

評估短路條件下 1200 V 碳化矽 MOSFET 的穩固性

碳化矽 MOSFET 是功率轉換器效率最大化的最佳解決方案嗎？本文探討了最近在 1200 V，80mΩ 碳化矽 MOSFET 上進行的研究，突出了其短路能力。

■作者：Littelfuse 公司供文

碳化矽 (SiC) MOSFET 具有極高的開關損耗，可最大限度地提高功率轉換器的效率。然而，在確定這些器件是否是用於實際功率轉換應用的實際解決方案時，它們的短路魯棒性一直是討論的主題。

由於相對較小的晶片尺寸，較高的短路電流密度和較小的熱容量意味著碳化矽 MOSFET 的短路耐受時間短於類似額定矽 IGBT 的短路耐受時間。幸運的是，最近對 1200 V，80mΩ 碳化矽 MOSFET 的研究表明，支持更快回應時間的正確柵極驅動設計可以保護碳化矽 MOSFET 免受短路損壞。本研究將討論 1200 V，80mΩ 碳化矽 MOSFET 的短路能力。從各種操作條件下執行的破壞性測試中收集的結果將被呈現和解釋，以及從應用和設備角度進行設計權衡。此外，本研究的另一部分將各種現成的柵極驅動 IC 的性能與去保護功能進行了比較。

碳化矽 MOSFET 結構和短路能力

當比較具有相似電流額定值的矽 IGBT 和碳化矽 MOSFET 時，碳化

矽 MOSFET 在短路條件下具有 5-10 倍的電流密度。更高的暫態功率密度和更小的熱容導致更快的溫升和更短的短路耐受時間。MOSFET 飽和電流主要

圖 1a: 短路測試電路原理圖

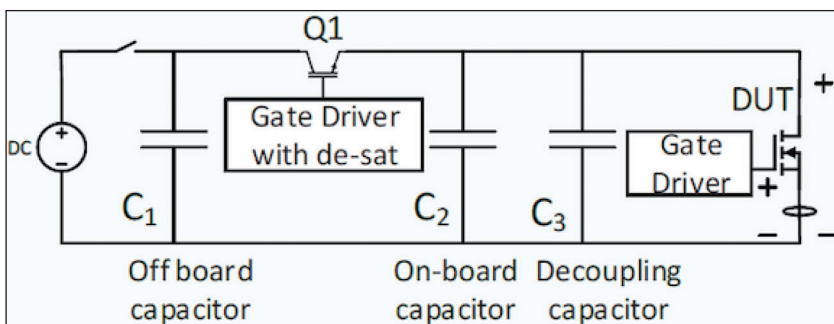
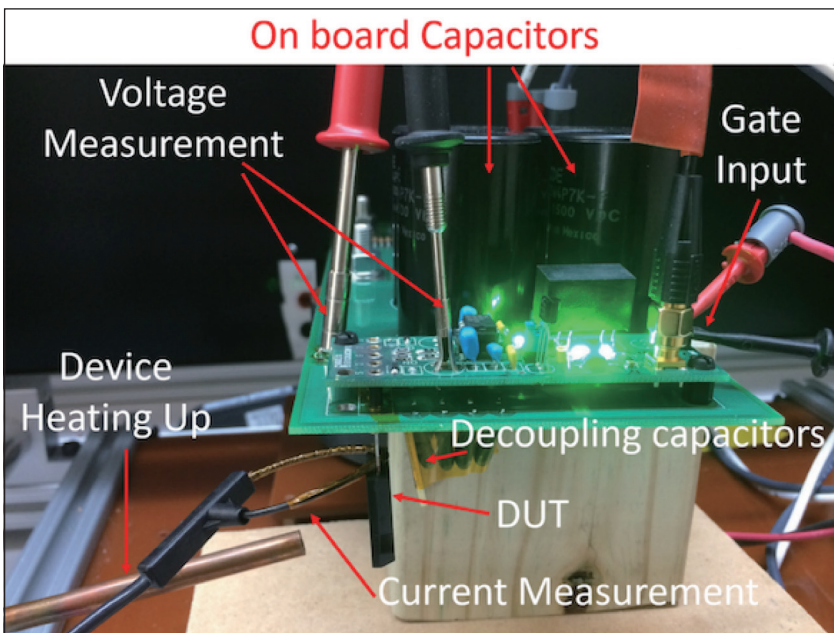


圖 1b: 短路測試設置。丙烯酸外殼圍繞測試裝置，以在發生災難性器件故障或爆炸時保護設備和實驗者。



由溝道區域的設計控制。儘管需要較短的溝道和較高的導通狀態柵極電壓來降低導通電阻，但它們也會增加飽和電流並減少短路耐受時間。在導通狀態電阻和短路電流之間的這種權衡是碳化矽 MOSFET 設計中固有的，最好的解決方法是通過設計比傳統 IGBT 柵極驅動器更快回應時間的柵極驅動。這允許使用碳化矽 MOSFET 的設計來適應電路條件，而不會影響器件的導通電阻或晶片尺寸。

破壞性短路測試結果

測試電路 (圖 1a 和 1b) 設計用於評估各種工作條件下 1200 V, 80mΩ 碳化矽 MOSFET (Littelfuse LSIC1MO120E0080) (圖 2) 的短路能力。高頻寬，高壓無源探頭用於測量漏極 - 源極 (VDS) 和柵極 - 源極 (VGS) 電壓；Rogowski 線圈用於器件電流 (IDS) 測量。

圖 2: 此評估中的待測器件是 Littelfuse LSIC1MO120E0080 系列增強型 1200 V, 80 mΩ N 通道碳化矽 MOSFET

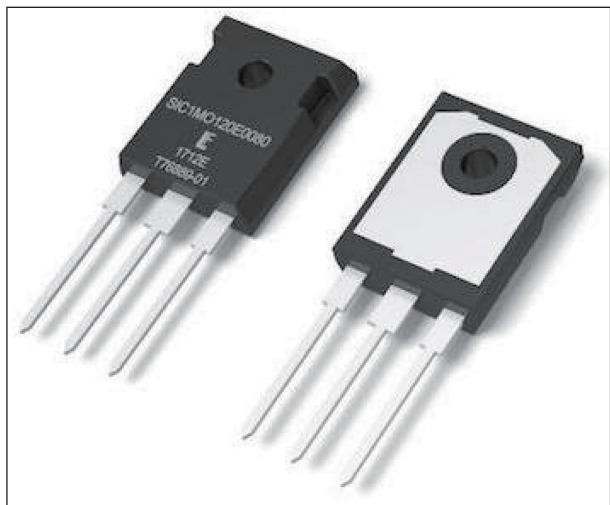


圖 3 顯示了室溫下 600 V 漏極電壓和 20 V 柵極電壓的 10 個樣品的短路測試結果。圖 4 和圖 5 顯示了破壞性故障的短路耐受時間和臨界能量結果。這些器件的結果分佈均勻，短路電流約為 250 A，所有器件的短路耐受時間均大於 7μs。

圖 6 顯示了在柵極電壓為 20V 時，各種漏極電壓從 200 V 到 800 V 下的短路測試結果。雖然峰值電流相似，但在 250 A 左右的情況下，短路耐久時

圖 3: 不同器件的短路測試結果

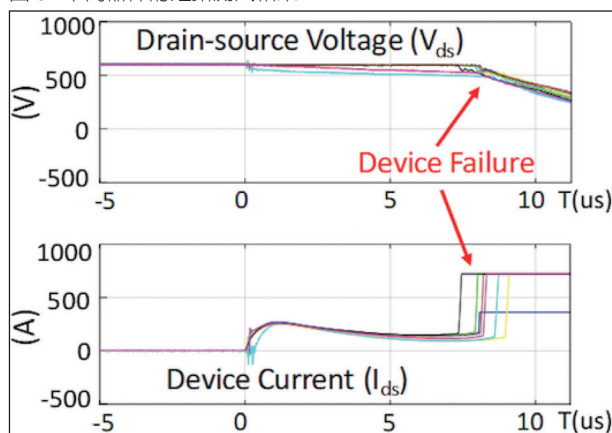


圖 4: 在 600V DC 漏極電壓下的耐受時間

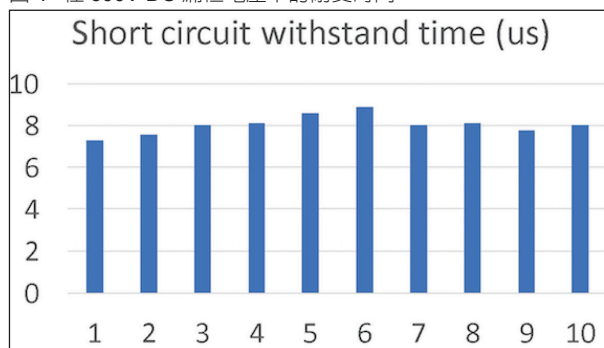
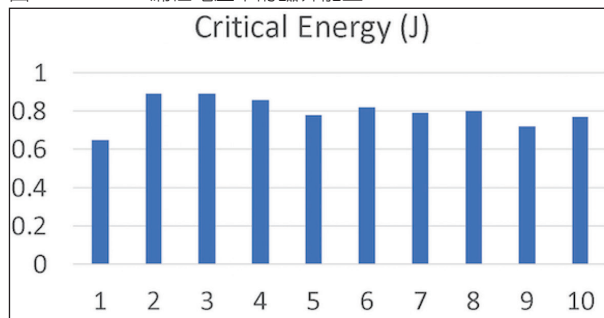


圖 5: 600V DC 漏極電壓下的臨界能量



間從 200 V 的 20μs 以上下降到 800 V 的 3.6μs，隨著直流母線電壓的增加，暫態功耗也顯著增加。因此，溫升更快，導致短路耐受時間更短。

圖 7 給出了當漏極電壓為 600 V 時，柵極電壓為 15V 和 20V 時的測試結果，結果表明峰值電流與柵極電壓密切相關，從 20V 柵極電壓的 250 A 下降到 15V 柵極電壓下的 100 A，支持了設計權衡理論。關於驅動電壓 / 導通電阻 / 短路峰值電流與耐久時間的關係，本文前面對此進行了討論。研究發現，對器件的短路耐久時間沒有明顯影響的其他因素是器件的外柵電阻和環境溫度。

圖 6: 不同直流漏極電壓下的短路

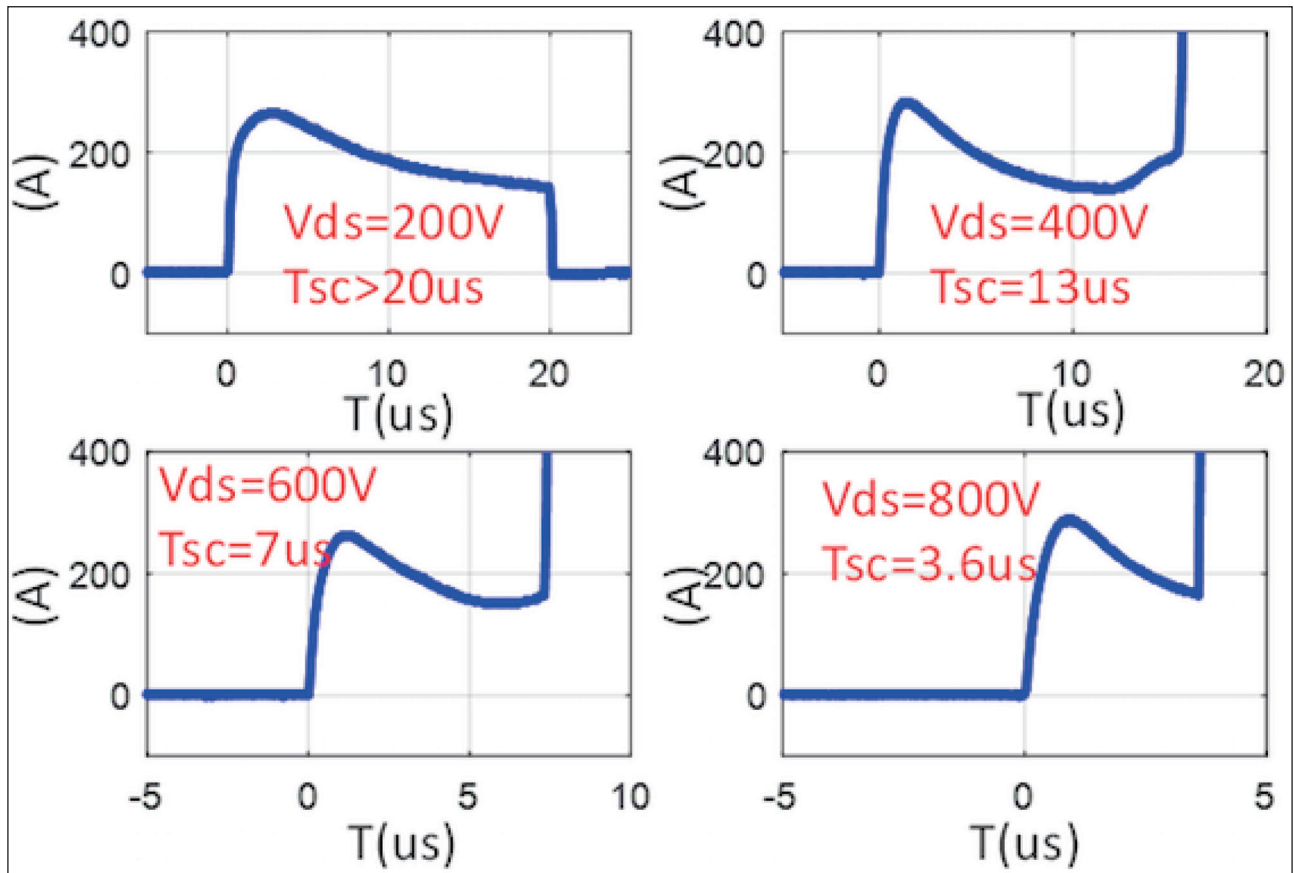
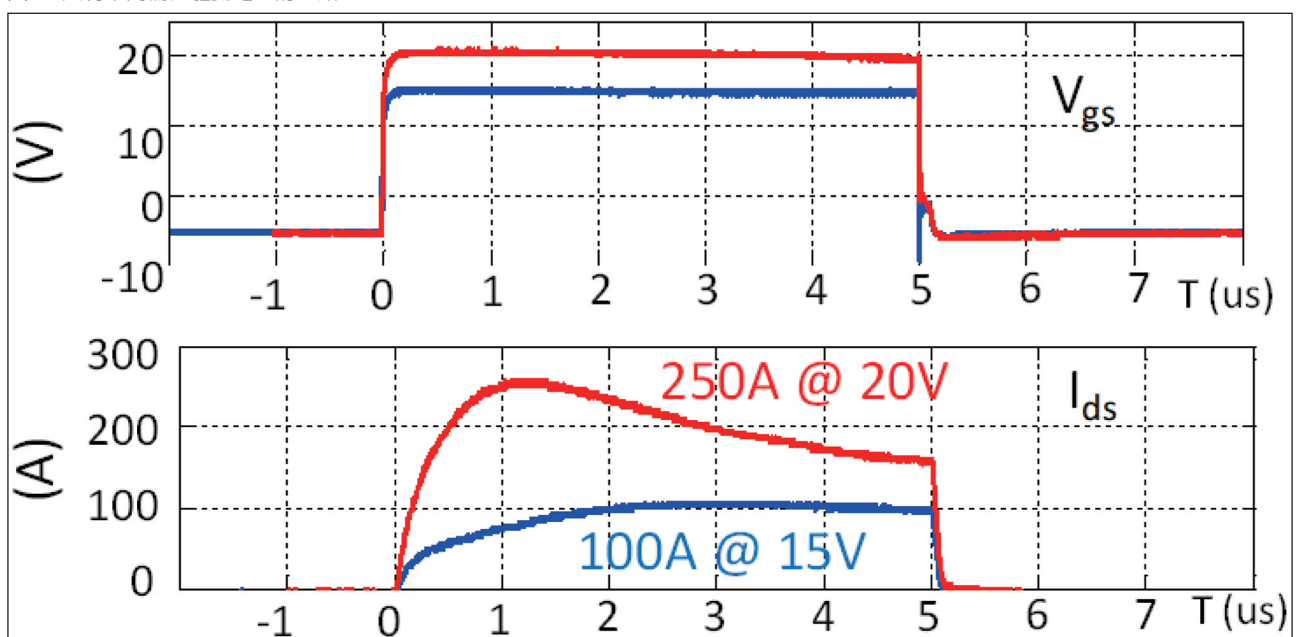


圖 7: 具有不同柵極驅動電壓的短路



通過柵極驅動器晶片去飽和保護來實現短路保護

為了保護碳化矽 MOSFET 免受短路故障的影響，需要柵極驅動器來檢測過流情況，並在耐受時間內關閉 MOSFET。為矽 IGBT 器件開發的幾個現成的驅動器晶片提供了一個集成的去飽和 (de-sat) 保護功能，在接通狀態下監視 VDS 並在發生過電流事件時關閉該器件。如果驅動器晶片能夠響應得足夠快，那麼相同的驅動器晶片可用於碳化矽 MOSFET 的短路保護。

圖 8 顯示用各種驅動器晶片實現去飽和功能的電路。快速動作矽二極體 (DD) 在關斷狀態下阻斷 VDS，齊納二極體 (DC) 在開關轉換期間保護去飽和引腳，電容器 (CB) 控制消隱時間以避免開關瞬態過程中的誤觸發。

圖 9 顯示了一個具有去飽和保護功能的晶片的短路事件的波形。

由於碳化矽 MOSFET 的快速開關速度和所需的優化功率回路佈局，瞬態事件後器件電壓和電流達到穩態所需的時間遠遠短於 IGBT 的時間。因此，在基於碳化矽的設計中使用的驅動器晶片去飽和功能所需的消隱時間也應該短得多。為了保護碳化矽 MOSFET，通常選擇小於 100 pF 的 CB，消隱時間可短至 200 ns，以減少驅動器晶片的總響應時間。

表 1 比較了不同驅動器晶片與 33 pF 消隱電容的性能結果表明，每個晶片都可以在 1-4 μ s 內擊穿期間保護碳化矽 MOSFET。它們中的每一個還具有“軟關斷”功能，可在短路條件下緩慢關斷器件，以保護 MOSFET 和驅動晶片。

半橋式短路保護

最後，在單個器件和半橋配置中，在短路條件下一起測試具有最長回應時間的碳化矽 MOSFET 和柵極驅動器晶片。圖 10 顯示了具有 800 V DC 匯流排電壓的擊穿瞬變期間的測試波形。在半橋配置中，頂部器件在整個瞬態期間保持接通，底部器件由具有去飽和功能柵極驅動器驅動。

圖 8: 實現去飽和

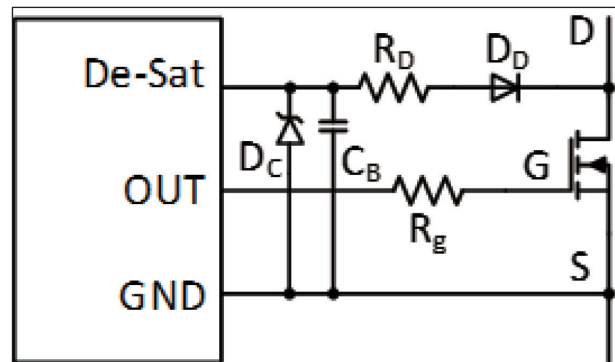


圖 9: 去飽和保護瞬態

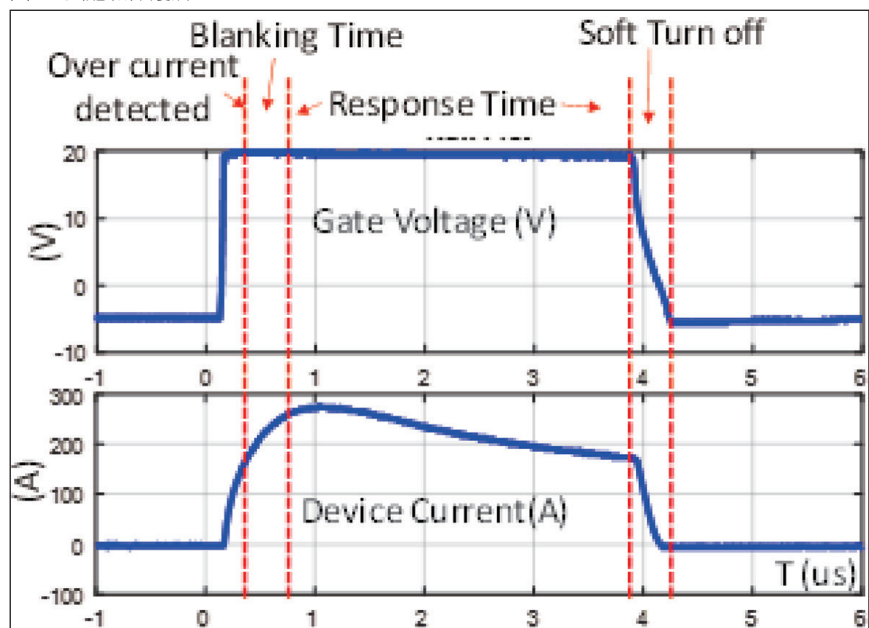


表 1: 商用驅動器晶片評估

	Maximum fs	De-sat response
Driver IC 1	300 kHz	3.5 μ s
Driver IC 2	>500 kHz	2.5 μ s
Driver IC 3	>500 kHz	1.2 μ s

圖 10: 左圖：單個器件的擊穿保護。右圖：半橋配置中的擊穿保護。

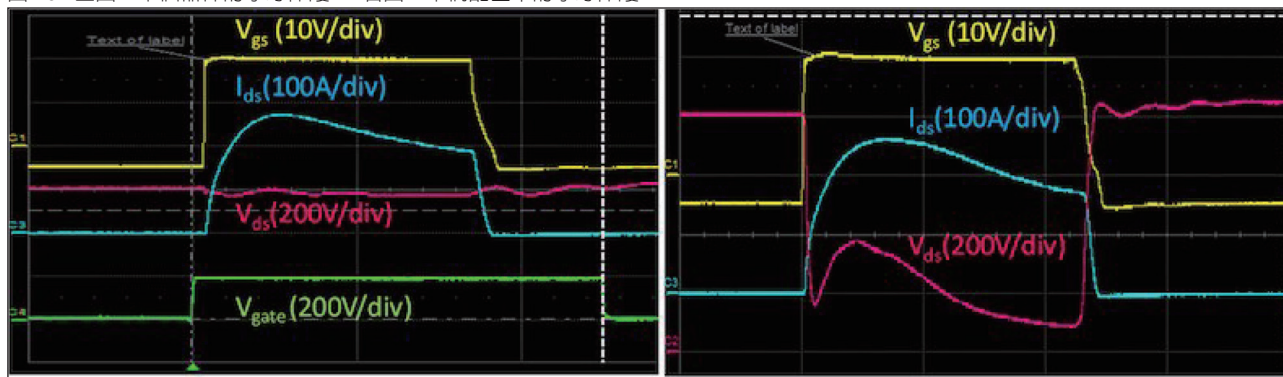


圖 10 中的結果表明，在兩種條件下都可以安全地關閉碳化矽 MOSFET。結果還表明，在半橋配置中，直流鏈路電壓由兩個器件共用，每個器件的實際電壓遠低於直流匯流排電壓，這為保護電路的反應時間提供了更多的餘量。如果底部和頂部設備都具有擊穿保護功能，則任何一個都可以保護整個電路。

總結

本文介紹了 1200 V 碳化矽 MOSFET 的短路能力以及使用現成驅動器晶片進行過流保護的解決方案。我們還討論了幾個設計考慮因素以確保準確的測量。測試結果表明，碳化矽 MOSFET 的短路能力

與漏極電壓和柵極電壓密切相關，但對外殼溫度和開關速度不敏感。通過降低柵極驅動電壓或降低匯流排電壓可以實現更長的耐受時間，但這些解決方案將降低碳化矽 MOSFET 的性能。

更好的解決方案是實現過流保護，以檢測設備過電流並安全關閉設備。具有去保護功能的商用 IGBT 驅動器可有效保護碳化矽 MOSFET，但需要對電路進行優化，以確保去保護的總回應時間足夠短以保護碳化矽 MOSFET。我們比較了具有去飽和功能的各種現成柵極驅動晶片的性能，並展示了可在實際短路條件下保護 1200V 碳化矽 MOSFET 的柵極驅動設計。CTA

(本文由 Levi Gant, Gin Sheh 和 Xuning Zhang 博士共同撰寫。)

產品、營收雙贏，ATEN 展望下個里程碑

展望 2019，宏正自動科技 (ATEN International) ATEN 即將邁入第 40 年，面對企業推動智慧化以加速產業升級的趨勢，ATEN 持續以專業影音結合 IT 的技術優勢，鎖定智慧製造、企業協作會議與中央控制管理等領域，協助全球客戶提升競爭優勢。

宏正自動科技財務長暨發言人陳健南表示，10 月份營收新台幣 4.83 億元，單月營收創歷史新高，較去年同期成長 12%。全年 1 至 10 月合併營收則達新台幣 42.38 億元，較去年同期成長 6%，其中 ATEN 主力產品帶動營收更帶動獲利，IT 架構管理之遠端管理產品較去年同期成長 15%、專業影音產品成長 12%、USB 週邊設備成長 40%。獲利方面，前 3 季稅後每股盈餘 6.63 元為歷年來獲利新高，除業外投資收益挹注外，本業毛利率表現依舊亮眼，前 3 季毛利率 59.3%。在營收獲利均創新高的助益下，2018 年是 ATEN 豐收的一年，也為 ATEN 邁入四十年創下別具意義的里程碑。

展望 2019，林勇達資深副總經理提出 ATEN 全球展示中心佈局的最新進展及未來擘劃，西班牙馬德里展示中心已於 2018 年 11 月底開幕，ATEN 於全球已佈建了 24 所展示中心，其中 6 所於 2018 年完成。未來 ATEN 將持續於全球各地拓展展示中心據點，充分展現 ATEN 產品所帶來的各項優勢與彈性運用，提供客戶身歷其境的體驗，感受 ATEN 為各個產業未來應用所帶來的便利及整合。