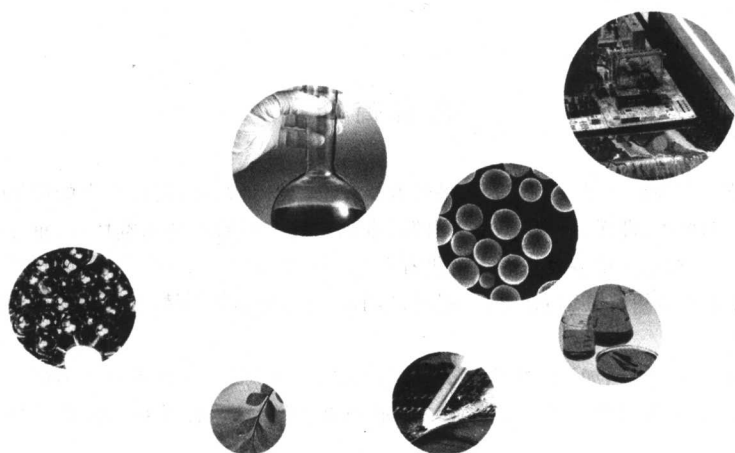




电子组装中的 无铅软钎焊技术

编著 马 鑫 何 鹏
主审 钱乙余

哈尔滨工业大学出版社



电子组装中的 无铅软钎焊技术

编著 马 鑫 何 鹏
主审 钱乙余

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

无铅软钎焊技术作为电子组装行业的新兴技术及未来的发展方向,拥有极大的应用价值和空间。本书从无铅化的根本,即无铅焊料的定义出发,描述无铅焊料的各种基本性能,重点论述无铅软钎焊的物理化学过程,并对电子组装技术的无铅化所面对的技术问题进行分析 and 阐述,最后论述无铅化焊接所带来的电子组装产品可靠性的新问题。同时,本书结合市场的实际情况,对无铅焊料成分的专利问题也进行详细阐述。

本书可作为高等学校材料加工工程学科的硕士研究生专业课教材,还可以作为焊接技术与工程专业本科生的教学参考书,也可供电子加工企业的从业人员,特别是工程部与品管部的相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子组装中的无铅软钎焊技术/马鑫,何鹏
编著. — 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2006.6
ISBN 7-5603-2247-6

I.电… II.①马… ②何… III.电子元
件-组装-软钎料-钎焊 IV.TN605

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 019051 号

责任编辑 杨 桦 费佳明
封面设计 卞秉利
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 21.25 字数 482 千字
版 次 2006 年 6 月第 1 版 2006 年 6 月第 1 次印刷
印 数 1~4 000 册
定 价 38.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

2003年2月13日,欧盟以官方公报的形式正式公布了 WEEE 和 RoHS 指令,这标志着电子产品即将进入环保时代,也为未来的市场准入架设了一道绿色的技术壁垒。其中,无铅化电子组装技术是这道绿色的技术壁垒中最为关键的一环。中国作为世界上的电子制造大国,越来越多的企业和产品要加入到国际市场竞争中去,突破这一技术壁垒迫在眉睫。

电子组装中的无铅软钎焊技术,绝不是用无铅焊料替代现有的锡铅焊料这么简单。我们必须结合焊料自身的物理、化学性能的变化,探讨其在连接性能方面的变化,进而分析现有设备、工艺条件的改善方向。与此同时,电子组装涉及的是一个整体的电子产品,我们也必须了解无铅制程对电子元器件和印刷电路板的影响与要求。最后,电子组装不是仅仅将电子元器件的引线/引出端与印刷电路板上的焊盘连接起来,我们还必须评估焊点在长期服役条件下的可靠性问题,而无铅制程在此方面也将带来一些新的变化。

2006年7月1日是电子产品禁止使用有毒有害物质的最后期限。时不我待,本书作者真切地期望自己多年来的科研成果与实践经验能够为学术界的同行提供一些借鉴,为工业界的同行提供一些指导和帮助。如果本书能够为中国绿色电子工业的兴起与推广起到些微小的促进作用,我们将不胜欣慰。

本书是在2004年深圳亿钺达工业有限公司马鑫博士编写的《无铅化电子组装技术》手册基础上扩充编写的,其中第一、二、五、六、七、八章由马鑫博士编写,第四章及附录由哈尔滨工业大学何鹏博士编写。第三章引用了哈尔滨工业大学方洪渊教授、冯吉才教授编著的《材料连接过程中的界面行为》教材的部分内容;无铅钎料的部分内容,包括图、表,引用了 JENNIE S. HWANG 所著的 *ENVIRONMENT-FRIENDLY ELECTRONICS: LEAD-FREE TECHNOLOGY* 的部分内容,但作了删改;第七章的界面金属间化合物部分内容,包括图、表,引用了 K. Zeng, K. N. Tu 发表的 *Six cases of reliability study of Pb-free solder joints*, Mater. Sci. and Eng. R, 2002, 38: 55 - 105 的部分内容;书中还参考了大量的文献资料,特此说明。全书由马鑫博士统稿,哈尔滨工业大学钱乙余教授主审。在查阅资料、整理手稿及出版校对过程中得到了哈尔滨工业大学硕士研究生刘多、邓志容、刘丹、王乐、徐波的协助,在此也表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间比较紧迫,书中可能存在不足及疏漏之处,希望批评指正。

编者
2006年3月

目 录

第一章 时代背景	1
1.1 欧盟指令	1
1.2 环保时代与铅的毒性	5
1.3 铅在电子产品中应用与废弃的污染问题	6
1.4 无铅化电子组装的国际研发动态	9
1.5 无铅化电子组装产业实用化的先锋——日本的发展现状	10
1.6 应对无铅化——中国信息产业部的管理办法	14
参考文献	15
第二章 无铅化电子组装的基本概念	16
2.1 无铅化电子组装的含义	16
2.2 无铅钎料的定义	16
第三章 无铅软钎焊的物理化学过程的基本理论	19
3.1 钎焊的基本原理及特点	19
3.2 钎料的润湿与铺展过程	19
3.3 钎料的毛细填缝过程	25
3.4 影响钎料润湿性的因素	40
3.5 表面张力的理论推算	52
第四章 无铅钎料及钎剂的选择	60
4.1 Sn-Pb 钎料的特点	60
4.2 可能的备选无铅钎料及相关金属分析	62
4.3 具备产业实用化特征的无铅钎料的性能分析	69
4.4 典型无铅钎料的应用示例	102
4.5 无铅钎料的专利问题	121
4.6 评估无铅钎料供应商需要注意的问题	134
4.7 无铅钎焊钎剂的选择	134
参考文献	140
第五章 无铅化焊接技术	143
5.1 无铅化焊接技术的基本特点	143
5.2 推荐使用的无铅钎料	144
5.3 无铅化手工烙铁焊	144
5.4 无铅化浸焊	148
5.5 无铅化波峰焊	149
5.6 无铅回流焊	166
参考文献	180

第六章 无铅化电子组装带来的新问题	182
6.1 印刷电路板表面的无铅防护层	182
6.2 电子元器件的无铅化表面镀层	190
6.3 无铅化的兼容性问题	194
6.4 电子元器件的耐热性问题	204
参考文献	206
第七章 无铅化电子组装焊点可靠性的特殊问题	207
7.1 晶须问题	207
7.2 焊点剥离缺陷	218
7.3 “曼哈顿”现象	231
7.4 掉件、焊球和锡珠缺陷	238
7.5 桥连缺陷	241
7.6 界面金属间化合物	245
参考文献	280
第八章 如何顺利导入无铅制程	282
参考文献	285
附录一	286
附录二	313
参考文献	333

第一章 时代背景

1.1 欧盟指令

2003年2月13日,欧盟以官方公报的形式公布:讨论了达5年之久的“废弃电力电子设备指令”(directive on Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)和“电力电子设备中禁止使用某些有毒有害物质指令”(directive on the Restriction of the use of certain Hazardous Substances in electrical and electronic equipment, RoHS)正式生效^[1,2],这标志着围绕环保型电子产品的关注将进入一个新的发展阶段。这两个指令篇幅很长,但其核心内容有如下四点:

(1) 首先这是世界范围内第一次由国际组织以官方公报的形式颁布的相关指令,要求在电子产品制造过程中禁止有毒有害物质的使用。

(2) 指令中明确列出了六种要求禁止使用的有毒有害物质,即铅(Lead)、汞(Mercury)、镉(Cadmium)、六价铬(Hexavalent Chromium)、聚合溴化联苯(Poly-Brominated Biphenyls, PBB)和聚合溴化联苯乙醚(Poly-Brominated Diphenyl Ethers, PBDE)。其中,铅排在第一位。

(3) 指令中明确给出了全面禁止的时间表。在RoHS文件的第四章第一节写到:“所有成员国必须保证,自2006年7月1日起,进入市场的电力电子产品不能含有铅、汞、镉、六价铬、PBB和PBDE六种有毒有害物质。”

(4) 指令中将所涉及的电力电子产品分为10大类和若干小类,并在附录IA和IB中进行了说明。可以明确的是,几乎所有的电力电子产品都包含在限制范围之内,详细内容请见表1.1。

欧盟的上述指令不仅具有环保意义,从市场的商业行为来讲,它更是为未来的市场准入增设了一道绿色技术壁垒。这六种有毒有害物质都是目前在电子产品制造过程中被广泛使用的物质,它们被全面禁止使用必然会对产品的设计、材料选择、制造工艺等带来全方位的影响。例如,在电子产品的印刷电路板级组装过程中,无论采用的是手工烙铁焊、浸焊、波峰焊还是回流焊,目前广泛使用的是传统的锡铅钎料。而要突破欧盟指令的技术壁垒,就必须转向无铅化电子组装。本书即是以此为背景,重点描述无铅钎料和无铅化电子组装工艺,力争为电子产品制造商提供全面丰富、内容翔实的技术信息。

需要指出的是,上述欧盟两个指令的正式出台,在世界范围内引起了强烈反响。据统计,作为世界上新兴的电子产品制造基地,我国现在每年向欧盟国家出口的电力电子产品总值超过300亿美元以上。因此,我国政府也高度重视对上述指令的应对问题。早在2003年3月,中国信息产业部经济运行司即开始拟定《电子信息产品生产污染防治管理办法》,其核心内容与欧盟指令一致,只是监管对象变成了投放中国市场的电力电子产品。

该《管理办法》已在 2005 年正式出台。这对于广大的以内销为主的电子产品制造商来说,也是一个具有迫切性和关乎自身经济利益的重要事情。

值得一提的是,尽管绝大多数电力电子产品都在上述名单之中,但是 WEEE 和 RoHS 中也明确规定了一些例外,也就是暂时不需要环保化的特殊产品,主要是针对铅、汞、镉、六价铬在某些产品中的应用。其主要原因在于现用的材料虽然属于有毒有害物质,但是目前还找不到合适的环保型的替代材料,因此其环保化进程只能推后,表 1.2 列出了这方面的详细信息供读者参考。

表 1.1 WEEE 和 RoHS 所涉及的电力电子产品种类^[1,2]

第一大类:大型家用电子设备	
大型冷却设备	冰箱
冰柜	其他用于制冷、保存食物的大型设备
洗衣机	衣物烘干机
洗碗机	烹饪用具
电炉	加热电板
微波炉	其他用于烹饪、处理食物的大型设备
电子加热装置	电暖器
其他用于房间供暖的大型设备	电扇
空调	其他用于空气流通、调节的电子设备
第二大类:小型家用电子设备	
吸尘器	地毯清洗器
其他清洁设备	缝纫机等纺织物处理器
电熨斗及类似设备	烤箱
油炸锅	磨咖啡机
用于开启或密封容器的设备	电动刀具
理发、吹发、牙刷、剃须等人体护理设备	电子天平
钟表及各种计时设备	
第三大类:IT 及通信设备	
中央数据处理:	
主服务器	微型计算机
打印设备	
个人计算设备:	
个人计算机(包括 CPU、鼠标、显示器、键盘)	台式电脑(包括 CPU、鼠标、显示器、键盘)
笔记本电脑	掌上电脑

续表 1.1

打印机	复印机
打字机	计算器
其他用于采集、存储、处理、表达、传递信息的电子设备	
用户终端和系统:	
传真机	电报机
电话机	付费电话机
无绳电话	移动电话
语音答复系统	其他用于传递声音、图像等信息的电子设备
第四大类:消费类电子产品	
收音机	电视机
摄像机	录像机
高保真录音机	音响功放
音乐器材	其他用于录制、再生或传播声音、图像等的设备
第五大类:照明设备	
荧光灯光源(不包括家用光源)	荧光灯管
节能灯	高强度射电灯(包括高压钠灯和金属卤化物灯)
低压钠灯	其他用于传播和控制灯光的设备(不包括灯泡)
第六大类:电力电子工具(不包括大型固定工业工具)	
钻孔机	电锯
锁线装订机	用于旋转、铣、抛光、碾磨、锯、切割、剪、钻孔、冲压、折叠、弯曲或类似的处理木材、金属和其他材料的工具
铆接、钉接、螺丝紧固或去除工具	焊接工具
用于喷涂、扩散、分散液体或气体物质的工具	除草或其他园艺工具
第七大类:玩具、休闲运动器材	
电动火车、汽车	手动影像游戏控制台
骑车、潜水、跑步、划船等器具用计算机	投币式自动贩卖机
带有电力电子元件的运动设备	
第八大类:医疗器具(不包括所有的植入、感染类器具)	
放射线疗法设备	心脏病学用器具
透析设备	肺部呼吸器

续表 1.1

核医疗设备	诊断用实验室设备
分析仪器	冷藏器具
授精测试用器具	其他用于检查、预防、监测、处理、缓解疾病、伤痛或残疾的医疗设备
第九大类:监视和控制仪器	
烟雾探测器	加热调节器
自动调温器	家用或实验室用测量、称重仪器
其他用于工业装置(如控制面板)的监视和控制仪器	
第十大类:自动售货机	
热饮料自动售货机	冷/热瓶装或罐装物品自动售货机
固体产品自动售货机	自动换币机
自动售货所有类型产品的所有设备	

表 1.2 某些暂时不需要环保化的例外产品^[1,2]

(1) 汞含量不超过 5 mg/个的节能灯
(2) 汞含量满足下述要求的荧光灯管: • halophosphate 不超过 10 mg • triphosphate 普通寿命型 不超过 5 mg • triphosphate 长寿命型 不超过 8 mg
(3) 特殊用途的含汞的荧光灯管
(4) 未列出的含汞的某些灯具
(5) 玻璃含铅的阴极射线管、电子元件、荧光灯管等
(6) 铅的质量分数不超过 0.35% 的钢, 铅的质量分数不超过 0.4% 的铝, 铅的质量分数不超过 4% 的铜
(7) 含铅的高熔点钎料(如铅的质量分数超过 85% 的 Sn-Pb 钎料) - 服务器、存储系统、存储阵列系统所用的含铅的钎料(此例外可保持到 2010 年) - 用于切换、传输信号及网络通信管理的网络基础设施中所用的含铅钎料 - 含铅的电子陶瓷部件(如压电陶瓷)
(8) 76/769/EEC 指令及其 91/338/EEC 修正指令中禁止使用之外的镀镉镀层
(9) 在制冷设备中为防止碳钢冷却系统腐蚀所使用的六价铬
(10) 遵照章程 7(2) 的步骤要求, 委员会将评估下列应用: • Deca BDE • 特殊用途的荧光灯管中的汞 • 用于切换、传输信号及网络通信管理的网络基础设施中所用的含铅钎料 • 灯泡 以上为优先审查项目以决定是否需要修改

1.2 环保时代与铅的毒性

自 18 世纪 60 年代起,特别是 1769 年瓦特发明蒸汽机以来,工业革命使得人类社会在不到 250 年的历史中物质生活得到了极大的丰富。但是直到进入 20 世纪 70 年代以后,人类才开始意识到现代社会的工业发展是以牺牲自然环境为代价的。1970 年,美国麻省理工学院发表了人类历史上第一份《全球环境评估报告》,其内容涵盖了当时至关重要的若干环境问题(Critical Environmental Problems):

(1)化石燃料燃烧时的二氧化碳排放问题。

(2)大气中的微颗粒问题、喷气式飞机的卷云问题、超音速飞机对大气同温层化学组成的影响问题、水的热污染问题、农药对环境的影响问题。

(3)汞及其他有毒重金属、海洋中的石油、沿海岸线水体富营养化等问题。

同年,美国总统尼克松向美国国会递交了《环境质量报告》,导致了美国环境保护署(Environmental Protection Agency, EPA)的成立,从而使环境问题从单纯的科学研究上升到国家政策的高度。EPA 成立至今所取得的一项重要成就就是禁止使用含铅汽油,从而使美国大气中的含铅量在 1980 至 1999 年的 20 年间下降了 94%^[3]。

现代工业发达国家都越来越重视环境保护问题,相比较而言,美国更重视节省资源(特别是水资源)和防止污染;欧洲更重视产品报废后的回收再利用;日本更是把“环境立国”作为一项基本国策,现在所有日本公司每年都必须向社会公布一份“环境保全活动报告书”,其重点是减少能源损耗、降低二氧化碳排放量、减少固体废物等。

铅是一种有毒的金属元素,最早系统地认识铅的毒性的是英国人。早在 1883 年,英国就制定了与预防铅中毒相关的法规。1912 年,还出版了名为《铅中毒与铅吸收》的书籍^[4]。现代医学表明,铅对人体的最主要的危害在于其对中枢神经系统的危害,特别是对于儿童。因此,美国职业安全与健康管理局(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)规定,人体血液中的铅的质量浓度应控制在 $50 \mu\text{g}/\text{dL}$ ($1 \text{ dL} = 0.1 \text{ L}$) 之下,欲生育子女时应控制在 $30 \mu\text{g}/\text{dL}$ 之下^[5]。

铅对人体健康的危害具体表现在以下几方面:

(1)对于胎儿或发育期儿童,铅中毒将严重损伤其学习能力和神经心理^[13]。

(2)儿童血液中铅含量过高与低智商之间存在联系。

(3)儿童血液中含铅量超过 $40 \mu\text{g}/\text{dL}$,血红蛋白合成将发生困难并会导致贫血。

(4)铅对肾具有损伤作用。

(5)铅及某些无机铅化合物是否会致癌,目前证据还不足。国际癌症研究协会(International Agency for Research on Cancer, IARC)的相关报告中将其致癌的可能等级列为 2B,只是指出了其致癌的可能性^[14]。

铅对环境的危害表现在以下几方面:

(1)对于哺乳动物和鸟类来说,铅对一些器官组织,如血液系统、中枢神经系统、肾、再生系统和免疫系统,具有毒副作用。

(2)对于微生物来说,无机铅化合物的毒性低于三烷基和四烷基铅化合物。一般而

言,铅化合物对微生物系统的毒性不强,因此铅化合物不会像汞和铬的化合物那样作为杀虫剂的主要成分。

(3) 一般来说,铅对水中植物的危害作用不大。对于水中动物而言,铅的主要毒副作用表现在使其脊骨畸形和尾部变黑。同时,有机铅化合物的毒性要高于无机铅化合物。

(4) 由于无机铅容易形成不溶于水的盐或与其他阴离子形成络合物,同时铅与土壤的结合力很强,因此陆生植物通过根茎吸收铅的可能性较低。研究表明,只有在铅与土壤的质量比高达 100~1 000 mg/kg 的环境下,才能在植物中发现明显的铅对光合作用的影响。

另一方面,人类应用铅有着悠久的历史。从古代开始,铅及其化合物在食器、水管、涂料、化妆品、汽油等领域有着广泛应用。从 20 世纪 60 年代起,人们逐渐认识到铅的毒害作用。先是禁止采用含铅钎料进行饮水管道的焊接,而后禁止在涂料、颜料生产中采用铅化合物作为添加剂,随后就是世界范围内无铅汽油的推广,进入到 20 世纪 90 年代后,无铅化浪潮终于进入到了电子组装这一领域。

1.3 铅在电子产品中应用与废弃的污染问题

全世界每年铅的消耗量已经由 1970 年的 450 Mt 增加到 2000 年的 650 Mt^[16]。表 1.3 所示为经济合作与发展组织(Organization for Economic Cooperation and Development, OECD)成员国 1970、1990 和 1998 年铅消耗量的统计数据。

表 1.3 OECD 成员国在工业领域铅的消耗情况

工业领域	铅的消耗量所占份额/%		
	1970 年	1990 年	1998 年
电池	39	63	75
电缆材料	12	5	1
滚压的/挤压的铅(主要是板材)	12	9	6
弹药	4	3	3
合金	7	4	3
铅化合物	11	10	9
汽油添加剂	10	2	1
其他杂件	5	4	2
OECD 成员国铅的总消耗量/ 10^5 t	3 050	3 365	5 238
世界铅的总消耗量/ 10^5 t	4 502	5 627	6 018

表 1.4 所示为 1995 年美国 NCMS 公布的另一个统计数据,其中涉及钎料。综合而言,全世界每年 80%左右的铅消耗是集中于电池行业,而电子行业中铅的使用量仅占其总消耗量的 0.5%左右。但是为什么电子行业的无铅化进程要求得如此迫切呢?

表 1.4 使用铅及其化合物的主要工业产品

单位: %

产品	铅的使用量所占份额/%
蓄电池	80.81
涂料、颜料、陶瓷、化工产品	4.78
弹药	4.69
铅板	1.79
电缆线覆盖层	1.40
金属铸造	1.13
黄铜、青铜	0.72
管道、阀门	0.72
钎料(不包括电子产品用钎料)	0.70
电子产品用钎料	0.49
其他	2.77

首先在蓄电池行业,作为电极的铅板其体积大,回收也容易。而在电子产品中则不同,如图 1.1 所示,从元器件封装时的芯片键合、BGA 球(球栅阵列封装和钎料球)、倒装芯片钎料凸台等,到元器件外引线的表面镀层,再到印刷电路板表面的防氧化保护层,最后到元器件与印刷电路板上焊盘之间的连接,可以说铅(主要是含铅的焊料)在电子产品中几乎是无处不在。而电子产品中铅的这种高度弥散分布的存在状态为其回收造成了很大困难。事实上,电子产品废弃时,拆分到印刷电路板级别时,目前的通常做法就是直接当做工业垃圾抛弃。

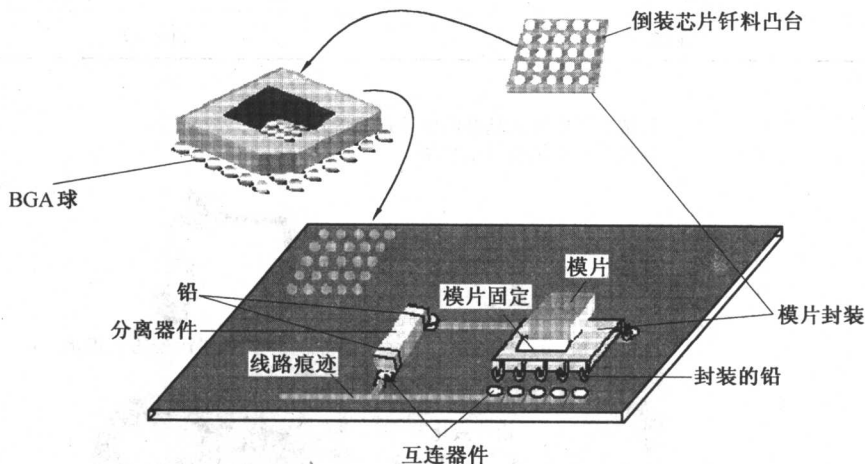


图 1.1 铅(主要是含铅的焊料)在电子产品中的应用

一块印刷电路板上含有的铅的质量大约只有 10 g 左右,但是考虑需要废弃的电子产品的总数,这就不是一个小数了。例如,日本的官方统计表明,仅电视机、洗衣机、电冰箱、空调这四种家用电器,每年需要废弃的总数量已经超过 2 000 万台,就算每一台电器中只有一块印刷电路板,那么铅的总质量也已经是 200 t 之多。

与此类似,欧洲和美国的相关调查结果也表明,工业垃圾中 40% 的铅来自于废弃的电子产品。由此可见,废弃电子产品成了废弃铅的主要来源之一。那么,这些废弃电子产品中的铅又是如何污染环境的呢?

工业垃圾处理一般是采用埋入地下的方式。但是天会下雨,而雨水一般是酸性,在这种弱酸性溶液环境下,废弃电子产品中的铅会析出并溶入到酸雨中去。表 1.5 和 1.6 所示为日本研究人员在模拟酸雨环境下对电子产品中铅溶出量的检测结果^[4]。由此可见,废弃电子产品中的有毒有害物质最终会溶入到雨水中。而如图 1.2 所示,一方面这会导致土壤受到污染,另一方面这些受到污染的雨水又是地下水的主要来源,地下水又是我们饮用水的重要来源,最终如果有毒有害物质通过饮用水进入人体,将极大地危害我们的健康。

表 1.5 模拟酸雨环境下电子产品中铅的溶出量 ($\text{pH}=3.0, 6 \text{ h}$)

电子产品	溶出量/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
CD 播放器	124
收录机	23
硬盘	161
显像管	40

表 1.6 模拟酸雨环境下家电产品印刷电路板中铅的溶出量 ($\text{pH}=4.8, 6 \text{ h}$)

电子产品	溶出量/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
计算机主板	13 ~ 27
大型游戏机主板	29 ~ 30
显像管	11 ~ 19

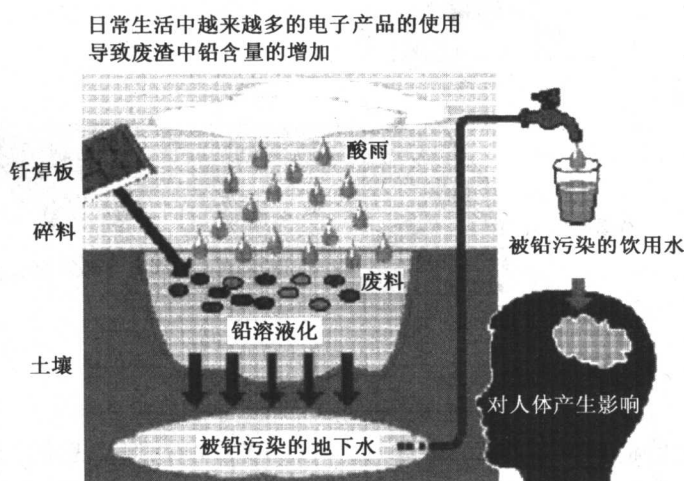


图 1.2 废弃电子产品中的铅污染环境与健康危害途径示意图

俗话说：“治病要治本。”如果我们能够做到在电子产品的制造过程中就不使用那些含有有毒有害物质的原材料,那么将来这些电子产品在废弃的时候也就不会对自然环境造成严重的污染和危害。正是基于这一动机,无铅化电子组装开始得到了广泛重视。目前在无铅化电子组装技术的研发和应用方面,美、日、欧三个电子工业发达国家和地区最为积极,下面我们就简单介绍一下相关的研究动态。

1.4 无铅化电子组装的国际研发动态

无铅化电子组装的提出始于美国。1991年和1992年,美国参议院相继提交了若干个以减少铅使用量为目的的提案。其内容之一就是要求将电子组装用焊料中铅的质量分数控制在0.1%以下。当时这些提案由于遭到美国工业界的强烈反对而中途夭折。但是,相应地却激发了世界范围内关于无铅化电子组装的研究热潮,其中最有影响力的有以下三个:

(1) 组织人:美国国家制造科学中心(National Center for Manufacturing Sciences, NCMS)。预算:110万美元。时间:1992~1996年。主要成员涉及汽车、电气、航空、军事等广泛与电子工业相关联的领域和多个国家实验室,如 AT&T、Lucent Technologies、Ford Motor Company、GM、Delco Electronics、Hughes Aircraft、NIST、Navy's Electronics Manufacturing Productivity Facility、Rensselaer Polytechnic Institute、Rockwell International、Sandia National Laboratories、Texas Instrument 等。

(2) 组织人:美国国家电子制造协会(National Electronics Manufacturing Initiatives Inc, NEMI)。时间:1999年至今。该研究计划规模更大,几乎美国所有的大型电子公司均参与其中,如 3M、Compaq、Delphi、DuPont、Eastman Kodak、IBM、Intel、Lucent、Motorola、TI 等。其主要研究内容及组织架构如图 1.3 所示。

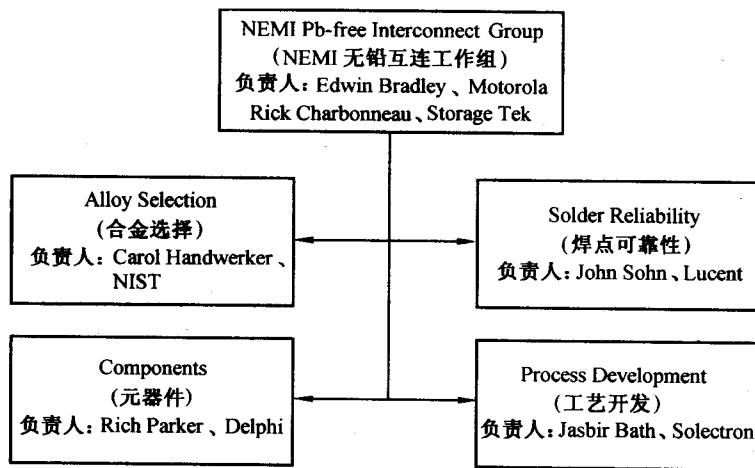


图 1.3 NEMI 无铅研究工作组织架构

(3) 欧洲的相关研究计划中比较有影响的是 IDEALS(Improved Design life and Environmentally Aware Manufacturing of Electronics Assemblies by Lead-Free Soldering)研究计划。时

间:1996~1999年。预算:300万英镑。主要成员为 GEC Malconi (英国)、National Electronics Research Centre (爱尔兰)、Philips (荷兰)、Siemens(德国)等。

日本方面没有组织过上述大型的无铅研究计划。但是正如下一小节所要讲述的,日本公司在无铅化电子组装的产业实用化方面却是走在世界前面的。

在开展各种相关研究的基础上,美国的 IPC、日本的 JEITA、欧洲的 SOLDERTEC 和 ITRI 等组织近几年都有相应的无铅化电子组装的 Roadmap 公布于世^[6~10]。这些资料目前都可以从网上免费下载。

2002年11月,美国 IPC、欧洲 SOLDERTEC 和日本 JEITA 三方代表在日本东京聚会,并签署了世界无铅软钎焊发展规划的框架(Framework of International Lead-Free Soldering Roadmap)协定。该协定指出,就平均水平而言:

(1) 作为元器件供应商,应该在 2003 年年底之前完全实现引出端无铅化,在 2004 年年底之前完全实现元器件的整体无铅化。

(2) 作为组装厂,应该在 2005 年年底之前完全实现电子产品的无铅化。

1.5 无铅化电子组装产业实用化的先锋——日本的发展现状

2003年6月,欧盟 WEEE 和 RoHS 公布后不久,欧洲 SOLDERTEC 和美国 IPC 在比利时的布鲁塞尔联合举办了无铅化电子组装技术的国际研讨会。大会邀请的主题报告发言人是日本松下电器公司的末次宪一郎先生。这一举动也间接地表明了欧美方面也承认日本公司在无铅技术的产业实用化方面是走在世界前列的。事实上,末次先生是在 1995 年去美国开会的时候听到美国人在谈论无铅化的问题,回国后他深感这一动态对于松下公司未来的重要,从而开始在松下公司推动无铅化,并成为松下公司无铅化技术开发的负责人。1998年10月,松下公司推出了世界上第一款批量生产的无铅化电子产品——Panasonic 品牌的 MD 播放器。如图 1.4 所示,在该款产品的外包装上,松下公司特别注明该产品的印刷电路板组装采用的是无铅钎料。

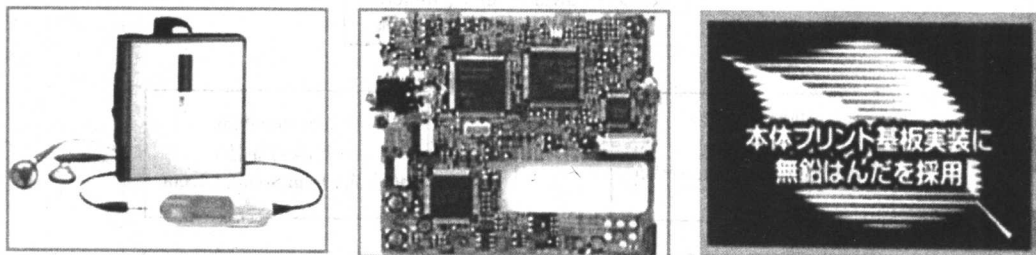


图 1.4 日本松下公司推出的世界上第一款批量生产的无铅化电子产品

事实上,日本公司在无铅化电子产品方面创造了多个世界第一。如世界上第一台无铅化笔记本电脑是日本 NEC 公司于 1999 年 10 月推出的 Versopro NX,世界上第一台无铅化摄像机是日本 Sony 公司于 2000 年 3 月推出的 Handycam。

日本公司热衷于无铅化技术的推广的一个重要原因,是无铅化的电子产品或者说环保型的电子产品有着良好的市场反应。例如,松下公司推出上述无铅化 MD 播放器后,

6个月之内其在日本国内的市场占有率由4.6%上升到15%,要知道日本国内的消费类电子产品市场的竞争是最为激烈的。同样,东芝(Toshiba)公司通过采用无卤素印刷电路板(即不含PBB和PBDE)成功地使其Libretto和Dynabook型号的笔记本电脑打入了欧洲市场,并赢得了环保美誉,如在德国被称为Blue Angel(蓝天使),在芬兰被称为White Swan(白天鹅)。

技术的突破再加上市场的良好反馈,促使日本公司更加热衷于无铅化电子组装技术的推广。以松下公司为例,在2000年6月12日,松下公司启动了“全制品无铅化计划”,涉及Panasonic和National品牌的全部12 000余种产品和松下公司遍布全世界的101个工厂,最终松下公司于2003年3月31日宣布该计划完成(当然,松下公司也承认某些购入部件和OEM产品还没有实现无铅化)。图1.5所示为松下公司特别在印刷电路板上使用了专门的无铅化标志。

与此同时,日本公司纷纷开展“绿色采购”活动,要求他们的供应商提供绿色环保型产品。如2002年12月,松下公司推出了《绿色采购准则》,2003年8月,又推出《化学物质管理等级准则》,详细列出要禁止或严格控制使用的所有有毒有害化学物质的清单以供参考。在松下公司的网站上可以看到,松下公司为这两个文件提供了日文、英文和中文三个版本,可见其对中国市场的重视。

这里我们也要提到与松下公司齐名的另一家日本电子公司——索尼公司。索尼公司也是一直在积极推进无铅化进程,并将全制品无铅化的完成时间锁定于2005年3月。

需要指出的是,索尼公司的一些企业内部标准文件在市场上,特别是在中国市场上,有着巨大的影响力。如SS-00259(SS即为Sony Standard),即部件、材料方面环境管理物质的管理规定,该文件在2004年已经出到第三版。现在很多国内的电子厂在开始无铅化进程时都会以这份文件为蓝本,并对其供应商提出要求。在SS-00259中,索尼公司将有毒有害物质(即环境管理物质)分为三个管理级别^[11]:

1级:对于该物质规定立即禁止使用。

2级:对于该物质规定禁止使用的日期,超过规定的日期之后,不能在部件及材料中使用,到达期限时指定为1级。

3级:目前虽然没有规定禁止使用的日期及消减目标,但指定了计划消减其在部件、材料中含量的物质。在产品中积极采用代替零件、开发材料和代替技术。

表1.7和1.8所示为SS-00259文件中关于铅及其化合物的管理规定,供大家参考。需要指出的是,这些规定与欧盟的WEEE和RoHS的内容是相辅相成的。而且,在本书的后面,大家会看到这些规定中包含着许多重要的技术信息。

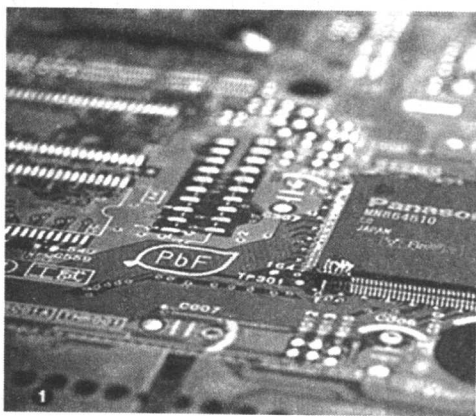


图1.5 松下公司电子产品中印刷电路板上的无铅化标志,PbF取Pb-Free之意