

高可靠性焊接材料 INNOLOT™合金的性能及其应用

—— 贺利氏电子材料有限公司 罗金涛

在电子焊接材料领域，我们越来越多地被问到：新一代产品需要比 SnAgCu 合金更高的操作温度，是否有合适的焊料推荐？有没有比 SnAgCu 合金可靠性更高的产品推荐？显然，在焊接可靠性要求更高的当下，无铅焊料黄金搭档 SnAgCu 合金已经越来越难以应对自如。

图 1 TCT -40/+130 后

a) SAC305 的切片样品和 b) SAC307 的切片样品



怎样提升焊接材料的性能？是否有更优良的合金材料解决方案？改性材料或者其它合金成分添加，是否是更高效的选择？这些都需要焊接材料供应商给出答案。好的消息是，经过不断尝试和优化，一种新的焊接合金 Innolot™被推出到市场。经过近几年的市场验证，其高性能的表现，得到越来越多行业应用端的关注。

那么，什么样的性能表现使其能脱颖而出呢？我们知道电子产品的失效，主要源自于合金连接焊点的疲劳失效。Innolot™合金焊料对普通操作温度和较高的操作温度两种情况的可靠性有所改善。可靠性主要取决于电子元器件(陶瓷元件等)与环氧树脂等基材，两种不同热膨胀系数 CTE(Coefficient of Thermal Expansion)材料界面结合的质量。陶瓷材料的 CTE 一般较低，环氧&玻璃材质基材 CTE 相对较高。当受热时，电路板比焊接在它上面的陶瓷元件膨胀的多得多，这种不匹配使焊接连接点承受剪切应力和应变。反复循环后，连接点开始出现疲劳，裂纹可能出现并扩展，金属强度比初始状态明显降低，甚至出现完全失效，正如图 1 中所表现出的典型失效模式一样。

Innolot™合金，通过 Sn95.5Ag3.8Cu0.7 合金成分中，添加 Bi,Ni,Sb 合金元素，达到提高合金性能的目的，显著提高陶瓷元件焊点的抗蠕变强度，如电阻和电容器，工作温度可达 150°C。各元素在合金中的作用可以参考表 1。

表 1: 锡焊料合金元素的性能优点

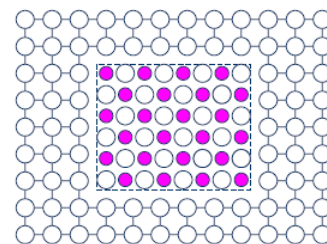
金属元素	熔点 /°C	优点和作用
锡	232	锡是金属的基料，是可焊性功能的主力军
铋	271	微量铋能提高焊料的流动性，使焊料分布到各焊点
铜	1080	无铅焊料中，需要有铜以增加强度，才能与焊体相亲
铈	630	铈能强化焊点的光亮度，并增加焊点的抗拉强度
镍	1455	镍能细化合金组织，特别是能中和粗大的铜元素结构，强化流动性

参考文献: 锡焊料合金制造工艺技术手册 严孝钊 著;

其中添加的微量元素，用以下两种方法之一提高焊料的抗蠕变性:

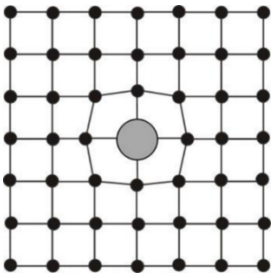
弥散硬化，或者叫沉淀硬化，发生在元素不溶解于锡-在这种情况下，镍形成金属间相析出冷却。

图 2 弥散硬化示意图



固溶硬化，在这种情况下，Sb 和 Bi -溶解在锡的固溶体中，并增加其强度。

图 3 固溶硬化示意图



Innolot™合金金相中, 有些针状的长条形晶核结构, 有裂纹时, 会被此结构阻隔, 起到结构加强的效果, 类似于混凝土中的加强成分, 这些可以通过对比 SnAgCu(SAC)合金焊点以及 Innolot™(基于 SnAg3.8Cu0.7 和额外加入 Ni、Sb、Bi 合金元素)合金焊点金相, 一窥其原理。

图 4 SnAgCu(SAC)合金的微观结构

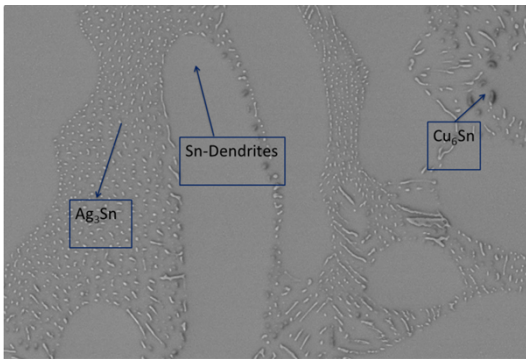


图 5 Innolot™合金的微观结构

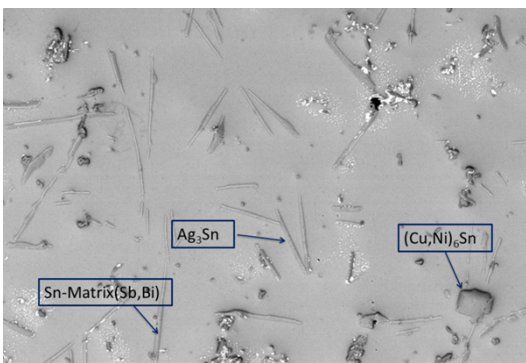
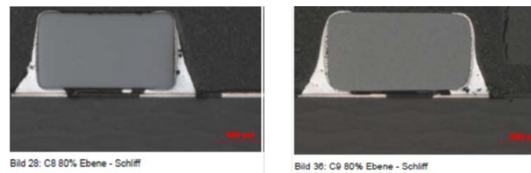


图 7 Innolot™合金焊接 C1206 陶瓷电阻, TS -40°C/125°C下的剪切强度与其他合金材料对比

与 SAC 焊点的金相结构相比, Innolot™合金的焊点的结构被改变了, 在 Sn-Matrix 有 Sb 和 Bi 溶解之中, 生成 Ag_3Sn 化合物的同时, 不溶于 Sn 的 Ni 与 Sn 形成 IMC 金属间的化合物以 $(Cu, Ni)_6Sn_5$ 的形式存在, 当在更多次循环时, 焊点所受的应力能够被 Innolot™有效的缓和, 所以合金元素的加入使焊料合金层硬化以提高焊料的抗蠕变性能。

图 6 TCT -40/+130 后 a)Innolot™焊料焊接的切片样品



那么, Innolot™合金的焊接强度能有多大幅度的增强呢? 通过极限对比其冷热循环 2000 个次数后 - 目标元件 C 1206 陶瓷电阻在 -40/125°C TS, Sn 基板材料表面测试, 其剪切强度的下降幅度, 与 SnAgCu, SnCuNi, SnPb 合金比较(如图 7), 以及不同尺寸元件的重复验证结果综合看(如图 8), Innolot™合金焊接都表现出明显的优势。

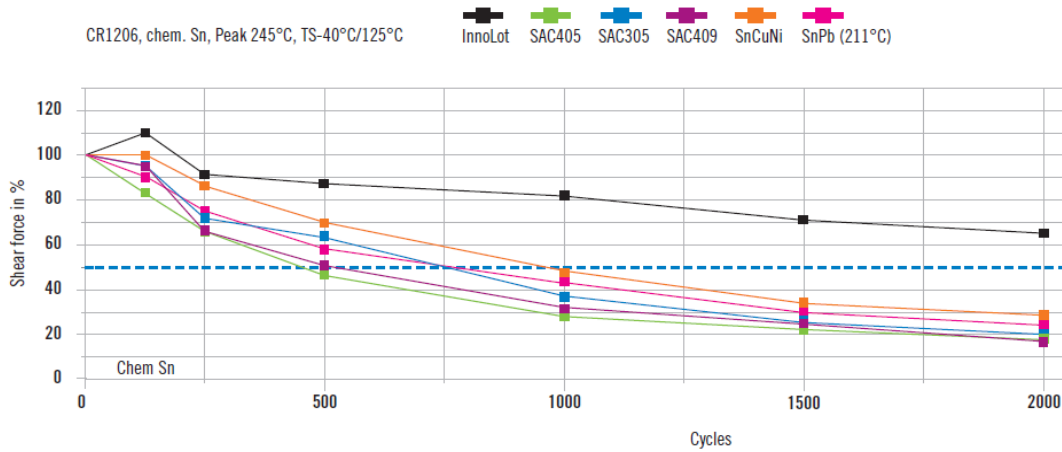
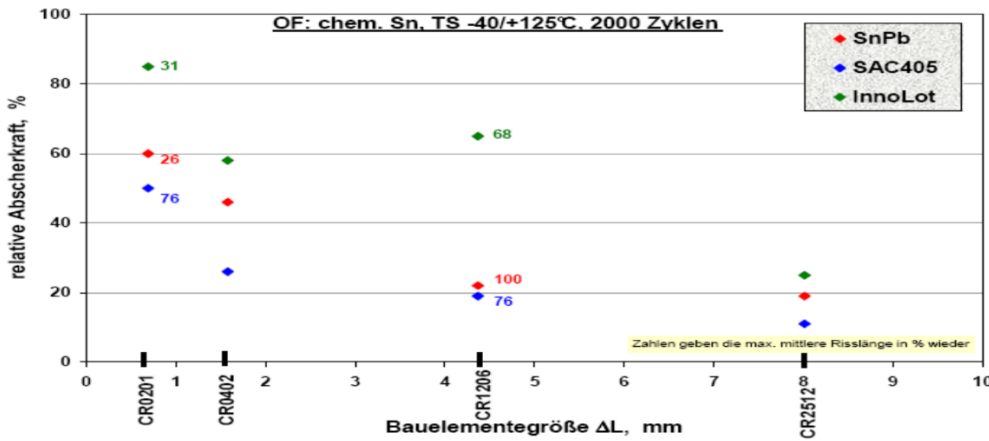


图 8 Innolot™合金焊接不同尺寸元件，TS -40°C/125°C下的剪切强度与其他合金材料对比



综合以上对比，我们可以看出 Innolot™合金焊料，在焊接可靠性上有相当明显的优势。那么，有没有具体应用的案例可以给读者作为参考呢？答案是肯定的。根据行业的应用情况，大致可以总结出，更多的车用电子制造领域，越来越多地应用到 Innolot™合金焊料。在诸如车灯组件，电气控制系统领域，都有客户使用，或在评估使用相关焊料产品。可靠性验证方面有应用要求达到 2000+，甚至 3000 小时的内部案例。

那么，在应用当中，Innolot™合金焊料有什么技术要点需要注意的呢？根据相关技术案例积累，目前可以大致总结出对其焊接可靠性影响较大的几个方面：

表 2: Innolot™合金焊料应用技术要点

要点	描述
焊接峰值温度	相对 SnAgCu 焊料更高的焊接峰值温度，被证明能够有效帮助到 Innolot™合金焊接润湿性表现，以及空洞抑制。250°C 及以上的峰值温度，70 秒以上的合金液相时间保持，可以被推荐到应用当中。
基板表面处理	基板表面处理工艺方面的影响是不容忽视的，ENIG 在实际应用过程当中往往拥有更好的焊接润湿性表现。
焊接时保护气体环境	截止目前，对于焊接时保护气体(如氮气)的要求，及其对应的氧气 O2 水平的要求，是需要注意的。500ppm 以下的焊接 O2 水平被证明对于焊接能够起到帮助作用。但同时，能够在空气下焊接的产品，可能也将在不久的将来来到客户面前，让我们共同期待吧。

基于以上的应用实践,相信在制造领域的小伙伴们都能对 Innolot™合金产品有一定的了解,没准你已经在考虑采用它的可能性。同时,应用材料的开发的伙伴们,也在继续推动着这款产品的优化与调整,相信在不久的将来,在市场上能越来越多看到他的身影。

在此,附上专利应用介绍:该技术是在贺利氏(Heraeus)主导下,其他工业伙伴参与开发的合作项目。旨在提高应对恶劣环境无铅焊接可靠性。结果是与标准SAC合金相比,该合金的可靠性能得到显著改善。

Innolot™在电子产品市场上推出多年,被公认为是一种高可靠性热循环、抗热老化和抗振的合金,非常适合汽车电子组装应用。Innolot™合金可承受高温应用的要求,同时仍可在标准无铅工艺温度下进行焊接。

专利信息:美国专利商标局专利号 US10376994B2;欧盟专利号 EP1617968B1;日本专利号 JP5320556B2;

贺利氏所涉及产品线,供有需求的朋友们参考:

产品名称	铅含量	残留物活性等级	粒径型号
F640 Innolot™	无	L0	3号粉
F645 Innolot™	无	L0	4号粉
F650 Innolot™	无	L0	4号粉

参考文献:锡焊料合金制造工艺技术手册(2021版) 李钊 著;