

文章编号:1001-9014(2006)04-0287-04

16 通道微型集成滤光片制备技术的研究

林 炳, 于天燕, 李大琪, 刘定权, 张凤山
(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要:多光谱成像光谱技术正在向光谱通道更多、集成度更高、体积小和重量更轻的方向发展,而用于分光的多通道滤光片是其关键光学元件,需要相应发展新型多光谱窄带集成滤光片制备技术.提出了组合刻蚀法布里-珀罗(F-P)滤光片间隔层的方法,将光学薄膜制备技术,离子束刻蚀技术与掩膜法技术相结合,形成新的多通道集成滤光片的制备方法.并在单个微型基片上,成功制备了集成 16 通道窄带线阵滤光片,获得的单元滤光片几何线宽为 0.7mm,相对半峰全宽优于 1.0%,透射峰定位精度优于 0.25%.这一方法不但可满足集成度更高的滤光器件的要求,而且拓展了薄膜制备的方法.

关键词:光学薄膜;集成滤光片;组合刻蚀法;多通道滤光片;微型滤光片
中图分类号: O484 **文献标识码:** A

STUDY OF FABRICATION OF 16-CHANNEL MICRO INTEGRATED FILTER

LIN Bing, YU Tian-Yan, LI Da-Qi, LIU Ding-Quan, ZHANG Feng-Shan
(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 20083, China)

Abstract: Multi-spectrum imaging system is tending to become smaller, more integrated, lighter and more spectrum channels, and spectrum-dividing multi-channel filter is one of critical elements of the system. A new effective technology is needed to meet the requirement. A new method named combined etching technology was presented here by adjusting the thickness of space layer of F-P filter. Traditional coating technology was combined with ion etching and masking technique to fabricate multi-channel integrated filters. A 16-channel micro integrated narrow band pass filter was fabricated within a small size substrate, whose feature size of unit filter width is 0.7mm, relative half width of peak transmission is less than 1.0%, and peak position location accuracy is beneath 0.25%. This method not only meets the requirement of integrating more filters, but also develops the fabrication technology of thin film.

Key words: optical film; integrated filter; combined etching tech; multi-channel filter; micro filter

引言

多光谱成像光谱技术^[1]正在向光谱通道更多、集成度更高、体积小和重量更轻的方向发展.随着探测器多通道焦平面技术的日趋成熟,通道数可以达到几十个,单通道探测器的横向中心尺寸以及通道间的距离可以达到 0.1mm 以内.为了满足多光谱遥感技术发展的要求,需要相应的新型多光谱窄带集成滤光片制备技术.

虽然单个滤光片的设计与制备工艺已经成熟,但要把多个滤光片集成在一个基片上,并保持优良性能,其难度非常之大,而且采用传统技术来制备集

成滤光片^[2],其成品率随着集成数目的增加而呈指数下降.张凤山等人曾采用制备线性渐变滤光片的方式^[3],让探测器与滤光片进行位置配准,这种方式的缺点是空间位置不能充分利用,通道太近时容易串光.另外,也有人用电容驱动的办法来改变 F-P(法布里-珀罗)滤光片的间隔层光学厚度^[4],以实现滤光片的光谱扫描,但这种方式每次只能形成一个通道,不能让多个通道同时工作,无法满足集成化的需求.上海技术物理研究所的程实平等人^[5]曾利用光学掩膜分离法制备微型多通道的滤光器件,但这种方法难以应用到通道数较多的情况下,主要还是受限于成品率低.

收稿日期:2005-07-21,修回日期:2006-01-16

基金项目:上海市重大科研攻关(03dz11007)资助项目

作者简介:林炳(1978-),男,福建厦门人,中国科学院上海技术物理研究所博士研究生,主要从事光学薄膜与材料的研究.

Received date: 2005-07-21, revised date: 2006-01-16

在以前的工作中,我们曾发表了用组合刻蚀方法制作 8 通道集成滤光片^[6],在此工作基础之上,又进行了 16 光谱通道滤光片的制备,获得的集成滤光片的几项主要指标都有所提高.

1 集成多光谱滤光片的理论分析

众所周知,法珀板是在 2 个平行的平板反射镜中间间隔一个空腔,当 2 个反射镜具有同样的高反射率时,干涉仪对某一波段的波长实现高透,改变微调空腔的厚度可以改变透过的波长.

通过膜系特征矩阵式(1)和式(2)可以精确地求出中心波长 λ_0 的透过率 T ,通带的半宽度 $\Delta\lambda$ 等参量.

$$\begin{bmatrix} B \\ C \end{bmatrix} = \prod_{j=1}^k \begin{bmatrix} \cos\delta_j & \frac{i}{\eta_j} \cdot \sin\delta_j \\ i\eta_j \cdot \sin\delta_j & \cos\delta_j \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ \eta_g \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中第 j 层膜的位相: $\delta_j = \frac{2\pi}{\lambda} n_j d_j \cos\theta_j$

$$T = \frac{4\eta_0 \cdot \eta_g}{(\eta_0 \cdot B + C) \cdot (\eta_0 \cdot B + C)^*} \quad (2)$$

式(2)中 B, C 分别代表总膜系的特征矩阵元; T 和 R 分别为膜系透射率与反射率; η_j, η_0 和 η_g 分别为第 j 层膜,入射介质和基底的复折射率.

对于 F-P 型的滤光片,有以下经典公式^[7]

$$\begin{aligned} T &= T_0 / (1 + F \sin^2\theta) \\ T_0 &= T_1 T_2 / (1 - \sqrt{R_1 R_2})^2 \\ \theta &= (\varphi_1 + \varphi_2 - 2\delta) / 2 \end{aligned} \quad (3)$$

中心波长的位置由下式确定

$$\lambda_0 = \frac{2nd}{k + [(\varphi_1 + \varphi_2) / 2\pi]} = \frac{2nd}{m} \quad (4)$$

式中 $m = k + (\varphi_1 + \varphi_2) / 2\pi$. 式(4)指出改变间隔层的光学厚度可以移动中心波长的位置.

依据上述的理论计算,提供了一种多通道滤光片的设计思想,即改变 F-P 滤光片的间隔层的厚度,可以实现多通道集成的目的. 在此,以中波红外 16 通道集成滤光片为例,进行 F-P 滤光片膜系的理论设计与分析,选取的参考波长为 $2.8\mu\text{m}$,设计膜系为 S|LLHLHLH 4L HLHLHL|A.

这里, A 表示入射介质,即空气; S 表示基片材料 Si(硅), $n_s = 3.5$; H 表示高折率材料锗(Ge), $n_H = 4.05$; L 表示低射率材料一氧化硅(SiO), $n_L = 1.80$,其中的 4L 层是 F-P 滤光片的间隔层.

图 1 所示为 16 通道的集成滤光片的设计结果曲线,间隔层光学厚度依次以光学厚度 $0.1L$ 递减,

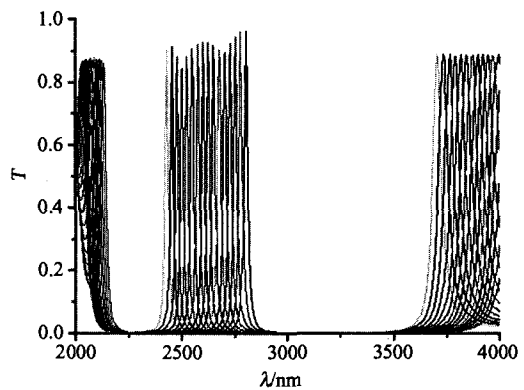


图 1 不同的间隔层厚度的透过率曲线
Fig. 1 Transmission curve varies with center layer

则相应的峰值波长在 $2.50 \sim 2.85\mu\text{m}$ 范围内变化.

图 2 表示峰值波长随间隔层厚度变化的关系. 从中可以看出,如果不考虑材料本身的色散效应,或者在考察的波段内色散效应可忽略不计,则二者之间呈现良好的线性关系. 因而只要利用一些微加工的技术手段使间隔层的厚度以等差级数递减或递增,就可以实现通道的线性选择.

2 集成滤光片的组合刻蚀制备法

样品要求在单个基片上集成 16 个单元滤光片,基片尺寸为 $20 \times 25\text{mm}^2$,单元滤光片的线宽设计为 0.7mm ,通道的间隔为 0.3mm ,即周期为 1.0mm ,如图 3 所示. 单元滤光片的线宽在亚毫米量级,相对半峰宽小于 1%,这一结构属于微型窄带滤光片.

组合刻蚀法就是通过刻蚀离子束改变 F-P 滤光片的中间间隔层的光学厚度,来实现对滤光片光谱通道的选择,并将其与掩膜制备技术相结合,来实现

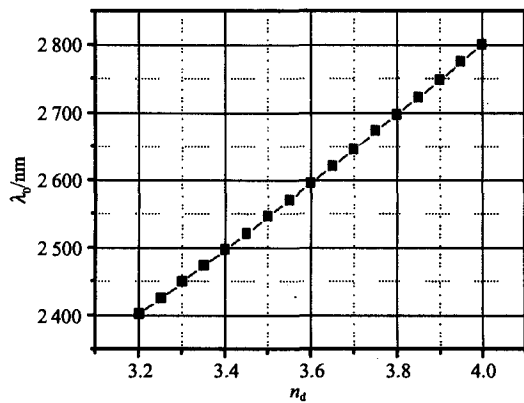


图 2 间隔层光学厚度与峰值波长的关系
Fig. 2 Peak position varies with the optical thickness of space layer

多光谱集成的目的,完成镀制 F-P 介质滤光片另一反射膜系后,得到多通道集成滤光片. 具体技术方案示意如图 4 所示.

这种窄带滤光片的技术核心要求是在保持有较高透射率和较大覆盖波段宽度的条件下,将通道相对半峰全宽压缩到其中心波长的 1% 以下,因此,镀制过程尤其要注重分析膜厚监控精度对窄带滤光片的影响^[8];F-P 滤光片在镀制完成间隔层后,进行多次的掩膜与刻蚀处理,完成后再镀制滤光膜系的另一半. 其中的关键是使上下反射膜系的镀制严格对称,否则将严重影响滤光片的性能.

该技术方法的最大特点是利用巧妙设计的组合掩模板,在制作 16 通道集成滤光片时,只需进行 4 次掩模板组合刻蚀就可以实现. 利用传统的薄膜制作的方法,集成滤光片的成品率是各个通道成品率的乘积. 而利用组合套刻方法,经过 N 次的刻蚀,就可以获得总共 2^N 个刻蚀深度不同的凹槽阵列或台阶,也就是滤光片通道,这种技术大大提高了制备的效率.

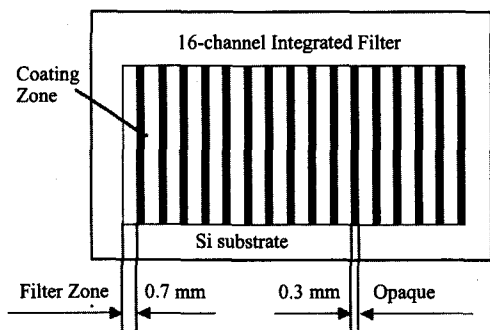


图 3 16 通道线阵微型集成滤光片结构示意图
Fig. 3 The sketch of a 16-channel-integrated filter

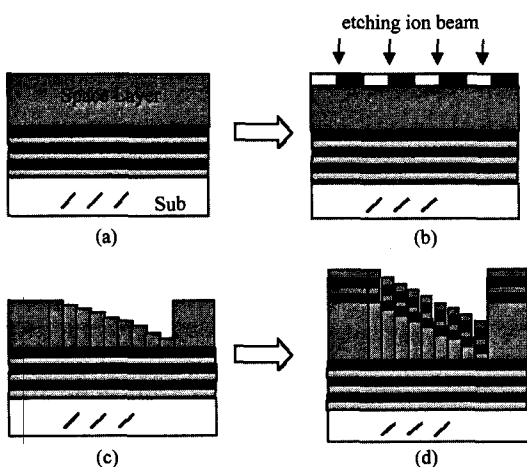


图 4 集成滤光片的制备过程
Fig. 4 Fabrication process of the integrated filter

图 5 为放大 15 倍的组合刻蚀之后的在间隔层膜面形成的通道几何形状,可以看到通道元之间的边缘清晰锐利,从刻度可以准确地读出单元滤光片的线宽度为 1.0mm,不均匀过渡区域小于 0.05mm.

在制备过程中,研究了组合刻蚀对薄膜表面均方根粗糙度(RMS)的影响. 图 6 中为四种不同情况下的原子力显微镜(AFM)的测试结果,使用的测试仪器是 Quesant 仪器公司生产的 Q-Scope 250 设备.

图 6(a)为第一次镀膜后的膜面;图 6(b)图为第一次镀膜,再经组合刻蚀后的膜面;图 6(c)图为二次镀膜后的膜面,未经刻蚀;图 6(d)为经历完整的制备过程后的膜面.

AFM 测量面积为 $15 \times 15 \mu\text{m}^2$,从测试结果看,刻蚀与不刻蚀的膜面的 RMS 相差不大,在 2 ~ 3nm

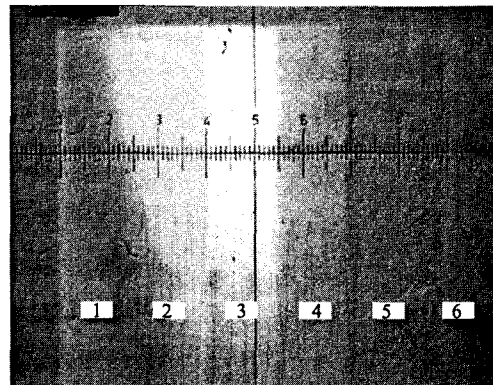


图 5 光谱通道的几何形状的显微照片
Fig. 5 Photo of shape of filter channels

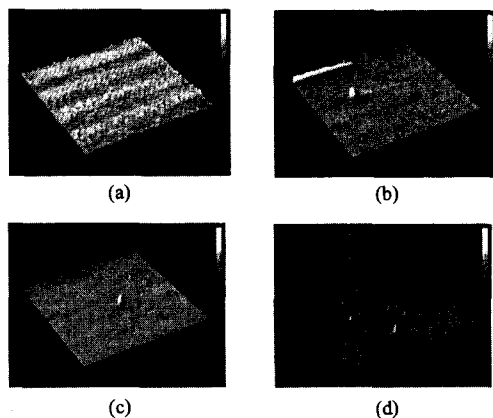


图 6 4 种情况下膜面的 AFM 测量结果 (a) rms = 2.133nm (b) rms = 2.925nm (c) rms = 2.301nm (d) rms = 2.000nm
Fig. 6 AFM image of film surface in 4 situations (a) rms = 2.133nm (b) rms = 2.925nm (c) rms = 2.301nm (d) rms = 2.000nm

之间,因此可以认为刻蚀与二次镀膜对膜面粗糙度

影响可以忽略. 但是由于多次的刻蚀与掩膜的重复对准会给膜面带来污染, 对滤光片的性能有严重的影响, 因此, 在第二次镀膜之前必须对膜面清洁处理, 操作时应更小心以免损伤膜面.

3 实验结果

本文研制的 16 通道集成滤光片, 经历了一次镀膜, 组合刻蚀, 二次镀膜的程序后, 并对各单元滤光通道进行光谱测量.

测试仪器是 Perkin Elmer 公司生产的 Spectrum-GX 傅里叶红外光谱仪, 测量夹具是自行设计的狭缝宽度可调节的专用夹具.

图 7 所示, 16 通道集成滤光片的样品实测透过率曲线, 各通道的峰值透过率 T 的范围在 55% ~ 70%, 各通道的相对半峰全宽都小于 1.0%. 在图 8 中明确地显示出其表现出良好的通道的线性程度, 定位精度偏差优于 $\pm 0.25\%$.

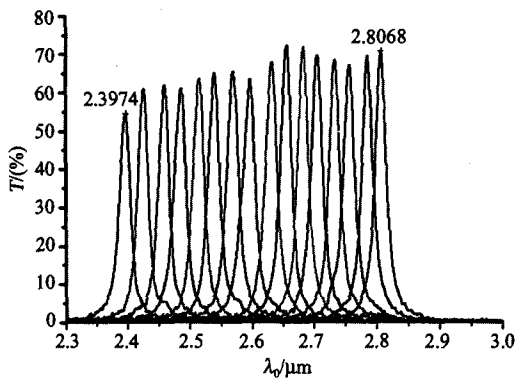


图 7 16 通道集成滤光片实测曲线
Fig. 7 Measured curve of 16 channel-integrated filters

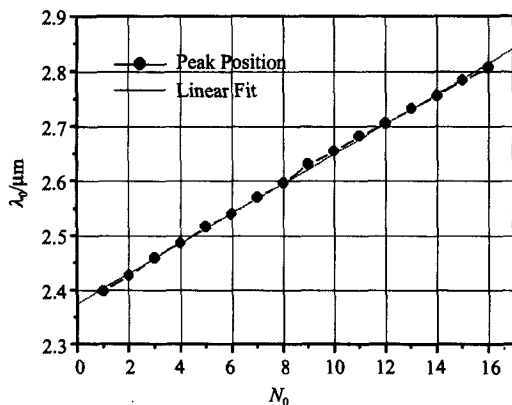


图 8 样品的各通道的峰值位置
Fig. 8 Peak wavelength of 16-channel filter sample

4 结论

将组合离子束刻蚀技术与传统薄膜制备技术相结合来制备微型集成滤光片, 形成制备多光谱通道微型集成滤光片的新思路和新技术. 通过精确控制刻蚀掩模板的重复对准, 严格控制刻蚀的束流强度的均匀性与刻蚀时间, 保证光谱位置线性排列, 成功地制备出 16 光谱通道微型窄带集成滤光片, 单元滤光片线宽为 0.7mm, 各通道控制定位精度优于 0.25%, 相对半峰全宽 $< 1.0\%$.

致谢 衷心感谢上海技术物理所红外物理国家重点实验室陆卫研究员与王少伟博士的指导与合作.

REFERENCES

- [1] DONG Feng-Liang, ZHANG Qing-Chuan, *et al.* Bimaterial micro-cantilever uncooled infrared imaging system-design and fabrication of micro-cantilever array [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (董凤良, 张青川, 等. 双材料微梁阵列非制冷红外成像系统——微梁阵列的设计与制作, *红外与毫米波学报*), 2005, 25(6): 409—413.
- [2] HUANG Xian-Cheng, YANG Yi-Ming, SHI Jian-Tao, *et al.* The research of multi-spectral micro-array filters [J]. *Optical Instruments* (黄相成, 杨益民, 师建涛, 等. 多光谱微型阵列滤光器的研制. *光学仪器*), 1999, 21(4-5): 221—228.
- [3] ZHANG Feng-Shan, PAN Jian-Dong, ZHANG Shu-Ying, *et al.* An 8-14 μm linear gradual changed filter [P] (张凤山, 潘建东, 张素英, 等. 8-14 微米线性渐变滤光器. 实用新型专利: ZL95244913.7), 1996. 12.
- [4] CHEN Min, LIU Xu, LI Hai-Feng. Finite element analysis of tunable optical filter array based on microstructure technique [J]. *Acta Optica Sinica* (陈旻, 刘旭, 李海峰. 微机构可调谐阵列滤光片的有限元分析. *光学学报*), 2001, 30(9): 1150—1152.
- [5] CHENG Shi-Ping, ZHANG Feng-Shan, YAN Yi-Xun. Study on the technology of preparing micro-infrared filter array by masking and lifting-off method [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (程实平, 张凤山, 严义坝. 用掩膜分离法制备微型红外滤光片阵列的工艺研究. *红外与毫米波学报*), 1994, 13(2): 109—112.
- [6] LIN Bing, LIU Ding-Quan, KONG Ling-Fang, *et al.* Fabrication of middle infrared 8-channel micro integrated filters [J]. *Acta Photonica Sinica* (林炳, 刘定权, 孔令方, 等. 中波红外 8 通道微型集成滤光片的研制. *光子学报*), 2005, 34(9): 1316—1319.
- [7] TANG Jin-Fa, ZHENG Quan. *Applied Thin Film Optics* [M]. Beijing: Press of Beijing Science (唐晋发, 郑权. *应用薄膜光学*, 北京: 北京科学出版社), 1984, 244—254.
- [8] GU Pei-Fu, LU Wei, CHEN Hai-Xing, *et al.* Effect of spectral width of thickness-monitoring system on performance of narrow-band filters [J]. *Acta Optica Sinica* (顾培夫, 陆巍, 陈海星, 等. 膜厚监控系统的光谱宽度对窄带滤光片性能的影响. *光学学报*), 2005, 24(2): 251—254.