

# 碳化矽功率肖特基二極體的特性 如何提供更強大的應用功能

## 白皮書

### 簡介

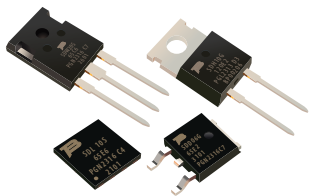
對二極體應用來說，理想的元件應該是在正向傳導期間時沒有發生壓降且在反向偏置時沒有發生漏電流。它應可以立即從傳導正向電流變成阻斷反向電壓。相較於矽接面二極體，肖特基二極體可提供較低的壓降及較小的反向偏置恢復電流。

本文討論以碳化矽 (SiC) n 外延半導體材料層建構而成的肖特基二極體的特性，這些 n 外延半導體材料層附著在一個金屬接觸區；這樣的構造不同於在構造上使用兩個不同的摻雜矽半導體材料的二極體。下面將進一步說明這個構造。

### 為什麼碳化矽是種改善

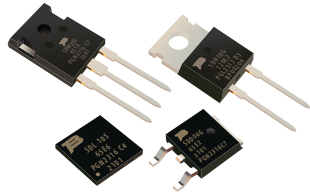
碳化矽是一種半導體材料，相較於平常使用的摻雜矽，它能在高很多的溫度下維持它的有用特性。使用碳化矽來建構肖特基二極體能夠使它們在更高的溫度下工作，高達 175°C 的接面溫度，且允許使用更小的散熱器設計，因此可以簡化熱管理。同樣地，採用碳化矽電能半導體所設計出來的電源系統可以在高出 50°C 的環境溫度下運作，這比使用結點最高額定溫度為 125°C 的矽半導體所能達到的環境溫度要來得高。這是一項非常有吸引力的特色，能夠使電源系統滿足汽車和其他惡劣環境應用的熱性能要求。

因為碳化矽是一種寬能隙的材料，因此與矽類的元件相比，它可以承受更高的電壓後才崩潰，以及在高溫下承受更高的電壓。碳化矽與生俱來的更高能力使碳化矽肖特基二極體的反向擊穿電壓遠高於 1200 伏特，且同時能夠在小型封裝中提供數十安培的正向電流。此外，更小的封裝提高了電源開關設計所實現的功率密度，這是電源供應要求中最想要具備的特色。此外，碳化矽電能肖特基二極體能夠在更高的開關頻率下工作，這允許使用更小的電感器和電容器，因而再次有助於提高功率密度。碳化矽所提供的功率密度增高的最終好處是它可以減低解決方案的成本。



Bourns® 碳化矽功率肖特基二極體

# 碳化矽功率肖特基二極體的特性如何提供更強大的應用功能



Bourns® 碳化矽功率肖特基二極體

## 為什麼碳化矽是種改善 (續)

碳化矽功率肖特基二極體的許多開發商都將它們設計為具有卓越的雪崩性能，這有助減小緩衝電路的尺寸和成本。同樣地，這亦可能提高電力系統的功率密度，且在同時減低整個系統成本。

如果功率密度不是最重要的特色，設計人員可以選擇使用數量比矽類元件更少的碳化矽功率肖特基二極體，以更低的成本來實現相同的功率輸出。

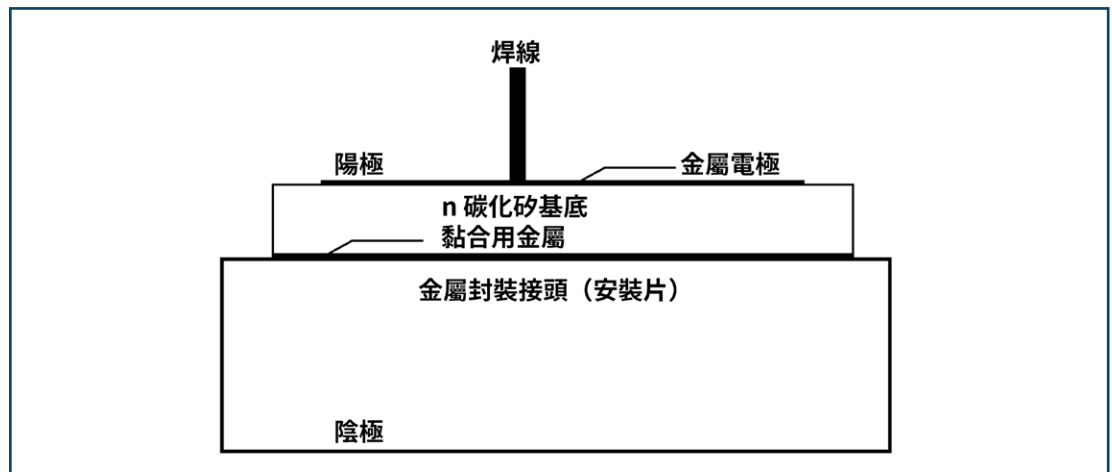


圖 1 | 碳化矽肖特基的構造

碳化矽肖特基二極體的結構是由一個輕度摻雜 n 型碳化矽層和一個金屬電極 (通常由鋁或鉑製成) 組成。金屬電極作為陽極，n 型碳化矽基底作為陰極。當正向偏壓時，陰極會將電子注入 n 型碳化矽層，電子從陽極流出，導致傳統的正電流流入陽極。正向偏壓暗示陽極的電勢位高於陰極。

碳化矽肖特基二極體的正向壓降之所以是低的，是因為金屬電極-半導體基底介面處的低位能障，這使得電子可以有效率地從陰極移動到陽極。所產生的功耗較低，有助於提高應用的整體效率。

當反向偏壓時，金屬電極-半導體基底介面會在介面處建立一個耗盡區。這個耗盡區是電流流動的障礙，且它的寬度由施加在二極體的反向偏壓電壓決定。使用碳化矽這個寬能隙電壓材料來減少反向漏電流。

# 碳化矽功率肖特基二極體的特性如何提供更強大的應用功能

## 峰值電流處理

碳化矽功率肖特基二極體的峰值正向電流和平均功耗規格限制了正向傳導脈衝電流。當過大的正向電流被施加時，二極體封裝中的焊線將扮演保險絲的角色。最大正弦波脈衝電流的指定方式同於保險絲，亦即  $I^2t$  額定值 (以  $A^2s$  為單位)。這個額定值說明了焊線和半導體結金屬中的高電流脈衝的熱效應。通常，在肖特基二極體的規格書上會顯示其他脈衝寬度和測量條件的峰值電流額定值。

碳化矽的高導熱性可以承載高電流，且在同時有效散熱。碳化矽半導體材料與生俱來的高電流能力提供了非常高的電流運作，且在同時將界面溫度維持在最低。僅使用一個半導體層，且碳化矽可以比矽層更薄，使得結合點到散熱器的距離非常短。結果是所產生的熱量很快地從半導體層散發出來，因而實現了非常高的峰值電流處理能力。

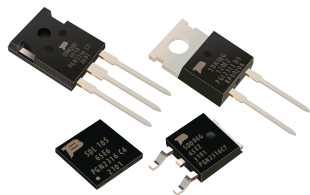
## 反向恢復運作

任何二極體要從導通狀態切換到截止狀態，必須去除金屬電極和半導體區域所形成的電容器中的電荷。要被去除的電荷數量以奈米庫倫 (nanocoulomb) 為單位予以指定。典型來說，碳化矽肖特基二極體所需要去除的電荷不到矽結二極體所需電荷的 1/10。當在相同電壓下工作時，這顯示碳化矽肖特基二極體的電容不到矽結二極體的 1/10。最重要的是，碳化矽肖特基二極體中的電荷會隨溫度而維持恆定，而當從環境溫度增加到最高工作溫度時，矽結二極體中的電荷會增加約 50%。

這些反向恢復效應對碳化矽肖特基二極體具有三個重要影響。第一個影響是，在任何特定的作業條件下，去除電荷的時間隨著溫度的變化而維持恆定。這在開關應用運作中提供了熱穩定性。第二個影響是，在開關頻率的每個電流導通週期之後的反向恢復期間內，應用的 IGBT (絕緣柵雙極電晶體管) 或 MOSFET (金屬氧化物半導體場效電晶體) 開關中的功耗會最小化。這減少了功率轉換應用的開關元件的應力，並減少了熱冷卻的要求。

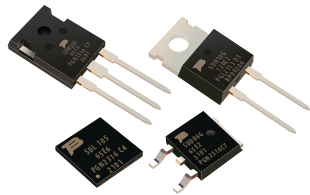
## EMI (電磁干擾) 減少

當使用碳化矽肖特基二極體所具有的更好的功率轉換應用的反向恢復特性時，第三個影響是由於不需要反向恢復電流快速切換，因此可減少 EMI。事實上，當使用碳化矽肖特基二極體時，電源轉換應用中的反向電流幾乎降至零—通常小於使用矽結二極體時的反向恢復電流的 1/10。低的反向電流可減少噪聲。除了異常低之外，電流水平和恢復時間隨著溫度的變化而維持恆定。也就是說，所產生的 EMI 的幅度和頻率在各種溫度和負載條件下都將維持恆定。



Bourns® 碳化矽功率肖特基二極體

# 碳化矽功率肖特基二極體的特性如何提供更強大的應用功能



Bourns® 碳化矽功率肖特基二極體

## 更高的效率優點

除了關閉時的優點，當碳化矽肖特基二極體在導通週期開始時以開關頻率開啟時，亦具有充電電容較小的優點。電流越低暗示電路的電阻所產生的熱量越少（電路的電阻與電流的平方成正比）。當使用 MOSFET 時，這包括通道中由於它的電阻而消耗的功率。在功率轉換應用中，使用 IGBT 作為開關元件進一步降低了開關所產生的功率，因為所消耗的功率是電流乘以集電極-發射極介面上的電壓下降。

## 典型的應用

使用碳化矽肖特基二極體對工業應用是有好處的，因為它們的效能優異，且具有低的反向恢復電流，可減少產生的 EMI/RFI，因而較容易遵守發射標準。此外，這些二極體形成並聯模組，可以輕鬆實施來實現極高的電流應用。

- 工業高壓 AC/DC 電源管理單元
- 功率因數校正 (PFC) 應用
- 單相和多相馬達的馬達驅動
- 空調 PFC 壓縮機和風扇驅動器
- AC/DC 管理單元、高壓電源轉換和其他拓撲
- 伺服器和電信開關模式電源供應 (SMPS)

在整流器階段應用碳化矽肖特基二極體可以使電動汽車的應用變得更加緊湊、成本更低，因為它們可以提高效能，以及提供高電流密度。它們的正向電壓較低，暗示當電流通過這些二極體時，所損失的電壓較少。

- 車載充電 (OBC)
- 電動汽車 (EV) 充電站

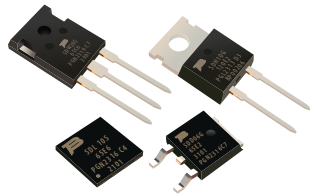
使用碳化矽肖特基二極體對家用、消費型和許多類型的低功率應用是有益處的，因為它可以提高效能，並為這些應用的功率轉換階段提供尺寸更小的解決方案。各種開關轉換應用都受益於碳化矽肖特基二極體的增強性能。

- 不斷電系統 (UPS)
- 光伏應用 (太陽能升壓轉換器、逆變器拓撲、微型逆變器等)
- 電視和娛樂用途的交換式電源
- 桌上型電腦和 PC 電源供應器
- 白色家電交換式電源供應器和馬達驅動器

# 碳化矽功率肖特基二極體的特性如何提供更強大的應用功能

## 總結

總結來說，當使用碳化矽肖特基二極體時，發熱會減少，因而提高效率、降低功耗溫度且可減少開關組件的應力。碳化矽半導體具有高的導熱性，可減低運作期間的結溫。這些有助於拉長 MTBF (平均故障間隔時間)，且有助節省系統生命週期的運作成本。



Bourns® 碳化矽功率肖特基二極體

[www.bourns.com](http://www.bourns.com)

**BOURNS®**

**Americas:** Tel +1-951 781-5500  
Email [americus@bourns.com](mailto:americus@bourns.com)

**EMEA:** Tel +36 88 885 877  
Email [eurocus@bourns.com](mailto:eurocus@bourns.com)

**Asia-Pacific:** Tel +886-2 2562 4117  
Email [asiacus@bourns.com](mailto:asiacus@bourns.com)