

汽車級認證裸晶 IGBT 的單片式電流和溫度檢測

安森美半導體的 650V 汽車級認證裸晶 IGBT 針對正在開發汽車牽引逆變器先進方案的電源模組製造商。IGBT 產品系列 PCGAXX0T65DF8 包括 160、200 和 300A 型款。單片式溫度和電流檢測技術可以直接以晶片測定接合點溫度和集電極至發射極電流。與晶片外的溫度和電流檢測相比，這種技術具有數項優點。本文將介紹這種檢測電路，並概述其應用於混合動力汽車 / 電動汽車 (H/EV) 牽引逆變器的優勢。

■作者：Fabio Necco 和 Roy Davis/ 安森美半導體

H/EV 的牽引逆變器需要崩潰電壓 650V 範圍的功率半導體裝置。安森美半導體新的 AEC-Q101 汽車級認證裸晶 IGBT 產品系列設計用於現時和下一代混合 / 插電式混合、燃料電池及電池供電的電動汽車。我們將這些汽車簡單稱為 H/EV。

安森美半導體經汽車級認證的裸晶 IGBT 採用了第三代溝槽型場截止 IGBT 技術，並與符合汽車級標準認證細膩的快速恢復二極體匹配，並具有更多特徵和選擇，例如可改變柵極墊尺寸和位置，以容納不同直徑的鋁線、重新修改裸晶的尺寸並客製化崩潰電壓。

安森美半導體提供三種額定電流 (160、200 和 300A)、具備或不具備整合單片式溫度和電流檢測電路的全新裸晶 PCGA160T65NF8、PCGA200T65NF8 和 PCGA300T65DF8 IGBT。確保在接合點溫度 -40 至 +175°C 範圍內的崩潰電壓是 650V。

裸晶 IGBT 通常由電源模組製造商使用，這些製造商設計 H/EV 牽引逆變器，以實現高水準的功率整合和可靠性，或者特殊的電源互連。最重要的目標是突破標準模組產品的功率限制。

功率元件的挑戰

設計電源半導體時，設計人員面臨以下挑戰：

- 功率損耗
- 熱管理
- 短路、過流 / 過壓和過熱保護
- 電流測定

功率損耗受 IGBT 的 V_{CEon} 值、開關行為 (接通時間和斷開時間)、以及開關頻率的影響。這些特性受 IGBT 技術、柵極驅動電路、封裝的雜散電感及熱管理系統的特性所影響。

由於功率損耗只能減小但永遠不可能完全消除，因此，熱管理的目標是消除從半導體損耗而

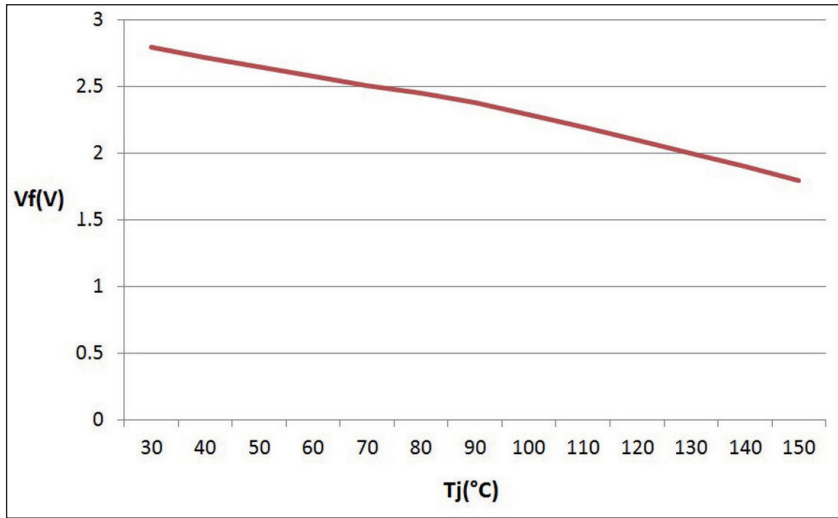
產生的熱量。消除這種熱量最好的方法是改善矽本身和外界的熱傳導。近來，使用者採用的更先進功率模組可在功率元件的頂部和底部採用燒結技術，並結合雙面冷卻，從而改善熱傳導。

設計人員面臨的下一個問題是防止 IGBT 過熱、過壓和過流。要限制過壓，可以利用合適的設計和控制電流通路的雜散電感量，並控制電流的變化速率來達成。

過流和過熱是在使用功率半導體元件時要避免發生的事件。透過及時檢測過電流和過熱並做出回應，能夠延長逆變器的使用壽命。為了控制馬達電流和轉矩，馬達控制系統要求測定電流。

溫度檢測

裸晶 IGBT 的單片式整合溫度檢測透過測定一串多晶矽二極體的正向壓降 (V_F) 來實現，單片製作在 IGBT 同一裸晶上。由於二極體的 V_F 值與 T_j 之間具有人們熟

圖 1：壓降 V_F 與接合點溫度 T_j 之間的關係

悉的線性依賴性 (式 1 和圖 1)，因此單片式電流檢測方法證明是測定 IGBT 接合點溫度的最好方法。

$$V_F = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_F}{I_0} = S_F \cdot T_j \quad (1)$$

溫度感測器要求二極體正向偏置且具有精確的恆定電流，造成的壓降必須經介面電路的檢測和調節。由於溫度二極體和功率元件一起置於矽單片上，因此溫度二極體電容耦合到 IGBT 的高壓開關節點。

介面電路必須設計用於讀取較小的溫度相關 V_F 值，抑制開關電壓，並傳送訊號通過隔離層。

現有許多過濾訊號並令其通過隔離層的方法。一個實例是採用隔離放大器和類比至數位轉換器，並與同步取樣相結合，避免捕捉到瞬態雜訊尖峰時的樣本 (安森美半導體正在編制這種介面設計的應用注釋)。

電流檢測

單片式整合電流檢測的原

理是測定與主 IGBT 並聯的小型 IGBT 的電流，然後將其乘上一個已知的比例因數來實現。IGBT 包括經元件頂部的金屬化區域並聯的數千個單元。小型 IGBT 代表這些單元的一部分，與其他單元斷開，可作為電流鏡。

電流檢測功能的基本概念如圖 2 所示，獨立的發射極連接提供部分主集電極電流 (I_S)，主集電極與外部電阻 (R_S) 連接。這種連接產生與檢測電流成比例的電壓降。檢測電阻電壓用於測定電流，並且，在知道主集電極電流 (I_C) 時，可計算出「檢測比」(Ratio)，該比值利用式 2 計算。

$$Ratio = \frac{I_C \cdot R_S}{V_S} \quad (2)$$

圖 3：晶片內建電流檢測的一些初步結果

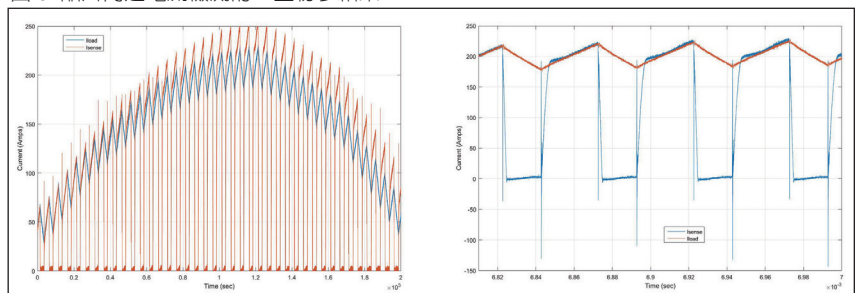
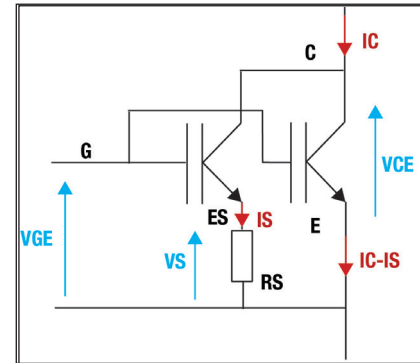


圖 2：電流檢測功能的基本概念



檢測比 (R_S) 可被運算放大器電路代替，運算放大器電路設計用於直接放大電流跟隨器配置中的檢測電流，從而無需檢測發射極偏壓。

電流檢測比與溫度有關，但是，與接合點溫度檢測結合時，預期這種介面將可具備必要的資訊以補償接合點溫度，從而更準確地測定主集電極電流。

更困難的是校正這種電流依賴性。這導致低電流時準確性受到限制，而低電流定義為低於全電流範圍 10% 的電流水準。單片式電流檢測的主要局限性是低電流時的準確性問題。即將面世的應用注釋中將提供更多細節。

如上所述，單片式電流檢測可以用於 H/EV 逆變器的各種應用。最簡單的用途是過流保護，可利用比較器電路得以輕易實現。這種用

圖 4:IGBT 頂部溫度和電流檢測墊佈局圖

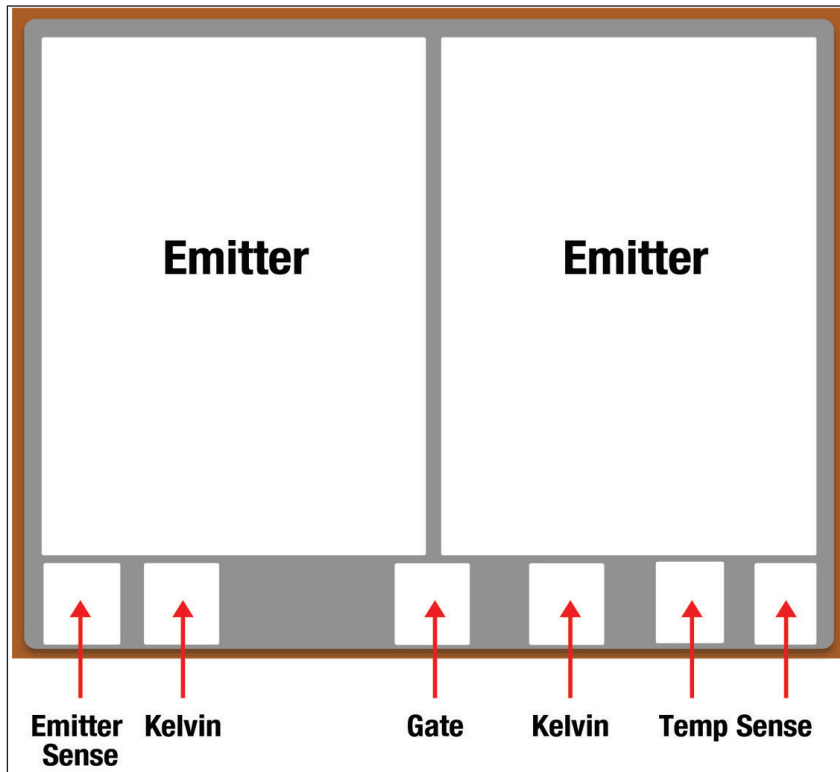
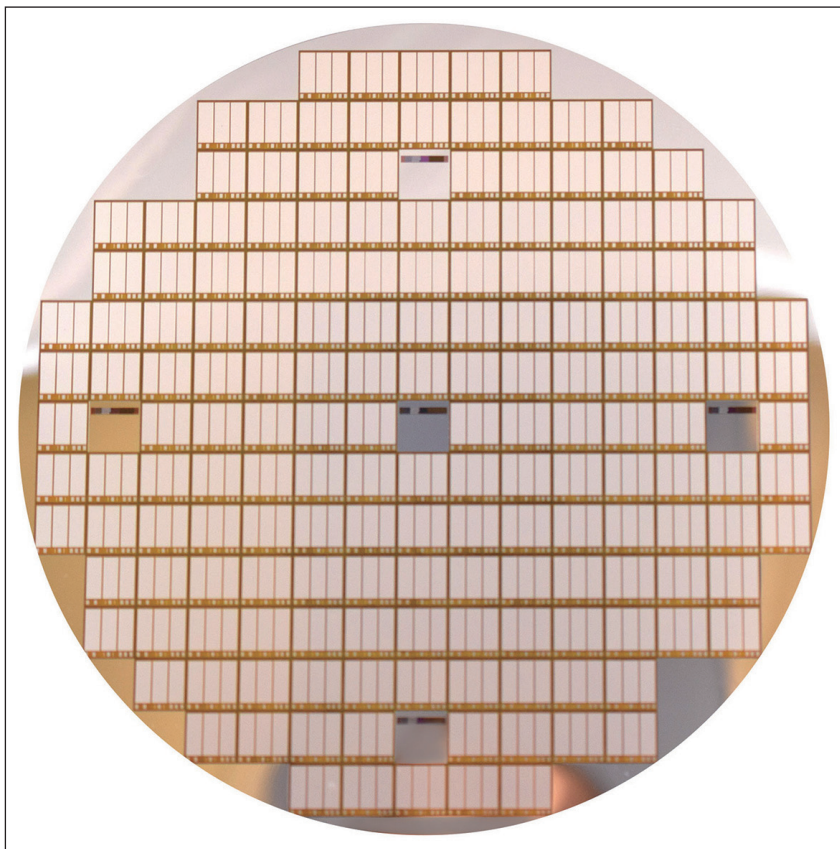


圖 5:2016 年 PCIM Europe 展會上展出的裸晶 IGBT 晶圓



途可以增強或代替傳統的退飽和保護。

電機控制是更具挑戰性和潛在價值的應用。採用其他介面電路和智慧處理，並結合晶片內建的溫度檢測，開展這種電機控制是可行的。安森美半導體正在就這種應用積極開發單片式電流檢測功能。圖 3 給出了晶片內建電流檢測的一些初步結果。

裸晶檢測佈局圖

表明 IGBT 頂部溫度檢測和電流檢測墊的裸晶佈局實例，如圖 4 所示。

總而言之，單片式整合電流檢測和溫度檢測電路提供了一種測定電源模組中 IGBT 結溫和集電極電流的可靠的方法，無需額外感測器。這些技術可為模組製造商帶來大量好處。簡化了關鍵參數的檢測，減少了部件數量，對危險操作狀況的響應更快，接合點溫度測定更準確，功率矽的利用率更佳，而且可靠性得到提高。所有這些特點將幫助逆變器製造商或汽車 OEM 在市場上得到更大的競爭優勢。

CTA