

lowering, DIBL)、與貫穿 (punch-through) 等三個重要現象。

- (3) 元件可靠度 (device reliability) 問題。元件尺寸的微縮也使得可靠度問題越來越嚴重，包括：熱載子效應 (hot carrier effect)、閘極氧化層崩潰 (gate oxide breakdown)、閉鎖 (latch-up)、與 NBTI (negative bias temperature instability) 等等。由於篇幅的限制，本書不特別針對可靠度問題作專門的討論。

5.1 短通道元件的輸出特性 $I_D - V_D$

圖 5-1 顯示一個通道長度為 $0.1\mu\text{m}$ 的 CMOS 之輸出特性 $I_D - V_D$ 的曲線族，且根據此圖，我們可提出三個明顯的問題。第一，為何 p-MOSFET 的汲極電流比 n-MOSFET 的汲極電流小許多（大約僅一半）？第二，進入飽和區後，為什麼汲極電流不像公式 (4.15) 或圖 4-7 所預測的應該保持在一常數 $I_{D\text{sat}}$ ，反而是隨 V_D 的增加而些微地增加？第三，同樣地，什麼原因使得飽和汲極電流值並沒有依照公式 (4.15) 或圖 4-7 顯示的應該隨 $(V_G - V_T)$ 的二次方增加，而是呈現近似線性增加（可觀察圖中曲線間的相等間距）？

第一個問題可由圖 4-15 得到解答，那就是在相同的有效電場 (E_{eff}) 下，電子的遷移率大於電洞的遷移率，故直接反應在 I_D 上。關於第二與第三個問題，主要影響的效應分別為通道長度調變與速度飽和效應，並即將在底下作介紹。（註：對於第二個問題，實際上參與影響的因素還有 DIBL，但這將於第 5.2 節中再做討論。簡單地說，DIBL 效應是指當短通道 MOSFET 元件的汲極電壓增加進入飽和區時，臨界電壓會降低，因此汲極電流 I_D 會變大。）

5.1.1 通道長度調變 (channel length modulation)

通道長度調變效應可直接套用長通道 MOSFET 元件的電流——電壓特性觀念，並經由修改公式 (4.5) 得到。

首先，回憶我們在推導長通道元件的飽和汲極電流 $I_{D\text{sat}}$ 時假設圖 4-4(c) 中的通道長度改變量 $\Delta L \equiv L - L'$ 是遠小於原來的通道長度 L ，因而得到關係式