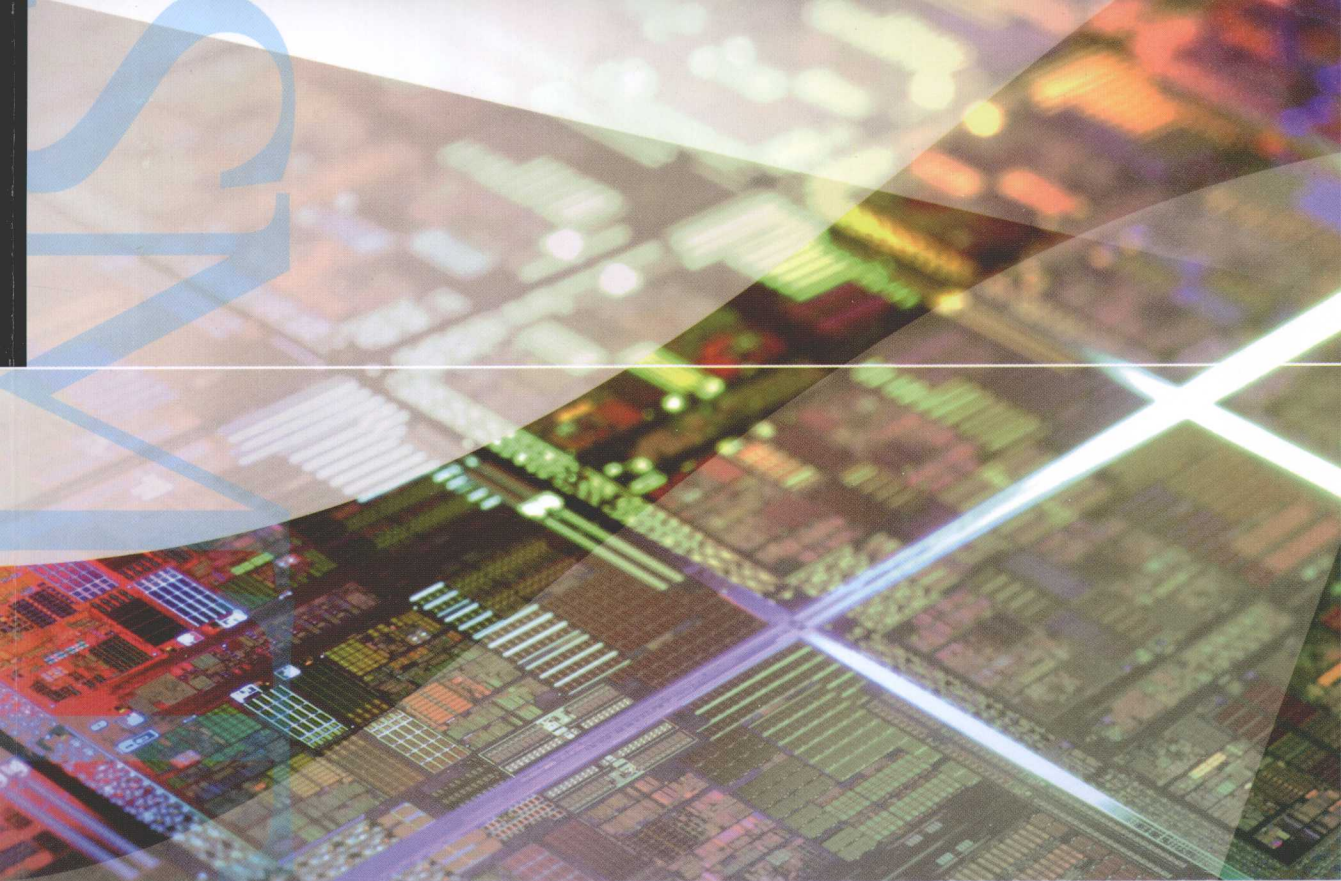
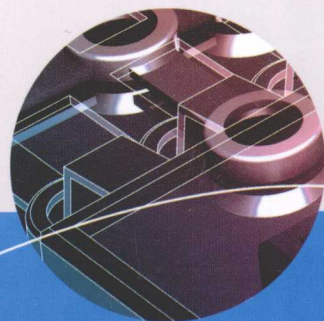




SMT教育培训系列教材

电子组装先进工艺

王天曦 王豫明 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

013046914

TN605-43
03

SMT 教育培训系列教材

电子组装先进工艺

王天曦 王豫明 主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING



北航

C1652665

TN605-43
03

内 容 简 介

本书以当前电子组装制造主要先进工艺及其工艺背景、工艺原理和工艺控制为主线,阐述工艺研究方法与工艺流程,主要介绍当前电子制造中最引人注目的微小型元器件、倒装晶片、晶圆级组装、堆叠封装、堆叠组装、挠性电路、精密印刷、通孔回流焊,以及检测与分析等工艺,同时介绍一部分正在探索与发展中的先进工艺。本书主要内容来自作者的工艺研究实践,具有很强的启发性和参考价值。

本书可作为电子组装制造及相关行业的技术和职业培训教材,也可作为从事电子组装工艺研发、制程与管理等工程技术人员的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子组装先进工艺 / 王天曦, 王豫明主编. —北京: 电子工业出版社, 2013.5

(SMT 教育培训系列教材)

ISBN 978-7-121-20228-5

I. ①电… II. ①王… ②王… III. ①电子元件—组装—技术培训—教材 IV. ①TN605

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 081237 号

责任编辑: 宋 梅

印 刷: 三河市鑫金马印装有限公司

装 订: 三河市鑫金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 435 千字

印 次: 2013 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 49.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

“设计”和“工艺”是产品制造中相互紧密关联的两个核心技术。一个产品的设计完成，犹如一个婴儿由十月怀胎到一朝分娩，而工艺设计、实施和保障则是从婴幼儿、童年、少年、青年直到成为一个能自立于社会的成年人的漫长而复杂的阶段。任何高科技设计，无论理论如何先进、构思如何缜密、功能如何完善、性能如何出众，没有相应的工艺实施和保证，不仅难以在激烈的市场竞争中胜出，甚至会“出师未捷身先死”。

工艺是从技术到产品的桥梁，成熟的工艺是产品制造技术的灵魂，先进的工艺是企业核心竞争力。据统计，就对生产力发展、生产率提高的贡献来说，工艺占 59%，劳动力占 14%，资本占 27%。制造业中关键工艺技术是严格保密的，甚至是花高价也买不到的。“只卖苹果不卖树，更不卖栽培工艺”是行业中心照不宣的潜规则，电子制造业更是如此。

当今我国电子制造产业还处于发展阶段，只有极少数大企业拥有自己的工艺研究机构，既是企业发展的需求、也是彰显实力的招牌，研究成果受到严格的知识产权保护；大量的中小企业的一线工程师疲于应付生产中层出不穷的问题，工艺研究无从谈起；这种状况如果不能得到有效改善，将成为产业转型升级的软肋。在这种情况下，由设备和材料供应商进行的相关工艺研究就成为工艺发展和进步的重要源泉之一，特别是业界领先的那些供应商，为了增强自身设备和材料竞争力所进行的工艺研究，往往成为相关技术发展的重要推动力。本书汇集了闻名全球的电子生产设备和技术方案供应商环球仪器公司（UIC）、得可公司（DEK）、维多利绍德公司（Vitronics Soltec），以及国内后起之秀的电子检测装备与技术公司日联科技（UNICOMP）和复蝶智能（Future）等企业的一部分相关工艺研究成果，同时介绍了正在探索和研发的部分未来制造工艺，对业内广大工艺技术人员和科研人员具有实际的借鉴性、启发性和参考性。

需要指出的是，本书不是系统阐述电子组装工艺技术的专著，而是当前一部分正在探索和发展的先进组装工艺研究成果，许多研究仅仅是工艺试验总结或阶段性成果，有些前瞻性的课题只是一种探究，对于有些想从这本书中直接找到解决工艺难题的答案，或者从书中获取研发先进电子工艺技术“奥秘”的读者，可能难以如愿。这一点可以理解但需要澄清，如同不可能要求参加一个技术培训班就成为该技术领域的高手一样，通过阅读一本工艺书不能期望直接解决形形色色的实际工艺问题。不同领域、不同企业、不同产品的工艺是千差万别的，但许多工艺原理、研究思路和试验方法是有章可循的，可以触类旁通。

当前我国企业正处于转型的关键时期，电子产业也不例外。当低成本劳动力优势不再的时候，当单纯靠组装加工维持增长越来越艰难的时候，当制造大量低质产品压价竞争越来越不灵的时候，当粗放型管理和技术已经走到尽头的时候，只有一条路，就是自主创新，技术升级，靠高质量、高效率创自己的品牌；在这个时期，非常需要了解、学习和采用业内先进工艺。本书大部分内容都是作者从事生产与工艺研究实践及教学培训工作的总结，如果能

对提升我国电子制造技术有所裨益，则是作者最大的欣慰。

本书是校企合作、共同推进电子组装行业技术发展的尝试之一，书中内容大部分来自环球仪器公司（UIC）、得可公司（DEK）、维多利绍德公司（Vitronics Soltec）及日联科技（UNICOMP）和复蝶智能（Future）等国内外一流企业，是团队合作的成果。作者衷心感谢合作企业技术工程师卓有成效的研究工作，特别感谢环球仪器公司原市场部经理朱英新先生、DEK 公司全球电子组装部总监许亚频先生和应用工艺工程师李忆先生、维多利绍德公司上海代表处中国首席代表蔡节培先生，以及日联科技董事长刘骏先生等众多业界著名人士对编写本书和合作培养人才的支持。在本书编写过程中，得到清华大学基础工业训练中心，特别是 SMT 实验室领导和全体员工的支持和协助，在此一并表示感谢。

本书在编写中参考了许多国内外多种媒体出版发行的文献资料和许多业界专家朋友技术讲座的资料，并引用了一些图表等数据资料，其中大多数都列入了参考文献，但是有些图片和资料经过多次传播已经找不到原作者与出处，在此特向所有本书引用的资料原作者表示敬意和感谢，同时也衷心感谢所有为本书编写提供资料和支持的业界专家和朋友们。

本书问世离不开电子工业出版社编辑们以及印刷厂等相关人员的努力和辛苦，特别感谢宋梅副编审和出版社团队高效的工作。

现代电子组装制造工艺是一门范围广泛，多学科交叉的先进制造工程技术，正处于快速发展和不断完善之中，加上作者水平与经验有限，书中错误和不足之处在所难免，热诚欢迎读者批评指正。

作者

2013 年 3 月于清华园

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任 and 行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036



目 录

第 1 章 细小元件组装工艺	1
1.1 细小元件的贴装控制	1
1.2 0201 元件的组装工艺研究	10
1.3 01005 元件的组装工艺研究	21
第 2 章 倒装晶片组装	32
2.1 倒装晶片 (Flip Chip) 的发展	32
2.2 倒装晶片的组装工艺流程	34
2.3 倒装晶片装配工艺对组装设备的要求	35
2.4 倒装晶片的工艺控制	40
第 3 章 堆叠工艺与组装	71
3.1 堆叠工艺背景	71
3.2 堆叠封装 (PiP) 与堆叠组装 (PoP) 的结构	72
3.3 PiP (堆叠封装) 和 PoP (堆叠组装) 的比较	75
3.4 PoP 的 SMT 工艺流程	77
总结	84
第 4 章 晶圆级 CSP 的组装工艺	85
4.1 球栅阵列 (BGA) 器件封装的发展	85
4.2 晶圆级 CSP 的组装工艺流程	87
4.3 晶圆级 CSP 组装工艺的控制	87
4.3.1 印制电路板焊盘的设计	87
4.3.2 锡膏印刷工艺的控制	89
4.3.3 晶圆级 CSP 的助焊剂装配工艺	95
4.3.4 晶圆级 CSP 贴装工艺的控制	107
4.3.5 回流焊接工艺控制	107
4.3.6 底部填充工艺	108
4.4 晶圆级 CSP 的返修工艺	113
第 5 章 挠性印制电路板组装	120
5.1 挠性印制电路板简介	120
5.2 挠性印制电路板组装	122
5.3 挠性印制电路板的其他连接方法	129
5.4 挠性印制电路板成卷式装配	130
第 6 章 通孔回流焊工艺	132
6.1 通孔回流焊概述	132
6.2 实现通孔回流焊接工艺的关键控制因素	134
6.3 可靠性评估	149

总结	155
第 7 章 精密印刷技术	156
7.1 精密印刷品质的关键因素	156
7.1.1 影响细间距元件锡膏印刷品质的关键因素	156
7.1.2 细间距元件锡膏印刷工艺的控制	165
7.1.3 印刷品质的监控	169
7.1.4 小结	170
7.2 钢网印刷在植球技术中的应用	170
7.2.1 植球技术的应用	170
7.2.2 植球的方法与印刷网板	173
7.2.3 印刷植球法的技术关键与解决方案	175
7.3 晶圆背面印刷覆膜	180
7.3.1 晶圆背面印刷覆膜工艺的优势	180
7.3.2 工艺设计	181
7.3.3 工艺过程	182
7.3.4 工艺分析	186
7.3.5 小结	192
第 8 章 SMT 焊接技术探究	194
8.1 软钎焊类型与机理	194
8.1.1 焊接的本质及软钎焊特点与类型	194
8.1.2 钎焊机理	196
8.2 软钎焊技术大观	200
8.2.1 A 类软钎焊方法	200
8.2.2 B 类软钎焊——回流焊	205
8.3 回流焊冷却速率研究	210
8.3.1 实验设计与模拟	210
8.3.2 实验结果和讨论	213
8.3.3 实验总结	223
第 9 章 SMT 检测与分析技术	225
9.1 SMT 检测	225
9.1.1 SMT 检测概述	225
9.1.2 在线检测	227
9.1.3 AOI、SPI 与 AXI	231
9.1.4 SMT 综合测试技术	236
9.2 边界扫描检测技术	237
9.2.1 边界扫描检测技术概述	237
9.2.2 边界扫描测试方式	239
9.2.3 边界扫描测试应用	240
9.3 电子故障检测技术	241
9.3.1 电子故障检测技术及其应用	241

9.3.2 非破坏性故障检测技术242

9.3.3 破坏性故障检测技术243

9.4 微聚焦 X-Ray.....244

第 10 章 发展中的先进组装技术.....250

10.1 电气互连新工艺250

10.1.1 基板互连的新秀——ICB.....250

10.1.2 整机互连的奇兵——MID.....251

10.2 逆序组装技术251

10.3 电路板与光路板254

10.4 印制电子与有机电子256

10.4.1 印制电子、印刷电子与有机电子.....256

10.4.2 有机电子学257

10.4.3 印制电子260

参考文献.....263

第 1 章 细小元件组装工艺

近年，0201/01005 片式元件（英制封装代码，对应公制为 0603/0402，除非标明公制，否则本书封装代码均指英制）应用日益广泛。0201 元件约为 0402 元件尺寸的四分之一，而 01005 元件则约为 0201 元件尺寸的四分之一，其装配尺寸已进入微组装（500 μm ）范畴，因而称其为细小元件。这类细小元件的装配比其他元件在工艺材料的选择、设计和工艺的控制方面更具敏感性，会降低装配工艺的稳定性。由于本身的尺寸就小，它的尺寸公差对装配工艺也会产生非常显著的影响。所以，细小元件的装配工艺不同于其他元件，需要更加精确的控制。

首先本章讨论细小元件应用面临的贴片控制工艺，继而通过针对 0201/01005 元件装配试验的研究来说明如何进行 PCB 设计、锡膏选择和钢网印刷，以及回流焊接工艺的控制。

1.1 细小元件的贴装控制

1. 影响细小元件成功贴装的关键因素

贴装细小元件的关键因素包括贴片机的定位系统、取料过程控制、贴片机的影像系统和对贴片过程的控制。除了这些因素之外，还有一些不容忽视的地方，如送料器的精度、元件包装的误差和元件本身的误差，以及吸嘴的材料设计等，都是在装配之前需要综合考虑的。下面我们来讨论贴片过程中各个环节的关键控制点。

2. 贴片机的定位系统

贴片机的驱动及伺服定位系统已在《贴片机及其应用》一书（电子工业出版社 2011 年出版）中介绍过了。对于细小元件的贴装，要求驱动定位系统在所有驱动轴上都采用闭环控制，以保证取料和贴装的位置精度。现在很多贴片机都采用了可变磁阻电动机（VRM）驱动系统，可以提高热稳定性，获得较高的加速度和精度，有的分辨率已达到 1 μm 。这些技术的应用给成功贴装细小元件提供了保障。值得注意的是，控制采用拱架式机构的贴片机的横梁在贴片过程中的抖动往往是容易被忽视的地方。

3. 取料过程的控制

准确的取料是成功实现贴装的第一步，在此过程中，影响正确取料的因素有元器件之间的差异、包装的误差、送料器的精度、贴片机驱动定位系统的误差、贴片头 Z 轴方向的压力控制、吸嘴材料和设计，以及在取料过程中对静电的控制。

由于细小元件之间的细小差异会对取料和贴片过程产生显著的影响，要求贴片头在此

过程中能自动感应其变化并采取相应的补偿措施,以消除对元件高度和厚度等的敏感性。采用的方法是在贴片头上安排压力感应器,防止过大的压力在此过程中将元件压碎或取不到料。比较好的贴片机的贴片头 Z 轴分辨率可达 $1\mu\text{m}$,压力感应器可以感应到 $24\mu\text{m}$ 的变形。

传统的机械式送料器已不能满足日益变小的元件对于高精度的要求。细小元件要求精度更高的电动机驱动的电子送料器,并要求其有良好的抗静电效果。送料器安装在贴片机上,在它们之间会存在间隙和位置误差,这种误差很小,在贴装较大器件如 0603/0805 等时,完全可以被忽略。但是对于细小的 0201 和 01005 而言,其影响会很大。在拾取 0201/01005 这类元件时,很难同时取 4 颗或 7 颗元件,原因在于此;另外还有元件包装的误差。所以单颗拾取 0201 或 01005 比较稳妥,可以保证取料的可靠性。理想的取料位置在元件的中心区域,如图 1.1 所示。如果取料位置超出元件上最佳的取料区域,可能会导致贴片缺陷,如偏移和立碑等。同时因为板上元件安排很密,可能会使吸嘴干涉其他元件,如图 1.2 和图 1.3 所示。

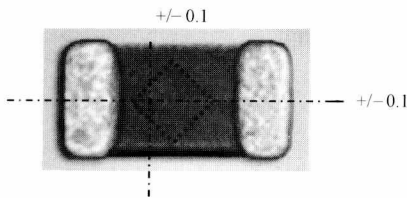


图 1.1 0201 元件最佳目标取料位置

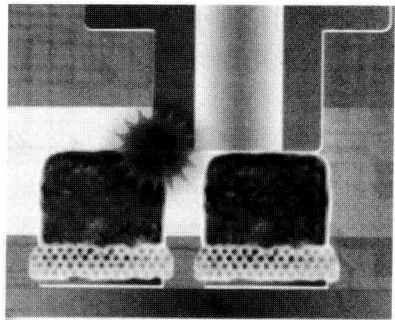


图 1.2 取料偏差导致吸嘴和其他元件干涉

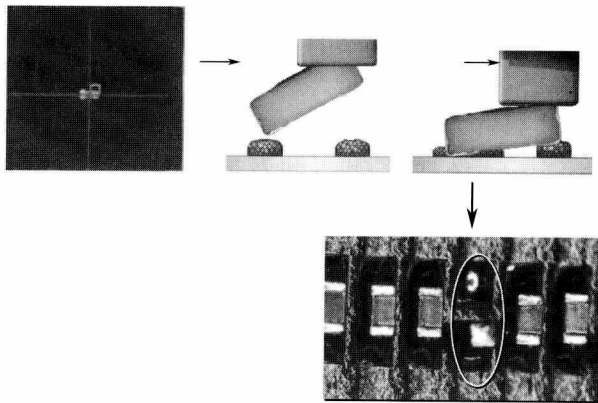


图 1.3 因吸料偏差导致立碑或侧立

为了消除包装和送料器等带来的误差,保证取料的一致性,需要贴片机在取料过程中具有动态的自动矫正取料位置能力。在生产过程中,需要换线和换料,并且每只送料器的状态也不一样,所以元件最佳的取料位置也会变化。机器需要在此过程中敏感地捕捉到这种变化,并自动地找准调整吸料位置,保证吸料的准确性和可靠性。图 1.4 和图 1.5 所示为某一机器在拾取 0201 和 0402 元件过程中,自动调整取料的最佳位置。

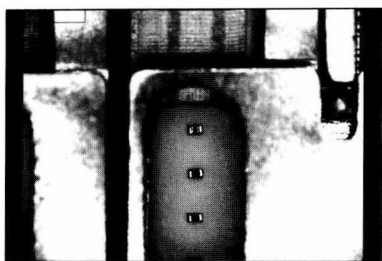


图 1.4 对 0201 元件吸料位置自动矫正

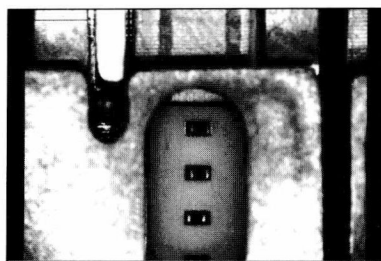


图 1.5 对 0402 元件吸料位置自动矫正

贴装 0201 和 01005 元件需要更细的吸嘴（如图 1.6 和图 1.7 所示），同时为了防止静电损坏元件及在取料过程中带走其他元件，细嘴的材料需要抗静电，所以要选用 ESD 材料。为了尽量降低吸料过程中元件侧立，保证足够的真空和元件被吸起之后的平衡，在吸嘴头部需要设计 2 个或 3 个孔。考虑到贴装密度小于 0.25 mm 的情况，吸嘴头部要足够细，它上面的孔也会比较细。对 0201 的吸嘴而言，最小的孔径会达 0.127 mm，而 01005 元件的吸嘴更细，达 0.1 mm。这不仅给制造带来了难度，也需提高这些吸嘴的清洁保养频度。对吸嘴清洁保养的要求比其他类型的吸嘴要高，需要利用清洁溶剂和超声波来清洁。由于 0201/01005 很薄，01005 元件厚度薄到 0.1 mm，这增加了细嘴与锡膏接触的机会。增加清洁保养的频度成为必要。

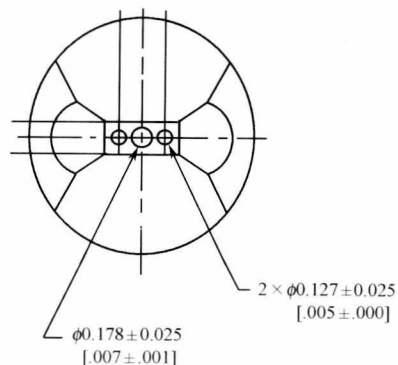
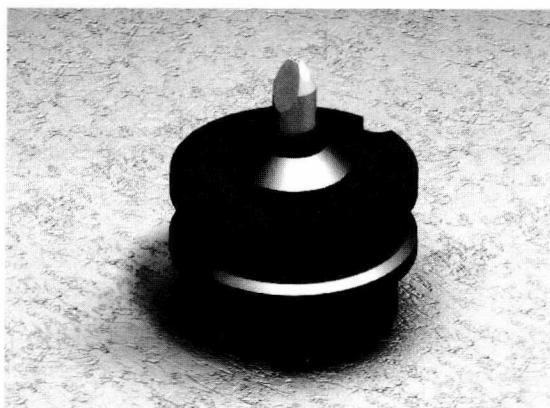


图 1.6 某机型 0201 的吸嘴

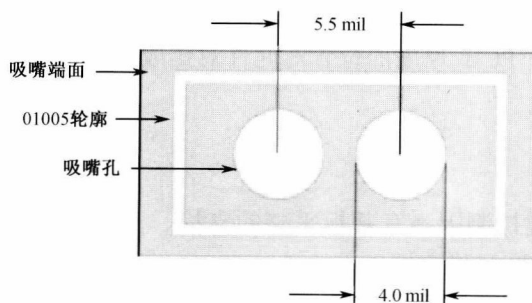


图 1.7 某机型 01005 的吸嘴

4. 元件的影像对中

确定元件的中心有两种方式，一种是采用数码相机；另一种是采用激光（镭射）。两种方法各有优缺点。采用数码相机可以检查出元件电气端的缺陷，如图 1.8 所示。但是它不能感测元件的厚度变化。对于 Z 轴有压力感应及取料 / 贴片补偿功能的机器，不会产生严重的问题。采用激光成像的方法可以检测元件的厚度，但对于元件电气端出现的缺陷则检查不出来。在实际贴装过程中，元器件两端电气端与锡膏重叠的区域的差异会影响焊接后的装配良率。如图 1.9 所示。由于不同厂家或同一厂家不同批次的元件在制造过程中电气端可能存在差异，所以采用数码相机成像具有一定优势。

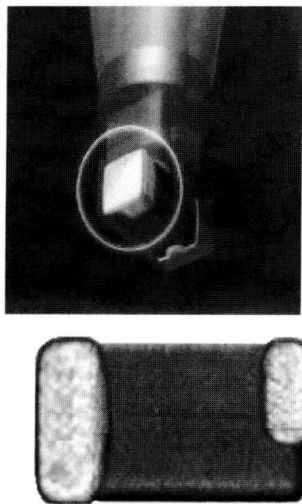


图 1.8 数码相机检查出元件电气端缺陷

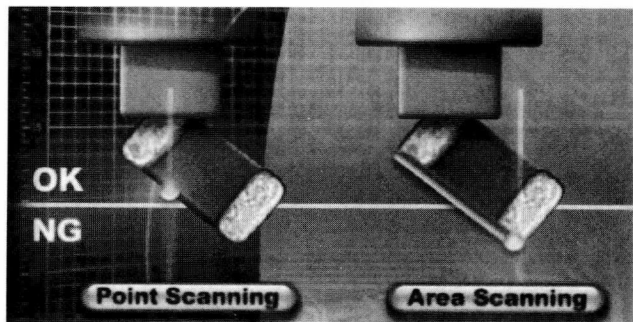


图 1.9 采用激光对元件进行成像

对 0201 元件和 01005 元件成像对中需要高倍率的相机，光源的使用和其他较大的片装元件也有区别。一般的元件如 0603 或 0805 等元件，使用背光，找到整个外形轮廓的中心就好。但是 0201 或 01005 元件需要使用前光，或仰视照相，找到两个电气端之间的中心，以提高贴装精度。

细小元件两电气端与锡膏重叠区域的大小和差异会对装配良率产生很大的影响，如图 1.10 所示。

不同的元器件制造厂生产的同样的 0201 电阻元件会存在很大的差异，如图 1.11 所示。

照相机应该在相当于 PCB 厚度的位置对元件对焦成像，以提高影像的准确性，保证贴片精度。

5. 贴片过程控制

在贴片过程中，关键控制因素有基板平整的支撑、真空关闭转为吹气的控制、贴片压力的控制，以及贴片的精度和稳定性。

基板进入贴片机后，传输导轨将基板两边夹住，同时支撑平台上升，将板支撑住并继续上升到贴片高度。在此过程中，由于外力的作用，容易导致基板变形，加上基板来料可能

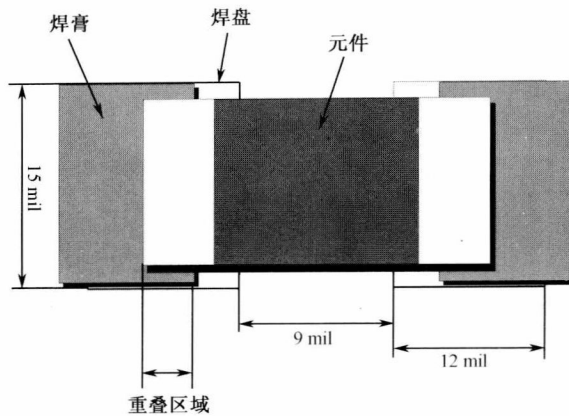


图 1.10 元件焊端与焊膏重叠区域

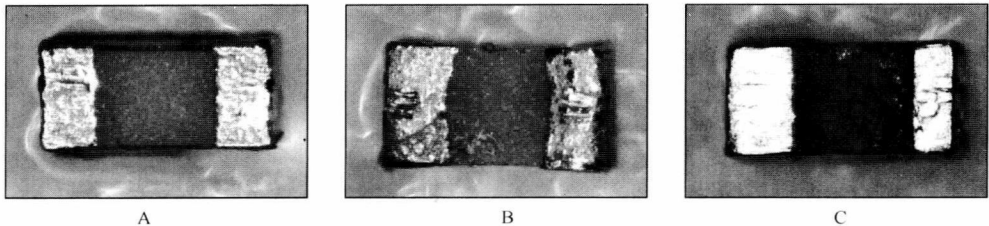


图 1.11 不同制造厂生产的 0201 电阻差异很大

存在的变形，会严重影响贴片的质量。因此，对基板平整的支撑变得非常重要。薄型基板的应用，更容易出现“弹簧床”效应。薄板随着贴片头的下压而下凹，并随着贴片压力的消失而恢复变形，这样反复，造成元件在基板上移动，出现贴片缺陷。所以，在支撑平台上需要安排支撑装置，保证基板在贴片过程中平整稳定。这种装置可以采用真空将基板吸住，也可采用具有吸能作用的特殊橡胶顶针，以消除在贴片过程中的震动并保证基板平整。支撑装置如图 1.12 和图 1.13 所示。这类装置非常客户化，需要根据不同应用来设计相应的支撑结构，确保有效地平整支撑，并使平台在上升和下降过程中稳定顺畅，而且可控。

贴片头将元件拾取后，照相机对元件对中照相，贴片头再将元件移至 PCB 贴片位置上方。贴片头 Z 轴加速下降到贴片高度，这时 Z 轴继续减速下降，同时轴内真空关闭，转化为吹气。元件接触到 PCB 上的锡膏，贴片轴感应到设定的压力后上升并移开，完成单个元件的贴片过程。在这个过程中，真空的灵敏快速切换及吹气的时间和强度控制很关键。真空关闭太慢，吹气动作也会延迟，在贴片轴上升过程中会将元件带走，或导致元件偏移。同时，如果在元件被压至最低点时吹气，容易将锡膏吹散，回流焊接之后出现锡珠等焊接缺陷。真空关闭太快，吹气动作也会提前，有可能元件还未接触到锡膏便被吹飞，导致锡膏被吹散，吸嘴被锡膏污染。灵敏的真空切换可以在 5 ms 内在 50 mm 的轴内完成。

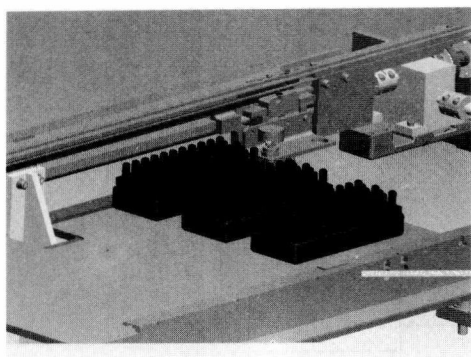


图 1.12 具有吸能作用的特殊橡胶支撑装置

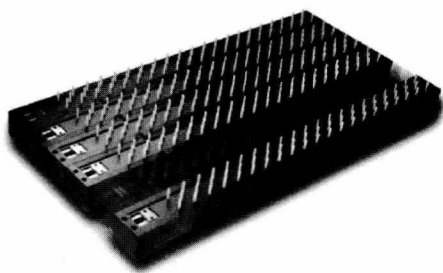


图 1.13 可以产生真空的支撑装置

贴片压力是另一需要控制的关键因素。贴片压力控制不当,会导致元件损坏,锡膏压塌,元件下出现锡珠,还有可能导致元件位置偏移。贴装 0201 和 01005 元件合适的压力范围为 150~300 g。对于基板变形的情况,对应压力的变化,贴片轴必须能够感应小到 $25.4\ \mu\text{m}$ 的变形以补偿基板变形。

过大的压力会导致在下压过程中元件上出现一个水平力,而使元件产生滑动偏移,如图 1.14 所示。

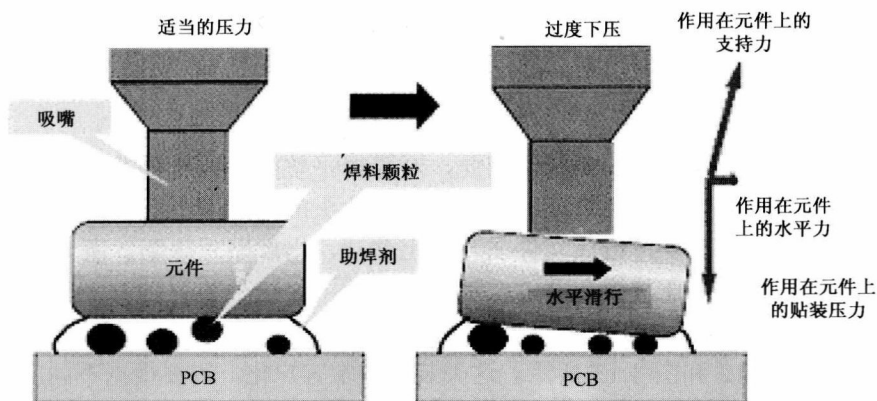


图 1.14 过度下压导致元件偏移

过大的压力会将元件底部的锡膏挤开,形成锡珠或导致相邻元件短路,如图 1.15 所示。

6. 贴片精度对 0201/01005 元件装配的影响

$65\mu\text{m}@3\text{Sigma}$ 的精度可以很好地处理 0201 和 01005 元件的贴装。当然还必须保证锡膏的印刷精度,单一的偏差有时不会有很大的影响。但是贴片偏差和锡膏印刷偏差的综合影响必须加以控制。譬如,贴片偏差为 $+50\ \mu\text{m}$,而印刷偏差为 $-50\ \mu\text{m}$,整个偏差达 $0.1\ \text{mm}$,对 0201 和 01005 这类细小元件,此偏差已非常大。所以我们必须关注细小元件电气端与锡膏的重叠区域,细小元件两电气端与锡膏重叠区域的大小和差异会对装配良率产生很大的影响。如果元件两端与锡膏接触的区域差异大,这种不对称很容易导致元件在回流焊接炉

内产生“立碑”、锡珠和元件间短路。元件在长度方向和宽度方向的偏移所产生的缺陷不尽相同，如图 1.16 所示。

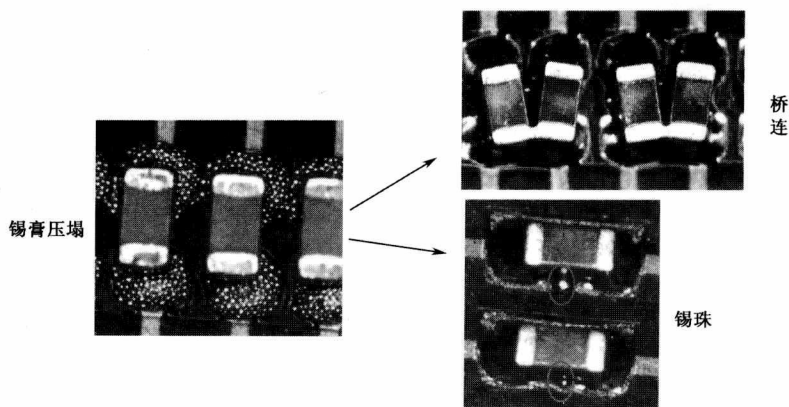


图 1.15 0201 元件，过大的压力导致锡珠或桥连

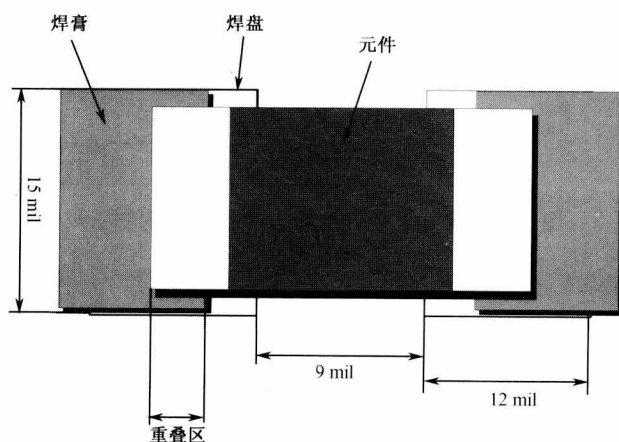


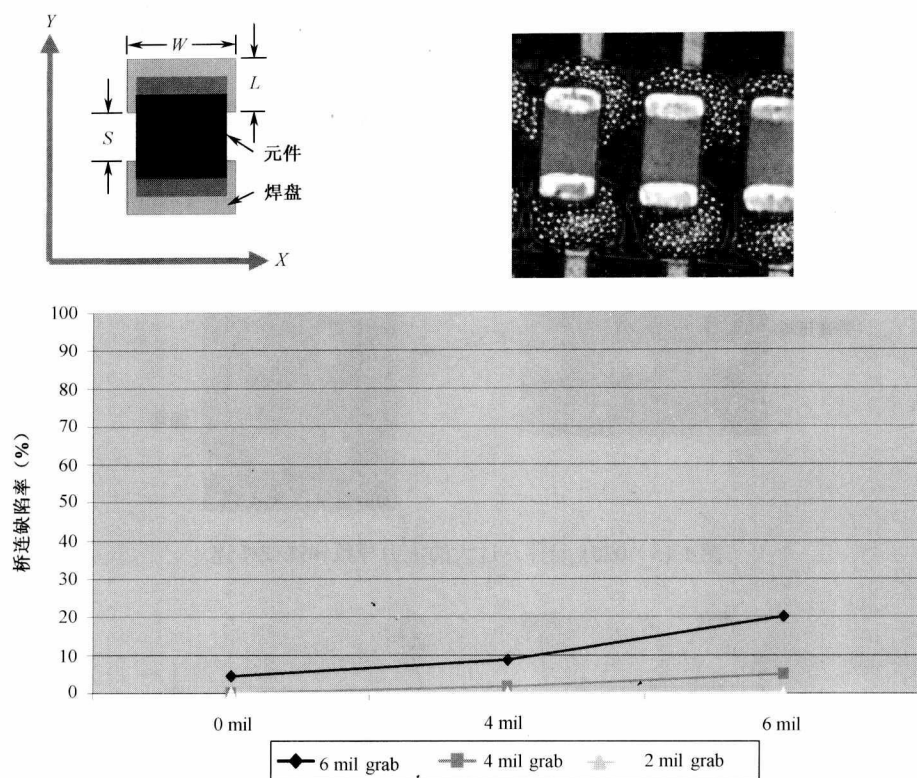
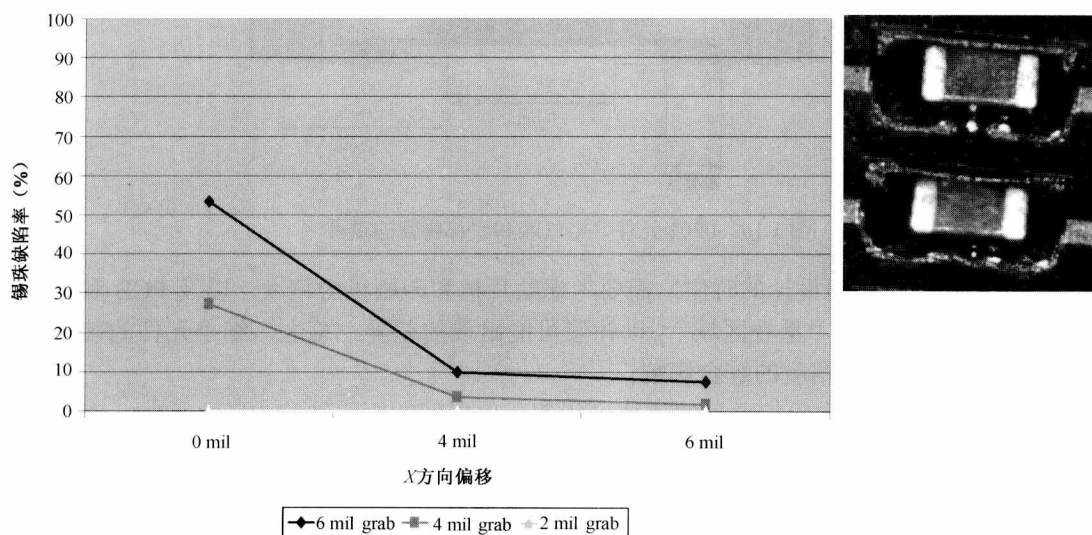
图 1.16 0201 元件，电气端和底部锡膏的重叠区

在 PCB 和印刷钢网设计的时候，需要考虑贴片机和印刷机的精度，以及 PCB 和钢网的制造误差，确定适当的“重叠区域”，以补偿可能出现的差异。总之，细小元件的装配良率受贴片精度和锡膏印刷精度的综合影响。

随着图 1.17 所示方向偏移量的增加，相邻元件之间的短路缺陷也随之增加。对于“重叠区域”大的情形，由于挤开的锡膏相对于“重叠区域”小得多，所以前者产生的短路缺陷也多。

随着图 1.18 所示方向偏移量的增加，元件底部出现锡珠的缺陷随之减少。对于“重叠区域”大的情形，由于挤开的锡膏相对于“重叠区域”小得多，所以前者产生的锡珠缺陷也多。

随着图 1.19 所示方向偏移量的增加，相邻元件之间的短路缺陷也随之增加。元件之间间隙大的比间隙小的情形，短路的缺陷要少。

图 1.17 0201 元件, 桥连与 X 方向偏移的关系图 1.18 0201 元件, 锡珠与 X 方向偏移的关系

随着图 1.20 所示方向偏移量的增加, 元件底部出现锡珠的缺陷随之减少。对于“重叠区域”大的情形, 由于挤开的锡膏相对于“重叠区域”小得多, 所以前者产生的锡珠缺陷也多。