



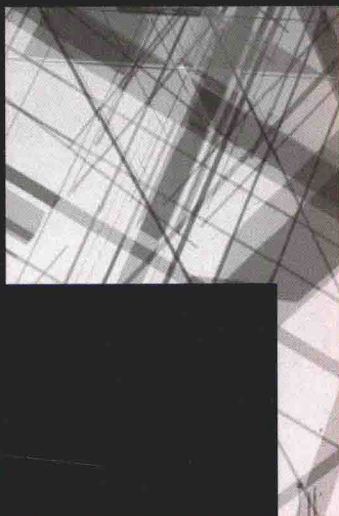
高 / 等 / 院 / 校 / 用 / 书

+

# 移动设备新技术 简明教程

YIDONG SHEBEI XINJISHU  
JIANMING JIAOCHENG

■主 编 陈乙雄 汪成亮 尹云飞



GAODENG YUANXIAO YONGSHU  
YIDONG SHEBEI XINJISHU  
JIANMING JIAOCHENG



重庆大学出版社  
<http://www.cqup.com.cn>



高 / 等 / 院 / 校 / 用 / 书

+

# 移动设备新技术 简明教程

YIDONG SHEBEI XINJISHU  
JIANMING JIAOCHENG

■主 编 陈乙雄 汪成亮 尹云飞

GAODENG YUANXIAO YONGSHU  
YIDONG SHEBEI XINJISHU  
JIANMING JIAOCHENG

重庆大学出版社

## 内容提要

本书从介绍计算的核心概念开始,以半导体技术的发展为引导,沿着计算设备不断进步(人工—机械—电子计算)、不断小型移动化(计算机—智能手机—平板电脑—穿戴式设备),最终使“计算”深度地融合于人们的生活和工作之中,在传感器、体感等技术的共同促进下,最终进入物联网、大数据的时代。

全书共分7章,以深入浅出的方式全面介绍了智能手机、云计算、移动互联网、传感器网络、体感技术、穿戴式设备、物联网等技术和设备的基本原理和特征,并有机地联系在一起。本书既可作为面向本科生的高校通识类课程教材,也可作为职教类院校低年级学生的入门性教科书。

### 图书在版编目(CIP)数据

移动设备新技术简明教程/陈乙雄,汪成亮,尹云飞主编. —重庆:重庆大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5689-0121-5

I. 移… II. ①陈…②汪…③尹… III. ①移动通信—通信设备—高等学校—教材 IV. ①TN929.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 200374 号

## 移动设备新技术简明教程

主 编 陈乙雄 汪成亮 尹云飞

策划编辑:陈一柳

责任编辑:文 鹏 邓桂华 版式设计:陈一柳

责任校对:邹 忌 责任印制:张 策

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆华林天美印务有限公司印刷

\*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:7.25 字数:168 千

2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5689-0121-5 定价:18.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

# 前言

在移动互联网、物联网、大数据、云计算飞速发展的今天,各行各业都不可避免地受到新技术的冲击和影响,并在设计、制造、管理、物流等方面都发生着颠覆性的变革与创新。本书从介绍计算的核心概念开始,以半导体技术的发展为引导,沿着计算设备不断进步(人工—机械—电子计算)、不断小型移动化(计算机—智能手机—平板电脑—穿戴式设备),最终使得“计算”深度地融合到人们的生活和工作之中,在传感器、体感等技术的共同促进下,最终进入物联网、大数据的时代。

作为即将走向社会的高校学生,初步学习认识这些新兴技术,并能了解到这些技术可能会对自己所学专业 and 就业领域带来的变化,是全面提高自身素质和就业能力的重要内容。然而,虽然目前市面上有大量讨论物联网、云计算、大数据等热门技术和相关产品的书籍,却鲜有将各种新技术有机联系到一起,帮助不同专业背景的读者建立全景式的认知。

本书是面向高校非信息类专业学生的通识课程教材。全书凝聚了重庆大学通识课程《移动设备新技术》几位资深主讲教师多年的教学经验,以深入浅出、通俗易懂的方式,力求帮助高校学生更加全面地认知各种新兴技术与设备的发生与发展过程、核心概念和基本原理,准确把握新技术对所学专业行业发展和就业前景可能带来的影响与变革,从而为自身的发展规划乃至创新创业提供有益的指导。

本书既可作为面向本科生的高校通识类课程教材,也可作为职教类院校低年级学生的入门性教科书。

本书由陈乙雄主编,并负责前言、第1、2、3章;尹云飞负责第4、7章;汪成亮负责第5、6章。

感谢重庆大学计算机学院领导对本书编写工作的支持,也特别感谢重庆大学出版社为本书出版所作出的努力。

编者

2016年5月

# 目 录

|                      |    |
|----------------------|----|
| <b>第1章 基础知识</b>      | 1  |
| 1.1 数字计算设备概述         | 1  |
| 1.1.1 模拟信号与数字信号      | 1  |
| 1.1.2 什么是数字计算设备      | 2  |
| 1.2 计算设备发展简史         | 3  |
| 1.2.1 人工计算时代         | 3  |
| 1.2.2 机械计算时代         | 3  |
| 1.2.3 电子管时代          | 4  |
| 1.2.4 晶体管时代          | 5  |
| 1.2.5 大规模集成电路        | 7  |
| 1.3 计算设备的制造          | 7  |
| 1.3.1 芯片的制造过程        | 7  |
| 1.3.2 PCB 的制造过程      | 8  |
| 1.3.3 产品的组装与测试       | 9  |
| 1.3.4 设备的升级          | 10 |
| <b>第2章 智能手机</b>      | 11 |
| 2.1 手机发展简史           | 11 |
| 2.1.1 模拟手机           | 11 |
| 2.1.2 数字手机           | 12 |
| 2.1.3 智能手机           | 12 |
| 2.1.4 未来手机的发展趋势      | 14 |
| 2.2 常见的智能手机操作系统      | 15 |
| 2.2.1 概述             | 15 |
| 2.2.2 安卓系统           | 15 |
| 2.2.3 苹果 iOS 系统      | 16 |
| 2.2.4 微软 Windows 系统  | 16 |
| 2.2.5 其他系统简介         | 16 |
| <b>第3章 云计算与移动互联网</b> | 19 |
| 3.1 云计算简介            | 19 |

|              |                         |           |
|--------------|-------------------------|-----------|
| 3.1.1        | 云计算的成因 .....            | 19        |
| 3.1.2        | 云计算的主要特点 .....          | 19        |
| 3.1.3        | 常见的云服务 .....            | 21        |
| 3.2          | 移动互联网 .....             | 21        |
| 3.2.1        | 移动互联网的概念 .....          | 21        |
| 3.2.2        | 移动互联网与传统互联网的区别与联系 ..... | 22        |
| 3.2.3        | 移动互联网的关键技术 .....        | 23        |
| 3.3          | 大数据 .....               | 25        |
| 3.3.1        | 大数据的产生 .....            | 25        |
| 3.3.2        | 大数据的基本特征 .....          | 26        |
| 3.3.3        | 大数据的应用前景 .....          | 26        |
| 3.4          | 应用程序 APP 基础 .....       | 27        |
| 3.4.1        | 什么是 APP .....           | 27        |
| 3.4.2        | 典型应用分析 .....            | 27        |
| 3.4.3        | 应用 APP 开发简介 .....       | 28        |
| 3.4.4        | 应用 APP 的发布 .....        | 28        |
| <b>第 4 章</b> | <b>传感器与传感器网络</b> .....  | <b>29</b> |
| 4.1          | 传感器的基本原理 .....          | 29        |
| 4.1.1        | 光传感器 .....              | 30        |
| 4.1.2        | 声音传感器 .....             | 30        |
| 4.1.3        | 温度传感器 .....             | 31        |
| 4.1.4        | 重力传感器 .....             | 33        |
| 4.1.5        | 常见的传感器性能指标 .....        | 34        |
| 4.2          | 移动设备中的传感器 .....         | 36        |
| 4.2.1        | 距离感知 .....              | 37        |
| 4.2.2        | 重力感应 .....              | 37        |
| 4.2.3        | 心率感应 .....              | 37        |
| 4.3          | 传感器网络 .....             | 38        |
| 4.3.1        | 普适计算的概念 .....           | 39        |
| 4.3.2        | 传感器网络的要素 .....          | 41        |
| 4.3.3        | 传感器网络组织结构 .....         | 42        |
| 4.3.4        | 典型应用 .....              | 42        |
| 4.3.5        | 传感器网络的发展 .....          | 44        |
| <b>第 5 章</b> | <b>体感技术与穿戴式设备</b> ..... | <b>47</b> |
| 5.1          | 体感技术与 Kinect 简介 .....   | 47        |
| 5.1.1        | 什么是体感技术 .....           | 47        |
| 5.1.2        | Kinect 的发展简史 .....      | 47        |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| 5.2 Kinect 的基本工作原理 .....    | 48        |
| 5.2.1 基本构成 .....            | 48        |
| 5.2.2 Kinect 对动作的捕捉原理 ..... | 49        |
| 5.2.3 Kinect 对声音的捕捉原理 ..... | 51        |
| 5.2.4 骨骼追踪算法 .....          | 55        |
| 5.3 Kinect 的应用 .....        | 57        |
| 5.4 穿戴式设备 .....             | 58        |
| 5.4.1 智能头盔 .....            | 59        |
| 5.4.2 智能眼镜 .....            | 60        |
| 5.4.3 智能手表与手环 .....         | 62        |
| 5.4.4 智能服饰 .....            | 64        |
| <b>第6章 嵌入式系统基础</b> .....    | <b>67</b> |
| 6.1 概述 .....                | 67        |
| 6.1.1 嵌入式系统的应用和组成 .....     | 67        |
| 6.1.2 嵌入式计算机分类 .....        | 67        |
| 6.2 嵌入式系统的发展历程 .....        | 69        |
| 6.2.1 按操作系统划分 .....         | 69        |
| 6.2.2 按性能划分 .....           | 70        |
| 6.3 嵌入式系统与计算机的区别与联系 .....   | 71        |
| 6.3.1 概念上的区别 .....          | 71        |
| 6.3.2 技术发展方向不同 .....        | 72        |
| 6.3.3 体系结构不同 .....          | 72        |
| 6.4 嵌入式系统处理器概述 .....        | 73        |
| 6.4.1 发展历程 .....            | 73        |
| 6.4.2 基本特点 .....            | 74        |
| 6.4.3 微处理器与微控制器 .....       | 75        |
| 6.4.4 片上系统 .....            | 76        |
| 6.4.5 发展趋势 .....            | 76        |
| 6.5 嵌入式操作系统 .....           | 77        |
| 6.5.1 简介 .....              | 77        |
| 6.5.2 嵌入式操作系统的特点 .....      | 77        |
| 6.5.3 嵌入式操作系统组成 .....       | 78        |
| 6.6 嵌入式操作系统发展趋势 .....       | 79        |
| 6.7 嵌入式系统的典型应用 .....        | 80        |
| <b>第7章 物联网</b> .....        | <b>85</b> |
| 7.1 物联网概述 .....             | 85        |
| 7.1.1 什么是物联网 .....          | 85        |
| 7.1.2 物联网中物体的识别 .....       | 87        |

7.1.3 物联网中物体的定位与跟踪 ..... 89

7.1.4 物联网中物体的信息交互与监控 ..... 93

7.1.5 物联网中的能源供应 ..... 95

7.2 物联网应用 ..... 96

7.2.1 物流供应 ..... 96

7.2.2 智能家居 ..... 100

7.2.3 智能交通 ..... 104

7.3 展望 ..... 105

**参考文献** ..... 106

## 基础知识

纵观计算设备的发展历史,在半导体技术和集成电路飞速发展的推动下,数字计算设备的体积越来越小,功能越来越强大,人们能够将计算设备随身携带甚至穿在身上,从而实现移动中的使用,推动了传统互联网向移动互联网、物联网的发展。

本章将重点介绍数字计算设备的基本概念、发展历史、共同特征,以及一般制造过程,为后续章节的学习奠定基础。

### 1.1 数字计算设备概述

从广义上讲,人类开始制造机器以来,各种各样用于生产生活的各类机械或电动装置都可以统称为设备。在这些设备中,有一类设备工作或运行的目标是为了完成某种计算过程而非直接作用于现实世界。这类设备我们可以称为计算设备。为了完成计算任务,无论哪种计算设备,在运转过程中必须用某种具体的物理量或者状态来反映其计算过程中的输入、输出及中间结果的数值。对于本课程讨论的电子计算设备而言,其计算数值的物理载体是数字信号。

#### 1.1.1 模拟信号与数字信号

数字信号是相对于模拟信号而提出的。在自然界中,温度的变化、声音的高低、速度的快慢等信息都具有连续变化的特征,采用比拟或模拟方法来描述这类信息的物理量被称为模拟量,而传输模拟量的信号可看作模拟信号。

然而,在实际应用中,模拟信号在传输过程中很容易受到各种因素的影响而发生偏差,其精确度很难得到保证。一个典型的代表就是电视机——早期的模拟电视,人们常常需要不断地调整好天线的角度,保障良好的信号接收。但即便如此,图像上的干扰和失真现象仍然存在。而今,我们通过手机天线同样从空中接收信号播放各种视频,却再也不会出现早期电视画面上的那些干扰现象,这是为什么呢?答案就在于现在传输的是数字信号而不是模拟信号,它们之间的区别可以通过图 1.1 来认识。

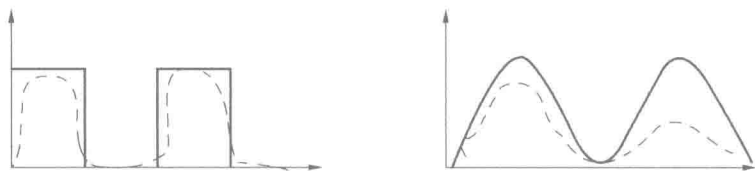


图 1.1 数字信号与模拟信号对比示意图

如图 1.1 所示(实线表示发送前的原始信号,虚线表示传输一段距离以后的信号),在传输原始信息的过程中,右边模拟信号在传输过程中很容易受到各种干扰而出现失真;图中左边数字信号在传输时虽然也会失真,但如果用高电平代表 1,低电平代表 0,失真的信号不影响人们对 0 和 1 的区分。此时,只要数字信号编码位数精度足够,就能更准确地传递信息。以数码相片为例,早期数码相机的拍摄质量是无法与传统光学成像的照片相提并论的,以至于业界多数人认为数码相机不可能用于专业摄影。如今,数码相片的画面编码量随着半导体芯片处理能力的提升成倍增长,画面的解析度越来越高,其画面的精细程度已经超过了人们肉眼分辨颗粒的能力,画面效果也几乎和光学成像效果相当。

### 1.1.2 什么是数字计算设备

在了解数字信号及其与模拟信号区别的基础上,我们就能在实际应用中将数字计算设备和其他电器设备区分开来。简言之,使用数字信号来编码表示信息、并进行传递、加工(计算)的电子设备就称为数字计算设备。需要注意的是,某些数字设备工作过程中也可能存在模拟信号,但从整个设备结构来看,数字信号处于加工处理传输的核心部分,而模拟信号往往处于外围输入输出部分。

由于数字信号具有高低电平的波形特征,1 代表高电平,0 代表低电平,则在对各种信息进行输入、处理、输出的过程中,所有信息都会以二进制 0 和 1 的某种组合形式来编码。

当信息以二进制形式表示后可以获得以下好处:

①在工程实践中信息传输、计算等所需要的硬件设备在制造难度、可靠性,以及生产成本等方面都能够得到较好的控制。

②以往用模拟方式实现的自然信息处理,现在可以转化为数字方式,在保障处理效果的同时,处理效率有质的飞跃。

在逻辑代数等数学理论的支持下,数字计算设备除完成传统的数值运算外,其逻辑加工能力更广泛地应用到数据库、工业控制、多媒体等非数值领域,成为人们智能化生产生活的核心设备。

数字计算设备的飞速发展与集成电路的制造技术密不可分。目前,超大规模集成电路(Very Large Scale Integration, VLSI)和极大规模集成电路(Ultra Large Scale Integration, ULSI)技术的不断成熟和发展,数字计算设备的体积越来越小,功能越来越强,而成本却不断降低,使得普通大众都能够享受到科技更新所带来的便利生活。此外,数字设备的灵活性在近年来也得到了显著提升,即使在产品交付使用之后,也可以通过各种升级方法提高其生命周期。

## 1.2 计算设备发展简史

计算设备发展到今天的水平,根据其实现核心计算过程的方式和信息载体,大致可以分为人工计算、机械计算、电子计算、集成电路等阶段。

### 1.2.1 人工计算时代

人工计算方式的特点就是计算过程是靠肢体运动来完成的。人工计算设备的典型代表就是算盘,用算盘进行的计算被称为珠算。对应于四则运算,珠算都有相应的珠算法则。在应付日常的一般运算时,熟练的珠算在加减法方面并不逊色于电子计算器。早在公元前5世纪,我国就开始出现算盘,并逐渐被推广到生产生活的各个方面。而从有关文献资料来看,国外也都出现过与算盘类似的人工计算设备。这些设备大致可以分为穿珠算盘、沙盘及算板3个类别。

我国的算盘就是穿珠算盘的典型代表,日本算盘和俄罗斯算盘也属于这类计算装置。相对而言,我国的算盘是比较先进的珠算工具。中国算盘用排列成串的算珠来计数,从右到左的各列依次代表个位、十位、百位等,上框的一个珠子相当下框的5个珠子。

日本算盘又叫“十露盘”,与中国算盘不同的是,日本算盘算珠的纵截面不是扁圆形而是菱形。另外日本算盘的尺寸一般较小而挡数较多。

俄罗斯算盘,我们很容易从造型上将这类算盘区分出来。算盘上有若干弧形木条横镶在木框内,每根木条上都穿着算珠,其作用和其他算盘的算珠类似。

人工计算设备的另两种类型是沙盘和算板。起初,人们在石板、桌面等平板上铺上细沙,用木棍等在细沙上写字、画图和计算,这些装置可以称为沙盘。后来,人们直接在平板上刻上若干平行的线条,通过在板上放置小石子(称为“算子”)来记数和计算,这些装置又被称为算板,如保存在雅典博物馆中的古希腊算板。

### 1.2.2 机械计算时代

机械计算设备,顾名思义就是以机械运动来完成计算的过程。显然,机械运动要比人力更加快捷,特别是在应对高强度的计算任务时。1623年,德国科学家W. Schickard制造了人类有史以来第一台机械计算机。随后,1642年,帕斯卡机械计算机问世。

不过,早期的机械计算机主要靠齿轮转动来解决运算过程的位数扩展,计算的范围比较有限,像帕斯卡机械计算机,只能做6位加减法。而且这些机械设备不能进行连续运算,运算速度较低。

1674年,科学家莱布尼茨对帕斯卡机械计算机进行了改进,使之成为一种能够进行连续运算的机器。同时,机械计算机的运算范围和精度也在不断提升。1822年,英国科学家巴贝奇制造出了第一台差分机,它可以处理3个不同的5位数,计算精度提高到6位小数。随后巴贝奇在1834年又将机器分为堆栈、运算器、控制器3个部分,提出了分析机的概念。

随着人类社会的不断进步和发展,人们对计算的要求也在不断提高。1880年,美国举行了一次全国人口普查,登记造册的人口规模在5000多万。由于当时正处于美国经济迅



人工计算



分析机

猛发展的时期,人口流动频繁,再加上普查项目繁多,从当年1月开始的普查,整整花了7年半的时间才把数据处理完毕。按照这种情况发展下去,接下来的人口普查工作很可能会“违法”(按美国法律,10年为一个人口普查周期)。为此,人们不得不开始研究新的计算方法。1890年,美国在第12次人口普查中使用了由统计学家霍列瑞斯博士发明的制表机,完成了人类历史上第一次大规模数据处理。1900年进行的人口普查全部采用霍列瑞斯制表机,平均每台机器可代替500人工作,全国的数据统计仅用了1年多时间。虽然霍列瑞斯发明的并不是通用计算机,除了能统计数据表格外,它几乎没有别的什么用途,然而,制表机穿孔卡第一次把数据转变成二进制信息。在以后的计算机系统里,用穿孔卡片输入数据的方法一直沿用到20世纪70年代,数据处理也发展成为计算机的主要功能之一。

在机械计算机发展的后期,有个别设备已经开始引入了电学内容。然而其主要核心计算过程还是机械运动,还没有完全进入计算机擅长的逻辑运算领域,因此,这些设备依然属于机械计算设备的范畴。

### 1.2.3 电子管时代

在电子技术不断进步的背景下,计算设备的核心过程开始从机械方式向电子运动转变,电子运动逐渐成为计算的主体,机械成为从属,从而进入了电子计算的崭新时代。

在电子计算时代,类似于机械计算时代的算盘用算珠来作为运算过程的载体,电子计算也需要载体。在电子计算发展之初,运算的载体是电子管,如图1.2所示是1895年英国工程师弗莱明利用“爱迪生效应”发明的第一只电子管。



图1.2 电子管

第二次世界大战爆发以后,来自密码破译的数据处理需求客观上对电子计算设备的发展也起到了推动作用。1943年,英国人制造的绰号为“巨人”的计算机成功地破译了德军密码,计算设备在人类历史上的作用日益重要。

1946年2月,ENIAC计算机在美国宾西法尼亚大学研制成功。这台计算机体积庞大,被安装在一排2.75 m高的金属柜里,占地面积达170 m<sup>2</sup>,总质量达到30 t。随后,美国的人口普查工作用上了这台计算机,人类社会也进入了计算机的时代。

与今天的计算机相比,这台计算机完全是个庞然大物,别说携带,就是移动都很困难。同样是计算机,为什么体积上会有这么大的差别呢?这与计算机核心电路的制造方法有关。早期的真空管(电子管)本身体积就不小,而作为基本元件,按照传统的组装方式,元件数目越多,体积就会不可避免地增大。当初在ENIAC计算机中就用到了17 468只电子管。随着人们计算需求的不断提高,计算数据展开成只有0,1两个符号的二进制位数会更多,因此,科学家们也意识到按传统方式制造数字电路,无法从根本上解决计算设备体积庞大的问题。于是科学家们开始设想:能否先造出一块体积符合要求的载体,然后再在上面“雕刻”划分出电子元件来。只要工艺水平足够高,就可以在同样的体积上获得足够多的元件。

1952年,英国雷达研究所的科学家达默在一次会议上提出:“把电子线路中的分立元器件,集中制作在一块半导体晶片上,一块晶片就是一个完整电路,使得电子线路的体积大

大缩小,可靠性大幅提高”。这就是初期集成电路的构想,而晶体管的发明使这种想法成为了可能,电子计算机的发展也进入了新的篇章。

#### 1.2.4 晶体管时代

事实上,人类很早就涉足晶体管研究。早在1929,工程师利莲费尔德就取得一种晶体管的专利。然而,晶体管早期的发展主要受限于制造工艺水平:1929年提出的这种晶体管就由于相关材料达不到足够的纯度而无法制造出来;早期出现的另一种点接触型晶体管也存在噪声大、功率大时难以控制、适用范围窄等缺点,致使产品故障率高。直到PN结型晶体管的问世,才使得晶体管的实用性得到了全面的提升。

1947年,第一个晶体管在美国贝尔实验室诞生。这种晶体管不仅能实现电流放大功能,而且成功克服了电子管体积过大、能耗高、结构脆弱的缺点。为了对晶体管的奥秘建立一个基本的认识,我们需要了解半导体材料(锗、硅等)的导电特性,并在此基础上认识P-N结,以及晶体管的开关特性。

##### (1) 半导体的导电特性

在中学物理课程中我们就知道,物质在微观层面是由原子组成的,而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成的。在原子结构中,电子分成几层围绕原子核不停地在运动。对于不同的物质而言,原子核对外层电子的束缚力是有差别的。对金、银、铜、铁等人们常说的导体,外层电子受到原子核束缚力较小,大量游离在外层的电子很容易挣脱原子核的束缚而变成自由电子。一旦对这些物质做成的材料施加外电场,这些电子的流动就形成了电流。而对于橡胶、塑料、陶瓷、木材等绝缘体,原子核对外层电子的束缚力较强,即使外界施加很高的电压,这些电子也很难流动起来形成电流。

而半导体的导电特性顾名思义就是介于导体和绝缘体之间。这是由半导体特殊的原子结构决定的。

如图1.3所示,作为半导体的典型代表硅,其原子结构中原子核外层电子要达到8个时才是稳定状态。因此,当硅原子在组成硅晶体时,每个原子对四周相邻原子外层电子的争夺使得两两相邻的硅原子处于共享一个电子对的状态,即形成共价键结构。这种特殊的共价键结构使得硅的原子核对外层电子的束缚力既不像导体那么强,也不像绝缘体那么弱。

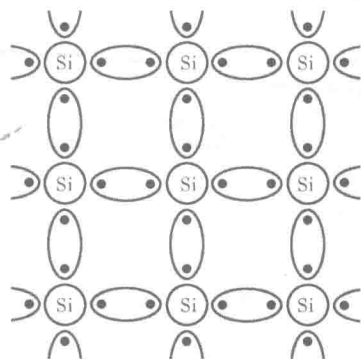


图 1.3 硅晶体的共价键结构

当共有电子挣脱了原子核的束缚成为自由电子后,它留下的空位被称为空穴。空穴附近的共有电子很容易对这个空位进行填补。从电子的角度,我们把这种填补运动称为电子载流子;而从空穴的角度,则称为空穴载流子。显然,这两种运动的方向是相反的。我们在外部施加电压时,半导体内部自由电子将按一个特定方向进行定向运动形成电流,但比导体要小。

(2)P-N 结

单晶半导体一个可贵的特性就是其中的电子载流子和空穴载流子是可控的。在相关工艺的帮助下,通过加温、光照、掺入杂质等方式可以有效改变半导体的导电性能,直到其达到使用要求。其中,如图 1.4 所示通过掺入三价硼元素和五价磷元素形成的半导体分别被称为 P 型半导体和 N 型半导体。

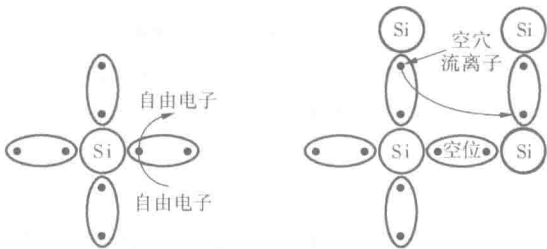


图 1.4 P 型半导体和 N 型半导体

简单而言,由于硼原子外层只有 3 个电子,在与硅原子组成共价键时自然形成一个空穴。而 5 价的磷元素外层有 5 个电子,与硅原子组成共价键自然多出一个电子。当我们把这两种材料压合在一起时,在交界面上就会形成一个 P-N 结。

在微观层面,我们可以观察到 P-N 结内部会出现两种运动。首先,N 型半导体中多出来的自由电子很容易向 P 型半导体扩散(因为 P 型半导体里面正好有多余的空穴),我们将这种运动称为扩散运动。然而,随着扩散运动的进行,原先电荷平衡的 N 区由于电子数减少带正电,P 区由于扩散过来的多余电子而带负电,这样便形成了一个所谓的空间电场。我们都知道电流的方向和自由电子移动的方向是相反的,因此,该电场的作用力是使电子从 P 区向 N 区运动,这个运动被称为漂移运动。在 P-N 结形成过程中,随着扩散运动的进行,从 N 区“跑”到 P 区的电子越多,空间电场的作用力也在逐渐加强,使得漂移运动不断加强。当扩散运动减弱到和漂移运动相互抵消时,P-N 结就相对平衡下来了,其宽度也达到了一个稳定值。

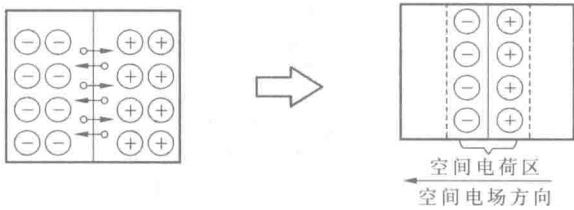


图 1.5 P-N 结的形成过程示意图

(3)晶体管的开关特性

当在半导体 P-N 结两端施加外部电压时,上述的平衡状态就被打破了。如果外部电场的作用是在帮助扩散运动,我们能够获得较大的电流(P 区本来就有很多“空位”等着 N 区

的电子去“坐”)；而如果外部电场的作用是想把P区已经“坐”在位置上的电子“拽”出来往N区移动,这是比较困难的,从外部来看呈现了很大的电阻。这种现象正是我们所需要的单向导电特性。

简单地讲,我们利用这种特性做出的晶体管可以形成各种逻辑门电路。而由逻辑门电路组成的设备我们可以利用其开关特性,通过各种编码手段,把人们需要处理的信息和数据都变成电的信号,从而实现高速运算。

### 1.2.5 大规模集成电路

在晶体管问世之后,以此为基础制造的集成电路可以将计算过程中所需的大量逻辑元件微型化浓缩到一个体积很小的模块,使得人们想把以往庞大的电路系统缩小集成在一个小块上的梦想成为了现实。随着人类社会的发展,计算规模、速度、复杂度不断在提高,人们总是希望在同样大小的模块里,容纳更多的晶体管单元。因此,在集成电路的发展过程中,制造工艺成为发展的关键。

一般而言,按照集成程度在数量级上的不同,电子计算设备的制造工艺可分为小规模集成电路(Small Scale Integration, SSI)、中规模集成电路(Medium Scale Integration, MSI)、大规模集成电路(Large Scale Integration, LSI),乃至超大规模集成电路(VLSI)。到底这种集成度是怎样一个紧密程度呢?我们可以作一个直观的对比:早在80586的CPU中,大约500个晶体管串接起来才能绕人的头发丝一周。

此外,计算速度的提升对数据的输入输出方式、存储能力也提出了更高要求。传统纸带方式很快就被淘汰掉了,磁盘、光盘、闪存、固态硬盘,乃至可以不断扩充的云盘等新型存储设备或技术应运而生。得益于技术的发展,人们获得单位存储空间所需的成本逐年在降低,使得信息化产品的普及得以实现,人类社会进入信息时代。

纵观计算设备的发展历史,不难发现,随着人们生产生活的发展变化和科学技术的不断进步,对计算的规模、复杂程度、精确度、速度等提出了越来越高的要求。正是这些现实的需求不断地催生了各种新的计算方式和设备。

## 1.3 计算设备的制造

随着计算设备核心计算过程从人工、机械方式向脉冲信号、大规模集成电路的演进,计算设备的运算能力越来越强大,体积越来越小,这对设备制造的工艺也不断提出了新的挑战。当前,针对一个典型的计算设备,其制造过程一般涉及芯片制造、电路板生产、产品组装测试、维护升级等阶段。

### 1.3.1 芯片的制造过程

从微观层面来看,包括机器设备在内的任何物体其组成元素都来源于大自然。作为数字计算设备中核心部件的芯片在自然界的原始物质是硅。一般而言,从自然界获取的硅到制作为芯片需要经历以下几个步骤:

①将硅从石英沙中精练出来并提纯制成硅晶棒,便得到了制造集成电路石英半导体原

始材料。硅晶棒通过滚圆形成一个符合直径要求的圆柱体,其后从上面切下厚度为 0.2 ~ 0.8 mm 的切片被称为晶圆,是芯片制造的载体。在切片的过程中,如何快速且均匀等厚度地完成切片是生产晶圆的关键工艺。

②对切割下来的晶圆进行抛光沉积等处理后,涂上对紫外光敏感(遇紫外光变软)的化学物质。使用一定形状的遮光物后再用紫外光直射,这样未覆盖的部分遇到紫外光被溶解并用溶剂将其冲走,剩下的部分就与遮光物形状一样了。因此,可以通过控制遮光物的来获取我们所需的二氧化硅层。这个过程也称为光刻显影、蚀刻。

③掺杂杂质。硅片上暴露的区域接触到化学离子混合液则会生成 P, N 型半导体,从而改变掺杂区的导电方式,每个晶体管可以形成通、断或携带数据的状态。当芯片需要多层这种结构时,可将以上流程不断重复,形成一个立体结构,而各个二氧化硅层之间可通过开启窗口连接起来。

④晶圆测试。经过以上步骤后,晶圆上形成了数量庞大的格状晶粒。晶圆测试需要对每个晶粒用针测方式进行电气特性检测。针测过程的组织非常复杂且成本昂贵,当然这部分花销可以分摊到同等型号规格的芯片上。因此,同型号芯片的产量越大,成本往往摊得越低。

⑤封装与发布。芯片需要通过引脚才能与外部电路进行数据传输。将制造完成晶圆固定,绑定引脚,根据具体应用场景采用相应的封装形式进行封装,并进一步测试确认其性能,淘汰不良品,最终得到用于实际电路系统的产品。

需要注意的是,在生产过程中一般晶圆越薄,综合的成本就越低,但对工艺的要求也越高。

### 1.3.2 PCB 的制造过程

在芯片制造完成后,要与其他电子元件通过一个电路板(PCB 印刷线路板)连接到一起,最终才能形成一个完整的系统。

以最具代表性的电子计算机为例,去掉机器的外壳后,可以看到如图 1.6 所示的电路板。事实上,各种电子产品内部,都有类似的电路板将包括芯片在内的各部分电子零件连接到一起,成为电子产品的母体。因此,PCB 又被称为“电子产品之母”。在 PCB 上,我们可以看到各种不同类型的电子元件,它们在设备工作过程中各自承担了一定的任务,而其中

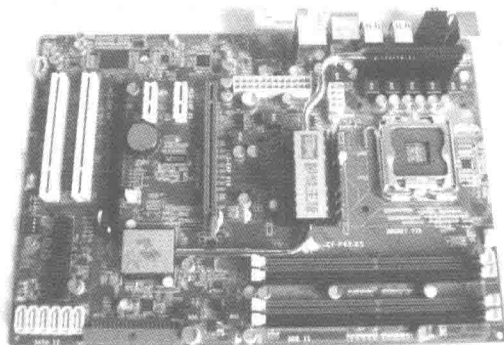


图 1.6 电脑主板图

中最关键的部分就是芯片。由于芯片集成度高,具备计算和存储方面的强大能力,往往整个电路板的工作实际上是在芯片的指挥下进行的。当然在电路板中的芯片也往往是造价最昂贵的部分。图 1.6 中的电路板用于电子计算机,其功能比较通用;而针对不同应用领域专门设计的 PCB 更是几乎涵盖了工业、农业、金融、通信、医疗、航天、军事、娱乐、教育等与人类社会生活相关的所有领域。

PCB 的大规模制造生产是由 PCB 工厂完成的,但一般工厂只负责 PCB 板的实现,其设计由专门的公司来做。就像建造一座大楼首先需要设计图纸一样,PCB 设计阶段工程师们的工作成果称为原理图,同时再加以布线得到线路图。而工厂根据符合规范的线路图就能将电路板实际生产出来。一个好的 PCB 电路板除了要实现所需的功能,还应考虑如何与外部建立连接;如何优化内部元件、金属连线,以及通孔的布局;如何使其符合电磁保护、热耗散等因素的要求。

对于复杂的电路版图设计,人们可以借助计算机辅助设计 CAD 工具(如 PROTEL 等),其效率远远高于手工方式。

一般而言,传统 PCB 的制造流程如图 1.7 所示。

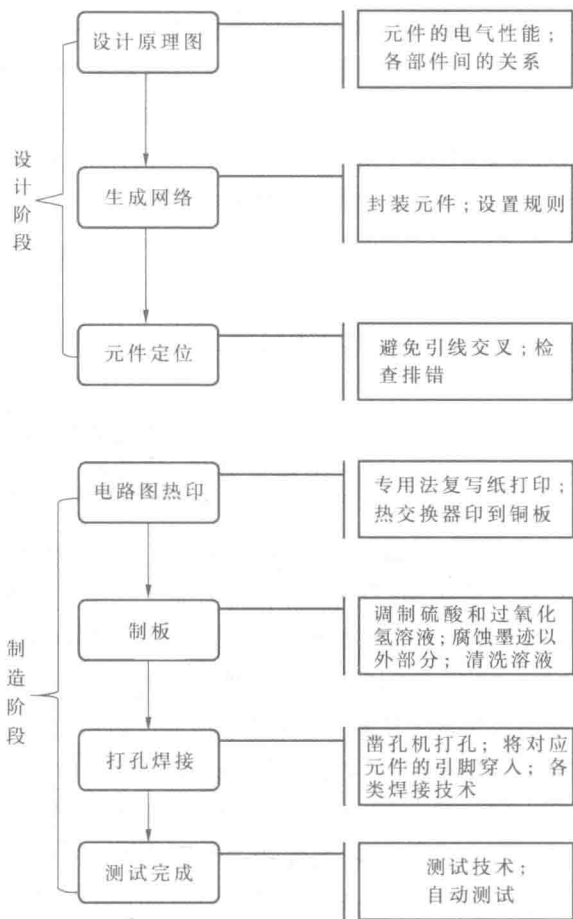


图 1.7 PCB 制造流程示意图

### 1.3.3 产品的组装与测试

在 PCB 板制造完成后,通过人工或自动的方式与其他外围部件、机壳等部件组装到一起就得到最终的产品了。不过在任何产品组装完成后,都必须经过严格的测试才能发布到市场上去。