

文章编号: 1672-8785(2022)01-0006-05

10 μm 间距红外探测器钢柱制备研究

马 涛 谢 珩 刘 明 宁 提 谭 振

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 小间距红外探测器目前已成为红外探测器技术发展的一个重要方向。用于连接探测器芯片与读出电路芯片的钢柱的制备工艺水平成为影响器件性能的一个重要因素。介绍了一种 10 μm 间距红外探测器钢柱的制备工艺。新工艺采用多次钢柱生长结合离子刻蚀的手段, 最终剥离和制备出高度为 8 μm 、非均匀性小于 5% 的 10 μm 间距红外探测器读出电路钢柱, 解决了用传统工艺制备小间距钢柱时高度不够的问题。该工艺的优势是无需进行两芯片端的钢柱制备, 简化了工艺流程, 为以后更小间距红外探测器钢柱的制备提供了思路。

关键词: 钢柱; 离子刻蚀; 10 μm 间距; 红外探测器

中图分类号: TN214 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2022.01.002

Study of Indium Bump Fabrication for Infrared Detector with 10 μm Pitch

MA Tao, XIE Heng, LIU Ming, NING Ti, TAN Zhen

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

Abstract: Small-pitch infrared detectors have become an important direction in the development of infrared detector technology. The preparation process level of indium bump, which connects the detector chip and the readout circuit chip, has become an important factor affecting the performance. The fabrication process of indium bump for infrared detectors with 10 μm pitch is introduced. The new process uses multiple indium film growth combined with ion-etching methods, finally prepares a 10 μm -pitch indium bump for infrared detector readout circuit (ROIC) with a height of 8 μm and a non-uniformity of less than 5%, which solves the problem of insufficient height when small-pitch indium bump is fabricated by the conventional process. The advantage is that there is no need to prepare the indium bump on the two chip ends, which simplifies the process. The result provides an idea for the preparation of indium bumps for smaller pitch infrared detectors in the future.

Key words: indium bump; ion-etching; 10 μm pitch; infrared detector

收稿日期: 2021-08-18

作者简介: 马涛(1980-), 女, 北京人, 助理工程师, 主要从事红外材料与器件综合技术研究。

E-mail: matao@cetc.com.cn

0 引言

随着现代红外技术的发展, 作为红外探测核心光电器件的红外焦平面探测器变得越来越重要, 已成为多年来世界各国国防技术领域重点发展的热点技术之一, 在预警探测、情报侦察、夜视及光电对抗等领域具有不可替代的重要作用。

碲镉汞是一种重要的红外探测器材料。经过几十年的发展, 其芯片结构已由单元、多元发展至一维线列和二维面阵焦平面阵列, 短波、中波、长波和甚长波红外焦平面探测器研究已转入应用阶段, 各种规格的碲镉汞红外焦平面探测器已大量应用于各行各业^[1]。由于碲镉汞红外探测器被封装在杜瓦内, 即用制冷机将芯片制冷至工作温度(通常为 77 K), 像元数量增加会导致杜瓦的尺寸、重量和制冷功耗等增大。这些在探测器突破百万像素后成为制约红外探测器发展的瓶颈。解决上述问题的关键是减小像元尺寸。像元尺寸变小可以使系统的尺寸更小、重量更轻, 提高系统的紧凑度, 从而降低系统重量。同时, 杜瓦的尺寸、光学系统的直径减小, 也可以降低系统的功耗。另外, 像元间距缩小后, 同一片材料上可以获得更多的探测器芯片, 制备成本也相应降低。

目前, 小间距红外探测器已成为红外探测器技术发展的重要方向。像元尺寸减小具有诸多优势, 例如降低成本, 减小系统尺寸、重量和功耗等^[2]。在小间距红外探测器读出电路钢柱的制备工艺中, 其高度是衡量工艺效果的一个重要参数^[3]。红外探测器芯片与读出电路芯片间钢柱的总高度将直接影响后续倒装互连工艺的互连导通效果^[4], 进而对红外器件的盲元数目产生影响。对于小间距红外探测器读出电路钢柱的制备工艺而言, 尤其需要在极小的光刻孔下保证最终的钢柱高度。本文先分析小间距芯片传统钢柱制备工艺的加工难度, 然后提出新工艺的方案并付诸实施。最终的实验结果表明, 通过新工艺制备的钢柱可以满足后续工艺的使用要求。

1 问题分析

对于百万像素及以上规模的红外探测器, 主流技术途径是通过钢柱将碲镉汞焦平面芯片与读出电路芯片倒装互连, 实现信号读出。像元间距缩小到 10 μm 后, 两个有关钢柱的问题对倒装互连工艺的影响很大。一是钢柱的高度降低: 小间距限制了钢膜的设计面积, 使钢柱的高度降低; 互连时利用压力使钢柱通过形变缓解芯片不平的问题, 即互连工艺容差的范围大大降低。此外, 小间距还使焊接过程中对准精度控制的要求更高, 可通过探测器芯片和读出电路芯片双面钢柱生长来增加总高度, 但工艺相对复杂。二是钢柱的直径缩小, 单位面积内的密度更高。为了保证极高的有效像元率, 考虑到像元本身的缺陷, 倒装互连工艺的焊点失效率必须低于 0.5%。这对钢柱整体的均匀性控制提出了更高的要求。

在 10 μm 间距红外探测器读出电路钢柱的制备工艺中, 由于光刻孔极小, 且光刻胶的深宽比达到 2:1 (或更大), 采用传统的热蒸发/剥离工艺(流程见图 1)并不能制备出足够高度的钢柱, 无法满足后续倒装互连工艺的需求。

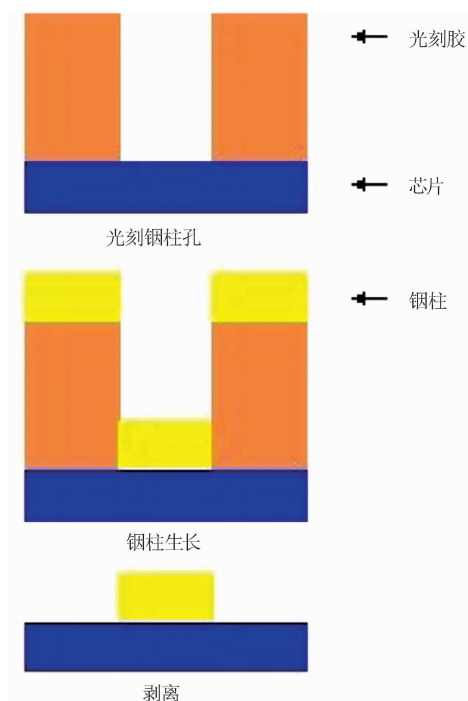


图 1 传统热蒸发工艺的流程示意图

传统热蒸发工艺一般采用热阻蒸发方式,即用热蒸发镀膜机加热蒸发舟,使舟内的高纯金属材料以一定的速率逸出,到达芯片的表面;芯片表面涂有光刻胶(经过光刻工艺),有光刻胶的部分中钢粒子沉积在光刻胶表面,没有光刻胶的部分中钢粒子直接到达芯片表面;经过堆积,形成一定高度的钢柱。在生长过程中,随着时间增加,光刻孔会被逐渐堵住,其聚焦离子束测试分析结果如图 2 所示。经过后续剥离后,钢柱的高度无法达到生长高度且极不均匀,如图 3 所示。这种情况将会严重影响后续探测器芯片与读出电路芯片的倒装互连工艺,难以保证两芯片实现良好的混成互连耦合效果。

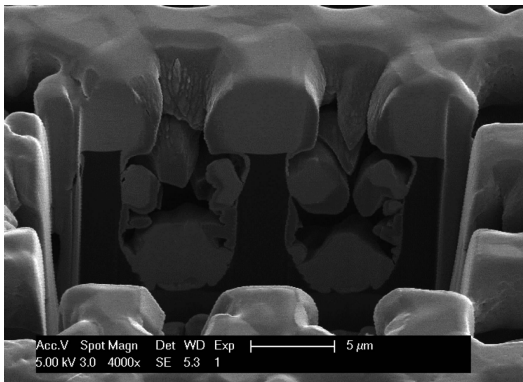


图 2 用聚焦离子束测试分析光刻孔的堵塞情况

2 技术方案

新工艺所采用的技术方案如下:在钢柱生长前实施厚胶光刻工艺,首先采用热蒸发镀膜工艺制备钢柱,然后使用离子束刻蚀工艺进行刻蚀,去除光刻胶上的钢层;再采用热蒸发镀膜工艺制备钢柱(第二次),并再次使用离子束刻蚀工艺进行刻蚀,去除光刻胶上的钢层;经过 N 次($N \geq 2$)热蒸发和刻蚀循环工艺后,得到高度满足工艺需求的钢柱;最终采用剥离工艺去除光刻胶,完成整套制备工艺^[6]。图 4 为工艺流程的示意图。

3 工艺实施及结果分析

以像元间距为 $10 \mu\text{m}$ 的红外探测器的读出电路端钢柱制备工艺为例。首先,在读出电路端进行厚胶光刻。光刻胶的涂覆厚度为 $10 \sim 20 \mu\text{m}$,光刻孔大小控制在 $4 \times 4 \sim 6 \times 6 \mu\text{m}^2$ 。然后使用热蒸发镀膜机进行钢柱生长(膜厚 $3 \sim 4 \mu\text{m}$)。接着使用离子束刻蚀机对读出电路芯片进行刻蚀(刻蚀时间为 $80 \sim 100 \text{ min}$),再重复两次钢柱生长和刻蚀工艺,最后进行剥离去胶,得到高度为 $8 \mu\text{m}$ 的钢柱。

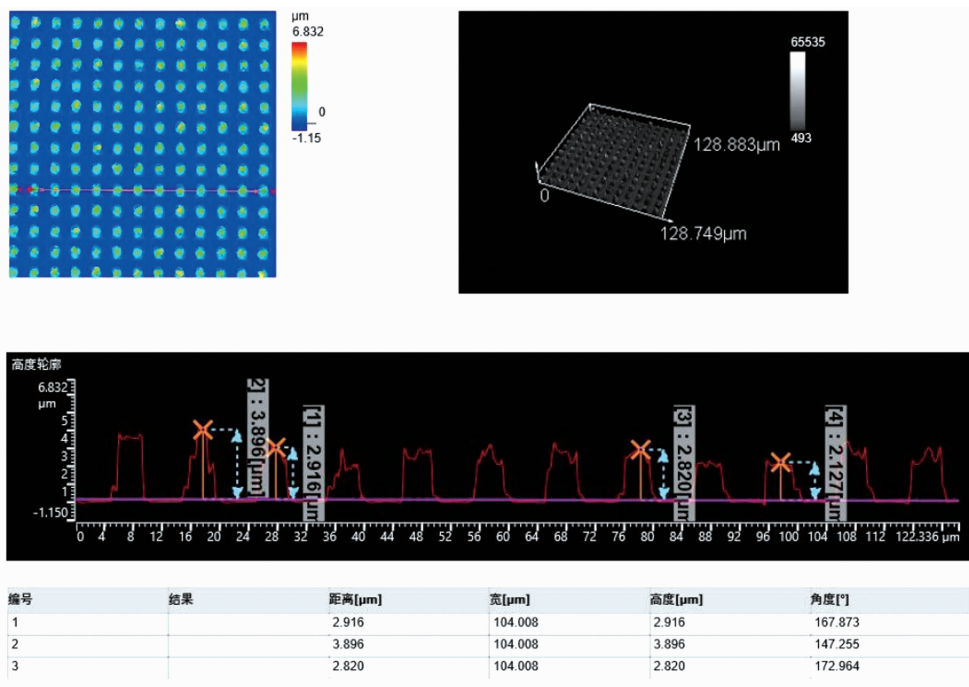


图 3 钢柱高度无法达到生长高度且极其不均匀(热蒸发工艺下钢柱生长高度为 $5 \mu\text{m}$)

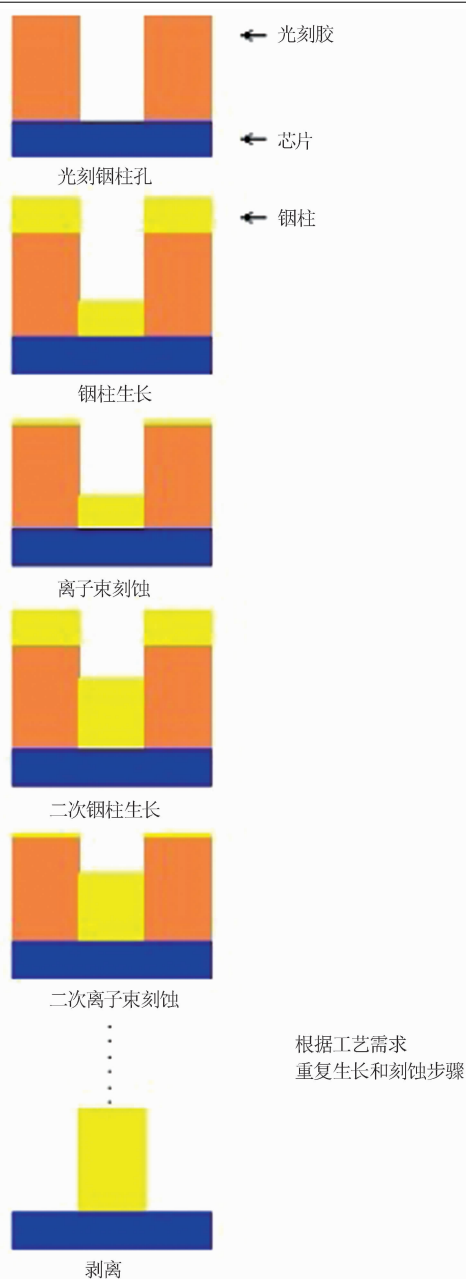


图 4 用热蒸发和刻蚀循环工艺制备钢柱的流程示意图

在钢柱生长的过程中, 随着生长时间的延长, 光刻胶上面的膜层会变得越厚。同时, 不止在纵向, 膜层还会在横向不断生长。因此, 光刻孔的直径就逐渐变小。随着生长时间的延长, 钢膜层越来越厚, 光刻孔的直径越来越小。因为直径减小, 蒸发的钢粒子受到阻挡, 所以进入光刻孔内的钢粒子就会越来越少, 光刻孔渐渐被堵住(见图 5)。

刻蚀工艺则可将光刻孔重新“刻开”。离

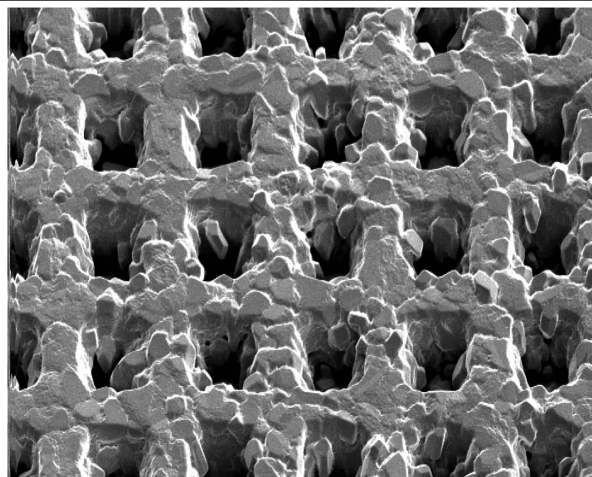


图 5 光刻孔逐渐被钢堵住

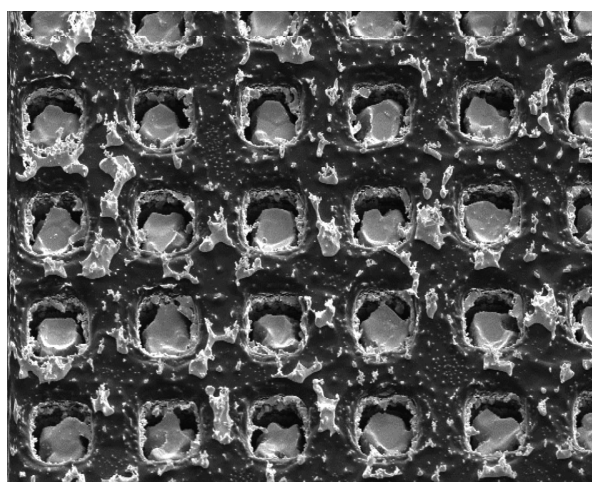


图 6 刻蚀工艺后的形貌

子束刻蚀的原理是使用氩气作为工艺气体, 加热灯丝(发射出电子), 在离子源的阳极与热灯丝之间加一定电压, 使发射出的电子和氩气发生电离作用, 产生等离子体; 通过栅网加速, 形成工艺使用的离子束。为了使离子束刻蚀工艺过程中钢不发生化学反应(影响读出电路的电学性能), 要保证仅通过氩离子与金属钢的碰撞进行物理刻蚀, 把已经生长到光刻胶上方的钢刻蚀掉, 同时也会把渐渐被堵住的光刻孔刻开。刻蚀工艺后的情况如图 6 所示。

最终剥离后, 测得钢柱的高度为 $8\ \mu\text{m}$, 非均匀性小于 5%。剥离后的钢柱高度比生长总高度要低。究其原因是在多次刻蚀过程中, 光刻孔里的钢柱也被刻蚀掉了一层, 因此高度与生长总高度相比有所损失, 如图 7 所示。

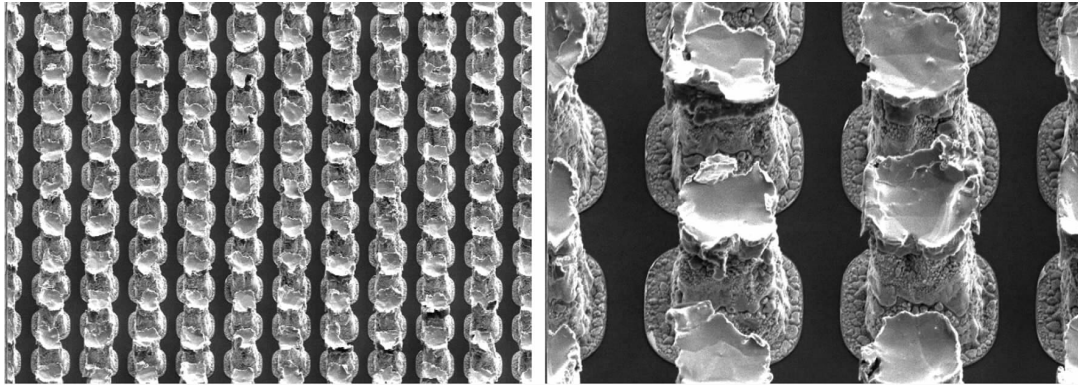


图 7 剥离后的钢柱阵列

4 结论

本文详细论述了一种 $10\ \mu\text{m}$ 间距红外探测器钢柱的制备工艺。新工艺采用多次钢柱生长结合离子刻蚀的手段，最终剥离制备出高度为 $8\ \mu\text{m}$ 且非均匀性小于 5% 的 $10\ \mu\text{m}$ 间距红外探测器读出电路钢柱，解决了用传统工艺制备小间距钢柱时高度不够的问题。

钢膜生长过程中，随着时间增加，光刻孔会逐渐被堵住，导致最终钢柱高度低且均匀性差。新工艺有效地避免了这个问题。而且由于读出电路芯片端钢柱的高度和均匀性可控，后续可以直接进行混成互连工艺，而不用再进行探测器芯片端的钢柱制备，简化了工艺流程。但是读出电路端的钢柱制备工艺较传统工艺相对复杂。新工艺提供了一种小间距红外器件钢柱制备工艺方法，现已实现了 $10\ \mu\text{m}$ 间距红外探测器钢柱的成功制备，为以后实现更小间距

红外探测器钢柱的制备提供了思路。

参考文献

- [1] Dahlin M J, O'Rourke E J. Advanced Focal Plane Array Systems for Next-Generation Scanning Remote Sensing Instrument [C]. *SPIE*, 2003, **4820**: 406–417.
- [2] Manissadjian A, Rubaldo L, Mollard L, et al. Improved IR Detectors to Swap Heavy Systems for SWaP [C]. *SPIE*, 2012, **8353**: 835334.
- [3] 谢珩. 读出电路钢柱打底层对钢柱成球高度的影响 [J]. *激光与红外*, 2011, **41**(1): 63–66.
- [4] 沈悦. 混合式长波线列 TDI 红外探测器改进互连工艺研究 [J]. *激光与红外*, 2007, **37**(12): 1281–1286.
- [5] 谢珩. 红外探测器读出电路钢凸点制备方法及制得的读出电路: CN111755572A [P]. 2020–10–09.