

新型大面阵碲镉汞探测器 In 柱生长工艺研究

张 鹏, 李 震, 赵 凯
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要:介绍了新一代大面阵碲镉汞器件互连工艺中在碲镉汞器件芯片上的 In 柱生长技术, 分析并试验了各种工艺手段的不同效果, 最终选择了较为优化的 In 柱生长工艺条件。

关键词: 钢柱; 溅射; 热蒸发; 碲镉汞

中图分类号: TN304.05 **文献标识码:** A

The In Bump Growth on the Large Scale MCT IR Device

ZHANG Peng, LI Zhen, ZHAO Kai
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: A brief introduction to the In bump growth process on the MCT device was given in this paper. Some different kinds of process were discussed in it and the final recipe was given at last.

Key words: In bump; sputter; evaporate; MCT

1 引 言

在现代军事需求的强大牵引下, 红外焦平面探测器件日益向着以超大面阵双/多色化为代表的方向发展, 这使得作为大面阵碲镉汞红外探测器的关键技术之一的倒装互连工艺的难度大大增加。

In 柱生长是芯片倒装互连的关键步骤, 传统的中小规模面阵器件像元间距相对较大, 在互连工艺中只需在读出电路芯片上制备 In 柱即能满足互连工艺的精度和高度要求, 而新型的大面阵和超大面阵器件的像元间距非常小, 需要在碲镉汞器件本身及读出电路上同时制备 In 柱才能很好地互连。

2 碲镉汞探测器 In 柱生长工艺及技术难点分析

倒装互连工艺首先是在读出电路上生长一层 In, 然后通过甘油浸泡起球的技术, 形成 In 柱, 由于 In 材料很软, 用倒装互连设备在探测器芯片和读出电路上施加一定的压力, 再通过回流, 就能使探测器芯片和读出电路(ROIC)通过 In 柱互连, 如图 1 所示。



图1 In 柱生长与倒装互连过程

新型大面阵器件(如 640×512 元和 1000×1000 器件)的电极尺寸大约只有传统 320×256 元器件的一半。在读出电路上沉积 In 后, 单个电极上覆盖的 In 量较中小规模面阵器件也要少很多。因此, 起球后形成的 In 柱较为矮小, 加上大面阵器件的外型尺寸较大, 在互连时容易造成部分像元互连不成功产成盲元, 如图 2 所示。



图2 In 柱矮小容易造成互连失效

解决这一问题的方法之一是增加读出电路电极上生长 In 膜的厚度。但是, 由于大面阵器件的像元间距小, In 柱间距很近。单独增加读出电路上的 In 柱高度能有效降低互连工艺的难度, 但容易造成 In 柱之间的粘连, 如图 3 所示。



图3 读出电路上 In 柱高度增加产生的 In 柱粘连现象

作者简介: 张 鹏(1976 -), 男, 工程师, 主要从事薄膜材料和工艺方面的研究。E-mail: knight266@sohu.com

收稿日期: 2008-05-15

比较好的解决办法是在碲镉汞探测器芯片与读出电路上同时生长 In 柱,这样既能提高互连工艺的成功率,又能有效避免 In 柱间的相互粘连,如图 4 所示。



图4 探测器和读出电路上同时生长 In 柱

读出电路上生长 In 柱的工艺已经较为成熟,在碲镉汞器件本身上进行 In 柱制备难度较大。

碲镉汞(HgCdTe)材料是一种对损伤和温度非常敏感的材料,较高能量的粒子轰击会造成碲镉汞材料表面的反型;另外,碲镉汞材料中的汞元素不稳定,将材料置于 80℃ 以上温度下一定时间就会造成材料特性的破坏。所以,碲镉汞器件上生长 In 柱工艺必须满足低损伤和低温度两个条件。

In 膜制备通常有溅射法和蒸发法。以下将对两种方法进行详细的分析比较并进行相关实验,最终选择较合适的工艺和条件。

3 溅射法 In 柱生长工艺

溅射法是制备金属薄膜最常用的方法,将设备中靶材一端接射频电源,在靶材附近产生一定的自偏压对靶材表面进行轰击溅射,溅射下来的靶材料就会沉积在基片上。基片通常置于接地或电位浮置的样品台上,基片一端的偏压很小,粒子对材料的轰击能量很低,故对材料的轰击损伤很小。另外,等离子体工艺通常温度较低,基片上聚集的热量很少,不会对碲镉汞材料造成热损伤。射频溅射设备结构原理示意图如图 5 所示。

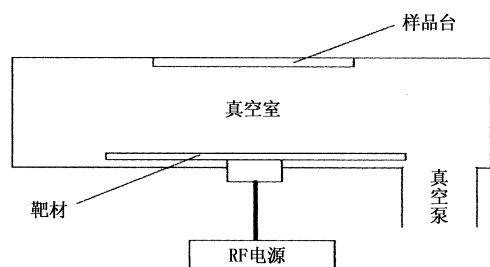


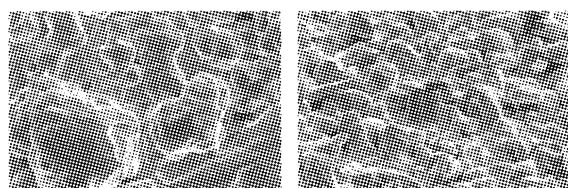
图5 射频溅射设备结构原理示意图

溅射法生长 In 膜工艺的主要参数有:射频电源功率和 Ar 气流量。以下将分别在不同的射频功率和气体流量下对 In 膜的制备结果进行比较。

首先将 Ar 气流量固定在 30sccm,分别在射频电源功率为 220W 和 150W 下进行对比,所得 In 膜表面的 SEM 形貌,如图 6 所示。

功率 220W 时,薄膜表面非常粗糙,薄膜结构疏松,气孔较多,膜层质量较差;功率降低至 150W 时,

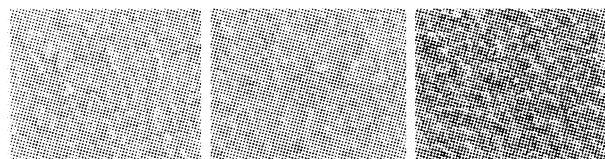
表面 In 材料颗粒变小,致密程度有较大改善。



220W 150W

图6 功率 220W 和 150W 时得到的 In 膜的 SEM 照片

接着,将射频功率固定在 150W,Ar 气流量分别设定在 10sccm,30sccm 和 80sccm 进行 In 膜生长,得到 In 膜的表面形貌,如图 7 所示。

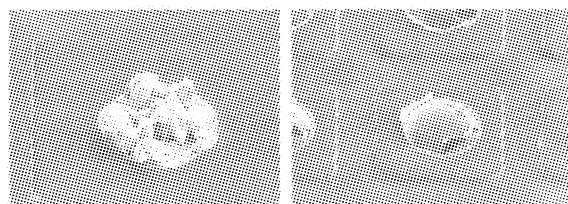


150W, 10sccm 150W, 30sccm 150W, 80sccm

图7 不同 Ar 气流量下的 In 膜表面形貌

通过比较发现,In 膜的质量随着 Ar 气流量的变化差异较大。Ar 气流量较低时,直接观察薄膜表面较为光亮,SEM 显示膜层表面形貌平坦致密,颗粒较小,无明显气孔,膜层质量较好。Ar 气流量为 10sccm 和 30sccm 时膜层的差异不大,说明在 Ar 气流量较低时的 In 膜质量较好。当 Ar 气流量升至 80sccm 时,膜层质量明显变差;直接观察,发现膜层表面发黑,光洁度较差;通过 SEM 观察表面形貌,发现表面气孔增多,表面颗粒的间隙明显变大,结构变得较疏松,同时 SEM 图像上表面发黑,说明此时膜层的导电性较差,这些都是工艺气体流量加大,腔室中气压升高带来的影响。

进一步将射频功率 150W,气体流量 30sccm 条件下所生长的 In 膜进行下一阶段的剥离、起球试验,结果如图 8 所示。



(a)剥离后的 In 膜 (b)起球后形成的 In 柱

图8 功率 150W、Ar 气流量 30sccm 制备 In 膜的剥离、起球结果

由于 In 膜相对较为疏松,薄膜的强度不够,在剥离工艺后大部分的 In 被剥去,电极表面残留的 In 量很少,进一步进行起球工艺,得到的 In 柱高度远远不够,无法达到工艺要求。不断改进工艺条件多次进行实验,所制备的 In 膜强度仍然无法达到要求,剥离工艺后残存的 In 量不够制备出足够高度的 In 柱。

通过对溅射法进行详细实验,可以得出:射频溅射工艺虽然可以得到表面形貌较好膜层,能实现很理想的工艺温度,保证芯片在工艺过程中不会受到热损伤;但溅射法生长速率较低,且生长的 In 膜强度和致密程度较差,难以满足后续剥离和起球工艺的要求。

4 热蒸发法生长 In 柱

In 薄膜生长的另外一个常用的方法是热蒸发法,热蒸发系统工作的原理如图 9 所示。将盛放 In 材料的坩埚置于真空室的底部附近,基片置于真空室的顶部,通过加热将坩埚中的 In 材料气化,沉积在基片上,达到制备 In 膜的目的。

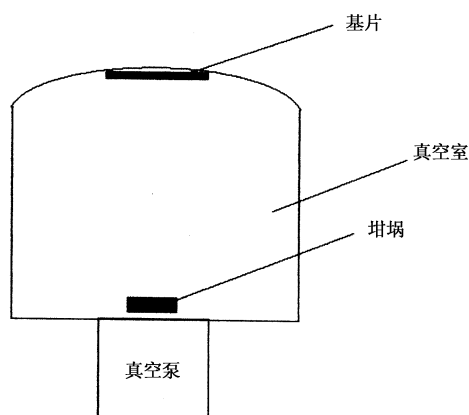


图9 热蒸发系统工作原理示意图

热蒸发的特点是蒸发速率较高,由于热蒸发都是在很高的真空度下进行,因此热蒸发工艺所制备的薄膜中气孔较少,薄膜的致密度较高。但是,由于被蒸发材料的温度通常很高,加上坩埚加热时带来的热辐射,容易在基片上产生较明显的热量堆积,使基片温度明显升高,在碲镉汞芯片上生长 In 膜的工艺中,热量的聚积容易造成碲镉汞芯片的热损伤,因此,工艺中的热损伤成为需要重点解决的问题。

在实验中,首先选用工艺条件为:真空度优于 $1.0\text{E}-3\text{Pa}$,蒸发电流 500A ,所得膜层的 SEM 照片如图 10 所示。

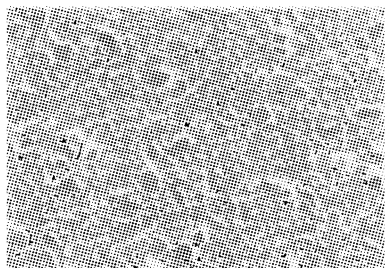


图10 热蒸发所成 In 膜 SEM 形貌

由于热蒸发工艺的薄膜生长速率较快,在 $20 \sim 30\text{min}$ 的工艺时间内即得到了厚度大于 $5\mu\text{m}$ 的 In

膜,能够很好满足制备 In 柱的要求。通过 SEM 照片可看到,热蒸发所成膜的平整度很好,膜层表面无大的颗粒,膜层较为致密。

但是,通过对基片表面温度进行监测,发现基片表面温度较高,约为 110°C ,这样的工艺温度会对碲镉汞材料造成显著的热损伤。

在热蒸发工艺中,基片的温度与蒸发功率密切相关,通过适当降低电流,减少基片附近的热量堆积,能够明显缓解基片处的温升。另外,在样品台背面通过水冷的方法也能够很好地解决基片处的温升问题。

在进一步的实验中,同时采用适当降低电流和在样品台背面通入水冷的方法,得到了很好的效果,基片温度能够稳定地控制在 75°C 左右。

在所制备的膜层的基础上进行后续的剥离和起球工艺,得到了形状和高度都很合适的钢球,能够很好地满足互连工艺的要求,如图 11 所示。

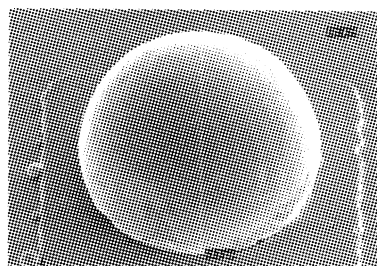


图11 用热蒸发钢膜制备的 In 球

5 结 论

通过不同的途径在大面阵碲镉汞器件上制备互连工艺所需的钢柱,比较可知,溅射法制备钢膜的工艺温度较低,能有效避免工艺过程中对碲镉汞材料造成热损伤,但生产效率低,且膜层质量无法满足工艺要求。经过对传统的热蒸发工艺进行改进,解决了热蒸发工艺的温度控制问题,使传统蒸发工艺能够很好地适应碲镉汞探测器芯片工艺的要求,并制备出了能够很好满足互连工艺的 In 柱。为研究新一代大面阵碲镉汞器件工艺,提高互连工艺可靠性打下了很好的技术基础。

参考文献:

- [1] John L Vossen, Werner Kern. Thin film processes [M]. New York: Academic Press, Inc., 1978.
- [2] Brian Chapman. Glow discharge process: sputtering and plasma etching. [M]. Canada: John Wiley & Sons, Inc., 1980.
- [3] 钱振型. 固体电子学中的等离子技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1987.