

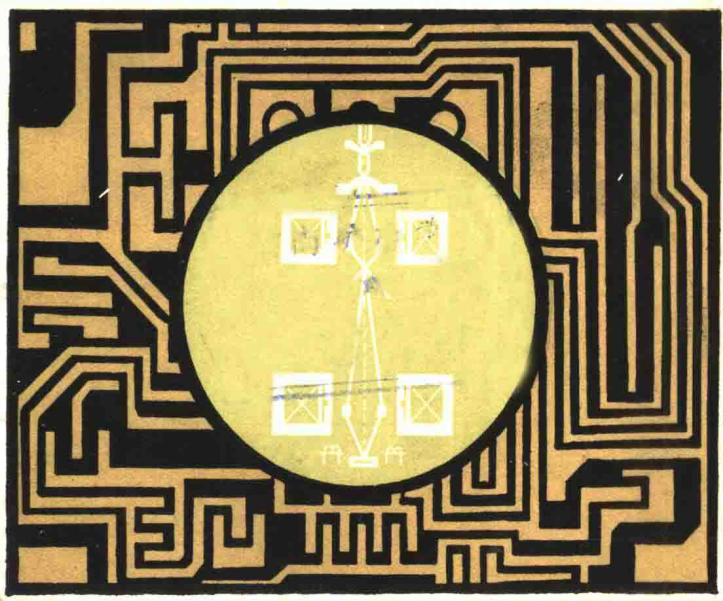


电子工业工人初级技术培训教材

半 导 体 专 业

半导体器件工艺

电子工业半导体专业工人技术教材编写组



上海科学技术文献出版社

电子工业工人初级技术培训教材——半导体专业

半 导 体 器 件 工 艺

电子工业半导体专业
工人技术教材编写组

上海科学技术文献出版社

电子工业工人初级技术培训教材——半导体专业
半 导 体 器 件 工 艺
电子工业半导体专业
工人技术教材编写组

*

上海科学技术文献出版社出版
(上海市武康路2号)

新华书店上海发行所发行
上海商务印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/32 印张 18.125 字数 438,000

1984年1月第1版 1984年1月第1次印刷

印数: 1—52,000

书号: 15192·265 定价: 1.84元

《科技新书目》55-236

出版说明

为了更好地落实中共中央、国务院《关于加强职工教育工作的决定》，迅速提高我国电子工业半导体专业青壮年工人的技术水平，受电子工业部委托，在中国电子器件工业总公司的领导下，我们按照部颁《电子工业半导体专业工人初级技术理论教学计划、教学大纲》的要求，编写了《半导体器件工艺》、《半导体化学》、《半导体器件基础》、《半导体器件线路》、《钳工知识》五本初级专业技术理论课教材。

这套教材是电子工业工人初级技术培训统编教材，可作为半导体专业四级以下(包括四级)青壮年工人的技术培训用书，也可作为具有一定半导体生产知识的工人、干部的自学丛书。

这套教材在编审过程中，得到了上海市半导体器件工业公司在人员及其它方面的大力支持，并得到了八七八厂、七四二厂、常州半导体厂等单位的密切配合。高级工程师车运洪、俞钟钰、孙义芳等同志对教材的编写作了许多具体的指导，王儒全、何明章同志负责本教材的整理加工工作。在此一并表示感谢。

《半导体器件工艺》由林明祥、刘卓嫦、魏积祥、王儒全同志编写，林鸿民、苏欣勋同志审定。

由于半导体工业所涉及的科学技术知识十分广泛，时间又很仓促，编审人员水平有限，缺点和错误在所难免，诚恳希望广大读者提出宝贵意见，便于今后再版时修订。

电子工业半导体专业
工人技术教材编写组
一九八三年四月

前 言

《半导体器件工艺》是半导体器件制造工人专业技术理论教育的基础教材之一。

本书以硅平面工艺为基础，比较详细地介绍了衬底材料制备、外延、氧化、扩散、光刻、电极引线制备和组装等技术。对掩模版的制备、器件的可靠性和空气洁净技术也作了一般性的论述。同时，对于工艺中所涉及到的有关光学和真空技术方面的基本知识，本书也按照电子工业部颁发的工人技术等级标准中的“应知”要求，作了简单介绍。此外，本书对锗和砷化镓等器件的制造工艺，也作了简单的介绍。

随着科学技术的不断发展，半导体器件制造工艺的变化日新月异。本书着重介绍了目前半导体器件工业中普遍采用的工艺方法和某些先进技术。对于各工艺技术的基本原理、质量标准及生产过程中常见的质量问题也作了较详细的介绍。在内容安排和文字叙述上，力求以浅显易懂的物理概念和图表来说明问题，尽量避免繁琐的数学推导，使本书既适合于教学需要，又适合于自学。

编 者
1983.4.

本书所用符号及其说明

A	极板面积		质浓度
A	杂质原子量	c	收集极
A	是一个与 N_s 、 N_B 有关的常数	D	杂质扩散系数
a	三探针测试电阻率中有关常数	D	漏极
a	被测样片的宽度	d	晶体密度
B	磁场强度	d	氧化层厚度
$B_{\text{合}}$	硅合金系数	E	电子能量、电场强度
$B_{N_{\text{合}}}$	N型硅合金系数	E	曝光量
$B_{P_{\text{合}}}$	P型硅合金系数	ΔE	扩散过程的激活能
BV	反向击穿电压	e	发射极
b	基极	f	洛仑兹磁力
b	被测样片的厚度	f	焦距
C	结电容	f_{α}	截止频率
C	氧化速率常数	G	栅极
C	修正系数	g_m	跨导
C_{Si}	晶面附近杂质在硅中的平衡浓度	h	普朗克常数
C_{SiO_2}	晶面附近杂质在二氧化硅中的平衡浓度	I	电流
C_s	固液相平衡时, 固体中杂质浓度	I_E	发射极电流
C_L	固液相平衡时, 液体中杂质浓度	I_B	基极电流
		I_O	集电极电流
		I_e	电子流
		I_i	离子流
		K	硅介电常数
		K	绝对温度

K	物体的缩小倍率	S	源极
K	淀积速率常数	S	感光度
K_0	分凝系数	T	温度
K_p	功率增益	t	时间
k	玻尔兹曼常数	u	物距
M	所需拉制单晶重量	v	象距
m	所要掺杂的杂质重量	v	电压
m	自由电子质量	v	载流子运动速度
m	干涉条纹数	w	基区宽度
N	杂质浓度	x_j	结深
N	阿佛加德罗常数	x_{jc}	发射结结深
N_B	衬底杂质浓度	x_{je}	集电结结深
N_s	表面杂质浓度	β	共发射极电流放大系数
n	位错腐蚀坑个数	ϵ	介质介电常数
n	二氧化硅折射率	μ	迁移率
P	气体压强	μ_n	电子迁移率
Q	杂质总量	μ_p	空穴迁移率
q	电子电荷	ρ	电阻率
R	带电粒子作匀速圆周运动的半径	σ	电导率
$R_s(R_a)$	薄层电阻(方块电阻)	τ	非平衡载流子寿命

目 录

工艺概述	1
第一章 单晶拉制与衬底制备	15
第一节 多晶硅制备和提纯	16
第二节 单晶硅拉制	19
第三节 单晶硅性能的测试	30
第四节 单晶切割	42
第五节 晶片的研磨和倒角	50
第六节 晶片抛光	55
第七节 砷化镓单晶生长简介	60
第八节 锗晶片厚度的分选	62
习题	65
第二章 外延	67
第一节 外延生长原理和方法	67
第二节 外延工艺	71
第三节 外延设备	78
第四节 外延层的质量要求与检验	82
第五节 外延层质量控制	90
第六节 外延方法的其它应用	94
习题	101
第三章 氧化	103
第一节 二氧化硅的性质和应用	103
第二节 二氧化硅薄膜的制备原理	107
第三节 热氧化过程中的杂质分凝效应	122

第四节	硅-二氧化硅系统中的电荷	124
第五节	二氧化硅薄膜的质量要求和检验方法	128
第六节	氧化膜常见质量问题	132
第七节	氧化炉及装置	135
	习题	138
第四章	PN 结制造	141
第一节	点接触二极管工艺	141
第二节	合金烧结工艺	154
第三节	扩散工艺	166
第四节	形成 PN 结的其它方法	209
	习题	216
第五章	光刻	219
第一节	光刻工艺流程及原理	219
第二节	光刻胶	233
第三节	光刻质量要求和分析	243
第四节	光刻设备	250
第五节	其它光刻技术简介	254
	习题	261
第六章	制版	263
第一节	制版工艺中的光学基本知识	264
第二节	制版工艺流程与原理	268
第三节	掩模版制备	288
第四节	计算机辅助制版简介	311
	习题	317
第七章	电极制备与表面钝化	320
第一节	真空技术的基本知识	320
第二节	电极制备工艺	328
第三节	合金化	345
第四节	电极制备质量要求和分析	347
第五节	表面钝化工艺	350

第六节	台面成型	360
	习题	366
第八章	组装工艺	368
第一节	划片与镜检	369
第二节	装片与烧结	375
第三节	内引线焊接工艺	384
第四节	管芯表面涂敷	398
第五节	封装	400
第六节	气密性检漏	425
第七节	老化、喷漆、打印、包装	430
第八节	管壳制造	432
	习题	440
第九章	半导体器件的可靠性	443
第一节	可靠性的基本概念	444
第二节	工艺筛选	451
第三节	可靠性试验	459
第四节	失效分析和可靠性提高途径	465
	习题	477
第十章	洁净技术	479
第一节	空气洁净技术的重要性	479
第二节	洁净室标准、等级规定和洁净度测量方法	484
第三节	洁净室内设备介绍	489
第四节	洁净室工作人员注意事项	497
	习题	498
附录一	半导体器件工艺常用数据表	499
附录二	半导体器件管壳外形标准化资料	525
附录三	半导体器件工艺常用曲线图	549

工 艺 概 述

半导体器件制造技术是一门新兴的电子工业技术。它是发展电子计算机、宇航、通讯、工业自动化和家用电器等电子技术的基础。现在，人们往往把电子工业的发达程度作为衡量一个国家科学技术先进水平的重要标志。而作为电子工业核心部分的半导体器件制造技术，愈来愈显示其重要的作用。

半导体技术的发展是与半导体器件的发展紧密相连的。一九四八年，具有放大作用的原始点接触晶体管问世。由于它具有体积小、重量轻、耗电省和坚固耐用等独特的优点，引起了人们的极大重视。在这以后的十几年时间里，又相继出现了各种各样的晶体管，例如合金管、合金扩散管和台面管等。一九六〇年左右，硅平面工艺和外延技术的诞生，使半导体器件的制造工艺获得了重大突破。它为集成电路的制造开拓了广阔的途径，促进了半导体器件进一步向微型化、低功耗和高可靠性的方向发展。至今，集成电路已发展到超大规模水平，即在一个片子上能集成十万个以上的元件。而且，所制造的半导体器件的性能（例如可靠性、频率、噪声和功耗等），也有了很大程度的提高。

半导体器件种类繁多，工艺有别。为了便于读者了解和掌握各种工艺及各道工序之间的相互联系和作用，我们在本章中对合金扩散晶体管、硅外延平面晶体管、TTL 集成电路和 N 沟硅栅等平面 MOS 集成电路等四类具有代表性的器件的工艺流程，作一个总体介绍。而对各类半导体器件的主要制造方法、工

艺原理、生产中普遍存在的问题的分析和解决方法,将在本书后面各章节中详细加以阐述。

一、锗合金扩散晶体管制造工艺流程简介

合金扩散晶体管是五十年代中期发展起来的一种高频管,它是继漂移晶体管(锗扩散型晶体管)之后,又一种合金与扩散技术巧妙结合的典型产品。图0-1为锗合金扩散晶体管制造工艺流程图。图中各工序的工艺原理和制造方法,将在后面各章节中详细介绍。

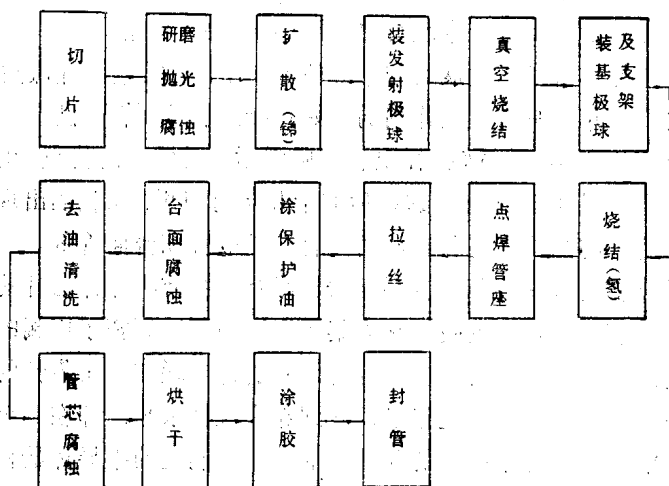


图0-1 锗合金扩散晶体管制造工艺流程图

二、硅外延平面晶体管制造工艺流程简介

五十年代末六十年代初,平面工艺一经问世,硅平面晶体管就成为晶体管发展的主流了。后来,外延工艺的出现,以及平面工艺和外延工艺相结合而产生的硅外延平面工艺,使晶体管的性能又向前迈进了一大步。硅外延平面晶体管大多是NPN型

的，这是由于它容易制造，而且频率特性也比 PNP 型好的缘故。图 0-2 为 NPN 型硅外延平面晶体管的制造工艺流程图。图中各工序的工艺原理和制造方法，也将在后面各章节中详细介绍。硅外延平面开关管的工艺流程略有不同，它增加了一步金扩散工艺。

三、TTL 集成电路制造工艺流程简介

1. 工艺流程图

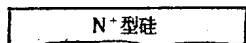
半导体集成电路制造工艺是在硅平面晶体管工艺基础上发展起来的。为了帮助理解这两种半导体器件制造工艺的差异，我们介绍一种典型的半导体集成电路——TTL 集成电路的制造工艺，并对各工序作简单说明，最后指出集成电路生产中特有的工艺目的和作用。在 TTL 集成电路生产中，常见的隔离方法有 PN 结隔离和介质隔离两种。在这两种隔离方法中，前者方法简单，成品率高，应用普遍。图 0-3 为典型的 PN 结隔离 TTL 集成电路制造工艺流程图。

2. 各工序的工艺原理简介

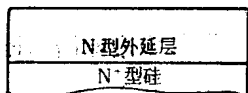
下面将对图 0-3 中的各工序作简单说明，以便了解集成电路制造工艺的特点。

原始硅片(衬底)是 P 型的，电阻率一般为 $8\sim 13$ 欧姆·厘米。沿(111)晶面将硅锭切割成 $400\sim 500$ 微米厚的大圆片。然后进行研磨、腐蚀、抛光，使表面光亮如镜，厚度在 $300\sim 350$ 微米左右(对于直径大的圆片，厚度要相应增加)。硅片进行化学清洗之后，推入 $1000\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 的氧化炉中进行预氧化(隐埋氧化)，在硅片表面生长 $1.2\sim 1.5$ 微米厚的二氧化硅层，作为隐埋扩散的掩蔽膜。再用光刻方法刻出隐埋扩散的窗口。在高温下，杂质锑(Sb)会从氧化层窗口处扩散到硅片内部，形成一个高浓度的 N^+ 型扩散区。薄层电阻控制在 20 欧姆/方块以内。将

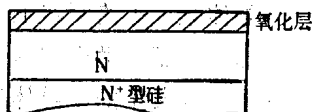
① 衬底制备



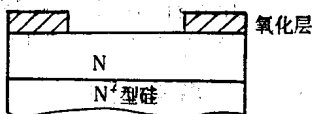
② 外延



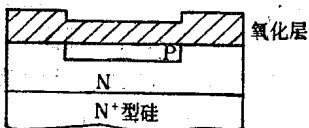
③ 一次氧化



④ 一次光刻



⑤ 硼扩散、二次氧化



⑥ 二次光刻



⑦ 磷扩散

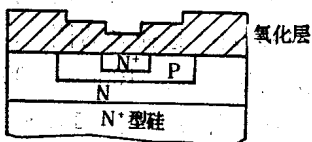
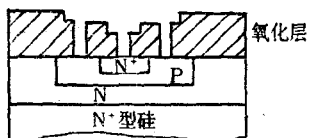
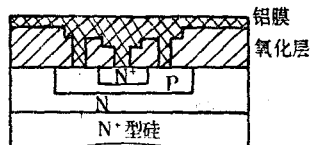


图 0-2 NPN 型硅外延平

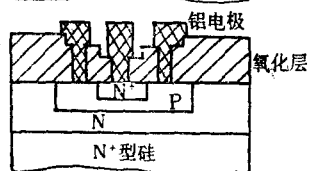
⑧ 三次光刻



⑨ 蒸铝



⑩ 四次光刻、合金化



⑪ 表面钝化及压点光刻

⑫ 初测

⑬ 划片及镜检

⑭ 装架烧结

⑮ 压焊

⑯ 封装

⑰ 筛选

⑱ 成品测试

⑲ 打印、包装、*入库

面晶体管制造工艺流程图

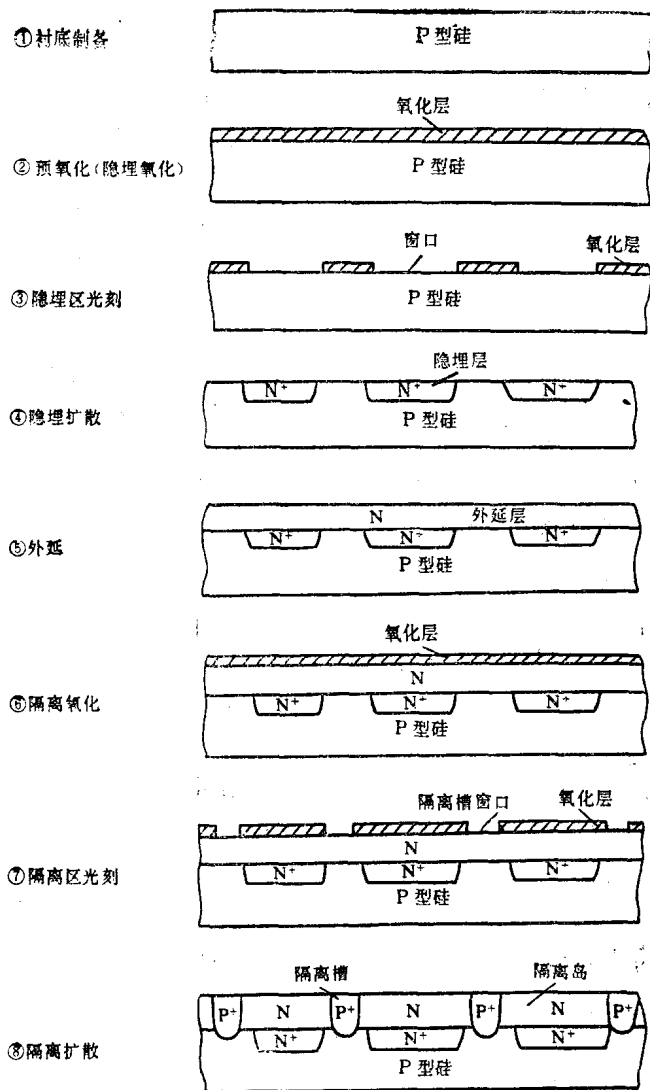
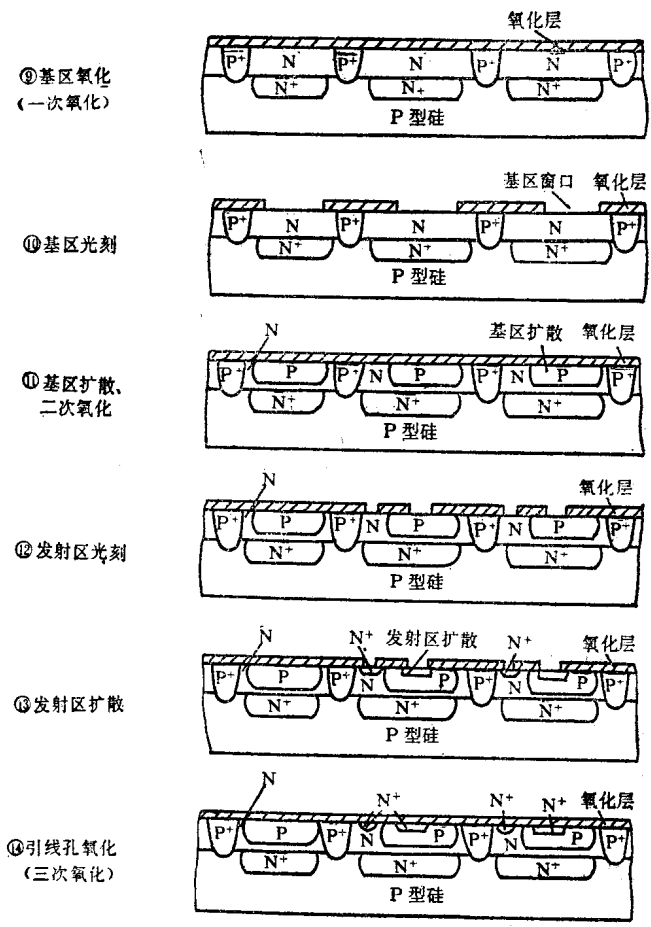


图 0-3(1) PN 结隔离 TTL



集成电路制造工艺流程图