

功率半導體技術未來發展解析

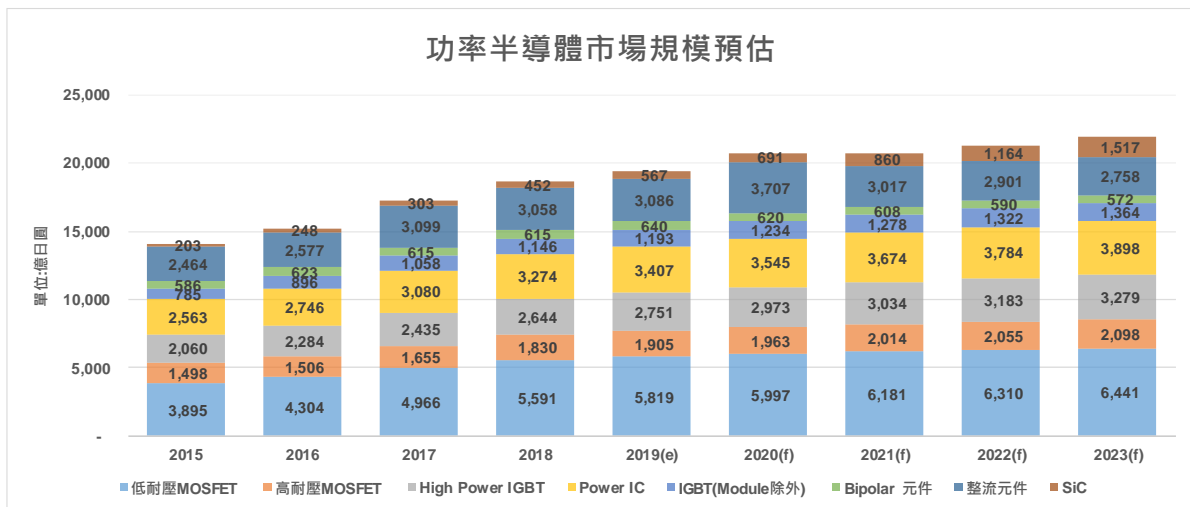
台灣亞太產業分析專業協進會 104 年認證資深產業分析師 劉美君

一、應用廣泛的功率半導體

隨著 5G 的技術不斷發展，應對高頻環境的材料也將持續提高重要性，5G 基礎建設擴大化關鍵在於行動裝置與基地台不可或缺的射頻(RF)與電源功率元件能否有效對應高頻動作環境的考驗。而隨著 5G 與 IoT 相關技術逐漸步入實用化，對於元件的發展來說，如何提升電力使用效率，達到裝置低耗能的目標，成為未來製造端矚目的焦點。此外，未來 5G 技術將結合車聯網的機能，而汽車本身的電子系統亦需在高溫、高壓環境進行快速切換的動作，因此元件如何滿足車用環境的需求也成為另一重要課題。

傳統上 Si 材料為了改善高耐壓化所帶來的導通電阻增加，採用 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor；絕緣閘雙極電晶體) 結構，但此種結構存在開關的動作中會發生能量損耗過大的問題，產生發熱的問題，不利於應用在高頻環境的驅動。從材料特性的觀點來看，材料的能隙是將電子從其價帶釋放到導帶所需的能量。Si 具有 1.12 eV(電子伏特；electron volt)的能隙，但 SiC(碳化矽；Silicon Carbide)和 GaN(氮化鎵；Gallium nitride)這類的材料則具有 2.86 eV 和 3.4 eV，比 Si 材料更寬的能隙，具備較高的電子遷移率，讓接合處累積的電荷可以更快地釋放，使得寬能隙材料(Wide Band-gap)所製備的半導體元件將能夠實現更快的切換速度。寬能隙材料所製造出來的功率半導體(power semiconductor device)由於能提升電力使用效率，降低功耗，材料特性上較 Si 材料為佳，因此在 5G 相關應用，以及電源供應器、鐵路運輸、車用電子系統等應用層面備受期待。

從未來功率半導體的市場規模來看，至 2023 年時，預估低耐壓 MOSFET(金氧半場效電晶體；Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)與 High Power IGBT(絕緣柵雙極電晶體；Insulated Gate Bipolar Transistor)、Power IC 三種技術為市場中的主流，而寬能隙材料的 SiC 市場也將逐步成長，各種元件的市場值如圖一所示。



資料來源：東芝 Device&storage；工研院產科國際所 ITIS 研究團隊(2020/06)

圖一 功率半導體市場規模預估

二、碳化矽功率元件(SiC Power Device)材料特性與發展課題

碳化矽功率元件(SiC Power Device)具有電流在元件中呈現均一垂直流動的特性，因此適合大電流用途。另外由於 SiC 晶圓為莫氏硬度 9.25~9.5 (僅次於鑽石)之超硬材料，燒製 SiC 晶圓需 2000°C 以上高溫(Si 僅需 1500°C)，以及 350MPa 以上的高壓環境，產能有限，品質不易穩定。此外在最末段拋光加工製程仍需移除材料 1~2 μm 之深度，以傳統 CMP 拋光晶圓需耗時甚久而提高加工成本，造成 SiC 晶圓成本約是 Si 的 10 倍以上。

應用面上，SiC-MOSFET 的應用集中在高頻高壓的產品，如 PV(Photovoltaic；太陽能光電)、EV(Electric Vehicle；電動車)充電、智慧電網、汽車相關應用(如車載充電器、逆變器)、基礎設施(伺服器)、電源儲能、充電站等領域，其中在車用領域潛力最大。雖然目前單個 SiC 元件的成本高於傳統 Si 元件，但 SiC 元件模組由於功耗、體積等特性表現相較過去 Si 材料在電池、冷卻成本降低、進一步增加車內空間，因此對電動車或油電混合動力汽車市場極具吸引力。故未來 SiC Power Device 市場規模最大的應用為汽車領域，主要在歐洲與中國的大型商用車與高階車款，之後會逐漸朝向中低階車款進行滲透。

三、氮化鎵功率元件(GaN Power Device)材料特性與發展課題

就氮化鎵功率元件(GaN Power Device)特性而言，因為電流沿著元件表面集中，因此不適合大電流用途，但相當適合應用在高頻的環境當中。目前就基板技術來看，GaN Power Device採用的基板材料主要有碳化矽基氮化鎵(GaN-on-SiC)及矽基氮化鎵(GaN-on-Si)兩種。

其中 GaN-on-SiC 結合了 SiC 優異的導熱性，以及 GaN 高功率密度和低損耗的特性，適合應用在高溫、高頻的操作環境，主要用於製造微波射頻元件，在散熱性能具優勢。但由於 SiC 晶圓目前生產尺寸仍限制在 4 吋與 6 吋，未來如何達到晶圓尺寸擴大化為首要目標。

GaN on Si 主要適用於電力電子相關的產品，基板技術發展的課題在於磊晶膜厚達到預定厚度較為困難，目前是使用 LED 磊晶製程常用在藍寶石或 SiC 基板進行外延生長的做法。除了藍寶石基板與 SiC 本身基板成本較高的問題外，GaN on Si 進行磊晶與外延生長時，需注意層與層之間的應力造成的變形，這些都是造成良率控制不易的因素，這也使得 GaN 基板的生產成本為 SiC 的 10 倍以上，未來如何有效降低成本為當務之急。

四、結論

過往在半導體製造的議題上，一直是以邏輯 IC(Logic IC)為重點，強調如何透過元件的高度集積，來增加 IC 本身的運算速度與降低功耗。由於類比 IC(Analog IC)的設計技術門檻較高，早期台灣相關設計人才投入較少，Analog IC 的相關設計與製造在台灣並未成為主流，而其中 Power Device 的領域更是的廠商較少觸及的話題。

然而隨著 5G 與 IoT 機能的擴張，以及對裝置電子化議題日漸蓬勃發展，對充電以及新能源的轉換需求大舉擴增，造成市場對功率半導體需求不斷增加。下一階段的後功率半導體時代期待新一代寬能隙材料在製程與材料上的持續變革，推升生產良率與量產性。

就應用層面來看，SiC Power Device 未來因新能源來源日益增加，IoT 電子裝置對功耗、充電等議題需求攀升，為 SiC Power Device 的擴大化帶來新機會。而 GaN Power Device 適合應用在高溫、高頻的操作環境，在散熱性能具優勢，可應用於 5G 基礎設施相關晶片。

因此功率半導體技術與市場擴大化揚帆待發，未來市場可期，也讓台灣業者開始啟動新一波的投資風潮，使得功率半導體成為晶圓代工 8 吋廠轉型新選擇。相信隨著新興應用的需求日漸開展，多樣化的 Power Device 產品亦將逐步滲透到我們的日常生活當中，成為不可或缺的半導體元件技術。

(本文作者為工研院產科國際所執行產業技術基磐研究與知識服務計畫產業分析師)

原文出處：ITIS 智網 <http://www.itis.org.tw/>