

〈材料与器件〉

双色焦平面红外探测器相对光谱串音研究

赵俊,毛京湘,李艳辉,杨春章,谭英,齐航,
韩福忠,邢一山,王羽,王晓璇,姬荣斌,孔金丞

(昆明物理研究所, 云南 昆明 650223)

摘要: 提出了一种评价双色探测器的相对光谱串音的模型及测试方法。为验证模型及测试方法的可行性, 采用分子束外延锗基叠层异质结构碲镉汞薄膜材料, 研制了微台面结构短波/中波双色红外焦平面探测器原理器件, 进行了相对光谱串音测试, 归纳出3种主要的相对光谱串音模式, 并结合材料、器件结构和工艺特点, 分析了相对光谱串音的成因。

关键词: 双色焦平面; 红外探测器; 相对光谱串音

中图分类号: TN215 文献标示码: A 文章编号: 1001-8891(2014)04-0286-04

Analysis on the Relative Spectral Crosstalk of Dual-band IRFPA Detector

ZHAO Jun, MAO Jing-xiang, LI Yan-hui, YANG Chun-zhang, TAN Ying, QI Hang, HAN Fu-zhong,
XING YI-shan, WANG Yu, WANG Xiao-xuan, JI Rong-bin, KONG Jin-cheng
(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: The article reports a model of the relative spectral response for evaluating the crosstalk between different bands in dual-band detectors. To verify the model, the test of the crosstalk between different bands by the relative spectral response has been carried out. The SW/MW dual-band IRFPA detectors which fabricated by MBE triple layer heterogeneous structure MCT/Ge were used for validating the effect of model, and three main crosstalk modes and the reason which caused crosstalk between the different bands in same pixel were concluded.

Key words: dual-band focal plane, infrared detector, relative spectral crosstalk

0 引言

双色碲镉汞焦平面探测器作为第三代红外焦平面器件的主要代表^[1-3], 通过探测目标信号在不同波段的强度, 能得到更多的目标信息^[4-5], 在鉴别目标^[6]、图像识别和抗干扰^[7]等方面非常重要。

对于双色器件来说, 其优势只有在两个光谱通道彼此独立时才能充分发挥出来^[8-9]。作为一个算例, 设两个通道的光谱响应曲线如图1所示, 一般情况下两个通道的光谱响应曲线可能或多或少会有一定程度的交叉或重叠, 交叉部分即为光谱串音, 如图1中的红色和蓝色部分所示, 光谱串音越小, 器件性能越好。

对于双波段红外焦平面探测器A和B, 当只有某一波段范围内的能量辐照时, A波段探测器在该波段范围内产生的信号为 V_A , B波段探测器在该波段范围内产生的信号为 V_B' , $V_A > V_B'$, 则 V_B'/V_A 称为B波段探测器对A波段探测器的光谱串音(或称A波段探测器向B波段探测器的光谱串音)。

本文采用相对光谱响应对双色探测器的光谱串音进行评价, 建立了双色探测器相对光谱串音评价模型及测试方法, 并采用短波/中波双色碲镉汞探测器进行验证。

收稿日期: 2014-01-15。

作者简介: 赵俊(1980-), 男, 高级工程师, 主要从事先进光电材料与器件方向研究。

基金项目: 国家重大专项项目。

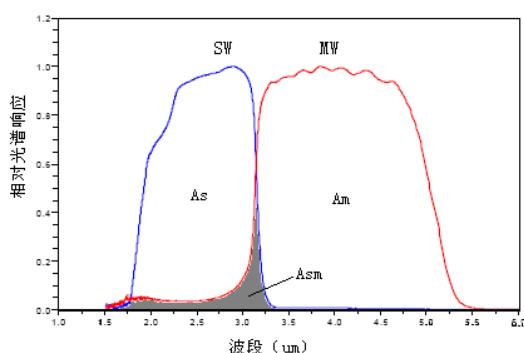


图1 双色探测器相对光谱响应

Fig.1 The relative spectral response of dual detector

1 相对光谱串音评价模型

1.1 测量方法

分别测出 A 波段探测器和 B 波段探测器的相对光谱响应曲线, 将两条相对光谱响应曲线归一在同一个坐标系中, 见示意图 2。

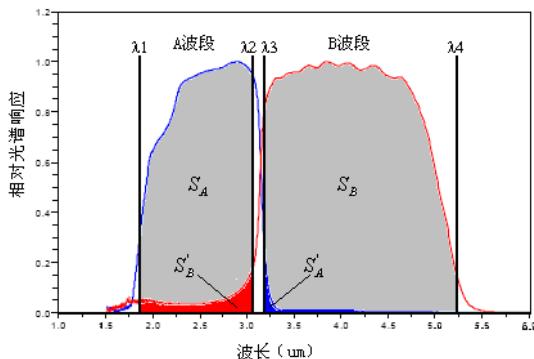


图2 A 波段探测器和 B 波段探测器相对光谱响应曲线

Fig.2 The relative spectral response of A band and B band detector

1.2 计算方法

分别计算 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段内 A 波段探测器和 B 波段探测器的相对光谱响应曲线与波长轴所围的面积 S_A 和 S_B' 、 $\lambda_3 \sim \lambda_4$ 波段内 A 波段探测器和 B 波段探测器的相对光谱响应曲线与波长轴所围的面积 S_B 和 S_A' , 则在 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段范围内 B 波段探测器对 A 波段探测器的光谱串音见公式(1), 在 $\lambda_3 \sim \lambda_4$ 波段范围内 A 波段探测器对 B 波段探测器的光谱串音见公式(2):

$$CT_{BA} = \frac{S'_B}{S_A} \times 100\% \quad (1)$$

$$CT_{AB} = \frac{S'_A}{S_B} \times 100\% \quad (2)$$

式中: CT_{BA} 为 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段范围内 B 波段探测器对 A 波段探测器的光谱串音; CT_{AB} 为 $\lambda_3 \sim \lambda_4$ 波段范围内 A

波段探测器对 B 波段探测器的光谱串音; S_A 为 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段范围内 A 波段探测器的相对光谱响应曲线与波长轴所围的面积; S_B' 为 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 波段范围内 B 波段探测器的相对光谱响应曲线与波长轴所围的面积; S_B 为 $\lambda_3 \sim \lambda_4$ 波段范围内 B 波段探测器的相对光谱响应曲线与波长轴所围的面积; S_A' 为 $\lambda_3 \sim \lambda_4$ 波段范围内 A 波段探测器的相对光谱响应曲线与波长轴所围的面积。

2 短波/中波双色碲镉汞探测器

双色红外焦平面列阵的每个像元由垂直重叠或相邻的两个 p-n 结组成。

图 3 是垂直重叠结构双色红外探测器的像素示意图, 两个探测器分别对中波段和短波段灵敏。采用背照射模式时, 当短波和中波波段的辐射入射到短波吸收层时, 短波辐射被吸收, 而中波辐射则通过短波吸收层在中波吸收层被吸收, 这就是双色探测器件基本工作原理。

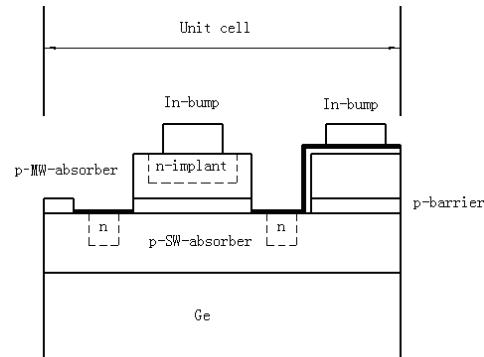


图3 双色碲镉汞红外探测器的像素示意图

Fig.3 The pixel of dual band infrared detector based on MCT

短波/中波双色碲镉汞探测器基于 p-p-p 结构的 3 层碲镉汞薄膜材料, 采用微台面工艺, 将上层长波碲镉汞薄膜材料隔离成岛, 露出下层短波碲镉汞薄膜材料, 采用离子注入成岛工艺, 在两层材料上同时制备出 p-n 结, 再进行电极引出和倒装互连, 探测器结构如图 4 示, 器件的核心基于 n-on-p 结构。

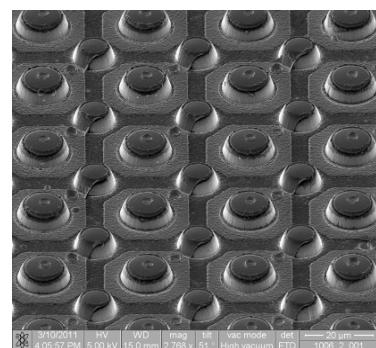


图4 短波/中波双色碲镉汞探测器

Fig.4 The detector of SW/MW dual band detector based on MCT

3 结果与讨论

3.1 短波向中波重度串音

短波向中波重度串音的典型结果如图 5 所示, 中波光电二极管工作正常, 但是短波光电二极管工作时, 对中波信号也有极强响应, 即短波光电二极管工作时能够直接收集到中波吸收层的光生载流子, 等同在短波光电二极管上串接了一个中波光电二极管。基于本文的器件结构, 短波与中波光电二极管串接有两种方式, 一种是中波注入区延伸入隔离层, 形成串接; 一种是微台侧壁部分区域被注入成结, 与短波光电二极管串接。

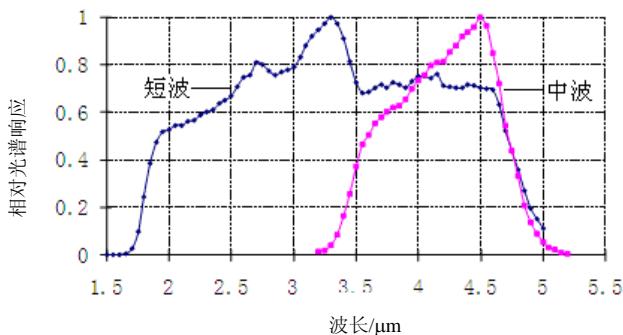


图 5 短波向中波重度串音探测器相对光谱响应

Fig.5 The relative spectral response of crosstalk from SW to MW

由于两个光电二极管共用一个底电极, 加在短波光电二极管的电场是独立的, 而加在中波光电二极管的电场需穿过短波光电二极管部分吸收区, 如果是中波注入区延伸入短波吸收区, 形成串接, 将会导致中波向短波重度串音, 显然与图 5 所示结果矛盾。

因此, 导致图 5 所示结果的原因主要是由于工艺过程中器件微台的侧壁保护不善, 导致微台侧壁也被注入成结, 并与短波光电二极管串接。

3.2 中波向短波重度串音

中波向短波重度串音的典型结果如图 6 所示, 短波光电二极管工作正常, 但是中波光电二极管工作时, 对短波信号也有较弱响应, 即在中波光电二极管工作时能够收集到短波吸收层的光生载流子。

用于研制器件的 p-p-p 三层结构碲镉汞薄膜材料中居中的隔离层是从材料角度抑制光谱串音的关键。隔离层的厚度、组分均与光谱串音之间存在密切关联。如果隔离层偏薄, 容易导致不同波段之间光生载流子的隔离效果变差, 容易导致不同波段像元之间的串扰, 由于本文的器件结构特点, 由于加在中波光电二极管的电场需穿过短波光电二极管部分吸收区, 串扰将主要表现为中波向短波重度串音; 如果隔离层组分偏低, 形成的势垒高度变低, 对不同波段之间光生

载流子迁移的阻挡效果变差, 容易导致不同波段之间载流子的严重串扰, 由于本文的器件结构特点, 加在中波光电二极管的电场需穿过短波光电二极管部分吸收区, 串扰将主要表现为中波向短波重度串音。

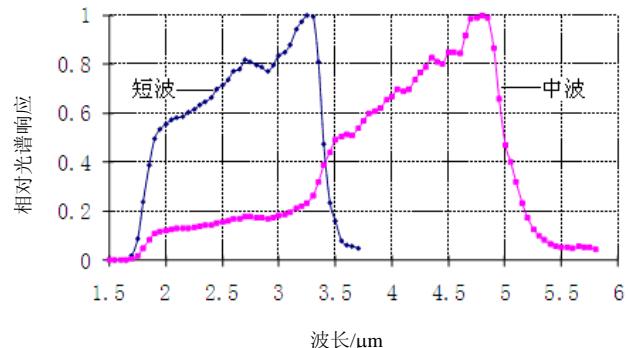


图 6 中波向短波重度串音探测器相对光谱响应

Fig.6 The relative spectral response of crosstalk from MW to SW

因此, 导致图 6 所示结果的原因主要是由于碲镉汞薄膜材料的隔离层的厚度、组分或者两者兼而有之的设计不够优化。

3.3 短波和中波重度互串音

短波和中波重度互串音的典型结果如图 7、图 8 所示。

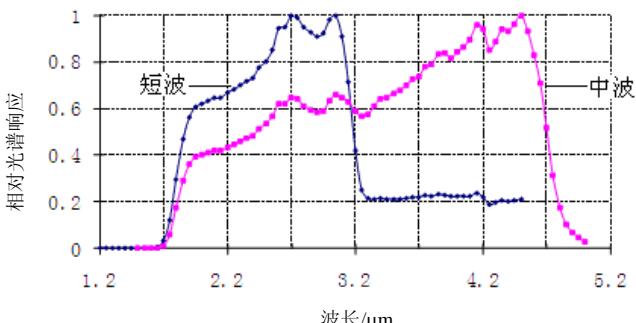


图 7 一种短波和中波重度互串音探测器相对光谱响应

Fig.7 One relative spectral response of crosstalk between SW and MW

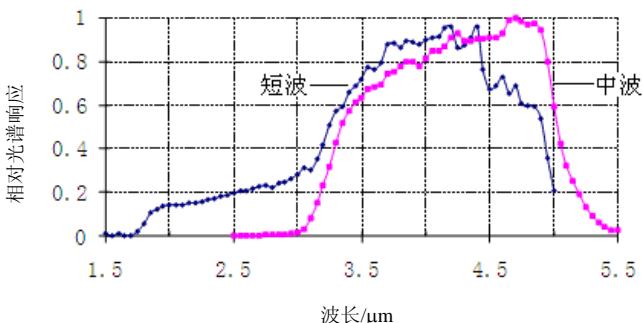


图 8 一种短波和中波重度互串音探测器相对光谱响应

Fig.8 Another relative spectral response of crosstalk between SW and MW

如图 7 所示, 短波光电二极管工作时, 对中波信

号也有较弱响应, 即使在短波光电二极管工作时能够收集到中波吸收层的光生载流子; 中波光电二极管工作时, 对短波信号也有极强响应, 即中波光电二极管工作时能够直接收集到中波吸收层的光生载流子, 等同在中波光电二极管上串接了一个短波光电二极管。如前所述, 本文的器件结构特点决定了只存在两种串接方式, 微台侧壁成结形成串接显然无法解释图7的结果。本文的器件结构设计决定, 两个光电二极管共用一个底电极, 加在短波光电二极管的电场是独立的, 而加在中波光电二极管的电场需穿过短波光电二极管部分吸收区。所以, 短波光电二极管工作时, 只有短波二极管环形结区附近少部分中波光生载流子能够被收集, 形成较弱的中波信号响应; 中波光电二极管工作时, 大量短波吸收区域的短波光生载流子均能够被收集, 形成极强的短波信号响应。因此, 中波注入区部分延伸入隔离层形成串接是导致图7结果的主要原因。

如图8所示, 短波光电二极管和中波光电二极管的相对光谱几乎重叠, 即短波光电二极管和中波光电二极管并接, 等同一个以短波吸收层为滤光窗口的中波光电二极管。导致这种结果的原因可能有两种, 一种是短波电极和中波电极由于金属剥离不干净或光刻对准偏差等工艺原因导致的两个电极之间短路, 但如果短路, 两个光电二极管的信号输出应完全相同, 即两个光电二极管的光谱应重合, 形成完全串音, 如图9所示。因此, 导致图8所示结果的最可能原因是中波注入区穿透隔离层延伸入短波吸收区, 形成一个共用吸收区, 3个电极, 两个电极加不同偏置电压的“背靠背”结构的光电二极管。

4 结论

在分析双色红外焦平面探测器特有的光谱串音的特点的基础上, 提出采用相对光谱响应对双色探测器的光谱串音进行评价的思路, 建立了双色探测器相对光谱串音评价模型及操作简便、无损伤的测试方法, 并针对模型的特点, 基于p-p-p结构的3层碲镉汞薄膜材料设计了双“n-on-p”同向结构的微台面双色同时读出探测器, 进行了相对光谱响应评价光谱串音的验证, 并根据实验结果归纳了3种主要的相对光谱串音模式, 结合材料、器件结构和工艺特点, 探讨

了相对光谱串音的成因, 为双色器件的结构和工艺设计奠定了基础。

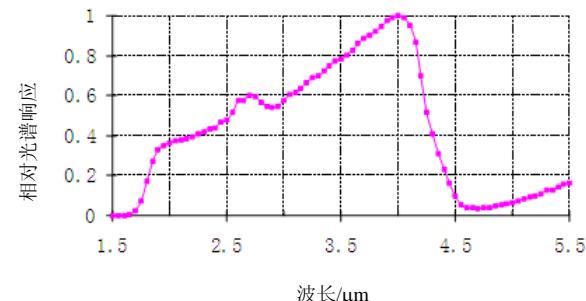


图9 短波和中波全串音探测器相对光谱响应

Fig.9 The relative spectral response of full crosstalk between SW and MW

参考文献:

- [1] M Münzberg, R Breiter, W Cabanski, et al. Dual color IR detection modules, trends and applications[C]//Proc. of SPIE, 2007, **6542**: 654207.
- [2] Philippe Triboulet. Advanced HgCdTe technologies and dual-band developments[C]//Proc. of SPIE, 2008, **6940**: 69402P.
- [3] P Abbott, L Pillans, P Knowles, et al. Advances in Dual-Band IRFPAs made from HgCdTe grown by MOVPE[C]//Proc. of SPIE, 2010, **7660**: 766035.
- [4] Yann Reibel, Fabien Chabuel, Cedric Vaz, et al. Infrared dual band detectors for next generation[C]//Proc. of SPIE, 2011, **8012**: 801238.
- [5] E P G Smith, G M Venzor, A M Gallagher, et al. Large-format HgCdTe Dual-band long-wavelength infrared focal-plane arrays[J]. *Journal of ELECTRONIC MATERIALS*, 2011, **40**(8): 1630-1636.
- [6] Philippe Triboulet, Gérard Destefanis. Third generation and multi-color IRFPA developments: a unique approach based on DEFIR[C]// Proc. of SPIE, Orlando: 2005, **5783**: 5783-37.
- [7] W A Radford, E A Patten, D F King, et al. Third generation FPA development status at Raytheon Vision Systems[C]//Proc. of SPIE, 2005, **5783**: 331-339.
- [8] J G A Wehner, E P G Smith, W Radford, et al. Crosstalk Modeling of Small-Pitch Two-Color HgCdTe Photodetectors[J]. *Journal of ELECTRONIC MATERIALS*, 2012, **41**(10): 2925-2927.
- [9] 王忆锋, 余连杰, 田萦. II类超晶格双光谱红外探测器光谱串音的量化分析计算[J]. 红外技术, 2011, **33**(5): 293-295.