

Why 碳化矽 Cascode JFET 能輕鬆實現 Si 到 SiC 的過渡？

■作者：Brandon Becker

安森美電源解決方案事業部 (PSG) 行銷經理

簡介

電力電子元件高度依賴於矽 (Si)、碳化矽 (SiC) 和氮化鎵高電子遷移率晶體管 (GaN HEMT) 等半導體材料。雖然矽一直是傳統的選擇，但碳化矽元件憑藉其優異的性能與可靠性而越來越受歡迎。相較於矽，碳化矽具備多項技術優勢 (圖 1)，這使其在電動汽車、資料中心，以及直流快充、儲能系統和光伏逆變器等能源基礎設施領域嶄露頭角，成為眾多應用中的新興首選技術。

圖 1：矽元件 (Si) 與碳化矽 (SiC) 元件的比較

特性	Si	4H-SiC	GaN
能隙能量 (eV)	1.12	3.26	3.50
電子遷移率 (cm ² /Vs)	1400	900	1250
電洞遷移率 (cm ² /Vs)	600	100	200
擊穿電場 (MV/cm)	0.3	2.0	3.5
導熱性 (w/cm ² °C)	1.5	4.9	1.3
最高接面溫度 (°C)	150	600	400

什麼是碳化矽 Cascode JFET 技術？

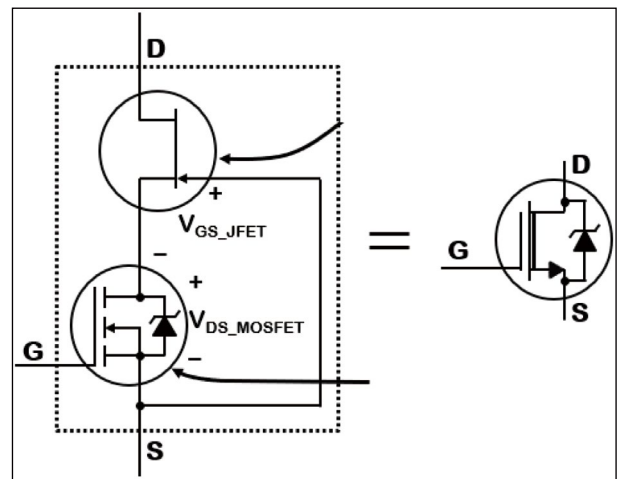
眾多終端產品製造商已選擇碳化矽技術替代傳統矽技術，基於雙極性接面電晶體 (BJT)、接面場效電晶體 (JFET)、金屬氧化物半導體場效電晶體 (MOSFET) 和絕緣閘雙極電晶體 (IGBT) 等元件開發電源系統。這些元件因各自特性 (優缺點不同) 而被應用於不同場景。

然而，安森美 (onsemi) 的 EliteSiC 共源共

閘接面場效電晶體 (Cascode JFET) 元件 (圖 2) 將這一技術推向了新高度。該元件基於獨特的「共源共閘 (Cascode)」電路配置——將常開型碳化矽 JFET 元件與矽 MOSFET 共同封裝，形成一個整合式的常閉型碳化矽 FET 元件。我們的碳化矽 Cascode JFET 能夠輕鬆、靈活地替代 IGBT、超接面 MOSFET 以及碳化矽 MOSFET 等任何元件類型 (圖 3)。

在本文中，我們將深入探討安森美 EliteSiC Cascode JFET 相較於同類碳化矽 MOSFET 的技術優勢。

圖 2：安森美碳化矽 Cascode JFET 元件框圖



碳化矽相較於矽的技術優勢

與矽元件相比，碳化矽 Cascode JFET 具備多項優勢。碳化矽作為寬能隙材料，具有更

高的擊穿電壓特性，這意味著其元件可採用更薄的結構支援更高的電壓。此外，碳化矽相較於矽的其他優勢還包括：

- 對於給定的電壓與電阻等級，碳化矽可實現更高的工作頻率，縮小零組件尺寸，顯著降低系統整體尺寸與成本。
- 在較高電壓等級 (1200V 或更高) 應用中，碳化矽可以較低功率損耗實現高頻開關。
- 在任何給定的封裝中，與矽相比，碳化矽元件具備更低的導通電阻 ($R_{DS(on)}$) 和開關損耗。
- 在與矽元件相同的設計中，碳化矽能提供更高的效率和更出色的散熱性能，甚至更高的系統額定功率。

碳化矽 Cascode JFET：無縫升級替代矽基方案，卓越性能全面釋放

這些優勢也體現在安森美 EliteSiC Cascode JFET 的性能中，這是一種更新且功能更強大的元件，針對多種功率應用進行了優化。

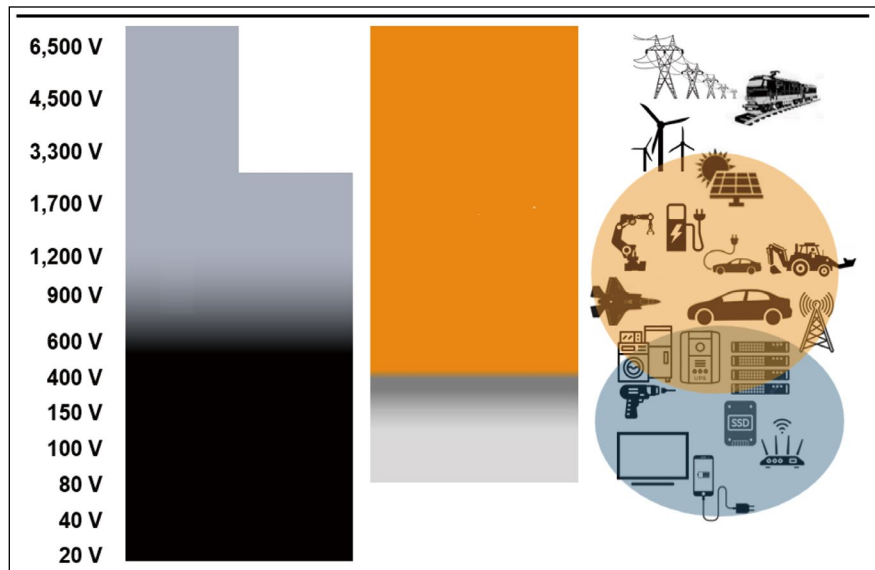
與矽基閘極驅動器相容：實現向碳化矽的無縫過渡

首先，碳化矽 Cascode JFET 的結構允許使用標準矽基閘極驅動器。這簡化了從矽基到碳化矽設計的過渡，提供了更大的設計靈活性。它們與各種類型的閘極驅動器相容，包括為 IGBT、矽超接面 MOSFET 和碳化矽 MOSFET 設計的驅動器。

其他優勢

- 在給定封裝中，擁有業內領先的汲極－源極

圖 3：按電壓分類的功率半導體元件



導通電阻 $R_{DS(on)}$ ，可最大程度地提高系統效率。

- 更低的電容允許更快的開關速度，因此可以實現更高的工作頻率；這進一步減小了如電感器和電容器等大體積無源元件的尺寸。
- 與傳統應用於這一應用領域的矽基 IGBT 相比，碳化矽 Cascode JFET 在更高電壓等級 (1200V 或以上) 下能夠實現更高的工作頻率，而矽基 IGBT 通常速度較慢，僅能在較低頻率下使用，因此開關損耗較高。
- 安森美 EliteSiC Cascode JFET 元件在給定 $R_{DS(on)}$ 的條件下，實現更小的晶粒尺寸，並減輕了碳化矽 MOSFET 常見的閘極氧化層可靠性問題。

SiC MOSFET vs. SiC Cascode JFET

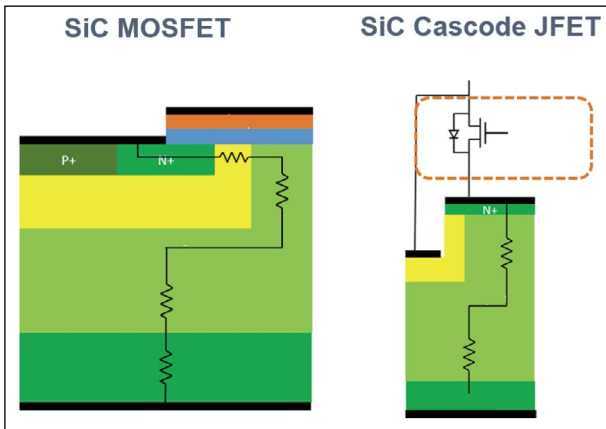
從下面的圖 3 中我們可以看到，SiC MOSFET 技術不同於安森美的整合式 SiC Cascode JFET。安森美設計的 SiC JFET 去掉了碳化矽 MOSFET 的閘極氧化層，這不僅消除了通道電阻，還讓晶粒尺寸更為緊湊。

安森美碳化矽 JFET 較小的晶粒尺寸成

為其差異化優勢的一個關鍵所在，“ $R_{DS(on)} \times A$ ”(RdsA) 品質因數 (FOM) 得以最佳體現，如圖 4 所示。這意味著對於給定的晶元尺寸，SiC JFET 具有更低的導通電阻額定值，或者換言之，在相同的 $R_{DS(on)}$ 下，安森美 SiC JFET 的晶粒尺寸更小。安森美在 RdsA FOM 以相對較小的產業標準封裝 (如 TOLL 和 D2PAK) 提供的超低額定電阻產品。

與 SiC MOSFET 相比，EliteSiC Cascode JFET 具有更低的輸出電容 C_{oss} 。輸出電容較低的元件在低負載電流下開關速度更快，電容充電延遲時間更短。這意味著，由於減少了對電感器和電容器等大體積無源元件的需求，現在可以製造出更小、更輕、成本更低且功率密度更高的終端設備。

圖 4：碳化矽 MOSFET 與安森美 Cascode JFET 的比較 (從外部看，Cascode 是一種常關 FET)。

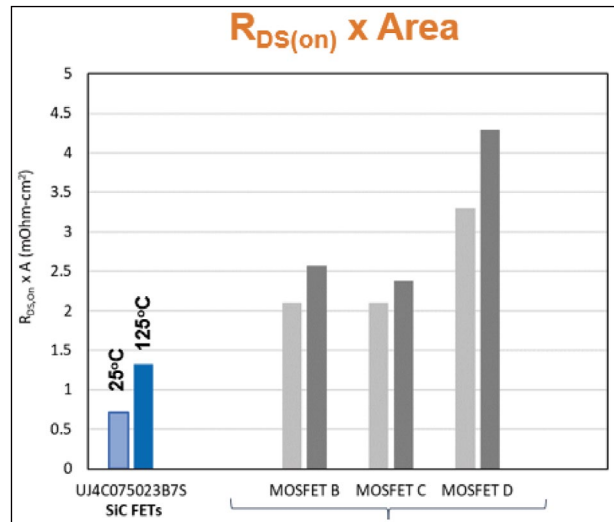


以下是關於 SiC MOSFET 的其他挑戰：

- 碳化矽 MOS 通道電阻高，導致電子遷移率較低。
- V_{th} 在閘極偏置較高情況下會發生漂移，意味著閘極到源極的電壓驅動範圍受到限制。
- 本體二極體具有較高的折點電壓，因此需要同步整流。

然而，使用安森美的 SiC JFET，上述缺陷得以根本解決，因為：

圖 5：安森美碳化矽 Cascode JFET 與碳化矽 MOSFET 的競爭產品對比



- SiC JFET 結構的元件上摒棄 MOS (金屬氧化物) 結構，因此元件更加可靠。
- 在相同晶片面積下，汲極至源極電阻更低。
- 電容更低，著更快的開關轉換和更高的頻率。

為什麼選擇安森美 EliteSiC Cascode JFET ？

安森美的整合式 SiC Cascode JFET 因其低 $R_{DS(on)}$ 、低輸出電容和高可靠性等獨特優勢，能夠提供卓越的性能。此外，碳化矽 Cascode JFET 架構使用標準矽基閘極驅動器，簡化了從矽到碳化矽的過渡過程，可在現有設計中實施。因此，它為從矽到碳化矽的過渡提供了靈活性 — 實施簡單，同時得益於 SiC 技術而提供卓越的性能。

碳化矽 JFET 的增強性能使其在用於人工智慧數據中心、儲能和直流快充等 AC-DC 電源單元中實現更高的效率。隨著對更高功率密度和更緊湊外形需求的增加，安森美 SiC Cascode JFET 能夠實現更小、更輕和更低成本的終端設備。 CTA