

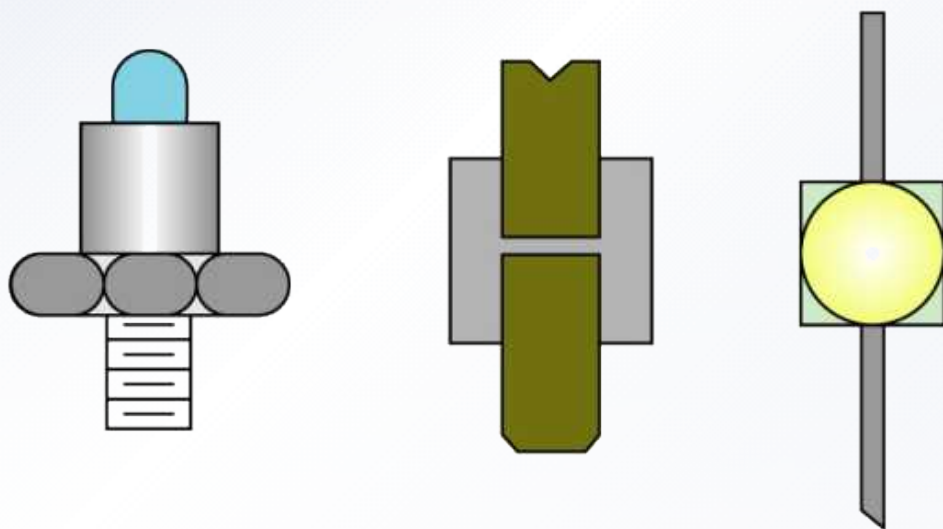
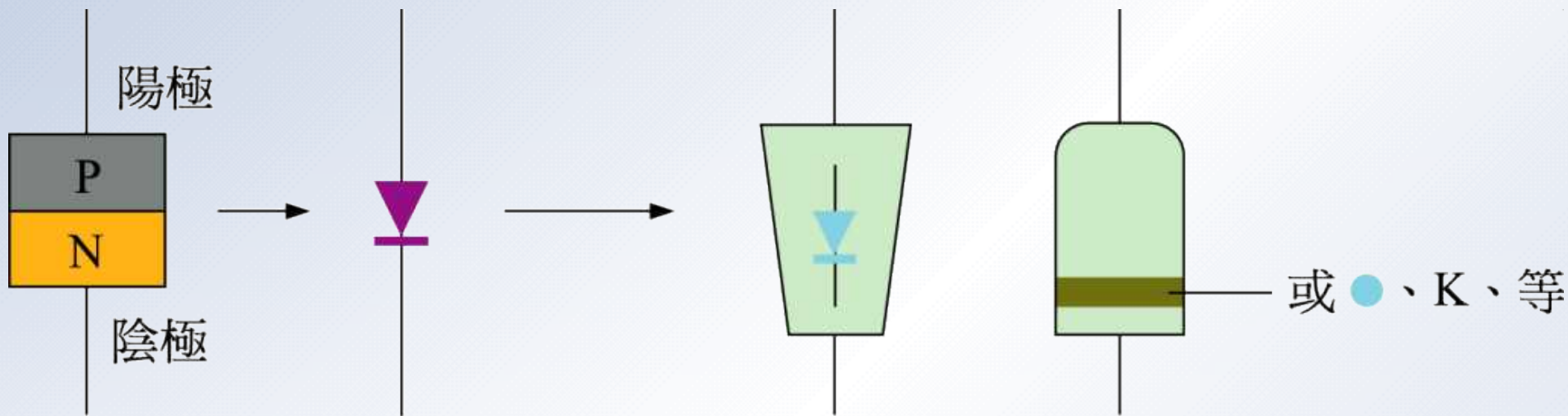


# 二極體特性

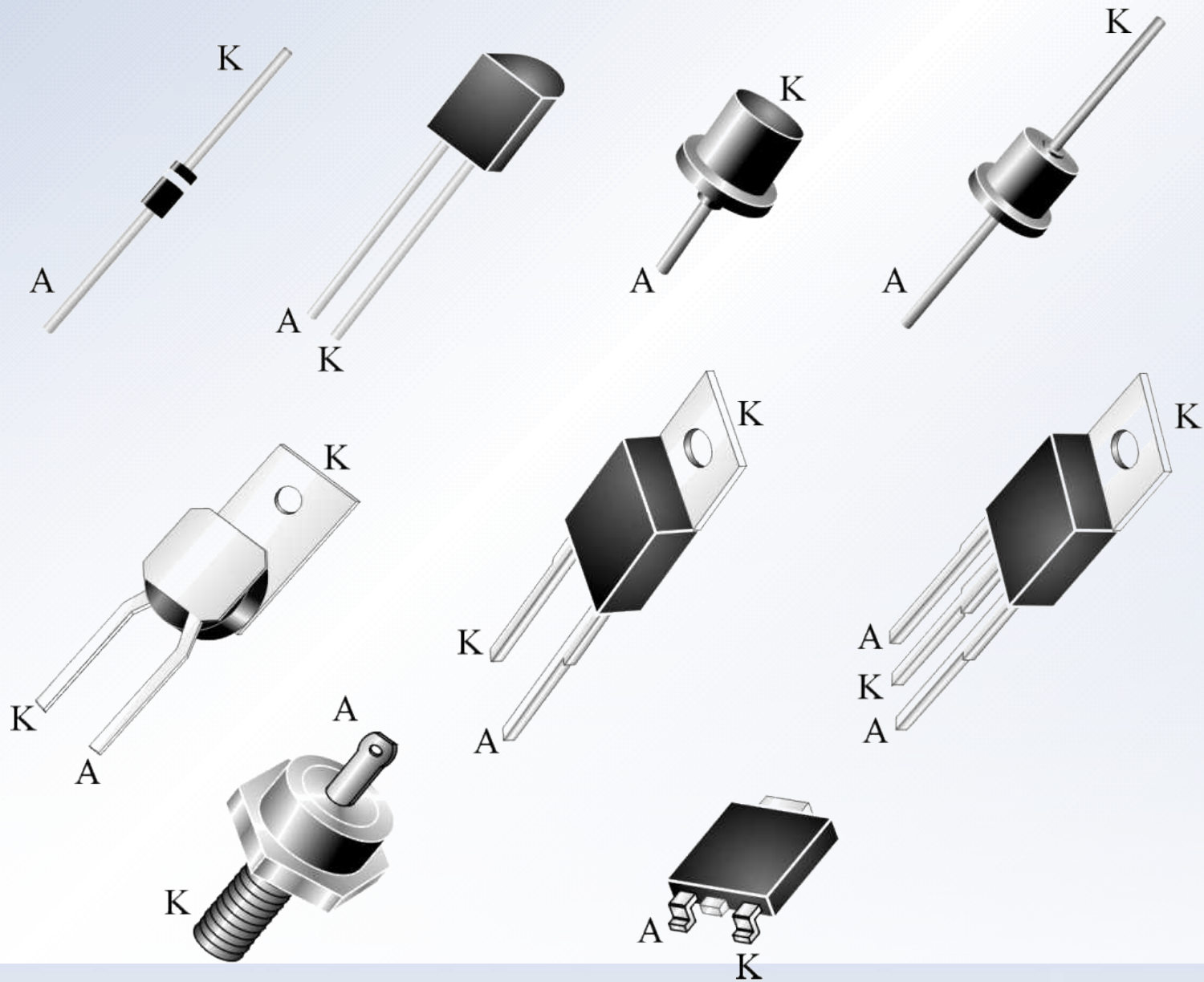
2007-09-02

翁崧駢  
松山工農  
電子科

# 半導體二極體的記號



# 二極體



# 二極體的順向特性

- 存在一個切入（膝點）電壓（即障壁電壓）  
鍺約 0.2V  
矽約 0.7V
- 當外加電壓  $<$  切入電壓， $I_d = 0$
- 當外加電壓  $>$  切入電壓， $I_d$  快速上升

# 二極體的逆向特性

- 存在一個崩潰電壓
- 逆向電流  $I_s$ ：由少數載子通過 PN 接面所形成
- 小於崩潰電壓時， $I_s$  很小 (矽 10nA，鍺 2 $\mu$ A)
- 大於崩潰電壓時，電流急速增加

# 逆向崩潰的原因

- 累增效應

逆向電壓愈高時，電子受電場的加速愈快，高能電子將價電子撞擊出共價鍵，而撞擊出的電子又受電場加速…

載子大量增加，造成高的崩潰電流

- 稽納效應

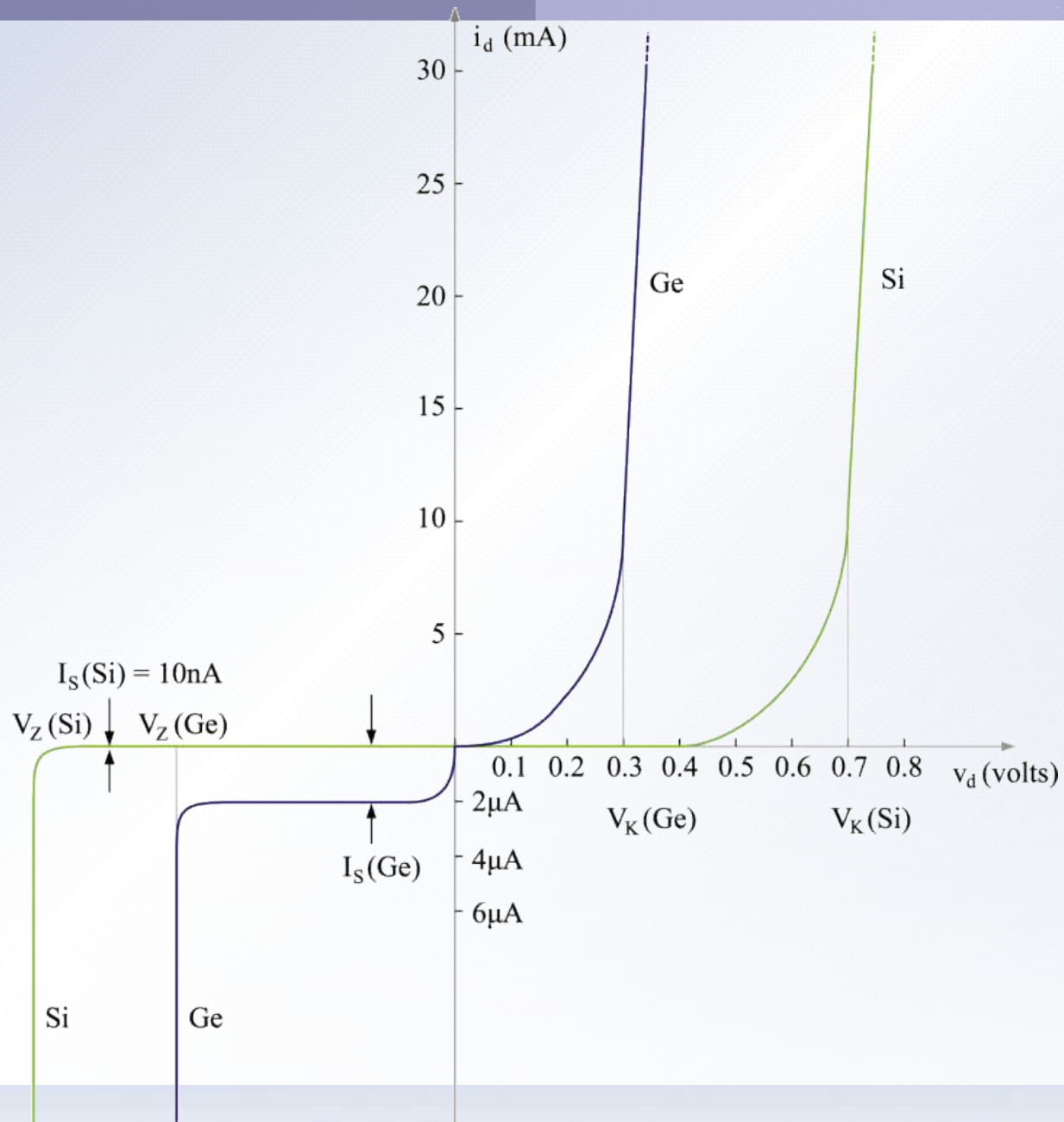
逆向電壓愈高，電場強度高至可將電子從共價鍵拉出，造成大量的共價鍵破裂

載子大量增加，造成高的崩潰電流

# 崩潰電壓

- 以  $V_{BR}$  表示
- 鍺  $V_{BR}$  較低，約為  $-40V \sim -50V$
- 矽  $V_{BR}$  大於  $-250V$

# 矽製與鍺製二極體的順向與逆向特性曲線





# 理想二極體方程式

$$I = I_S \left( e^{\frac{KV}{T_K}} - 1 \right) = I_S \left( e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

$I_S$ : 逆向飽和電流

$$K = \frac{11600}{\eta} \text{ (鍺 : } \eta = 1 \text{ 矽 : } \eta = 2 \text{)}$$

$$T_K = T_C + 273^\circ$$

$$e = 2.718 \dots$$

$$V_T = \frac{T_K}{11600} \text{ 溫度等效電壓, 或溫度的伏特當量,}$$

在  $20^\circ C$  下約為  $25mV$

$V$ : 二極體兩端所加電壓

$I$ : 在電壓為  $V$  時的電流

矽二極體， $I_s=1\mu\text{A}$ 。順向偏壓  $0.5\text{V}$ ，室溫  $25$  度，二極體所通過的電流為？

$$T_K = 25 + 273 = 298$$

$$K = \frac{11600}{2} = 5800$$

$$\frac{KV}{T_K} = \frac{5800 \times 0.5}{298} = 9.732$$

$$I = (1 \times 10^{-6})(16814 - 1) = 16.813 \times 10^{-3} \text{ A} = 16.813 \text{ mA}$$

# 溫度效應

當溫度每上升約 10 度時，逆向飽和電流增加 1 倍

$$I_{S(T_2)} = I_{S(T_1)} \times 2^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$$

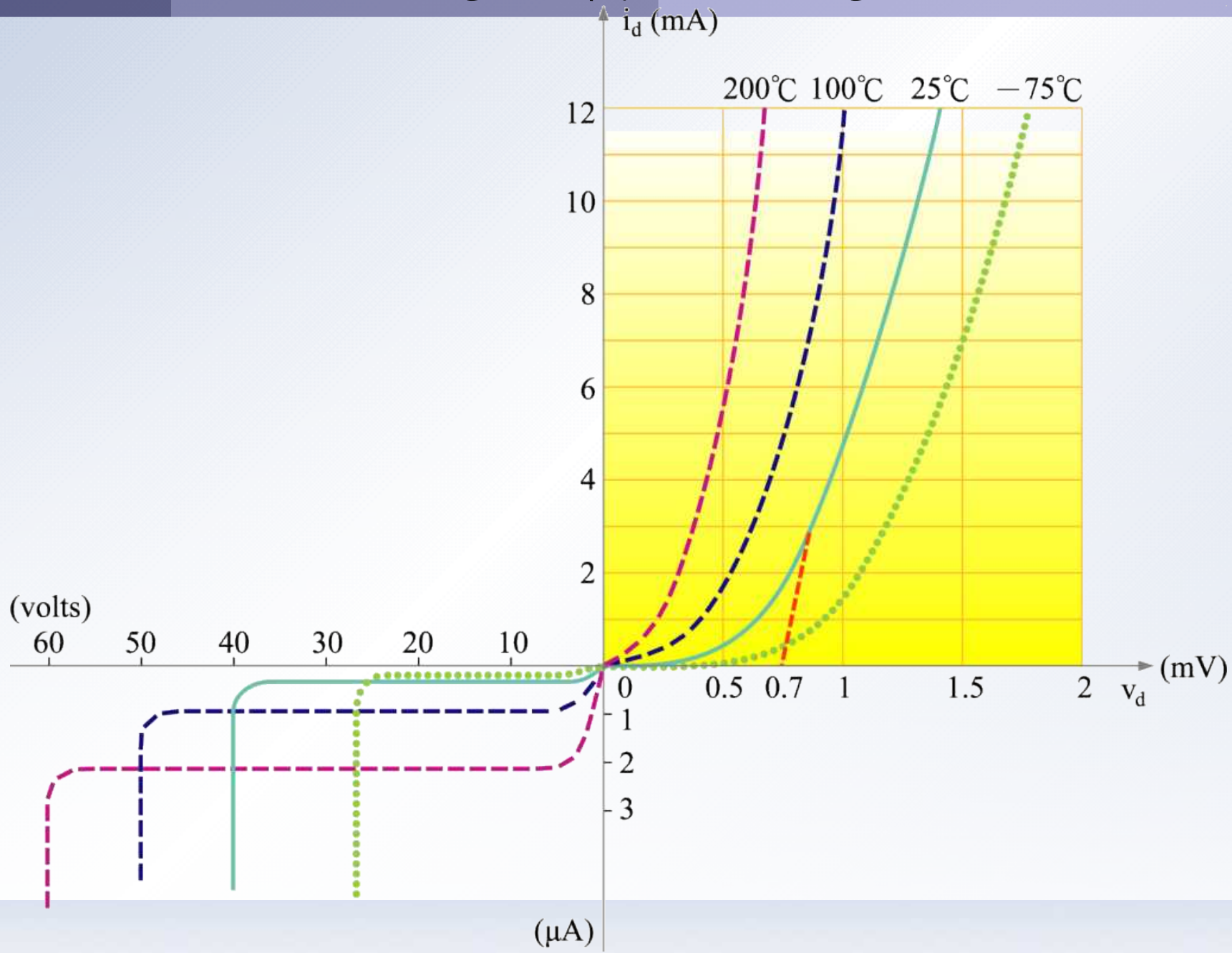
當溫度每上升 1 度時，障壁電壓

矽：減少 2.5mV(-2.5mV/°C)

鍺：減少 1mV(-1mV/°C)

矽工作溫度較鍺為寬

# 二極體特性曲線隨著溫度 的改變而發生的變化



某矽二極體在溫度  $20^{\circ}\text{C}$  時的逆向飽和電流  $I_S$  為  $5\text{nA}$ ，若溫度上升至  $60^{\circ}\text{C}$  時，則逆向飽和電流為多少？

$$I_{S(60^{\circ}\text{C})} = I_{S(20^{\circ}\text{C})} \times 2^{\frac{60-20}{10}} = 5\text{nA} \times 2^4 = 80\text{nA}$$

某矽二極體在溫度  $25^{\circ}\text{C}$  時的切入電壓為  $0.7\text{V}$ ，若溫度上升至  $65^{\circ}\text{C}$  時，則切入電壓為多少？

$$\frac{\Delta V_K}{\Delta T} = \frac{V'_K - V_K}{T_2 - T_1} = \frac{V'_K - 0.7}{65 - 25} = -2.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}$$

$$V'_K = (-2.5\text{mV}/^{\circ}\text{C}) \times 40^{\circ}\text{C} + 0.7\text{V} = 0.6\text{V}$$

# 電阻效應

- 每一個二極體製成時，就含有內電阻，稱為分布電阻或本體電阻
- 分布電阻受摻雜及體積所影響
- 當外加順向偏壓為 1V 時，利用其順向電流值  $I_F$  所求得的電阻值即為分布電阻  $r_B$
- $r_B$  值約在  $1\Omega$  到  $25\Omega$  之間，常省略

$$r_B = \frac{1 - \text{障壁電壓降}}{I_F}$$

- 二極體施以外加電壓

因外加電壓的不同而產生不同的阻抗  
分為靜態電阻、動態電阻

- 靜態電阻

利用操作點處的電壓、電流及歐姆定律即可求出

- 動態電阻（交流電阻）

外加一變動電壓，二極體的電阻值也隨之變化  
利用電壓與電流的變動量所形成的直角三角形  
求出動態電阻



靜態電阻  $R_{DC} = \frac{V_D}{I_D}$

動態電阻  $r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} \Big|_{\text{切線}}$

某二極體在  $V_D=0.8V$  時， $I_D=10mA$ ，求其靜態電阻

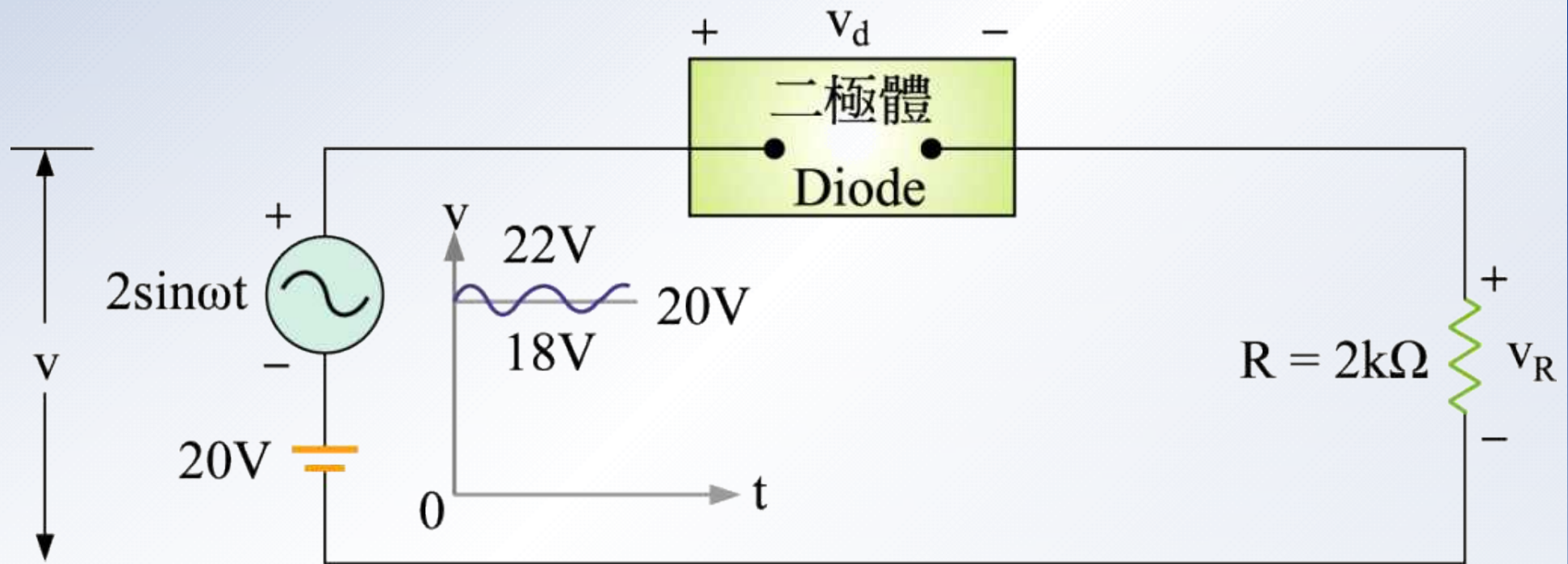
$$R_{DC} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{0.8V}{10 \times 10^{-3} A} = 80 \Omega$$

一矽二極體若外加 1V 時的順向電壓時，測得順向電流為 20mA，試問此二極體的分佈電阻  $r_B$  與此工作點的靜態電阻  $R_D$  為多少？

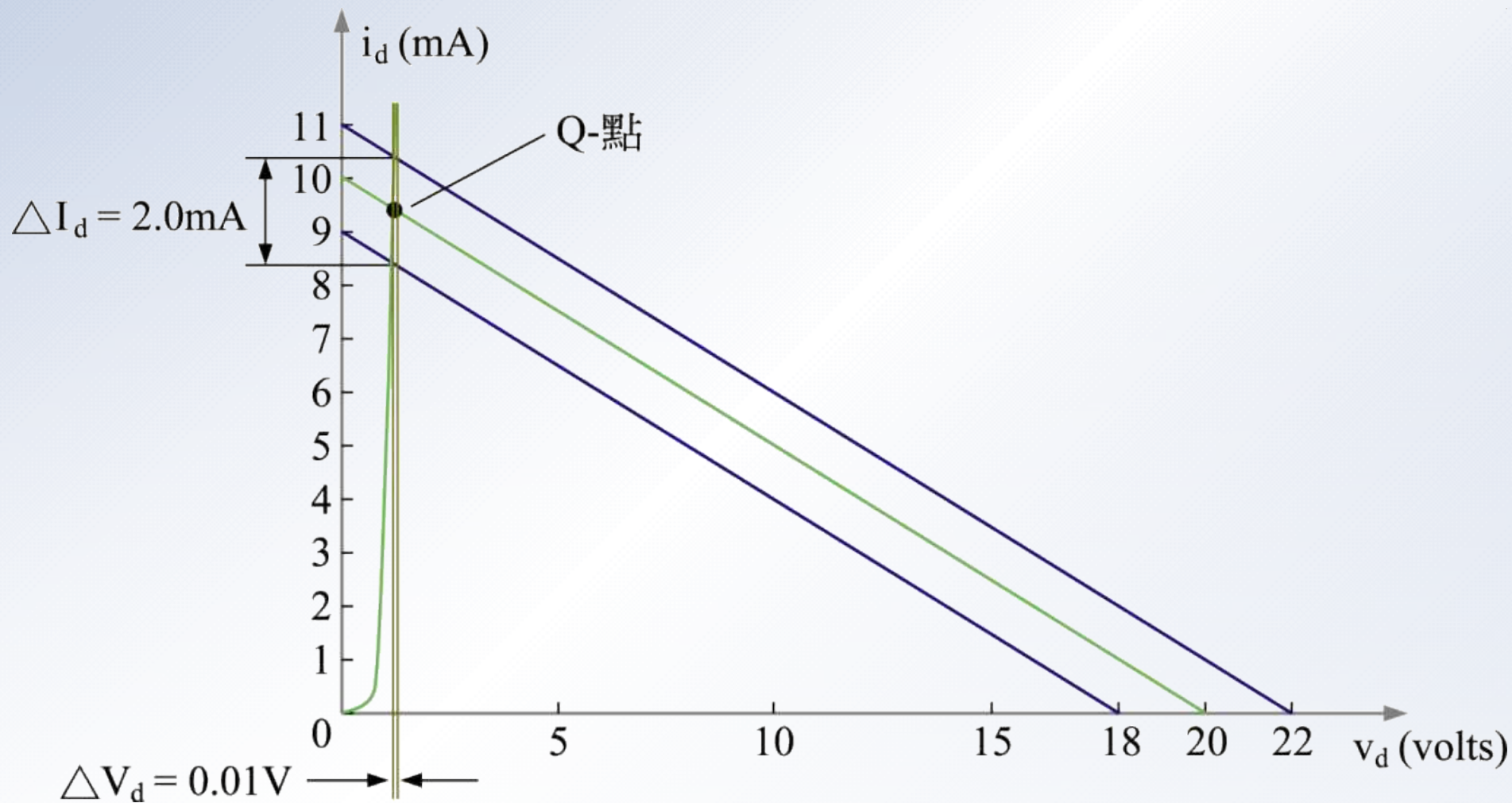
$$(1) r_B = \frac{1 - 0.7}{20\text{mA}} = 15 \Omega$$

$$(2) R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{1}{20\text{mA}} = 50 \Omega$$

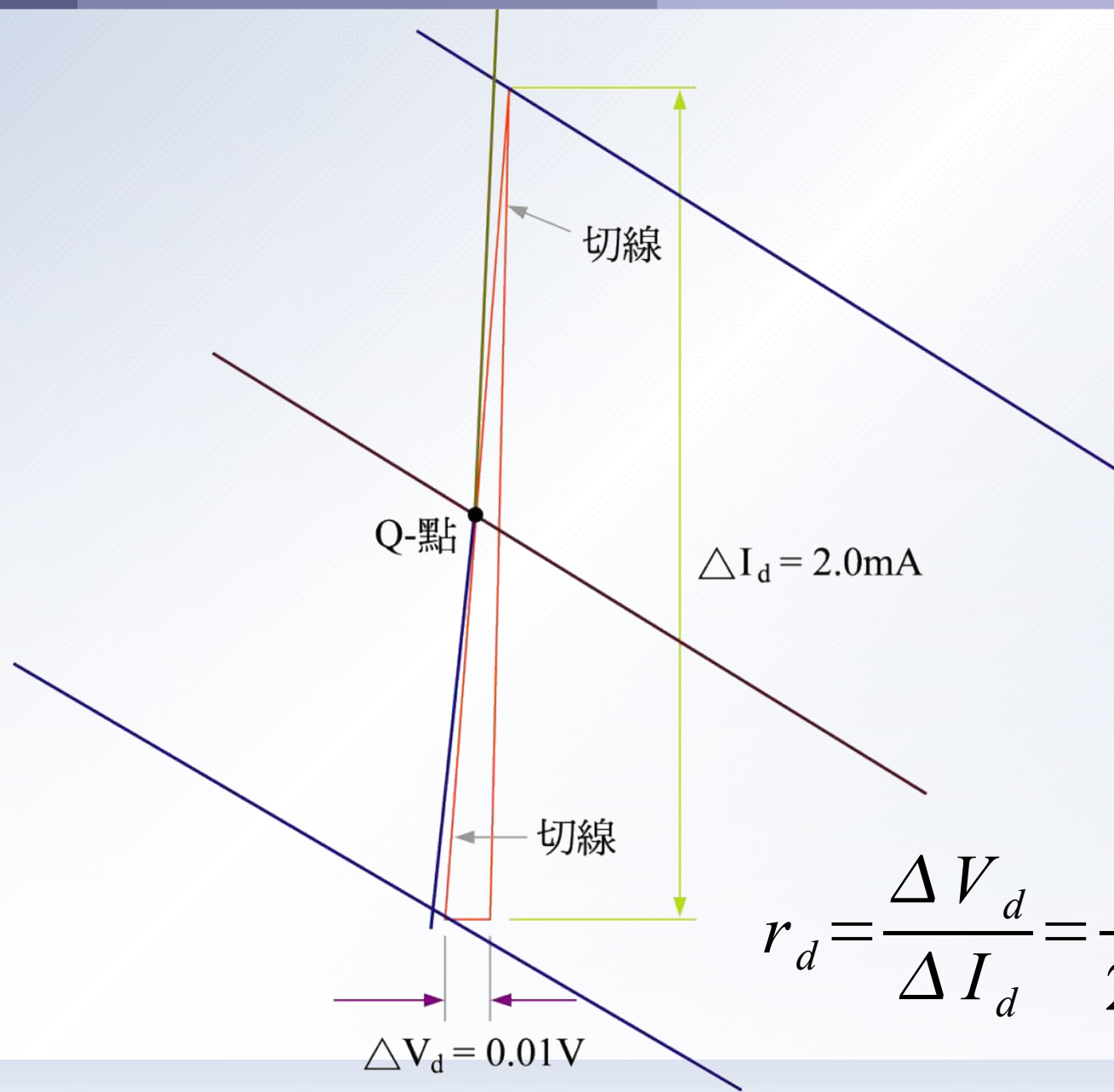
# 交流電阻



# 交流電阻 (續)



# 半導體二極體的動態電阻



$$r_d = \frac{\Delta V_d}{\Delta I_d} = \frac{0.01\text{V}}{2 \times 10^{-3}\text{A}} = 5\ \Omega$$

$$I = I_S \left( e^{\frac{KV}{T_K}} - 1 \right)$$

$$\frac{dI}{dV} = \frac{K}{T_K} (I + I_S)$$

若  $I \gg I_S$  , 且  $\eta = 1$  ,  $K = \frac{11600}{\eta} = 11600$

$$T_K = T_C + 273 = 25 + 273 = 298$$

$$\frac{dI}{dV} = \frac{11600}{298} I = 38.93I$$

$$r'_d = \frac{dV}{dI} = \frac{1}{38.93I} \simeq \frac{0.026}{I} = \frac{26\text{mV}}{I_D}$$

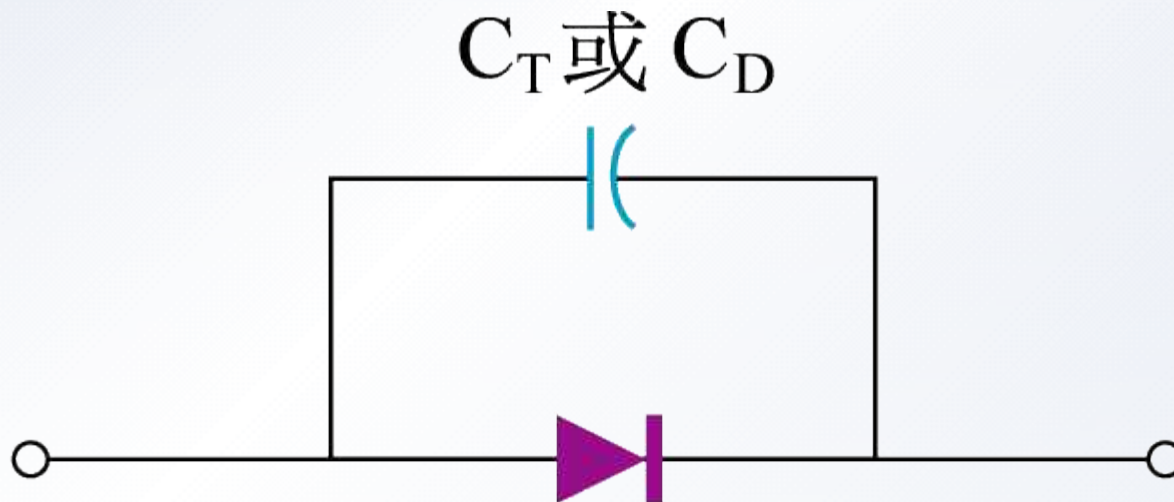
有一矽二極體在室溫時，電流是 13mA，求其動態電阻為何？

$$r_d = \frac{26\text{mV}}{13\text{mA}} = 2\ \Omega$$



# 二極體的電容效應

- 空乏區內只存在正、負離子 (電介質)
- 可視為一絕緣層，兩側的 P、N 半導體可視為導體 (電極)



# 電容量計算

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

$\epsilon$  介電係數，單位  $F/m$

$A$  平行板的面積，單位  $m^2$

$d$  兩行板的距離，單位  $m$

$C$  電容量，單位  $F$

- 過渡電容 ( $C_T$ )

又稱為空乏區電容、空間電荷電容

外加逆向偏壓時，則會產生過渡電容效應。

電容量與外加電壓成反比

- 擴散電容 ( $C_D$ )

又稱為儲存電容

當外加順向偏壓時，PN 接面的空乏區變窄，

電容變大，產生擴散電容效應

# 擴散電容 ( $C_D$ )

$$C_D = \frac{\tau I}{\eta V_T}$$

$\tau$ : 電洞的平均壽命，一般約為  $10^{-6}$  秒

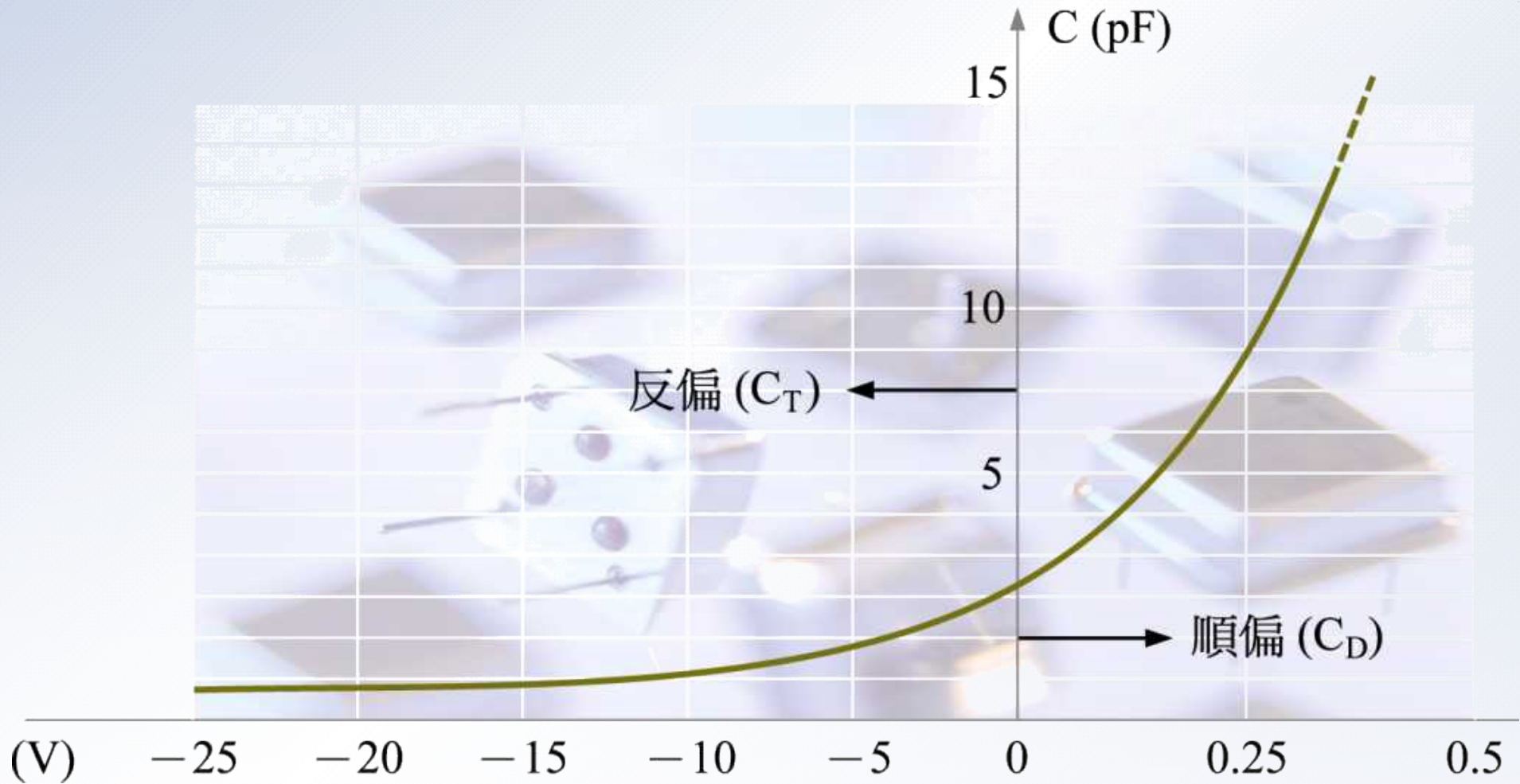
$I$ : 電流

$\eta$ : 鍺為 1，矽為 2 (大電流時為 1)

$V_T = \frac{T_K}{11600}$ ，室溫時  $V_T = 26\text{mV}$

- 逆向偏壓下，載子的擴散量微，而幾乎無擴散電容，只有過渡電容
- 順向偏壓下，擴散電容則遠大於過渡電容

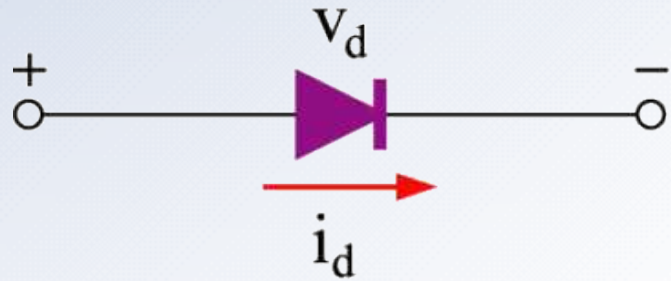
# 二極體的電容效應 (續)



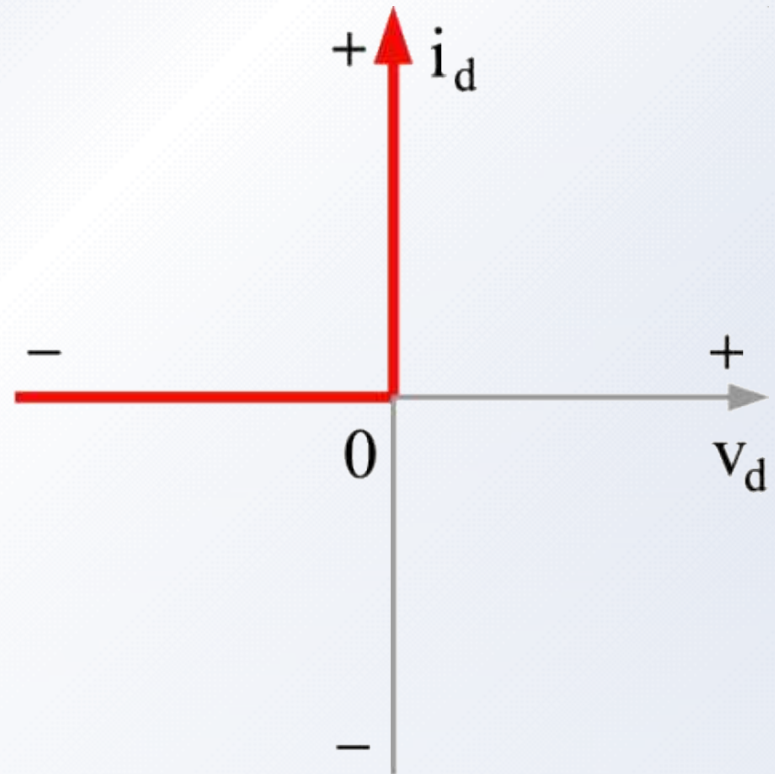
# 等效電路

- 經過適當選擇的元件組成的電路，用來表示一個元件、電路或系統的各種實際的電路
- 利用直線來近似於這二極體的特性曲線，這種等效電路就稱為片斷式線性等效電路

# 理想二極體的符號及特性曲線



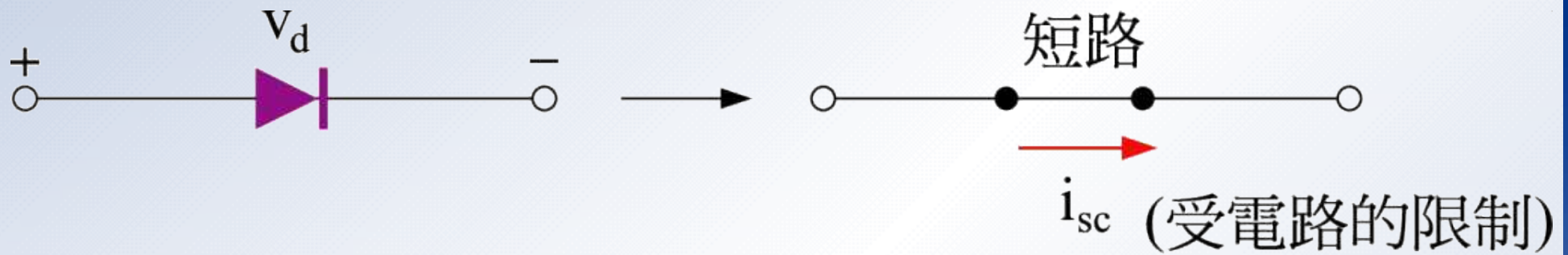
(a)符號



(b)特性曲線



# 理想二極體的電流模式

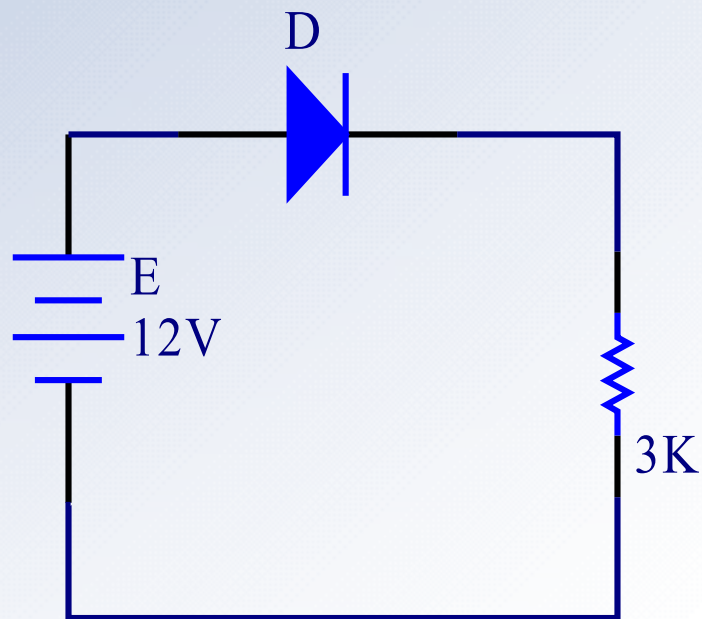


(a)導通時



(b)不導通時

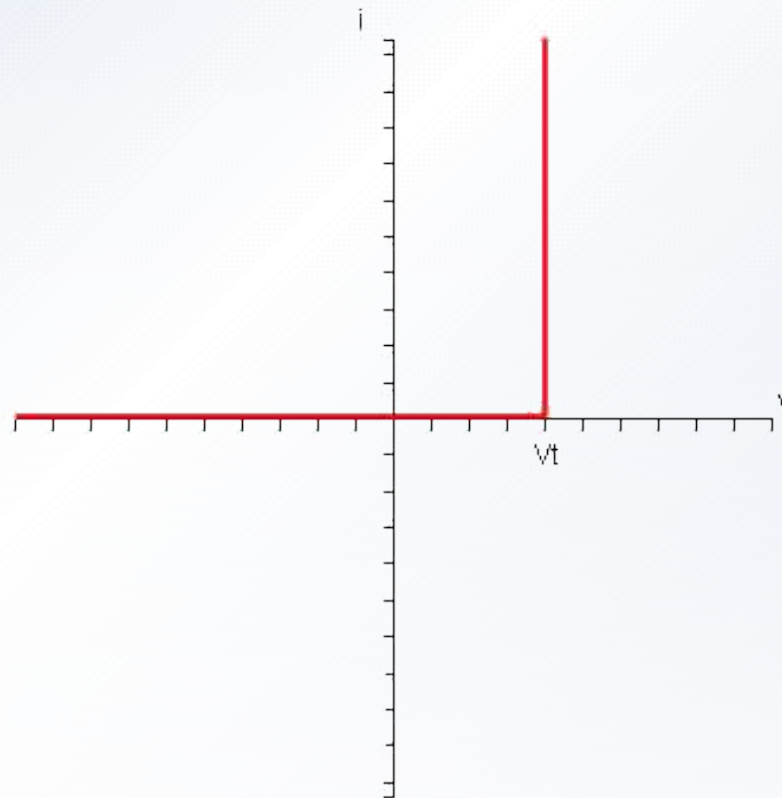
如圖所示，若 D 為理想二極體，試求通過  $3\text{K}\Omega$  的電流及其電壓降為何？



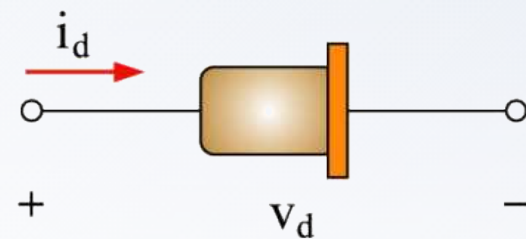
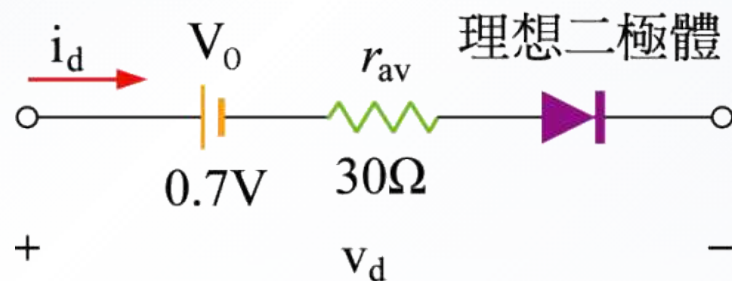
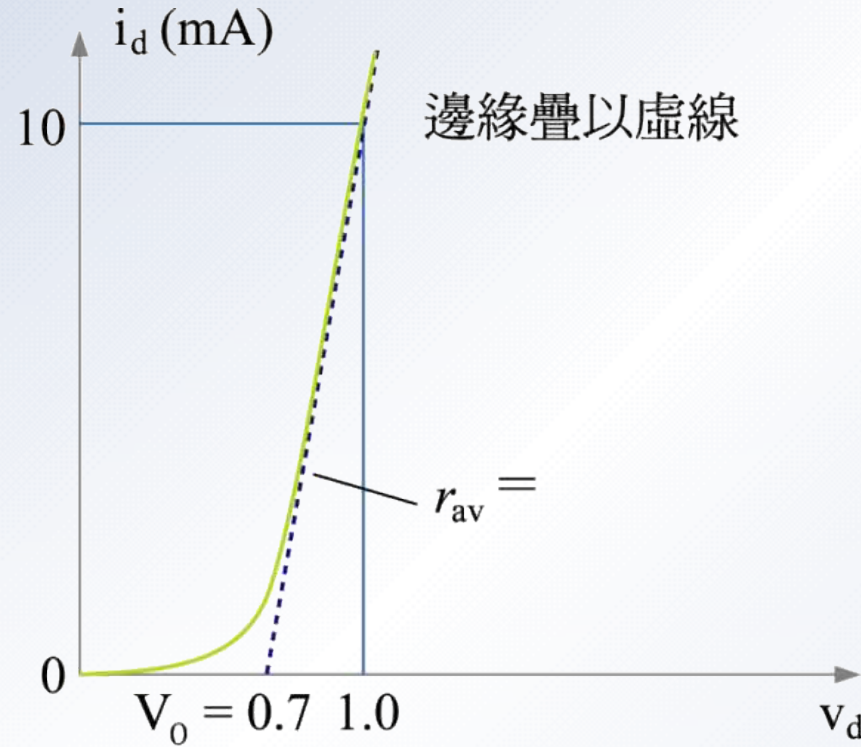
$$I = \frac{E}{R} = \frac{12}{3\text{K}\Omega} = 4\text{mA}$$

$$V_R = E = 12\text{V}$$

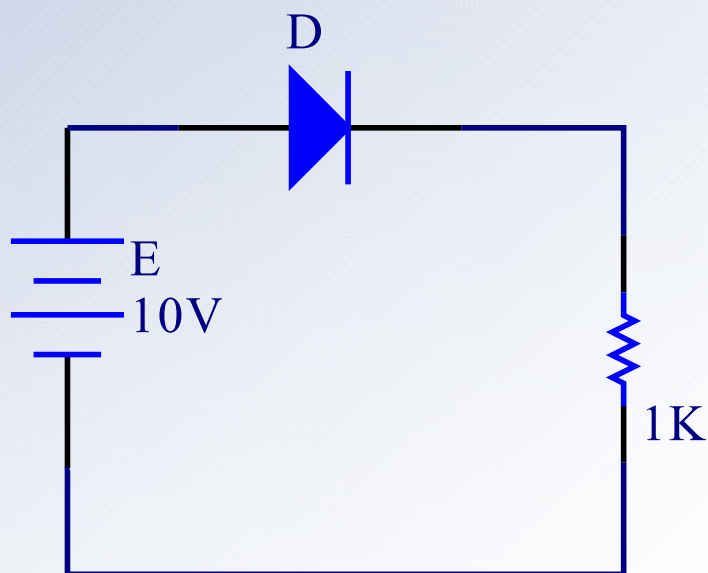
# 二極體第二近似等效



# 二極體的片斷式線性等效電路 (第三近似)



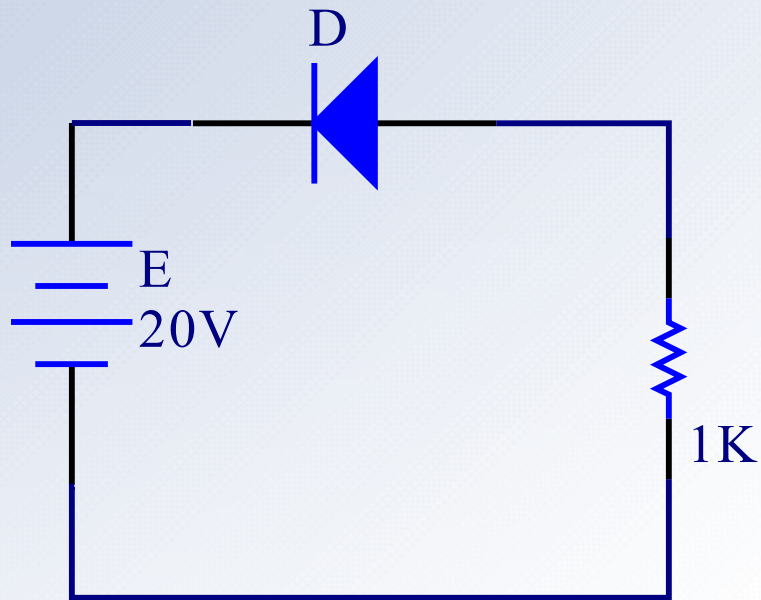
若二極體為矽質 ( $V_K=0.7V$ )，且二極體導通後的順向電阻為  $10\Omega$ ，試求電路中的電流  $I$  為多少？



$$E - V_K = I r_B + I R$$

$$I = \frac{E - V_K}{r_B + R} = \frac{10 - 0.7}{10 + 1000} \simeq 9.2\text{mA}$$

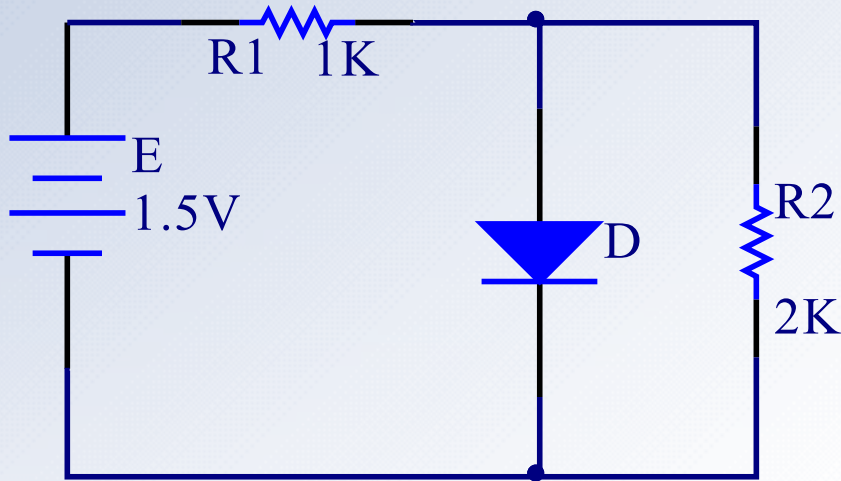
若二極體為矽質 ( $V_K=0.7V$ )，且二極體導通後的順向電阻為  $20\Omega$ ，逆向飽和電流為  $1\mu A$ ，則些二極體在電路中的等效直流電阻  $R_D$  為多少？



$$E = I_S R_D + I_S R$$

$$R_D = \frac{E - I_S R_S}{I_S} = \frac{20V - 1\mu A \times 1K\Omega}{1\mu A} \approx 20M\Omega$$

若二極體 D 導通時的順向壓降為  $0.7V$ ，試求各分路的電流為多少？



$$V = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 1.5 \frac{2K}{1K + 2K} = 1V > V_K \text{ 二極體導通}$$

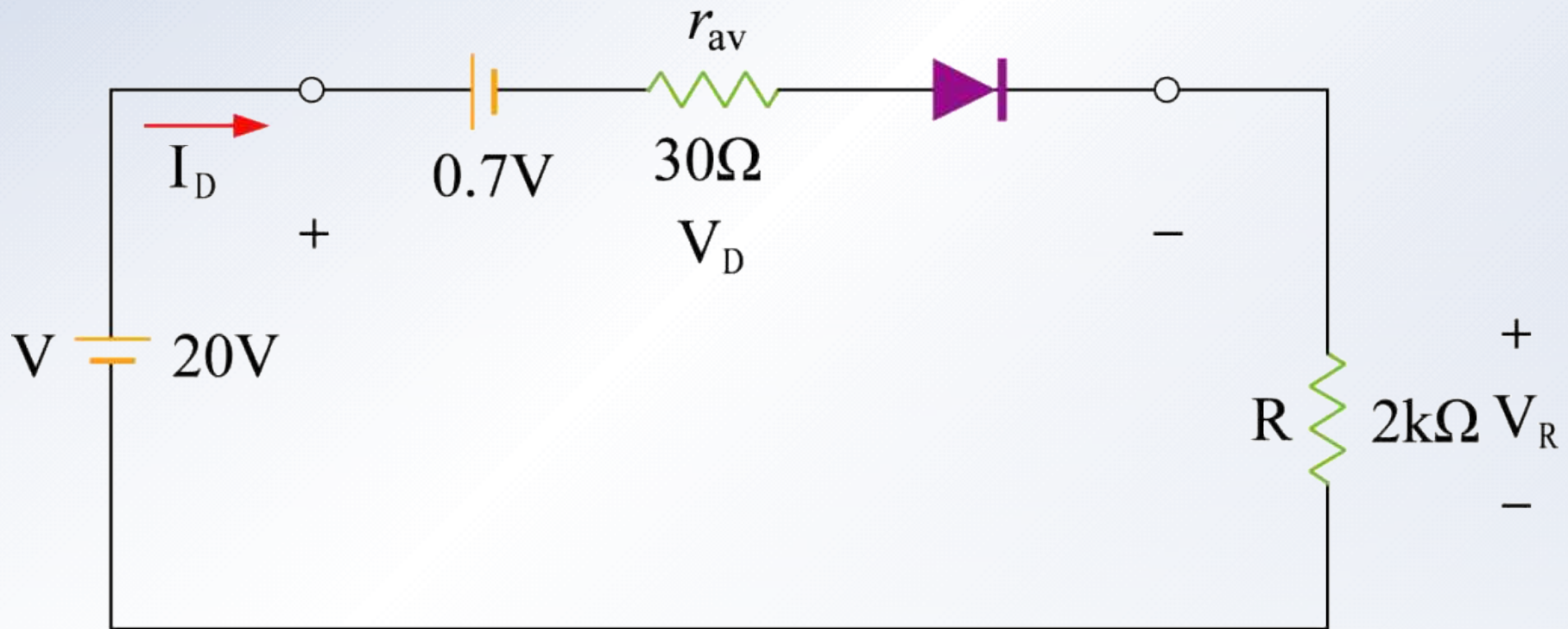
$$(1) I_1 = \frac{E - V_K}{R_1} = \frac{1.5 - 0.7}{1K} = 0.8mA$$

$$(2) I_2 = \frac{V_K}{R_2} = \frac{0.7}{2K} = 0.35mA$$

$$(2) I_D = I_1 - I_2 = 0.8 - 0.35 = 0.45mA$$

計算電阻兩端的電壓降、二極體的總電壓降  $V_D$  及二極體的等效直流電阻

### 矽製半導體二極體





(1)  $\because 20V \gg 0.7V \therefore$  二極體順偏，可視為短路。

$$V_R = \frac{2K\Omega \times (20 - 0.7)}{2K\Omega + 3K\Omega} = \frac{2000 \times 19.3}{2030} \simeq 19V$$

(2) 流過的電流為  $I_D = \frac{20 - 0.7}{2030} = 9.51 \text{ mA}$

二極體兩端電壓降為

$$V_D = 0.7 + I_D \times r_{av} = 0.7 + 9.51 \text{ mA} \times 30\Omega = 0.985V \simeq 1V$$

(3) 二極體等效直流電阻為

$$R_{dc} = \frac{V_D}{I_D} = \frac{1V}{9.51 \text{ mA}} = 105.15\Omega$$