

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，成為衆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°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？

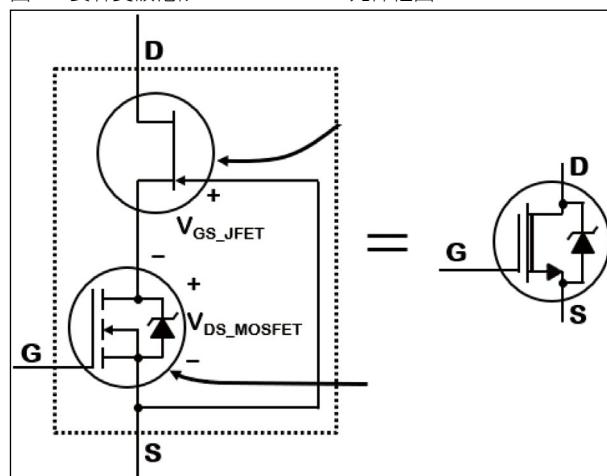
衆多終端產品製造商已選擇碳化矽技術替代傳統矽技術，基於雙極性接面電晶體 (BJT)、接面場效電晶體 (JFET)、金屬氧化物半導體場效電晶體 (MOSFET) 和絕緣閘雙極電晶體 (IGBT) 等元件開發電源系統。這些元件因各自特性（優缺點不同）而被應用於不同場景。

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。

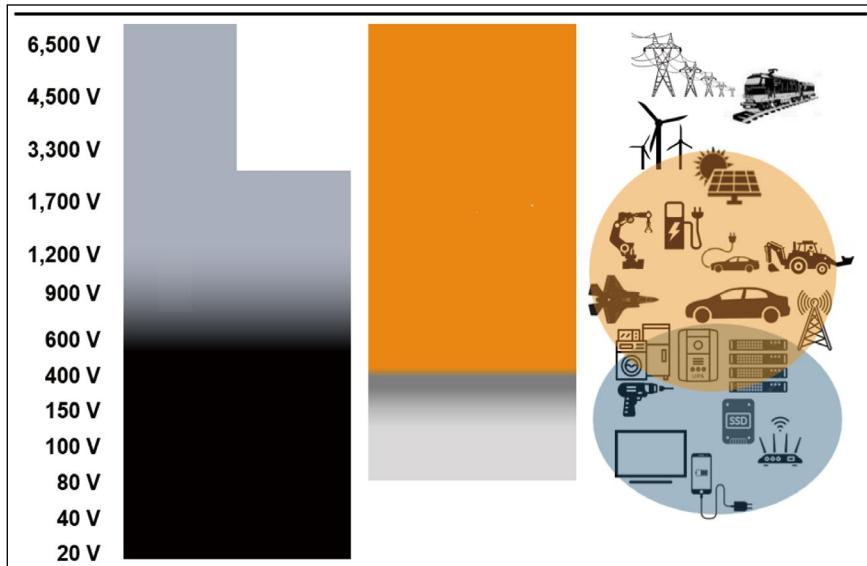
與矽基閘極驅動器相容：實現向碳化矽的無縫過渡

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

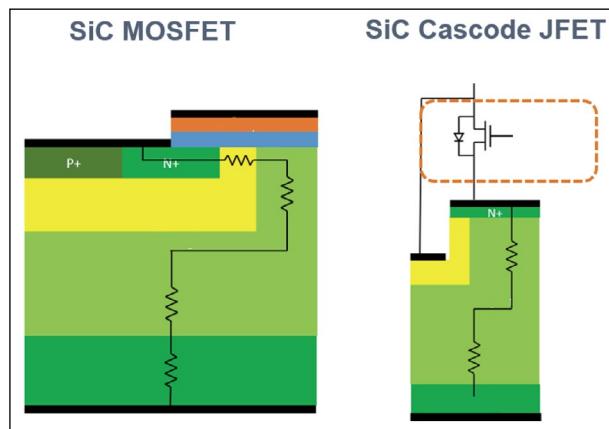
從下面的圖 3 中我們可以看到，SiC MOSFET 技術不同於安森美的整合式 SiC Cascode JFET。安森美設計的 SiC JFET 去掉了碳化矽 MOSFET 的閘極氧化層，這不僅消除了通道電阻，還讓晶粒尺寸更為緊湊。

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，“ $R_{DS(on)} \times A$ ”(R_{dsA})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，SiCJFET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 R_{dsA} 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)。

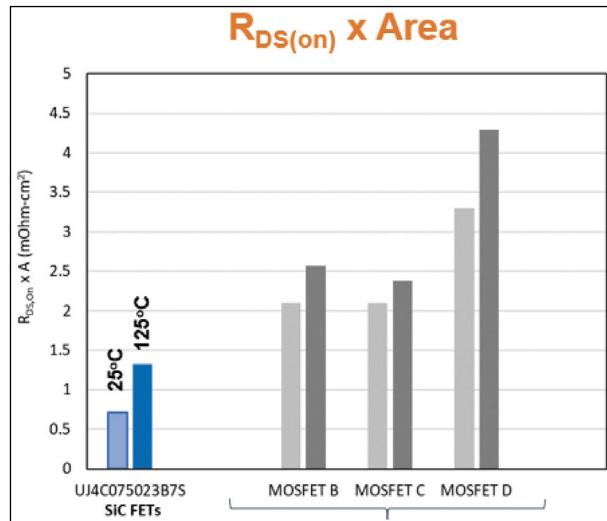


以下是關於 SiC MOSFET 的其他挑戰：

- 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。