

文章编号: 1002-2082(2004)02-0062-03

# 激光反射镜与诱导透射滤光片工艺分析

荆玉兰, 蒋向东, 张怀武

(电子科技大学 微电子与固体电子学院, 成都, 610054)

**摘要:** 随着光通信和光信息技术的迅速发展, 介质高反射镜和窄带滤光片倍受人们关注, 有机光学薄膜滤波器材料及器件将日益受到重视。采用一个低通滤波器和高通滤波器在其通带叠合处便可产生一个优良的窄带滤波器。详细介绍了几种光学薄膜器件激光反射镜、诱导透射滤光片(ITF)和微片式激光器的混合材料及制备工艺, 并给出其设计方法, 对批量生产将有极大的促进作用。

**关键词:** 激光反射镜; ITF 滤光片; 微片式激光器

**中图分类号:** TN205-34

**文献标识码:** B

## Process Analysis of Laser Reflective Mirror and Induce Transmittance Filter(ITF)

JING Yu-lan, JIANG Xiang-dong, ZHANG Huai-wu

(University of Electronic Science and Technology, Chengdu, 610054, China)

**Abstract:** With the development of the optical communication and optical information, laser reflective mirror and ITF filter is catching people's attention. With the further development in this field, the organic optical film filters and devices will be laid stress on increasingly. And a excellent narrow-band filter will be produced with a low-pass and a high-pass filter at the passband congruence. In this paper several optical thin film devices such as laser reflective mirror, ITF filter, microchip laser are introduced and their fabricated process as well as design method are given, which is very useful in the optical application field.

**Keywords:** laser reflective mirror; ITF filter; microchip laser

### 引言

近年来激光技术有了长足的发展, 自由电子激光器的高效率波长转换及高功率紫外激光器新激光光源的出现, 对谐振腔和周边光学系统光学镀膜元件的性能提出了前所未有的要求。在低增益激光器和高功率波长转换等应用中, 超低功耗激光反射镜成为重要的光学器件。它要求激光反射膜必须具备吸收小、散射少、反射功率大和耐激光破坏阈值高等优点。为了达到这一目的, 人们在改进实验设备上花费了很大的功夫和代价, 但收效不大。近年来, 对转向膜材料及混合膜进行了广泛研究。巴尔察司公司首先对混合材料镀制的膜进行了结构研究, 认识到通过材料混合可以提高膜层的填充密度<sup>[1-3]</sup>。日本平泽一男对混合膜进行了研究, 通过在 $ZrO_2$ 中掺杂 $Y_2O_3$ 可使 $ZrO_2$ 膜层光学性能得到很大改善。但对混合膜成份的研究, 特别是对用以提高膜层填充密度, 减少散射损耗, 提高其激光破坏阈值的混合膜料镀制激光反射膜, 目前仍是

研究者要解决的主要问题。用一定比例固相混合膜料镀制激光反射膜, 使激光反射镜的激光破坏阈值大幅度提高是近期开发的热点。

微片式激光器(Microchip Laser)是近年来较热的研究领域之一。法国国家固体所和乌克兰Carate公司在微片式激光器反射式腔体薄膜方面取得了突破性进展, 并已使该激光器接近应用。该腔体膜堆采用高低折射率膜堆, 石榴石晶体激发元激发的激光在两个膜堆之间反射谐振, 最后射出。由于此激光器的工艺简单、尺寸小、驱动电压低、易产生紫外光和绿光, 可广泛应用于高密度光信息存储及光通信等领域<sup>[6,7]</sup>。

滤光片是光学元件的一种, 可对各种色光呈现出通过、反射和吸收三种情况。它具有通过所需色光, 吸收其它色光的选择吸收性, 从而达到滤光的作用。诱导透射干涉滤光片(ITF)是一种有效的滤光片, 由金属和介质组成。它具有高峰值透射率和宽广的截止

收稿日期: 2003-02-10

作者简介: 荆玉兰(1959-), 女, 四川成都人, 电子科技大学博士研究生, 主要从事电子材料与元器件研究工作。

区,适应于窄带通和很宽截至区的各种条件。近期利用两种有机材料吸收带宽构成的窄带滤波片,不仅极大地降低了器件成本,而且在通带透射率、带宽和带外抑制方向均优于无机滤光片,被广泛应用于光通讯、激光技术、空间技术、医疗仪器、光谱技术、精细化工及军工等领域,市场潜力很大<sup>[4~5]</sup>。

## 1 各种新型薄膜器件工艺分析

### 1.1 激光反射镜

实验步骤:

(1) 选取几种常用的高折射率单质薄膜材料:  $\text{TiO}_2$ : 折射率高,一般在 2.2~3.7 之间,且极依赖于镀制方式和基底温度。致密度一般,激光破坏阈值低。

$\text{Ta}_2\text{O}_5$ : 折射率在 2~2.2 之间,但膜层致密度极高,填充密度趋于 1。激光破坏阈值略高于  $\text{TiO}_2$ 。

$\text{ZrO}_2$ : 折射率在 1.9~2.1 之间,致密度较差,折射率有负向性,但激光破坏阈值较高。

(2) 制备不同比例混合膜料。为了避免膜料被污染,必须在极清洁的环境下进行混合,用天平分别称取所选定的单质材料晶体颗粒的配比重量,经过研磨、充分混合并搅拌后,用油压机压成柱状膜料。

(3) 用不同混合比例的混合膜料镀制单层膜。每种样品至少做 3 次重复的实验,探索工艺条件,研究混合膜折射率及其色散的规律。具体做法如下:在基片上镀制好厚度  $\lambda/4$  光学膜层后,用分光光度计测量膜层在一定范围内的光谱透射率,用椭圆仪测量出膜层的几何厚度,并考虑衬底基片的色散影响,经电脑处理得出所测范围内折射率的一系列值,最后确定膜层折射率色散系数。

(4) 在不影响膜层致密度的前提下,研究混合膜料成膜后提高激光破坏能力的措施。

(5) 确定最佳比例混合膜料及其相应的折射率。

(6) 以最佳混合膜料作为高折射率  $H$ ,  $\text{SiO}_2$  为低折射率材料  $L$ ,用微机进行高反膜的设计。高反膜系为  $(\text{GHL}\cdots\text{LH})n$  层,光学导纳矩阵为

$$\prod_{i=1}^n \begin{bmatrix} \cos Q_i & \frac{j \cos Q_i}{N_i} \\ j N_i & \cos Q_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ n_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix}$$

$$Q_i = \frac{2\pi}{\lambda} N_i d_i = \frac{2\pi}{\lambda} (n_i - j k_i) d_i$$

式中,  $n_i$  为折射率;  $k_i$  为消光系数;  $j$  是虚数单位;  $d_i$  为膜几何厚度;  $n_g$  是基底折射率。则透过率  $T$  为

$$T = \frac{4n_g}{(Bn_0 + C)(n_0B + C)}$$

由上式可计算出膜层厚度增加和透过率的变化关系,

以便使控制系统能精确控制。

(7) 依据理论计算结果镀制高反射膜。注意最佳镀制工艺条件:真空度(包括充氧)、衬底温度、蒸发速率、电子枪电压及电流。

(8) 检验测试。测试激光反射镜给定波长的反射率并检验激光反射镜破坏阈值。

### 1.2 诱导透射滤光片(ITF)

利用金属膜对光有较强的吸收作用设计一种吸收膜系,在金属膜表面上叠加一个介质膜,使其组合后导纳成为实数,然后在此基础上叠加多个减反射膜,消除这个等效导纳的反射,诱发金属膜的最大可能透射率。这便是诱导透射原理。诱导透射滤光片(ITF)结构如图 1 所示。图中 I、II 为介质膜堆,III 为包含金属膜的膜堆。

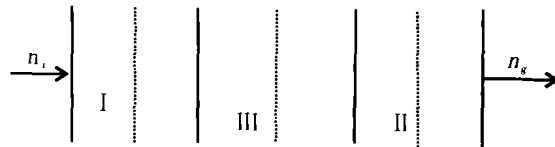


图1 诱导透射滤光片结构图

Fig. 1 The structural diagram of ITF

实验步骤:

(1) 确定ITF工艺中Ag膜的几何厚度和衬底温度以及不同衬底温度下介质膜的折射率值。

- 利用X衍射研究不同厚度和衬底温度下,Ag膜优先生长情况,确定在什么厚度和衬底温度下Ag膜接近大块材料的结构。
- 测试不同厚度和衬底温度下Ag膜在可见光和红外光区的透过率和反射率曲线,确定满足ITF要求的Ag膜的几何厚度和衬底温度,并和理论计算比较。
- 从被电镜观察到的膜柱状结构入手,提出介质膜结构模型,并讨论衬底温度和几何厚度对介质膜 $\rho$ 的影响。
- 研究不同衬底温度下各层膜折射率变化情况,测试 $\lambda/4$ 膜堆的光谱特性。

(2) 将透射率设计方法和导纳匹配法用于只含单层Ag膜系统中,用电脑设计可见光各波段和红外出射匹配膜系的层数,达到膜系设计的要求。

(3) 计算出工艺过程中透射率 $T$ 随膜层变化的曲线。设计镀制工艺过程时,以玻璃为第一入射介质,空气为出射介质。计算此时的透射率 $T$ 曲线时,以此曲线镀制工艺为指导,特别是Ag膜的 $T$ 走势值和间隔层的控制。

(4) 在衬底加温的情况下镀制ITF。根据上面确定的衬底温度和Ag膜厚度实施镀制,用自动监控法

控制并记录 $T$ 值。实验采用多层光学镀膜机和透射极值法控制膜层厚度,按上述设计膜系顺序镀制ITF。

(5) 对间隔层材料和厚度进行实验,确定出间隔层镀完后的 $T$ 值。以便于指导大批量镀膜生产,提高产品的合格率。

(6) 加保护层 $M$ 。胶合一块与衬底相同的玻璃作为保护层,成直接蒸镀与玻璃折射率相近的膜层代替胶合玻璃,并测试其效果。

(7) 测试ITF。

- 用光谱仪测试镀好的滤光片是否达到设计要求,主要涉及并重双峰、截至深度、截至范围、波长漂移、峰值透射率和半宽度。
- 隔一段时间后,对所镀产品再次进行测量,观察中心波长“红移”情况。

(8) 设计制造二重ITF及(ITF+THWF)组合滤光片。

给出膜系结构,进行有关计算。

- 进行工艺摸索,测试并讨论结果。

### 1.3 微片式激光器(Microchip Laser)

实验步骤:

(1) 腔体反射膜堆(GHLHL……)。选择:高折射材料为ZnS,低折射材料为MgF<sub>2</sub>, ZnS材料的折射率约为2.3,MgFe折射率约为1.4,G作为钕镱石榴石衬底。

(2) 激光器制备工艺:微片式激光器的主要激发源晶体是石榴石外延单晶体,其结构如图2所示。

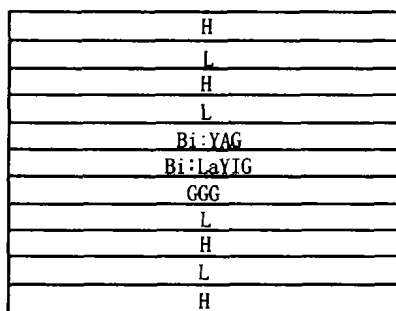


图2 石榴石外延单晶体结构图

Fig.2 The structural diagram of Garnet epitaxial monocrystal

发光晶体通过液相外延在钕镱石榴石(GGG)衬底外延多层不同材料的石榴石薄膜(外延厚度小于10 μm),然后在晶片两面采用电子束蒸发制备(HLHL

……)。上下腔体膜堆。

(3) 设计分析石榴石。由于该激光器的泵浦通过微波信号来激发,可设计激发态能级并搭配不同的材料掺杂,使晶体产生紫光、绿光和可见红外光。

(4) 按高反膜堆设计腔体膜堆,用微机进行高反膜的设计,确定最佳层数和材料。

(5) 优化工艺技术,测试相关参数。

## 2 结束语

光学薄膜与器件正以前所未有的速度在发展,其应用日趋广泛。本文主要介绍激光反射膜、透射滤光片和微片式激光器的工艺及原理,随着这一领域的进一步发展,有机光学薄膜滤波器材料及器件将日益受到重视。采用一个低通滤波器和高通滤波器在其通带叠合处便可产生一个优良的窄带滤波器,其方法和原理的简捷性、成本的低廉性和应用的广泛性使其具有极大的发展潜力。

参考文献:

[1] Macleod H A. Optical thin film research review[J]. Optical Acta,1974,21(2):429-432.

[2] Title A M,Pope T P. Drift in interference filter part 1, [J]. Applied Optics,1974,13(41):2675-2679.

[3] Pulker H K. The origin of mechanical stress in vacuum-deposited MgF<sub>2</sub> and ZnS films[J]. Thin Solid Films, 1979,59(2):65-76.

[4] Macleobd H A. Thin films optical coating[M]. Optical Society of Beijing,1984,1-3.

[5] Broer M M,Bruce A J,et al. Photoinduced refractive index change in serial Eu<sup>3+</sup>, Pr<sup>3+</sup>, Er<sup>3+</sup> doped oxide glass[J]. Physics Review ,1992,45(b):7077-7083.

[6] Park Y K, Ngugen T V,et al. Filed demonstration of 10 Gb/s line-rate transmission on an installed transoceanic submarine lightwave cable [J]. IEEE. Photonics Technology letter,1996,8(5):425-527.

[7] Zevas M N,Laming R L. Efficient erbium-doped fiber amplifiers in cooperation with optical isolater[J]. J of Quantum Electronics,1995,31(3):472-480.