

文章编号: 1001-3806(2013)03-0314-03

## 光通信用光纤端面截止滤光膜的研制

高晓丹 魏 纯

(武汉东湖学院 电子信息工程学院 武汉 430212)

**摘要:** 为了满足光通信中对光纤端面镀多层膜的特殊需求,分析了光纤端面镀制截止滤光膜所存在的难点问题,利用 TFCalc 薄膜设计软件,采用解析法设计了一个初始膜系,再结合梯度优化法对初始膜系进行优化处理,成功设计出具有较好光谱性能的光纤端面截止滤光膜的膜系,并对德国莱宝 APS1104 型镀膜机进行了内部结构和镀制工艺的改进,最终采用离子源辅助沉积进行低温镀制,获得了性能优良的光纤端面截止滤光膜。结果表明,在光纤端面镀制多层的截止滤光膜,虽然存在很多困难,但选择合适的膜系和镀制工艺,依然能获得符合实际要求的滤光膜。

**关键词:** 薄膜; 光纤截止滤光膜; 优化设计; 离子辅助沉积; 镀制工艺

中图分类号: O484.4 文献标识码: A doi: 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.03.010

## Manufacture of interference edge filter film on the end of fiber for optical communication

GAO Xiao-dan, WEI Chun

(Department of Electronic Engineering, Wuhan Donghu University, Wuhan 430212, China)

**Abstract:** In order to satisfy the especial requirement of depositing multi-layer coating on the end of fiber, the difficulties in the coating deposition on the end of fiber was analyzed. Firstly, an initial formula was designed by means of resolution method. Then it was optimized with gradient optimization method by using TFCalc formula design software. Finally, the formula of interference edge filter film on the end of fiber was obtained with good spectral properties. The internal structure and deposition technology of LEYBOLD APS1104 deposition machine made in Germany was improved to deposit the designed formula by using ion assistant deposition at low temperature, coating with good performance was acquired. The results show that it is difficult to deposit interference edge filter film on the fiber end, however, the requirements of the interference edge filter film can be met if choosing suitable formula and deposition technology.

**Key words:** thin films; fiber interference edge filter film; optimization design; ion assistant deposition; deposition technology

### 引 言

随着光通信技术的飞速发展,采用光学薄膜滤光片实现无源光网络的波分复用已不能完全满足其需求,光通信器件对光学薄膜提出了更高的要求,要求直接在光纤端面镀制截止滤光膜。目前关于光纤镀膜的报道基本上是镀制减反射膜(增透膜)<sup>[1-2]</sup>,既提高光的传输,又可减少菲涅耳后向反射。而在光纤上直接镀制截止滤光膜却鲜有报道,主要是因

为在光纤端面镀制较复杂的截止滤光膜会带来一系列新的问题:(1) 光纤比较纤细,众多光纤在镀膜机中镀膜存在一个位置固定问题,需要一个合适的夹具以固定光纤,并要求均匀镀制;(2) 光纤头镀面面积非常小,而且镀膜面存在 $8^\circ$ 倾斜角;(3) 环氧树脂和光纤不能置于高于 $100^\circ\text{C}$ 的环境中<sup>[1]</sup>,即要求冷镀,而冷镀又会影响膜层的致密性和膜料的稳定性等等<sup>[3]</sup>;(4) 截止滤光膜的要求通常比较高,设计膜系比较复杂,膜层数通常是几十层,远远高于只需要镀制几层膜的减反射膜。以上4点中第4点最为重要,膜的层数越多,对第1点夹具的成膜均匀性实际上提出了更高的要求;而膜层数多,镀制时间越长,又限制了第3点中所要求的冷镀。而第2点中 $8^\circ$ 倾

作者简介:高晓丹(1980-)女,硕士,讲师,现主要从事光学薄膜技术的研究。

E-mail: gxd6368@163.com

收稿日期:2012-09-17;收到修改稿日期:2012-10-22

斜角对于截止膜的膜系设计和镀制监控也提出了较高要求。总而言之,以上提出的4点问题并不是独立的,而是彼此相互关联、相互制约。所以,在光纤端面研制膜系较复杂的截止滤光膜,必须考虑不同于常规的膜系设计方法和镀制工艺,否则无法镀制成功。

在此,采用TFCalc膜系设计软件综合解析法和梯度优化法设计出符合要求的截止滤光膜系,并根据所设计的非规整膜系,针对光纤镀膜存在的各项难点问题,改进德国莱宝APS1104型镀膜机的内部结构和镀制工艺实际进行镀制,获得了较好的成膜性能。

## 1 光纤端面截止滤光膜的设计

光纤端面截止滤光膜的参量要求如下:1260nm~1362nm,1478nm~1502nm为通带,要求透射率大于96%(最大插入损耗小于0.2dB);1548nm~1560nm为反射带,要求高度截止,透射隔离度大于25dB。

干涉截止滤光膜通常采用(0.5HL0.5H)和(0.5LH0.5L)基本对称周期设计膜系<sup>[4]</sup>,众所周知,对称周期可以等效为一个单层膜,在具有实数等效折射率的光谱区对应其透射带,但由于某些原因,当等效层的等效折射率与周围介质不能匹配的时候,就会产生较大的通带波纹<sup>[5-6]</sup>,这就要求选择合适的匹配层来设计膜系,但工作量太大。

由于光纤端面存在8°倾斜角,采用TFCalc膜系设计软件进行膜系设计时可考虑入射光的入射角为8°。根据薄膜的理化性能需求,选用Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(折射率 $n_h = 2.175$ )为高折射率材料,SiO<sub>2</sub>(折射率 $n_l = 1.465$ )为低折射率材料。在通带范围内选择1492nm作为参考波长,在此参考波长下用解析法设计出如下初始膜系:1.14(HL)<sup>20</sup>,其中H和L分别代表高低折射率材料Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>和SiO<sub>2</sub>1/4中心波长的光学厚度。初始膜系的透射率曲线如图1中曲线1所示。由曲线1可见,解析法设计的初始膜系能较好地反映截止滤光膜所呈现的趋势,但光谱性能不佳。要得到具有较好光谱性能的膜系,还必须对初始膜系进一步优化。TFCalc膜系设计软件的优化设计是建立一个评价函数,梯度优化法是通过改变膜层的厚度或组内参量和机动材料的指数使评价函数最小化或其导数为0,该优化方法在优化过程中所需内存更少,特别对于多层膜的优化具有较好的优化效果。在此,选用梯度优化法根据预先设置的

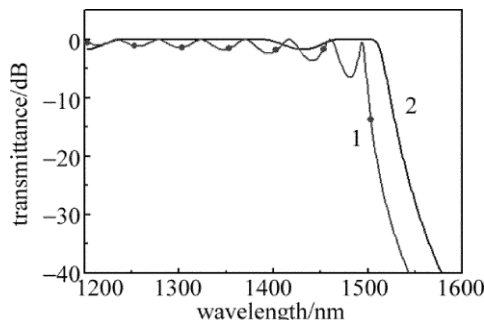


Fig. 1 Transmittance curve of the initial formula and the designed formula

截止滤光膜的设计要求优化初始膜系,经过计算分析比较,一个40层的非规整膜系最终被设计出来。图1中曲线2即为所设计出的8°入射截止滤光膜的透射光谱,1260nm~1362nm和1478nm~1502nm的波段范围内最大插入损耗为-0.007dB,1548nm~1560nm波段截止,通道隔离度达到27dB,完全符合设计要求。

## 2 光纤端面截止滤光膜的镀制

光学薄膜能否镀制成功,主要取决于3个因素:一是膜系设计;二是镀膜机的精度;三是镀制工艺。三者相辅相成,一个好的膜系没有合适的工艺,依然得不到合乎参量要求的薄膜<sup>[7]</sup>。而基于光纤端面镀制截止滤光膜的特点,其工艺比一般光学薄膜的镀制要更为复杂。

首先需要有一个装载在镀膜机中用来固定光纤头的夹具,该夹具在对光纤镀件装夹时,要保证光纤头镀面具有同样的膜层均匀性,而且光纤必须被缠绕成卷封装在该夹具中并处于无应力状态。考虑到所使用的德国莱宝APS1104型镀膜机采用的是透射监控方式,之前有蒸镀100多层密集波分复用滤光片的经验,在∅100mm平面圆盘上具有较好的膜厚均匀性。所以,在平面圆盘上加工出具有较高精度的光纤头插孔,保证安装固定后光纤蒸镀面为同一平面。

在光纤镀膜过程中,光纤的温度控制是一项非常重要的工艺。对于光学薄膜而言,温度会影响晶体生长、膜层结构、聚集密度、凝聚系数和膨胀系数等<sup>[8]</sup>。但对于光纤,如果光纤带有环氧树脂或塑料外包层,在大多数情况下是不能置于高温环境中,必须考虑冷镀的方式,然而在镀膜过程中电子枪和离子源产生的热量会提升光纤的温度,所以必须严格控制镀膜机内温度。经过多次实验,镀膜时加热温度设置为50°C,在电子枪和离子源的热影响下,保证蒸镀温度在100°C以下。同时采用等离子体辅助

沉积系统,在高真空的条件下,一方面可以清洁光纤端面,增强薄膜的吸附力,减少应力的影响<sup>[9-10]</sup>,另一方面在镀膜过程中,可以提高膜层的致密性和材料折射率的稳定性。

为了对所蒸镀的膜层进行监控,在夹具的中心加装了监控片,监控片的材料选择与镀件相同的 $\text{SiO}_2$ ,同时它也作为测试片。镀膜材料 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 和 $\text{SiO}_2$ 是纯度为99.99%的膜料,在镀膜前一定要对所使用膜料进行靶材预熔,其目的是为了稳定材料的折射率,并提高膜层的致密度。

对所设计的膜系进行实际镀制时,采用德国莱宝 APS1104 型真空镀膜机,高折射率材料 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 和低折射率材料 $\text{SiO}_2$ 分别用电子枪 ESQ-14 和 ESV-212 蒸发,采用 QSM 石英晶体振荡膜厚控制系统和 OMS3000 光学监控系统共同监控薄膜的沉积。实际镀制时,先将真空室的真空抽到 $1 \times 10^{-6}$  Pa,然后对镀件加热到 $50^\circ\text{C}$ , $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 和 $\text{SiO}_2$ 的蒸发速率分别设置为 $0.7\text{nm/s}$ 和 $1.4\text{nm/s}$ ,严格控制离子源的参量,在保证膜料折射率稳定和均匀蒸发的同时,确保真空腔内进行低温镀制。而且在蒸镀过程中充高纯度氧气以减小薄膜的吸收,镀膜过程中的真空度为 $1 \times 10^{-2}$  Pa。

镀制完成后,采用 Agilent 86142B 型光谱分析仪对测试片进行测试。测试片的成膜透过率曲线如图2所示,由测试曲线可见通带隔离度达到25dB,在整个通带范围内,在 $1260\text{nm} \sim 1362\text{nm}$ , $1478\text{nm} \sim$

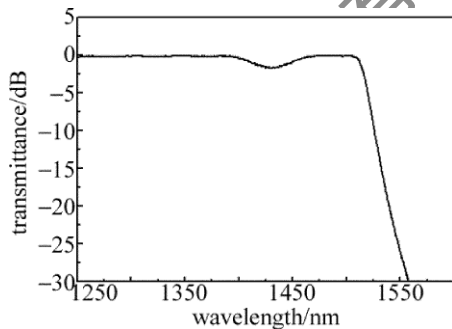


Fig.2 Transmittance curve of the deposited film

$1502\text{nm}$ 的通带波段范围内最大插损为 $-0.13\text{dB}$ ,完全符合截止滤光膜的参量需求。

### 3 结论

综合解析法和梯度优化法两种膜系设计方法设计出适合光纤端面镀制的截止滤光膜的膜系。分析了光纤端面镀制截止膜的难点问题,并结合所使用的德国莱宝 APS1104 型镀膜机,对其内部结构和镀制工艺进行改进,最终在光纤上实际镀制出所要求的截止滤光膜,能较好地满足实际应用的需求。

### 参 考 文 献

- [1] LI M X, YANG Y L, FU X H *et al.* Study of 1064nm laser anti-reflection film on the end of fiber [J]. *Laser & Infrared*, 2010, 40(1): 91-94( in Chinese).
- [2] MEI Y S, FU X H, YANG Y L, *et al.* Design and preparation of optical films for fiber lasers [J]. *Chinese Optics*, 2011, 4(3): 299-304( in Chinese).
- [3] GAO X D, ZHANG X H, CHEN Q M, *et al.* Design and fabrication of high isolation interference edge filter [J]. *Journal of Navel University of Engineering*, 2005, 17(6): 77-79( in Chinese).
- [4] PENG D G, WU Y G, JIAO H F, *et al.* Design of narrowband high-reflection filter coating with wide stop band [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, 28(5): 1001-1006( in Chinese).
- [5] TANG J F, GU P F. *Optical film theory and technology* [M]. Beijing: China Machine Press, 1989: 126-135( in Chinese).
- [6] ZHOU J L, YIN S B. *Optical coating technique* [M]. Beijing: National Defence Product Publishing Company, 1974: 257-270( in Chinese).
- [7] GAO X D, GE W L. Manufacture of interference edge filter for FTTH triplexer [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(8): 1508-1511( in Chinese).
- [8] HUANG H L, CHENG S Y, HUANG B H. Influence of substrate temperature on properties of ZnS films prepared by electron beam Evaporation [J]. *Journal of Optoelectronics • Laser*, 2009, 20(3): 355-358( in Chinese).
- [9] WANG Q, WU F Q, HAO D Zh *et al.* Effect of stress on performance of thin film polarizing beam splitters and improvement process techniques [J]. *Laser Technology*, 2010, 34(5): 670-672( in Chinese).
- [10] WANG L, CHENG X B, WANG Z S *et al.* IAD process for optical coating application [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(6): 896-898( in Chinese).