

3 通道短波红外光谱可识别 列阵探测器的研制*

程实平 严义坝 张凤山 许步云 朱翠媛

(中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083)

摘要 用掩模分离方法或薄膜刻蚀方法制作出多波段微型滤光片列阵, 将这类微型焦平面色散元件与列阵探测器结合, 构成光谱可识别列阵探测器, 报道了3通道短波红外滤光片列阵的设计和制作, 以及4元3通道光谱可识别探测器的研制.

关键词 红外光谱, 分光技术, 列阵探测器.

引言

分光技术是多光谱信息获取技术中的一个重要环节, 传统的分光方法主要是旋转光栅、棱镜和滤光片转轮的时间分解方法, 以及光栅棱镜和分束滤光片的空间分解方法. 焦平面色散元件是近年发展起来的一种微型空间滤光器, 它与列阵探测器结合可构成光谱可识别探测器, 采用这种新型探测器可以简化分光系统的结构, 提高仪器的可靠性和稳定性, 同时能提高光学效率, 改善仪器的信噪比, 因此新一代光谱仪器的分光系统都趋于采用这种新型的探测器来获得光谱信息^[1~3].

与列阵探测器配合的焦平面色散元件主要有微型线性滤光片和微型滤光片列阵. 线性滤光片与探测器配合时可提供较多的光谱通道, 器件光谱特性及通道总数主要受限于渐变滤光片的分光原理^[4~5]. 与渐变滤光片相比, 微型滤光片列阵具有更好的带通特性, 以及更为准确的通带位置, 它所能提供的通道总数受限于滤光片的制作工艺. 在通道总数不多的情况下, 以微型滤光片列阵为色散元件的光谱探测器具有较大实用价值. 本文报道以3通道水分仪的工作滤光片为原型的短波红外滤光片列阵的设计和制作, 以及以它为色散元件的多光谱探测器的研制.

1 色散元件设计

现有单元探测式3通道水分仪的工作滤光片是中心波长分别为 $1.78\ \mu\text{m}$ 、 $1.94\ \mu\text{m}$ 和

* 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 9 月 28 日收到

2.1 μm 的一组带通滤光片, 其中 1.94 μm 是水的吸收波长, 1.78 μm 和 2.1 μm 是吸收波长附近的两个参考波长, 3 个通道的滤光片被安置在一个旋转轮上作光谱分时探测, 用这 3 个波长的光谱测量信息共同确定目标的水分值, 可以减小仪器的系统误差和非系统误差. 由于水分仪的像方孔径角范围为 $[28^\circ, 42^\circ]$, 在列阵形式的探测方式下, 与探测器光敏面贴合的滤光片处于大孔径角成像光束中, 滤光片的角色散效应将引起通带波形畸变和通带位置短移^[6], 通过数值模拟发现: 将 3 种滤光片的中心波长分别预偏置到 1.87 μm 、2.04 μm 和 2.21 μm 时, 就可将滤光片在光束中的透射带中心调整到所需的波长上, 用 Ge 和 SiO 为膜层材料在 Si 基片上设计的 3 通道滤光片主膜系的透射率曲线如图 1 所示.

在主滤光片基片的另一面镀一单层增透膜, 次峰截止膜系制作在器件窗口上, 它由两个宽带膜堆和一个前截止膜堆构成.

2 滤光片列阵的制作

3 种滤光片的主膜系和防串色窗口镀制在同一块微型基片上, 并在基片的另一面镀增透膜, 由于图形大多为亚毫米数量级的二维图形, 我们采用了掩模分离法^[7]. 在制备滤光片的具体工艺中, 镀制滤光片和分离工艺的成功率是影响成品率的关键, 滤光片镀膜的工艺参数为: 基片烘烤平衡温度为 $150\sim 200^\circ\text{C}$; 镀 Ge 时的真空度为 $3\times 10^{-3}\text{ Pa}$; 镀 SiO 时的真空度为 $8\times 10^{-4}\text{ Pa}$. 防串色窗口为用冷基片方式镀的 1 层金属膜和 1 层二氧化硅绝缘保护膜. 图 2 为滤光片在正入射下的透射率曲线. 对次峰截止膜系, 我们采用常规的镀膜方法, 将它单独镀制在器件窗口上.

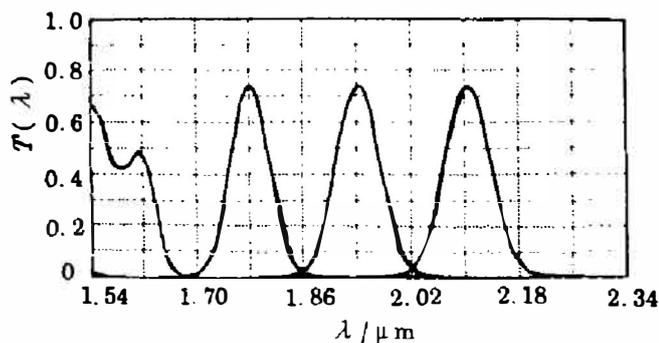


图 1 3 个通道滤光片在 $[28^\circ, 42^\circ]$ 入射角范围的透射率曲线

Fig. 1 Transmittance curves of the filters of three channels in the incident angle range of $[28^\circ, 42^\circ]$

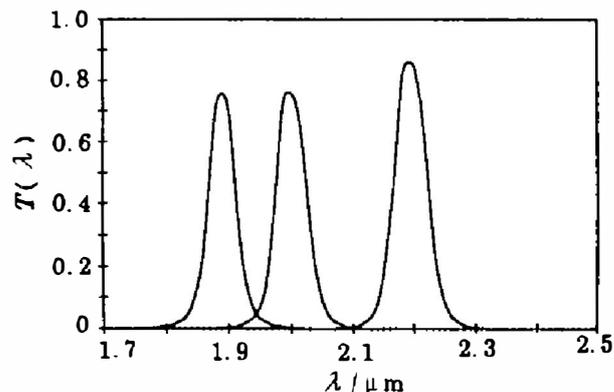


图 2 3 个通道滤光片在正入射下的透射率
Fig. 2 Transmittance of the filters of three channels under normal incidence

3 滤光片与探测器的结合

色散元件配合的探测器为 4 元多晶 PbS 探测器列阵, 其中一个光敏元为哑元, 用以探测器件本身的暗电流噪声和杂散光噪声, 列阵每个单元面积为 $2\times 0.6\text{ mm}^2$, 4 元硫化铅探

测器制作在一块 $3.5 \times 6 \text{ mm}^2$ 的石英基片上, 3 个通道的滤光片集成在一块 $2.4 \times 3.5 \text{ mm}^2$ 的硅基片上, 滤光片阵列与探测器结合时, 用环氧胶在它们的边缘进行胶合, 滤光片与探测器之间基本上为无间隙结合, 从而可排除结合间隙对透射率的影响, 并减少干涉串色噪声, 在石英基片环壁涂无光黑漆以降低杂散光噪声. 图 3 是它们胶合后的剖面图, 整个器件系统固定在一个半导体致冷器上, 并密封在一个可进行温控的管壳内.

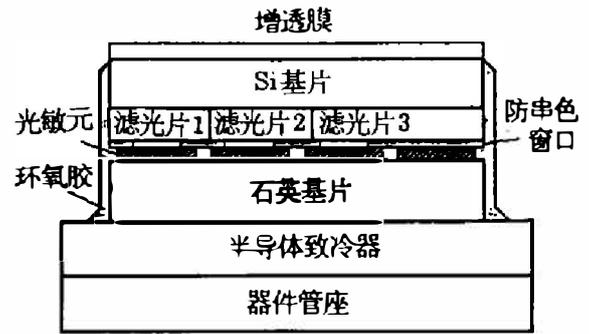


图 3 探测器系统剖面图
Fig. 3 Sectional drawing of the detector system

4 器件光谱响应率

我们把器体的光谱响应率定义为在调制频率为 1 kHz 的准单色光源照射下, 器件产生的光电流在负载上的电压值 (V_0). 归一化光谱响应率定义为负载电压在不同波长下的值与最大值之比 (V_0/V_{\max}). 图 4 为探测器的 4 个光敏元的归一化光谱响应率曲线, 图中的两条曲线已分别各自进行归一化, 其中哑元的归一化响应率是在比较大的测量系统增益下

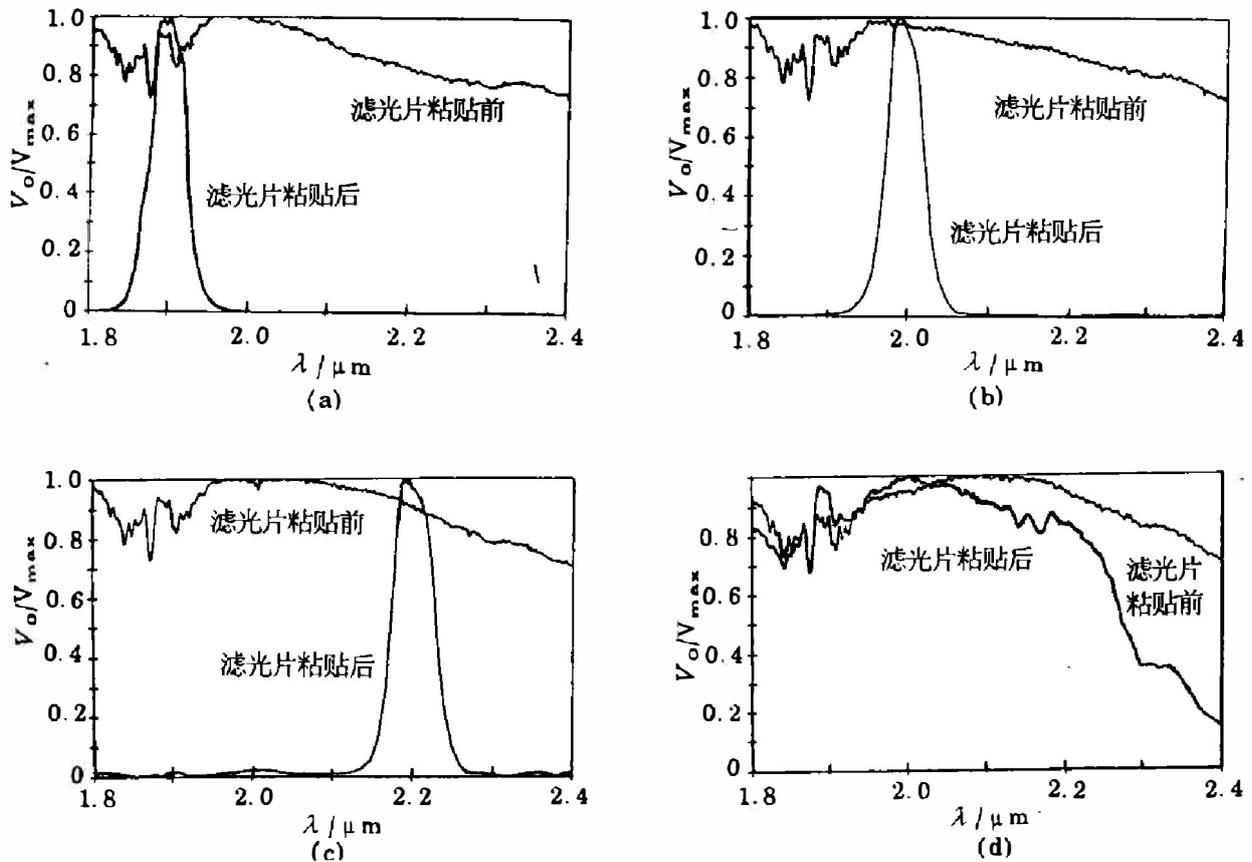


图 4 列阵探测器各探测元的归一化光谱响应率曲线
(a) 通道 1 探测元; (b) 通道 2 探测元; (c) 通道 3 探测元; (d) 通道 4 探测元
Fig. 4 Normalized relative spectral responsivity curves for each element of the detector array
(a) For the element of channel 1; (b) For the element of channel 2; (c) For the element of channel 3; (d) For the dumb element

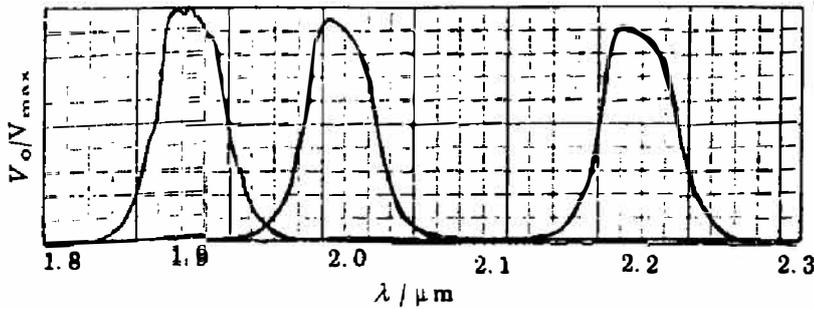


图 5 4 个探测元的归一化响应率曲线
Fig. 5 Normalized relative spectral response curve for the 4 detective elements

测得的. 图 5 为 4 个光敏元的同一规一化光谱响应率曲线, 图中哑元的规一化光谱响应率太小, 曲线已基本显示不出.

比较列阵各光敏元在滤光片粘贴前后的光谱响应率曲线可得出以下几点结论: (1) 研制的列阵探测器组件的各光敏元的响应波段可以分辨, 因而器件已具有光谱识别能力. (2) 排除探测器本身的光谱响应率起伏的影响之后, 光敏元的光

谱响应波长范围和波形与滤光片基本一致, 说明器件的光谱分辨力基本上由滤光片的光谱特性决定. (3) 与光谱探测通道光敏元的光谱响应率相比, 哑元的响应率几乎显示不出来, 这一方面说明器件的噪声较小, 另一方面说明采用无间隙结合方式可大大减小光敏元间的串色.

参考文献

- 1 Hall J A *et al.* *SPIE*, 1982,345:145
- 2 Tower J R *et al.* *SPIE*, 1984,481:24
- 3 Tower J R *et al.* *RCA Review*, 1986,(47):266
- 4 程实平, 等. *红外与毫米波学报*, 1993,12(5):347
- 5 程实平, 等. *红外与毫米波学报*, 1993,12(6):416
- 6 程实平, 等. *红外与毫米波学报*, 1993,12(4):225
- 7 程实平, 等. *红外与毫米波学报*, 1994,13(2):109

DEVELOPMENT OF THREE-CHANNEL SHORT-WAVE IR SPECTRUM DISTINGUISHABLE DETECTOR ARRAY*

Cheng Shiping Yan Yixun Zhang Fengshan, Xu Buyun Zhu Cuiyuan

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

Abstract The multi-pass band micro-filters array was fabricated by the techniques of masking and lifting-off or etching of the films. The spectrally distinguishable detectors array is composed of the detectors array and the micro-filters array. The design and fabrication of the three-channel short wave infrared filters array, and the development of the spectrum distinguishable detectors array are reported.

Key words infrared spectrum, spectral dispersion technology, detector array.

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