

文章编号: 1672-8785(2019)09-0006-06

大面阵碲镉汞长波红外焦平面器件 刻蚀工艺非均匀性研究

谭 振 杨海玲 孙海燕 孙 浩 周立庆

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 作为探测器组件的性能指标之一, 响应率非均匀性对其实际应用具有重要影响, 尤其是在低背景空间应用领域。大面阵探测器芯片的接触孔尺寸不均匀是导致器件响应不均匀的因素之一。对 1280×1024 大面阵长波红外探测器芯片的接触孔刻蚀工艺进行了研究, 并提出了优化改进措施。结果表明, 本文方法可提高刻蚀工艺的均匀性, 进而降低探测器组件响应率的非均匀性。

关键词: 大面阵; 长波; 碲镉汞; 刻蚀; 非均匀性

中图分类号: TN213 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2019.09.002

Research on Non-Uniformity of Etching Process for Large-Format Long-Wave Infrared Mercury Cadmium Telluride Focal Plane Device

TAN Zhen, YANG Hai-ling, SUN Hai-yan, SUN Hao, ZHOU Li-qing

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

Abstract: As one of the characteristics of detector components, the responsivity non-uniformity has an important impact on its practical applications, especially in the low-background space application. The uneven contact-hole size of large-format detector chip is one of the factors which lead to the non-uniformity of device responsivity. The contact-hole etching process of the large-format long-wave infrared detector chip with 1280×1024 pixels is studied, and the optimization measures are proposed. The result shows that the proposed method can improve the uniformity of the etching process, thus improving the responsivity non-uniformity of detector components.

Key words: large-format; long-wave; HgCdTe; etch; non-uniformity

0 引言

作为红外探测器的常用制备材料之一, 碲镉汞的响应波长可以覆盖短波红外、中波红外、长波红外以及甚长波红外波段。经过几十年的发展, 碲镉汞红外探测器的像元数从少于

一百发展到十万、数十万, 再到近年来的百万量级, 相关技术实现了从第一代到第三代的升级, 应用需求对红外探测器性能的要求也越来越高。在高分辨率对地观测等宇航应用领域, 探测器阵列规格与芯片尺寸大。以像元间距为

收稿日期: 2019-08-01

作者简介: 谭振(1984-), 男, 高级工程师, 主要从事红外探测器芯片制备方面的研究。

E-mail: tanzhen8402@126.com

25 μm 的 1280×1024 碲镉汞长波红外探测器为例, 其芯片尺寸为 $28 \text{ mm} \times 34 \text{ mm}$, 像元数达到 100 万, 是像元间距为 25 μm 的 640×512 碲镉汞长波红外探测器的 4 倍。因此, 百万像素探测器高均匀性制备工艺的难度增加。

碲镉汞红外探测器的电学连通是由每个像元上的接触孔实现的。采用干法刻蚀工艺在像元上形成微型接触孔, 然后通过孔内沉积金属来实现像元与外部电路的电学连通。接触孔的深度和形貌会直接影响接触电极的均匀性, 进而影响探测器芯片的响应均匀性。与 640×512 探测器芯片相比, 1280×1024 探测器芯片的面积以及接触孔数量增加了 3 倍。在用以往的干法刻蚀工艺处理百万像素大面阵芯片时, 接触孔深度的均匀性变差。因此, 有必要优化干法刻蚀工艺, 以获得良好的均匀性, 从而满足大面阵芯片的制备需求。

1 实验

本文的相关研究试验基于电感耦合等离子体(Inductively Coupled Plasma, ICP)反应刻蚀系统开展。试验样品为离子注入成结的长波碲镉汞薄膜材料。采用标准半导体工艺对平面型碲镉汞焦平面器件进行制备。通过 ICP 刻蚀形成接触孔, 并用扫描电镜以及低温探针台对刻蚀效果进行评价。

图 1 为 ICP 干法刻蚀的原理示意图。本文试验中采用的干法刻蚀系统具有两个射频源, 它们产生的射频功率被耦合到设备腔室的上下两个部分, 分别起到激发维持等离子体以及为下电极提供偏置电压的作用。系统工作时, 电感耦合线圈将腔室上部的射频功率耦合在反应腔室中, 高频电流产生交变磁场并引起感应电场, 将腔室中的工艺气体电离, 激发并维持高密度等离子体。同时, 下电极射频功率被加在样品盘上, 与腔室内的等离子体作用, 产生一定的自偏压。电离形成的等离子体在化学与物理作用下与样品材料发生作用, 从而实现对样品的刻蚀^[1-2]。干法刻蚀是一种微细加工方法, 其刻蚀效果受到被刻蚀材料的尺寸、刻蚀图形

线宽和分布情况的影响, 比如负载效应^[3]: 被刻蚀面积和图形密度的变化, 导致接触孔的刻蚀速率和刻蚀效果不同, 如深度和形貌的差别。若接触孔和形貌存在较大差异, 由于 N 型区域的掺杂浓度不同, 会造成接触电阻的差别, 最终导致芯片响应不均匀, 进而降低长波大面阵探测器的性能。本文重点通过对刻蚀过程中的负载效应、热传导效应以及工艺参数进行优化, 提升长波 1280×1024 接触孔刻蚀的均匀性, 从而提高组件响应的均匀性。

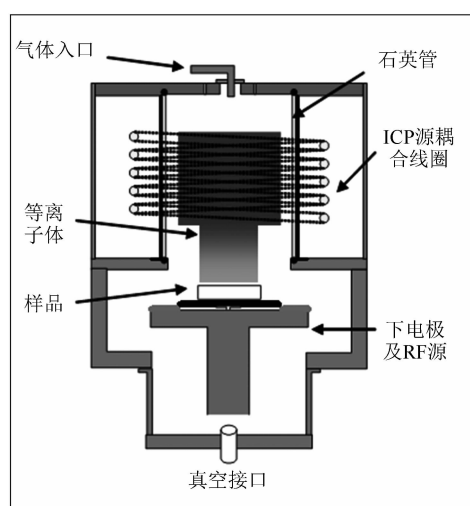


图 1 ICP 干法刻蚀系统的示意图

2 结果与讨论

2.1 负载效应抑制

负载效应可以分为宏观负载效应和微负载效应两种^[3]。它们都是由被刻蚀图形变化引起的。其中, 前者是指被刻蚀材料上的有图形和无图形区域对反应粒子的消耗量不同导致刻蚀效果的区域性差异, 而后者则是指有图形区域中图形尺寸及密度的变化造成局部刻蚀效果差异。负载效应导致图形被刻蚀之后的尺寸不一致, 进而引起芯片性能不均匀。

在长波 1280×1024 探测器芯片的刻蚀过程中, 芯片之外是空白的, 没有被刻蚀材料, 此时就存在宏观负载效应, 导致被刻蚀芯片的中心与边缘区域对活性反应粒子的消耗速率不同, 引起刻蚀速率差异, 造成刻蚀后的图形差异较大(见图 2)。

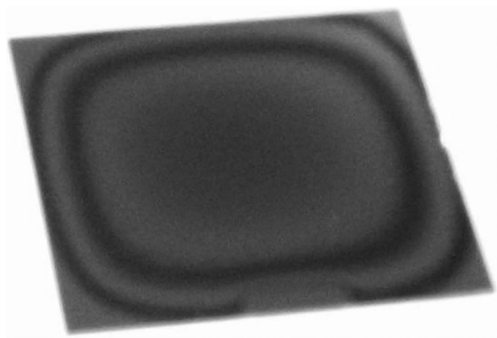


图 2 宏观负载效应导致刻蚀不均匀

针对上述问题,在实验中设计了陪片,即在长波 1280×1024 探测器芯片的边缘,选用与刻蚀材料相同的衬底作为陪片,并将其同探测器芯片拼接成一体,使边缘得到延伸。此时,宏观负载效应导致的不均匀性将施加在四周的陪片上。如图 3(a)所示,中心区域(蓝色)代表长波碲镉汞 1280×1024 芯片,四周(绿色)代表长波碲镉汞陪片。通过这样的方式来减小刻蚀不均匀性的影响。从图 3(b)(被刻蚀膜层的表观颜色)中可以看出,与图 2 相比,改进后的刻蚀均匀性明显提升。

在长波 1280×1024 版图中,边缘像元之外是环形划片线和地线,其线宽尺寸比接触孔大很多,导致接触孔刻蚀产生微负载效应,边缘接触孔尺寸与内部接触孔尺寸产生差异。针对该问题,设计版图时,在边缘像元以外,继续布局与像元尺寸相同的像元,以降低微负载效应。图 4 所示为版图布局改进前后的对比情况。从图 4(b)中可以看出,在划片线与地线

之间的原先空白区域,增加了像元阵列,从而抑制微负载效应。

2.2 刻蚀工艺优化

在长波 1280×1024 芯片的刻蚀过程中,经多次流片后发现,ICP 刻蚀的均匀性不仅受负载效应影响,而且还受温度效应影响。所谓温度效应,是指芯片表面的温度差异会影响刻蚀效果。高温会影响光刻胶的形状,同时能够增加反应粒子的活性,从而对刻蚀速率和刻蚀形貌产生影响。

实验所用的刻蚀设备具有样品盘温度控制功能,但是并未提供样品盘到芯片之间的热量传输功能。若简单地将芯片置于样品盘上,则无法保证二者之间的完美贴合,造成刻蚀过程中热量传输效率低。此时在芯片表面上积累的热量,一方面导致光刻图形变形失真,另一方面导致芯片过热部分的刻蚀速率变化。在这些因素的共同作用下,最终刻蚀均匀性下降。

为了保证 1280×1024 芯片在刻蚀工艺中获得良好的热传输效果,通常在芯片与样品盘之间手工涂覆一层导热脂或者贴装导热垫,以实现热量传输。但随着长波 1280×1024 芯片面积的增大,导热脂涂覆的均匀性难以保证,而贴装导热垫又不可避免地会对脆弱的长波碲镉汞材料施加压力。为了解决这个问题,本实验利用一种导热液来实现热量传输。该导热液挥发性低,可应用于高真空环境。根据芯片大小,将适量的导热液滴到样品盘中,然后向上



(a)



(b)

图 3 陪片设计的示意图及实际刻蚀效果

放置芯片。此时,液体会自然填充芯片与样品盘之间的空隙,较好地避免了导热脂涂覆均匀性和导热垫贴装压力等问题。

图 5(a)和图 5(b)所示分别为涂覆导热脂和导热液时的刻蚀效果。可以看出,采用导热液后,晶片导热良好,刻蚀底面平整光滑,刻蚀形貌较好。

在长波 1280×1024 芯片的刻蚀工艺参数方面,针对大面积、高密度阵列的特点,对刻蚀气体的配比进行了优化。以氢气、氩气和甲烷为反应气体,将甲烷流量比例从 15% 降低到 7%,减少大颗粒聚合物的生成;将 ICP 功率从 250 W 提高到 300 W,下电极的自偏压从 50 V 提高到 80 V,工作压力由 8 mTorr 降低

到 5 mTorr,以增加活性离子的浓度,使接触孔内的刻蚀生成物更加容易排出,避免积聚,从而提高刻蚀均匀性^[4-6]。图 6(a)和图 6(b)所示分别为工艺优化前后的效果。可以看出,图 6(a)中聚合物多,严重时会影响孔深度;图 6(b)中基本没有聚合物,刻蚀深度的均匀性高。

经计算可知,工艺优化后,不同芯片的孔深度平均值的均匀性有了较大提高。图 7 和图 8 所示分别为工艺优化前后芯片上 9 个区域的孔深度分布情况(每个区域视场内含 9 个接触孔,取其平均值)。

采用上述优化工艺后,接触孔深度的非均匀性由 14% 降低到 10%,均匀性得到了较大提升。图 9 为刻蚀接触孔后的扫描电子显微镜

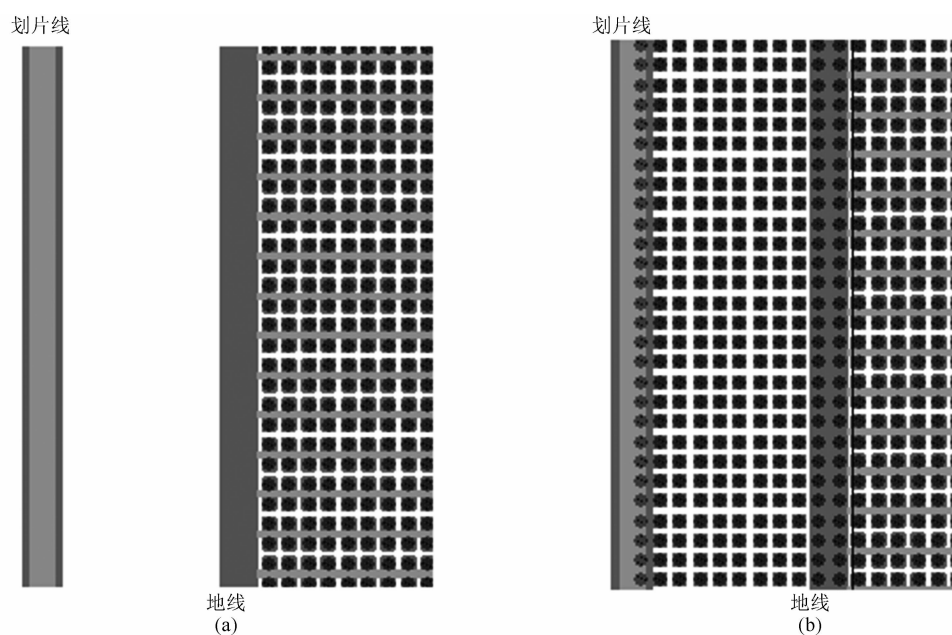


图 4 两种版图布局的对比图

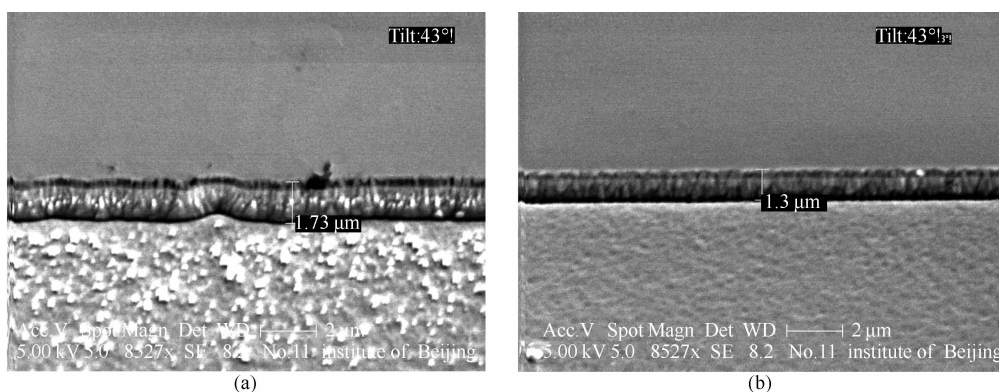


图 5 用导热脂与导热液刻蚀侧壁的效果

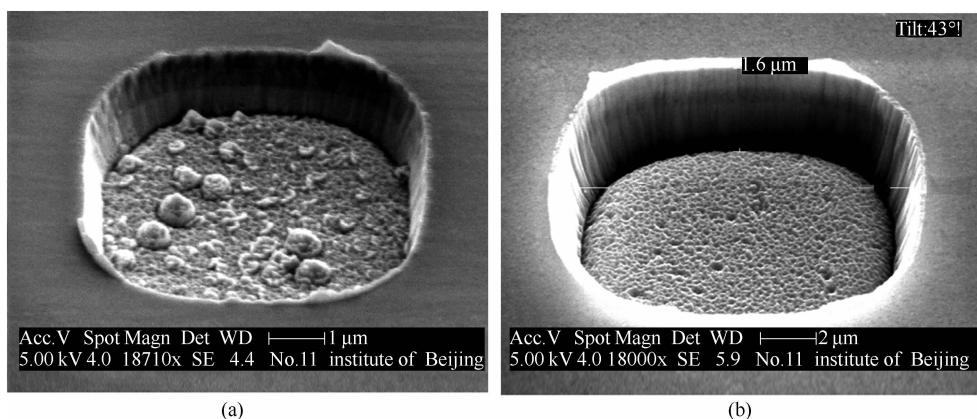


图 6 聚合物在接触孔内的分布

(Scanning Electron Microscope, SEM)图。可以看出,接触孔阵列的形貌差别很小,孔内部也没有明显聚合物,有利于大面阵高密度探测器芯片的制备。

1.10	1.03	1.26
1.15	0.95	1.07
1.22	1.29	1.23

图 7 芯片 A (原工艺)上 9 个区域内的接触孔深度分布图

1.12	1.20	1.23
1.09	1.01	1.26
1.15	1.14	1.19

图 8 芯片 B (优化后)上 9 个区域内的接触孔深度分布图

在对上述工艺进行优化后,我们制备了长波 1280×1024 碲镉汞芯片。结果表明,阻抗和电流没有异常,测试 I-V 均匀性良好(典型 I-V 见图 10)。

利用以上芯片制备了长波 1280×1024 碲镉汞探测器混成芯片。结果表明,整个面阵的电平响应较为一致,响应率的非均匀性为 8.53% (见图 11)。

3 结束语

通过对刻蚀过程中的负载效应、热传

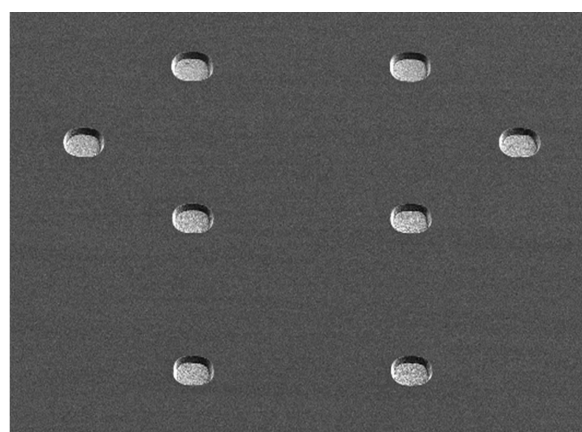
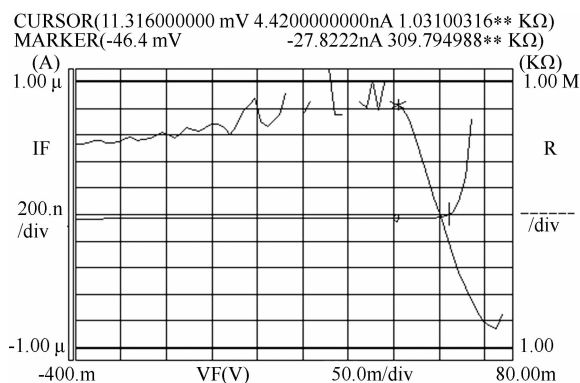


图 9 工艺优化后的接触孔刻蚀效果

图 10 长波 1280×1024 探测器芯片的 I-V 图

导效应以及工艺参数进行优化,提升了 1280×1024 大面阵碲镉汞长波红外焦平面器件中刻蚀接触孔的均匀性,为提升器件响应的均匀性奠定了基础。基于此工艺制备的长波 1280×1024 探测器芯片的 I-V 特性及电平图结果良好,进一步验证了大面阵刻蚀工艺的优化效果,同时也为更大面阵探测器刻蚀工艺的探索奠定了技术基础。

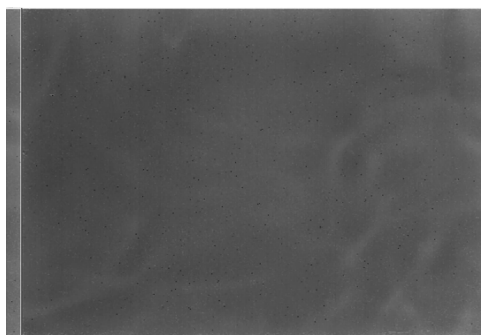


图 11 长波 1280×1024 探测器芯片的电平图

参考文献

- [1] 李震, 胡小燕, 史春伟, 等. 碲镉汞器件接触孔的 ICP 刻蚀工艺研究 [J]. *激光与红外*, 2008, **38**(12): 1211–1214.
- [2] 谭振, 亢喆, 李海燕. InSb 红外焦平面器件台面刻蚀工艺研究 [J]. *激光与红外*, 2016, **46**(1): 72–75.
- [3] Jeong-Yun Lee. Analysis of Dry Etch Loading Effect in Mask Fabrication [C]. *SPIE*, 2002, **4562**: 609–615.
- [4] Bommena R, Velicu S, Boieriu P, et al. Uniformity Studies of Inductively Coupled Plasma Etching in Fabrication of HgCdTe Detector Arrays [C]. *SPIE*, 2007, **6542**: 65420J.
- [5] Boulard F, Baylet J, Cardinaud C. Influence of Cadmium Composition on $\text{CH}_4\text{-H}_2$ -Based Inductively Coupled Plasma Etching of $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ [J]. *Journal of Electronic Materials*, 2010, **39**(8): 1256–1261.
- [6] Stoltz A J, Benson J D, Smith P J. Morphology of Inductively Coupled Plasma Processed HgCdTe Surfaces [J]. *Journal of Electronic Materials*, 2008, **37**(9): 1225–1230.