

文章编号: 1672-8785(2018)08-0001-04

用于可见光/短波红外双波段 探测的碲镉汞技术

李春领 王 亮

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 论述了一种基于短波碲镉汞材料的可见光/红外双波段探测技术。通过更换可见光和短波红外镜头的方式, 利用短波碲镉汞探测器分别进行了可见光和短波红外成像。结果表明, 短波碲镉汞探测器可以进行可见光成像, 这就为同时探测可见光和短波红外光提供了可能。

关键词: 可见光; 短波红外; 碲镉汞焦平面; 双波段

中图分类号: TN214 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.08.001

HgCdTe Detector Technology for Simultaneous Visible and Short-wavelength Infrared Detection

LI Chun-ling, WANG Liang

(North China Research Institute of Electron-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract: A visible and infrared dual-band detection technology based on shortwave HgCdTe material is presented. A short wave HgCdTe detector is used to implement visible imaging and short wave infrared imaging respectively by changing a visible lens and a short wave infrared lens. The results show that the short wave HgCdTe detector can be used for visible light imaging. This makes it possible to develop a new kind of detector which can detect visible light and short wave infrared radiation simultaneously.

Key words: visible light; short-wavelength infrared; HgCdTe focal plane array; dual-band

0 引言

碲镉汞(HgCdTe)材料是一种用于红外探测器组件的理想材料, 其阵列规模越来越大, 截止波长也从短波红外(SWIR)进一步延伸到甚长波红外(VLWIR)波段^[1-3]。目前, 国际上已经实现了第二代 HgCdTe 焦平面阵列的大批

量生产, 而且它们在军事和民用领域也得到了广泛应用^[4]。

随着红外技术的不断发展, 为提高目标识别与分辨能力, 红外系统对双色甚至多色探测能力具有很大需求。除了用于传统的红外辐射探测之外, 碲镉汞材料还被验证可用于可见光

收稿日期: 2018-05-14

作者简介: 李春领(1979-), 男, 山东成武人, 高工, 主要从事红外材料与器件研究。

E-mail: dadonggua163@163.com

探测^[1-2], 由此便可扩展短波红外探测系统的光谱响应范围: 将可见光和短波红外两个通道耦合在一起, 实现单一探测器对可见光与短波红外波段的同时探测, 进而拓展短波红外探测器的应用空间。

1 用于可见光/红外双波段探测的 HgCd-Te 技术

1.1 HgCdTe 红外焦平面阵列结构

图 1 所示为 HgCdTe 红外焦平面阵列的一般结构, 其构成主要包括: (1) 硅读出电路, 用于读出探测器的响应信号; (2) 铜柱, 用于连接硅读出电路与 HgCdTe 光敏层; (3) HgCdTe 光敏层, 生长在碲锌镉(CdZnTe)衬底上; (4) CdZnTe 衬底, 用于透过 $0.8\ \mu\text{m}$ 以上的红外辐射; (5) 增透膜层, 生长在 CdZnTe 衬底表面上, 用于提高红外辐射的透过率。

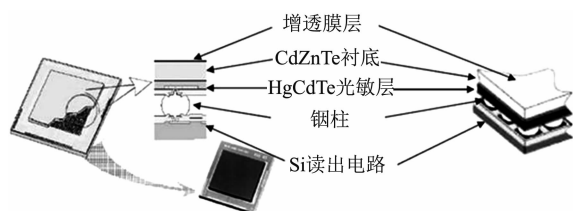


图 1 HgCdTe 红外焦平面阵列的一般结构

对于图 1 所示的采用平面离子注入工艺制作的 N-on-P 焦平面探测器, 红外辐射信号需要通过 CdZnTe 衬底才能到达 P-N 结, 而这种 CdZnTe 衬底只能透射波长在 $0.8\ \mu\text{m}$ 以上的红外光。如果 CdZnTe 衬底未经过减薄处理, 那么探测器响应光谱的截通波长和截止波长就由 CdZnTe 衬底和 HgCdTe 光敏层的材料组分决定。对于一般的短波红外焦平面来说, 这两个波长分别为 $0.8\ \mu\text{m}$ 和 $2.5\ \mu\text{m}$, 如图 2(a) 所示^[6-7]。

为了使这种红外焦平面探测器能够对 $0.4\sim 0.8\ \mu\text{m}$ 的可见光产生响应, 需要将 CdZnTe 衬底去除。在将保留 CdZnTe 衬底的红外探测器阵列用于空间探测时, 该衬底会吸收太空中的离子辐射, 产生诱导发光, 从而影响红外探测效率^[6]。同时, 为了解决 HgCdTe

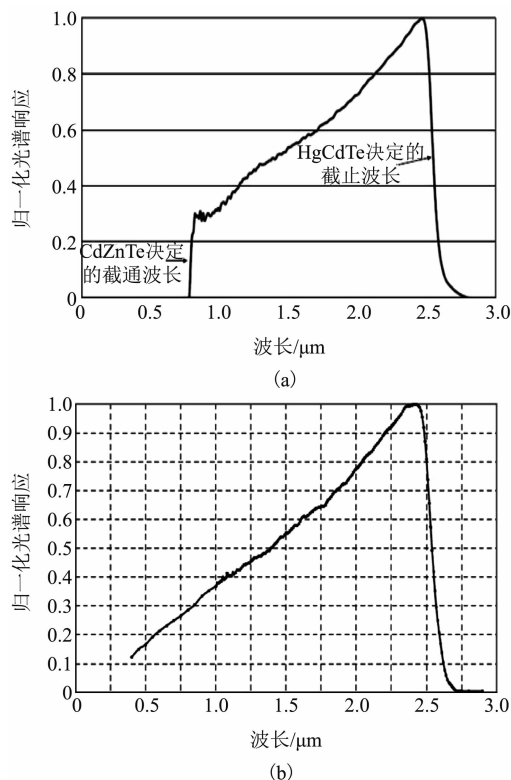


图 2 320×256 元短波红外探测器阵列的光谱响应: (a) CdZnTe 衬底去除前; (b) CdZnTe 衬底去除后

探测器阵列与硅读出电路的热膨胀系数不匹配的问题, 需要将 CdZnTe 衬底去除。法国 Sofradir 公司、德国 AIM 公司和美国 Rockwell 公司等均研发出了 CdZnTe 衬底减薄技术, 以提高大面积凝视阵列在热循环过程中的可靠性^[9-17]。现在这种技术也可用于实现红外焦平面阵列的可见光探测。图 2(b)所示为衬底去除后探测器阵列从可见光到红外波段的光谱响应。这种可同时探测可见光和红外两个波段的技术被称为可见红外(Visible and Infrared, VISIR)技术。法国 Sofradir 公司研制出了 500×256 元 NEPTUNE VISIR 型和 1000×256 元 SATURN VISIR 型超光谱探测器阵列, 其波长响应范围均为 $0.4\sim 2.5\ \mu\text{m}$ ^[8]。

1.2 用于可见光探测的 HgCdTe 技术

用富 Te 液相外延方法制备的短波红外 HgCdTe 薄膜材料, 从 HgCdTe 材料表面到 CdZnTe 衬底表面呈现出一个从窄禁带宽度 ($0.5\ \text{eV}$) 到宽禁带宽度 CdZnTe ($1.6\ \text{eV}$) 的缓

变界面, 如图 3 所示^[9]。

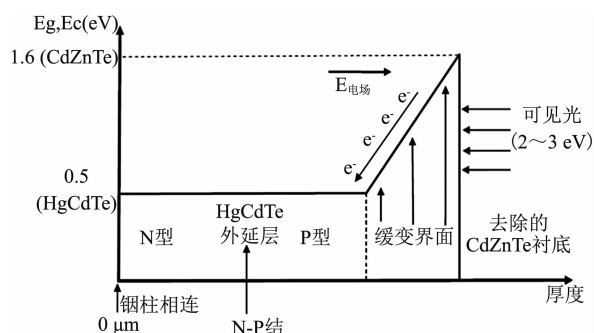


图 3 CdZnTe 衬底减薄(去除)后红外焦平面阵列的带隙结构

从图 3 中可以看出, 对于截止波长为 $2.5\ \mu\text{m}$ 的 HgCdTe 薄膜来说, 材料组分的缓变使带隙从 1.6 eV 到 0.5 eV 缓慢过渡。同时, 在 HgCdTe 化合物中, HgTe 到 CdTe 的价带偏移仅为 0.3 eV, 使得导带能量分布与能隙分布大体一致, 所以在缓变区具有较高的吸收系数。因此, 辐射过来的能量为数个电子伏的电子主要在缓变区被吸收。对于 N-on-P 结构的红外探测器, 吸收层是 P 型材料, 电子是少数载流子。在反偏强电场的作用下, 电子会移动到 N-P 集电结。由此可使探测器在整个可见光波段获得较高的量子效率。

2 成像验证

在短波 HgCdTe 器件的底部填充减薄和完全去除 CdZnTe 衬底, 然后把器件封装在中测杜瓦内, 并将宝石片作为窗口滤光片, 且采用液氮降温; 在中测杜瓦窗口前分别配置可见光和短波红外镜头(其中可见光镜头利用隔热玻璃对短波红外光进行截止), 然后分别对物体和人体进行成像。图 4 和图 5 所示分别为短波红外器件配置短波红外镜头和可见光镜头后对物体及人体的成像结果。从图 4 中可以看出, 减薄后的短波 HgCdTe 器件能够正常成像, 并具有良好的性能; 对于液氮壶瓶口的低温区域, 也可层次较为丰富地显示出来。从图 5 中可以看出, 将 CdZnTe 衬底完全去除后的短波 HgCdTe 器件也可以较好地实现可见光成像, 且图像层次更加丰富; ; 液氮壶表面的图片细

微特征比较清晰。这样, 通过更换光学镜头的方式并利用去除 CdZnTe 衬底后的短波 HgCdTe 器件进行短波红外和可见光成像, 为基于短波 HgCdTe 器件的双色探测提供了可能: 可在短波 HgCdTe 探测器组建前利用机械装置实现短波红外和可见光镜头的直接切换, 以达到对不同波段进行光谱探测的目的, 从而利用一个探测器实现双色探测; 也可以利用光学方法制备一个覆盖可见光-短波红外波段的镜头, 以实现从可见光到短波红外光的同时探测。



图 4 短波红外器件配置短波红外镜头对物体及人体的成像结果



图 5 短波红外器件配置可见光镜头对物体及人体的成像结果

3 结束语

本文论述了一种基于短波 HgCdTe 材料的可见光/红外双波段探测技术。通过更换可见光和红外镜头的方式, 利用短波 HgCdTe 探测器分别进行可见光和短波红外成像。结果表明, 短波红外探测器可以进行可见光成像, 这就为下一步进行短波红外和可见光双波段成像奠定了基础。

参考文献

- [1] DSouza A I, Robinson E W. Visible to SWIR Response of HgCdTe HDVIP Detectors [C]. SPIE,

- 2009, **7298**: 680–686.
- [2] Bruno F, Philippe C, Bertrand T. Sofradir Detectors for Hyperspectral Applications from Visible up to VLWIR [C]. *SPIE*, 2010, **7826**: 782611.
- [3] Philippe B, Philippe T. Fifty Years of Successful MCT Research and Production in France [C]. *SPIE*, 2009, **7298**: 72982N.
- [4] Vuillermet M, Pistone F. Latest Developments in MCT Infrared Staring Arrays at Sofradir [C]. *SPIE*, 2007, **6737**: 673740.
- [5] Bai Y B, Bajaj J, James W B, et al. Teledyne Image Sensors: Silicon CMOS Imaging Technologies for X-ray, UV, Visible and Near Infrared [C]. *SPIE*, 2008, **7021**: 702101.
- [6] Augustyn W, Paul W M, Chery J M, et al. Radiation Induced Luminescence of CdZnTe Substrate in HgCdTe Detectors for WFC3 [C]. *SPIE*, 2005, **5902**: 59020P.
- [7] Chorier P, Tribolet P. Latest Development for Space Applications at Sofradir [C]. *SPIE*, 2008, **7106**: 71060L.
- [8] 顾聚兴. 能同时探测可见光和红外的新探测器(上) [J]. *红外*, 2008, **29**(8): 42–46.
- [9] Philippe C, Philippe T, Gerard D. From Visible to Infrared: A New Detector Approach [C]. *SPIE*, 2006, **6206**: 620601.
- [10] Donald N B H. 2048 × 2048 HgCdTe Array for Astronomy at Visible and Infrared Wavelengths [EB/OL]. <http://www.stecf.org/conference/sardinia/node39.html>, 2017.
- [11] Gerard D, Philippe T. Advanced MCT Technologies in France [C]. *SPIE*, 2007, **6542**: 654212.
- [12] Haas A K, Cabelli C, Kozlowski L J, et al. 2048 × 2048 Visible/Infrared HgCdTe Focal Plane Arrays (FPAs) [EB/OL]. http://www.rsc.rockwell.com/mct_fpa, 2017.
- [13] James W B, Richard B, David G, et al. Teletyne Imaging Sensors: Infrared Imaging Technologies for Astronomy & Civil Space [C]. *SPIE*, 2008, **7021**: 70210H.
- [14] Baggett S, Boucarut R, Telfer R, et al. Performance of the WFC3 Replacement IR Filters [R]. Instrument Science Report WFC3, 2007.
- [15] Kozlowski L J, Bai Y, Loose M, et al. Large Area Visible Arrays: Performance of Hybrid and Monolithic Alternatives [C]. *SPIE*, 2002, **4836**: 247–259.
- [16] Bai Y, Montroy J T, Blackwell J D, et al. Development of Hybrid CMOS Visible Focal Plane Arrays at Rockwell [C]. *SPIE*, 2000, **4028**: 174–182.
- [17] Haiml M, Bruder M, Eich D, et al. IR-detectors from 0.9 μm to 13 μm Spectral Range at AIM [C]. *SPIE*, 2007, **6542**: 65420F.