

晶体管工程



辽河实验工厂情报资料室译

晶 体 管 工 程

(美) A.B. 菲利浦斯 著

辽河实验工厂情报资料室译

本书所用符号表

A	面积	D_n	电子扩散常数
A_e	发射极面积	D_{nb}	基区中电子扩散常数
A_B	表面复合面积	D_{nc}	收集区中电子扩散常数
a	杂质梯度常数	D_{ne}	发射区中电子扩散常数
α	共基极电流增益	D_p	空穴扩散常数
α^*	收集极倍增比	D_{pb}	基区中空穴扩散常数
α_1	载流子电离率	D_{pc}	收集区中空穴扩散常数
α_0	低频共基极电流增益	D_{pe}	发射区中空穴扩散常数
α_R	反向电流增益	E	能量, 能级
BV_{CBO}	收集极-基极击穿电压	E_A	受主杂质能级
BV_{CEO}	收集极-发射极击穿电压(基极开路)	E_C	导带能级
BV_{CES}	收集极-发射极击穿电压(基极短路)	E_D	施主杂质能级
BV_{EBO}	发射极-基极击穿电压	E_F	费米能级
b	电子迁移率与空穴迁移率之比	E_G	禁带宽度
β	共发射极电流增益	E_{GO}	绝对零度下的禁带宽度
β_0	低频共发射极电流增益	E_R	复合中心能级
β^k	基区输运因子	E_V	价带能级
β^{0*}	低频基区输运因子	E_i	杂质电离能
C_{De}	收集极扩散电容	E_{iA}	受主杂质禁带宽度
C_{De}	发射极扩散电容	E_{iD}	施主杂质禁带宽度
C_T	单位面积过渡区电容	e	载流子产生速率
C_{Te}	收集结过渡区电容	e_R	发生器电压
C_{Te}	发射结过渡区电容	ϵ	电场强度
C_C	收集极电容	ϵ_M	最大电场强度
C_n	电子捕获机率	ϵ_{MB}	雪崩击穿下的最大电场强度
C_p	空穴捕获机率	ϵ_0	自由空间的电容率
c	载流子密度	f	频率
γ	发射极发射效率	f_T	电流增益—带宽(频带宽度)频率
γ_0	低频发射极发射效率	f_b	基区截止频率
γ_R	反向收集极效率	f'_b	缓变基区截止频率
D	扩散常数	f_{max}	最高振荡频率
		$f_{\alpha b}$	α 截止频率

f_{α}	β 截止频率	I_{nC}	收集极电子电流
G	功率增益	I_{nE}	发射极电子电流
G_b	共基极功率增益	I_p	空穴电流
G_o	共发射极功率增益	I_{pC}	收集极空穴电流
g_c	收集极电导	I_{pE}	发射极空穴电流
g_{oo}	共发射极匹配输出电导	I_{sB}	表面复合基极电流
g_L	负载电导	I_{vB}	体内复合基极电流
h_{FE}	共发射极直流电流增益	i_b	交流基极电流
h_{ib}	短路输入阻抗	i_c	交流收集极电流
h_{rb}	短路正向电流输运	i_e	交流发射极电流
h_{ob}	开路输出导纳	i_{nC}	交流收集极电子电流
r_{rb}	开路反向电压回授	i_{pC}	交流收集极空穴电流
h_{ie}	短路输入阻抗	i_{nE}	交流发射极电子电流
h_{re}	短路正向电流输运	i_{pE}	交流发射极空穴电流
h_{oe}	开路输出导纳	J	电流密度
h_{re}	开路反向电压回授	J_n	电子电流密度
θ	相角	J_{nC}	收集极电子电流密度
I	电流	J_{nE}	发射极电子电流密度
I_B	基极电流	J_p	空穴电流密度
I_{B1}	接通基极电流	J_{pC}	收集极空穴电流密度
I_{B2}	关闭基极电流	J_{pE}	发射极空穴电流密度
I_{Bx}	基极过电流	K_R	薄层电阻比因子
I_C	收集极电流	$K\theta$	过相移因子
I_{CBO}	收集极-基极反向电流	k	波兹曼常数
I_{CEO}	收集极-发射极反向电流(基极开路)	κ	介电常数
I_{CES}	收集极-发射极反向电流(基极短路)	L	扩散长度
I_D	体内扩散电流	L_n	电子扩散长度
I_E	发射极电流	L_{nb}	基区中电子扩散长度
I_{EB0}	发射极-基极反向电流	L_{nc}	收集区中电子扩散长度
I_F	正向偏置电流	L_{ne}	发射区中电子扩散长度
I_G	电荷产生电流	L_p	空穴扩散长度
I_R	反向偏置电流	L_{pb}	基区中空穴扩散长度
I_{RE}	发射极复合电流	L_{pc}	收集区中空穴扩散长度
I_S	表面漏电流	L_{pe}	发射区中空穴扩散长度
I_u	电子电流	Q	长度
		λ	波度
		M	雪崩电流倍增因子

m	电子质量	$n_{n\circ}$	发射区中的多数电子密度
m_{eff}	载流子有效质量	n_p	p 区中的少数电子密度
m_n	电子有效质量	n_{pb}	基区中的少数电子密度
m_p	空穴有效质量	n_{pc}	收集区中的少数电子密度
μ	迁移率	$n_{p\circ}$	发射区中的少数电子密度
μ_I	杂质迁移率	ν	波数
μ_L	晶格迁移率	ν	载流子注入比
μ_{Ln}	电子晶格迁移率	p	空穴密度
μ_{Lp}	空穴晶格迁移率	p_A	被受主束缚的空穴密度
μ_{bc}	基极电压回授因子	p_C	收集结处的基区空穴密度
μ_{ec}	发射极电压回授因子	p_E	发射结处的基区空穴密度
μ_n	电子迁移率	p_c	收集结处的交流基区空穴密度
μ_{nb}	基区中电子迁移率	p_e	发射结处的交流基区空穴密度
μ_{nc}	收集区中电子迁移率	p_n	n 区中的少数空穴密度
$\mu_{n\circ}$	发射区中电子迁移率	p_{nb}	基区中的少数空穴密度
μ_p	空穴迁移率	p_{nc}	收集区中的少数空穴密度
μ_{pb}	基区中空穴迁移率	$p_{n\circ}$	发射区中的少数空穴密度
μ_{pc}	收集区中空穴迁移率	p_p	p 区中的多数空穴密度
$\mu_{p\circ}$	发射区中空穴迁移率	p_{pb}	基区中的多数空穴密度
N	杂质密度	p_{pc}	收集区中的多数空穴密度
N_A	受主杂质密度	$p_{p\circ}$	发射区中的多数空穴密度
N_B	基区杂质密度	Q_B	基区储存电荷
N'_B	发射结处的基区杂质密度	Q_{Bs}	饱和时的基区储存电荷
N_{BC}	背景杂质密度	Q_{Cs}	饱和时的收集区储存电荷
N_C	导带中能态密度	$Q_{关闭}$	发射区关闭电荷
N_D	施主杂质密度	Q_{Tc}	收集结过渡区电容电荷
N_E	发射区杂质密度	Q_{Te}	发射结过渡区电容电荷
N_I	电离杂质密度	Q_x	基区过量储存电荷
N_R	复合中心密度	q	电子电荷
N_v	价带中能态密度	R	电阻
N_o	表面杂质密度	R	载流子复合速率
n	电子密度	R_{BB}	基区薄层电阻
n_D	束缚在施主上的电子密度	R_{CC}	收集区薄层电阻
n_i	本征载流子密度	R_{EE}	发射区薄层电阻
n_n	n 区中的多数电子密度	R_L	负载电阻
n_{nb}	基区中的多数电子密度	R_n	电子复合速率
n_{nc}	收集区中的多数电子密度	R_p	空穴复合速率

r	半径	t_{ER}	反向发射极时间常数
r'_B	基区电阻	τ_F	下降时间常数
r''_B	有效基极电阻	τ_R	上升时间常数
r_{BC}	收集极串联电阻	τ_B	储存时间常数
r_{BE}	发射极串联电阻	τ_b	基区寿命
r_c	收集极交流电阻	$\tau_{有效}$	有效寿命
r_e	发射极交流电阻	τ_n	电子寿命
r_g	发生器电阻	τ_{nb}	基区中的电子寿命
r_{ie}	共发射极匹配的输入电阻	τ_{nc}	收集区中的电子寿命
ρ	固定电荷密度	τ_{ne}	发射区中的电子寿命
ρ	电阻率	τ_{np}	浓 p 区中的电子寿命
ρ_b	基区电阻率	τ_o	低电平寿命
ρ'_b	有效基区电阻率	τ_{∞}	大电平寿命
ρ_c	收集区电阻率	τ_p	空穴寿命
ρ_e	发射区电阻率	τ_{pb}	基区中的空穴寿命
ρ_i	本征电阻率	τ_{pc}	收集区中的空穴寿命
ρ_n	n 区电阻率	τ_{pe}	发射区中的空穴寿命
ρ_p	p 区电阻率	τ_{pr}	浓 n 区中的空穴寿命
S	条纹尺寸	τ_{sb}	基区表面寿命
s	表面复合速度	τ_v	体内寿命
σ	电导率	V	电压或电位
T	绝对温度	V_B	雪崩击穿电压
t	时间	V_{BE}	基极-发射极正向偏置电压
$t_{关闭}$	关闭时间	$V_{BE(截止)}$	发射极反向偏置电压
$t_{接通}$	接通时间	V_C	收集极电压
t_b	基区渡越时间	V_{CB}	收集极-基极电压
t'_b	缓变基区渡越时间	V_{CC}	收集极电源电压
t_{dr}	二极管恢复时间	V_{CE}	收集极-发射极电压
t_d	延迟时间	$V_{CE(饱和)}$	共发射极饱和电压
t_f	下降时间	V_E	发射极电压
t_r	上升时间	V_{EBO}	发射极漂游电位
t_s	储存时间	V_F	正向偏置电压
τ	寿命	V_G	禁带电位
τ_B	基极时间常数	V_{PT}	穿通电压
τ_C	收集极时间常数	V_R	反向偏置电压
τ_{CS}	饱和收集极时间常数	V_T	结的接触电势
τ_E	发射极时间常数	V_j	结上的电压降

V_o 外加結电压
 V_s 串联电压降
 v 速度
 v_D 平均漂移速度
 v_{Dn} 电子漂移速度
 v_{Dp} 空穴漂移速度
 V_c 收集极交流电压
 V_e 发射极交流电压
 v_{sc} 散射极限速度
 ϕ 費米能級电位
 ϕ_n n 区中的費米能級电位
 ϕ_p p 区中的費米能級电位
 ϕ'_n n 区中的准費米能級电位
 ϕ'_p p 区中的准費米能級电位
 W 有效基区宽度
 W_o 处延層厚度
 W_o 物理基区宽度
 W_1 基区宽度交流变化的振幅
 x 距离
 x_C 收集結位置
 x_E 发射結位置
 x_J 結离表面的深度
 x_m 耗尽層厚度
 x_{mb} 雪崩击穿时的耗尽層厚度
 x_n n 区中的耗尽層厚度
 x_p p 区中的耗尽層厚度
 x_1 在緩变收集結基区边的耗尽層厚度
 y 导納
 ψ 靜电位

ψ_n n 区中的靜电位
 ψ_p p 区中的靜电位
 Z 阻抗
 Z 注入因子
 ω 角频率
 ω_T 电流增益一带寬角频率
 ω_b 基区截止角频率
 ω_c 收集极延迟截止角频率
 ω_d 耗尽層渡越截止角频率
 ω_e 发射极延迟截止角频率
 $\omega_{\alpha b}$ α 截止角频率
 $\omega_{\alpha o}$ β 截止角频率

常 数 表

波茲曼常数 $k=8.63 \times 10^{-5}$ 电子伏/ $^{\circ}K$
 电子电荷 $q=1.6 \times 10^{-19}$ 庫倫
 $=4.8 \times 10^{-10}$ 靜电单位
 自由空間电容率 $\epsilon_o=8.85 \times 10^{-14}$ 法拉/厘米
 米
 蒲郎克常数 $h=6.63 \times 10^{-27}$ 尔格-秒
 电子質量 $m=9.11 \times 10^{-28}$ 克
 1 电子伏 $=1.6 \times 10^{-12}$ 尔格
 $kT=0.026$ 电子伏 ($T=300^{\circ}K$)
 $kT/q=0.026$ 伏 ($T=300^{\circ}K$)
 1 密耳 $=10^{-3}$ 吋
 1 $\mu=10^{-4}$ 厘米 $=10^{-5}$ 毫米
 1 $\mu=10^4$ 埃
 1 吋 $=2.54$ 厘米
 1 密耳² $=6.45 \times 10^{-6}$ 厘米²

TRANSISTOR ENGINEERING

and Introduction to Integrated

Semiconductor Circuits

1962

ALIN B. PHILIPS

晶体管工程

(美) 菲利普斯 著

辽河实验工厂情报资料室译

1970.3

目 錄

第一章 晶体管的制法及其类型

1.1 晶体管与电子管比較.....	1
1.2 晶体管发展史(略).....	2
1.3 晶体管的基本結構.....	2
1.4 半导体晶体的生长.....	3
1.5 制造結的基本方法.....	5
1.6 晶体管的制作方法.....	6
1.7 生长結法.....	7
1.8 双面杂质接触法.....	9
1.9 单面杂质接触法.....	11
1.10 外延平面法.....	13
1.11 晶体管工艺学的范围.....	14

第二章 原子結構及能帶理論

2.1 引 論.....	15
2.2 量子假設.....	15
2.3 行星狀的原子.....	16
2.4 氫 光 譜.....	17
2.5 波耳原子.....	17
2.6 量子波动力学.....	18
2.7 量 子 态.....	19
2.8 能帶理論.....	21
2.9 晶体中的能帶.....	23
問 題.....	23

第三章 半 导 体

3.1 能帶理論的应用.....	24
3.2 固体的电导性質.....	24
3.3 半导体晶体.....	25
3.4 空穴电导.....	26
3.5 費米-狄拉克分布函数.....	27
3.6 載流子的平衡濃度.....	28

3.7 本征电导	30
3.8 半导体的杂质电导	31
3.9 杂质原子的电离能	32
3.10 电荷中性	33
3.11 半导体命名法	34
3.12 杂质半导体中的费米能级	34
3.13 少数载流子密度	37
問 題	38

第四章 半导体晶体的性质

4.1 引 論	39
4.2 载流子的漂移运动	39
4.3 漂移迁移率	40
4.4 半导体中的电流	46
4.5 电 阻 率	47
4.6 少数载流子密度	49
4.7 载流子的扩散运动	49
4.8 寿 命	51
4.9 复合中心	52
4.10 半导体表面	55
附 录	57
問 題	58

第五章 p-n 結理論

5.1 引 論	60
5.2 能级的电位表示	60
5.3 平衡时的 p-n 結	61
5.4 有外加电压时的 p-n 結	62
5.5 载流子电流及注入电平	64
5.6 連續性方程及扩散方程	66
5.7 直流电压——电流分析	67
5.8 突变結电容	72
5.9 緩变結电容	75
問 題	85

第六章 p-n 結的特性

6.1 引 論	86
---------	----

6.2 反向电流特性	86
6.3 反向电流和温度的关系	88
6.4 耗尽層电荷产生	89
6.5 反向电压雪崩击穿	90
6.6 緩变結中的雪崩击穿	93
6.7 正向电流特性	95
6.8 正向大电流效应	97
6.9 p-n 結中的少数載流子儲存	100
6.10 大量生产的結型整流器	101
問 題	102

第七章 晶体管緒論

7.1 引 論	103
7.2 理想放大器	103
7.3 由 p-n 結綜合成的放大器	104
7.4 p-n-p 結型晶体管	105
7.5 电流增益理論	106
7.6 共基极晶体管特性	108
7.7 共发射极晶体管特性	110
7.8 高頻特性	112
7.9 交流等效电路	113
7.10 最佳晶体管參量設計	114
問 題	116

第八章 結型晶体管理論

8.1 一維模論	118
8.2 p-n-p 能位图	118
8.3 假設及边界条件	119
8.4 发射极及收集极电流	120
8.5 均匀基区的电流增益理論	123
8.6 均匀基区的截止頻率	127
8.7 緩变基区的电流增益理論	129
8.8 緩变基区的截止頻率	133
8.9 发射結及收集結电容	134
8.10 各种晶体管工艺所产生的杂质剖面图	135
問 題	135

第九章 結型晶体管特性

9.1 晶体管直流参数	136
9.2 共发射极电流增益 β	136
9.3 收集极反向电流	138
9.4 收集极击穿电压	141
9.5 发射极反向特性	143
9.6 基区电阻	144
9.7 緩变基区的薄層电阻	148
9.8 基极輸入及收集极饱和电压	150
9.9 参量的温度关系	153
問 題	153

第十章 晶体管大电流特性

10.1 大电平注入理論	154
10.2 表面复合随电流的变化	157
10.3 体复合随电流的变化	158
10.4 发射效率随电流的变化	159
10.5 电流增益的合成变化	161
10.6 基区电导調制	163
10.7 基区的电流集边現象	164
10.8 电流对基区截止頻率的影响	165
問 題	166

第十一章 低頻回授效应

11.1 晶体管頻率分析引論	167
11.2 基区寬变效应	167
11.3 收集极輸出电导	168
11.4 发射极輸入电阻	170
11.5 基区回授电阻	171
11.6 收集极扩散电容	172
11.7 低頻等效电路	173
問 題	174

第十二章 低頻 h 参量

12.1 晶体管的小信号参量	175
12.2 共基极 h 参量	176

12.3 对等效电路的应用	177
12.4 輸入阻抗 $h_{i,b}$	177
12.5 反向——电压回授 $h_{r,b}$	178
12.6 正向电流傳輸 $h_{f,b}$	179
12.7 輸出導納 $h_{o,b}$	179
12.8 随发射极电流的变化	179
12.9 随收集极电压的变化	182
12.10 随温度的变化	182
12.11 共发射极 h 参量	183
問 題	184

第十三章 高频 h 参量

13.1 引 論	186
13.2 少数載流子电流的普遍解	186
13.3 基区变寬效应的引进	189
13.4 導納方程	192
13.5 变换到 h 参量	195
13.6 与基区截止頻率及基区电阻的关系	196
13.7 $h_{f,b}$ 的頻率变化	197
13.8 $h_{i,b}$ 的頻率变化	200
13.9 $h_{r,b}$ 的頻率变化	201
13.10 $h_{o,b}$ 的頻率变化	202
13.11 高频等效电路	204
問 題	205

第十四章 晶体管的頻率响应

14.1 共基极电流增益的頻率变化	206
14.2 发射极延迟時間常数	206
14.3 基区渡越時間	207
14.4 收集結耗尽層渡越時間	208
14.5 收集极延迟時間常数	208
14.6 α 截止頻率 $f_{\alpha,b}$	209
14.7 共发射极电流增益的頻率变化	210
14.8 β 截止頻率 f_{α} 及电流增益帶寬頻率	210
14.9 f_T 随电压及电流的变化	211
14.10 最佳 f_T 的設計理論	213
問 題	213

第十五章 結型晶体管放大器

15.1 引 論	214
15.2 一般四端網絡的功率增益	214
15.3 低頻放大器功率增益	215
15.4 最大有用功率增益	218
15.5 高頻共发射极 h 参量	221
15.6 高頻放大器功率增益	223
15.7 最高振盪頻率	224
15.8 功率增益随电压及电流的变化	224
15.9 最佳功率增益——帶寬的設計理論	225
問 題	228

第十六章 結型晶体管开关

16.1 开关晶体管引論	229
16.2 开关过程的定性描述	230
16.3 基区儲存电荷晶体管分析	232
16.4 延迟時間	235
16.5 上升時間	236
16.6 儲存時間	238
16.7 下降時間	242
16.8 开关晶体管的电荷参量	242
問 題	244

第十七章 晶体管的設計原理

17.1 制造过程对晶体管設計的限制	245
17.2 生长結晶体管	245
17.3 合金晶体管	247
17.4 扩散基区合金晶体管	248
17.5 台型及平面型晶体管	249
17.6 外延晶体管	250
17.7 半导体集成电路引論	252

第一章 晶体管的制法及其类型

晶体管的发现可以说是当代除了利用原子核能作为动力之外的又一个有重大意义的技术上的成就。对于电子工业来说，从二十世紀初期发明电子管以来，晶体管是唯一的、根本不同的另一个发明。一九四八年以后，晶体管不仅为人们开辟了一个崭新的发挥才智的领域，而且也在电子系统和设备的特性及设计原理方面引起了深刻的变化。晶体管所固有的各种优点在助听工业中引起了革命性的变化，带来了袖珍收音机，使手提电视机成为可能，促进了电子计算机的迅速发展，而且为军事部门提供了取得效率更大、可靠性更高的军事系统及武器的机会。这些给人以深刻印象的技术上的变革，无疑将会影响到今天以及未来若干年人们的生活。

1.1 晶体管与电子管比较

从根本上来说，晶体管和电子管一样都是电子放大器件。但是它们又是有重要区别的。在电子管中，电流是由真空中的载流子的运动形成的，而在晶体管中，电流则是由**晶体中**载流子的运动形成的。在电子管中，真空中的载流子由一个热阴极发射的热电子来供给，而在晶体管中，形成电流的是晶体内部所固有的、构成晶体电导的载流子。由此可见，和电子管比较，晶体管的第一个主要优点是不需要灯丝。在晶体管化的设备中，可以完全不用甲电池，或者说完全不需要消耗灯丝功率。特别是当晶体管用在通信设备及计算机中时，可以大大节省电力消耗及冷却设备。

和电子管比较，晶体管的第二个优点是在元件的可靠性方面。虽然两种器件都要求在封壳内部最大限度地避免污染来保证器件有最长的工作寿命，但是电子管仍有灯丝因耗尽而失去发射能力的缺点。在晶体管中，“发射”无非是载流子在电路中的一种输运过程，因而能够无限制地长远维持，但是这并不等于说，晶体管在工作中就不会失效了。污染、封壳漏气、过热等都可能使晶体管的一些主要特性变坏。然而今天晶体管的可靠性已经比电子管优越多了。从若干百万支一小时的晶体管寿命试验中作出的可靠性的统计研究表明，晶体的最大失效率只有每千小时百分之 0.001。

晶体管的第三个吸引人的优点是它在小信号典型应用中作为一个放大器的效率。晶体管在工作时需要偏置条件，但是偏置的功率损耗要远比电子管工作时偏置的功率损耗小的多。电子管在这方面的缺点是需要一个比较高的电压，在电子管的内部造成一个加速电子到达板极的强电场。而在晶体管中，只要有 1 到 10 伏数量级的电压就足以使之正常工作，例如，晶体管声频放大器能在偏置损耗低到 2 到 5 毫瓦的情形下提供 40 分贝 (db) 以上的功率增益。

从频率及功率的观点来看，晶体管进展的步伐要比电子管大的多。已经设计出最高振荡频率达到千兆赫级的晶体管，已经制造出能在 160 兆赫范围内输出 1 瓦射频功率的功率晶体管，高速开关晶体管的开关速度已经大到能够供给以每秒 100 兆周刻时率工作

的计算机使用。

晶体管的第四个优点是体积小,图1.1是一个典型的結型晶体管与一个6AU6小型电子管在大小上的有趣的比較。晶体管在体积上的这个优点显然迎合了从事小型化的一切电子设备制造厂家的心意,一个极好的例子是軍用航空电子设备的设计,在这种设备中,空间和重量是极其珍贵的。除了体积很小外,晶体管所固有的坚固性也足以使它成为电子管的有力竞争者。因为晶体管完全由固体制成,它可以承受巨大的冲击,离心力和震动,而电子管则由于栅极结构精细,在这方面受到了一定限制。

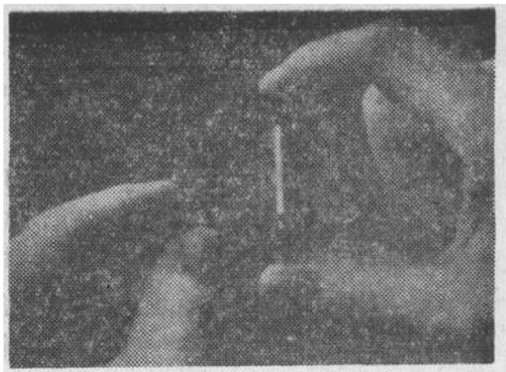


图 1.1 一結型晶体管与典型的小型电子管在大小上的比較

总之,可以得出这样的結論,电子管最后将会完全被晶体管所代替。我們已經看到,就是在目前,在大多数应用中,这种变化已經发生了。然而,在晶体管能够完全代替电子管之前,还必须走一段很长的路程。以一九六一年來說,电子管工业已經存在了55年(晶体管工业只有13年的历史),而且已經有了一整套卓越的工艺,从而保证了从质量及經濟两方面供給用戶以满意的产品。但是晶体管已經在电子管的旁边站立起来了,象一切事物那样,两种器件都会用在它們合适的地方。

1.2 晶体管发展史(略)

1.3 晶体管的基本结构

对于晶体管或电子管这样的有源电路元件,有人提出了一个如下的定义:“有两个相当靠近的相边界,当其中任何一个相边界偏离平衡时,都会影响到另一个相边界,而且由两个相边界所隔开的三个区上都有电的接触”。

在晶体管的情形中,这个一般的定义概括說明了晶体管的基本动作,而这也正是本书所需要談的整个內容。晶体管有两个相距很近的边界,說的更确切些,有两个相距很近的結,如图1.2所示。結之間的狹窄的活动区叫做基区,另外两个区分別叫做发射区及收集区。在大多数晶体管中,两个靠外边的区的结构是有較大差别的,其中一个区是发射区。从结构上很容易把它与另一个区区别开来。

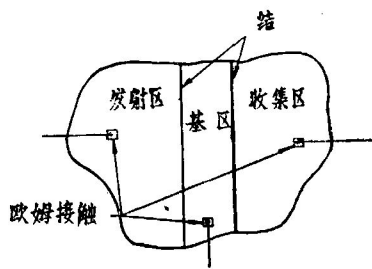


图 1.2 作为一个有源电路元件的晶体管要素

晶体管在结构上的特点就是晶体管中的三个区都是固体材料。所有三个区可以包含在一块半导体单晶如鍺或硅中。三个区之間的差别主要在于有意加入的某些种杂质的百分比浓度的不同。用作杂质的一些元素有銅、鎳、鎢及鋁。所謂結是由一个区到另一个区的杂质特性的改变确定的。在有些情形中,可能只有基区是晶体,而发射区及收集区則是金属。此

时，結出現在金屬与半导体接触的地方。这种結叫做金屬——半导体結。

不管晶体管是如何組成的，就是說，不論結是在半导体与半导体或金屬与半导体接触之处，只要两个結相距很近(小于0.001英寸)并在每一个区上做上适当的电接触，則前述定义是可以适用的。

晶体管的一个重要特点是它的放大性質，这个性質依赖于通过每个区上的电接触而加到两个結上的电压。这一点以后要詳細討論。加在发射区——基区結上的电压是使不平衡載流子很容易流入基区，再穿越基区流向收集区——基区結。加在后一个結上的电压与加在发射結上的电压相反，使从收集区到基区的平衡流动減至最少。然而，收集結上的电压并不阻止来自发射区的基区中的載流子的流动。因此这些載流子出現在收集区中而形成輸出电流。以后要証明，在这些条件下，我們得到了从低阻結(发射結)到高阻結(收集結)并从这里出来的一个电流輸运。正是由于这种效应，我們才能从晶体管中得到信号放大或功率增益。因此，按照上述定义，我們看到，在发射結上載流子偏离平衡值时要影响到收集結上的电流。以后还要証明，在收集結上电压圍繞平衡值变动时将会影响到发射結上的条件。

虽然图1.2的假想結構对于晶体管的动作来說是基本的，但是要在实际上取得这种結構則有无限多种組合和方法，因而晶体管的电学特性是完全由結構决定的，这正是这一节的主要之点。这里包括了許多与晶体管設計有关的项目，諸如在这一节中所討論的結的本質以及許多以后要詳細討論的项目。例如半导体材料的选择和质量是重要的；此外，在各个区中杂质的型号和分布也是极其重要的因素。由此可见，要設計出一个特殊的晶体管結構使之具有一定的电学性質，必定要关联到各种固体材料的制作过程。在下面几节中，我們要討論用于制造結型晶体管結構的各种方法。在这里，我們并不打算叙述晶体管制作工艺的一切方面，而只是为討論晶体管的理論和設計提供必要的基础。

1.4 半导体晶体的生长

不論最后制作晶体管用的是什么方法，任何晶体管的心脏都是一小块半导体材料。通常是鍺或者是硅。这些小块实际上是从在特殊設計的炉子中仔細生长起来的大块单晶上切下来的。用于制造晶体管的鍺及硅单晶的典型产品如图1.3所示。这样大小的单晶，如果适当的切割并分成小片，足以制出几千个結型晶体管。

晶体生长常用的是乔克拉斯基技术，虽然也还有其它更好的方法。生长，或通常所謂控制，是在图1.4所示的那样一个特殊的炉子中进行的。整个过程在惰性气体中在一个尽可能干淨的石英容器中进行。这里絕對重要的是要极端干淨，因为最小量的不希望有的外来杂质很容易使拉出单晶的质量变坏。

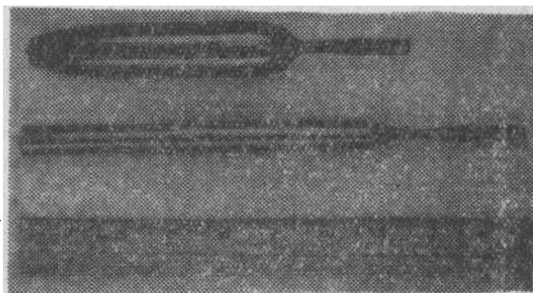


图 1.3 鍺及硅单晶的产品尺寸