

文章编号: 1672-8785(2024)11-0034-06

倒装焊接机调平问题的研究

王 慧* 冯晓宇 宁 提 谢 珩 马腾达

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要: 倒装互连工艺是制冷型红外焦平面探测器制备的关键技术之一, Z 向压偏问题是影响倒装互连工艺成品率的重要因素。从倒装焊接机的设备角度, 讨论了倒装焊接机调平与 Z 向压偏问题的关联性。测量的校准块不同位置焦距数值、标定校准块中点的准直十字位置粗略表明上焊臂与下基台的相对平行。此外, 采用激光束获取的上下两个标准块不同位置与激光器的距离, 精确表明上焊臂与下基台的空间平行, 验证了倒装焊接机调平的准确度。首次建立研究倒装焊接机调平问题的方法体系, 为高效解决倒装互连工艺 Z 向压偏问题、提升红外焦平面探测器成品率和可靠性打下了良好基础。

关键词: 制冷型红外焦平面探测器; 倒装焊接机; 调平问题

中图分类号: TN214 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2024.11.005

Research on Leveling Problem of Flip Welding Machine

WANG Hui*, FENG Xiao-yu, NING Ti, XIE Heng, MA Teng-da

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

Abstract: The flip interconnect process is one of the key technologies for the preparation of infrared focal plane detectors. The Z-direction bias is an important factor affecting the yield of the flip interconnect process. From the point of view of the equipment of flip welding machine, the relationship between the level of flip welding machine and the Z-direction pressure deviation problem is discussed. The measured focal length values of different positions of the calibration block and the collimation cross position of the center point of the calibration block roughly indicate that the upper welding arm is relatively parallel to the lower abasement. In addition, the distances between the two standard blocks and the laser at different positions obtained by the laser beam accurately indicate that the upper welding arm is parallel to the lower abasement, and verify the accuracy of the levelling of the flip welding machine. The method system for studying the levelling problem of flip welding machine is established for the first time, which lays a good foundation for efficiently solving the Z-direction pressure bias problem of flip interconnection process and improving the yield and reliability of infrared focal plane detector.

Key words: cooled infrared focal plane detector; flip welding machine; levelling problem

收稿日期: 2023-11-14

作者简介: 王慧(1995-), 女, 山西朔州人, 硕士, 主要从事混成探测器倒装互连、底部填充以及红外器件与材料研究。

*通讯作者: E-mail: wh19800356080@163.com

0 引言

制冷型红外焦平面探测器具有灵敏度高、探测距离远、分辨率高等显著优点, 被广泛应用于工业、医疗、航空航天等领域, 其未来发展方向日益趋于大面阵、小间距、低功耗(SWaP³)等^[1-3]。倒装互连工艺是制冷型红外焦平面探测器制备的关键技术之一, 直接影响探测器的性能及成品率^[4-6]。倒装互连工艺通过高精度倒装焊接机, 对红外光敏芯片和读出电路芯片进行调平和像元对齐; 采用加热、加压等方法完成红外光敏芯片与读出电路芯片之间的电学和力学连接, 制备出红外焦平面探测器^[7]。

倒装互连 Z 向压偏问题会使红外光敏芯片与读出电路芯片之间无法完全形成有效连接, 具体表现为红外焦平面探测器成像图中出现区域性盲元, 导致探测器性能下降甚至因盲元面积过大而失效^[8-9]。该问题是影响倒装互连工艺成品率和红外焦平面探测器可靠性的重要因素。本文通过实验研究倒装焊接机调平与 Z 向压偏问题的关联性, 提出了验证倒装焊接机调平准确度的方法。

1 倒装互连工艺

当前红外领域的国际主流倒装焊接机为法国 SET 公司的 FC150 和 FC300 两种型号的设备。该公司占据全球高端红外焦平面探测器倒装互连工程化设备的全部市场份额。本文使用的设备为法国 SET 公司的 FC150 型倒装焊接机。

1.1 倒装焊接机校准操作

校准是指在正式工艺之前进行的倒装焊接机调试工作, 主要目的是通过一系列固定程序操作流程来确认设备状态, 并将精度偏差调节至正常范围内。倒装焊接机调平主要分为力臂与基台的平行度调节、装置光轴的调平两部分。校准使用的校准块与基板必须完全清洁, 从而保证洁净度。任何粒子都会在平行度校准中引入误差。

设备上焊臂与下基台的调平采用的是下路的自动准直器。采用长镜来进行反射, 显微镜处于初始位置(见图 1)。当长镜处在下基台上时, 使用十字线中心记忆长镜在下基台上的反射十字; 当上焊臂真空吸附长镜远离下基台时, 通过操控上焊臂的俯仰和滚动调节来解锁球体(Sphere), 然后调节 Sphere 值使得长镜的十字与十字线中心相匹配, 由此可以实现上焊臂与下基台的平行。

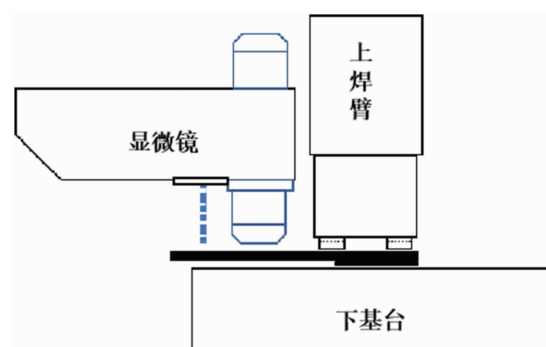


图 1 上焊臂与下基台平行度校准示意图

由于光敏芯片到下基台的调平是使用自动准直器的两个光路(见图 2)来完成的, 因此自动准直器的上部路径必须相对于下面的路径进行调整。此时不再需要校准镜, 可以使用大校准块来取代。调节显微镜内部的棱镜 J3J4, 使得上焊臂在此高度与下基台保持水平, 将上焊臂在运动过程中产生的系统误差包含在计算中。

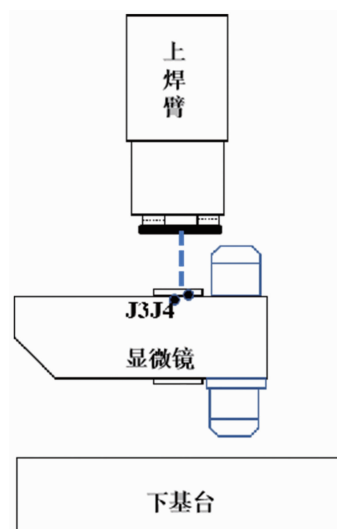


图 2 装置光轴的调平校准示意图

1.2 倒装焊接机的调平方式

使用倒装焊接机进行倒装互连工艺。红外光敏芯片与读出电路芯片的对准分为以下两个方面：(1)XY 方面的对准；(2)Z 方向上的平行^[8,10]。

XY 方面上的对准应用的是图像重叠方法：使用倒装焊接机的 CCD 镜头并通过分光镜将光路一分为二，分别采集上路光敏芯片以及下路读出电路芯片的图像，返回的两路图像在同一个显示器上；移动操纵杆使上下两个图像在同一垂直轴上对准，而垂直轴与上焊臂的平行很容易通过校准程序完成；将光敏芯片的正面图像与读出电路芯片的图像对齐，即可完成 XY 方面的对准^[9-10]。该对准精度由设备校准时的最大精度以及设备上焊臂在运动过程中的重复精度共同决定。

1.2.1 准直调平

准直调平是指光源发射出一个“十字叉”的光斑，由分光镜将该光束分别射向光敏芯片和读出电路芯片，两者反射的“十字叉”光斑投射在同一显示屏上。解锁球体，调整光敏芯片的“十字叉”与读出电路芯片的“十字叉”完全重合。此时光敏芯片和读出电路芯片是相对平行的。使用准直调平要求光敏芯片和读出电路芯片表面都具有较好的反射性。当芯片材料对光线反射较差时，“十字叉”可能较模糊或不可见，该方法会产生误差。

1.2.2 激光调平

激光调平是将激光束照射在光敏芯片和读出电路芯片表面，通过接收其反射光束来获取该位置到激光器的距离。倒装焊接机通过获取不同位置光敏芯片和读出电路芯片与激光器的距离，来显示两者之间的空间位置关系。通过计算机对距离数据的分析，可以对红外光敏芯

片和读出电路芯片的倾斜角度进行自动调节，以达到光敏芯片与读出电路芯片相平行的目的。激光调平的方式对材料反射性依赖较低，可以在材料反射率较低的场景下应用。

1.3 倒装互连工艺过程

红外探测器组件的光敏芯片和读出电路芯片是分开制备的。在读出电路表面制备钢柱，互连时对光敏芯片上的电极与读出电路芯片上的钢球实现像元级对准。目前通常采用重叠影像的方式，经过监视器观察，移动下基台使读出电路芯片的钢球与光敏芯片实现像素对准，通过准直调平或者激光调平使得光敏芯片和读出电路芯片保持相对平行。将光敏芯片和读出电路芯片精对准以后，退出光学对准装置。上焊臂下降，使光敏芯片和读出电路芯片焊接区域接触，同时由微处理器控制精密机械系统施加压力，实现光敏芯片和读出电路芯片的牢固焊接。工艺流程如图 3 所示。

2 倒装互连 Z 向压偏问题分析

2.1 问题现象描述

倒装焊接机完成校准操作后，进行正式产品的倒装互连工艺。此时也可能出现 Z 向压偏的问题。该问题表现为读出电路芯片表面一侧的钢球压缩量大，另一侧的钢球压缩量小。互连后读出电路芯片的钢球状态如图 4 所示。图 4(a)所示一侧钢球被压缩严重，甚至相连；图 4(b)所示一侧钢球几乎没有被压缩。

2.2 问题验证思路

影响倒装互连 Z 方向压偏的因素如下：(1)红外光敏芯片的平整度；(2)读出电路芯片钢球高度的一致性；(3)红外光敏芯片与读出电路芯片的相对平行性(由倒装焊接机的调平准确度决定)。可以说，倒装互连质量由红外光敏芯片状态、读出电路芯片的钢球状态以及

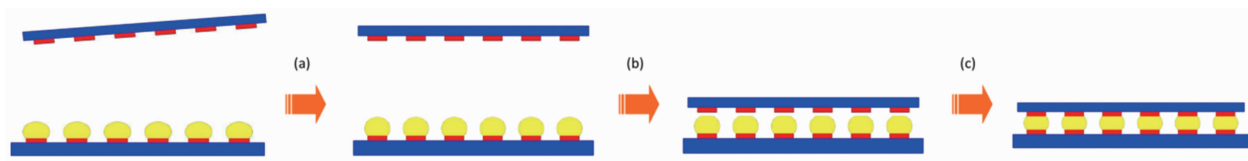


图 3 倒装互连工艺过程示意图

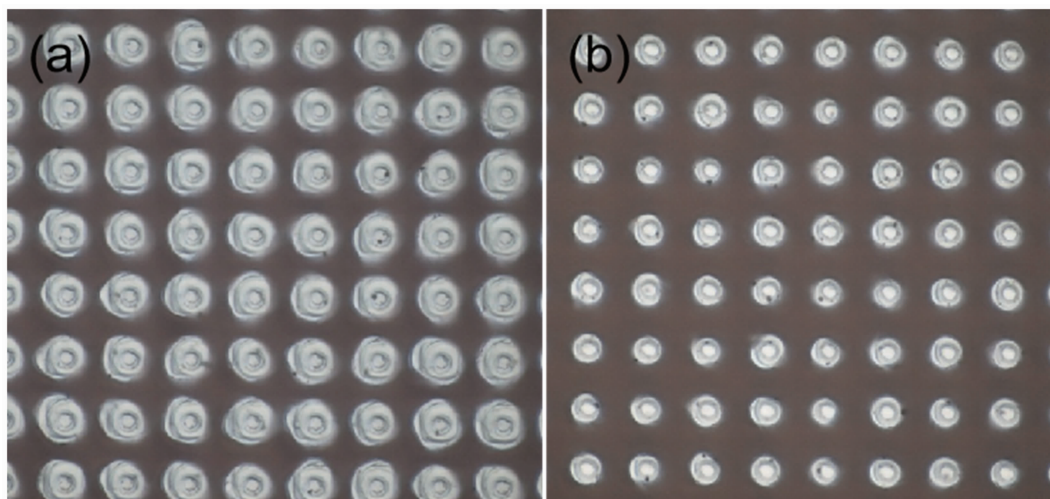


图 4 (a)钢球压缩量较大的图片; (b)钢球压缩量较小的图片

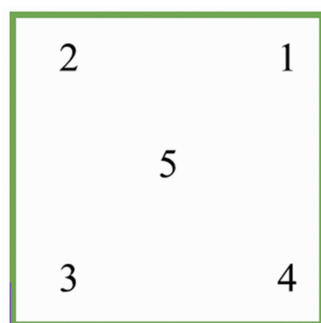


图 5 实验校准块的五点位置

倒装焊接机调平状态三个要素共同决定,缺一不可。针对倒装互连 Z 向压偏问题的验证,前提是先确认倒装焊接机调平的准确度,然后进行倒装互连材料状态的验证。针对倒装焊接机调平准确度的验证,本文将从焦距、准直调平、激光调平三方面进行实验。使用一对标准校准块,选取校准块的五个固定位置点,如图 5 所示。焊接机上焊臂吸取校准块,进入对准调平模式。在完成调平后,采用五点焦距测量、准直调平和激光调平方式分别验证上校准块与下校准块是否相对平行。

2.3 问题分析讨论

2.3.1 校准块五点的焦距数值

倒装焊接机吸取校准块,上焊臂上的校准块称为 chip,下基台上的校准块称为 sub。显微镜进入对准模式,使用操作杆移动显微镜到第一点,调节上下光路焦距,使得显示器中可以清晰显示第一点 chip 和 sub 两校准块的游标

(chip 校准块在显示屏中呈现绿色游标, sub 校准块在显示屏中呈现黄色游标),记录此时上路焦距和下路焦距数值,并依次观测记录其余四点的焦距数值。如表 1 所示,1~5 代表标准校准块的五点,第二行数据代表光学显微镜到上校准块 chip 五点的焦距数值,第三行数据代表光学显微镜到下校准块 sub 五点的焦距数值。

从表 1 中可以看到,上台 chip 的五点焦距数值相差较小,差值为 32;下台 sub 的五点焦距数值相差也很小,差值为 44。由此可以得出,chip 与 sub 基本平行,但是本方法只能粗略判断。

2.3.2 校准块五点的准直十字位置

启动显微镜,将上下两校准块在 X、Y 方向对准后移动显微镜,依次进入五点的准直调平模式。根据前面对准直调平的介绍,在准直模式中上路光源会发射出一个“十字叉”的光斑(见图 6)。入射光通过分光镜被分为上下两束光,上路光源射向上焊臂上的校准块后会反射出绿“十字叉”(chip 十字),下路光源射向下基台上的下校准块后会反射出黄“十字叉”(sub 十字)。采用显示器中的十字线标定五点的上下两路“十字叉”的位置:采用十字线标定 sub 第 1 点的黄“十字叉”位置,记录十字线的坐标(350, 261.18);再次使用十字线标定 chip 第一点的绿“十字叉”位置,记录十

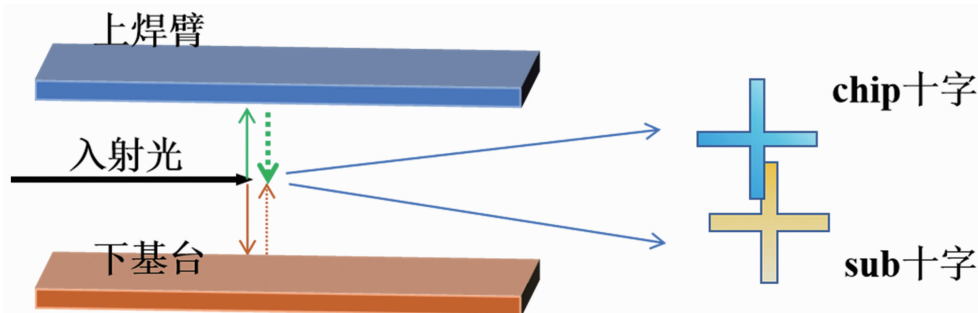


图 6 准直模式中上下路光源反射的十字

表 1 上下两校准块五点的焦距数值

	1	2	3	4	5
chip	7346	7334	7314	7318	7326
sub	248008	248008	247984	247986	248028

表 2 上下两校准块五点的准直十字位置

	1		2		3		4		5	
	$x/\mu\text{m}$	$y/\mu\text{m}$	$x/\mu\text{m}$	$y/\mu\text{m}$	$x/\mu\text{m}$	$y/\mu\text{m}$	$x/\mu\text{m}$	$y/\mu\text{m}$	$x/\mu\text{m}$	$y/\mu\text{m}$
sub	350.12	261.18	347.65	260.95	346.41	264.57	349.38	264.38	347.68	262.3
chip	348.15	262.37	348.92	262.17	348.2	263.64	347.74	263.11	347.68	262.3
差值	1.97	-1.19	-1.27	-1.22	-1.79	0.93	1.64	1.27	0	0

表 3 上下两校准块五点的激光距离(单位为 μm)

	1	2	5	3	4
sub	128.75	128.86	130.93	131.97	131.98
chip	150.78	150.68	149.67	148.06	148.02
和值	279.53	279.54	280.6	280.03	280

字线的坐标(348, 262.37); 以此类推, 将五点的准直十字位置记录在表 2 中。

从表 2 中可以看到, 中间第 5 点 chip 十字与 sub 十字的 x 、 y 差值等于零, 说明第五点的 chip 十字与 sub 十字重合。而其余四点的红绿十字并没有完全重合, 坐标差值小于 $2\mu\text{m}$, 原因是校准块上面的颗粒或者吸附后面型稍微发生变化, 可忽略其差异。准直调平中十字斑的重合表明 chip 与 sub 是相对平行的, 证明了倒装焊接机调平校准的准确度。

2.3.3 校准块五点的激光距离

启动显微镜, 将上下两玻璃块在 X、Y 方向对准后移动显微镜, 依次进入五点的激光调平模式。根据前面对激光调平的介绍, 保持光源射向五点的光强一致, 记录上下两校准块的

五点到激光器的距离。从表 3 中可以看出, sub 第一点到激光器的等效距离为 $128.75\mu\text{m}$, 而 chip 第一点到激光器的等效距离为 $150.78\mu\text{m}$ 。该距离仅仅只是一个用来相对比较的数值, 机器出厂时一般会将此数值调到一定范围内。

由表 3 和图 7 可知, 校准块 chip 和 sub 的五点距离之和基本一致, 最大差值为 $1.07\mu\text{m}$, 说明五点形成的空间平面是互相平行的, 也就表明 chip 与 sub 相平行, 从而证明倒装焊接机调平校准后上焊臂与下基台是相对平行的。因此, 可采用激光测距方式准确描述出倒装焊接机的调平准确度。

2.3.4 结果与讨论

位于上焊臂和下基台的两个校准块在完成调平后, 分别采用五点焦距测量、准直调平和

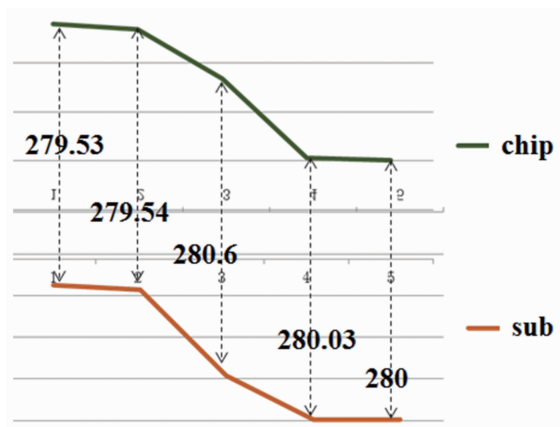


图 7 上下校准块五点之间的激光距离

激光调平方式相互验证。其结果均可表征两个校准块此时表现为平行状态, 说明该设备当前的准直调平和激光调平方式均处于正常工作状态, 调平准确度满足工艺要求。通过该方法可以成功验证倒装焊接机调平功能的准确性。在倒装互连工艺过程中, 如果发生 Z 向压偏的问题, 可以通过该方式来分析或定位倒装焊接机的调平问题。

3 结束语

倒装焊接机调平的准确度是制备高质量红外焦平面探测器的前提。本文对倒装焊接机调平方式及倒装互连工艺流程进行深入分析, 针对倒装互连工艺 Z 向压偏问题, 先对该问题的前提影响因素——倒装焊接机调平的准确度进行验证。测量的校准块不同位置的焦距数值、标定校准块中点的准直十字位置粗略地表明上焊臂与下基台的相对平行。此外, 采用激光束获取的上下两个标准块不同位置与激光器的距离, 精确表明了上焊臂与下基台的空间平行, 验证了倒装焊接机调平的准确度。本文建立的倒装焊接机调平准确度的检测机制, 为高效解决倒装互连工艺 Z 向压偏问题提供了思路, 也为研制低盲元率、高可靠性的焦平面阵列探测器打下了良好基础。基于本文的研究, 下一步

将重点考虑设备加压焊接过程以及物料、环境对 Z 向压偏问题的影响。

参考文献

- [1] Rogalski A. Third generation infrared photon detectors [J]. *Optical Engineering*, 2003, **42**(12): 3498–3516.
- [2] 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.
- [3] Malik M H, Tsiamis A, Zangl H, et al. Die-level thinning for flip-chip integration on flexible substrates [J]. *Electronics*, 2022, **11**(6): 849–862.
- [4] Yin J, Tan Z, Hong H, et al. Ultrafast and highly sensitive infrared photodetectors based on two-dimensional oxyselenide crystals [J]. *Nature Communications*, 2018, **9**(1): 3311–3318.
- [5] 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.
- [6] 胡伟达, 李庆, 陈效双, 等. 具有变革性特征的红外光电探测器 [J]. *物理学报*, 2019, **68**(12): 7–41.
- [7] 耿红艳, 周州, 宋国峰, 等. 红外探测器倒装互连技术进展 [J]. *红外与激光工程*, 2014, **43**(3): 722–726.
- [8] 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.
- [9] 谢珩, 周铭, 李春领, 等. 大规模红外焦平面阵列探测器的有效像元率研究 [J]. *红外*, 2023, **44**(6): 1–6.
- [10] 董绪丰. 混成式焦平面探测器倒装互连研究 [D]. 成都: 电子科技大学, 2014.