

文章编号:1001-5078(2007)增刊-0935-03

HgCdTe 光伏探测器抑制背景通量的研究

王晨飞, 陈洪雷, 李言谨
(中国科学院上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘要:对于长线列焦平面器件,简单的单孔冷屏往往不能有效地抑制背景,本文在 $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光伏探测器背面镀制微孔冷屏的办法来降低背景。测试结果表明,探测器镀制微孔冷屏之后,可以使背景辐射通量大幅度减少,同时减少了光串音。从而证明微孔冷屏的确可以有效地抑制背景通量,减少光敏元响应面积扩大的问题,对于红外焦平面器件的性能提高有帮助。

关键词: HgCdTe 探测器; 背景抑制; 微孔冷屏; 双面光刻
中图分类号: TN215 **文献标识码:** A

Study of Background Illumination Reduction of HgCdTe Photo-voltage Detector

WANG Chen-fei, CHEN Hong-lei, LI Yan-jin
(Shanghai Institute of Technical Physics, China Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: For long-array FPA device, simple cold shield couldn't effectively restrain background illumination. In this paper, the question has solved by depositing micro-aperture cold shield at the back of HgCdTe photo-voltage detector. The test results show that micro-aperture cold shield can reduce background illumination after deposited on the detector and also can reduce the cross talk. So micro-aperture cold shield can effectively restrain the background flux and hold the natural response area of pixel when detector is working. This process can improve the capability of infrared FPA detector.

Key words: HgCdTe detector; background illuminations restrain; micro-aperture cold shield; photograph in dual layer

1 引言

混合式红外焦平面探测器一般采用倒装焊方式,背照射式接收红外辐射信号^[1-2]。以 $\text{N}^+\text{-on-P}$ 器件为例,红外辐射在 P 区被吸收并激发出光生载流子,载流子扩散至 PN 结区,然后被内建电势场分开并在电极处积累形成光生电动势,如果外部接有载荷则导通形成光生电流。红外探测器在信号接收时,由于是探测红外信号,因此目标以外的区域都会发射红外辐射,从而对探测器造成干扰,应对的办法通常是在探测器上装有冷屏,将目标以外区域的热辐射挡掉^[3]。对于长线列焦平面器件,光敏元的视场角非常大,这时冷屏所起的作用就会非常有限,不能充分的起到抑制背景通量的作用。信号探测时如果背景通量过大,信号饱和的时间就会减少,影响了器件的积分时间,使器件动态范围降低。

此外由于光伏探测器中载流子存在横向收集效

应,使焦平面探测器的光敏元实际响应面积要大于其设计尺寸。光敏元响应面积的增加使得红外成像时的空间分辨率下降,因此实际应用中还有光敏元响应面积扩大的问题。

本文提出采用一种在器件背面作微孔冷屏的技术,对探测器抑制背景通量进行了摸索性研究。即采用双面光刻工艺,在器件背面镀制微孔冷屏,来达到抑制光伏器件探测目标红外辐射时背景通量过大的问题。微孔冷屏是一层网格状不透光薄膜,镀制在芯片背面,网格窗口和芯片正面的光敏元位置严格对应。信号探测时,微孔冷屏和芯片冷却到同样的温度,通过将光敏元所对应的背面相关区域以外部分遮挡掉,只允许窗口内的红外辐射被垂直吸收,

作者简介: 王晨飞(1976-),男,助理研究员,主要从事碲镉汞红外探测器器件工艺研究。E-mail: cfwang@mail.sitp.ac.cn
收稿日期: 2007-06-29

这样就可以最大程度地减少背景通量的视场角,从而达到抑制背景光通量的目的^[4]。因此从本质上讲微孔冷屏就相当于芯片背面罩上了一层有特殊形状的冷屏;同时微孔冷屏也将光敏元的响应面积保证在设计尺寸范围内,避免了光敏元响应面积扩大的问题。

2 实验

背面微孔冷屏的关键在于双面光刻工艺的实现,实现双面对准曝光的基本途径有两种^[5-6]:一是采用长波红外透射,穿透掩模看到底面的图形,然后和掩模版图形进行对准曝光;二是采用抓图记忆功能,给掩模版特定区域图形拍照,用光刻机底部的CCD光源传送芯片的实时图像,然后对芯片的实时图像和掩模记忆图形进行对准,最后在芯片的背面进行曝光。本实验光刻设备采用KarlSuss公司的MA6型光刻机,它的双面光刻原理为第二种,即在光刻时采用芯片正面的实时图形和掩模版的记忆图形进行对准,然后在芯片背面进行曝光。

图1为焦平面探测器微孔冷屏效果模拟图。从图中可以看出,芯片背面未镀制微孔冷屏时,光敏元所接收到的背景通量来自四面八方;微孔冷屏镀制之后,光敏元只能从正对于结区的背面区域接收到背景通量,从而可以大幅度的降低背景通量的干扰。

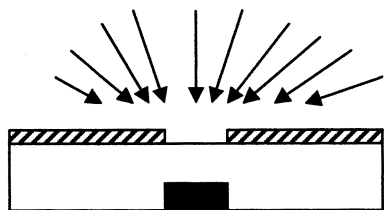


图1 微孔冷屏效果模拟图

实际流片中,选取Cd组分为0.317的HgCdTe P型材料,做成 $N^+ - on - P$ 光伏探测器后,在器件背面衬底上进行双面光刻工艺,掩模版和芯片正面进行对准标记的工艺套刻。光刻后就会在芯片背面形成和器件正面光敏元相对应的掩模区,淀积一层不透光物质,通过对薄膜层厚度的控制,将窗口以外的背景辐射全部挡掉,只在窗口内让目标信息和背景透过,这样微孔冷屏就制成了。在实际工艺中,为了对芯片性能改善前后做一个充分的对比,将芯片背面分成了三等分的区域,分别作三种不同的图形,图2即为图形芯片背面光刻实际效果图片。从左至右依次为A、B、C三个区域,其中A区域芯片背面无薄膜,B区域镀有微孔冷屏,C区域全部覆盖遮光薄膜。这样,在测试时,三个区域将会呈现出不同的性能,通过对比,将可以直观地反映出微孔冷屏抑制背景通量的效果。

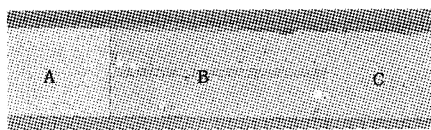


图2 光伏探测器微孔冷屏图

试验从三个方面进行:

(1)首先对芯片进行恒定辐照下信号的 $I - V$ 测试,实验测试仪器采用Keithley仪器公司的Keithley4200,光伏探测器组分 x 为0.317。测试杜瓦为本所研制,采用液氮制冷。

(2)对由这种结构器件制备的焦平面器件进行测试,观察三个区域的背景响应。

(3)进行小光点信号的响应测试,通过对比反映出微孔冷屏抑制光串音,限制光敏元响应面积扩大的效果。

3 实验结果及讨论

3.1 恒定辐照 $I - V$ 测试

在300K恒定辐照下器件的 $I - V$ 测试中,器件A、B、C三个区域将会呈现出三种不同的 $I - V$ 特性:其中A区域由于背面无冷屏,辐射从各个方向进入,辐照通量近似为 180° 视场角,所以背景光电流最大;B区域芯片背面做有微孔冷屏,这样辐照只能从有限的若干光敏元进入,视场角大为减小,所以光电流也会相应降低;C区域背面不透光,所以不会有光电流,测到的电流基本为器件自身暗电流。

实际测试结果如图3所示,图中三角线对应A区域,为 180° FOV辐射通量的光敏元 $I - V$ 曲线;方块线对应B区域,是经过微孔冷屏背景抑制之后的光敏元 $I - V$ 曲线;圆点线对应C区域,为暗视场的情况,电流基本为器件自身暗电流。这里重点比较的是A、B两个区域的曲线,从图中可以看出,两组曲线出现了明显的区别,经过器件背面镀制微孔冷屏之后,恒定辐照下的光电流被减少到了25%左右,抑制背景通量的效果相当明显。

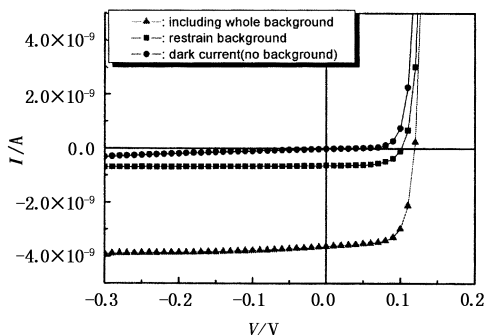


图3 经过微孔冷屏改善的光伏器件 $I - V$ 特性对比

3.2 器件焦平面模式的测试

实验的第二部分是对背面镀制微孔冷屏的焦平面器件进行测试,观察三个区域的背景响应。图4为器件输出电平原始波形图,图中圆点线为焦平

面器件中积分电路的电平 out1, 为固有电平, 而方块线则是经过积分后器件输出的电平 out2。由于焦平面器件只是进行 300K 恒定辐照的测试, 因此输出电平 out2 只包括电路电平 out1 和背景响应, 去除芯片的失效部分后二者的差值就是芯片的背景响应, 如图 5 所示。

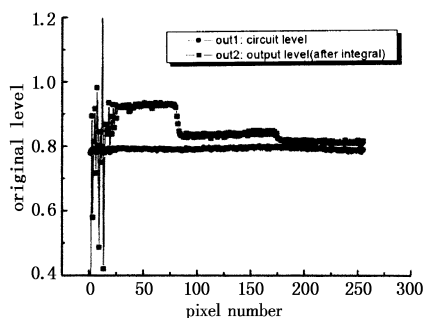


图4 焦平面器件输出电平原始波形

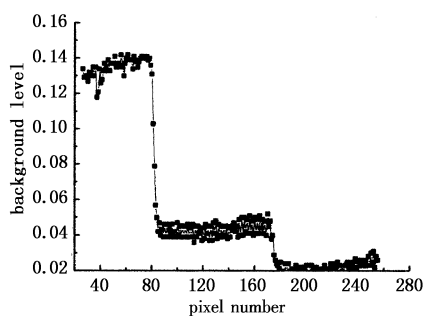


图5 恒定辐照下背景响应

从图 5 中可以看出, 焦平面器件三段区域的背景响应也出现了差异。在相同的积分时间下, 中段 B 区域的背景响应要明显小于左端 A 区域的背景响应, 右端 C 区域基本无响应。说明器件背面经过微孔冷屏改善之后, 背景响应明显降低。背景信号的减少, 可以延长器件的积分时间, 增加其动态范围, 对增加器件信号量非常有利。

3.3 小光点信号测试

图 6 为小光点光响应测试的原理图。小光点测试的原理就是将红外辐射会聚成为一个直径小到和单个光敏元尺寸相似的圆斑, 然后将此圆斑照射到焦平面器件的一个光敏元上。由于载流子的光串音影响, 此光敏元附近相邻的若干光敏元都会有不同程度的响应, 将此光敏元的响应定义为 100%, 周边像元的响应表示为与该元的比值, 即作归一化处理, 就可以得到小光点响应测试对比图。第三个实验中, 在 A 和 B 两个区域中分别作不同背面结构的光敏元作小光点测试, 然后将两个结果绘制在一张图表上, 就可以通过比较得到器件微孔冷屏抑制光敏元响应面积扩大的效果。

图 7 就是对线列焦平面探测器进行小光点测试的归一化柱状图。图中深色柱是器件背面没有镀制微孔冷屏的光响应, 浅色斜线柱则是镀制了微孔冷

屏的光响应。可以看出, 器件背面镀制了微孔冷屏之后, 与被照射像元相邻的光敏元响应明显小了很多, 说明微孔冷屏确实起到了减少串音, 抑制由于横向收集效应而引起的光敏元响应面积扩大的作用。

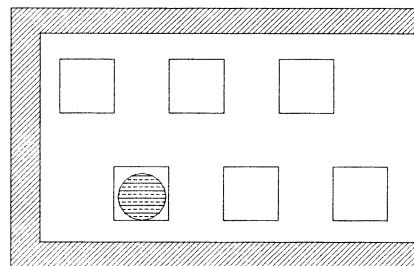


图6 小光点光响应测试原理图

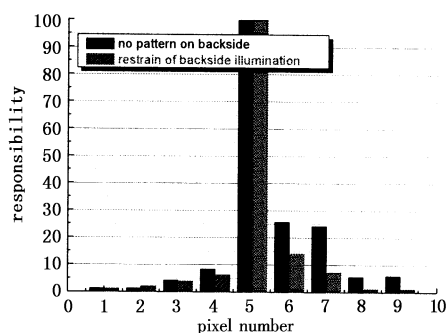


图7 小光点响应测试对比图

4 结 论

本文对采用微孔冷屏的线列焦平面器件的性能进行了研究, 同时对性能改善前后的器件进行了恒定辐照条件下的 $I-V$ 测试、焦平面器件背景响应测试以及小光点信号光响应测试的比较。结果表明, 器件背面镀制微孔冷屏之后, 可以在信号采集时有效地减少背景通量, 并减少光串音, 抑制光敏元响应面积的扩大, 从而证明了背照射式的芯片做微孔冷屏是提升器件性能的有效手段^[7]。

参考文献:

- [1] 汤定元, 童斐明. 窄禁带半导体红外探测器: 半导体器件研究与进展 II [M]. 北京: 科学出版社, 1991: 91 - 94.
- [2] P Norton. HgCdTe infrared detector [J]. OPTO-ELECTRONICS REVIEW, 2002, 10(3): 159 - 174.
- [3] K J Riley. HgCdTe Hybrid Focal Plane Arrays [C] // Proceedings of SPIE, 1980, 225: 2 - 9.
- [4] J P Rosbeck. Background and temperature dependent current-voltage characteristics of HgCdTe photodiodes [J]. J. Appl. Phys, 1982, 53(9): 6430 - 6440.
- [5] 高仰月. 双面曝光对准设备 [J]. 电子工业专用设备, 1994, 23(3): 58 - 62.
- [6] 葛励冲. 国外双面曝光对准曝光机的发展及其应用 [J]. 电子工业专用设备, 1997, 26(4): 4 - 8.
- [7] R Graft. Illumination-dependent dynamic resistance of $Hg_{1-x}Cd_xTe$ hetero-junction photodiodes [J]. J. Appl. Phys, 1993, 74(9): 5705 - 5712.