

### 5.2.1 臨界電壓下滑 (threshold voltage roll-off)

臨界電壓的公式 (3.41)、(3.42)、或 (4.33) 是基於漸變通道近似法 (請回顧 §4.3 節的第六個假設) 所推導得到的，也就是矽基板表面空乏區中的空間電荷  $Q_{sc}$  僅受閘極電壓產生的垂直電場所感應生成。換句話說，式 (3.41) 中的第三項與汲極到源極間的水平電場無關。這個假設對長通道元件基本上是成立的；但隨著通道長度的縮減，水平電場對空間電荷分布的影響將不可忽略，因此公式 (3.41) 必須稍作修正。

圖 5-5 顯示在某個  $0.15\mu\text{m}$  CMOS 製程技術下，於  $V_D=0.05\text{V}$  (線性區) 與  $V_D=1.8\text{V}$  (飽和區) 時  $V_T$  roll-off 的現象 (即  $V_T$  的絕對值隨通道長度的遞減而變小)。 $V_T$  roll-off 可用 L.D. Yau 於 1974 年提出的電荷共享模型 (charge sharing model) 作定量上的分析，如圖 5-6 所顯示。此圖為一個短通道 n-MOSFET 的示意圖， $V_G$  偏壓在  $V_T$  且元件操作在線性區 ( $V_D \leq 0.1\text{V}$ )，因此汲極接面的空乏區寬度可視為與源極接面的空乏區寬度相等。圖中  $r_j$  為源極與汲極的接面深度 (junction depth) 且假設在閘極之下的橫向擴散距離與垂直方向的擴散距離相等；而  $W_m$  為發生強反轉 (即  $V_G = V_T$ ) 時的最大空乏區寬度，如式 (3.21) 所表示。並且圖中  $r_2$  以  $(W_m + r_j)$  作幾何近似。

圖 5-6 主要傳達的訊息為由於通道的空乏區左右兩端分別與源極和汲極的空乏區重疊 (即「電荷共享」)，因此不能將這些共享的電荷全部納入  $V_T$  的表示式 (3.41) 中計算。而此模型的基本假設，就是用圖 5-6 中的梯型區域來近似閘極偏壓所感應出的空間電荷。

也就是說，由閘極所控制的總電荷量等於：

$$Q'_{sc} = -qN_A W_m W \frac{L+L_1}{2} \quad (5.15)$$

其中  $W$  為通道長度。而在長通道元件使用漸變通道近似法中，閘極理想上所能控制的總電荷量則等於：

$$Q_{sc} = -qN_A W_m WL \quad (5.16)$$