

机械工业知识丛书

半导体器件 在机械工业中的应用

天津电气传动设计研究所编



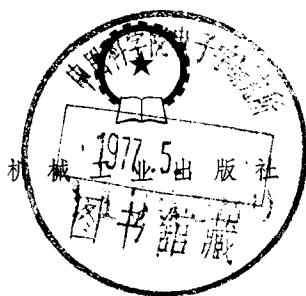
机械工业出版社

73.73.
127

机 械 工 业 知 识 丛 书

半导体器件在机械工业中的应用

天津电气传动设计研究所编



Doc 111

半导体器件在机械工业中的应用

天津电气传动设计研究所编

(限国内发行)

*

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许可出字第 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 $850 \times 1168 \frac{1}{8}$ · 印张 $4\frac{7}{8}$ · 字数 125 千字

1977年 2 月北京第一版 · 1977年 2 月北京第一次印刷

印数 00,001—32,000 · 定价 0.42 元

*

统一书号: 15033 · (内)703

出 版 说 明

在毛主席的无产阶级革命路线指引下，我国机械工业欣欣向荣，蓬勃发展，形势很好。

“中国靠我们来建设，我们必须努力学习。”为了适应机械工业发展的需要，我们请有关单位编写了一套《机械工业知识丛书》，供机械行业的领导干部、管理人员和有关同志参考。

《半导体器件在机械工业中的应用》为本丛书之一。书中扼要地介绍了半导体技术的发展概况及其在国民经济中的作用，阐述了半导体电路的工作原理和自动控制的基本知识。依照半导体器件在自动控制中的用途，分别介绍了可控硅、逻辑元件、程序控制、计算机等和其他方面的应用。同时还介绍了非电量测仪表在自动控制中的配合作用，最后探讨了半导体器件应用的发展趋势。

本丛书在编写过程中，承各编写单位大力支持，做了大量的工作，我们表示衷心感谢。

由于我们水平有限，书中难免有缺点和错误，希望读者批评指正。

目 录

绪论	1
一 半导体在国民经济中的作用	1
二 半导体技术发展概况	7
第一章 概述	15
一 半导体电路的工作原理	15
二 自动控制的基本知识	24
第二章 可控硅的应用	31
一 可控硅概述	31
二 可控硅整流装置的工作原理	31
三 直流可控硅装置的应用	32
四 可控硅装置在交流系统的应用	57
第三章 逻辑元件和程序控制	73
一 逻辑元件概述	73
二 电梯程序控制	82
三 高炉装料程序控制和自动化	84
四 电厂的程序控制和自动化	90
五 数字程序控制	95
六 可编程程序控制	102
第四章 计算机	104
一 计算机概述	104
二 计算机的分类	105
三 计算机的组成	106
四 计算机的主要性能指标	111
五 工业控制机	112
六 计算机在其他方面的应用	116

第五章 非电量电测仪表(传感器)	118
一 霍尔元件传感器	118
二 核辐射传感器	120
三 光电元件传感器	121
四 热敏电阻传感器	123
五 压电晶体式传感器	123
六 接近开关	124
第六章 半导体在机械加工及其他方面的应用	126
一 电加工	126
二 焊接	128
三 探伤	130
四 其他应用	132
第七章 今后展望	137
一 电子器件与传感器	137
二 系统与装置	139
三 数控装置与电子数字计算机的应用	141

绪 论

在自然界，有一种容易导电的物体，叫做导体；另有一种不容易导电的物体，叫做非导体或绝缘体。还有一种物体，它的导电性能，介于这二者之间，这就是本书要讨论的半导体。

然而，人们对于半导体的兴趣，并不在于它的导电本领在导体和绝缘体之间；而在于半导体具有一些独特的特性：同一块半导体，在不同情况下，它的导电能力有非常大的差异。在某些条件下，它是导体，而在另一些条件下，它却变为绝缘体。也就是说，它兼有导体与绝缘体的身份。人们正是利用半导体的这种独特的特性，做成了各式各样有用的器件，称为半导体器件。

在电子工业中，广泛使用着各种半导体器件。当然，电子工业所用的器件，不仅仅是半导体，但半导体在现代电子工业中起着关键的作用，有着特殊的地位和广阔的发展前途。利用半导体组成的装置，已渗透到各行各业，遍布于祖国各个角落，为社会主义革命和社会主义建设服务。半导体的用途既是这样的宽广，本书的目标只是描述它的一个方面，就是半导体器件在机械工业中的应用。由于机械产品种类繁多，遍及国民经济各个方面，而且绝大部分多少与半导体器件有关，限于篇幅，本书只能介绍其中半导体器件起主导作用的装置与系统。

一、半导体在国民经济中的作用

电子技术的应用是极其广泛的。除了体现在日常生活中遇到的收音机、电视机、电子钟表、医疗器械之外，还被广泛地应用于工业、农业和交通运输业以及宇宙探索和军事方面。例如卫星通讯，超远程雷达、导弹和飞机的制导，舰艇方位的确定，火炮

的控制，机车和船舶的控制，电站和变电站的控制，冶金矿山及石油化工机械的传动和自动控制，纺织、造纸及其他轻工机械的传动与自动控制，机床的传动和控制，农业电气化设备等，都广泛采用电子技术的成果，并大量采用半导体器件，其中包括二极管、三极管、集成电路和可控硅整流元件等。

“人民群众有无限的创造力。他们可以组织起来，向一切可以发挥自己力量的地方和部门进军，向生产的深度和广度进军……”（引自《多余劳动力找到了出路》一文的按语，见中国农村的社会主义高潮》中册第578页）在社会主义建设中，电子装置是非常有用的武器，是技术革新技术革命的有力手段。利用它有可能把生产和建设搞得更多、更快、更好、更省。

电子技术，顾名思义，是利用肉眼看不见的电子运动为人们服务的。电子管是利用电子在真空中的运动来进行工作的器件；半导体器件则是利用电子（空穴）在固体中的运动来进行工作的器件。电子运动的速度极快，这就使得半导体器件工作非常迅速而灵敏，因此利用半导体可以做成每秒运算一百万次的快速电子计算机。另外，通过对电子流的控制和调节，可以搜索极微弱的信号●加以放大，以用于通讯、测量和控制的目的。随着工业设备向生产高效率、自动化方面发展，半导体器件和装置的应用，将日益广泛。由于半导体本身耗电非常少，寿命长，体积小，重量轻，故自其问世二十多年以来，一直活跃在科学技术战线上。

半导体技术在机械工业中的应用，概括起来主要是两个方面：一个是给机器以动力，也就是供电；另一方面是对生产过程所牵涉到的物理量（如长度、速度、压力、温度、电流、功率等）的测量并对生产机械进行控制，逐步实现生产过程的自动化。目前

● 信号（讯号）和信息是一个意思。它原来的涵义，是指声、光、电波作为电的变化量（电压或电流的变化）并经“传送系统”送出去的，叫做信号。现在把装置“输入量”、电气干扰、动作命令，经过输入端输入机器的，都泛指为信号。

其应用领域主要在以可控硅技术为中心的传动系统和以各种自动化测量仪表和控制单元为中心的自动控制系统，将来将发展到以计算机为中心的综合自动化系统。

人要吃饭才能工作，机器要有动力才能运转。机器的动力可以是各式各样的，风力、水力、热力、电力等均可。自十九世纪末叶电在工业中得到利用以来，由于可借变压器升高和降低电压以实现长距离输电，并借开关设备（可以是遥控的）来接通或打开电路，因此电力易于传输而且传输效率高。此外，电能很容易和有效地转换为其他能量供人们使用（如电热和电气照明就是电能转变为热能和光能的例子），而其他能量则不易传输。例如：将蒸汽（热能）送到数百公里以外的地方，就比较困难。一方面管道的造价昂贵，而且管道的汽压降及热损耗也会达到不能容许的限度。

由于上述原因，促使电在各种能源中，迅速取得统治地位。

随着工业的发展，愈来愈多的生产设备需要采用可以调速的传动装置。在金属切削机床，由于受到机床刚度，刀具磨损和加工精度等的限制，随工件尺寸和材料的不同，需要改变工件的切削速度和刀具的进给速度。轧钢机在咬钢的时候，需要轧辊慢速转动，防止打滑，而在咬钢以后，又需要迅速升高到规定的轧制速度，以提高生产率。这些都是由于生产需要而提出调节速度的要求。要变更机械的速度，固然可以用变速齿轮箱，但这有两个缺点：一是不能带负荷调速，二是不能实现无级调速。采用液体离合器可以得到无级调速，但其结构复杂，传动效率不高，不宜用于大功率调速装置，加以维修不易，故目前主要还是要发挥电动机效率高，便于调速的性能，从电方面的调速来想办法。

目前工业用电，都是频率为每秒五十周（每秒钟电压的极性来回变化五十次）的交流电。简单地利用电厂提供的交流电，往往不能满足生产的要求。为了得到“可以调速的传动装置”，几十年来提出过种种方案。但归结起来，也不过两类。一类叫直流传

动，一类叫交流传动。所谓直流传动，就是以直流电动机拖动生产机械。由于电网是交流电，要实现速度调节，就需要一个可调电压的直流电源，给直流电动机供电。在本世纪的初期，作为这个可调压的直流电源，就是采用一台直流发电机。●这直流发电机又需要交流电动机来拖动，组成变流机组。如图 0-1 所示。以往直流电动机的变压调速（即变更施加到电动机电枢两端的电压来调节电动机的转速），是调节直流发电机的励磁●来实现。电解、电镀都要采用这种笨重的机组。机组中的电机都是旋转的，而且有很多电刷，噪音大，占地多，维修也困难。三十年代出现的水银整流器（通过它把交流电整成可调直流电），虽部分地解决了机组的噪音和效率低的缺点，但体积仍较庞大。带真空泵的水银整流器，不但维修不方便，还会引起操作人员水银中毒。无泵水银整流器虽然克服了上述缺点，但制造工艺不易掌握，运行时仍然可能发生送弧故障，故未得到广泛应用。

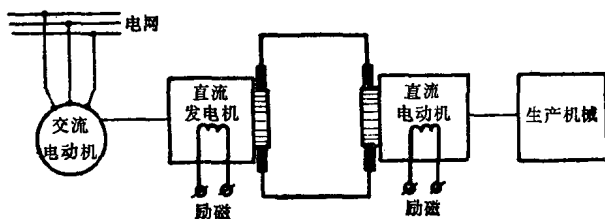


图0-1 变流机组示意图

作为半导体元件之一的可控硅，在五十年代末出现。图 0-2 示出它的外形。利用它组成的整流装置可以比较好的克服机组带来的缺点。它也可作为可以控制的整流器使用。利用它一个方向

- 发电机是把机械能变为电能的机器，需要另外的机器来拖动它。发直流电的发电机叫直流发电机，发交流电的发电机叫交流发电机。
- 励磁也叫激磁。电机是根据电磁相互作用的原理创制出来的。在电机内部需要有一个磁场。产生磁场的方法，就是在电机的定子或转子的绕组里，通以电流（由独立的电源供给）来得到。这个电流叫做励磁电流，简称励磁或激磁。

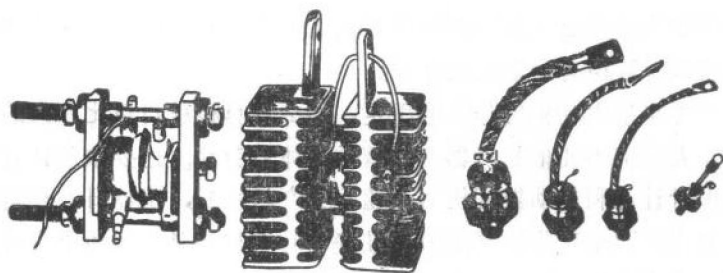


图0-2 可控硅的外形图

导电（可以控制），一个方向不导电的特点，把交流电整流成可调的直流电。而且可以发挥它作为电子元件的特点：体积小、重量轻、效率高（以 4000 千瓦，750 伏直流电动机在 80% 负载下运行进行比较，在效率方面，用可控硅时为 97.5%，水银整流器为 94.8%，机组为 89.1%），寿命长，无噪声，维修方便。由于它本身损耗小，可以节省大量的电。如某厂的电解装置，用可控硅整流装置代替水银整流器后，每年每台节电一百万度。某一个城市，1972 年前，改造了百分之五十以上的电镀设备，百分之六十以上的电解槽，用可控硅代替水银整流器后，全年节电四千万度。由于具有上述优点，近年可控硅直流传动装置，在钢厂，矿山等处，逐步得到推广应用。可控硅的缺点是不能承受过电压，和较长时间的过载，但如采取适当的保护措施可以确保其长期稳定工作。

直流传动固然有很多优点，它具有高度运行可靠性和良好的调速性能。可是直流电动机有整流子和电刷，制造维修麻烦，转速也不能达到很高，价格也较贵。所以还要发展交流传动。交流电动机结构简单，价格低廉，维修方便。但是交流调速要有调速装置。现在流行的变速方式有变频调速（用变频装置供电给电动机，其频率在一定范围内是连续可调的）、变更定子电压调速、串级调速，利用无整流子电动机的调速等。这些调速方式，在使用半导体器件以前是不经济的。旧有的方式（如用机组变频），体

积庞大，调节困难，因而没有获得广泛的应用。目前交流调速虽还存在不少问题（例如变频调速装置价格昂贵，串级调速功率因数较低等），但有一定发展前途。

如果把电动机比作人的手足，那么计算机就可以比作人的头脑。人不但需要依靠机器摆脱繁重的体力劳动。还要依靠计算机来进行计算和自动控制机器。随着生产的发展，机器日益精密和高速化，要求工作做得迅速而准确。有些往往是人力达不到的。例如在高速热连续轧板机和冷连续轧板机的生产过程中，要求在几分之一（或几十分之一）秒内完成测量、计算和控制等多项工作。又如群控数控机床的控制，要求在极短时间内相继向各受控机床发出操作指令。这些都是人力所不能及的。必须采用计算机按照人的意志，也就是说按照人预先筹划好的指令（程序），快速而准确地工作。实践证明，在生产过程的自动控制中，正确的采用计算机控制，可以做到优质高产，提高劳动生产率。以轧机为例，某一1300初轧机采用计算机控制后，产量增加约10%；另一些厂则减少操作人员10%。厚板轧机轧制的板材，对其厚度和宽度的精度要求很高。某厚板厂采用计算机控制后，钢板宽度偏差为10毫米，为手动控制时的四分之一。百分之九十五的板材厚度偏差为 ± 0.3 毫米，而手动控制时则为 ± 0.5 毫米。

数字程序控制机床，多工序程序控制机床，也是应用了现代电子技术的成就才发展起来的。它不但可以加工形状复杂的工件，重复精度高，而且还适宜于中小批量生产（参阅本丛书中《金属切削机床》一书）。半导体的应用是多方面的，涉及国民经济、人民生活与国防的各个方面。上面只谈到其中的一部分，还有其他与机械工业关系较少的方面，如无线电、电视等等，本书就不详细讨论了。

事物总是一分为二的。虽然半导体技术已有了引人注目的成就，但半导体的共同缺点就是“娇弱”，经不起过载。在利用半导体的时候，必须同时采取保护措施，散热措施。这就使得装置复

杂起来。同时，自动化程度越高，愈要求可靠。因故障引起的误动作，会导致严重的危害。因此不断提高元件和装置的可靠性，是我们经常要关心的问题。

二、半导体技术发展概况

毛主席教导我们：“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”（引自《周恩来总理在第三届全国人民代表大会第一次会议上的政府工作报告》1964年12月31日《人民日报》）。

回顾半导体技术的发展史，充分证明了毛主席这一光辉论述的正确性，在短短的二十几年中，从第一个晶体管诞生到现在，已经经历了好几代^①。

半导体以前的电子学

人类在向自然界斗争的过程中，不断丰富着自己的知识。电子工业就是在生产斗争中发展起来的。

1883年，国外发现了热电子效应。所谓热电子效应，就是在真空中把作为阴极的金属丝（如钨丝）加热使达到一定温度后，在阳极和阴极之间加上适当极性的电压，就会使阴极发射电子的现象。利用这个效应，制成了真空二极管。电子管具有“阀门”的作用。正象管道里通过水流或气流，能够用“阀门”导通或隔断一样，电子流也可以通过电子管导通或截断。1904年有人把二极管用作无线电通信检波，^② 1907年又有人在二极管里引入第三个极（又叫栅极），制造出了三极管。这种三极管，不但可以用作检波，而且通过第三个极，还可以控制电子流的大小。由于可以控制电子流的大小，利用它能把极微弱的交流电成千倍、成万倍

① “代”是国外划分半导体技术发展的一种说法。譬如把电子管计算机作为一代；把晶体管计算机又作为一代。本书沿用了这种分阶段的说法。

② 根据无线电原理，广播电台把声音变成高频电波发射到空中，经天线引到收音机里，用二极管及相应检波线路把高频部分滤去，回复原来声波的波形，放大后通过扬声器还原成声音。这种过滤作用，叫做检波。

地放大。●利用电子管能把交流电变成直流电，也能把交流电变为不同频率的交流电。电子管还可以把光能变成电能，或把电能变成光能。随着电子技术的进步，广播、电视和它在工业中的应用都飞速发展起来。

晶体管

电子管在电子技术中立了很大的功劳，已如上述。但它除了需要加热的灯丝，保持真空的管壳外，还需要一套结构复杂的电极系统，其中要用到贵重的金属如镍、钼等，制造和使用都不便利，价格也较贵。晶体管就比它优越。晶体管是1948年发明的，它的管芯是经过加工只有绿豆大小的半导体。不用说，晶体管和电子管的物理作用是不相同的，只是在应用上可用于同一个目的。在大多数情况下，可以用半导体器件代替电子器件，作为电子器件的重要补充。但不能说全部取代。特别在某些高频大功率无线电发射装置， α 射线装置，显象装置中，从性能上或从经济性来考虑，还需要采用电子器件。

晶体管与电子管相比，有下述优点：

- 1) 比电子管轻而小，采用印刷电路板之后使组成的装置的体积大大缩小，重量减轻。
- 2) 晶体管不象电子管那样需要加热电极，耗电只有电子管的十分之一到百分之一。
- 3) 所用的电压比电子管低得多，因而对使用者来说就安全得多。
- 4) 寿命长，特性的变化较小。
- 5) 没有电子管需要抽真空和密封的麻烦。经得起机械震动。
- 6) 效率高。

● 我们可以把电子管、晶体管等，作放大器用。所谓放大器就是这样一种器件，它接受一定强度的输入信号，加以放大成为更强大的信号。输入信号可为任何形式的电流或电压（例如迅速变化的交流电压或缓慢变化的直流电压，也可以是交直流电压的综合波）。

7) 价格较便宜。

缺点是晶体管特性受温度的影响很大,例如集电极反向偏电流随温度的上升而成倍地增长,其结果是环境温度变化要引起工作点^①的飘移。有时温度上升甚至使晶体管不能稳定工作,必须采取措施以确保其运行的稳定性。

需要指出,上面只是笼统地叙述了晶体管的优缺点。实际上,器件和线路要结合起来考虑,不能孤立地以用某种器件来决定装置的先进和落后,如片面宣扬晶体管,否定电子管(电子管的工艺也有很大进展)。而是根据使用场合,怎样充分利用晶体管的优点。

集成电路

自从晶体管问世,已经孕育着集成电路的幼芽。晶体管发明后四年(1952年),就有人发表了集成电路的设想。1958年第一个集成电路的样品就公布了。集成电路取代晶体管与晶体管取代电子管不同,它从根本上动摇了原先组成电子电路的概念。

以前的电子电路,根据该回路需要完成的机能,把一些元件在电气上相互连结,不连结的部分则加以绝缘固定。行使它的机能,要靠端子、引出线与外界连结。集成电路则打破了原有分立元件^②的传统设计方法,取消了电路与元件之间的界限,把元件和元件之间的连接以不可分隔的状态,制作在一块基片上。实现了材料、元件、电路的统一。它与晶体管等分立元件连成的电路比较,体积更小,重量更轻。由于焊接点和外部连接线的减少,外部干扰信号进入和接点松脱的可能性减少,从而大大提高了它的可靠性。

随着制造集成电路工艺的进步,集成度^③越来越高,出现了

-
- ① 晶体管需根据工作状态,在一定的电压、电流特性的交点上工作,如果工作点飘移,工作就不稳定。
 - ② 分立元件是相对集成电路而言,因为晶体管、电阻、电容等都是分立的,具有固定的完整的形态,能单独完成电路中某种功能。所以叫做分立元件。
 - ③ 一个集成电路包含的元件的数目,叫集成度。

中规模集成电路和大规模集成电路（例如用一块 3.3 毫米×3.3 毫米的硅片，可以制成具有 6200 个晶体管的大规模集成电路），进一步发挥了集成电路的优点。

可控硅

上面所讲的半导体元件，输出功率很小，只能用作控制手段，不能用作能量变换器件。能量的变换，都为电机等机电产品所垄断。到了 1957 年可控硅问世，才打破了这种局面。

可控硅是个大功率电子元件，兼有电子元件的快速、灵敏等特点，与半导体元件组成的控制系统结合起来，或者进一步与计算机结合起来，可以组成新颖的快速传动系统。目前可控硅主要用于开关，整流装置，电焊设备，变频设备，电动机的调速等等。在国外，可控硅装置已广泛应用在冶金、电力、矿山、轻纺、机械制造等工业企业中，最大单机容量达一万千瓦以上。标准装置已实现系列化。

电子计算机

随着科学和生产的发展，和科学技术有关的计算愈来愈复杂，而且要在短时间得出结果。这样，电子计算机就相应而起。耗费大量人力，需要几年的庞大计算工作，用计算机只要几分钟就能完成。

电子计算机分为模拟电子计算机与数字计算机。数字计算机从诞生到现在，已经历了四代。人们称应用电子管的时期为计算机的第一代，晶体管的为第二代，集成电路为第三代，而应用大规模集成电路则为第四代。

1946 年出现了第一台电子计算机，用了一万八千个电子管，一千五百个继电器，耗电 150 千瓦，放在 30 多米长的房间里。从 1949 年到 1956 年是制造和使用电子管计算机的时期。从 1956 年到 1962 年是制造和使用晶体管计算机的时期。1958 年研制出第一台集成电路计算机。1962 年到 1970 年是制造和使用集成电路计算机的时期。采用集成电路的计算机已经遍及石油、化工、

冶金、电力、机床、纺织、造纸、汽车制造等方面。

集成电路的制造工艺，十分适合于电子计算机部件品种少，数量大的特点。以某一计算机用晶体管和集成电路比较，体积减小了六分之五，重量减轻了百分之八十五，耗电减少了三分之二以上，价格降低了约 18%，加以接点减少，运行可靠性相应地提高，维修更方便。

随着计算机的兴起，它的使用范围也日益扩大，最初只用于科技、财经的计算，企业报表的制作，巡回检测和数据处理等方面，也就是说，计算机并不参与直接控制，而是提供决策所需数据和发展趋势，由人来完成控制工作。随着人们对计算技术掌握的加深，计算机的应用也得到一个飞跃，即从间接参与生产过程的控制，发展到直接参与生产过程的自动控制。目前国外某些企业中，已实现包括以计划和报表编制，厂内调度，材料与成品管理，生产过程的自动控制等为内容的多级计算机控制。控制钢铁生产的计算机，1960 年世界上只有一台，到 1966 年就有 260 台，到 1969 年就增加到四百多台。其中约有 50% 用于轧钢，20% 用于氧气顶吹转炉。应用计算机后，在提高产品质量，降低成本，减少操作人员都做出不少贡献。此外在电力工业、化学工业，石油工业等工业部门也都采用了计算机。

随着大规模集成电路的发展，小型及微型数字电子计算机也得到较大的发展，由于这些计算机价格便宜，工作比较可靠，使用方便，因而逐步获得较广泛的应用。工业中应用计算机，除了计算机本身外，还需要传感（检测）元件。传感元件好比“耳目”，计算机好比“大脑”。还需要输入、输出设备，把信息送入计算机，并将计算结果输出。此外计算机与生产过程之间，还需要一些外围设备（如数模转换器与模数转换器等）。而且，计算机要通过执行机构才能作用到生产机械上。一个环节不行，就要影响计算机的使用。所以应用计算机实质上是一门综合性的技术。在国外，应用计算机所花费的人力，甚至比制造计算机的人还要多。