

InSb 晶片湿法化学刻蚀研究

韦书领, 应明炯

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要:随着大格式 InSb FPA 器件发展, 像元间距越来越小, 芯片总面积不断增加, 对像元加工精度和均匀性都提出了极高的要求, 原有的湿法刻蚀已越来越难于满足工艺要求, 主要体现在湿法横向刻蚀导致原本设计很小的像元面积进一步缩小, 严重降低 InSb FPA 的填充因子。通过实验, 介绍一种湿法刻蚀工艺, 可以较好解决上述问题。

关键词:红外探测器; 焦平面; 湿法刻蚀; 碲化铟

中图分类号: TN304.2⁺3 **文献标识码:** A

Wet Etching of InSb For Focal Plane Arrays

WEI Shu-ling, YIN Ming-jiong

(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: In this paper three different chemical systems have been studied to meet the requirements of continuously scaling down the pixel area for large-format high-density InSb FPAs. The lateral etch ratio, uniform and slope of the undercut sidewall were investigated for different chemical systems and etching conditions. An optimum wet etching process was got for small ($2\mu\text{m}$) feature patterning in large format FPA devices fabrication.

Key words: infrared detector; focal plane array; wet etching; InSb

1 引言

InSb FPA 红外探测器技术在近 20 年以来取得了飞速发展, 目前已经进入了成熟应用期, 超大格式和多波段探测成为红外焦平面探测器下一步发展趋势。在国外各种高性能大格式的 InSb FPA 已经正式应用于各种重大国家安全项目中, 例如弹道导弹防御计划和重要新型武器系统, 2048×2048 规格 $15\mu\text{m}$ 中心距的 InSb FPA 也已经达到实用化水平。随着大格式器件发展, 芯片总面积不断增加, 像元尺寸和间距越来越小, 这些对像元加工精度和均匀性都提出了极高的要求。

湿法刻蚀因具有低损伤高效率等优点而广泛应用于 InSb FPA 像元加工, 但随着 InSb FPA 格式的增大, 原有的湿法刻蚀已越来越难于满足工艺要求, 主要体现在湿法横向刻蚀导致原本设计很小的像元面积进一步缩小, 严重降低 InSb FPA 的填充因子。本文主要通过实验比较介绍一种湿法刻蚀工艺, 可

以较好解决上述问题。

2 湿法刻蚀基本过程

湿法刻蚀包含有三个同时进行的过程: 反应物向晶片表面扩散迁移、反应物与晶片表面发生化学反应、反应生成物向溶液中扩散迁移。把刻蚀速度受控于反应物或生成物扩散迁移过程的刻蚀称为 Diffusion-controlled etch, 而把刻蚀速度受控于反应物与晶片化学反应速度的刻蚀称为 Reaction-limited etch。Diffusion-controlled etch 刻蚀速度对刻蚀液的流动速度高度敏感, 而要想在大面积晶片表面实现刻蚀液的均匀流动显然是十分困难的, 所以这种类型的刻蚀均匀性和重复性较差, 一般不用于芯片的加工工艺。Reaction-limited etch 一般受刻蚀液流动

作者简介: 韦书领 (1976 -), 男, 主要从事碲化铟红外探测器研制工作, 目前担任 256×256 元碲化铟焦平面组件研制项目负责人。

收稿日期: 2008-04-16

速度影响较小,但是受刻蚀液温度影响显著:

$$ER = Ke^{E_a/kT}$$

式中,ER 为刻蚀速度;K 为温度影响因子; E_a 为反应能; k 为玻尔兹曼常数; T 为刻蚀液绝对温度。

这种类型刻蚀液因为其良好的刻蚀均匀性而更适用于芯片加工工艺,但是在刻蚀过程中必须要控制好温度和 pH 值,这显然比控制刻蚀液在晶片表面的流动速度要容易。

在本项研究中经过试验最终配制出一种 Reaction-limited etch 刻蚀液 AB,这里对 AB 刻蚀液和原用两种主要成分分别为氢氟酸和乳酸的刻蚀液体系加以比较和分析。

3 试 验

针对刻蚀均匀性、横向刻蚀率和刻蚀形貌三个方面安排了三组试验,在每组试验中,分别用氢氟酸刻蚀液、乳酸刻蚀液和 AB 刻蚀液刻蚀出 InSb 样品,并进行测量分析。

样品采用 2in(5cm) N 型 InSb(111) 晶片,经过光刻得到所需掩膜图形,刻蚀前用 5% HF 漂洗 2min,去除自然氧化层,用去离子水冲洗 5min 后用氮气吹干后进行刻蚀,再用去离子水冲洗 5min,去除光刻胶,用台阶仪对 InSb 晶片表面进行扫描分析,对试验 III 的样品进行扫描电镜分析。

试验 I :考察刻蚀均匀性。图 1 ~ 图 4 是刻蚀流程示意图:准备一组 2in InSb 晶片,经光刻在晶片上形成一组 50 μ m 宽掩膜图形,重复周期为 2000 μ m,用上述三种刻蚀液分别刻蚀出台面,去除掩膜层,沿晶片径向依次测出每条图形的台面高度。

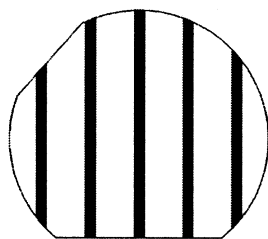


图 1 光刻掩膜

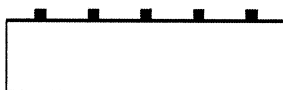


图 2 光刻掩膜截面示意图

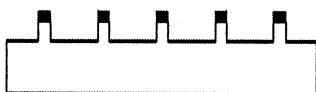


图 3 湿法刻蚀示意图

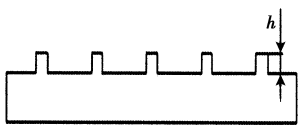


图 4 刻蚀图形示意图

试验 II :考察横向刻蚀率。在一组 InSb 晶片上光刻出 4 μ m 宽掩膜层,用不同刻蚀液刻蚀出深 1.8 μ m 的沟槽,去除掩膜层测量沟槽宽度。

试验 III :考察刻蚀形貌。在 InSb 晶片上光刻出中心距 50 μ m $\times$ 50 μ m 像元阵列,用不同刻蚀液刻蚀出深 4 μ m 图形,对刻蚀出的形貌进行扫描电镜分析。

4 结果和讨论

表 1 是试验 I 中三种刻蚀液对 InSb 晶片整个表面刻蚀深度分布数据。每组数据是从晶片边缘起沿径向每隔 2mm 依次测出刻蚀台面的高度,起始 2 个值和末尾 2 个值是离晶片边缘 4.5mm 内所测,可以看出在靠近 InSb 晶片边缘刻蚀的均匀性较差,这是由于刻蚀过程中晶片每一局部所处的边界条件不一致造成,越靠晶片内部边界条件越趋于一致,刻蚀均匀性也相对较好。刻蚀过程中,InSb 晶片表面的反应物不断被消耗,新的反应物从刻蚀液中不断扩散补充过来,在晶片边缘显然更容易得到这种补充,所以刻蚀速度较快,显然在 Diffusion-controlled etch 中这种刻蚀不均匀性要更加严重。通过表 1 数据比较,氢氟酸刻蚀液的刻蚀均匀性受反应物的扩散迁移影响显著,刻蚀不均匀性比较严重,其刻蚀特性趋向于 Diffusion-controlled etch。用乳酸刻蚀液刻蚀的晶片,除边缘 4.5mm 内出现不均匀性外,整个晶片刻蚀较为均匀。AB 刻蚀液对 InSb 晶片刻蚀的均匀性介于上述两种刻蚀液之间。

表 1 不同刻蚀液对 InSb 晶片刻蚀深度分布数据

刻蚀液种类	刻蚀深度径向分布/ μ m					
氢氟酸刻蚀液	3.13	2.91	2.80	2.70	2.61	2.53
	2.49	2.48	2.53	2.59	2.59	2.62
	2.64	2.65	2.75	2.91	3.23	
乳酸刻蚀液	2.28	2.41	2.50	2.54	2.55	2.56
	2.51	2.51	2.51	2.52	2.52	2.52
	2.53	2.51	2.46			
AB 刻蚀液	3.74	3.66	3.57	3.53	3.48	3.45
	3.44	3.42	3.43	3.43	3.47	3.48
	3.51	3.54	3.58	3.76		

表 2 不同刻蚀液刻蚀后得到的槽宽

刻蚀液种类	刻蚀槽宽/ μ m
氢氟酸刻蚀液	8
乳酸刻蚀液	12
AB 刻蚀液	8

表 2 是实验 II 中不同刻蚀液对 $4\mu\text{m}$ 宽光刻图形刻蚀 $1.8\mu\text{m}$ 深后所得槽宽。从表中可以看出乳酸刻蚀液双边横向刻蚀了 $8\mu\text{m}$, 在中心距仅为 $15\mu\text{m}$ 的小像元 InSb FPA 工艺中严重影响了像元的填充因子, 无法适用于大规格 InSb FPA 像元加工工艺。氢氟酸刻蚀液和 AB 刻蚀液双边横向刻蚀均约 $4\mu\text{m}$, 单边纵向和横向刻蚀比为 $0.9:1$, 接近于湿法刻蚀理论值 $1:1$ 。

试验 III 中主要是用氢氟酸刻蚀液和 AB 刻蚀液对 InSb 的中心距 $30\mu\text{m}$ 像元阵列进行刻蚀, 图 5 和图 6 是两种刻蚀液刻蚀形貌的扫描电镜图像。可以看出用氢氟酸刻蚀液刻蚀出的沟槽截面(如图 5 所示)呈倒梯形, 在结区梯度较大, 而用 AB 刻蚀液刻蚀出的沟槽截面(如图 6 所示)呈圆弧状, 在结区的梯度比前者小得多, 使得后续 PECVD 钝化工艺在像元侧立面 P-N 结表面更易于形成连续、均匀的 SiO_2 覆盖层, 起到更好的绝缘和保护作用, 进而能降低像元 P-N 结的反向漏电流, 提高 InSb FPA 的 R_0A 指标。另外, 决定 InSb FPA 填充因子水平的是靠近像元台面底部的 P-N 结面积, 虽然 AB 刻蚀液和氢氟酸刻蚀液横向刻蚀率相当, 所得像元顶部宽度一样, 但是用 AB 刻蚀液刻蚀出的像元隔离槽底部较窄, 像元台面底部面积较大, 有效地提高了填充因子。图 7 是用 AB 刻蚀液刻蚀出的 InSb 256×256 FPA 阵列, 均匀性较好。图 8 是国外报道的 1024×768 FPA 器件台面形貌, 像元隔离槽与图 3 中用 AB 刻蚀液刻蚀的非常相似。

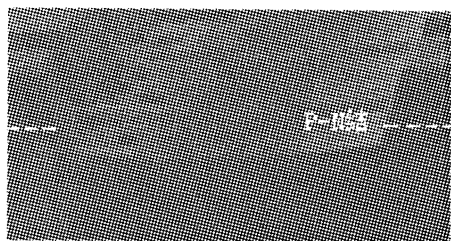


图 5 氢氟酸刻蚀液刻蚀形貌

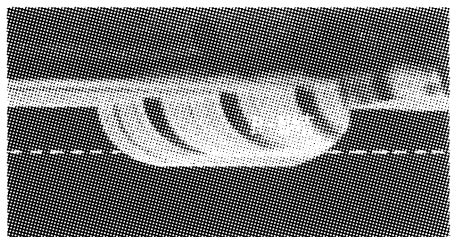


图 6 AB 刻蚀液刻蚀形貌

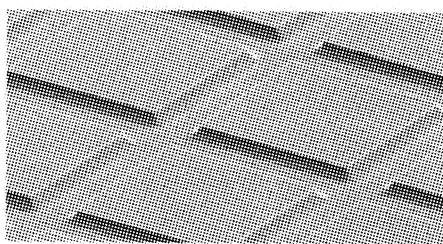
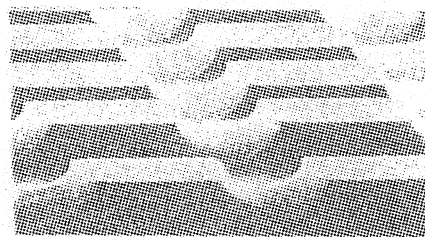


图 7 AB 刻蚀液刻蚀形貌

图 8 国外 1024×768 FPA 器件台面

5 结论

乳酸刻蚀液对 InSb (111) 面的刻蚀属于 Reaction-limited etch 类型, 受温度影响显著, 整片刻蚀均匀性比较理想, 但是横向刻蚀严重, 应用于台面刻蚀时严重降低器件的填充因子, 在刻蚀过程中需要严格控制温度。氢氟酸刻蚀液对 InSb 的刻蚀趋向于 Diffusion-controlled etch, 整片刻蚀均匀性较差, 难于满足大格式 InSb FPA 像元加工。选择合适的刻蚀条件, 用 AB 刻蚀液可以刻蚀出易于 SiO_2 钝化层爬坡覆盖的像元台面, 大面积刻蚀均匀性较好, 且能有效提高 InSb FPA 的填充因子, 可以满足 1024×1024 规格 $15\mu\text{m}$ 中心距 InSb FPA 器件工艺。

参考文献:

- [1] 陈伯良. 红外焦平面成像器件发展现状[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(1): 1-7.
- [2] Kow-Ming Chang, Jiunn-Jye Luo, et al. Wet etching characterization of InSb for thermal imaging applications[J]. Jpn. J. Appl. Phys., 2006, 45(3): 1477-1482.
- [3] Stephen J Pearton. Wet and dry etching[M].
- [4] Tomashik V N, Tomashik Z F, et al. Chemical dissolution of III-V and II-VI semiconductor compounds in the solutions of HNO_3 -HCL-lactic acid system[J]. Pro. SPIE, 2001, 4355: 252-256.
- [5] Tim Ashley, Ron A Ballingall, et al. Large format MWIR focal plane arrays[J]. Pro. SPIE, 2003, 4820: 400-405.
- [6] M Greiner, M Davis, J Devitt, et al. State of the art in large format IRFPA development at CMC Electronics Cincinnati[J]. Pro. SPIE, 2003, 5074: 60-72.
- [7] Tim Ashley, Theresa M Burke. Epitaxial InSb for elevated temperature operation of large IR focal plane arrays[J]. Pro. SPIE, 2003, 5074: 95-103.
- [8] Ilan Bloom, Yael Nemirovsky. Surface passivation of back-side-illuminated indium antimonide focal plane array[J]. IEEE transactions on electron devices, 1993, 40(2): 309-314.