

文章编号:1001-9014(2009)02-0090-03

长波红外 2048 元线列碲镉汞焦平面器件

李言谨, 杨建荣, 何力, 张勤耀, 丁瑞军, 方维政, 陈新强, 魏彦峰,
巫艳, 陈路, 胡晓宁, 王建新, 倪云芝, 唐红兰, 王正官
(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要:介绍了长波红外 2048 元线列碲镉汞焦平面器件的制备技术和达到的性能参数. 探测器采用离子注入平面 pn 结制备光敏元, 通过间接倒焊技术和读出电路互联, 采用 8 个 256 元焦平面模块拼接 2048 元线列焦平面器件. 光敏元的响应截止波长达到 $9.9\mu\text{m}$, 相应的 R_0A 达到 $10\Omega\text{cm}^2$, 平均峰值探测率达到 $9.3 \times 10^{10}\text{cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$, 响应不均匀性为 8%, 有效光敏元率大于 99.5%.

关键词:长波; 长线列; 红外焦平面; 碲镉汞
中图分类号:0472 **文献标识码:**A

LONG-WAVE INFRARED 2048-ELEMENTS LINEAR HgCdTe FOCAL PLANE ARRAY

LI Yan-Jin, YANG Jian-Rong, HE Li, ZHANG Qin-Yao, DING Rui-Jun, FANG Wei-Zheng,
CHEN Xin-Qiang, WEI Yan-Feng, WU Yan, CHEN Lu, HU Xiao-Ning, WANG Jian-Xin,
NI Yun-Zhi, TANG Hong-Lan, WANG Zheng-Guan
(Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: The technology and performance of long-wave 2048-elements linear HgCdTe focal plane array were reported. The n-on-p photodiodes were fabricated by planar ion implantation and hybridized with readout circuit by indirect flip chip technique. The 2048-elements linear array consists of 8 segments of 256-element linear arrays that are "buted" on a single substrate in a staggered format. The cut off wavelength and R_0A of the photodiode are $9.9\mu\text{m}$ and $10\Omega\text{cm}^2$, respectively. The average detectivity of the 2048-elements linear array is $9.3 \times 10^{10}\text{cmHz}^{1/2}\text{W}^{-1}$. The nonuniformity of response is 8%. The array peak operability is larger than 99.5%.

Key words: long wave; long linear array; infrared focal plane; HgCdTe

引言

采用 HgCdTe 和 CMOS 电路集成的高性能红外焦平面器件正在向大规模阵列方向发展. 对于空间对地观察(监视、气象、环境检测、资源调查等)应用, 适合采用数千元规模的长线列焦平面器件, 通过推扫方式获得地面的红外图像. 国外主要焦平面器件研发机构都在为一些空间对地观察系统研制线列及超长线列红外焦平面器件^[1-3], 长线列的红外焦平面器件已经成为大规模焦平面技术的重要发展方向之一.

在国内, 上海技术物理研究所继为空间遥感研制了中短波的碲镉汞 256 元线列焦平面器件

后^[4,5], 为了满足空间遥感的需要, 又开展了长波长线列 2048 元红外焦平面器件的研制, 重点解决我国未来空间红外遥感系统的发展需要的基础技术. 本文报道了长波红外 2048 元焦平面器件的研制结果.

1 探测器的布局结构

对于光敏元中心距为 $28\mu\text{m}$ 的 2048 元线列器件, 总长度近 60mm, 在现有技术条件下, 只能采用拼接技术实现. 长波红外 2048 元线列 HgCdTe 焦平面器件采用了 8 个 256 元线列焦平面模块交错拼接而成, 每个 256 焦平面模块由 256 元 HgCdTe 光伏器件和 256 线列读出电路通过间接倒焊形成, 见图

收稿日期:2008-02-27, 修回日期:2008-09-18

基金项目:国家自然科学基金创新群体(60821092)资助项目

作者简介:李言谨(1960-), 男, 江苏东台人, 研究员, 主要从事红外探测组件技术研究.

Received date: 2008-02-27, revised date: 2008-09-18



图 1 2048 元焦平面器件的拼接结构
Fig. 1 The structure of 2048-elements array

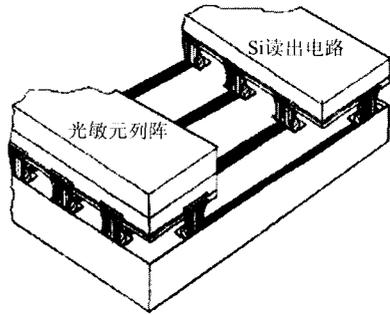


图 3 间接互联示意图
Fig. 3 Indirect flip chip hybridization

1. 图 2 是光敏元的分布结构,光敏元尺寸为 $28 \times 28 \mu\text{m}$,沿线列方向的中心距为 $28 \mu\text{m}$,采用交错排列的方式,垂直线列方向的间隔为 $1400 \mu\text{m}$.

2 探测器的技术

采用了液相外延(LPE)和分子束外延(MBE)两种材料制备方法生长长波碲镉汞薄膜材料,其中液相外延采用碲锌镉(CdZnTe)作为衬底,分子束外延采用砷化镓(GaAs)作为衬底.碲镉汞材料的组分为 $0.22 \sim 0.23$,材料通过退火后形成 p 型.

光敏元采用了平面 pn 结技术,在 p 型材料上通过选择性离子注入形成 pn 结,表面加以钝化,电极金属化采用了双离子束溅射技术.

读出电路采用了运放积分(CTIA)模式,这种输入方式能够使光敏元比较稳定地处于零偏置状态,pn 结的漏电流较小,噪声也较小,可以获得较好的性能.

光敏元与读出电路的互联采用了间接倒装焊技术,即光敏元阵列和读出电路分别通过 In 柱和一个公共衬底(一般为宝石片)相连,两者之间通过高密度引线实现电学连接,如图 3 所示.

256 元光敏元阵列与读出电路互联后形成了 256 元的焦平面模块,采用了高精度定位和高倍率模板套准等技术,8 个焦平面模块通过交叉排列的方式拼接在一个较厚的柯伐衬底上,见图 1.分析表明这样的结构有利于降低碲镉汞的热失配应力^[6].

由于长波碲镉汞 pn 结的阻抗相对较低,光敏元和读出电路间的接触电阻需要特别关注,尽管采用了运放积分输入结构,较大的接触电阻仍可能使得光敏元的工作点处于正偏,减小了响应电流,从而降低焦平面器件的响应率,并会导致不均匀性的增加.因此,在工艺上要尽可能地降低接触电阻.

3 探测器的性能

图 4 是典型的长波探测器光谱响应特性,在一个 256 线列光敏元中抽测了十多个元,平均截止波长为 $9.9 \mu\text{m}$,从图中可以看出光谱响应具有较好的一致性.

图 5 是上述长波探测器在液氮温度下的 $I-V$ 和 $R-V$ 特性曲线.零偏平均阻抗 R_0 约为 $1.2 \text{M}\Omega$, $R_0 A$ 为 $10 \Omega \text{cm}^2$.零偏电流也比较均匀.表 1 为液氮温度下测量得到的长波红外 2048 元阵列碲镉汞焦平面器件的性能参数.

图 6 是长波红外 2048 元碲镉汞焦平面器件的响应率分布图,图 7 是 2048 元阵列器件用于 512 元线列扫描成像系统所获得的红外成像照片.

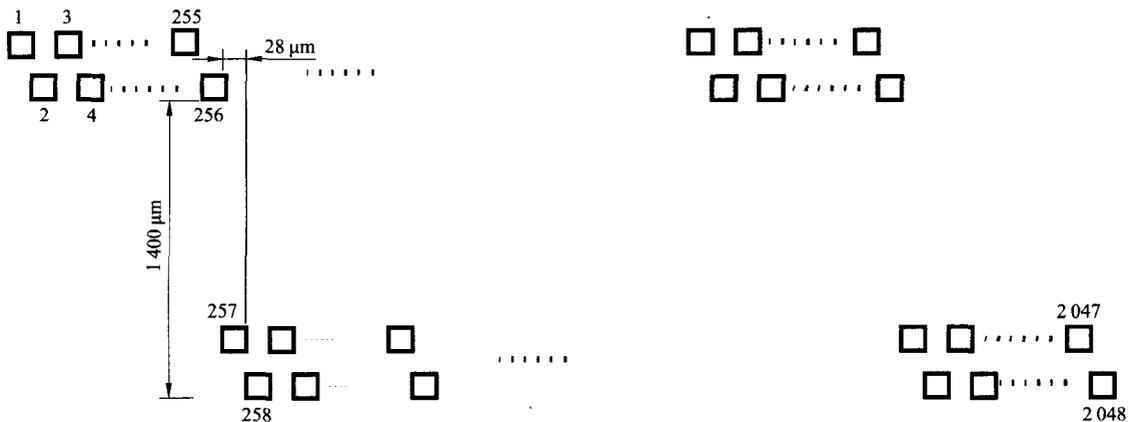


图 2 2048 元焦平面器件光敏元分布图
Fig. 2 The distribution of 2048-elements photodiodes

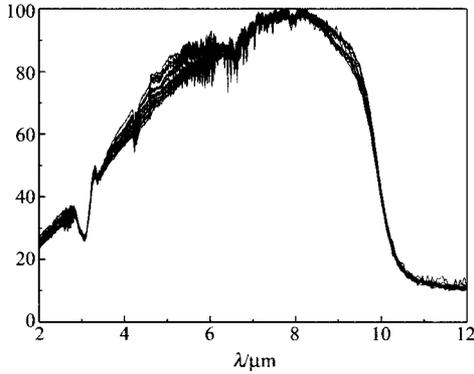


图4 长波碲镉汞光敏元响应光谱
Fig.4 The response spectra of long-wave HgCdTe photodiodes

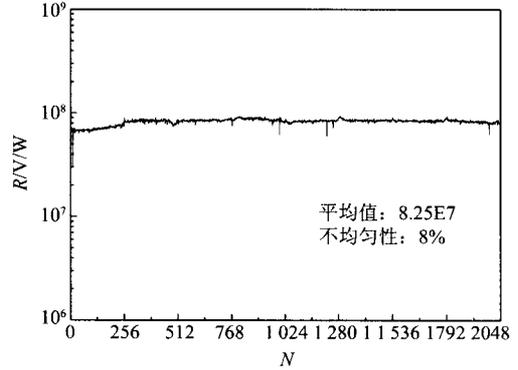


图6 长波 2048 元碲镉汞焦平面器件响应率分布
Fig.6 The distribution of 2048-elements response

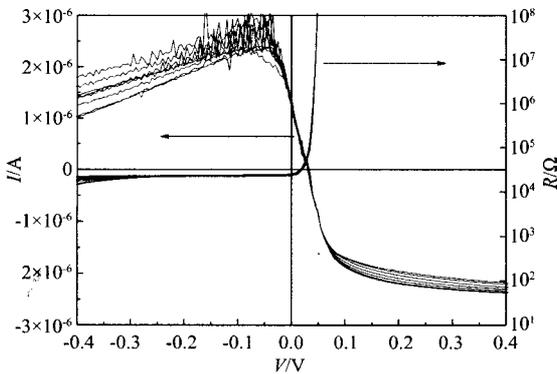


图5 长波碲镉汞光敏元的 I-V 和 R-V 曲线
Fig.5 The I-V and R-V curves of long wavelength HgCdTe photodiodes



图7 器件局部 512 元系统成像图
Fig.7 The image of 512-elements part of array by system

好光谱响应和均匀性,截止波长达到 9.9 μm . 探测器在 512 元线列扫描系统上实现了成像演示,为后续发展奠定了技术基础.

REFERENCES

[1] Chamonal J P, Mottin E, Audebert P, et al. 1500-element linear MWIR and LWIR HgCdTe arrays for high resolution imaging[J]. *SPIE*,1997,**3122**:373—383.
 [2] J H Rutter, Jungkman D, Stobie J, et al. A Multispectral hybrid HgCdTe FPA-dewar assembly for remote sensing in the atmospheric infrared sounder (AIRS) instrument[J]. *SPIE*,1996,**2817**:200—213.
 [3] Michael Dahlin, Edward O' Rourke. Advanced focal plane array systems for next-generation scanning remote sensing instruments[J]. *SPIE*,2003,**4820**:406—417.
 [4] WANG Chen-Fei, LI Yan-Jin. Study on structural optimization of decreasing the crosstalk of planar HgCdTe Focal plank arrays[J]. *J. Infrared Millim. Wave* (王晨飞,李言谨. HgCdTe 光伏探测器在高温背景辐射下的 I-V 特性分析. *红外与毫米波学报*),2006,**25**(4):257—260.
 [5] QUAN Zhi-Jue, LI Zhi-Feng, HU Wei-Da, et al. Parameters extraction from the dark current characteristics of long-wave length HgCdTe photodiode[J]. *J. Infrared Millim. Wave* (全知觉,李志峰,胡伟达,等. 光伏型碲镉汞长波探测器暗电流特性的参数提取研究. *红外与毫米波学报*),2007,**26**(2):92—96.
 [6] LI Yan-Jin, HE Li, YANG Jian-Rong, et al. Study on thermal mismatch stress of HgCdTe infrared focal plane array [J]. *J. Infrared Millim. Wave* (李言谨,何力,杨建荣,等. 碲镉汞红外焦平面器件热失配应力研究. *红外与毫米波学报*),2008,**27**(6):409—412.

表1 达到的性能参数表
Table 1 The performance list

| | |
|---------|--------------------------------------------------------|
| 光敏元尺寸 | 28 × 28 μm |
| 探测器元数 | 2048 |
| 平均峰值探测率 | $9.3 \times 10^{10} \text{ cmHz}^{1/2} \text{ W}^{-1}$ |
| 平均峰值响应率 | $8.3 \times 10^7 \text{ V/W}$ |
| 响应率不均匀性 | 8% |
| 有效光敏元率 | 99.5% |
| 工作温度 | 77K |
| 动态范围 | 70dB |
| 积分电容 | 6pF |

注:测量积分时间为 70 μs .

4 结语

本文报道了长波红外 2048 元线列碲镉汞焦平面器件的制备技术和达到的性能. 长波红外 2048 元线列 HgCdTe 焦平面器件采用 8 个 256 元线列焦平面模块交错拼接构成,256 元线列碲镉汞芯片由长波碲镉汞薄膜材料和 n-on-p 离子注入平面结工艺制备而成,并采用间接倒焊技术实现光敏元芯片和读出电路互联,形成 256 元焦平面模块. 探测器具有较