

文章编号:1001-9014(2006)05-0325-04

HgCdTe 探测列阵干法技术的刻蚀形貌研究

叶振华¹, 胡晓宁¹, 全知觉², 丁瑞军¹, 何力^{1,2}

(1. 中国科学院上海技术物理研究所材料器件中心, 上海 200083;

2. 中国科学院上海技术物理研究所红外物理国家重点实验室, 上海 200083)

摘要:首次报道了 HgCdTe 微台面焦平面探测列阵成形工艺的干法刻蚀技术有关刻蚀形貌的一些研究结果. 从 HgCdTe 外延材料的特点出发, 详细分析了其干法刻蚀适用的 RIE (reactive ion etching) 设备和刻蚀原理. 采用高等离子体密度、低腔体工作压力、高均匀性和低刻蚀能量的 ICP (inductively coupled plasma) 增强型 RIE 技术, 研究了不同的工艺气体配比、腔体工作压力、ICP 源功率和 RF 源功率对 HgCdTe 材料刻蚀形貌的影响, 并初步得到了一种稳定的、刻蚀表面清洁、光滑、图形轮廓良好、均匀性较好和刻蚀速率较高的干法刻蚀工艺.

关键词: HgCdTe; 微台面列阵; 干法刻蚀; 反应离子刻蚀; 刻蚀形貌

中图分类号: TN4 **文献标识码:** A

STUDY ON ETCH PATTERN OF DRY TECHNIQUE FOR HgCdTe IRFPAS

YE Zhen-Hua¹, HU Xiao-Ning¹, QUAN Zhi-Jue², DING Rui-Jun¹, HE Li^{1,2}

(1. Center of Materials and Devices, Shanghai Institute of Technical Physics,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

2. National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai Institute of Technical Physics,
Chinese Academy of Science, Shanghai 200083, China)

Abstract: The research results of dry technique on the etch pattern of forming micro-mesa arrays for HgCdTe IRFPAs (Infrared Focal Plane Arrays) detector were presented. The available RIE equipments and etch principle were analyzed respectively according to the characteristics of HgCdTe epitaxial material in detail. The influences of etching gas ratio, chamber pressure, ICP (inductively coupled plasma) power and RF (radio frequency) power on HgCdTe etch pattern were investigated by using ICP enhanced RIE (reactive ion etching). Then a stable dry etch technique is obtained with clean and smooth etch surface, good pattern profile, good uniformity and high etch rate.

Key words: HgCdTe; micro-mesa arrays; dry etch technique; reactive ion etching; etch topography

引言

HgCdTe 微台面焦平面探测列阵成形技术是发展大列阵、小型化、多色化和集成化的第3代红外焦平面探测器的关键技术之一^[1,4]. 由于湿法腐蚀存在各向同性、均匀性差以及单边或双边峰等一些不可避免的缺点, 致使它不能满足高密度微台面列阵成形工艺的要求^[5]. 又由于很强的物理作用, 传统的离子束刻蚀 (IBE) 和反应离子刻蚀 (RIE) 技术^[6,7], 会造成 HgCdTe 材料的刻蚀损伤. 所以, 要获得理想的微台面探测列阵成形工艺, 不仅需要利用常规干法刻蚀的优点, 而且需要采用新型的 RIE 技

术, 以减小刻蚀损伤等一些缺点.

有关 HgCdTe 材料干法刻蚀的国外文献, 大部分都集中于采用 ECR (electron cyclotron resonance) 增强的 RIE 技术. 但是, ECR 源的结构比较复杂, 且其工作不稳定和均匀性也比较差. 所以, 本文采用一种新型的高密度、低刻蚀能量、高均匀性和低工作压力的 ICP 增强型 RIE 技术, 来研究不同工艺气体配比、腔体工作压力、ICP 源功率和 RF 源功率的刻蚀形貌, 以获得无损伤或低损伤、表面清洁且光滑、轮廓良好和均匀性较高的 HgCdTe 材料干法刻蚀工艺.

收稿日期: 2005-12-10, 修回日期: 2006-06-23

Received date: 2005-12-10, revised date: 2006-06-23

基金项目: 国家973基础研究项目, 红外物理国家重点实验室开放课题 (200607)

作者简介: 叶振华, 男 (1977-), 江西玉山人, 博士, 主要从事新一代红外焦平面探测器的关键技术研究.

1 干法刻蚀的设备和原理

1.1 HgCdTe 材料干法刻蚀的设备

ICP 等离子体源是继 ECR 源后发展起来的一种新技术,它采用连有线圈的 RF 源来代替 ECR 的微波源和磁场^[7]. 具体的等离子体形成原理是由 RF 电流线圈产生的 RF 磁场在腔体内诱导出了一个 RF 电场,它能使电子被加速,从而产生高密度的 ICP 等离子体. 与 ECR 源相比,ICP 源的结构要简单、工作要稳定和等离子体的均匀性也更好^[8].

与只采用一个 RF 源的传统 RIE 设备不同,ICP 增强型 RIE 设备采用两个独立的 RF 源,其中一个用以控制产生等离子体的密度,另一个用以控制等离子体刻蚀能量. 所以,ICP-RIE 刻蚀技术可避免传统 RIE 技术存在刻蚀速率与刻蚀损伤这一矛盾,能满足 HgCdTe 材料干法刻蚀的高等离子体密度、低刻蚀能量、高均匀性和低工作压力等特殊要求.

图 1 是本文采用的 OXFORD 公司 ICP 增强型 RIE 设备结构简图,如图所示,ICP 增强型 RIE 设备有两个 RF 源,一个与电感线圈连接,以产生 ICP 等离子体和控制等离子体密度;另一个与下电极相连,以控制刻蚀时等离子体的能量. 为了真正地确保电感耦合,在制冷的电感线圈与腔体之间的静电屏蔽层能防止电容耦合. 这是 OXFORD 公司 ICP 源的专利技术,为其它许多设备厂家所采用.

1.2 HgCdTe 材料干法刻蚀的原理

与 Si 及大多数 III-V 族化合物不同,HgCdTe 和其它 Cd 基化合物与氟化物、氯化物等一些常规刻蚀剂反应,不能生成可挥发性的刻蚀生成物. 但是,通过形成易挥发的甲基化合物、氢化物,基于 CH_4

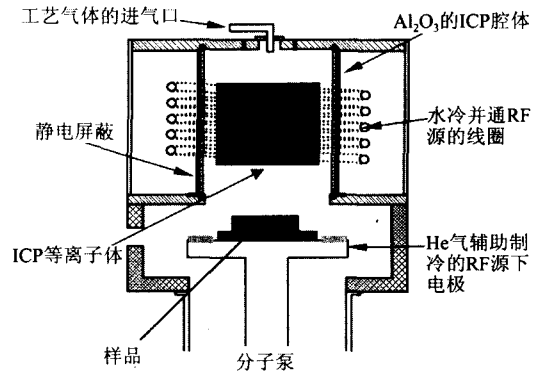


图 1 OXFORD 公司的 ICP 增强型 RIE 设备结构图
Fig. 1 Schematic drawing of OXFORD ICP enhanced RIE

和 H_2 的等离子体可作为 HgCdTe 以及其它 II-VI 化合物的刻蚀工艺气体.

据文献报道,采用基于 CH_4 和 H_2 的等离子体来刻蚀化合物中 II 或 VI 族元素,其关键过程是 CH_4 分子裂解产生甲基 (CH_3) 和 H 原子. 它们能与 HgCdTe 材料中的 Te、Cd 或 Hg 反应,并生成可挥发的化合物 $\text{Te}(\text{CH}_3)_2$ 、 $\text{Cd}(\text{CH}_3)_2$ 、 $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$ 和 TeH_2 等^[9]. 其中,等离子体中 CH_3 的含量直接关系到 HgCdTe 材料的刻蚀速率. 并且,他们在进行 HgCdTe 材料刻蚀时,还选用了氮气 (N_2) 以减少 CH_2 、 CH_1 、 C_2H_4 和 C_2H_2 等形成 Polymer 的先驱物^[10],以及作为稀释剂的氩气 (Ar),以起到稳定等离子体的作用. 所以,我们直接采用文献报道的 $\text{CH}_4/\text{H}_2/\text{N}_2/\text{Ar}$ 作为本研究的工艺气体.

2 HgCdTe 材料干法技术的刻蚀形貌研究

HgCdTe 材料干法刻蚀研究的首要目标是要获

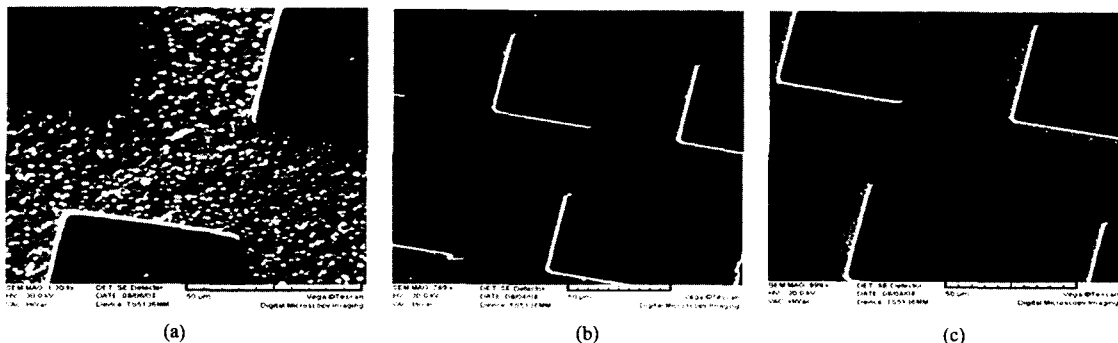


图 2 工不同艺气体配比的 SEM 形貌 (a) $\text{CH}_4:\text{H}_2:\text{N}_2:\text{Ar}=2:0:5:25$; (b) $\text{CH}_4:\text{H}_2:\text{N}_2:\text{Ar}=1:0:5:25$; (c) $\text{CH}_4:\text{H}_2:\text{N}_2:\text{Ar}=1:2:5:25$

Fig. 2 SEM images of the etch samples with different gas ratio (a) $\text{CH}_4:\text{H}_2:\text{N}_2:\text{Ar}=2:0:5:25$; (b) $\text{CH}_4:\text{H}_2:\text{N}_2:\text{Ar}=1:0:5:25$; (c) $\text{CH}_4:\text{H}_2:\text{N}_2:\text{Ar}=1:2:5:25$.

得表面清洁、光滑和图形轮廓良好的刻蚀形貌,它与 ICP-RIE 技术的工艺气体配比、腔体工作压力、ICP 源功率和 RF 源功率等许多工艺参数都有关。但是, HgCdTe 材料易因刻蚀损伤而改变材料的电子特性,且该损伤程度与 RF 源功率密切相关,即 RF 功率越大,刻蚀损伤就越严重,反之亦然。为了确保干法刻蚀是低损伤、无损伤的工艺技术,RF 功率需要设置得较小,即其变化范围也很有限。所以,本文只研究不同的工艺气体配比、腔体工作压力和 ICP 源功率对刻蚀形貌的影响。

2.1 不同工艺气体配比的 SEM 形貌

图 2 是工艺气体配比不同、其它工艺参数相同的刻蚀样品的表面 SEM 形貌。图 2(a)、(b)和(c)分别对应工艺气体配比 $\text{CH}_4:\text{H}_2:\text{N}_2:\text{Ar}$ 为 2:0:5:25、1:0:5:25 和 1:2:5:25 的刻蚀表面 SEM 形貌。如图 2(a)所示,刻蚀样品的表面发黑,这是 CH_4 含量过高导致的刻蚀生成物颗粒堆积而引起的;如图 2(c)所示,刻蚀样品的表面也发黑,这是 H_2 含量高,造成了 H 原子优先刻蚀 HgTe;如图 2(b)所示,其刻蚀表面明显优于其它两个样品。所以,选择合适的工艺气体配比对获得理想的刻蚀表面是非常重要的。

2.2 不同腔体工作压力的 SEM 形貌

图 3 是腔体工作压力不同、其它工艺参数相同的刻蚀样品的表面 SEM 形貌。图 3(a)、(b)和(c)分别对应腔体压力为 3、5 和 10mTor 的刻蚀表面 SEM 形貌。如图 3(a)和(b)所示,刻蚀区域表面非常清洁;而如图 3(c)所示,其刻蚀区域表面有许多粉末状的小颗粒,这是工作压力过大,刻蚀生成物不能及时挥发导致的。所以,选择合适的腔体工作压力对获得理想的刻蚀表面是非常重要的。

2.3 不同 ICP 功率的 SEM 形貌

图 4 是 ICP 功率不同、其它工艺参数相同的刻蚀样品的表面 SEM 形貌。图 4(a)、(b)和(c)分别对应 ICP 功率为 300、400 和 500W 的刻蚀表面 SEM 形貌。如图 4(a)和(b)所示,刻蚀区域表面非常清洁;而如图 2(c)所示,其刻蚀区域表面有许多柱状物 (columns),这可能是大的 ICP 功率较快刻蚀速率造成的。所以,刻蚀工艺参数 ICP 功率也需要认真选择。

通过不同的工艺气体配比、腔体工作压力和 ICP 功率的实验,最后得到了一种稳定的、刻蚀表面清洁、光滑和轮廓良好的刻蚀条件。图 5 是该刻蚀条

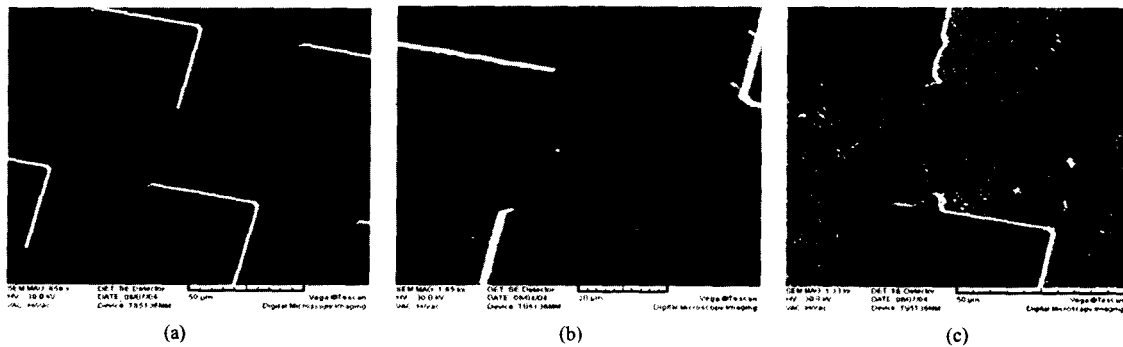


图 3 不同腔体工作压力的刻蚀表面 SEM 形貌 (a)3mTor;(b)5mTor;(c)10mTor

Fig. 3 SEM images of the etch samples with different chamber pressure (a)3mTor;(b)5mTor;(c)10mTor

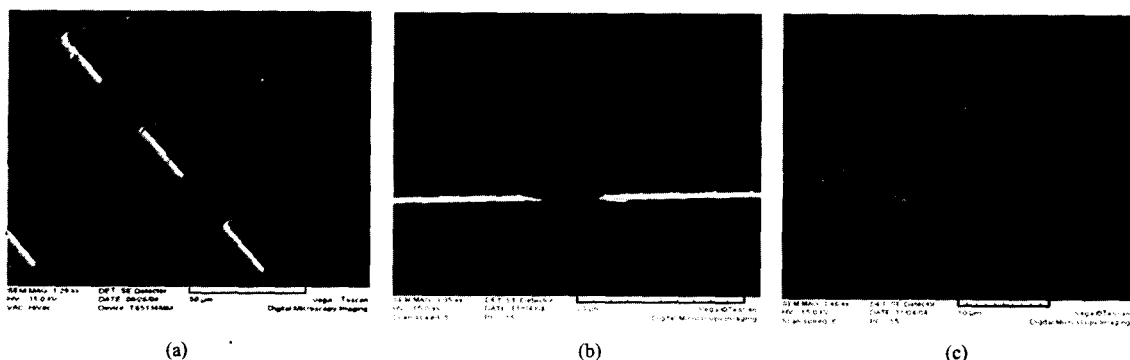


图 4 ICP 功率不同的刻蚀表面 SEM 形貌 (a)ICP 300W;(b)ICP 400W;(c)ICP 500W

Fig. 4 SEM images of the etch samples with different ICP power (a)ICP 300W;(b)ICP 400W;(c)ICP 500W

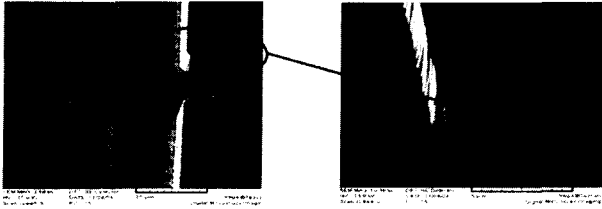


图5 较为理想的工艺条件得到的刻蚀表面 SEM 形貌
Fig.5 SEM images of the samples etched by optimized technology

件下得到的 HgCdTe 刻蚀样品其表面 SEM 形貌, 如图所示, 刻蚀表面非常清洁、光滑, 而且轮廓也较好。并且, 不同批次实验的刻蚀非均匀性小于 3%, 这说明该条件具有很好的稳定性。

3 总结

本文进行了 HgCdTe 微台面焦平面探测阵列干法刻蚀技术的形貌研究。分析了其干法刻蚀适用的 RIE 设备和刻蚀原理。通过不同的工艺气体配比、腔体工作压力和 ICP 功率的刻蚀样品 SEM 形貌研究, 初步获得了一种稳定的、刻蚀表面清洁、光滑、图形轮廓良好、均匀性较好、刻蚀速率较高和损伤较小的 HgCdTe 材料干法刻蚀技术。

REFERENCES

- [1] Antoni Rogalski. Infrared detectors: status and trends [J]. *Progress in Quantum Electronics*, 2004, **27**:59—210.
[2] YE Zhen-Hua, GUO Jing, HU Xiao-Ning, et al. A study on etch rate of dry technique for HgCdTe IRFPAs [J].

- Laser & Infrared* (叶振华, 郭靖, 胡晓宁, 等, HgCdTe 焦平面探测阵列干法技术的刻蚀速率研究, 激光与红外), 2005, **35**(11):829—831.
[3] YE Zhen-Hua, WU Jun, HU Xiao-Ning, et al. Study of HgCdTe $p^+ - n - n$ long-wavelength hetero-junction detector [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (叶振华, 吴俊, 胡晓宁, 等, 碲镉汞 $p^+ - n - n$ 长波异质结探测器的研究, 红外与毫米波学报), 2004, **23**(6):423—426.
[4] YE Zhen-Hua, WU Jun, HU Xiao-Ning, et al. Study of MW1/MW2 two-color HgCdTe infrared detector arrays [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (叶振华, 吴俊, 胡晓宁, 等, 集成式 HgCdTe 红外双色探测器阵列, 红外与毫米波学报), 2004, **23**(3):193—196.
[5] Kern W A, Deckert C A, Chemical Etching, in Thin Film Processing. [M], Academic: New York, 1978.
[6] YE Zhen-Hua, HU Xiao-Ning, CAI Wei-Ying, et al. The application of laser beam induced current for technology detecting of HgCdTe two-color detector [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (叶振华, 胡晓宁, 蔡炜颖, 等, LBIC 在 HgCdTe 双色探测器的工艺检测中的应用, 红外与毫米波学报), 2005, **24**(6):459—462.
[7] Antoszewski J, Musca C A, Dell J M, et al. Characterization of $Hg_{0.7}Cd_{0.3}Te$ n-on p-type structure obtained by reactive ion etching induced p-to n conversion [J]. *Journal of Electronic Materials*, 2000, **29**(6):837—840.
[8] Tsukamoto T. Future prospects of plasma etching, in M. Sugawara, ed., *Plasma Etching Fundamentals and Applications*. [M]. Oxford Science: New York, 1998.
[9] Singer P. New frontiers in plasma etching [J]. *Semiconductor Int.*, 1996, **19**: 152.
[10] Jaehwa Kim, Koga T S, Gillis H P, et al. Low-energy electron-enhanced etching of HgCdTe [J]. *Journal of Electronic Materials*, 2003, **32**(7):677—685.
[11] Robert C Keller, Seelmann-Eggebert M, Richter H J. Dry etching of HgCdTe using $CH_4/H_2/Ar/N_2$ electron cyclotron resonance plasmas [J]. *Journal of Electronic Materials*, 1996, **25**(8):1270—1275.