

文章编号: 1001-9014(2005)04-0273-04

Hg_{1-x}Cd_xTe 长波光伏探测器的低频噪声研究

孙涛, 梁晋穗, 陈兴国, 胡晓宁, 李言谨

(中国科学院上海技术物理所 功能材料器件中心, 上海, 200083)

摘要:在同一 Hg_{1-x}Cd_xTe 晶片上($x=0.217$)制备了单层 ZnS 钝化和双层(CdTe + ZnS)钝化的两种器件,对器件的低频噪声和暗电流进行了测试.发现单层钝化的器件在反偏较高时具有较高的低频噪声,在对器件的暗电流拟合计算中发现,单层钝化的器件具有较大的表面隧道电流,而这正是单层钝化器件具有较高低频噪声的原因.并通过高分辨 X 射线衍射中的倒易点阵技术 RSM(reciprocal space mapping)研究了两种钝化对 HgCdTe 外延层晶格完整性的影响,发现单层 ZnS 钝化的 HgCdTe 外延层产生了大量缺陷,而这些缺陷正是单层钝化器件具有较高的低频噪声和表面隧道电流的原因.

关键词: HgCdTe; 光伏探测器; 钝化; 倒易点阵; 暗电流

中图分类号: TN304.2 **文献标识码:** A

LOW-FREQUENCY NOISE OF Hg_{1-x}Cd_xTe LONG-WAVE PHOTOVOLTAIC DETECTOR

SUN Tao, LIANG Jin-Sui, CHEN Xing-Guo, HU Xiao-Ning, LI Yan-Jin

(Research Center for Advanced Materials and Devices, Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

Abstract: The Hg_{1-x}Cd_xTe photovoltaic detectors with $x=0.217$ passivated by single ZnS layer and dual (CdTe + ZnS) layers were fabricated in the same wafer. The fabricated devices were characterized by measurements of the diode low-frequency noise. The diode passivated by dual (CdTe + ZnS) layers show higher performance compared to diode passivated by the single ZnS layer at high reverse bias, and the modeling of diode dark current mechanisms indicate that the performance of the diode passivated by single ZnS is strongly affected by tunneling current related to the surface defects, which is responsible for the low frequency noise characteristics. By the analysis of X-ray reciprocal space map, it was found that the Q_y direction broadening of HgCdTe epitaxial layer passivated by ZnS was wider than the CdTe + ZnS, which confirmed the existence of defects in the surface of HgCdTe epitaxial layer passivated by ZnS.

Key words: HgCdTe; photovoltaic detector; passivation; reciprocal space map; dark current

引言

HgCdTe 光伏探测器潜在缺陷的存在会引入过剩低频噪声,而这种噪声成为限制与 Si 读出电路耦合的红外焦平面性能的瓶颈.近期研究表明,长波光伏探测器的表面状态是影响低频噪声的关键因素,需采用合理的钝化工艺来改善器件的表面状态^[1-4].在常规工艺中,一般采取沉积 ZnS 和 CdTe 钝化探测器,而最近 CdTe + ZnS 双层钝化的器件因其具有较佳的可靠性而得到了广泛的应用^[5,6].

本文在同一长波 Hg_{1-x}Cd_xTe 晶片上($x =$

0.217)制备了单层 ZnS 钝化和双层(CdTe + ZnS)钝化的两种器件,对器件的低频噪声和暗电流进行了测试,发现单层钝化的器件在反偏较大的时候具有较高的低频噪声,在对器件的暗电流拟合计算中发现,单层钝化的器件具有较大的表面隧道电流,而这正是单层钝化器件具有较高的低频噪声的原因,并通过高分辨 X 射线衍射的倒易点阵技术 RSM(reciprocal space map)^[9-11]研究了单双层钝化对 HgCdTe 外延层晶格完整性的影响,发现单层 ZnS 钝化的 HgCdTe 外延层产生了大量缺陷,而这些缺陷正是单层钝化器件具有较高的低频噪声和表面隧道

收稿日期: 2004-05-28, 修回日期: 2004-09-07

基金项目: 国防预研基金资助项目(42201.03.01.02)

作者简介: 孙涛(1976-),男,贵州贵阳人,博士研究生,研究方向为 HgCdTe 红外焦平面器件.

Received date: 2004-05-28, revised date: 2004-09-07

电流的原因.

1 实验方法

1.1 钝化膜制备

单层 ZnS 膜用热蒸发在 HgCdTe 外延层沉积, 厚度为 270nm, 双层 CdTe + ZnS 膜先用溅射方法在 HgCdTe 外延层沉积 100nm CdTe, 然后再用热蒸发的方法在上面沉积 270nm 的 ZnS^[12].

1.2 器件结构

器件结构选用 n-on-p 平面结器件, 材料选用 P 型 MBE 外延的长波 Hg_{1-x}Cd_xTe 材料^[13], 组分为 0.217, 汞空位掺杂, N_A 为 1.36 × 10¹⁶ cm⁻³, 经过 B⁺ 注入形成 n 区成结, 然后将材料分割成两片, 一片用单层 ZnS 钝化, 另一片用双层 (CdTe + ZnS) 钝化, 开电极孔时候结合干湿法腐蚀去除钝化层. 实际选用的器件为 256x1 线列, 单个光敏元面积为 2.5 × 10⁻⁵ cm².

1.3 器件性能测试系统

2 个器件倒焊封装在同一杜瓦中冷却到 77K 进行低频噪声测试, 其测试系统如图 1 所示.

电流电压测试系统用 Keithley 236.

1.4 倒易点阵技术

利用 Philips 公司生产的 Xpert-MRD (PW3120/60) 高分辨率 X 射线衍射仪对样品制备前后的 HgCdTe 外延层进行分析, 其衍射晶面为 (333), 为对称衍射. 衍射仪所用的单色器为 Ge (220) 四晶准直单色器, 其 Δλ/λ 为 5 × 10⁻⁵. 倒易空间作图术采用对每一 0.0005° Δω 步长采取一次 ω-2θ 联动扫描, 结晶学方向为 (111) (垂直样品表面), 步长为 0.0005°, ω 方向平行于样品表面, 其结晶学方向为 (1, -1, 0).

2 实验数据与分析

图 2 为不同反向偏压下 8Hz 的低频噪声电流, 从图中可以看出, 在偏压小于 200mV 时, 2 种钝化器件的低频噪声电流相差不大, 而当偏压大于 200mV 时, 单层钝化器件的低频噪声电流迅速增加, 而双层钝化器件增加不大.

图 3 和图 4 为单双层钝化器件暗电流分析^[14],

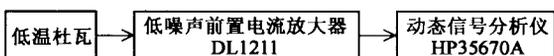


图 1 低频噪声测试系统图
Fig.1 Schematic diagram of noise measurement

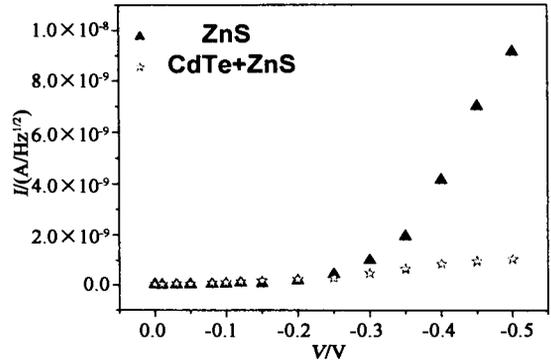


图 2 不同偏压下的低频噪声电流
Fig.2 Noise current at different reverse bias

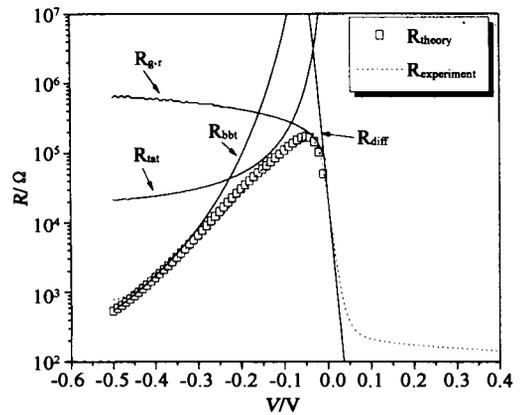


图 3 ZnS 钝化器件的 R-V 拟合图
Fig.3 Measured and calculated R-V characteristics of diode passivated by ZnS

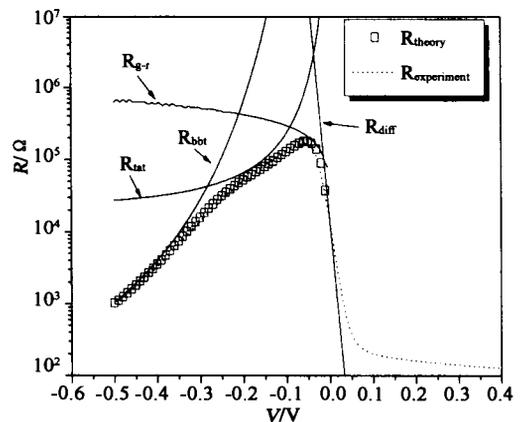


图 4 CdTe + ZnS 钝化器的 R-V 拟合图
Fig.4 Measured and calculated R-V characteristics of diode passivated by CdTe + ZnS

电流机制考虑了扩散电流模型 (diff)^[7]、产生-复合电流模型 (g-r)^[7]、间接隧道电流模型 (tat)^[8]、直接

隧道电流模型 (bbt)^[3]. 从拟合的结果可以看出, 2 种器件的扩散电流 (diff)、产生-复合电流 (g-r) 和间接隧道电流 (tat) 相差无几, 但单层钝化器件却有较大的直接隧道电流 (bbt), 由于 2 种器件的成结工艺和材料完全相同, 说明结区的直接隧道电流相差不大, 只可能是两者的表面隧道电流不同, 而这正是单层钝化器件在反偏较大时具有较大低频噪声电流的原因. 这个现象也说明小偏压下的器件性能主要受制于体暗电流, 而在大偏压的时候, 器件的表面隧道电流起主要作用. 图 5 为反向偏压下的暗电流图, 从图中可看出, 单层钝化器件由于表面原因具有较大的直接隧道电流, 而两种器件的直接隧道电流趋势同图 2 的低频噪声电流完全相同. 在 $HgCdTe$ 长波光伏探测器中, 隧道电流能直接影响其暗电流和低频噪声的大小, 其中表面和体内的隧道电流均能产生低频噪声, 而表面状态决定哪种隧道电流起主要作用. 在小偏压的时候, 两种器件的低频噪声主要由体内的隧道电流决定, 而在大偏压的时候, 低频噪声主要由表面漏电流决定. 对于长波的 $HgCdTe$ 光伏探测器而言, 由于其禁带宽度很窄其性能常常受限于表面漏状态, 而其表面状态直接由钝化工艺所决定, 所以如何获得低损伤、低应力的钝化膜成为长波器件中的关键, 因此对钝化前后 $HgCdTe$ 晶体完整性的评价十分重要, 在对晶体完整性评价中, X 射线衍射法是应用最广泛、最成熟的方法, 另外在本文研究中, 我们通过高分辨 X 衍射仪中的倒易点阵技术 RSM 对不同工艺钝化前后的 $HgCdTe$ 实验片进行了分析, 发现两者存在较大差异, 而这种差异正是单层钝化器件具有较高低频噪声电流和表面隧道电流的

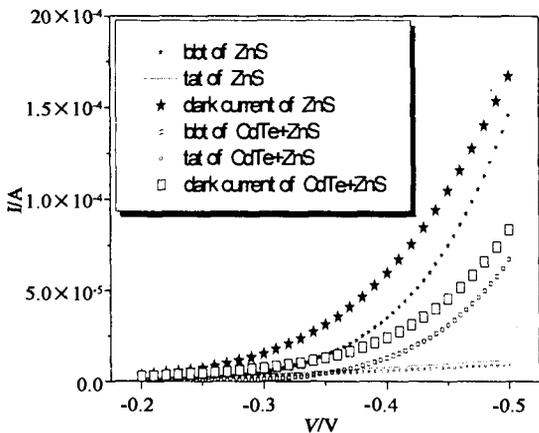


图 5 反向偏压下不同钝化器件的暗电流图
Fig. 5 The dark currents of different devices at different reverse bias

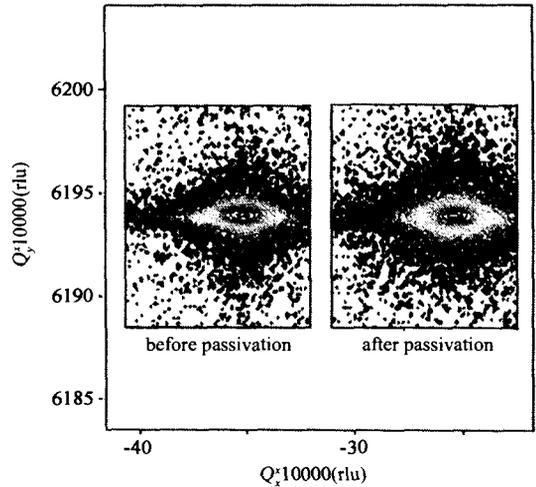


图 6 ZnS 单层钝化 $HgCdTe$ 前后的 RSM 图谱
Fig. 6 The RSM of $HgCdTe$ before and after passivation by ZnS

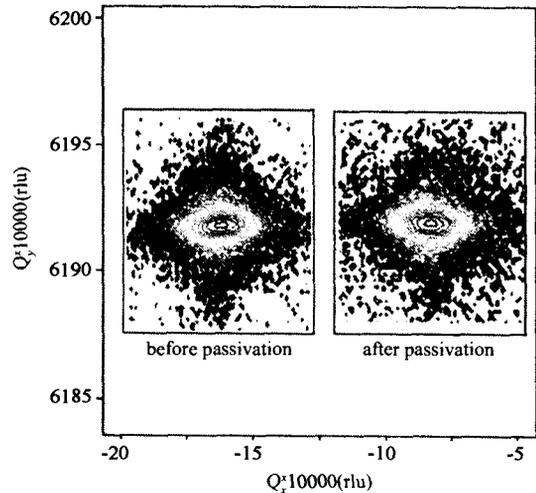


图 7 $CdTe + ZnS$ 双层钝化 $HgCdTe$ 前后的 RSM 图谱
Fig. 6 The RSM of $HgCdTe$ before and after passivation by $CdTe + ZnS$

原因.

图 6 是 ZnS 单层钝化 $HgCdTe$ 前后的倒易空间图, 从图中看出, 钝化后衍射圆在 Q_y 方向出现轻微展宽, 说明钝化后在 $HgCdTe$ 表面出现缺陷, 而这种缺陷正是单层钝化器件表面隧道电流和低频噪声电流较大的原因.

图 7 是 $CdTe + ZnS$ 双层钝化 $HgCdTe$ 前后的倒易空间图, 从图中可看出钝化后衍射圆对称完整, 较钝化前没有出现明显展宽, 说明 $HgCdTe$ 保持较高的晶体完整性, 能大大降低表面隧道电流和低频噪声电流. 从侧面也说明合理的钝化工艺也是提高器件性能的关键.

3 结语

本文在同一长波 HgCdTe 晶片上制备了单层 ZnS 钝化的双层 (CdTe + ZnS) 钝化的 2 种器件,对器件的低频噪声和暗电流进行了测试,发现单层钝化的器件在反偏较大的时候具有较高的低频噪声。在对器件的暗电流拟合计算中发现,单层钝化的器件具有较大的表面隧道电流,而这正是单层钝化器件具有较高低频噪声的原因,并通过高分辨 X 射线衍射中的倒易点阵技术 RSM 研究了 2 种钝化对 HgCdTe 外延层晶格完整性的影响,发现单层 ZnS 钝化的 HgCdTe 外延层产生了大量缺陷,而这些缺陷正是单层钝化器件具有较高的低频噪声和表面隧道电流的原因。

REFERENCES

- [1] Bae S H, Lee S J, Kim Y H, *et al.* Analysis of $1/f$ noise in LWIR HgCdTe photodiodes [J]. *J. Electron. Mater.*, 2000, **29**(6):877—881.
- [2] Virt I S, Obermayr W, Bilyk M, *et al.* Noise properties of linear defects in $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ [J]. *J. Electron. Mater.*, 2002, **32**(8):831—833.
- [3] Nemirovsky Y, Unikovsky A. Tunneling and $1/f$ noise in HgCdTe photodiodes [J]. *J. Vac. Sci. Technol. B.*, 1992, **10**(40):1602—1610.
- [4] Wijewarnasuriya P S, Zandian M, Yong D B, *et al.* Microscopic defects on MBE grown LWIR $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ material and their impact on device performance [J]. *J. Electron. Mater.*, 1999, **28**(6):649—654.
- [5] White J K, Antoszewski J, Pal R, *et al.* Passivation effect on reactive-ion-etch-formed n-on-p junctions in HgCdTe [J]. *J. Electron. Mater.*, 2002, **31**(7):743—748.
- [6] Sang Wenbin, Ju Jianhua, Shi Weiming, *et al.* Comparison of physical passivation of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ [J]. *J. Crystal Growth*, 2000, **214/215**:265—268.
- [7] Gopal Vishnu, Gupta Sudha, Bhan R K, *et al.* Modeling of dark characteristics of mercury cadmium telluride n⁺-p junctions [J]. *Infrared Physics & Technology*, 2003, **44**:143—152.
- [8] Rais M H, Musca C A, Antoszewski J, *et al.* Characterisation of dark current in novel $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ mid-wavelength infrared photovoltaic detectors based on n-on-p junction formed by plasma-induced type conversion [J]. *J. Crystal Growth*, 2000, **214/215**:1106—1110.
- [9] Fewster P F. *X-ray Scattering from Semiconductors* [M]. London:Imperial College Press, 2000:243—276.
- [10] Atsushi Shimizu, Jun-ichi Nishizawa, Yutaka Oyama, *et al.* Dislocation densities in InP single crystals grown under controlled phosphorous vapor pressure by the horizontal Bridgman method [J]. *J. Crystal Growth*, 2000, **209**:21—26.
- [11] Manabe T, Fjuimoto T, Yamaguchi I, *et al.* Effects of substrate materials and annealing temperature on crystal structure and epitaxy of $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{MnO}_3$ films via dipping-pyrolysis process [J]. *Thin Solid Films*, 1998, **323**:99—104.
- [12] SUN Tao, LI Yan-Jin, WANG Qing-Xue, *et al.* Study on the passivation of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ photovoltaic detectors [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (孙涛,李言谨,王庆学,等. $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ 光伏探测器的钝化研究. *红外与毫米波学报*), 2004, **23**(6):469—472.
- [13] FANG Wei-Zheng, WANG Yuan-Zhang, WU Yan, *et al.* Strain and relaxation of MBE-HgCdTe films [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (方维政,王元樟,巫艳,等. HgCdTe 分子束外延薄膜的应变弛豫. *红外与毫米波学报*), 2004, **23**(5):325—328.
- [14] YE Zhen-Hua, HU Xiao-Ning, ZHANG Hai-Yan, *et al.* Study of dark current for mercury cadmium HgCdTe long-wavelength photodiode detector with different structures [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (叶振华,胡晓宁,张海燕,等. 不同结构的碲镉汞长波光伏探测器的暗电流研究. *红外与毫米波学报*), 2004, **23**(2):86—90.