

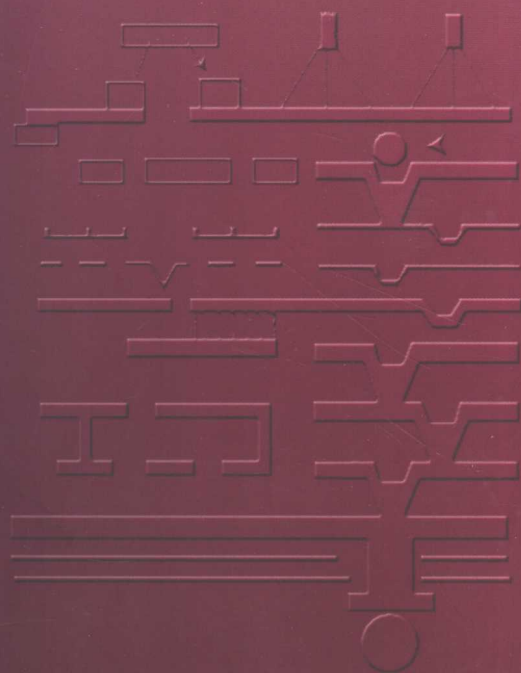
High
New

新材料及在高技术中的应用丛书

Electronic Packaging Technology

电子封装工程

田民波 编著



清华大学出版社

新材料及在高技术中的应用丛书

电子封装工程

田民波 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是《新材料及在高技术中的应用丛书》的第三册,内容包括电子封装工程概述、电子封装工程的演变与进展、薄膜材料与工艺、厚膜材料与工艺、有机基板、无机基板、微互联技术、封装与封接技术、BGA 与 CSP 封装、电子封装的分析、评价及设计、超高密度封装的应用和发展等内容。书中从微电子封装的基本概念及其演变与进展入手,针对高密度电子封装,详细讨论了制造工艺、相关材料及应用等各个方面,内容适用于微电子、电子元器件、半导体、材料、计算机与通信、化工、机械、塑料加工等各个领域的人员阅读。

本书可以作为相关专业本科生、研究生的教材,也可作为广大科技工作者、工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电子封装工程/田民波编著. —北京:清华大学出版社,2003
(新材料及在高技术中的应用丛书)
ISBN 7-302-06347-8

I. 电… II. 田… III. 电子器件—封装工艺 IV. TN605

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 010098 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

责任编辑: 宋成斌

版式设计: 刘祎森

印 刷 者: 清华大学印刷厂

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 170×230 印张: 47 插页: 2 页 字数: 893 千字

版 次: 2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06347-8/TN·138

印 数: 1~3000

定 价: 95.00 元



《新材料及在高技术中的应用丛书》序言

材料、信息技术与能源称为现代人类文明的三大支柱。国民经济的各部门和高技术领域的发展都不可避免地受到材料发展的制约或推动。材料科学技术为建设现代工业和现代农业提供基础物质,为传统产业的更新改造和高技术产业的兴起提供共性关键技术,也为国防建设提供重要的物资保证。实际上,新材料的发展水平已经成为衡量一个国家高技术水平高低和综合国力强弱的重要标志。

与此同时,人类已进入蓬勃发展的高技术时代。计算机、多媒体、移动电话、因特网、核能、航天和太空探索、激光、基因工程、克隆技术、电动汽车和高速火车等等,其中不少已经或即将涉及到我们的日常生活。

当前一些发达国家正集中人力、物力,寻求在新材料方面的突破。美国、欧共体、日本和韩国等在他们的最新国家计划中,都把新材料及其制备技术列为国家关键技术之一加以重点支持。例如,美国国家研究理事会(National Research Council, NRC)确定的“未来30年十大研究方向”中与材料直接和间接相关的就有8项;美国国家关键技术委员会把新材料列为影响经济繁荣和国家安全的6大类关键技术的首位。20世纪90年代初确定的22项关键技术中,材料占了5项。

最近,我国已确定“十五”期间8个对增强综合国力最具战略影响的高技术领域,分别是信息技术、生物技术、新材料技术、先进制造与自动化技术、资源环境技术、航天航空技术、能源技术、先进防御技术等领域。其中重点是信息、生物和新材料3个领域。

《新材料及在高技术中的应用丛书》正是在这种背景下出版的。

何谓“新材料”?简单地讲,就是那些新出现或已在发展中的,

在成分、组织、结构、形态等方面不同于普通材料,具有传统材料所不具备的优异性能和特殊功能的材料。目前比较活跃的领域包括:电子信息、光电、超导材料;生物功能材料;能源材料和生态环境材料;高性能陶瓷材料及新型工程塑料;粉体、纳米、微孔材料和高纯金属及高纯材料;表面技术与涂层和薄膜材料;复合材料;智能材料;新结构功能助剂材料、优异性能的新型结构材料等。

何谓“高技术”?简单地讲,就是采用新材料、新工艺,产生更高效益,能促进人类物质文明和精神文明更快进步的技术。有人认为,高技术就是“尖端技术”、“先导技术”、“未踏技术”等。以这类技术形成的产业具有高成长率、高利润、高风险、高变化率、高知识水平等特点,也有人把知识密集型产业称为高技术产业。

新材料、高技术的发展具有下述特征:

(1) 新材料与高技术相互促进,二者相结合可转化为巨大的生产力

从科技发展史看,重大的技术革新往往起始于材料的革新。例如,20世纪50年代镍基超级合金的出现,将材料使用温度由原来的700℃提高到900℃,从而导致超音速飞机问世;高温陶瓷的出现促进了表面温度高达1000℃的航天飞机的发展。半导体材料及大规模集成电路技术的不断突破,使电子计算机的体积越来越小、能力却成千上万倍地提高;晶体管(1947年)、集成电路(1959年)和微处理器(1970年)的发明提高了数据运行速度;硬盘(1956年)、调制解调器(1980年)和鼠标(1983年)的发明又大大提高了获取数据的能力;因特网(1989年)的广泛应用打破了传统的信息堡垒,使人们廉价地获取各种知识成为可能;未来还会出现一些“智能”型装置,例如手表型对话器、“智能”冰箱、“智能”居室等。

(2) 高风险、高投入、高效益、高速度

在信息社会飞速发展的今天,作为人机对话窗口的显示器已成为世界电子信息工业的又一大支柱产业。阴极射线管显示器(CRT)由于其体积大、电压高、易受干扰,在便携式电子产品和大屏幕显示方面的应用受到限制,目前平板显示器(FPD)已经发展成为可以与CRT抗衡的新兴显示技术。据预测,到2002年,CRT和FPD器件的产值都将达到300亿美元,各占50%,后者的年增长率为16.2%,远远高于前者6.3%的水平。其中等离子体显示板(PDP)以其显示面积大、画质优异、视角大、薄型等特点,在40~70英寸大屏幕显示范围内占有绝对优势,作为高清晰度电视(HDTV)、家庭影院进入家庭,使人们盼望多年的壁挂电视梦想成为现实。近年来,大屏幕液晶显示器(LCD)也取得长足进展,2003年54英寸的液晶电视投入市场。

面对这种形势,许多跨国公司都投入巨资,建立新的生产线,加速扩展其生产能力,力争抢先占领彩色PDP市场。仅亚洲,已经投产的PDP生产线就不下10条。

(3) 高技术的迅猛发展对新材料提出更高的要求

小型、轻量、薄型、高性能是数字网络时代电子设备的发展趋势。便携式信息

机器正以迅猛之势发展,这种新机器将个人电脑的信息处理能力、因特网的通信网络、电视栩栩如生的图像和电话的便利性融为一体。人们预想这种便携式信息机器将成为电话、电子邮件、因特网和录像机的替代品,2003年左右被广泛使用,从而迎来“后PC时代”。目前,质量仅有50g的移动电话已经小批量面市。据估计,到2006年,在所有电子设备中,便携型的比例将超过60%。

随着电子元器件向轻、薄、短、小、高性能方向发展,芯片向高集成度、高频率、超多I/O端子数方向发展,迫切需提高封装密度,其中包括:封装的端子(引脚)数越来越多;端子(引脚)节距越来越小;封装厚度越来越薄;封装体在基板上所占的面积越来越大。为满足这些要求,一是不断采用新的封装形式,二是采用三维立体布线的多层基板及三维立体封装。电子封装工程的这种发展趋势对其四大基础技术,即薄厚膜技术、微互联技术、基板技术、封接与封装技术等提出许多新的要求。因此,许多新结构、新工艺、新材料将应运而生。

(4) 人才是新材料、高技术发展的关键

新材料的“新”主要体现在其特殊性能及功能上。作为结构材料,有超高强度、超高硬度、超塑性等;作为功能材料,主要涉及到电、磁、半导、超导、压电、声、光等特性。新材料更新换代快、式样多变;其制备和生产往往与新技术、新工艺紧密相连;其研制与应用需要更综合的知识和能力。

例如,为了制取用纤维或晶须增强的新型复合材料,需要制备高强度、高热稳定性、无(或很少)缺陷的陶瓷晶须或纤维,并解决它们与基体间的复合工艺问题;为了获得具有特殊性质的薄膜或表层,需要应用各种成膜技术(如真空蒸镀、磁控溅射、分子束外延等)、激光技术、高能粒子轰击或离子注入技术。为了不断提高磁记录和光磁记录的记录密度、可靠性和再生灵敏度,除了要在记录介质材料系统、垂直磁记录膜的制作工艺、多层膜等方面进行系统的研究开发外,还要对磁头(包括感应磁头、磁致电阻和巨磁电阻效应磁头等)、激光记录再生系统、光强和频率调制系统等进行深入研究。要能胜任这些工作,并能取得开创性的成果,没有高水平的人才是不可想象的。

(5) 科学决策极为重要

新材料应用于高技术领域,有先后、难易、周期长短、所需基础及投入资金多少的不同。国民经济发展对其要求应有轻重缓急之分,因此科学决策极为重要。在新材料、高技术等新经济中不是大鱼吃小鱼,而是快的吃慢的,反应最快的总是占据最佳位置,速度是新经济的自然淘汰方式。

目前我国从事新材料及高技术研究、开发和生产的单位是很多的。根据20世纪90年代初的统计,从事新材料研究开发的部门所属的研究机构就有125个,全国有170所高校设有与材料相关的系和专业,还有1000家以上的企业从事新材料的生产。从事高技术的单位和部门更是数不胜数。但是,目前不少新材料及高技术部门往往从事同样的研究开发工作,特别是一些热门课题,大家一哄而上,由

于经费不足和研究条件落后,很多项目仍是低水平重复,成果不能很快地转化为生产力,浪费了国家有限的人力和资金。

究其原因,有体制问题、决策问题、选题及目标问题,还有政策问题等。这些问题不解决,很难在新材料及高新技术的激烈竞争中立于世界之林。

应特别指出的是,在信息、能源、材料三大基础产业中,材料最为基础。以目前迅速发展的电子材料为例,日本在金属超细粉、表面活性剂、有机粘结剂、有机溶剂、电子浆料、液晶材料、光学玻璃、偏光板、玻璃粉料、陶瓷粉料、封接玻璃、电子陶瓷、各类薄膜、各类基板、光刻制板、精细印刷、焊料焊剂、PCB基板、多层基板、微细连接、封接封装技术及各类相关设备等方面的中小型企业遍布全国,都有其独特的技术和很强的生产能力,且科研力量、开发能力都很强。许多重大科研及攻关项目都在公司间进行,厂家、用户之间联系密切、技术交流频繁,所涉及的都是新的、活的、尖端的内容。这些中小型企业作为产业基础是必不可少的。日本、韩国微电子产业的腾飞正是得益于此。目前,新加坡以及我国台湾、香港正在奋起直追,我国内地亟待在这些方面迅速发展。

本丛书力求全方位地反映新材料及高新技术应用的各个方面,包括涉及的范围、水平、目前状况及发展趋势等。重点是讨论新材料与高技术应用之间的关系。以此奉献给该领域的决策者、参与者、相关者、关心者以及在校的大学生、研究生等。其内容齐全、涉及面广,力求做到通俗易懂、深入浅出。丛书中的每一部又自成体系,可作为相关专业的教材及教学参考书。

最先献给读者的是本丛书的前六部:《磁性材料》、《电子显示》、《电子封装工程》、《晶圆与芯片》、《高密度封装基板》、《高密度电子封装——MCM、BGA、CSP》。正在撰写和组织的还有《粉体与烧结》、《新型玻璃材料》、《薄膜技术与材料》、《电池——材料、工艺及应用》、《结构材料科学》、《功能材料科学》、《实验材料科学》、《气体放电及应用》、《表面与界面》、《固体电子材料》、《纳米技术》等,将陆续出版。

当代材料科学技术正面临新的突破,诸如高温超导体、纳米材料、先进复合材料、生物医用材料、先进电子材料、智能材料、生态环境材料、光电信息材料、C60,以及分子、原子尺度设计材料等领域正处于日新月异的发展之中,充满了挑战和机遇。新材料的出现总是连带着高新技术的突破,由此必将带来巨大的技术经济效益和社会效益。《新材料及在高新技术中的应用丛书》若能对读者在“眼观六路、耳听八方”方面有所裨益,我们将不胜荣幸。

作者水平有限,不妥或谬误之处在所难免,恳请读者批评指正。

田民波

2003年6月30日

前言



半导体集成电路元件被称为“工业之米”。但在一般情况下,用户需要的并不是柔嫩易损的裸芯片,而是带有外壳的封装体(pack-age)。

狭义的封装(packaging, PKG^①)可定义为:利用膜技术及微细连接技术,将半导体元器件及其他构成要素,在框架或基板上布置、固定及连接,引出接线端子,并通过可塑性绝缘介质灌封固定,构成整体立体结构的工艺技术。广义的电子封装是指将半导体和电子元器件所具有的电子的、物理的功能,转变为适用于设备或系统的形式,并使之成为人类社会服务的科学与技术。或简言之,“将构成电子回路的半导体元件、电子器件组合成电子设备的综合技术”。

电子封装具有机械支撑,电气连接,物理保护,外场屏蔽,应力缓和,散热防潮,尺寸过渡,规格化和标准化等多种功能。

相对于“高贵而神圣”的大规模集成电路(LSI)技术而言,电子封装技术“土里土气”,“满身泥臭”,国外国内对其认识都经历了漫长的历程。开始人们对其不屑一顾,接着是在LSI总题目下被施舍一杯羹,而后才慢慢争得自立课题的地位,后来是与LSI技术平起平坐,近年来大有后来者居上之势。

从范围上讲,整个微电子(电子信息)产业应包括大规模集成电路(芯片)及相关技术,电子元器件及电子封装工程,电子显示器(特别是平板显示器)技术,计算机、通信、网络及信息处理技术,软件技术等五大部分。由于落后管理体制的制约,短期经济利益的驱使,再加上对整个微电子产业缺乏全面认识,人们往往更重视下游产品。

① 所有缩写词英文注释见附录。

必须改变“电子信息产业仅包括计算机、通信、网络及软件”的错觉。相反,对于中国的现状来说,电子封装工程、电子显示器(特别是平板显示器)技术更为重要。理由很简单,在这些领域,我国与世界先进水平的差距正在迅速拉大,特别是其所涉及的材料及工艺是整个微电子产业基础中的基础。没有雄厚的基础,貌似繁荣的市场是“无源之水,无本之木”,谈不上先进性,更谈不上赶超世界先进水平。

目前,微电子产业已逐渐演变为设计、制造和封装三个相对独立的产业。与前者相比,电子封装涉及的范围广,带动的基础产业多,特别是与之相关的基础材料更是“硬中之硬”,亟待在我国迅速发展。20世纪90年代中期,先进工业国家已跨入高密度封装时代。目前,电子封装已成为整个微电子产业的瓶颈,在全世界范围内,电子信息产业的竞争从某种意义上说将主要体现在电子封装上。

电子设备迅速轻、薄、短、小化是促进电子封装产业急速发展的第一个车轮。目前,许多跨国公司正集中力量开发将信息、通信、家电融合为一体的电子设备。个人便携化、高速度、数字化、高功能、大容量、低价格已成为这类电子设备的战略发展目标。据估计,到2006年,在所有电子设备中,便携型的比例将超过60%。

集成电路芯片性能的飞速提高是促进电子封装产业急速发展的第二个车轮。例如:①存储器(DRAM)容量(位/芯片)从64kB(1980年)到256kB(1983年),4MB(1989年),256MB(1998年),1GB以上(2001年),大致按摩尔定律以3年(超过)4倍的速度增加;②逻辑元件(MPU)特征尺寸从亚微米(1980年)到 $0.6\mu\text{m}$ (1995年), $0.25\mu\text{m}$ (深亚微米,1998年), $0.13\mu\text{m}$ (2000年), $0.07\mu\text{m}$ (2004年);③MPU的时钟频率,以Intel-奔腾机主板芯片为代表,从450MHz(1999年)到1.3GHz(2000年),1.7GHz(2001年)到2GHz(2002年);④每个芯片I/O端子数从1680(1999年)到3280(2005年),8440(2011年);⑤单芯片功耗从70W(1997年)到110W(2001年),160W(2006年)等。芯片性能的不断提高,在给半导体芯片厂家带来丰厚利润的同时,对电子封装密度也提出更高的要求。其中包括:封装的引脚数越来越多;布线节距越来越小;封装厚度越来越薄;封装体在基板上所占的面积比例越来越大;需要采用低介电常数、高热导基板材料等。近年来,随着用户定制或半定制专用型ASIC芯片的快速发展,对电子封装提出更复杂的要求。

跨入新世纪,世界范围内电子封装产业的最新进展应引起我们的高度重视。现举例如下。

(1) 自电子封装问世后的约30年中,先后经历过三次重大的技术转变。第一次发生在20世纪70年代中期,由以DIP为代表的针脚插入型转变为以QFP为代表,由周边引出I/O端子为其主要特征的表面贴装型;第二次发生在90年代初期,其标志是球栅阵列端子BGA型封装的出现;第三次发生在新世纪初,多芯片系统封装SiP的出现使微电子技术及封装技术进入后SoC和后SMT时代。20世纪90

年代中期,由于 CSP 封装和积层式多层基板的引入,IC 产业迈入高密度封装时代。目前的主要特征及发展趋势是:① BGA 封装正向增强型 BGA、倒装片积层多层基板 BGA、带载 BGA 等方向进展,以适应多端子、大芯片、薄型封装及高频信号的要求;② CSP 的球栅节距正由 1.0mm 向 0.8mm、0.5mm,封装厚度正向 0.5mm 的方向进展,以适应超小型封装的要求;③ 采用两芯片重叠,三芯片重叠,或多芯片叠装构成存储器模块等方式,以提高封装密度;④ WLP(wafer level package)的采用将半导体技术与高密度封装技术有机地结合在一起,其特征是,在硅圆片状态下,在芯片表面再布线,并由树脂绝缘保护,构成球形凸点之后,再切片。由此可以获得真正与芯片尺寸大小一致的 CSP 封装,而且可以省略集成电路制造中的后工程,它作为高密度封装形式而引起广泛重视。

(2) 1999 年日本印制电路工业会(JPCA)将几十年称谓的“印制电路板”(printed circuit board,PCB),改称为“电子基板”(electric substrate)。新定义的电子基板,按其结构可分为普通基板、印制电路板、模块基板等几大类。其中 PCB 在原有双面板、多层板的基础上,近年来又出现积层多层板;模块基板是指新兴发展起来的可以搭载在 PCB 之上,以 BGA、CSP、TAB、MCM、SiP 为代表的封装基板(package substrate,简称 PKG 基板)。从“印制电路板”到“电子基板”这一定义、概念上的改变,反映出印制电路板产业正在市场、产品结构上发生巨大转变,其中封装基板已被提到突出地位。

(3) LTCC(low temperature cofired ceramics,低温共烧陶瓷)多层基板重新引起人们的重视。LTCC 采用玻璃-陶瓷生片,可使烧结温度从制取 HTCC 的 1650℃ 下降到 900℃ 以下,从而可以用 Cu、Ag、Ag-Pd 等熔点较低的金属代替 W、Mo 等难熔金属作布线导体,既可以提高电导率,又可以在大气中烧成。采用 LTCC 便于制作大尺寸、大容量基板,成本低,可植入电阻、电容、电感等无源元件,由于玻璃陶瓷与硅的热膨胀系数匹配,介电常数低,在高频带域具有明显的低损耗性能,非常适合于射频、微波、毫米波器件。LTCC 多层基板除可用于 DIP、LCCC、PGA、QFP、BGA、CSP、MCM、SiP 等各种封装制品外,还可用于计算机主板、高速电路基板、功率电路基板、汽车电子电路基板等。LTCC 还可代替混合集成电路(HIC)广泛应用于军事和空间技术通信(包括电信、无线电通信、微波通信、雷达、广播和其他通信、导航通信)等。随着数字化技术的普及和工作频率的提高,LTCC 的应用范围会急速扩大。

(4) 新的封装形式、高密度微互联(HDI)和高密度多层基板涉及到目前微电子及电子封装中的许多前沿热门课题。其中包括:倒装片(FC),可控坍塌芯片互连技术(C4),芯片直接搭载(DCA),钉头凸点连接(SBB),下灌封(under-fill)技术与材料,低热膨胀系数耐高温有机基板材料,BGA 及 CSP 的表面贴装(SMT)、检查

与返修,各向异性导电膜(ACF),各向异性导电浆料(ACP),无铅焊料,各种金属粉料、玻璃-陶瓷粉料,热固性树脂、感光性树脂,丝网印制焊盘凸点,激光法制作埋孔,导体浆料埋孔工艺,CPU芯片散热,基板的防电磁波干扰(EMI),质量确保裸芯片(KGD)技术,多芯片封装(MCP)技术等。

(5) 目前,以LCD、PDP和LED为代表的平板显示器产业发展迅猛。从材料和工艺讲,平板显示器产业和电子封装产业有许多资源可以共享。例如,薄膜三极管液晶显示器(TFT-LCD)的布线与封装,PDP障壁的制作及封接等,其采用的材料和工艺同电子封装如出一辙,异曲同工。

目前,在世界范围内,所有跨国电子公司都集中力量开展电子封装的研究和开发,进行从DIP、QFP、PGA等向BGA、CSP、MCM、SiP封装的改型工作。他们采取的方针是,尽量利用原有SMT工艺和设备,力求低价位地生产CSP、MCM和SiP产品。与此同时,日本、我国台湾的PCB厂家正在产品结构上实行战略性转变,提高用于移动电话等具有高附加值的微小通孔多层板的生产比例,大力投资发展封装基板的生产,以适应高密度封装的要求。他们纷纷与原材料厂家和封装基板应用厂家建立战略合作关系,积极扩大出口,提前占领国际市场。

现在我国每年需要180亿片芯片,而国内能供应,特别是自己封装的不足20%。据估计,2010年后,我国集成电路的年消费将达到932亿美元,约占当时世界市场的20%,若其中30%用于电子封装及相关产业,则年产值将达到几千亿人民币。面对如此巨大的市场,我们再也不能迟疑和观望,否则将贻误战机,悔之莫及。

电子封装可以带动和促进材料、微电子、先进工艺、加工及检测设备等一大批基础产业。发展这些基础产业,不仅可为国家的微电子产业形成雄厚的基础,建立我国自己坚实的、可靠的、独立的创新知识产权基地,造就一大批专业技术、经营及管理人才,而且对于解决我国目前的就业问题意义重大。

电子封装属于交叉学科,涉及到许多全新的领域,国内论著较少。本书着眼于基础,力求全面地介绍电子封装的基本概念,最新动向以及相关工艺、材料、检测技术及应用等。若能对国内电子封装及微电子业有所促进,作者将不胜欣慰。

目录



《新材料及在高技术中的应用丛书》序言	I
前言	V

第1章 电子封装工程概述

1.1 电子封装工程的定义及范围	1
1.1.1 定义	1
1.1.2 范围	3
1.1.3 功能	8
1.1.4 分类	10
1.2 技术课题	29
1.2.1 信号的高速传输	30
1.2.2 高效率冷却	30
1.2.3 高密度化	32
1.2.4 防止电磁波干扰技术	32
1.3 从电子封装技术到电子封装工程	32
1.3.1 电子封装技术的体系与范围	32
1.3.2 电子封装工程的主要课题	35
1.3.3 电子封装材料	39
1.3.4 电子封装发展的国内外现状	39
1.4 工程问题	44
1.5 电子封装工程的发展趋势	46
1.6 我国应该高度重视电子封装产业	49

第2章 电子封装工程的演变与进展

2.1	20世纪电子封装技术发展的回顾	53
2.1.1	电子封装技术发展历程简介	53
2.1.2	电子管安装时期(1900—1950年)	56
2.1.3	晶体管封装时期(1950—1960年)	57
2.1.4	元器件插装(THT)时期(1960—1975年)	57
2.1.5	表面贴装(SMT)时期(1975年—)	59
2.1.6	高密度封装时期(20世纪90年代初—)	60
2.2	演变与进展的动力之一:从芯片的进步看	62
2.2.1	集成电路的发展历程和趋势	62
2.2.2	集成度与特征尺寸	66
2.2.3	MPU时钟频率的提高	68
2.2.4	集成度与输入/输出(I/O)端子数	70
2.2.5	芯片功耗与电子封装	71
2.2.6	半导体集成电路的发展预测	74
2.3	演变与发展的动力之二:从电子设备的发展看	76
2.3.1	便携电话	76
2.3.2	笔记本电脑	77
2.3.3	摄像一体型VTR	78
2.4	电子封装技术领域中的两次重大变革	80
2.4.1	从插入式到表面贴装——第一次重大变革	80
2.4.2	从四边引脚的QFP到平面阵列表面贴装——第二次重大变革	81
2.4.3	电子封装的第三次重大变革	86
2.4.4	逻辑器件和存储器件都对电子封装提出更高要求	87
2.4.5	电子封装的发展动向	90
2.5	多芯片组件(MCM)	99
2.5.1	MCM的历史、种类及其特征	99
2.5.2	MCM的制作工艺——以MCM-D为例	104
2.5.3	MCM的发展趋势	107
2.6	SiP与SoC	109
2.6.1	何谓SiP和SoC	109
2.6.2	单芯片路线遇到壁垒	111
2.6.3	SiP和SoC的竞争	113

2.6.4	SiP 的发展过程	116
2.6.5	对 SiP 提出的疑问	121
2.6.6	SiP 面临的挑战	125
2.6.7	SiP 的标准化动向	127
2.7	半导体封装技术的发展预测	128
2.7.1	封装的作用及电子封装工程的地位	128
2.7.2	半导体封装技术的现状及动向	129
2.7.3	主要半导体封装技术的发展趋势	132
2.7.4	今后的课题	137

第3章 薄膜材料与工艺

3.1	电子封装工程中至关重要的膜材料及膜技术	138
3.1.1	薄膜和厚膜	138
3.1.2	膜及膜电路的功能	140
3.1.3	成膜方法	141
3.1.4	电路图形的形成方法	147
3.1.5	膜材料	149
3.2	薄膜材料	152
3.2.1	导体薄膜材料	152
3.2.2	电阻薄膜材料	157
3.2.3	介质薄膜材料	162
3.2.4	功能薄膜材料	165

第4章 厚膜材料与工艺

4.1	厚膜材料	171
4.1.1	厚膜导体材料	171
4.1.2	厚膜电阻材料	178
4.1.3	厚膜介质材料	187
4.1.4	厚膜功能材料	194
4.2	厚膜工艺	196
4.2.1	厚膜成膜技术	196
4.2.2	丝网印刷方法	202
4.2.3	丝网印刷工艺	208

4.2.4	表面贴装技术(SMT)中电极焊膏的丝网印刷	220
4.2.5	图形描画法	233
4.3	电阻修边(调阻值)	235
4.3.1	修边的必要性及其对象	235
4.3.2	考虑修边需要的厚膜电阻设计	236
4.3.3	单个元件的各种修边方法	236
4.3.4	激光修边工艺特性	241
4.3.5	功能修边	246
4.3.6	喷沙修边的其他应用	247

第5章 基板技术(I)——有机基板

5.1	封装基板概述	249
5.1.1	发展动向	249
5.1.2	性能要求	255
5.2	封装基板分类	258
5.2.1	按基材分类	258
5.2.2	按结构分类	261
5.2.3	通用PWB——单面板、双面板和多层板	263
5.2.4	多层印制线路板的结构	265
5.3	多层印制线路板的电气特征	271
5.3.1	导体电阻	272
5.3.2	绝缘电阻	274
5.3.3	特性阻抗及传输速度	276
5.3.4	交调噪声	282
5.3.5	电磁波屏蔽(EMI)及其他特性	283
5.4	电镀通孔多层印制线路板	283
5.4.1	制作方法概述	284
5.4.2	减成法	289
5.4.3	加成法	292
5.4.4	盲孔(blind via)、埋孔(buried via)层间连接(IVH)	293
5.4.5	顺次积层法	295
5.5	积层多层印制线路板	296
5.5.1	发展过程	296

5.5.2	电镀方式各种积层法的比较	301
5.5.3	涂树脂铜箔(RCC)方式	302
5.5.4	热固性树脂方式	304
5.5.5	感光性树脂方式	305
5.5.6	其他采用电镀的积层方式	305
5.5.7	采用导电浆料的积层方式	308
5.5.8	一次积层工艺	309
5.5.9	芯板及表面的平坦化	310
5.5.10	多层间的连接方式	311
5.5.11	积层多层印制线路板用绝缘材料	312
5.5.12	各种激光制孔方式对比	315
5.5.13	可靠性试验	319

第6章 基板技术(Ⅱ)——陶瓷基板

6.1	陶瓷基板概论	321
6.1.1	陶瓷基板应具备的条件	321
6.1.2	陶瓷基板的制作方法	323
6.1.3	陶瓷基板的金属化	327
6.2	各类陶瓷基板	330
6.2.1	氧化铝基板	330
6.2.2	莫来石基板	337
6.2.3	氮化铝基板	338
6.2.4	碳化硅基板	344
6.2.5	氧化铍基板	347
6.3	低温共烧陶瓷多层基板(LTCC)	348
6.3.1	LTCC基板应具有的性能	350
6.3.2	玻璃陶瓷材料	351
6.3.3	LTCC的制作方法及其烧结特征	353
6.3.4	LTCC多层基板的应用	358
6.3.5	LTCC多层基板的发展动向	363
6.4	其他类型的无机基板	366
6.4.1	液晶显示器(LCD)用玻璃基板	366
6.4.2	等离子体显示板(PDP)用玻璃基板	367

6.5 复合基板	370
6.5.1 复合基板(Ⅰ)——功能复合	370
6.5.2 复合基板(Ⅱ)——结构复合	374
6.5.3 复合基板(Ⅲ)——材料复合	379

第7章 微互联技术

7.1 微互联技术与封装	384
7.2 钎焊材料及其浸润性	386
7.2.1 各种钎焊材料及其浸润性	387
7.2.2 焊料浸润性的定义及评价方法	389
7.3 插入实装及表面贴装技术(微钎焊技术)	392
7.3.1 流焊技术(插入实装/单面、双面混载实装技术)	392
7.3.2 整体回流焊技术(双面表面贴装技术)	396
7.3.3 局部回流焊技术	400
7.3.4 封装裂纹问题及曼哈顿现象(墓碑现象)	401
7.3.5 焊剂应用及清洗技术	403
7.4 表面贴装技术(微钎焊技术)的发展动向	405
7.4.1 窄节距 QFP 及 TCP 实装技术的发展动向	405
7.4.2 面阵列 CSP/BGA 实装技术	406
7.4.3 无铅焊料及相关技术	410
7.5 裸芯片微组装技术	416
7.5.1 各种裸芯片微组装技术及其特征	416
7.5.2 MCM 中裸芯片微组装的成品率及电气性能检测	419
7.5.3 引线连接(WB)技术	422
7.5.4 带载自动键合(TAB)技术	428
7.6 倒装焊微互联(FCB)技术	433
7.6.1 倒装焊微互联技术的必要性	433
7.6.2 金凸点和焊料凸点的形成——硅圆片电镀凸点技术	434
7.6.3 各种倒装微互联技术	440
7.6.4 倒装焊的主要类型:C4 和 DCA	443
7.7 压接倒装互联技术	447
7.7.1 各种压接倒装互联技术	447
7.7.2 钉头凸点互联(SBB)技术	449