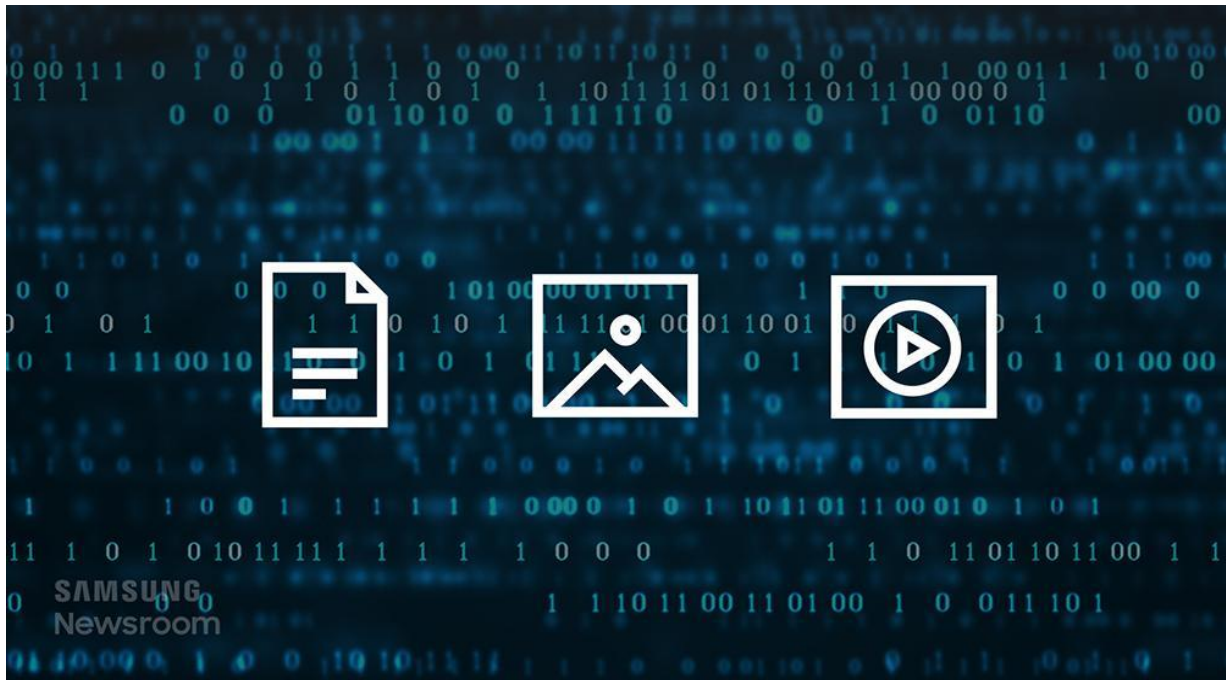


【名家觀點】三星電子最新電晶體技術締造半導體歷史

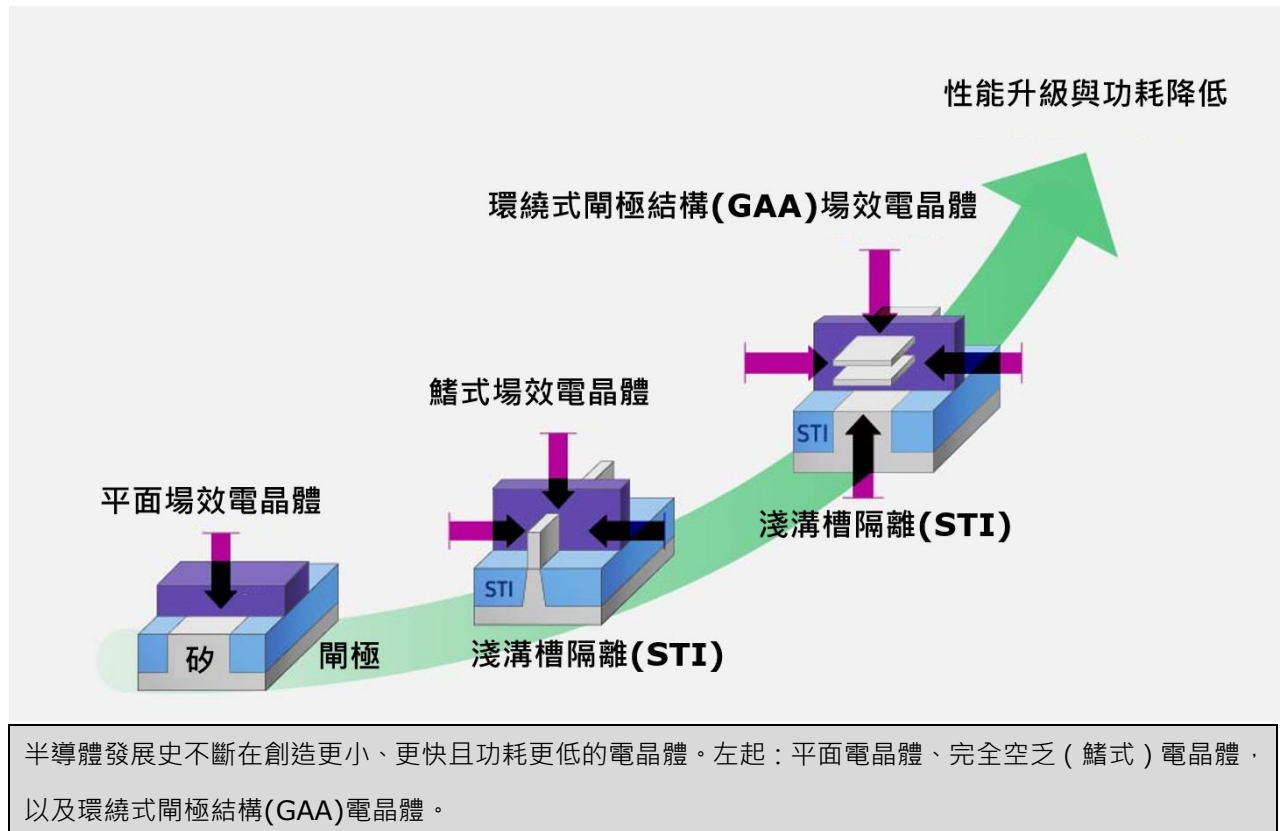
日常生活中，我們每天透過電腦與智慧型手機儲存或互相傳送文件、照片、影片、音訊檔、試算表與圖表等複雜數位資訊。然而，數位資訊其實僅利用「0」與「1」兩種位元組成的簡單二進位數系統來表現。

電晶體是將二進位數系統所編寫的數位資訊轉換成電子訊號的半導體裝置。電晶體中的「通道」讓電流在半導體源極和汲極之間流動，而「閘極」則是控管行經通道的電流。閘極透過放大電子訊號產生二進位數據，同時作為開關。由此可知，電晶體本質上就是半導體晶片的基本元素。



不管是文件、照片或影片，所有數位資訊皆是由「0」與「1」兩種位元組成的二進位數系統所構成。

為了在矽(Si)基版有限的表面空間安裝更多半導體晶片，每一個晶片大小自然需要縮減。此外，為了在各個晶片中加入更多複雜的新功能，最基本的電晶體必須縮小體積並降低功耗，以將電池壽命提升至最高，同時也須降低熱能與電荷。由於功耗取決於操作電壓，電晶體更必須具備降低電壓的功能。因此，半導體發展史可說是不斷在創造更小、更快與功耗更低的電晶體。

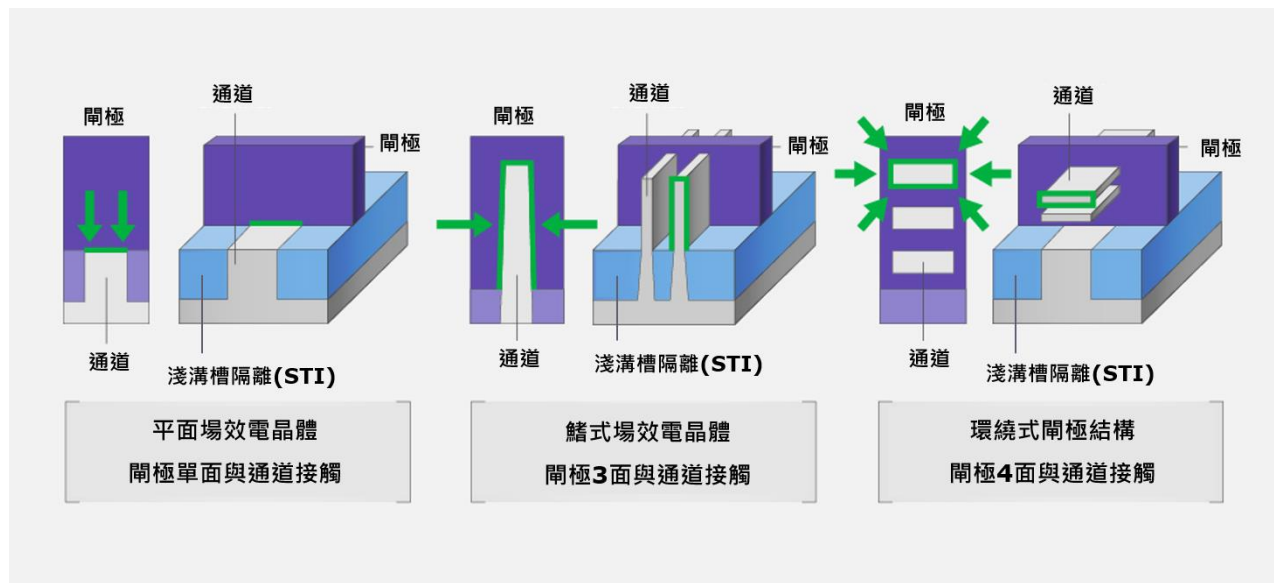


目前半導體產業最常見的電晶體為金屬氧化物半導體 (MOS)，由金屬電極、氧化物絕緣體和半導體通道組成。史上第一個 MOS 電晶體採用平面結構，讓閘極與通道可以在同一個平面上接觸。但隨著電晶體的體積縮小，源極與汲極之間的距離也變短，讓閘極很難作為開關。這就是所謂的「短通道效應」，並且隨著電壓降低幅度有限，意味著平面電晶體只能應用在 20 奈米或以上的節點（或世代）^(註一)。

為了克服短通道效應，下一代的電晶體技術「完全空乏電晶體」應運而生。這類電晶體採用薄型矽 (Si) 通道，透過提高閘極調控通道電位的能力來避免短通道效應。該結構型態是由傳統電晶體（位於平面通道上的閘極）演變而來，不僅更薄且堅固，同時直立的矩形通道在三邊與閘極緊密互鎖。由於其細長的直立矩形設計與魚類的背鰭相似，因此也稱作「鰭式電晶體」。三星自 2012 年起開始生產各式尺寸的鰭式電晶體，而且是從 14 奈米切入。

平面電晶體僅允許通道和閘極在一個平面接觸，但鰭式電晶體具有三維結構，允許通道的三個面（不包括底部）和閘極接觸，進而改善半導體性能，並擴大電壓下降的程度，解決短通道效應所帶來的問題。

然而，在經過幾代的發展與製程轉換，鰭式電晶體已面臨極限。現今半導體產業要求電晶體能進一步降低電壓。儘管鰭式電晶體具備三維結構，但隨著電晶體持續進步，體積因而不斷縮小，僅三面接觸閘極而非四面，進而演變成發展上的一大限制。

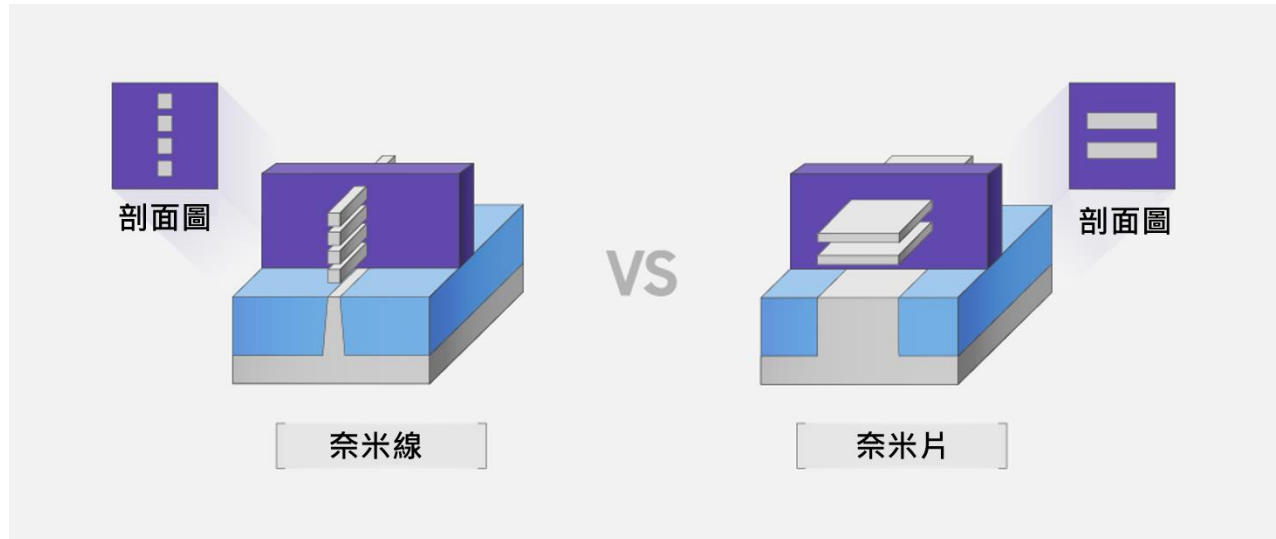


半導體電晶體的演進

為了突破現行電晶體解決方案的侷限，三星研發出新式環繞式閘極(GAA)結構。顧名思義，GAA 結構將閘極調控通道電位的功能最大化，讓包含第四個底部在內的所有通道都被閘極環繞。閘極 360 度環繞通道區域可以抑制短通道效應，進一步降低電壓。

典型的 GAA 電晶體結構為一細長的奈米線^(註二)。通常，通道寬度一般是越寬越好，讓大量電流得以通過，但直徑極小的奈米線很難取得如此大量電流。為了克服此限制，三星研發出專有的 MBCFET™ (多橋通道場效電晶體)，此專利技術為 GAA 電晶體的升級版。MBCFET™ 電晶體將線型通道結構排列成 2 維奈米片，以增加與閘極的接觸面積，進而讓裝置整合更簡單，同時增加電流。三星的 MBCFET™ 在市場上是極具競爭力的電晶體結構，除了本身的 GAA 結構可以抑制短通道效應外，也能透過增加通道面積實現性能提升。

與現有 7 奈米鳍式電晶體相較，MBCFET™ 可將功耗降低 50%、性能提升 30%，同時將電晶體佔用面積減少 45%。



GAA 電晶體的開發為一項艱鉅的挑戰，堪稱半導體技術的工業革命，因此目前僅有三星電子提出未來供貨計畫。此外，MBCFET™的成功創造亦彰顯三星電子領先全球的技术實力。此技術同時奠定與顛覆半導體產業的基礎，除了得以突破 4 奈米極限，更能提供且促成第四次工業革命所必須的核心技術。

憑藉此項領先業界的最新發展，三星電子透過最新開創性技術以及合作方式，為產業發展未來開闢了全新道路。

身為半導體工程師，我非常期待此因為新技術誕生而改朝換代的產業，也看好未來的發展。

*本文取自 Yongjoo Jeon，三星晶圓代工業務首席工程師

註一：奈米是半導體製程使用的單位，1 奈米等於十億分之一公尺。

註二：為超細微直線，切面直徑僅 1 奈米。