

# 无铅化进程中的 电子工业

解决问题：在探寻更健康的电子工业道路上，电传导粘合物是一种正在被测试的铅-锡焊接剂的替代物。

电子工业正在想方设法以避免弃用铅锡焊接剂的局面。几十年来铅锡焊接剂一直是用于焊接电子元件和印刷电路板的重要原料。然而随着大量的证据表明铅可造成严重的不良健康影响,电子工业领域与高等院校都在不遗余力地寻找新的替代物。现在,科学家认为他们已经找到了一些很有希望的替代物,其中一种由替代合金和聚合物组成的焊接剂是电导粘合剂 (electrically conductive adhesives, ECAs)。

### 电子制造业的关键

美国田纳西州大学产品清洁与清洁技术中心代理主任 Jack Geibig 说:“焊接剂是电子制造业的关键。没有它,就很难架构一个持久、耐用而且可靠的电通路。”

美国国立标准与技术研究所冶金部负责人, Carol Handwerker 说,事实上,铅一直是理想的焊接剂。整个电子工业的基础设施是依照铅的熔点与其物理性质而设计的。她说:“铅有良好的延展性因此易于加工处理,而且铅还不易折断。”当铅与锡按照适当的比例(63%锡,37%铅)熔和后,所产生的合金具有183°C的低熔点特性,这是它的另一个优点。Geibig说:“如果你必需在高温下操作,那么加工的过程就能得到很好的控制,也不会受到温度细微变化的影响;而在高温下操作,控制这一过程的花费会很大。”低温也意味着减少了对设备与材料(例如印刷电路板和电子元件)的限制,因为在装配过程中,这些设备与材料必须加热处理。

促使电子工业在生产工艺过程中放弃铅使用的主要推动力还是欧盟禁止在电子产品中使用铅的禁令。根据欧盟《限制使用有害化学物质指令》的限定,从2006年7月1日开始电子设备中的铅必须由其它物质所替代。(指令也禁止在电子产品中使用汞、镉和六价铬),所有出口到欧洲和欧洲生产的电子元件均需遵守该指令。

在美国华盛顿特区的欧洲委员会环境顾问, Robert Donkers 说:“电子设备中的铅不是一个大问题,然而当电子元件被丢弃到垃圾堆中,”他说,“人们可能为回收贵金属而把电子元件敲碎,铅就会从中析出来而污染饮用水。这种危险在进口大量电子垃圾的国家很严重。例如,在中国,没有佩戴任何防护设施的工人,包括许多儿童,在简陋的垃圾分类回收工厂中从这些电子元件中回收贵金属。(可参考2002年中文版 EHP 第4期《电子废品泛滥成灾》)

众所周知,即使是低水平的铅暴露,也会对儿童健康产生严重的危害,导致智商(IQ)降低,铅还会影响注意力的集中。根据美国儿童和青少年精神病学会的报告,低水平铅暴露的儿童可能显得多动、易怒。现在在美国儿童血铅的最高容许浓度是10 μg/dL。

### 替代合金

在焊接剂中使用替代铅的主要方法是找寻其它金属作为其替代物。Handwerker 指出,电子产品生产商自上世纪90年代就开始寻找铅的替代金属,当时,美国禁止在电子工业中使用铅的法案正在讨论中。

国际电子制造业团体(iNEMI),一个技术协会,的顾问 Ronald Gedney,一直亲身参与替代物的寻找工作。他说:“工业领域的技术专家已将铅-锡焊接剂的可能替代物筛选范围从75种金属合金替代物缩小到大约6种。”我们决定,从电子工业的最大利益出发,我们只选出一种焊接剂,努力集中研制一种合金并使之成功。

电子工业最终选择了提供最高可靠度和易于锻造处理的锡-银-铜复合物作为替代物。该复合物包括95.5%的锡,3.9%的银和0.6%的铜——它也被称之为SAC焊接剂,即每种元素化学名称的首字母(Sn, Ag, Cu)。Handwerker 说,在可靠性方面,锡-银-铜即使不超过锡-铅,也至少有与之相媲美的良好可靠性。

此外,根据美国环保署2005年题为《电子工业的焊接剂:生命周期评估》(Solders in Electronics: A Life-Cycle Assessment)的草案报告,在用于测定电子元件的稳定性而制的人工垃圾浸出液中,银很少能超过探测限。银由于对水生生物有毒而被作为有害材料加以管制。

在熔点, SAC 焊接剂217°C的熔点也与传统的铅-锡焊接剂近似。然而,这也意味着至今无法量化的能量消耗的增加。况且,更高的温度可能会对电子工业带来其它问题。“更高的温度意味着对电子元件和整个生产工艺流程更大的压

力。” Geibig 说,“更高的温度也意味着产品生产时间的增加,因为在生产过程中,需要更多的时间加热和冷却产品。”

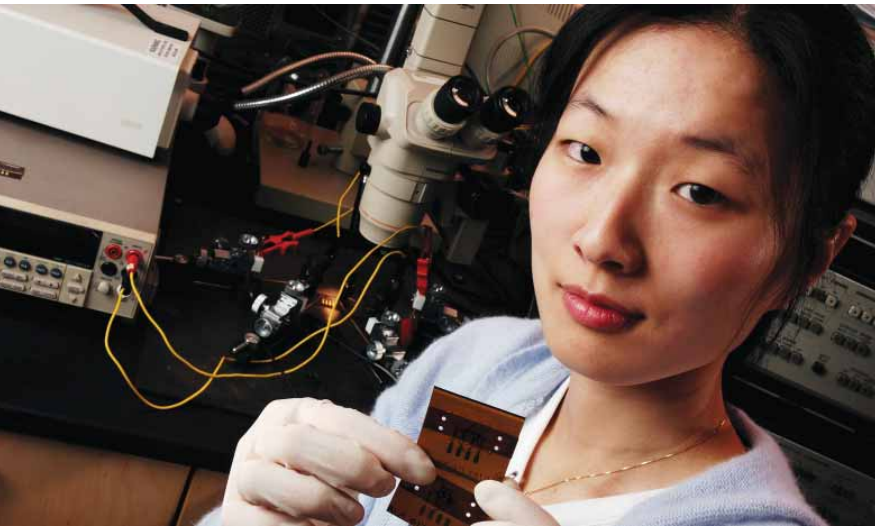
SAC 焊接剂现在已广泛地应用于工业领域。然而许多电子元件不能承受更高的温度, Intel 材料技术操作总监 C. Michael Garner 说:“不仅是针对新的产品,而且对老的产品都需要重新设计生产工艺并且采用新材料。已经连续生产10到15年的老产品均需调整以适应更高的温度。”他进一步说,整合新的焊接剂到产品的生产工艺流程需要花费巨大的心血与努力。

Karl J. Puttlitz 在2004年退休之前一直在 IBM 致力于减少产品中铅的使用,他认为,新焊接剂的使用也会导致一些短期后果。生产材料的每次转换,必然会经历一个使用新材料的学习和摸索过程。他预计新旧材料的转换会导致产品缺陷率升高。他说:“我们估计至少最初产品的不合格率会增加。”事实上,他写道,该行业已向欧盟铅禁止法案提出豁免申述,请求容许在人类生命与安全紧密相关的关键电子元件中使用铅,例如医疗设备,还有如手机、数码相机等一系列消费产品等的跟踪记录确定以后为止。(欧盟守则中铅禁止法案中豁免条款规定,如果替代铅在技术上、科学上不可行或者替代铅所产生的不良健康危害,环境或安全后果超过其产生的益处时,准许继续使用铅。)



合金替代物:锡-银-铜焊接剂安全性能优于铅-锡焊接剂。研究人员不断地解决其存在的缺陷。





目前的进展：研究人员 Grace Yi Li 手持正被乔治亚州理工学院材料科学和工程学院研究的电传导粘合物（ECAs）样品。这些粘合物有朝一日可能会替代含铅焊接剂。

### 更棘手的方法

铅-锡焊接剂的一种尚待进一步实验验证的替代物是ECAs。它们是聚合物，例如含银等金属碎片的硅树脂或聚酰胺等。聚合物粘附印刷线路板，金属碎片传导电流。

被该领域的许多专家视为ECAs新技术研究的领军人物，乔治亚州理工学院材料科学和工程学院的教授 C.P. Wong 指出，ECAs 具有许多优点。他说：“银的电导性能非常好，它的电阻非常低。如果 ECAs 的电流传输量能进一步提升，则 ECAs 可以替代焊接剂。”

ECAs 的另一个优点是它与印刷线路板连接所需的反应温度只有 150°C，远低于铅-锡焊接剂所需的温度 183°C。Wong 说：“第一，你可以节省能源消耗。第二，你使所有的电子元件在较低的温度下焊接，因此热力学变应力减小，这也提高了他们的可靠性。”

波特兰州立大学电光学和计算机工程系教授 James Morris 说：“以前研究比较了使用 ECAs 和焊接剂连接电子元件的情况。例如在 2000 年第 4 届电子制造业粘合剂和包装技术国际会议上，一项芬兰的研究报告显示，ECAs 被宣称其粘合力远远大于焊接剂，可能要高一个数量级。”但是他补充道这项研究在被确认前需要进一步验证。

ECAs 目前可用于少量低能耗的设备——例如，液晶显示器——虽然市场前景广阔，但是总的说来 ECAs 还不能投入商用市场。Wong 一直致

力于提高 ECAs 的电流传输能力。他在银碎片中添加二羧酸分子在银碎片间建立连接，提升电流的传输效率与传输速度。Wong 说：“ECAs 看起来比铅-锡焊接剂更棒。我们在 2005 年 3 月美国化学学会年会上报告 ECAs 是良好的焊接剂，但它需要我

们进一步的研究与开发。”

与开发。”

Wong 和他的同事也采用另一种方式提升 ECAs 传输电流的能力——自装配单分子层。他们是含硫分子如硫醇的单层与电子装置中的金板相连，长度上至少 10 埃（ $10^{-10}$  米），分子通过化学键与装置和线路板中的金板相连，提供直接的电通路。

在 ECAs 的结构方面，仍需要进行大量的工作。然而，如果元件被加热到超过 150°C，在结构上它们就开始松脱。而且 ECAs 还有其它需要关注的地方。Wong 讲，随着使用时间的延长，ECAs 的电流传输能力下降，电阻增加。另一个关注点就是潮湿。Morris 说：“聚合物通常会吸水。那会加重腐蚀，可能引起其它未知的问题。”

Wong 也指出 ECAs 需要更加的强韧，这样它们可以承受跌落的冲击力。Wong 说：“一种处理的方法是开发橡胶化处理的聚合物，使他们更

有弹性，不易破坏。”最后，Garner 反覆说：“在通常的作业条件下，这些材料还不能可靠的传输中等到大通量的电流。”

Wong 和 Morris 对目前 ECAs 的研究与开发持乐观态度，认为 ECAs 最终能成功地替代铅-锡焊接剂。Puttlitz 已预见到将 ECAs 应用于消费者电子产品，例如手机和数码相机等，但这些都不是很性命攸关的产品，最关键的是其在掌握生死大权仪器设备上的应用的可靠性，如医用监护设备和航空器电子设备。

### 喜忧掺半

即使寻找替代焊接剂中铅的努力仍在进行中，仍需要关注最新应用的金属对人体和环境健康的影响。位于 Irvine 的加利福尼亚大学环境卫生、科学和政策系教授 Oladele A. Ogunseitan 说：“在对人体和环境潜在的影响方面，铅的替代物没有像铅那样被深入研究过。”他说，“当欧洲人宣布必须禁止在工业领域中使用铅时，他们并没有说你必须用比铅更安全的东西替代它。”他补充道，“不断寻找对环境无害的铅的替代物，这一点很重要。”

实际上，《电子行业的焊接剂》（*Solders in Electronics*）草案显示，没有任何金属替代物不会对产生环境影响。例如，铅比 SAC 产生更严重的公共卫生问题，但是 SAC 比铅-锡焊接剂消耗了更多的能源。

现在替代物的现状对 Donkers 来说，已经非常好了。”因为有替代物，我们可以选择不必在产品中再使用铅。”他说，同时他也承认现在有关铅焊接剂替代物影响的数据相对较少，他宣称，“在政策上，你不可能等到完全确定，因为在此期间还有很多人正受到铅的危害。”

—Harvey Black

译自 EHP 113:A682-A685 (2005)

### 参 考 读 物

- Geigib JR, Socolof ML. 2005. Solders in Electronics: A Life-Cycle Assessment (Draft). Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics. Available: <http://www.epa.gov/dfe/pubs/solder/lca/index.htm>.
- Li Y, Moon K, Wong CP. 2005. Electronics without lead. *Science* 308(5727):1419-1420.
- Puttlitz KJ, Stalter KA, eds. 2004. Handbook of Lead-Free Solder Technology for Microelectronic Assemblies. New York, NY: Marcel Dekker.
- Schoenung JM, Ogunseitan OA, Saphores J-DM, Shapiro AA. 2004. Adopting lead-free electronics: policy differences and knowledge gaps. *J Ind Ecol* 8(4):59-85.