

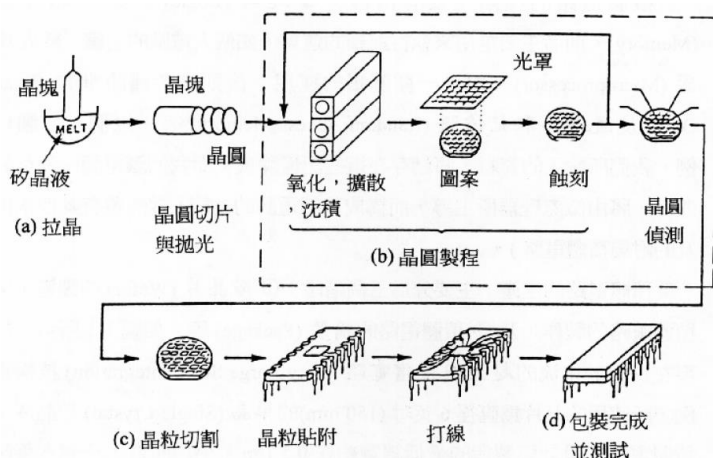
概論與二極體

重點整理

- 密爾曼博士說：電子學是研究帶電質點在氣體、真空或半導體中活動的科學。
 註：電工機械：討論以磁為媒介，作能量轉換的裝置。電機工程著重電子在金屬導體內的運動。
- 電子學歷史：真空管時期、電晶體時期、積體電路時期、微電腦時期。
- 積體電路時期：

	小型積體電路 SSI	中型積體電路 MSI	大型積體電路 LSI	超大型積體電路 VLSI	特大型積體電路 ULSI
零件數	100 個以下	100~1000	1000~1 萬	1 萬個以上	100 萬個以上
邏輯閘數	12 個以下	12~100	100~1000	1000 個以上	10 萬個以上

- 積體電路簡單製造流程



- 原子的構成：(原子本身不帶電，電中性)

	質子	中子	電子
帶電性	正電(+)	不帶電	負電(-)
帶電量(庫倫)	$+1.6 \times 10^{-19}$	不帶電	-1.6×10^{-19}
質量(公斤)	1.67×10^{-27}	1.67×10^{-27}	9.1×10^{-31}

- 電子組態：

- (1) 主層最大電子數

主層(n)	最大電子數目($2n^2$)
K(第一層)	2
L(第二層)	8
M(第三層)	18
N(第四層)	32
O(第五層)	50
P(第六層)	72
Q(第七層)	98

- (2) 副層最大電子數

副層(m)	最大電子數目($2+4x(m-1)$)
s	$1 \times 2 = 2$
p	$3 \times 2 = 6$
d	$5 \times 2 = 10$
f	$7 \times 2 = 14$

(3)束縛電子：被原子核吸引住而有一定軌道的電子。

(4)價電子：原子最外層的電子。

(5)自由電子：脫離軌道而自由活動的電子。

(6)電子伏特 eV ：能量的單位。1 電子伏特 = 1.6×10^{-19} 焦耳。1 爾格 = 10^{-7} 焦耳

7. 元素：

3 價	4 價	5 價
B 硼(5)	C 碳(6)	N 氮(7)
Al 鋁(13)	Si 矽(14)	P 磷(15)
Ga 鎵(31)	Ge 鍺(32)	As 砷(33)
In 銻(49)	Sn 錫(50)	Sb 銻(51)
Tl 鉍(81)	Pb 鉛(82)	Bi 鉍(83)

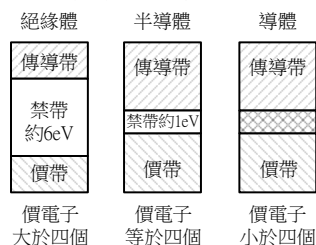
8. 元素半導體: Si 或 Ge

9. 化合物半導體:

- (1) 三-五價: 砷化鎵, 磷化鎵(LED)
- (2) 二-六價: 光敏電阻如硫化鎘 (CdS), 硒化鎘 (CdSe)

10. 合金半導體: 磷砷化鎵, 磷砷化銻

11. 能階：不同軌道的能量之差。

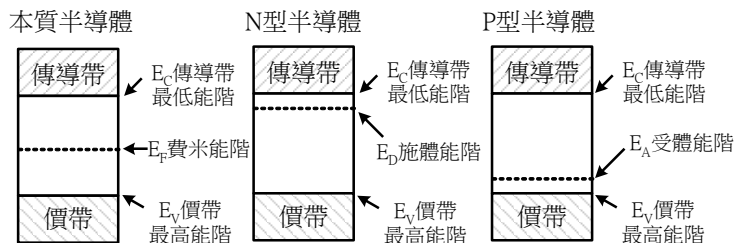


傳導帶：自由電子佔據的能帶，電子可以自由活動，不受原子核束縛。
 禁止帶：傳導帶與禁止帶的能量差，禁止帶內沒有任何電子。
 價電帶：價電子佔據的能帶，價電子不能自由移動。

12. 導體、半導體與絕緣體：

	導體	純半導體	絕緣體
電阻係數($\Omega \cdot m$)	10^{-3} 以下	$10^{-3} \sim 10^8$	10^8 以上
自由電子濃度	10^{28} 個/ m^3 以上	$10^7 \sim 10^{28}$ 個/ m^3	10^7 個/ m^3 以下
禁止帶(eV)	沒有	約 $1eV$	$6eV$ 以上
導電性	優良	$0^\circ K$ 以下不導電 $0^\circ K$ 以上會導電	很差
載子	自由電子	自由電子、電洞	無
電流	漂移電流	擴散電流 漂移電流	無
電阻溫度係數	正溫度係數	負溫度係數	負溫度係數

13. 費米能階(Fermi-level)



- (1) $0^\circ K$ 下任何電子所能含有的最高能量
- (2) 能量狀態，產生電子或電洞的機率
- (3) 溫度升高，費米階向禁帶中央移動

14. 矽和鎘的禁止帶：

半導體	溫度	禁止帶	
		Si 矽	Ge 鎘
本質	0°K	1.21 eV	0.78 eV
	室溫 25°C	1.11 eV	0.72 eV
外質	室溫 25°C	0.05 eV	0.01 eV

15. 波爾原子模型

(1) 電子由一穩定狀態 W_2 跳至另一穩定狀態 W_1 ，電子以光的形式放出能量，其頻率為 $f = \frac{W_2 - W_1}{h}$

h ：浦朗克常數(6.626×10^{-34} J-sec)， W ：能階(焦耳)， f 頻率(Hz)

(2) 放射光之波長 $\lambda = \frac{12400}{E_2 - E_1}$ ， λ ：波長(Å 埃， 10^{-10} m)， E ：能階(eV, 電子伏特)

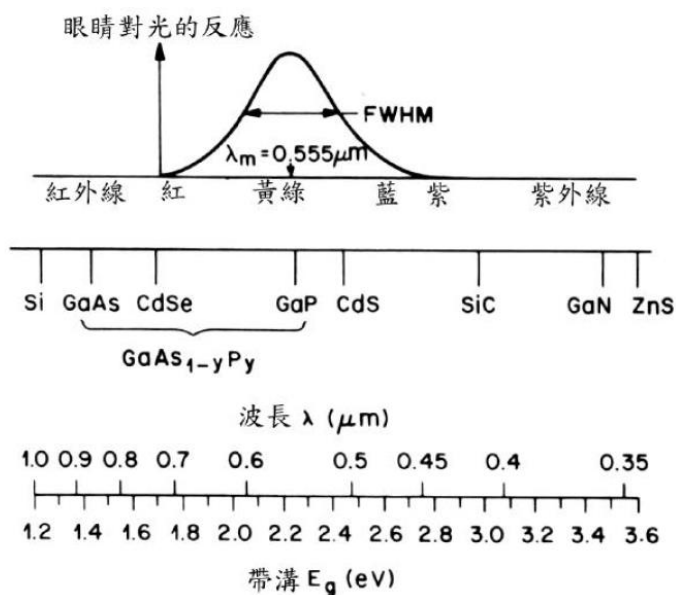
範例練習：

有一電子從 -2.03eV 跳至 -4.58eV ，則輻射波長為何？

$$\lambda = \frac{12400}{E_2 - E_1} = \frac{12400}{4.58 - 2.03} = 4862 \text{ \AA (埃)}$$

(3) 四元化合物半導體目前最流行的是磷化鋁鎵銻(AlGaInP)，那是超亮發光二極體(super bright LED)的材料。

(4) 發光二極體(light emitting diode, LED)所發光的顏色，由其波長而決定，隨著波長逐漸減少，可由紅外光(infrared)，紅光、橙光(orange)、黃光、綠光、藍光，紫光(violet)，而製造的困難度也逐漸增加。一顆藍光 LED 要比紅光 LED 貴很多倍。用於交通號誌的紅綠燈中，三種燈以綠燈最貴，黃燈其次，紅燈最便宜。



16. 電波頻率與波長：

波段	f(Hz)	λ (m)
極低頻(VLF)	10~30K	30000~10000
低 頻(LF)	30~300K	10000~1000
中 頻(MF)	300~3000K	1000~100
高 頻(HF)	3~30M	100~10
極高頻(VHF)	30~300M	10~1
特高頻(UHF)	300~3000M	1~0.1
超高頻(SHF)	3~30G	0.1~0.01

17. 半導體：四價的元素，其導電性介於絕緣體與導體之間元素，常用的半導體有矽和鎘。

18. 本質半導體：半導體本身沒有摻雜其他的元素。
19. 外質半導體：在本質半導體中加入其它價數的元素。
20. 八隅體學說：任何一原子的最外層的價電子數等於 8 個時，將會呈現穩定狀態。
21. 共價鍵：當本質半導體中一原子的 4 個價電子與相鄰原子的價電子共用時，使最外層軌道上有 8 個價電子而達到穩定的需求，稱為共價結合或共價鍵。
22. 共價鍵斷裂：當溫度上升時，價電子獲得足夠的能量後，將從共價鍵中游離而不再受共價鍵束縛。
23. P 型與 N 型半導體：

	摻雜		濃度		載子		電性	註
	元素種類	名稱	電洞	電子	多數	少數		
P 型	3 價元素	受體	較多	較少	電洞	電子	電中性	受體成為負離子
N 型	5 價元素	施體	較少	較多	電子	電洞	電中性	施體成為正離子

24. 矽與鍺的特性：

		Si 矽	Ge 鍺	說明
原子序		14	32	原子序=質子數=電子數
原子量		28.09	72.59	原子量 ≈ 質子數+中子數
電子排列		2-8-4	2-8-18-4	軌道主層：K-L-M-N
切入電壓		0.6~0.7V	0.2~0.3V	Si 較大 ⇒ 整流，Ge 較小 ⇒ 檢波。
逆向飽和電流 I_0		nA	μA	Ge 較 Si 大約 1000 倍
峰值逆向電壓 PIV		最高約 1000V	最高約 400V	Si 的 PIV 較 Ge 大
工作溫度範圍		-65~175°C	-65~75°C	Si 耐溫較 Ge 好
溫度效應	切入電壓	約 $-2.5mV/°C$	約 $-1mV/°C$	Si 的切入電壓受溫度影響較 Ge 大
	逆向飽和電流 I_s	升高 1°C 約增加 8% 升高 10°C 約增加為 2 倍		逆向飽和電流與溫度成等比級數

25. 濃度：(n_i ：本質載子濃度， n ：電子濃度， p ：電洞濃度， N_d ：施體濃度， N_a ：受體濃度)

半導體	濃度關係	
本質	質量作用定律 $n \cdot p = n_i^2$ 且 $n = p = n_i$	
外質	P 型： $n \cdot p = n_i^2$ 且 $N_a \approx p > n$ ，N 型： $n \cdot p = n_i^2$ 且 $N_d \approx n > p$	由於電中性 ↓ 負電=正電 $N_a + n = N_d + p$

※摻雜濃度提高(1)障壁電位會增加(2)接面處電場強度增加(3)空乏區變窄

◎例題解說：

純矽半導體本質濃度 $n_i = 1.5 \times 10^{10}$ 原子/cm³，其密度為 5×10^{22} 原子/cm³，若每 10^8 個矽原子加入一個硼原子，則將成為何種類型半導體？又電子濃度為多少？

$$p = \frac{5 \times 10^{22}}{10^8} = 5 \times 10^{14}$$

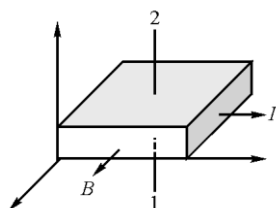
$$n \cdot 5 \times 10^{14} = (1.5 \times 10^{10})^2 \Rightarrow n = 4.5 \times 10^5$$

$$p = 5 \times 10^{14} > n = 4.5 \times 10^5 \therefore \text{P型半導體}$$

26. 霍爾效應(Hall Effect)：

將一塊帶有電流 I 的半導體，置於一個正交磁場 B 時，會感應出一個和 I 及 B 皆垂直的電場 E 。有三種功用

(1) 判斷半導體材料為 N 型或 P 型

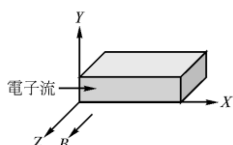


如左圖所示，利用佛萊銘左手定則若 $V_{12} > 0$ ，多數載子電洞，P 型半導體

若 $V_{12} < 0$ ，多數載子電子，N 型半導體

◎例題解說：

圖為一塊 N 型半導體置於磁場 B 中，有電子流流向正 X 方向，霍爾效應是指半導體中電子會移往並聚集在什麼方向上？



利用佛萊銘左手定則，可得一作用力向上(正 Y 方向)故多數載子(電子)往正 Y 方向聚集

(1) 測量多數載子濃度

平衡狀態，載子受電場(霍爾效應)作用力等於磁力

$$q \cdot E = q \cdot v \cdot B \Rightarrow V_H = E \cdot d = v \cdot B \cdot d = \frac{I}{n \cdot q} \cdot B \cdot d = \frac{w \cdot d}{n \cdot q} \cdot B \cdot d = \frac{I \cdot B}{n \cdot q \cdot w}$$

$$V_H, B, I \text{ 及 } w \text{ 量測可得 } n \text{ 可決定 } \therefore R_H = \frac{1}{n \cdot q} \text{ 霍爾係數} = \text{電荷密度 } n \cdot q \left(\frac{C}{cm^3} \right) \text{ 的倒數}$$

(2) 測量多數載子移動速率

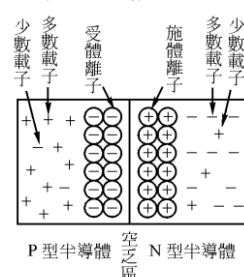
$$\text{傳導率 } \sigma \text{ 已量測，可決定多數載子移動速率 } \mu, \sigma = n \cdot q \cdot \mu \text{ 或 } \mu = \sigma \cdot R_H$$

27. 電流：

電洞流	由高電位出發到低電位，即電洞移動的方向	電洞流與電子流大小相同，方向相反。
電子流	由低電位出發到高電位，即電子移動的方向	
擴散電流	由於載子(電子和電洞)濃度的不均勻，造成濃度高往濃度低移動的電流。	
漂移電流	由於外加電壓形成電場，造成載子流動的電流。	

28. 二極體：將 P 型與 N 型半導體接合在一起，即成為二極體。

(1) 二極體結構：



範圍	P 型半導體		N 型半導體	
	空乏區外	空乏區內	空乏區內	空乏區外
載子	多數	電洞	沒有任何電子與電洞	
	少數	電子	多數	電子
電性	電中性		帶正電的施體離子	電中性
			帶負電的受體離子	

※ 空乏區的形成是由於擴散作用和外加電壓無關。

※ 空乏區內 N 型半導體內有帶正電的施體離子，P 型半導體內有帶負電的受體離子，分離的正負電荷導致電位差，該電位可阻止多數載子繼續越過接面，該電位差稱為障壁電位，矽材質為 0.6~0.7V、鍺材質為 0.2~0.3V。

(2) 偏壓對二極體的影響：順偏接法 (+)P → N(-)，逆偏接法 (-)P → N(+)

	P 型	N 型	隨偏壓增加		電流	註
			空乏區	障壁電壓		
順偏	接高電位	接低電位	變窄	下降	由多數與少數載子產生	順偏電壓 > 障壁電壓 ⇒ 導通
逆偏	接低電位	接高電位	變寬	上升	有漏電電流 僅少數載子產生	逆偏電壓 < PIV ⇒ 不導通 逆偏電壓 > PIV ⇒ 燒毀

※ 當二極體順偏時，增加外加電壓使順偏電壓 > 障壁電壓，電流迅速增加之電壓值，此電壓稱為切入電壓。

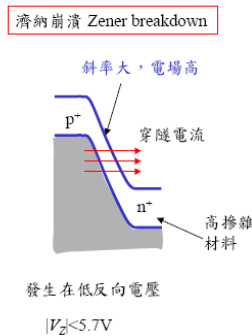
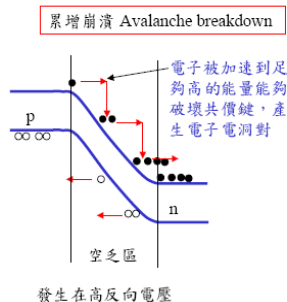
※ 峰值逆向電壓(PIV)：不致使二極體產生崩潰的最大逆向電壓值。

※ 漏電電流：二極體逆偏時，由少數載子造成電流，與溫度有關而與電壓無關，溫度不變下為一定值，又稱逆向飽和電流，矽材質為 nA 等級、鍺材質為 μA 等級。

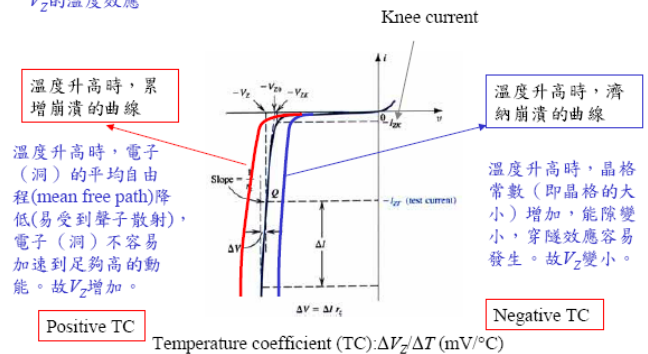
※ 當二極體加逆向偏壓時，若電壓持續增加到某一數值時，將會使電流大量的增加，此稱之為崩潰。

	累增崩潰(Avalanche effect)	稽納崩潰(Zener effect)
二極體摻雜濃度	低(空乏區寬)	高(空乏區窄)
崩潰電壓	> 6V	< 6V
崩潰電壓溫度係數	正	負

接面崩潰的機制



V_Z 的溫度效應



(3) 二極體符號： P → N

(4) 二極體方程式：

a. 電壓與電流的關係

$$I_D = I_S \cdot \left(e^{\frac{V_D}{\eta \cdot V_T}} - 1 \right)$$

其中 I_D ：二極體電流， I_S ：逆向飽和電流， V_D ：二極體外加電壓
 η ：理想因子，鍺=1，矽=1($I_D > 25mA$)，矽=2($I_D < 25mA$)
 V_T ：熱電壓

b. 障壁電壓(內建電壓)的大小：障壁電壓 $V_B = V_T \cdot \ln \frac{N_a \cdot N_d}{N_i^2}$

(5) 熱電壓： $V_T = \frac{kT}{q}$ (伏特)

k ：波茲曼常數= 1.38×10^{-23} (焦耳/°K)， T ：絕對溫度(°K)， q ：帶電量(庫倫)。

* $V_T = \frac{1.38 \times 10^{-23} \cdot T}{1.6 \times 10^{-19}} \approx \frac{T(^{\circ}K)}{11600}$ (伏特)，一般以室溫 $27^{\circ}C$ 計算時，則 $V_T \approx 26mV$ 。

(6) 電阻效應

a. 分佈電阻：二極體之內阻。 $r_B = \frac{1-0.7}{I_F}$ (矽二極體)， $r_B = \frac{1-0.3}{I_F}$ (鍺二極體)

b. 靜態電阻：二極體特性曲線上，任何一直流工作點上電壓與電流的比值。 $R_{DC} = \frac{V_D}{I_D}$

◎例題解說：

矽二極體的兩端施加直流電壓為 0.9 伏特，並測得電流為 10 毫安培，則此二極體的靜態電阻為 (A)90 歐姆 (B)90 仟歐姆 (C)900 歐姆 (D)100 仟歐姆 (E)100 歐姆

$$R_{dc} = \frac{0.9}{10mA} = 90\Omega$$

- c. 動態電阻：又稱為交流電阻，二極體特性曲線上，任何一直流工作點上附近一小交流訊號電壓與電流的比值。

$$r_d = \frac{V_T}{I_D} = \frac{26mV}{I_D}$$

◎例題解說：

在室溫時二極體電流為 6.5mA，則其交流順向電阻為 (A)0.5Ω (B)1.5Ω (C)2.5Ω (D)4Ω

$$R_{ac} = \frac{26mV}{6.5mA} = 4\Omega$$

(7) 溫度效應：

- 本質半導體與低摻雜濃度半導體呈負溫度效應
- 金屬或高摻雜濃度半導體呈正溫度效應
- 切入電壓：矽約 $-2.5mV/^\circ C$ ，鍺約 $-1mV/^\circ C$

◎例題解說：

假設在 25°C 時，矽晶體的 V_{BE} 為 0.7 伏特，求在 65°C 時， V_{BE} 的值為多少？ (A)0.8V (B)0.6V (C)0.5V (D)0.4V

$$V_{BE} = 0.7 - 2.5mV \times (65 - 25) = 0.6V$$

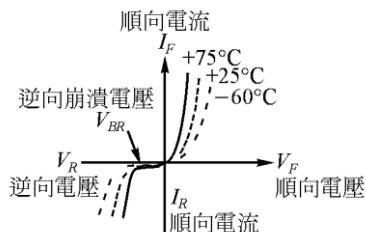
- d. 逆向飽和電流 I_S ：升高 1°C 約增加 8%，升高 10°C 約增加為 2 倍， $I'_S = I_S \times 2^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$

◎例題解說：

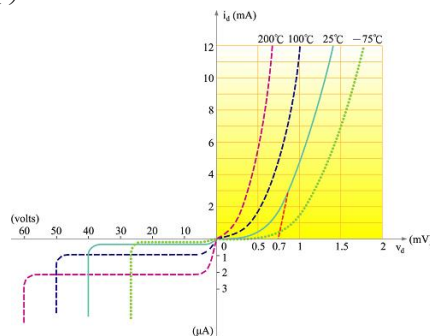
有一 PN 二極體逆向飽和電流於 300°K 時為 $1\mu A$ ，於 350°K 時 I_S 應為 (A)32 μA (B)50 μA (C)64 μA (D)100 μA

$$I'_S = 1\mu A \times 2^{\frac{350 - 300}{10}} = 32\mu A$$

- e. 二極體特性曲線隨溫度變化情形（注意逆偏電壓刻度）



稽納崩潰溫度越高時特性曲線中心軸靠近，切入電壓漸小，逆向崩潰電壓漸小，逆向飽和電流漸大。（矽二極體特性隨溫度變化--高職參考書）



累增崩潰溫度越高時特性曲線越往左移，逆向飽和電流漸大。（矽二極體特性隨溫度變化--教科書）

(8) 電容效應：($C_{DF} > C_{TF} > C_{TR} > C_{DR}$)

- a. 順偏 ($C_{DF} > C_{TF}$)

順偏時的電容效應稱為擴散電容或儲存電容 (μf 等級)，與順向電壓及 τ 成正比，與溫度成反比。

$$C_D = \frac{\tau \cdot I}{\eta \cdot V_T} \quad \tau: \text{平均壽命約為 } 1 \times 10^{-6} \text{ 秒}$$

- b. 逆偏 ($C_{TR} > C_{DR}$)

逆偏時的電容效應稱為過渡電容或空乏區電容 (pf 等級)，逆向偏壓增加電容量下降，變容二極體利用控制逆向偏壓，改變電容大小，可用在自動頻率控制 (AFC)、諧振電路等。

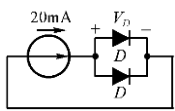
$$C_T = \epsilon \cdot \frac{A}{d} = \frac{1}{k \cdot (V_r + V)^n} \quad n: 1/3 \sim 1/2$$

(9) 二極體空乏區寬度：

$N_d W_n = N_a W_p$ ， N_d ：施體濃度， N_a ：受體濃度， W_n ：N 型空乏區寬度， W_p ：P 型空乏區寬度
 摻雜濃度較高的半導體，其空乏區寬度較窄，在 JFET 中空乏區幾乎降在摻雜濃度較低(通道)的那一側。
 電壓與電流的變動關係

◎答題要訣：熟記二極體電壓與電流的變動關係式

◎詳細說明：電流與電壓關係式 $V_{D2} = V_{D1} + \eta \cdot V_T \cdot \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$ ，電壓變動式 $V_{D2} - V_{D1} = \eta \cdot V_T \cdot \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = 2.3 \cdot \eta \cdot V_T \cdot \log\frac{I_2}{I_1}$

<p>◎電流與電壓關係例題解說：</p> <p>如下圖所示為相同特性之二極體(其中 $\eta V_T=25mV$)，二極體在流通 1mA 時，V_D 為 0.7V，則下圖中 V_D 為多少？</p> 	$I_1 = I_S \times \left(e^{\frac{V_{D1}}{\eta V_T}} - 1 \right), I_2 = I_S \times \left(e^{\frac{V_{D2}}{\eta V_T}} - 1 \right) \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_S \times \left(e^{\frac{V_{D2}}{\eta V_T}} - 1 \right)}{I_S \times \left(e^{\frac{V_{D1}}{\eta V_T}} - 1 \right)} \Rightarrow V_{D2} = V_{D1} + \eta \cdot V_T \cdot \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$ $V_{D2} = 0.7 + 25mV \cdot \ln\left(\frac{10}{1}\right) = 0.758V$
<p>◎電壓變動例題解說：</p> <p>考慮一顆 $\eta=1.5$，$V_T=25mV$ 的二極體，若電流由 0.1mA \rightarrow 10mA 求電壓改變量？</p>	$I_1 = I_S \times \left(e^{\frac{V_{D1}}{\eta V_T}} - 1 \right), I_2 = I_S \times \left(e^{\frac{V_{D2}}{\eta V_T}} - 1 \right) \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_S \times \left(e^{\frac{V_{D2}}{\eta V_T}} - 1 \right)}{I_S \times \left(e^{\frac{V_{D1}}{\eta V_T}} - 1 \right)} \Rightarrow V_{D2} - V_{D1} = \eta \cdot V_T \cdot \ln\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = 2.3 \cdot \eta \cdot V_T \cdot \log\frac{I_2}{I_1}$ $V_{D2} - V_{D1} = 2.3 \cdot \eta \cdot V_T \cdot \log\frac{I_2}{I_1} = 2.3 \times 1.5 \times 25mV \times \log\left(\frac{10}{0.1}\right) = 172.5mV$

(10) 金屬與半導體的接觸

甲、蕭基(整流性)接觸—金屬與一般摻雜濃度半導體的接合,具整流作用

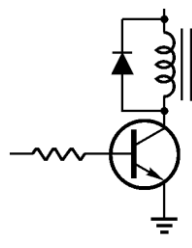
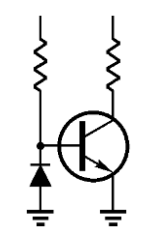
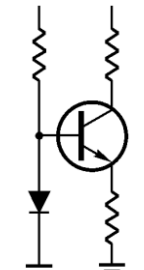
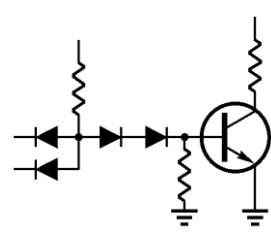
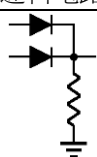
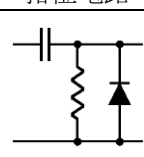
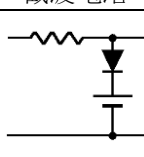
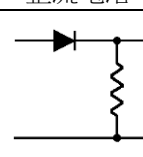


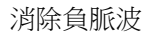
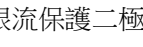
乙、歐姆(非整流性)接觸—金屬與高摻雜濃度半導體的接合,不具整流作用。

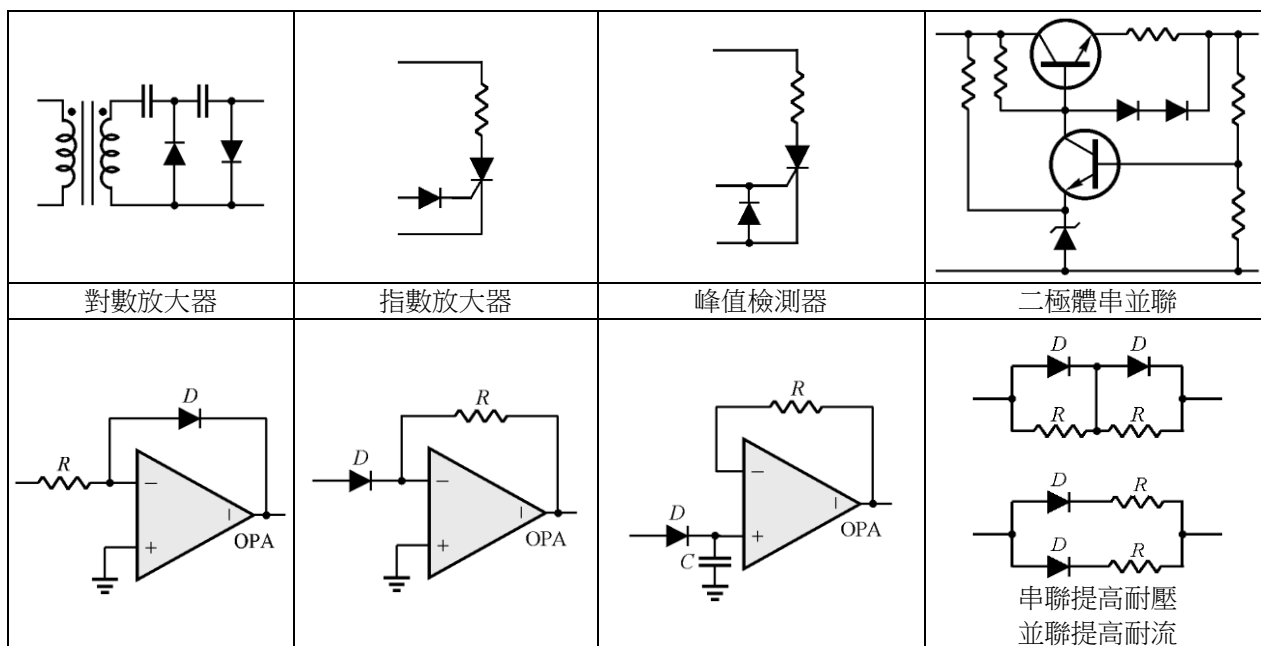
(11) 半導體間的接觸

甲、同質接合—相同半導體主材質間的接合,如n-Si與p-Si。

乙、異質接合—不同半導體主材質間的接合,如InP 與GaAs

29. 二極體應用：

<p>消除反電勢</p> 	<p>補償 I_{CO}</p> 	<p>補償 V_{BE}</p> 	<p>提高雜訊邊限</p> 
<p>邏輯電路</p> 	<p>箝位電路</p> 	<p>截波電路</p> 	<p>整流電路</p> 
<p>倍壓電路</p> 	<p>提高逆向崩潰電壓 保護 SCR</p> 	<p>消除負脈波</p> 	<p>限流保護二極體</p> 

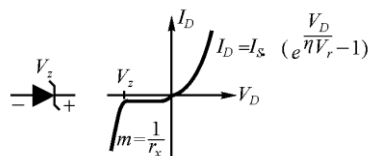


30. 稽納二極體

(1) 雜質滲透比：摻雜濃度增加，高電場，稽納電位降低

- a. 一般二極體 $1:10^8$ (整流)
- b. 稽納二極體 $1:10^5$ (穩壓)
- c. 透納二極體 $1:10^3$ (負電阻特性)

(2) 特性曲線及電路符號



(3) 稽納二極體模型

特性曲線	等效電路		
	順偏	利用方程式 $I_D = I_S \cdot \left(e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right)$ 求解	
	逆偏	未崩潰	
		崩潰	

☆ 稽納二極體使用於逆向偏壓當穩壓使用




歷屆試題精選

- () 1. 積體電路中，依邏輯閘數目之多寡分類，且由多到少排序，何者正確？ (A)SSI>MSI>LSI>VLSI (B)VLSI>ULSI>LSI>MSI (C)ULSI>VLSI>SSI>LSI (D)ULSI>VLSI>MSI>SSI。 【93 四技二專】
- () 2. 下列有關 PN 接面二極體的敘述，何者有誤？ (A)矽二極體的障壁電位(barrier potential)較鍺二極體高 (B)二極體加順向偏壓後，空乏區變窄 (C)溫度上升時，障壁電壓上升 (D)溫度上升時，漏電流上升。
【93 四技二專---電子專二】
- () 3. 在矽半導體材料中，摻入三價的雜質，請問此半導體形成何種型式？半導體內部的多數載子為

何？此塊半導體之電性為何？ (A)N 型半導體；電子；電中性 (B)N 型半導體；電子；負電 (C)P 型半導體；電洞；電中性 (D)P 型半導體；電洞；正電。 【93 四技二專】

- () 4. 一般而言，邏輯閘數目最少的積體電路為： (A)LSI (B)MSI (C)SSI (D)VLSI。 【92 四技二專】
- () 5. 在室溫下，未加偏壓之 PN 二極體在 PN 接面附近的狀況為： (A)P 型半導體帶正電，N 型半導體帶負電 (B)P 型半導體帶負電，N 型半導體帶正電 (C)P 型及 N 型半導體皆不帶電 (D)P 型及 N 型半導體所帶之電性不固定。 【92 四技二專】
- () 6. 對一處於絕對零度【0°K】之本質半導體，在此本質半導體之兩端加一電壓；若此本質半導體並未發生崩潰，則在本質半導體內 (A)有電子流，也有電洞流 (B)有電子流，但沒有電洞流 (C)沒有電子流，但有電洞流 (D)沒有電子流，也沒有電洞流。 【90 四技二專---電機類】
- () 7. 在本質半導體中，摻入下列何項雜質元素，即可成為 P 型半導體？ (A)磷 (B)硼 (C)砷 (D)銻。 【91 四技二專---電子類】
- () 8. 下列有關雜質半導體 (extrinsic semiconductor)特性之敘述，何者正確？ (A)在本質(intrinsic)矽內加入硼 (boron)原子後可產生 n 型導電特性 (B)在 n 型半導體中，電子的移動率 (mobility)隨著溫度的增加而變大 (C)在熱平衡時，自由電子與電洞濃度的乘積值不受摻雜濃度 (doping concentration)影響 (D)在無外加電壓時，雜質半導體內之擴散電流 (diffusion current)必為零。 【91 二技—電子類】
- () 9. 使用三用電表之電阻檔測量二極體，假設二極體的順向電阻為 R_1 及逆向電阻為 R_2 ，若二極體為良好，則下列敘述何者正確？ (A) R_1 的值非常小， R_2 的值非常大 (B) R_1 的值非常小， R_2 的值亦非常小 (C) R_1 的值非常大， R_2 的值非常小 (D) R_1 的值非常大， R_2 的值亦非常大。 【91 四技二專—電機專二】
- () 10. 下列何者為二極體的編號？ (A) μ A741 (B)1N4004 (C)2N9012 (D)NE555。 【93 四技二專---電機專二】
- () 11. 下列何者為二極體的編號？ (A)1N4001 (B)2N2222 (C)7404 (D)7806。 【92 四技二專---電機專二】
- () 12. 下列有關二極體的敘述，何者有誤？ (A)可以使用三用電表檢驗二極體的材質 (B)實驗中常用的二極體編號為 2N4xxx 系列 (C)一般的二極體有記號或標註的那一端，通常為 N 極 (D)鍺比矽有較小的障壁電壓(barrier potential)，更適合用在載波電路。 【92 四技二專---電子專二】
- () 13. 下列有關二極體的敘述，何者正確？ (A)在順偏時，擴散電容與流過之電流量無關 (B)空乏區電容隨外加逆向偏壓之增加而減少 (C)當外加逆向電壓增加時，空乏區寬度將減少 (D)在固定之二極體電流下，溫度愈高，則二極體之順向壓降愈高。 【91 四技二專—電機類】
- () 14. 下列有關二極體特性的敘述，何者不正確？ (A)溫度上升時，切入電壓隨之降低 (B)溫度上升時，逆向飽和電流隨之增加 (C)擴散電容(diffusion capacitance)效應主要是在逆向偏壓時發生 (D)逆向偏壓越大時，則空乏區電容(depletion capacitance)越小 【91 四技二專—電子類】
- () 15. 下列有關 PN 接面二極體(PN junction diode)特性之敘述，何者正確？ (A)在 P 型矽(P-type silicon)區域沒有電子存在 (B)空乏區(depletion region)的寬度隨著逆向偏壓的絕對值之增加而減少 (C)當矽的摻雜濃度越高時，其接面內建電壓(built-in voltage)的值越小 (D)以接面處為起點，空乏區的寬度會比較深入摻雜濃度較低的一邊。 【91 二技—電子類】
- () 16. 下列對於半導體之敘述，何者錯誤？ (A)當加逆向偏壓於 PN 接面時，空乏區會變窄 (B)當加順向偏壓於 PN 接面時，空乏區外存在擴散電容 (C)在本質半導體中摻雜五價元素，可形成 N 型半導體 (D)當加小於崩潰電壓之逆向偏壓於 PN 接面時，仍有少數載子流動，此為逆向飽和電流。 【92 二技—電子類】
- () 17. 有關 P-N 接面二極體(p-n Junction diode)的特性，下列敘述何者為非 (A)受到逆向偏壓時空乏區(depletion region)的寬度變大(與不同偏壓時比較) (B)空乏區電場方向為由 P 區域指向 N 區域 (C)當順向偏壓時其擴散電容值隨電流值之變大而增大 (D)空乏區電場強度的最大值出現在 P 區域與 N 區域的接面上。 【86 二技電子電路】

- () 18. 二極體施以逆向電壓時，仍有少量電流存在，是因為 (A)多數載子的流動所致 (B)少數載子的流動所致 (C)主、副載子同時流動所致 (D)無法斷定。
【87 電機保甄】
- () 19. 有關變抗二極體(varactor)的電容 C_T 的大小，下列敘述何者正確？ (A)與逆向偏壓成正比 (B)與逆向偏壓成反比 (C)與順向電流成正比 (D)與順向電流成反比。
【89 四技聯招電子】
- () 20. 在 PN 二極體的疊增崩潰(avalanche breakdown)特性中，其溫度係數的變化情形為何？ (A)正或負 (B)負 (C)零 (D)正。 【87 二技電子電路】
- () 21. 在 PN 二極體的稽納崩潰(Zener breakdown)特性中，其溫度係數的變化情形為何？ (A)正或負 (B)負 (C)零 (D)正。
- () 22. 一個二極體兩端施以 1V 之直流電壓，並測得有 20mA 之電流通過，則此二極體之靜態電阻為？ (A)50 Ω (B)100 Ω (C)200 Ω (D)以上皆非。
【86 四技電機】
- () 23. 對於 $p-n$ 接面二極體(p-n junction diode)，下列敘述何者有誤？ (A)逆向偏壓時空乏區所形成的電容值變小 (B)順向偏壓時沒有空乏區 (C)逆向偏壓時空乏區電場強度的最大值出現在 p 區域與 n 區域的接面上 (D)順向偏壓時電流與電壓呈指數關係。【90 年二技電子電路-統一入學測驗】
- () 24. 矽二極體接上順向偏壓時，其切入電壓(cut-in voltage)約為 (A)0.1V (B)0.3 (C)0.7V (D)1.0V。
【88 四技推甄】
- () 25. 在電路中，為阻隔因負載變動所造成的雜訊，以免雜訊回授至輸入端，常使用下列何種元件？ (A)雙接面電晶體 (B)光耦合器 (C)場效電晶體 (D)運算放大器。
【90 四技二專】
- () 26. 下列敘述何者不正確？ (A)Si 及 Ge 的原子序皆為 14 (B)Si 的障壁電壓約為 0.7V (C)Ge 的障壁電壓約為 0.3V (D)Si 及 Ge 皆為 4 價元素。
【88 四技推甄】
- () 27. 純半導體中最常使用的材料為鍺(Ge)和矽(Si)，兩者皆為幾價元素？ (A)3 價 (B)4 價 (C)5 價 (D)2 價 (E)以上皆非。 【86 四技電機】
- () 28. N 型材料是在純半導體鍺或矽中，摻入微量的幾價元素？ (A)3 價 (B)4 價 (C)5 價 (D)2 價 (E)以上各價均可能。
【83 保甄電機】
【86 夜二專電機南】【86 四技電機】【87 電子保甄】【88 南區夜二專電子】
- () 29. 在純質矽晶片(intrinsic Si wafer)中加入磷(phosphorus)，下列敘述何者有誤？ (A)多數載子為電洞 (B)導電率增加 (C)純質矽晶片成為外質(extrinsic) (D)電子與電洞濃度乘積為定值。
【90 年二技電子電路-統一入學測驗】
- () 30. 在 P 型半導體中，載子的狀況是 (A)只有電洞 (B)只有電子 (C)有多數電子及少數電洞 (D)有多數電洞及少數電子。 【89 四技聯招電子】
- () 31. 下列敘述何者不正確？ (A)Si 及 Ge 皆是本質半導體(intrinsic semiconductor) (B)將磷(P)或砷(As)加入一本質半導體可以將此半導體變為 P 型外質半導體(extrinsic semiconductor) (C)在 P 型半導體中之多數載子(majority carrier)為電洞 (D)在摻有銻(Sb)的半導體中，Sb 扮演的角色是施體(donor)。
【88 四技推甄】
- () 32. 一 P 型半導體受熱(thermal)影響所產生的新電子或電洞數何者為多？ (A)電洞數 (B)電子數 (C)電子和電洞數一樣多 (D)不會產生新的電子或電洞數。
【88 二技電子電路】
- () 33. 由矽半導體所作成的電阻，一般而言，其阻值大小會隨溫度的上升而如何變化？ (A)減小 (B)增大 (C)先減小後增大 (D)先增大後減小 (E)不變。
【86 四技電子】
- () 34. 有一個 $P-N$ 接面的二極體，請問在 N 型半導體內的總電荷極性為 (A)正的 (B)負的 (C)中性的 (D)不能決定。 【87 電子保甄】
- () 35. 鍺二極體接上順向偏壓時，其切入電壓(cut-in voltage)約為 (A)0V (B)0.2V (C)0.7V (D)1.0V。
- () 36. 下列何者二極體通常工作於逆向偏壓？ (A)變容二極體 (B)透納二極體 (C)發光二極體 (D)蕭特基二極體。 【88 電子保甄】

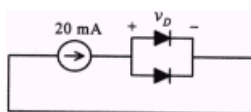
- () 37.  是下列何者之電路符號？ (A) ZENER (B) PUT (C) UJT (D) SCR。

【87 四技電機】【88 夜二專電子南區】【89 夜二專電子南區】

- () 38. 如下圖所示之二極體在流通 1 mA 電流時，兩端的電壓差為 0.7 V，若 $\eta = 1$ 且 $V_T = 25 \text{ mV}$ ，則 v_D 為(計算時可參考底下的自然對數表)： (A) 0.7V (B) 0.73V (C) 0.76V (D) 0.79V。

【92 四技二專】

ln2	ln3	ln4	ln5	ln6	ln7	ln8	ln9	ln10	ln11
0.693	1.099	1.386	1.609	1.792	1.946	2.079	2.197	2.303	2.398
ln12	ln13	ln14	ln15	ln16	ln17	ln18	ln19	ln20	
2.485	2.565	2.639	2.708	2.773	2.833	2.890	2.944	2.996	




- () 39. 純矽在絕對零度時 (A)其性能如同導體 (B)其性能如同絕緣體 (C)其性能如同半導體 (D) 以上皆非。
- () 40. 當 P 型及 N 型半導體接觸時，即會產生一空乏層(depletion layer)，而空乏層之寬度 (A)N 型半導體側較寬 (B)P 型半導體側較寬 (C)摻雜濃度低那側較寬 (D)摻雜濃度高那側較寬。
- () 41. 在 P 型半導體中，導電的多數載子為何者？ (A) 電子 (B) 原子核 (C) 電洞 (D) 離子 【94 四技二專】
- () 42. 矽、鍺半導體材料的導電性，隨溫度上升而產生何種變化？ (A) 成為絕緣體 (B) 減少 (C) 不變 (D) 增加 【94 四技二專】
- () 43. 二極體的空乏區，隨著逆偏電壓的增加而產生何種變化？ (A) 增加 (B) 減少 (C) 不變 (D) 先減後增 【94 四技二專】
- () 44. 下列關於 N 型半導體的敘述，何者正確？ (A) 比本質半導體導電性好 (B) 少數載子為電子 (C) 所摻雜質為三價元素 (D) 摻雜硼、鋁等雜質 【94 四技二專補考】
- () 45. 半導體材料矽、鍺為幾價元素？ (A) 2 價 (B) 3 價 (C) 4 價 (D) 5 價 【94 四技二專補考】
- () 46. 下列關於價電子與自由電子的敘述，何者錯誤？ (A) 價電子位於原子核最外層軌道 (B) 價電子成為自由電子會釋放熱能 (C) 自由電子位於傳導帶 (D) 價電子脫離原來的軌道所留下之空缺，稱為電洞 【95 四技二專】
- () 47. 一純矽半導體，本質濃度 $n_i = 1.5 \times 10^{10} / \text{cm}^3$ ，原子密度為 $5 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ ，若於每 10^9 個矽原子摻入 1 個施體 (donor) 雜質，則其電洞濃度為多少？ (A) $4.5 \times 10^5 / \text{cm}^3$ (B) $4.5 \times 10^6 / \text{cm}^3$ (C) $4.5 \times 10^7 / \text{cm}^3$ (D) $4.5 \times 10^8 / \text{cm}^3$ 【95 四技二專】

歷屆試題解答

1. (D) 2. (C) 3. (C) 4. (C) 5. (B) 6. (D) 7. (B) 8. (C) 9. (A) 10. (B)
 11. (A) 12. (B) 13. (B) 14. (C) 15. (D) 16. (A) 17. (B) 18. (B) 19. (B) 20. (D)
 21. (B) 22. (A) 23. (B) 24. (C) 25. (B) 26. (A) 27. (B) 28. (C) 29. (A) 30. (D)
 31. (B) 32. (C) 33. (A) 34. (A) 35. (B) 36. (A) 37. (A) 38. (C) 39. (B) 40. (C)
 41. (C) 42. (D) 43. (A) 44. (A) 45. (C) 46. (B) 47. (B)

- 積體電路依邏輯閘數目之多寡分類 ULSI > VLSI > MSI > SSI
- PN 接面二極體溫度上升時，障壁電壓下降
- 矽半導體材料中，摻入三價的雜質，形成 P 型半導體多數載子為電洞；電中性

4. SSI 為邏輯閘數目最少的積體電路
5. 未加偏壓之 PN 二極體在 PN 接面附近 P 型半導體帶負電，N 型半導體帶正電
6. 處於絕對零度【0°K】之本質半導體，沒有電子流，也沒有電洞流，為一絕緣體。
7. 本質半導體中，摻入三價雜質元素(硼、鋁、鎵、銦)，即可成為 P 型半導體
8. (A)在本質(intrinsic)矽內加入硼 (boron)原子後可產生 P 型導電特性 (B)在 n 型半導體中，電子的移動率 (mobility)隨著溫度的增加而變小 (D)在無外加電壓時，雜質半導體內之擴散電流 (diffusion current) 不為零，可形成空乏區。
9. 二極體良好時，順向電阻值非常小及逆向電阻值非常大
10. (A) μ A741 為運算放大器 (C)2N9012 為 PNP 電晶體 (D)NE555 為專用 IC
11. (B)2N2222 為 NPN 電晶體 (C)7404 為 TTL 系列 (D)7806 為穩壓 IC。
12. 實驗中常用的二極體編號為 1N4xxx 系列
13. 二極體空乏區電容隨外加逆向偏壓之增加而減少
14. 擴散電容(diffusion capacitance)效應主要是在順向偏壓時發生
15. $W_p \cdot N_A = W_n \cdot N_D$ ，空乏區之厚度(Width)與本身之摻雜濃度成反比；即濃度越低，空乏區越厚。
16. 當加逆向偏壓於 PN 接面時，空乏區會變寬
17. 空乏區內之電荷： N 正， P 負 \Rightarrow 故電場方向應由 N 區指向 P 區域
18. 二極體施以逆向電壓時，仍有少量電流存在，是因為少數載子的流動所致
19. 變抗二極體(varactor)的電容 C_T 的大小與逆向偏壓成反比
20. PN 二極體的疊增崩潰(avalanche breakdown)特性為正溫度係數
21. PN 二極體的稽納崩潰(zenor breakdown)特性為負溫度係數
22. $R_{dc} = \frac{1V}{20mA} = 50\Omega$
23. $p-n$ 接面二極體(p-n junction diode)，順向偏壓時也有空乏區
24. 矽二極體切入電壓(cut-in voltage)為 0.7V
25. 在電路中，常使用光耦合器阻隔因負載變動所造成的雜訊，以免雜訊回授至輸入端
26. Si 的原子序為 14，Ge 的原子序為 32
27. 鍺(Ge)和矽(Si)，兩者皆為 4 價元素
28. N 型材料為在純半導體鍺或矽中摻入微量的 5 價元素
29. 純矽加磷多數載子為電子
30. P 在型半導體中有多數電洞及少數電子。
31. 將磷(P)或砷(As)加入一本質半導體可以將此半導體變為 n 型外質半導體(extrinsic semiconductor)
32. 一 P 型半導體受熱(thermal)影響所產生的電子和電洞數一樣多
33. 半導體所作成的電阻，一般而言，其阻值大小會隨溫度的上升而減小
34. (1)純 N 型(或純 P 型) \Rightarrow 中性
(2) PN 接合後

空乏區內	\Rightarrow	N ：正離子， P ：負離子
空乏區外	\Rightarrow	P 或 N ，皆中性
35. (3)題意的“型總電荷”，應包含空乏區內與外，故為正離子 + 中性 = 正電
36. 鍺二極體切入電壓(cut-in voltage)約為 0.2V
37. 變容二極體工作於逆向偏壓
37.  為 ZENER 符號

38.

$$I_1 = I_S \times \left(e^{\frac{V_{D1}}{\eta V_T}} - 1 \right), I_2 = I_S \times \left(e^{\frac{V_{D2}}{\eta V_T}} - 1 \right) \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = \frac{I_S \times \left(e^{\frac{V_{D2}}{\eta V_T}} - 1 \right)}{I_S \times \left(e^{\frac{V_{D1}}{\eta V_T}} - 1 \right)} \Rightarrow V_{D2} = V_{D1} + \eta \cdot V_T \cdot \ln \left(\frac{I_2}{I_1} \right)$$

$$V_{D2} = 0.7 + 25mV \cdot \ln \left(\frac{10}{1} \right) = 0.758V$$

39. 純矽在絕對零度時其性能如同絕緣體

40. 當 P 型及 N 型半導體接觸時，即會產生一空乏層(depletion layer)，而空乏層之寬度摻雜濃度低那側較寬

41. 在 P 型半導體中，導電的多數載子為電洞

42. 矽、鎘半導體材料的導電性，隨溫度上升而增加

43. 二極體的空乏區，隨著逆偏電壓的增加而增加

44. N 型半導體比本質半導體導電性好，多數載子為電子，所摻雜質為五價元素，摻雜磷、砷銻等雜質

45. 半導體材料矽、鎘為 4 價元素

46. 根據波爾原子模型：電子由一穩定狀態 W_2 跳至另一穩定狀態 W_1 ，電子以光的形式放出能量，其頻率

$$\text{為 } f = \frac{W_2 - W_1}{h}$$

47.

$$n = \frac{5 \times 10^{22}}{10^9} = 5 \times 10^{13}$$

$$p \cdot 5 \times 10^{13} = (1.5 \times 10^{10})^2 \Rightarrow p = 4.5 \times 10^6 / cm^3$$