

SiC、GaN 初入成長期 創新方案輩出

■文：任苙萍

根據 The Information Network 統計，2019 年全球功率半導體市值約 410 億美元，佔全球半導體市場規模 10%。傳統功率分立器件的演進路徑為：二極體、電晶體、金屬氧化物半導體場效電晶體 (MOSFET，簡稱 MOS)、絕緣閘雙極電晶體 (IGBT)。以 MOS 作為逆變器 (inverter) 開關，固然可將頻率設計得很高以提高轉換效率、節省成本並縮減設備體積；但若需較大的工作電流，須加以並聯使用以提高電源的輸出電流、導致體積和成本增加，且恐損及電路的

穩定性和可靠度。現階段，碳化矽 (SiC) 與常規 IGBT 矽元件的製程技術仍有一段差距。

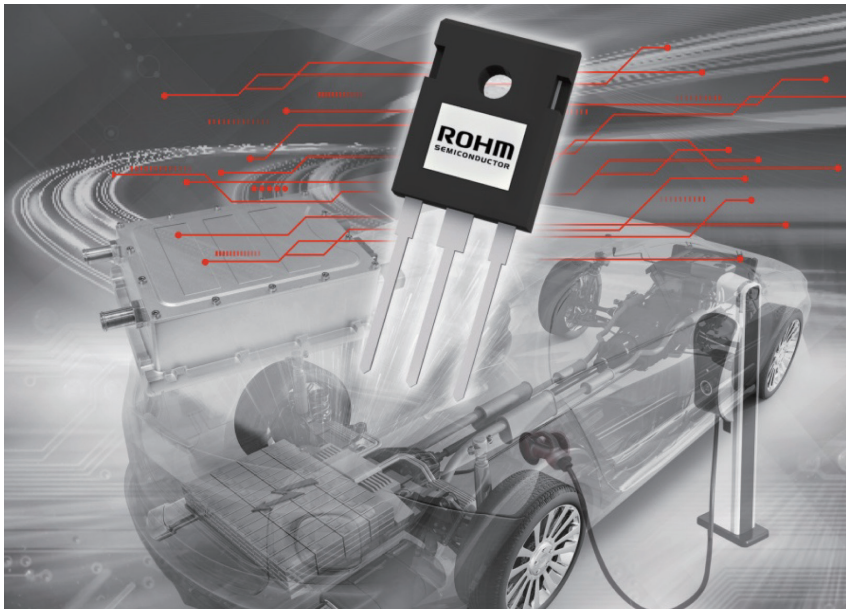
IGBT 短期不退場！另 QJT 新型矽架構鑽空出擊

IGBT 是由雙極性電晶體 (BJT) 和 MOS 所組成的複合式全控型電壓驅動功率元件，兼具電力電晶體 (GTR) 低導通電壓和 MOS 高輸入阻抗優點——驅動功率小且飽和壓降低。考量到良率、成本、穩定性和可靠度，特別適合直

流電壓 600V 以上之電力變頻、交流應用的 IGBT，在未來 3～5 年戲份仍吃重，矽基超接面 (Super junction) MOS 也不會消失。英國一家新創公司 Search for The Next (SFN) 就直言：SiC 需要更長的處理時間、製造碳足跡大，且無法像矽一樣進行擴展；因此，他們力主使用名為「BIZEN」的新型矽架構發展「量子接面電晶體」(QJT)。

QJT 是將量子力學應用於傳統雙極晶圓技術，號稱可提供與 SiC 或 GaN 相同的電壓電平、開關速度和功率處理性能，且相較於標準矽基 MOSFET，生產設備與製造複雜性皆不會增加，可在既有較大尺寸的矽生產線使用標準矽基板製造設備，自詡為「破壞性晶圓加工技術」。QJT 是 BIZEN 系列的首款電源裝置，可快速將 PJT (處理器結型電晶體) 集成到 BIZEN 器件，將生產週期縮減至八天。首批基於 BIZEN 的 QJT 器件使用八層雙極製程技術，包括三個額定電壓——1200V/75A、900V/75A、650V/32A，採用標準 TO247/TO263 功率 MOSFET 封裝。

圖 1：SiC MOS 車載充電器與牽引逆變器成長備受期待



資料來源：羅姆半導體 (ROHM) 提供

Microchip：可編程閘極驅動器 + SiC 功率模組套件，縮短開發時程

儘管目前 SiC 晶片成本仍較 IGBT 貴上 4 ~ 5 倍，但微芯科技 (Microchip) 著眼於碳化矽功率器件將受惠於全球交通電氣化轉型的不斷前行——從火車、有軌電車和無軌電車，到公共汽車、小汽車和電動汽車充電樁，宣佈推出 AgileSwitch 數位可程式設計閘極驅動器和 SP6LI SiC 功率模組套件——700V、1200V 和 1700V 蕭特基二極體 (SBD)，開發者從此無需再單獨採購功率模組和閘極驅動器 (包括用於成品生產的閘極驅動器)，無需在檢驗功率模組後、又花費時間開發自己的閘極驅動器，可大幅縮短數個月的開發週期。該套件現已量產並提供限量樣品。

Microchip 的 dsPIC 數位訊號控制器還具有高效能、低功耗和週邊設備配置靈活特點。結合 SiC 功率模組和軟體可配置閘極驅動器、採用 Augmented Switching 技術，可優化閘極開啓與關斷、短路回應和模組效率，同時降低電壓過衝 (Overshoot)、開關損耗、振鈴和電磁干擾，確保晶片、電源封裝和閘極驅動器的匹配，避免意外開發延遲；這種稱作「configure-at-a-click」的方法乃基於用滑鼠操控的 Windows 電腦介面，可加快前期評估到對最終優化時程。ASDAK-MSCSM70AM025CT6LIAG-01 AgileSwitch + 1200V、495A 單相接腳 SP6LI SiC 功率模組套件訂價

圖 2：Microchip AgileSwitchAdapterBoard-SP6LI-PowerModule



資料來源：Microchip 提供

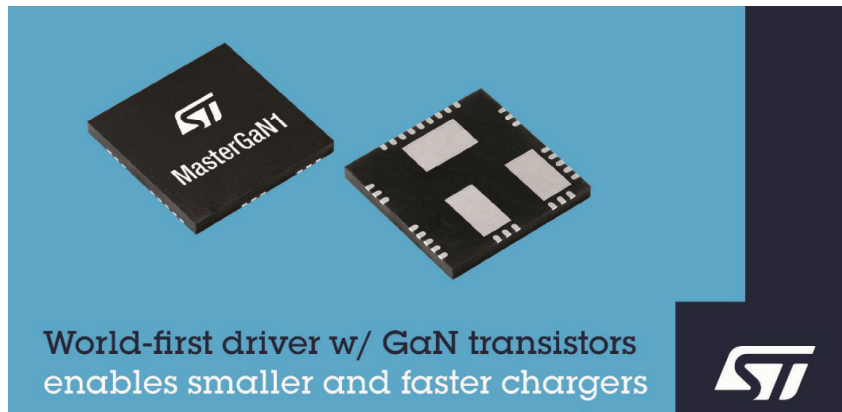
為 999.95 美元起。

ST：「MasterGaN」整合矽基驅動晶片和 GaN 功率電晶體

猶記多年前，SiC 蕭特基二極體曾發生電流洩漏隨時間漸增，致使設備發生災難性故障；現階段，工控或汽車對於 GaN 的接受度，似乎正在踩著類似步伐前進，技術

差距、穩定性和可靠度是瓶頸，光是長晶的時間和數量就天差地遠，更遑論晶圓尺寸與良率。所幸，半導體大廠今年有所突破：意法半導體 (ST) 推出全球首款嵌入式矽基半橋驅動晶片和一對 GaN 電晶體的「MasterGaN」產品平台，另已於 2018 年涉足氮化鎵 RF 功率電晶體的恩智浦半導體 (NXP)，特地為 5G 射頻功率放大器 (PA) 於美國錢德勒啓用全新 6 吋 (150mm)

圖 3：ST 推出全球首個單封裝整合矽基驅動晶片和 GaN 功率電晶體的解決方案



資料來源：ST 提供

氮化鎵晶圓廠。

目前 GaN 市場，功率電晶體和驅動 IC 通常是離散元件，使設計人員必須學習兩者間的協同作業以達到最佳性能。整合高壓智慧功率 BCD 製程與 GaN 技術的 MasterGaN 解決方案瞄準 400W 以下的輕量節能消費性電子、工業充電器以及 USB-PD 高功率電源轉接器市場，為高壓應用而設計、高低壓焊盤間的爬電距離 > 2mm；不僅可縮短產品上市時間、獲得預期性能，同時使封裝變得更小、更簡單、電路元件更少，且系統更可靠。相較於普通矽基充電器和轉接器，尺寸縮減 80%、重量降低 70%，且充電速度提升三倍。

該產品系列有多種不同的 GaN 電晶體尺寸 (RDS(ON))，並以腳位相容的半橋產品形式供貨，方便工程師升級現有系統，並盡可能不更動硬體。在高階的高效能拓樸結構中，例如，帶主動鉗位的反激或正激式變換器、諧振無橋圖騰柱 PFC(功率因數校正器)，以及在 AC/DC 和 DC/DC 轉換器、DC/AC 逆變器使用的其它軟開關和硬開關拓樸。MasterGaN1 是該平台的首款產品，整合兩個半橋配置的 GaN 功率電晶體和 STDRIIVE 600V 半橋閘極驅動晶片，現已量產，採 9mm x 9mm GQFN 薄型封裝、厚度僅 1mm，另提供產品評估板。

NXP：設立全新 6 吋晶圓廠作為創新中心，深化氮化鎵技術

恩智浦表示，5G 每個天線所需的功率密度呈指數級增長，卻仍需保持相同的主機殼尺寸並降低功耗，氮化鎵功率電晶體已成為滿足這些嚴格要求的新黃金標準，能大幅提高功率密度和效率。他們已針對氮化鎵技術進行深度最佳化，改善半導體中的電子陷阱 (electron trapping) 問題，藉由一流的線性度提供高效率和增益。新工廠已通過認證，首批產品將持續上市，預計今年底將達到產能滿載；該廠亦將作為創新中心，促進晶圓廠與恩智浦現場研發團隊之間的協作，以便加速開發、驗證並縮短產業創新週期。

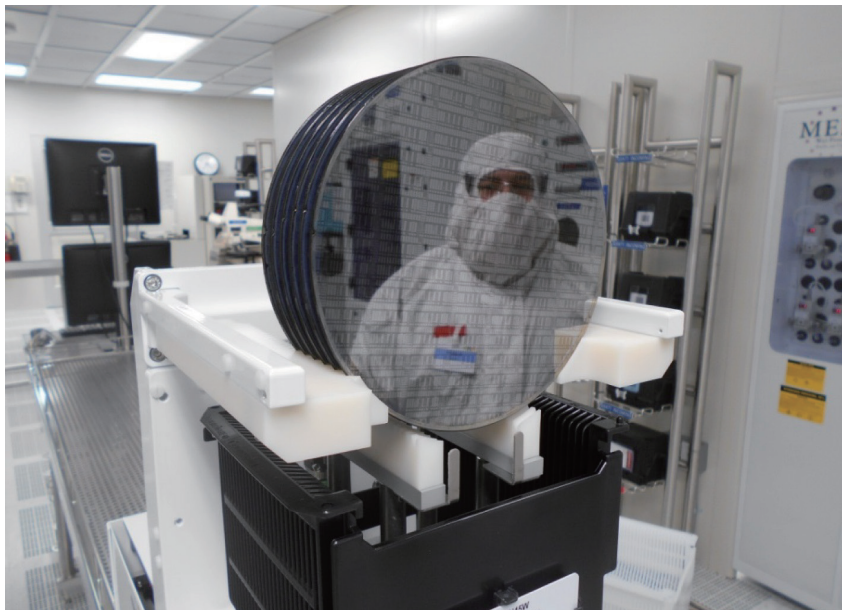
由於 GaN 電晶體的功率密度比 4G 基地台所使用的 LDMOS (橫

向擴散金屬氧化物半導體) 電晶體高出許多，所以通常是滿足 5G 基地台對 RF 苛刻要求的首選；其中，碳化矽基氮化鎵 (GaN-on-SiC) 可實現比矽基氮化鎵 (GaN-on-Si) 更高的功率密度，更適合用於高頻 MMIC、大型基地台 (大基站) 的射頻元件。惟顧及原料成本和製程複雜度，恩智浦傾向 GaN-on-Si 製程以保價格優勢。事實上，從消費電子到運輸、能源生產和分配，包括風能和太陽能發電等可再生能源的功率組件通常在 4 ~ 8 吋的 GaN/SiC 化合物半導體晶圓製造。

寬能隙製程難度高，新型塗層技術&參數測試機台來應戰

不過，由於這些功率器件易提升「介面陷阱」密度，導致寄生電流、低電子遷移率和閘極洩漏電

圖 4：恩智浦透過全新 6 吋晶圓廠及其在功率密度、增益和線性化效率方面的二十年氮化鎵開發專業，引領 5G 蜂巢基礎建設擴展



資料來源：恩智浦提供

流並弱化閾值電壓的穩定性。芬蘭派科森 (Picosun) 公司利用原子層沉積 (ALD) 薄膜塗層解決上述困境：將預清洗方法與高介電常數和大能隙絕緣子結合使用可降低介面陷阱密度。氧化鋁 (Al₂O₃)、氮化鋁 (AlN)、氧化鋯 (ZrO₂) 等高 k 介電層是降低功率器件閘極洩漏電流，並提高電子遷移率和閾值電壓穩定性的關鍵。ALD 可產出形狀最優、質地均勻且無缺陷的薄膜，並具有精確、數字可重複的厚度控制和清晰介面。

Picosun 還提到，若配合適當的 ALD 沉積設備，甚至可進行多層處理——即在單一製程產出各種功能的材料層或薄膜／奈米材料堆疊。順帶一提，為滿足寬能隙設備測試需求，量測大廠太科技 (Tektronix) 推出帶有 KTE 7 軟體的新型吉時利 S530 系列參數測試系統，可為晶圓廠最大程度減少投資並最大化每小時的晶圓產出。

S530 可承受 200V 電壓測試，而 S530-HV 機型更能在任何引腳上測試高達 1100V 的電壓，較競品提升 50% 以上的吞吐量；單個系統就能測試多種產品組合，系統級的 ISO-17025 針腳校準更可支援 IATF-16949 汽車標準。

寬能隙半導體也牽動變壓器

圖 5：太克—吉時利 S530 系列參數測試系統提供高速、完全靈活的配置，以隨時因應市場需求變化



資料來源：<https://tw.tek.com/datasheet/s530-parametric-test-system/s530-parametric-test-systems>

產業的生態。隨著越來越多的電動汽車、雲端資料中心、5G 基地台和太陽能／風電逆變器採用碳化矽和氮化鎵等高密度電路，為平面變壓器 (Planar Transformer) 帶來需求轉捩點；以色列佩頓公司 (Payton) 今年上半年的營收和

營業利潤，就因此而逆勢增長。看似前程繁花似錦的 SiC 和 GaN，還有哪些機會與挑戰？今後市況的可能形態？半導體先進大廠的供需預期、產品特色及應對策略又是如何？後續文章將有一系列精彩見解。CTA

COMPOTECHAsia 臉書

每週一、三、五與您分享精彩内容

<https://www.facebook.com/lookcompotech>