

7.5 μm 小间距铟凸点阵列制备的研究

冯晓宇, 孙 健, 王成刚, 谢 珩, 徐长彬, 王格清, 张 敏, 祁娇娇
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 红外成像系统中, 减小像元间距是目前重点发展的主题之一, 为了实现小的像元间距, 制备高精度均匀化的小型铟凸点阵列是关键之一。针对 7.5 μm 像元间距, 本文通过系列实验和分析, 研究了不同打底层尺寸和铟柱尺寸的组合对铟凸点制备的影响, 为制备高精度小型铟凸点阵列提供了良好的指导。

关键词: 红外探测器; 小间距; 铟凸点

中图分类号: TN214 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2021.06.015

Studies on the preparation of small In-bump arrays

FENG Xiao-yu, SUN Jian, WANG Cheng-gang, XIE Heng, XU Chang-bin,
WANG Ge-qing, ZHANG Min, QI Jiao-jiao
(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

Abstract: For the infrared imaging system, reducing the pixel pitch is one of the important developments topics at present. In order to achieve a small pixel pitch, one of the keys is to prepare small indium bumps with high precision and homogeneity. In this paper, through a series of experiments and analysis for 7.5 μm pixel pitch, the effect of different combinations of Under Bump Metal (UBM) and the indium column size on the preparation of In-bumps is studied, which provides good guidance for the preparation of high-precision small In-bump arrays.

Keywords: infrared detector; small pitch; indium bump

1 引 言

红外探测器是许多军事和民用应用中先进成像系统的关键组件。近些年许多新的概念被提出以指明红外探测器的发展方向: 系统尺寸、重量、功耗、价格和性能 (SWaP3)^[1-3], 在百万像素格式的成像系统中, 像元尺寸对这些关键属性起着至关重要的作用。减小像元间距是经济高效地制备大面阵红外探测器的关键因素, 有利于实现高空间分辨率的微型化红外成像系统, 增加红外系统的检测和识别范围^[4-5]。为了成功减小像元间距, 制备高精度和均匀性的小型铟凸点阵列是必须克服的挑战之一^[6-8]。本文通过不同打底层 (UBM) 尺寸和铟柱

尺寸交叉组合的系列实验研究, 分析讨论了小像元间距情况下铟凸点阵列的制备情况。

2 实 验

围绕尺寸为 7.5 μm 的小像元间距, 进行不同 UBM 尺寸和铟柱尺寸的系列对比实验。铟凸点制备流程如图 1 所示。硅片→光刻 UBM 孔→UBM 沉积→Lift-off→光刻铟柱孔→铟柱沉积→Lift-off→铟柱成球, 其中铟柱生长高度为 3 μm , UBM 孔的形状为圆形, 铟柱孔的形状为正方形, 具体参数详见表 1。

3 结果与讨论

铟凸点制备完成后, 对其高度和直径进行随机抽样测试, 取平均值, 测试结果详见表 1。

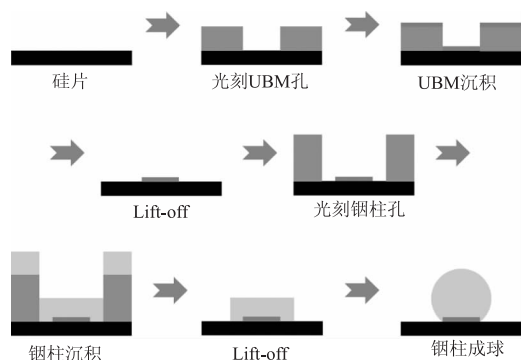


图1 钢凸点的制备流程

Fig. 1 Preparation process of indium bumps

表1 UBM 直径和钢柱边长参数及所制备的钢凸点尺寸

Tab. 1 UBM diameters and indium column side lengths and the size of indium bumps prepared

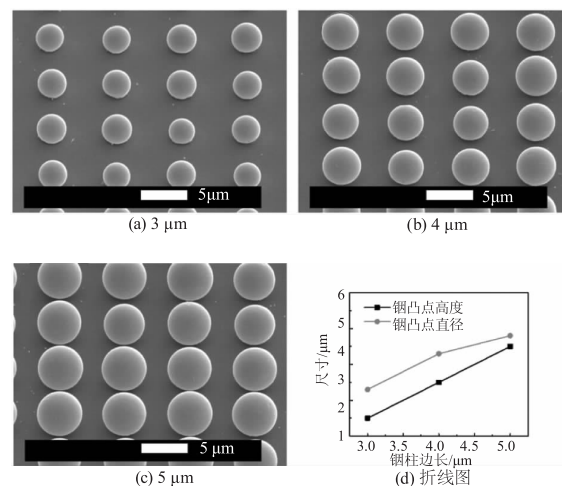
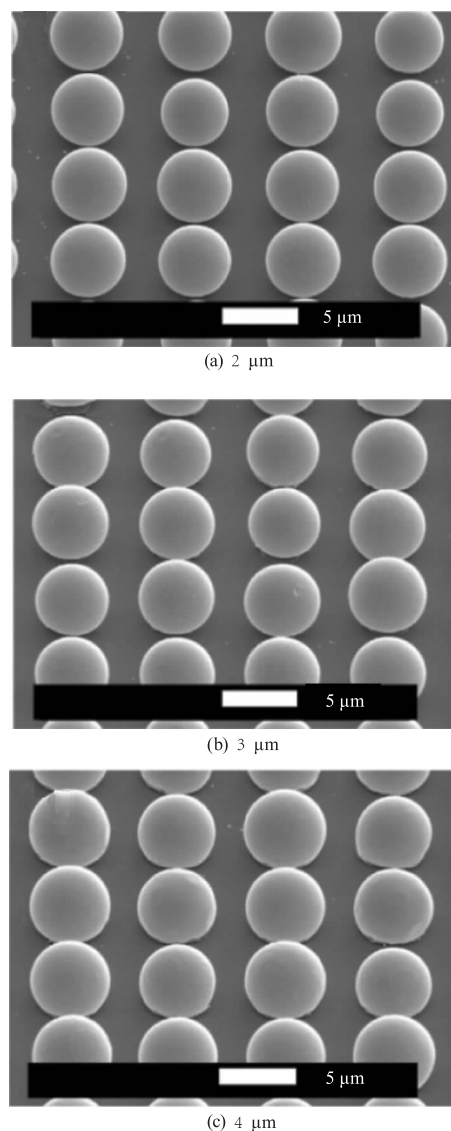
UBM 直径 / μm	钢柱边长 / μm	钢凸点高度 / μm	钢凸点直径 / μm
$\Phi 2$	3	2.5	3.3
$\Phi 2$	4	3.5	4.3
$\Phi 2$	5	4.5	4.8
$\Phi 3$	3	2.6	3.6
$\Phi 3$	4	3.5	4.5
$\Phi 3$	5	4.4	5.2
$\Phi 4$	3	2.5	4.6
$\Phi 4$	4	3.2	4.9
$\Phi 4$	5	4.2	5.4
$\Phi 5$	3	2.3	5.4
$\Phi 5$	4	2.9	5.3
$\Phi 5$	5	3.8	5.7

3.1 钢柱边长对钢凸点尺寸的影响

如图2所示,当UBM直径为2 μm 时,随着钢柱边长的增长,钢凸点的高度和直径也随之增长。从表2中也可以看出,当UBM尺寸保持一致的情况下,所制备的钢凸点尺寸随着钢柱边长的增加而增加,呈正相关。这是由于当钢柱高度不变,边长增加时,钢的总量增加,导致起球后钢凸点的尺寸整体增大。

3.2 UBM直径对钢凸点尺寸的影响

如图3所示,所制备的钢凸点阵列整齐均匀,精

图2 UBM直径为2 μm ,不同钢柱边长时制备的钢凸点的SEM图和折线图Fig. 2 The SEM images and line chart of the indium bumps prepared when the UBM diameter is 2 μm and the indium column side lengths are different

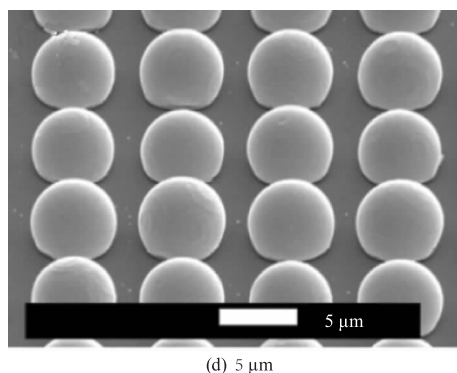
(d) 5 μm

图3 钢柱边长为 5 μm ,不同 UBM 直径时所制备的钢凸点的 SEM 图
Fig. 3 The SEM images of indium bumps prepared when the side length of the indium column is 5 μm and the UBM diameters are different
度高,统一性好。从图 4 中可以直观看出,当钢柱边长为 5 μm 时,随着 UBM 直径的增长,钢凸点的高度越来越低,直径越来越大。

UBM 直径同钢凸点的高度呈负相关,同钢凸点的直径呈正相关。这是由于当钢柱高度和边长均不变的情况下,钢的总量不变,UBM 的直径控制着成球后钢凸点的截面积,截面积越大,起球后钢凸点的高度则越小,直径则越大。

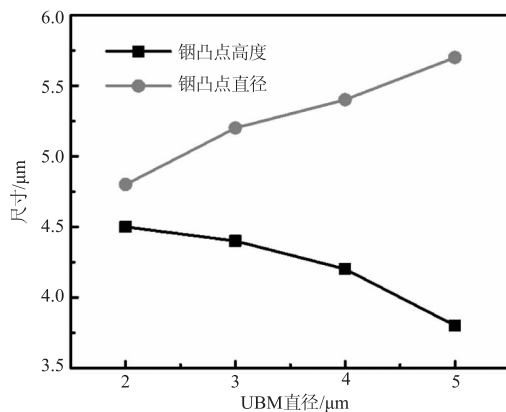


图4 钢柱边长为 5 μm 时,不同 UBM 直径对应的钢凸点尺寸

Fig. 4 The indium bump sizes corresponding to different UBM diameters when the side length of the indium column is 5 μm

3.3 钢柱边长与 UBM 直径的关系对钢凸点均匀性的影响

对钢柱边长为 5 μm ,UBM 直径分别为 2 μm 、3 μm 、4 μm 、5 μm 时所制备的钢凸点进行多点直径测量,测试结果如图 5 所示。

当 UBM 直径为 2 μm 时,最大直径与最小直径差值为 0.64 μm ,当 UBM 直径分别为 3 μm 、4 μm 、5 μm 时,最大直径与最小直径差值分别为 0.56 μm 、

0.44 μm 、0.36 μm ,如图 6 所示。可以看出,随着 UBM 直径的增加,所制备的钢凸点的最大直径差下降,均匀性逐渐提升。这可能是由于 5 μm 以下,UBM 的直径越来越小,更加接近工艺的极限,导致工艺控制能力相对更弱,从而使得均匀性变差,也可能是由于 UBM 直径与钢柱边长的差值增大导致的均匀性变差。

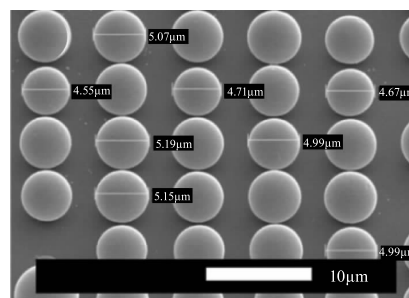
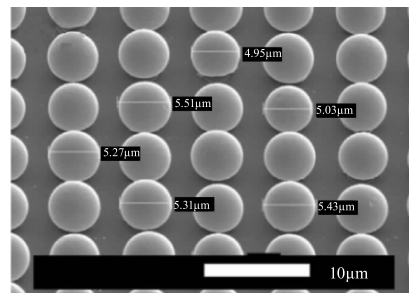
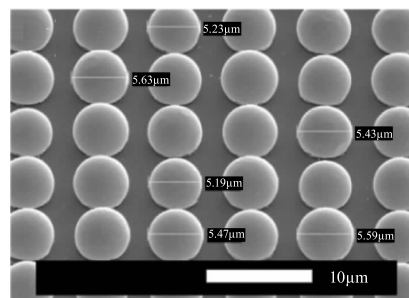
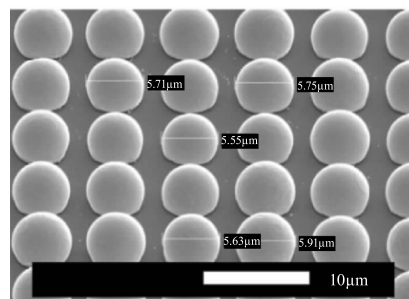
(a) 2 μm (b) 3 μm (c) 4 μm (d) 5 μm

图5 钢柱边长为 5 μm ,不同 UBM 直径时所制备的钢凸点的 SEM 图

Fig. 5 The SEM images of indium bumps prepared when the side length of the indium column is 5 μm and the UBM diameters are different

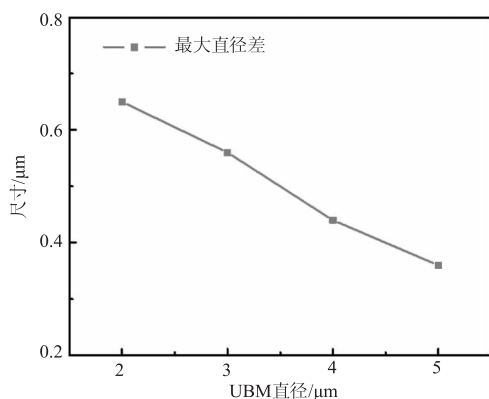
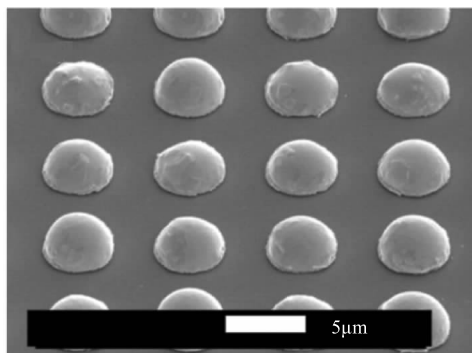


图6 钢柱边长为 5 μm 时,
不同 UBM 直径对应的最大直径差

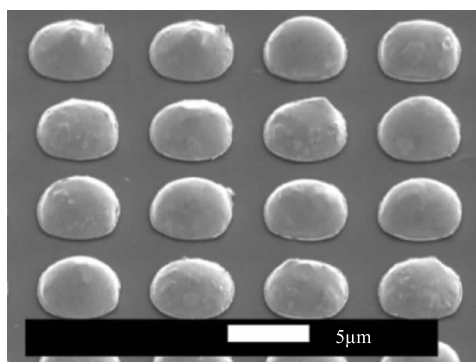
Fig. 6 The maximum diameter differences corresponding
to different UBM diameters when the side length
of the indium column is 5 μm

3.4 钢柱边长与 UBM 直径的关系对锡凸点形状的影响

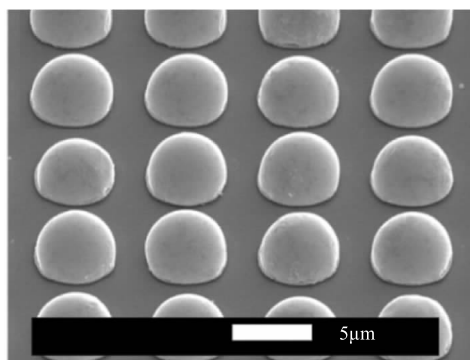
当 UBM 直径小于钢柱边长时,如图 2、图 3 所示,锡凸点呈球状结构;当 UBM 直径大于钢柱边长时,如图 7 所示,锡凸点呈椭圆岛状结构,并且从图 7(b)和(c)可以看出,随着 UBM 和钢柱尺寸差值的增大,岛状结构底面直径与高度的比例也随之增大。



(a) UBM直径为4 μm , 钢柱边长为3 μm



(b) UBM直径为5 μm , 钢柱边长为3 μm



(c) UBM直径为5 μm , 钢柱边长为4 μm

图7 不同 UBM 及不同钢柱边长情况下所制备的锡凸点的 SEM 图

Fig. 7 The SEM images of indium bumps prepared when the
UBM is different and indium column side length are different

3.5 7.5 μm 小间距锡凸点阵列尺寸的选择

针对像元间距为 7.5 μm 的混成式红外探测器,为了精准地完成倒装互连工艺,不仅需要所制备的锡凸点阵列具有高精度和高均匀性,而且由于其小间距的限制,锡凸点的直径必须保证能够给予倒装互连工艺一定的阈值,以防止互连后凸点间的粘连,在此同时还需要保证锡凸点具有足够高度,以满足倒装互连的工艺要求。综上,从本文所制备的高精度高均匀性锡凸点阵列中选择相对更加合适的锡凸点尺寸,当 UBM 直径为 2 μm ,钢柱边长为 5 μm 时,所制备的锡凸点高度为 4.5 μm ,直径为 4.8 μm ,如图 3(b)所示;当 UBM 直径为 3 μm ,钢柱边长为 5 μm 时,所制备的锡凸点高度为 4.4 μm ,直径为 5.2 μm ,如图 3(c)所示,此两种工艺所得锡凸点阵列具备良好的均匀性和精度,并且尺寸更满足 7.5 μm 小间距的倒装互连工艺要求,可用于 7.5 μm 像元间距红外探测器的制备。

4 结 论

本文针对 7.5 μm 像元间距红外探测器,通过系列实验和分析,成功制备出了高尺寸精度和高均匀性的锡凸点阵列,这将大大提升混成式红外探测器的倒装互连工艺精度及导通率,此外,得出了 UBM 尺寸和钢柱尺寸对所制备锡凸点尺寸的影响,以及 UBM 尺寸和钢柱尺寸的关系对锡凸点阵列的均匀性和形状的影响,对制备高精度小型锡凸点阵列具有良好的指导意义。

参考文献:

- [1] Bhan R K, Dhar V. Recent infrared detector technologies, applications, trends and development of HgCdTe based cooled infrared focal plane arrays and their characterization [J]. Opto-Electronics Review, 2019, 27 (2): 174 – 193.
- [2] Driggers R, Vollmerhausen R, Reynolds J, et al. Infrared detector size; how low should you go? [J]. Optical Engineering, 2012, 51(6): 063202.
- [3] Eich D, Schirmacher W, Hanna S, et al. Progress of MCT detector technology at AIM towards smaller pitch and lower dark current [J]. Journal of Electronic Materials, 2017, 46(9): 5448 – 5457.
- [4] Xie Heng, Wang Jun, Wang Xianmou. Research on flip chip bonding technology for mega pixels HgCdTe infrared FPA device [J]. Laser & Infrared, 2017, 47(3): 319 – 321. (in Chinese)
- 谢珩, 王宪谋, 王骏. 百万像素级红外焦平面器件倒装互连工艺研究 [J]. 激光与红外, 2017, 47(3): 319 – 321.
- [5] Kinch M A. The rationale for ultra-small pitch IR systems [C]//Infrared Technology and Applications XL, 2014: 907032 – 1 – 907032 – 14.
- [6] Lutz H, Breiter R, Eich D, et al. Towards ultra-small pixel pitch cooled MW and LW IR-modules [C]//Infrared Technology and Applications XLIV. Florida, 2018.
- [7] Rogalski A, Martyniuk P, Kopytko M. Challenges of small-pixel infrared detectors: a review [J]. Reports on Progress in Physics, 2016, 79(4): 046501
- [8] Bisotto S, Abergel J, Dupont B, et al. 7.5 μm and 5 μm pitch IRFPA developments in MWIR at CEA-LETI [C]//Infrared Technology and Applications XLV. Maryland, 2019.