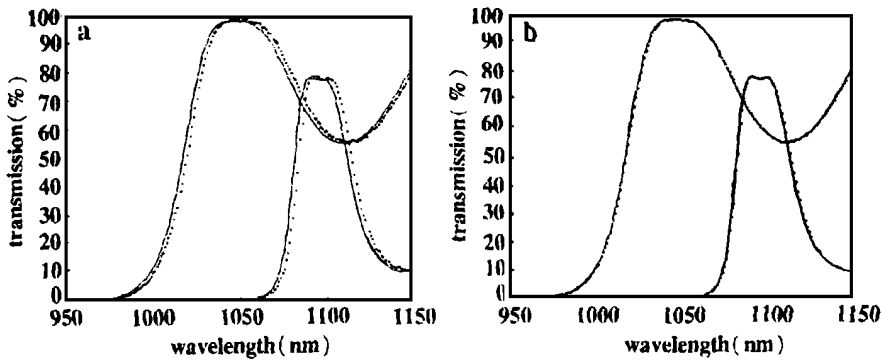


Fig. 3 Measured transmission vs wavelength for 56.7° incident angle of design (a) deposited by conventional electron beam deposition(left) and Plasma-IAD(right)

对两种方法镀制的膜系光谱性能的测量是在 Perkin Elmer 公司生产的 Lambda 19 分光光度仪上进行的。首先测量刚从镀膜机真空室取出的膜片的光谱性能(测量结果如图 3、图 4 中实线所示), 然后将膜片置于浓度为 5% 的 NaCl 溶液中煮沸 1h, 再置于相对湿度为 90% 的室温环境中冷却 24h 后测量其光学性能(测量结果如图 3、图 4 中虚线所示)。比较两种方法所得膜片在经过处理前后的光谱性能发现: 传统电子束蒸镀法所得膜的光谱特性发生了较大变化, 中心波长向长波方向发生了较大的移动(大于 5nm), 而 Plasma-IAD 所得膜的光谱特性则基本保持不变, 中心波长的漂移小于 1nm。这是因为电子束蒸镀法所得膜的致密性差, 膜层呈柱状晶体结构, 水分容易穿透进入柱状晶体间的缝隙, 使得膜层的折射率增大, 导致光谱曲线向长波方向移动, 而 Plasma-IAD 镀制的膜由于致密性好, 抑制了水份的穿透作用, 大大消除了环境温度、湿度变化引起的波长漂移现象。对于大口径膜片均匀性的测试是分别测量处在工

盘架中心和边缘的两块膜片,发现两块膜片的透射率曲线吻合的很好,基本上没有明显的漂移现象(见图 5),图中实线是位于工盘架中央膜片的透射率曲线,虚线是位于工盘架边缘膜片的透射率曲线。

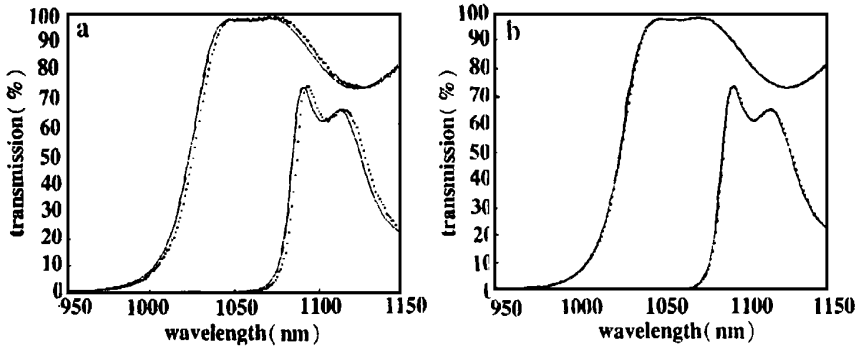


Fig. 4 Measured transmission vs wavelength for 56.7° incident angle of design (b) deposited by conventional electron beam deposition(left) and Plasma-IAD(right)

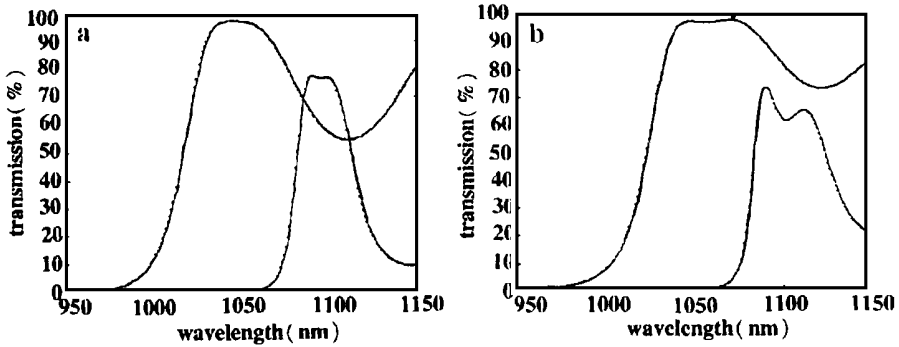


Fig. 5 Measured transmission vs wavelength for 56.7° incident angle of two films of design (a) and design (b) located at the different site of the testglass holder

4 结 论

通过对偏振膜的温度湿度稳定性测试发现,等离子体助镀过程中只要调整偏压和放电电流至合适值就可以大大提高膜层的成膜质量,消除薄膜的柱状晶体结构,使膜层形成无定型的致密结构,从而消除由于环境温度湿度变化引起的波长漂移,同时对于大口径膜片(可达 0.9m^2)也能保持良好的均匀性。

参 考 文 献

- 1 Gu P F, Tang J F. SPIE, 1994; 1158: 351~ 356
- 2 Schallenberg U B, Kaiser N. SPIE, 1996; 2776: 336~ 341
- 3 顾培夫. 薄膜技术. 杭州: 浙江大学出版社, 1990
- 4 Matl K, Klug W, Zeller A. Material Science and Engineering, 1991; A140: 523~ 527
- 5 Zeller A, Gtzelmann R. SPIE, 1997; 3133: 196~ 204
- 6 Pongratz S, Zeller A. Ann Rev Mater Sci, 1992; 22: 279~ 295
- 7 Zeller A, Bef wenger S. SPIE, 1994; 2253: 394~ 402
- 8 Lehan J P, Hwangbo P. Thin Solid Films, 1996; 203: 227~ 250
- 9 孔明东, 李瑞洁. 强激光与粒子束, 2000; 12(6): 61~ 64.

激光快速成型金属零件的新方法*

杨 森 钟敏霖 张庆茂 刘文今

(清华大学机械系激光加工研究中心, 北京, 100084)

摘要: 简要介绍了两种用激光快速成型金属零件的新方法及其特点, 指出了目前存在的问题和发展前景。

关键词: 激光快速成型 选择性激光烧结 激光涂覆 制造

New techniques to rapidly manufacture metal parts with laser

Yang Sen, Zhong Minlin, Zhang Qingmao, Liu Wenjin

(Laser Engineering Processing Center, Tsinghua University, Beijing, 100084)

Abstract Two new techniques used to directly manufacture metal components and their characteristics have been introduced in the paper. The exist problems and prospects have also been pointed out.

Key words: laser rapid prototyping laser selected sintering laser cladding manufacture

引 言

利用传统方法制造金属零件生产周期长、生产成本低、设计灵活性小, 通常只适于大批量生产, 而且需制作昂贵的工、模具。但是, 实际生产中所需的零件可能是单件或小批量, 这就向人们提出了一个有趣的课题, 即如何按照要求快速生产出合格的零件, 以缩短生产周期和降低成本。随着激光技术、计算机技术、CAD/CAM 技术以及机械工程技术的发展, 特别是激光快速原型技术的发展, 快捷地生产出合格的零部件已成为可能。

快速原型技术 RP(rapid prototyping technology) 是 80 年代后期兴起的一项高新技术^[1], 它通过材料添加方式快速将 CAD 模型直接转换成实体模型, 而不需要传统的模具、工具或其它的人工干涉, 它集成了机械工程、CAD/CAM、数控技术、激光技术及材料科学等领域的最新成果, 可以自动而迅速的将设计思想转化为具有一定结构和功能的原型或直接制造零件, 从而对产品进行快速评价、修改, 以响应市场需求, 提高企业的竞争能力。

利用快速原型技术虽然可以方便地制成用于制造金属零件的原型, 但它们不能完全模拟出工程师的设计, 工程师需要的是一种与最终产品一样的零件。为了制得所需的金属零件, 需先由非金属原型做出铸模, 再由铸模进行生产。如何避免上述两步操作, 直接制作出金属零

* 清华大学 985 重点项目资助。

作者简介: 赵元安, 男, 1976 年 8 月出生。硕士研究生。现从事高阈值激光薄膜的研究。

收稿日期: 2000-08-07