

无铅焊接简介

▲ 美国 OK 国际集团 奥科电子(北京)有限公司

摘要：随着无铅焊接的逐步应用(这是大势所趋)，越来越多的用户开始寻找合适的焊接工具与密管脚芯片返修设备。为了使大家能够对无铅焊接有更多的了解，本文对无铅焊接做了主要的介绍。

关键词：无铅焊接；熔点

一. 无铅焊料的定义：

一般认为，当铅的含量 $<0.1-0.2\%$ (重量百分比)时，才可以算是无铅焊料。传统的有铅焊料，多为 63/37，铅的百分比为 37%。由于铅对环境有较大的污染，发达国家陆续颁布法律即将严禁使用有铅焊料。我国 2006 年 6 月以后也要加入严禁使用的行列。目前新的无铅焊料的生产与使用有很多种，每个公司选用的也很不相同，有关的理论分析与测试分析的文章非常多，观点也很不一样。有关的专利估计在 1000 种以上。我们只能就以下几种主要的无铅焊料进行介绍，不可能对所有你们遇到的进行介绍。因为这些产品，很多都是在变化，究竟哪一种将来会占主宰地位，观点不大一致。

如果按照无铅焊料的熔点分类，可以将目前出现的无铅焊料分为三种：

1- 高熔点无铅焊料(熔点在 205C 以上)：

Sn/ Ag / Cu 熔点 217C

Sn / Cu, 熔点 227C.

Sn/ Ag/ 熔点 221C

Sn / Ag / Cu/ Bi 熔点 217C

2- 中熔点无铅焊料(熔点在 180C 以上)

Sn/Ag/Cu/Bi 熔点 200-216C

Sn/Zn 熔点 199 C

3- 低熔点无铅焊料(熔点在 180C 以下)

Sn / Bi 熔点 138 C

在当前市场上，综合各种因素，应用高熔点无铅焊料的比较广泛。而在高熔点无铅焊料中，Sn/Ag/Cu 无铅焊料又是用的最广泛，比如摩托罗拉，诺基亚，爱立信就选用该种。有人预言，将来 Sn/Ag/Cu 会成为无铅含料的主要产品，但是也有人预言，将来低熔点无铅焊料会成为主导产品。

二. 选择无铅焊料的主要因素

1- 熔点

熔点的高低决定了有关的工艺条件。虽然中低熔点的无铅焊料熔点比较低，但是目前因为沾锡性比较差，焊接强度不理想，不耐高温，价格高等原因，大多数厂家选用的是高熔点无铅焊料。客户在使用无铅焊接物料时，首先需要了解的是熔点，这与客户的后续使用有最直接的关系。

2- 可焊接特性

无铅焊料的可焊接特性都不如有铅焊料。但是相对而言，无铅焊料的可焊接特性，还是有好差之分，客户需要区别。

3- 可靠性

有的无铅焊料在高温下面可靠性比较差，但是在 200C 以下可靠性比较好，所以客户在选择无铅焊料时，应该考虑这一因素。一般的家用电器等产品，200C 以下的温度就可以了，但是对于很多需要进行返工的产品，必须经受 200C 以上的高温。

4- 价格

与无铅焊料的成分与制造过程有关。含银或者含 Bi 等贵重元素的价格都较高,含银的比例越高,价格越高。

如上面介绍的 Sn/Ag/Cu, Sn/Ag, Sn/Ag/Bi 类价格是普通有铅焊锡的 2.5 倍, Sn/Cu 类是普通有铅焊锡的 1.5 倍。

5- 是否为专利

有的无铅焊料虽然价格高一点,但是已经注册为专利,电子生产厂家以后不会遇到法律问题,所以欧美日本等电子生产厂家愿意选用此类焊料。

三. 对高熔点无铅焊料的简要介绍

1- Sn/ Ag/ Cu 主流产品

Sn95.5/Ag3.8/Cu0.7 摩托罗拉, 诺基亚, 爱立信选用此类产品。

优点: 可焊接性比较好, 湿润强度, 湿润速度, 高温稳定性都比较好。焊点的机械强度较好。熔点 217C. 可兼用波峰焊与熔焊。这是欧盟认定的配方。

另外, 美国 NEMI 认定 Sn95.5/Ag3.9/Cu0.6 的配方(用于熔焊, 如果用于波峰焊, 认定 Sn99.3/Cu0.7 的配方)。

日本 JIEDA 认定 Sn95.5/Ag3.0/Cu0.5 的配方。

一般的无铅焊料与电镀的 Sn-Pb 层之间往往兼容性差, 但 Sn/Ag/Cu 无铅焊料还不算太差。

2- Sn/ Cu : (Nortel, Racal 采用)熔点: 227C

成分: 99.3Sn- 0.7Cu. 主要用于波峰焊。因为不含 Ag, 价格略低, 锡流不易氧化, 浮渣也不多。但是焊接可靠性与焊接强度比上面差。有人为了减少成本, 在 SMT 阶段用 Sn/ Ag/ Cu , 在波峰焊用 Sn/ Cu , 这种混合使用的方法, 质量管理比较容易发生问题, 返修时不知道该选何种无铅焊料。

缺点: 熔点较高。

3- Sn/ Ag : 熔点 221c.(Ford, Motorola , NCMS 采用)

成分: 96.5Sn-3.5Ag.

优点: 机械强度高, 可焊接性好。导电性比有铅焊料好。某些日本德国的专家认为该焊料是取代 SnPb 最合适的焊料, 但是美国业者认为不如 Sn/Ag/Cu, 因为其沾锡性差。

缺点: 价格高, 沾锡性(WETTING)较差, 原因是液态表面张力比较大。

4- Sn / Ag /Cu/ Bi: 熔点 200-217 C(Sony 采用)

注意, 在高熔点焊料, 中熔点焊料都有此种成分。

优点: 好的可焊接性, 波峰焊与 SMT 焊接都可以。加入 Bi 的目的是为了降低熔点, 沾锡性也有所改善, 但是缺点是在波峰焊通孔处发生焊点裂纹(Fillet lifting)现象, 原因是无铅焊料沿 X-Y 方向的膨胀系数高于 PCB, 而 PCB 沿 Z 方向上的膨胀系数又高于无铅焊料, 特别是含 Bi 的无铅焊料, 该缺点更明显。无铅焊接比较有铅焊接的主要难点:

1- 焊接温度较高。这是公认的难点。多数人认为, 无铅焊接的温度应该比熔点高大约 40C. 其实手工焊接时, 高多少度和客户使用什么样的烙铁有关。如果你使用的是 metcal 烙铁, 高的幅度可以少一点, 因为它的热量传递速度, 在同等条件下最快。如果是其它烙铁, 高的幅度就需要多一点。就是有铅焊接的手工焊接, 使用 metcal 烙铁可以比传统烙铁低 20-30C 左右, 所以对于无铅焊接的手工焊接, 不能以为传统烙铁需要多少温度, metcal 烙铁也需要多少温度。

按照上面介绍的无铅焊料, 熔点最高的是 227C, 再增加 40C, 也就是 267C.

不论用什么烙铁, 你必须保证无铅焊料在该温度下保持一定的时间。

注意：由于助焊剂选择的正确与否，也影响到焊接温度是否合适，所以焊接效果好不好，不能单纯以为烙铁头的温度越高越好。只是因为现在很多用户用的是传统烙铁，热量传递比较慢，有的用户以为焊接不好的原因就是烙铁的温度低。

其实，要保证手工无铅焊接的质量，除了烙铁头的温度要合适(这一点很多人知道)以外，还有一个重要的条件是烙铁头传给焊点的热量也要合适(这一点很多人不知道)。因为，焊点内部金属形成速率与焊接温度与焊接时间有关，如果烙铁提供的热量过大，会增大焊点金属层的体积，从而导致焊点产生易脆的缺陷。

提供的热量过小，会使焊点熔化不足。

为了使大家更明白热量传递与烙铁头温度的关系，我们用以下公式说明：

$$Q = T \times F \times t \times W$$

Q-烙铁头向焊点传递的热量

T-烙铁头与焊点之间的温度差

W-烙铁头与焊点之间的传热系数

F-烙铁头与焊点之间的接触面积,

t-烙铁头与焊点的接触时间

由该公式可以明白：如果要保证热量 Q 足够，必须：

(1) 烙铁头与焊点之间的接触面积 F 不要过小。所以尖的烙铁焊点不容易熔化，我们希望客户选择形状合适的烙铁头，尽量选宽的烙铁头，就是这个原因。

(2) 烙铁头与焊点之间的温度差 T 不要过小(也就是烙铁头的温度不要过低)。

注意，对于传统烙铁，当它与焊点接触时，由于采用电阻发热，温度恢复慢，所以 T 的值在接触焊点的一瞬间开始变小，等候 T 恢复到原来的值，时间较长。

而 metcal 烙铁，接触到焊点，T 基本不变化(或者说，因为感应加热，温度几乎瞬间恢复)。所以，metcal 烙铁的 T 值比传统烙铁低一点，也可以达到同样的传热效果。

(3) 接触时间 t 要有一定，一般小于 3 秒左右。注意，有的传统烙铁为了保证 Q 不会太少，采用过高的温度，这样一来，T 过高，如果时间 t 也过高，提供的热量 Q 就过大，焊接废品出现的概率大增。因为，操作者根本无法根据 T 的变化找到合适的时间 t。但是对于，metcal 烙铁，烙铁头温度恒定，T 不会过高，时间 t 的影响不大，操作者不必为此操心，也就不容易出问题了。

(4) w 传热系数与烙铁头与助焊剂的使用有关。如果助焊剂活化作用减弱，该系数降低。另外，如果烙铁头与焊点之间有氧化膜，w 传热系数也降低。

美国 OK 集团的 metcal 烙铁，不管是 MX-500, SP-200, PS-800，温度都十分稳定，能够在最短的时间传递足够的热量，而且不需要操作者调节温度。所以，它们是无铅焊接的最佳选择。其它传统烙铁温度恢复特性差，烙铁头接触到焊点时温度降低，等候恢复的时间比较长。所以在焊接无铅焊料时，很困难。而且，由于无铅焊接温度提高，氧化的速度加快，传统烙铁头的使用寿命大为缩短，这也是需要客户考虑的。

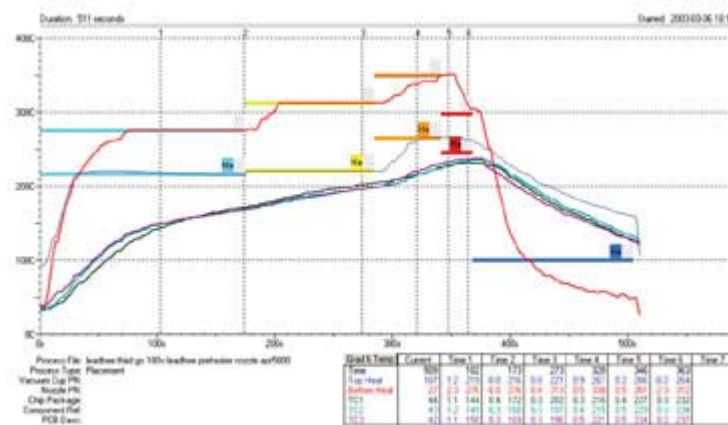
METCAL 烙铁的焊接温度在同样条件(同样的无铅焊料，同样的烙铁头几何形状，同样的助焊剂，同样的管脚等)，可以比传统烙铁低一些，相应的氧化速度也会慢一点。

对于无铅焊接，波峰焊与熔焊的温度都要提高。采用美国 OK 公司的 APR5000 设备焊接芯片时，必须提高温度，但是回流曲线要选择正确，芯片可以接受的最高温度与最低温度在高峰区只有正负 5C(高温区)，如果没有选择正确这个区域，焊接结果就容易失败。而普通的有铅焊接(63Sn/37Pb)选择的回流曲线比较容易，最高温度只要在 205-255C 范围内都是可以的。有人推荐，如果无铅焊料是 Sn95.5/Ag3.8/Cu0.7，熔点温度为 217C,回流曲线的最高温度应在 235C 以上，液态时间应在 40 秒以上比较合适，此参数仅供参考。

据美国 OK 集团的介绍，用 APR-5000 做无铅焊接芯片按以下返工曲线焊接效果很好。注意：特别要

求芯片表面的温度，焊锡球的温度，PCB 板下面的温度三者温度的误差应在正负 5C 以内。

回流焊区 225-235c 的加热时间应该在 15-30 秒范围内。温度过高，加热时间过长都会焊接不好。液态加热时间过短，焊点内部可能出现空穴和其它焊接不良的问题。



由上图可以看到最下面的 3 条曲线 TC1, TC2, TC3 几乎重叠，这说明 3 个温度(芯片表面温度，焊锡球温度，PCB 板下方温度)温差很小，这是做好无铅焊接芯片的重要前提，用户用 APR5000 设备可以比较方便地达到。用户使用无铅焊料必须事先了解无铅焊料的牌号，对熔点等参数了解的越多越好。

注意：由于温度提高，芯片在高温条件下承受的返工次数会减少，有人认为在 260C 以上的加热，最多不能超过 3 次。由于温度提高，对其它元器件的影响也必须考虑：如陶瓷阻容器，铝电解电容等。另外，由于温度提高，某些元件会膨胀，PCB 板会弯曲，这些也需要小心。

2- 焊接湿润性差(小的湿润角一般反映湿润性比较好，焊接接头质量也比较好)。

无铅焊接的湿润性不如有铅焊接的湿润性好，容易产生桥连与通孔焊点填充不足的问题。其中含 Bi, 含 Zn, Ln 的湿润性比 Sn/Ag/Cu 类的湿润性更差。

比如下面的右图为有铅焊接，左图为无铅焊接。大家可以看出，无铅焊接的湿润角比较大，表面颗粒比较粗大，颜色发暗，有铅焊接表面比较光泽。

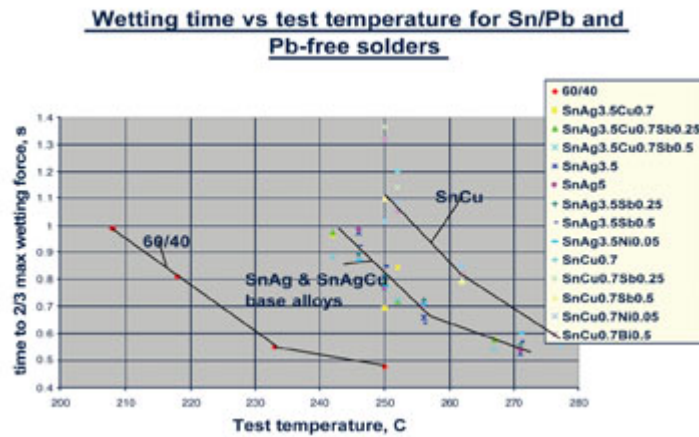
如果用户有 OK 集团的光学检测设备 VPI-1000 可以很清晰地看出无铅焊接管脚的外观，从而检测出焊接的外观缺陷。因为它的图像十分清晰，而且操作简单。



无铅焊接管脚



有铅焊接管脚



以上是有铅焊接（最左面的曲线）与无铅焊接（右面的 2 条曲线）的湿润时间与温度的关系对应曲线图。在同样温度下，湿润时间越短越好。从上表可以看出，Sn/Ag/Cu 的湿润时间比 Sn/Cu 的湿润性好。

3- 容易氧化。可以用加氮气保护解决。氮气加入以后，焊接处的氧化情况得以缓解，所以废品率，缺陷率都降低。APR5000 与 BGA3592 设备都为喷嘴内的热空气设计了氮气输入接口。加入氮气以后，还可以降低助焊剂的使用量。但是氮气的成本比较高。

4- 选择合适的助焊剂

助焊剂的主要功能是在焊接以前清除氧化膜，保证焊接性能。对助焊剂的要求是：

有一定的化学活性，有良好的热稳定性，有良好的湿润性，容易清洗。选择适合无铅焊接的助焊剂并不容易。因为以前市场上出售的助焊剂大都是根据有铅焊锡生产的，能够用于无铅焊接的，不论是波峰焊还是熔焊都还在摸索。如果从环保的角度考虑，多选用活性较弱的低固免清洗助焊剂或者水溶性助焊剂。在高温条件下，助焊剂的活化作用有所降低。

普通的助焊剂由以下成分组成，它们的沸点如下：

酸 (Adipic, Glutaric) 200C-260C

酒精 (Ethanol, Propanol) 78C-180C

水 100C

酒精与部分酸的沸点低于普通的手工焊接温度。所以为了避免防止助焊剂过早地挥发，使助焊剂有充分的时间起作用，保证焊接烙铁不要提供焊点过多的热量和过高的温度是很重要的。助焊剂活化作用不够，助焊剂量不够，会造成焊点桥连。

助焊剂的选择对于形成良好的焊点也是重要的。随着焊接温度的提高，氧化的速度也提高，由于无铅焊接需要助焊剂有较“强”的作用，所以焊锡丝中的助焊剂含量应该从普通的 1%提高到 2%（体积百分比）。焊接温度提高，助焊剂容易产生飞溅，助焊剂的活化作用减弱，较强的助焊剂的使用，需要更多的对 PCB 板的残余焊接物的清洗，因为很多企业已经采用非清洗焊锡膏，增加对残余焊接物的清洗势必增加相应的环境问题。助焊剂残渣还有以下坏处：腐蚀基板，降低点导性，影响产品可靠性。

5- 如果选用无铅焊锡膏，所有与无铅焊料接触的零件管脚与板面焊垫都不应该含有铅成分，否则会发生“铅污染”，即少量铅的成分“外移”，使焊点处的焊接强度降低。所以最好的方法是全部选用无铅焊接材料与元件，但是在目前的情况下，还不具备这样的条件。

四. 无铅焊接手工焊接更需要烟雾净化

有人以为，采用无铅焊接以后，不需要烟雾净化系统，这是一个认识上的误区。

有证据显示，采用无铅焊接以后，虽然对总的环境的污染减少，因为铅的含量大大减少。但是，对手工焊接操作者受到烟雾危害的机会不仅没有减少，还有增加的可能。因为：第一，由于焊接温度增高，助焊

剂挥发的量更多。第二，由于银，铜成分的增加，很多有铅焊接没有的化学成分增加，产生的烟雾种类更多，所以对于操作者来说，受到烟雾危害的机会比以前更多了。

因此，希望广大无铅焊接的用户更加注意对操作者烟雾净化保护。

OK 集团的 BVX-201,BVX-101 等产品可以有效提供这种安全保护。