



(19) 中華民國智慧財產局

(12) 發明說明書公告本

(11) 證書號數：TW I505441 B

(45) 公告日：中華民國 104 (2015) 年 10 月 21 日

(21) 申請案號：098110834

(22) 申請日：中華民國 98 (2009) 年 04 月 01 日

(51) Int. Cl. : H01L27/02 (2006.01)

H01L21/8248(2006.01)

(30) 優先權：2008/04/02 美國

61/064,899

(71) 申請人：香港科技大學 (香港地區) THE HONG KONG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY (HK)
香港

(72) 發明人：陳敬 (CN)；陳萬軍 (CN)；周春華 (CN)

(74) 代理人：桂齊恆；閻啟泰

(56) 參考文獻：

JP 2004-55820A

US 2004/0173816A1

US 2006/0081897A1

US 2006/0175633A1

K. Takatani et al., "AlGaIn/GaN Schottky-ohmic combined anode field effect diode with fluoride-based plasma treatment", ELECTRONICS LETTERS, 14th February 2008, Vol. 44, No.4

審查人員：林士淵

申請專利範圍項數：30 項 圖式數：16 共 54 頁

(54) 名稱

集成的 HEMT 和橫向場效應整流器組合、方法及系統

(57) 摘要

本發明提供一種集成的 HEMT 和橫向場效應整流器組合、方法及系統。本發明公開了基於 GaN 或其他類似半導體材料的集成高效率橫向場效應整流器和 HEMT 的器件、這種集成器件的製造方法及包括這種集成器件的系統。所述橫向場效應整流器具有陽極，該陽極包括短接的歐姆接觸和肖特基接觸；陰極，該陰極包括歐姆接觸，而 HEMT 優選具有包括肖特基接觸的閘極。二個具有氟離子的區域分別形成於所述整流器與 HEMT 所包括的肖特基接觸的正下方以夾斷兩個結構中外延層之間的異質界結面的(電子氣)溝道。

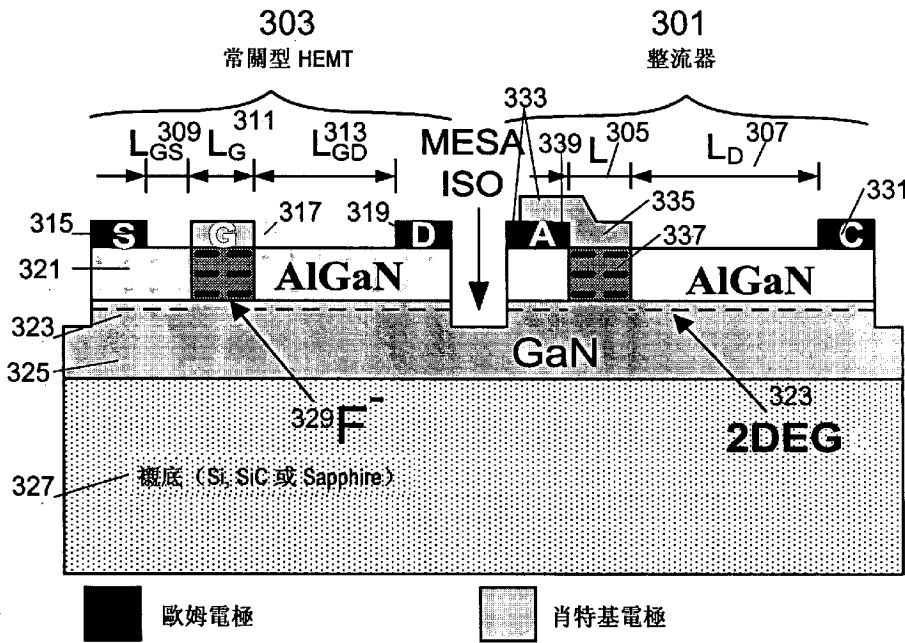


圖 3

- 301 . . . 橫向功率場效應整流器
- 303 . . . 常關型 AlGaN/GaN HEMT
- 305 . . . 肖特基接觸區域長度
- 307 . . . 是 L-FER
- 301 漂移區長度
- 309 . . . 閘源距離
- 311 . . . 肖特基閘長度
- 313 . . . 閘漏距離
- 315 . . . 源電極
- 317 . . . 閘電極
- 319 . . . 漏電極
- 321 . . . AlGaN 層
- 323 . . . 導電溝道
- 325 . . . GaN 層
- 327 . . . 襯底
- 329 . . . 具有帶永久負電荷的離子的區域
- 331 . . . 陰極電極
- 333 . . . 陽極電極
- 335 . . . 肖特基接觸
- 337 . . . 具有帶永久負電荷的離子的區域
- 339 . . . 歐姆接觸

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明涉及 GaN 功率積體電路，尤其涉及具有單片集成 AlGaN/GaN HEMT 和橫向功率場效應整流器的 GaN 功率積體電路以及其製造方法。

【先前技術】

功率半導體器件包括三端電晶體開關器件和兩端功率整流器兩類。這些整流器和電晶體都是切換式開關電源、功率驅動電路等必不可少的組成部分。

在電晶體方面，AlGaN/GaN 高電子遷移率電晶體（HEMT）通常是最好的選擇。諸如包括 AlGaN/GaN 的 III-氮化物（III-N）化合物半導體具有禁帶寬度大、臨界擊穿電場高、導熱係數大等優點，因此基於該材料的異質結構場效應電晶體已經取得廣泛的應用。特別是具有寬禁帶的 AlGaN/GaN 異質結構系統，由於其自發極化和壓電極化效應而產生的二維電子氣（2DEG）溝道具有高的電子濃度和高的電子遷移率，這使得 AlGaN/GaN HEMT 微波器件具有極高的輸出功率密度。

用於功率電子領域的 AlGaN/GaN 異質結構能在比其他類型器件高的溫度和開關頻率下工作。與此同時，GaN 材料臨界擊穿電壓比矽（Si）高近一個數量級，GaN 器件的導通電阻（ R_{on} ）比 Si 器件低近三個數量級，因此其製作的功率器件突破了主流 Si 功率器件的理論極限。在要求高轉換效率和高溫工作的功率電子領域，具有高速和高溫

可靠性的 GaN 器件是 Si 器件的理想替代者。

作為功率器件重要分支的功率整流器是切換式開關電源、功率因數校正電路等必不可少的組成部分。理想的功率整流器應該具有高的擊穿電壓、低的正向開啟電壓、低的導通電阻和短的反向恢復時間等。在高壓功率電子領域（例如在開關電源和功率因數校正電路）中，具有低的正向開啟電壓（ $V_{F,ON}$ ）、低的比導通電阻（ $R_{ON,sp}$ ）和高的反向擊穿電壓（ BV ）的二維功率整流器是理想的。對於給定截止態擊穿電壓，低的導通電阻和短的反向恢復時間對於功率轉換效率來說是重要的。

為了改善功率整流器的整體性能，研究者們一方面提出新的器件結構來改善功率器件的性能。例如 JBS（junction barrier Schottky，結勢壘肖特基）二極體，MPS（merged p-i-n Schottky，混合 p-i-n 肖特基）二極體和同步整流器等。另一方面，基於新材料的功率整流器也是研究者們研究的重點之一。近年來，基於 GaN 體材料的肖特基勢壘二極體（SBD，圖 1）和 p-i-n 二極體被廣泛研究，該類器件在實現高擊穿電壓的同時具有低的導通電阻。

然而，由於 GaN SBD 或 p-i-n 二極體的外延結構與 AlGaIn/GaN HEMT 結構不相容，因此，在不損失性能的情況下，現有的 SBD 或 p-i-n 二極體整流器與 AlGaIn/GaN HEMT 器件不能成功集成。雖然在 AlGaIn/GaN 異質結構材料上能夠直接實現 SBD 器件，但是其存在的 AlGaIn/GaN 異質結和金屬/AlGaIn 肖特基結卻會使得該類器件具有較高的正向開啟電壓和較高的導通電阻。

為了減小開啟電壓而不影響器件的反向耐壓，研究者提出具有雙金屬陽極的 AlGa_N/Ga_N SBD 功率整流器結構（參見圖 2）。該結構利用具有金屬功函數低的金屬（Al/Ti）來實現低的開啟電壓，與此同時，用金屬功函數高的金屬（Pt）來實現高的擊穿電壓。但是該結構需要增加額外的工藝步驟，且與傳統的採用 Ni/Au 閘金屬的 HEMT 器件不相容。

【發明內容】

本發明公開一種新的結構與方法，其中將混合整流器（如，肖特基結場效應二極體）與 HEMT 型電晶體在 III-氮化物或類似半導體材料上集成。從而在一個工藝中實現了高性能整流器和電晶體的單片。本發明同時公開多種成功採用所述結構與方案法的系統。

本發明所公開的集成結構及基於此所製造的電子器件能夠工作于高功率、高溫及高雜訊環境。因此，特別適合於小型或高效率功率轉換器、馬達驅動電路、音頻放大器、內燃機引擎、各種航空航天器以及用於石油和天然氣開採。

在一個優選實施例中，所述集成器件包括一個低開啟電壓、低導通電阻、高擊穿電壓和高開關速度的功率整流器和一個相容的常關型 AlGa_N/Ga_N HEMT。而且兩個器件可以採用同一工藝製作在同一外延襯底上。

在一個優選實施例中，所述整流器包括一個與陰極（C）和陽極（A）歐姆接觸的肖特基閘控 2DEG 溝道。

在一個優選的實施例中，通過氦離子注入（或者等離子體處理）技術在整流器的肖特基閘下引入永久負電荷，該永久負電荷能夠有效地耗盡肖特基閘下的 2DEG，從而夾斷導通通路。本發明所發明的整流器通過將肖特基閘和陽極歐姆接觸電氣短接在一起，實現了器件開啟電壓由肖特基閘控的溝道的閾值電壓決定，而不受肖特基勢壘或者 PN 結勢壘的影響。

在一個優選實施例中，橫向場效應整流器和常關型 AlGaIn/GaN HEMT 器件可以在一個工藝中實現單片集成，而且本發明中的 HEMT 器件仍採用傳統的 Ni/Au 閘金屬。

在一個優選實施例中，橫向場效應整流器和常關型 AlGaIn/GaN HEMT 器件通過一個自對準工藝實現集成。

本發明的集成器件特別適合功率轉換器電路。低的導通電阻有助於降低功率轉換電路的功率損耗，從而實現高的轉換效率。這意味著 GaN 功率轉換器模組體積更小、重量更輕以及可以用更小的散熱器來控制溫度。同時，由於 GaN 器件具有更高的開關頻率，因此可採用更小的無源元件而不會影響系統性能。高耐熱性使得這種 HEMT 器件能用在高溫和惡劣的環境中。

在本發明的進一步實施中，將所述結構與 LED（發光二極體）結構集成。這些實施將帶來大量新的應用，包括，如集成故障指示的功率轉換器，或完整的多電壓和/或 LED 發光模組。

本發明的各個實施例中的創新提供至少以下優勢中的一個或多個。然而，並非本發明中的每一個實施例都具有

這些優勢，而且以下優勢並不是限制所要求的各個發明：

- 高溫工作能力
- 更高抗電子雜訊干擾能力
- 高功率轉換效率
- 傳統的簡易製造工藝
- 更低的熱致低效率
- 更高的開關速度
- 降低器件體積和重量
- 可使用更小的熱沉
- 可使用更小的無源元件
- 自對準工藝
- 單片實現複雜功能集成的新方案
- 降低製造成本

【實施方式】

接下來本發明將利用一些優選的實施例來描述本發明的創新（舉例只是為了說明而不是限制本發明）。本發明涉及了多項創新，但以下的具體描述不應該被理解為對權利要求的限制。

為了闡述的簡單和清晰起見，附圖只是對一般性結構進行了說明，省略了一些眾所周知細節說明和闡述，以避免不必要的模糊表達。此外，附圖中的基本單元並不一定成比例，某些局部區域或者元件可能被放大以幫助閱讀者更好的理解本發明。

本發明的說明書和申請專利範圍中涉及的諸如“第一

”、“第二”、“第三”、“第四”等術語只是用於區分類似的內容，而不一定用於描述某一特定順序或按時間順序。應該理解，這些術語是可互換的。此外，本發明中“包括”、“包含”、“具有”和任何類似術語只是表示非排它性的包含，從而過程、方法、條款、設備、或組成部分包含所描述的內容但不必僅限於這些內容，而是可以包括沒有明確列出或者過程、方法、條款、器具、或組成部分所固有的內容之外的其他內容。

本發明的設計可能適於其他類型的 2DEG 整流器和場效應電晶體；但便於闡述，本發明以常規的單層 AlGaIn/GaN 異質結構材料進行舉例說明，並且該集成器件中只考慮一個整流器和一個 HEMT 同時集成在同一晶片上。然而，作為本領域的技術人員都會知道通過改變本發明中的設計來形成其他組合和行式，例如在垂直層中進行設計。

圖 3 為橫向功率場效應整流器 (L-FER) 301 與常關型 AlGaIn/GaN HEMT 303 集成結構的示意圖。其中 L 305 是肖特基接觸區域長度 (氬離子注入區長度)， L_D 307 是 L-FER 301 漂移區長度。 L_{GS} 309、 L_G 311 L_{GD} 313 分別是 HEMT 器件 303 的閘源距離、肖特基閘長度以及閘漏距離。HEMT 器件 303 包括源電極 315、閘電極 317、漏電極 319。上述電極都位於器件表面的 AlGaIn 層 321，該層 321 位於 GaN 層 325 之上。在 AlGaIn 層 321 和 GaN 層 325 之間的異質結是 2DEG 導電溝道 323 (開啟狀態下，閘極所施加的電壓將會使一部分半導體材料反型，以形成一層二維

電子氣，完成從源極到汲極的電流通路)。位於 AlGa_N 層 321 下的 Ga_N 325 生長在襯底 327 層之上，該襯底 327 通常是矽、碳化矽、Sapphire 或氮化鎵。在 AlGa_N 層 321 中和閘 317 下是具有帶永久負電荷的離子的區域 329。這些帶永久負電荷的離子通常是通過 CF₄ 等離子體處理或離子注入引入的氟離子 (F⁻)。氟離子注入區域 329 也可以延伸到的 Ga_N 層。有關氟離子注入的細節請參考美國專利申請 US 2007/0278518 A1，該文獻作者是本發明的作者陳敬等人，其內容以引文方式全部併入本發明。

本發明中 L-FER 器件 301 與常關型 AlGa_N/Ga_N HEMT 結構具有一定程度的相似性。L-FER 301 也包含 Ga_N 層 325 和位於 Ga_N 層 325 上面的 AlGa_N 層 321。在 AlGa_N 層 321 和 Ga_N 層 325 之間形成 2DEG 導電溝道 323。位於 AlGa_N 層 321 下的 Ga_N325 生長在襯底 327 層之上，該襯底 327 通常是矽、碳化矽、Sapphire 或氮化鎵。在 AlGa_N 層 321 的表面上是 L-FER 301 的陰極電極 331 和陽極電極 333，陰極電極 331 首先與 AlGa_N 層形成歐姆接觸，從而，實現與 2DEG 導電層 323 的歐姆接觸；陽極電極 333 將肖特基接觸 335 和歐姆接觸 339 電氣短接。肖特基接觸 335 下面是具有帶永久負電荷的離子的區域 337。儘管其他負離子也可以用來形成永久負電荷，但是通過 CF₄ 等離子體處理或離子注入引入氟離子是目前常採用的方法。具有帶永久負電荷的離子的區域 337 可垂直延伸到的 Ga_N 層。

值得指出，此例所述的整流器與電晶體間的橫向隔離由臺面隔離實現。

本發明中引入的永久負電荷區域 337 能有效地耗盡肖特基接觸下的 2DEG，從而夾斷 2DEG 導通通路。因此提供了 L-FER 的反向阻斷能力。當向陽極電極 333 施加正的正向偏壓時，會導致肖特基閘下的 2DEG 323，肖特基閘控溝道“開啟”。當向陽極 333 施加負偏壓時，肖特基閘控溝道保持“關閉”。因此，該兩端器件是一個場效應整流器 301。

圖 4 (a) 為閘偏壓為零時沒有氟離子注入的圖 3 的 AlGaIn/GaN 結構的導帶圖類比結果。圖 4 (b) 為閘偏壓為零時有氟離子注入的圖 3 的 AlGaIn/GaN 結構導帶圖類比結果。圖 4 (b) 顯示氟離子處理能使導帶向上彎曲，尤其是 AlGaIn 層中的導帶，該向上彎曲的導帶產生額外的勢壘高度 Φ_F 。在經過氟處理以後，當導帶最低時 2DEG 溝道的能級位於費米能級以上時表明 2DEG 溝道完全被耗盡，從而實現了常關型器件。同時，該增加的勢壘將有利於抑制肖特基接觸區域的反向漏電流。圖 4 (c) 對比了氟離子處理前後 2DEG 電子濃度。在經過氟離子處理後，在閘偏壓為零時肖特基閘下的溝道沒有電子，這表明該器件是常關型器件。

圖 5 (a) - 圖 5 (e) 給出了如圖 3 所示的橫向場效應整流器結構製造過程的示例。在圖 5 (a) 中，使用光罩 1 在電感耦合等離子體反應離子刻蝕 (ICP-RIE) 系統中用 Cl_2/He 等離子體幹法刻蝕在 AlGaIn/GaN 表面 503 上形成器件臺面 501。在圖 5 (b) 中，用光罩 2 澱積電子束蒸發的 Ti/Al/Ni/Au (20 nm/150 nm/50 nm/80 nm) 金屬層，並在 850

°C 高溫下快速退火 (RTA) 30 秒來形成歐姆接觸。在圖 5 (c) 中，用光罩 3 緊靠歐姆接觸區域 505 並且與它自對準地實現氟離子注入 507 來限定電極接觸。通過精確控制氟離子注入劑量和功率以優化反向阻斷能力與開啟電壓之間關係。在圖 5 (d) 中，用光罩 5PECVD 生長厚度為 300nm 的 SiN_x 鈍化層 509。圖 5 (e) 為用光罩 6 形成測試 Pad 511 和場板 (FP) 513。最後，該實驗樣品在 400°C 退火 10 分鐘以修復 AlGa_{0.3}N 勢壘層中等離子體所致損傷和缺陷。

圖 6 (a) - 圖 (d) 為單片集成橫向場效應整流器和常關型 AlGa_{0.3}N/GaN HEMT 的製造流程。圖 6 (a) 是在電感耦合等離子體反應離子刻蝕 (ICP-RIE) 系統中用 Cl₂/He 等離子體幹法刻蝕在 AlGa_{0.3}N/GaN 表面形成臺面。通過該工藝，可以形成多種器件結構區域。圖中給出了典型的整流器 601 和 HMET 603。圖 6 (b) 為澱積電子束蒸發的 Ti/Al/Ni/Au (20 nm/150 nm/50 nm/80 nm) 金屬層，並在 850 °C 高溫下快速退火 (RTA) 30 秒形成 HMET 和整流器的歐姆接觸 605。在圖 6 (c) 中，對 HEMT 和整流器同時進行氟離子注入以形成常關型導電溝道。用光罩 6 自對準地實施基於氟的等離子體處理和限定電極接觸。分別形成整流器和 HEMT 的氟注入區 609 和 613。氟注入區 609 與整流器 601 的歐姆接觸的側面自對準，而氟注入區 613 更緊接 HEMT 603 的兩個接觸的中間部分。通過精確控制氟離子注入劑量和功率可以優化反向阻斷能力與開啟電壓之間的關係。接著，如圖 6 (d) 所示，進行金屬澱積以形成 Ni/Au 肖特基接觸 611。在整流器 601 的陽極區域，在 AlGa_{0.3}N 表

面的氟注入區的暴露表面上澱積肖特基接觸 611，以形成電氣短接的肖特基接觸和歐姆接觸。在電晶體 HEMT 603 區域，在氟注入區的暴露表面上澱積肖特基接觸 611，以形成 HEMT 的肖特基閘。接著，該實驗樣品在 400°C 退火 10 分鐘以去除 AlGa_N 勢壘層等離子體所致的晶格損傷和缺陷。最後，通過 PECVD 形成厚度為 300nm 的 SiN_x 鈍化層。

圖 3 的樣品器件結構是使用基於矽襯底的通過有機金屬汽相澱積 (MOCVD) 生長的商用 Al_{0.26}Ga_{0.74}N/GaN HEMT 晶圓來製造的。外延層包括 GaN 緩衝層，薄 AlN 表面增強層，約 18nm 的未摻雜 AlGa_N 層和 2nm 的未摻雜 GaN。晶圓原始方塊電阻為 320 歐姆/平方米，2DEG 遷移率為 1800 cm²/V·s，夾斷電壓為 -2.1V。採用標準的轉移長度方法 (transfer length method, TLM) 過程來獲得大約 1.0 Ω·mm 的比歐姆接觸電阻。在澱積肖特基閘金屬之前，在該區域進行 CF₄ 等離子體處理，其處理條件為在 130W 下處理 150 秒。該注入的負電荷能有效地耗盡 2DEG 溝道，實現溝道夾斷電壓從 -2.1V 到 +0.2V 的轉變。然後進行 400°C 10 分鐘退火的高溫退火以修復等離子體處理所致的晶格損傷和缺陷。為了進行比較，還用另外一個 Ni/Au 金屬化步驟製造了直接澱積在 AlGa_N 表面而未處理經過 CF₄ 等離子體的 SDB。最後，採用 PECVD 生長 300nm 的 SiN_x 鈍化層。

圖 7 (a) 為上述 SBD 器件和 L-FER 器件的正向特性，這兩種器件的陽極-陰極漂移區長度 (L_D) 均為 10 μm，器件寬度為 1mA/mm 時所對應的陽極電壓) 僅為 0.2V，而

SBD 的拐點 (W) 為 $100 \mu\text{m}$ 。從圖中可見 L-FER 的拐點電壓 (V_k ，陽極電流電壓為 1.3V)。這個巨大差異是源於兩種器件的開啟機理不同所致。對於 L-FER 器件而言，其拐點電壓 V_k 由溝道的夾斷電壓決定，而且溝道的夾斷電壓可以通過調整氬等離子體處理的時間和功率進行調節。而對於在 AlGaIn/GaN HEMT 上形成的 SBD 器件而言，其拐點電壓 V_k 由金屬/AlGaIn 肖特基勢壘和 AlGaIn/GaN 異質結面的導帶偏移共同決定，因此具有較大的拐點電壓。L-FER 正嚮導通時比導通電阻 ($R_{ON,sp}$) 為 $1.4 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ ，其中 $R_{ON,sp}$ 是在正向偏壓為 2V 到 3V 的範圍下利用除了歐姆接觸之外的有源區的面積測量得到的。在圖 7 (b) 中，在沒有將器件浸入 Fluorinert 的情況下，利用 Tektronix 370A 曲線描繪器測量了兩個器件的反向擊穿特性。漂移區長度均為 $10 \mu\text{m}$ 的 L-FER 和 SDB 在電流為 $1\text{mA}/\text{mm}$ 時表現出了幾乎相同的反向擊穿電壓。漂移區長度為 $10 \mu\text{m}$ 的 L-FER 的反向耐壓 (BV) 為 390V ，從而導致功率優值 ($BV^2/R_{ON,sp}$) 為 $108 \text{ MW} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，該功率優值與垂直肖特基二極體的相當。圖 7 (b) 為上述 SBD 器件和 L-FER 器件的反向特性。可見，對於器件漂移區長度均為 $10 \mu\text{m}$ 的 L-FER 和 SBD 器件具有幾乎相等的反向耐壓能力。

圖 8 (a) 為 L-FER 器件擊穿電壓 (BV) 和比導通電阻 ($R_{ON,sp}$) 與漂移區長度 (L_D) 的關係，可見，隨著漂移區長度的增加，器件的擊穿電壓和比導通電阻都增加。圖 8 (b) 給出了漂移區長度為 $5 \mu\text{m}$ 、 $10 \mu\text{m}$ 和 $15 \mu\text{m}$ 時器件正嚮導通時的正向電流密度 (J_F)，可知，其正向開啟電

壓 ($V_{F,ON}$) (在正向電流密度為 $100\text{A}/\text{cm}^2$ 的電壓) 分別為 0.53V 、 0.63V 和 0.78V ，這遠低於目前所報導的 GaN 基垂直 SBD 和 p-i-n 整流器的開啟電壓。如上所述，低的開啟電壓是由於 L-FER 的開啟是由溝道的閾值電壓決定而不受肖特基勢壘高度或者 p-i-n 勢壘高度的影響。此外，高濃度的 2DEG 以及高的電子遷移率也有助於實現低的導通電阻，這還能導致 L-FER 的低的正向開啟電壓。

圖 9 給出了利用具有熱夾盤的探針台獲得的 L-FER 正向偏壓特性與溫度的關係。從圖中可知，在高達 250°C 時器件的拐點電壓 (V_k) 基本保持不變。而陽極電流隨著溫度的增加而減小，這是因為在高溫時，由於聲子散射等加劇，從而導致 2DEG 的電子遷移率下降。

圖 10 (a) 和圖 (b) 為採用同一製作工藝製作的常關型 AlGaIn/GaN HEMT 器件的性能。當器件閘源距離為 $1\mu\text{m}$ ，閘長為 $1.5\mu\text{m}$ ，閘漏距離為 $15\mu\text{m}$ 時，該器件的閾值電壓 (V_{th}) 為 0.6V ，在閘電壓 (V_{GS}) 為 3V 以及漏源電壓 (V_{DS}) 為 10V 時，最大汲極電流 (I_{max}) 為 $250\text{mA}/\text{mm}$ ，以及最大跨導 (G_m) 為 $110\text{mS}/\text{mm}$ 。在汲極漏電流為 $1\text{mA}/\text{mm}$ 時的擊穿電壓為 460V 和在 V_{GS} 為 3V 時比導通電阻 ($R_{ON,sp}$) $2.3\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 。

圖 11 (a) 為單片集成 L-FER 和 HEMT 的 Boost 轉換器，其為開關電源的主要部件。

圖 11 (b) 為上述轉換器的測試波形。當工作頻率為 1MHz ，占空比為 55% ，輸入為 10V 時，其輸出電壓 (V_{out}) 為 21V ，功率轉換效率為 84% ，紋波為 0.8% 。

通過單片集成 L-FER/HEMT，可以實現高溫、高壓、高效率、高反向擊穿電壓的電源轉換器，並大大降低生產成本。

本發明提供了一種便於集成的開關電源以及相關的（如開關式電機驅動電路或音頻放大器）。

一般情況下，較高的開關頻率有助於實現更小的器件體積、更快的瞬態回應以及更小的電壓過沖。然而，其工作頻率也受電晶體開關和整流器等器件固有的回應速度限制，因此這些有源器件在高頻工作時具有更大的功耗。由於氮化鎵器件在高頻率時具有更小的功耗，因此其開關頻率可進一步提高而不會降低效率。關於開關頻率的優化選擇，本發明的參考 Nowakowski，“選擇最佳開關頻率 DC-DC 轉換器”，電子工程專輯印度，2006 年 10 月和 Omura 等人進行了專門的討論。應用於頻率功率電子的 GaN 功率 HEMT，IEEE 出版號：978-14244-17285(2007 年)。以上參考文獻用於使闡述變得完整。

圖 11 (c) 為單片集成 HEMT 和整流器的 GaN 基 Buck 轉換器。其中，功率 HEMT 與整流器更適宜於集成於同一晶片上，如前述實施例。同時，HEMT 和環流二極體與兩個電抗元件相混合構成一個簡易的功率轉換電路。本實例中，這些電抗元件多數為分立器件，所示 LED 亦類似；然而，該電路也可利用集成的 LED，如圖 16 (a) - 圖 16 (c) 所示。

圖 12 為單片集成 HEMT 和整流器的 GaN 基 AC-DC 轉換器，其中全波電橋用於 AC-DC 整流及 Buck 轉換器用於

進一步直流降壓。值得指出，全橋整流器可與功率 HEMT 及環流二極體集成。同樣，也可將該系統應用於比目前主流應用高的工作頻率，如，RF 遠距離供電模組。

圖 13 為智慧電源開關框圖。這種集成的高速器件有望取代 IPS1041。該系統包括了過壓保護，過流保護，閘極保護，過溫度保護和續流二極體。在圖 13，D1 和 D2 由閘源和閘漏肖特基二極體自然形成，而 D3 二極體由上述的 L-FER 實現。R1 和 R2 是由 2DEG 溝道電阻形成，並通過與本發明在此提出的等離子體處理一起對其電阻進行調節。比較器 CMP_1 、 CMP_2 、 CMP_3 以及或閘 OR_1 、 OR_2 以及鎖存器 $LATCH_1$ 以及開關器件 S_1 由本發明者提出的增強型/耗盡型相容工藝實現。

該例中，閘極保護由 D1 與 D2 實現。電流限制由 R_1 採樣源極電流實現。過溫保護由溫度感測器，輔助比較器 CMP_1 、 CMP_2 、或閘 OR_1 、 OR_2 ，鎖存器 $LATCH_1$ 及開關 S_1 在必要時將內部閘極與源極進行短路來實現。過壓保護由 CMP_3 及 OR_2 實現，其工作機理類似於電流限制與過溫保護。當功率開關器件關斷，即外部閘源短接時，有源鉗位由 D1 與 R_1 實現。其機理為，當汲極電壓高於所設定的保護值時，二極體 D_1 將開始導通，並迫使電流流過 R_1 。 R_1 兩端的電壓將會高於功率電晶體的閾值電壓，從而開啟溝道以瀉放汲極與源極間的電壓或電流。

圖 14 給出混合器件結構的等效電路。其中，異質結晶體管與續流二極體根據在此所示的各種器件結構中的任一種來進行結合。該續流二極體多用於功率轉換器中來鉗位

功率管源極的過壓。值得指出，該二極體-電晶體混合方式給出了一種同步整流結構。該圖也給出了第二個二極體，該二極體可保護續流二極體可能出現的破壞性過流，如電源誤反接。

圖 15 給出集成不同器件類型的總覽圖，該集成基於所述申請。值得注意的是，週邊電路可包括增強型與耗盡型器件，以及肖特基二極體與橫向場效應整流器（L-FER）。晶片高壓部分可包括高壓 HEMT 與高壓 LFER，該類高壓器件相對於低壓器件在橫向尺寸上有所增加。

圖 16 (a)、圖 16 (b) 及圖 16 (c) 給出進一步集成方案，該方案中，LED 結構與上述其他結構相集成。圖 16 (a) - 圖 (c) 所示結構均包括圖 3 所示結構，及另外添加的光電器件結構。

圖 16 (a) 所示結構始於一個生長 HEMT 結構後的晶圓，其後，對用於製造 LED 的區域進行回蝕以暴露 GaN 層。之後，重新生長 LED 結構，該生長過程通過選擇性外延實現。典型情況下，LED 結構生長過程為：首先生長一層 n 型 GaN，接著生長一對窄禁帶層（如 InGaN）以形成量子阱（單量子阱或多量子阱），最後生長一層 p 型 GaN。在上述製造流程中，將使用臺面蝕刻工藝來暴露 n 型 GaN 層，同時，歐姆金屬化工藝將形成 LED 結構的陽極與陰極接觸。該工藝流程不能如上述二極體-HEMT 混合那樣實現簡易集成，但是，為實現單一晶片的更高集成度提供了解決思路。

圖 16 (b) 給出以一個生長工藝流程後形成的器件結構

(無需重新生長)，該圖中，HEMT 所需的異質結構形成於 LED 的異質結構之前。該結構與圖 16 (a) 所示結構表面類似，但存在一個重要問題：從 HEMT 層上去除 LED 層時，必須蝕刻進入 AlGaIn 層中，但不能蝕刻穿過 AlGaIn 層 (即不能過度蝕刻 AlGaIn 層)。因為 AlGaIn 層中沒有蝕刻停止層，剩餘 AlGaIn 層厚度將會具有一定工藝波動。該工藝波動將會造成 HEMT 閾值電壓的漂移，影響器件及系統功能及性能。

圖 16 (c) 給出一種很不同的結構，同樣，該結構具有單一生長工藝流程的特點 (無需重新生長)，且 LED 異質結構形成於 HEMT 異質結構之前。相對於圖 16 (b) 所示，該方法將實現 HEMT 閾值電壓的均勻性；同時，可避免圖 16 (a) 所示方法所帶來的重新選擇性外延生長的複雜行。從而這種分層結構 (在 LED 異質結構之上形成 HEMT 異質結構) 對於這種電子及光電結構的製造來說尤其有利。

根據所公開的各個實施例，提供了一種集成功率器件結構，其包括：混合二極體，其包括並聯的場控制二極體和肖特基二極體；以及異質結場效應電晶體；其中所述混合二極體與所述電晶體集成於同一 III-氮化物半導體層之上；以及其中，所述混合二極體與所述電晶體均包括形成圖形的區域，該區域中，永久性負電荷被引入到所述同一 III-氮化物半導體層中較窄禁帶部分之上的較寬禁帶部分中。

根據所公開的各個實施例，提供了一種集成功率器件，其包括：III-氮化物半導體異質結構，其包括處於其有源層之上的勢壘層，所述勢壘層和所述有源層具有不同的禁

帶寬度；第一結構區，其包括與所述半導體結構具有歐姆接觸和第一肖特基勢壘接觸的陽極電極，以及與所述半導體結構具有歐姆接觸的陰極電極；第二結構區，其包括與所述半導體結構的分別部分具有歐姆接觸的源極電極和汲極電極，以及位於所述源極電極和汲極電極之間的具有與所述半導體器件結構進行肖特基勢壘接觸的閘極電極；以及各個陷阱電荷區，這些區域位於所述第一和第二結構區中的所述肖特基勢壘接觸之下。

根據所公開的各個實施例，提供了一種開關功率轉換器，其包括：至少一個異質結場效應電晶體，被連接來控制流經至少一個電感器的電流；混合二極體，其包括並聯的肖特基二極體與場控制二極體，且該混合二極體可連接到所述電感器的至少一端；其中，所述的混合二極體與所述電晶體集成於同一 III-氮化物半導體層上；以及其中，所述開關模式功率轉換器能在高頻下高效率地工作。

根據所公開的各個實施例，提供了一種開關功率轉換方法，其包括：使用至少一個異質結場效應電晶體來控制流經至少一個電感器的電流；以及使用至少一個包括並聯的肖特基二極體和場控制二極體的混合二極體來對所述電感器的至少一端的電流進行整流；其中所述混合二極體和所述電晶體集成於同一 III-氮化物半導體層之上；由此，所述開關模式功率轉換器能在高頻下高效率地工作。

根據所公開的各個實施例，提供了一種製造集成半導體器件的方法，其包括以下實施：形成 III-氮化物異質結構，其包括勢壘層和有源層，所述勢壘層和所述有源層具有

不同的禁帶寬度；形成一個或多個隔離結構，以至少部分地將所述異質結構分割為第一結構區和第二結構區；製造第一結構，該第一結構位於所述第一結構區中，且該第一結構包括：與所述半導體結構具有歐姆接觸和第一肖特基勢壘接觸的陽極，與所述有源區具有歐姆接觸的陰極，和與位於所述第一肖特基接觸的正下方的第一永久性負電荷陷阱區；以及製造第二結構，該第二結構位於所述第二結構區中，且該第二結構包括：與所述半導體結構的分別部分進行歐姆接觸的源極電極和汲極電極，以及位於所述源極電極與汲極電極之間，且與所述半導體結構具有肖特基勢壘接觸的閘極電極；以及第二永久性負電荷陷阱區，該區位於所述第二肖特基接觸的正下方。

根據所公開的各個實施例，提供了一種集成器件結構，其包括：位於第二異質結構之上的第一半導體異質結構，一個或多個異質結構場效應電晶體，以及一個或多個混合二極體整流器結構，所有這些都集成到所述第一半導體抑制結構中；以及在所述第二異質結構中形成的一個或多個發光二極體，其中已經至少部分地去除了所述第一異質結構。

根據所公開的各個實施例，提供了基於 GaN 或類似半導體材料的集成了高效率橫向場效應整流器和 HEMT 的器件、該集成器件的製造方法、以及包括這種集成器件的系統。橫向場效應整流器具有包含短接的歐姆接觸和肖特基接觸的陽極，以及具有包含歐姆接觸的陰極，而 HEMT 優選地具有包含肖特基接觸的閘極。在整流器和 HEMT 中的

兩個肖特基接觸的正下方形成兩個氦離子包含區域，以夾斷兩個結構中外延層之間的異質界結面的（電子氣）溝道。

修改與改變

本領域的技術人員應該認識到，可對本發明所描述的創新性設計進行改變或修改，使其適於大量的其他應用，因此，本發明主題的保護範圍不受任何所給出的特定示範性實施例的限制。其目的在於包含落入所附權利要求的思想和寬廣範圍內的所有這些替換物、修改和變型。

例如，半導體組分的細微改變，比如以含磷氮化物替代純氮化物，或使用 $Al_yGa_{(1-y)}N$ 層上的 $Al_xGa_{(1-x)}N$ 替代的異質結構來作為一種選擇。

半導體材料的研究正迅速發展，因此，同樣可能出現其他可利用本專利所公開的結構及工藝的半導體合金。例如，III-氮化物半導體中的 III 族半導體可被包含某些 IIIA 族元素組分所替代，如，Ti。

本專利為實現單電源供電的 RFIC（射頻積體電路）及 MMIC（微波積體電路）提供可能。本專利也為用戶提供了用來實現高溫電子領域所需的基於 GaN 的數位積體電路的單片集成技術。

例如，在所描述的各种器件結構中，可選擇大量的材料以用於形成電極或接觸金屬（需要考慮到可能造成的功函數的改變）。一種可預期的實現方式是，功函數不同的閘電極材料可與以上的不同實現方式所提供的陷阱面電荷層相結合。同樣的，可對外延層摻雜進行大量的改變或替

換。

附加的結構特徵也可被添加於本發明描述的基本結構中。如，除接觸外，也可添加到各種場板結構。

有助於展示變型及實現的附加的背景資料可見於以下文獻。將這些文獻以引文形式併入：

N.-Q. Zhang , B. Moran, S. P. Denbaars, U. K. Mishra, X. W. Wang, and T. P. Ma, *Phys. Status Solidi A* 188, 213 (2001) ;

W. Saito, Y. Takada, M. Kuraguchi, K. Tsuda, I. Omura, T. Ogura, and H. Ohashi, *IEEE Trans. Electron Devices* 50, 2528 (2003) ;

H. Xing, Y. Dora, A. Chini, S. Heikman, S. Keller, and U. K. Mishra, *IEEE Electron Device Lett.* 25, 161 (2004) ;

Y. Dora, A. Chakraborty, L. McCarthy, S. Keller, S. P. DenBaars, and U. K. Mishra, *IEEE Electron Device Lett.* 27, 713 (2006) ;

N. Tipirneni, A. Koudymov, V. Adivarahan, J. Yang, G. Simin, M. Asif Khan, *IEEE Electron Device Lett.* 27, 716 (2006) ;

Y. Irokawa, B. Luo, Jihyun Kim, J. R. LaRoche, F. Ren, K. H. Baik, S. J. Pearton, C.-C. Pan, G.-T. Chen, J.-I. Chyi, S. S. park and Y. J. Park, *Appl. Phys. Lett.* 83, 2271 (2003) ;

A. P. Zhang, J. W. Johnson, B. Luo, F. Ren, S. J. Pearton, S. S. Park, Y. J. Park, and J. - I. Chyi, *Appl. Phys.*

Lett. 79, 1555 (2001) ;

Z. Z. Bandić, P. M. Bridger, E. C. Piquette, and T. C. McGill, R. P. Vaudo, V. M. Phanse and J. M. Redwing, Appl. Phys. Lett. 74, 1266 (1999) ;

A. P. Zhang, G. T. Dang, F. Ren, H. Cho, K. Lee, S. J. Pearton, J.-I Chyi, T.-E. Nee, C.-M. Lee, and C.-C. Chuo, IEEE Trans. Electron Devices 48, 407 (2001) ;

J. W. Johason, A. P. Zhang, W.-B. Luo, F. Ren, S. J. Pearton, S. S. Park, Y. J. Park, and J.-I. Chyi, IEEE Trans. Electron Devices 49, 32 (2002) ;

Y. Zhou, D. Wang, C. Ahyi, C.-Che T., J. Williams, M. Park, N. Mark Williams, A. Hanser, Solid-State Electronics 50, 1744 (2006) ;

J. B. Limb, D. Yoo, J. - H. Ryou, S. - C. Shen, and R. D. Dupuis, IEE Electronics Lett. 43, 67 (2007) 。

【圖式簡單說明】

圖 1 揭示傳統肖特基二極體 (SBD) 器件的剖面圖。

圖 2 揭示具有雙金屬陽極的 AlGa_N/Ga_N SBD 器件的剖面圖。

圖 3 揭示本發明所提出的可與 AlGa_N/Ga_N HEMT 相容的橫向功率場效應整流器的剖面圖。

圖 4(a)-圖 4(c)揭示氬離子注入前後 AlGa_N/Ga_N HEMT 的導帶圖和電子濃度的比較效果。

圖 5(a)-圖 5(e)揭示本發明所提出的可與 AlGa_N/Ga_N

HEMT 相容的橫向功率場效應整流器的製作流程的示例。

圖 6(a)-圖 6(d)圖示本發明所提出的單片集成的常關型 AlGaIn/GaN HEMT 和橫向功率場效應整流器的製作流程的示例。

圖 7(a)和圖 7(b)揭示本發明所提出的可與 AlGaIn/GaN HEMT 相容的橫向功率場效應整流器的正向和反向特性。

圖 8 (a) 揭示本發明所提出的可與 AlGaIn/GaN HEMT 相容的橫向功率場效應整流器的比導通電阻和擊穿電壓二者與漂移區長度之間的關係。

圖 8 (b) 揭示本發明所提出的可與 AlGaIn/GaN HEMT 相容的橫向功率場效應整流器的漂移區長度為 $5\ \mu\text{m}$ 、 $10\ \mu\text{m}$ 和 $15\ \mu\text{m}$ 時正向偏壓 I-V 特性。

圖 9 揭示本發明所提出的可與 AlGaIn/GaN HEMT 相容的橫向功率場效應整流器的正向特性與溫度的關係，該圖中的電流相對於以室溫下正向偏壓為 3V 時的電流進行了歸一化。

圖 10 (a) 和圖 (b) 揭示根據本發明的常關型 AlGaIn/GaN HEMT 的特性：(a) 轉移特性；(b) 源-漏輸出特性。

圖 11 (a) 揭示根據本發明的單片集成了 AlGaIn/GaN HEMT 和橫向功率場效應整流器的 GaN 基 Boost 轉換器的示例。

圖 11 (b) 揭示圖 11 (a) 所示的單片集成的 GaN 基 Boost 轉換器的測試波形。

圖 11 (c) 揭示集成的降壓 (buck) 變換器，該變換器

包括一個 HEMT 開關及一個整流器。

圖 12 揭示 交流一直流轉換器，該轉換器集成整流器與一個功率 HEMT 開關。

圖 13 揭示智慧功率開關的原理框圖。

圖 14 揭示混合器件結構的等效電路圖。

圖 15 揭示可集成於同一晶片的多種不同器件結構。

圖 16 (a) -圖 (c) 進一步給出 3 個集成結構與方法，其中，二極體和電晶體與多種不同 LED 結構實現集成。

【主要元件符號說明】

1~6 光罩

301 橫向功率場效應整流器

303 常關型 AlGa_N/Ga_N HEMT

305 肖特基接觸區域長度

307 是 L-FER 301 漂移區長度。

309 閘源距離

311 肖特基閘長度

313 閘漏距離

315 源電極

317 閘電極

319 漏電極

321 AlGa_N 層

323 導電溝道

325 Ga_N 層

327 襯底

- 329 具有帶永久負電荷的離子的區域
- 331 陰極電極
- 333 陽極電極
- 335 肖特基接觸
- 337 具有帶永久負電荷的離子的區域
- 339 歐姆接觸
- 501 器件臺面
- 503 AlGa_N/Ga_N 表面
- 505 歐姆接觸區域
- 507 氟離子注入以限定電極接觸
- 509 鈍化層
- 511 Pad
- 513 場板 (FP)
- 601 整流器
- 603 HMET
- 605 歐姆接觸 605。
- 609、613 氟注入區
- 611 肖特基接觸

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：098110834

※申請日：98.4.1

※IPC 分類：

H01L 27/06 (2006.01)

H01L 21/8248 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

集成的 HEMT 和橫向場效應整流器組合、方法及系統

二、中文發明摘要：

本發明提供一種集成的 HEMT 和橫向場效應整流器組合、方法及系統。本發明公開了基於 GaN 或其他類似半導體材料的集成高效率橫向場效應整流器和 HEMT 的器件、這種集成器件的製造方法及包括這種集成器件的系統。所述橫向場效應整流器具有陽極，該陽極包括短接的歐姆接觸和肖特基接觸；陰極，該陰極包括歐姆接觸，而 HEMT 優選具有包括肖特基接觸的閘極。二個具有氟離子的區域分別形成於所述整流器與 HEMT 所包括的肖特基接觸的正下方以夾斷兩個結構中外延層之間的異質界結面的（電子氣）溝道。

三、英文發明摘要：

七、申請專利範圍：

1. 一種集成功率器件結構，包括：

混合二極體，其包括並聯的肖特基二極體與場控制二極體；以及

異質結構場效應電晶體；

其中，所述混合二極體與所述電晶體集成於同一 III-氮化物半導體層之上；

其中，所述混合二極體與所述電晶體均包括形成圖形的區域，該區域中，永久性負電荷被引入到所述同一 III-氮化物半導體層中的較窄禁帶部分之上的較寬禁帶部分中。

2. 如申請專利範圍第 1 項所述的結構，其中，所述永久性負電荷包括氟離子。

3. 如申請專利範圍第 1 項所述的結構，其中，所述較寬禁帶部分是未摻雜的。

4. 如申請專利範圍第 1 項所述的結構，其中，所述較寬禁帶部分包含 AlGa₂N。

5. 如申請專利範圍第 1 項所述的結構，其中，所述較寬禁帶部分包含其上覆蓋了 GaN 的 AlGa₂N。

6. 如申請專利範圍第 1 項所述的結構，其中，所述較窄禁帶部分包含 GaN。

7. 如申請專利範圍第 1 項所述的結構，其中，所述 III-氮化物半導體主要由包括不止一種第三主族材料的金屬氮化物組成。

8. 如申請專利範圍第 1 項所述的結構，其中，所述 III-氮化物半導體包括 GaN 及相關三元半導體材料。

9. 一種集成功率器件，其包括：

III-氮化物半導體異質結構，其包括勢壘層及位於其下的有源層，所述勢壘層與所述有源層具有不同的禁帶；

第一結構區，其包括：

陽極，該陽極與所述半導體異質結構具有歐姆接觸和第一肖特基勢壘接觸；以及

陰極，該陰極與所述半導體異質結構具有歐姆接觸；

第二結構區，其包括：

源極和汲極，該源極和汲極與所述半導體異質結構的分別部分形成歐姆接觸；以及

閘極，該閘極與所述半導體異質結構形成肖特基勢壘接觸，且閘極位於所述源極與汲極之間；以及

分別的永久性陷阱電荷區，這些區位於所述第一結構區及第二結構區中的所述肖特基勢壘接觸之下。

10. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，其中，所述永久性陷阱電荷包括氟離子。

11. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，其中，所述勢壘層是未摻雜的。

12. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，其中，所述勢壘層包括 AlGa_N。

13. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，其中，所述勢壘層包含其上覆蓋了的 GaN 的 AlGa_N。

14. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，其中，所述有源層包含 GaN。

15. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，其中，所述 III-氮化物半導體主要由包括不止一種第三主族材料的金屬氮化物組成。

16. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，其中，所述 III-氮化物半導體包括 GaN 及相關三元半導體材料。

17. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，其中，所述有源層位於一個 III-氮化物緩衝層之上，該 III-氮化物緩衝層位於一個 III-氮化物成核層之上。

18. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，其中，所述第一結構區包括多個場效應整流器，以及所述第二結構區包括多個 HEMT。

19. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，進一步包括器件上方的氮化矽鈍化層或氧化矽鈍化層。

20. 如申請專利範圍第 9 項所述的器件，進一步包括器件上方的聚醯亞胺鈍化層或苯環丁烯鈍化層。

21. 一種開關功率轉換器，其包括：

至少一個異質結場效應電晶體，其被連接來控制流經至少一個電感器的電流；以及

混合二極體，其包括並聯的肖特基二極體與場控制二極體，且該混合二極體可被連接來對所述電感器的至少一端進行整流；

其中，所述混合二極體與所述電晶體集成於同一 III-氮化物半導體層上；

其中，所述開關模式功率轉換器具有高工作頻率與高效率。

22. 如申請專利範圍第 21 項所述的功率轉換器，其中，所述混合二極體與所述電晶體被臺面隔離彼此隔離。

23. 一種開關功率轉換方法，包括：

採用至少一個異質結場效應電晶體來控制流經至少一個電感器的電流；以及

採用至少一個混合二極體來對所述電感器的至少一端進行整流，該混合二極體包括並聯的肖特基二極體與場控制二極體；

其中，所述的混合二極體與所述電晶體集成於同一 III-氮化物半導體層上；

其中，所述開關模式功率轉換器具有高工作頻率與高效率。

24. 如申請專利範圍第 23 項所述的開關功率轉換方法，其中，以 10MHz 以上的頻率對所述電晶體進行開關。

25. 一種製造集成半導體器件的方法，該方法包括以下步驟：

形成 III-氮化物異質結構，該結構包括勢壘層和有源層，所述勢壘層與所述有源層具有不同的禁帶；

形成一個或多個隔離結構，該隔離結構將所述異質結構至少部分地分割為第一結構區和第二結構區；

在所述第一結構區中製造第一結構，第一結構包括：與所述半導體結構具有歐姆接觸和第一肖特基勢壘接觸的陽極，與所述半導體結構具有歐姆接觸的陰極，以及位於所述第一肖特基勢壘接觸的正下方的第一永久性負電荷陷阱區；以及

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：圖3。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

301 橫向功率場效應整流器

303 常關型 AlGa_N/Ga_N HEMT

305 肖特基接觸區域長度

307 是 L-FER 301 漂移區長度。

309 閘源距離

311 肖特基閘長度

313 閘漏距離

315 源電極

317 閘電極

319 漏電極

321 AlGa_N 層

323 導電溝道

325 Ga_N 層

327 襯底

329 具有帶永久負電荷的離子的區域

331 陰極電極

333 陽極電極

335 肖特基接觸

337 具有帶永久負電荷的離子的區域

339 歐姆接觸

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式

：

在所述第二結構區中製造第二結構，該第二結構包括：

與所述半導體結構的分別的部分進行歐姆接觸的源極和汲極，

閘極，該閘極位於所述源極與所述汲極之間，且該閘極與所述半導體結構具有第二肖特基勢壘接觸，以及

第二永久性負電荷陷阱區，該區位於所述第二肖特基接觸的正下方。

26. 如申請專利範圍第 25 項所述的方法，其中，製造所述第一結構與製造所述第二結構同時進行。

27. 如申請專利範圍第 25 項所述的方法，該方法進一步包括在形成所述肖特基接觸後，對所形成的器件實施熱退火處理。

28. 如申請專利範圍第 25 項所述的方法，該方法進一步包括用氮化矽、氧化矽、聚醯亞胺或苯環丁烯來實施鈍化。

29. 如申請專利範圍第 25 項所述的方法，其中，所述第一永久性負電荷陷阱區與第二永久性負電荷陷阱區由等離子處理或低能量離子注入來產生。

30. 如申請專利範圍第 25 項所述的方法，其中，所述第一永久性負電荷陷阱區與第二永久性負電荷陷阱區由化合物的處理來產生，該化合物可從 CF_4 , SF_6 , BF_3 化合物中選其一，也可為 CF_4 , SF_6 , BF_3 的組合形式。

八、圖式：(如次頁)