

微处理器

芯片到系统

[美]罗德尼·扎克斯 编著

秦宝石 等译 林定基 校

国防工业出版社

微 处 理 器

芯 片 到 系 统

〔美〕 罗德尼·扎克斯 编著

秦 宝 石 等译

林 定 基 校

国防工业出版社

内 容 简 介

全书共有十章。本书对微处理器的内部结构、组成微处理器系统（即微型计算机）的各主要部件的工作原理及其连接方法、微处理器程序设计等方面，均作了比较详细的介绍。此外，还介绍了一些有关的知识，例如：微处理器的产生、美国主要微处理器产品比较、主要接口技术、微处理器典型应用实例以及发展前景等。

本书深入浅出，通俗易懂。读者在掌握本书内容之后，即可采用各种现成的芯片产品组装成所需的微处理器系统。本书适合非计算机专业的工程技术人员、大专院技师生、计算机业余爱好者等阅读。它很适于作为不具备计算机专业知识的工程技术人员的短训班教学参考书。

MICROPROCESSORS
FROM CHIPS TO SYSTEMS
RODNAY ZAKS
SYBEX Inc. 1977

微 处 理 器

芯片到系统

〔美〕罗德尼·扎克斯 编著

秦宝石 等译

林定基 校

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

山西新华印刷厂承排 国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张 147/8 378千字

1981年1月第一版 1981年1月第一次印刷 印数：0,001-5,500册

统一书号：15034·2039 定价：1.25元

译 序

微处理器自从1971年在美国问世以来，其发展速度之快，所起作用之大，所具影响之深，是出于人们意外的。短短数年，微处理器已历经三代，其产量逐年猛增，应用范围日趋广泛。目前，它已成为整个计算机技术的主要发展趋势之一。为了更好地适应我国科学技术的发展形势，更好地满足广大读者的需要，现将美国西贝克斯公司1977年七次修订再版的《微处理器——芯片到系统》一书译出。

原书作者罗德尼·扎克斯自1972年后就在美国西部地区的半导体工业集中地——硅谷从事微处理器的设计和教学工作。他曾以该书作为教材在数期短训班讲课。本书内容丰富，切合实际。作者对基本概念、主要结构、程序设计、接口技术、实际应用、性能评价、发展趋势等内容都作了比较全面的介绍。本书写得比较深入浅出，通俗易懂。因此，该书适合于作为对微处理器了解不多或一无所知的读者的入门书，它既可以作为短训班的教学参考书，也可作为非计算机专业的业余爱好者、工程技术人员和大专院校师生等的自学读物。由于该书各章都自成系统，故读者可酌情选读。

在该书的译校过程中，我们对原书的文字部分和图表部分的层次重新作了编排，对原书中印刷方面的错误也尽可能作了订正。对于有关的名词术语，鉴于目前国内尚未统一，故只能按照译者的习惯来定，例如“微处理器”一词，国内也有叫“微处理机”的，这里不便强求一律。

参加本书翻译工作的有四机部技术情报研究所秦宝石、李玉文、刘泽仁、陈国良、叶中灵、黄史坚、杨泉淑、许金寿、赵春燕、张军等同志。清华大学林定基同志作了校对。由于时间仓促，水平有限，错误之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

第一章 基本概念(1)	5.5 连接输入/输出接口.....(117)
1.1 工作原理.....(1)	5.6 系统互连.....(119)
1.2 总线.....(2)	5.7 与其他设备的连接.....(124)
1.3 实例: 袖珍计算器.....(3)	第六章 微处理器的应用(125)
1.4 存储器.....(4)	6.1 计算机系统.....(125)
1.5 微处理器的基本定义.....(6)	6.2 工业系统.....(127)
1.6 微处理器的制造.....(7)	6.3 消费类应用.....(130)
1.7 微处理器的简史.....(11)	6.4 特殊应用.....(131)
1.8 微处理器的优点.....(13)	6.5 组装一个微处理器应用系统.....(133)
第二章 微处理器的内部操作(16)	6.6 实例研究.....(137)
2.1 大规模集成电路的局限性.....(17)	6.7 个人的应用.....(145)
2.2 总线.....(18)	第七章 接口技术(147)
2.3 标准微处理器结构.....(22)	7.1 键盘.....(147)
2.4 实例研究: 8080.....(31)	7.2 发光二极管显示器.....(152)
2.5 微处理器的内部结构.....(48)	7.3 电传打字机接口.....(152)
2.6 四种主要结构.....(50)	7.4 软磁盘.....(155)
第三章 系统的部件(53)	7.5 阴极射线管接口.....(161)
3.1 微处理器的配件.....(53)	7.6 多微处理器系统.....(162)
3.2 存储器.....(55)	7.7 总线标准.....(164)
3.3 输入/输出技术.....(62)	第八章 微处理器程序设计(170)
3.4 输入/输出接口电路.....(66)	8.1 定义.....(170)
3.5 典型的微处理器输入/输出设备.....(85)	8.2 信息的内部表示法.....(172)
第四章 对各种微处理器的评价(87)	8.3 信息的外部表示法.....(176)
4.1 微处理器的功能元件.....(87)	8.4 指令格式.....(177)
4.2 微处理器的分类.....(89)	8.5 寻址技术.....(178)
4.3 4位微处理器.....(89)	8.6 汇编语言程序设计.....(181)
4.4 4位单片微型计算机.....(91)	8.7 运算程序——乘法.....(192)
4.5 8位微处理器.....(93)	8.8 利用程序来模拟数字逻辑.....(196)
4.6 8位单片微型计算机.....(100)	8.9 用微处理器控制音乐.....(199)
4.7 16位微处理器.....(103)	8.10 程序设计的优点.....(202)
4.8 16位单片微型计算机.....(105)	第九章 系统的研制(204)
4.9 位片式处理器.....(105)	9.1 系统的研制.....(204)
4.10 微处理器的选择.....(108)	9.2 程序的研制.....(206)
第五章 系统连接(112)	9.3 系统研制的基本选择.....(208)
5.1 标准系统的结构.....(112)	9.4 研制工具.....(210)
5.2 装配中央处理器.....(113)	第十章 发展前景(217)
5.3 连接地址总线.....(114)	10.1 成品率.....(217)
5.4 连接存储器.....(116)	10.2 技术的发展.....(218)

10.3 元件的发展.....	(219)
10.4 社会影响.....	(219)
附录A 电子学图形符号.....	(220)
附录B 莫托罗拉6800微处理器的 指令系统.....	(221)
附录C 英特尔型号的微处理器	

指令系统.....	(223)
附录D S-100总线(ALTAIR)	(225)
附录E 制造厂商通信录.....	(227)
附录F 缩写词.....	(228)

第一章 基本概念

本章将介绍有关微处理器和微型计算机的基本概念和定义。

微处理器是一种新的大规模集成电路 (LSI)，它以单片的形式完成传统的处理器的大部分功能。有许多新术语将在本章中陆续地给出定义。

大规模集成电路 (LSI) 系指几千个晶体管集成在一块芯片上的集成电路 (IC) 新技术。

芯片指的是矩形小硅片，集成电路就制做在它上面。关于 LSI 的制造工艺将在本章后面部分加以叙述。

微型计算机也是一种计算机，它的中央处理器 (CPU) 采用了大规模集成的微处理器。目前，LSI 技术已发展到能在单片上制成一台完整的简单计算机 (单片式微型计算机)。

自从 1971 年底第一个微处理器 (英特尔 4004) 问世以来，至今已有 30 余种不同类型的微处理器。然而，销售量大的却仅有几种。目前，以 100 个以上的批量销售价格算，每个微处理器为 10 美元 (这仅仅是为了说明一下，其实价格随着市场的变化是很快的)。

微处理器系统就是指包括中央处理器、存储器、输入和输出设备在内的一个完整的系统。实际上，微型计算机就是一个微处理器系统。但是，人们通常把微型计算机看成为台式计算机，也就是带机箱、前面板和电源的通用计算机。

1.1 工作原理

微处理器系统的工作原理与任何计算机完全一样。然而，这种新系统仍与以往的系统有重大差异。其根本原因是，**处理器本身已成为系统中价格最低的设备**。就这点而论，这种处理部件从概念上也可以看成是系统中其它部件 (特别是输入输出部分) 的外围设备。简而言之，可以预计在不远的将来，现在用于微处理系统的许多所谓外围芯片，将组装成一个有效的**处理组件**。由于外围芯片也正装备上处理器，所以它就成为可编程的了。

这里先回顾一下计算机系统的基本工作原理。关于建立微处理器系统或微型计算机所采用的新型 LSI 部件，将在第三章详细地论述和研究。第五章将描述这些部件是怎样互连成一个完整的工作系统的。

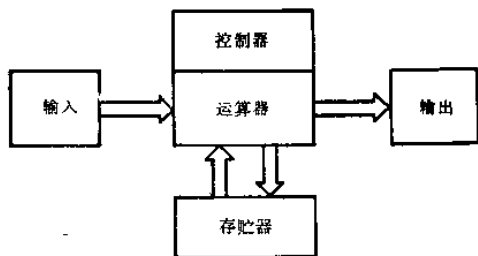


图 1-1 计算机系统的五个基本部分

图 1-1 是计算机系统的基本结构图。它有五个基本部分。图的中心是**中央处理器 (CPU)**。CPU 又分两部分：**控制器 (CU)** 和 **运算器 (ALU)**。

ALU 的功能是对通过它的数据进行算术和逻辑运算。典型的算术运算为加和减，典型的逻辑运算是逻辑“与”、逻辑“或”及移位。

控制器 (CU) 的功能是安排整个系统的操作次序。它能产生并管理所有的控制信号, 这些控制信号是使各操作同步以及运算器内外数据流的控制所必需的。它将控制地址总线和数据总线上的数据流, 并且将管理和解释系统控制总线上出现的信号 (一条总线是根据功能而组成的一组信号或一组线。一个微处理器系统应具备三条标准总线: 数据总线, 地址总线和控制总线)。取出、译码和执行存贮系统所存贮的一系列指令是 CU 的主要作用之一。这样一系列指令就称为程序。CU 通常与它所控制的 ALU 有机地连结在一起。所谓中央处理器就是 CU 与 ALU 的结合体。一个微处理器基本上就是一个单片的 CPU。

CPU 不一定非要制成单一的部件, CU 与 ALU 是能分开的。特别是现在采用位片器件来完成传统计算机中 ALU 的功能, 这里并没有控制器, 它们必须分别设计和组装。关于位片的结构, 我们将在第五章中进行研究。

现在再来看图 1-1, 在 CPU 的下面是存贮器。任何计算机系统的存贮器都用于存贮信息。存贮器有两种基本类型, 根据信息是否能读写, 还是只能读出, 分别称为随机存取存贮器 (RAM) 和只读存贮器 (ROM)。

RAM 是一种能写入和读出数据的存贮器。MOS LSI RAM 的存贮周期, 一般为 500 毫微秒到 1 微秒。ROM 是一种只能读出预先已经存好的数据的存贮器。它的主要好处是具有永久性, 而一般 RAM 却是易失性的, 比如一旦电源切断, 所存的数据就随之消失。原则上, 存贮器存贮两类信息, 即程序和数据。

程序是由用户编写的一系列指令, 它被编为二进制代码, 以便于存入存贮器中。在控制器的管理之下, 将逐个地取出程序中的每条指令, 并把它存入控制器中一个专用的寄存器里, 然后对指令进行译码和执行。例如, 一条典型的指令是将两个寄存器的数加在一起, 随后将结果存入到第三个寄存器中。此过程将在下一章中介绍。

存贮器中的数据将由运算器进行处理。数据的格式是多样化的, 第八章将讲述几种最重要的格式。典型的数据是以二进制表示的数及符号。

存贮器的结构放在下节讨论。LSI 存贮器的技术特性将在第三章研究。

图 1-1 的其余两个部件分别为输入、输出部件。

图左面的是输入部件, 它向 ALU 提供数据。输入部件可以是键盘或敏感元件 (温度敏感元件、存在探测器、压感器) 等。一般的微型计算机均采用键盘作为输入设备。

输出部件用于显示来自 ALU 的数据。典型的输出部件是发光二极管 (LED) 或液晶显示器 (LCD), 它们已广泛地应用在数字手表、袖珍计算器、打印机、指示灯或任何操纵机构 (例如马达或继电器) 等, 面。

通常, 输入和输出设备并不直接与 ALU 连接, 而是与系统的总线, 即地址总线、数据总线和控制总线连接。因此, 从输入设备来的数据, 并不一定要经过 ALU 才能传送到存贮器或输出设备。不管怎样, 在大多数系统, 特别是在微处理器系统的结构中, 确实是这样的。典型微处理器系统中的全部数据, 通常是经过 ALU 的一个专用寄存器进行传送的, 这个专用寄存器叫作累加器。然而, 还可能存在其它传送途径, 如用于直接存贮器存取控制器 (DMAC), 这些将在第三章讲到。

1.2 总 线

总线被定义为传送按功能组成的一组信号的连线。一个系统的各部分是通过三条总线 (数据总线、地址总线和控制总线) 而互连的。

数据总线用于在部件之间传送数据。一个 8 位的微处理器，为了能并行传送 8 位数据，需要有一条 8 位的数据总线。这条数据总线是双向的（可以在两个方向上传送）。

地址总线用来选择在另一条总线上传送的信号的起点或终点。它主要用于选择系统中某个部件的一个寄存器，并把它作为数据的起点或终点。一条标准的地址总线照例应有 16 条线，即能选址 $2^{16} = 64K$ 个设备（ $1K = 1024$ ）。

控制总线用来使系统同步。它传送来自和送到微处理器（MPU）的状态和控制信息。一条最小的控制总线至少要使用 10 条控制线。

1.3 实例：袖珍计算器

作为简单计算系统的一个例子，让我们来研究一下袖珍计算器的工作原理。图 1-2 的部件组合情况与前面的有所不同。这里，微处理器执行 CPU 的功能是控制和计算功能。存储器存储程序和数据。输入/输出部件是用来把输入和输出设备连接到微处理器上去的专用接口。这里的输入设备为一个十六进制的键盘，即具有十六个键的键盘。输出设备为发光二极管管（LED）显示器。

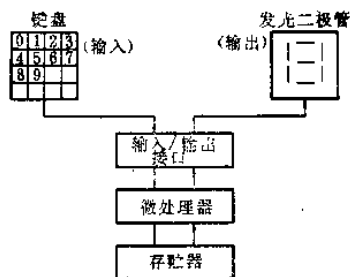


图 1-2 袖珍计算器（即简单的微型计算机）

典型操作步骤如下：

（1）用户先打入一个数字。

（2）这个数字将存储到该系统的一个寄存器里，后者就在微处理器内部。它是一个包含两个内存寄存器的标准组件。每个寄存器可以存储一个带符号位的 8 位十进制数字。这两个寄存器足以完成简单运算，如“+”和“-”，而数据则无需存储在存储器中。在这一点上，存储器仅用来存储程序。实际上，这个存储器不需要处在微处理器本身之外。为清楚起见，图中存储器是与微处理器本身分开的。

（3）一个完整的十进制数，一旦存入寄存器（达到 8 位十进制数）以后，便将通过键盘规定一种运算。这个被规定的运算将存储在微处理器的一个专用的寄存器中，直到它被执行为止。假设已规定了“+”。

（4）规定的运算所需要的第二个操作数，由用户通过键盘送入。一个完整的十进制数，再次累加，直至用户按下操作键“=”时为止。

（5）规定“=”操作，即相当于命令执行相应的运算程序，这个程序的操作码原先已存放在指定寄存器中（在这里就是“+”）。因此，开始执行加法程序，该程序的指令已存储在存储器中。最后，完成了加法运算，并且把结果存放到一个最初的操作数寄存器，即累加器中。现在，便可以将这个结果显示给用户。

（6）这一结果从累加器（在微处理器里）传送到 LED 显示器，显示给用户。同时这一结果将继续存储在内部的累加器中，直到通过使用“C”键把它清除为止，或者到用户又开始新的操作为止。

这一简单的工作顺序，说明了计算机系统的主要部件即输入和输出设备、存储器（这里仅存储一个程序），以及负责运算和协调整个系统的中央处理器的用途。

为了提高效率，许多 CPU 都装有少量的由快速内存寄存器所构成的存储器。从上例中看出，一个处理单元，至少要有两个能存储十进制数的寄存器、一个能存储规定运算的小寄

存器。这些寄存器在概念上可看成是该系统的存储器的一部分。一个系统中可以有好几级存储器，而寄存器是最快的一级。

关于从键盘读出信息的技术，以及把一个十进制数编成适合于LED显示的代码的技术，将在第七章（接口技术）详细论述。

1.4 存 贮 器

1.4.1 三种实现方法

系统中的存储器，是用来存储处理器中要执行的程序和系统所处理的数据的。存储器至少可用下述三种方法来实现。

1. **内寄存器** 它通常是ALU部件的一部分，属于系统中最快一级的数据存储器。系统访问内寄存器的取数时间小于100毫微秒（1毫微秒 = 10^{-3} 微秒）。

2. **主存储器** 系统的主存储器一般制成一个或几个部件，并具有1~64K字的存储容量（1K = 1024）。简单地说，一个系统的主存储器通常称为“存储器”。对微处理器系统来说，这个存储器是用MOS/LSI技术制作的，它甚至能直接做在微处理器的芯片上。因为它把计算机的所有逻辑部件都装在一个单片上，所以称这种器件为单片微型计算机。“标准的”微处理器需要一个外存储器。典型的速度为300~600毫微秒。

3. **海量存储器** 由于快速主存储器的成本比较高，所以一般认为采用大于32K或64K的主存储器是不切实际的。因此，建议采用经济的专用外围设备来存储大量的数据。微处理器系统采用的最佳外围设备有两种，即磁带和软塑料磁盘。磁带通常是盒式的，软塑料磁盘可以是常规的软盘，或者是微型软盘。这些设备将在第七章（接口技术）讨论。

1.4.2 存储器的结构

存储器在逻辑上是由字构成的。一个字即是信息的一个逻辑单位，它有4、8、12或16位（一位就是一个二进制的数位）。一个8位的微处理器需要8位的数据，因此字长就是8位。它的存储器在逻辑上是由8位的字构成的。

8位称为一个字节；4位称为半字节。其它字长没有专有名称。一个8位的微处理器的字长是一个字节。而一个16位的微处理器，则是2个字节。

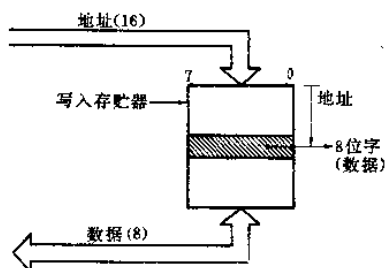


图 1-3 存储器的逻辑结构

图 1-3 是一个典型的存储器的逻辑结构。存储器的宽度即位数的数量，也就是它的字长。位的标号一般从0数到n。一个8位的微处理器（现在把它作为“标准微处理器”）的存储器中的位，其位置以数字0~7来表示。

问题 为什么位的位置定为0~7，而不是1~8？

解答 0~7的每一数字表示字中位的二进制位置。在二进制中，最右边的位（位0）表示 2^0 ，最右边的第二位，即位1表示为 2^1 ，等等。

一个存储器的高度，即指它的容量或它的字数。存储器中字的位置称之为它的地址。存储器的第一个字的地址为0，下一个地址是1，等等。为了便于译码，存储器的容量通常是2的方次。例如256，512，1K，2K，4K个字。

问题 存储器第q个字的地址是什么？

解答 $n-1$ 。

为了能读出存储器内一个字的内容，必须先规定它的地址。因此，每个存储器部件都与地址总线连接。一个典型的地址总线包括16条线，因此，它可以规定到 $2^{16} = 64K$ 个单元。如果实际存储器容量小于64K，那么，所需要的线也就要少些。为了访问存储器中的一个字，需要有一个位结构的地址码送入地址总线，地址码将规定存储器中所需要的字的地址。来自地址总线的数位被直接送到译码器。译码器再去选择存储器中的一个字。对一个控制信号，例如，“读”（READ，用于读出）或“写”（WRITE，用于写入）的响应是：一个字将从存储器中读出或写入。在读操作时，一个字将从存储器中取出，通常经过一段所谓取数时间之后，才到达存储器芯片的引出线。这些引出线与数据总线连接（这里指的是8位，因为本书中举例的字长为8位）。

问题 为什么接收16位地址的存储器仅能取出8位数据？

解答 讲清楚这一点是很有必要的。从存储器取出的数据位数，和地址的位数之间并没有直接关系。地址码规定了存储器内的某个存储单元，并通过专门译码器来选择这个字的所在存储单元。与被选存储单元相对应的数据字，却可以是任意长的（从1到 p 位）。举个例子，一个小的存储器芯片可能仅包括64个8位字。在这种情况下，为了选择存储器中一个字所需的地址总线，只用6条线（ $2^6 = 64$ ）。尽管地址总线减少了，但对这64个地址中的任何一个地址来讲，在读操作时仍有8位数据从存储器中取出。相反，假使存储器较大，如有64K个存储单元，则需要16位地址，然而在数据总线上仍是8位数据。

在写操作时，步骤大致相似：在地址总线上给定一个地址，并且在数据总线上提供一个数据。然后，通过控制总线给存储器一个命令，存储器就把呈现在数据总线（举例中为8位）上的内容写入指定的存储单元。把数据写入存储器所用的时间称为存储周期。

实际上，大多数微处理器的程序少于4K字。而对4K字进行寻址，则需要12位。所以，对存储器寻址的地址总线可省下4~5条线。这一特点以后将被用于选择连接到系统总线上的其它设备，如输入/输出设备。地址总线不光用于对存储器寻址，也能用于对任何设备寻址，明确地说，可对连接到系统总线上的任何设备中的任何寄存器进行寻址。

这里有几句话需要说一下。一个4K的存储器，指的是一个包含有4K字的存储器。另一方面，一个4K的存储器芯片，则是一个包含4K位而不是4K字的芯片；当提到存储器系统时，K一般是指字（根据处理器的不同，可以是8或16位）。

存储在存储器中的一条指令，不一定是一个字，也可能是几个字（即1、2、或3个字）。因此，典型的指令将需要8、16或24位。为了能在微处理器的控制器内读出一个双字长的指令，就需要对存储器连续进行两次读操作。

存储器最右边的一位通常标为位0，称之为最低有效位（LSB），因为它在二进制表示法中具有最小的权。最左边的一位通常标为位7，它被称为最高有效位（MSB）。由测试界限看来，在许多微处理器中，LSB和MSB起着很特殊的作用。许多微处理器仅能直接测试它们的累加器中MSB的值。这一位恰巧是补码表示中的符号位（这将在第八章程序设计解释）。位0，即LSB，它用于测试也是比较合适的，例如在一次右移运算后，它能在ALU内得到测试。由于这个原因，输入或输出设备送来的状态信息，通常出现在寄存器的位7上，有时也出现在位0上。

1.5 微处理器的基本定义

微处理器主要的缩写词和定义均附在本书最后。这里仅解释某些较重要的词。

1.5.1 硬件、固件及软件

硬件系指系统的实体部件。**软件**指的是程序。**固件**则是指微程序。固件一词也经常用来指只读存储器中的任何程序，即它是不能改变的（硬件和软件的结合）。微程序并不是微处理器的程序。

问题 正确的微处理器程序词意是什么？

解答 一个微处理器的程序就称为一个程序。微处理器程序和小型计算机程序，二者并没有什么根本差异，但微处理器程序通常较难编写，所控制的部件也可以不同。然而，程序设计基本相似，不过微处理器要求对硬件有更多的了解。

微程序就是任何处理器的控制器中预先安排好的一种程序。微程序能解释一台“机器”的外部指令系统（这里“机器”指任何计算机）。

指令系统就是指令表，程序员利用它向机器发出指令，如“把寄存器1加到寄存器2上”。应强调的是，一个微程序与一个常规的、由用户编写的程序是根本不同的。在一个单片微处理器（做在一个单片上的微处理器）中，微程序用来实现控制器的时序，以便确定所需要的指令系统。（位片器件则是一个不带控制器的处理器。）

1.5.2 大规模集成电路

虽然LSI技术在六十年代末才出现，但是今天已能在一个单片上制作1~15000个晶体管，一个典型的微处理器芯片上有三千多个晶体管。关于它的制造过程，将在本章的后一部分说明。

自从1946~1947年晶体管诞生以来，每平方毫米上的元件密度一直在增高。在集成电路的出现(IC)过程中，先是出现小规模集成电路(SSI)，紧接着是出现中规模集成电路(MSI)，以后又出现大规模集成电路(LSI)。当代半导体技术仍在日新月异地发展，目前正朝着甚大规模集成电路(VLSI)、超大规模集成电路(SLSI)前进。

在SSI, MSI, LSI及VLSI之间没有明显的界线，只能大致区分如下：

SSI——每片为1~10个晶体管；

MSI——10~100~500个晶体管；

LSI——100~500~10000~20000个晶体管；

VLSI——10000个晶体管以上；

SLSI——50000个晶体管以上。

1.5.3 微处理器

现在再重新定义一下LSI微处理器。所谓微处理器就是这样一种LSI组件，它能在单片上完成一个运算器以及和它相联的控制器功能。

实际上，大多数“单片”微处理器至少要求两个，有时是三个组件来完成这些功能。例如，英特尔的8080不仅要求8080MPU，而且还要求8224时钟线路，再加上它的晶体和8228“系统控制器”，才能完成一个CPU的功能。

图1-4是一个实际微处理器的照片。为了看到内部的芯片，已经把它盖子去掉。芯片是一个矩形硅片，电路就做在它上面。芯片被封装成双列直插式组件(DIP)。组件的引线能直接插入底板或其它介质上的孔中。典型的微处理器最多有40~42条引线。这并不是由于组

件自身的限制，而是由于经济上的限制（目前，工业测试仪只能测试不超过40条引线的双列直插式组件，一个典型的入库测试仪的价格为50万美元，甚至更多一些）。

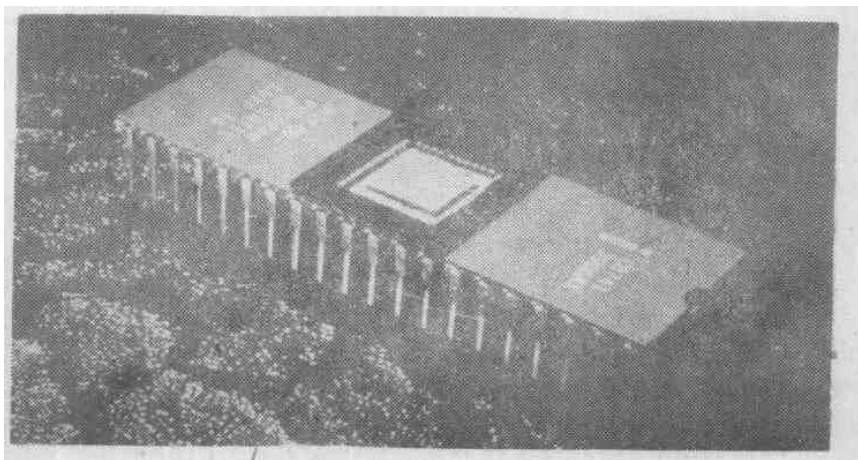


图 1-4 微处理器，芯片、双列直插封装、引线

组件暴露部分所看到的两边的白色小方块是焊接点。这些焊接点通过组件内的印制电路与引出线连接。利用细金丝把这些焊接点连接到芯片本身的焊接点上。因此，芯片的电气连接是通过金丝，通过焊接点，再通过印制电路才连接到 DIP 的引出线上。

1.6 微处理器的制造

本节介绍金属氧化物半导体 (MOS) 工艺。简单地说，就是在一小块硅片（被称为芯片）的表面上怎样制作晶体管和其它元件。

为了实现 MOS 电路，首先必须生长单晶硅。这种单晶体被切割成很薄的圆片（称为晶片）。切割晶体是沿着一定的晶格方向进行的。一个晶片能制成几十个芯片。一个未切割的“芯片”在加工期间称之为管芯。这些芯片可以制成微处理器、存储器或其他部件。通过光刻工艺（与平常洗印相片相似），在晶片上制作小片。正极和负极区，是通过掩模和扩散工艺在硅片上掺入杂质（掺杂）制成的。这项工艺在下一节中再详细介绍。一旦在晶片上制成许多完整的小片后，便通过晶片边缘和中心的测试点来检验这个晶片。如果测试结果良好，则将该晶片划线并分割成许多小片，这些小片称为芯片。给芯片装上外壳，并通过金丝与外壳的接点连接，于是就可以进一步检查并进行电的和环境的测试。在外壳印上标记后还要进行最后检测。经过了生产检测的印有标记的合格集成电路，便成为商品。

1.6.1 PMOS 晶体管的制作

PMOS 采用 P 沟道工艺。其他几种较流行的新的 MOS 工艺将在下一节讨论。

图1-5是一个典型的 PMOS 晶体管。为了制成晶体管的源极和漏极，采用了掺有 P 型杂质的 N 型硅。掺杂的介质是硼和磷。掺杂的区域由掩膜来确定。目前，确定这些区域界限所采用的工艺为光刻工艺。正在研制的电子束工艺仍处在实验阶段。大多数情况下，通过热扩散把杂质注入到硅片的暴露区域里。为了使栅极对准更精确，还采用了离子注入工艺，这样可降低寄生电容（这就能提高开关速度）。然而，它不能成批量操作，并且还需要一个加速

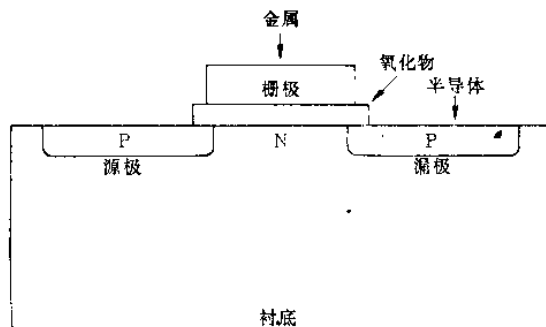


图 1-5 P 沟道晶体管

器，因而它的花费是十分昂贵的。图1-5的中央是晶体管的栅极，它是沉积了一层金属而制成的（用硅或铝制成的一个硅栅或铝栅晶体管）。栅极依靠在基底上面生长的一层二氧化硅与基底绝缘。

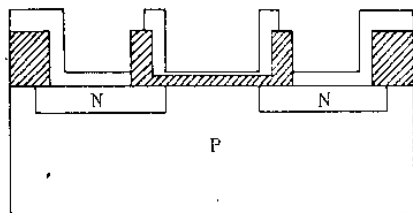


图 1-6 N 沟道晶体管



图 1-7 硅衬底

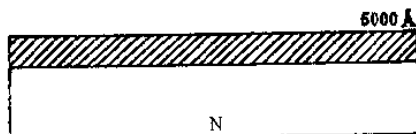


图 1-8 第一次氧化淀积成较厚的二氧化硅层

相对于源极来讲，给栅极加的是负偏压。栅极中负电荷的出现将引起正电荷（空穴）出现在源极和漏极之间的沟道中。这时，在源极与漏极之间形成一个导电的沟道。晶体管就可以接通。这是一个P沟道或PMOS的晶体管。同样，图1-6是一个N沟道晶体管的结构。现在详细地谈谈实际制作过程。薄硅晶片首先是通过沿着适当方向切割单晶硅而制成的，例如沿着晶格的111方向（图1-7）。然后在硅片上淀积一层较厚的氧化物（5000~6000埃，1埃=10⁻⁹米）。如图1-8所示。

第一个掩膜用来确定硅片内的P型区域。它们将是晶体管的源极和漏极的区域。把光刻胶涂在氧化硅的顶部，并使用一个掩膜刻画出将要掺杂的区域。通过化学蚀刻去掉需要掺杂的区域上的氧化物（图1-9）。然后，在暴露的区域上进行掺杂，把P型杂质掺到硅片中，这通常是采用热扩散工艺来实现的（图1-10）。在硅片顶部再次生长一层厚的氧化物（可能为10~15000埃——见图1-11），并用一个新掩膜来确定以后将要金属化的区域。在这些区

域上,再次去掉氧化物(图1-12)。然后,完成所谓栅极氧化的最后一次氧化作用,生长出薄薄的一层氧化层(1000~1500埃——见图1-13)。第三次或最后一次把氧化物去掉后,便露出了源极和漏极区域,它们经过金属化阶段后,将与线路的其它部分连接起来(图1-14)。

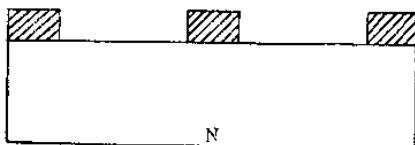


图 1-9 蚀刻去掉氧化层

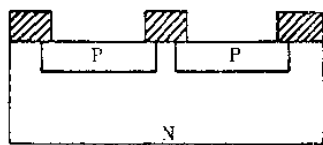


图 1-10 通过热扩散完成淀积

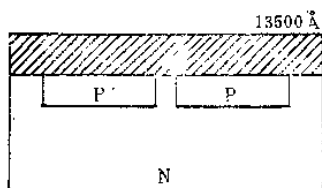


图 1-11 第二次加厚的氧化层

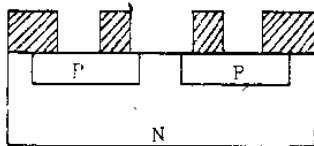


图 1-12 第二次去掉氧化层

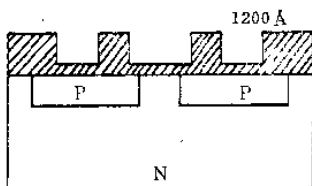


图 1-13 栅极氧化

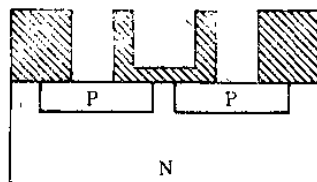


图 1-14 第三次去掉氧化物,露出源极和漏极

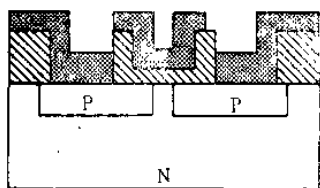


图 1-15 最后的金属化(铝)

最后阶段是金属化。这一工序是把铝淀积在暴露的面积之上,把源极、栅极和漏极与线路中的其他元件相连接。这样一来,晶体管的制造便告成功。

1.6.2 大规模集成电路工艺

LSI 工艺主要分为下述六种:

1. PMOS 工艺 刚才已经讲了 P 沟道晶体管的制造过程。P 沟道晶体管是利用正电荷(即空穴)的移动来导电的。PMOS 是目前熟知的一种相当老的 MOS 工艺。这种工艺很经济,它已广泛地应用于所有早期生产的微处理器。它的集成度很高(每块芯片上集成 3~15000 个晶体管)。然而与较新的技术(如 NMOS)相比,其速度较慢。它吸引制造商的主要原因之一,是工艺成熟,它能以很高的成品率来生产很复杂的电路。

2. NMOS 工艺 NMOS 固有的特性是速度比 PMOS 快。这是因为,它所采用的载流子是电子而不是空穴。由于它的集成度很高,因此,它是今天制作高速和复杂的微处理器最有前途的工艺。不过,由于它仍是新技术,还不如 PMOS 那样成熟,所以并非所有制造商都采用它。一个典型的 NMOS 微处理器执行指令的速度为 1 微秒,这至少比相应的 PMOS 微处理器快两倍。

3. CMOS (互补金属氧化物半导体) 工艺 CMOS是P沟道晶体管和N沟道晶体管的结合。因此, CMOS工艺的特点介乎两者之间。CMOS的速度比PMOS快, 但比NMOS稍慢些, 而集成度并不差。但由于它采用了两类晶体管, 所以集成度低于NMOS。它的主要优点是功耗低、抗干扰能力强(几乎接近理想状态, 输入抗扰度40%——CMOS器件能在2~12伏间工作)。CMOS工艺特别适用于航空航天设备。目前主要用于那些体积小、耗电量极低的系统。RCA公司的COSMAC和英特尔公司的6100, 就是采用此工艺制成的两种微处理器。图1-16、1-17是一个CMOS电路的结构。

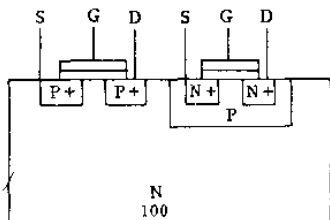


图 1-16 CMOS 要求用 2 个晶体管

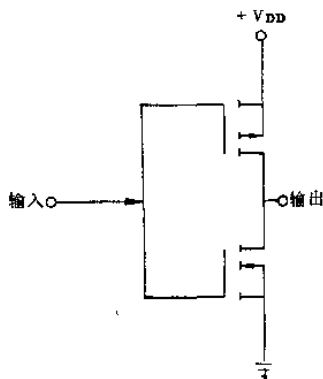


图 1-17 基本CMOS线路

4. 双极工艺 双极工艺是目前采用的速度最快工艺之一。双极工艺所采用的主要技术即低功耗肖特基晶体管-晶体管逻辑(LPSTTL)。现在这项技术一般用于制作速度很快的位片器件, 它执行一条指令的速度为70~100毫微秒, 而单片微处理器的速度约为1微秒。双极工艺的两个主要缺点是功耗大、集成度低。因此, 它至今还不能在一个芯片上制作完整的单片微处理器, 而只能制作一个传统的CPU。这些就是新的位片器件, 它将在第三章的后一部分讲述。双极电路的主要特点是速度高。图1-18是一个做好的双极晶体管。在双极工艺的领域中, ECL具有潜在的很高的速度。

I^2L 工艺也属于双极工艺, 也值得专门提一下。 I^2L 就是“集成注入逻辑”。 I^2L 工艺是适应袖珍计算器和数字手表市场要求而研制的。它的特点是具有双极工艺的速度(目前还仅在理论上)和低功耗。这是因为, 袖珍式设备对这方面的要求是很严格的。目前, I^2L 的商品已经能实现很低的功耗。但它在速度方面仍未达到双极器件那样快。德克萨斯公司已采用 I^2L 技术, 并用于制作位片器件。但该公司所装成的 I^2L 的速度也不如TTL。 I^2L 的另一优点是能达到很

高的集成度。一旦 I^2L 的高集成度和高速度成为现实, 它将成为制作袖珍式微处理器的一种很重要的技术。

5. 电荷耦合器件 电荷耦合器件(CCD)是制作密度很高的存储器的一种新技术。采用CCD工艺制作一个64K位的芯片早已成为现实。现将它的原理介绍一下。在硅氧化物上淀积正方形的铝, 每一正方形都能存储电荷。极简单的几何形状能使大量正方形淀积在一个芯片上。不过, 象所有的电容器一样, 这些电容器也有漏泄。所以, 必须更新每一电荷。这些电荷的更新, 是通过电荷从

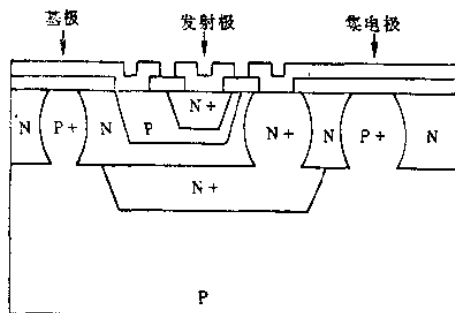


图 1-18 双极晶体管

一个铝片到邻近的另一个铝片作环形移动实现的。所以,这种存贮器是循环式存贮器。因为它与一个转动磁鼓相似,所以也称为鼓式存贮器。如果 CCD 存贮器的价格继续下降,那么,这种存贮器将在几年内有可能与软塑料磁盘相竞争。

6. 其它工艺 目前还存在另外一些工艺。某些厂商在特殊情况之下也曾使用过这些工艺。例如:密度极高的磁泡存贮器已经出现。目前,它们还很昂贵,而且速度慢。不过,它们将是磁盘存贮器激烈的竞争对手。磁泡存贮器是非易失性的。

金属氮氧化物半导体 (MNOS) 已用于制作 EAROM 存贮器 (电可改写只读存贮器)。这类只读存贮器将在第三章讲解。值得注意的是,不要把 MNOS (金属氮氧化物半导体) 与 NMOS (N 沟道 MOS) 搞混了。

DMOS (双扩散 MOS) 已用于高密度动态存贮器。

VMOS (V 形槽 MOS) 也被用作高密度动态随机存取存贮器。它使集成度得到了提高。

1.7 微处理器的简史

微处理器的出现,既不是由于谁的预见,也不是由于聪明的设计或先进的规划,而是出于偶然。进入市场的第一台微处理器是技术上的偶然情况。而这种偶然性常常是不被重视的。这一事实是了解现代微处理器产品的基础。因为微处理器是在混乱和无计划的情况下出现的,所以,它最初的设计差错和不够完善之处,在兼容性的名义下一直延续到今天。目前,微处理器的许多特色正是这一历史条件所造成的。因此,简单地回顾一下微处理器的历史是很有必要的。

实际上,第一只晶体管的出现可以追溯到第二次世界大战后的四十年代末期。仅隔 10 年,由圣克莱尔·基尔比在得克萨斯仪器公司研制出了第一个集成电路的样品。几乎是同时 (1959),霍尔尼在仙童公司研究成功了平面工艺。1961 年左右,集成电路开始大量生产。

自那以后,电路的集成化得到了迅速发展。1964 年出现了小规模集成电路 (SSI)。整个门电路制作在一个芯片上 (例如,一个门电路就是一个逻辑“与”、“或”、“非”电路),它需要有几个晶体管。1968 年问世的中规模集成电路 MSI,则是在一个芯片上有一个完整的寄存器。

大规模集成电路的发展情况如图 1-19 所示。LSI 的商品化是在 1971 年出现的。它们有第一个 1K 位的存贮器、通用非同步接收发送器 (UART) 和第一个微处理器。第一个“通用”微处理器 (英特尔 4004),是在 1971 年末问世的。

对于较高的集成度的研究最初是来自政府的合同,特别是来自美国宇航局的空间合同和其它军用计划。在这些计划中,其关键是体积小,而成本不是主要因素。七十年代初,由于宇航局和政府的合同迅速减少,使得制造商不得不寻找新的经费来源。正是在这个时候,集成电路的制造商首次决定向社会出售他们的产品。例如早期的台式计算器和随之而来的袖珍式计算器,就是第一次向社会销售的 LSI。今天,成千上万地生产和销售 LSI 已成为现实。

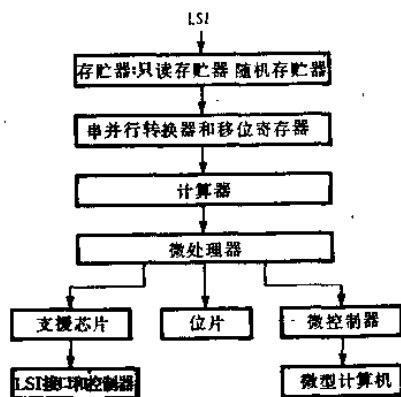


图 1-19 大规模集成电路的发展