

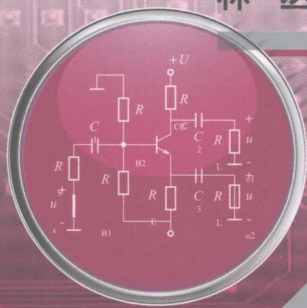


电工技能训练丛书

电子线路 安装与工艺

DIANZI XIANLU ANZHUANG YU GONGYI

袁晓明 李捷明 主 编
林 丛 李捷辉 副主编



化学工业出版社



电工技能训练丛书

电子线路 安装与工艺

DIANZI XIANLU ANZHUANG YU GONGYI

袁晓明 李捷明 主 编
林 丛 李捷辉 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书对电子线路安装技术和工艺作了较全面、系统的介绍,内容包括电子线路安装基本知识,电子线路设计中电子元器件的选用,电子线路、电子设备的电磁兼容性设计、电子设备的接地与防静电,电子线路板的设计和制作工艺,电子线路板的焊接技术与工艺,电子线路的安装工艺,电子仪器的调试和检验,电子技术文件和标准等。

本书内容丰富,紧密结合目前广泛应用的电子线路板的安装与工艺流程,实用性强,可供从事电子线路技术的研究、开发、应用人员以及从事通信工程的技术人员和工人阅读参考,也可供大专院校师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路安装与工艺/袁晓明,李捷明主编. —北京:化学工业出版社,2009.5

(电工技能训练丛书)

ISBN 978-7-122-04544-7

I. 电… II. ①袁…②李… III. 电子线路-安装-技术培训-教材 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第006606号

责任编辑:李玉晖 宋 薇

文字编辑:徐卿华

责任校对:李 林

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市彩桥印刷有限责任公司

720mm×1000mm 1/16 印张17 1/4 字数351千字 2009年4月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:40.00元

版权所有 违者必究



随着科学技术的迅猛发展,不同学科之间相互渗透、交叉融合,不断衍生新的研究领域。作为一种重要的技术手段,电工电子技术的发展日新月异。尤其是以计算机、信息技术为代表的高新技术的发展,使电工电子技术的内涵和外延发生了革命性的变化,正在迅速改变着设计制造业的面貌。传统的设计制造技术也不断吸收信息、材料、能源及管理等领域现代成果,综合应用于电工电子产品的设计、制造、检测、生产管理和售后服务。21世纪电气设备发展的总趋势是:强弱电技术的融合更为密切;多学科、多专业的交叉更为深入;我国电气产品与国际接轨的步伐将迈得更大,国内外的技术交流也将更为广泛。

当今世界,科学技术发展迅速,知识经济发展显现端倪,综合国力的竞争日趋激烈。国力的竞争,归根结底是科技与人才的竞争。为了适应社会对技术技能人才的需求,配合江苏大学的国家级综合性工程训练示范中心、江苏省实验教学示范中心、农业电气化与自动化国家重点学科,以及机械设计制造及其自动化国家级特色专业建设点建设的需要,江苏大学工业中心、电气信息工程学院和化学工业出版社编写了《一图一例学电路》、《电工技能训练丛书》两套系列图书,以期满足广大电气工作者和爱好者的迫切需要。

这两套系列图书从系统的观点出发,分别定位于电工电子的知识基础和技能操作。《一图一例学电路》包括《电工基础》《电工测量》《传感器》《变压器》《电动机》《电子技术基础》《电力电子》《电力拖动自动控制》8个分册。《电工技能训练丛书》包括《电工基本操作》《电工测量》《电工工具和仪器仪表》《变压器检修》《电动机检修》《电子线路安装与工艺》《常用机床电气线路检修》7个分册。

这两套系列图书编写时从实用出发,力求理论与实际相结合,突出新颖性,介绍电气设备的结构、工作原理、技术参数、适用场合、技术操作要点、运行与维护经验等。注重理论联系实际,融入应用实例,突出技能和技巧。本着求精避繁的原则,对电气设备的基础理论、材料、器件、应用电路、安装、调试、运行与维修等适用面广、使用频率高和实用性强的技术内容作了详细的阐述。同时,还从实际出发,反映了电工电子、电力电子、计算机、自动控制、传感器、机电一体化相互交叉、纵横结合的发展趋势。

这两套系列图书的编写反映了编者参与高等教育改革的一些研究成果。高等教育是科技发展的基础,是高级专门人才培养的摇篮。我国高等教育在振兴中华、科教兴国的伟大事业中担负着极其艰巨的任务。为了适应我国发展和建设的需要,1993年党中央、国务院颁布《中国教育改革和发展纲要》以后,原国家教委全面

启动和实施《高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》，有组织、有计划地在全国推进教学改革工程。其主要内容是：改革教育体制、教育思想和教育观念；拓宽专业口径，调整专业目录，强调创新精神、实践能力和工程师素质的培养，制定新的人才培养方案；改革课程体系、教学内容、教学方法、教学手段和工程训练；实现课程结构和教学内容的整合与优化。编写、出版这两套系列图书是在以上教育理论与教育思想的指导下，将教学改革思想和教学改革成果融入其中，根据人才培养计划中对学生知识、工程训练和实践能力的要求编写，及时反映了新设备、新技术、新工艺的推广应用。系列图书的编写符合教学改革的精神，遵循了教学规律和人才培养规律，具有明显的特色。希望能够得到读者的关注和指正。

《电工技能训练丛书》编委会

2008 年 3 月

前言

电气、电子技术的快速发展,使电子设备在各个领域的应用越来越广泛,几乎所有的行业都有应用,而且越来越受到各行各业的重视。电子线路安装是电子产品设计、生产中的一部分专业技术学科,当今半导体集成电路迅速发展,特别是计算机网络化、信息化科技时代的到来,使得电子线路安装已成为电子工业最重要和最具挑战性的技术之一。

培养创新精神和实践能力,是培养新时期高素质人才的基本要求;提高从事电子线路安装设计工作的工程技术人员的专业知识和业务素质,是提高企业综合竞争实力的有力保证。工程实践能力的重要性对工程技术人员具有极其重要的作用,对企业的发展也具有极其重要的影响。

本书力求在系统介绍电子线路安装所涉及的理论知识的同时,尽可能详尽地介绍所涉及的工程实践方面的内容,力求使内容详尽、完备、精炼,使读者在掌握理论内容的同时,熟悉实践环节的操作技能。

本书内容充实,知识面较广。全书紧密围绕着电子线路安装基本知识,电子线路设计中电子元器件的选用,电子线路、电子设备的电磁兼容性设计、电子设备的接地与防静电,电子线路板的设计和制作工艺,电子线路板的焊接技术与工艺,电子线路的安装工艺,电子仪器的调试和检验,电子技术文件和标准等方面的内容;并注重应用,实践性较强。书中突出工程实践内容,强调工程意识和观念,有关章节中以典型的电子线路安装技术和工艺流程,介绍具体的电子线路安装技术和工艺的措施和操作方法。电子元器件中主要介绍了各种元器件的特点、应用、技术参数指标、检测方法和选用原则,这些方面都突出了工程实践能力的培养;同时突出新颖,先进性较高。全书介绍了电子线路安装技术中的新器件、新技术、新方法、新设备和新工艺等,更好地适应电子线路板的安装与工艺的发展。

本书内容新颖、深入浅出,系统全面地阐述了电子线路安装技术和工艺流程,紧密结合图例和表格,因而具有较强的实用性、针对性。

本书由袁晓明、李捷明担任主编,林丛、李捷辉担任副主编。本书的第3章由李捷明编写,第1、4章由林丛编写,第2章由李捷辉编写,第5~8章由袁晓明编写、肖凤、房义军参编了部分章节。全书由袁晓明、李捷明统稿,李金伴教授担任主审,在审阅过程中,对初稿提出了很多宝贵意见。在编写过程中,参阅了相关书籍、资料和文献,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中难免会有不足之处,请广大读者批评指正。

编者

2008年6月



目 录

第1章 电子线路安装基本知识	1
1.1 电子线路安装的意义与地位	1
1.2 电子线路主要安装技术	7
1.3 互连与连接技术	9
1.4 热控制	10
1.5 电子线路安装设计	10
1.6 标准化、模块化	13
1.7 电子设备的特点	13
1.8 电子设备的可靠性及其提高方法	14
第2章 电子线路设计中电子元器件的选用	22
2.1 电阻器	22
2.2 电位器	33
2.3 电容器	37
2.4 电感器	45
2.5 变压器	48
2.6 开关与接插件	52
2.7 继电器	56
2.8 半导体器件	60
2.9 半导体集成电路	70
2.10 表面安装元器件	75
2.11 电声器件	81
2.12 电子元器件选用、检测与筛选	87
第3章 电子产品的接地、防电磁干扰与防雷	93
3.1 电子设备的接地	93
3.2 电子线路的电磁兼容性	102
3.3 电子设备的静电防护	111
3.4 电子设备的防雷技术	118
第4章 电子线路板的设计和制作工艺	128

4.1	电子线路板设计基本知识	128
4.2	电子线路板设计	132
4.3	电子线路板其他设计	143
4.4	电子线路板制版工艺	146
4.5	电子线路板的制作新技术	153
第5章	电子线路板的焊接技术与工艺	160
5.1	电子线路板的焊接要求与质量标准	160
5.2	电子线路板焊接前的准备	164
5.3	电子产品的焊接机理	167
5.4	焊料与焊剂	170
5.5	电子线路板的手工焊接技术	180
5.6	电子线路板的浸焊工艺	187
5.7	电子线路板的波峰焊接工艺	189
5.8	电子线路板的表面安装技术与工艺	194
5.9	其他连接技术	204
5.10	焊接新设备和新工艺	209
第6章	电子线路的安装工艺	211
6.1	元器件布局	211
6.2	典型单元的安装与布局	213
6.3	布线与连线技术	218
6.4	导线的预处理	222
6.5	电子设备的总体布局与安装	227
第7章	电子产品的调试与检验	231
7.1	调试与检测	231
7.2	检验	243
7.3	例行试验	245
第8章	电子技术文件和标准	249
8.1	电子产品的制造过程	249
8.2	生产过程中的质量管理	249
8.3	标准与标准化	255
8.4	电子产品技术文件	261
参考文献		271

第1章

电子线路安装基本知识

1.1 电子线路安装的意义与地位

电子线路安装是电子产品设计、生产中的一项专业技术科学,越来越受到广泛的重视。半导体集成电路的飞速发展,计算机网络化、信息化科技时代的到来,使得传统的电子线路安装技术已不能满足电子设备小型化(微型化)、高性能、高速度(信息处理速度)、高可靠性的需要,因此电子线路安装已成为电子工业最重要和最具挑战性的技术之一。人们逐渐认识到没有先进的电子线路安装技术就制造不出高水平、高性能的电子产品,世界各国都在潜心研究,精心开发,创造了芯片载体(Chip Carrier)、载带TAB(Tape Automated Bonding)、多层厚膜技术、多层薄膜技术、表面安装技术SMT(Surface Mount Technology)、多芯片组件MCM(Multi Chip Module)等电子线路安装新技术。

1.1.1 电子线路的安装概述

当今电子产品种类繁多,主要包括电子材料、元件、器件、部件、整机和系统,其中各种电子材料和元器件是构成部件、整机的基本单元,部件和整机又是组成电子系统的基本单元。电子技术的应用极为广泛,产品涉及计算机、通信、自动控制、仪器仪表等各个方面。

目前电子线路安装是根据成熟的电路原理图,将各种电子元器件、机电元器件以及基板合理地设计、互连、安装、调试,使其成为电子产品适用的、可生产的小到集成电路,大至雷达、通信、超级巨型计算机等电子产品的技术过程。电子线路安装是一门电路、工艺、结构、元件、器件、材料紧密结合的多学科交叉的工程学科,它涉及集成电路固态技术、厚/薄膜混合微电子技术、印制电路板技术、表面安装技术、电子电路技术、CAD/CAT/CAM技术、互连与连接技术、热控制技术、封装技术、测量技术、微电子学、物理学、化学、金属学、电子学、机械学、计算机学、材料科学等领域。

电子线路安装在研究、设计、制造中所包含的学科和应用如表1-1所示。

电子线路安装工艺是生产者利用生产设备和生产工具,对各种原材料、半成品进行加工处理,使之成为符合技术要求的产品的程序、方法和技术,是人们在生产劳动中不断积累起来的操作经验和生产能力的技术总结。

表 1-1 电子线路安装所包含的学科及应用

学 科 名 称	应 用	学 科 名 称	应 用
电子工程	电子电路设计、测试	电气工程	电气工程设计
机械工程	机械设计、制造	化学工程	化学处理、光刻工艺
微电子学	集成电路、厚/薄膜技术	计算机学	EDA/CAD/CAM/CAT
物理学	电性能、力学性能	化学	化学分析、电镀
应用物理	应力分析、真空蒸发	工业管理	生产管理、成本分析
金属学	金属工艺	焊接学	软钎焊、再流焊
材料科学	厚膜浆料	陶瓷工程	陶瓷材料、厚膜工艺
工程热力学	热传递、热控制	聚合物化学	塑料、胶黏剂

电子线路安装工艺即是电子产品的制造工艺，涉及电子产品设计、研制、元器件筛选、装配、焊接、调试、试验、检验、包装等各个方面的工艺过程。就电子整机产品而言，还涉及到制造工艺的技术手段和操作技能，以及生产过程中的质量控制和工艺管理。上述各个环节都很重要，不可偏废，它们在电子产品的设计和生产中起着重要作用，直接影响和决定着电子产品的质量。

1.1.2 电子线路安装的研究内容

电子线路安装是一门将成熟电路转变为电子产品的工程科学，其主要研究的内容有以下几方面。

(1) 电路划分与安装总体设计 自上而下将电路划分为若干个功能块，确定用几级电子线路安装，安装形式、结构和工艺，以及体积、重量、可靠性和成本的分配。

(2) 元器件选型和老化筛选 根据电路图上的元器件的技术要求，选用合适的元器件，并对选购的元器件进行老化筛选，确定真正所需的元器件。如集成电路选用什么公司的产品，何种型号，是用电路图规定的型号还是用 EPLD、FPGA、ASIC 进一步集成，以及用什么样的封装，是用常规双列直插式 (DIP)，还是小型化表面安装器件 (SMD)；又如电阻是用常规有引线电阻还是片式电阻，或是厚/薄膜集成电阻等。

(3) 互连与连接 互连基板技术包括厚膜技术、薄膜技术、印制电路板技术、绝缘金属基板技术、塑料基板技术等。互连基板主要提供各元器件之间的信号互连、电源与馈电互连、地线互连；提供元器件的机械固定与支持；提供元器件散热。

(4) 热设计 功耗密度随安装密度提高而提高，应考虑元器件、各部件怎样布局更有利于散热，当互连基板本身不能耗散掉元器件发出的热量时，组装设计必须提供适当的散热措施，如风冷、液冷等，使半导体器件结温和元器件温度维持在允许工作温度之下，以保证产品的可靠性。

(5) 防护技术 电子设备在运输和使用环境中，可能存在各种安全隐患，如振动和冲击、潮湿、多粉尘的环境，应考虑如何进行隔振缓冲处理，如何进行防潮、防尘、防腐处理。

(6) 各种安装连接技术 包括芯片与封装的连接, 元器件与基板的连接, 基板与基板以及分机之间的连接, 分机与机柜或整机的连接等。

(7) 测试与维修 各级组装都必须考虑可测试性和可维修性, 以确保稳定可靠地实现成熟电路的电气性能, 并便于维修。

(8) 机械支持和保护 为使产品能经受各种环境的影响, 保持正常工作, 经久耐用, 并且美观大方, 操作便利, 必须将元器件、组件、部件等安装在插件盒、分机机箱、机柜等外壳中。必须对产品进行各种相关的试验和必要的检验, 以确保电子产品在使用过程中能可靠地工作。

1.1.3 电子线路安装分类

电子线路安装可分为两个范畴: 一类是传统的常规电子线路安装, 其代表技术就是穿孔插入式印制电路板安装 (THT); 另一类是新型电子线路安装, 它的特点是使产品小型化、高性能、高速度、高可靠性、低成本, 其代表技术为厚/薄膜混合微电子技术 (HIC), 表面安装技术 (SMT), 多芯片组装技术 (MCM) 等。

两大类电子线路安装所包含的电子线路安装形式及工艺如表 1-2 所示。

表 1-2 电子线路安装形式及工艺

安装形式	内容说明	分 类		方 法
常规电子线路安装	穿孔插入式印制 电路板组装	单层	干法	高温共烧法 低温共烧法
		多层	湿法	
	厚膜混合集成电路			
	薄膜混合集成电路	单层		
		多层		
		厚膜基板		
新型电子线路安装	表面安装技术	印制电路板	刚性	
			挠性	
		绝缘金属基板		
	多芯片组 装技术 (MCM)	MCM-L		
		MCM-C		
		MCM-D		
	三维组装技术			
	大规模集成技术			
	系统组装技术			

1.1.4 电子线路安装的发展

随着电子技术的发展,电子器件出现了电子管、晶体管、集成电路、大规模/超大规模集成电路的典型时代,电子线路安装技术也在不断地演变与发展。电子线路安装技术的发展如表 1-3 所示。

表 1-3 电子线路安装技术的发展

电子技术时代		典型元件	布线形式	焊接方式	典型技术
第一代	电子管	分立元件	分立走线	手工焊接	
第二代	晶体管	分立元件	单面印制板 平行布线	手工焊接	
第三代	集成电路	集成电路	双面或多 面印制板	波峰焊	厚/薄膜混合 集成电路技术
第四代	大规模/超大 规模集成电路	LSI/VLSI/ ASIC	细线多层 印制电路板	再流焊	表面安装技术 多芯片组件

电子产品始终追求的目标是高性能、小型化、高可靠性、低成本。电子管时代从老式大玻壳电子管缩小到花生管是一个进步。20 世纪 40 年代中期,晶体管的发明是电子技术的一次革命,与电子管相比,晶体管的体积、重量、功耗(大功率晶体管除外)下降几个数量级。

由于晶体管体积小、电流小,电子线路安装出现了印制电路板,将分立走线变成平面集成布线,同时还作为元器件安装互连的机械支持,对于电子线路安装来说也是一次技术革命,从此进入印制电路板(PCB)时代。20 世纪 50 年代末期,集成电路的发明是电子技术第二次革命,在缩小体积、重量、提高性能及可靠性方面更是飞跃性突破。集成电路的集成度开始以每年翻倍的速度上升,70 年代以 3 年 4 倍,90 年代以来以 2 年 2 倍的速度飞速上升。

随着 IC 的飞速发展,器件引脚数越来越多,电路板互连线越来越多,对电子线路安装的要求也越来越高。随之印制电路板由单面布线发展为双面布线、多层布线,即由平面布线发展为三维立体布线。装配方面出现了自动装插机。焊接方面由手工烙铁单点焊发展为波峰焊群焊,还出现了绕接、压接。它们被广泛用于电话交换机及第三代电子计算机组装。但常规电子组装的组装密度太低,体积、重量太大,互连线太长,信号速度上不去,成为电子产品向更高水平发展的瓶颈。20 世纪 60 年代中期出现膜集成电路和膜混合集成电路、小型化元器件及芯片直接组装技术。为了区别于常规电子组装,称新一代组装技术为微电子线路安装技术。微电子组装,顾名思义即利用混合微电子学技术(Hybrid Microelectronics),微小型半导体、集成电路技术和其他微小型元器件技术,以及微细焊接技术来实现高密度组装和互连的技术群。

20 世纪 70 年代,随着 LSI/VLSI 的出现,新一代电子组装发展进入高潮。70

年代中期出现了芯片载体、载带、多层厚膜技术,20世纪70年代末20世纪80年代初出现了表面安装技术、芯片直接组装到印制电路板技术(COB),80年代中期出现低温共烧多层陶瓷基板技术、多层薄膜技术、多芯片组件技术,80年代末出现硅芯片-硅基板组装技术(SOS)、三维高密度组装技术、大圆片级集成组装技术(WSI)等。正是由于这些电子线路安装技术的诞生,使得电子设备、电子产品的面貌日新月异,性能越来越高,功能越来越强,体积越来越小,重量越来越轻,相对价格越来越便宜。

1.1.5 电子线路安装的地位

电子计算机的发展最能说明电子线路安装的重要地位。

第一代电子管计算机时代,1946年的ENIAC大型计算机,含25000个电子管,用的是第一代组装技术,几十个大机柜,占很大的空间,而它的功能、性能远不如今天的一台袖珍计算器。

第二代为晶体管计算机时代。它的体积、重量减小、技术性能明显提高,是一大进步。

第三代为中/小规模(MSI/SSI)集成电路计算机时代。开始用印制电路板组装,体积、重量减小、技术性能明显提高,但组装效率很低,IC芯片体积与机柜体积之比约为 $1:10^5 \sim 1:10^6$ 。

第四代为大规模/超大规模集成电路计算机时代。为了提高运算速度,千方百计研究采用电子线路安装新技术,取得突飞猛进的成就。1985年日本电气公司的SX-2型超级计算机采用厚膜多层加薄膜多层的组装方法,使组装延迟大大缩短,而1991年SX-3型采用低温共烧78层厚膜加6层薄膜组装技术及VLSI技术,使延迟又缩短更短,浮点运算速度达到55~220亿次/s。

个人计算机的小型化也经历了由台式(desktop)到膝上型(laptop)到笔记本型(notebook)再到掌上型(palmtop)的变迁,功能、性能不断提高,体积、重量大幅度下降,除了微小型元器件、液晶平板显示器的发展外,主要应归功于电子组装技术。

IC越进步就越需要电子线路安装技术的支持。电子线路安装与IC是相辅相成的关系。IC的性能再好,集成度再高,也只能将当前有限的电路集成进去。随着IC的发展,新的电子设备又会提出更高的性能、更多的功能要求,所以一台高性能电子整机总是需要用许多片乃至成千上万片VLSI/ULSI/ASIC/MMIC/MIMIC来组装的。

电子整机和IC的发展一方面不断对电子线路安装提出更高更苛刻的技术要求,推动电子线路安装向前发展;另一方面,先进的电子线路安装技术也在推动电子整机和IC向更高水平发展。

新一代电子线路安装的特色可概括为多引脚、细间距、高组装互连密度、高速

度、高可靠性、低成本、体积小、重量轻。

1.1.6 电子线路的分级安装

简单的电子产品如收音机、计算器、电视机等所含有的元器件不多，安装在一块印制电路板上，加上外壳就构成一台整机。而复杂的电子设备如雷达、程控电话交换机、大型计算机等包含成千上万个元器件，因此需要分级组装。

电子线路安装一般可分为以下几个组装级或组装层次：芯片级组装、元器件级组装、部件级组装、印制底板级组装、分机级组装、机柜级组装、系统级组装，如表 1-4 所示。

表 1-4 电子线路的分级安装

组装级	名 称	技 术 内 容	典 型 应 用
0	芯片级组装	在硅和砷化镓芯片上制作有源晶体管、电阻、电容及互连	VLSI、ASIC、MMIC、MIMIC
1	元器件级组装	IC 芯片安装到封装中互连、外壳密封	集成电路、电路网络、片式电阻和电容
2	部件级组装	若干元器件或芯片组装到陶瓷基板、印制电路板、绝缘金属底板等互连基板并互连	印制电路板、表面安装组件
3	印制底板级组装	若干个厚、薄膜电路或其他元器件组装互连到印制电路板上，若干块印制电路板组装互连到印制底板上	各种印制板、组装件、各种插件
4	分机级组装	若干个前几级的组装件互连	发射机、接收机
5	机柜级组装	若干个印制底板级组装件或分机互连	通信机柜、大型计算机机柜
6	系统级组装	若干个机柜级组装件互连	大型局用程控交换机

(1) 芯片级组装 常规电子线路安装没有这一级（第 0 级）组装，而微电子线路安装（新一代电子线路安装）则非常重视这一级组装，因为用组装密度、互连密度、组装效率以及可靠性来衡量，芯片级组装都是最高的，集成电路可看作一种特殊的电子线路安装，即在一片有源基片（硅、砷化镓或其他）上实现高密度组装互连的手段。

(2) 元器件级组装 IC 芯片（或晶体管芯片）怕脏，怕潮，怕氧化，芯片的引线一般用金丝（ $\phi 0.025 \sim 0.03\text{mm}$ ）球焊或铝丝（ $\phi 0.04 \sim 0.05\text{mm}$ ）超声压焊。金属丝细而脆弱，极易碰坏，而且芯片不能预测和老化筛选，一般需要进行互连、封装后才能进行，大功率器件还需考虑散热。此外，如电容器芯组也需要引线、浸渍和外壳密封。

常规电子线路安装所用的元器件外形尺寸大和引线长，适合于穿孔插入式组装；新一代电子组装所用的元器件外形尺寸正在向小型化、微型化发展，适合于表面安装，称为表面安装元件（SMC）或表面安装器件（SMD）。

(3) 部件级组装 一般电子产品往往由许许多多多个元器件组成, 因为一个元器件 (例如 LSI/ULSI) 的功能通常不能满足整个电路的需要, 故需要第 2 级组装 (部件级组装), 将各种元器件组装在厚、薄膜基板上、印制电路板上或其他互连基板上。

(4) 印制底板级组装 简单的电子产品可能一块印制电路板就能包含其全部电路, 如收音机、计算器等。但复杂的电子产品可能包含几十块乃至数百块、数千块印制电路板, 采用模块化的结构, 每块印制电路板包含不同的功能, 这就需要第 3 级组装, 即印制底板级组装, 将若干部件级的组装互连在印制电路板上, 构成插件。例如在程控交换机中, 包括 CPU 板、存储器板、用户电路板、数字中继板、直流中继板、载波中继板、网络板、时钟板等, 每一种电路板上都安排有各自功能独立的电路。

(5) 分机级组装 将若干块部件级、印制底板级的组装, 装到带有控制面板的机箱内构成分机级的组装。有的电子产品到这级组装为止, 如测试仪表、电视机、小型程控用户交换机等。

(6) 机柜级组装 将若干个分机级或印制底板级的组装, 连同导轨、电源、通风散热设施、连接器、连接电缆 (内部及外部) 等装入带有面板的机柜中, 构成机柜级组装。

(7) 系统级组装 将若干个机柜级组装件, 通过连接器、连接电缆进行互连。例如大型局用程控交换机, 往往包含多个机架, 多个机架之间通过电缆相互连接完成系统的互连, 机架的数量根据具体的配置确定。

1.2 电子线路主要安装技术

各种电子设备所采用的电子线路安装技术和方法不同。现将常用的线路安装技术简要介绍如下。

1.2.1 半导体集成技术

电子线路安装工程是一个技术群, 20 世纪 60~70 年代初人们认为集成技术与电子线路安装技术是两个截然不同的技术领域, 电子线路安装的任务是将现成的集成电路安装与互连。随着 ASIC (门阵列、标准单元、FPGA、EPLD) 的出现, 实际上集成电路已成为电子线路安装不可缺少的组成部分。如半定制 ASIC, 首先需要安装设计师对 IC 芯片进行逻辑设计、模拟、布线设计、测试图形设计、验证, 证明达到原设计要求, 才能交 IC 生产线生产; 薄膜多层技术、COB 技术、SOS 技术、TAB 技术、MCM 技术、WSI 技术等已直接应用集成电路的微细线条制版技术, 钝化技术, 在 IC 焊区上制作凸台 (bump 技术) 以及多层布线等技术, 形成新一代的电子线路安装技术。

1.2.2 厚/薄膜混合微电子技术

所谓厚膜工艺，就是在陶瓷基板、被釉钢基板或其他基板上用丝网印刷方法分别制作导体、电阻、介质，然后进行烧结定型。厚膜的膜厚为 $10\sim 25\mu\text{m}$ 。所谓薄膜工艺，是指用真空蒸发、溅射方法在基板上制作导体、电阻或介质，然后进行光刻、腐蚀，做出所需的图形。薄膜的膜厚为 $0.03\sim 0.3\mu\text{m}$ （可见厚膜是相对薄膜而言的）。

厚膜混合电路的安装密度比常规印制板线路安装高 $4\sim 5$ 倍，薄膜多层混合电路的安装密度还要高。

1.2.3 表面安装技术

表面安装技术 SMT 是将微小型化的元器件和零部件用贴片机贴装在印制板的相应位置上，经整体加热，使元器件、零部件与印制板的结合点形成钎焊连接。广义地说，厚、薄膜电路属于 SMT 范畴；狭义地说，SMT 主要指印制板线路安装。

电子线路安装可分为穿孔插入式安装（THT，为常规电子线路安装）和表面安装两大类。它们之间的区别如表 1-5 所示。

表 1-5 常规电子线路安装与表面安装的区别

内 容	常规电子线路安装	表面安装
元器件	双列直插 DIP 针阵列 PGA 引线电阻、电容	SOIC、SOT、SSOIC、LCCC、PLCC、QFP、PQFP 片式电阻、电容
基板	印制电路板 2.54mm 网格 $\phi 0.8\sim 0.9\text{mm}$ 通孔 布线密度较低	印制电路板 1.27mm 网格(厚、薄膜电路 0.5mm) $\phi 0.3\sim 0.5\text{mm}$ 过孔 布线密度高 2 倍以上
焊接方法	波峰焊	再流焊
面积	较大	较小
安装方法	穿孔插入	表面贴装
自动化程度	自动插装机	自动贴片机,效率高

20 世纪 80 年代初电子设备绝大部分采用常规电子线路安装技术，如今采用 SMT 安装技术的比例已超过常规电子线路安装技术。

1.2.4 多芯片组件技术

20 世纪 60~70 年代的混合集成电路也称多芯片组件 MCM，但现在的 MCM 有其新的意义：硅芯片用 VLSI/ULSI/ASIC 取代 MSI/SSI，裸芯片 IC 面积占基板面积的 20% 以上，布线大于 4 层，引出端 100 I/O 以上，追求高速度（信号传输速度）和高密度。一个 MCM 的功能相当于一个分系统的功能。MCM 代表 20 世纪

90年代电子组装的技术精华,是半导体集成电路技术、厚/薄膜混合微电子技术、印制电路技术的结晶。其推动力主要是计算机的运算速度在飞速上升,要求安装技术随之相应发展。

MCM技术通常分为三大类,即MCM-L, MCM-C和MCM-D。

MCM-L(Laminate)指在印制电路板上制作薄膜多层高密度组装和互连,是COB(Chip on Board)芯片——印制板组装技术的延伸与发展。

MCM-C(Ceramic)指在陶瓷多层基板上用厚膜和薄膜多层方法制作高密度安装和互连。

MCM-D(Deposition)指在硅基板或其他新型基板上制作薄膜多层高密度安装和互连,目的是达到高密度、高速度、高散热能力,属MCM的高技术。

芯片安装互连方法有倒装片、TAB(载带自动焊接)和线焊法等。

MCM技术还在发展中,主要存在问题是:价格贵、设备投资大;没有解决芯片预测问题,可靠性不高;工艺难度大,成品率低。

1.3 互连与连接技术

1.3.1 定义

各级电子线路安装都离不开互连与连接,任何两个分立接点之间的电气连通称为互连。紧邻两点(或多点)间的电气连通称为连接。

1.3.2 互连方法

电子线路安装实现互连的方法有分立导线互连、线缆(或线扎)互连、印制导体互连、厚膜导体互连、薄膜导体互连等,分别简述如下。

① 分立导线互连。这是第一代电子设备的主要互连方法,现在只有特殊场合才用分立导线互连,如半导体中集成电路芯片与基板用金丝或铝丝互连,阴极射线管的阳极用高压线互连,高频场合用同轴线或屏蔽线互连。

② 线缆互连。用线扎、电缆、扁平电缆、挠性印制电缆、同轴电缆进行互连。

③ 印制导体互连。即用印制电路板实现单面、双面及多层布线互连,它的互连密度要比前两种方法高得多,至今依然是应用最多的互连方法。印制电路板可分为刚性印制电路板和挠性印制电路板,TAB(载带自动焊接技术)可看作一种特殊的挠性印制电路互连技术。

④ 厚膜导体互连。用厚膜微电子技术进行单层或多层高密度互连,它的组装互连密度和可靠性又比印制电路板高。

⑤ 薄膜导体互连。用薄膜微电子技术进行单层或多层高密度互连,它的安装互连密度最高。如64M DRAM的特征尺寸(线宽和间隔)为 $0.3\sim 0.35\mu\text{m}$,更高