

[美] J·米尔曼 等著
T·V·帕帕托马斯

微电子学:数字和模拟电路及系统

清华大学电子学教研组 译

下 册

(习题与习题解答)



微电子学：数字和模拟电路及系统
(习题与习题解答)

下 册

[美] J. 米 尔 曼 等著
T. V. 帕帕托马斯

清华大学电子学教研组 译

*

高等教育出版社出版
新华书店北京发行所发行
青浦任屯印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 28 字数 643,000

1982年12月第1版 1983年1月第1次印刷

印数 00,001—10,200

书号 15010·0467 定价 3.55 元

目 录

	习题页码	解答页码
第 一 章 半导体.....	1	111
第 二 章 结型二极管特性.....	4	121
第 三 章 双极型晶体管特性.....	9	139
第 四 章 集成电路: 制作与特点.....	13	153
第 五 章 数字电路.....	17	159
第 六 章 组合数字系统.....	28	200
第 七 章 时序数字系统.....	32	214
第 八 章 场效应晶体管.....	38	225
第 九 章 大规模集成系统.....	42	238
第 十 章 二极管模拟电路.....	45	249
第十一章 低频放大器.....	52	266
第十二章 反馈放大器的特性.....	62	304
第十三章 放大器的频率响应.....	71	323
第十四章 反馈放大器的频率响应.....	78	348
第十五章 运算放大器的特性.....	82	372
第十六章 运算放大器系统.....	90	399
第十七章 整形电路与波形发生器.....	100	421
第十八章 功率电路与系统.....	106	437
译后记.....		443

习题部分

第一章

1-1 (a) 一个电子从电极发射出来, 由于电势 V 的作用而加速, 初速度可忽略不计。设该粒子的末速度为 1.88×10^7 米/秒, 求 V 的值。

(b) 一个氘离子(重氢离子, 原子量为 2.01)被放进一个加速电场, 电场数值与题(a)相同, 离子的初速度为 10^5 米/秒。计算该粒子的末速度。

1-2 在两块平行板电极的一个极板上, 有一个电子以 10^{-17} 焦耳的初始动能垂直地向另一个极板运动。由于两个电极之间加有 65 伏电压, 形成减速电场, 而使这个电子减速。

问: (a) 电子会到达第二块极板吗?

(b) 为了使电子到达第二块极板时速度为零, 需要多大的减速电压?

1-3 示波管的基本特性示于图 P1-3。K 和 A 之间的电压差为 V_a , P_1 和 P_2 之间的电压差为 V_p 。两个电场互不影响。电子从电极 K 发射出来, 初速度为零, 它们穿过电极 A 中间的孔眼。由于 P_1 和 P_2 间电场的作用, 电子通过这两块极板时将改变方向, 此后则以恒速向荧光屏运动。两块极板之间的距离为 d 。

(a) 求电子穿过 A 时的速度 v_x (表示为 V_a 的函数)。

(b) 求电子从极板 P_1 和 P_2 的电场出来时 Y 方向的速度 v_y (表示为 V_p , l_d , d 和 v_x 的函数)。

(c) 求电子到达荧光屏时与屏幕中心的距离 (d_s), 表示为管长和外加电压的函数。

(d) 若 $V_a = 1.0 \text{ kV}$, $V_p = 100 \text{ V}$, $l_d = 1.27 \text{ cm}$, $d = 0.5 \text{ cm}$, $l_s = 20 \text{ cm}$, 求 v_x , v_y 和 d_s 的数值。

(e) 如果我们希望电子束偏转 $d_s = 5 \text{ cm}$, 那么 V_p 的值必须多大?

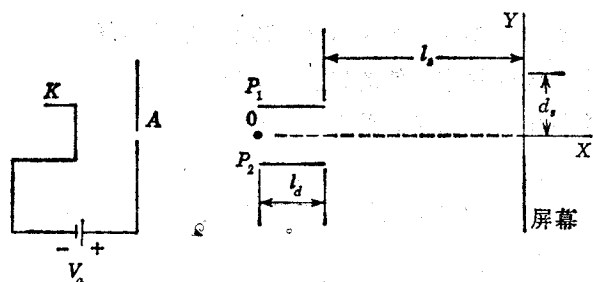


图 P1-3

1-4 一个二极管由平面发射极和与之平行的平面阳极构成, 二者相距 0.5 厘米。相对于阴极而言, 阳极电位保持在 -10 伏。

(a) 假如电子以 10^6 米/秒的速度离开发射极而朝向阳极, 那么它在离阴极多远的地方与位能垒相交?

(b) 为了能够到达阳极, 电子必须以多大速度离开发射极?

1-5 粒子离开其平衡位置移动时受到线性恢复力 $f = -kx$ 的作用, 式中 x 是从平衡位置测出的位移。试以能量法说明该粒子将作周期性振动, 其最大位移正比于粒子总能量的平方根。

1-6 将质量为 m 的粒子在地球重力场中以速度 v_0 垂直向上抛出。

(a) 以能量法说明该粒子将在 $v_0^2/2g$ 的高度上逆转其方向, 式中 g 是重力加速度。

(b) 说明该逆转点对应着与位能垒的“碰撞”。

1-7 证明每立方米金属的自由电子浓度 n 可用下式表示:

$$n = \frac{dv}{AM} = \frac{A_0 dv \times 10^3}{A}$$

式中 d 为密度, 公斤/米³

v 为原子价, 每个金属原子中的自由电子数

A 为原子量

M 为单位原子量的原子重量, 公斤(附录 A)

A_0 为阿佛伽德罗常数, 分子数/摩尔

1-8 一根铝导线的电阻率为 3.44×10^{-8} 欧·米, 直径为 2 毫米, 总长为 0.5 米。若电流为 30 毫安, 则降落在该导线上的电压是多少?

1-9 直径为 1.03 毫米的铜导线的电阻为 2.14×10^{-4} 欧/厘米。铜的自由电子浓度为 8.40×10^{28} 个电子/米³。若电流密度为 2×10^6 安/米², 求 (a) 电流 (b) 漂移速度 (c) 迁移率 (d) 电导率。

1-10 (a) 计算使硅中的一个电子具有 1 电子伏特平均能量所需要的电场。

(b) 在硅棒两端加电压以产生电子空穴对的做法切合实际吗? 解释之。

1-11 钨的密度为 18.8 克/厘米³, 原子量为 184, 自由电子浓度为 1.23×10^{23} /厘米³。计算每个原子中的自由电子数。参考 1-8 节的例 1-2。

1-12 (a) 计算单价铜的电导率。已知铜的 $\mu = 34.8 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 原子量为 63.54, $d = 8.9 \text{ g/cm}^3$ 。参考 1-8 节的例 1-2。

(b) 如果在这样的铜棒两端加一个强度为 500 伏/米的电场, 试求自由电子的平均速度。

1-13 计算铝中自由电子的迁移率。铝的密度为 2.70 克/厘米³, 电阻率为 3.44×10^{-6} 欧·厘米。假设每个铝原子有三个价电子。原子量为 26.98。参考 1-8 节的例 1-2。

1-14 (a) 确定 300K 时锗样品中自由电子和空穴的浓度。已知其施主原子浓度等于 2×10^{14} 个原子/厘米³, 受主原子浓度等于 3×10^{14} 个原子/厘米³。这是 p 型锗还是 n 型锗? 换言之, 其导电性主要是由于空穴还是电子?

(b) 若施主和受主浓度相等, 均为 10^{15} 个原子/厘米³, 重做题 (a)。这是 p 型锗还是 n 型锗?

(c) 若施主浓度为 10^{16} 个原子/厘米³, 受主浓度为 10^{14} 个原子/厘米³, 重做题 (a)。

1-15 (a) 求 300K 时 p 型锗中空穴和电子的浓度。设电阻率为 0.02 欧·厘米。

(b) 若为 n 型硅, 重做题 (a)。设其电阻率为 20 欧·厘米。

1-16 (a) 说明本征锗在 300K 时的电阻率为 44.64 欧·厘米。

(b) 如果每 10^8 个锗原子中掺进 1 个施主型杂质原子, 证明电阻率降为 3.73 欧·厘米。

1-17 (a) 求 300K 时本征硅的电阻率。

(b) 掺进施主型杂质后, 电阻率减到 9.6 欧·厘米, 计算每单位体积里施主原子与硅原子的比。

1-18 计算 300K 时本征硅棒的电阻。棒长 5 厘米, 横截面为 2×4 毫米²。

1-19 考虑室温 (300K) 下的本征硅。温度每增加 1°C , 电导率增加百分之几? 假设 μ 与 T 无关。

1-20 若为本征锗, 重做题 1-19。

1-21 确定 500K 时硅样品中自由电子和空穴的浓度。已知其施主原子浓度等于 $N_D = 1.874 \times 10^{18}$ 个原子/cm³, 受主原子浓度等于 $N_A = 3.748 \times 10^{18}$ 个原子/cm³。说明该样品基本上是本征的。解释为什么这实际上是应该料想到的。

1-22 一块锗样品掺杂后达到 10^{14} 个施主原子/厘米³ 和 7×10^{18} 个受主原子/厘米³ 的程度。在样品的温度下, 纯(本征)锗的电阻率是 60 欧·厘米。设空穴和电子的迁移率数值均与 300K 时相同(近似)。若总的导电电流密度为 52.3 毫安/厘米², 求所加的电场。

1-23 (a) 证明表 1-1 列出的锗原子浓度的数值。

(b) 如果在 10^8 个锗原子中掺进 1 个施主型杂质原子, 求其电阻率。

(c) 假设锗是单价金属, 求其电导率与(b)中 n 型半导体电导率之比。

1-24 假设硅是单价金属, 求其电导率与本征硅在 300K 时的电导率之比。

1-25 (a) 求图 1-10 中所用 n 型硅棒的霍尔电压 V_H 的大小。已知其多数载流子浓度 $N_D = 10^{18}$ 个原子/cm³。设 $B_z = 0.2 \text{ Wb/m}^2$, $d = 5 \text{ mm}$, $\mathcal{E}_x = 5 \text{ V/cm}$ 。

(b) 如果在(a)中采用 $N_A = 10^{12}$ 个原子/cm³ 的 p 型硅棒, 其余条件相同, 那么 V_H 将发生什么变化?

1-26 可用霍尔效应来确定图 1-10 中 p 型硅棒的空穴迁移率。假设硅棒的电阻率是 200,000 欧·厘米, 磁场 $B_z = 0.1 \text{ Wb/m}^2$, $d = w = 2 \text{ mm}$, 测出的电流值和霍尔电压值分别是 5 微安和 30 毫伏。求 μ_p 。

1-27 图 1-10 所用 n 型硅棒的电阻率为 1,000 欧·米, $w = 1 \text{ cm}$ 。若电流为 10 微安, 霍尔电压为 40 毫伏, 问所加的磁场强度 B 为多大?

1-28 半导体样品的空穴浓度示于图中。

(a) 求没有外加电场情况下的空穴电流密度 $J_p(x)$ 的表达式, 并画出其示意图。

(b) 假设没有与图示的浓度分布有关的纯空穴电流, 求必须存在的内部建立的电场的表达式, 并画出示意图。

(c) 若 $P(0)/P_0 = 10^8$, 求点 $x=0$ 和 $x=W$ 之间的电位差值。

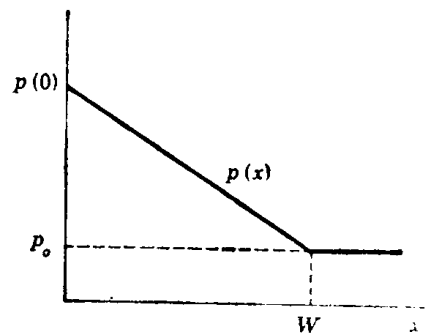


图 P 1-28

1-29 (a) 考虑图 1-12a 那样的一个开路的梯度半导体。证明电子的波尔兹曼方程[式(1-42)]。

(b) 对于图 1-12b 的跃变梯度半导体, 证明式(1-45)给出的接触电位差 V_0 的表达式。从 $J_n = 0$ 起始。

1-30 (a) 如果图 1-12b 为跃变梯度锗半导体, $N_D = 10^2 N_A$, 而 N_A 表示每 10^8 个锗原子中有 1 个受主原子。试计算室温下的接触电位差 V_0 。

(b) 对于硅 pn 结, 重做题(a)。

1-31 考虑一个开路的 pn 结二极管, 温度为 300K。如果 N_D 变化 10,000 倍, N_A 保持不变, 试确定接触电位差的变化。

1-32 (a) 一个跃变梯度锗二极管两边的电阻率为 2 欧·厘米(p 边)和 1 欧·厘米(n 边)。计算位垒高度 V_0 。

(b) 对于硅 pn 结, 重做题(a)。

第二章

2-1 用对数坐标示意画出硅跃变结的载流子浓度与距离的关系曲线, 设 $N_D = 5 \times 10^{14}$ 个原子/ cm^3 , $N_A = 5 \times 10^{16}$ 个原子/ cm^3 。给出纵坐标的数值, 标明 n 区、 p 区和耗尽区。

2-2 对于锗跃变结, 重做题 2-1。

2-3 一个硅跃变结两边的电阻率为 9.6 欧·厘米(p 边)和 100 欧·厘米(n 边)。用对数坐标示意画出载流子浓度与距离的关系曲线。给出纵坐标的数值, 标明 n 区、 p 区和耗尽区。

2-4 (a) 在室温下, 硅 pn 结二极管中的反向电流将在多大电压下达到其饱和值的 95%?

(b) 0.1 伏正向偏置下的电流与同样大反向偏置下的电流之比是多少?

(c) 若反向饱和电流为 10 纳安, 分别计算在 0.5、0.6 和 0.7 伏电压下的正向电流。

2-5 (a) 若硅 pn 结二极管的反向饱和电流为 1 纳安, 试求正向电流为 0.5 微安时的外加电压。

(b) 若题(a)中求得的电压正向加到一个锗二极管上, 问将产生多大电流?(设反向饱和电流为 20 微安。)

2-6 (a) 一个硅二极管在室温下(300K)且外加 0.7 伏电压时电流为 5 毫安。如果电压增加到 0.8 伏, 试计算二极管的电流。设 $\eta = 2$ 。

(b) 计算反向饱和电流。

2-7 (a) 对于工作在导电区的硅二极管, 在 300K 时, 如果电流增加 10 倍, 那么电压的变化有多大?

(b) 假设电流增加 100 倍, 重做题(a)。

2-8 (a) 根据图 2-6 中 $T = 25^\circ\text{C}$ 的那条曲线的斜率, 求式(2-3)中的 η 。最好取电流为 0.01 到 10 毫安这一范围内的线段。

(b) 若 $T = -55^\circ\text{C}$ 和 150°C , 重做上题。

2-9 (a) 计算温度从 25°C 增加到 100°C 时锗二极管反向饱和电流所增加的倍数。

(b) 对于硅二极管, 在温度从 25°C 变化到 200°C 的范围内, 重做题(a)。

2-10 (a) 温度增加多少将使反向饱和电流成为室温时的 50 倍?

(b) 温度降低多少将使反向饱和电流成为室温时的十分之一?

2-11 根据推算, 锗二极管的反向饱和电流应该增加 $0.11^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。但从实验发现, 一个具体的二极管在 10 伏反向电压下的反向电流为 5 微安, 随温度的变化仅为 $0.07^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。问并联在二极管上的漏电阻有多大?

2-12 锗二极管的反向饱和电流为 10 微安。二极管与 1.25 千欧的电阻并联。如果测得电流为 40 微安, 那么外加电压有多大? 提示: 用图解法。

2-13 一个二极管安装在底座上, 每当其温度每高出环境温度 1°C 时, 就有 0.1 毫瓦的热从二极管传递到外界。(在二极管和外界之间的机械接触“热阻”为 0.1 毫瓦/ $^{\circ}\text{C}$ 。)环境温度为 25°C 。二极管温度不能比环境温度高 10°C 。如果 25°C 时的反向饱和电流为 5.0 微安, 并且以 $0.07^{\circ}\text{C}^{-1}$ 的速率增加, 那么二极管两端可能维持的最大反向偏置电压为多大?

2-14 一个硅二极管在 0.7 伏的正向电压下工作。计算当温度从 25°C 降为 -55°C 时电流变化的倍数。

2-15 一个理想的硅 pn 结二极管在 125°C 温度下的反向饱和电流为 0.1 微安。在温度为 100°C 时, 求下列两种情况下的动态电阻: (a) 正向偏置 0.8 伏 (b) 反向偏置 0.8 伏。

2-16 一个理想的锗二极管, 室温下在 $I = 43.8\text{mA}$ 这一点的静态电阻为 4.57 欧。求 0.1 伏正向偏置时的动态电阻。

2-17 证明: 对于合金型 pn 结 ($N_A \ll N_D$), 耗尽层宽度 W 可由下式表示

$$W = \left(\frac{2\epsilon\mu_p V_j}{\sigma_p} \right)^{1/2}$$

式中, V_j 为二极管在加有 V_a 电压条件下的 pn 结电位。

2-18 (a) 证明: 对于合金型的硅 pn 结 ($N_A \ll N_D$), 耗尽层电容(单位为皮法/厘米²)可由下式表示

$$C_T/A^* = 2.913 \times 10^{-4} \left(\frac{N_A}{V_j} \right)^{1/2}$$

(b) 如果 p 型材料的电阻率为 4 欧·厘米, 位垒高度 V_o 为 0.3 伏, 外加反向电压为 4 伏, 截面是一个 50 密耳直径的圆, 求 C_T 。

2-19 一个硅 pn 结的截面是 40 密耳直径的圆, C_T 是 61 皮法, 位垒高度 V_o 是 0.35 伏, 外加反向电压是 5 伏, 求 p 型材料的电阻率。提示: 利用题 2-18a 的结果。

2-20 (a) 对于图 2-8 的 pn 结, 求 \mathcal{E} 和 V 关于 n 型边 x 的函数表达式, 这里 N_A 和 N_D 数值相当。提示: 移动 x 的原点, 使 $x=0$ 处于 pn 结上。

(b) 试说明总的位垒电压为: 式(2-15)乘以 $N_A/(N_A+N_D)$, 且 $W = W_p + W_n$ 。

(c) 证明: $C_T = [qN_A N_D \epsilon / 2(N_A + N_D)]^{1/2} V_j^{-1/2} A^{**}$ 。

(d) 证明: $C_T = \epsilon A / (W_p + W_n)$ 。

2-21 一个硅 pn 二极管 $N_D = 10^{15}$ 个原子 $\text{cm}^{-3} \ll N_A$, $V_o = 0.5\text{V}$ 。若外加反向偏置电压为 10

* 原书误为 C_T 。——译者注

** 原书中

$$C_T = [qN_A N_D \epsilon / 2(N_A + N_D)]^{1/2} V^{-1/2}$$

为与解答结果一致此处作了修改。——译者注

伏, 求:

- (a) 空间电荷区宽度 W 。
- (b) pn 结上的电场值。
- (c) 每平方密耳的电容量。

2-22 反向偏置的二极管经常作为电控制的可变电容器使用。一个跃变结二极管 4 伏时的过渡电容为 10 皮法。计算在偏置增加 0.5 伏时电容的减小量。

2-23 锗 pn 结面积为 0.5×0.5 毫米², 空间电荷区厚度为 3×10^{-4} 厘米, 计算其位垒电容。锗的介电常数(相对于真空)为 16。

2-24 硅合金型 pn 结的零电压位垒高度为 0.6 伏。 p 区受主原子的浓度 N_A 比 n 区施主原子的浓度小得多, 且 $N_A = 5 \times 10^{16}$ 个原子 cm^{-3} 。计算外加下列几种电压时耗尽层的宽度各为多少:

(a) 3.6 伏的反向电压, (b) 0.2 伏的反向电压, (c) 0.5 伏的正向电压 (d) 若二极管的截面积为 1 毫米², 求对应于 (a) 和 (b) 中外加电压值的空间电荷电容。

2-25 (a) 一个生长型 pn 结的暴露电荷密度 ρ 随距离线性地变化。若 $\rho = ax$, 证明位垒电压 V_j 可由下式表示:

$$V_j = \frac{aW^3}{12\epsilon}$$

(b) 证明位垒电容 C_T 可用式(2-17)表示。

2-26 如果硅二极管的扩散电容为 $C_D = 1\text{nF}$, 求正向偏置电流。扩散长度为 2.6×10^{-6} 米。设 p 区掺杂浓度比 n 区大得多。

2-27 扩散电容表示式[式(2-26)]的推导中假定了 p 区掺杂浓度远大于 n 区, 所以结电流完全是由空穴引起的。如果不作这一近似, 试推导总扩散电容的表示式。

2-28 (a) 证明跃变梯度结在 $N_A \gg N_D$ 时的电场最大值 \mathcal{E}_m 为

$$\mathcal{E}_m = \frac{2V_j}{W}$$

(b) 人们发现, 当 $\mathcal{E}_m = 2 \times 10^7 \text{V/m} \equiv \mathcal{E}_z$ 时, 发生齐纳击穿。证明齐纳电压 V_z 可以表示为

$$V_z = \frac{\epsilon \mathcal{E}_z^2}{2qN_D}$$

由此可见, 可以通过控制施主离子的浓度来控制齐纳击穿电压。

2-29 (a) 锗材料在电场强度为 2×10^7 伏/米时发生齐纳击穿。证明击穿电压 $V_z = 50.93 / \sigma_p$, 式中 σ_p 为 p 型材料的电导率, 单位是(欧·厘米)⁻¹。设 $N_A \ll N_D$ 。

(b) 若 p 型材料基本上是本征的, 计算 V_z 。

(c) 在 p 型材料中掺入 $1/10^8$ 的杂质, 电阻率降到 3.7 欧·厘米。计算 V_z 。

(d) p 型材料的电阻率为多大时将有 $V_z = 10\text{V}$?

2-30 (a) 一个硅二极管与 2 千欧电阻及 10 伏电源串联。若二极管为正向偏置, 问电路中的电流约为多少?

(b) 如果二极管在电流为 1 毫安时测得管压降为 0.6 伏, 求上述电路中比较精确的电流值。

(c) 如果电池反接, 且二极管的击穿电压为 7 伏, 求电路中的电流。

(d) 将另一个同样的二极管与原有的二极管反向串联(两个阳极连接在一起)。此时电路中的电流约为多大?

(e) 如果题(d)中的电源电压减到 4 伏, 问电流是多少?

2-31 (a) 两个硅 pn 二极管反向串联。反向饱和电流为 10 纳安。将一个 6 伏电池接到此串联着的管子上。假如齐纳(雪崩)电压为 10 伏, 试求电路中的电流 I 和每个二极管上的电压。

(b) 现在假设 $V_z = 5V$ 。重做题(a), 忽略齐纳欧姆电阻。

2-32 一个 15 伏的雪崩二极管和一个正向偏置的硅二极管串接, 用以构成具有零温度系数的参考电压。硅二极管的温度系数为 -1.7 毫伏/ $^{\circ}C$ 。试用每度($^{\circ}C$)的百分数写出所需的齐纳二极管的温度系数。

2-33 两个二极管的饱和电流分别为 1 和 2 微安。这两个二极管的击穿电压都等于 100 伏。设 $\eta = 2$ 。

(a) 若 $V = 80V$ 和 $V = 120V$, 计算这两个二极管的电流和电压。

(b) 假设每个二极管都用一个 8 兆欧电阻并联, 重做题(a)。

2-34 (a) 一个硅 pn 结二极管与一个 10 兆欧的电阻 R 串联。将 1 伏的电池跨接到它们的两端, 使二极管反向偏置。设二极管的反向饱和电流为 30 纳安, 求二极管上的电压。

(b) 若电池反极性连接, 重做题(a)。提示: 利用图解法, 如图 2-14 所示。

2-35 (a) 在题 2-31 的电路中, 齐纳击穿电压为 4.0 伏。若欧姆电阻可以忽略, 问电流有多大?

(b) 若欧姆电阻为 200 欧, 问电流又是多大? 注: 绘制式(2-3)的曲线并画出负载线来回答(b)题。用逐次近似的解析方法证明你的答案。

2-36 一个锗 pn 结二极管在室温下的反向饱和电流为 10 微安, 欧姆电阻可以忽略, 齐纳击穿电压为 100 伏。将一个 1 千欧的电阻与此二极管串联, 一个 30 伏的电池加到这个串联电路的两端。求下列几种情况下的电流:

(a) 二极管正向偏置。

(b) 电池以相反的极性接入电路。

(c) 若齐纳击穿电压为 10 伏, 重做题(a)和(b)。

2-37 一个 10 欧电阻与一个器件串接, 并在此电路两端加上 5 伏电池。这个器件的伏安特性如下(I 的单位是安培, V 的单位是伏特):

$$I = +0.2\sqrt{V-1} \quad (V \geq 1 \text{ 时})$$

$$I = 0 \quad (V < 1 \text{ 时})$$

(a) 用图解法求电路中的电流。

(b) 用解析法证明这个答案。

2-38 有两个二极管, 每个二极管都用线性化的伏安特性来描述, 即, 用增量电阻 r 和开启电压 V_y 来表示。二极管 D_1 是锗管, $V_y = 0.2V$, $r = 20\Omega$, 二极管 D_2 是硅管, $V_y = 0.6V$, $r = 15\Omega$ 。若(a)

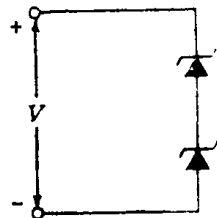


图 P 2-33

求 $R = 10\text{k}\Omega$, (b) $R = 1\text{k}\Omega$, 求二极管电流。

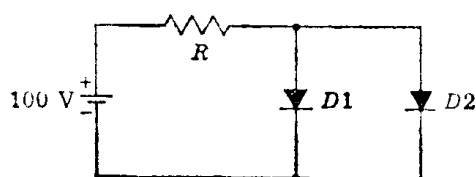


图 P 2-38

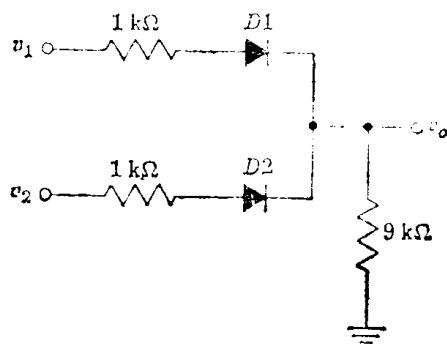


图 P 2-39

2-39 对于图中所示的电路, 二极管的开启电压为 0.6 伏, 导通二极管的压降为 $V_f = 0.7\text{V}$ 。计算对应于下列输入电压的 v_o , 并指出各个二极管的状态(导通或截止)。证明你关于各个二极管状态的假定。

- (a) $v_1 = 10\text{V}, v_2 = 0\text{V}$ 。
- (b) $v_1 = 5\text{V}, v_2 = 0\text{V}$ 。
- (c) $v_1 = 10\text{V}, v_2 = 5\text{V}$ 。
- (d) $v_1 = 5\text{V}, v_2 = 5\text{V}$ 。

2-40 假设电路中的二极管是理想的, 即, $R_f = 0, V_f = 0, R_r = \infty$ 。求下列情况下的 v_o :

- (a) $v_1 = v_2 = 5\text{V}$ 。
- (b) $v_1 = 5\text{V}, v_2 = 0\text{V}$ 。
- (c) $v_1 = v_2 = 0\text{V}$ 。

证明你在每个小题中关于各个二极管状态的假定。

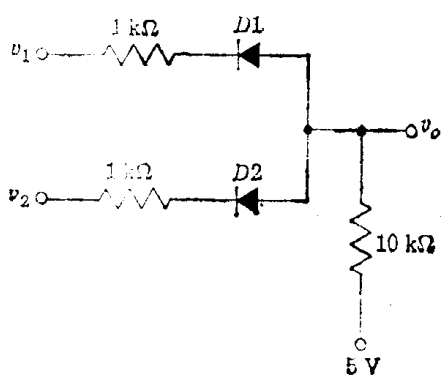


图 P 2-40

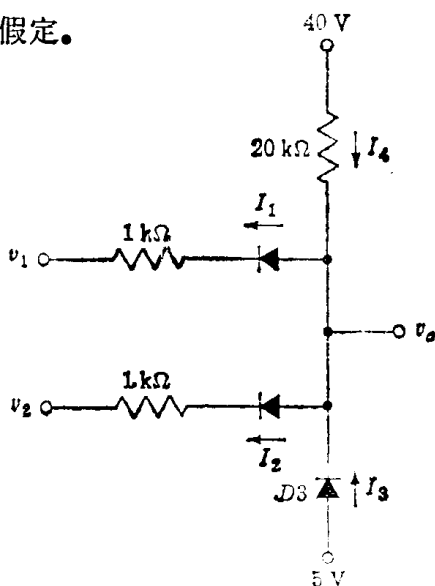


图 P 2-41

2-41 图示电路中的二极管与题 2-39 中的相同。计算在下列条件下的 I_1, I_2, I_3 和 v_o :

- (a) $v_1 = 0\text{V}, v_2 = 25\text{V}$ 。

(b) $v_1 = v_2 = 25V$ 。

第三章

3-1 图 3-3a 中的晶体管具有图 3-6 和图 3-7 给出的特性。令 $V_{CC} = 1.2V$, $R_L = 40\Omega$, 且 $I_B = 5mA$ 。

(a) 求 I_C 和 V_{CB} 。

(b) 求 V_{EB} 和 V_{L} 。

(c) 如果 I_B 以题 (a) 中的工作点为中心对称地变化 $\Delta I_B = 10mA$, 且 V_{CC} 不变, 求 I_C 相应的变化量。

3-2 用于图 3-3a 电路中的共基晶体管具有图 3-6 和图 3-7 给出的特性。令 $I_C = -15mA$, $V_{CB} = -3V$, $R_L = 100\Omega$ 。

(a) 求 V_{CC} 和 I_E 。

(b) 如果电源电压 V_{CC} 从题 (a) 中的那个值减少 1 伏, 而 I_B 保持它原先的数值, 求 I_C 和 V_{CB} 的新值。

3-3 电路如图所示, 发射极电流 $I_E = -2mA$ 。若 $\alpha = 0.98$, $V_{EB} = 0.7V$, 求 R_1 。反向饱和电流忽略不计。

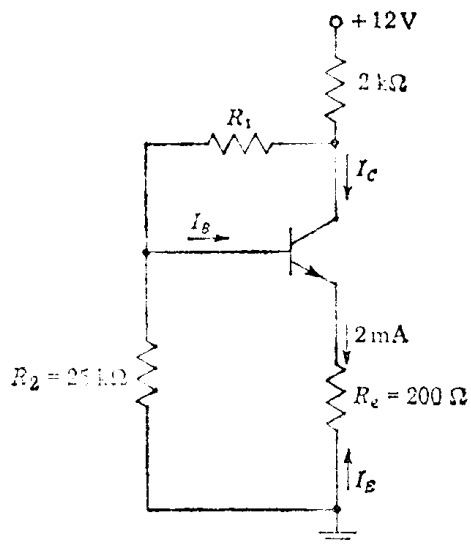


图 P 3-3

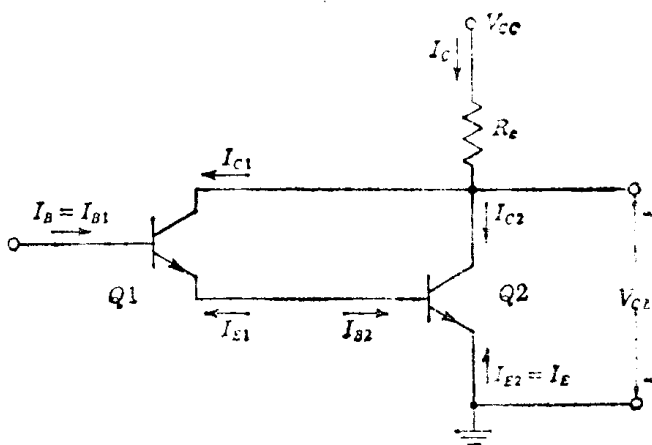


图 P 3-5

3-4 一个共射 npr 晶体管具有下列参数: $h_{FE} = 100$, 且与电流无关; $V_{CE(sat)} = 0.2V$, $V_{BE(sat)} = 0.8V$; I_C 的范围为 0 到 20 毫安。试画出该晶体管的理想化的输出和输入特性。

3-5 电路如图所示, $\alpha_1 = 0.99$, $\alpha_2 = 0.98$, $V_{CC} = 20V$, $R_c = 100\Omega$, $I_E = -120mA$ 。忽略反向饱和电流。并设两个晶体管均在放大区工作, 确定 (a) 电流 I_{C1} , I_{B1} , I_{E1} , I_{C2} , I_{B2} , I_C ; (b) V_{CE} ; (c) I_C/I_E 。

3-6 用于图 3-11a 电路中的共射晶体管具有图 3-9 和图 3-10 给出的特性。令 $R_b = 30\text{k}\Omega$ 。

(a) 若 $V_{CC} = 12\text{V}$, $V_{CE} = 6\text{V}$, $R_c = 240\Omega$, 求 V_{BE} 。

(b) 若 $V_{CC} = 6\text{V}$, 求使 $I_C = 16\text{mA}$, $V_{CE} = 2\text{V}$ 时的 R_c 。求 V_{BE} 。

3-7 在图 3-11 的电路中采用了共射晶体管, 其特性示于图 3-9 和图 3-10。电路中 $R_b = 10\text{k}\Omega$, $V_{CC} = 8\text{V}$, $R_c = 200\Omega$ 。

(a) 计算 V_{BE} 。

(b) 输入动态电阻定义为 $r_b \equiv \Delta V_{BE} / \Delta I_B$ 。用图解法求 r_b 。

(c) 假设 V_{CC} 保持不变, 而 V_{BE} 可以变化。求电压增益 $A \equiv \Delta V_{CE} / \Delta V_{BE}$ 。

3-8 用于图中所示电路的晶体管具有图 3-9 和 3-10 给出的特性。令 $R_b = 6\text{k}\Omega$, $R_c = 200\Omega$, $V_{CC} = 8\text{V}$ 。在 $0 \leq V_i \leq 3.6\text{V}$ 的范围内画出下面三种曲线:

(a) I_B 与 V_i 的关系曲线;

(b) I_C 与 V_i 的关系曲线;

(c) V_o 与 V_i 的关系曲线。

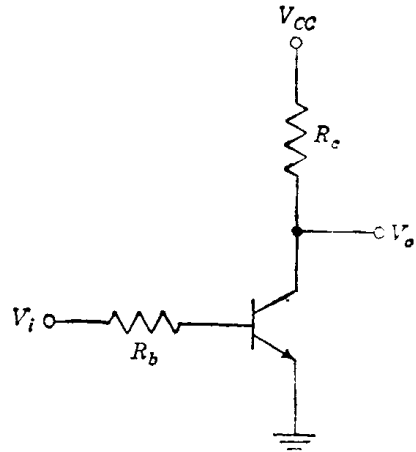


图 P 3-8

3-9 (a) 求图 3-11a 电路中的 R_c 和 R_b 。设 $V_{CC} = 12\text{V}$, $V_{BE} = 6\text{V}$, 因而 $I_C = 12\text{mA}$, $V_{CE} = 6\text{V}$ 。这里硅晶体管 $\beta = 100$, $V_{BE} = 0.7\text{V}$, 反向饱和电流可以忽略。

(b) 若电路中加入 200 欧射极电阻, 重做题 (a)。

3-10 在所示的电路中, $V_{CC} = 20\text{V}$, $R_c = 5\text{k}\Omega$, $R_e = 100\Omega$ 。如果采用 $\beta = 100$ 的硅晶体管, 并且 $V_{CE} = 4\text{V}$, 求 R 。忽略反向饱和电流。

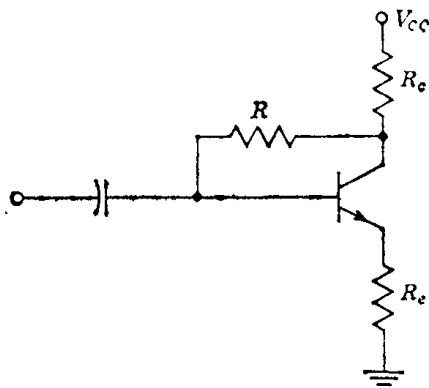


图 P 3-10

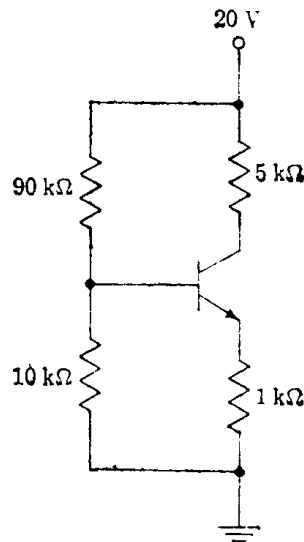


图 P 3-11

3-11 计算图中所示晶体管的集电极和基极电流。设 $h_{FE} = 50$ 。验证你所作的那些假定。提示: 应用戴维南定理 (C-2 节), 向基极的左边看。

3-12 对于图示的电路, 晶体管 Q_1 和 Q_2 工作在放大区, $V_{BE1} = V_{BE2} = 0.7\text{V}$, $\beta_1 = 100$, $\beta_2 = 50$ 。反

向饱和电流可以忽略不计。

(a) 求电流 I_{B2} 、 I_1 、 I_2 、 I_{C2} 、 I_{B1} 、 I_{C1} 和 I_{E1} 。

(b) 求电压 V_{o1} 和 V_{o2} 。

提示: 应用戴维南定理(C-2节), 向 100 千欧电阻的左边看。

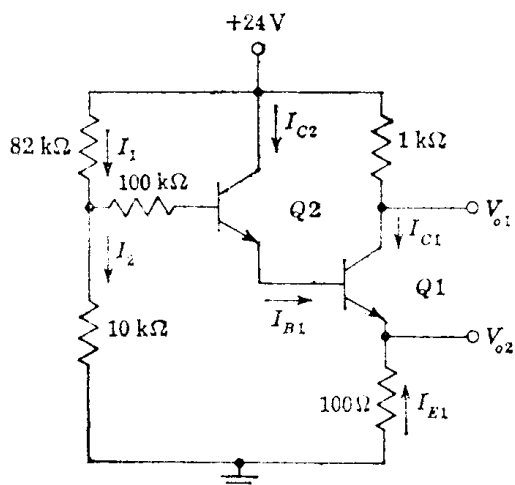


图 P 3-12

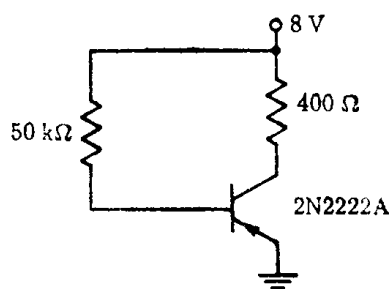


图 P 3-13

3-13 图 3-9、图 3-10、图 3-12 给出了 2N2222A 型晶体管的特性曲线。从这些特性曲线求图中电路的电压 V_{BE} 、 V_{CE} 和 V_{BC} 。提示: 作为一次近似, 假设 $V_{BE} = 0.7V$ 。

3-14 在题 3-8 的电路中用了一个 $\beta = h_{FE} = 100$ 的硅晶体管。求使晶体管饱和的 R_b 的最大值。设 $V_i = 5V$, $V_{CC} = 10V$, $R_c = 4.66k\Omega$ 。

3-15 图中硅晶体管的 $h_{FE} = 50$ 。令 $V_{CC} = 25V$, $V_{BB} = 10V$, $R_b = 40k\Omega$, $R_c = 15k\Omega$, $R_e = 5k\Omega$ 。

- 假定 Q 处于放大区, 求 I_B 和 I_C 。
- 验证题(a)中的假定是不正确的。简要说明之。
- 假定 Q 处于饱和区, 求 I_B 和 I_C 。
- 验证题(c)中的假定是正确的。简要说明之。
- 求使晶体管刚好脱离饱和的 R_e 值。

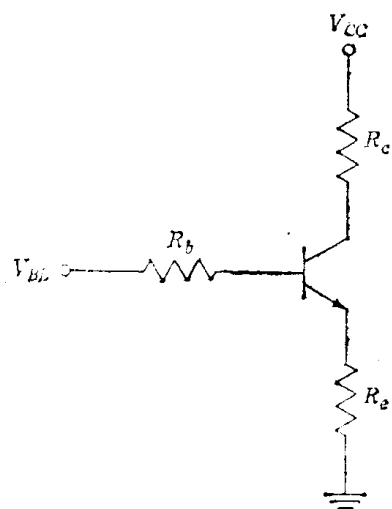


图 P 3-15

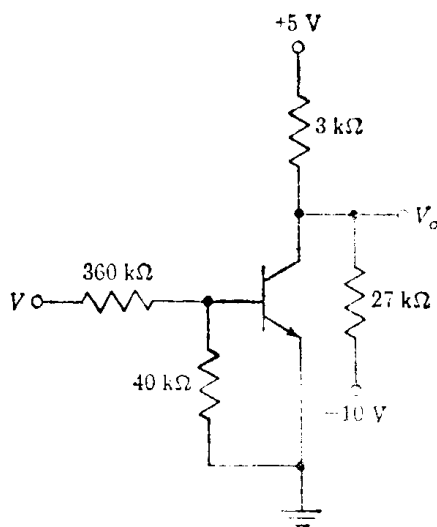


图 P 3-17

3-16 在题 3-15 的电路中, 令 $V_{BB}=10\text{V}$, $V_{CC}=25\text{V}$, $R_c=3\text{k}\Omega$, $R_e=2\text{k}\Omega$, $R_b=50\text{k}\Omega$ 。硅晶体管 $\beta=100$ 。利用表 3-1 的参数。

问: (a) 晶体管处于截止区、放大区还是饱和区?

(b) 求使晶体管处于放大区的 R_b 的最小值。

3-17 在图示的电路中, 当 (a) $V=15\text{V}$, (b) $V=30\text{V}$ 时, 求 V_o 。电路采用 $\beta=40$ 的硅晶体管。

提示: 对基极电路和集电极电路都应用戴维南定理(C-2 节)。

3-18 对于题 3-8 的电路, 设 $h_{FE}=100$ 。利用表 3-1 中硅晶体管的数值, 并令 $V_{CC}=5\text{V}$, $R_c=2\text{k}\Omega$, $R_b=12\text{k}\Omega$ 。在 $0 \leq V_i \leq 2$ 的范围内, 画出 V_o 、 I_B 和 I_C 与 V_i 的关系曲线。在每个曲线图上标明晶体管的截止区、放大区和饱和区。

3-19 (a) 假设 $\beta=100$, 忽略 p_n 结电压, 问晶体管是处于放大状态还是处于饱和状态?

(b) 计算该电路的 V_o 。

(c) 在上述电路中, 使晶体管饱和的最小 β 是多少?

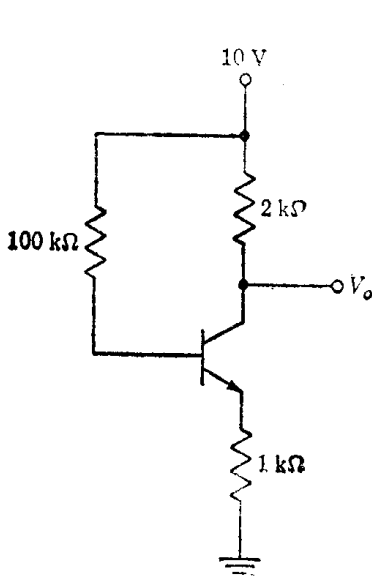


图 P 3-19

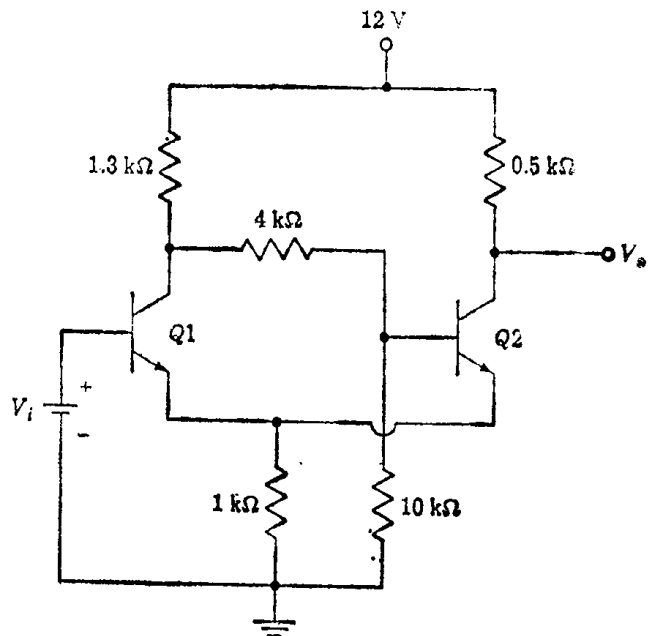


图 P 3-20

3-20 图中电路采用 $h_{FE}=100$ 的硅晶体管。忽略反向饱和电流。

(a) 求 $V_i=0\text{V}$ 时的 V_o 。假设 $Q1$ 截止, 并证明这个假设是对的。

(b) 求 $V_i=6\text{V}$ 时的 V_o 。假设 $Q2$ 截止, 并证明这个假设是对的。

3-21 根据图 3-9, 求 2N2222A 晶体管在 $V_{CE}=6\text{V}$ 和 $I_B=120\mu\text{A}$ 时的 h_{fe} 。

3-22 (a) 试说明 $\beta=h_{FE}$ 和小信号共射电流增益 $\beta'=h_{fe}$ 之间的关系是

$$h_{fe} = \frac{h_{FE}}{1 - (I_{CO} + I_B) (dh_{FE}/dI_C)^*}$$

提示: 求式(3-12)对于 I_C 的微分。

* 原书为 $\partial h_{FE}/\partial I_C$, 为与解答一致, 此处作了修改。——译者注

(b) 试说明: 对于 h_{FE} 与 I_C 关系曲线(图 3-14)中最大值以左的电流, $h_{fe} > h_{FE}$, 最大值以右则 $h_{fe} < h_{FE}$ 。

3-23 如果工作方式相反, 那么对应于常规方式下的式(3-5)我们可以写出

$$I_E = -\alpha_I I_C - I_{EO} (e^{V_E/V_T} - 1) \quad (1)$$

式中 α_I 为共基电流增益的倒数, I_{EO} 为发射结反向饱和电流。

(a) 推导以 I_C 和 I_E 表示的 V_E 和 V_C 的显函数表达式。

(b) 推导以 V_C 和 V_E 表示的 I_C 和 I_E 的显函数表达式。

3-24 (a) 图 3-11a 的电路中 $V_{CC} = 12V$, $V_{BB} = -20V$, $R_c = 2k\Omega$, 硅晶体管的 $h_{FE} = 30$ 。问 R_b 为何值时晶体管将饱和?

(b) 如果 $I_{CBO} = 100\mu A$, 且基极电源电压 V_{BB} 的极性反接, 问 R_b 为何值时晶体管将维持在截止状态?

3-25 (a) 图 3-18 中的硅管在室温 ($25^\circ C$) 下的反向饱和电流为 10 纳安, 温度每增加 $10^\circ C$, 该电流增加一倍。偏置 $V_{BB} = 8V$ 。如果晶体管在 $185^\circ C$ 的温度下保持截止, 求 R_b 的最大允许值。

(b) 如果 $V_{BB} = 2.0V$, $R_b = 20k\Omega$, 问在晶体管脱离截止以前温度可以增加多少?

3-26 如果图示电路中所用硅晶体管的 $\beta = h_{FE}$ 的最小值为 30, 在 $25^\circ C$ 时, $I_{CBO} = 10nA$:

(a) 求 $V_i = 12V$ 时的 V_o , 并说明 Q 处于饱和状态。

(b) 求题(a)中晶体管处于放大区时 R_1 的最小值。

(c) 若 $R_1 = 15k\Omega$, $V_i = 1V$, 求 V_o , 并说明 Q 处于截止状态。

(d) 求(c)题中晶体管维持截止的最高温度。

3-27 (a) 一个合金型 $n-p-n$ 硅晶体管的基区电阻率 ρ_B 远大于集电区, 试证明其穿通电压 V 可以用下式表示:

$$V = 9.42 \times 10^8 W_B^2 / \rho_B$$

式中 V 的单位为伏特, ρ_B 的单位为欧姆·厘米, W 的单位为厘米。

(b) 若 $W = 2\mu m$, $\rho_B = 1\Omega \cdot cm$, 试计算穿通电压。

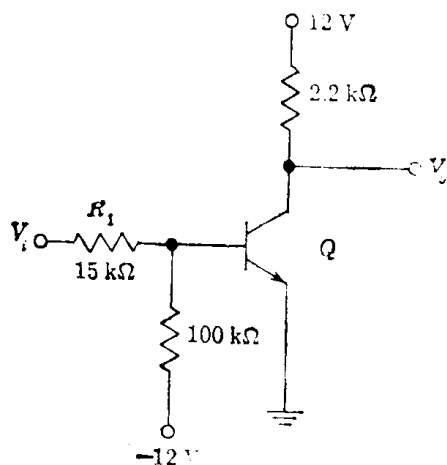


图 P 3-26

第四章

4-1 依次列举用外延扩散法制造单片硅集成晶体管所需要的步骤。画出每次生长氧化物以后的剖面图。标明材料。不必画隐埋层。

4-2 按比例画出在 5 密耳厚的硅衬底上制造的单片集成晶体管的剖面图。提示: 参考 4-2 节和图 4-7 与图 4-8 的典型尺寸。

4-3 由图 4-7 确定: (a) 外延集电区浓度, (b) 从形成集电结和发射结的那个表面算起的距离, (c) 基区厚度, (d) 表面附近的硼浓度, (e) 表面附近的磷浓度。

4-4 (a) 考虑一个制作在 p 型衬底 S 上的集成电路 nnp 型晶体管 $Q1$ 。说明在 E 、 B 、 C 和 S 这四端之间, 除了 $Q1$ 之外, 还有一个 npn 型晶体管 $Q2$ 。

(b) 如果 $Q1$ 工作在其放大区, 问 $Q2$ 工作在什么状态? 解释之。

(c) 假设 $Q1$ 处在饱和状态, 重做题 (b)。

(d) 假设 $Q1$ 处在截止状态, 重做题 (b)。

4-5 示意画出单片集成电路中二极管的五种基本联接方式(用电路形式表示)。哪一种联接方式的正向压降最低? 哪一种的击穿电压最高?

4-6 肖特基位垒二极管可防止 Q 饱和。假定当这个二极管导通时它的两端有 0.4 伏的压降。若 $h_{FE} = 100$, 计算基极和集电极以及每个电阻中的电流。

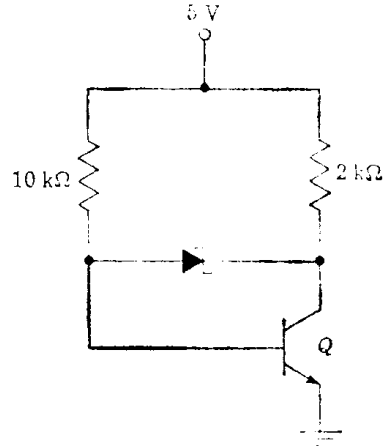


图 P 4-6

4-7 假定基极薄层电阻可以保持在 $\pm 10\%$ 以内, 电阻线宽可以保持在 ± 0.1 密耳以内, 画出扩散电阻最大容差(电阻值的百分比变化)与线宽 W (以密耳为单位) 的关系曲线。线宽的取值范围规定在 $0.5 \leq W \leq 5.0$ 。(忽略接触面积和接触布局的误差。)

4-8 设有一用磷和硼进行均匀掺杂的硅晶片, 厚度为 1 密耳, 磷的浓度为 10^{17} 厘米 $^{-3}$, 硼的浓度为 5×10^{16} 厘米 $^{-3}$ 。求其薄层电阻。

4-9 (a) 已知一扩散而成的交叉区长 5 密耳, 宽 2 密耳, 厚 1 微米, 其薄层电阻为 2.4 欧姆/单位面积, 计算其电阻值。

(b) 对于厚度为 0.4 微米, 电阻率为 2.8×10^{-6} 欧姆·厘米的敷铝层, 重做题 (a)。由此看出避免用扩散方法制成交叉区的好处。

4-10 (a) 要制作一个 20 千欧的电阻, 如果其宽度为 1 密耳, $R_s = 200 \Omega$ /单位面积, 那么所需要的总长度是多少?

(b) 若制作一个 5 千欧的电阻, 长度为 1 密耳, 问所需要的宽度是多少?

4-11 某集成 pn 结电容的面积为 2,000 平方密耳, 在反向位垒电压为 1.5 伏的情况下工作。受主浓度为 10^{16} 个原子/厘米 3 , 远远小于施主浓度。计算电容值(相对介电常数 $\epsilon_r = 12$)。

4-12 有一个 0.4 皮法/密耳 2 的薄膜电容, 其 SiO_2 层的厚度为 500 埃。计算二氧化硅的相对介电常数 ϵ_r 。

4-13 制作一个氧化层厚度为 500 埃的 MOS 电容。为了得到 200 皮法的电容量, 需要多大的基片面积? 二氧化硅的相对介电常数 ϵ_r 为 3.5。

4-14 图中所示的 n 型外延隔离区长 10 密耳、宽 5 密耳、厚 1 密耳, 电阻率为 0.2 欧姆·厘米。 p 型衬底的电阻率为 20 欧姆·厘米。求隔离区与衬底之间在 5 伏反向偏置下的寄生电容。假定侧壁所提供的电容量为 0.1 皮法/密耳 2 。