

4.4 其他重要元件參數與特性

在這一節我們繼續討論 MOSFET 元件之其他重要觀念，包括次臨界特性（subthreshold characteristics）、基板偏壓效應（body effect）、臨界電壓的調整（ V_T adjustment）、與遷移率退化（mobility degradation）。

4.4.1 次臨界特性（subthreshold characteristics）

在§4.2 節中，討論 MOSFET 基本操作原理時提到：當閘極電壓小於臨界電壓時，MOSFET 操作在「截止區」，此時在任何外加汲極電壓下，理想的電流－電壓關係式預測汲極電流等於零。然而，實際上當 $V_G \leq V_T$ 時，仍會存在微量的汲極電流如圖 4-8 與圖 4-9 中顯示，這就是所謂的「次臨界電流（subthreshold current）」。此次臨界區對應半導體表面呈弱反轉（weak inversion）狀態。回顧§3.1.1 節或表 3-1 可知，弱反轉時之半導體表面電位為 $2\psi_B > \psi_s > \psi_B$ 。此時，半導體表面已發生反轉，但尚未達強反轉狀態（須注意，臨界電壓是定義在達到強反轉時所需之閘極電壓）。參閱圖 3-3(c)，這時候費米能階 E_F 較接近導電帶 E_C ，所以半導體表面（即 MOSFET 形成通道的區域）會呈現輕微 n 型摻雜的特性，因此在 n^+ 的源極和汲極之間，經由此「弱反轉通道」產生一些次臨界導通。

在次臨界區內，由於導通通道尚未真正形成，所以汲極電流是由擴散而非漂移所主導。因此，參考圖 4-6（但圖中 V_G 須小於 V_T ），我們有：

$$I_D = -qAD_n \frac{dn}{dy} = qAD_n \frac{n(0) - n(L)}{L} \quad (4.22)$$

其中 A 為電流流動的截面積， D_n 為電子的擴散係數（diffusion coefficient）， L 為通道長度，而 $n(0)$ 與 $n(L)$ 則分別為源極與汲極處之電子密度。利用式（3-10a）可得：

$$n(0) = n_i e^{q(\psi_s - \psi_B)/kT} \quad (4.23a)$$