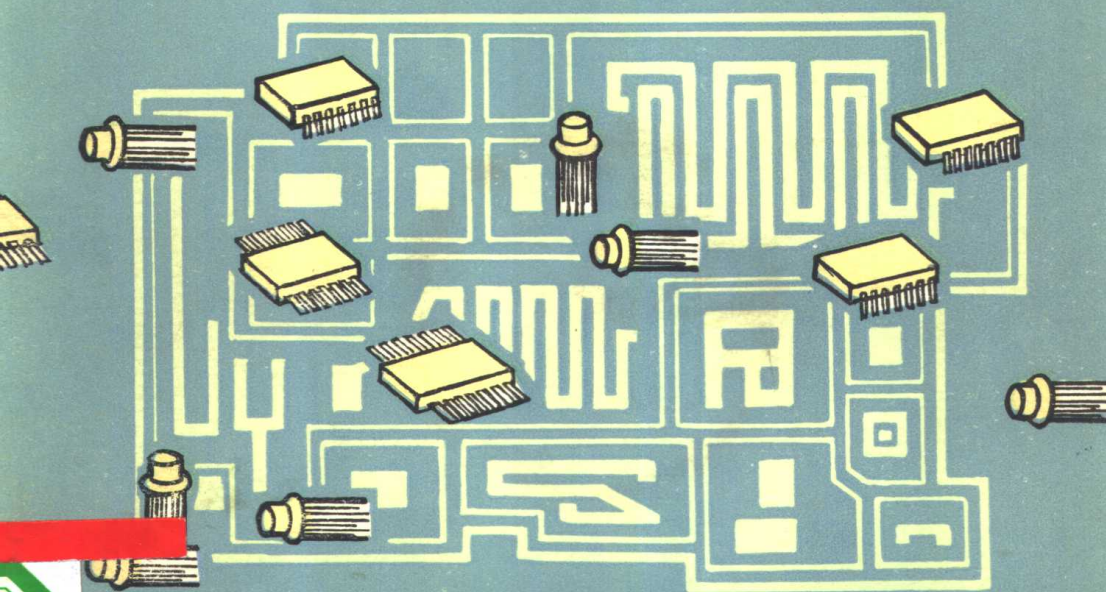


自然科学小丛书

半导体集成电路



北京人民出版社

自然科学小丛书

半导体集成电路

北京邮电学院工农兵学员编
器件车间工人

北京人民出版社

自然科学小丛书

半导体集成电路

北京邮电学院工农兵学员编
器件车间工人

*

北京人民出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印刷

*

787×1092 毫米 32 开本 1.875 印张 26,000 字

1976 年 7 月第 1 版 1976 年 7 月第 1 次印刷

书号: 13071·48 定价: 0.16 元

编辑说明

为了帮助广大工农兵和青少年学习自然科学知识，更好地为社会主义革命和社会主义建设服务，我们编辑了《自然科学小丛书》。

这套小丛书是科学普及读物，它以马克思主义、列宁主义、毛泽东思想为指导，用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点，结合三大革命斗争实践，介绍自然科学基础知识。在编写上，力求做到深入浅出，通俗易懂，适合广大工农兵和青少年阅读。

由于我们水平有限，又缺乏编辑科学普及读物的经验，难免有缺点和错误，恳切希望广大读者批评指正。

毛主席语录

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

目 录

- 一 什么是集成电路.....(1)
 - 电子器件的新老四代(1) 集成电路是怎么回事(3) 集成电路“三兄弟”(6) 半导体集成电路的特性(8)
- 二 从半导体和晶体管谈起.....(11)
 - 半导体是怎样导电的(11) 杂质的奇妙作用(13) P—N 结和晶体管(16)
- 三 半导体集成电路的制造.....(21)
 - 半导体集成电路是做在“外延”层上的(22) 把各个元件隔开(25) 集成电路中的元件(26) 给集成电路硅片穿“外衣”(30) 照相制版技术为生产集成电路服务(31) 扩散法掺杂(32)
- 四 大规模集成电路.....(35)
 - 什么是大规模集成电路(36) 大规模集成电路可靠吗?(37) 大规模集成电路的内部是怎样连接的?(38) 大规模集成电路的一支生力军(39)
- 五 集成电路的应用.....(43)
 - 电子计算机的“细胞”(47) “上天入地”技术中的集成电路(48) 长途电话自动转接(49) 数字控制机床(49)

一 什么是集成电路

集成电路是六十年代发展起来的一种新型的电子器件。目前它已经广泛应用在人造卫星、宇宙航行、导弹、电子计算机、广播、电视、通信和各种自动控制系统中。

在毛主席“自力更生，艰苦奋斗”伟大方针指引下，我国集成电路的生产和研制发展很快。特别是无产阶级文化大革命以来，集成电路的生产无论在数量上或品种上都有较大的增长。集成电路在工农业生产、国防和科学研究领域里得到了越来越广泛的应用。在谈这些应用之前，先让我们看一下集成电路是怎样随着生产斗争和科学实验的发展而发展起来的。

电子器件的新老四代

如果我们追溯一下电子器件的“家谱”，便会发现：它已经历了电子管——晶体管——集成电路——大规模集成电路这新老四代。

自从一九〇四年第一支真空二极管问世以来，它便以其特有的长处而迅速被采用，取代了原始的矿石检波器。在它的基础上，人们进一步生产出电子三极管、四极管、五极管以及其他电真空器件，这些便是我们所熟悉的电子管。电子管通常被人们称为第一代的电子器件。

自然界总是不断发展的。一九四八年晶体管出世了，它标志着电子器件第二代的开始。晶体管以体积小、重量轻、耗电少、寿命长等优点使它的前辈——电子管大为逊色，因而在很多方面逐渐代替了电子管。到了六十年代，它广泛地应用在电子计算机和其他电子设备中。它们的出现，给电子设备的小型化带来了很大的方便，给电子器件的“家谱”增添了新的一页。

由于电子计算机、宇宙航行的迅速发展，迫切要求减轻电子设备的重量，缩小体积，提高可靠性。但是，后来人们发现，在一些使用要求可靠性很高，设备要求微型化的复杂的宇宙航行，军事技术以及高速电子计算机等电子设备中，使用的元件数量达几百万个，连接的焊点数目多得惊人，尽管人们事先对它们作了精心的挑选和检验，依然不能满足使用要求。如此众多的元件和焊点，只要有一个元件损坏，一个焊点脱落，便会使整个设备出现故障。为了解决这个矛

盾，迫使人们在制作电子器件上寻求新的途径。

一九五八年人们提出了将一个电路所需要的晶体管和其他元件同时做在一个底片上的设想。随着半导体制造技术的发展，时隔几年，终于在一九六四年使这个设想变成了现实，这便是电子器件的第三代——集成电路。

随着科学技术不断地发展，对电子器件的要求越来越高，目前正在向更高的可靠性，更微型化的高度进军。这就是电子器件的第四代——大规模集成电路。大规模集成电路是把几百个，甚至上千个同种或不同种的单个电路制作在一块底片上的。对外来讲，它可以把电路的某个系统用一块高集成度的电路来代替。

大规模集成电路比小块集成电路可靠性高、寿命长、体积更小。但是第四代电子器件——大规模集成电路，目前还不能满足无数应用上提出的迫切要求。我们相信，随着人类认识和实践领域的不断发展，一定会有更新的，性能更完善的新一代电子器件相继出现，为社会主义革命和社会主义建设不断做出新的贡献。

集成电路是怎么回事

我们打开一个大家所熟悉的袖珍晶体管外差收音

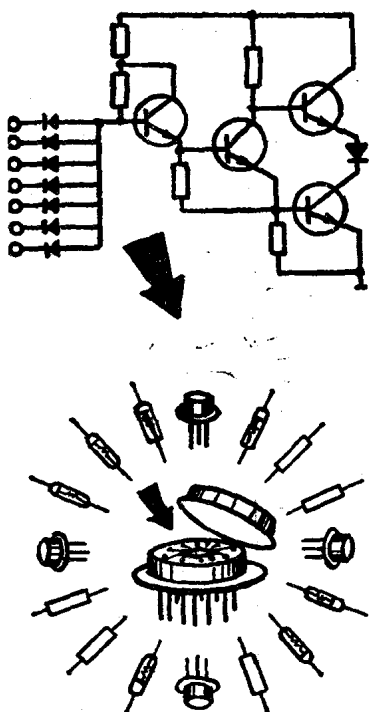


图 1

机，看见在不到一个手掌大的印刷电路板上密密麻麻挤满了电阻、电容、晶体管等元件。有的使用超小型元件，进行高密度组装，甚至采用了立体布线。你可能要问这些微型电子设备是由集成电路组成的吗？不是。因为这种小型化的方法仍然沿用了原有的电路概念，电阻、电容和半导体器件都是分立的，可以拆换其中任意一个元件，所不同的只是尺寸减小了。

那么，到底什么是集成电路呢？

为了回答这个问题，先让我们看一下集成电路是什么样的。

集成电路的外形，如图 1 和图 2 所示。集成电路的外形有的是一个小块块上带几条引线；有的象个小帽带许多引线。在集成电路外观上再也找不到一般电路上常见的晶体管、电阻、电容等分立元件。所以集

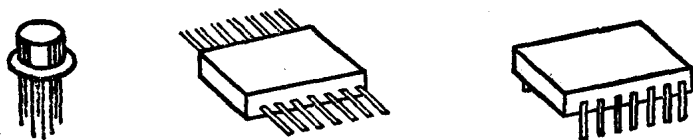


图 2

成电路是在平面晶体管技术的基础上，将晶体管、电阻和电容等都做在一小块半导体材料上，代替了传统的分立元件，组成了一个任一元件不能单独拆换的不可分割的整体，这就是集成电路。

图 1 就是包括四个三极管、七个二极管、五个电阻的典型集成电路。

集成电路制作的时候，首先把晶体管、电阻、电容等作在一小块半导体材料的底片上，底片作好后，要把它封装在保护壳内，然后作出外引线。使用时只要把它象晶体管那样按脚的标记焊上就行了。但它已经是一个包括许多元件，起部分电路功能的器件了。

图 2 是封装后的各种外形的集成电路。

通常情况下集成电路是作在面积很小的底片上，肉眼要看到底片上的图形是无能为力的，但我们可以借助显微镜来看，显微镜下的集成电路和图形是千奇百怪的。

集成电路“三兄弟”

集成电路的种类很多，如按工艺结构来讲大体可分为三大类：半导体集成电路、薄膜集成电路和混合集成电路。

半导体集成电路 这种电路是用一定的方法，在半导体中掺进不同类型的导电杂质，把晶体管、电阻、电容等元件作在一个半导体(如硅)底片上。先使它们互不相干，然后在表面附上金属导体薄层(如铝层)，再用化学方法除去我们不需要的部分，使留下的部分作为电路的互相连线，这样就使本来互不相干的各部分元件按电路的要求携起手来，使它成为一个完整的单元电路。图3就是一个半导体集成电路的立体剖面图。这种电路作起来简单，经济，所以目前的集成电路多为这种类型。美中不足的是它的各种元件数值不能作得十分精确。

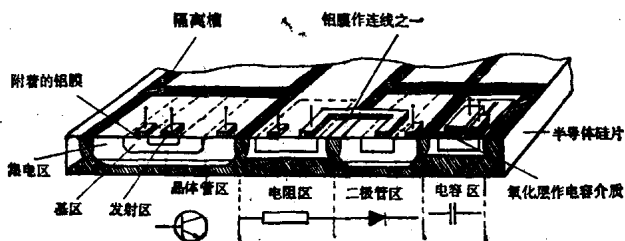


图 3

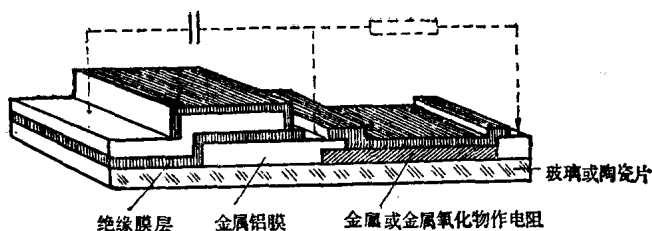


图 4

薄膜集成电路 顾名思义，薄膜集成电路一定是在各种薄膜上大作文章了。是的，这种电路就是利用不超过一微米厚的半导体、金属、金属氧化物或不导电的电介质膜相互重叠在玻璃或陶瓷等绝缘底片上，作成电阻、电容、晶体管等元件而构成一种电路结构（如图 4）。利用金属薄膜可以作成连接线；利用两层金属膜之间夹杂一层介质薄膜的方法可以作成电容；利用金属或金属氧化物薄层可以作成电阻，再使它们彼此连接起来就可以构成简单的薄膜集成电路。这种电路的优点是元件数值可以作的比较精确，在制作的过程中，元件数值还可以用人工方法做定量的调整。

混合集成电路 由于薄膜工艺制造晶体管还不很成熟，半导体集成电路作数值较大的电阻、电容等有困难，人们便结合使用两种方法使它们互相取长补短，作成半导体集成电路和薄膜电路混合的集成电路。比如，把用薄膜技术作的电阻、电容等元件部分和利用半

导体集成电路技术作的晶体管部分，用引线把它们在内部连接起来，就构成混合集成电路。所以说混合集成电路是上面谈的两种集成电路“互相协作”的产物。

目前半导体集成电路是生产较多的一种，在这本小册子里，我们只简单介绍有关半导体集成电路的一些知识。

半导体集成电路的特性

性能可靠“万无一失” 在我们日常生活中，往往以“万无一失”来比喻办事有十分的可靠性和绝对的把握，集成电路由于淘汰了分立元件，使容易发生机械故障的焊点数目大大减少了，因而可靠性能得到很大的改善。人们作过这样一些不完全地统计，一九六〇年真空管电子计算机，平均每隔八、九个小时出现一次故障。到一九六四年，晶体管电子计算机平均每隔73小时出现一次故障。同时期的集成电路电子计算机平均每隔4,650小时出现一次故障，到七十年代集成电路计算机要12,400小时才出现一次故障，也就是说，连续使用一年半才出现一次故障。可见用“万无一失”来比喻集成电路的性能可靠并不过分。

“立锥之地上的千军万马” 人们常用“立锥之地”、“芝麻”大的地方来比喻地域狭窄。但是，就在

这“芝麻”大的半导体底片上，集成电路却布下了它的千军万马。以大规模集成电路为例，在一块只有火柴头那么大的几平方毫米硅底片上，可以作成有几千个电阻、晶体管等元件。这就为电子设备的微小型化开辟了光明的前景。使它作成的电子设备体积很小，重量很轻。例如世界上第一台电子计算机是用电子管作成的。它占满了几个大房间，用了上万只电子管，耗电量高达几百瓩。如果采用集成电路，体积可以小到饭盒这么大，可以使用到地域非常狭窄的地方。

速度快“瞬息万变” 在电子计算机中，运算是通过各种电路状态的迅速变换来实现的。所以要求元部件计算速度要快，也就是每秒钟运算次数要多。这个要求怎样来实现呢？

原来电子计算机的整个计算工作是靠很多很多小小的电子在器件中跑来跑去完成的。如果设法使它们跑得快一些，跑的路程短一些，这样它就可以在同样时间内增加运算次数。而集成电路是最符合这一要求的，由于它体积小，要完成同样一个运算就比电子管、晶体管电路完成的要快得多。比如二十年前用电子管作的计算机，每秒钟只能作几百次运算；我国第一台集成电路计算机每秒钟可以进行几百万次以上的运算。如果不采用集成电路，这种速度是无法实现的，

可见集成电路速度是一个非常重要的质量指标。以目前的硅超高速半导体集成电路为例，开关速度可达十万万分之一秒。通常我们以“眨眼功夫”或“瞬息万变”来形容变化速度之快，其实“眨眼功夫”只不过十分之一秒左右，而就在这点时间内，集成电路可以完成十万次状态变化后而又整装待命了。

“胃口小得惊人” 在卫星通讯、导弹制导、宇宙航行中，都要求发射到空间的电子设备除了重量轻、体积小外，还要求耗电少。因为这样才能节省火箭的燃料，减轻空间电源设备。这些性能集成电路是能够胜任的。

以一般速度的集成电路为例：电路每动作一次消耗的能量仅为10微微焦耳。10微微焦耳能量到底有多大呢？一只普通的蚂蚁，以它最大的力气将一小根草梗拉动10厘米远的距离，消耗的能量约为10微微焦耳。而采用集成电路使它每动作一次消耗的能量可以下降为一微微焦耳。也就是说，上述的蚂蚁只要把草梗拉动一厘米的距离所消耗的能量就足够一块集成电路工作一次的了。

集成电路虽然有很多的优点，但也不是“万能”的。现在应用的有些电路；特别是功率大的电子电路，还不能够完全集成化。随着科学研究和生产发展的需

要，集成电路本身也是不断在发展着的。目前所谓的功率集成电路正在随着生产的需要而迅速发展。

为什么集成电路有这么大的神通？这就得谈谈集成电路的原理。

二 从半导体和晶体管谈起

半导体集成电路是做在半导体材料上的，我们就从半导体的一些基本特性谈起吧。

半导体是怎样导电的

自然界里各式各样的物体，按照它们导电能力的强弱可分为三大类。容易导电的物体，如银、铜、锡、铝等金属是属于导体。有些不容易导电的物体，如云母、塑料、陶瓷、玻璃等都属于绝缘体。但是还有一些物体，如常用的锗、硅、镉、铟等，它们的导电能力比绝缘体要强些，比导体又差些，介于导体和绝缘体之间，我们把这类物体叫做半导体。

我们知道金属的导电能力很强，是因为金属原子中最外层的电子非常活泼，它能脱离原子核的束缚在金属导体内自由活动，有了这许多自由电子，金属的导电能力就很强了。