

硅可控整流器与硅整流器 设计工艺手册

第一机械工业部整流器研究所

一九七〇年

硅可控整流器与硅整流器 设计工艺手册

第一机械工业部整流器研究所

一九七〇年·西安

內 容 提 要

本手册收集了国内外制造硅可控整流器、硅整流器等硅功率器件有关的工艺方法，其中包括合金、扩散、表面保护、电镀、蒸发、氧化、光刻等常用的公式、曲线、数据、图表以及器件的典型测试线路。

本手册还简述了硅可控整流器与硅整流器的基本原理、外壳、散热器设计的一般考虑、外形参考尺寸及生产中的安技常识。在附录中给出了器件对材料选择的要求、常用理化常数以及硅可控整流器、硅整流器的技术标准。

本手册可供硅功率器件制造、研究部门的广大革命工人、革命技术人员作参考使用。

硅可控整流器与硅整流器设计工艺手册

編輯者 第一机械工业部整流器研究所
出版者 第一机械工业部整流器研究所
印刷者 西安新华印刷厂
經售者 西安市大庆路八号
第一机械工业部整流器研究所资料室

1970年1月第一版

定价: 1.30元

新4

最高指示

千万不要忘记阶级斗争。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

要把一个落后的农业的中国改变成为一个先进的工业化的中国，我们面前的工作是很艰苦的，我们的经验是很不够的。因此，必须善于学习。

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

KAC64/04

出版說明

史无前例的无产阶级文化大革命以极其雄伟的力量推动着我国社会主义革命和建设的迅速发展，毛泽东思想在亿万人民中广泛普及，促进了广大人民群众革命和生产积极性的空前高涨。

遵照毛主席“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经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”这一教导，为适应我国电子工业迅速发展的需要，进一步提高器件的性能，便利奋战在半导体功率器件生产、科研战线上的广大革命工人、革命技术人员对常用资料的查阅，我们编写了这本手册并作如下说明。

1. 手册大致按工艺程序分列十一章，为查阅方便大多以曲线、图表、公式给出；常用的理化常数和器件的技术条件在附录中给出。

2. 手册中收集的这些资料数据取材于国内有关制造厂及研究单位的生产实践，有的则引自国外有关图书资料。对于后者，本着毛主席指示我们的“对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。”的教导，希望读者认真地加以鉴别。

3. 由于我们活学活用毛泽东思想的水平不高，此类手册又是初次编写，缺乏实际经验，向社会作调查不够。因此，不论在内容和编排上，缺点和错误一定不少，诚恳希望兄弟单位和读者提出批评意见，以便改正。

编者 1970.1.

常用符号

D	扩散系数
D_n	电子的扩散系数
D_p	空穴的扩散系数
d	氧化层厚度
E_{MB}	PN结击穿时的临界场强
I_0	反向饱和电流
I_{BO}	硅可控整流元件的转折电流
I_{DIS}	位移电流
I_G	硅可控整流元件的控制极电流
I_H	硅可控整流元件的维持电流
k	玻耳兹曼常数
L	少数载流子扩散长度
L_n	电子的扩散长度
L_p	空穴的扩散长度
M	倍增因子
N	杂质浓度
N_A	受主杂质浓度
N_b	硅片原有杂质浓度
N_D	施主杂质浓度
n_i	本征载流子浓度
N_s	表面杂质浓度
q	电子电荷
R_s	薄层电阻
S	表面杂质总量
s	探针间距
t	扩散时间

T	溫度
$t_{\text{关}}$	硅可控整流元件的关断时间
V_{B}	击穿电压
V_{BO}	硅可控整流元件的转折电压
V_j	势垒压降
V_o	平衡态下PN結接触电压
V_{PT}	穿通电压
W	基区寬度
W_{D}	空间电荷层寬度
x	距离
x_j	結深
α	电流放大系数
β	基区输运系数
γ	发射結发射效率
ϵ_0	电容率
κ	介电常数
λ	波长
μ	迁移率
ρ	电阻率
σ	电导率
τ	少数载流子寿命
τ_n	电子的寿命
τ_p	空穴的寿命

目 录

第一章 硅可控整流元件及硅整流元件的一般介绍	1
1.1 硅整流元件	1
1.1.1 硅整流元件的整流特性.....	1
1.1.2 硅整流元件的特性参数.....	3
正向电流 (3); 正向压降 (3); 反向电流 (6);	
反向击穿 (7);	
1.2 硅可控整流元件	10
1.2.1 硅可控整流元件的工作原理.....	10
1.2.2 硅可控整流元件的参数.....	14
硅可控整流元件的电流容量 (14); 电压容量 (15);	
正向电压降 (18); 开关特性 (20)	
1.3 结构及工艺	26
1.3.1 硅可控整流元件的结构.....	26
1.3.2 硅可控整流元件的管芯工艺.....	28
扩散合金法 (29); 双扩散法 (29); 外延法 (31)	
附: 若干问题的说明	31
硅可控整流元件的转折电压与其温度特性 (31); 缓变	
结的雪崩击穿电压 (35); 穿通电压 (37); 硅可控整	
流元件的正向压降 (46) 短路发射极结构 (47); 关断	
时间问题 (63)	
第二章 常用材料及材料处理	65
2.1 常用材料	65
2.1.1 硅的物理性质.....	65
硅的电子性质 (65); 硅的原子性质 (66) 硅的机械和	
光学性质 (66); 硅的热性质 (66)	

2.1.2	杂质元素在硅中的性质	67
	杂质元素的离子半径及其在硅中的分凝系数 (67); 杂质元素在硅中的离化能 (67); 杂质元素在硅中的扩散系数 (67); 杂质元素在硅中的固态溶解度 (67)	
2.1.3	气体及气体纯化材料	67
	常用气体的基本物理化学常数 (67); 气体的纯化材料 (70)	
2.1.4	低温材料	71
2.1.5	真空材料	72
	机械泵油和扩散泵油 (72); 真空封脂、真空封腊、真空封泥 (73)	
2.1.6	电热材料	74
2.1.7	磨料	78
	人造磨料的物理性能 (78); 人造磨料的粒度号数和颗粒尺寸范围 (78)	
2.1.8	玻璃与石英玻璃	79
	玻璃 (79); 石英玻璃 (79)	
2.1.9	树脂	81
2.1.10	塑料	82
	热塑性塑料 (82); 热固性塑料 (82)	
2.1.11	有机硅高聚物	85
	硅橡胶 (85); 硅脂 (85); 硅油 (85)	
2.1.12	常用化学试剂	86
	化学试剂的分类及符号 (86); 常用化学试剂的性质及用途 (86)	
2.1.13	离子交换树脂	92
2.1.14	去离子水	92
	离子交换树脂去除水中离子的原理 (92); 离子交换树脂的选择、混合比、预处理及再生 (95); 去离子水装置 (97); 使用注意事项 (98)	
2.1.15	王水	98

2.1.16	洗液	98
2.1.17	可伐、杜美絲、优质炭素結構鋼	99
2.2	材料处理	99
2.2.1	硅的腐蝕	99
2.2.2	硅扩散片的电解腐蝕	100
2.2.3	常用金属及合金的腐蝕	101
2.2.4	玻璃器皿的清洁处理	103
2.2.5	石英器皿的清洁处理	103
2.2.6	石墨模具的清洁处理	103
2.2.7	鉬片的清洁处理	103
第三章	扩散	104
3.1	表面浓度問題	106
3.1.1	常用的几种扩散方式	106
	閉管扩散 (106); 載运气体扩散 (107); 涂层扩散 (107); 箱法扩散 (107)	
3.1.2	二次扩散法	108
3.1.3	硅的扩散技术	109
	P型杂质扩散 (109); N型杂质扩散 (115); 其它杂质的扩散及吸收 (118); 扩散炉的自动恒溫 (121)	
3.1.4	最大表面浓度——杂质在硅中的固态溶解度	122
3.2	結深問題	124
3.2.1	結深与扩散时间的关系	124
3.2.2	結深与扩散濃度的关系	124
3.2.3	扩散系数与硅基片掺杂程度和表面浓度之间的关系	127
3.3	結深与表面浓度的測定	130
3.3.1	結深的測定	130
	磨斜角及磨槽法 (130); 染色显示PN結 (131); 測定 (132)	
3.3.2	表面浓度的计算及測量	132
	硅单晶电阻率的測量 (132); 薄片电阻率的測量 (133); 薄层电阻 (方块电阻) (137); 硅中杂质浓度与电阻率	

的关系 (137) ; 扩散层平均电导与表面浓度的关系
(138) ; 表面浓度的计算 (144)

第四章 氧化与光刻.....145

4.1 硅片的氧化.....145

4.1.1 杂质在二氧化硅中的扩散系数.....145

4.1.2 硼、磷扩散时, 二氧化硅薄膜的掩蔽作用.....146

4.1.3 二氧化硅膜的生长方法.....147

干氧化法 (147) ; 湿氧化法 (149) ; 水汽氧化
(150) ; 热分介沉积氧化层 (152)

4.1.4 可控整流元件制造采用的氧化方法.....153

4.1.5 热氧化引起杂质再分布.....154

4.1.6 氧化层测量与检查.....155

氧化层厚度的测量 (155) ; 氧化膜连续性的检查 (156)

4.2 光刻.....156

4.2.1 光刻胶.....156

4.2.2 二氧化硅腐蚀.....158

4.2.3 光刻时蒸发铝膜的腐蚀.....159

第五章 合金.....160

5.1 制造合金的常用金属的主要特性.....160

5.2 相图.....162

5.2.1 相图的一般特性.....162

5.2.2 硅的二元相图.....166

银-硅相图 (166) ; 铝-硅相图 (166) ; 砷-硅相图
(168) ; 金-硅相图 (168) ; 硼-硅相图 (169) ;
铋-硅相图 (170) ; 铜-硅相图 (171) ; 镓-硅相图
(172) ; 锗-硅相图 (173) ; 铟-硅相图 (174) ;
镉-硅相图 (175) ; 氧-硅相图 (177) ; 磷-硅相图
(178) ; 钡-硅相图 (179) ; 铂-硅相图 (179) ;
铈-硅相图 (181) ; 锡-硅相图 (182) ; 钽-硅相图
(182) ; 钛-硅相图 (183) ; 钨-硅相图 (184)

5.2.3 其它常用二元相图.....186

銀—金相圖 (186)；銀—銅相圖 (187)；銀—鎳相圖 (188)；銀—鉛相圖 (189)；銀—鎳相圖 (190)；銀—錫相圖 (191)；鉛—金相圖 (192)；鉛—鎳相圖 (193)；砷—鎳相圖 (194)；金—鎳相圖 (195)；金—鎳相圖 (196)；金—鎳相圖 (197)；金—鈹相圖 (198)；金—鎳相圖 (199)；鉍—鎳相圖 (200)；鎳—錫相圖 (201)；鉛—鎳相圖 (202)；鉛—錫相圖 (203)；三氧化二硼—氧化鈉相圖 (204)；氧化鈣—五氧化二磷相圖 (204)；三氧化二硼—二氧化矽相圖 (205)

5.3	合金PN結	205
5.4	合金歐姆接觸	206
5.5	合金材料	207
5.5.1	PN結合金材料和歐姆接觸合金材料	207
5.5.2	管芯焊接常用合金材料	209
5.6	合金溫度 (燒結溫度)	209
5.7	合金深度 (結深) 的計算	210
5.8	合金結深度的測量	212

第六章 電鍍與蒸發 213

6.1	電鍍與化學鍍	213
6.1.1	矽片鍍鎳	213
6.1.2	鉍片鍍鎳	214
6.1.3	鉍片鍍銀	214
6.1.4	管殼及鋼件鍍鎳	215
6.1.5	管殼及鋼件鍍鉻	217
6.2	蒸發	218
6.2.1	電子束蒸發	218
6.2.2	真空蒸發	219

第七章 表面處理和保護 224

7.1	表面處理	224
7.1.1	磨角	224
	正斜角 (225)；負斜角 (226)	

7.1.2	化学腐蚀	228
	碱腐蚀法 (228); 酸腐蚀法 (229)	
7.2	表面保护	229
7.2.1	溅射二氧化硅保护膜	229
7.2.2	氢氟酸—硝酸系蒸气形成氧化保护膜	230
	通常法 (232); 去湿法 (232)	
7.2.3	表面保护涂敷物	235
第八章	管壳	236
8.1	管壳的结构	236
8.1.1	管壳设计的一般要求	236
8.1.2	现有的几种结构型式	236
8.2	管壳的另部件	241
8.2.1	底座	241
	材料选择 (241); 结构尺寸 (242); 加工方法 (243)	
8.2.2	内引线的断面积和形状	243
8.2.3	外形线的断面积和形状	246
8.2.4	引入体	249
8.3	引入体金属与非金属的封接	253
8.3.1	陶瓷与金属封接	253
	材料处理 (253); 陶瓷金属化及封接工艺 (254)	
8.3.2	玻璃与金属封接	254
8.4	底座与引入体的封接	255
第九章	散热器	257
9.1	设计的一般考虑	257
9.2	材料的选择及加工	259
第十章	硅功率元件的测试	261
10.1	硅整流元件的测试	266
10.1.1	正向电压降及结温升的测量	266
	结温升的测量 (266); 正向压降的测量 (267)	
10.1.2	反向伏安特性的测量	268
10.2	硅可控整流元件的测试	271

10.2.1	正反向伏安特性的测量(阻断状态)	271
10.2.2	正向电压降及结温升的测量	272
	触发线路(272); 热敏电流的选取(274)	
10.2.3	控制特性的测量	274
10.2.4	维持电流的测量	275
10.3	硅双向可控元件的测试	276
10.3.1	伏安特性的测量	277
10.3.2	控制特性的测量	277
第十一章	安技常识	283
11.1	有机溶剂安全使用	283
11.2	酸和碱的安全使用及急救	285
11.2.1	酸和碱的安全使用	285
11.2.2	急救	286
11.3	砷及其它化合物中毒急救	287
11.4	气体的安全使用	287
11.4.1	气瓶标记	287
11.4.2	氢气的安全使用	208
11.4.3	气瓶的安全使用	289

图 表 一 览 表

图1.1	硅整流元件的管芯基本结构、符号、及电压—电流特性	1
图1.2	硅整流元件的管芯	1
图1.3	PN结空间电荷区	2
图1.4	势垒电压与电流的关系	5
图1.5	少数载流子复合情况	5
图1.6	雪崩型硅整流元件制造工艺流程	10
图1.7	硅可控整流元件管芯结构, 符号及电压—电流特性	10
图1.8	二端PNPN器件示意图	11
图1.9	二端PNPN器件的电流—电压特性	11
图1.10	加以正电压时, 电流流动情况	12
图1.11	α 与 I 关系曲线	12
图1.12	硅可控整流元件的正向联接	13
图1.13	硅可控元件整流元件伏安特性	13
图1.14	载流子在硅可控整流元件中流动情况	14
图1.15	发射极短路后 α — I 关系曲线	16
图1.16	短路发射极结构的硅可控整流元件	16
图1.17	短路发射极结构的硅可控整流元件中横向压降效应	16
图1.18	短路发射极常用结构示意图	17
图1.19	环状发射极短路结构的硅可控整流元件	18
图1.20	硅可控整流元件浓度分布	18
图1.21	实际的结构图	19
图1.22	提高 $\frac{dI}{dt}$ 的几种结构	23
图1.23	提高 $\frac{dI}{dt}$ 合金扩散法的结构改进	23
图1.24	开关损耗(a)开通时的电流、电压及功率损耗的波形	25

	(b) 关闭时的电流、电压及功率损耗的波形	26
图1.25	硅可控整流元件的结构	27
图1.26	扩散—合金法硅可控整流元件工艺流程图	29
图1.27	(a) 双扩散法硅可控整流元件的工艺流程	30
	(b) 可关断可控整流元件的工艺流程	30
附图1.1	PNPN硅可控整流元件基本结构	31
附图1.2	硅可控整流元件的等效电路	32
附图1.3	α 随发射极电流与温度而变的曲线	32
附图1.4	伏安特性与温度的关系	33
附图1.5	$N_s=10^{17}$ 原子/厘米 ³ 时, 缓变结的雪崩击穿电压与基片浓度、结深的关系	35
附图1.6	$N_s=10^{18}$ 原子/厘米 ³ 时, 缓变结的雪崩击穿电压与基片浓度、结深的关系	36
附图1.7	$N_s=10^{19}$ 原子/厘米 ³ 时, 缓变结的雪崩击穿电压与基片浓度、结深的关系	36
附图1.8	$N_s=10^{20}$ 原子/厘米 ³ 时, 缓变结的雪崩击穿电压与基片浓度、结深的关系	37
附图1.9	空间电荷区宽度(或基区宽度)与外加电压(或穿通电压)的关系以及结电容与反向电压的关系	38
附图1.10	$\frac{Nb}{N_s}$ 在 3×10^{-2} 到 3×10^{-3} 范围内缓变结的空间电荷区宽度(或基区宽度)与电压或穿通电压的关系; 结电容与电压的关系	39
附图1.11	$\frac{Nb}{N_s}$ 在 3×10^{-4} 到 3×10^{-3} 范围内缓变结的空间电荷区宽度(或基区宽度)与电压或穿通电压的关系; 结电容与电压的关系	40
附图1.12	$\frac{Nb}{N_s}$ 在 3×10^{-5} 到 3×10^{-4} 范围内缓变结的空间电荷区宽度(或基区宽度)与电压或穿通电压的关系; 结电容与电压的关系	40

附图1.13	$\frac{Nb}{Ns}$ 在 3×10^{-6} 到 3×10^{-5} 范围内缓变结的空间电荷区宽度 (或基区宽度) 与电压或穿通电压的关系; 结电容与电压的关系	41
附图1.14	$\frac{Nb}{Ns}$ 在 3×10^{-7} 到 3×10^{-6} 范围内缓变结的空间电荷区宽度 (或基区宽度) 与电压或穿通电压的关系; 结电容与电压的关系	41
附图1.15	$\frac{Nb}{Ns}$ 在 3×10^{-8} 到 3×10^{-7} 范围内缓变结的空间电荷区宽度 (或基区宽度) 与电压或穿通电压的关系; 结电容与电压的关系	42
附图1.16	杂质分布, X_1 为空间电荷区向表面方向扩展的厚度	42
附图1.17	$\frac{Nb}{Ns}$ 在 3×10^{-3} 到 3×10^{-2} 范围内缓变结向表面方向扩展部份 $\frac{X_1}{W_D}$ 与外加电压 V 的关系曲线	43
附图1.18	$\frac{Nb}{Ns}$ 在 3×10^{-4} 到 3×10^{-3} 范围内缓变结向表面方向扩展部份 $\frac{X_1}{W_D}$ 与外加电压 V 的关系曲线	43
附图1.19	$\frac{Nb}{Ns}$ 在 3×10^{-5} 到 3×10^{-4} 范围内缓变结向表面方向扩展部份 $\frac{X_1}{W_D}$ 与外加电压 V 的关系曲线	44
附图1.20	$\frac{Nb}{Ns}$ 在 3×10^{-6} 到 3×10^{-5} 范围内缓变结向表面方向扩展部份 $\frac{X_1}{W_D}$ 与外加电压 V 的关系曲线	44
附图1.21	$\frac{Nb}{Ns}$ 在 3×10^{-7} 到 3×10^{-6} 范围内缓变结向表面方向扩展部份 $\frac{X_1}{W_D}$ 与外加电压 V 的关系曲线	45