

集成电路的原理和应用

天津市无线电技术研究所编译 · 人民邮电出版社

73.755
131

集成电路的原理和应用

天津市无线电技术研究所编译

3K520/18



内 容 提 要

本书是为帮助已了解晶体管的读者向集成电路知识过渡的入门书,也可以作为实际应用集成电路的参考书。书中首先对集成电路的基础知识作了概括介绍,然后分别对数字集成电路和线性集成电路作了比较深入的电路分析,并通过应用举例来加深对集成电路性能的理解。对金属-氧化物-半导体集成电路也作了一般介绍。可供电信、无线电和其他有关部门的广大工农兵和技术人员阅读参考。

本书主要根据日文书《IC 活用事典》(集成电路应用手册,柳泽 健主编)编译而成。

集 成 电 路 的 原 理 和 应 用

天津市无线电技术研究所编译

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街 27 号

天津印刷一厂印刷

新华书店发行

(只限国内发行)

*

开本: 787×1092 1/32 1975年12月第一版
印张: 14 28/32 页数: 238 1975年12月北京第一次印刷
字数: 336千字 印数: 1—44,000册

统一书号: 15045·总 2037—无 608

定价: 1.05元

序 言

在无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下，我国电子工业战线上的广大工人、干部和技术人员，认真贯彻毛主席的无产阶级革命路线，坚决执行独立自主、自力更生的方针，大搞群众运动，促进了电子工业的蓬勃发展。集成电路这一新技术也得到了迅速的发展和广泛的应用。为了普及集成电路的知识，进一步推广集成电路的实际应用，当前很需要提供有关的图书资料。

日文书《IC 活用事典》（集成电路应用手册），是一本为已了解晶体管的读者写的向集成电路知识过渡的入门书，也是实际应用集成电路的一本参考书。书中首先对集成电路的构造、特性及其使用方法等基础知识作了概括介绍，然后分别对数字集成电路和线性集成电路作了比较深入的电路分析，并通过应用举例来加深对集成电路性能的理解。对金属-氧化物-半导体（MOS）集成电路也作了一般介绍。写法由浅入深，比较通俗易懂；内容比较丰富，尚能结合实际。我们本着“洋为中用”的精神，将该书编译出版，可供电信、无线电和其他有关部门的广大工农兵和技术人员参考。根据本书的内容和性质，定名为《集成电路的原理和应用》。

为了便于我国读者参考，我们选编了“我国半导体集成电路型号命名方法”、“国产半导体集成电路管脚排列次序”、“部分常用国产半导体集成电路简介”等资料，作为附录，列于书末。

本书稿曾请北京邮电学院有关专业教师详细审阅，在此谨表谢意。

天津市无线电技术研究所

32530

一九七五年二月

目 录

序言

第一章 集成电路入门	1
1.1 什么叫集成电路	1
1.1.1 集成电路的意义	1
1.1.2 集成电路的定义和分类	7
1.2 集成电路的基础知识	12
1.2.1 晶体管的复习	12
(1) 半导体中的电子和空穴的迁移	12
(2) 晶体管的偏置方法	19
(3) 高频晶体管的特性	22
(4) 功率晶体管的特性	23
1.2.2 集成电路中的电路元器件的特性	25
(1) 晶体管	25
(2) 二极管	29
(3) 电阻	29
(4) 电容器	32
1.3 集成电路的结构和制造方法	33
1.3.1 集成电路的制造方法	33
(1) 双极性集成电路的结构和制造方法	35
(2) 金属-氧化物-半导体(MOS)集成电路的结构和制造方 法	44
(3) 膜集成电路的结构和制造方法	46
1.3.2 集成电路的各种外壳	49
1.4 集成电路的实际使用方法	52
1.5 集成电路的安装方法	58
1.6 集成电路的现状和将来	62

第二章 数字电路入门	70
2.1 数字电路和集成电路	70
2.1.1 数字电路不难理解	70
2.1.2 数字电路容易集成化	71
2.2 模拟与数字	73
2.3 二进位制	74
2.4 基本逻辑	76
2.4.1 逻辑和=或门	77
2.4.2 逻辑乘=与门	79
2.4.3 非(否定)=反相门	82
2.4.4 或非和与非	83
2.4.5 禁止	84
2.5 从开关电路转换为逻辑式	85
2.6 逻辑式的各种性质	87
2.7 从真值表转换为逻辑式	91
2.8 从逻辑式转换为逻辑图	93
2.8.1 基本转换方法	93
2.8.2 用与非门进行转换	93
2.8.3 输出端直接耦合(线或门, 线与门)	95
第三章 晶体管逻辑电路	99
3.1 晶体管门	99
3.1.1 晶体管的大信号工作	99
3.1.2 饱和型晶体管门	101
3.1.3 非饱和型晶体管门	103
3.1.4 晶体管的开关时间	105
3.2 二极管门	112
3.2.1 用二极管组成门的方法	112
3.2.2 二极管门的开关时间	113

3.3 金属-氧化物-半导体(MOS)晶体管门	115
3.3.1 金属-氧化物-半导体(MOS)晶体管的特性	115
3.3.2 金属-氧化物-半导体(MOS)晶体管门	117
3.3.3 金属-氧化物-半导体(MOS)晶体管的开关时间	118
3.4 触发电路	120
3.4.1 简单的触发电路	120
3.4.2 优先置位触发器和寄存器	124
3.4.3 移位寄存器和 JK 触发器	127
第四章 逻辑电路的有关定义和测量方法	133
4.1 正逻辑和负逻辑	133
4.2 逻辑电平和系列	135
4.3 输入-输出特性	137
4.3.1 输入-输出特性(1)——可容许的电平范围	137
4.3.2 输入-输出特性(2)——考虑到噪声问题	141
4.4 噪声	142
4.4.1 噪声容限	142
4.4.2 噪声容限的测定	144
4.5 输入、输出电路	147
4.5.1 输入、输出端数	147
4.5.2 单位负载	148
4.6 脉冲的延迟	149
4.6.1 传输时间及其测量方法	149
4.6.2 开关时间	151
4.7 数字集成电路的规格	155
4.7.1 检验规格和使用基准	155
4.7.2 关于极限参数	157
第五章 数字集成电路的种类和实例	160
5.1 各种逻辑电路	160

5.1.1 集成化的逻辑电路	160
5.1.2 逻辑电路对比的基准	161
5.1.3 饱和型与非饱和型逻辑电路	162
5.2 直接耦合晶体管逻辑电路(DCTL 电路)	163
5.3 电阻-晶体管逻辑电路(RTL 电路)	164
5.4 二极管-晶体管逻辑电路(DTL 电路)	167
5.4.1 二极管-晶体管逻辑电路的工作原理	167
5.4.2 二极管-晶体管逻辑电路的性质	168
5.4.3 二极管-晶体管逻辑电路的与门扩展器	169
5.4.4 集电极负载的影响	171
(1) 集电极电阻的作用	171
(2) 集电极负载电容的影响	171
5.4.5 二极管-晶体管逻辑电路的使用方法	172
5.5 晶体管-晶体管逻辑电路(TTL 电路)	174
5.5.1 晶体管-晶体管逻辑电路的工作原理	174
5.5.2 门的漏电流	175
5.5.3 电流尖峰	177
5.5.4 晶体管-晶体管逻辑电路的“或”门	178
5.5.5 晶体管-晶体管逻辑电路的性质	180
5.6 电流型逻辑电路(GML 电路)	181
5.6.1 电流型逻辑电路的工作原理	181
5.6.2 电流型逻辑电路的性质	183
5.7 互补晶体管逻辑电路(CTL 电路)	187
5.8 存贮电路	189
5.8.1 集成化存贮电路的工作原理	189
5.8.2 移位寄存器	195
5.9 金属-氧化物-半导体(MOS)集成电路	195
第六章 数字集成电路的应用	203
6.1 各种数字设备的共同事项	203

6.1.1	时钟与同步	203
6.1.2	组合电路与时序电路	206
6.1.3	串行方式和并行方式	208
6.2	运算电路	209
6.2.1	各种二进制制	210
6.2.2	加法电路	212
6.2.3	减法电路	216
6.2.4	乘法电路	219
6.2.5	除法电路	220
6.2.6	电子计算机的组成部件	221
6.3	计数器电路	222
6.3.1	简单的计数器(非同步计数器)	223
6.3.2	同步串行进位计数器	224
6.3.3	同步并行进位计数器	225
6.3.4	二十进制的计数器	226
6.4	其它各种电路	228
6.4.1	奇偶校验电路(奇偶判定电路)	228
6.4.2	重合电路	228
6.4.3	多数表决电路	232
6.4.4	译码器	233
6.4.5	编码器	238
实验 1	数字集成电路的实验(计数器)	241
第七章	线性集成电路基础	249
7.1	线性电路集成电路化的优点	249
7.1.1	能否实现小型轻便的优点	249
7.1.2	能否提高可靠性	250
7.1.3	能否提高性能	251
7.1.4	能否提高经济性	252
7.2	使用线性集成电路时, 在电路设计中应考虑	

几个问题	252
7.2.1 集成电路的规格	252
7.2.2 在系统设计中应该考虑的问题	254
7.3 线性集成电路的原理与电路形式	255
7.3.1 集成电路和分立元器件电路的不同	255
7.3.2 线性集成电路的基础电路	257
(1) 直流电路	257
(2) 放大电路	263
(3) 级间电路	269
(4) 功率放大电路	271
7.3.3 集成电路的分析方法	272
第八章 线性集成电路的基本电路	275
8.1 差动放大器基础	275
8.1.1 为什么用差动放大器作为线性集成电路的基本电路	275
8.1.2 差动放大器的工作原理	276
(1) 平衡状态	276
(2) 对漂移的补偿	279
8.1.3 差动放大器的基本特性	283
(1) 传输特性	283
(2) 互导	286
(3) 发射极电阻的效用	287
8.1.4 共模抑制比	288
8.1.5 集成电路差动放大器的失调	290
(1) 输出电压失调的测试	291
(2) 输入电压失调的测试	291
(3) 输入电流失调的测试	291
8.1.6 恒流电路	292
(1) 恒流电路的一般电路程式	292
(2) 基本电路的温度补偿	293

8.1.7 单端差动放大器	293
8.2 负反馈放大电路基础	295
8.2.1 稳定化的方法	295
8.2.2 反馈电路的理论	296
8.2.3 负反馈的方式	297
8.2.4 负反馈的用途	297
(1) 稳定化作用	298
(2) 线性的提高	298
(3) 输入输出阻抗的控制	299
(4) 使放大器具有特定的频率特性	300
(5) 输出噪声的减小	301
8.2.5 负反馈对等效输入噪声的影响	301
(1) 等效输入噪声及噪声系数	302
(2) 晶体管的等效输入噪声	303
(3) 发射极电阻产生的负反馈及其等效输入噪声	304
(4) 从集电极反馈到基极的负反馈及其等效输入噪声	305
8.2.6 负反馈放大电路的稳定性	306
(1) 乃奎斯特稳定度判断法	306
(2) 相位特性	307
8.2.7 采用反馈放大电路的集成电路举例	309
8.3 运算放大器基础	310
8.3.1 理想放大器	311
8.3.2 运算放大器的基本理论	312
(1) 闭环运算放大器的等效电路	312
(2) 反相型反馈电路	313
(3) 非反相型反馈电路	322
(4) 相移的影响	325
8.3.3 实际运算放大器的误差	332
(1) 由于负载电阻为有限值而产生的误差	333

(2) 由于失调而产生的误差	333
(3) 由于同相增益而产生的误差	335
8.3.4 运算放大器的相位补偿法	337
(1) 闭环补偿法	337
(2) 开环补偿法	340
8.3.5 集成化运算放大器的电路程式	350
(1) 运算放大器的电路程式	350
(2) 集成化运算放大器电路举例	352
8.3.6 使用集成化运算放大器的注意事项	356
(1) 运算放大器的选择	356
(2) 运算放大器特性的测试方法	356
(3) 排列及布线的注意事项	357
(4) 自锁的防止	362
(5) 其它保护电路	363
(6) 加外部器件提高运算放大器性能	364
第九章 线性集成电路的实例与应用	366
9.1 直流放大器、低频放大器、宽频带放大器等	366
9.1.1 小信号放大器	366
(1) SE 505 差动放大器	367
(2) CA 3000 差动放大器	367
(3) PA 230 平衡差动放大器	369
(4) MC 1303 双路平衡放大器	369
9.1.2 功率放大器	373
(1) PA 237 功率放大器	373
(2) AN 130 功率放大器	373
(3) CA 3020 平衡差动功率放大器	376
(4) PA 222 功率放大器	376
(5) MC 1524 功率放大器	379
(6) PA 246 功率放大器	379

(7) M 5151 S 音频放大器	382
(8) STK-003 功率放大器	382
9.1.3 其他用途的集成电路	385
(1) WS 183 助听器用集成电路	385
(2) CA 3035 放大器	385
(3) PC-511 稳压电源用集成电路	389
9.2 射频放大器、中频放大器和混频器	389
9.2.1 调幅收音机用集成电路	390
(1) IC-161 收音机用集成电路	390
(2) IC 1A-1 收音机用集成电路	392
(3) M 5104 P 收音机用集成电路	394
9.2.2 多用途集成电路	396
(1) μ A 703 多用途集成电路	396
(2) CA 3004、CA 3005 和 CA 3006 多用途集成电路	396
(3) LA 1111 多用途集成电路	402
(4) CA 3042 电视伴音电路用集成电路	402
(5) NE 510 A 双差动放大器	405
9.2.3 调频/调幅收音机用集成电路	405
(1) LA 1201 调频/调幅用中频放大器	407
(2) 多片式调频/调幅收音机用集成电路	407
9.2.4 混合集成电路	412
9.3 运算放大器	415
9.3.1 集成化运算放大器的实例	415
(1) μ A 702 和 μ A 709 类型的运算放大器	420
(2) AN 118 运算放大器	425
(3) CA 3033 运算放大器	425
(4) MC 1553 类型运算放大器	426
(5) μ A 741 运算放大器	426
(6) 809 C 运算放大器	428

(7) 4 JPA 107 运算放大器.....	429
9.3.2 集成化运算放大器的应用.....	429
(1) 运算放大器在运算器中的应用	429
(2) 运算放大器的其他应用电路	434
实验 2 线性集成电路的实验 (运算放大器)	441
(1) 运算放大器用集成电路的测试和实验	441
(2) 运算放大器用集成电路的应用	445
(3) 均衡电路的实验	446
(4) 加法器的实验	447
附录 I 我国半导体集成电路型号命名方法	448
附录 II 国产半导体集成电路管脚排列次序	451
附录 III 部分常用国产半导体集成电路简介	451

第一章 集成电路入门

1.1 什么叫集成电路

1.1.1 集成电路的意义

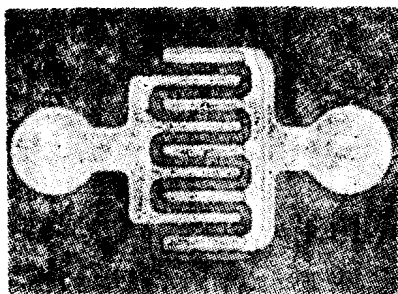
从晶体管发展到集成电路，又从集成电路发展到大规模集成电路，这一巨大的技术进步，受到人们的好评。但是另一方面，这又是在同一的半导体技术上按必然的进程发展起来的。

那么在集成电路的技术中，到底那些是革新的，那些是属于逐渐发展起来的呢？让我们先从这一点谈起。

晶体管是应用“在固态中运动的电子”的器件，这一点和电子管不同，它确实是一种技术革命。但继晶体管发展起来的集成电路，以及大规模集成电路，不能不说是早已隐藏在晶体管最简单的特性中了。人们都知道，“晶体管都附有叫作基极电阻或者集电极电容等的寄生参数”。这些参数是损害晶体管高频特性的因素，希望这些参数值等于零。不管怎样，它们都作为电阻 R 或电容 C 在起作用。如果把这些参数更积极地加以利用，和晶体管本身适当地组合起来，就能直接组成电路，这一点不是谁都能想象得到的吗？但是这种设想在成为事实之前，还必须解决大量的技术问题。

关于这些问题的详细内容属于专论范围，本书将另设专栏加以说明。在这里简单介绍其要点如下。

(1) 把各种元器件作在一块硅晶体片中，而且彼此之间在



照片 1.1 平面晶体管的放大照片

电气方面互相隔离的技术；

(2) 把许多元器件作在硅晶片 中，把所有的输入、输出端子都平摆在硅片的表面上的平面技术（参阅照片 1.1）。

这几点是主要的，此外，外延技术，隐埋扩散技术等也是为制作集成电路所必须的。

集成电路技术的发展

1960 年以前制作的硅晶体管，大部是台式晶体管，基极和发射极部分比集电极突出在外。最初制成的集成电路是利用台式晶体管技术的，如图 A 所示。图 A 为双稳态触发器，在一片硅片上有两个台式晶体管，每个晶体管都装有引线，硅片其余部分都起着电阻的作用。从图可以看到，硅片中不需要的部分被切掉了。象这样，在初期的集成电路中，组成电路的晶体管 T_1 ，电阻 R ，电容 C 等元器件，互相之间没有明显的界限，采取在同一硅片中“共存”的形式。

这样的结构不但元件之间的互相干扰不可避免，而且不能设想制作复杂的电路。因此出现了一种想法，就是废掉这种“共存”的形式，而在元件之间用“墙壁”隔开。这种技术叫作隔离。隔离有几种不同的方法，关于这些方法，请参阅 1.3.1 节的 (1) (a) 段。用这种技术，即使把许多元器件

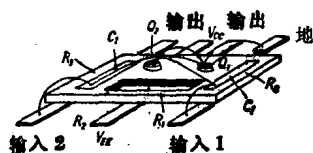


图 A 初期的台式集成电路 (1959 年)

挤装在一片小硅片上，借助“墙壁”的隔离作用，也能使它们在电路上互不干扰。

其次介绍对集成电路有很大贡献的平面技术。初期的集成电路，其元器件之间是用引线连接的。安装引线时要靠手工。总之这和迄今为止所沿用的元器件的焊接方法没有什么不同。为了解决这一问题，需要用蒸发铝膜的方法一次完成连接工作，但是图 A 那样的凹凸不平的结构不可能作到这一点。从 1960 年左右就开始制作平面式结构的硅晶体管。它和台式晶体管不同的地方是：其基极、发射极和集电极的表面在同一平面上，而且其表面覆盖着稳定的氧化膜。在制作集成电路时，在此氧化膜上适当地开几个装电极引线的孔，蒸发上铝，即可完成连线。

最后介绍外延技术。外延法不是向硅片里扩散杂质，而是在基片上堆积一层新的硅层，制出一层新的半导体层。因此在集成电路中，可用所需杂质的数量，来作成所需电阻率的半导体层（参阅图 B）。

经过上述过程，初步形成了近代的集成电路。由此可知，在完成现今的集成电路之前，逐一解决了大量的技术问题，因而不能简单地认为集成电路只是晶体管的延续。

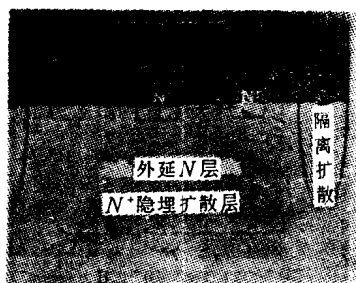


图 B 集成电路的断面图

象这样集技术之大成，才制成了集成电路。即使集成电路在技术上是晶体管，尤其是在硅晶体管的基础上发展起来的，但从工业方面或从技术史方面来看，它还是有很大的意义。对此试论如下。

首先，集成电路是把许多元器件，包括相互间的连线，一次制成的技术。如照片 1.2 所示，数百个集成电路用同一生产程序制作在一片硅片上。如同多轴钻床用许多钻头同时打许多