

4.4.2 基板偏壓效應 (substrate-bias effect 或 body effect)

到目前為止，我們所有的討論，半導體基底和源極端都保持在相同的接地電位 ($V_B = V_S = 0$)，如圖 4-6 所示。然而，在真實電路上，基底與源極可能不在相同電位。參照圖 2-13 或圖 2-15 可知，由基底與源極形成的 p-n 接面在逆向偏壓下，流經接面的電流很小；但是，此逆向偏壓卻能夠明顯地影響臨界電壓 V_T 與汲極電流 I_D 。以上這種由於基底與源極間的逆向偏壓（對 n-MOSFET 而言， $V_{BS} < 0$ ；對 p-MOSFET， $V_{BS} > 0$ ）對 V_T 與 I_D 造成影響的現象稱為「基板偏壓效應 (substrate-bias effect 或 body effect)」。

如圖 4-11(a) 所示，當一逆向偏壓 ($V_B < 0$ for n-MOSFET) 施加於基底與源極之間時，空乏區的寬度會變大（回顧圖 2-5 與 §2.3 節的討論），也意味空乏區內的空間電荷 Q_{sc} 會變多，因此欲達到強反轉所需要的臨界電壓也必須增大（見 §3.1.4 節的討論）。

為了簡化推導過程，我們假設通道中由於逆向偏壓造成空乏區寬度的增加是一樣的。因此，類比 §2.3 節的觀念，我們可將在零基板偏壓 ($V_B = 0$) 下，達到強反轉時的最大空乏區寬度 (3.21) 式，直接改寫成在逆向偏壓 ($V_B < 0$) 下的情況：

$$W_m = \sqrt{\frac{2\epsilon_s(2\psi_B - V_B)}{qN_A}} \quad (4.28)$$

此時，空乏區內的空間電荷也增加為：

$$Q_{sc} = -qN_A W_m = -\sqrt{2\epsilon_s q N_A (2\psi_B - V_B)} \quad (4.29)$$

將 (4.29) 式代入臨界電壓的公式 (3.41) 可得到：

$$V_T = \phi_{ms} - \frac{Q_{ox}}{C_{ox}} + \frac{\sqrt{2\epsilon_s q N_A (2\psi_B - V_B)}}{C_{ox}} + 2\psi_B \quad (4.30)$$