



高等技术应用型人才培养规划教材

集成电路 芯片封装技术



李可为 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等技术应用型人才培养规划教材

集成电路芯片封装技术

李可为 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是一本通用的集成电路芯片封装技术通用教材, 全书共分 13 章, 内容包括: 集成电路芯片封装概述、封装工艺流程、厚膜与薄膜技术、焊接材料、印制电路板、元件与电路板的连接、密封胶材料与技术、陶瓷封装、塑料封装、气密性封装、封装可靠性工程、封装过程中的缺陷分析和先进封装技术。

本书在体系上力求合理、完整, 并由浅入深地阐述封装技术的各个领域, 在内容上接近于封装行业的实际生产技术。通过阅读本书读者能较容易认识封装行业, 理解封装技术和工艺流程, 了解先进的封装技术。

本书可作为高校相关专业教学用书及微电子封装企业职工的培训教材, 也可供工程技术人员参考。

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

· 集成电路芯片封装技术 / 李可为编著. —北京: 电子工业出版社, 2007.3

高等技术应用型人才培养规划教材

ISBN 978-7-121-03880-8

I. 集… II. 李… III. 集成电路—芯片—封装工艺—高等学校—教材 IV. TN405

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 021946 号

责任编辑: 孙 琳

印 刷: 北京季蜂印刷有限公司

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

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: 14.75 字数: 377.6 千字

印 次: 2007 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 20.00 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, 联系电话: (010) 68279077; 邮购电话: (010) 88254888。

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

服务热线: (010) 88258888。

《集成电路芯片封装技术》读者意见反馈表

尊敬的读者：

感谢您购买本书。为了能为您提供更优秀的教材，请您抽出宝贵的时间，将您的意见以下表的方式（可从 <http://edu.phei.com.cn> 下载本调查表）及时告知我们，以改进我们的服务。对采用您的意见进行修订的教材，我们将在该书的前言中进行说明并赠送您样书。

姓名：_____ 电话：_____

职业：_____ E-mail：_____

邮编：_____ 通信地址：_____

1. 您对本书的总体看法是：

很满意 比较满意 尚可 不太满意 不满意

2. 您对本书的结构（章节）： 满意 不满意 改进意见_____

3. 您对本书的例题 满意 不满意 改进意见_____

4. 您对本书的习题 满意 不满意 改进意见_____

5. 您对本书的实训 满意 不满意 改进意见_____

6. 您对本书其他的改进意见：

7. 您感兴趣或希望增加的教材选题是：

请寄：100036 北京万寿路 173 信箱高等职业教育部 刘菊收

电话：010-88254563 E-mail: baiyu@phei.com.cn

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和行政责任，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

《集成电路芯片封装技术》教材编委会名单

主任委员：李可为

副主任委员：杨邦朝

委员：（排名按拼音字母顺序）

陈世云 郭 杰 敬代和 简元金 霍 平

何 茗 贺文佳 李可为 李若英 李雪松

李棱华 林训超 龙海燕 吕 强 瞿仁兴

汪 建 伍 健 巫友富 向 旺 徐国强

杨邦朝 杨新明 周玉康

序

集成电路封装的目的，在于保护芯片不受或少受外界环境的影响，并为之提供一个发挥集成电路芯片功能的良好工作环境，以使之稳定、可靠、正常地完成电路功能。但是，集成电路芯片封装只能限制而不能提高芯片的功能。

半导体微电子产业的高速发展，在全球已逐渐形成微电子设计、微电子制造（包括代工）和微电子封装与测试三大产业群。其中微电子封装与测试产业群与前二者相比属于高技术劳动密集型产业，每年需要大批高、中级技术人才。我国微电子封装业在集成电路产业中占有十分重要的地位，在长三角、珠三角、京津和成都地区形成了不同规模的微电子封装与测试产业群，2005年销售收入已达345亿元，占国内集成电路产业的“半壁河山”。这些封装企业每年都需要大量熟悉封装技术的高、中级技术操作人员，但是国内相关大学、高等专科学校以及高等职业技术学院尚未能跟上产业发展设置相关专业、培养人才，或缺乏相关的专业教材。

在这种情况下《集成电路芯片封装技术》一书的编辑和出版，则填补了学校用书、企业用书的空白，这将对我国微电子封装产业的发展起着积极的作用。该书是目前国内第一本较系统、全面介绍集成电路芯片封装工艺的专著，它紧密结合了封装工艺，内容全面、系统、实用性强，既可作为高校相关专业的教材及微电子封装企业职工的培训用书，也可供从事微电子芯片设计制造，特别是封装与测试方面的工程技术人员使用。

电子科技大学

微电子与固体电子学院

杨邦朝

2006年12月18日于成都

前 言

三年前，编者在筹建微电子技术专业时就萌发了编写专业系列教材的想法。直到今日，系列教材之一《集成电路芯片制造技术》终于与读者见面了。该教材能否满足教学的需要，还需在教学中进行检验。

2000年以来，我国集成电路产业出现了蓬勃生机，进入了高速成长期，呈现出三大特点：一是生产规模不断扩大，2000年到2005年，集成电路产量和销售收入年均增长速度超过30%，是同期全球最高的；二是技术水平提高较快，芯片制造技术从2000年的 $0.5\mu\text{m}$ 提高到 $0.13\mu\text{m}$ ，前进了三代；三是国有企业、民营企业、外资企业中的IC企业竞相发展，产业集中度不断提高，呈现了长三角地区、环渤海地区、珠江三角洲地区和西部地区的四大板块格局。

在集成电路产业中，封装测试业在国内IC产业中占有重要地位。2005年销售收入达345亿元，占国内IC产业的49%，在西部地区这一比重更高。

在这一背景下，我国对集成电路专业人才和产业技术工人的需求迅猛增加，学校亟需相关的专业教材和教学参考用书。编者经过三年的专业建设和教学实践，编写了《集成电路芯片封装技术》这本教材，目的是让学生了解集成电路芯片封装技术的基本原理，熟知工艺流程并掌握主要的工艺技术，了解先进封装技术的现状和发展趋势。

本教材的编写参考了国内、国外多部相关教材和资料，在体系上力求合理完整，并由浅入深地阐述封装技术的各个领域，在内容上更接近于封装行业的实际生产技术，具有高等学校教学用书的特色。

编者特别感谢英特尔产品（成都）有限公司在本书编写过程中给予的支持。编者衷心感谢我的前辈、国内知名封装测试技术专家、电子科技大学杨邦朝教授，不仅审阅了全部书稿，还为教材做了序。

编者还要感谢学校集成电路制造工程研究所，教研室的向旺、何茗、杨新民老师的帮助。《集成电路芯片封装技术》教材编委会全体委员讨论并提出了很好的建议，微电子专业的学生刘剑等为书稿整理所投入的工作，在此一并表示感谢！

由于编者水平所限，时间仓促，书中的错误、疏漏和不完整性在所难免，敬请各位读者不吝指正。

李可为

2006年12月于成都

目 录

第 1 章 集成电路芯片封装概述	(1)
1.1 芯片封装技术	(1)
1.1.1 概念	(1)
1.1.2 芯片封装的技术领域	(2)
1.1.3 芯片封装所实现的功能	(2)
1.2 封装技术	(4)
1.3 微电子封装技术的历史和发展趋势	(9)
1.3.1 历史	(9)
1.3.2 发展趋势	(11)
1.3.3 国内封装业的发展	(15)
复习与思考题 1	(18)
第 2 章 封装工艺流程	(19)
2.1 概述	(19)
2.2 芯片切割	(20)
2.3 芯片贴装	(20)
2.3.1 共晶粘贴法	(21)
2.3.2 焊接粘贴法	(22)
2.3.3 导电胶粘贴法	(22)
2.3.4 玻璃胶粘贴法	(23)
2.4 2 芯片互连	(23)
2.4.1 打线键合技术	(24)
2.4.2 载带自动键合技术	(27)
2.4.3 倒装芯片键合技术	(36)
2.5 成型技术	(41)
2.6 去飞边毛刺	(42)
2.7 上焊锡	(43)
2.8 切筋成型	(43)
2.9 打码	(44)
2.10 元器件的装配	(44)
复习与思考题 2	(45)
第 3 章 厚/薄膜技术	(47)
3.1 厚膜技术	(47)
3.1.1 有效物质	(49)
3.1.2 粘贴成分	(49)

3.1.3	有机粘贴剂	(50)
3.1.4	溶剂或稀释剂	(50)
3.1.5	厚膜浆料的制备	(50)
3.1.6	厚膜浆料的参数	(51)
3.2	厚膜导体材料	(53)
3.2.1	金导体	(54)
3.2.2	银导体	(54)
3.2.3	铜导体	(55)
3.3	厚膜电阻材料	(55)
3.3.1	厚膜电阻的电性能	(57)
3.3.2	初始电阻性能	(58)
3.3.3	与环境有关的电阻性能	(61)
3.3.4	厚膜电阻的工艺考虑	(62)
3.4	厚膜介质材料	(63)
3.5	釉面材料	(63)
3.6	丝网印刷	(64)
3.7	厚膜浆料的干燥	(65)
3.8	厚膜浆料的烧结	(66)
3.9	薄膜技术	(66)
3.10	薄膜材料	(70)
3.11	厚膜与薄膜的比较	(71)
	复习与思考题 3	(72)
第 4 章	焊接材料	(73)
4.1	焊接材料	(73)
4.2	焊锡的种类	(73)
4.3	锡膏	(76)
4.4	助焊剂	(76)
4.5	焊接表面的前处理	(78)
4.6	无铅焊料	(79)
4.6.1	世界立法的现状	(79)
4.6.2	技术和方法	(81)
4.6.3	无铅焊料和含铅焊料	(83)
4.6.4	焊料合金的选择	(84)
4.6.5	无铅焊料	(84)
	复习与思考题 4	(85)
第 5 章	印制电路板	(86)
5.1	印制电路板简介	(86)
5.2	硬式印制电路板	(87)
5.2.1	印制电路板的绝缘体材料	(87)

5.2.2	印制电路板的导体材料	(88)
5.2.3	硬式印制电路板的制作	(89)
5.3	软式印制电路板	(92)
5.4	PCB 多层互连基板的制作技术	(94)
5.4.1	多层 PCB 基板制作的一般工艺流程	(94)
5.4.2	多层 PCB 基板多层布线的基本原则	(94)
5.4.3	PCB 基板制作的新技术	(95)
5.4.4	PCB 基板面临的问题及解决办法	(98)
5.5	其他种类电路板	(98)
5.5.1	金属夹层电路板	(98)
5.5.2	射出成型电路板	(99)
5.5.3	焊锡掩膜	(99)
5.6	印制电路板的检测	(100)
	复习与思考题 5	(100)
第 6 章	元器件与电路板的接合	(101)
6.1	元器件与电路板的接合方式	(101)
6.2	引脚架材料与工艺	(102)
6.3	引脚插入式接合	(104)
6.3.1	弹簧固定式的引脚接合	(104)
6.3.2	引脚的焊接接合	(104)
6.4	贴装技术	(107)
6.4.1	波焊与回流焊	(108)
6.4.2	气相焊与其他焊接技术	(109)
6.5	连接完成后的清洁	(111)
6.5.1	污染的来源与种类	(111)
6.5.2	清洁方法与材料	(111)
	复习与思考题 6	(112)
第 7 章	密封胶材料与技术	(113)
7.1	顺形涂封	(113)
7.2	涂封的材料	(114)
7.3	密封胶	(115)
	复习与思考题 7	(118)
第 8 章	陶瓷封装	(119)
8.1	陶瓷封装简介	(119)
8.2	氧化铝陶瓷封装的材料	(120)
8.3	陶瓷封装工艺	(122)
8.4	其他陶瓷封装材料	(124)
	复习与思考题 8	(127)

第 9 章 塑料封装	(128)
9.1 塑料封装的材料	(129)
9.2 塑料封装的工艺	(131)
9.3 塑料封装的可靠性试验	(133)
复习与思考题 9	(133)
第 10 章 气密性封装	(134)
10.1 气密性封装的必要性	(134)
10.2 金属气密性封装	(135)
10.3 陶瓷气密性封装	(136)
10.4 玻璃气密性封装	(136)
复习与思考题 10	(138)
第 11 章 封装可靠性工程	(139)
11.1 概述	(139)
11.2 可靠性测试项目	(140)
11.3 T/C 测试	(140)
11.4 T/S 测试	(142)
11.5 HTS 测试	(142)
11.6 TH 测试	(144)
11.7 PC 测试	(144)
11.8 Precon 测试	(145)
复习与思考题 11	(146)
第 12 章 封装过程中的缺陷分析	(147)
12.1 金线偏移	(147)
12.2 再流焊中的问题	(148)
12.2.1 再流焊的工艺特点	(148)
12.2.2 翘曲	(151)
12.2.3 锡珠	(153)
12.2.4 墓碑现象	(154)
12.2.5 空洞	(156)
12.2.6 其他缺陷	(158)
复习与思考题 12	(161)
第 13 章 先进封装技术	(162)
13.1 BGA 技术	(162)
13.1.1 子定义及特点	(162)
13.1.2 BGA 的类型	(163)
13.1.3 BGA 的制作及安装	(166)
13.1.4 BGA 检测技术与质量控制	(168)
13.1.5 基板	(171)

13.1.6	BGA 的封装设计	(172)
13.1.7	BGA 的生产、应用及典型实例	(172)
13.2	CSP 技术	(173)
13.2.1	产生的背景	(173)
13.2.2	定义和特点	(174)
13.2.3	CSP 的结构和分类	(175)
13.2.4	CSP 的应用现状与展望	(179)
13.3	倒装芯片技术	(181)
13.3.1	简介	(181)
13.3.2	倒装片的工艺和分类	(182)
13.3.3	倒装芯片的凸点技术	(184)
13.3.4	FC 在国内的现状	(185)
13.4	WLP 技术	(185)
13.4.1	简介	(186)
13.4.2	WLP 的两个基本工艺	(186)
13.4.3	晶圆级封装的可靠性	(187)
13.4.4	优点和局限性	(188)
13.4.5	WLP 的前景	(189)
13.5	MCM 封装与三维封装技术	(190)
13.5.1	简介	(190)
13.5.2	MCM 封装	(190)
13.5.3	MCM 封装的分类	(191)
13.5.4	三维(3D)封装技术的垂直互连	(193)
13.5.5	三维(3D)封装技术的优点和局限性	(197)
13.5.6	三维(3D)封装技术的前景	(199)
	复习与思考题 13	(200)
附录 A	封装设备简介	(201)
A.1	前段操作	(201)
A.1.1	贴膜	(201)
A.1.2	晶圆背面研磨	(202)
A.1.3	烘烤	(202)
A.1.4	上片	(202)
A.1.5	去膜	(203)
A.1.6	切割	(203)
A.1.7	切割后检查	(204)
A.1.8	芯片贴装	(204)
A.1.9	打线键合	(204)
A.1.10	打线后检查	(205)
A.2	后段操作	(205)

A.2.1	塑封	(205)
A.2.2	塑封后固化	(206)
A.2.3	打印(打码)	(206)
A.2.4	切筋	(206)
A.2.5	电镀	(207)
A.2.6	电镀后检查	(207)
A.2.7	电镀后烘烤	(207)
A.2.8	切筋成形	(208)
A.2.9	终测	(208)
A.2.10	引脚检查	(208)
A.2.11	包装出货	(208)
附录 B	《集成电路芯片封装技术》中英文缩略语	(209)
附录 C	度量衡	(213)
C.1	国际制(SI)基本单位	(213)
C.2	国际制(SI)词冠	(213)
C.3	常用物理量及单位	(213)
C.4	常用公式度量衡	(215)
C.5	英美制及与公制换算	(216)
C.6	常用部分计量单位及其换算	(217)
附录 D	化学元素表	(219)
参考文献		(222)

第 1 章 集成电路芯片封装概述

1.1 芯片封装技术

“封装”一词伴随着集成电路芯片制造技术产生而出现，这一概念用于电子工程的历史并不久。早在真空电子管时代，将电子管等器件安装在管座上构成电路设备的方法称为“组装或装配”，当时还没有“封装”的概念。

50 多年前，当晶体管问世和后来集成电路芯片的出现，才改写了电子工程的历史。一方面这些半导体元器件细小易碎；另一方面，性能高，且多功能、多规格。为了充分发挥半导体元器件的功能，需要对其补强、密封和扩大，以便实现与外电路可靠的电气连接并得到有效的机械、绝缘等方面的保护，防止外力或环境因素导致的破坏。“封装”的概念正是在此基础上出现的。

1.1.1 概念

集成电路芯片封装 (Packaging, PKG) 是指利用膜技术及微细加工技术，将芯片及其他要素在框架或基板上布置、粘贴固定及连接，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。此概念称为狭义的封装。

在更广的意义上的“封装”是指封装工程，将封装体与基板连接固定，装配成完整的系统或电子设备，并确保整个系统综合性能的工程。将以上所述的两个层次封装的含义连接起来，构成了广义的封装概念。

将基板技术、芯片封装体、分立器件等全部要素，按电子设备整机要求进行连接和装配，实现电子的、物理的功能，使之转变为适用于整机或系统的形式，成为整机装置或设备的工程称为电子封装工程。如图 1.1 所示的是封装前的芯片和几种不同芯片封装的外观图。

集成电路封装的目的，在于保护芯片不受或少受外界环境的影响，并为之提供一个良好的工作条件，以使集成电路具有稳定、正常的功能。封装为芯片提供了一种保护，人们平时所看到的电子设备如计算机、家用电器、通信设备等中的集成电路芯片都是封装好的，没有封装的集成电路芯片一般是不能够直接使用的。

如图 1.2 所示的是集成电路的工艺流程，由此可以看出，制造一块集成电路需要经过集成电路设计、掩模板制造、原材料制造、芯片加工、封装、测试等几道工序。封装工艺属于集成电路制造工艺的后道工序，紧接在芯片制造工艺完成之后进行，此时的芯片已经通过了电测试。集成电路是一个非常大的产业，仅在 1998 年，全球销售了 620 亿块封装好的集成电路。本书只针对集成电路芯片的封装技术进行研究和阐述。

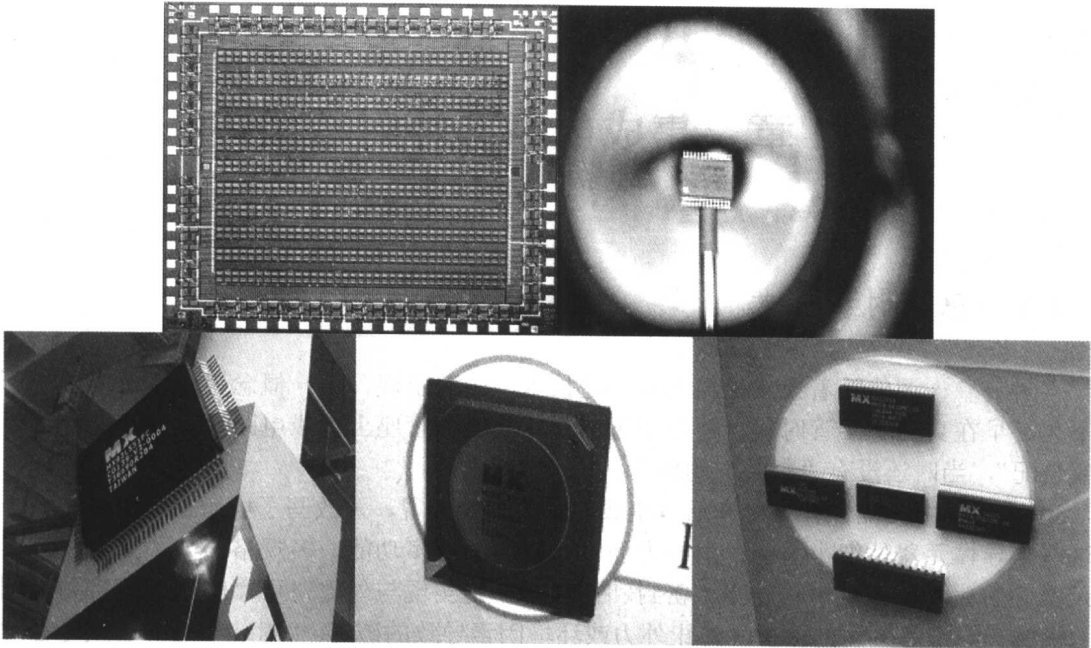


图 1.1 集成电路芯片的显微照片

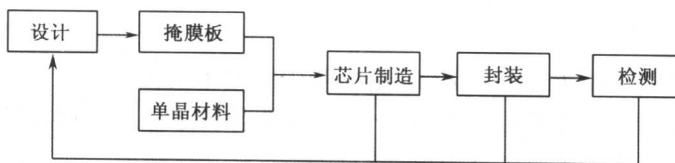


图 1.2 集成电路的工艺流程

1.1.2 芯片封装的技术领域

芯片封装技术涵盖的技术面极广，属于复杂的系统工程。它涉及物理、化学、化工、材料、机械、电气与自动化等各门学科，也使用金属、陶瓷、玻璃、高分子等各种各样的材料，因此芯片封装是一门跨学科知识整合的科学，整合了产品的电气特性、热传导特性、可靠性、材料与工艺技术的应用以及成本价格等因素，以达到最佳化目的的工程技术。

在微电子产品功能与层次提升的追求中，开发新型封装技术的重要性不亚于集成电路芯片设计与工艺技术，世界各国的电子工业都在全力研究开发，以期得到在该领域的技术领先地位。

1.1.3 芯片封装所实现的功能

为了保持电子仪器设备和家用电器使用的可靠性和耐久性，要求集成电路模块的内部芯片要尽量避免和外部环境空气接触，以减少空气中的水汽、杂质和各种化学物质对芯片的污染和腐蚀。根据这一设想，要求集成电路封装结构具有一定的机械强度，良好的电气性能、散热性能，以及化学的稳定性。

芯片封装实现的功能有以下 4 点（如图 1.3 所示）：

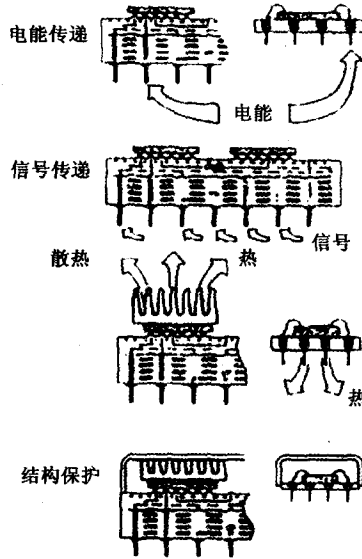


图 1.3 芯片封装实现的功能

(1) 传递电能，主要是指电源电压的分配和导通。电子封装首先要能接通电源，使芯片与电路导通电流。其次，微电子封装的不同部位所需的电压有所不同，要能将不同部位的电压分配恰当，以减少电压的不必要损耗，这在多层布线基板上尤为重要，同时，还要考虑接地线的分配问题。

(2) 传递电路信号，主要是将电信号的延迟尽可能减小，在布线时应尽可能使信号线与芯片的互连路径以及通过封装的 I/O 接口引出的路径达到最短。对于高频信号，还应考虑信号间的串扰，以进行合理的信号分配布线和接地线分配。

(3) 提供散热途径，主要是指各种芯片封装都要考虑元器件、部件长期工作时如何将聚集的热量散出的问题。不同的封装结构和材料具有不同的散热效果。对于功耗大的芯片或部件封装，还应考虑附加热沉或使用强制风冷、水冷方式，以保证系统在使用温度要求的范围内能正常工作。

(4) 结构保护与支持，主要是指芯片封装可为芯片和其他连接部件提供牢固可靠的机械支撑，并能适应各种工作环境和条件的变化。半导体元器件和电路的许多参数（如击穿电压、反向电流、电流放大系数、噪声等），以及元器件的稳定性、可靠性都直接与半导体表面的状态密切相关。半导体元器件以及电路制造过程中的许多工艺措施也是针对半导体表面问题的。半导体芯片制造出来后，在没有将其封装之前，始终都处于周围环境的威胁之中。在使用中，有的环境条件极为恶劣，必须将芯片严加密封和包封。所以，芯片封装对芯片的环境保护作用显得极为重要。

集成电路封装结构和加工方法的合理性、科学性直接影响到电路性能的可靠性、稳定性和经济性。对集成电路模块的外形结构、封装材料及其加工方法要合理的选择和科学的设计。为此，在确定集成电路的封装要求时应注意以下几个因素：

(1) 成本：电路在最佳性能指标下的最低价格。