

應用結溫升高，將大大改變電力系統的設計格局

SiC 助力功率半導體元件

■作者：Cissoid 中國總經理 / 羅寧勝博士

Yole Development 的市場調查報告表明，自矽功率半導體元件誕生以來，應用的需求一直推動著結溫升高，目前已達到 150°C 。隨著第三代寬能隙半導體元件（如 SiC）出現以及日趨成熟和全面商業化普及，其獨特的耐高溫性能正在加速推動結溫從目前的 150°C 邁向 175°C ，未來將進軍 200°C 。借助於 SiC 的獨特高溫特性和低開關損耗優勢，這一結溫不斷提升的趨勢將大大改變電力系統的設計格局。這些典型的、面向未來的高溫、高功率密度應用，包括深度整合的電動汽車動力總成、多電和全電飛機乃至電動飛機、移動儲能充電站和充電寶，以及各種液體冷卻受到嚴重限制的電力應用。

電動汽車的動力總成（電機、電控和變速箱）已走向三合一，但目前僅僅是在結構上堆疊在一起，屬於弱整合。未來在結構上，動力總成的深度整合是必然路徑，因為，這樣可能使體積減少約三分之一，重量減少約三分之一，內耗減少約三分之一，

並有可能使總成本壓縮 2 至 4 倍。然而，電控部分將與電機緊密結合，深度整合使功率密度大幅提高，高溫即是所面臨的不可回避的最大挑戰。

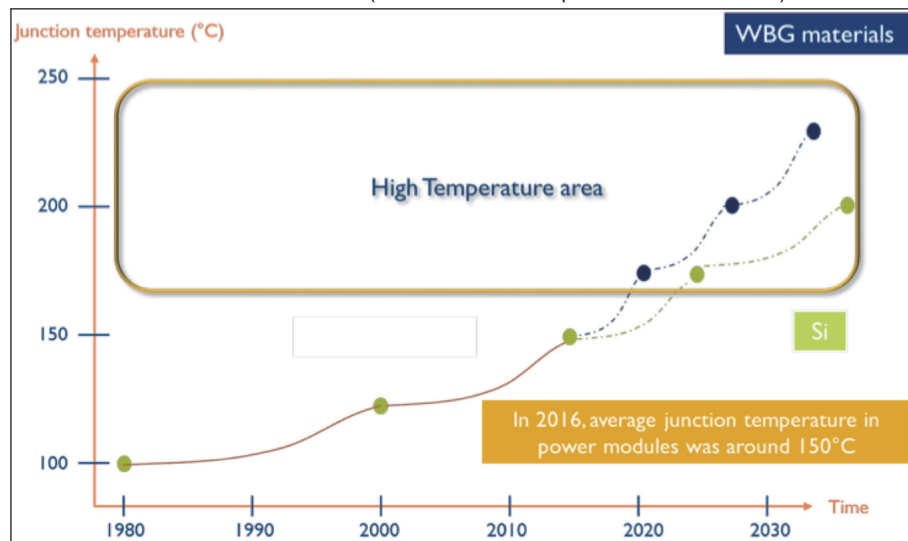
傳統飛機中控制尾舵、機翼、起落架等機械動作都是靠經典的液壓傳動。液壓油作為液體，受環境影響很大並且維護成本很高，目前已趨向於部分或全部的電氣化，此即多電和全電飛機的概念。在飛機上採用電機替代液壓油路實現機械操作，可靠性高、可維護性強，且方便冗餘備份設計。然而，最大的困境是飛機上的電機和電控不允許配備水冷，且只能依靠強制風冷及自然冷卻，因此，實現多電或全電飛機、乃至電動飛機的電控設計，需要率先解決的重大技術難題即是高溫。

另外，在許多應用場景中，半移動式儲能充電站和全移動式充電寶將有效地填補固定式充電的缺失，特別是隨著電動車大規模普及，這一點將表現得更為明顯。然而，對於這類移動充電應用，水冷

機構將不僅帶來額外重量和體積負擔，更重要的是它會消耗自身攜帶的存儲電能，因此，電控採用自然冷卻將是佳徑，但必須妥善處理好電控系統熱管理的問題。

除了上述三種典型的高溫應用外，在許多特種工業應用中，液體冷卻受到嚴重限制時，電控系統將面臨同樣的高溫挑戰。耐高溫的電控技術是實現以上高溫應用的關鍵，其核心實現技術是 SiC 功率元件的高

圖 1：功率元件的應用結溫在不斷升高（來源於 Yole Development 的市場研究報告）



溫封裝技術和與之相匹配的高溫驅動電路技術。

SiC 材料及其器件結構有天生的耐高溫能力，在真空條件下甚至可耐達 400 至 600°C 的高溫。在實際應用中，為防止接觸空氣而產生氧化，SiC 元件必須有封裝，且若要耐高溫，必須採用耐高溫的封裝。結溫 150°C 是業界目前的最高標準，175°C 結溫等級剛剛開始展露，有准標準化封裝可以採用，而 200°C 乃至更高溫的封裝對封裝材料和工藝要求十分嚴苛，而且必須根據裸片特徵進行定制設計，以保證導熱和散熱性能要求。

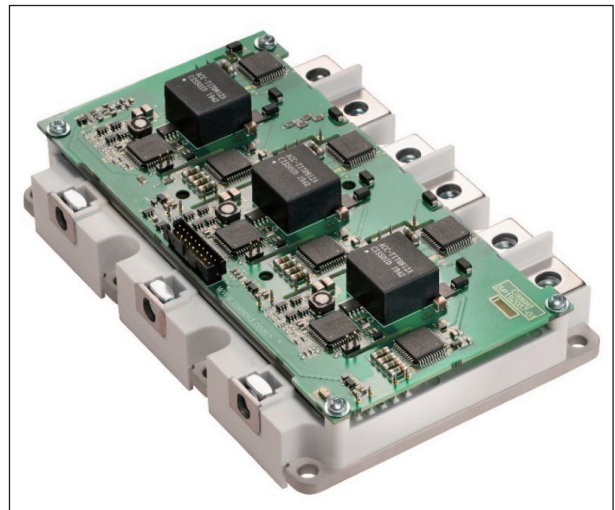
SiC 功率元件和模組的應用離不開驅動電路及其相應的晶片。然而，大多數驅動電路晶片都是普通的矽元件，均不能耐高溫，其若能在高溫如 175°C 下工作 1000 小時，已經是鳳毛麟角了。另外，耐高溫只是問題的一方面，更嚴重的是高溫時元件性能的一致性問題。普通矽元件在 70°C 之上性能弱化得非常之快，因此在高溫下無法應用。歷經二十多年創新研發和應用考驗，Cisroid 公司 SOI 特種矽元件已實現傑出的耐高溫能力，其在 175°C 時可連續工作 15 年之長，且全溫度範圍內性能有極佳的一致性，是支持 SiC 高溫應用的支柱。

Cisroid 公司基於 SOI 的特種矽半導體技術，全面突破了矽半導體器件的溫度困境，明顯地規避了矽元件的溫度載流子效應（本征載流子濃度隨溫度升高而升高）和結溫效應（有效結勢壘隨溫度升高而縮減）的影響，不僅能耐高溫並長期工作，而且可在全溫度範圍保持良好的性能一致性。因此，Cisroid 公司的高溫半導體元件長期以來為航空航太和石油勘探領域所青睞，且已有近二十多年高溫應用歷史和經驗。近年來，隨著第三代半導體 SiC 功率元件的普及，Cisroid 開發了針對 SiC MOSFET 的耐高溫驅動晶片和方案。這一獨特的耐高溫性能使其得以盡可能地靠近 SiC 功率模組，以使驅動回路的寄生電感達到最小，從而更有效地抑制振鈴並實現最佳的效率。

最近，針對電動汽車和全電 / 多電飛機的功率電驅動應用，Cisroid 還推出了三相全橋 1200V SiC

MOSFET 智慧功率模組 (IPM) 體系，該體系是一個可擴展的平臺系列。該體系利用了低開關損耗技術，提供了一種已整合的解決方案，即 IPM。IPM 是由門極驅動電路和三相碳化矽功率模組組成，兩者的配合已經過優化和協調，實現了 SiC 元件優勢的充分利用。目前出品的 CXT-PLA3SA12450AA 模組的額定結溫高達 175°C，門極驅動電路可以在高達 125°C 的環境中運行。另外，隨應用條件和場景的需求，通過更換更高等級的被動元器件和主要晶片及模組的封裝可以進一步提升運行溫度等級。

圖 2：CXT-PLA3SA12450AA 三相全橋 1200V/450A SiC MOSFET 智慧功率模組



自矽半導體元件誕生以來，高溫應用一直是其應用之命門。Cisroid 創新的特種 SOI 矽晶片技術，率先在高溫半導體分立器件和小規模積體電路上實現了重大突破。隨著第三代半導體如 SiC 功率半導體器件的日趨成熟和普及，其固有的耐高溫性能與 Cisroid 高溫半導體元件形成了非常好的搭配，由此將大大改變電力系統設計的格局，為設計工程師提供了全新的拓展空間。CTA