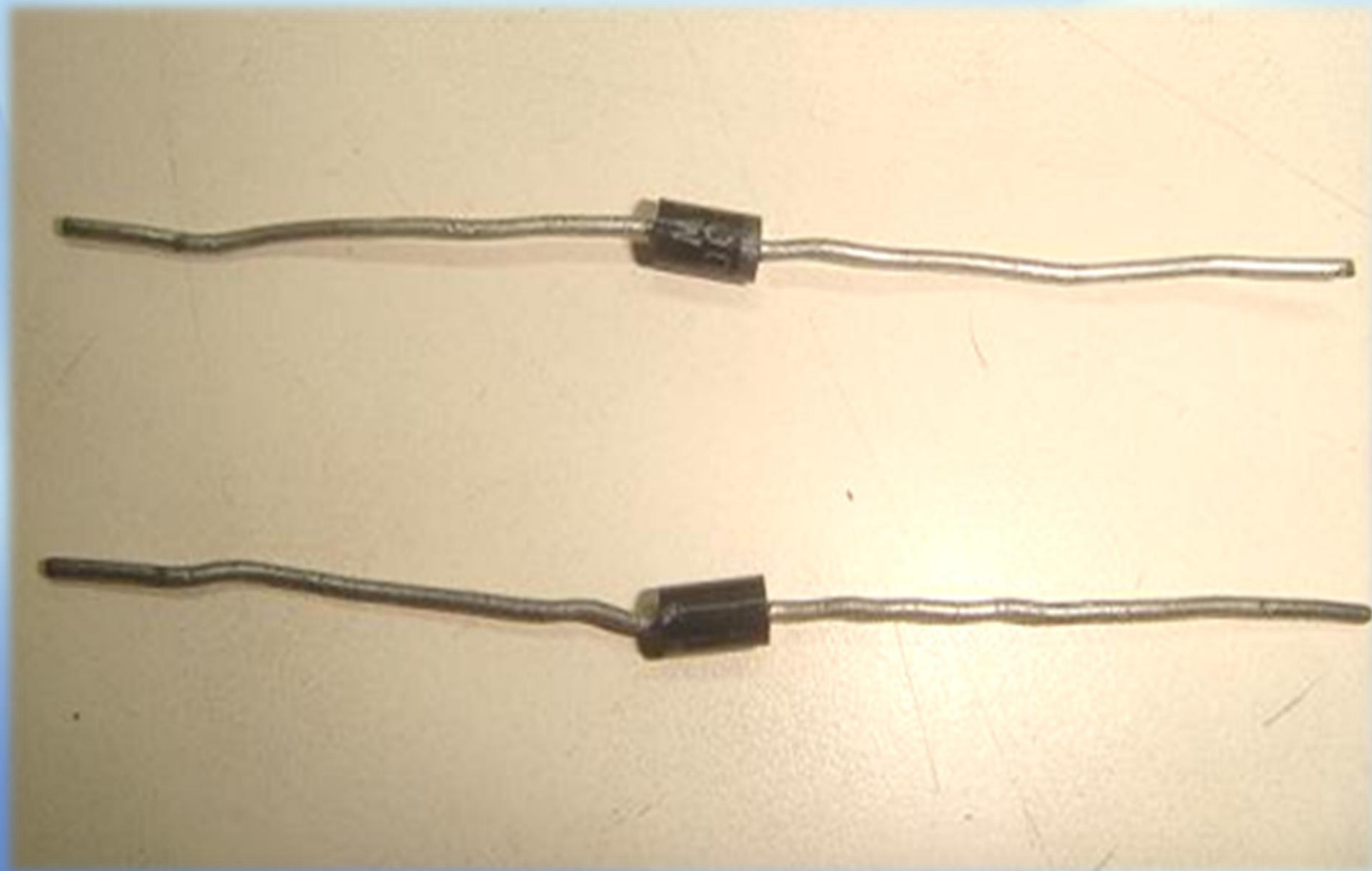


二極體

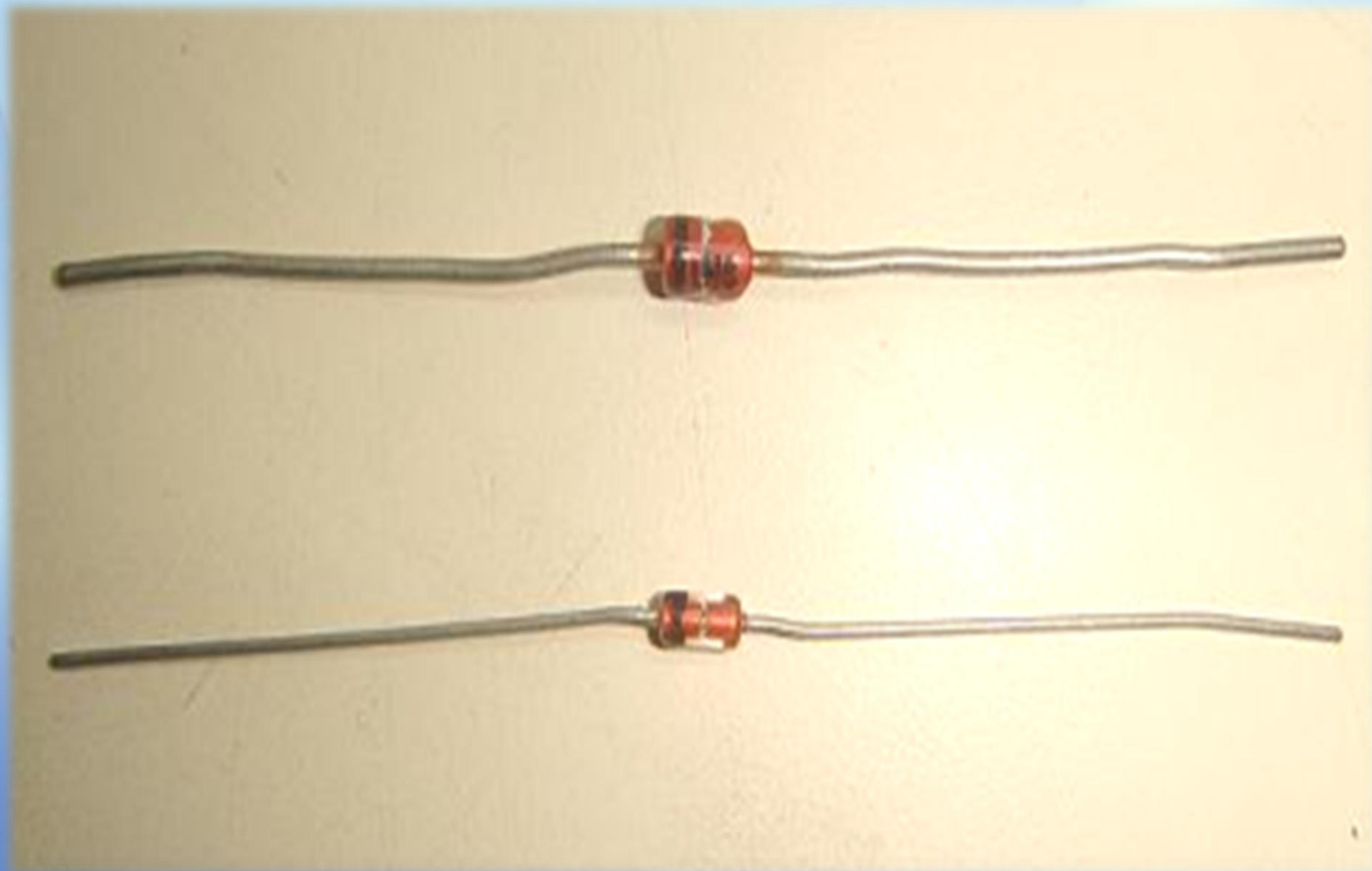
National Taiwan Normal University

講師：林宗緯

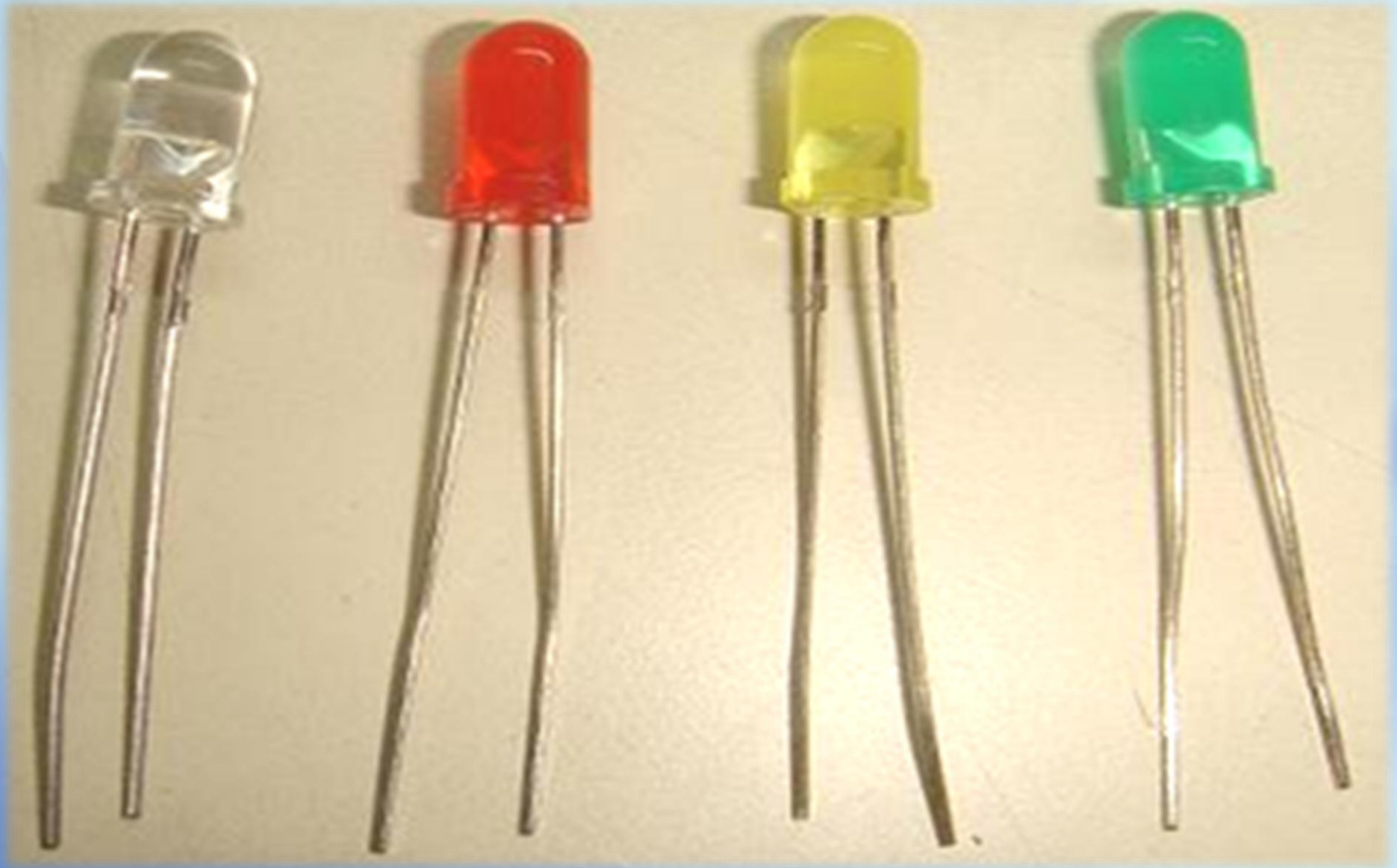
一、二極體如何動作？



一、二極體如何動作？



一、二極體如何動作？



一、二極體如何動作？

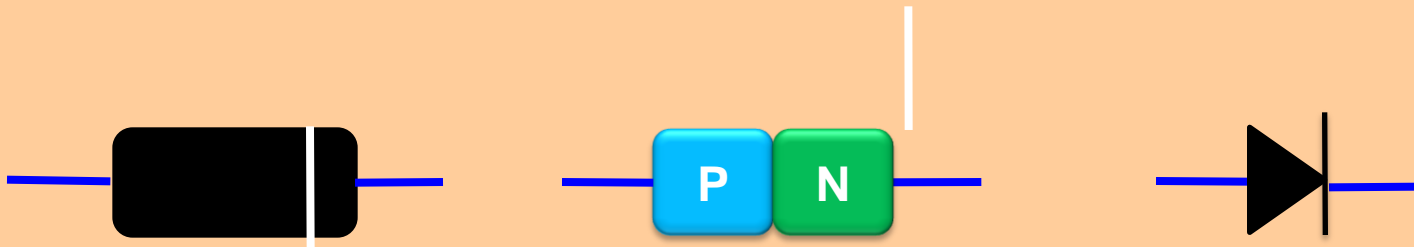
課前準備

- 有二極體的初步觀念
- 已修習過基本電學、國中物理
- 有學習的精神

一、二極體如何動作？

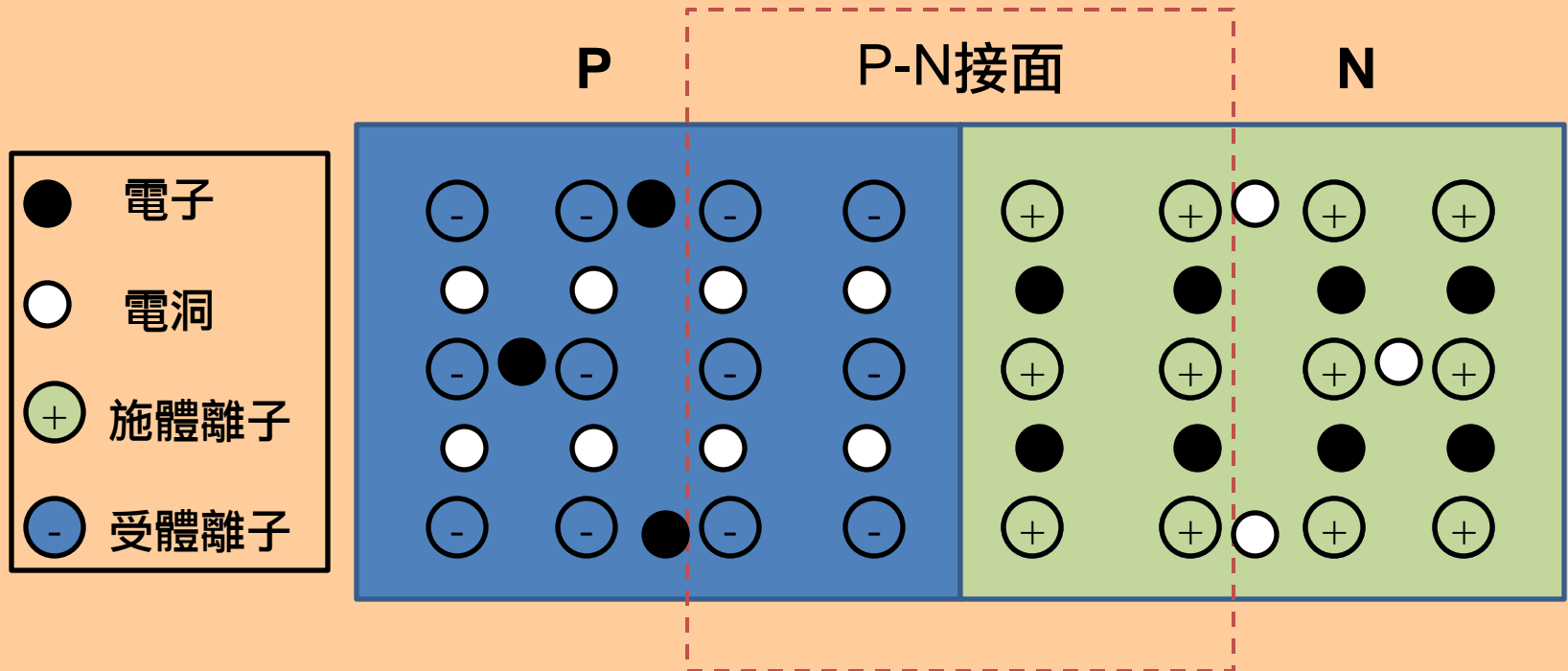
課前複習

- 二極體，一種以P-N接面所形成的基本電子元件。
- 二極，指的是多數載子為電洞(帶正電)的P極(陽極)與多數載子為電子(帶負電)的N極(陰極)。



一、二極體如何動作？

P型半導體與N型半導體連接在一起時，
在這兩個接面之間會形成所謂的P-N接面。



一、二極體如何動作？

空 乏 區

- 載子以擴散方式移動；N型 → P型
- 電子與電洞結合抵消 (電子電洞對)
- 接合處只剩下施體離子與受體離子，沒有任何有用的載子

二、二極體的偏壓

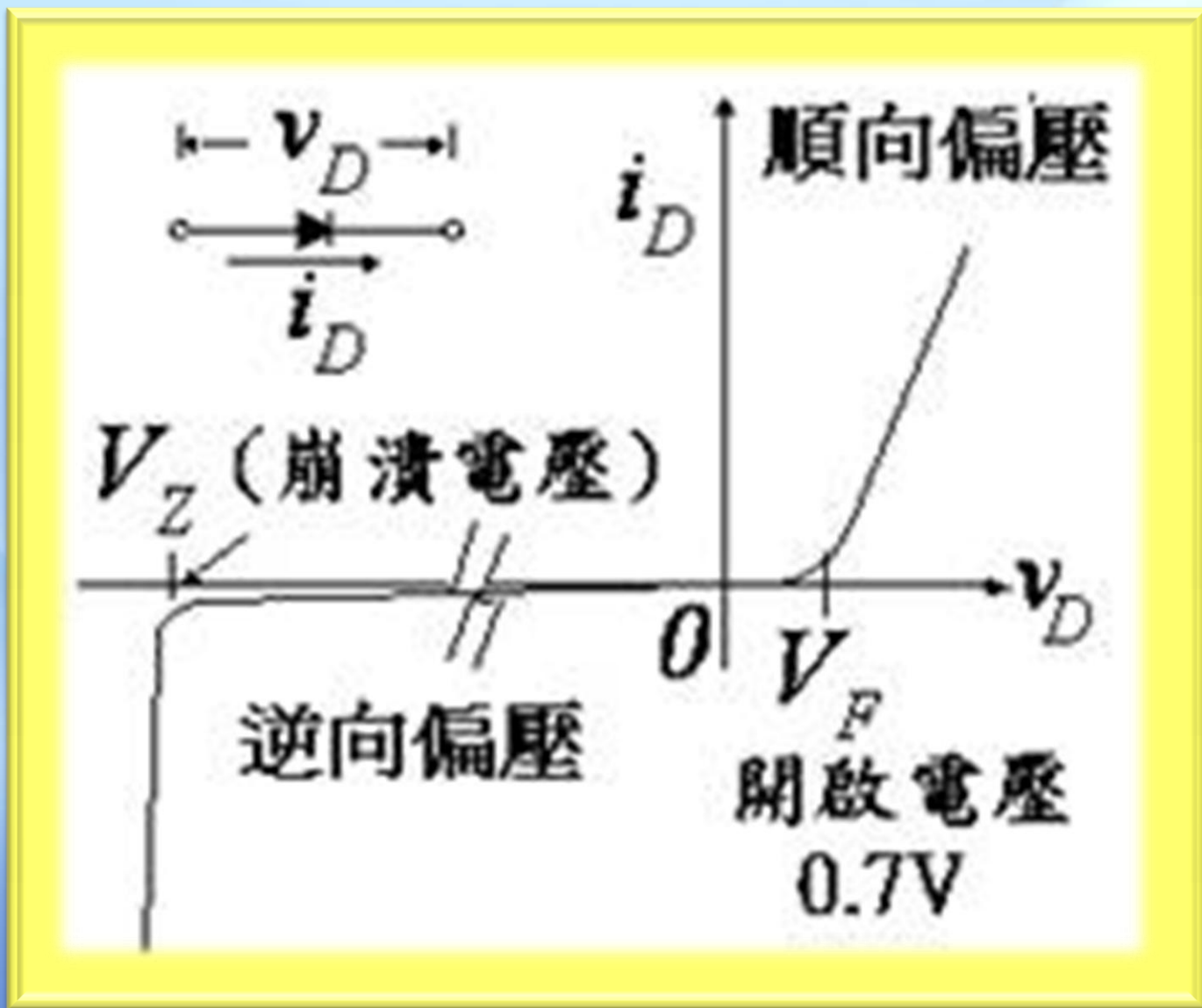
→ 順向偏壓

→ 逆向偏壓

→ 崩潰區

- P-N 接面二極體有一特定的方向，可以讓電流較易通過，而相反方向則不易通過。
- 簡單來說，可視 P-N 接面二極體為一電流的單行道。

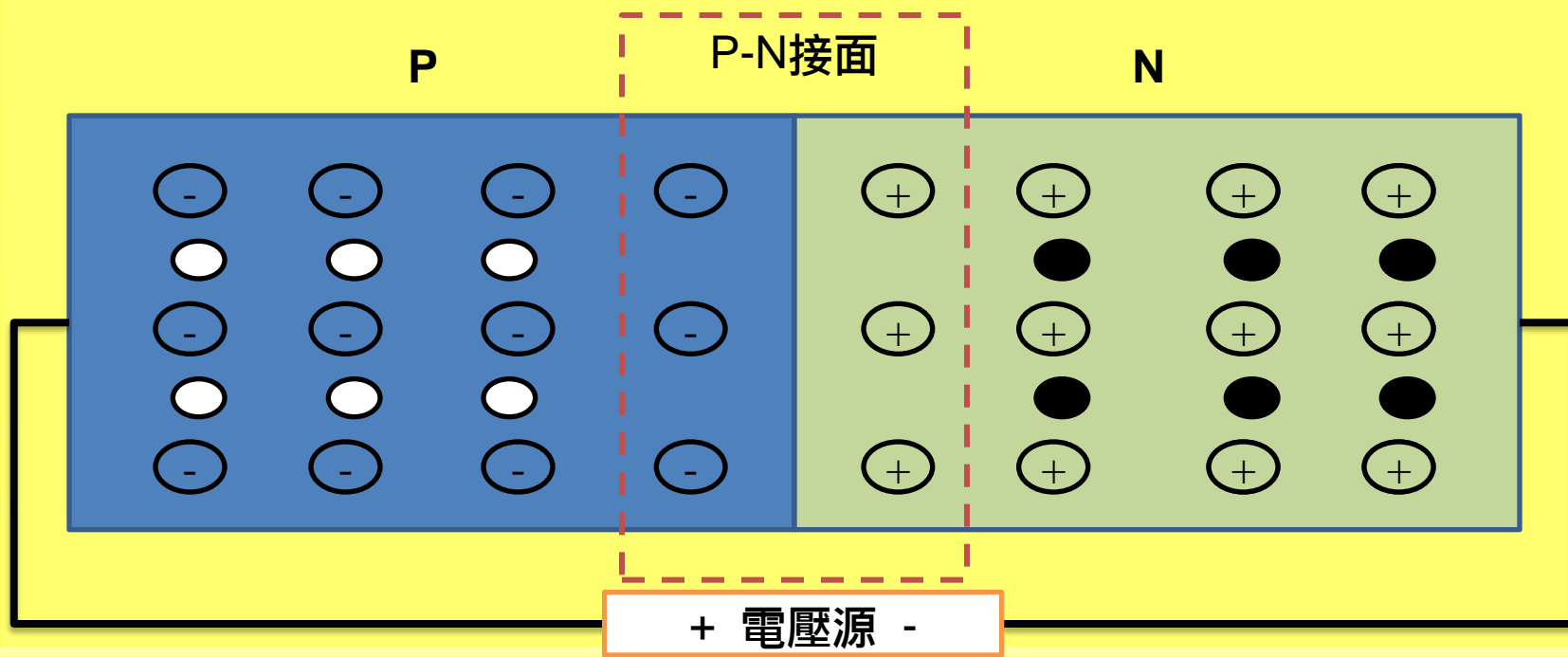
二、二極體的偏壓



二、二極體的偏壓

順向偏壓

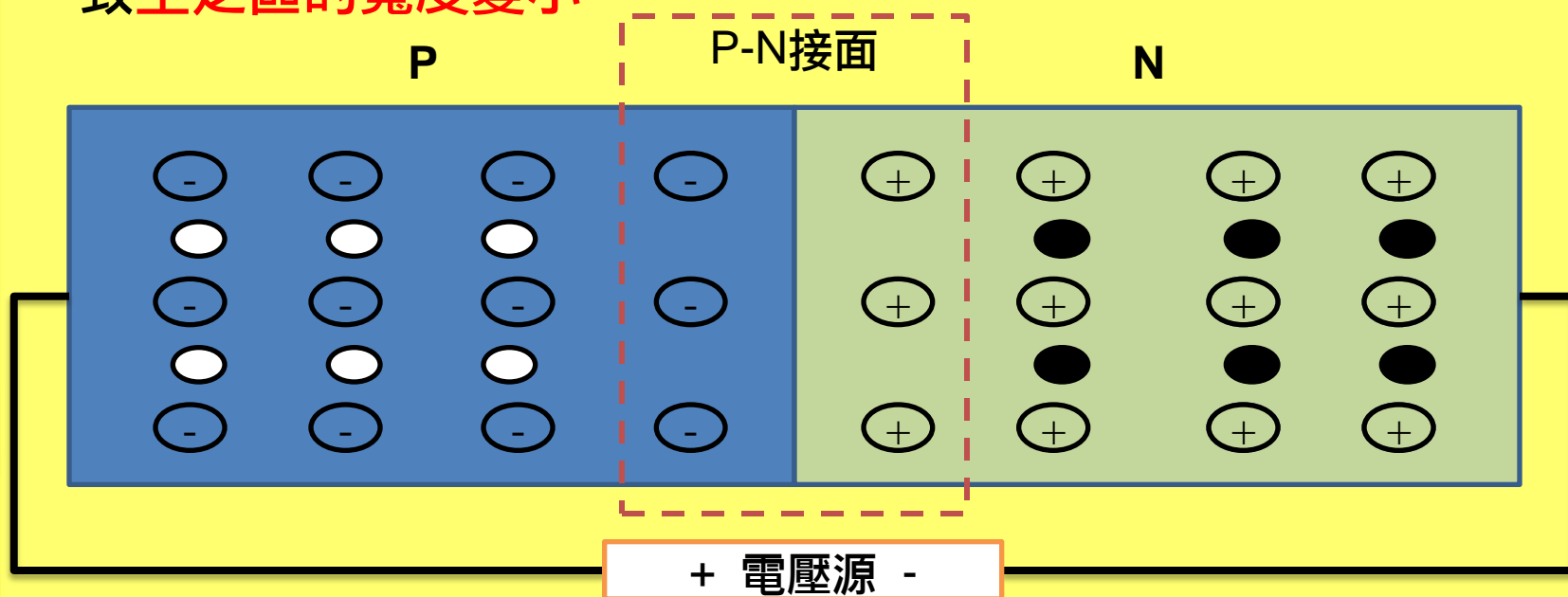
當外加電源的正端接到二極體的P極端，負端接到二極體的N極端，這樣便形成了所謂的順向偏壓。
且外加電壓需大於障壁電壓(矽0.7V，鍺0.3V)



二、二極體的偏壓

順向偏壓

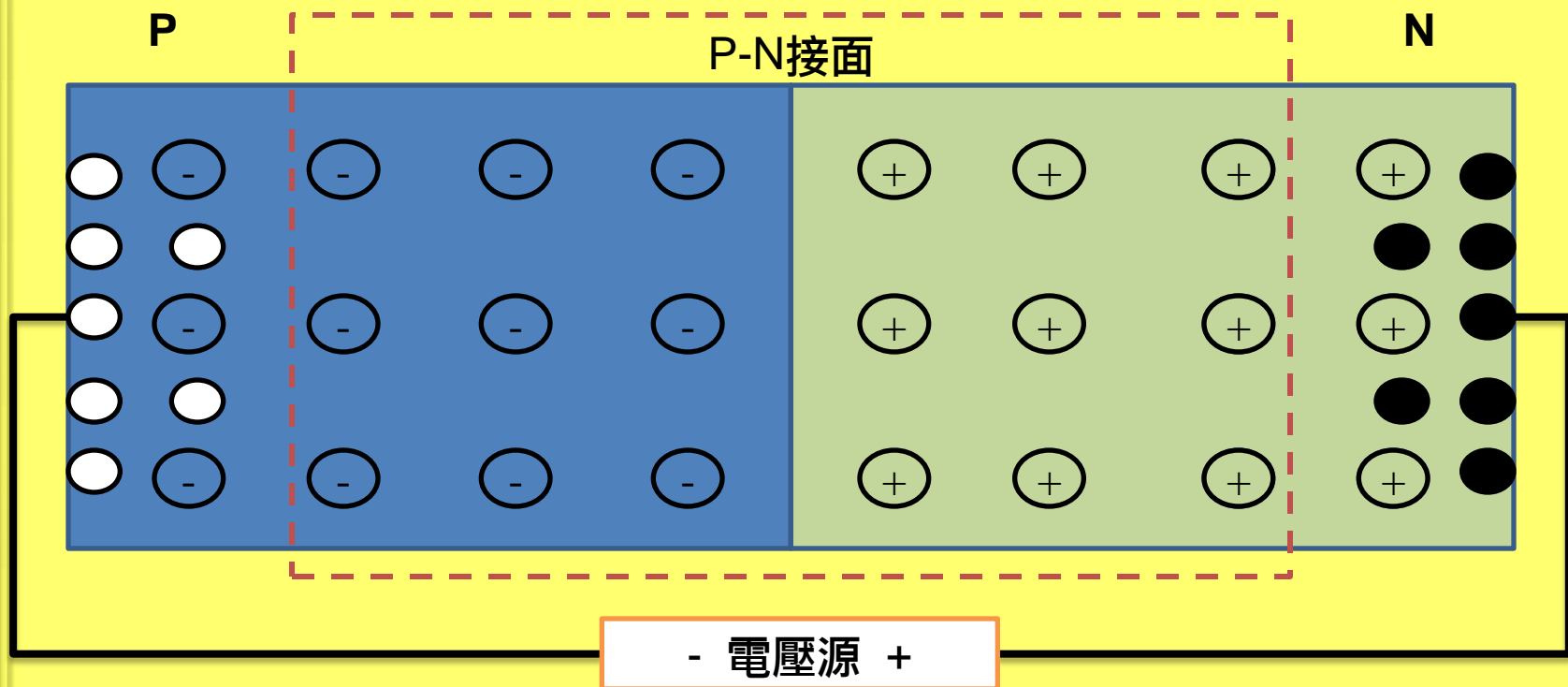
- P端的多數載子電洞會與外加的正電壓互相排斥；N端的多數載子電子也與負電壓互相排斥，導致兩者皆往空乏區方向流去。
- 電洞電子流經空乏區時，又與空乏區的正負離子結合，所以導致空乏區的寬度變小



二、二極體的偏壓

逆向偏壓

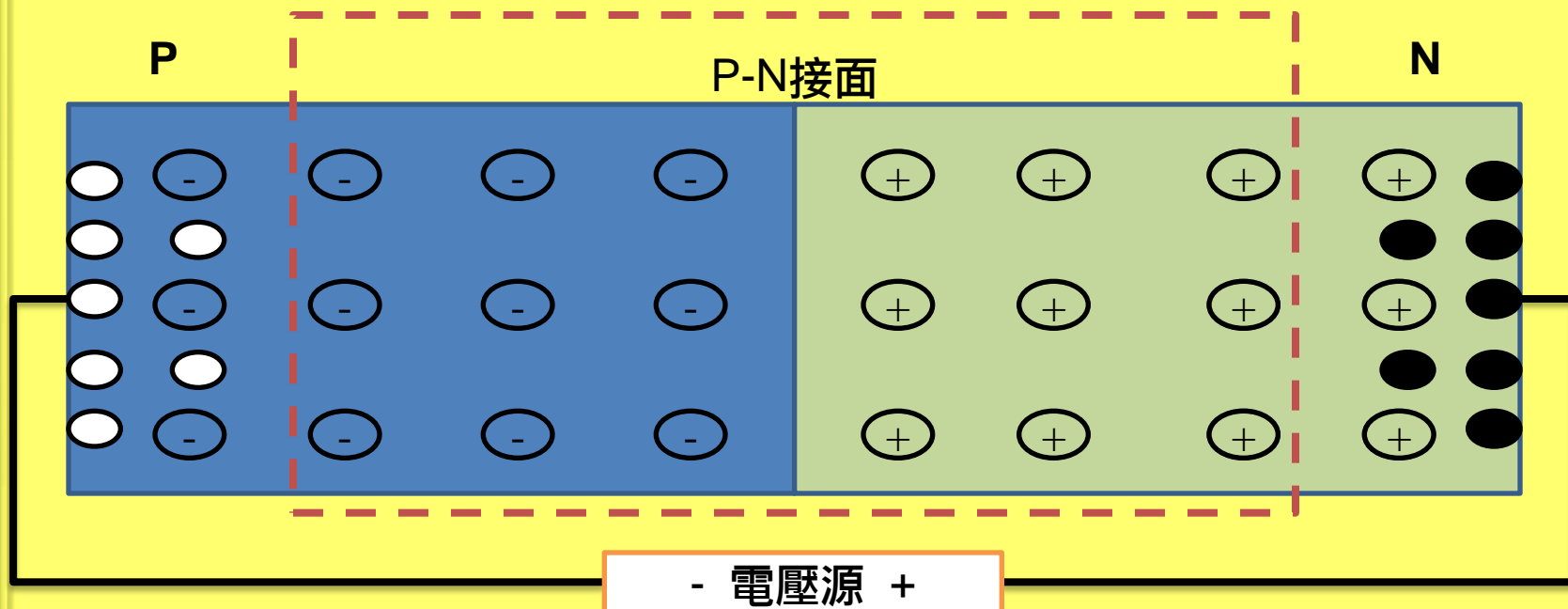
當外加電源的正端接到二極體的N極端，負端接到二極體的P極端，這樣便形成了所謂的逆向偏壓。



二、二極體的偏壓

逆向偏壓

- P端的多數載子電洞會被外加的負電壓吸引；N端的多數載子電子也被正電壓吸引，導致兩者皆**往外接電壓方向**流去。
- 主要載子變為不足，因此結合部位的**空乏層**變得更寬，**內部的靜電場也更強**，**擴散電位也跟著變大**。



二、二極體的偏壓

崩潰區

- 逆向偏壓下，外加逆向電壓超過崩潰電壓之數值
- 崩潰電壓：當外加二極體的逆向偏壓持續加大到某一額定值時，少數載子將會大量增加，同時也使得原本的逆向電流 I_S 大增。
- 一般二極體在崩潰區時，由於電流增加很快，容易產生過熱使二極體損壞。

三、理想二極體與簡化二極體模型

理想二極體

順向、逆向
特性

溫度效應

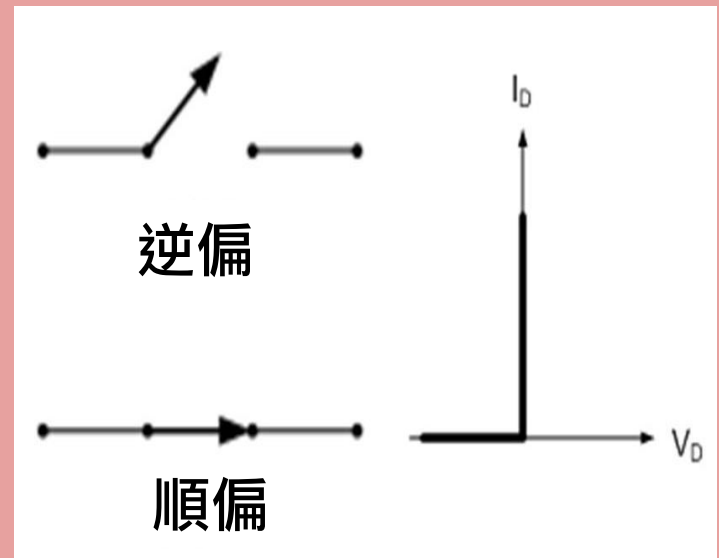
電容效應

電阻效應

三、理想二極體與簡化二極體模型

理想二極體

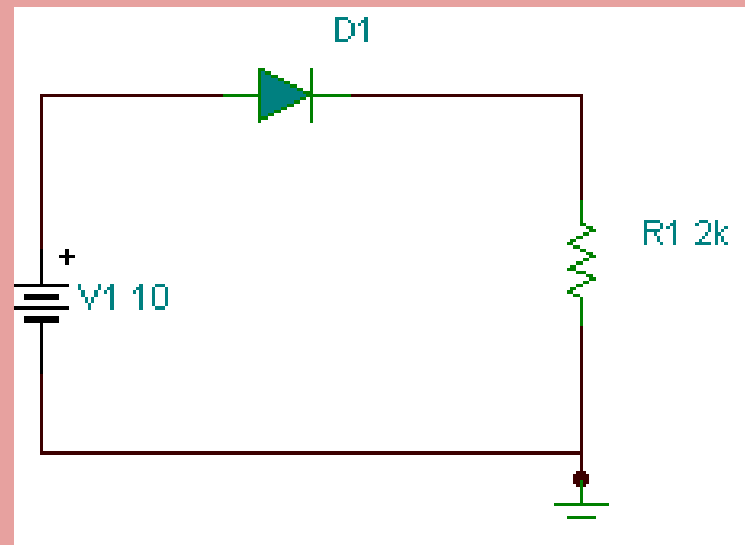
- 針對理想二極體而言，由於不會討論到P-N接面的障壁電位，也就是忽略空乏區的存在，因此我們可以分析：
- 理想二極體外加偏壓時**
 - 順向：視為**短路**，順向電阻=0
 - 逆向：視為**開路**，逆向電阻=
- 可視理想二極體如同一**開關**



三、理想二極體與簡化二極體模型

例題一

如圖之電路，**假設 D1 為理想二極體**，那麼流經電阻的電流應該為多少？

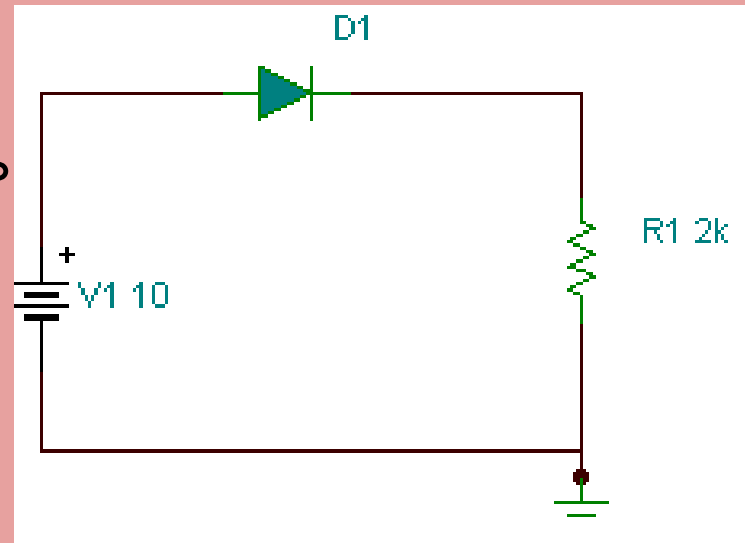


三、理想二極體與簡化二極體模型

解答一

由於D1為理想二極體，
所以，其二極體內阻為0。

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10V}{2k\Omega} = 5m(A)$$



三、理想二極體與簡化二極體模型

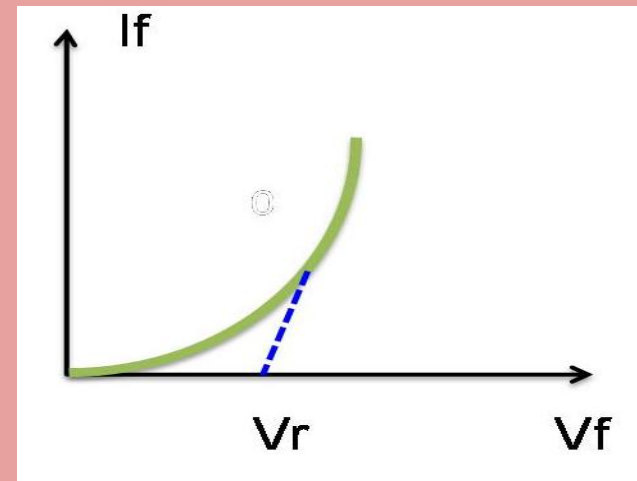
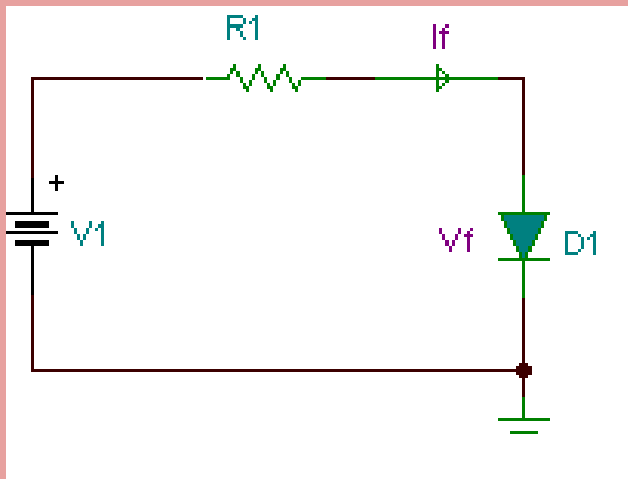
簡化二極體模型

- 使用電池、電阻、二極體等簡單元件所組成的電路，便於分析二極體電路；這些簡易元件的組合即所謂的**等效模型**，為了使電路分析可更加簡便、快速。
- 事實上，**並沒有所謂的理想二極體元件**，在一般實際的電路中，必須考慮到二極體的許多因素，例如順向特性、逆向特性、溫度效應等。

三、理想二極體與簡化二極體模型

順向特性

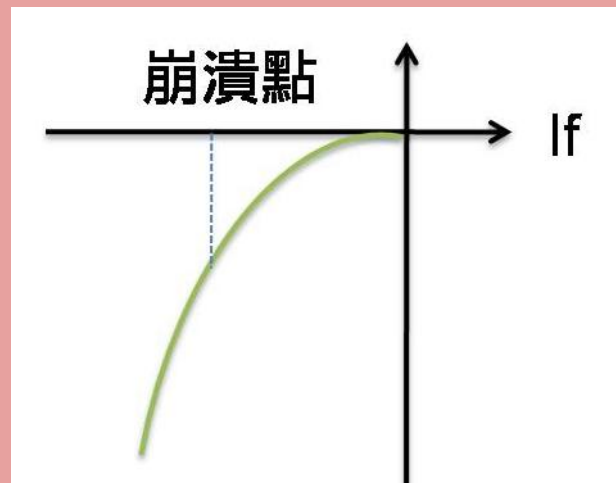
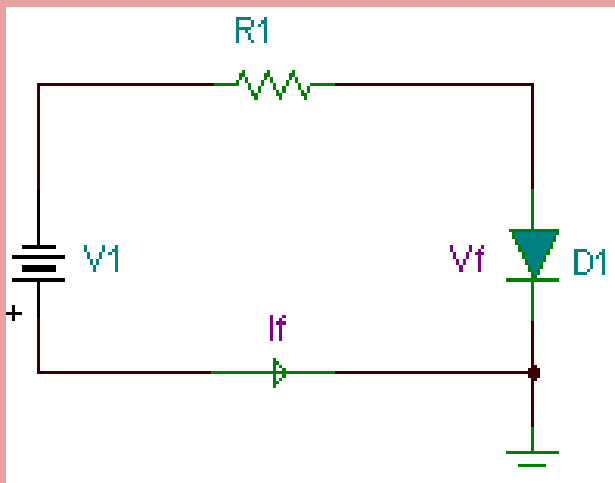
二極體接上順向偏壓後並不會馬上導通，它會一直等到電壓大於 $0.7V$ (矽)或 $0.3V$ (鍺)，才會讓整個電路導通，而這個導通的電壓稱為膝點電壓或是切入電壓。



三、理想二極體與簡化二極體模型

逆向特性

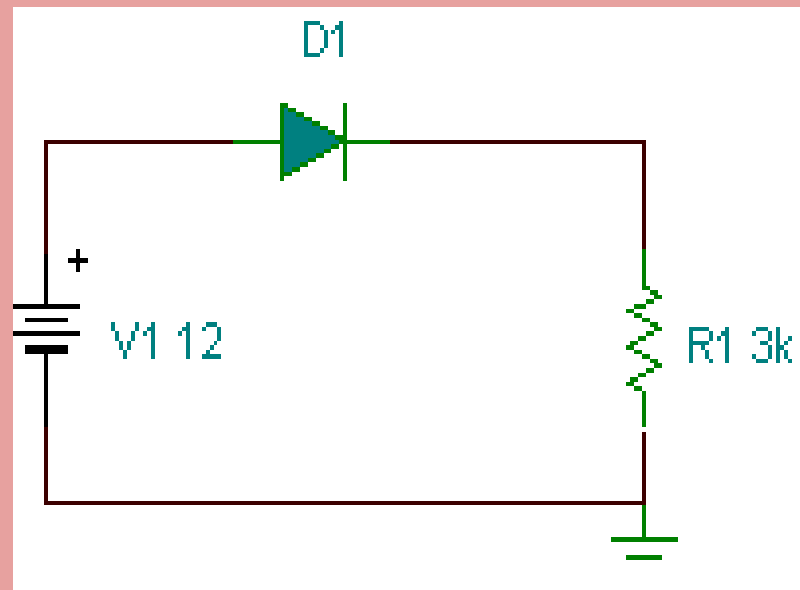
二極體接上逆向偏壓，其導通特性幾乎是不存在的，但還是有一些少數載子會流過P-N接面形成非常小的**逆向飽和電流**，而這些少數載子通常只會受到溫度影響。



三、理想二極體與簡化二極體模型

例題二

如圖之電路，當二極體 D1 切入電壓為 0.7V 時，在不考慮順向電阻的情況下，流經電阻的電流應該為多少？

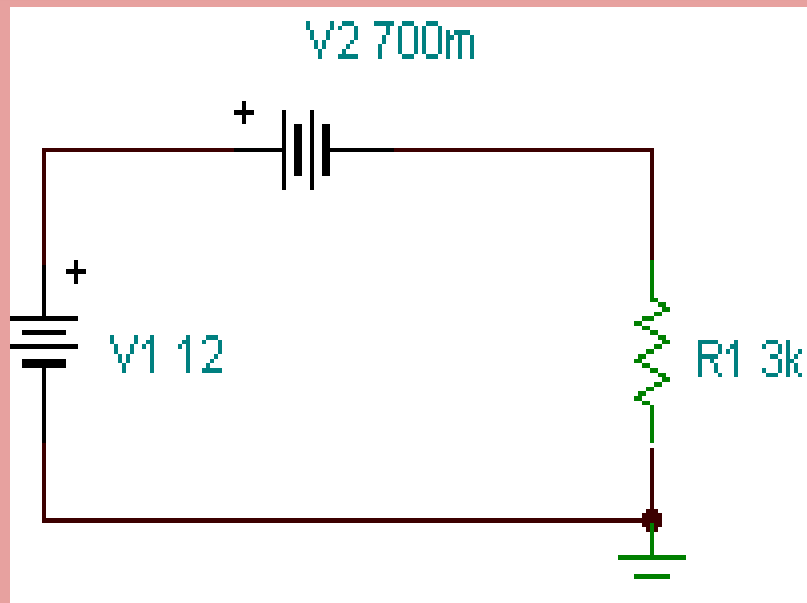


三、理想二極體與簡化二極體模型

解答二

等效電路可簡化如圖

$$I = \frac{12V - 0.7V}{3k\Omega} \\ = 3.77m(A)$$



三、理想二極體與簡化二極體模型

溫度效應

- 二極體電流除了與外加電壓有關之外，另一個有關的因素為**溫度**，當周圍溫度改變時，**會直接影響到二極體的切入電壓與逆向飽和電流**。
- 通常矽的二極體溫度特性比鍺的好。

$$I_S(t_2) = I_S(t_1) \times 2^{\frac{t_2 - t_1}{10}}$$

I_S : 逆向飽和電流，
單位 A (安培)

T_1 : 原來溫度，單位 $^{\circ}\text{C}$

T_2 : 上升後的溫度，單位

三、理想二極體與簡化二極體模型

例題三

在室溫25度時，矽二極體逆向飽和電流為3nA，試求出在溫度55度時，逆向飽和電流為多少？

三、理想二極體與簡化二極體模型

解答三

$$T_1 = 25^{\circ}\text{C} , T_2 = 55^{\circ}\text{C}$$

$$I_{S(T_1)} = 3\text{nA}$$

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

$$\Rightarrow I_{S(55^{\circ}\text{C})} = 3\text{nA} \times 2^{\frac{55 - 25}{10}} = 24\text{nA}$$

三、理想二極體與簡化二極體模型

電容效應

- 二極體P-N接面的空乏區中只有正負離子，而沒有自由電子與電洞時，可以將它看成絕緣層，而把PN兩側看做導體，這種結構可視為一**電容器**。
- 二極體依偏壓方式可分為：

→順向：擴散電容(儲存電容)

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

τ ：電洞的平均壽命，一般約為 1×10^{-6} 秒

I ：電流量

η ：矽->小電流=2, 大電流=1。 鍺->1

V_T : $\frac{T_K}{11600}$, T_K 為愷氏溫度，在室溫時 $V_T = 26\text{mV}$

→逆向：過渡電容(空乏區電容)

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

ϵ ：平行板間介質的介電係數，單位F/m

A ：平行板的面積，單位 m^2

d ：兩板間的距離，單位m

C ：電容量，單位F

三、理想二極體與簡化二極體模型

電阻特性

- 二極體所摻雜的雜質量與體積大小不同的關係，當二極體接上電路時，就會產生出不同大小的電阻特性。
- → **靜態電阻**：外加固定的直流電壓，二極體會產生一固定電阻。

$$R_D = \frac{V_D}{I_D}$$

- → **分布電阻**：通常指二極體本身的內阻。

在外加1V電壓可求得：

$$\text{矽：} \gamma_B = \frac{1-0.7}{I_F} = \frac{0.3}{I_F}$$

$$\text{鍺：} \gamma_B = \frac{1-0.3}{I_F} = \frac{0.7}{I_F}$$

- → **動態電阻**：外加變動的交流電壓，二極體會產生一變動電阻。

$$\gamma_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \Big|_{\text{切線}}$$

三、理想二極體與簡化二極體模型

例題四

某一矽二極體，外加電壓為 1V 的順向偏壓，測出其二極體電流為 30mA ，試求出其分布電阻與靜態電阻各為多少？

三、理想二極體與簡化二極體模型

解答四

$$\text{分布電阻 } r_B = \frac{1 - 0.7}{30\text{m}} = 10\Omega$$

$$\text{靜態電阻 } R_D = \frac{1}{30\text{m}} = 33.3\Omega$$

三、理想二極體與簡化二極體模型

例題五

某一二極體接上電源後，其電壓由 0.3V 變化至 0.5V ，而電流則由 15mA 至 45mA ，試求其動態電阻為多少？

三、理想二極體與簡化二極體模型

解答五

$$\begin{aligned}\text{動態電阻 } r_d &= \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0.5 - 0.3}{45\text{m} - 15\text{m}} \\ &= 6.67\Omega\end{aligned}$$