

晶体管脉冲数字电路

中 册

清华大学 电子工程系 工业自动化系 編



科学出版社

75.1
5.28
2.1

晶体管脉冲数字电路

中 册

清华大学 电子工程系 编
工业自动化系

314.01.6



毛主席语录

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。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。

这个辩证法的宇宙观，主要地就是教导人们要善于去观察和分析各种事物的矛盾的运动，并根据这种分析，指出解决矛盾的方法。

前 言

脉冲数字技术已广泛地应用到计算机、雷达、多路通讯、自动控制等许多领域。随着我国社会主义革命和社会主义建设的蓬勃发展,广大工农兵迫切要求掌握脉冲数字电路。我们遵照毛主席“**教材要彻底改革**”的伟大教导,在工人阶级领导下,学习毛主席的光辉哲学思想,在调查工农兵的实践经验和发明创造、批判旧教材中散布的电子神秘论等唯心论的先验论和吸收其中有用的科学内容等方面做了一些工作之后,初次编写了这本教材。在教材内容上,我们从实际典型电路出发来阐明电路的工作原理,并尽可能把典型电路的定性分析、定量估算和实验研究结合起来。

现在此书虽与读者见面了,但由于我们对马克思列宁主义、毛泽东思想学习得很不够,教育革命的实践还很少,肯定会有许多缺点和错误。我们恳切希望广大工农兵群众、革命技术人员提出批评建议。

在本书编写过程中,得到了北京市有关单位的工人、革命技术人员的大力支持和热情帮助,在此表示衷心感谢。

清华大学电子工程系
工业自动化系

目 录

第二部分 数字集成电路

引言	(3)
第六章 数字集成电路的构造和制造工艺概述	(7)
第一节 半导体集成电路的制造	(8)
第二节 半导体集成电路中的元件	(15)
第三节 集成电路的封装	(23)
第七章 集成电路逻辑门	(27)
第一节 二极管-晶体管逻辑(DTL)“与非”门电路	(28)
第二节 DTL“与”扩展器,“与或”扩展器,“与非” 驱动器	(51)
第三节 晶体管-晶体管逻辑(TTL)“与非”门电路	(55)
第四节 集成电路“与非”门的参数及其测试	(73)
第五节 晶体管-晶体管逻辑门扩展器和驱动器	(85)
第六节 电流开关逻辑(CML)“或非”门电路	(89)
第七节 电流开关逻辑“或非”门电路的参数及其测试	(102)
本章小结	(110)
第八章 集成电路触发器	(112)
第一节 基本触发器及其存在的问题	(113)
第二节 维持-阻塞触发器	(122)
第三节 集成单元触发器电路	(132)
第四节 集成电路触发器的参数测试	(153)
本章小结	(160)

09791

• iii •

附录 用集成门电路构成的脉冲电路	(162)
第九章 金属-氧化物-半导体场效应管集成电路.....	(178)
第一节 绝缘栅场效应管的工作原理	(179)
第二节 MOS 集成电路的基本逻辑电路.....	(194)
第三节 MOS 集成电路的逻辑部件.....	(207)
附录 I 大规模集成电路简单介绍	(215)
附录 II 半导体存储器单元电路	(218)

第二部分

数字集成电路

毛主席語录

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结經驗，有所发现，有所发明，有所創造，有所前进。

引 言

正如毛主席教导我们的，自然界总是不断发展的。二十世纪五十年代开始出现的晶体管这一新器件，以其体积小、重量轻、功耗小、寿命长、工作可靠性高等一系列优点，登上了电子技术的历史舞台，逐步取代了电子管器件，这是电子技术领域内的一次飞跃。因此人们往往把电子管称为第一代电子器件，把晶体管称为第二代电子器件。到一九六〇年，大多数新型电子系统，尤其是电子计算机已经开始广泛使用晶体管做元件了。

“新过程又包含着新矛盾，开始它自己的矛盾发展史。”为了不断改善晶体管的性能，晶体管的结构和生产工艺不断改进，出现了各种不同类型的晶体管，在初期，硅二极管和锗晶体管经常在同一电路中结合使用。这时虽有硅晶体管可利用，但它只限于在大功率开关或高温情况下使用。在这一阶段，电路由半导体元件和电阻、电容、电感等构成。这些元件

安装在具有单面或双面连接图形的印刷电路板上，并且利用印刷电路板插座上的连线组成复杂的电子线路。根据电路的复杂程度，一块印刷电路板上可以包括一个或几个单元电路。

电子工业的发展使得它的应用越来越广，不仅是国防工业中广泛应用各种电子设备，而且已经渗透到工业、农业、交通、医疗等许多部门。电子计算技术的广泛应用，宇宙飞行的迅速发展，减轻电子设备的重量和提高可靠性，成为迫切需要解决的中心任务。恩格斯说过：“**科学的发生和发展从开始起便是由生产所决定的。**”无数应用上提出的迫切要求汇成了发展电子技术的巨大推动力。从电子设备微小型化的发展过程来看，早期采用的方法是把各种元件小型化，然后再紧凑地装配在一起，实现高密度组装。显然，这种小型化方法仍沿用原有的电路概念，电阻、电容和半导体器件都是分立的，只是它们的尺寸减小而已。

一九六〇年前后，半导体工艺有了显著改进，人们掌握了外延生长技术，光刻技术，氧化物掩蔽扩散技术。首先是硅平面型晶体管代替了原来各种类型的晶体管，成为最广泛使用的电子器件，不但如此，这些新技术使电子工业又一次发生了重大变化，第一次有可能将元件、半导体器件和电路连接线等集成到一块固体上，代替了传统的分立式元件，组成了一个不可分割的整体，从外观上已分不出各种元件、半导体器件和电路的界线了。这就是通常所说的集成电路。集成电路使得各种分立元件间的布线遭到淘汰，互相连接靠蒸发淀积在基片上的铝层光刻完成，使得电子设备中最容易发生故障的各种连接线和焊点大大缩短和减少了。因此，集成电路不但体积小、重量轻，而且工作可靠性高、寿命长、工作速度也大大提高了，它通常被称为第三代电子器件。集成电路从开始发展到现在不过十年的时间，现在已取得了巨大的进展，目前在电子

计算机、军用通讯设备、导弹、雷达和人造卫星中,集成电路占有非常重要的地位。

集成电路按其用途来说,有线性集成电路和数字集成电路两种,而首先大量使用的是数字集成电路,这是因为电子计算机等数字设备是由种类比较少,线路比较简单而大量使用的基本电路组成的,电路中可以没有电感、可变电容、可变电阻、大容量电容及高阻值电阻等集成电路难于制造的元件,所以数字电路适宜于大规模生产。由于集成电路技术的发展,目前也能够成批生产各种线性集成电路。但从数量上来说,还是以数字集成电路占大多数,我们这一部分,仅讨论数字集成电路。

“新东西是层出不穷的”,人们并不满足于集成电路的已有成果,不断地向新的深度和广度进军。我们看到,在制造集成电路时,首先是在一块硅基片上制造成大量相同的电路,然后把大片的硅基片切成很多小片,每个小片上包含一个或几个电路,将每个小片封装入一个外壳内,用引线焊接使硅片与封装引线联结起来,再密封成完整的器件。使用者拿到这样的电路,利用封装引线再将这些本来在同一基片上的电路组装起来,构成系统的一个部分,或者成为分系统。显然,可以省去四道中间工序:(1)把大片晶片切割成小块晶片;(2)把小块晶片安放在封装体内;(3)与封装引线焊接连线;(4)在印刷电路板上组装电路。只要把原先的电路留在原基片上,并直接在基片上制造出金属连线,使这些电路连接成一个分系统。这样,从电路的集成进一步发展到系统的集成,这就是今天的大规模集成电路。这种大规模集成电路被称为第四代电子器件。

数字集成电路按其结构和工艺的不同,大致上可分为三种:即薄膜厚膜集成电路,混合集成电路和半导体集成电路。

薄膜集成电路是在玻璃、微晶玻璃或陶瓷的基片上,用真空蒸发或溅射方法制做薄膜电阻和电容,以及元件之间的连线,然后用晶体管和二极管管芯固定在基片上联成完整电路。厚膜集成电路和薄膜集成电路不同的地方在于电阻和电容是用陶瓷金属混合物烧结而成。混合集成电路的晶体管和二极管以及电阻等元件基本上做在硅片上,而有些电容或半导体工艺难做的阻值的电阻靠薄膜蒸发在硅片上制成。半导体集成电路(通常称为固体组件,也有称为单块集成电路)是把电路的元件都做在硅片上。从目前我国情况来说,半导体集成电路是生产量最大,应用最广的一种集成电路。

本书第二部分主要讨论半导体集成电路。这部分共有四章,第六章简单介绍数字集成电路的工艺。由于集成电路问世以后,电路设计及应用和工艺制造的关系越来越紧密,这一章简单介绍的目的是使电路工作者对与电路有关的工艺有初步的了解。第七章讨论了目前最常用的三种半导体集成电路,即二极管-晶体管逻辑 DTL,晶体管-晶体管逻辑 TTL 及电流开关逻辑 CML (又称做射极耦合逻辑),这三种集成电路的基本形式是“与非”(“或非”)门电路,所以在第七章里着重介绍与非(或非)逻辑门的工作原理和参数测试。由于集成电路的触发器对于“与非”门来说,有其特殊的问题,而对于三种电路形式的触发器来说,又有共同的问题,所以触发器专门放在第八章中讨论。第九章介绍大规模集成电路。因为本书讨论内容以线路为主,所以大规模集成电路一章中着重讨论线路部分,特别是金属-氧化物-半导体场效应管 MOS 的线路,大规模集成的工艺方面的问题就不做详细介绍了。

毛主席語录

我們不能走世界各国技术发展的老路,跟在別人后面一步一步地爬行。我們必須打破常規,尽量采用先进技术,在一个不太长的历史时期內,把我国建設成为一个社会主义的现代化的强国。

第六章 数字集成电路的构造和制造工艺概述

对分立元件电路来说,电路元件是彼此独立的,通过印刷线路板组装成电路。因此对电路工作者来说,所关心的主要是元件的特性。电路设计的任务是选用合理的元件,而对元件的制造一般是不必关心的。但是情况是不断发展变化的,集成电路的出现打破了元件和线路分家的现象,元件生产已发展成为电路的生产。这种情况提出了一个问题,就是对元件设计者来说,必须考虑到电路的要求,而对电路设计者来说,在电路设计过程中必须考虑元件制造的因素,否则元件的生产将是不可能的。因此,集成电路的出现,要求电路工作者对集成电路的制造工艺有一个最基本的了解,要接受新事物,要研究新问题。这不但对设计电路是很重要的,而且对大量的使用电路的人来说也是十分重要的,毛主席教导我们:“任何运动形式,其内部都包含着本身特殊的矛盾。这种特殊的

矛盾，就构成一事物区别于他事物的特殊的本质。”集成电路也有它本身特殊的矛盾，这些矛盾都和它的制造方法有关。充分认识这些特殊矛盾，我们才有可能正确、合理地使用集成电路，使它在国民经济和国防建设中发挥作用。

这一章的内容，就是介绍集成电路的构造和制造的基本方法，并在此基础上介绍集成电路中元件的特点。目的是使得电路工作者对集成电路的特殊矛盾有一个基本的了解，以达到正确分析和使用集成电路。

第一节 半导体集成电路的制造

一、半导体集成电路的材料

半导体材料有很多种，在近代半导体工业中应用最广的半导体材料是锗(Ge)和硅(Si)，这两种材料的物理性质和加工方法都已被人们所掌握。在这两种材料中，硅大量的应用于集成电路。其理由是：

(1) 能采取靠氧化硅薄膜掩盖和有选择地光刻扩散的平面管工艺，而且能在氧化硅薄膜上进行连线，这一点是最重要的。

(2) P-N 结的反向电流很小，稳定性好。

(3) 工作温度范围广。最高工作结温，硅为 175—200℃，锗为 100℃。

二、半导体集成电路生产的主要工序

我们这里简要地介绍一下运用外延扩散技术的集成电路

的制造方法。半导体集成电路的制造方法与平面型晶体管的制造方法大体相同。以集成电路中的晶体管为例，其结构如图 6.1.1 所示。晶体管是

做在由外延生长形成的 N 型单晶硅内的，基区是经过有选择地光刻氧化层后扩散掺入三价杂质而形成的 P 型半导体，发射区是同样有选

择地扩散掺入五价杂质而形成的 N^+ （表示杂质浓度很高）型半导体。从这个典型结构中我们可以看出，在集成电路的制造工序中，除开最初硅单晶片的制备和最后的装配以及测试外，主要是氧化、光刻、扩散、外延几个工序，使得在规定的地方

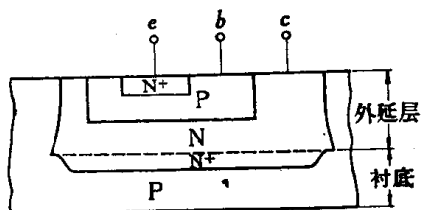


图 6.1.1 晶体管的结构

掺入不同杂质，其中氧化—光刻—扩散是实现选择掺杂的基本工艺，重复进行多次。如图 6.1.2 所示。

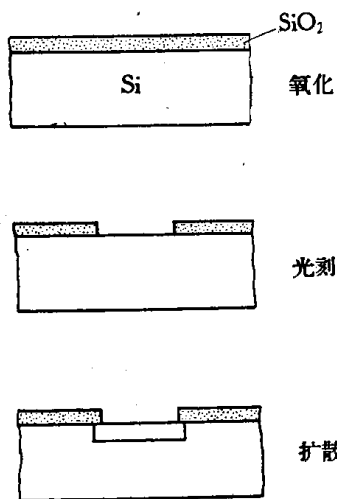


图 6.1.2 氧化—光刻—扩散工艺

1. 氧化

氧化就是使原始硅片在高温下与水汽（或氧气）反应，在表面生成一层二氧化硅。这层氧化层有三个作用：

（1）可以掩蔽杂质扩散，即在表面有氧化层的地方杂质被挡住，不能扩散到硅片中去。

（2）二氧化硅是很好的绝缘体，它象印刷电路板的胶木板一样，可以在上面进行电路布线。

(3) 二氧化硅层可以保护 P-N 结,使器件稳定性好。

2. 光刻

光刻紧接着氧化之后进行,是为进行选择扩散而在硅氧化膜上开窗孔。集成电路元件做好以后,在硅表面布线时也用光刻腐蚀金属形成连线。

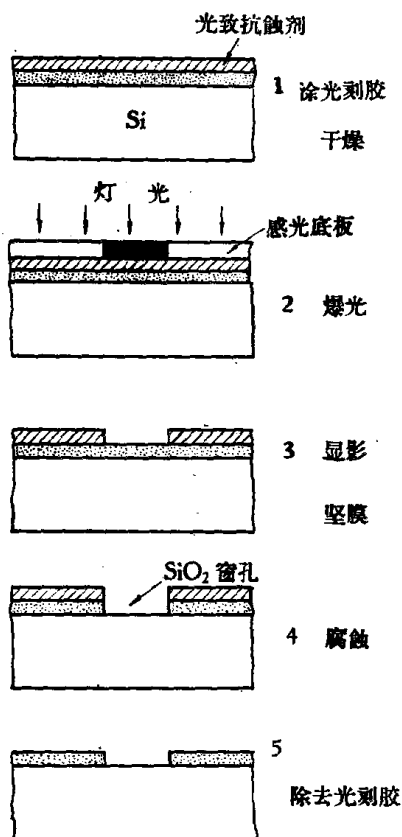


图 6.1.3 光刻工序

光刻过程与复印照片的过程相似,基本工序示于图 6.1.3 中。光刻主要是利用了光刻胶的一种光致抗蚀的性能,即光刻胶经光照后,具有耐蚀性,不再溶解于有机溶剂中,也有一定的耐酸性;而未经光照的光刻胶能溶解于有机溶剂中。因此光刻胶又叫光致抗蚀剂。

光刻工序 1 相当于将感光乳剂涂在纸上做成印相纸。工序 2 相当于将底片放在印相纸上进行曝光,在此相当于照相底片的称为掩膜,是根据集成电路的图形事先做好的底版。工序 3 进行显影,使没有曝光的胶溶解掉,已曝光的胶留下形成一层保护膜。工序 4 将没有保护胶的二氧化硅膜腐蚀掉而形成窗孔,最后将光刻胶全部去除。

进行显影,使没有曝光的胶溶解掉,已曝光的胶留下形成一层保护膜。工序 4 将没有保护胶的二氧化硅膜腐蚀掉而形成窗孔,最后将光刻胶全部去除。

3. 扩散

将已经光刻好的硅片，置于高温、有杂质源的气氛下，杂质就可以通过分子运动的形式进入光刻掉氧化层的硅晶体中去，从而完成选择性的掺杂工艺。

除了以上三个工艺外，还有一些其它的主要工艺如外延和蒸发等，简述如下：

4. 外延

硅外延生长是利用气相反应时原子聚集到 P 型硅衬底上，从而在衬底上生长一层具有同衬底相同晶体结构的 N 型硅单晶层。一般是将四氯化硅 (SiCl_4) 置于高温下进行氧化还原，或使硅烷 (SiH_4) 热分解，以生长外延层。

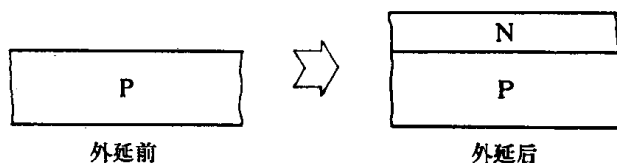


图 6.1.4 外延的硅片

5. 蒸发

在真空室里，加热金属如铝、金等，使金属升华为金属蒸汽，而在真空中淀积到硅片的表面。在硅表面作为布线的铝就是用蒸发的方法淀积到硅表面，然后进行光刻，以实现电路布线。

三、集成电路的工艺过程

上面我们对几个主要工序作了一点说明，现在我们来