

氧化层对于倒装焊接质量的影响和分析

张智超, 赵建忠

(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘要:利用氧化铟易于溶于酸性溶液的性质,提出了在倒装焊接之前使用酸性溶液对铟柱进行酸洗。在未进行酸洗和进行酸洗的条件下,对比了样品在焊接之后的拉力以及在经过热循环后的盲元率,结果显示酸洗能够降低表面氧化层的影响,有效地改善倒装焊接的质量。

关键词:酸洗;倒装焊;铟柱

中图分类号:TN214

文献标识码:A

Affect and analysis of oxidation layer for the quality of flip chip bonding

ZHANG Zhi-chao, ZHAO Jian-zhong

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

Abstract: This article presents acid could be used to wash the indium bumps before flip chip bonding, based on indium oxide dissolved in acid. The samples are divided into two parts: without acid pickling and with acid pickling. According to the comparison of pulling force and blind pixel rate of these samples, the result is showed: acid pickling reduces the affect of oxidation layer and improves the quality of flip chip bonding.

Key words: acid pickling; flip chip bonding; indium bumps

1 引言

红外探测器经过近七十年发展已经从早期的单元器件发展为现在的面阵器件——红外焦平面器件,红外焦平面器件由接收热辐射的光敏部分和对经由光敏材料转换出的电学信号处理的信号处理电路两部分组成。按照这两部分的制造和连接方式的不同红外焦平面器件可以分为单片式和混片式两种结构,在现在的生产制造过程中,通常采用混片式结构。图1是混片式结构的示意图。混片式结构的技术难题在于在光敏芯片和信号处理电路间形成良好

的互连。

光敏芯片和信号处理电路的互连通常采用现在业已成熟的倒装焊接技术,通过倒装互连,光敏芯片和信号处理电路间建立了信号传输的通道,而且铟柱互连的形成也使得光敏芯片和信号处理电路物理的结合在一起,形成了一个整体。

铟柱表面的氧化层是影响互连的主要因素,为了实现良好的互连,需要对铟柱表面进行一定的处理。本文通过对清洗前后样品进行焊接拉力的检测以及热循环实验验证铟柱表面的氧化层对于焊接质量的影响,并且检验清洗方法是否有效。

2 焊接原理及氧化层分析

2.1 焊接的原理

焊接的实质是在同种或是异种材料之间形成原

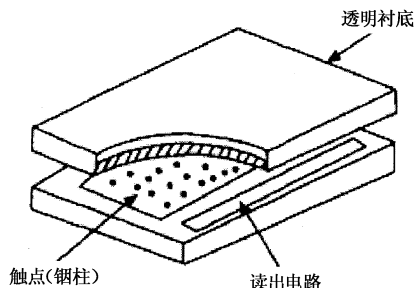


图1 混片式红外焦平面器件的结构示意图

作者简介:张智超(1982-),男,在读研究生,主要的研究方向为倒装焊接工艺及相关问题。E-mail:111-water@163.com

收稿日期:2009-04-24;**修订日期:**2009-05-19

子间的结合^[1],对于金属而言就是形成金属键。原子间结合力的大小是原子间引力和斥力共同作用的结果,原子间的引力和斥力是和原子间的距离是有密切的关系的,因此必然存在一个特殊距离,使得两个原子间合力为引力且处于最大值,从理论上讲,两个被焊接的固体金属表面接近这个特殊距离时,就可以在接触表面上产生扩散、再结晶等物理化学过程,从而形成金属键,达到焊接的目的。因此,为了形成良好的焊接必须使得被焊接的两个金属表面上有尽可能多的原子之间形成金属键。

2.2 焊接对于金属表面的要求

为了能够依靠原子之间的引力来保证焊点的结合,必须使焊点的表面避免吸附层、氧化膜和常见的污染等其中的任何一种^[2],而且还要求使焊点的接触面接近到原子直接能够相互起作用的距离之内。因此,为了形成连接必须施加压力,以引起对接面的塑性形变,使相对焊点表面原子之间的距离缩短,而且增大连接面的接触面积。

冷压焊过程中^[3],因为外加压力,相焊金属在界面处产生定向的塑性变形流动,一方面可以排除影响金属物理接触的表面,另一方面使界面处的金属晶粒不断被挤压碎化,随着挤压过程的继续界面处碎化的细晶相互咬合,使得两侧金属的细小晶粒紧密接触,当达到原子引力的距离时,细晶粒的表面原子形成了键合力,即细晶粒的晶间接合。由于界面已被“挤碎”,咬合的细晶大大增加了两侧金属形成键合的晶界面积,使得冷压焊接头表现出了很高的强度。

2.3 钢柱表面的氧化层

在红外焦平面互连的过程中,对于互连结果最主要的影响因素就是焊点表面的氧化层^[4],焊接前对钢柱的处理都是围绕着钢柱表面的氧化层来进行的。

2.3.1 氧化层的生成和性质

在红外焦平面互连中,影响焊接的主要因素是钢柱自身形成的氧化层。钢柱表面非常容易被氧化,通常情况下,钢柱表面会有一层 $80 \sim 100 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 2.54 \text{ cm}$) 厚的氧化层存在,而且在移除这些氧化层后,钢柱表面会马上生成一层 $30 \sim 40 \text{ \AA}$ 厚的氧化层,并且在大约三天之后氧化层的厚度会增长到 $80 \sim 100 \text{ \AA}$ 。钢的氧化物^[5]一般是指氧化钢 (In_2O_3),氧化钢不溶于水,但能够溶于酸性溶液和强碱性溶液中。

2.3.2 氧化层的去除

在一般工业生产中,对于氧化层的去除有物

理和化学两种方法,由于红外焦平面器件以及作为焊点的钢柱的特殊性所致,对于氧化层的去除只能采取化学的方法,即根据氧化物的性质采用相应的酸性或碱性溶液冲洗器件,使氧化层和溶液发生化学反应,生成易溶性的物质,使焊点裸露出新鲜未经氧化的金属表面,最后使用大量的去离子水进行冲洗。

3 实验研究

3.1 样品的制备和清洗方案

在实验中使用的样品为 InSb 样品,样品上的钢柱采用沉积的方法制作。在这里对于钢柱清洗采用了以下的方法:先使用酸性溶液进行腐蚀,然后使用去离子水冲洗,最后在氮气流中干燥脱水。

3.2 焊接机械强度检测

将样品分为两组,每组有六个样品:第一组不进行清洗,直接将作为样品的 InSb 和相应的信号处理电路进行焊接;第二组对样品和相应的信号处理电路按照第 3.1 节中的清洗方法进行清洗,随后进行焊接。

3.2.1 拉力检测

两组实验使用的焊接设备相同,保证焊接精度为 $\pm 0.5 \text{ \mu m}$,焊接时使用的条件相同。焊接后将两组样品进行破坏性检测,得到这两组样品的拉力。具体的数值结果如表 1 所示。

表 1 两组实验的拉力

kg						
样品号 组号	1	2	3	4	5	6
1	4.833	3.049	3.117	1.078	6.970	3.102
2	22.563	21.619	17.649	21.663	22.466	19.780

从表 1 中可以看出,第二组的拉力明显要大于第一组的拉力,而且数据的均匀性要好于第一组,说明经过清洗,样品的机械连接强度有了明显的提高,即清洗过程是有效的。第一组的拉力有较大的波动,不能维持一个较为稳定的数值,这一方面说明样品焊点表面的氧化层对焊接的机械强度有着直接的影响,不预先在焊接前将焊点表面的氧化层去除会使得焊接的结果明显地变差;另一方面,焊接中施加的压力是为了能够将焊点表面的氧化层压裂,但是当焊点表面的氧化层厚度和焊接接触面的表面粗糙度较大时,氧化层碎片有很高的几率会形成大面积的覆盖膜留在在两个相对的接触面的中间,这种覆

盖的程度因为焊点表面的形貌而有差异,这是导致拉力波动的重要原因。

焊接拉力是评价焊接接头的机械强度的一个重要的参数,拉力的大小反映了两边钢柱的接触状况,只有在两边的钢柱对接表面之间形成广泛的紧密的接触,才能实现良好的互连,达到焊接的目的。清洗使得钢柱表面的氧化层的厚度降低,在焊接时施加的压力的作用下,更容易使得两边的钢原子间达到形成引力的距离范围内,最后形成良好的焊接接头。

3.2.2 焊接前后钢柱的形貌

金属钢^[5]质地极软而且富有可塑性。它比铅还要软得多,很容易被外力划伤,也很容易用刀切割。在室温下,钢就很容易被施加压力加工而且看不到任何因为施加压力而被槌硬的现象。因此,在焊接前后,钢柱由于外力的作用形貌会发生明显的变化,在外力的作用下,钢柱会被压低,直径增大,因此接头的接触面积也会变大,接触面的增加也会提高焊接接头的机械强度有帮助。

对焊接前后钢柱的形貌进行 SEM 检测,图 2 展示了焊接前钢柱的形貌和焊接后被拉力检测破坏的钢柱的形貌:可以明显地看到图 2(b)~(d)中的钢柱形貌相比于图 2(a)中的钢柱形貌发生了变化,主要是单侧钢柱的高度相比焊接之前要低,图 2(b)~(d)在断裂面上的情况也有差别,图 2(b)中焊点从两个钢柱的接触面上断裂,图 2(c)和图 2(d)中焊点在一侧的钢柱中间发生断裂,但是被拉下的钢的大小有差别。

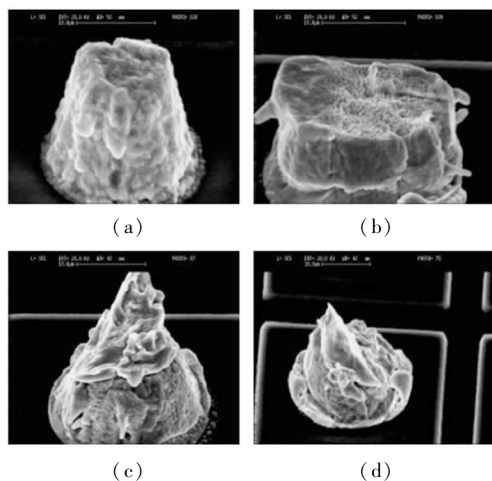


图 2 钢柱的形貌变化

(a)焊接前的钢柱形貌;

(b)、(c)、(d)焊接后被拉力实验破坏的钢柱的形貌

焊点在拉力实验中的开裂位置和钢柱表面的清洁状态有关,当钢柱表面的氧化层厚度较大时,两侧钢柱表面间的结合状态不佳,接头的强度低于钢柱

内部的金属强度,焊点从接触面上开裂。当钢柱的表面比较清洁时,接头的强度提高,接近金属内部的强度,焊点的开裂将可能发生在接触面以外的位置,这时钢柱的表面清洁状态将不再是影响焊接接头强度的主要因素。

3.3 盲元率检测以及可靠性

焊接实现了光敏芯片和信号处理电路的机械连接和电学连接,电学连接的好坏影响了焦平面的成像质量,其主要的表现是盲元的形成,产生盲元的原因有很多,焊接质量的高低是其中的一个重要的因素。InSb 焦平面器件要工作在 77 K 的温度下,在温度由室温降到 77 K 的过程中,器件边沿的焊点将承受较大的应力,容易产生焊点开裂^[6],导致盲元增加。

将八个样品分为两组,分别在不进行清洗和进行酸洗两种处理条件下进行焊接,焊接的过程和压力条件相同。检测样品在进行热循环实验之前和进行热循环实验之后的盲元率,温度的变化范围为 77~300 K,每个样品的热循环次数为 300 次。在热循环的过程中当循环的次数达到 100 次、200 次和 300 次时,分别对样品的盲元率进行检测,在图 3 中展示了器件在循环过程中盲元率的变化。

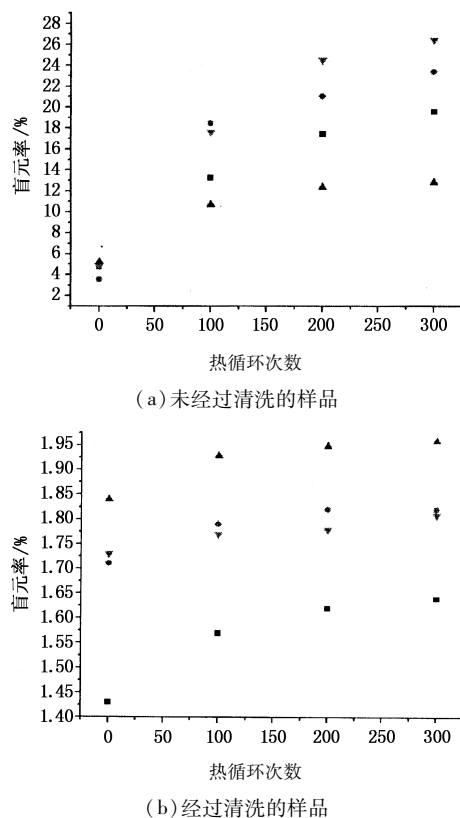


图 3 样品的盲元率的变化

从图 3 中可以看出对于未清洗的样品,在未进

行热循环实验之前,它们的盲元率在4%左右,远大于经过清洗的样品的盲元率。而经过清洗的样品的盲元率在2%以下,说明酸洗去除钢柱表面的氧化层能够改善红外焦平面的电学特性,使得器件的盲元率保持在一个较低的水平。

在两组样品经历了100次、200次和300次热循环之后,它们的盲元率都发生了改变,两组样品的盲元率的增加主要出现在进行了100次热循环之后,而在进行了200次和300次热循环之后,它们的盲元率有的依然有增加,但是增加的幅度已经显著减小,尤其是经过清洗的样品的盲元率在200次和300次的热循环之后的改变非常小,保持在一个比较稳定的数值上。对于未经清洗的样品而言,在经过了300次的热循环之后,盲元率变化最大的已经增加到初始情况的将近七倍,变化最小的也已经增加到初始情况的两倍;而清洗后的样品盲元率的变化最大的也只增加了15%,在经过了300次的热循环后之后它们的盲元率依然是可以接受的。

以上的实验说明了在经过清洗之后的焊接质量是可靠的,能够实现光敏芯片和信号处理电路的互连。

4 结 论

由于金属钢本身的性质所致,金属钢会在表面上形成一层氧化层。这些覆盖在钢柱表面的氧化层会严重阻碍焊接时两边钢柱的接触,影响焊接接头

的结合质量,焊接接头机械强度下降会使得红外焦平面器件因为工作温度变化带来的应力而发生开裂,使得器件的性能下降,严重影响了红外探测器的寿命。

在倒装互连之前对钢焊点进行酸洗处理能够有效的降低钢柱表面的氧化层对于焊接质量的影响,提高器件的可靠性,这对于改善焦平面的互连是非常有意义的。检验器件的可靠性是一个长期的过程,对于酸洗对器件可靠性的具体影响将在以后的工作中进一步展开进行。

参考文献:

- [1] 杜长华,陈方. 电子微连接技术与材料[M]. 北京:机械工业出版社,2008:20-22.
- [2] 陈翠欣,韩文祥,林成新. 双金属冷压焊固相结合强度的分析和计算[J]. 金属成形工艺,2001,19(2):8-9,17.
- [3] 亢世江,吕玉申,陆军芳. 金属冷压焊结合机理的试验研究[J]. 机械工程学报,1999,35(2):77-80.
- [4] 张国栋,王海珍,龚启兵,等. 增强混成式焦平面器件互连芯片可靠性的几点措施[J]. 航空兵器,2001(3):13-14.
- [5] 巴·依·费多洛夫,拉·哈·阿克林楚. 钢化学手册[M]. 张启运,徐克敏,编译. 北京:北京大学出版社,2005:14-15,23-25.
- [6] 王戎兴. 碲镉汞红外焦平面器件的钢柱生长技术的研究[J]. 红外与激光技术,1990(1):6-11.