

碲镉汞红外焦平面器件表面复合膜层钝化技术

韩福忠, 耿松, 史琪, 袁授章, 杨伟声, 蒋俊, 汤金春

(昆明物理研究所, 云南昆明 650223)

摘要: 碲镉汞($Hg_{1-x}Cd_xTe$)红外器件的制备过程中, 表面钝化工艺对于器件性能具有很大影响。通过实验, 研究了溅射功率、靶基距、基片摆动角度等工艺参数对碲镉汞衬底上制备的CdTe/ZnS复合钝化膜层质量的影响。实验结果表明, 当CdTe与ZnS溅射靶功率分布为140W与350W, 靶基距为40cm, 基片摆动角度为 $\pm 30^\circ$ 时, 中心2英寸区域膜层非均匀性达到 $\pm 3\%$ 以内, 同时钝化膜层表面粗糙度与附着能力获得了较大改善。

关键词: 碲镉汞; 红外探测器; 表面钝化; 膜层非均匀性

中图分类号: TN215 文献标识码: A 文章编号: 1001-8891(2015)10-0864-04

Passivation Technology of Composite Film on the HgCdTe IRFPA

HAN Fu-zhong, GENG Song, Shi Qi, YUAN Shou-zhang, YANG Wei-sheng, JIANG Jun, TANG Jin-chun
(Kunming Institute of Physics, Kunming 650223, China)

Abstract: In the fabrication of the MCT infrared detectors, the HgCdTe passivation process has a profound effect on its performance parameters. In this paper, lots of influencing factors were studied experimentally, such as the sputtering power, distance between target and substrate, movement of substrate, to improve the quality of CdTe/ZnS composite passivation film on the MCT substrate. The results indicated that the film thickness uniformity was better than within $\pm 3\%$ in the center of 2 inch area when the sputtering power of CdTe and ZnS were 140W and 350W, the target spacing was 40cm and the swing angle of the substrate was $\pm 30^\circ$, meanwhile, the surface roughness and adhesion ability of the passivation film were improved.

Key words: HgCdTe, infrared detectors, surface passivation, film uniformity

0 引言

碲镉汞($Hg_{1-x}Cd_xTe$)材料具有带隙可调、光学吸收系数大、载流子寿命长、电子迁移率高、工作温度高等特点, 其卓越的性能使碲镉汞成为制造红外焦平面器件一种非常重要的材料, 多年来一直是制备红外探测器的首选^[1-3]。随着红外探测器性能需求的不断提高, 尤其是先进焦平面探测器的迅猛发展, 研发具有大面阵、低成本、低噪声、高探测灵敏度等特性的高性能红外成像探测器是红外技术发展的主要目标, 这对碲镉汞探测器的工艺制备提出了更高的要求。

在碲镉汞红外器件的制备过程中, 表面钝化工艺对于器件的性能具有很大影响。钝化膜层的厚度均匀性对光刻、离子注入、干法刻蚀、倒装互连等后续器件工艺有着重要影响, 尤其是随着芯片尺寸的增大, 膜层均匀性的重要性更为显著, 当均匀性较差时将直

接导致红外器件的非均匀性、成品率等指标均不理想, 制造成本居高不下; 钝化膜层表面粗糙度与附着能力也是衡量钝化膜层优劣的关键因素, 良好的钝化膜层可以有效的减小器件表面损伤、减小器件表面的界面态、降低器件表面漏电流、降低器件表面复合速度和 $1/f$ 噪声并提高探测器动态电阻和反向击穿电压, 提升探测器芯片性能, 从而提高器件成品率^[4]。

针对碲镉汞红外器件的表面钝化工艺, 人们已经提出过多种钝化膜结构, 目前, CdTe/ZnS复合钝化膜因较好的钝化效果和可靠性而得到了广泛应用, 是当今碲镉汞表面钝化的主流膜系^[5]。本文通过一系列工艺优化手段, 优化了碲镉汞复合钝化膜工艺技术, 降低了膜层表面粗糙度并提高了膜层附着能力与厚度均匀性, 获得了重复性与一致性更加优异的钝化膜层制备工艺。

收稿日期: 2015-08-17; 修订日期: 2015-09-17。

作者简介: 韩福忠(1969-), 男, 研究员, 主要研究方向为红外焦平面探测器。

基金项目: 国防基础科研项目。

1 实验方案

1.1 表面钝化技术

钝化膜层的工艺制备方法较多, 有化学气相沉积、分子束外延法、喷雾热解法、电子束蒸发、化学浴沉积法、磁控溅射法、真空蒸发法、脉冲激光沉积等^[6], 其中, 磁控溅射钝化膜沉积技术利用磁场控制辉光放电等离子体轰击靶材表面, 使靶材粒子沉积到基片表面, 由于此过程中溅射出的粒子能量较高, 所获得的钝化膜具有致密度高、沉积速度快、附着能力强等特点^[7], 本文采用磁控溅射法制备 CdTe/ZnS 复合钝化膜层, 并研究溅射功率、工作气压、靶基距、摆动角度等参数对薄膜性能的影响, 进而优化复合钝化膜层工艺。实验使用的磁控溅射系统靶材直径为 4 英寸, 样品盘直径为 3 英寸, 配备的射频电源功率为 0~500 W 可调, 系统极限真空 10^{-5} Pa, 所用氩气纯度为 99.999%。

1.2 钝化膜层均匀性测量方法

本文使用 Tencor 公司生产的 P-15 型台阶仪测量钝化膜层厚度。由于碲镉汞衬底表面具有一定的起伏, 台阶仪无法直接测量器件表面的钝化膜层厚度, 在实验研究中, 需要在衬底上通过掩膜预留一定数量的测量点, 再在衬底上沉积钝化膜, 腐蚀掉掩膜后形成台阶, 即可通过台阶仪测量台阶高度获得膜层厚度信息, 并根据沉积时间计算沉积速率。膜层厚度测量点位置布置见图 1。钝化膜层的非均匀性 U_n 可通过如下公式计算获得:

$$U_n = \pm (d_{\max} - d_{\min}) / (2d_{\text{average}}) \quad (1)$$

式中: d 为膜层厚度; d_{\max} 、 d_{\min} 与 d_{average} 分别是膜层厚度的最大值、最小值与平均值。

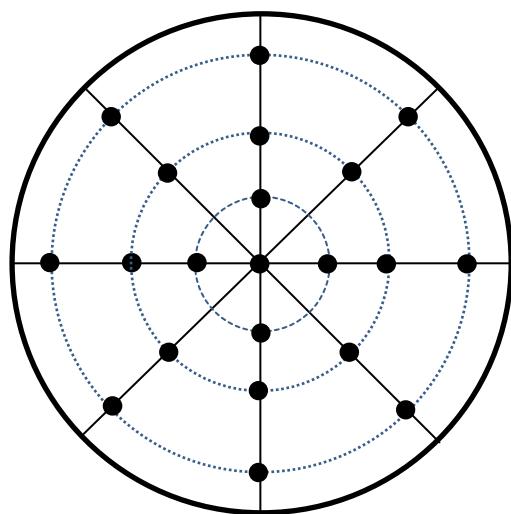


图 1 样品测试点分布图

Fig.1 Distribution of the measurement point on the sample

2 实验内容与结果

2.1 溅射功率

溅射功率是钝化膜层生长过程中一个非常重要的参数。溅射功率的大小能够控制辉光放电区域、溅射粒子能量、溅射产额与膜层附着力等参数, 这些因素决定了带电粒子对器件表面所产生的轰击作用, 是碲镉汞器件钝化膜层制备过程中器件损伤的主要来源, 钝化膜层工艺的优劣与溅射功率的大小是密不可分的。对于复合膜层来说, 由于 CdTe 与 ZnS 靶材性质的不同, 需要不同的溅射功率制备两种钝化膜层, 从而获得性能优异的 CdTe/ZnS 复合钝化膜层。在实验中, 维持气流、温度、靶基距等其它工艺参数不变, 改变 CdTe 与 ZnS 膜层溅射功率, 可得到相应膜层的溅射功率与沉积速率关系, 见表 1。

表 1 CdTe 与 ZnS 膜层溅射功率与沉积速率关系表

Table 1 Relationship between sputtering power and deposition rate of the CdTe and ZnS films

| CdTe 功率/W | 沉积速率/(Å/s) | ZnS 功率/W | 沉积速率/(Å/s) |
|-----------|------------|----------|------------|
| 80 | 1.8 | 200 | 1.9 |
| 100 | 2.1 | 250 | 2.3 |
| 120 | 2.7 | 300 | 3.1 |
| 140 | 3.7 | 350 | 4.2 |
| 160 | 5 | 400 | 5.5 |
| 180 | 6.3 | 450 | 7.2 |

从表中可以看出, CdTe 与 ZnS 膜层的沉积速率都随溅射功率的升高而增大, 且沉积速率比溅射功率提高更快, 这说明在功率较大条件下, 靶材的溅射蒸发现效率更高, 能够获得更加理想的沉积速率, 这里选取 140 W 与 350 W 作为 CdTe 与 ZnS 的靶的溅射功率参数。

2.2 靶基距的优化

靶材与基片之间的距离称为靶基距, 它影响到基片表面接收溅射原子的空间角与效率, 在靶面粒子向基片输送的过程中, 能够改变被溅射的原子与工作气体分子的碰撞几率与散射效果。靶基距的调整将意味着溅射粒子路径的变化, 对沉积粒子的能量与分布起到一定的调整作用, 从而影响到钝化膜层的均匀性、致密度与器件损伤大小。图 2 给出了溅射功率、气流等参数不变而靶基距改变情况下, 钝化膜层沉积速率与 3 寸样品膜层厚度非均匀性变化关系曲线。

从图 2 中可以发现, 随着靶基距的增大, 沉积速率逐渐下降, 同时膜层厚度非均匀性也随着变小, 即

所制备的膜层更加均匀性。同时可看出,当靶基距增大到40 cm以上时,钝化膜非均匀性变化不大,但沉积速率快速下降,考虑到沉积速率与工艺时间的限制,选择40 cm作为新工艺的靶基距参数。

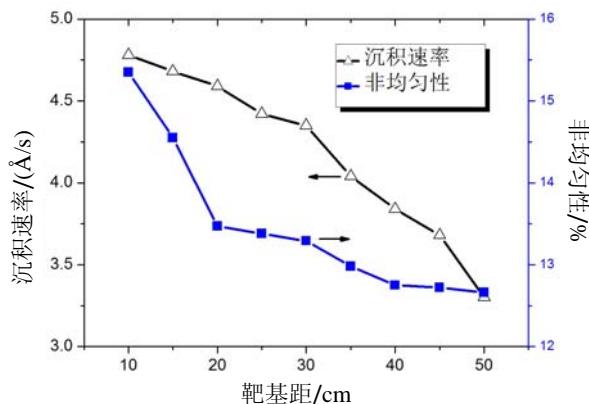


图2 不同靶基距下钝化膜沉积速率与非均匀性变化曲线

Fig.2 The change curves of the deposition rate and the non-uniformity of the passive film with different target-substrate distances

2.3 基片摆动角度优化

基片摆动是在保持靶基距不变的情况下,通过样品台旋转或摆动的方法,补偿改善溅射靶在基片上沿径向的溅射沉积不均匀分布。在基片摆动角度实验中,保持溅射功率、工作气压等参数不变,改变摆动角度分别为0°(不摆动)、±10°、±15°、±20°、±25°、±30°、±35°、±40°、±45°,在3寸衬底上制备相应的ZnS膜层,其非均匀性变化见图3所示。

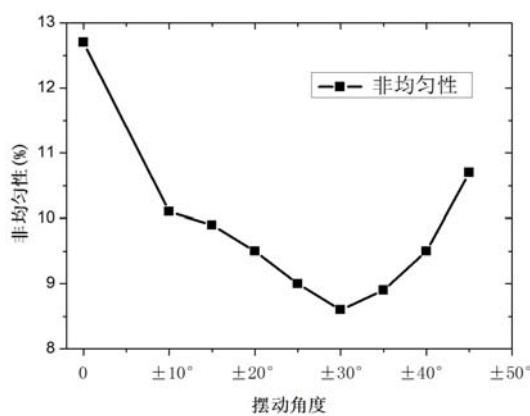


图3 膜层非均匀性随基片摆动角度变化关系曲线

Fig.3 The relationship curve of the non-uniformity of the film with the change of the swing angle of the substrate

从图中可以看出,当基片不摆动时(0°),所制备的钝化膜层非均匀性较大(±12.75%),膜层厚度差异显著,这是由系统中靶材的不均匀溅射沉积所造成的;随着摆动角度的增大,膜层厚度非均匀性随之

减小,当摆动角度达到±30°时,所获得的非均匀性达到最小值±8.6%,即基片在空间上的往复运动改善了溅射沉积的不均匀分布;摆动角度继续增加,非均匀性将随之增大,这是由于基片摆动幅度超过了靶材溅射沉积范围,导致膜层均匀性变差。

综合上述钝化膜层实验研究结果,最终选取CdTe与ZnS的靶的溅射功率分别140 W与350 W,靶基距为40 cm,基片摆动角度为±30°,在额外配合均匀性挡板的情况下,能够获得分布更加均匀的复合钝化膜层,3英寸样品钝化膜层非均匀性达到了±4.3%,中心2英寸区域膜层非均匀性达到±3%以内,见图4所示,经表面钝化后的碲镉汞芯片效果见图5。

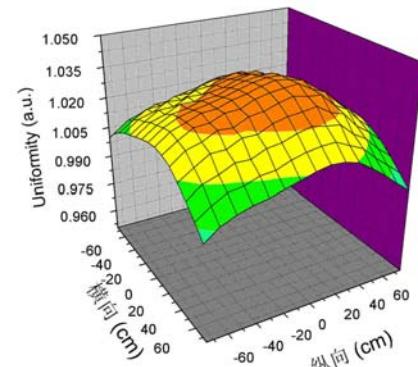


图4 综合优化后的膜层厚度分布

Fig.4 Thickness distribution of film after comprehensive optimization

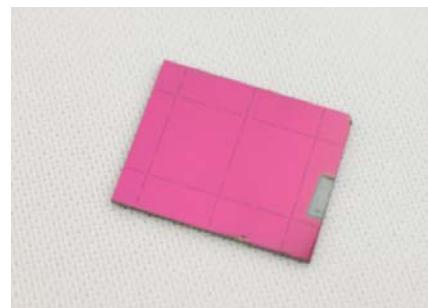


图5 表面钝化后的碲镉汞芯片

Fig.5 HgCdTe chip after surface passivation

2.4 钝化膜层腐蚀实验

腐蚀实验是在相同的碲镉汞衬底上沉积一定厚度的CdTe薄膜与ZnS薄膜,然后分别使用相同浓度的氢溴酸与浓盐酸对钝化薄膜进行腐蚀,通过腐蚀时间间接的评判钝化膜层的致密性。

不同钝化工艺下膜层腐蚀时间见表2,其中第一组样品采用新钝化工艺制备,第二组采用的原钝化工艺制备。表中数据显示:新钝化工艺较原工艺制备的CdTe薄膜与ZnS薄膜耐腐蚀时间略长,更耐腐蚀液腐蚀,这从侧面说明了新工艺制备的钝化膜层致密性

要更好。

表 2 两种工艺制备的钝化膜层腐蚀时间对照表

Table 2 Corrosion time of the passivation films prepared by the two processes

| 制作标准 | CdTe 腐蚀时间/s | ZnS 腐蚀时间/s |
|------|-------------|------------|
| 新工艺 | 15.1 | 9.4 |
| 原工艺 | 11.3 | 7.0 |

2.5 膜层表面形貌

通过 AFM 对改进前后钝化工艺制备的钝化膜层表面进行比较分析。测试结果表明, 新钝化工艺所制备的钝化膜层表面粗糙度为 3 nm, 好于原工艺的 14 nm, 具有更加平整的表面结构 (见图 6)。

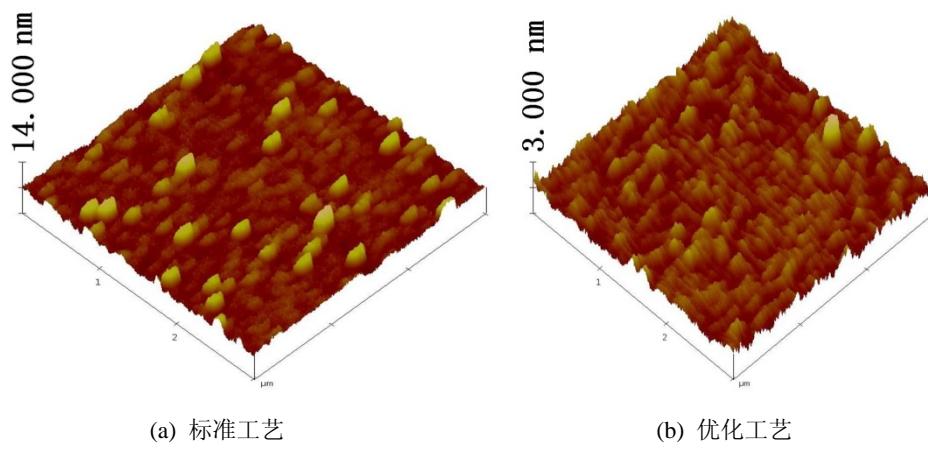


图 6 两种工艺制备的钝化膜层 AFM 3D 图像对比

Fig.6 Comparison of 3D AFM images of the passivation film prepared by two processes

参考文献:

- [1] A Rogalski. Toward third generation HgCdTe infrared detectors[J]. *Journal of Alloys and Compounds*, 2004, **371**: 53-57.
- [2] A Rogalski. Progress in focal plane array technologies[J]. *Progress in Quantum Electronics*, 2012, **36**: 342-473.
- [3] 褚君浩. 窄禁带半导体物理学[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [4] 何力, 杨定江, 倪国强. 先进焦平面技术导论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011.
- [5] J.K. White, J. Antoszewski, R. Pal, et al. Passivation Effects on Reactive Ion Etch Formed n-on-p Junctions In HgCdTe[J]. *Journal of Electronic Materials*, 2002, **31**: 743-748.
- [6] 谢婧, 黎兵, 李愿杰, 等. 射频磁控溅射法制备 ZnS 多晶薄膜及其性质[J]. 物理学报, 2010, **59**(8): 5749-5754.
- [7] T. S. Lee, K. K. Choi, Y. T. Jeoung, et al. Surface passivation of HgCdTe by CdZnTe and its characteristics[J]. *Journal of Electronic Materials*, 1997, **26**: 552-555.