

国外机械工业基本情况

电力半导体器件

西安整流器研究所编

机械工业部科学技术情报研究所

一九八五年

内容简介 本分册为《国外机械工业基本情况》的电力半导体器件部分，简要介绍了近年来国外电力半导体器件的最新发展及其应用情况，以及美国、日本、联邦德国生产电力半导体器件有关厂家的企业生产及科研情况。本资料可供本专业及有关部门的管理干部、工程技术人员以及教学工作者参考。

电力半导体器件

西安整流器研究所 编

*

机械工业部科学技术情报研究所编辑出版

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行室发行

*

1985 年 10 月北京

代号：85 - 2 定价：1.20 元

出版说明

机械工业肩负着为国民经济各部门提供技术装备的重任。为适应四化建设的需要，必须大力发展机械工业。上质量、上品种、上水平，提高经济效益，是今后一个时期机械工业的战略任务。为了借鉴国外机械工业的发展道路、措施方法和经验教训，了解国外机械工业的生产、技术和管理水平，以便探索我国机械工业具有自己特色的发展道路，我们组织编写了第三轮《国外机械工业基本情况》。这一轮是在前两轮的基础上，更全面、系统地介绍了国外机械工业的行业、企业、生产技术和科学研究等方面的综合情况，着重报道了国外机械工业七十年代末和八十年代初的水平以及本世纪末的发展趋向。

第三轮《国外机械工业基本情况》共一百余分册，参加组织编写的主编单位包括研究院所、工厂和高等院校共一百余个，编写人员计达一千余人。

本分册为电力半导体器件部分，由西安整流器研究所张秀澹同志负责编写，责任编辑，陈起。

机械工业部科学技术情报研究所

目 录

一、硅单晶材料的发展情况	(1)
(一) 硅单晶的直径	(1)
1. 区熔法	(1)
2. 直拉法	(1)
(二) 硅单晶的产量	(2)
二、电力半导体器件的发展	(2)
(一) 电力半导体器件的生产情况	(4)
1. 电力半导体器件的生产品种及水平	(4)
2. 电力半导体器件的产量、产值和销售额	(4)
(二) 电力半导体器件的研制情况	(6)
1. 肖特基势垒二极管	(6)
2. 非对称晶闸管 (ASCR)	(7)
3. 可关断晶闸管 (GTO)	(7)
4. 巨型功率晶体管 (GTR)	(9)
5. 功率 MOS-FET	(11)
6. 半导体模块	(11)
7. 半导体的组合使用	(13)
(三) 电力半导体器件冷却技术的发展情况	(14)
三、电力半导体器件的应用	(16)
(一) 交流传动	(16)
1. 晶闸管无换向器电动机	(17)
2. 晶闸管变频调速	(17)
3. 晶闸管串级调速	(18)
(二) 高压直流输电用的晶闸管阀	(18)
(三) 静止无功补偿装置	(18)
(四) 各种电源装置	(21)
1. 不停电电源	(21)
2. 中频电源	(21)
(五) 有源型抑制滤波器 (半导体滤波器)	(22)
(六) 半导体断路器	(23)
四、电力半导体器件在节能中的作用	(24)
五、用微型计算机控制电力半导体装置	(26)
六、新能源-硅太阳能电池发电系统的发展情况	(27)
七、研制和生产电力半导体器件和装置的国外企业情况	(28)
(一) 美国	(28)
1. 美国通用电气公司	(28)

2. 美国西屋电气公司..... (33)

(二) 联邦德国..... (34)

1. 通用电气—德律风根电力半导体部 (34)

2. 勃朗 鲍威利公司..... (34)

3. 西门子公司..... (36)

(三) 日本..... (37)

1. 日本东京芝浦电气株式会社 (39)

2. 日立制作所(株)..... (42)

3. 三菱电机(株)..... (44)

4. 富士电机制造株式会社..... (45)

5. 日本国际整流器公司..... (46)

6. 日本三社电机制作所(株)..... (47)

7. 新电源工业(株)..... (47)

8. 欧丽金(オリジン) 电气(株)..... (48)

9. 明电舍(株)..... (48)

一、硅单晶材料的发展情况

(一) 硅单晶的直径

硅单晶的生产方法有区熔法（FZ法）和直拉法（CZ）两种。

1. 区熔法

日本区熔法硅单晶的直径增长情况见图1。图中同时给出普通晶闸管的电压、电流水平与硅单晶直径的发展关系。从图可知：1975年硅单晶的直径为75毫米，普通晶闸管达到的电压、电流水平为2500伏，1500安；1978年为100毫米，4000伏，3000安；1981年为125毫米，器件电压可达到6000~8000伏。

区熔硅单晶的质量有两次突破：第一次是在1965年采用无位错控制技术生产结构完整的无位错硅单晶；第二次是在1975年采用中子辐照嬗变掺杂技术生产径向电阻率均匀的硅单晶。大直径、高质量区熔硅单晶的生产为电力半导体器件的研制和生产创造了有利条件。

2. 直拉法

日本直拉法硅单晶的直径增长情况见图2。1970年开始生产无位错硅单晶，其直径1977年为100毫米，1982年为125毫米。随着直拉硅单晶直径的增长，使集成电路向大规模集成电路和超大规模集成电路的方向发展。

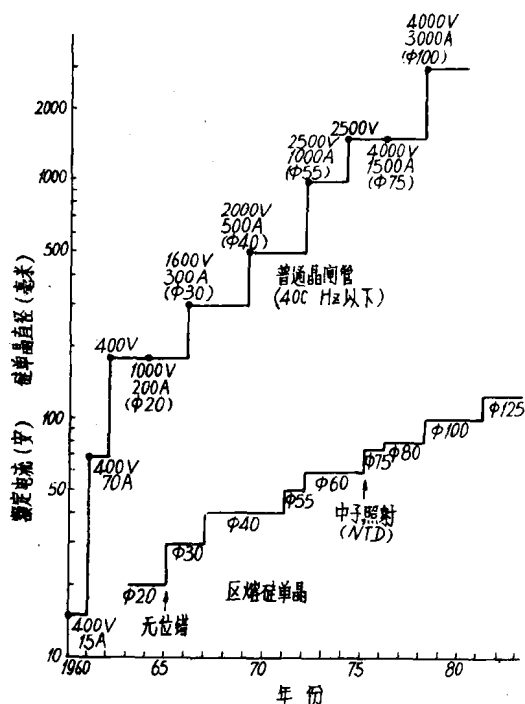


图1 日本区熔硅单晶的直径发展情况

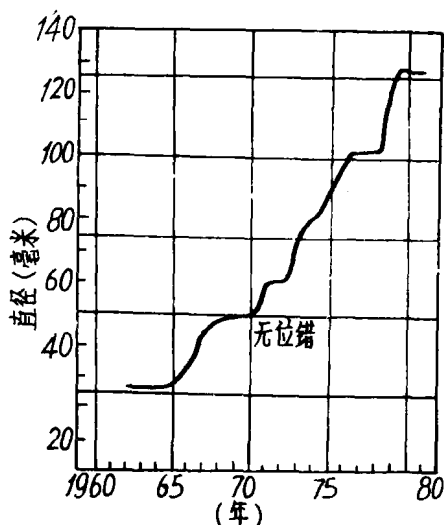


图2 日本直拉硅单晶的直径发展情况

(二) 硅单晶的产量

美国、日本、西欧1980年硅单晶的产量约为1155吨，其中美国为621吨，日本为341吨，西欧为193吨。预计到1985年将增加到3000吨。

八十年代初期，日本硅材料的需求和预测见表1。

表1 日本硅材料的需求和预测

年 份	多 晶 (吨)			单 晶 (吨)				硅片输出 (万美元)	总销售额 (亿日元)
	生 产	输 入	总 计	生 产	内 需	输 出	输 入		
1980	470	280	750	—	273	61	20	2629	556
1981	576	400	976	444	358	60	30	2800	713
1982	590	550	1140	537	414	77	60	3230	927
1983	649	950	1599	778	636	91	60	4031	1050
1984	850	1200	2050	1000	850	100	100	4500	1400

目前，直拉硅单晶与区熔硅单晶的产量比约为8:1。硅片直径小于100毫米的约占20%，100毫米的约占60%，125毫米的约占20%。不久将来，小于100毫米的将降到10%，125毫米的将升高到30%。

二、电力半导体器件的发展

电力半导体器件大致可分为整流管、晶闸管和功率晶体管三大类。其中晶闸管是电力电子技术的支柱，它又可分为逆阻型、逆导型、快速型、可关断型、光控型、场控型、磁控型等等。逆阻型晶闸管发明最早、发展最快、应用也最广，在电力半导体变流装置中占统治地位。但是，到七十年代末期，由于新的电力半导体器件不断涌现，形势发生了急剧变化，特别是随着巨型功率晶体管（简称GTR）的出现，并开展了将GTR用于电力半导体变流装置的研究，于是提出了一些新的看法，例如1977年美国通用电气公司的哈登（Harden）以美国和通用电气公司的技术水平为基础，根据价格/特性指标，分析和观察了现今和今后五年硅功率晶体管和硅晶闸管的适用领域，见图3。图中(I)区电流在450安以下，电压约100伏以及电流在100安以下，电压在500伏以下，在整个频率范围内，是现时采用硅功率晶体管有利的领域；(II)区电流在300安以下，电压在750伏以下，频率在20千赫以下，是现时硅功率晶体管和硅晶闸管相竞争的领域；(III)区电流在450安以下，电压在1300伏以下，频率在20千赫以下，是五年后有利于硅功率晶体管的领域；(IV)区是五年后有利于硅晶闸管的领域。1978年，日本富士公司的森春元等以日本和富士公司的技术为基础，分析和观察的结果，基本上和美国相同，并预测不久的将来，20~30千伏安以及在2~3年内，40~50千伏安的电力半导体变流器将全部硅功率晶体管化。

与此同时，日本又出现了电流和电压水平可以和普通晶闸管相比拟的可关断晶闸管。由于它的电压和电流比晶体管高，而且又不需要普通晶闸管所必需的强迫换流电路，因此，在

中、小功率的电力半导体变流器中又增加了一个强有力的竞争者。但是，欧美的兴趣则集中在功率 MOSFET 上，美国国际整流器公司的 Pelly 提出：功率 MOSFET 具有高输入阻抗，高开关速度，跨导随电流增大而增大，易于并联，不存在二次击穿问题。因此，它是最有前途和最有吸引力的器件。1979 年美国 Silicon 公司认为五年内，功率 MOSFET 将取代双极晶体管。但是，由于它的容量较低，不会威胁其它的电力半导体器件。

综上所述，根据各种电力半导体器件所达到的水平及具有的特点，它们将各自占领如图 4 所示的工作区域。在交流电动机用的变流装置中，功率 MOSFET 将占领频率 100 千赫以

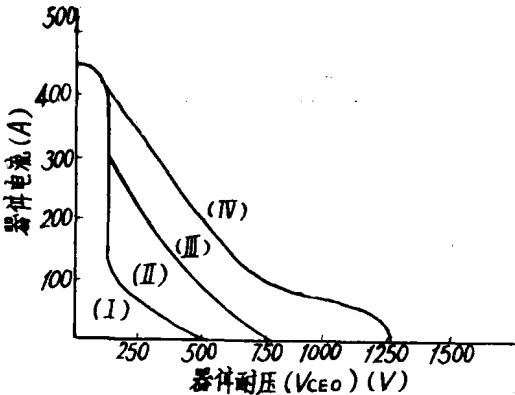


图 3 根据价格/性能指标硅功率晶体管和硅晶闸管的适用领域

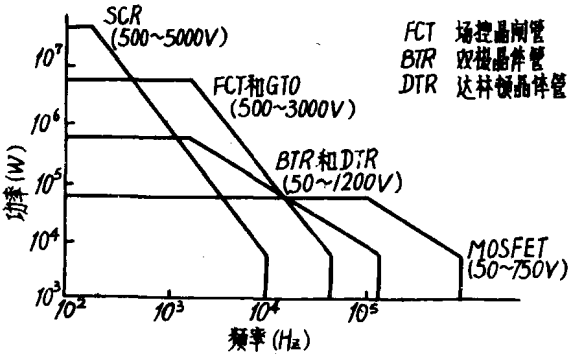


图 4 电力半导体器件的工作区域

下，电压 400 伏以下，容量 5 千瓦以下的领域；巨型功率晶体管将占领频率 10 千赫以下，电压 1000 伏以下，容量 100 千瓦以下领域；可关断晶闸管将占领频率 2 千赫以下，电压 3000 伏以下，容量 500 千瓦以下领域，见图 5。日本又预示了功率晶体管、可关断晶闸管、普通晶闸管脉宽调制逆变器的频率-容量范围，见图 6。功率晶体管脉宽调制 (PWM) 逆变器适用于 4 千赫以下 60 千伏安以下的领域；可关断晶闸管脉宽调制逆变器适用于 3 千赫以下 500 千伏安以下的领域；晶闸管脉宽调制逆变器适用于 0.5 千赫以下，3000 千伏安以下的领域。

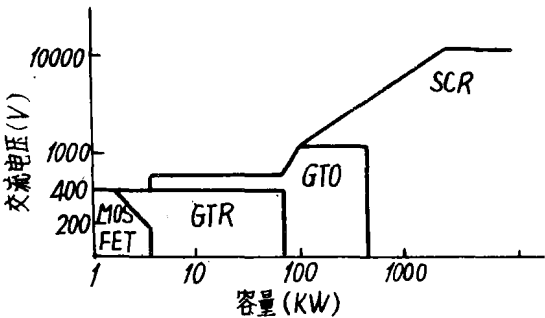


图 5 交流电动机变流装置容量和适用元件

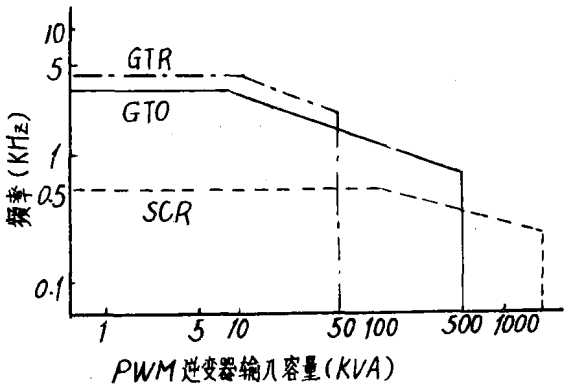


图 6 PWM 逆变器的应用领域

(一) 电力半导体器件的生产情况

1. 电力半导体器件的生产品种及水平

目前，全世界约有几百个工厂正在生产电力半导体器件。其生产的特点是规格繁多，电流从数安到数千安；电压从数十伏到数千伏。但是，其中绝大多数是中、小容量的，大容量1000伏200安以上的品种约占16%；2000伏500安以上的品种约占2%。现将这些产品目前达到的最高水平列于表2。

表2 电力半导体器件的生产品种及水平

生 产 品 种	生 产 水 平
普通整流管	3000伏3500安及1000伏5000安
快速整流管	3000伏1000安，10千赫
雪崩整流管	3000伏400安反向浪涌功率500千瓦
肖特基势垒二极管	40伏60安0.23微秒
肖克莱二极管	1000伏200安
普通晶闸管	4000伏3000安400微秒及4400伏1200安360微秒
快速晶闸管	1200伏1500安20微秒5千赫
门极辅助关断晶闸管	1200伏400安8微秒10千赫
非对称晶闸管	1800伏2400安及2000伏1900安
逆导晶闸管	2500伏1000安/400安30微秒
双向晶闸管	1000伏300安
三端交流开关 (Triac)	1600伏55安
两端交流开关 (Diac)	90伏50安
可关断晶闸管	3500伏400安
光控晶闸管	200伏1.6安
功率晶体管	900伏200安及80伏1200安
功率静电感应晶体管	1200伏10安
功率 MOSFET	500伏10安0.6微秒及1000伏4.7安0.7微秒
功率晶体管模块	1000伏200安
二极管和晶闸管模块	1600伏100安
晶闸管模块	2500伏160安

2. 电力半导体器件的产量、产值和销售额

随着电力半导体器件品种的增加和质量的提高，电力半导体器件的生产也在不断发展，1981年全世界电力半导体器件的市场约为500百万英镑，预计到1986年将增加到900百万英镑。

日本1978~83年硅整流管和硅晶闸管的产量和产值见表3。并预计最近快速发展起来的功率晶体管将占有100亿日元的市场。

美国、日本以及西欧电力半导体器件的销售额见表4。在销售额中，控制功率在 10^4 瓦以上的元件约占10%； 10^4 瓦以下的元件约占90%。由此可见，市场需要的绝大部分是中、小容量的元件。另外，美国三端交流开关的销售额约占晶闸管总销售额的1/5，由此可估计出其销售额非常可观，因为三端交流开关的绝大多数是低电压、小电流树脂或塑料封装的元件，

表3 日本硅整流管和硅晶闸管的产量和产值（从0.1安起统计）

年 份	硅 整 流 管		硅 晶 闸 管	
	产量（千个）	产值（百万日元）	产 量（千个）	产值（百万日元）
1978	1597356	45362	98070	17859
1979	1843858	45505	99026	18422
1980	2188596	49489	135296	20931
1981	2496784	55538	159352	20738
1982	2408362	53201	173216	20003
1983	3053550	62867	181876	21207

其价格非常低廉,如美国 Genten公司生产的800伏40安三端交流开关模块的价格为8元美金。这种交流开关主要用于家庭电器、调光、控温以及电动机调速等。

西欧对电力半导体器件的市场预测为:硅整流管1981年的市场为262百万美元,计划到1987年增加到392百万美元,年增长率低于7%。硅晶闸管的市场1981年为190百万美元,集中在大容量器件,如50安以上的占130百万美元,预计1983年起50安以下的晶闸管的市场将缩小,晶闸管的总销售额将按4%的增长率增长,到1987年为240百万美元。晶体管的市场1981年为879百万美元,预计平均年增长率为11%,到1987年为1600百万美元,其中大于300瓦晶体管的市场1981年为30百万美元,预计它的年增长率为37%,它将蚕食晶闸管的市场。

表4 美国、西欧、日本电力半导体器件的销售额（百万美元）

国 别	电力半导体器件的名称	1978	1979	1980	1981	1982	1983
美 国	整流管	179.8	218.0	245.5	228.0	215.5	229.5
	其中 25安以下				131.0	127.8	131.0
	20安以上				41.0	39.2	41.5
	快速型				56.0	48.5	54.0
	功率晶体管（1瓦以上）	228.7	240.2	242.3	278.5	299.5	311.0
	其中 20瓦以上				29.2	46.2	50.3
西 欧	1~20瓦				249.3	253.3	260.7
	功率 MOSFET（1瓦以上）	4.0	6.0	9.5	17.0	21.9	35.2
	晶 闸 管	114.5	131.5	129.3	119.0	108.5	117.5
	其中 普通晶闸管				96.0	88.0	93.6
	三端交流开关				23.0	20.5	23.9
	保护器件（包括变阻器）	17.0	17.3	18.8	19.9	18.8	19.8
日 本	整流管和组件	208.7	240.4	198.6	158.8	161.9	172.3
	晶 闸 管	128.9	141.3	127.6	112.6	108.2	131.7
	功率晶体管（1瓦以上）	209.9	203.5	165.0	134.8	142.8	157.0
	整流管和组件	182.1	210.9	231.9	207.2	199.7	205.6
	其中 10安以下				120.8	124.5	128.0
	10安以上				86.4	75.2	77.6
日 本	晶 闸 管	69.8	80.6	90.9	102.5	134.2	144.3
	功率晶体管（1瓦以上）	178.8	203.5	240.9	233.4	199.8	218.8
	功率 FET（1瓦以上）			12.7	8.4	9.6	11.2
	保护器件（包括变阻器）			18.6	27.4	23.4	28.1

(二) 电力半导体器件的研制情况

目前, 电力半导体器件的发展有两种趋势: 一种是小电流、低电压, 这些元件的特点是结构简单, 采用平面工艺和树脂或塑料封装, 价格低廉, 主要用于家庭电器及小容量电动机调速; 另一种是大电流、高电压, 这些元件的特点是结构复杂, 工艺要求高、价格也贵, 主要用于高压直流输电、轧机传动、无功功率补偿、核聚变电源等。

在七十年代末、八十年代初, 由于技术上采用了: 1. 双正角表面造型技术; 2. 大直径中子嬗变掺杂硅单晶; 3. 计算机辅助设计; 4. 细微光刻加工技术, 为发展高压、大电流、动态特性良好、结构复杂的新型电力半导体器件创造了有利条件。目前, 研制的各种电力半导体器件的品种以及达到的水平见表 5。从表 5 可知, 在整流管类型中, 快速整流管和肖特基势垒二极管发展较快。快速整流管主要用于高频和开关领域, 如感应加热、电机控制、开关电源、牵引、不停电电源等。肖特基势垒二极管是“多子”器件, 无“少子”贮存效应, 因而恢复时间短, 正向压降低, 主要用于计算机电源和仪表、开关电源等。在晶闸管类型中, 可关断晶闸管和光控晶闸管发展较快, 这是由于可关断晶闸管具有门极关断能力, 光控晶闸管可使门极电路和主电路绝缘。功率晶体管由于具有基极关断能力, 因而发展也极快。下面介绍七十年代末迅速发展的肖特基势垒二极管, 自关断元件、光控晶闸管、非对称晶闸管、功率半导体模块以及功率半导体组件等的研究情况。

1. 肖特基势垒二极管

肖特基势垒二极管的结构见图 7。它的整流作用是由硅和金属间的接触势垒形成的。金属可以是铬、钼、铂硅化合物、钨, 也可以是上述金属的改进材料。肖特基势垒二极管的电特性与金属密切相关, 例如铬具有最低的势垒“阈”电压, 而钨具有最高的“阈”电压。

最近几年来, 对金属的选择和结构的设计都作了大量研究工作, 特别是采用 pn 结快速

表 5 电力半导体器件的研制品种及水平

品 种	水 平
普通整流管	3000 伏 6000 安
快速整流管	3000 伏 2500 安 300 毫微秒
肖特基势垒二极管	100 伏 80 安
普通晶闸管	6500 伏 3000 安及 5000 伏 4000 安
快速晶闸管	2500 伏 1000 安 30 微秒及 1200 伏 400 安 4 微秒
门极辅助关断晶闸管	2500 伏 500 安 20 微秒
非对称晶闸管	2500 伏 1000 安
光控晶闸管	4000 伏 3500 安 10 毫瓦及 8000 伏 1500 安 7 毫瓦
逆导晶闸管	4500 伏 1000 安 / 300 安 35 微秒
可关断晶闸管	4500 伏 3000 A
双向晶闸管	1200 伏 1000 安
场控晶闸管	4000 伏 2500 安
双向光控晶闸管	800 伏 200 安
功率晶体管	1000 伏 400 安
功率 MOSFET	

恢复型，提高了元件的可靠性，同时使肖特基势垒二极管的电流达到1~100安，电压为45~50伏，高的达到100伏。

在额定电流下，肖特基势垒二极管的通态电压与快速恢复二极管的基本相当，因此两者的功率损耗也大致相等，但在较低电流时，肖特基势垒二极管的通态电压较低。另外，肖特基势垒二极管是多数载流子器件，无少数载流子贮存问题，恢复时间几乎等于零。通态电压低和恢复时间短这两点对于5伏电源，例如计算机电源、仪表电源、开关电源是特别有利的，因而肖特基势垒二极管在5伏电源方面的应用占优势。

2. 非对称晶闸管 (ASCR)

在许多电压型逆变器中，需要整流管和晶闸管直接反并联连接，这时就不再要求晶闸管具有高的反向阻断能力。一般，在稳态条件下，整流管把晶闸管的反向电压箝制在1或2伏；在动态条件下，由于电路寄生电感的感应电压，晶闸管上的反向电压可能瞬时地上升到20伏左右。

非对称晶闸管是器件和电路技术的自然结合，根据上述要求进行特殊设计，将它的反向阻断耐压设计在30伏左右，正向阻断电压设计在400~2500伏之间。

低的反向阻断电压增加了设计自由度，使非对称晶闸管的特性，特别是关断时间、开通时间和正向阻断电压能实现最佳化。由于这些参数的改善，使它的辅助换流电路的体积缩小、工作频率范围扩大，不需要串联器件等。

非对称晶闸管的基本结构见图8。与普通晶闸管的不同之处是增加了一薄的 N_1^+ 层。 N_1^+ 薄层起“电场阻止器”的作用，并使轻掺杂 N_1^- 区有较高的电场强度。由于电场的积分就是正向阻断电压的容量，所以对于一给定的电压， N_1^- 层的厚度可减薄，这样可缩短关断时间和开通时间，并可降低正向通态电压。换言之，对于给定的开关时间和正向通态电压，可提高正向阻断电压。

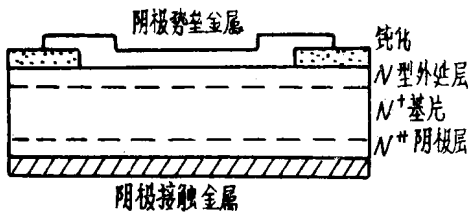


图7 肖特基势垒二极管的结构

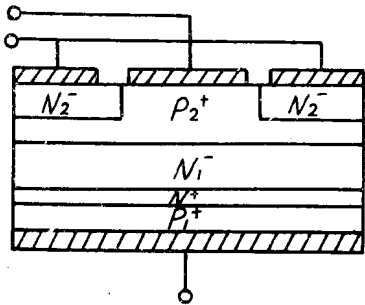


图8 非对称晶闸管的基本结构

非对称晶闸管不能承受高的反向电压是由于在加反向电压时， $N_1^+P_1^+$ 结发生雪崩击穿。

3. 可关断晶闸管 (GTO)

在七十年代末期，相继采用以下结构：

(1) pn^+n 结构，见图9。其 n 层由杂质浓度高的 n_B 和杂质浓度低的 n_{B^+} 层组成。由于 n_{B^+} 层的存在，在正向电压阻断时，从 P_F 层向 n_B 层注入载流子以防止穿通，这样，即使 n 层的厚度不增加也能提高GTO耐压，同时又能防止通态电压的增加。

(2) 放大门极结构，见图10，在中央部设置辅助晶闸管，在其周围设置主GTO，门

极由输入开通信号的中心门极 G_1 和输入关断信号的环形门极 G_2 组成，这样可用较小的门极电流使主 GTO 触发导通。即辅助晶闸管一旦导通，从阳极注入的大量空穴经过辅助晶闸管迅速流入主 GTO 的门极，使主 GTO 导通，这样缩短了开通时间，提高了 di/dt 能力，达到了降低开通损耗的目的。

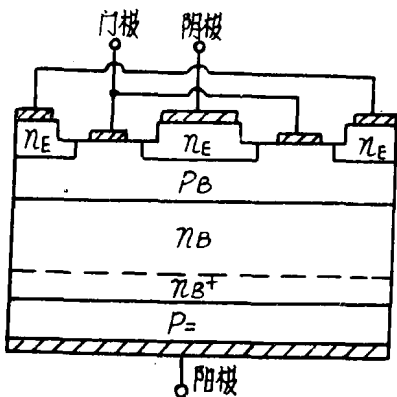


图9 pn⁺npn结构的GTO

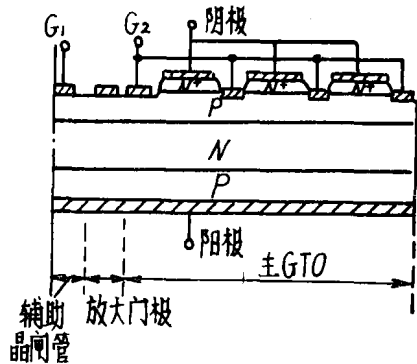


图10 放大门极结构的GTO

(3) 阳极发射极短路结构，见图11。这种结构不要求特别缩短载流子寿命就可获得较好的关断性能，这是由于p发射极短路可以减少处于电流导通状态的基区载流子浓度，并且具有在关断阶段扫出载流子的作用，相当于用掺杂寿命抑制剂如金等来减短载流子寿命。因此，这种结构与常规结构一样容易实现低通态电压。

(4) 埋入型放大门极结构，见图12。是在P_B层埋入高杂质浓度的P⁺层，使横向阻抗降低，并在P⁺层上形成低浓度的P层，于是P_B层具有P、P⁺、P三层结构，使阴极发射结的耐压从过去的15~20伏提高到60伏。由此，门极驱动电路的输出电压提高，就可使电路简单化和小型化。

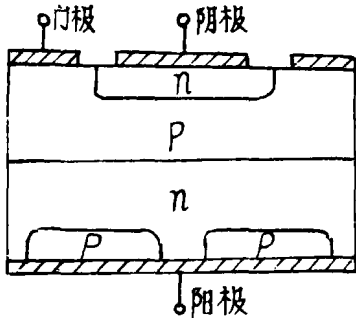


图11 阳极发射极短路结构的GTO

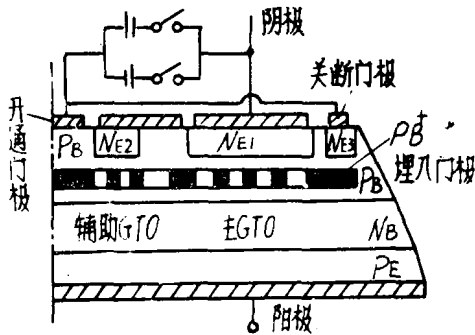


图12 埋入型放大门极结构的GTO

利用埋入门极结构，阴极发射极n_E层不需要分割成细小条状，这样发射极区域和压接面积比过去的大得多，可使热阻降低。另外，利用辅助GTO，提高开通特性等，试制成各种高电压、大电流、低损耗的可关断晶闸管，并预示可关断晶闸管将向可关断逆导晶闸管方向发展，以代替可关断晶闸管和快速二极管的反并联电路。

现以日本日立公司为代表来说明可关断晶闸管的发展情况。日本日立公司可关断晶闸管

逐年达到的水平见图13。1979年为450安800伏,1980年为600安1600伏,1981年为1000安2500伏,1982年为2000安2500伏,1983年为2000安4500伏,可以与普通晶闸管相比拟,用来制造各种逆变器。同时,在发展元件的基础上,对相等容量的GTO逆变器和SCR逆变器作了定性的比较,比较结果证明:由于GTO逆变器不需要强迫换流电路,因而逆变器的体积可缩小40%,重量可减轻30%,效率可提高9~12%,而且还有噪音低、控制响应性能好等优点。但是,由于可关断晶闸管用门极开通和关断,因此门极电路较复杂,容量较大。于是,研究了各种门极电路,研究结果表明:

对于小容量GTO宜采用图14所示的门极电路,在该电路中,开通和关断脉冲来自独立的电源,具有电路结构简单,断流能力大,对门极电源电压的依赖性小,在电源部分不需要调节器等优点。另外,开通门极电流采用狭脉冲,使门极的输入功率下降到宽脉冲的1/4左右。

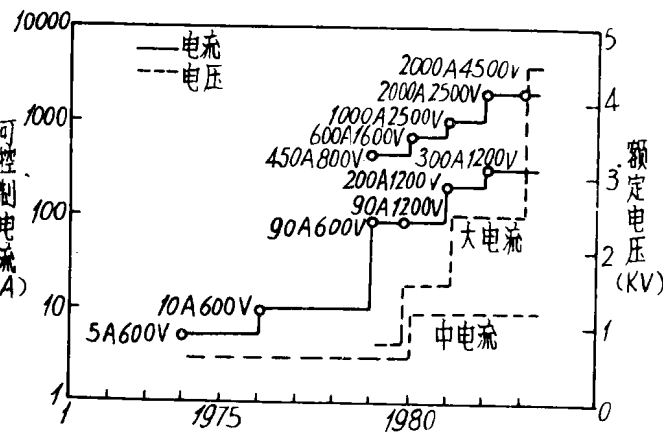


图13 日立GTO的电流和电压发展情况

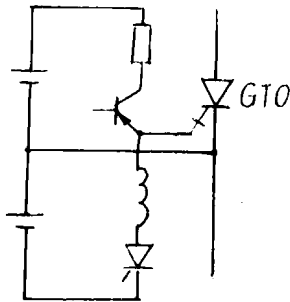


图14 小容量GTO的门极电路

对于大容量GTO宜采用图15所示的门极电路,在该电路中,开通门极电流和关断门极电流都通过脉冲变压器供给,用脉冲变压器使电源侧和元件侧绝缘,将组成逆变器的各GTO门极电源共有化,可使包括电源在内的门极电路小型化。

八十年代初期,日本将可关断晶闸管作为节能元件迅速研制出不停电电源用的稳压稳频(CVCF)逆变器,工业电动机驱动用的变压变频(VVVF)逆变器,感应电动机驱动用的脉宽调制(PWM)逆变器以及车辆辅助电源用的逆变器等等,已获得满意的应用效果。1984年日立又报导采用新的结构,使GTO的安全工作区扩大,将该类GTO与二极管反并联成100安1200伏的绝缘型单相模块,这样不需要吸收电路,使逆变器的组装简化,并可使逆变器的体积进一步缩小,重量进一步减轻。

4. 巨型功率晶体管(GTR)

巨型功率晶体管是一种PNP或NPN开关晶体管,其结构有台面型和平面型两种,见图16。

巨型功率晶体管可以用基极电流关断集电极电流而具有自关断能力,因而和GTO一样,作为节能元件迅速发展起来。现以日本东芝公司为代表来说明巨型功率晶体管的发展情况。日本东芝GTR的发展水平见表6,为便于和GTO作比较,将东芝的GTO的发展水平列

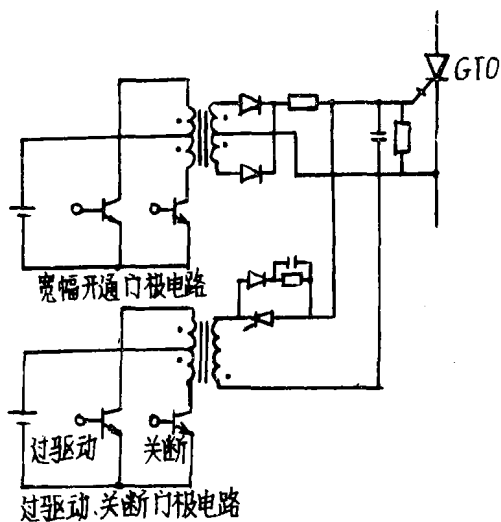
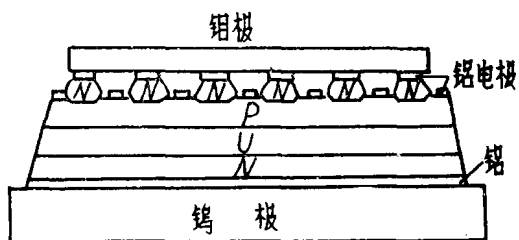
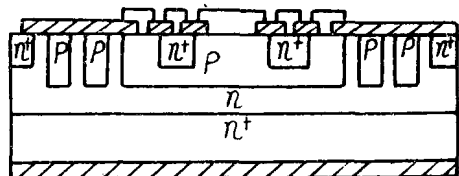


图15 大容量GTO 的门极电路



(a) 台面型



(b) 带阴极环的平面结构

图16 巨型功率晶体管的结构

于同表。从表6可知:GTR的电流和电压所达到的水平远不及GTO的高,这是由于GTR的电流和电压是两个相互制约的参数,随着电压提高,电流容量迅速下降,例如耐压提高到两倍,而电流则下降到 $1/4$;又集电极—发射极之间的电压维持在1000伏左右,因而GTR只适用于电源电压在440伏以下,输出容量在5~125千伏安的逆变器,而GTO的应用领域以电源电压在440伏以上的大容量逆变器为中心。日本东芝根据长期的使用经验,完成了交流电动机驱动用的变压变频逆变器系列,其中VF-PACK、TOSVERT-130和TOSVERT-150系列就是GTR逆变器,它利用GTR的优良开关特性,进行正弦波脉宽调制,使中小容量的通用电动机具有小的转矩脉动和高效率的运行特性,在宽的负载变动范围内,GTR逆变器的效率为97~98%,而GTO逆变器的效率只有92~94%,提高了4~5%。而在不停电电源中,采用10KVA GTR-CVCF逆变器比SCR-CVCF逆变器效率提高10%。由此可见,其节能效果非常显著,所带来的经济效益也很高,在相同容量下,GTR逆变器的价格只有

表6 日本东芝GTR和GTO的发展水平

年 份	巨 型 功 率 晶 体 管			可 关 断 晶 闸 管		
	型 号	电 流 (安)	电 压 (伏)	型 号	电 流 (安)	电 压 (伏)
1976	2SD648	400	300	SG200J21	200	600
1977	2SD647	100	600	SG600R21	600	1300
1978	2SD698	600	100	SG600EX21	600	2500
1979	2SD1034	300	400			
1980	2SD1165	100	900	SG600R21P1	800	1300
				SG600EX21P1	800	2500
1981	2SD116b	200	900		1600	2500
1982	S2876	400	1000		2400	4500
1983	ST200Q21	200	1200	SG2500GXH21	2500	4500

SCR 逆变器的 $1/3$ 左右。

1982年,日本在GTR逆变器的容量上又有所突破,200 kVA感应电动机变速驱动用的VVVF逆变器以及300 kVA不停电电源用的CVCF逆变器已投产。由于功率晶体管化的结果,以100 kVA的CVCF逆变器为例,比SCR-CVCF逆变器体积可减少70%,效率提高5%,噪声减小10分贝。

5. 功率MOSFET

场效应晶体管又叫做单极晶体管,它是利用场效应控制电流通路(沟道)中多数载流子密度以控制沟道电流的半导体器件。

功率MOSFET和双极晶体管相比具有以下优点:

- (1) 开关速度快,频率特性好,工作频率可提高到100 kHz~1 MHz。
- (2) 具有正的温度系数,并联连接时,电流能自动平衡,因此并联容易,可以大电流化。
- (3) 热稳定性性能好,不会发生二次击穿。
- (4) 具有高的输入阻抗、驱动功率小,可直接用IC驱动。
- (5) 电压降和电流成正比,轻载时的开关损耗低,用于逆变器,无载损耗小。

其缺点是容量远不及双极晶体管大,一般只有数十伏,数毫安,1瓦左右,因此应用受到限制。

近几年来,世界各国都致力于提高MOSFET的容量,经过纵向型、横向型、纵向扩散自调节型等等几次结构上的改进,使功率MOSFET的品种和产量急剧增加。美国RCA公司完成了电压为50~500伏,电流为45~1安的系列;联邦德国西门子公司完成了电压50~1000伏,电流40~2.0安的BUZ 10~54系列;日本日立公司完成了1~2安300~450伏系列。1979年,西方各国生产的功率MOSFET的产值为6百万美元,而到1980年为2千万美元。根据美国Motorola公司和Gnostie Concepts公司1980年的预测,在5~8年内,功率MOSFET的平均产量年递增速度为50%,其销售量的预测见图17。

根据专家们预测,在八十年代,除非在制造技术和材料条件有根本的突破,否则功率MOSFET的水平只能在1000伏和50安以下,用于要求高开关特性的低功率领域。目前,功率MOSFE已广泛用于高频开关电源、计算机外围装置、医用设备、广播发射机、无线电通讯、高频焊接、超声波发生器以及各种电动机控制、各种电力变流器等各个方面,特别适用于以太阳能电池为电源的高效逆变器。

6. 半导体模块

省资源、省能量、省劳力是当前世界的三项重大课题,而电力半导体模块正是以“三省”为目标而研究成功的。它是将数个电力半导体元件的管芯,按要求组装配线,然后用玻璃钝化技术和树脂外壳封装而成。

目前,已有二极管模块、晶体管模块、晶闸管模块、可关断晶闸管模块以及各种电力半

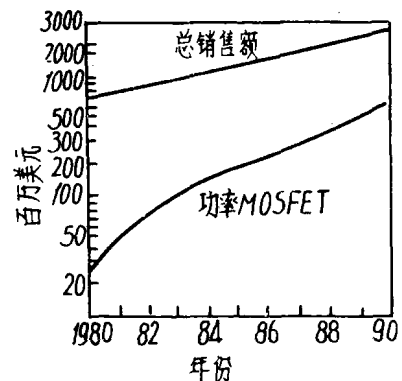


图17 功率-MOSFET的销售预测

导体器件的混合模块等等。其外形及结构基本相同，现以晶闸管模块为例进行说明。

日本东芝公司的MSG100Q41型平均通态电流为50安，反向峰值重复电压为1200伏晶闸管模块的外形尺寸、内部配线、内部结构及管芯见图18。其内部结构根据元件管芯的固定方法有焊接和压接两种。外部主端子都配置在上部的同一平面上，门极端子设置在旁边平面上，这样母线的配线方便，而且由于门极端子与主端子分开抗干扰能力强。主端子有螺栓式和接线柱式两种。管芯与铜基板之间一般加陶瓷绝缘板进行电绝缘，但也有采用不加绝缘板的非绝缘结构，铜基板兼作电极端子。

电力半导体模块的应用领域与其各自的电力半导体元件的应用领域相同，二极管模块主要用于各种整流电源、电镀电源、电解电源等；晶闸管模块主要用于焊接机电弧电流的控制、各种加热器的温度控制、调光、交流无触点开关等；晶体管模块主要用于直流伺服电动机控制、直流伺服电动机的斩波控制、感应电动机控制、不停电电源等；二极管和晶闸管混合模块主要用于调速电动机的涡流电流耦合器控制、发电机的磁场控制、直流电动机的磁场控制、小容量变流器、温度控制、调光等。

目前，电力半导体模块已进入实用阶段，为电力半导体变流器的小型轻量化、省劳力、省资源、省能量、作出贡献，例如在2.2千瓦感应电动机变速控制装置中，采用二极管和晶闸管模块，体积为原来的1/3，重量为原来的1/2；又如两个100安螺栓型晶闸管的体积为115厘米³，重量为230克，而晶闸管模块的体积为54厘米³，重量为150克。

随着结构和组合技术的改进，电力半导体模块将向高压-大电流化（满足380~460伏电源电压的要求）、集成化（内设保护用的齐纳二极管或R—C电路，续流用的快速二极管等）、多样化（发展各种各样的模块并使之系列化）、标准化（有利于大量生产及用户选用）方向

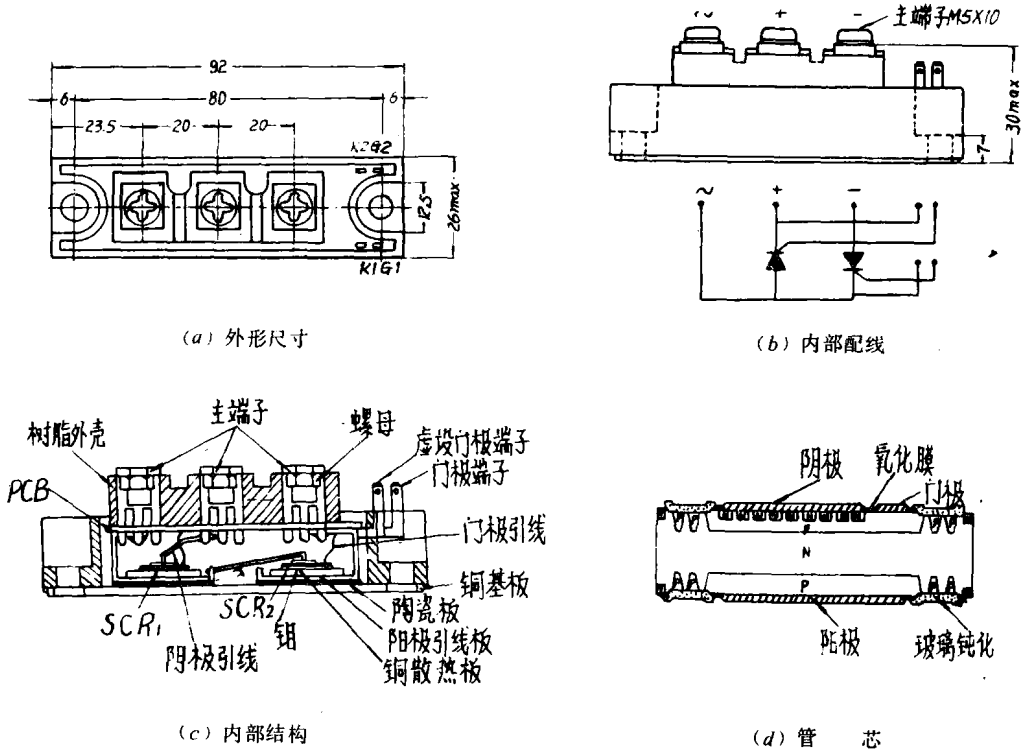


图18 晶闸管模块的结构