

1064 nm 光纤端面激光减反射膜的研制

李美萱, 杨永亮, 付秀华, 朱筱茵
(长春理工大学, 吉林 长春 130022)

摘要:针对导弹探测制导光源的特殊应用,通过对材料的选择、膜系的设计和工艺参数的优化,采用电子束真空镀膜及离子辅助沉积的方法,成功的在光纤端面为50 μm的口径上镀制减反射膜。研究了膜层的应力匹配和低温镀膜时膜层的牢固性,并给出了光纤端面测试前后结果的实例对比图和曲线。在以YAG激光器为光源的系统中,当激光器的工作电流为2000 mA时,光纤的输出功率比未镀膜时提高了5%,能够承受激光光源的照射和恶劣的环境测试,达到了使用要求。

关键词:光学薄膜;光纤增透膜;真空镀膜;离子辅助沉积

中图分类号:0484.1 **文献标识码:**A

Study of 1064 nm laser anti-reflection film on the end of fiber

LI Mei-xuan, YANG Yong-liang, FU Xiu-hua, ZHU Xiao-yin
(Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: Aiming at the special application of light source for missile detection and guiding for, by materials choosing, film designing and process parameters optimization, using electron-beam vacuum coating and ion-assisted deposition technique, the anti-reflective film is plated successfully on the optical fiber end whose diameter is 50 μm. By studying the film stress matching and the film fastness when low-temperature coating, and the examples comparison charts and transmittance curves were given before and after fiber end coating. In the system which light source is YAG laser, when the laser's operating current is 2000 mA, the fiber power is improved by 5% compared with the un-coating fiber; the fiber can withstand the irradiation of laser sources and the poor environmental testing, reaching to the using requirements.

Key words: optical thin film; fiber AR coating; vacuum coating; ion assistant deposition

1 引言

在薄膜技术飞速发展的今天,国内外分别对半导体激光器在808 nm和980 nm波段及红外区3~5 μm和8~12 μm波段的光纤增透膜进行了深入的研究^[1-2]。但是对于YAG激光器在1064 nm处镀制光纤端面口径只有50 μm,并具备较高损伤阈值减反射膜的研究比较少见。YAG激光器是军用装备中应用最广泛的一种激光器,主要用作激光雷达、激光测距、激光制导和激光对抗等方面。采用激光系统可以增强武器装备的战斗力和生存能力,起到武器装备能力倍增器的作用。

本文针对多模光纤高损伤阈值的要求,对

1064 nm光纤端面激光减反射膜进行了研究和制备。

2 膜系设计

根据增透膜的理论进行膜系设计,首先应选取合适的薄膜材料。

2.1 膜料的选择

多模光纤的折射率为1.4571,由于光纤口径面积小,考虑膜层的附着力差及应力匹配等因素,选择Al₂O₃作为与基底材料之间的黏结层,可提高膜层牢固性。常用的高折射率材料有HfO₂, TiO₂, ZrO₂

作者简介:李美萱(1984-),女,硕士研究生,研究方向为光学薄膜技术。E-mail:lmeixuan88@163.com

收稿日期:2009-07-26;修订日期:2009-09-23

等, HfO_2 损伤阈值高但易产生喷溅, TiO_2 的牢固性好但折射率随温度变化显著。经过对比选择 ZrO_2 作为高折射率材料, 吸收小且损伤阈值高。常用的低折射率材料有 MgF_2 , SiO_2 。由于光纤镀膜是在低温下进行的, 高温下光纤塑料外包层会熔化, 而 MgF_2 在 $250\text{ }^\circ\text{C}$ 以下是软膜。 SiO_2 具有很高的机械性能, 因而选用 SiO_2 为低折射率材料。

2.2 膜系设计

对于增透膜来说, 膜系设计的基本原则是: 在给定的基底材料的前提下, 通过较少的层数, 实现尽可能高的透过率。同时考虑镀膜材料之间及其与基底材料之间的匹配, 避免应力的集中, 保证膜层与基底之间结合牢固^[3-4]。

首先选择两种方案进行设计, 分别对非规整膜系与规整膜系进行分析比较。

非规整膜系为 S|1.835 H 1.288 L 2.403 H 1.196 L|A。其中 H 代表高折射率材料 ZrO_2 的 $1/4$ 中心波长的光学厚度, L 代表低折射率材料 SiO_2 的 $1/4$ 中心波长的光学厚度。

理论透过率曲线如图 1 所示。

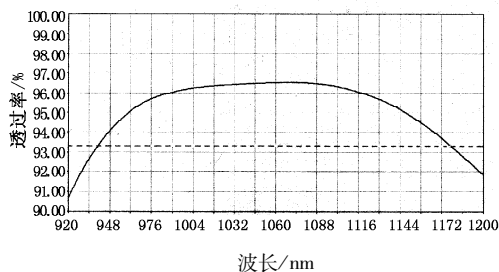


图 1 非规整膜系镀膜前后对比曲线

Fig. 1 contrasting curve of non-normalized film before and after coating

图 1 中实线为双面镀膜的理论透过率曲线, 虚线为未镀膜时的理论透过率曲线。

规整膜系采用三层增透膜系 SIM 2H L|A, 其中 M, H 和 L 分别代表为 Al_2O_3 , ZrO_2 和 SiO_2 的 $1/4$ 中心波长的光学厚度。

理论透过率曲线如图 2 所示。

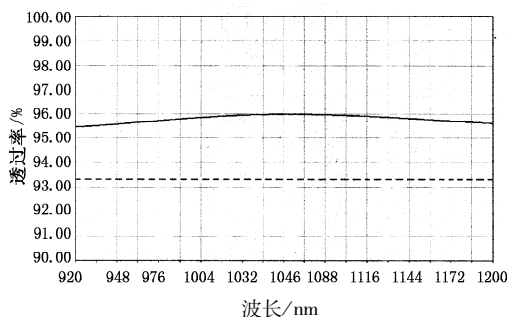


图 2 规整膜系镀膜前后对比曲线

Fig. 2 contrasting curve of normalized film before and after coating

图 2 中实线为双面镀膜的理论透过率曲线, 虚线为未镀膜时的理论透过率曲线。

3 镀膜实验

薄膜制备工作是在国产 700 型真空镀膜机上完成的, 该设备配有两种膜厚监控系统, 分别是 IC/5 石英晶体膜厚控制系统和 OMS 光学膜厚控制系统。工件架采用球面式夹具, 借助于均匀性补偿挡板, 可使工件架从中心到边缘都获得良好的均匀性。在离子源辅助沉积下, 通过对真空度、氧分压、蒸发速率等工艺因素调整从而获得致密度很高的薄膜。具体工艺如下:

1) 表面清洁

多模光纤的端面因为口径极小, 因而对表面清洁度要求十分严格。当表面被污染时, 如图 3 所示。

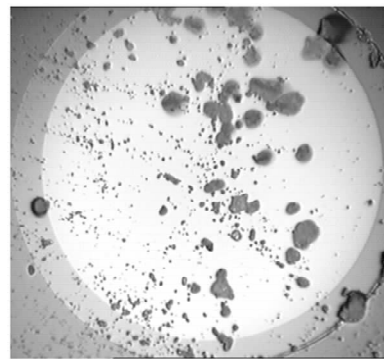


图 3 光纤端面被污染

Fig. 3 contaminated end of the fiber

为此在镀膜之前用非常细的抛光粉擦拭镀件表面, 然后用乙醇乙醚混合溶液擦拭干净, 用离子喷枪吹掉表面的灰尘装入夹具, 并保证真空室内清洁。

2) 基底温度控制

当基底温度超过 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 时环氧树脂或塑料外包层就会熔化, 如图 4 所示。

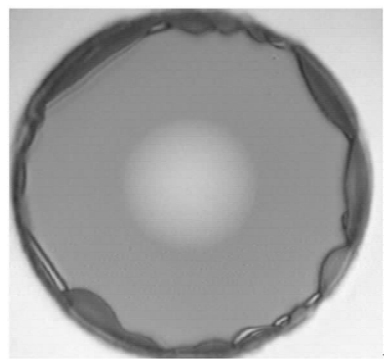


图 4 温度高于 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 塑料外包层熔化

Fig. 4 the plastic outsourcing layer melt when Temperature is higher than $120\text{ }^\circ\text{C}$

将烘烤温度控制器上的显示数据设置在 $50\text{ }^\circ\text{C}$,

然而在镀膜过程中电子枪和离子枪产生的热量会提高光纤的温度。因此要减少镀膜时间,考虑在未将光纤正式件放入真空室之前先对膜料进行预融。

3) 均匀性控制

因为装载光纤的夹具高度为 120 mm,距离蒸发源较近,因此会出现膜层不均匀的现象,如图 5 所示。



图 5 膜层不均匀

Fig. 5 the coating thickness on the end of fiber is uneven

分析影响膜层均匀性的工艺参数主要有离子源、光纤在真空室内摆放的位置及膜料的蒸发角度。打开考夫曼离子源轰击基底 10 min,开始蒸镀。对于光纤外包盒,应适当调整光纤到蒸发源的距离,使光纤端面与蒸发源垂直。调整膜料光斑的大小,增大膜料的蒸发角度^[5]。

4) 工艺参数

在烘烤温度稳定在 50 °C,真空度抽到 1×10^{-3} Pa 时,开始蒸镀。氧分压控制在 9×10^{-3} Pa。蒸发速率通过实验发现在保证膜层牢固的情况下,蒸发速率越低越好且要连续蒸发,图 6 为满足要求的多模光纤端面示意图。

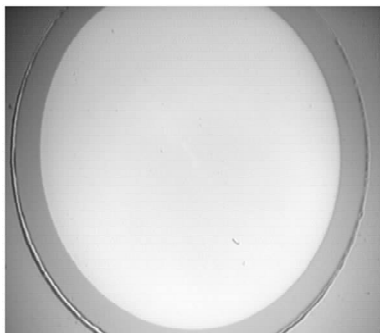


图 6 符合要求的光纤端面

Fig. 6 film on the end of fiber meet the requirements

5) 膜系的评价

分别对非规整膜系与规整膜系进行镀制,发现使用非规整膜系时晶控片与光纤端面距离远难控制,且 HfO_2 易喷溅使光纤基底表面有透明喷点导致

激光损伤阈值降低。考虑对激光损伤阈值及机械性能等因素的较高要求,选择采用规整膜系 SIM 2H L1A,通过多次实验获得较稳定的制备工艺。实现波长 1064 nm 处的增透。

4 测试结果与分析

采用日本岛津 UV-3150 分光光度计进行测试。由于光纤端面口径极小,无法使用分光光度计对其进行测试,为此选用 K9 玻璃作为测试片,实验光谱曲线如图 6 所示。

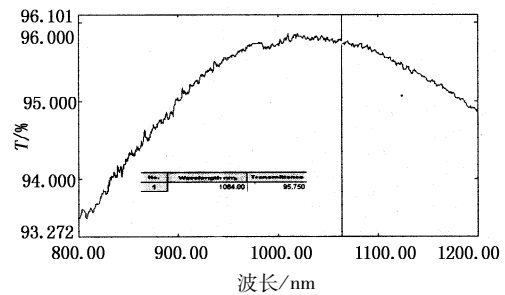


图 7 在 K9 为基底的测试片上测得的单面镀增透膜的透过率曲线

Fig. 7 the transmittance curve of K9 coating antireflective film on one side

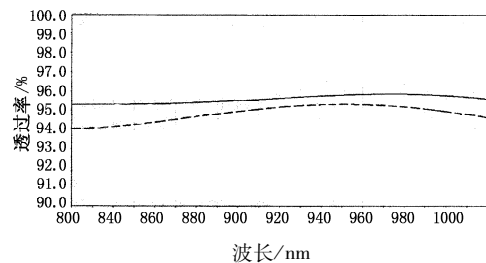


图 8 K9 玻璃和光纤单面镀增透膜的理论透过率曲线
Fig. 8 theoretical transmittance curve of K9 and fiber coating antireflective film on one side

图 8 中实线为多模光纤单面镀增透膜的透过率曲线,虚线为 K9 玻璃上镀增透膜的透过率曲线。

通过对比我们发现在 K9 玻璃上的透过率曲线较在多模光纤上的透过率曲线略低。

以 1064 nm 单管芯 YAG 激光器为光源测得 50 μ m 光纤镀膜前后的输出功率如表 1 所示。

表 1 光纤镀膜前后的输出功率

Tab. 1 fiber output power before and after coating

激光器的工作 电流/mA	准直功率 /mW	镀膜前输出端 功率/mW	镀膜后输出端 功率/mW
500	213	203	207
1000	579	552	579
2000	1350	1249	1332

以 1064 nm YAG 激光器为光源的 50 μ m 光纤

镀膜前后的输出功率^[6-7],可以计算出在镀膜前后多模光纤的功率平均提高了5%,满足使用要求。

为了保证光学元件的可靠性,对样品进行了环境试验,按国标的要求测试内容如下:

(1)附着力测试:参照美国军标,用宽2 cm胶带紧贴镀膜表面,然后沿膜面垂直方向迅速拉起,重复5次,未有脱膜现象^[8]。

(2)高低温测试:将样品放入低温箱,由室温降到-50℃,保持2 h;将样品放入高温箱,由室温升到70℃,保持2 h,膜层未有明显变化。

(3)湿热测试:在湿度为95%,温度为50℃条件下,放置12 h,膜层未有明显变化。

上述测试完成后再次测试样品的透过率光谱,曲线基本没有太大变化。

5 总结

通过选择高低折射率材料的匹配,调整镀膜工艺参数如提前预融、蒸发速率、离子源、真空度等,改进夹具摆放位置,增大膜料蒸发角度对微小端面膜层均匀性的影响,提高了系统整体的抗激光损伤阈值,实现了低温镀膜的可行性,所镀制的薄膜基本满足了军用光学仪器的使用要求。在YAG激光器的多模光纤端面上增透膜,不仅提高了光纤的光能透过率,也使光纤的抗激光损伤的能力有明显的提高,进而对红外光纤的实用化起到了非常积极的作用。

虽然制备的减反射膜满足使用要求,但是还达不到理论设计的要求,所以解决膜层表面的色散和减少吸收的问题成为今后研究和改进的方向。

参考文献:

- [1] 钟迪生. 真空镀膜 - 光学材料的选择与使用[M]. 沈阳:辽宁大学出版社,2001:20-28.
- [2] 张杏梅. 双波段红外光纤增透膜的研究[J]. 激光与红外,2000,30(2):121-122.
- [3] Fournier A, Cordillot C, Bernardino D, et al. Characterization of HR coating for the megajoule laser transport[C]. SPIE,1997,2996:327-341.
- [4] 岳威,洪冬梅. 光纤激光器相关的薄膜设计[J]. 激光与红外,2006,36(12):1160-1161.
- [5] 朱震. 激光与红外技术中应用的光学薄膜[J]. 激光与红外,1993,23(2):36-41.
- [6] Palmer J R. Theoretical model for high power annular continuous wave laser beams on uncoated optical components-transient temperature distribution[J]. SPIE,1993,1997:494-515.
- [7] Bodemann A, Kaiser N, Kozlowski, et al. Comparison between 355 nm and 1064 nm damage of high-grade dielectric mirror coatings[J]. ,1996,2714:395-403.
- [8] D R Gibson, E M Waddell, A D Wilson. Ultradurable phosphide-based antireflection coating for sand and rain erosion protection[J]. Opt Eng,1994,33:197-208.