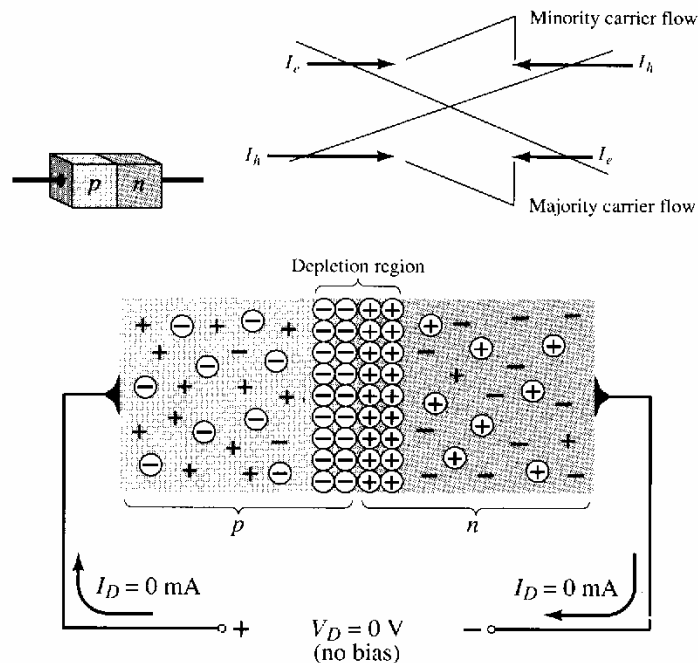


P-N 接面二極體

P-N Junction Diode

將 P 型半導體與 N 型半導體相互結合，形成 P-N 接面二極體 (P-N Junction diode) 時，P 型材料內的電洞與 N 型材料內的電子會在接合面結合，使得在結合面附近的區域內缺乏載子，形成空乏區 (Depletion region) 或空間電荷區 (Spacecharge region)，如下圖所示↓

不要以為 N 型半導體中的電子會不斷的透過接合面與 P 型半導體的電洞結合，直到所有的電子與電洞都消失；實際的情形卻是，靠近接合面的 N 型半導體失去一些電子，變成正離子，P 型半導體失去一些電洞變成負離子，這些正負離子會集中在接合面附近，阻止電子與電洞的繼續結合 (正離子排斥電洞，負離子排斥電子)，並達到平衡，使得接合面附近只有離子，沒有載子 (電子或電洞)。



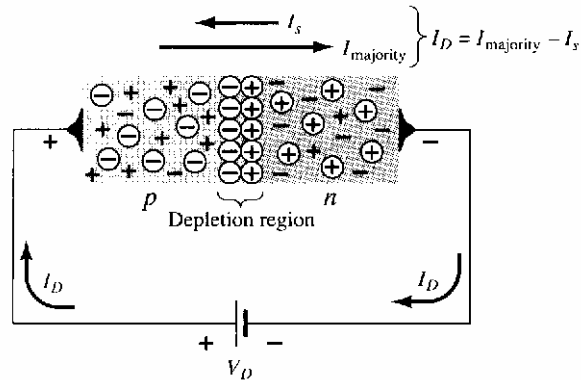
其中，空乏區中的少數載子 (P 型為電子，N 型為電洞) 受到接面電場的吸引，通過空乏區，形成少數載子流！

空乏區內的離子所產生阻止電子與電洞通過接合面的力量，稱為「障壁電位 (Potential barrier)」，一般而言，Ge 的 P-N 接合面的障壁電位約為 0.2~0.3V，Si 的 P-N 接合面的障壁電位約為 0.6~0.7V！

PART 1

一、P-N 接面施加順向偏壓

當半導體二極體的 P 端施加正電壓，N 端施加負電壓時，此種電壓狀態稱為順向偏壓（Forward bias），如下圖所示 ↓



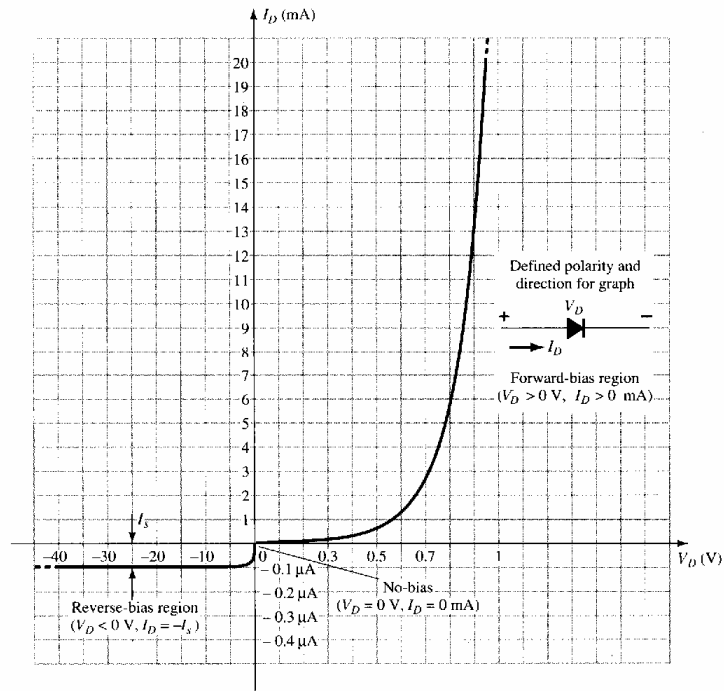
在順向電壓下，電池的正端吸引電子，排斥電洞，電池的負端吸引電洞，排斥電子，使得 N 型半導體中的電子，不斷越過 P-N 接合面到 P 型半導體中，與電洞結合；同樣的，P 型半導體中的電洞，也不斷越過 P-N 接合面到 N 型半導體中，與電子結合，產生源源不斷的電流，如此一來，電子與電洞在接合面上所遭受到的能量障壁越來越低；此一趨勢，隨著偏壓的增強，空乏區的寬度越來越小，最後，大量的電子終於湧過，並以如下圖所示的指數型態增加 ↓

$$I_D = I_s(e^{kV_D/T_K} - 1)$$

其中， I_s 為反向飽和電流

$$k=11,600/\eta$$

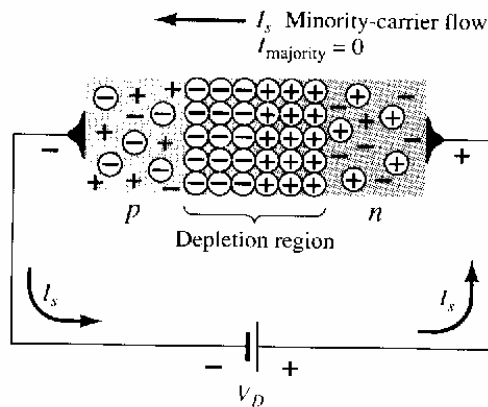
$$\eta=1 \text{ (for Ge 或電流大)、} \eta=2 \text{ (for Si, 電流小)}$$



NOTE：上圖中曲線開始上升的電位稱為障壁電位、起始電位、臨界電位或激發電位，以 V_T 表示， $V_T=0.7V$ (Si)、 $V_T=0.3V$ (Ge)。

二、P-N 接面施加反向偏壓

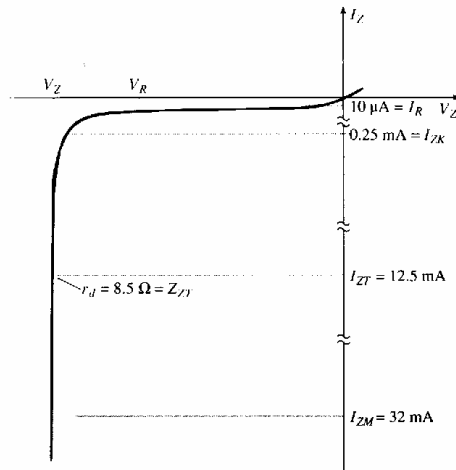
當半導體二極體的 P 端施加負電壓，N 端施加正電壓時，此種電壓狀態稱為反向偏壓 (Reverse bias)，如下圖所示 ↓



當施加反向偏壓時，P-N 接合面的空乏區會變大，使得電子與電洞的結合更形困難 (電子與電洞受到外加偏壓的影響，遠離空乏區，使得空乏區變大)，而沒有電流流過 P-N 接合面 (理想中，應該是沒有)，不可諱言的，仍有少數的載子可以通過接合面，此時，若增加反向偏壓的電位，少數載子流也不會增

加，這種少數載子的電流稱為反向飽和電流（Reverse current），或稱為漏電電流，以 I_s 表示。

然而，當反向偏壓再持續增加，二極體的特性曲線將會出現如下圖所示的激烈變化：



其中，導致特性曲線產生如此劇變的逆向偏壓，稱為曾納電位（Zener potential），以 V_Z 表示。

為何會有如此的現象發生呢？其原因有二，一種稱為累積崩潰（Avalanche breakdown），一種稱為曾納崩潰（Zener breakdown）：

► 累積崩潰：

當二極體在反向偏壓時，只有一極小的、由少數載子所構成的飽和電流在流動，若外加電壓持續增加，將有足夠的能量足以供給少數載子，並讓這些載子與原子相碰撞，進而打破共價鍵，產生新的電子與電洞；如此的循環，促使反向飽和電流迅速增加，稱之為累積崩潰！

► 曾納崩潰：

二極體在反向偏壓下會產生一個很大的電場，使得共價鍵斷裂，進而產生大量的電子與電洞，造成反向飽和電流 I_s 的大量增加，稱之為曾納崩潰。

三、P-N 接面沒有施加偏壓

當沒有施加電壓時，任何一方向的淨電荷流都是零！

PART 2

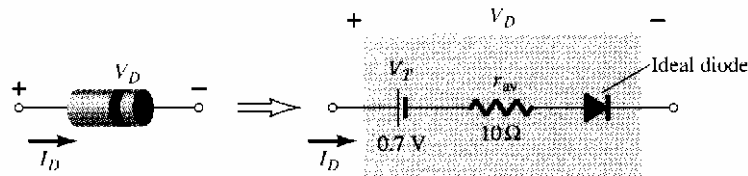
四、P-N 二極體等效電路

一個等效電路是由一些經過適當選擇的元件所組成的電路，它能最適切地代表某個元件或系統；利用等效電路，甚至可以代表元件或系統被使用在特定的工作範圍時的端點特性（Terminal characteristics）。

換言之，一旦定出等效電路之後，對應的元件符號就可以從線路中去掉，再以「等效電路」植入它原來的位置，即可得到一個利用傳統電路分析技巧就能解決的網路。

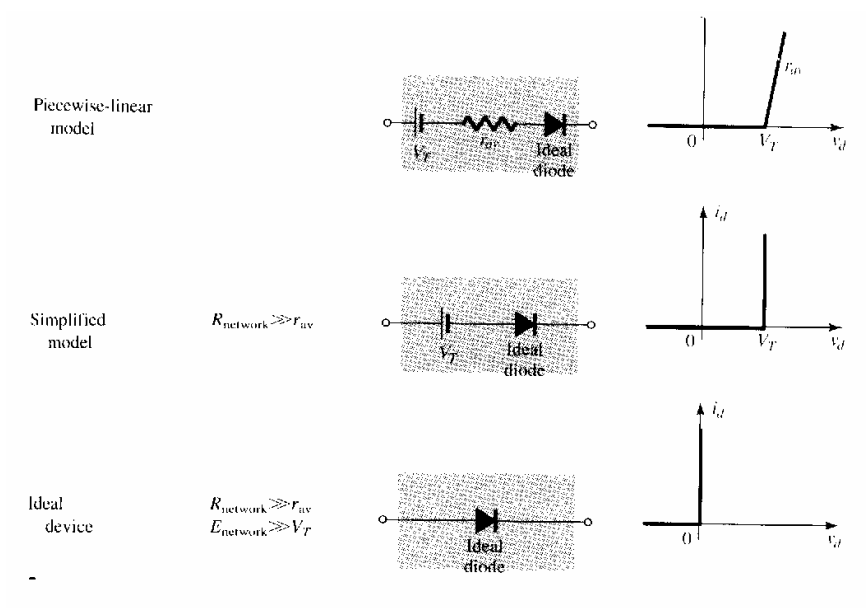
（一）片斷式線性等效電路

利用直的線段來近似二極體的特性曲線，近似所得的等效電路即稱為片斷式線性等效電路，如下圖所示↓



其中， V_T 並不是一個獨立的電壓源，而是表示跨過元件的電壓必須超過臨界電壓才能在二極體傳導方向上建立電流，而且一旦開始導電，二極體的電阻就是 r_{av} 。

除了上述的片斷式線性等效電路外，由於 r_{av} 相較於網路上的其他元件小很多，可以忽略，甚至也可以忽略 V_T 而得到下圖所示的「簡化等效電路」與「理想等效電路」↓



五、P-N 二極體的符號與外觀

