

文章编号:1001-5078(2007)04-0370-03

时间监控离子束溅射沉积倍频波长分离膜

袁宏韬^{1,2}, 张贵彦^{1,2}

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘 要:采用双离子束溅射技术、时间控厚方式制备波长 532nm 绿光激光器用倍频波长分离膜。针对制备过程中产生的半波孔现象,在简单分析形成原因的基础上,采用分组厚度优化方式调整膜层厚度,从而制备出无半波孔的高品质倍频波长分离膜。为时间监控制备非规整膜系的厚度修正提供了一种切实可行的办法。

关键词:倍频波长分离膜;时间监控;双离子束溅射;半波孔

中图分类号:O484;TN305.92

文献标识码:A

Ion Beam Sputter Depositing Harmonic Beam Splitter by Time-power Monitoring Method

YUAN Hong-tao^{1,2}, ZHANG Gui-yan^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The fabrication of harmonic beam splitter for 532nm wavelength green light laser with dual ion beam sputtering (DIBS) technology was studied. The layers' thickness was monitored by time. Against the half wave hole phenomenon, based on analyzing it's forming mechanism, the group optimizing method was adopted to modify layers' thickness. Then, the high quality harmonic beam splitter without half wave hole was obtained. It also presented a feasible method to modify layers' thickness of irregular coating system monitored by time.

Key words: harmonic beam splitter; time-power monitoring; DIBS; half-wave hole

1 引 言

在众多的激光器中,全固态激光器由于其特有的优良性能以及近年来所取得的显著进展,已经成为当前激光技术发展的主要方向^[1-2]。目前国际上的宽频激光器功率还比较低,其原因除了激光晶体以及其他元器件的性能有待改善外,能否研制出满足使用要求的高光学性能、高激光损伤阈值的光学薄膜,已经成为限制全固态激光器整体性能的瓶颈。在倍频激光器中,由于非线性晶体的倍频作用,要求基频光与倍频光分离,所以倍频波长分离膜是全固态激光器的重要组成元件之一。然而,对于要求基频光高反射、倍频光高透射的倍频波长分离膜,在实际制备过程中往往会在通带区域,即反射带中心波长一半处出现一个反射峰,我们称之为半波孔。它的出现极大地影响了该类膜的光谱性能,所以在制

备过程中半波孔的消除是亟待解决的问题。

本文采用双离子束溅射技术,时间控厚方式,制备非规整膜系的波长 532nm 绿光激光器用倍频波长分离膜。针对镀膜过程中产生的半波孔现象,在简单分析成因的基础上,采用分组厚度优化方式修正膜层厚度,从而制备出无半波孔高品质的波长分离膜。

2 膜系设计

设计的倍频波长分离膜要求在基频光波长 1064nm 处高反射,倍频光波长 532nm 处高透射,具

基金项目:国家“863”计划资助项目(2001AA312100);中科院光电集团资助项目(KGCX2-405)。

作者简介:袁宏韬(1978-),男,在读博士生,现从事光学薄膜理论及工艺研究。E-mail:laogun505@sina.com

收稿日期:2006-09-04

体指标要求为: $R_{1064} \geq 99.9\%$, $T_{532} \geq 99.5\%$, 且隔离比 $S(T_{1064}/T_{532}) \geq 5 \times 10^{-4}$ 。倍频波长分离膜膜系可以用通常的短波通周期膜系来实现, 其常规形式是:

$$G/(0.5LH0.5L)^N/A$$

其中, G 代表基底; A 为入射介质; N 为重复周期数; H 为 $\lambda/4$ 光学厚度的高折射率材料; L 为 $\lambda/4$ 光学厚度的低折射率材料; λ 为参考波长。这种膜系的基本特点是在整个波段内具有一系列的高透射带间隔以及高反射带, 在透射带中存在着程度不同的波纹, 其原因是在透射带波长处, 多层膜的等效折射率与基底或入射介质匹配性差。针对这一原因, 最主要的手段就是利用等效折射率概念在主膜系两侧加对称周期匹配层, 来使主膜系的等效折射率与其基底及入射介质达到匹配^[3]。其形式为:

$$G/(aLbHaL)^{S1}(0.5LH0.5L)^N(cLdHcL)^{S2}/A$$

基于这种方法设计的膜系, 虽然能得到一定宽度且较平的通带, 但效果仍不够理想。离子束溅射沉积光学薄膜是在激光陀螺工业中发展起来的, 具有低散射、沉积速率稳定的优点, 在对沉积速率准确定标的条件下, 可用时间来监控任意厚度的膜层, 这为膜系设计提供了更大的自由度。因此我们采用计算机软件对所有膜层厚度进行优化, 获得的非规整膜系具有更宽、更平整的通带区域, 既提高了膜系的光谱性能也为实际制备留出了更大的空间余地。设计曲线如图 1 所示。

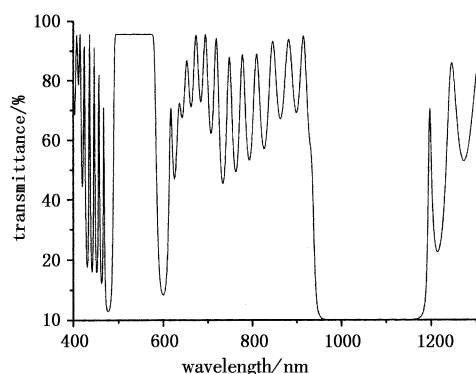


图 1 倍频波长分离膜理论设计曲线

Fig. 1 design curve of harmonic beam splitter

3 实验及结果

实验使用双离子束溅射沉积薄膜系统。主、辅离子源采用美国 Ion Tech 公司生产的 16nm 和 12nm 射频离子源, 射频频率为 13.56MHz, 16cm 离子源为聚焦型, 12cm 离子源为发散型。主离子源使石英放电室中的 Ar 气发生电离, 产生的 Ar^+ 由屏栅极正电压聚焦后又经加速栅极的负电场加速, 经中和器电子中和后轰击靶材, 溅射出靶材的分子或原子,

12cm 辅助离子源产生 Ar 和 O 离子, 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, 同时在沉积过程中对溅射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。实验所用的材料为 Ta (纯度为 99.9%) 和 SiO_2 (纯度为 99.99%) 靶, 溅射离子源、靶和基板互成直角, 即靶平面和基板平面成 45° 角, 并在溅射时靶材以 $\pm 3.5^\circ$ 角扫描。本底真空, 4×10^{-5} Pa, 制备过程中压强为 1.5×10^{-2} Pa, 烘烤温度为 135°C 。

为了准确实现所设计的膜系, 分别对每种材料折射率和沉积速率进行定标。首先用一定的时间做一定厚度的单层薄膜, 然后测量出其光谱曲线, 根据包络法^[4]准确计算出其折射率和物理厚度。最后我们分别算出 Ta_2O_5 的平均沉积速率为 0.305nm/s , SiO_2 的平均沉积速率为 0.272nm/s 。

采用 PERKIN Elmer Lambda 19 分光光度计对制备的波长分离膜进行了测量, 测量波长范围 400 ~ 1300nm, 波长间隔 1nm, 其透过率曲线如图 2 所示。从图 2 可见, 在高透带存在很深的半波孔, 532nm 波长处的透过率只有 81.079%, 与设计结果相差较大。

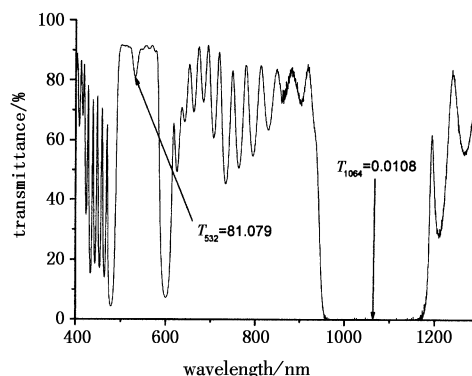


图 2 第一次制备的波长分离膜的测试曲线

Fig. 2 measured curve of harmonic beam splitter (first preparation)

导致半波孔形成的因素很多, 有膜料的色散、膜层折射率非均匀性以及膜层厚度控制误差积累^[5-8], 文献[9]还提出半波孔的形成与膜系结构有关。针对半波孔的成因, 文献[8]和[9]提出了一些解决办法, 能在一定程度上较少或消除半波孔。但都是针对规整膜系、光电极值法监控膜厚而采取的相应措施, 针对非规整膜系、时间控厚方式消除半波孔的方法还未见报道。

本实验中, 膜层的色散和沉积速率是通过对单层膜定标得到的, 色散在膜系设计时已经考虑到了, 它在制备过程中的微小变化可以忽略不计。而计算得到的沉积速率只是个平均值, 严格讲, 它是随时间

动态改变的,虽然每一层膜的厚度误差很小,但是累积效应却是不可忽略的。我们认为这正是造成本实验半波孔形成的主要原因。因此,要消除半波孔就必须对膜层的厚度进行修正。要准确找出每层膜的厚度误差是十分困难的,可行的办法是找出两种材料的厚度误差的整体规律,对两种材料的厚度进行整体修正,即按比例整体减薄或加厚,从而达到消除半波孔的目的。TFCalc 软件的组优化功能就可以找到膜层厚度的整体偏差,将 Ta_2O_5 材料设定为 group1, SiO_2 设定为 group2,以分光光度计测量得到的光谱数据作为目标进行优化,得到的组优化系数为: $F(\text{Ta}_2\text{O}_5) = 1.0318$, $F(\text{SiO}_2) = 0.9736$,即可认为 Ta_2O_5 材料每层都做厚了 3.18%,而 SiO_2 材料材料每层都做薄了 2.64%。按此比例对膜层厚度进行修正,第二次制备的波长分离膜光谱图如图 3 所示。可见,半波孔仍然存在,但变小了,532nm 的透过率为 89.871%。

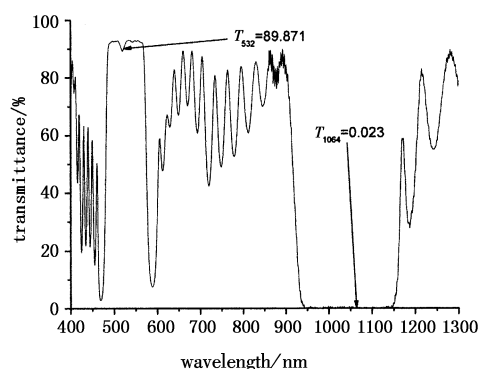


图3 第二次制备的波长分离膜的测试曲线

Fig. 3 measured curve of harmonic beam splitter(second preparation)

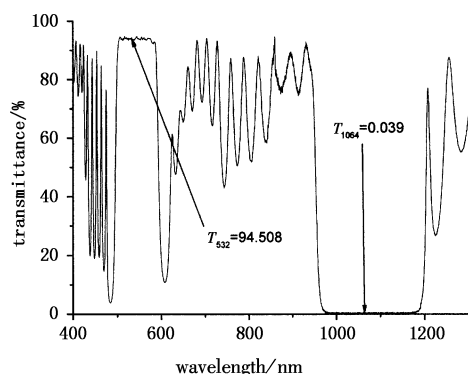


图4 第三次制备的波长分离膜的测试曲线

Fig. 4 measured curve of harmonic beam splitter(final preparation)

半波孔的变小说明我们这种厚度修正方法是有效的,但是半波孔并没有完全消除,我们分析其原因在于以全波段光谱数据作为目标得到的组优化系数并没有完全反映出两种材料的厚度误差规律。为了更准确地找到造成半波孔的厚度误差规律,我们仅以 476 ~ 600nm 波长段的光谱数据作为目标进行优

化,这样做会对反射带的光谱特性造成一定的影响,但这一影响是微乎其微的,完全可以忽略。重新优化得到的组系数为: $F(\text{Ta}_2\text{O}_5) = 1.0237$, $F(\text{SiO}_2) = 0.9809$ 。按此比例对膜层厚度进行重新修正,第三次制备出的波长分离膜的光谱曲线如图 4 所示。可见,已经完全消除了半波孔,532nm 处的透过率为 94.508%,完全满足设计要求,制备成功。

4 结论

本文采用双离子束溅射技术、时间控厚方式制备了波长 532nm 绿光激光器用波长分离膜。针对制备过程中产生的半波孔现象,采用分组厚度优化方式调整膜层厚度,在第一次优化修正没有完全消除半波孔的情况下,通过缩小优化目标范围再次优化修正,最终制备出无半波孔的光谱特性优良的倍频波长分离膜。

参考文献:

- [1] Yao Jianquan. All solid state laser and nonlinear optical frequency conversion technology [J]. World's Research and Development of Science and Technology, 2002, 24 (5): 1 - 10. (in Chinese)
- [2] Hong Dongmei, Zhu Zhen. Optical coating for diode pumped Nd:YVO₄ frequency double laser [J]. Laser and Infrared, 2001, 31(2): 118 - 120. (in Chinese)
- [3] Macleod H A. Thin-film Optical filters [M]. Third Edition. Bristol and Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 2001. Chapter 6. 2: 210 - 255.
- [4] J C Manifacier, J Gasiot, J P Fillard. A simple method for the determination of the optical constants n, k and the thickness of a weakly absorbing thin film [J]. J. Phys. E: Sci. Instrum, 1976, 9(11): 1002 - 1004.
- [5] H A Macleod. Half Wave Holes, Leaks and Other Problems in Proceeding of the 39th Annual Technical conference of the Society of Vacuum Coaters [C]. J N Lingscheit and A A Bromfield, eds Society of Vacuum Coaters, Washington D. C, 1996: 193 - 181.
- [6] Lin Yongchang, Lu Weiqiang. Optical thin film principles [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1990: 352 - 353. (in Chinese)
- [7] Gu Peifu. Thin Film Tecnology [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 1993: 162. (in Chinese)
- [8] Huang Wei, Zhang Yundong. Method for elmination the half-wave hole of short-wave passed filter [J]. Optical Instruments, 1999, 21(425): 145 - 148. (in Chinese)
- [9] Ma Xiaofeng, Yu Xiang, Wang Yingjian, et al. Elimination of the half-wave hole for harmonic beam splitter [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2005, 17(21): 155 - 158. (in Chinese)