

中波红外 8 通道微型集成滤光片的研制*

林 炳 刘定权 孔令方 张凤山

(中国科学院上海技术物理研究所第八研究室, 上海 200083)

摘 要 利用组合刻蚀法布里珀罗(F-P)干涉滤光片的谐振腔间隔层的方法, 制备了集成在一个基片上的 8 通道中波红外($\lambda_0=2.8 \mu\text{m}$)窄带滤光片, 通道线宽为 0.7 mm, 光谱通道定位精度优于 1%, 各通道相对半峰宽为 1%。此法有效提高了成品率, 并可满足实现通道数更多, 集成度更高的滤光器件发展的需求。

关键词 光学薄膜; 集成滤光片; 多通道滤光器; 微型滤光片

中图分类号 O484 **文献标识码** A

0 引言

多光谱航天遥感技术^[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尺寸以及通道间的距离可以达到 0.1 mm 以内。为了实现多光谱航天遥感技术的发展目标, 需要同时发展与之相适应的新型多光谱超窄带集成滤光片技术。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。国内张凤山等人采用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。梁静秋等人用电容驱动的办法来改变 F-P 滤光片的谐振腔间隔层光学厚度^[4,5], 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。上海技术物理研究所第八研究室在多年以前, 利用光学掩膜分离法制备微型多通道的滤光器件^[6], 但这种方法难以应用到通道数较多的情况。

本文利用一种将组合刻蚀技术与滤光片制备技术相结合的方法, 通过改变 F-P 滤光片中谐振腔间隔层的光学厚度来实现光谱通道的选择, 来实现新型多光谱超窄带集成滤光片的制备, 能够有效提高成品率, 增加通道数。

1 多通道滤光片理论分析

众所周知, 在两个平行的平板反射镜中间间隔一个空腔, 当两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。

本文设计滤光片的中心波长为 $2.8 \mu\text{m}$, 膜系设计为 S|LLHLHLH 4L HLHLHL|A, 这里, S 表示基底材料 Si, $n_s=3.5$; H 表示高折率材料 Ge, $n_H=4.05$; L 表示低折率材料 SiO₂, $n_L=1.79$, 其中的 4L 层正是谐振腔间隔层。理论设计曲线如图 1, 峰值波长为 $2.8 \mu\text{m}$, 透过率 $T > 90\%$, 相对半峰宽 (FWHM) 为 1%。

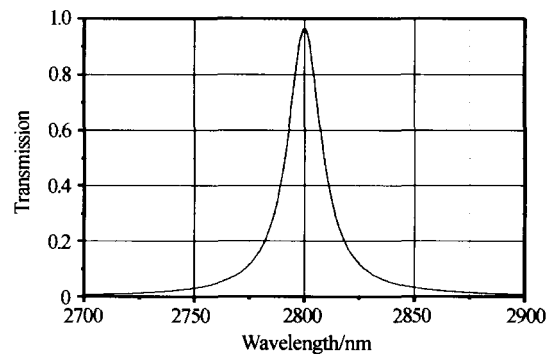


图 1 峰值波长为 $2.8 \mu\text{m}$ 的膜系设计曲线

Fig. 1 The filter designed at $2.8 \mu\text{m}$

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 $\Delta\lambda$ 参量。

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

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

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

式中 B, C 分别代表总膜系的特征矩阵元; T 为膜系透射率; η_j, η_0 和 η_s 分别为第 j 层膜, 入射介质和基底的折射率。

对于 F-P 型滤光片, 有以下经典公式^[7]

* 国家自然科学基金资助项目

Tel: 021-65420850-20205 Email: wayzenlin@hotmail.com

收稿日期: 2004-08-23

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

式中 R_1 、 R_2 、 T_1 和 T_2 表示上下反射膜系的反射率和透过率, θ 为相位因子. 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)指出改变谐振腔间隔层的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 滤光片的谐振腔间隔层的厚度, 可以实现多通道集成的目的. 图 2 中所示为 8 通道的集成滤光片的设计结果, 谐振腔间隔层光学厚度依次减少 0.1L, 相应的中心波长在 2.50~2.85 μm 范围内变化.

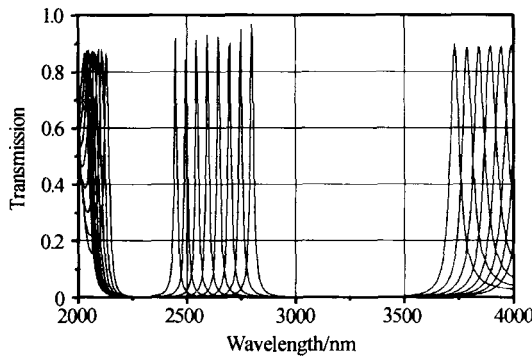


图 2 不同的谐振腔间隔层厚度的透过率曲线
Fig. 2 Transmission curve varies with center layer

图 3 表示峰值波长随谐振腔间隔层变化的关系. 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, 则二者之间呈线性关系. 因而只要令谐振腔间隔层厚度以等差级数递减或递增, 就可以实现通道的线性选择. 如果谐振腔间隔层在波段内有色散, 可以在改变其几何厚度时考虑这一因素.

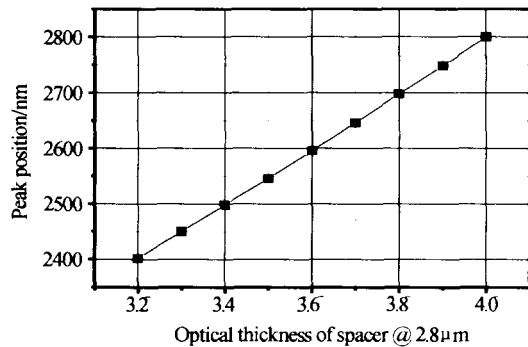


图 3 谐振腔间隔层光学厚度与峰值波长的关系
Fig. 3 Peak value (T) vs. optical thickness of center layer

2 组合刻蚀法制备集成滤光片

通过改变 F-P 滤光片的谐振腔间隔层的光学厚度, 来实现对滤光片光谱通道的选择, 并将组合刻蚀技术与滤光片的制备技术相结合, 来实现多光谱窄带滤光片的制备技术, 进而得到集成多个通道的滤光片的样品. 具体技术方法如图 4, 图中 1 为谐振腔层, 2 为基底, 3 为刻蚀离子束, (a) 为镀制至谐振腔, (b) 为多次掩膜与刻蚀, (c) 为刻蚀后的谐振腔层, (d) 为再镀制上反射膜系.

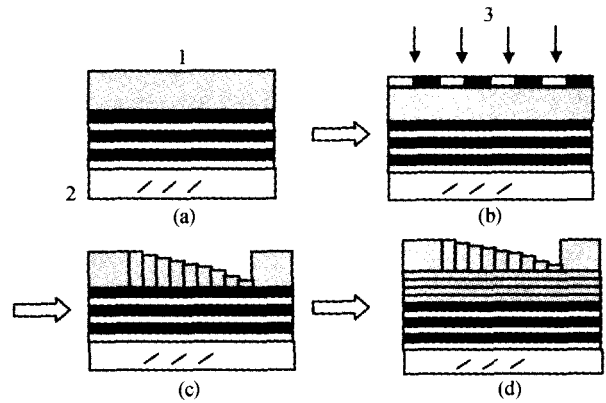


图 4 集成滤光片的制备过程
Fig. 4 Fabrication process of the integrated filter

窄带滤光片要求在同时保持有较高透射和较大覆盖波段宽度的条件下, 将通道相对半峰宽压缩到其中心波长的 1% 以下. F-P 滤光片在镀制完成谐振腔间隔层后, 进行多次的掩膜与刻蚀处理, 完成后再次镀制滤光片膜系的另一半. 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.

该方法的技术核心是利用组合刻蚀谐振腔间隔层技术, 要求对不同深浅的凹槽刻蚀深度进行严格控制, 以保证光谱位置的正确选择. 图 5 为掩膜板, 利用组合套刻这一技术, 在制作 8 通道集成滤光片时, 只需进行三次掩板组合刻蚀就可以实现.



图 5 制作 8 通道滤光片用组合刻蚀掩模板
Fig. 5 Mask serial for fabrication of 8 channel filter

利用传统的薄膜制作的方法, 如果每个通道的成品率为 50%, 则完成 8 通道的器件的成品率就降为 1/2 的 8 次方, 即 1/256. 而利用这种方法的成品率主要体现在组合刻蚀的成品率, 即 1/8. 而且随着通道数增加一倍, 这方面的优势更加明显.

利用组合刻蚀的方法可以有效地精确控制各通

道面元的大小和几何位置. 图5中成形的8通道集成滤光片中通道元的线宽度为0.7 mm. 由于目前微电子加工技术的发展与成熟, 线宽的加工精度可以达到微米量级, 因而对于目前主要应用仍为亚毫米量级的加工控制精度完全可以满足要求, 这为下一步进行通道数更多, 微型化和集成化程度更高的滤光器件的制备, 提供了良好的技术基础.

3 实验结果

图6为8通道集成滤光片的样品实测曲线, 各个通道集成在单个基片上. 基片尺寸为 $15 \times 15 \text{ mm}^2$, 单元滤光片周期宽度为1 mm, 线宽为0.7 mm. 实测数据显示, 各通道的峰值在60%左右, 中心波长范围为 $2.50 \sim 2.85 \mu\text{m}$.

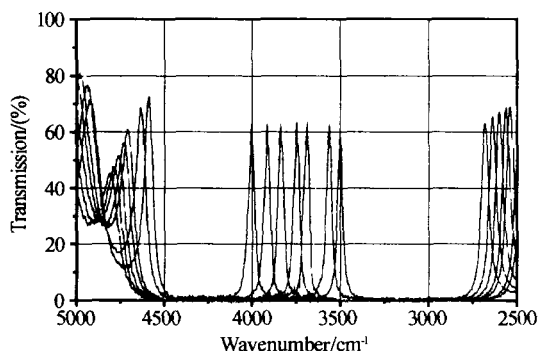


图6 8通道集成滤光片实测曲线
Fig. 6 Measured curve of 8-channel integrated filter

图7中, 带三角形的点线表示各通道在设计时的峰值位置, 带圆点线表示实际测得各通道的峰值位置, 相对偏差小于1%. 图中方块表示各通道的相对半宽度, 均值为1%左右.

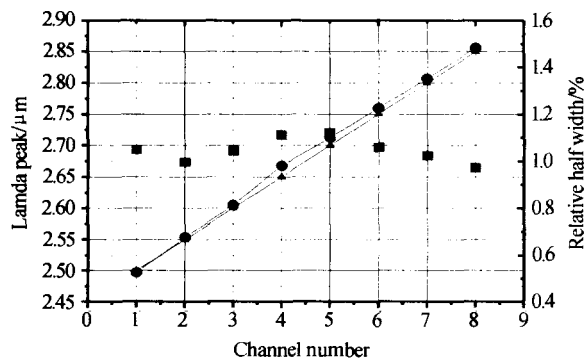


图7 各通道的峰位与相对带宽
Fig. 7 Peak position and HWFM of 8 channel filter

4 结论

通过利用组合刻蚀谐振腔间隔层技术, 对不同深浅的凹槽刻蚀深度进行严格控制, 保证光谱位置的正确选择, 再结合光学薄膜滤光器件制备技术, 成功地制备出8通道窄带集成滤光片, 通道线宽为0.7 mm, 各通道定位的控制精度优于1%, 相对半峰宽为1%.

特别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副研究员的指导与合作.

参考文献

- 1 郑玉权, 禹秉熙. 成像光谱仪分光技术概览. 遥感学报, 2002, **16**(1): 76~80
Zheng Y Q, Yu B X. *Journal of Remote Sensing*, 2002, **16**(1): 76~80
- 2 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
Huang X C, Yang Y M, Shi J T, et al. *Optical Instruments*, 1999, **21**(4~5): 221~228
- 3 张凤山, 潘建东, 张素英, 等. 8~14 μm 线性渐变滤光器. 实用新型专利: ZL95244913.7, 1996.12
Zhang F S, Pan J D, Zhang S Y, et al. Patent Number: ZL95244913.7, 1996.12
- 4 陈旻, 刘旭, 李海峰. 微机构可调谐阵列滤光片的设计与模型分析. 光子学报, 2001, **30**(9): 1150~1152
Chen M, Liu X, Li H F. *Acta Photonica Sinica*, 2001, **30**(9): 1150~1152
- 5 梁静秋, 姚劲松, 王立军. 微型可调谐红外滤光器. 实用新型专利: ZL 01222327.1, 2002.2
Liang J Q, Yao J S, Wang L J. Patent number: ZL 01222327.1, 2002.2
- 6 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
Cheng S P, Zhang F S, Yan Y X. *Journal of Infrared & Millimeter Waves*, 1994, **13**(2): 109~112
- 7 唐晋发, 郑权. 应用薄膜光学. 北京: 科学出版社, 1984. 244~254
Tang J F, Zheng Q. *Applied Thin Film Optics*. Beijing: Science Press, 1984. 244~254

Fabrication of Mid-Infrared 8-Channel Micro Integrated Filter

Lin Bing, Liu Dingquan, Kong Lingfang, Zhang Fengshan

Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Science, Shanghai 20083

Received date: 2004-08-23

Abstract Integration is the trend of multi-channel filter in imaging spectrum system, which is called micro filters. Adjusting the center layer of F-P filter is an effective method to fabricate multi-channel filters. Because of limitation of usual optical coating technology, so the yield of integrating all channel in single substrate is very low. A new method is developed to solve this problem, which combines multi-time ion mask etching with tradition coating technique. As an example, an 8-channel micro integrated filter is fabricated, and optical channel position control accuracy is below 1%.

Keywords Optical films; Integrated filter; Multi channel filters; Micro filter



Lin Bing was born in 1978, got his Master's degree in State Key Lab of Applied Optic of Changchun Institute of Optic, Fine Mechanics and Physics in 2002. Now he is working for his Ph. D. degree of physics electric in Optic Films and Material Lab of Shanghai Institute of Technical Physics. He is engaging in study of micro integrated multi-channel band pass filter, based on microstructure fabrication and PVD coating technology.