

可控硅设计手册

KEKONGGUI SHEJI SHOUCHE



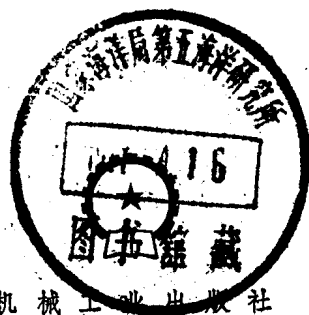
机械工业出版社

73.7323
163

0668/30 24

可控硅设计手册

北京椿树整流器厂译



73.7323

内容提要 本书系根据美国1970年再版的《Silicon Controlled Rectifier Designers Handbook》一书译出。

书中从应用观点出发,介绍了可控硅整流器的基本原理、特性以及各种应用电路和电路设计数据。本书共分十三章,包括:可控硅的基本原理;结构和工艺;符号和术语;额定值和特性;测试电路;控制极特性和触发电路;交流相控;直流伺服和强迫换向;串并联;热设计;可靠性、质量管理和失效机理;设计数据以及元件技术参数等。

本书可供从事可控硅制造和应用的工人和技术人员参考。

可控硅设计手册

北京椿树整流器厂译

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 850×1168 $\frac{1}{32}$ ·印张 15 $\frac{3}{8}$ ·字数 410 千字
1976年12月北京第一版·1976年12月北京第一次印刷

印数 00,001—54,000 ·定价 1.25 元

*

统一书号, 15063·4346

毛主席语录

凡属我们今天用得着的东西，都应该吸收。但是一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

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。

目 录

第一章 工作原理和基本理论	1
第一节 PN 结构	2
第二节 电压阻断能力	4
第三节 开通过程与导通特性	6
第四节 关断过程和“控制极控制”特性	11
第二章 元件结构和工艺过程	13
第一节 硅片的制备	13
一、单晶的切割	13
二、研磨	13
第二节 PN 结的形成	13
第三节 结形成后硅片的检测	17
一、硅片中杂质浓度及其分布的决定	17
二、载流子寿命的决定	18
第四节 硅片和基极金属的连接	19
第五节 结的表面造型与保护	20
一、结的表面造型	20
二、表面保护	20
第六节 管芯的封装	20
一、封装方法	20
二、硬焊结构	20
三、压接封装工艺	22
第七节 元件封装的机械设计	24
一、螺栓型装配	24
二、平底型结构	25
三、叠层式散热器的可控硅	25
四、双面冷却的平板结构	25
五、环氧封装的可控硅	27
第三章 术语和符号	28
第一节 术语	28



1971.4.16

一、电压术语	28
二、电流术语	29
三、控制极参数	30
四、决定功率的术语	30
五、开关时间术语	31
六、控制极关断术语	32
第二节 符号	32
一、整流器符号	32
二、晶体管符号	33
三、可控硅符号	33
第四章 可控硅的额定值及特性	35
第一节 阻断特性	35
一、反向电压 V_{RB}	36
二、瞬态反向阻断电压 V_{RBT}	36
三、正向电压 V_{FB}	36
四、瞬态正向阻断电压 V_{FRT}	36
五、正向转折电压 V_{BO}	36
第二节 控制极特性	37
第三节 结温	37
第四节 正向电流特性	38
第五节 热阻	40
一、热阻的额定	41
二、瞬态热阻	42
三、不规则电流波形的热阻计算	44
第六节 可控硅的其它电流额定值	47
一、有效电流	47
二、 I^2t 额定值	47
三、浪涌电流额定值	48
第七节 动态特性	48
一、阳极电流上升率 di/dt	48
二、动态开通压降	50
三、正向电压临界上升率 dv/dt	50

四、重加电压上升率	52
第八节 关断时间	52
第九节 控制极可关断可控硅GCS	54
一、控制极关断的变量	54
二、控制极输入特性	54
三、低频控制极关断	55
四、脉冲控制极关断	56
第五章 测试电路和操作方法	58
第一节 静态测试	58
一、交流正向和反向阻断特性	58
二、通态峰值电压	58
三、直流控制极特性	58
四、维持电流和掣住电流	58
第二节 动态测试	61
一、正向电压上升率 dv/dt	61
二、电路换向关断时间	64
三、开通时间	67
四、动态正向压降	70
五、反向恢复电荷	73
第三节 寿命测试	75
一、交流阻断寿命	75
二、工作寿命	75
三、正向电流上升率 di/dt	75
第六章 控制极特性及其触发电路	77
第一节 控制极-阴极特性	77
一、器件开通时的等效电路	77
二、触发前的控制极-阴极的伏安特性	78
三、在阳极导通期间控制极-阴极的伏安特性	79
第二节 器件特性和控制极条件的关系	81
一、控制极偏置-电流效应	82
二、控制极偏置-电压效应	82
三、控制极的阻抗效应	85

第三节 控制极额定值和触发电路的设计准则	86
一、控制极平均功率耗散 $P_{G(AV)}$	86
二、不触发特性 V_{GNT}	87
三、强触发和弱触发	87
四、控制极电源的负载线	90
第四节 控制极触发电路	91
一、电阻和电容触发电路	91
二、饱和电抗器控制	93
三、同步与定时电路	97
四、单结晶体管弛张振荡器	98
五、肖克莱击穿二极管弛张振荡器	103
六、阻塞振荡器控制极触发	104
七、强触发的控制电路	106
第七章 交流相位控制的应用	108
第一节 相位控制原理	108
第二节 交流电路中的换向	110
一、电路瞬态过程的换向	110
二、低反向偏压的换向	112
第三节 可控硅控制器的交流瞬态电流	114
第四节 单相交流开关	116
一、感性负载的交流开关	116
二、交流开关的谐波干扰	119
三、过电流保护	120
第五节 三相交流开关的结构	122
一、用三只可控硅的三相交流开关电路	126
二、中线接地和“内三角形”结构的用六只可控硅的三相交流开关	126
三、进线连接的六只可控硅三相交流开关	128
四、用三只可控硅三只二极管的三相交流开关	130
五、用四只可控硅的三相交流开关	130
六、特性概述	131
第六节 特殊用途的交流开关和负载抽头变换器	134
一、抽头调节器的工作特性	135

二、可控硅的调节系统和闪烁问题	137
第七节 可变的直流电压变流器	140
第八节 三相变流器的比较	141
一、整流器特性	141
二、延迟角与系统响应的关系	143
三、控制极触发电路的考虑	144
四、感性负载	152
五、逆变器工作	153
第九节 直流电动机控制和特性	154
一、调速技术	155
二、直流电机的速-矩特性	157
三、电动机反转的可控硅控制	158
四、影响电动机准确速度的因素	161
五、电动机加速和电枢电流	164
六、直流电动机控制的应用	166
第十节 交流电动机控制	173
第十一节 蓄电池充电	176
第十二节 特殊照明控制	180
第八章 在直流电路和强迫换向方面的应用	182
第一节 关断时间及其变化	183
第二节 关断电路及方法	186
一、器件的关断时间及使用要求	187
二、辅助晶体管开关换向	188
三、脉冲变压器换向	188
四、电容换向电路	190
五、谐振负载换向	190
六、LC自由换向电路	191
七、辅助LC换向电路	194
八、控制极可关断可控硅 (GTO或GCS)	199
第三节 可控硅在直流电动机控制中的应用	200
第四节 进线斩波器的控制	201
一、控制电动机用的斩波技术	201

X

二、元件选择和设计程序	204
第五节 可控硅在直流-直流调压方面的应用	215
一、固定频率、可变脉冲宽度的直流斩波调节器	215
二、斩波器的工作原理	216
三、设计方法	219
四、设计实例	225
五、结论	229
第六节 可控硅在静态逆变器中的应用	229
一、逆变器接线方式	229
二、逆变器输出	231
三、逆变器的设计实例	243
第七节 控制极可关断可控硅的电路	270
第九章 串联技术	280
一、导通	280
二、关断	281
三、关断状态时的瞬态电压	283
四、关断状态时的稳态电压	283
五、实际的电压分配网路	285
六、并联和串联电阻器中的功率损耗	286
第一节 并联运行	287
第二节 熔断器	290
第三节 瞬态电压源	294
第四节 测试技术	296
第五节 过电压保护技术	296
一、RC浪涌电压抑制网路	297
二、“铁铤形”瞬态保护电路	299
三、电容器瞬态保护电路	299
第六节 可控硅整流电路引起的射频电流源和干扰	300
一、射频电流的辐射干扰	301
二、干扰和整流谐波	303
第十章 热设计	311
第一节 引言	311

第二节 可控硅的传热——一般理论和实践	311
一、可控硅的热源	311
二、传热的方式	311
三、热阻	312
第三节 可控硅的一般热设计数据	317
第四节 测量技术	318
一、热电偶测量法	318
二、测量冷却流量	319
三、测试步骤	320
第五节 热阻数据	321
第六节 采用自然对流散热器设计的典型实例	330
第七节 采用挤压式散热器设计的典型实例	332
第十一章 可靠性、质量管理和失效机理	335
第一节 可靠性术语	335
第二节 可靠性预测技术	336
第三节 获取可靠产品的质量管理技术	341
一、频数分布	341
二、控制图表	343
三、采用 S 的 $\bar{x}$ 图	343
四、采用 R 的 $\bar{x}$ 图	345
五、验收取样	345
第四节 器件失效机理	350
一、器件的体内沾污	350
二、器件结表面的沾污	350
三、封装问题	351
四、机械方面的失效	351
五、电气失效模式	351
第十二章 设计数据	363
第一节 换算表	363
第二节 常数和规格	363
第三节 阻抗比例关系式	363
第四节 波形资料	364

第五节 电路布置和常数	365
第六节 定义和符号	366
第十三章 技术数据	417
一、2N681~2N692型(JEDEC)可控硅整流元件	417
二、2191~2192型快速开关可控硅整流元件	421
三、2N4361和2N4371型可控硅整流元件	425
四、T507型放大控制极快速开关可控硅整流元件	429
五、2505型高温可控硅整流元件(2N2023~2030与此同)	436
六、2248型可控硅整流元件	440
七、272型功率平板可控硅整流元件	444
八、270-Y30型可控硅整流元件	448
九、270型可控硅整流元件	452
十、286-Y30型可控硅整流元件	456
十一、283型功率平板可控硅整流元件	460
十二、282-Y40型功率平板可控硅整流元件	464
十三、2515型高温可控硅整流元件	468
十四、2541~2542型快速可控硅整流元件	472
十五、263型功率平板可控硅整流元件	476

第一章 工作原理和基本理论

编写本手册的目的是希望能有助于反向阻断三极晶闸管的设计及应用。晶闸管是包括控制极可关断可控硅 (GCS)、双向可控硅、肖克莱二极管和可控硅 (SCR) 等各种半导体元件的总称。这类元件是用 P 型和 N 型半导体材料交替叠合而成的, 并由此获得所需要的工作特性。常用的可控硅器件, 其符号及应用示于图 1-1。应当指出, 这类元件与较简单的整流元件不同, 它们能控制每个周波内的起始导通点 (为方便起见, 本书内晶闸管一词, 除第三章外, 一律译作可控硅——译注)。

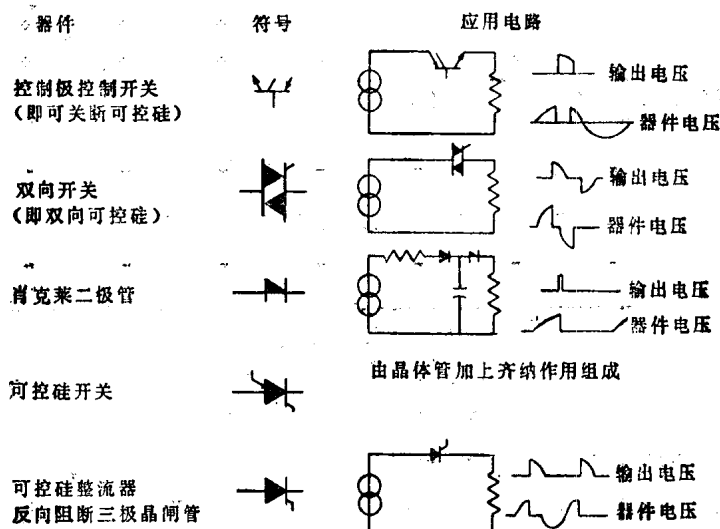


图1-1 常用可控硅器件

由于本书是为可控硅的应用而编写的, 故所讨论的内容着重于一般可控硅的特点及其应用。为了全面和清楚起见, 也将适当

地介绍一些其他类型的可控硅。但除特殊注明者外，书内所述仍只限于普通可控硅。

可控硅是一个四层 $PNPN$ 元件，它能在任一方向上阻断电压。如果我们观察一下这个四层结构，可以明显地看出，元件在任何方向上至少有一个反向偏置的 PN 结。正是这种特性才使可控硅在任一方向上都具有阻断能力。

第一节 PN 结 构

要制成一个特性良好的可控硅，关键在于 PN 结的性质和质量，所以必须重视材料的选择和加工的技术。在生产过程中，用合金或扩散的方法在 N 型材料（即含有 N 型杂质的材料）的基片上造成一个 P 区（即含有 P 型杂质的区域）。这两种杂质在 N 型基片中的某点上相补偿，并形成如图 1-2 所示的 PN 结。

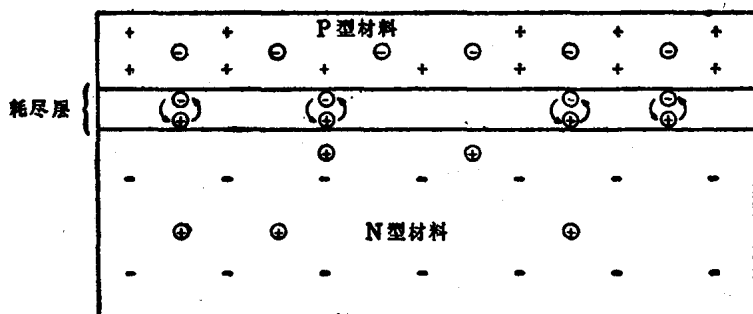


图1-2 基本的硅结面图

⊕施主离子 + 空穴
⊖受主离子 - 电子

在这个由杂质补偿构成的结中，电子离开 N 区，空穴离开 P 区，于是在结的两侧留下了一个纯电荷区，并形成电场。这种情况类似于电容器中见到的情形。随着电场强度的增加，电场将迫使电子返回 N 区，空穴返回 P 区。这种状态达到平衡时，即形成工作特性所需的电荷区或耗尽层。耗尽层的特性和质量由材料及工艺过程所决定。这些将在第二章中加以讨论。

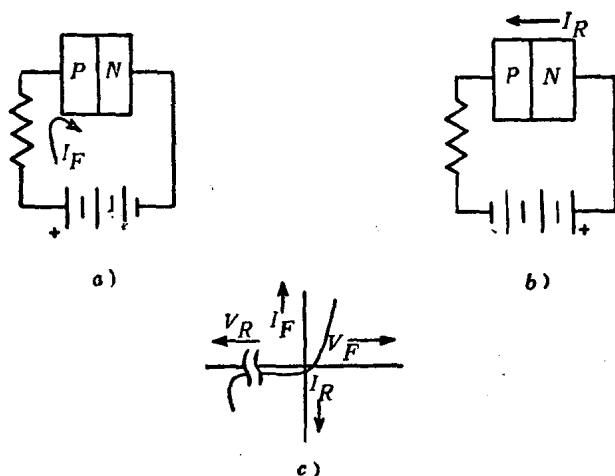


图1-3 PN结的基本关系

a) 正向偏置; b) 反向偏置; c) PN结伏安特性

当PN结两端的外偏压改变时,为使工作特性良好,耗尽层中的电场也要变化。耗尽层的性质和质量的相应变化就会促进或抑制导通。对于正向偏置的结,外电路电压可以克服耗尽层中的电场,于是便分别从P区和N区引起空穴和电子流,并因此引起一个如图1-3 a)所示的线路电流。但当外偏压为反向时,耗尽层中的电场被加强,于是导通情况由结的固有漏电所决定。此情况示于图1-3 b)。可以把这两个特性联系起来,用图1-3 c)所示的伏安特性曲线表示。单个的PN结可以阻断低于其反向峰值电压(PRV)值的反向电压,但正向偏置时可以允许电流通过,电流的大小由线路的形式决定。为了实现另外的控制方法,就要在一个硅片上形成三个PN结,如图1-4所示。利用这种结构,改变控制极电位可以实现第一象限控制。当电子注入到 P^+ 区后,其中有一些将漂移到 P^+N 区,并被反向电场拉入N型材料中;在适当的控制条件下,可引起雪崩倍增,于是便发生导通。

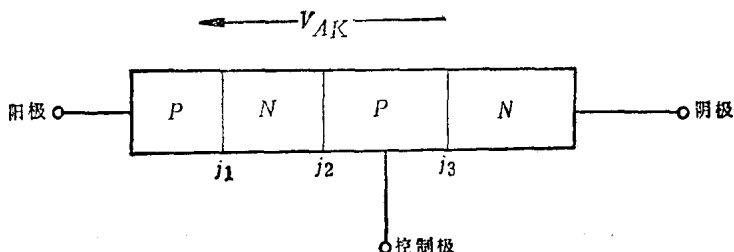


图1-4 正向偏置的 PNPN 结构

j_1 、 j_3 —正向偏置； j_2 —反向偏置

第二节 电压阻断能力

可控硅要求的特性包括图 1-5 所示的第一和第三象限的作用，即要求阻断结能按预定的形式承受正向和反向电压。当在 PN 结上加一个小的反向偏压时，则只有一个小电流通过。这个电流含有两种成分，一种是饱和电流，它与所用材料的类型有关（对硅来说是低的）；另一种是“产生电流”，它是由耗尽层中所谓的复合中心俘获或释放载流子所造成的。在硅中后者是电流的主要成分。

随着阻断电压的增高，结两侧的电场也增高，于是在电场的作用下，结中为数不多的载流子将被加速到具有足够的能量，去撞击出更多的电子空穴对，并使漏电流增加。这种载流子倍增过程在倍增区域中是占优势的。

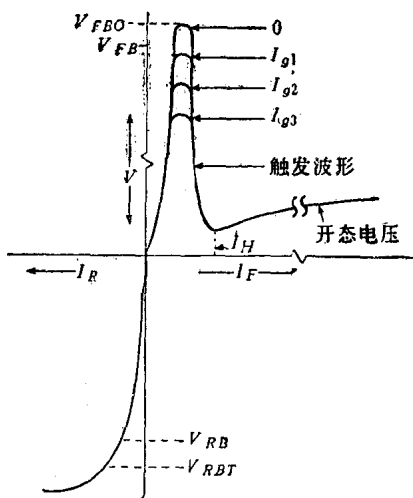


图1-5 用控制极控制可控硅的伏安特性

随着结中电压的增高, 倍增过程产生的载流子在短距离内就能获得足够的能量, 再去产生更多的载流子。这一情况一经达到, 漏电流将迅速增加到仅由线路回路阻抗所限的数值。这时结两端的电压称为结的雪崩击穿电压。

为了说明所讨论的各个区域, 图 1-6 示出了反向偏压特性的普通对数曲线。在再生区域中 I_r 随耗尽层的宽度而变化, 正比于结电压的 $1/2$ 到 $1/3$ 次方。在倍增区域中, 由于倍增因数, 电流相对于电压的变化不服从 $1/2$ 到 $1/3$ 次方的关系。倍增因子与雪崩击穿电压 V_{BO} 及结电压 V_R 的关系可用下面的经验公式表示:

$$M = \frac{1}{1 - \left(\frac{V_R}{V_{BO}} \right)^n}$$

其中, n 取决于材料类型, 对硅来说 n 为 $2 \sim 4$ 。任何结的雪崩击穿电压都和结附近的杂质分布有关, 而杂质分布则取决于设计和生产工艺。一般说来, 当杂质均匀分布, 结的轻掺杂一边为 N_I 时, 合金、外延生长或浅扩散结在 N 区和 P 区之间的过渡

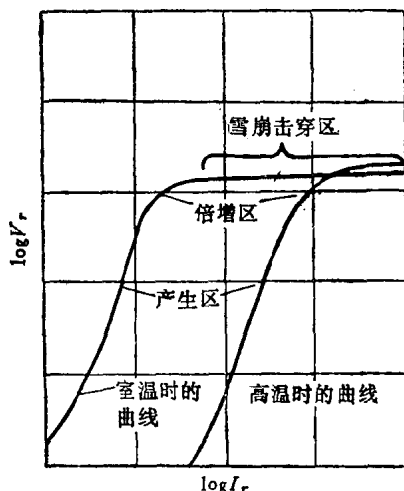


图1-6 一般的反向偏置结的特性

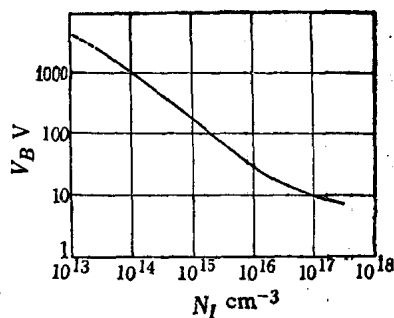


图1-7 均匀掺杂的突变结与雪崩击穿电压的关系曲线