

第一章 电子技术概述

从第二次世界大战以来，电子技术发生了突飞猛进的进展，从真空管技术至三极管分立元件，从数字电路到微型计算机这一过程，仅用了 50 年的时间，然而这一发展却是从实际需要出发，伴随着科研生产，用人类的聪明才智发展起来的，这也充分证实了“科学技术是第一生产力”的英明论断。

§ 1—1 电子技术综述

大千世界有质与量的不同，质的不同形成了各种物质；而量的不同，则形成了大小优良差异，人类渴望认识世界，认识大自然。

人们首先发现语音是由正弦波组成的，只要能将其放大，就可以传播得很远。1876 年电话发明了，人类第一次将自己的语言用电放大后传到了远方。我们知道，人的五官、肢体、胸腹是有许多功能的，有些功能至今也没有被人所认知，但就其对外的能力，却是有限的。人们跑路不如猎豹，嗅觉不如猎犬，定位不如信鸽，入水不如海豚。但是人们有思想，有语言，有智慧，完全能够拓展人的生理功能。人们用传感器探测人并不能感知的微弱物理量，将它们放大以后显示出来，这样广播、电视发展起来了，气敏检测发展起来了，显微镜发展起来了，电话卫星发展起来了。人们将这种放大技术称为“模拟电子技术”，因为它是放大世间第一大信号——模拟信号的技术。40 年代中用硅和锗组成的半导体三极管很快就取代了耗电多、体积大的电子管，进而又用微电子技术制作了运算放大器，不仅拓展了模拟电路的功能（如加减、积分、微分和折线对数运算等），而且大大提高了模拟电路的信噪比。但是由于显示设备的落后（如当时只有检流计、电压表、墨水记录仪、CRT 等），人们看不到直观精确的量值，模拟电路遇到了困惑。

与连续的模拟信号相反，断续的脉冲信号刚开始被人们注意，人们注意到世间存在着大量的逻辑关系，如通—断，有—无，是—否，下—上等。而脉冲电路正好可以代表它们，因此开始出现了双稳态、单稳态、多谐振荡器等电路，它们能使灯一闪一灭；可以代表按键一上一下；以使电路一通一断，但仅仅是这种技术，并不能解决人类面临的困惑。世界需要发展，科学家们日以继夜研究怎样发展。

人们在积累着前人的知识与技能，电报不是可以用脉冲传播信息吗？微电子学不是可以在一小片硅片上集成几百个晶体管吗？人们把目光投向了数字集成电路。人类的数学基础——十进制，能解释万事万物，如果电路能实现十进制那该多好啊！但人类的尝试失败了，电路无法表示十进制。那电路能否表达二进制呢？用脉冲来表示二进制的 0、1。人们努力后发现，答案是肯定的。人们把脉冲电路进行智能变换，形成了二进制，电路的通断表示 0、1 这就形成了“数字电子技术”。人们开始用“与”、“或”、“非”表达逻辑关系，用二

进制数码表达数学关系，用寄存器来寄存数据，用计数器来计数、计时和改变状态，用存储器存取信息等。更重要的是可以用运算器、比较器进行数学运算，科学家们意识到电路能够运算，已经奠定了应用于电路的数学基础。有哲人说，“能被数学解释的事物，就可以被人认知”。70年代中期，中大规模集成电路诞生了，这是电子技术随元器件发展所走过的第四个进程（电子管、半导体三极管、微电子技术、中大规模集成电路）。在一片硅片上，可集成几十万甚至几百万个晶体管，将它们有机地集成起来，构成了功能强大的微处理器CPU或MPU。用它可以实现二进制数码的识别、判断、运算、循环、存储、输入、输出等等，而且能支持各种复杂电路（包括模拟电路、数字电路），也能支持多种方式的输入（键盘、鼠标、接口）和输出显示（如LED、CRT、记录仪、打印机等）这等于是具有了“智能”的功用。同时用二进制数码经过量化、编码，以一一对应的关系，代表电压值，即实现模拟电压（或电流）的二进制代码化。人类第一次用二进制数码表示了“模拟信号”，工程技术人员将此开发成A/D—D/A芯片（也是中大规模集成电路）。这样人们在模拟电子技术和脉冲数字电子技术中的困惑，由微型计算机完全化解了。随着微型计算机的迅猛发展，智能仪器、过程控制、科学计算、卫星航天、超大工业系统相继出现，并成为80年代以来的时代主旋律。当今世界，在独立的中小智能仪器中，8位CPU及系统（I/O接口）因其技术成熟、性价比极高而仍独领风骚；数据管理与工程设计586Pentium机带领换代狂潮；而如医学螺旋CT则已引入64bit CPU成为80年代以来医学界、生物医学工程界最成功的典范。

目前，智能仪器和自动化设备中，仍是模拟电路、数字电路、微机技术（8位CPU系统多用）三者结合的领域，模拟电路负责传感器微弱信号的无噪声放大；数字电路负责一些小的、数字信号转换的状态控制；而微机技术则控制整个系统的数据采集、分析、处理，并适时多种显示，在过程中还可人机对话，键盘、鼠标输入设备可进行参数设置、工作选通以及各种外设的机电功能控制等。本书将就这三种技术的分述与合成，做详尽而有实例的分析，三课合一溶为一体，可以更直观、精确地掌握系统技术，这也是本书编写的主要特色。

§ 1—2 模拟电子技术及三要素

模拟电子技术就是对模拟信号放大的电路技术，它的一般结构如图1—1所示。

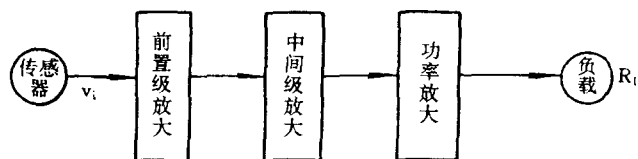


图 1—1 模拟电路的一般结构

从图中可以看到，模拟电路是将传感器产生的微弱物理信号，放大后驱动负载给人读值。如收音机是将传感器——天线上感应的微弱电磁信号放大后驱动喇叭使人听见音响；光敏传感器则是将光通量，放大后用指针电压计显示其大小的。

然而在放大中，又分为三种技术。前置放大级，主要是接收传感信号 v_i 的，由于传感信号很弱如 1mV ，这就要求前置放大级输入电阻很大，向信号获取的电流很小，而且灵敏度（信噪比）很高，并且能达到一定的放大量。比如，一个前置级放大，获取的信号只有

10mV 的 10% 即 1mV, 而可以无噪声放大至 0.05V 即 50 倍放大量, 一般高灵敏度放大都采取场效应管或运算放大器担任。

中间级放大, 这是整个电路的放大环节, 主要任务是提供足够的信号电压, 比如从 0.05V 放大至 5V。放大 100 倍, 这一级可以采用两级放大或三级放大, 也可采用交流放大或直流放大电路, 一般都采用差动放大, 以提供共模抑制比即信噪比。目前常用运算放大器担任, 因为运放的前级也是差动放大, 而且运放还可以采用强负反馈改善性能, 提高输出给下一级, 即功放级, 高质量的信号。

第三级就是功放级, 主要任务是将优质信号的功率放大到能驱动负载的额定电压、电流值上。比如音响的喇叭、电视的偏转线圈、电压表、记录仪等。信号不经过功放是不能带动负载的, 表现就是喇叭声音小, 线圈驱不动, 电压表指针偏低, 记录仪记录幅度不足等。这一级突出的特点是工作电压高, 输出电流大 (大功率晶体管)。需要什么负载, 就得将功率放大到额定的功率, 如家用收录机功率可在 600W 左右, 而广场音响就得在 10kW 以上。

以上分析可知, 模拟电路都是对模拟信号放大的, 这是其中的共性, 但每种电路都有其个性, 而这些个性有一个内在联系, 就是在“参数”上表现不同。如前置级主要参数是共模抑制比; 中间级主要参数是放大倍数; 正弦波振荡器主要参数是振荡频率; 而功放级主要参数是功率值。由此出发, 归纳其有以下三要素:

- (1) 电路名称;
- (2) 信号通道与极性;
- (3) 参数。

强调出一个电路的三要素, 就可以掌握电路的工作原理及量值, 进而能扩展到分析系统工作原理。要做到一讲电路名称, 马上就要想到其信号通道、参数, 在系统中占什么地位等等。后面的分析将侧重向三要素靠拢, 以期给读者入门引一条捷径。

§ 1-3 数字电子技术及四要素

数字电子技术是用“与”、“或”、“非”来描述各种逻辑关系的电路, 主要电路有组合逻辑电路, 如编码器、运算器、触发器等, 时序逻辑电路如计数器等。它们的一般结构如图 1-2 所示。

由图可以看出, 数字电路有三组端子, 即输入 m 条线, 输出 n 条线, 控制 p 条线。而输入、输出、控制都是控制这个电路的状态的, 如触发器是置位态还是复位态, 计数器是循环态还是静止态, 寄存器是寄存态还是等待态等等。又比如图 1-3 是最简单的一个与非门, 它的逻辑关系是 $L=A \cdot B$ (称 A 与 B 再非), 但从逻辑状态上说明它, 那它就有两个状态。

图 1-3 (a) 是一般表示, 而图 1-3 (b) 则是变异的表达, 这里输入 m 为 B 是一条线, 输出 n 为 L 也是一条线, 而控制 p 还是一条线为 A , 可见这是图 1-2 的一个特例。

当 $A=0$ 时, 这个电路为“关门”态, $L=\bar{A}=1$; 当 $A=1$ 时, 这个电路为“开门态”, $L=\bar{B}$, L 随 B 而变化。可见逻辑状态是数字电路的精髓, 可以这样说, 逻辑状态是数字电路的

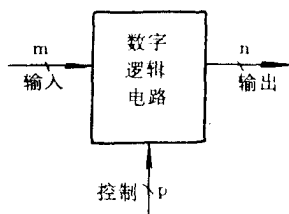


图 1-2 数字电路的一般结构

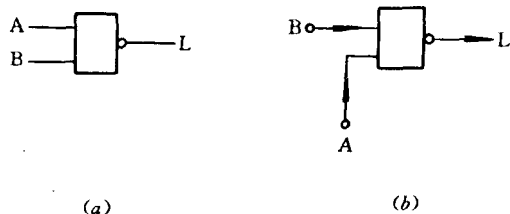


图 1-3 与非门的逻辑状态

实质与功用，强调突出它则是强化了电路的概念。

另外，数字电路虽然有许多概念，如寄存器、计数器，但它们在实用中却有许多概念，如寄存器有称寄存器的，称锁存器的，称缓冲器、移位寄存器等等；计数器有称二进计数器，十进计数器，六十进计数器，定时/计数器等等。而理论讲述中，计数器还有同步、异步、加 1、减 1 等等。这给我们提示了一点，就是实际芯片有一些是不同于理论讲述的，或简化，或扩展，同一个电路有许多的芯片，所以强调一下芯片，加强理论与实际结合，对理解和掌握数字电子技术有十分重要的意义。

综合上述考虑，我们提出了数字电路的四要素，即

- (1) 电路名称；
- (2) 信号通道和控制通道；
- (3) 工作状态；
- (4) 芯片。

数字电路在实用中，加上各类信号后，电路的功用就变得复杂起来，如果紧扣其四要素，你会得到事半功倍的良好效果，希望读者在后续课程和实用中去检验。

§ 1-4 微机电路及五要素

微型计算机系统就是对数据有运算、判断、识别和处理功能的电路技术。它由五部分组成，即微处理器 CPU（或 MPU）、程序存储器 ROM、数据存储器 RAM 和输入设备、输出设备（即 I/O 接口）等，见图 1-4。

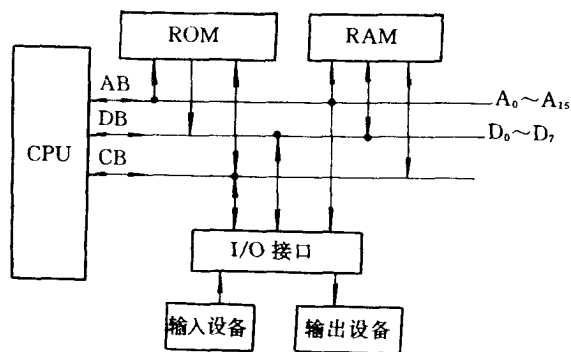


图 1-4 微型计算机系统框图

§ 1-4-1 各部件的结构

由图 1-4 可见,微型计算机的各部件都由三条总线(BUS)相连,即地址总线 AB($A_0 \sim A_{15}$ 共 16 位),数据总线 DB($D_0 \sim D_7$ 共 8 位)和控制总线 CB(许多功能控制线)。它们是由 CPU 管理的线 ROM、RAM、I/O 接口与其相连称为挂在总线上,同样这些部件也有三总线,以便与 CPU 连成一个系统,受 CPU 控制而进行各种操作。

一、程序存储器 ROM

微型计算机是数字电路的扩充,但它与数字电路的最大区别在于,计算机由程序来控制电路功能。程序称为软件,电路称为硬件,图 1-4 中的部件就是硬件,而存入 ROM 中的内容就是软件。

ROM 受 CPU 控制也有三组信息, $A_0 \sim A_{15}$ 提供 64kB 的存储容量,也即有 2^{16} (65536) 个存储单元,它们都有唯一的单元地位,从 0000H~FFFFH。而存储的内容为指令集合称为程序由 $D_0 \sim D_7$ 决定内容的长度,称为字节,另外还有读出控制 \overline{CS} \overline{RD} 。在系统工作时,CPU 控制 ROM 一个地址一个地址的逐条取出(只读)其中的指令,进而控制电路执行不同的功能。可见 ROM 存储着电路执行各种功能的命令,用 CPU 只读出来。

二、微处理器 CPU

微处理器 CPU(或 MPU)是数字电路的高度集成,它分为三部分,寄存器组、运算器 ALU、译码控制逻辑。上述可知程序是命令电路执行各种功能的指令集,既然是命令,就需要有翻译和执行,将命令翻译成可执行的内容,这个工作由译码控制逻辑承担。在不同的 CPU 中,有的有上百条指令,有的甚至有上千条指令,这些指令的功能都由译码控制逻辑完成,在微型计算机应用的广阔天地中,就是这些固有的功能用不同组合实现的。寄存器组和 ALU 是程序执行过程中的主要部件。寄存器组中有程序计数器 PC(16 位)它指示 CPU 所执行的程序在 ROM 中的地址,如 $PC=0000H$ 表示 CPU 正在执行的程序是第一个单元地址的内容, $PC=2000H$ 则表示执行 2000H 地址单元中的指令 CPU 正是在 PC 值的引导下,顺序执行程序。SP 是堆栈指针寄存器(16 位),堆栈是一个数据存储区,SP 的内容是当前可存数据的存储单元(RAM)的地址值,如 $SP=1008H$ 表示下一个堆栈数据可存入地址号为 1008H 的存储单元,堆栈常用于 CPU 中断和子程序操作,它有先进后出的功能。累加器 A(8 位)是执行程序功能的重要部件,它有两个功能,一是参与 ALU 的运算,它作为 ALU 的一个数与另一个数进行加法运算而且存放运算结果,我们知道任何数学问题最终都可以用加法和移位这两种最基本的操作来实现,所以计算机的强大运算功能,都有累加器 A 参与;二是 CPU 与各个部件打交道的媒介,如 CPU 要存一个数则由 A 传送至寄存器或存储器(RAM),CPU 要输出个数。由 A 送给 I/O 接口等,在程序中累加器 A 是最繁忙的,因而也最重要。有些 CPU 中有 A、B 两个累加器,是为了编程更灵活。标志寄存器 PSW(CCR 等)是保存 ALU 操作运算结果的特殊状态,如是否为负,是否为溢出,是否为零,有无进位等,它是专供程序的判断功能而设的状态位。寄存器组中还有一些寄存器(如 IX、IY、B、C、D、H、L 等)都是暂存各种运算参数的寄存器,在一个解决实际问题的“算法”中,常需要许多并行参数,这时就需用其它寄存器。有些 CPU 只有几个寄存器,如 6800 只有 6 个;而有些则多达几十个,如 8031 有 53 个。最后一个为运算器 ALU。ALU 是由全加器构成,它能完成各种算术运算和逻辑运算,它可对以

累加器 A 的内容作一个操作数，另一个操作数由暂存器提供的算式运算，有时还要加上标志寄存器 PSW 送来的进位等，运算结果又送回累加器，或由数据总线 $D_0 \sim D_7$ 送出去，最后将运算结果的状态又送标志寄存器保存，供其它判断之用。

由上分述可见，CPU 控制着寄存器组、运算器，以执行译码逻辑译出的各种电路功能。

三、数据存储器 RAM

数据存储器 RAM 同 ROM 一样，是存储信息的，但与 ROM 只读不同，RAM 是可读可写存储器，也称随机存储器。它的存储单元也由 $A_0 \sim A_{15}$ 选择， 2^{16} 有 64Kb 存储容量，地址值也为 0000H~FFFFH。如果只选 $8K \times 8\text{bit}$ 容量，则地址只需 $A_0 \sim A_{12}$ 即可，同样它存储的内容也由 $D_0 \sim D_7$ 送入，取出也是由 $D_0 \sim D_7$ 传出，它的读写操作由 CPU 的 RD、WR 决定，后面详述。

一般 RAM 分为三部分，即数据存储区、堆栈区和缓冲存储区。数据存储区存放杂散的数据，如某一操作数某一组电压值，某一中间结果等；堆栈区则存储堆栈信息，如子程序的 PC 断点值，中断的现场保护参数等；缓冲存储区，存放 I/O 输入、输出数据如 A/D、D/A 的数字量，字符的代码、键值等。而数据的位数也是一个字节 8bit 所以常用几 kB \times 8bit 表示。

四、I/O 接口

I/O 接口是 CPU 系统与外部设备连接的媒介，从宏观上来说，微机系统是为外设服务的，如从生产现场采集到的数据，经 CPU 系统对此数据的分析、计算、归类、特征提取之后输出显示出来。这既使采集输入得到了服务，又为输出设备提供了服务。由于输入、输出设备有各种各样，而 I/O 接口也设计成各种各样就没有多少优势了，故接口多设为“可编程”多功能 I/O 接口，通过编程来带动复杂的外设。由此可见，I/O 接口也有像 CPU 一样的译码控制逻辑，它能将软件编程译码识别，以确定其操作功能，一般为写命令字、写控制字、写特征字、读状态字等等。

五、微机系统的工作过程

微机系统的工作过程可以用四个字概括，即“寻址操作”。从图 1—4 可知 CPU 是识别“程序”所发来的命令去执行各种电路功能的，这个功能称为“操作”；而命令是发给谁的，这由地址决定，到什么地方，做什么事，这就是寻址操作，也就是计算机根据程序，命令谁干什么，就去干什么，有条不紊，一板一拍不会出错。而未选中的则处于“高阻”状态（即三态器件），不影响正在工作的器件。

首先计算机根据输入命令对数据进行采集，这个数据是根据输入设备而来的，如键盘、A/D 采样，然后对数据进行定值、识别、分析、特征提取、各种变换、各种处理暂存，最后经输出设备（I/O 接口）显示记录。显示记录的参数、项目完全由程序算法确定，包括数据处理也都由算法确定。这样计算机的功能就分为两部分，即数据处理（由程序和算法决定）和 I/O 操作（由程序和外设决定）。数据处理要用到 ROM、RAM、CPU 的 ALU、寄存器组等；而 I/O 操作要用到程序、I/O 功能等。

现举例加以说明。医学中的微电脑分光光度计，它有两类功能，第一类是参数设置，这是根据键入命令自动用步进电机设置的，具体步骤如下：

(1) 确定对样杯的采样顺序，1~60 个样杯，每个样杯步进 60 步，准确走至采样管下

方，然后采样管下移 10cm，吸进样液；

(2) 根据命令对不同的样液（样品）设置各种参数，如分光光度计的光源选择、过滤选择、波长选择、狭缝选择等；

(3) 数据采集处理完成后，就进行显示记录选择，即笔马达驱动，走纸马达驱动等。

第二类是数据采集和处理：

(1) 数据采集，根据样品上述参数选择以后的透光率或吸光度进行“参比信号”和“样品信号”两项数据的 A/D 采集；

(2) 根据 A/D 值进行“吸光度”、“基线校正”、“透光率”、“滤波”、“浓度”等参数的数据分析、计算、特征提取、数据处理；

(3) 最后使上述计算结果以光谱曲线（描记在记录纸上）和浓度值的输出显示（以字符形式记录在记录纸上）。

此例是一个很典型的例子，它有许多的外部设备（I/O 接口），也有许多的计算、分析，这在没有微机的时代，这种功能是很难实现的。在实际应用中，只要硬件与软件良好地配合，微机还可以胜任更大的系统，更复杂多项的功能，这就是为什么电脑带来了工业领域的重大变革的原因。

§ 1-4-2 CPU 的指令功能

一般 CPU 的硬件逻辑确定之后，指令功能也就确定了，如 MC6800 CPU 有 98 条指令，Z80 CPU 有 150 多条指令。这样说我们也就知道了指令功能就是 CPU 的译码控制逻辑所能识别译码而后去命令电路所执行的功能（一种规约）。正是这些指令集配合硬件电路实现了越来越高层次的“智能”功能，我们本书主述的智能仪器，正是引入了这一概念。

CPU 虽然有许多种，但常用的 8 位 CPU 的指令都有一些相似的功能，具体概括起来有以下七种：

一、传送类指令

这种传送是 CPU 部件间传送，如 CPU 传给 RAM、I/O 接口，ROM 传给 CPU、RAM、I/O 接口传给 CPU（寄存器）其中有 8 位传送，也有 16 位传送，16 位传送则分两次。

二、算术、逻辑运算指令

此类指令可实现数据的加、减、乘、除和逻辑与、或、非、比较、取反、调整等功能。

三、循环和移位指令

将累加器 A 中的数据（别的数据可传给 A）左移、右移，带进位移，头尾相接循环着移等等。

四、位操作指令

对某一位进行测值，取反、置 1、复 0 等。

五、转移类指令

根据某一位或标志寄存器的某一个标志，来判断是否转移，也就是跳跃式执行程序，而不是前述的顺序执行程序，这样可以根据不同的情况，执行不同的程序，实现微机的智能判断功能。

六、调用及返回指令

这用于主程序中对子程序（后要讲）的调用和返回，以及中断返回，以实现程序的模块功能。

七、输入输出指令

有些 CPU（如 6800、8051）没有此类指令，这类指令是用于 CPU 对 I/O 接口的输入、输出数据（Z80、8085）而设的。

综述以上七类，还有多种寻址方式，结合起来，就可以实现各种“寻址操作”的功能了。

§ 1-4-3 I/O 接口及五要素

衡量一个微机系统的功能，除软件编制的功能外，还有 I/O 接口（输入输出接口）所带的负载（外设）的多少和难易（前例）。

I/O 接口同 ROM、RAM 一样也是受 CPU 控制的，其功能也差不多，就是输入、输出，只是多了一个“位控”和“中断”功能。位控和中断是根据某一个标志或某一个状态进行位控输入输出或中断输入输出。

I/O 接口也要有地址，没有地址就在系统的许多部件中找不到它，对它的输入输出就是盲目的乱写、乱读。对 I/O 接口来说，输入就是读（CPU 读），输出就是写（CPU 写）。

在一个系统中，CPU 要管理许多部件，如 CPU 总线上挂了 10 种外设，CPU 中有 30 个寄存器还有存储区，那 CPU 就要管成百上千个操作。CPU 要在 PC 值的引导下，一板一拍地工作，同时对外设（I/O 接口）就要协调好它们工作的时间和结束工作的时间。I/O 接口的结构有些是比较复杂的，加上 CPU 对部件的一些操作控制，如存储器选通（MREQ）、接口选通（IORQ）、读（ \overline{RD} ）、写（ \overline{WR} ）、中断（INT）等，所以功能也较复杂。根据 I/O 接口的功能、特点及内在联系（规律），我们编制了接口的五要素，以此来说明 CPU 的最终目的——外设的操作。这五要素是

- (1) 电路名称型号；
- (2) 结构；
- (3) 地址；
- (4) 中断；
- (5) 功能。

这五要素对分析智能仪器中的电路实例也是可用的，望读者抓住这个要点，去分析大系统。在“要素”中，电路名称是它的核心，其余都是它的附属元素，只要一知道电路名称，你马上就会想到它的原理、特征点，然后把多级单元电路联系起来，再用要素去强化，你对整机电路工作原理的分析就会变得轻而易举。

§ 1-5 微型计算机的发展与应用

1971 年 Intel4004 微处理器的推出，开始了计算机的迅猛发展，形成了时代特征——微型机时代。随着微处理器的性能和集成度的不断更新，微型计算机系统及应用技术日新月异，几乎渗透到了工业、国防、医学、第三产业各个领域而通用机的发展则更快，几乎每 4 年更新一代，许多大型机的技术也垂直下移到微机领域，从而出现了工作站、服务器、

多机系统、超级小型机等等，使计算机世界出现一派生机勃勃的景象。

一、微型计算机发展简介

微型计算机的发展，是以微处理器 MPU（或称中央处理单元 CPU）的发展密切相关，而 CPU 的字长，则是 CPU 的主要特征。

第一代微处理器以 1971 年美国 Intel 公司生产的 MCS—4 及 MCS—8 为代表性产品，它们采用 PMOS 工艺，生产出 4004 CPU 芯片（改进型为 4040）和 8008 CPU 芯片。集成度为每片 3000 个晶体管，字长分别为 4 位和 8 位，基本指令执行时间在 $4\sim 10\mu\text{s}$ 以上。第一代 CPU 虽然未做成通用机，但却是良好的小型控制机，到目前为止，功能优越的新的 4 位 CPU，仍然在一些小型仪器中使用，如家电产品、电视机。

第二代微处理器在 1973—1977 年间形成，典型产品有 Intel 8080（1973 年）、Motorola 6800（1974 年）、Zilog Z80（1975 年）和 Intel 8085（1976 年）。它们都采用 NMOS 工艺，集成度每片达 9000 个晶体管，字长 8 位，时钟频率 $1\sim 4\text{MHz}$ ，基本指令执行时间 $1\sim 2\mu\text{s}$ ，有完整的配套接口电路，如可编程的通用并行接口、串行接口、定时/计数器、专用接口及大量的 A/D、D/A 转换器等。它们基本都设置了中断和 DMA 功能，使 8 位机有了性价比很高、很完善的广泛应用，时至今日一些工业控制及电子仪器采用初级智能型的 8 位 CPU 系统，仍不显落后，却相反，应用的领域日渐扩大，如现代医学仪器就有大量的应用。

第三代微处理器从 1978 年开始，由于超大规模集成电路（VLSI）工艺的研制成功，使一个硅片上可以容纳十万个以上的晶体管，64kB 和 256kB 的存储器已有产品出现。16 位字长的微处理器在 1978 年问世，典型产品有 8086（1978 年）、Z8000（1979 年）、Motorola 68000（1979 年）、80286（1983 年）、Motorola 68010（1983 年）等。它们采用 HMOS 工艺，集成度每片达 $2\sim 7$ 万只晶体管，时钟频率已达 $4\sim 25\text{MHz}$ ，工作速度有了大幅度提高，字长 16 位，基本指令执行时间 $0.5\mu\text{s}$ ，具有丰富的指令系统，采用多级中断，多重寻址方式，有段寄存器结构，配有磁盘操作系统（DOS）数据库管理系统，有 BASIC、FORTRAN、DBASE 等多种高级语言。此外，在这一时期中，还生产了一种称为准 16 位的 CPU 如 Intel 8088、Motorola 6809，它们的特点是能用 8 位数据总线在 CPU 内部完成 16 位数据操作，工作速度和处理能力均介于 8 位和纯 16 位机之间。

第四代微处理器以 32 位 CPU 为典型产品，每个单片硅片上可集成几十万个晶体管，时钟频率在 $16\sim 33\text{MHz}$ 之间，基本指令执行时间约 $0.1\mu\text{s}$ ，寻址能力高达 4GB，采用 6 级流水线，即取指令、译码、内存管理、执行指令和总线访问、并行操作。典型产品有 Zilog Z8000（1983 年）、Motorola 68020（1984 年）、Intel 80386（1985 年）、Intel 80486（1989 年）和 Motorola 68040（1989 年）等。

值得一提的是高性能 32 位机，如 80486、68040，集成度每片达 120 万个晶体管，系统性能是 80386 的 $2\sim 4$ 倍，采用 RISC 技术，降低了每条指令的执行时间，使 80486 处理速度极大提高，486DX2 的时钟频率已达 66MHz 。

第五代微处理器从 1993 年开始，典型产品有 Pentium 586（1993 年）、Pentium Pro P6（1996 年）、PowerPC（1996 年）。Pentium 586 系列主频有 75, 90, 100, 120, 133, 166MHz，现正在准备推出 220MHz，利用亚微米的 CMOS 技术设计 CPU，集成度每片高达 310 万个晶体管 RISC 结构，32 位字长。随着 CPU 芯片的升级换代，高档技术如图像处理（如医学螺旋 CT）、语音识别、CAD/CAM、大规模财务、银行、股票系统、大流量客户机/服务

器、军用、航天技术等。科技含量日益增高，新的应用技术已经出现欣欣向荣的繁荣景象，使人类对未来更加憧憬。如 1997 年的美国探索者号火星探测器，是人类运用计算机创造的划时代成果，它给人类带来的不仅仅是探测，而是更广阔的天地。

二、微型计算机的应用

1. 计算机的特点

计算机的主要特点有以下五个方面：

(1) 高速性。计算机组成的物质基础主要是电子部件，电子器件的速度保证了高速性，即使是软件，也由硬件识别、控制、执行，故也不失高速性；

(2) 准确性。由于采用了二进制 0、1 的数字化信息编码、使计算机所处理的数据，鲜明准确，不带一点错误（因是二进制则错误减至最少），使计算机的运算、控制及信息处理具有极大的准确性。

(3) 逻辑性。计算机用 0、1 表示数值数据，也可表示是 / 否逻辑值，故与高速逻辑器件结合，使计算机具有逻辑判断、逻辑运算能力，同时对文字、符号、图形、图像、语音等都有很强的逻辑处理能力。

(4) 多功能性。计算机的软件可有无穷多种功能，可以说只要数学能解释的问题（具有数学模型）和经验型数学模型，计算机都可以处理；而硬件电路，配合传感器、机械驱动机构可以实现行走、定位、程序化、模拟人等诸多功能。正是在软、硬件的配合下，计算机才具有了非凡的能力。

(5) 通用性。目前许多计算机公司设计了通用程序，配合通用微机，使计算机既可以是各个领域用户自己编写的应用程序（专用），也可以是供众多用户共享的程序（通用），如体育比赛程序、银行财务程序等，多样的信息，一样的处理，使计算机具有相当的通用性。

2. 计算机的应用

电子计算机的出现导致了一场伟大的技术革命。而它的科学技术水平、生产规模和应用程度，已成为衡量一个国家现代化水平的重要标志之一。计算机作为人类思维和逻辑推理的工具，必将促使科学技术发生深刻的变革，对社会生产和社会生活也将产生深远的影响。

计算机在科学研究、工业、农业、国防、医学和社会生活的各个领域，得到了越来越广泛的应用，具体可归纳为以下五个方面：

(1) 科学技术计算。在发展科学技术生产中所遇到的计算，统称为科学技术计算，它使许多大量、精确的计算快速、省力、准确、可靠。

例如，某一科研课题的计算，联立方程、多元结构等；天气资料、地震数据的分析计算；工程设计计算；医学图像的时域、频域分析等。

(2) 自动（实时）控制。所谓实时控制就是对被控对象能及时地采集、检测它的若干特征数据，并按最优状况进行自动调节和控制。因被控对象是一个物理或生产过程，所以又称为过程控制。借助于计算机可以提高自动控制的准确性、实时性，实现高度复杂的生产过程自动化，从而提高产品合格率，改进产品质量，降低成本。

比如 机械加工、传感测量（压力、温度、流量、气敏、光敏等）生产流水线（汽车、电子、化工、糖厂、印刷业、烟厂等）

在这一方面应用中，还有一项“智能”电子仪器，它们可以代替手工，自动完成各项操

作，实现类似于人的智能的功能。如无人驾驶飞机、太空探测、导弹、卫星、医学仪器、化工仪表、定位系统、导航、火控，现代家电等，这些都是带电脑的电子仪器，本书的主要目标就是讲述这类仪器的电路基础。

(3)数据和事务处理。人类在科学研究、生产实践、经济活动和日常生活领域中会遇到大量的信息要进行处理，如实验数据、检测数据、统计数据、特征数据、原始数据等。人们按要求对其进行归纳、整理、分类、统计、特征提取、分析测量和图像重建等加工，然后给出曲线、报表、图像拷贝。这一类的应用突出特点是数据量大、时间性强，而且结果多样。

如银行、股票、财务、售票、天气、地震、医学图像处理、人事管理、大型体育运动会管理及转播、军事防御系统等等。这一方面的应用，是计算机最活跃，最具实力的应用，而且还在不断扩大使用范围，如医学诊断中心（PACS系统）、工业集中多微机控制中心等。

(4)计算机辅助设计。采用计算机辅助设计（CAD），可使设计过程实现半自动化和自动化，而且可以在众多设计方案中选择一个最优、最理想的方案。CAD的主要设备是电子计算机、图像显示器和光笔，光笔可以修改，计算机起主设、修改、存储结果的作用。此项应用已广泛应用于机电产品、汽车、大型建筑工程、电子线路等领域，而且因其优势突出，正在日常应用中逐渐扩大。

(5)机器人应用。以上四项应用，在大、中、小系统中，都或多或少的有综合应用的元素，只不过有些偏重于这方面，有些偏重于那方面，而机器人则是综合了各方面而突出其功能的一项新应用。

在多种机器人中，智能机器人功能最全，它有零力推动，六维力传感器，万向关节机构，主动躲避能力，感知接触力的大小，保持一定的压力，微观/宏观视觉系统，微力传感，定位准确等功能，并能判断、识别、反应、快速完成这些“智能”的功能，可用于无人驾驶、排险、遥控等各种操作。据我国“863”计划专题组介绍，包括智能机器人在内，我国还可以生产水下机器人，用于探测、摄像、打捞、找矿等；微动机器人，可微米级移动，用于生物工程细胞、医学神经系统、集成电路制造等；家用机器人，用于家务劳动、端水送饭、打扫清洁、写毛笔字、画画等；还有流水线机器人，用于汽车、饮料、电子产品的流水线作业等；最令人称奇和惊叹的是运用“模糊逻辑推理”控制的机器人，它不仅可以控制，而且还可以诊断、识别、决策、动态检测、动态定位。著名的“二级倒摆”技术，使人类最富技巧和智慧的技能，也叹为观止。据专家预测，采用模糊逻辑的机器人，将更接近人类，是真正意义上的机器人，是21世纪的代表性产物。

在即将进入21世纪的时代，计算机科学将发生巨大变革，因为“模糊逻辑（Fuzzy Logic）推理”已引入计算机，传统的计算机，一直要求人类彻底地与它协调，而模糊技术正在开始使机器向人靠拢。由模糊软件和模糊推理硬件合成的模糊推理计算机，1s可进行几百万次推理，可使图像、声音、文字实现高智能的多媒体，可模拟人对各类被控对象，自动设定参数，无级变换。从理论和有效的实践中可以这样说，凡不能用0、1二进制逻辑表示的事情（如模糊状态、无数学模型、非0—非1等），都可用模糊技术处理，人类对这一类难以描述的事情，进行分析处理，将变得轻而易举。就一个时代的高技术科学而言，模糊逻辑和计算机科学，将形成机器智能发展的一个新的轴心，人类将与21世纪的计算机——模糊计算机同行。

本书从带电脑电子仪器的系统电路出发，反观设计、分析、维修硬件电路所需要的电

路基础，从四个方面全面系统地阐述这些电路基础，一是电路的模拟电路基础，如三极管、运放等；二是电路的数字电路基础，如触发器、计数器等；三是 CPU、I/O 接口，包括四种最典型 CPU 和 20 多种 I/O 接口，也包括家用电器中的 CPU；四是整机电路实例分析（4 例）。以期全面系统的提供基础知识和学习、思维方式，起到快速掌握微机技术。

思 考 题

1. 电子技术发展的标志是以什么为核心的？
2. 元件的发展起着什么作用？
3. 模拟电路的主要功用是什么？
4. 数字电路的状态怎么确立？
5. 微机电路的五大部件各起什么作用？
6. 你如何将模拟电路、数字电路、微机电路合为一体，它们各起什么作用？

第二章 模拟电路基础（三要素）

在第一章中，我们介绍了“模拟电子技术”的大致概念和一般结构，而模拟电路则有交流放大器、直流放大器、差动放大器、运算放大器、功率放大器等，它们的任务都是为了放大微弱的信号。然而信号中则常常混杂着干扰，而且信号有一个频率带宽，这就引出了用负反馈改善性能。电路中采用各种措施稳定工作点、提高信噪比、提高共模抑制比、展宽频带等等，而这些是依附于电路的各种参数，所以我们提出了模拟电路的三要素。这样我们可以精炼而全面地掌握各种放大电路的特点。

然而电路是由元件组成的，所以另一条思路是顺着元件形成的，即二极管、晶体三极管、场效应三极管、运算放大器、线性 IC 等。只有了解和熟悉各种元件的结构、原理、参数后，才能真正掌握电路工作原理。

实际上，基本电路只有三种，即共射、共基、共集，它们各有特长，应用广泛。由它们又推出了直放、差放、运放、功放等电路，所以掌握好这个层次，学习起来就轻松多了。

§ 2—1 半导体元件导电原理和特性曲线

半导体元件包括二极管、特种二极管、三极管、场效应管、光敏管、整流桥、运算放大器、线性 IC 等。但就其共性的基础则是二极管、晶体三极管、场效应三极管三种，所以我们从讲述这三种元件的导电原理、结构、特性曲线入手，介绍电子元件的基础知识。

§ 2—1—1 半导体二极管

半导体二极管内部核心是一个 PN 结。PN 结是一块 P 型半导体材料和一块 N 型半导体材料有机结合的一个导电实体，它有特殊的导电特征和特性曲线。

一、半导体材料

导体是很容易导电的实体，如金、银、铜、铝。因为导体内部有着大量的自由电子（已经摆脱原子核束缚的电子称为自由电子），导体在外电场作用下，这些自由电子会逆电场方向运动，形成强大的电流，这就是导体具有良好导电能力的基本道理，它是靠电子流导电的。而绝缘体，因其内部自由电子很少很少，故很难导电。半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的一种特殊实体，它的导电能力是可以控制的，它内部参与导电的不仅有自由电子，还有另一种存在于半导体中的导电载流子——空穴。

在电子元件中，包括现代的超大规模集成电路，都使用着三种半导体材料，即：本征半导体、P 型（空穴型）半导体、N 型（电子型）半导体。

1. 本征半导体

几乎不含杂质的纯净半导体称为本征半导体。目前用于元件的本征半导体材料有硅

(Si)、锗(Ge)、砷化镓(GaAs)、碳化硅(SiC)、磷化铟(InP)等,其中以硅和锗最为常用。硅和锗的原子最外层轨道上都是有4个价电子,它们被制成单晶体后,其结构就属于“共价键”结构。共价键是相邻两原子之间,均有一个共价的价电子,使两原子相连,此连接带称为共价键,而共价键中的价电子为相邻的原子(核)所共有,而价原子受共价键约束,成为稳定的电子,故本征半导体呈电中性。图2—1为硅(锗)4价元素的原子结构示意图,图2—2是硅(锗)共价键结构示意图。

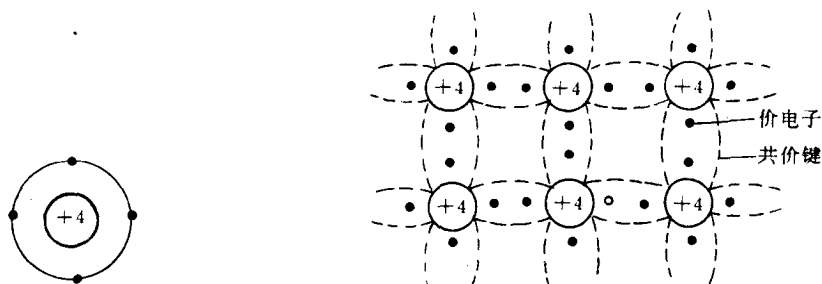


图2—1 4价元素原子结构简化示意图 图2—2 硅(锗)共价键结构示意图

由图2—2可以看到共价键结构和每个硅或锗原子与其相邻的4面4个原子共价,使每个硅或锗原子外层有了8个电子,所以价电子受的束缚力是很大的,没有一定的外加能量,这些价电子是很难跳出束缚,变为自由电子而导电的。

但是共价键的束缚,也是有一定限度的。在一定的温度或光照使本征半导体受热后,少数价电子受热而获得能量,摆脱原子核的束缚,从共价键中挣脱出来,成为自由电子。这个受热过程称为“本征激发”,受热特性称为“热敏性”和“光敏性”。在价电子受热成为自由电子的同时,失去价电子的硅或锗原子,在该共价键上留下了空位,失去几个价电子,就留下几个空位,这个空位称为“空穴”。由此可见在本征半导体中有两种物质,即电子与空穴,而且电子与空穴是成对出现的,如图2—3所示。

由图2—3中可见,出现了电子空穴对,就说明本征半导体中,由于本征激发,会产生其两种特殊物质——电子与空穴的运动。但其运动是杂乱无章的。比如图2—3中,A过程是1个价电子成了自由电子,跳出了共价键,而B过程则产生空穴填补,一个较近的价电子也跳出了共价键,但它跳出去却是为了填补那个空穴的,它又成了一个价电子。这个填补过程称为自由电子与空穴的“复合”。从这个填补过程中还可以发现,电子从B到A运动,而空穴呢,则相对从A到B,与电子反向。为了区别于自由电子的运动,把这种与价电子运动方向相反的运动称为“空穴运动”,同时将自由电子称为“电子载流子”,空穴叫“空穴载流子”。本征半导体处于外界电场作用下,自由电子逆电场方向运动,形成电场作用下的漂移(注意电场作用叫漂移)电子流,而空穴则顺电场方向运动,形成电场作用下的漂移空穴流,因此可以认为电子带负电荷,称为电子载流子,空穴带正电荷。称为空穴载流子。可见电子与空穴合成形成了电流,这正是半导体的重要特征。

另外,由于共价键的束缚力还是很强的,既使在外电场作用下,电子与空穴复合后的运动也是很小的,故本征半导体不呈现电性。

2. 杂质半导体

在本征半导体中掺入微量的其它元素(这些微量元素的原子称为杂质),就形成了杂

质半导体。杂质半导体的导电能力大大高于本征半导体，而且掺杂越多，导电能力也愈强，这就是半导体的“掺杂特性”。正是这个掺杂特性，带来了一个新技术的广阔天地。

杂质半导体中，又分为 P 型半导体和 N 型半导体两种。

(1) P 型半导体。在 4 价本征半导体硅或锗上，采用扩散等工艺，掺入微量 3 价元素（如硼 B、镉 In 等），在半导体内会产生许多独立的空穴，增加了空穴载流子。形成空穴型半导体，即 P 型半导体，如图 2-4 所示。

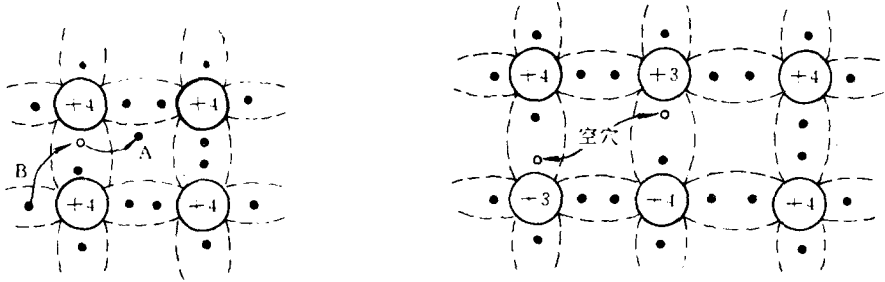


图 2-3 本征硅或锗中电子和空穴成对出现 图 2-4 P 型半导体结构示意图

3 价杂质原子有三个价电子，当它与相邻四个 4 价硅（或锗）原子组成共价键时，杂质原子外层就有一个空位未被填满，电子少于空穴，这必然形成一个独立的空穴。每掺入一个 3 价杂质原子，就产生一个空穴，掺入的越多，空穴载流子就越多。基于空穴的导电性能就越好。图 2-5 中示出了 P 型半导体中的载流子示意图。

从图 2-5 中可见，有三种载流子存于 P 型半导体中，其一，原始 4 价本征半导体的电子—空穴对 (C)；其二，杂质产生的空穴载流子 (B)；杂质的负离子 \ominus (A)。这三种载流子都参与导电，故杂质产生的空穴和本征激发的空穴数远远大于本征激发的电子数，所以称 P 型半导体中的空穴为多数载流子，简称“多子”；电子是少数载流子，简称“少子”。而负离子，因为 3 价杂质原子接受一个电子就形成一个负离子，同时负离子和空穴共存，使 P 型半导体也呈现电中性。

由此可见，P 型半导体多子空穴的浓度，大大高于本征激发的少子电子浓度，而多子浓度取决于掺杂多少，而少子浓度与光照、受热等密切相关。

在外电场作用下，P 型半导体多子空穴形成的空穴电流，远大于少子形成的电子电流，故 P 型半导体是一种以多子空穴导电为主的半导体，所以又称为空穴半导体。

(2) N 型半导体。在 4 价本征半导体硅或锗上，采用扩散等工艺，掺入微量 5 价元素（如磷 P、砷 As 等），在半导体内会产生许多独立的电子，增加了电子载流子，形成电子型半导体，即 N 型半导体，如图 2-6 所示。

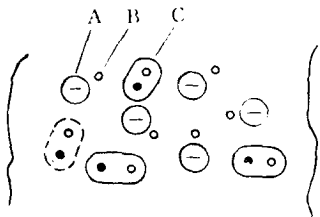


图 2-5 P 型半导体中的载流子

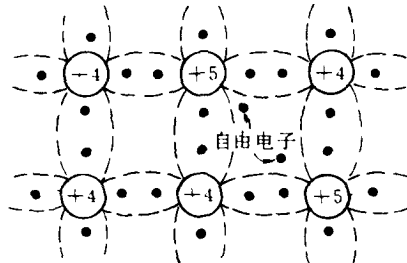


图 2-6 N 型半导体结构示意图

5 价杂质原子有五个价电子，当它与相邻四个 4 价硅（或锗）原子组成共价键时，杂质原子多出一个电子未被复合，电子多于空穴，形成了一个独立的自由电子，每掺入一个 5 价杂质原子，就形成一个自由电子，掺杂越多，电子载流子就越多，基于电子的导电性能就越好。图 2-7 中示出了 N 型半导体中的载流子示意图。

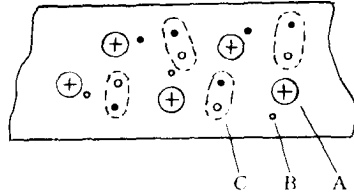


图 2-7 N 型半导体中的载流子

从图 2-7 中可见，与 P 型半导体一样，也有三种载流子存于 N 型半导体中。原始 4 价本征半导体“本征激发”出的电子一空穴对（C）；杂质产生的电流载流子（B）；杂质的正离子 \oplus （A）。这三种载流子也都参与导电，故 5 价杂质产生的电子与本征激发产生的电子数之和远大于本征激发的空穴数，所以称 N 型半导体的电子为多子，空穴为少子。而正离子，因为 5 价杂质原子给出一个电子，便形成一个杂质正离子，同时正离子和电子共存，使整个 N 型半导体呈现电中性。

由此可见 N 型半导体多子电子的浓度，大大高于本征激发的少子空穴浓度，多子浓度取决于掺杂多少，而少子浓度与光照、受热等密切相关。

在外电场作用下，N 型半导体多子电子形成的电子电流，远大于少子空穴形成的空穴电流，故 N 型半导体是一种以多子电子导电为主的半导体，所以又称为电子型半导体。

(3) 载流子两种运动方式。由上述分析可知，半导体中载流子有两种运动方式。一是漂移运动，前已述及这是在外电场作用下产生的。P 型硅中多子空穴顺电场运动；少子电子逆电场运动。N 型硅中，多子电子逆电场运动；少子空穴顺电场运动。二是扩散运动，载流子由浓度高的区域，向浓度低的区域运动。

二、PN 结

1. PN 结的形成

在一块完整的本征硅（或锗）片上，采用不同的掺杂工艺，使其一边形成 N 型半导体，另一边形成 P 型半导体，在这两种杂质半导体的交界面附近会形成一个具有特殊性质的薄层，这个薄层就是 PN 结，如图 2-8 所示。

图 2-8 示出了 PN 结的形成过程。上面讲过漂移、扩散运动，由于 P 区空穴多、电子

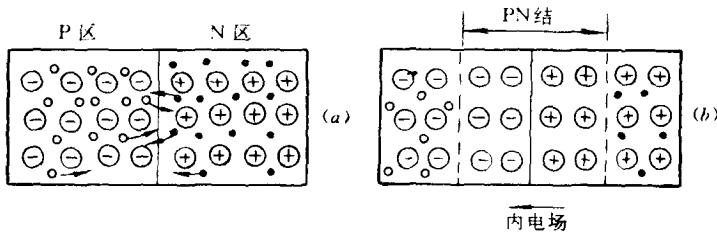


图 2-8 PN 结的形成

少，N区电子多、空穴少，在P区和N区交界的一个区域内，由于载流子浓度的显著差异，将发生载流子扩散运动，P区的空穴向N区扩散，N区的电子向P区扩散，如图2-8(a)所示。扩散的结果：P区空穴减少，留下不能够移动的杂质负离子，N区电子减少，留下不能够移动的杂质正离子。这样，在交界面上出现了由纯正负离子构成的空间电荷区，这就是PN结，如图2-8(b)所示。空间电荷区则产生由N区指向P区的电场，叫内电场，这个电场使P区的多子空穴，N区的多子电子受到排斥，扩散运动削弱。而P区中的少子电子，N区中的少子空穴，受内电场吸引，则产生漂移运动。这时扩散运动、漂移运动共存。显然，随着运动，内电场不断增加，扩散运动逐渐削弱，漂移运动不断增强，最后扩散运动和漂移运动达到动态平衡，空间电荷区稳定，PN结厚度不再变化。在动态平衡状态下，流过PN结的扩散电流和漂移电流大小相等，方向相反，流过PN结的电流为零。

由于PN结空间电荷区中一侧带正电荷，另一侧带负电荷，而区内几乎没有载流子，即载流子耗尽了，只剩下不能导电的正负离子，所以空间电荷区又称为耗尽区，PN结称为耗尽层。

2. PN结的导电特性

PN结在不同极性（正、负极）外加电压下，流通PN结的电流大小是不同的。

(1)PN结正向偏置。图2-9所示为PN结正向偏置的导电情况。图2-9(a)P区接“+”极，N区接“-”极，这种接法叫正向偏置。图2-9(b)为未加电压前情况。

图2-9(c)正向偏置时，由于外电场与内电场方向相反，使内电场削弱（外电场大），耗尽层变薄（空间电荷区变窄）。这样，导致了扩散运动和漂移运动（多子）共生，大大促进了多子运动，有大量的多子越过PN结，在半导体内形成正向电流 I_F ，而且外加正偏电压稍微增加一点，单位时间内扩散到对方的多子就增加许多，正向电流 I_F 猛升，PN结表现为正向导通状态，电流为正向电流 I_F ，PN结正向电阻很小。

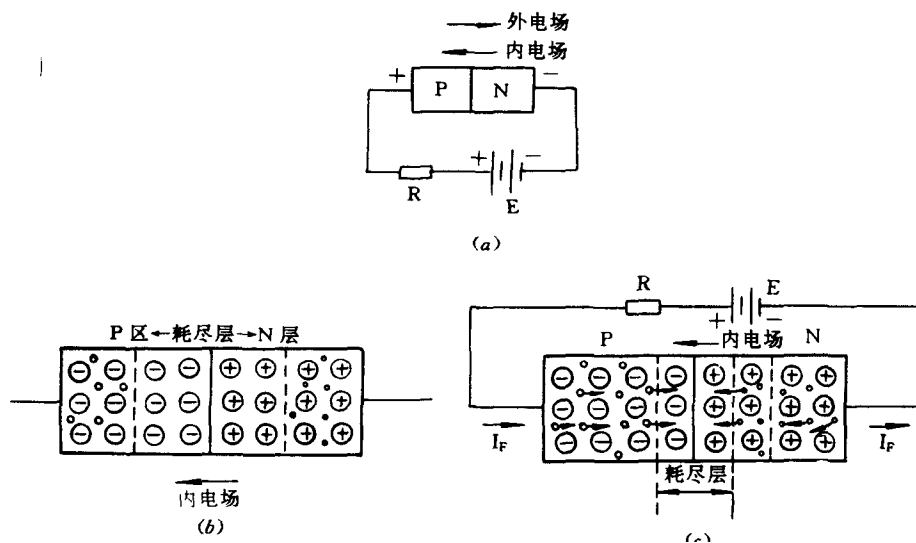


图 2-9 PN 结正向偏置导电情况

(2)PN结反向偏置。图2-10为PN结反向偏置，即P区接电压一极，N区接+极，如图2-10(a)所示。图2-10(b)为未加电压之前的情况（动态平衡）。