

高等学校试用教材

电子线路习题集

南京工学院无线电工程系《电子线路习题集》编写组编

人民教育出版社

内 容 提 要

这本习题集是和南京工学院无线电工程系电子线路编写组编写的《电子线路》教材配套使用的。可作为高等学校无线电技术类试用教材，也可供从事电子技术工作的工程技术人员阅读。

本书收集有半导体器件原理、放大电路基础、小信号放大电路、功率放大电路、正弦波振荡电路、频率变换电路、电源电路和电子管及其电路的题目 675 题，其中包括有详细解题步骤的各章例题 82 题。每章末附有各题的答案。

本书责任编辑 李永和

高等学校试用教材

电子线路习题集

南京工学院无线电工程系

《电子线路习题集》编写组编

*

人民教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷三厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 13 字数 371,000

1981 年 3 月第 1 版 1982 年 3 月第 2 次印刷

印数 45,501—70,500

书号 15012.0320 定价 1.30 元

前 言

这本习题集是和南京工学院无线电工程系电子线路编写组编写的《电子线路》教材配套使用的,习题集的分章和编排次序都与教材相同。在每章开始时都列有具体解题步骤的例题,这些例题反映了各章的重点,提供了解题的基本方法。本书收集的题目力求体现教材中各章的基本分析方法和基本概念,期望读者通过解题能更好地掌握教材的基本内容。为了扩大思路,培养综合解决问题的能力,还收集了一些难度较高的综合性和扩展性的题目。为便于读者使用,对一些常用的曲线、数据均编成附录,附在各章的后面。本书还附有各题的答案,供读者查考。

全书共收集了 675 道题目,其中例题 82 题。题目数量较多,使教师和读者有选择的余地。

本书是在我院和有关兄弟院校的教学实践基础上编写的。各章分工如下:李素珍编写第一、二、十章,顾宝良编写第三、七、八章,谢洪贻编写第四、九、二十二章,刘孟兰编写第五、六章,宣月清编写第十一至十四章,孙文治编写第十五至十七章,谢嘉奎编写第十八、十九章,刘嘉东编写第二十、二十一章。李素珍、顾宝良和陈子敏曾为本习题集提供和初步试做了大量的题目。谢嘉奎副教授进行了具体指导。整个编写工作由谢洪贻组织、汇总,对全书作了文字修饰,并对部分题目进行了审核。

南京邮电学院、合肥工业大学、南京通信工程学院、南京航空学院、华东工程学院、西安交通大学、空军第二炮兵学院和常州七二一工大等兄弟院校的同志提供和试做了大量题目,原教材编写

组及我院无线电工程系电子线路教研组的同志也提出了不少意见。在这里,我们一并向他们表示衷心的感谢。

本习题集编写比较匆促,再加上我们的水平不高,一定会有许多不妥和错误之处,殷切希望使用本书的单位和个人向我们提出意见。

南京工学院无线电工程系

《电子线路习题集》编写组

1980年11月

目 录

第一章 半导体二极管的基本特性	1
例题.....	1
习题.....	9
习题答案.....	15
第二章 半导体三极管的基本特性	17
例题.....	17
习题.....	26
习题答案.....	31
第三章 放大器基础	32
例题.....	32
习题.....	44
习题答案.....	55
第四章 反馈放大器	57
例题.....	57
习题.....	67
习题答案.....	77
第五章 场效应管及其电路	79
例题.....	79
习题.....	83
习题答案.....	90
第六章 直流放大器	92
例题.....	92
习题.....	99
习题答案.....	105
第七章 集成运算放大器	107
例题.....	107

习题.....	114
习题答案.....	124
第八章 小信号谐振放大器.....	127
例题.....	127
习题.....	134
习题答案.....	139
第九章 宽频带放大器.....	141
例题.....	141
习题.....	145
习题答案.....	151
第十章 噪声及其测量.....	153
例题.....	153
习题.....	158
习题答案.....	160
第十一章 非谐振功率放大器.....	162
例题.....	162
习题.....	178
附录一 热阻与散热器面积的关系.....	187
习题答案.....	188
第十二章 谐振功率放大器.....	190
例题.....	190
习题.....	200
附录一 常用半导体三极管主要电参数.....	207
附录二 余弦脉冲系数表.....	210
附录三 匹配网络计算公式.....	213
习题答案.....	214
第十三章 振荡原理.....	216
例题.....	216
习题.....	220
习题答案.....	226
第十四章 正弦波振荡器.....	227

例题.....	227
习题.....	237
习题答案.....	251
第十五章 振幅调制及解调电路	253
例题.....	253
习题.....	265
附录一 电流波形分解系数表.....	282
习题答案.....	283
第十六章 角度调制及解调电路	287
例题.....	287
习题.....	295
附录一 贝塞尔函数曲线.....	309
附录二 贝塞尔函数的数值表.....	310
习题答案.....	312
第十七章 混频、倍频和分频电路	314
例题.....	314
习题.....	322
习题答案.....	335
第十八章 参量电路	337
例题.....	337
习题.....	340
习题答案.....	342
第十九章 反馈控制电路	343
例题.....	343
习题.....	348
习题答案.....	353
第二十章 整流和电源变换电路	354
例题.....	354
习题.....	356
附录一 整流电路常用曲线.....	363
附录二 各种理想整流器的比较.....	367

附录三 整流与稳压电路中常用半导体器件参数·····	368
习题答案·····	372
第二十一章 直流稳压电路·····	374
例题·····	374
习题·····	382
习题答案·····	394
第二十二章 电子管及其电路·····	395
例题·····	395
习题·····	398
习题答案·····	405
主要参考书·····	407

第一章 半导体二极管的基本特性

例 题

例 1.1 试求硅半导体在温度为 $T=270^\circ\text{K}$ 时的本征载流子浓度。已知玻尔兹曼常数 $k=8.63\times 10^{-5}\text{eV}/^\circ\text{K}=1.37\times 10^{-23}\text{J}/^\circ\text{K}$ 。

解

半导体的本征载流子浓度为

$$n_i = p_i = K_i T^{3/2} \exp\left(-\frac{E_g}{2kT}\right)$$

式中 $E_g = E_{g0} - \beta T$ 为温度的函数^①, E_{g0} 为绝对零度时的禁带宽度, $E_{g0}(\text{硅}) = 1.21\text{eV}$, $E_{g0}(\text{锗}) = 0.785\text{eV}$ 。 β 是禁带宽度的温度系数。因此上式可写成

$$n_i = p_i = K T^{3/2} \exp\left(-\frac{E_{g0}}{2kT}\right)$$

式中 K 是与温度无关的常数, 锗与硅的 K 是不同的, $K(\text{硅}) = 3.87 \times 10^{16} 1/\text{cm}^3 (^\circ\text{K})^{3/2}$, $K(\text{锗}) = 1.76 \times 10^{16} 1/\text{cm}^3 (^\circ\text{K})^{3/2}$ 。

根据题意可得

$$\begin{aligned} n_i &= 3.87 \times 10^{16} \times (270)^{3/2} \times \exp\left(-\frac{1.21}{2 \times 8.63 \times 10^{-5} \times 270}\right) \\ &= 0.91 \times 10^9 \text{cm}^{-3} \end{aligned}$$

① 参 J. Millman & C. C. Halkias: *Integrated Electronics: Analog and Digital Circuits and Systems*. McGraw-Hill, 1972, p. 738~739.

例 1.2 有 A, B, C 三块硅单晶片, 已知在室温(300°K)下它们的空穴浓度分别为 $p_A = 2.25 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, $p_B = 1.5 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$, $p_C = 2.25 \times 10^4 \text{cm}^{-3}$ 。(1) 分别计算这三块硅片的电子浓度。(2) 判别这三块硅片的导电类型。(3) 分别计算这三块硅片的费米能级 E_F 在禁带中的位置。

解

(1) 已知 $T = 300^\circ\text{K}$ 时, 硅的禁带宽度为 1.1eV , $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$, 由于 $pn = n_i^2$, 因此 $n = \frac{n_i^2}{p}$, 这时

$$\text{i) } n_A = \frac{n_i^2}{p_A} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{2.25 \times 10^{16}} = 1 \times 10^4 \text{cm}^{-3}$$

$$\text{ii) } n_B = \frac{n_i^2}{p_B} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{1.5 \times 10^{10}} = 1.5 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$$

$$\text{iii) } n_C = \frac{n_i^2}{p_C} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{2.25 \times 10^4} = 1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$$

(2) $p_A > n_A$, 即 $2.25 \times 10^{16} \text{cm}^{-3} > 10^4 \text{cm}^{-3}$, 故 A 片为 P 型半导体。

$p_B = n_B$, 即 $n_i = p_B = n_B = 1.5 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$, 故 B 片为本征半导体。

$n_C > p_C$, 即 $10^{16} \text{cm}^{-3} > 2.25 \times 10^4 \text{cm}^{-3}$, 故 C 片为 N 型半导体。

(3) 分别计算费米能级在禁带中的位置, 已知 $T = 300^\circ\text{K}$ 时, $kT = 0.026\text{eV}$ 。

$$\text{i) } A \text{ 硅片} \quad p_{p0} = n_i \exp\left(\frac{E_{Fi} - E_{Fp}}{kT}\right)$$

$$\begin{aligned} E_{Fi} - E_{Fp} &= kT \ln\left(\frac{p_A}{n_i}\right) = 0.026 \ln\left(\frac{2.25 \times 10^{16}}{1.5 \times 10^{10}}\right) \\ &= 0.026 \times 14.2 \approx 0.37\text{eV} \end{aligned}$$

故 A 硅片的 E_{Fp} 在禁带中心线以下 0.37eV 处。

ii) B 硅片 $n_B = p_B = n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{cm}^{-3}$, 所以 E_{Fi} 在禁带

中心位置。

$$\text{iii) } C \text{ 硅片} \quad n_{n0} = n_i \exp\left(\frac{E_{Fn} - E_{Fi}}{kT}\right)$$

$$E_{Fn} - E_{Fi} = kT \ln\left(\frac{n_c}{n_i}\right)$$

$$= 0.026 \ln\left(\frac{10^{16}}{1.5 \times 10^{10}}\right) = 0.026 \times 13.4 \approx 0.35 \text{ eV}$$

C 硅片的 E_{Fn} 在禁带中心线以上 0.35 eV 处。

例 1.3 一个单位面积的硅棒, 左端注入电子, 其浓度为 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, 如果扩散长度 $L_n = 1 \times 10^{-2} \text{ cm}$, $D_n = 36 \text{ cm}^2/\text{s}$, 假设电子的热平衡浓度可忽略。电子浓度分布曲线如图 1-1 所示。试计算在 $x=0$ 处的电子扩散电流。

解

(1) 硅棒中电子浓度的分布表示式为

$$\Delta n = n - n_{p0} = \Delta n_0 \exp\left(-\frac{x}{L_n}\right)$$

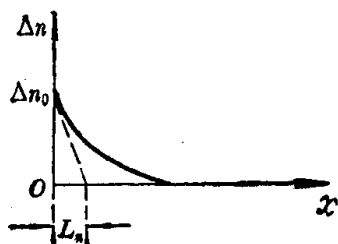


图 1-1

(2) 电子扩散电流的表示式

$$\begin{aligned} i_n(x) &= SqD_n \frac{d\Delta n}{dx} \\ &= qD_n \Delta n_0 \left(-\frac{1}{L_n}\right) \exp\left(-\frac{x}{L_n}\right) \end{aligned}$$

(3) 在 $x=0$ 处

$$\begin{aligned} i_n(0) &= -\frac{qD_n \Delta n_0}{L_n} \quad (\text{式中 } \Delta n_0 = 1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}) \\ &= -\frac{1.6 \times 10^{-19} \times 36 \times 10^{15}}{10^{-2}} \\ &= -0.576 \text{ A} \end{aligned}$$

负号表示电流方向与 x 轴方向相反。

例 1.4 由电阻率为 $1 \Omega \text{ cm}$ 的 P 型锗和 $0.1 \Omega \text{ cm}$ 的 N 型锗半

导体组成一个 PN 结, 试计算在室温 300°K 时, 内建电位差 V_D 和阻挡层宽度。已知在上述电阻率下, P 区的 $\mu_p = 1650\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, N 区的 $\mu_n = 3000\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$

解

(1) 在 P 区

$$\begin{aligned} p_{p0} \approx N_A &= \frac{1}{q\mu_p\rho_p} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 1650} \\ &= 3.8 \times 10^{15}\text{cm}^{-3} \\ &= 3.8 \times 10^{21}\text{m}^{-3} \end{aligned}$$

在 N 区

$$\begin{aligned} n_{n0} \approx N_D &= \frac{1}{q\mu_n\rho_n} = \frac{1}{1.6 \times 10^{-19} \times 3000 \times 0.1} \\ &= 2.1 \times 10^{16}\text{cm}^{-3} \\ &= 2.1 \times 10^{22}\text{m}^{-3} \end{aligned}$$

(2) 内建电位差

$$V_D = \frac{kT}{q} \ln \frac{N_A N_D}{n_i^2}$$

式中, $k = 1.37 \times 10^{-23}\text{J}/^\circ\text{K}$, 室温时, $\frac{kT}{q} = 0.026\text{V}$, $n_i = 2.5 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$ ①, 因此

$$\begin{aligned} V_D &= 0.026 \ln \frac{2.1 \times 10^{16} \times 3.8 \times 10^{15}}{(2.5 \times 10^{13})^2} \\ &= 0.306\text{V} \\ &= 306\text{mV} \end{aligned}$$

(3) 求阻挡层宽度

$$x_p = \left[\frac{2\varepsilon V_D}{qN_A \left(1 + \frac{N_A}{N_D} \right)} \right]$$

① 本章和下章解题过程中所遇到的锗本征载流子浓度均用 $n_i = 2.5 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$ 。

式中, ϵ 为介电常数, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$, $\epsilon_r(\text{锗}) = 16$, $\epsilon_r(\text{硅}) = 12$ 。

$$x_p = \left[\frac{2 \times 16 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.306}{1.6 \times 10^{-19} \times (3.8 \times 10^{21})(1 + 0.183)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 3.45 \times 10^{-7} \text{m}$$

$$x_n = \left[\frac{2eV_D}{qN_D \left(1 + \frac{N_D}{N_A} \right)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= \left[\frac{2 \times 16 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 0.306}{1.6 \times 10^{-19} \times (2.1 \times 10^{22})(1 + 5.53)} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 6.25 \times 10^{-8} \text{m}$$

阻挡层宽度 $l_0 = x_p + x_n = 3.45 \times 10^{-7} + 6.25 \times 10^{-8} = 4.08 \times 10^{-7} \text{m}$

例 1.5 有一硅 PN 结, P 区和 N 区的掺杂浓度分别为 $N_A = 9 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 和 $N_D = 2 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, P 区中空穴和电子的迁移率分别为 $350 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 和 $500 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, N 区中空穴和电子的迁移率分别为 $300 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 和 $900 \text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, 设两区内非平衡载流子的寿命均为 $1 \mu\text{s}$, PN 结截面积为 10^{-2}cm^2 , $\frac{q}{kT} = 38.7 \text{V}^{-1}$ 。当外加正向电压 $u = 0.65 \text{V}$ 时, 试求:

(1) 在 300°K 时流过 PN 结的电流 i 表达式。

(2) 假设以 P 区指向 N 区为 x 的正方向, 列出 N 区内空穴和电子的浓度分布表达式。

(3) 确定 N 区内空穴扩散电流、电子扩散电流、电子漂移电流和总的电子电流随 x 变化的表达式。

解

(1) 求流过 PN 结的电流 i 的表达式

i) 根据爱因斯坦关系式, 求出 N 区内的空穴和 P 区内的电子扩散系数。

已知

$$\frac{q}{kT} = 38.7 \text{ V}^{-1}$$

$$D_p = \frac{kT}{q} \mu_p = \frac{300}{38.7} \approx 7.75 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$D_n = \frac{kT}{q} \mu_n = \frac{500}{38.7} \approx 12.9 \text{ cm}^2/\text{s}$$

ii) 空穴和电子的扩散长度

$$L_p = \sqrt{D_p \tau_p} = \sqrt{7.75 \times 10^{-6}} = 2.78 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$L_n = \sqrt{D_n \tau_n} = \sqrt{12.9 \times 10^{-6}} = 3.59 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

iii) 热平衡少子浓度

由于 $n_i = 1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

因此 $p_{n0} = \frac{n_i^2}{N_D} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{2 \times 10^{16}} = 1.1 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$

$$n_{p0} = \frac{n_i^2}{N_A} = \frac{(1.5 \times 10^{10})^2}{9 \times 10^{16}} = 2.5 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

iv) 反向饱和电流

$$\begin{aligned} I_s &= qS \left(\frac{D_p p_{n0}}{L_p} + \frac{D_n n_{p0}}{L_n} \right) \\ &= 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{-2} \times \left(\frac{7.75 \times 1.1 \times 10^4}{2.78 \times 10^{-3}} + \frac{12.9 \times 2.5 \times 10^3}{3.59 \times 10^{-3}} \right) \\ &= 6.27 \times 10^{-14} \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{电流表达式 } i &= I_s \left[\exp\left(\frac{qu}{kT}\right) - 1 \right] \\ &= 6.27 \times 10^{-14} [\exp(38.7u) - 1] \text{ A} \end{aligned}$$

当 $u = 0.65 \text{ V}$ 时, $i = 6.27 \times 10^{-14} \times 8.4 \times 10^{10}$

$$= 5.27 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$= 5.27 \text{ mA}$$

(2) 当 $u = 0.65 \text{ V}$ 时, N 区内空穴浓度分布为

$$\begin{aligned}
 p_n &= p_{n0} \exp\left(\frac{qu}{kT}\right) \exp\left(-\frac{x}{L_p}\right) + p_{n0} \\
 &= 1.1 \times 10^4 \exp(38.7 \times 0.65) \exp\left(-\frac{x}{28} \times 10^4\right) + 1.1 \times 10^4 \\
 &= 9.25 \times 10^{14} \exp(-357x) + 11 \times 10^3 \text{cm}^{-3}
 \end{aligned}$$

N 区内的电子浓度分布

$$\begin{aligned}
 n_n &= n_{n0} + \Delta n \\
 &= 2 \times 10^{16} + 9.25 \times 10^{14} \exp(-357x) \text{cm}^{-3}
 \end{aligned}$$

(3) 求 N 区内的电流分布

i) 空穴扩散电流

$$\begin{aligned}
 i_{pD} &= -SqD_p \frac{dp}{dx} \\
 &= -10^{-2} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 7.75 \times 9.25 \times 10^{14} (-357) \\
 &\quad \exp(-357x) \\
 &= 4.09 \times 10^{-3} \exp(-357x) \text{A} \\
 &= 4.09 \exp(-357x) \text{mA}
 \end{aligned}$$

ii) 电子扩散电流

$$i_{nD} = SqD'_n \frac{dn}{dx}$$

在 N 区中 $D'_n = \frac{kT}{q} \mu_n = \frac{900}{38.7} = 23.25 \text{cm}^2/\text{s}$, 所以

$$\begin{aligned}
 i_{nD} &= 10^{-2} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 23.25 \times 9.25 \times 10^{14} (-357) \\
 &\quad \exp(-357x) \\
 &= -12.28 \times 10^{-3} \exp(-357x) \text{A} \\
 &= -12.28 \exp(-357x) \text{mA}
 \end{aligned}$$

负号表示电流方向和 x 方向相反。

iii) 电子漂移电流

N 区内总电流 i , 包括空穴扩散电流 i_{pD} 、电子扩散电流 i_{nD} 、

空穴漂移电流 i_{pi} 和电子漂移电流 i_{ni} 。其中由于注入的空穴浓度远小于电子浓度,空穴漂移电流可以忽略不计。在 N 区中存在着两个电场强度 $\mathcal{E}$ 和 $\mathcal{E}'$, $\mathcal{E}$ 是有外加正向电压时,流过 N 区的电流在 N 区体电阻上产生压降所引起的, $\mathcal{E}'$ 是由于电子比空穴扩散得快而产生的一个由 P 区指向 N 区的电场。电场 $\mathcal{E}'$ 使 N 区中空穴加速运动,对多子电子的扩散起着阻碍作用。

$$\text{总电流 } i = i_{pD} + i_{nD} + i_{ni}$$

$$\begin{aligned} i_{ni} &= i - i_{nD} - i_{pD} \\ &= 5.27 - 4.09\exp(-357x) + 12.28\exp(-357x) \\ &= 5.27 + 8.2\exp(-357x) \text{ mA} \end{aligned}$$

iv) 总的电子电流为电子漂移电流和电子扩散电流之和。

$$i_n = i_{ni} + i_{nD} = 5.27 - 4.09\exp(-357x) \text{ mA}$$

例 1.6 一交流信号作用于二极管 D 和电阻 R 相串联的电路中,如图 1-2 所示。(1) 用图解法画出流经二极管的电流波形图。(2) 画出二极管的两端的电压波形。

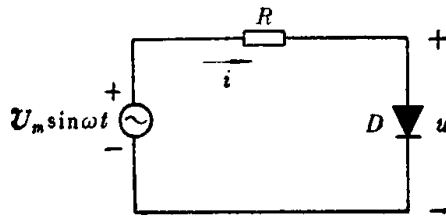


图 1-2

解

(1) 用图解法确定流经二极管的电流波形,如图 1-3 所示。

输入电压 $U_m \sin \omega t$ 在 t_1, t_2, t_3 时,其电压分别为 u_1, u_2, u_3 , 以 $u = u_1, u_2, u_3$ 和 $\varphi = \text{tg}^{-1} \frac{1}{R}$ 作负载线①, ②, ③分别与伏安特性曲线相交于 $1', 2', 3'$ 。求得 t_1, t_2, t_3 时的电流 i_1, i_2, i_3 。以此类推,可以求出 $t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9$ 时的电流,这样便作出了 $i(t)$ 曲线。

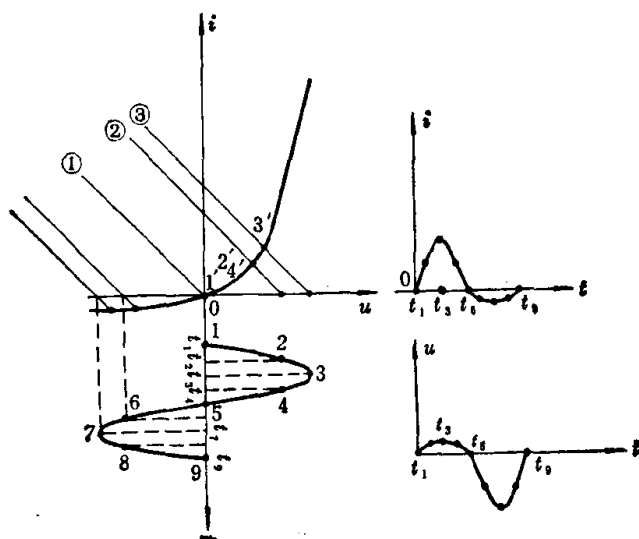


图 1-3

(2) 二极管两端的电压 u 如图 1-3 所示。正半周时二极管导通, 结电阻很小, 所以二极管两端的电压几乎为零; 负半周时二极管截止, 结电阻很大, 所以二极管两端的电压基本上和输入电压相同。

习 题

1.1 有一锗半导体, 当 $T=300^\circ\text{K}$ 时, 本征载流子浓度 $n_i=2.5\times 10^{13}\text{cm}^{-3}$, 玻尔兹曼常数 $k=8.63\times 10^{-5}\text{eV}/^\circ\text{K}$, 锗在绝对零度时的禁带宽度 $E_g=0.785\text{eV}$, 试问 $T=350^\circ\text{K}$ 时, 本征载流子浓度为多少?

1.2 如果有一锗片, 在 $T=300^\circ\text{K}$ 时, $n_i=2.5\times 10^{13}\text{cm}^{-3}$, 掺入的施主杂质浓度为 $N_D=1\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 。假设所有施主原子都电离, 试求锗片中的自由电子和空穴浓度。

1.3 一硅单晶材料中, 掺有磷、硼两种杂质。磷浓度为 $1.1\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$; 硼浓度为 $1.0\times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 。在室温下, 该材料的电子和空穴浓度各为多少?

1.4 在一锗片中掺入施主杂质, 其浓度 $N_D=2\times 10^{14}\text{cm}^{-3}$, 若再掺入受