

用掩模分离法制备微型红外滤光片 列阵的工艺研究*

程实平 张凤山 严义坝

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要 介绍了在研制微型红外滤光片中将半导体器件制作工艺与基本 PVD 方法结合而成的掩模分离方法, 及其制备微型滤光片和将几种滤光片集成在一起的工艺方法, 报道了阶段性研究结果.

关键词 掩模, 微型滤光片, 列阵.

引言

微型滤光片列阵是近年发展起来的一种有实用价值的焦平面色散元件, 国外在本世纪 80 年代即开始着手这方面的研究工作, 并在卫星空间工程和光谱测量技术中得到了实际应用^[1]; 国内为配合卫星工程工作, 近年来也研制出了毫米数量级的小型组合滤光片列阵, 但就目前情况来说, 亚毫米数量级的微型滤光片列阵仍是多光谱焦平面探测器所需解决的关键技术元件. 实现这种微型色散元件面临着两个关键工艺难点, 即滤光片的微型化和集成化, 微型化是解决集成化的基础, 制作微型图形薄膜需要引入掩模方法, 在电子器件的生产中, 图形的厚度一般在亚微米数量级, 技术重点是图形的精细结构, 而红外光学滤光片的厚度一般在 $4\mu\text{m}$ 以上, 在图形的尺寸精度上比一般集成电路要求低, 因而在引入半导体器件制作工艺时, 技术重点是解决厚图形膜的制作以及镀膜基片温度对掩模的作用等工艺难点. 在红外光学薄膜镀制中, 目前使用得较为成熟的方法仍是基本的 PVD 法, 为此, 我们在掩模分离方法的研究中, 采用了这种基本的镀膜方法.

1 实验原理和方法

掩模分离法即是在镀制滤光片前在基片上制作出某种可分离的掩模, 在镀膜过程中用它们来限定薄膜沉积的区域以得到所需的图形膜层, 这种可分离的掩模的制作主要可分为机械掩模和光化学掩模. 用掩模分离方法制作微型图形薄膜的工艺过程是: (1) 制备掩模;

* 国家自然科学基金资助项目

本文 1993 年 5 月 11 日收到, 修改稿 1994 年 1 月 31 日收到

(2) 镀制膜层; (3) 分离掩模. 在机械掩模中, 由于掩模的厚度和二维图形孔的加工精度受到限制, 以及掩模在镀膜过程中易变形和错位, 镀制的薄膜图形质量受到很大影响, 因而不适用于制作尺寸在 0.4 mm 以下的多层红外图形薄膜. 我们采用了光化学掩模方法. 为解决用 PVD 方法镀制红外薄膜的基片温度 ($150\sim 200^\circ\text{C}$) 对光刻胶的“焦化”作用, 制作一种热稳定性好的可分离图形掩模是实现该方法的关键. 我们经过分析和大量的实验探索, 研制出一种分离性能较好的可分离膜, 它是由两种活泼性不同的金属在冷基片镀膜方式下制作的多层膜, 这种双层金属掩模可分离比掩模更厚的膜层, 因为双金属掩模在稀酸或碱溶液中进行的是电化学反应, 较活泼一方金属与电解质反应的微小气泡起到一种振荡作用, 使膜层的分离形成正反馈过程. 采用多层膜结构可增加掩模的几何厚度以满足制备红外图形滤光片的需要, 同时多层结构可改善掩模与溶剂的接触状况, 故具有更好的分离性能. 该掩模分离方法的工艺过程见图 1, 图中显示了在每个过程后基片的表面状态, 其具体方法如下:

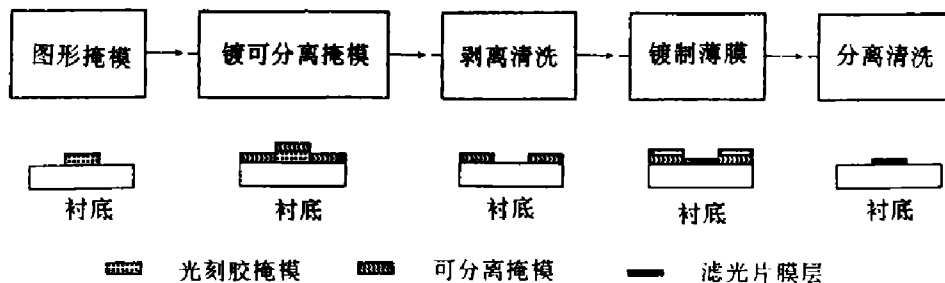


图 1 掩模分离方法制备红外微型滤光片的工艺流程

Fig. 1 Procedures of masking and lifting-off method to prepare micro-infrared filter array

(1) 在基片上制作出 AZ4620 光刻胶图形掩模. 由于光刻胶掩模的几何厚度、图形精度和边缘特性直接影响到可分离掩模的图形质量, 在光刻胶掩模的制作过程中我们采用了单次曝光和显影技术, 并用此方法制作出厚度在 $7\sim 8\ \mu\text{m}$ 的掩模, 能基本上满足剥离工艺中可分离掩模厚度与光刻胶掩模的匹配要求.

(2) 在冷基片方式下镀制双金属可分离多层膜. 掩模的几何厚度以及蒸发源与样品的空间位置对图形的影响表现为: 蒸发物流经掩模边缘遮挡后会在图形边缘产生一个厚度非均匀区, 在镀膜过程中, 我们将样品基本处于垂直蒸发角度下以减小蒸气流体的入射角. 两种金属的镀膜顺序为: 基片/活泼金属/次活泼金属, 两种金属的几何厚度比为 $4:1\sim 6:1$, 以增加活泼金属与溶剂接触的空间, 在镀膜时用快速蒸发膜料以减少金属的氧化, 并减少蒸发源对光刻胶掩模的热辐射.

(3) 在丙酮、乙酯、丁酯等有机溶剂中对掩模进行剥离, 并适当加入超声振荡, 剥离完毕后用去离子水清洗.

(4) 用热基片方式 (基片温度约 $150\sim 200^\circ\text{C}$) 镀制红外滤光片主膜系, 镀膜过程中基片温度和薄膜沉积厚度需要进行监控, 在我们的镀膜系统中, 基片温度用 PID 闭环方式控制, 总体平衡温度偏差约为 $\pm 5^\circ\text{C}$, 并用透射式光学极值法监控膜厚, 该系统的监控精度和重复性可满足镀制一般窄带滤光片主膜系的要求.

(5) 对金属可分离掩模考虑到分离机制是电解质溶液通过渗透将掩模腐蚀溶解, 所以对 Ge 和 SiO 等薄膜材料在稀盐酸 (稀释比为 1:1.5~2) 中进行分离, 对另一些不耐酸的薄膜材料用碱性溶液来分离.

2 实验结果

制作短波红外微型带通滤光片时, 膜层材料为 Ge 和 SiO, 滤光片为双半波结构膜系: 空气/LHLH4LHLHLH4LHL/Si 基片 ($n_S=3.4$, $n_L=1.75\sim 1.8$, $n_H=4.0$). 表 1 列出了其中几种微型滤光片的几何特性, 前 3 种是一组测量物料含水量的滤光片, 图 2 是同一基片集成的这 3 种滤光片的透射率曲线, 后两种是分离的微型单通带滤光片, 图 3 是它们的参比片的透射率曲线, 图 4 是它们的显微图, 其中图 4(a) 是长宽比为 2:1 的矩形, 图 4(b) 为正方形. 所有微型滤光片的最小尺寸都为亚毫米级.

表 1 一组短波红外微型滤光片的几何特性

Table 1 Geometric characteristic of a series of infrared micro-filters

No.	参考波长 λ_0 (μm)	总几何厚度 Σd (μm)	横向尺寸 A (mm) ²
1	1.87	4.13	0.8×2.4
2	2.04	4.50	0.8×2.4
3	2.21	4.88	0.8×2.4
4	2.10	4.64	0.2×0.4
5	2.10	4.64	0.2×0.2

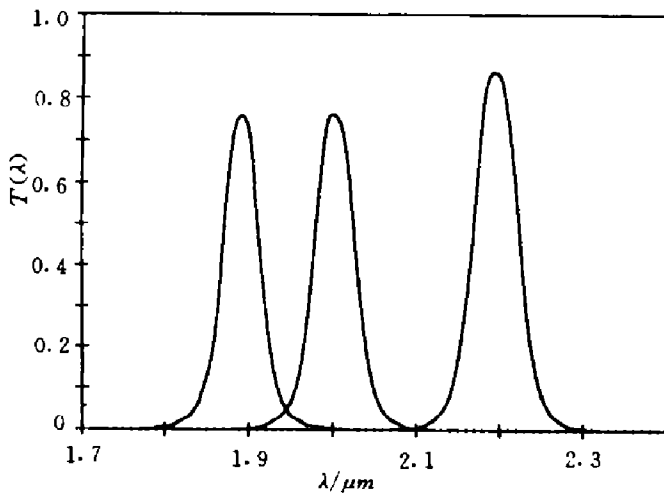


图 2 一组同基片集成的测水滤光片的透射率曲线
Fig. 2 Transmittances of a series of co-substrate integrated filters used to detect humidity

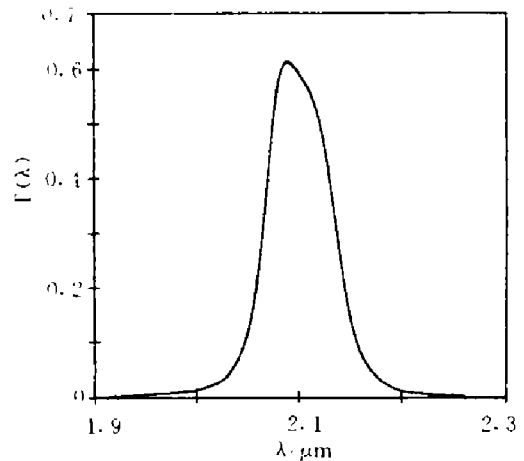


图 3 3 种微型滤光片参比片的透射率曲线
Fig. 3 Transmittance of the reference filter for three micro-filters

3 结语

从所制作微型滤光片的显微图和透射率曲线看, 工艺过程对膜层结构基本上没有产生

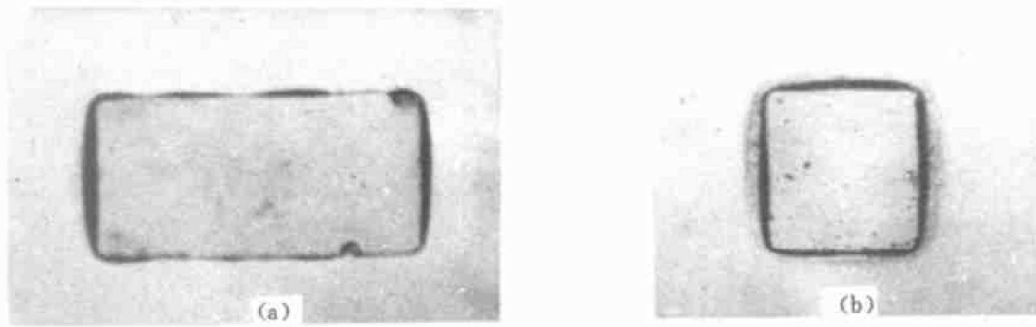


图 4 滤光片 4 和 5 的显微图

(a) 滤光片 4, (b) 滤光片 5

Fig. 4 Enlarged micro-pictures of filters 4 and 5, (a): filter 4, (b): filter 5

不良影响, 制作的微型滤光片列阵具有实用的光谱透射率, 说明用掩模分离法制作以 Ge 和 SiO 为镀膜材料的短波红外微型滤光片在方法上是可行的. 另外, 微型滤光片的图形尺寸和精度、滤光片的集成数等都受制备工艺的限制, 尤其是滤光片的集成数对整套制备工艺的成品率影响很大. 在多种滤光片需要在同一基片上制作的情况下, 可以考虑用单片集成和多片组合的结合方式来实现, 从而提高成品率.

参考文献

- 1 Tower J R, et al. *RCA Review*, 1986,(47):266
- 2 Natioal, et al. *Appl. Opt.*, 1989,28:5110
- 3 胡中霄, 等. *薄膜混合集成电路*. 北京: 国防工业出版社, 1982.
- 4 图雷满 O D, 王正华, 等译. *半导体器件工艺手册*. 北京: 电子工业出版社, 1987.

STUDY ON THE TECHNOLOGY OF PREPARING MICRO-INFRARED FILTER ARRAY BY MASKING AND LIFTING-OFF METHOD*

Cheng Shiping Zhang Fengshan Yan Yixun

(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract The masking and lifting-off method to combine the technology of manufacturing semiconductor devices with the PVD method to prepare the micro infrared filter is introduced. Also the method of integrating the filters is introduced, The results of the research work are reported.

Key words mask, micro-filter, array.

*The project supported by the National Natural Science Foundation of China