

64×64 元 InSb 光伏红外探测器 列阵性能表征*

陈伯良¹⁾ 陆蔚²⁾ 王正官¹⁾ 杨华¹⁾ 汪辉²⁾

(¹⁾中国科学院上海技术物理研究所, 上海, 200083

(²⁾上海大学物理系, 上海, 201800)

TN 215-

摘要 用改进的恒压微探针方法, 对 64×64 元 InSb 凝视红外焦平面器件光伏探测器列阵芯片的性能进行了抽样检测和均匀性评价, 测得典型 64×64 元 InSb 芯片的探测器平均零偏阻抗为 42MΩ(90K), 非均匀性为 20%; 平均 1000K 黑体响应率为 2.8A/W, 非均匀性为 6.3%; 电学串音率 < 2%, 讨论了性能异常芯片上存在的局部电学串音现象。

关键词 红外焦平面列阵, InSb, 微探针, 性能表征。

锡化铟 红外探测器

CHARACTERIZATION FOR 64×64 InSb PHOTOVOLTAIC INFRARED DETECTOR ARRAY *

CHEN Bo-Liang¹⁾ LU Wei²⁾ WANG Zhen-Guan¹⁾ YANG Hua¹⁾ WANG Hui²⁾

(¹⁾ Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

(²⁾ Department of Physics, Shanghai University, Shanghai 201800, China)

Abstract Statistical characterization and uniformity evaluation for 64×64 InSb photovoltaic detector arrays prepared for fabrication of staring infrared focal plane array by using modified cryomicroprobing technique were carried out. Typical values of mean detector impedance 42MΩ at 90K and zero bias with nonuniformity 20%, mean responsivity 2.8A/W for 1000K blackbody with nonuniformity 6.3%, and electrical crosstalk rate less than 2% were measured. These performances meet the technical requirements to fabrication of hybrid InSb focal plane arrays. Localized electrical crosstalk detected on some abnormal chips was discussed.

Key words infrared focal plane array, InSb, microprobing, characterization.

引言

红外焦平面列阵器件是兼具红外辐射探测和信号读出及处理能力的新一代红外成像传感器, 用 InSb 材料制成的红外焦平面列阵器件已经在空间对地观测、导弹寻的和精确制导、工业和医用热成像、夜视、森林火情探测监视等军、民用领域得到广泛应用^[1], 这使 InSb 凝视列阵在全世界红外技术领域中的市场份额不断上升^[2], 在空对空成像制导应用中, 64×64 元 InSb 凝视红外焦平面列阵得到了优先考虑^[3]。

64×64 元 InSb 凝视红外焦平面列阵器件一般采用混成背照射结构, 即由 64×64 元 InSb 光伏探测器列阵芯片和 64×64 元 Si-CMOS 读出电路通过钢柱

互连混成, 焦平面列阵器件的最终性能和探测器列阵芯片性能密切相关, 因而在互连混成前, 先要对 InSb 探测器列阵芯片性能进行测试评价, 这既是芯片性能筛选所必需, 又能为优化工艺提供技术依据, 一个 64×64 元 InSb 探测器列阵芯片包含了 4096 个光伏二极管, 现行设计中每个光伏二极管的尺寸为 50×50μm, 要对这样一个像元尺寸小、数量多、密度高的探测器列阵芯片性能作出评价, 以往用于单元和线列阵的测试评价技术显然不适用了, 本文报道采用改进的低温恒压微探针方法对 64×64 元 InSb 光伏探测器列阵芯片上像元阻抗、像元黑体响应率及像元电学串音率等重要参数进行统计抽样检测及均匀性评价的结果, 这些结果为挑选焦平面互连用的探测器列阵芯片

* 国家 863 基金(编号 863-308-16-01)资助项目
稿件收到日期 1999-04-06, 修改稿收到日期 1999-06-09

* The project supported by the National High-Tech Foundation of China(No. 863-308-16-01).
Received 1999-04-06, revised 1999-06-09

提供了有效依据,也揭示了芯片性能尚存在的问题.

1 实验方法

1.1 实验样品

待测样品是不同批号流程中的 64×64 元 InSb 光伏探测器阵列芯片. 探测器阵列是以(111)方向掺砷 n 型 InSb 单晶片(电子浓度为 0.5~1.5×10¹⁵cm⁻³, 电子迁移率≥3.×10⁵cm²V⁻¹s⁻¹)为起始材料,经杂质扩散并刻蚀台面形成 p-on-n 二极管阵列,在表面钝化后,再金属化形成欧姆电极,然后在其上生长钢柱而成. 每一个 P/N 结台面尺寸为 50×50μm,像元中心距为 70μm,钢柱直径为 30μm,钢柱高度≥10μm,排列成 64 行、64 列方阵. 在其周围的环形金属带上也生长了钢柱,作为公共电极,其结构如图 1 所示.

1.2 检测方法

由图 1 可见恒压微探针检测方法,将待测芯片放置在一个用液氮冷却的敞开式平台上,两支针尖锥角为 10°,针尖半径为 7μm 的探针(探针 1、2)分别触落到 p 型台面和 n 型公共电极的钢柱上. 落到钢柱上的探针的压力可以在 2g 以下微调,并且在对整个芯片检测过程中保持恒定. 以保证既获得良好的电接触,又不致戳破钢柱而使得该二极管损坏. 探测器零偏电阻值由 HP 4284A LCR 仪读出. 在 1000K 黑体 800Hz 调制功率源辐照下的响应电流经 EG&G M181 低阻抗电流-电压转换器放大后,由 EG&G M 124A 锁相放大器读出. 将探针 1 放置到芯片上任意一个像元的钢柱上,可测得该像元的性能数据.

进行芯片上像元间电学串音测量时,关闭调制黑体源,在像元 D_{m,n}上通过探针 P3 注入一个 800Hz、1mV 的电压信号,在像元 D_{m+1,n+1}上通过探针 P1 取出

感应的电压信号. 则可得到像元 D_{m-1,n-1}和 D_{m,n}之间的电学串音率.

2 结果和讨论

由于 InSb 单晶材料中电活性杂质和缺陷分布的非均匀性及器件工艺质量控制水平等因素的制约, InSb 探测器阵列上诸多像元的性能存在一定程度的差异,即存在非均匀性. 这是焦平面器件研制者和用户最关心的问题之一. 64×64 元 InSb 探测器阵列包含 4096 个像元,对所有像元全部测量再进行均匀性分析,在时间和人工上是不可取的;只抽取少量像元测量则缺乏代表性,难以作出均匀性评价;我们的做法是在一个 64×64 元芯片上抽取一个间距为 6 个像元的 11×11 元阵列进行检测,这样既避免了大量烦琐的重复测量工作,又能从总体上反映芯片的性能水平. 由于样本数已相当多,某些局部的较显著的非均匀性也能得到揭露.

一般,对抽取到的 121 个像元,先检测其 I-V 特性曲线、探测器零偏电阻 R₀ 和黑体响应信号 V₀,并对这些数据进行统计分析和均匀性评价. 在计算响应率时,探测器面积是按照其实际受辐照面积考虑的,即已扣除了钢柱和探针本身对入射辐射的遮挡. 对于零偏电阻和响应信号有异常的芯片,再进行电学串音率 C₁ 的检测.

2.1 探测器阵列性能

图 2 是一个典型 InSb 探测器阵列芯片对 1000K 黑体响应率的二维分布. X、Y 坐标轴上的读数代表像元在芯片上的位置. 图 3 是该芯片响应率分布的统计直方图. 该芯片平均响应率为 2.8A/W. 这一数值相当于量子效率达到 85%. 统计给出的响应率标准偏差为

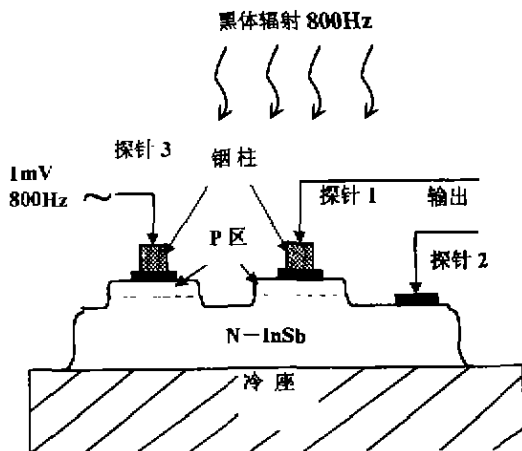


图 1 恒压微探针检测 InSb 探测器阵列芯片示意图
Fig. 1 Schematic of cryo-microprobing for InSb detector array

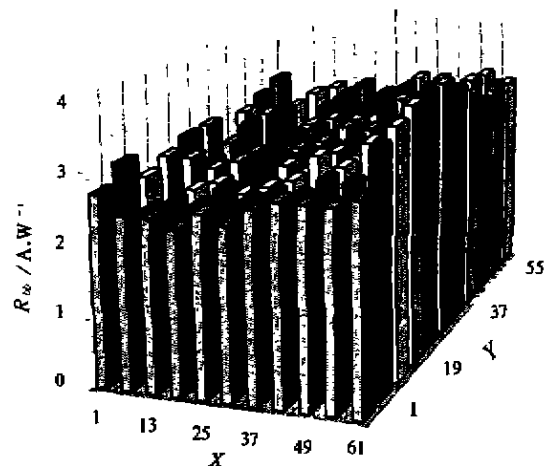


图 2 InSb 64×64 元探测器阵列响应率分布
Fig. 2 Responsivity profile of normal 64×64 InSb detector array

0.18A/W,非均匀性(1σ)为 6.3%。从红外焦平面器件的使用要求来看,响应率均匀性是一个十分重要的指标。在某些应用中,例如红外成像寻的制导系统中,凝视型焦平面器件校正后残存响应率非均匀性可能成为限制系统作用距离的主要因素^[4]。在现阶段应用中,要求 64 × 64 元 InSb 焦平面器件的校正前响应率非均匀性 < 18%。InSb 红外焦平面器件响应率非均匀性由芯片、读出电路和减薄工艺的非均匀性等因素引起。总体设计中分配给 InSb 探测器列阵芯片的非均匀性限额为 12%。目前达到的非均匀性 6.3% 已经满足现阶段整机应用的要求。

图 4 是 InSb 列阵芯片 A9810-7 上探测器零偏电阻的统计直方图,给出平均零偏阻抗 42MΩ,非均匀性 $\sigma/M \sim 20\%$ 。从探测器阻抗的均匀性来看,已经优于 Parrish^[4]等报道的结果。从阻抗的数值来看,上述冷探针测量的数据要比实际的阻抗低很多。这是因为我们的测量系统是敞开式的,背景大,加之探测器实际温度大约只达到 90K。我们将探测器放在 60°视场角的液氮致冷杜瓦瓶中,测得了较准确的器件阻抗。50 × 50μm 的 P/N 结阻抗多在 60~100MΩ。这样高的二极管阻抗和 Si 读出电路能较好耦合,互连后具有较高的电荷注入效率^[7]。

对这一类芯片(平均探测器零偏阻抗值高,平均响应率高且均匀性好),像元间串音率的测量值一般小于 2%,这是我们测试系统的检测极限。这样的探测器列阵芯片性能优异,用于和硅 CMOS 读出电路互连后,

得到的焦平面器件有较高的灵敏度,较好的响应均匀性,凝视热成像的效果良好。

2.2 局部电学串音

图 5 是 InSb 64 × 64 元探测器列阵 A962-a6 的响应率分布。该芯片平均响应率为 3.9A/W。从总体上看,分布还比较均匀,其响应率的相对标准偏差为 35%。但在抽测的 121 个像元中,有几个像元响应率异常的高,例如像元(25,31)的响应率达 13A/W、像元(61,13)的响应率达 10A/W,明显高于其周围的像元,且大大超过理论极限值。与其相应,这些像元具有特别低的零偏阻抗值,如像元(25,31)的 R_0 为 3.8KΩ,像元(61,13)的 R_0 为 2.7KΩ,比之整个芯片的平均 R_0 17MΩ,相差几乎 4 个数量级。异常高的电流响应率和异常低的阻抗提示这些像元和其周围的像元可能在电学上串通,即存在电学串音。

图 6 是对像元(25,31)和其周围像元间电学串音率的测量结果。图 6 中显示了像元(25,31)沿上、下、左、右和右上五个方向上间隔 1—5 个像元的电学串音率的测试数据。图中横轴 S 表示间隔像元数,纵轴 Ct 表示串音率。由图 6 可见,在左、右两个方向上,电学串音率从紧邻像元的 $\geq 40\%$,渐次减小到间隔 5 个像元后小于 2%。在上、下两个方向上相邻像元的串音率为 20%,渐次减小到间隔 5 个像元后小于 2%。在这个范围之外,在响应率和阻抗值正常的那些探测器像元之间,串音率的检测结果是小于 2%,即我们仪器的检测

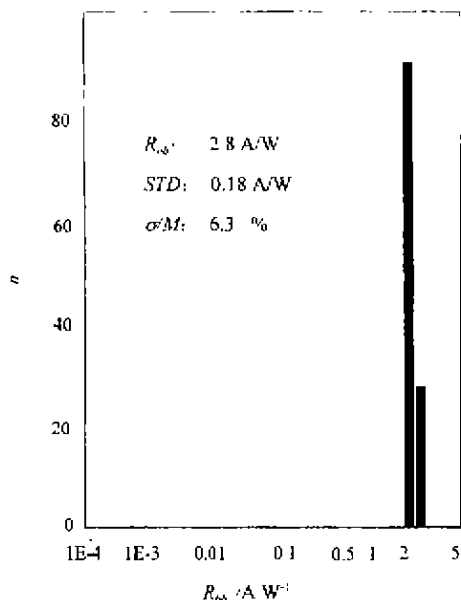


图 3 64 × 64 元 InSb 响应率统计直方图
Fig. 3 Responsivity histogram for 64 × 64 InSb detector array

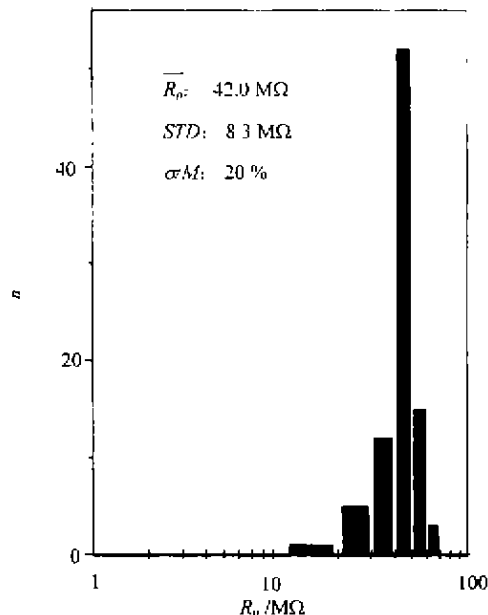


图 4 64 × 64 元 InSb 二极管 R_0 统计直方图
Fig. 4 Histogram of R_0 for 64 × 64 InSb diode array

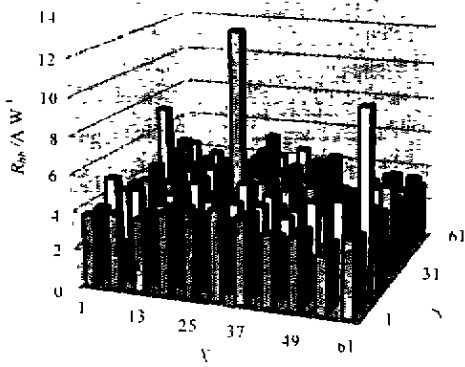


图 5 局部异常的 64×64 元 InSb 芯片响应率分布
 Fig. 5 Responsivity profile for 64×64 InSb array with several unusually responsive pixels

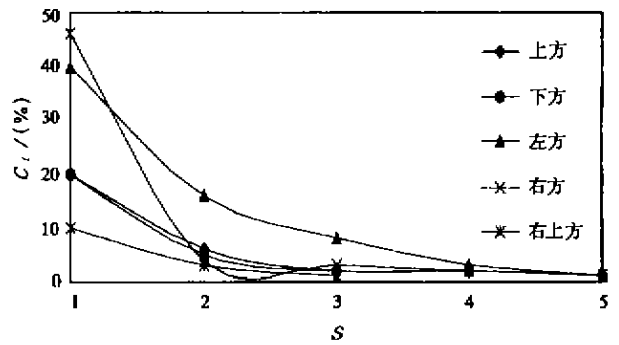


图 6 芯片 A962-a6 中像元(25,31)和其周围各个方向上像元间的串音率
 Fig. 6 Crosstalk rate between pixel(25,31) and its neighbors along different directions for InSb array A962-a6

极限. 在这个例子中, 串音存在于芯片上某个或几个局部的区域, 其范围往往为几个或几十个像元. 我们称这样的串音区域为“串音岛”. 在已经互连、减薄而制成的 InSb 焦平面器件的热成像演示过程中, 也遇到过这种存在若干个“串音岛”的情况. 用冷探针法在 InSb 64×64 元二极管阵列芯片上检测到“串音岛”这一事实, 可以合理地解释焦平面热像图上“串音岛”的存在. 对于芯片上“串音岛”的成因, 目前还不能下十分肯定的结论, 一种非常可能的情况是, 像元和像元之间的扩散层材料未腐蚀干净, 残存的弱 P 型沟道造成相邻的 P 型台面有某种程度的连通, 这样会引起像元结电阻的下降和电流响应率的表现增大. 这种情况可能由工艺因素引起, 也可能由起始材料的不均匀引起, “串音岛”的真正成因还有待更深入的研究.

3 结语

用恒压低温微探针方法对 64×64 元 InSb 光伏探

测器阵列芯片进行抽样检测和均匀性评价, 获得了探测器阻抗和黑体响应率的统计直方图、二维分布图及典型像元串音率分布图. 所得到的大量数据, 对正确评价芯片性能的现状及存在的问题, 对挑选焦平面互连用的芯片, 提供了有效依据.

REFERENCES

[1] Treado P, Levin I, Lewis E. Indium antimonide focal plane array for near-infrared imaging microscopy, *Applied Spectroscopy*, 1994, **48**(5): 607
 [2] Amingual D, Bertrand F. Second generation infrared detectors: present situation and prospects in France, *Proc. SPIE*, 1996, **2894**: 95
 [3] Naveh O. Sensitivity of scanning and staring infrared seekers for air-to-air missiles, *Proc. SPIE*, 1997, **3061**: 692
 [4] Parrish W, Blackwell J, Paulson R, et al. 128×128 MWIR InSb focal plane and camera system, *Proc. SPIE*, 1991, **1512**: 68
 [5] Bluzer N, Jensen A. Current readout of infrared detectors, *Optical Engineering*, 1987, **26**(3): 241