

离子束辅助沉积红外增透薄膜工艺

傅晶晶, 付秀华, 邢政

(长春理工大学 光电工程学院, 长春 130022)

摘要: 光纤接入网络的快速发展对光纤传输的光学性能方面提出了严格的要求。文中阐述了电子束离子辅助沉积系统在室温下镀制光纤端面近红外 1520nm ~ 1580nm 范围增透膜的应用。讨论了膜料的选择、膜系的设计以及镀膜过程中光学监控的工艺参数, 制备出了光学性能较好的薄膜。

关键词: 离子束辅助沉积; 红外增透膜; 光纤; 膜厚控制

中图分类号: TB43

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870(2008)02-0043-03

IAD Process for Infrared Antireflection Coating Application

FU Jingjing, FU Xiuhua, XING Zheng

(School of Opto-Electronic Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022)

Abstract: The requirement for the performance of optical fiber device has been raised as the highspeed development of access network. The applications of ion source in ion assistant deposition for an antireflection coating in optical fiber at 1520nm ~ 1580nm as the near-infrared range under the low temperature are described. Choosing coating materials, designing the coating and manufacture are also discussed. The result of measuring turned out that both the optical quality got the require.

Key words: ion assistant deposition; infrared antireflection coating; optical fiber; monitoring of film thickness

随着光纤接入网络的快速发展, 使光纤广泛地应用于大容量长距离的远程通信照明、图像传输、传感器等领域。波分多路技术(WDM)兴起, 掺铒光纤放大器(EDFA)成功, 使单模光纤波长 1550nm 窗口变得越来越重要^[1]。由于大容量长距离光纤系统均利用 1550nm 窗口, 因此在光纤端面镀上增透膜对于提高光在光纤中的传输是很有必要的。本文选取合适的薄膜材料在低温条件下借助离子束辅助沉积制备了光纤端面波长为 1520nm ~ 1580nm 范围内反射率小于 0.2% 增透膜。

1 材料的选择

由于在镀制增透膜的过程中与光纤连接的电子器件也被放入真空室中, 若加温会影响电子器件的性能, 所以镀制过程必须在室温下进行。

在可选择的近红外区域低折射率材料中, 虽然 MgF_2 较为常用, 但由于 MgF_2 膜层具有较高的张应力, 当烘烤温度达到 250℃ ~ 300℃ 时形成的 MgF_2 膜层才较为牢固, 而在室温下镀制的 MgF_2 膜层非常容易破裂, 擦拭易掉膜, 因此 MgF_2 不适合用于光纤端面成膜。而 SiO_2 在较低温度下成膜也能起膜层牢固, 耐磨, 抗腐蚀, 结构精细, 保护能力强的作用, 是分解很小的低折射率氧化物材料。因此选择 SiO_2 作为设计光纤端面增透膜的低折射率材料。

与 SiO_2 匹配的 ZrO_2 和 Ta_2O_5 都是具有较高折射率、易于蒸发得到低吸收的近红外可用薄膜材料, 而且两者形成的膜层都十分牢固稳定。但是在镀制过程中 ZrO_2 是固态直接蒸发, 蒸发过程中会因为蒸发角的变化使得蒸发速率不稳定。而 Ta_2O_5 是液态蒸发, 蒸发速率较 ZrO_2 而言相对稳定。因此选择

收稿日期: 2007-12-06

基金项目: 国家 863 计划资助项目

作者简介: 傅晶晶(1983-), 女, 福建省宁德市人, 硕士研究生, 主要从事光学薄膜的研究, E-mail: healin9999@126.com。

Ta₂O₅ 为设计膜系的高折射率材料。

2 初步膜系设计

因为增透波长要求 1520nm ~ 1580nm, 增透区只有 60nm, 带宽比较窄。所以用矩阵法^[2]来设计非周期性双层增透膜。

由薄膜的特征矩阵

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta_1 & \frac{i}{n_1}\sin\delta_1 \\ n_1\sin\delta_1 & \cos\delta_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\delta_2 & \frac{i}{n_2}\sin\delta_2 \\ n_2\sin\delta_2 & \cos\delta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ n_g \end{bmatrix} \quad (1)$$

满足反射率 $R=0$

经过计算可得出:

$$\begin{aligned} (\tan\delta_1)^2 &= \frac{(n_g - n_0)(n_2^2 - n_0n_g)n_1^2}{(n_1^2n_g - n_0n_2^2)(n_0n_g - n_1^2)} \\ (\tan\delta_2)^2 &= \frac{(n_g - n_0)(n_0n_g - n_1^2)n_2^2}{(n_1^2n_g - n_0n_2^2)(n_2^2 - n_0n_g)} \end{aligned} \quad (2)$$

其中 δ_1 为高折射率材料膜层的位相厚度, δ_2 为低折射率材料膜层的位相厚度, n_1 为高折射率材料的折射率, n_2 为低折射率材料的折射率。

所以初始膜系为 Sub|0.532H 1.235L|Air。其中中心波长 $\lambda_0=1550\text{nm}$, H 为高折射率材料, L 为低折射率材料。

图 1 所示为计算机模拟的理论曲线, 可以看出此膜系在 1520nm ~ 1580nm 满足 $R < 0.2\%$ 的设计要求。

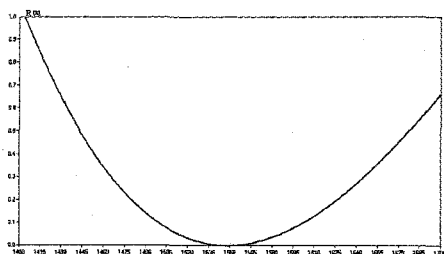


图 1 初步计算增透膜系的理论曲线
Fig.1 Theoretical curve of antireflection film

3 镀制工艺

3.1 离子束辅助沉积

因为光纤与电子器件相连, 镀制过程必须在室温下进行。如果要在不加温的状态下提高光学薄膜的光学、机械等性能, 可以用离子源进行辅助沉积。

在薄膜沉积过程中, 离子束辅助沉积技术是通过离子对薄膜材料的轰击从而给所沉积的薄膜材料粒子以额外的能量, 使得所沉积的薄膜在光学性

能、机械性能和耐环境稳定性上有着显著的改善。

考夫曼 (Kaufman) 离子源是应用较早的离子源, 它属于栅格式离子源。考夫曼离子源工作时阴极灯丝发出热电子, 在电磁场作用下向阳极作螺旋运动并碰撞充入的氩气或氧气, 使氩分子或氧分子电离, 在屏极附近产生电位与阳极相近的等离子体, 正离子被接地的屏极拉出, 被加速极加速, 经中和后以原子态飞向基板。这种离子源产生的离子发散角较小, 方向性强, 离子能量带宽集中, 可广泛应用于真空镀膜^[3]。

在考夫曼离子源辅助沉积过程中, 离子从离子源获得能量后传递给薄膜粒子, 有一个运输和碰撞的过程。因此充入的气体种类、离子束流、真空度的不同导致能量运输的自由程不同, 造成离子与气体分子发生碰撞而使其所携带的能量不同程度地损失^[4]。因此合理地选择离子辅助工艺参数对提高薄膜的性能及其重要。

实验中选择薄膜材料为 Ta₂O₅ 和 SiO₂, 为防止 Ta₂O₅ 在蒸发过程中失氧而游离出金属 Ta 导致膜层吸收而影响薄膜的光学性能, 因此选择充入的气体为氧气。为了减少离子与气体分子发生碰撞造成能量损失, 在镀制过程中可以控制充入的氧气流量使真空室内的压强保持在 $1.0 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 左右。设定离子源加速电压为 250V, 屏极电压为 220V, 束流为 30 ~ 40mA。镀膜开始前, 用离子束轰击基片十分钟, 这样可以清洁基片表面吸附的水蒸气和其它污染物, 使界面间的吸附键变为共价键、离子键等其它化学键, 以提高表面活性, 使成核密度增加, 膜层晶粒细化, 从而使膜层与基片的附着力提高。在膜层镀制期间离子束轰击过程中, 由于离子对膜层粒子的动量传递, 增加了薄膜材料粒子的能量和迁移率, 使膜层中可能形成的柱状结构被破坏, 空隙被填充, 使聚集密度提高, 结构完整性得以改善, 应力状态得以好转, 最终提高薄膜的性能寿命。

3.2 光学极值监控

在膜层的镀制过程中, 对膜层厚度的监控是一个很重要的工艺环节。合理、高精度的监控工艺对最终成膜的光学性能有着决定性的影响。这里研究如何用光学极值法来实现对设计膜系厚度的监控。

根据光束干涉原理, 膜系的反射率或透射率随膜厚呈周期性变化, 当膜层的厚度为光波长的四分之一或四分之一的整数倍时, 薄膜的反射率或透射率出现极值, 由于这种特性, 可以通过判断极值来

对周期性膜系的厚度进行控制。而对于非周期性膜系, 则可以通过改变每一层薄膜的监控波长, 使所需膜层厚度在此波长下的光学厚度是四分之一波长的整数倍^[5, 6]。这样就可以把非周期性膜系转化成周期性膜系进行监控。

由于在膜层镀制过程中蒸镀材料折射率的变化会引起中心波长的移动, 为了避免因为中心波长的漂移导致所需增透区域的透射率下降, 所以选用四层膜系, 这样可以展宽增透膜的带宽, 并根据镀制工艺参数的要求对选用的四层增透膜系进行优化。通过计算机模拟, 最终优化膜系为 Sub|1.777H 1.434L 0.984H 0.926L|Air。其中中心波长 $\lambda_0=1550\text{nm}$, H 为 Ta_2O_5 , L 为 SiO_2 。图 2 为计算机模拟的理论曲线:

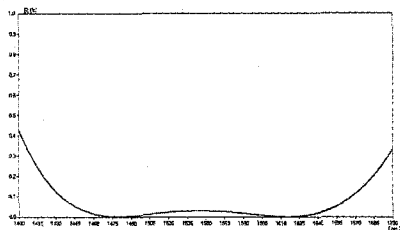


图 2 优化后增透膜系的理论曲线

Fig.2 Theoretical curve of optimized antireflection film

从理论曲线图可以看出四层膜系较初步采用的双层膜系带宽有所扩展。并且在 1520nm ~ 1580nm 波长区域满足 $R<0.2\%$ 的设计要求。

用成都天星 TXX700-2 型箱式真空镀膜机来镀制此光学薄膜。

表 1 镀制增透膜系的主要实验参数

Tab.1 Main parameters of deposition for the antireflection film

Lay- er	ma- terial	Electronic beam/mA	Vac- uum/Pa	Wit- ness chips	λ / nm	Experiment data of monitoring optical thickness
1	Ta_2O_5	170	10×10^{-2}	1"	5 48	200→835→198 →811→189
2	Ta_2O_5	170	10×10^{-2}	2"	560	200→840
3	SiO_2	70	10×10^{-2}	3"	5 60	840→196→829 →203→807
4	Ta_2O_5	170	10×10^{-2}	4"	404	200→839→194
5	Ta_2O_5	170	10×10^{-2}	5"	716	200→833
6	SiO_2	70	10×10^{-2}	6"	716	833→181→825

对于高折射率的 Ta_2O_5 , 可以直接在 K_9 玻璃的监控片上根据膜层的几何厚度选择合适的控制波长

进行极值监控。而对于低折射率的 SiO_2 , 由于 SiO_2 的折射率与 K_9 玻璃的折射率比较接近 (SiO_2 的折射率约为 1.48, K_9 玻璃的折射率约为 1.52), 如果直接在 K_9 玻璃的监控片上进行监控, 那么在监控过程中由于两个极值点之间的反射率或透射率变化很小, 容易造成较大的人为判断误差。因此对 SiO_2 膜层的监控必须在高折射率的预镀层基础上进行。见表 1。

4 测试结果与分析

测试样片的实际透过率曲线如图 3 所示。

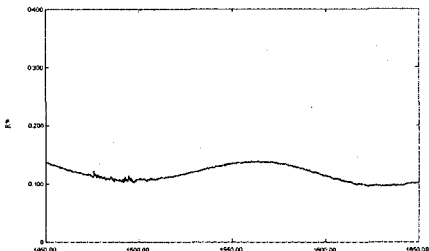


图 3 镀增透膜后样片的实测透过率曲线

Fig.3 Measured reflectance curve of antireflection film

从测试结果可以看出, 与理论曲线相比, 实际镀制的增透膜总体透射率有所降低, 但在所需的 1520nm~1580nm 波段满足反射率 $R<0.2\%$ 要求。

光学监控设备受环境、光源波动和电气系统温漂的影响较大, 会导致对极值点的判断误差, 从而影响所镀膜层的光学透过率。

参考文献

[1] 范青. G.655 光纤及其应用前景[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2001, 13(6): 43-46.

[2] 唐晋发, 顾培夫. 现代光学薄膜技术[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2006: 20-36.

[3] 顾培夫. 光学薄膜技术的进展[D]. 2007 年国际光学薄膜技术及其应用研讨会会议文集, 2007: 45-54.

[4] 李学丹. 真空沉积技术[M]. 浙江: 浙江大学出版社, 2000: 7-15.

[5] 殷浩. 光学膜厚监控方法[D]. 2007 年国际光学薄膜技术及其应用研讨会会议文集, 2007: 77-84.

[6] 房淑芬, 付新华, 周滨滨. 晶体表面增透膜设计及工艺研究[J]. 长春理工大学学报, 2007, 4(30): 44-45.