

晶体管电路 设计基础

国营大众机械厂

技术情报室

国营大众机械厂

晶体管电路设计基础

国营大众机械厂
技术情报室 译

国营大众机械厂

一九七〇年

最高指示

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

× × ×

古为今用，洋为中用。

× × ×

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。

目 录

第一章 价电子的能量与电离

1-1 电子在原子内的分布	1
1-2 原子与价电子的结合	2
1-3 锗和硅晶体的能带	5
1-4 含杂质半导体的电离	6
1-4-1 N型半导体	6
1-4-2 P型半导体	8
1-4-3 在热和光作用下的电离和电导率	8
1-5 表面阻挡层	10

第二章 半导体二极管

2-1 P-N结二极管的电气特性	11
2-1-1 正偏压二极管	12
2-1-2 反偏压二极管	13
2-1-3 二极管的结点电容	14
2-2 点触型二极管的电气特性	15
2-3 P-N二极管用途、分类	16
2-3-1 整流与检波	16
2-3-2 双基极二极管	16
2-3-3 齐纳二极管	16
2-3-4 热敏电阻	17
2-3-5 光电二极管	17

第三章 晶体管的结构及种类

3-1 晶体管的结构与费米能级	18
3-1-1 N-P-N面结型晶体管	18
3-1-2 P-N-P面结型晶体管	18
3-1-3 偏压与费米能级	19

3-2 晶体管的种类.....	19
3-2-1 生长型晶体管	19
3-2-2 合金型晶体管	20
3-2-3 扩散型晶体管	21
(a) 漂移型晶体管	21
(b) 熔接晶体管	22
(c) 生长扩散型晶体管	23
(d) 台面型晶体管	23
3-2-4 面垒晶体管	24
3-2-5 微合金晶体管	25
3-3 单极晶体管.....	26
3-4 功率放大用晶体管.....	26
3-5 点触型晶体管.....	27

第四章 晶体管的接法及特性

4-1 接法种类.....	29
4-1-1 共基极连接	29
4-1-2 共发射极连接	31
4-1-3 共集电极连接	32
4-2 晶体管的性能.....	33
4-2-1 温度的影响	33
4-2-2 穿越电流	33
4-2-3 直流输入和输出的极限	33
4-2-4 工作频率	34
4-2-5 噪声	34
4-2-6 晶体管的故障	35
4-3 硅晶体管的特点	35
4-4 晶体管规格的主要项目	36
4-5 晶体管的引出线及极性	36
4-6 晶体管的电压电流特性	37
4-6-1 共基极连接的特性	37
4-6-2 共发射极连接的特性	39
4-7 晶体管的输入电阻和输出电阻	40

第五章 弱信号时的等效电路及增益

5-1 共基极放大器	42
5-1-1 等效电路	42
5-1-2 输入和输出阻抗及增益	46
5-2 共发射极放大器	49
5-2-1 等效电路参量	49
5-2-2 等效电路	53
5-2-3 阻抗及增益	55
5-3 共集电极放大器	56
5-3-1 等效电路及参量	56
5-3-2 等效电路	59
5-3-3 输入和输出阻抗及增益	60
5-4 晶体管各种接法的特性比较	61
5-5 增益	63
5-5-1 变换增益	63
5-5-1 有效功率增益	64
5-6 级联放大器对弱信号的增益	67

第六章 功率放大器

6-1 功率放大器的容许损耗	71
6-2 各种功率放大器	72
6-2-1 共基极连接的 A 类放大器	72
6-2-2 共发射极连接的 A 类放大器	78
6-2-3 A 类推挽放大器	80
6-2-4 B 类推挽放大器	81
6-2-5 补偿推挽放大器	85
6-2-6 C 类放大器	86
6-3 B 类推挽放大器的设计	87
6-3-1 共发射极电路	87
6-3-2 共基极电路	90
6-3-3 电路举例	90

第七章 偏置电路

7-1 偏置电路与偏流	92
7-1-1 共基极连接的偏置电路	92
7-1-2 共集电极连接的偏置电路	93
7-1-3 共发射极连接的偏置电路	93
7-2 集电极电流的变化与稳定度	95
7-3 稳定集电极电流的方法	96
7-3-1 用直流电流反馈来稳定	96
7-3-2 用直流电压反馈来稳定	102
7-3-3 用直流电压、电流反馈稳定	103
7-3-4 电流和电压反馈的适用条件	105
7-3-5 用热敏电阻稳定	107
7-3-6 用串联连接稳定	107
7-4 共基极连接的偏置电路	108

第八章 负反馈放大器

8-1 负反馈放大器	109
8-1-1 负反馈概念	109
8-1-2 电流负反馈放大器	110
8-1-3 电压负反馈放大器	112
8-1-4 级联耦合放大器的负反馈	115
8-2 直流放大器	116
8-3 特殊电路	118
8-3-1 相位变换电路	118
8-3-2 音量调整电路	118
8-3-3 自动增益调整电路	119
8-4 晶体管的开关工作特性	120

第九章 各种耦合放大器及其设计

9-1 耦合放大器的种类	122
9-1-1 RC 耦合放大器	122
9-1-2 变压器耦合放大器	123

9-1-3 直接耦合放大器	123
9-2 放大器不同頻率的增益及截止頻率	125
9-2-1 中間頻帶的增益	125
9-2-2 低區截止頻率	127
9-2-3 由于集电极电容影响的高區截止頻率	130
9-3 高頻短路电流增益及截止頻率	133
9-3-1 α 截止頻率	133
9-3-2 β 截止頻率	134
9-4 耦合电容与偏压电阻	135
9-5 音频多級放大电路的设计	186
9-5-1 决定放大級数	137
9-5-2 变压器耦合放大器	137
9-5-3 阻容耦合放大器	141

第十章 高頻放大器及檢波器

10-1 高頻輸入阻抗及增益	153
10-1-1 共基极放大器	153
10-1-2 共发射极放大器	158
10-2 高頻級联耦合放大器	163
10-2-1 共基极放大器	163
10-2-2 共发射极放大器	164
10-3 收音机高頻和中頻放大器举例	165
10-3-1 高頻放大部份	165
10-3-2 中頻放大部份	166
10-4 檢波器	168
10-4-1 二极管檢波器	168
10-4-2 晶体管檢波器	168

第十一章 振蕩器

11-1 負电阻振蕩器	170
11-2 反饋振蕩器	171
11-2-1 低頻振蕩器	171
11-2-2 哈脫萊振蕩器	172

11-2-3 考匹茲振蕩器	177
11-3 弛張振蕩器	181
11-3-1 間歇振蕩器	181
11-3-2 多諧振蕩器	182
11-4 RC正弦波振蕩器	184
11-4-1 移相振蕩器	184
11-4-2 多晶體管振蕩器	184
11-5 各種無線電頻率振蕩器	186

第十二章 收音機

12-1 小型收音機	194
12-1-1 收音機電路例 1	194
12-1-2 收音機電路例 2	196
12-1-3 收音機電路例 3	199
12-2 高靈敏度的無線電收音機	200
12-3 來復放大器	203
12-4 調頻—調幅收音機	204

第十三章 隧道二極管

13-1 隧道二極管的特性	209
13-1-1 電流電壓特性	209
13-1-2 工作頻率	210
13-1-3 信號渡越時間	212
13-2 反偏二極管及振蕩放大電路	213
13-2-1 反偏二極管	213
13-2-2 二極管振蕩器	214
13-2-3 二極管放大器	214
13-3 開關工作及其應用	215
13-3-1 二極管開關工作	215
13-3-2 觸發器	217
13-3-3 二極管多諧振蕩器	217

第十四章 调制电路

14-1 振幅调制电路	219
14-1-1 低功率调制电路	219
14-1-2 高功率调制电路	227
14-1-3 振幅调制振荡器	227
14-1-4 脉冲调制器	228
14-2 频率调制器	230
14-2-1 电抗调制器	231
14-2-2 基极偏压调制器	231
14-2-3 发射极偏压调制器	232
14-2-4 集电极电压调制器	232
14-2-5 各种偏压调制电路的频率偏移特性	233
14-2-6 利用非线性的调制器	233
14-2-7 多谐振荡器型频率调制器	234

附录: 中日晶体管型号对照表

第一章 价电子的能量与电离

1-1 电子在原子内的分布

原子的中心为原子核，原子核为带正电荷的质子和在电气上呈中性的中子组成。一个质子所带正电荷在电量上与电子相等。又由于质子的数目同存在于原子核周围的电子数目相同，所以原子呈中性。

图1.1所示为有13个电子的铝原子，电子存在于围绕原子核周围的轨道上。由于一个质子或中子的质量是电子的1840倍，所以原子核的质量比电子大得多，并且由于具有正电荷，因此电子受原子核的吸引而作圆周运动。

有两个以上的电子的原子，其电子应分别存在于好几个圆状轨道带上。

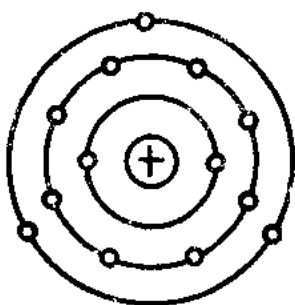


图1.1 电子轨道及电子分布

电子，根据其所在位置不同，有不同的位能和动能。能量小的电子位于离开原子核中心比较近的轨道带上，由于能量大的电子运动更强烈，因此位于离原子核中心较远的轨道带上。各轨道带电子能量的大小，根据电子所在各个轨道带的位置而定。

鉴于以上所述理由，靠近中心轨道上的电子，能量低，而最外层轨道上的电子，能量最高。

各个轨道上具有电子的最大数目是一定的。图1.1所示图型，靠近原子核的第一层轨道上只能存在两个电子，比这个电子数目多的时候，电子进入第二层轨道，第二层轨道只能存在8个，因此，再还有电子就进入第三层轨道带。由于第三层轨道带有两个支层轨

道，內支层軌道 8 个，外支层軌道 10 个。再多的电子进入第四层軌道带。第四层軌道带有三个支层軌道，內支层軌道 8 个，中支层軌道 10 个，外支层軌道 8 个。还有多余电子就进入第五、第六层軌道带。注 1

这样，原子內的电子，內側軌道滿到最大数即进入下一軌道，多余电子留于外側軌道。假定外側軌道占有最大容許的电子数，則这个原子軌道被填滿，沒有必要吸收另外的价电子，这样，对别的原子不起任何作用，即不起化学变化而呈安定状态。

价电子就是原子外側軌道上容許的最大电子数，表 1 所示为不同物质的价电子数。

表 1 原子的电子数及价电子数

物 质	氢	铝	硅	鎳	鋼	錫
原子所具有的电子数	1	13	14	32	49	51
价电子数	2	3	4	4	3	5

存在于原子的外側軌道的电子比原子固有的价电子数多时，这个原子带負电荷呈阴性，不足时，原子带正电荷呈阳性。

价电子处于原子內电子的最外层里，由于原子核的吸引力弱，当外部加热，或由于光的作用，价电子能量增加，超过原子核的引力，則电子从原子脱离出去。这时原子发生电离。

給与能量，促使原子內电子的能級上升叫做激发。

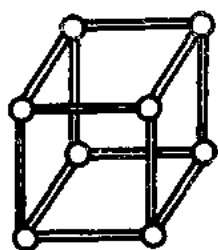
1—2 原子与价电子的结合

无机固体原子之間紧密地結合着，这种結合力是作用于原子間的一种靜电力，分离子鍵，共价鍵，金属鍵等。

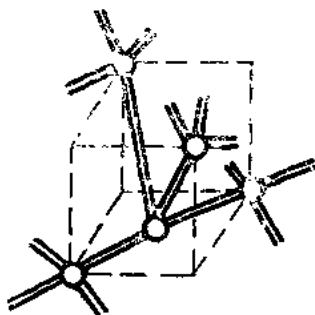
注 1, 各层軌道带最多的电子数目为 $2a^2$, a 为层数。各层又分若干支层。

所謂离子鍵，就是价电子不足的原子，即正离子，与价电子多的負离子結合以补充不足而中和。通常的化合物就是这样結合而成的。

为使原子外側軌道电子达到最大容許数，其容許数与价电子数相差的电子由另外的原子补給并与該原子結合。該原子与同它結合



(a) 格子型



(b) 金剛石型

图 1—2

价电子数不相同的原子，外側軌道电子結合时，如果发生比最大容許数多一个或少一个的情况，則原子放出或者吸收一个电子而成为离子。

固体原子与几个另外的原子結合形成晶体，表現这种結合的綫叫价电子結合帶， n 个价电子的原子有 n 个結合帶。

第 1—2 图为結晶体的简单示例，图(a)为格子型，图(b)为金剛石型。

图中小圆代表原子，图(a)的原子有三个价电子，各原子与另外的三个原子結合；(b)图的原子有四个价电子，各原子与另外的四个原子結合。

金属原子的結合，有另外的金属鍵。

由于一般金属有能比較自由地运动的电子云存在，倘若电子从任意原子飞出，正离子連續不断发生，这样正离子存在于电子云中，靠这两者的靜电力原子得以固定。

的另外的原子
互相共用每一
个价电子，这
时外側軌道电
子数达最大而
呈安定状。这
样的原子集
团，靠每个价
电子共用而結
合，所以叫共
价鍵。

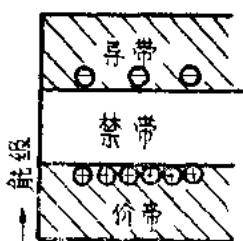


图 1—3 结晶原子的
电子能级

由于气体原子间距离比较大，可以认为原子内外的能级与原子单独存在时的情况一样，而固体结晶内的原子，由于相互靠得很近，相互影响，原子内外的能级发生变化形成各种各样的能级，可以认为在这样的情况下许多相邻的能级集合而成为一个能带。原子内外可分成几个不连续的能带。

图 1—3 以固体结晶原子价电子的能级作基准，分划出这以上的能级，而省略掉了价电子能级以下与外部作用无关的那些能级。

在固体内的电子中，存在于原子之外的自由电子具有最高的能级，自由电子所在的能带叫导带。

导带的电子，在外加电场的作用下，容易移动产生电流。存在价电子的能带，具有与价电子同等的能级，叫价带。

价电子多少受到本原子的吸引，不能自由运动。当外部给予能量时，价电子能量增加，结合带破坏，价电子克服了原子核的吸引力，脱离价带跃入导带，这样，该物质就具有了导电性。

在导带与价带能级之间是无电子能级的区域，叫禁带。

禁带上下能级之差叫禁带宽度，根据这个宽度的大小区别固体为导体、半导体、绝缘体。

导体禁带宽度为零，在室温下就有相当多的电子从价带进入导带，能够通过大的电流。

半导体在导带内几乎没有电子，借助室温下的热能得到的克服原子引力的能量，一部份价电子由价带进入导带，流过少数的电流。

绝缘体禁带宽度很大，如果没有非常大的能量给予价电子，价电子就不可能进入导带。因此，只有加高温才有导电性。

1—3 鍺和硅結晶的能帶

鍺和硅為如圖 1—4 所示的 4 價原子，原子 a 與 b, c, d, e 鄰近的原子按等距離間隔結合，形成金剛石型結晶。同樣地，b, c, c, e 也各自與另外的原子結合形成結晶。

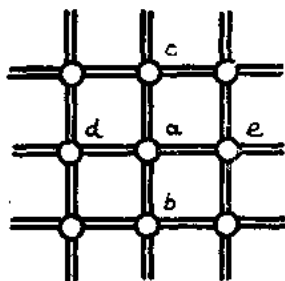
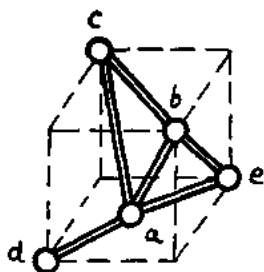


圖 1—4 鍺的金剛石型結晶 圖 1—5 鍺原子結合的平面圖

一般單晶固體難以簡單地制作，含多結晶性的異性結晶較多。

鍺、硅的結晶，與一般的半導體一樣，由價電子結合帶構成。

圖 1—4 所示為立體的結晶結合帶，圖 1—5 為其平面圖。

結晶原子有許多能帶，但關於電氣特性只考慮價帶和導帶。絕對溫度 0°K 時，電子充填於結晶原子的價帶，由於結合帶不會破壞，價電子不可能躍入導帶，因此，導帶內沒有電子。

靠室溫的熱能，半導體有一部份價電子破壞了結合帶而躍入導帶，成為自由電子在晶體內移動。

由於進入導帶的電子取得了克服原子吸引力的能量，因此具有比在價帶內的電子更高能級的能量。

由價帶躍入導帶的電子數，由禁帶寬度及外部給予的能量的大小決定。

價電子一脫離結合帶進入導帶，在結合帶失去價電子的部位上產生了一個缺負電荷的空位。由於負電荷的空位具有正電位，所以叫空穴^{註 2}。假定在導帶有 n 個電子的能量，而在價帶形成了有 m 個空穴的能量，兩者平均所得某點的能級叫費米能級，這個能級

比之上部为负，比之下部为正。

不含杂质的半导体结晶，由于温度关系使结合带破坏而产生的自由电子和空穴，，两者的数目是相等的，因此，如图5—6所示，费米能级位于价带和导带的中央。

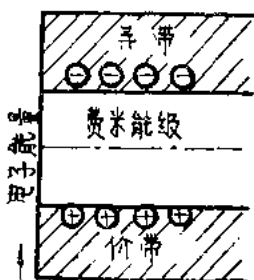


图 1—6 不含杂质的结晶原子的费米能级。

由于结合带破坏由价带跃入导带的自由电子与在价带内产生的空穴数是相等的，这时的两个电荷叫电子空穴对。

不含杂质的纯半导体，由于在 0°K 时结合带不会破坏，没有电子跃入导带，所以不表现导电性；高温时，许多结合带被破坏了，产生了许多电子空穴时，因而形成导电性。

今以 γ —姆欧表示1立方厘米的导电率， E 表示每厘米电场强度的伏特数，则流过截面 A 平方厘米的电流为

$$I = \gamma AE \text{ 安培。}$$

1—4 含杂质半导体的电离。

1—4—1 N型结晶。

镓和硅都具有4个价电子，若掺入少量的锑或砷一类的有五个价电子的物质，则镓或硅结晶体的某些原子由锑代替而结合起来，由于锑有5个价电子，除了4个价电子用半导体结合带外还产生一个剩余电子。

注2：日文原文为“正孔”。

由于本原子（鋅）对这个剩余电子的吸引力被周围半导体原子遮蔽而减小，这样，给与这个剩余电子稍微一点能量，剩余电子就很容易地跃入导带。

为得到剩余电子而掺入的鋅叫施主，由施主原子而得的电子叫施主电子。掺入了施主的半导体结晶叫N型半导体。

由于使施主电子进入导带^{注3}的能量比之純半导体的价电子破坏結合带跃入导带所需的能量小，所以在图1—7中虛綫所示施主—电子的能級极为接近导带。

未掺施主时，即不含杂质的半导体，結合带破裂的能量，鍺0.7电子伏特，硅1.1电子伏特。掺入施主后，为使电子脱离的电离能量仅0.05电子伏特就够了。

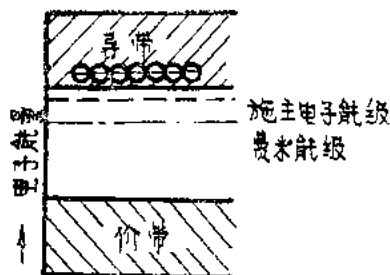


图1—7 N型半导体的电子能量。

由于存在施主，与使价电子結合带破裂不同，

用不大的能量，就能使很多电子进入导带，这样，价带内造成的空穴就很少。从而如图1—7所示那样，费米能级靠近导带。

由于在室温下N型半导体有相当多的电子进入导带，如果半导体外加电场，能有与导体同样大的电流。

施主电离进入导带，而带正电荷的施主原子不动，这个带正电荷的施主原子叫施主离子。

由于N型半导体的载流子是由从施主原子电离出来的占多数的施主电子和因温度关系結合带破裂而生成的电子空穴对組成，载流子中电子居多，因此叫多数载流子，空穴比电子相比占少数，所以叫少数载流子。

N型鍺以每 10^7 个鍺原子对一个施主原子的比率掺合，微量的鋅，砷或磷均可作为施主。

注3：原文“传导体”恐系“传导带”之誤。