

片上集成滤光微结构的研究进展

王云姬

(金陵科技学院网络与通信工程学院, 江苏 南京 211169)

摘要: 由于在传统的红外探测器系统中, 滤光片与探测器是分立存在的, 所以普遍存在“串色”的问题, 而实现滤光片在探测器上的片上集成, 可以解决这一问题。为此, 国内外做了很多研究。论述了国内外关于片上集成滤光微结构的一些研究进展。

关键词: 片上集成; 滤光膜; 探测器

中图分类号: O484.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-755X(2020)01-0027-03

Research Progress of Integrated Filter Microstructure on Chips

WANG Yun-ji

(Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China)

Abstract: In the traditional infrared detector system, filter and detector exist separately, so the problem of “crosscolor” exists universally. The problem can be solved by integrating filter on the detector. For this reason, a lot of research has been done at home and abroad. In this paper, the research progress of on-chip integrated filter microstructures at home and abroad is reviewed.

Key words: the filter film; the detector; on-chip integration

传统的红外探测器中包含多个滤光片和单色探测器, 滤光片是一个单独的器件, 滤光片与探测器的通道一一对应, 滤光片再与探测器胶结在一起。这种传统的红外探测系统存在环境适应性较差, 容易产生“串色”等问题。而实现滤光片在探测器上的片上集成, 可以从机理上解决传统红外探测系统中普遍存在的“串色”问题。为此国内外在研究片上集成滤光微结构方面都做了大量研究, 成果颇丰。

1 片上集成滤光微结构的国外研究进展

早在 1982 年, NASA HW Electronics 就提出了改进多光谱焦平面成像传感器, 用微阵列滤光器代替光谱仪开发出 6 通道焦平面阵列探测器和 6 个通道。微滤波器阵列一一对应以形成焦平面成像传感器。微型滤光片阵列的间隔采用微结构隔开, 以消除“串音”影响。1985 年该公司采用光刻胶图形掩膜制作滤光片, 研制出四通道的 4×5 120 元和双通道的 4×2 560 元的焦平面探测器。这是国际上首次对片上集成滤光微结构所做的研究尝试。

1989 年, 美国 Rock Well 国际科学中心采用激光和离子辅助方式蒸发, 将滤光膜直接镀在探测器的表面, 并用石英晶振监控膜层的厚度和成膜速率, 制备出双通道的 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 和 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 红外列阵探测器。

收稿日期: 2019-09-16

基金项目: 金陵科技学院高层次人才科研启动基金(jit-b-201902)

作者简介: 王云姬(1987—), 女, 江苏南京人, 讲师, 博士, 主要从事光电探测器的研究。

1998 年 Marcus 等制作了 RGB 三色的微型滤光片阵列,用于多色的传感器,在其中主要采用了镀膜、微光刻技术和干法刻蚀工艺。他们主要是在每次镀滤光膜之前先沉积一层停止刻蚀层 MgF_2 ,然后镀滤光膜,后通过光刻掩膜离子刻蚀形成一个颜色的通道,重复三次得到 RGB 三色微型滤光片阵列如图 1 所示。微型滤光片的透射光谱如图 2 所示^[1]。

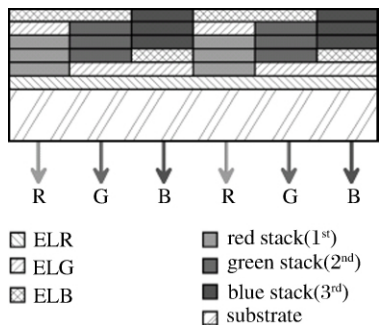


图 1 三色微型滤光片阵列结构

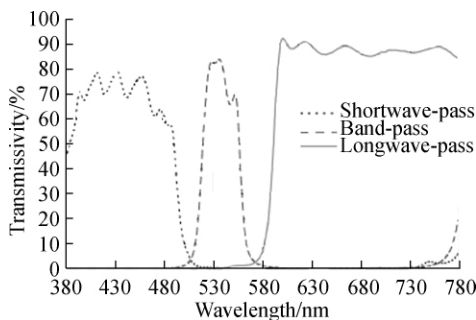


图 2 三色滤光片的透射光谱

1999 年 Bartek M 等制作了 16 通道的可见波段的集成滤光片光电探测器。它是每个通道的 PN 结上生长 Fabry-Perot 滤光膜,不同的波长对应不同的腔长。Fabry-Perot 滤光膜的制备过程是先在衬底上热蒸发 20 nm 厚的 Al 层,之后采用 PECVD 法镀上 SiO_2 层,然后通过 4 步离子刻蚀法刻蚀出 16 通道的 Fabry-Peort 腔,最后热蒸发一层 Ag 层。这种方法很简单,但是却会造成过大的界面粗糙度。过大的界面粗糙度是光损失的重要来源,也是影响滤光膜透射性能的主要原因^[2]。

Antoszewski J 采用低温 MEMS 技术和 HgCdTe 红外探测器技术制备了波段在 $1.6 \sim 2.5 \mu m$ 的集成滤光膜红外探测器。它的结构如图 3 所示,由 HgCdTe 短波红外探测器、Fabry-Peort 滤光膜构成。Fabry-Peort 滤光膜是通过低温 MEMS 技术制成,与 HgCdTe 红外技术相兼容,它的腔长是通过改变两个镜片之间的电压来得到改变。HgCdTe 红外探测器是采用 LPE 方法生长,截止波长为 $2.49 \mu m$,光敏层厚度为 $4 \mu m$ 。对 8 个器件的响应光谱测试显示不均匀性小于 10%。中心波长在 $1.45 \mu m$ 和 $1.95 \mu m$ 处的透射率为 70%左右。随着偏压从 0 V 变化到 7.5 V 时,集成 Fabry-Peort 滤光膜的探测器的响应光谱的峰值从 $0.7 \sim 1.2 \mu m$ 变化到 $1.85 \sim 2.2 \mu m$,峰值透射率大于 60%^[3]。

如图 4 所示,2008 年 Wen Y 设计了一个集成滤光膜的传感器。该传感器的结构包括生长在半导体衬底上的传感器元件和多层滤光膜结构以及微透镜^[4]。

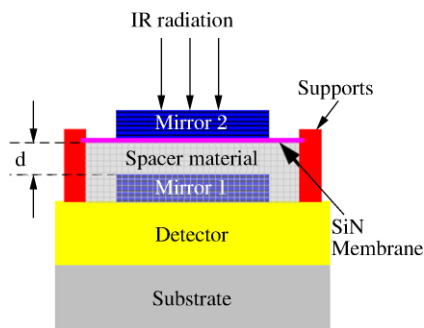


图 3 集成滤光膜探测器

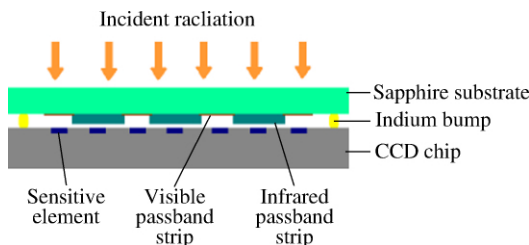


图 4 集成微型滤光片阵列传感器剖面图

2010 年法国 Sofradir 公司设计出集成滤光结构的新型红外探测器,实现了红外探测器的小型化。他是在红外探测器旁边放置一块光学透镜,这种集成光学透镜的红外探测器可以独立成像。

2016 年 Li E W 等制备了基于窄带等离子体滤波阵列的超小型宽带片上集成近红外光谱系统。28 通道的滤光阵列覆盖了 $1510 \sim 1780 nm$ 的 $270 nm$,FWHM 仅仅为 $7 \sim 13 nm$ ^[5]。

2016 年 Ender Y D 等采用化学方法制备了用于片上荧光成像的可调谐截止波长的吸收滤光片。滤光片通过在玻璃衬底上旋涂光聚合物得到。截止波长可以通过控制旋涂前的沉置时间得到,可以覆盖

386~504 nm。阻带的透过率最大值为 3%,在 220~620 nm 的通带内透过率几乎为 100%^[6]。

2018 年 Shen Y N 等采用纳米压印技术制备了 3*64 不同的 Fabry-Peort 滤光片阵列,中心波长为 520、590、660 nm。透射率最高达 96.5%,平均值为 69.6%。FWHM 最小为 1.7 nm,平均为 3 nm^[7]。

2018 年 He Y F 等报道了在硅衬底上采用多层磁性膜集成的带阻滤光膜结构。带阻滤光膜材料是采用 (FeGaB)/Al₂O₃。带阻滤光片的自共振发生在 5 GHz 衰减为 20 dB。在外加磁场小于 4 000 e 时自共振可调到 8.5 GHz 衰减超过 45 dB^[8]。

2 片上集成滤光微结构的国内研究进展

重庆大学采用 MEMS 和 CMOS 硅工艺技术,制备了集成可见波段滤光膜的光谱传感器。传感器结构包括 Fabry-Peort 腔、光谱传感器和读出电路。Fabry-Peort 腔由 Al-SiO₂-Ag 构成,通过改变腔长可以改变探测波长^[9-10]。

2009 年武汉大学制备了可见/红外双色集成的 512*512 CCD 成像传感器。采用 ZAO(ZnO:Al)层作为可见波段滤光片。中红外波段采用界面结构滤光膜,结构设计为 M(HL)⁵1.5(HL)⁶M,其中 H 为 Ge,L 为 YF₃,M 是 Y₂O₃。可见波段和红外波段滤光片交替生长在宝石衬底上,通过钢柱与芯片互联^[11]。

2014 年上海技术物理研究所在 400*2 InGaAs 芯片上采用热蒸发法生长了 1.38 μm 和 1.60 μm 双波段滤光膜,并研究了滤光膜工艺和探测器工艺的兼容性以及集成滤光膜的环境适应性机理^[12]。

2015 年长春光机所通过双离子束溅射物理沉积方法,制备了高色散系数的线性渐变滤光片。线性渐变滤光片各个位置的中心波长峰值透过率均达到 85%以上,其工作波长为 650~1 050 nm,中心波长的线性变化率为 20 nm·mm⁻¹,带外截止度在 0.1%以下。制备的滤光片完全满足在空间应用时对小型化、集成化和稳定性的需求^[13]。

重庆光电技术研究所在 2015 年采用彩色光刻胶光刻法制备了彩色滤光片,并通过增加缓冲层、优化滤光片厚度和固化工艺,实现了彩色滤光片在 512*512 帧转移 CCD 上的集成。器件测试结果表明:彩色滤光片的主线透过率大于 80%,光谱串扰小于 15%,色纯度大于 75%,集成器件性能较为优异^[14]。

2017 年上海技术物理研究所提出了一种基于组合法 F-P 的红外双色滤光片设计方法。双色滤光片短波通道平均透过率大于 84%,长波通道的平均透过率大于 88%;两个通道的四个通带边缘的陡度分别为:1.4%、2.8%、1.9%和 1.7%^[15]。

2019 年长春光机所制备了楔形薄膜滤光片,在 12 mm 的工作区间内,在可见波段 520~1 000 nm 内有 40 nm·mm⁻¹的线性变化关系,通带峰值透过率高于 80%,截止区滤过率低于 0.1%。研制的楔形滤光片可以进一步应用于高集成光谱探测系统^[16]。

3 结 语

多光谱成像技术目前正向着光谱通道更多、集成度更高、体积更小和质量更轻的方向发展。随着探测器向阵列化发展,微结构阵列的研制也称为国内外的研究热点。本文论述了国内外关于片上集成滤光微结构的一些研究进展,可见微结构阵列的制备主要是采用新材料、新技术和新结构,使得滤光阵列拥有更高的透过率、更小的带宽,以实现高性能滤光阵列在探测器上的片上集成。

参考文献:

- [1] 林炳. 微型多光谱集成滤光片制备工艺的研究[D]. 上海:中国科学院上海技术物理研究所,2008
- [2] Bartek M, Novotny I, Correia J H, et al. Quality factor of thin-film fabry-perot resonators: dependence on interface roughness[J]. Physical Sensors and Systems, 1999, 33: 523-526
- [3] Antoszewski J, Winchester K J, Keating A J, et al. A monolithically integrated HgCdTe SWIR photodetector and tunable MEMS-based optical filter[J]. Proc. of SPIE, 2009, 105: 719-727

(下转第 52 页)

验家具、防火门、防盗门、实验室水电气网”；二是重点部位安防设施，包括“防火、防水、防电、防爆、防辐射、防感染”等安全设施；三是配足配齐专用设备，如“安全监管拍摄装备、办公设备、防盗和防火报警系统”等；四是安全防护类设备，如“防护手套、防护服、气瓶柜、冰箱、空气净化设备、消防器材”等。

3)提升安全技防水平。在常规技防工作的基础上，以与信息化校园融合建设为抓手，提升技防水平，一是重点推行实验室门禁管理；二是目前多数新兴应用型大学都实现了校园一卡通，实行与校园一卡通联动管理；三是对重点安防的实验室可以实现授权模式下的集约化管理；四是为实现实时动态管理和便于事故原因追溯，可建立实验室监控管理系统，并实行全天候值守。

8 结 语

安全工作无小事，实验室安全管理是一项综合性的系统工程，同时新兴应用型大学面对“办学资源紧张、生源素质相对偏低、学校事业快速发展、实验室安全形势日趋严峻”的情况，根据各校实际情况构建科学的管理体系，只是做好安全工作的第一步，还有“安全管理队伍建设、隐患整改、安全标准制定”等方面有待进一步深入探索实践。

参考文献：

- [1] 叶秉良. 高校实验室安全管理体系构建与实践[J]. 实验技术与管理, 2011, 30(8): 32-35
- [2] 王强, 张才. 高校实验室安全准入教育[M]. 南京: 南京大学出版社, 2019
- [3] 王杰. 高校实验室安全管理体系探索[J]. 实验研究与探索, 2016, 5(8): 69-72
- [4] 黎林, 钦明皖, 舒坚, 等. 高校实验室文化创新建设的探索与实践[J]. 实验室科学, 2013, 16(2): 55-57

(责任编辑: 谭彩霞)

(上接第 29 页)

- [4] Wen Y, Zhang G. Image sensor having integrated thin film infrared filter[J]. IEEE Transactions on Visualization, 2008, 17: 356-362
- [5] Li E W, Chong X Y. Broadband on-chip near-infrared spectroscopy based on a plasmonic grating filter array[J]. Optics Letters, 2016, 41(9): 1913-1916
- [6] Ender Y D. Implementation and characterization of an absorption filter for on-chip fluorescent imaging[J]. Sensors and Actuators B, 2016, 242: 318-323
- [7] Shen Y N, André I, Anik Z, et al. Fabrication and characterization of multi-stopband Fabry-Pérot filter array for nano-spectrometers in the VIS range using SCIL nanoimprint technology[J]. Applied Nanoscience, 2018, 69: 151 - 162
- [8] He Y F, Gao Y, Chen H H, et al. Integrated tunable bandstop filter using self-biased FeGaB/Al₂O₃ Multilayer thin film[J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2018, 128: 99-106
- [9] 温志渝, 陈刚, 王建国. 基于 Fabry-Perot 腔阵列的集成化微型光谱仪方案及模拟[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(10): 41-43
- [10] 张雪静, 温志渝, 王建国, 等. 基于 Fabry-Perot 腔阵列光谱传感器的集成化研究[J]. 传感技术学报, 2008, 21(1): 1955-1959
- [11] Lai J J, Liang H F. Patterning of visible/infrared dual-band microstrip filter arrays for multispectral imaging application[J]. J. Micromech. Microeng., 2009(19): 1-8
- [12] 王云姬. 集成滤光微结构的 InGaAs 短波红外探测器[D]. 上海: 上海技术物理研究所, 2014
- [13] 张建, 高劲松, 李玉东. 高色散系数线性渐变滤光片的研制[J]. 光学精密工程, 2015, 23(5): 1221-1226
- [14] 黄建, 向鹏飞, 陈红兵, 等. CCD 彩色滤光片的制备与集成技术研究[J]. 半导体光电, 2015, 36(5): 728-732
- [15] 蔡渊. 红外双色滤光片的研制及其低温光谱研究[D]. 上海: 上海技术物理研究所, 2017
- [16] 唐昊龙. 用于高集成光谱技术的多层楔形薄膜滤光片研究[D]. 长春: 长春光学精密机械与物理研究所, 2019

(责任编辑: 谭彩霞)