



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201110344 A1

(43)公開日：中華民國 100 (2011) 年 03 月 16 日

(21)申請案號：098129929

(22)申請日：中華民國 98 (2009) 年 09 月 04 日

(51)Int. Cl.：

H01L29/778 (2006.01)

H01L29/812 (2006.01)

H01L21/334 (2006.01)

(71)申請人：國立交通大學(中華民國) NATIONAL CHIAO TUNG UNIVERSITY (TW)

新竹市大學路 1001 號

(72)發明人：張翼 CHANG, EDWARDYI (TW)；呂宗育 LU, CHUNGYU (TW)

(74)代理人：蔡坤財；李世章

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：6 項 圖式數：7 共 18 頁

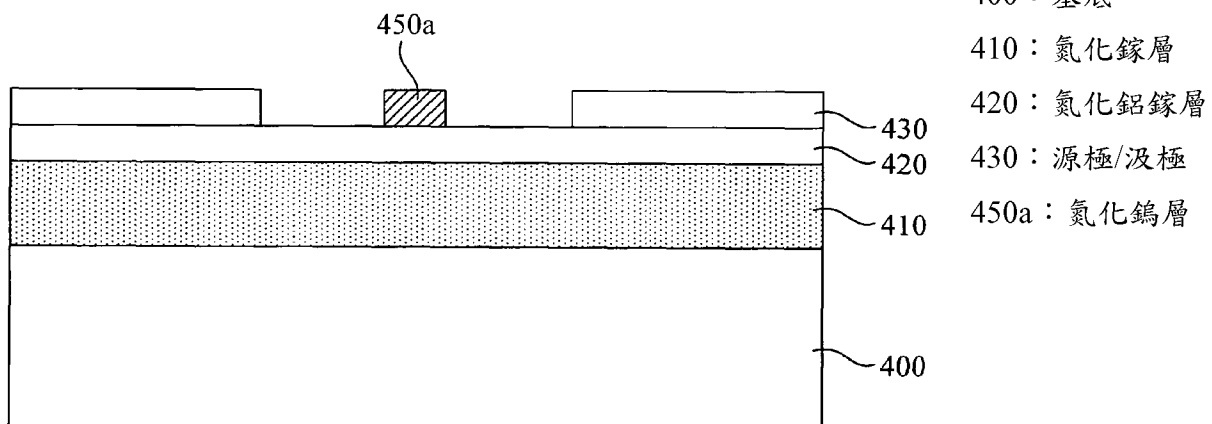
(54)名稱

具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎵電晶體及其製造方法

GAN TRANSISTOR WITH NITROGEN-RICH TUNGSTEN NITRIDE SCHOTTKY GATE CONTACT AND METHOD OF FORMING THE SAME

(57)摘要

提供一種具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎵電晶體，在基底上依序具有氮化鎵層、氮化鋁鎵層、蕭特基閘極以及位於閘極兩側之源極與汲極。其中蕭特基閘極的材料為氮莫耳百分比為 0.5 之氮化鎢。



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： 98129929

※申請日： 98.9.4

※IPC 分類： H01L 29/778 (2006.01)
H01L 29/812 (2006.01)
H01L 21/334 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎵電晶體及其製造方法

GaN Transistor with Nitrogen-Rich Tungsten Nitride
Schottky Gate Contact and Method of Forming the Same

二、中文發明摘要：

提供一種具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎵電晶體，在基底上依序具有氮化鎵層、氮化鋁鎵層、蕭特基閘極以及位於閘極兩側之源極與汲極。其中蕭特基閘極的材料為氮莫耳百分比為 0.5 之氮化鎢。

三、英文發明摘要：

A HEMT GaN transistor with nitrogen-rich tungsten nitride Schottky gate contact is provided. The HEMT GaN transistor sequentially has a GaN layer on a substrate, a AlGaN layer on the GaN layer, a Schottky gate on the GaN layer, and a source and a drain on two sides of the Schottky gate. The Schottky gate is made by a material of tungsten nitride, which has a nitrogen content of 0.5 molar ratio.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (4C) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

400：基底

410：氮化鎵層

420：氮化鋁鎵層

430：源極/汲極

450a：氮化鎢層

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種具有蕭特基閘極接觸之電晶體，且特別是有關於一種具有蕭特基閘極接觸之高電子移動率電晶體(High Electron Mobility Transistor; HEMT)。

【先前技術】

在具有蕭特基閘極接觸之高電子移動率電晶體中，習知大部分 HEMT 氮化鎵電晶體係使用鎳金屬作為蕭特基閘極接觸(Schottky Gate Contact)。鎳具有高的功函數(約為 5.15 eV)，因此可與 HEMT 氮化鎵電晶體中之氮化鋁鎵/氮化鎵表面形成良好之蕭特基接觸。HEMT 氮化鎵電晶體由於有著高崩潰電壓與高能隙等物理特性，因此可被置於高溫或是高電壓及高電流環境下操作。然而，以鎳作為 HEMT 氮化鎵電晶體之閘極，往往在高溫或是高電壓及高電流下，會有特性退化的現象出現。

在攝氏 600 度下高溫退火製程中，鎳金屬會擴散進入 HEMT 氮化鎵電晶體中之氮化鋁鎵/氮化鎵，造成傳輸電子特性的變化。在高電流及正偏導通的條件下進行時效(aging)後，蕭特基閘極接觸會有漏電流增加的現象，導致元件崩潰電壓下降，進而使元件失效。因此，大大限制了 HEMT 氮化鎵電晶體之操作環境與條件。

【發明內容】

因此，本發明之一態樣是在提供一種具有高氮含量氮

化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎢電晶體。其具有高熱穩定性及高耐時效性之特性，以解決習知之問題。

上述之具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎢電晶體，在基底上依序具有氮化鎢層、氮化鋁鎢層、蕭特基閘極以及位於閘極兩側之源極與汲極。其中蕭特基閘極的材料為氮莫耳百分比為 0.5 之氮化鎢。

依據本發明一實施例，上述氮化鎢之化學式為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 。

另外，還提供上述具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎢電晶體的製造方法。

【實施方式】

依據本發明之一實施方式，以高氮含量之氮化鎢閘極取代鎢金屬閘極，可獲得具有高熱穩定性及高耐時效性 (aging resistant) 之蕭特基閘極接觸。依據一實施例，上述高氮含量氮化鎢中之氮的莫耳百分比為 0.5。

高氮含量氮化鎢的製造方法

依據一實施方式，上述高氮含量氮化鎢的製造方法可為反應濺鍍法，例如直流磁控反應濺鍍法 (direct-current magnetron reactive sputtering)。依據一實施例，濺鍍時，使用純度高達 99.99% 之純鎢靶，並將反應濺鍍室內之壓力降低至 1×10^{-6} Torr，清除之前留下的污染源。然後將直流電源的功率固定在 30 瓦，通入氮氣與氬氣的混合氣體，進行反應濺鍍，以沉積氮化鎢薄膜。上述氮氣/氬氣的流量比控制為 0.5，藉此控制氮化鎢薄膜中之氮含量多寡。而在濺鍍

過程中，反應濺鍍室內壓力約為 5 mTorr。

依據 X 光光電子光譜(X-ray photoelectron spectroscopy; XPS)之鑑定，當上述氮氣/氬氣的流量比控制為 0.5 時，所得之氮化鎢薄膜組成約為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 。在第 1A-1B 圖中，分別顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之氮之 1s 軌域電子以及鎢之 4f 軌域電子的 XPS 光譜。上述之氮化鎢的化學式，是藉由計算氮之 1s 軌域電子的譜峰與鎢之 4f 軌域電子的譜峰之積分面積比所獲得。

依據 X 光散射(X-ray diffraction; XRD)光譜之鑑定，發現 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之晶相與 W_2N 之晶相十分類似。在第 2 圖中，由上至下依序顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 、 W_2N 以及 W 之 XRD 光譜。由第 2 圖可知，不論是 $W_{0.52}N_{0.48}$ 或 W_2N 皆沒有觀察到 W 的 XRD 譜峰，顯示其皆不含純 W 之晶相。但是 $W_{0.52}N_{0.48}$ 和 W_2N 之 XRD 譜峰十分類似，唯一的差別是 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之 XRD 譜峰往低角度移動了一些。此往低角度移動之現象顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 中多出來的氮原子可能是位在 W_2N 之晶格縫隙(interstitial site)中，因此並沒有改變 W_2N 晶格之排列方式，只有改變其晶格大小而已。

依據第 3 圖紫外光放射(UV photoemission)光譜之鑑定，可得到 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之功函數約為 4.88 eV。雖然比鎢之功函數 5.15 eV 略小，但卻比 W_2N 之功函數 4.5 eV 要大。此現象顯示增加 W_2N 之氮含量之後，可以增加氮化鎢之功函數。

HEMT 氮化鎢電晶體的製造方法

請參照第 4A - 4C 圖，其係繪示依照本發明一實施方

式的一種 HEMT 氮化鎵電晶體的製造流程剖面示意圖。

在第 4A 圖中，在基底 400 之上依序形成氮化鎵層 410、氮化鋁鎵層 420 以及源極/汲極 430。然後在最上方塗布一層光阻 440，進行微影製程，在兩側之源極/汲極 430 間之光阻 440 中形成開口 440a，暴露出氮化鋁鎵層 420 之上表面。

在第 4B 圖中，利用上述之反應濺鍍法，在開口 440a 中氮化鋁鎵層 420 之上表面形成高氮含量之氮化鎢層 450a，以及在光阻 440 之上表面形成高氮含量之氮化鎢層 450b。

最後，在第 4C 圖中，去除光阻 440 以及位於其上之氮化鎢層 450b，留下氮化鎢層 450a 作為閘極，得到 HEMT 氮化鎵電晶體。

測試蕭特基能障高度

接著，對第 4C 圖之 HEMT 氮化鎵電晶體進行蕭特基能障高度之特性測試。第 5 圖係顯示 HEMT 氮化鎵電晶體之氮化鎢閘極的氮含量與 HEMT 氮化鎵電晶體蕭特基能障高度之間的關係。在第 5 圖中，虛線表示為氮含量之迴歸曲線，對應至右邊縱軸之氮含量。實線為 XRD 之角度近似曲線，對應至左邊縱軸之 XRD 譜峰之 2 倍角位置。

由於從第 2 圖可知，氮化鎢之氮含量越高，其 XRD 譜峰位置會越往低角度移動。所以，當第 5 圖之左邊縱軸以 XRD 譜峰之 2 倍角位置的角度越小時，表示右邊縱軸對應之氮化鎢閘極的氮含量越多。由第 5 圖可知，當氮含量越高時，其蕭特基能障高度越高，使 HEMT 氮化鎵電晶體的

漏電流越低。

測試耐時效性

接著，再對第 4C 圖之 HEMT 氮化鎵電晶體進行耐時效性之實驗。由於第 4C 圖之 HEMT 氮化鎵電晶體的閘極是使用蕭特基接觸，在正常操作下，閘極將保持在負偏壓狀態下，而不會產生閘極電流。然而在高頻下操作時，若輸入功率過大使元件離開線性操作區而進入飽和區，或是系統產生雜訊時，會使閘極處於正偏壓狀態下，而使其導通。

在此分別測試使用高氮含量氮化鎢閘極以及鎳/金閘極之兩種 HEMT 氮化鎵電晶體的耐時效性，以進行比較測試。在此測試中，測試條件為對元件閘極施加正電壓使其導通，並固定閘極電流密度為 1 A/mm ，在持續 24 小時後，再分別觀察高氮含量氮化鎢閘極以及鎳/金閘極在不同固定閘極電壓下，量測電晶體導通後之汲極電流的大小。

第 6A-6B 圖分別為使用高氮含量氮化鎢閘極以及鎳/金閘極之兩種 HEMT 氮化鎵電晶體在上述測試條件下之測試結果。測試時，在對閘極施加大小不同之固定電壓(0 - -4 伏特)的情況下，慢慢增加汲極電壓，並同時量測汲極電流。在第 6A 圖中，顯示具有高氮含量氮化鎢閘極之 HEMT 氮化鎵電晶體在 24 小時之時效後，其飽和汲極電流僅減少 3%，表示閘極控制汲極電流大小的能力並無明顯改變，亦即 HEMT 氮化鎵電晶體之電流傳輸特性並無明顯的改變。由此可得知閘極並無明顯損傷，且其氮化鎢材料並無擴散至下方之氮化鋁鎵層及氮化鎵層的現象。相反地，在第 6B

圖中，顯示具有鎳/金閘極之 HEMT 氮化鎵電晶體在 24 小時之時效後，閘極已經失去控制汲極電流大小的能力。由此可以證明使用氮化鎢材料來做為 HEMT 氮化鎵電晶體的閘極，可以非常有效地提升元件之耐時效性。

測試熱穩定性

此外，亦對具有高氮含量氮化鎢閘極之 HEMT 氮化鎵電晶體之熱穩定性進行測試，此特性將會影響 HEMT 氮化鎵電晶體之最高工作溫度以及散熱機構之設計。測試條件為在攝氏 600 度下進行一小時之回火(anneal)製程後，在不同固定閘極電壓(0 - -4 伏特)下，量測電晶體導通後之汲極電流的大小。

第 7 圖為具有高氮含量氮化鎢閘極之 HEMT 氮化鎵電晶體的熱穩定性測試結果。在第 7 圖中，顯示 HEMT 氮化鎵電晶體在退火前後之電流特性曲線十分接近，顯示閘極之高氮含量氮化鎢材料並沒有被高溫分解或擴散至下方之氮化鋁鎵層及氮化鎵層，而導致閘極掘入(gate sinking)的問題。

由上面測試可知，使用高氮含量氮化鎢材料來製作 HEMT 氮化鎵電晶體的閘極，具有高耐時效性與高熱穩定性，使 HEMT 氮化鎵電晶體的可靠度大為提高。

雖然本發明已以實施方式揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作各種之更動與潤飾，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

【圖式簡單說明】

為讓本發明之上述和其他目的、特徵、優點與實施例能更明顯易懂，所附圖式之說明如下：

第 1A-1B 圖分別為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之氮之 1s 軌域電子以及鎢之 4f 軌域電子的 XPS 光譜。

第 2 圖由上至下依序顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 、 W_2N 以及 W 之 XRD 光譜。

第 3 圖顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之紫外光放射光譜。

第 4A - 4C 圖係繪示依照本發明一實施方式的一種 HEMT 氮化鎢電晶體的製造流程剖面示意圖。

第 5 圖係顯示 HEMT 氮化鎢電晶體之氮化鎢閘極的氮含量與 HEMT 氮化鎢電晶體蕭特基能障高度之間的關係。

第 6A-6B 圖分別為使用高氮含量氮化鎢閘極以及鎳/金閘極之兩種 HEMT 氮化鎢電晶體之耐時效性測試結果。

第 7 圖為具有高氮含量氮化鎢閘極之 HEMT 氮化鎢電晶體的熱穩定性測試結果。

【主要元件符號說明】

400：基底

410：氮化鎢層

420：氮化鋁鎢層

430：源極/汲極

440：光阻

440a：開口

450a、450b：氮化鎢層

七、申請專利範圍：

1. 一種具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎵電晶體，該 HEMT 氮化鎵電晶體至少包含：

- 一氮化鎵層，位於一基底上；
- 一氮化鋁鎵層，位於該氮化鎵層上；
- 一蕭特基閘極，位於該氮化鋁鎵層上，且該蕭特基閘極之材料為氮莫耳百分比約為 0.5 之氮化鎢；以及
- 一源極與一汲極分別位於該蕭特基閘極兩側之該氮化鋁鎵層上。

2. 如請求項 1 所述之 HEMT 氮化鎵電晶體，該氮化鎢之化學式為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 。

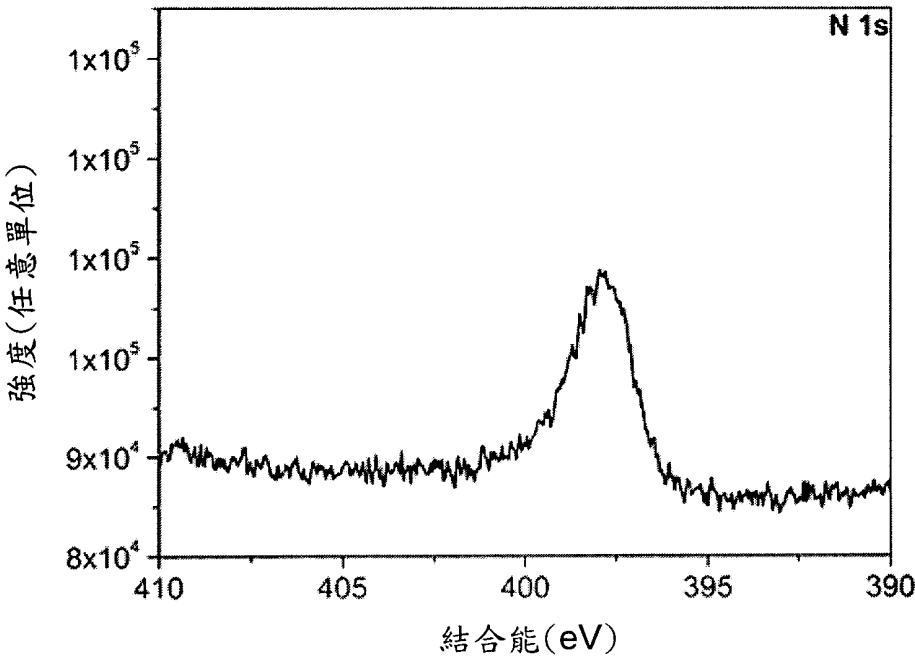
3. 一種具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎵電晶體的製造方法，該製造方法至少包含：

- 形成一氮化鎵層於一基底上；
- 形成一氮化鋁鎵層於該氮化鎵層上；
- 形成一源極與一汲極於該氮化鋁鎵層上，且該源極與汲極之間相隔一距離；以及
- 形成一蕭特基閘極，位於該源極與汲極間之該氮化鋁鎵層上，且該蕭特基閘極之材料為氮莫耳百分比約為 0.5 之氮化鎢。

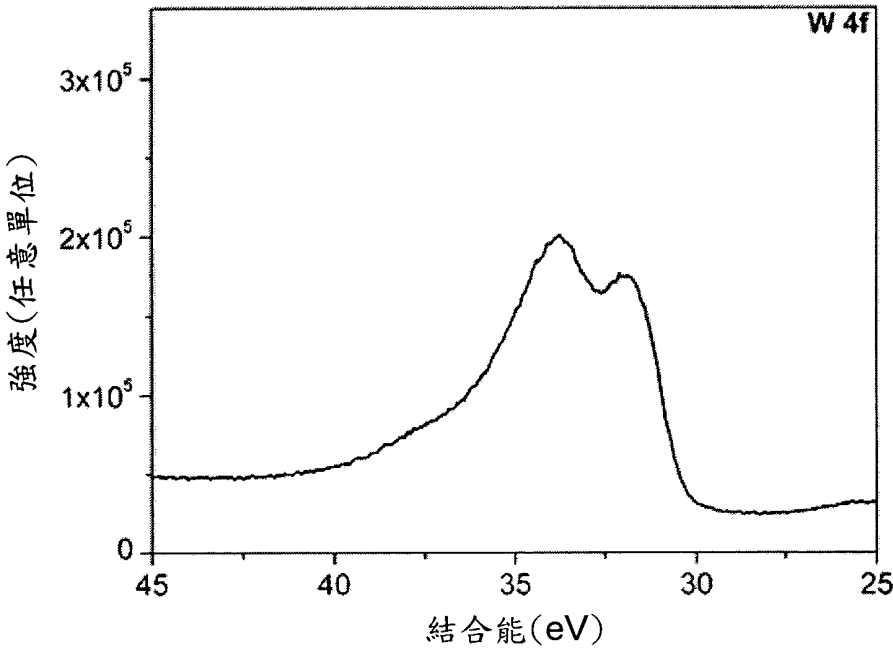
4. 如請求項 3 所述之製造方法，其中形成該氮化鎢的方法至少包含反應濺鍍法。

5. 如請求項 4 所述之製造方法，其中該反應濺鍍法中所通入之氣體為混合比例 0.5 之氮氣/氬氣。

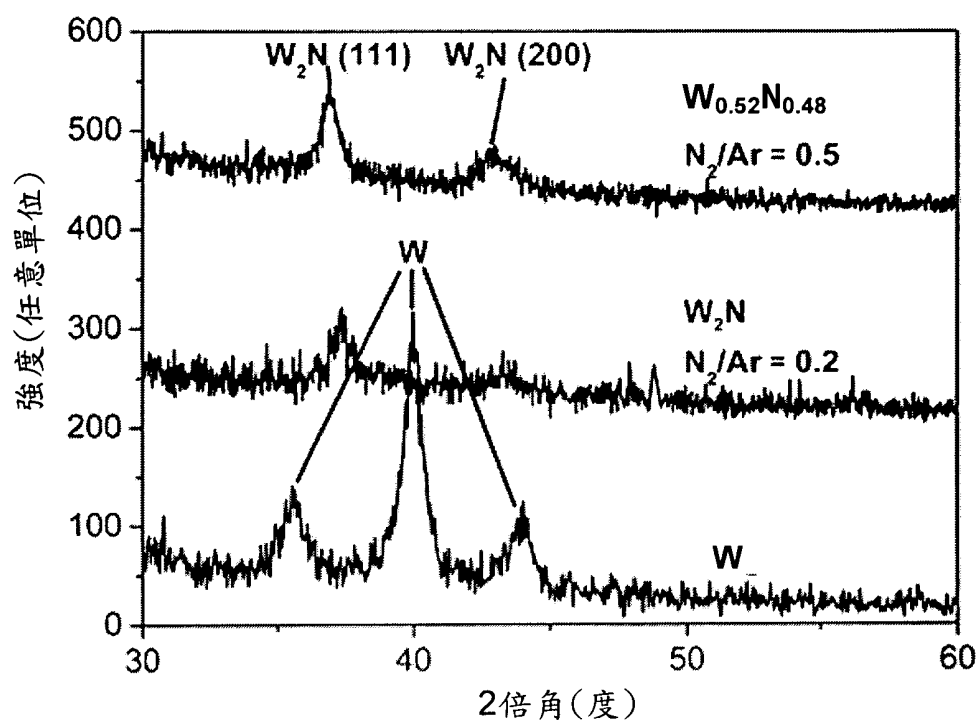
6. 如請求項 3 所述之製造方法，其中該氮化鎢之化學式為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 。



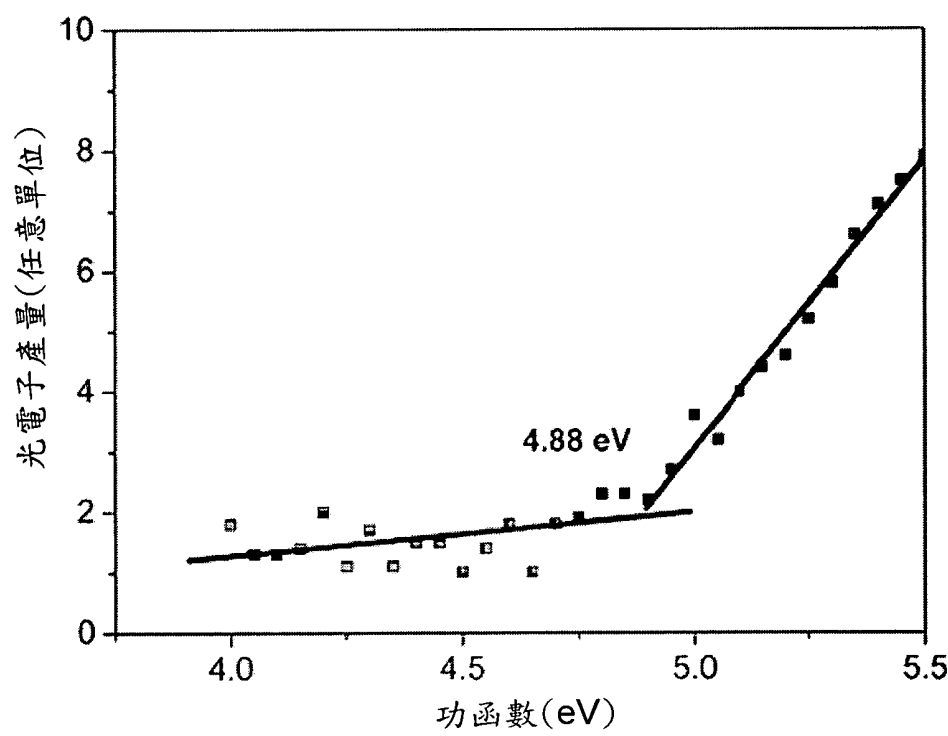
第 1A 圖



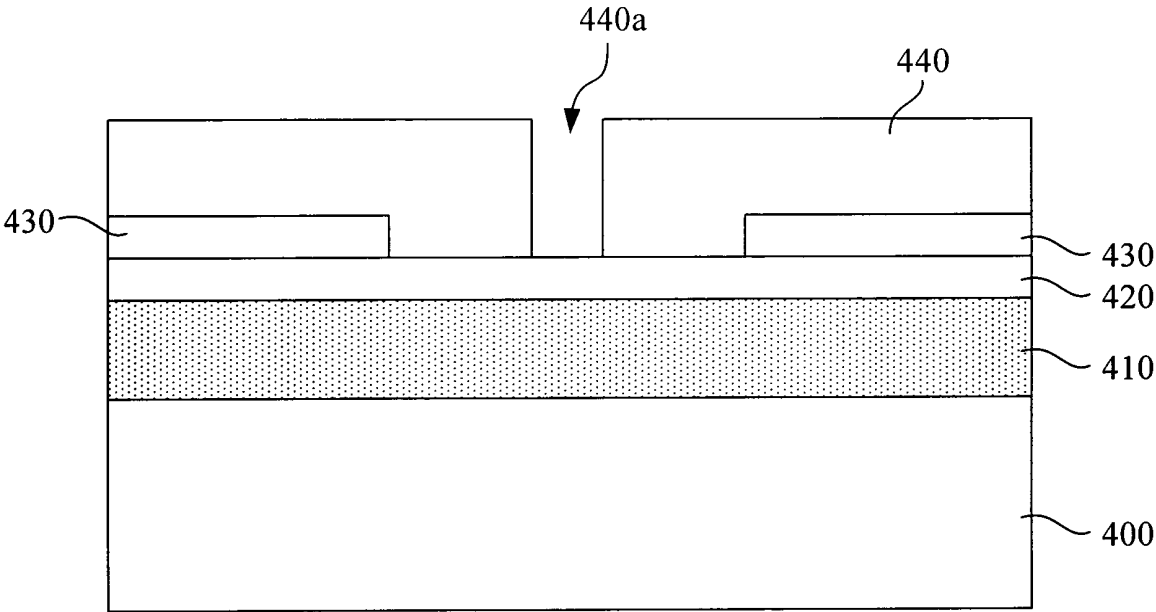
第 1B 圖



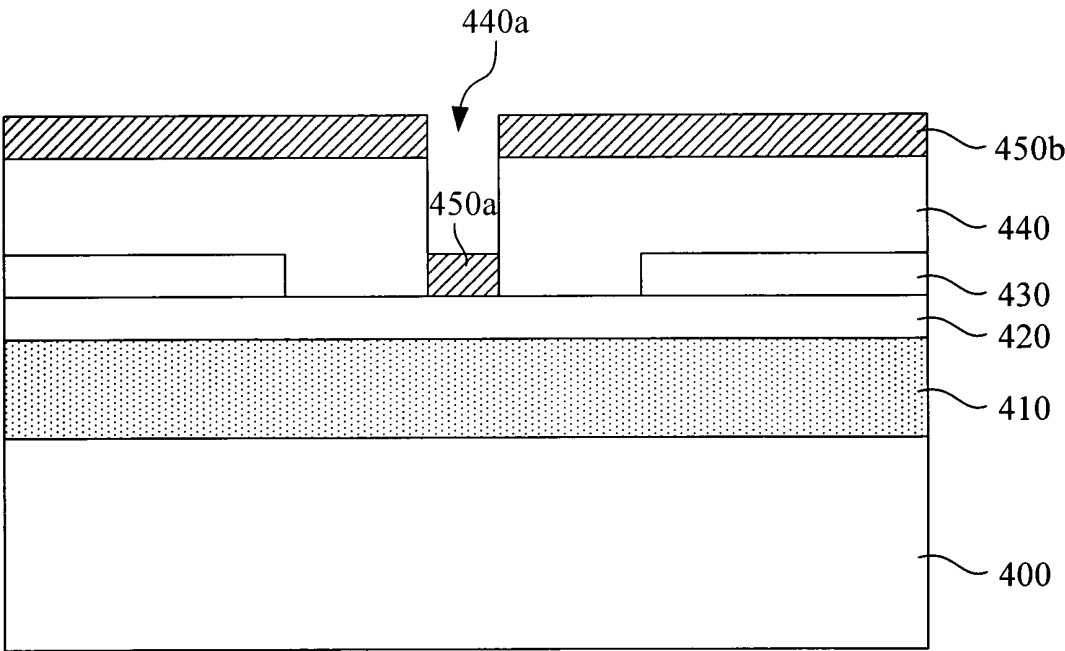
第 2 圖



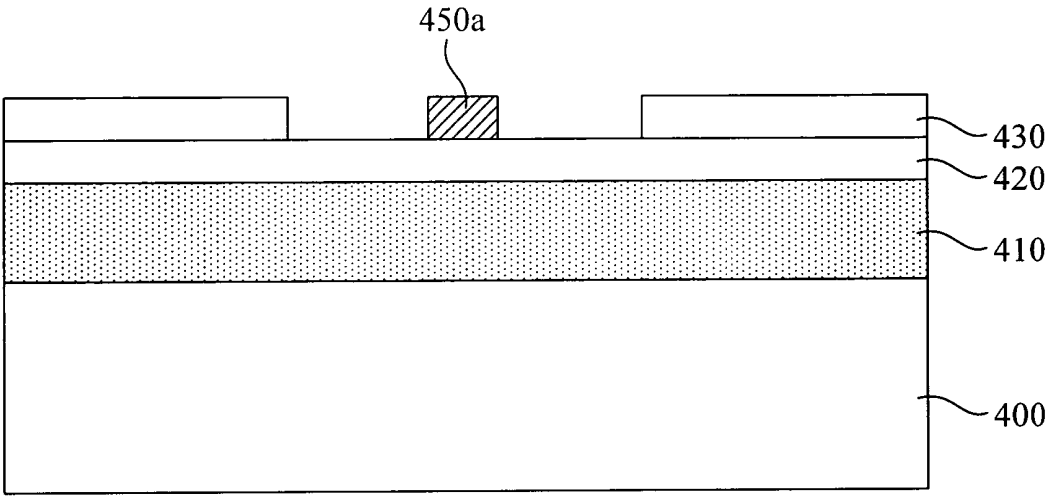
第 3 圖



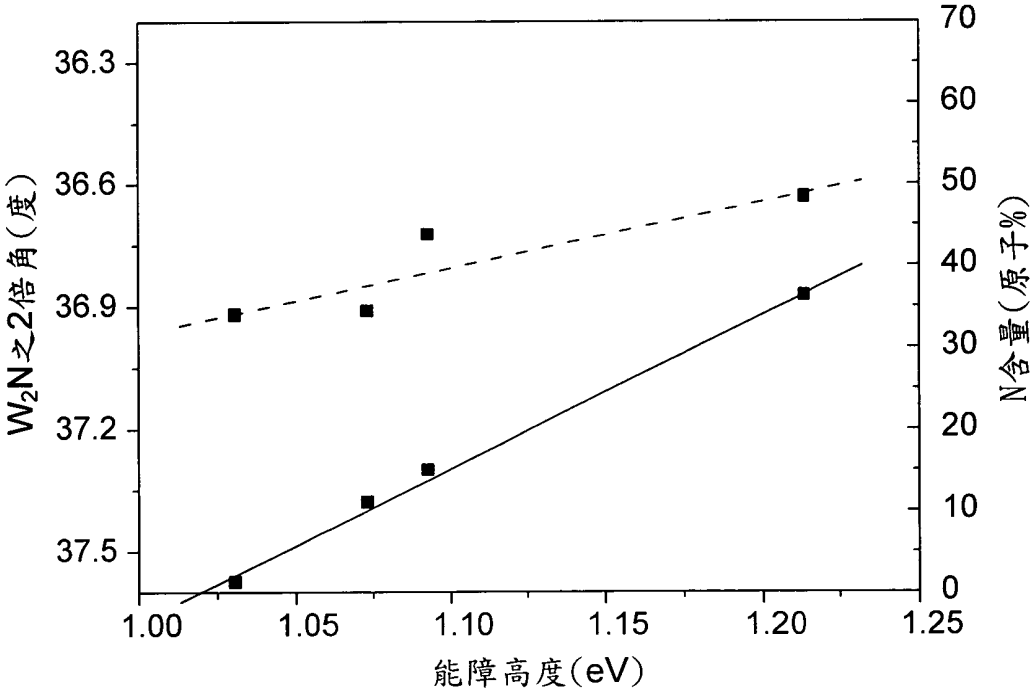
第 4A 圖



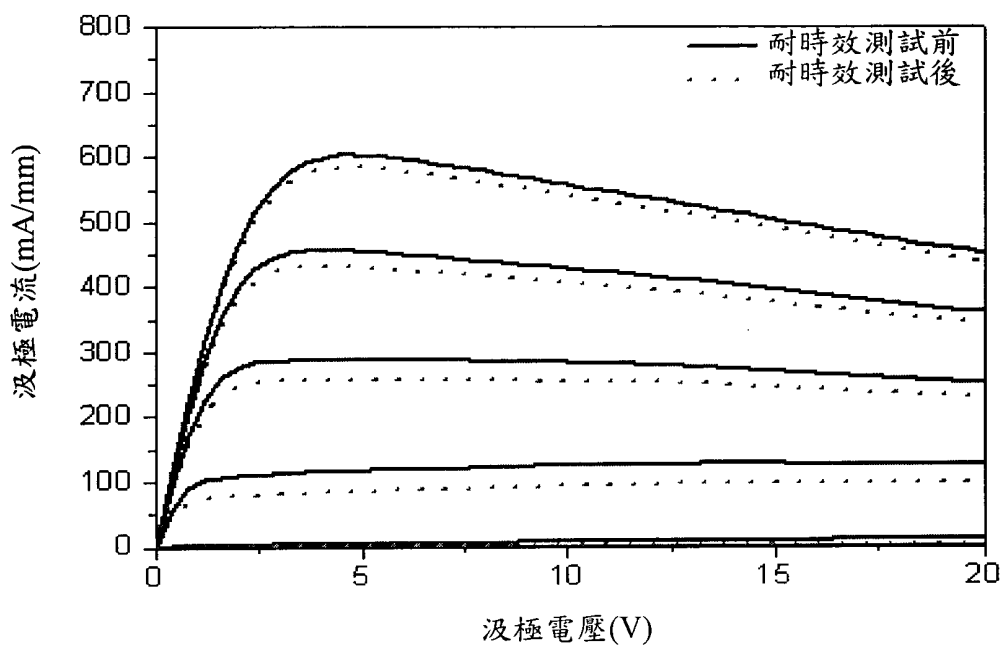
第 4B 圖



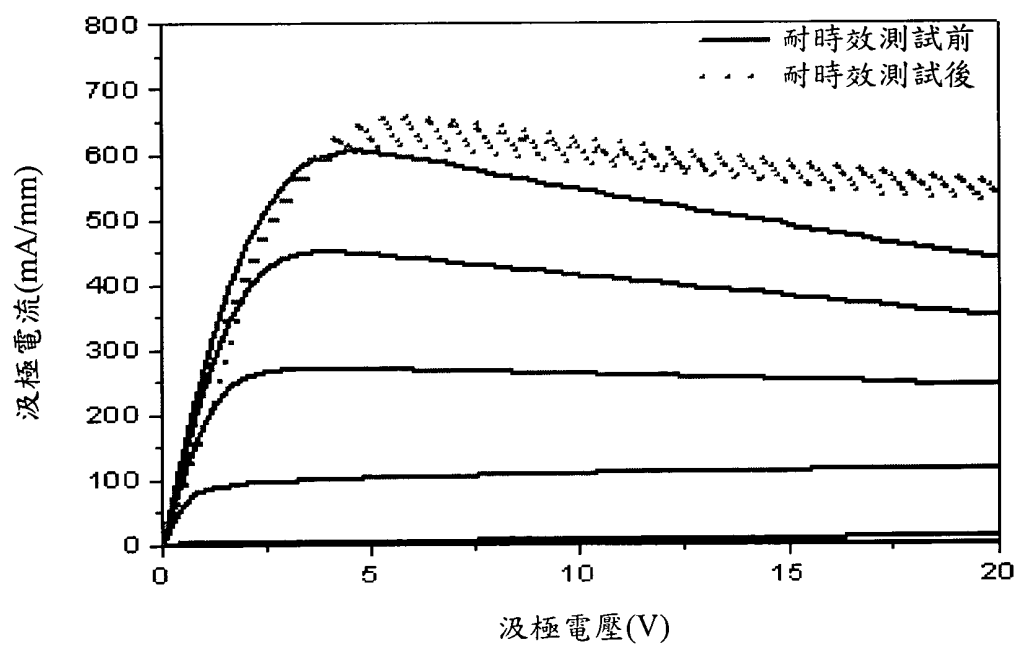
第 4C 圖



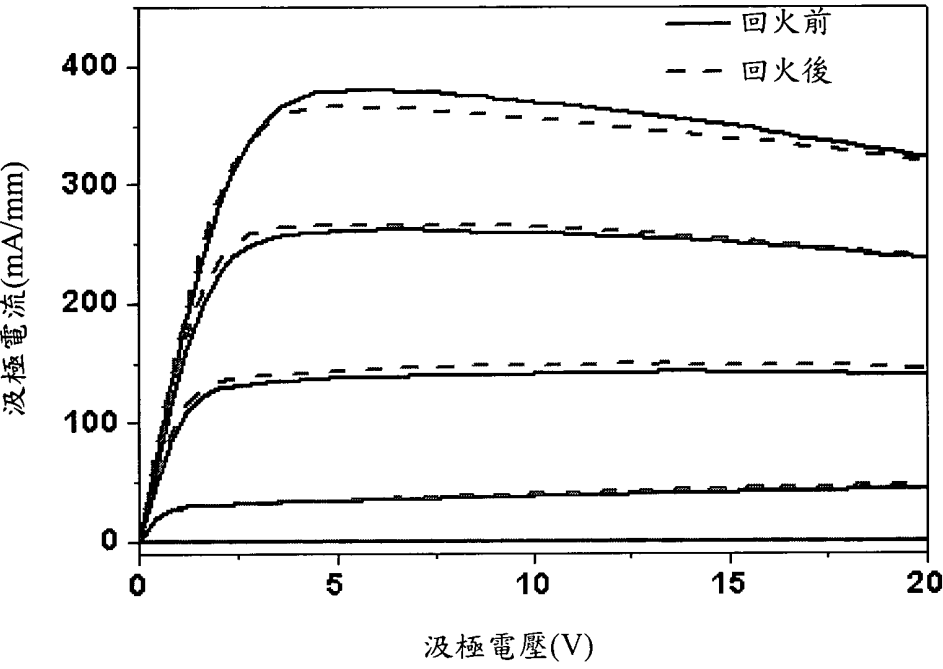
第 5 圖



第 6A 圖



第 6B 圖



第 7 圖

發明專利說明書 98年10月6日修正補充

(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：98129929

※申請日：98.9.4

※IPC 分類：H01L 29/778 (2006.01)
H01L 29/812 (2006.01)
H01L 21/334 (2006.01)

一、發明名稱：(中文/英文)

具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎵電晶體及其製造方法

GaN Transistor with Nitrogen-Rich Tungsten Nitride Schottky Gate Contact and Method of Forming the Same

二、中文發明摘要：

提供一種具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎵電晶體，在基底上依序具有氮化鎵層、氮化鋁鎵層、蕭特基閘極以及位於閘極兩側之源極與汲極。其中蕭特基閘極的材料為氮莫耳百分比為 0.5 之氮化鎢。

三、英文發明摘要：

A HEMT GaN transistor with nitrogen-rich tungsten nitride Schottky gate contact is provided. The HEMT GaN transistor sequentially has a GaN layer on a substrate, a AlGaN layer on the GaN layer, a Schottky gate on the GaN layer, and a source and a drain on two sides of the Schottky gate. The Schottky gate is made by a material of tungsten nitride, which has a nitrogen content of 0.5 molar ratio.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (4C) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

400：基底

410：氮化鎵層

420：氮化鋁鎵層

430：源極/汲極

450a：氮化鎢層

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於一種具有蕭特基閘極接觸之電晶體，且特別是有關於一種具有蕭特基閘極接觸之高電子移動率電晶體(High Electron Mobility Transistor; HEMT)。

【先前技術】

在具有蕭特基閘極接觸之高電子移動率電晶體中，習知大部分 HEMT 氮化鎵電晶體係使用鎳金屬作為蕭特基閘極接觸(Schottky Gate Contact)。鎳具有高的功函數(約為 5.15 eV)，因此可與 HEMT 氮化鎵電晶體中之氮化鋁鎵/氮化鎵表面形成良好之蕭特基接觸。HEMT 氮化鎵電晶體由於有著高崩潰電壓與高能隙等物理特性，因此可被置於高溫或是高電壓及高電流環境下操作。然而，以鎳作為 HEMT 氮化鎵電晶體之閘極，往往在高溫或是高電壓及高電流下，會有特性退化的現象出現。

在攝氏 600 度下高溫退火製程中，鎳金屬會擴散進入 HEMT 氮化鎵電晶體中之氮化鋁鎵/氮化鎵，造成傳輸電子特性的變化。在高電流及正偏導通的條件下進行時效(aging)後，蕭特基閘極接觸會有漏電流增加的現象，導致元件崩潰電壓下降，進而使元件失效。因此，大大限制了 HEMT 氮化鎵電晶體之操作環境與條件。

【發明內容】

因此，本發明之一態樣是在提供一種具有高氮含量氮

化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎢電晶體。其具有高熱穩定性及高耐時效性之特性，以解決習知之問題。

上述之具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎢電晶體，在基底上依序具有氮化鎢層、氮化鋁鎢層、蕭特基閘極以及位於閘極兩側之源極與汲極。其中蕭特基閘極的材料為氮莫耳百分比為 0.5 之氮化鎢。

依據本發明一實施例，上述氮化鎢之化學式為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 。

另外，還提供上述具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎢電晶體的製造方法。

【實施方式】

依據本發明之一實施方式，以高氮含量之氮化鎢閘極取代鎢金屬閘極，可獲得具有高熱穩定性及高耐時效性 (aging resistant) 之蕭特基閘極接觸。依據一實施例，上述高氮含量氮化鎢中之氮的莫耳百分比為 0.5。

高氮含量氮化鎢的製造方法

依據一實施方式，上述高氮含量氮化鎢的製造方法可為反應濺鍍法，例如直流磁控反應濺鍍法 (direct-current magnetron reactive sputtering)。依據一實施例，濺鍍時，使用純度高達 99.99% 之純鎢靶，並將反應濺鍍室內之壓力降低至 1×10^{-6} Torr，清除之前留下的污染源。然後將直流電源的功率固定在 30 瓦，通入氮氣與氬氣的混合氣體，進行反應濺鍍，以沉積氮化鎢薄膜。上述氮氣/氬氣的流量比控制為 0.5，藉此控制氮化鎢薄膜中之氮含量多寡。而在濺鍍

過程中，反應濺鍍室內壓力約為 5 mTorr。

依據 X 光光電子光譜(X-ray photoelectron spectroscopy; XPS)之鑑定，當上述氮氣/氬氣的流量比控制為 0.5 時，所得之氮化鎢薄膜組成約為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 。在第 1A-1B 圖中，分別顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之氮之 1s 軌域電子以及鎢之 4f 軌域電子的 XPS 光譜。上述之氮化鎢的化學式，是藉由計算氮之 1s 軌域電子的譜峰與鎢之 4f 軌域電子的譜峰之積分面積比所獲得。

依據 X 光散射(X-ray diffraction; XRD)光譜之鑑定，發現 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之晶相與 W_2N 之晶相十分類似。在第 2 圖中，由上至下依序顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 、 W_2N 以及 W 之 XRD 光譜。由第 2 圖可知，不論是 $W_{0.52}N_{0.48}$ 或 W_2N 皆沒有觀察到 W 的 XRD 譜峰，顯示其皆不含純 W 之晶相。但是 $W_{0.52}N_{0.48}$ 和 W_2N 之 XRD 譜峰十分類似，唯一的差別是 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之 XRD 譜峰往低角度移動了一些。此往低角度移動之現象顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 中多出來的氮原子可能是位在 W_2N 之晶格縫隙(interstitial site)中，因此並沒有改變 W_2N 晶格之排列方式，只有改變其晶格大小而已。

依據第 3 圖紫外光放射(UV photoemission)光譜之鑑定，可得到 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之功函數約為 4.88 eV。雖然比鎳之功函數 5.15 eV 略小，但卻比 W_2N 之功函數 4.5 eV 要大。此現象顯示增加 W_2N 之氮含量之後，可以增加氮化鎢的功函數。

HEMT 氮化鎢電晶體的製造方法

請參照第 4A - 4C 圖，其係繪示依照本發明一實施方

式的一種 HEMT 氮化鎵電晶體的製造流程剖面示意圖。

在第 4A 圖中，在基底 400 之上依序形成氮化鎵層 410、氮化鋁鎵層 420 以及源極/汲極 430。然後在最上方塗布一層光阻 440，進行微影製程，在兩側之源極/汲極 430 間之光阻 440 中形成開口 440a，暴露出氮化鋁鎵層 420 之上表面。

在第 4B 圖中，利用上述之反應濺鍍法，在開口 440a 中氮化鋁鎵層 420 之上表面形成高氮含量之氮化鎢層 450a，以及在光阻 440 之上表面形成高氮含量之氮化鎢層 450b。

最後，在第 4C 圖中，去除光阻 440 以及位於其上之氮化鎢層 450b，留下氮化鎢層 450a 作為閘極，得到 HEMT 氮化鎵電晶體。

測試蕭特基能障高度

接著，對第 4C 圖之 HEMT 氮化鎵電晶體進行蕭特基能障高度之特性測試。第 5 圖係顯示 HEMT 氮化鎵電晶體之氮化鎢閘極的氮含量與 HEMT 氮化鎵電晶體蕭特基能障高度之間的關係。在第 5 圖中，虛線表示為氮含量之迴歸曲線，對應至右邊縱軸之氮含量。實線為 XRD 之角度近似曲線，對應至左邊縱軸之 XRD 譜峰之 2 倍角位置。

由於從第 2 圖可知，氮化鎢之氮含量越高，其 XRD 譜峰位置會越往低角度移動。所以，當第 5 圖之左邊縱軸以 XRD 譜峰之 2 倍角位置的角度越小時，表示右邊縱軸對應之氮化鎢閘極的氮含量越多。由第 5 圖可知，當氮含量越高時，其蕭特基能障高度越高，使 HEMT 氮化鎵電晶體的

漏電流越低。

測試耐時效性

接著，再對第 4C 圖之 HEMT 氮化鎵電晶體進行耐時效性之實驗。由於第 4C 圖之 HEMT 氮化鎵電晶體的閘極是使用蕭特基接觸，在正常操作下，閘極將保持在負偏壓狀態下，而不會產生閘極電流。然而在高頻下操作時，若輸入功率過大使元件離開線性操作區而進入飽和區，或是系統產生雜訊時，會使閘極處於正偏壓狀態下，而使其導通。

在此分別測試使用高氮含量氮化鎵閘極以及鎳/金閘極之兩種 HEMT 氮化鎵電晶體的耐時效性，以進行比較測試。在此測試中，測試條件為對元件閘極施加正電壓使其導通，並固定閘極電流密度為 1 A/mm ，在持續 24 小時後，再分別觀察高氮含量氮化鎵閘極以及鎳/金閘極在不同固定閘極電壓下，量測電晶體導通後之汲極電流的大小。

第 6A-6B 圖分別為使用高氮含量氮化鎵閘極以及鎳/金閘極之兩種 HEMT 氮化鎵電晶體在上述測試條件下之測試結果。測試時，在對閘極施加大小不同之固定電壓(0 - -4 伏特)的情況下，慢慢增加汲極電壓，並同時量測汲極電流。在第 6A 圖中，顯示具有高氮含量氮化鎵閘極之 HEMT 氮化鎵電晶體在 24 小時之時效後，其飽和汲極電流僅減少 3%，表示閘極控制汲極電流大小的能力並無明顯改變，亦即 HEMT 氮化鎵電晶體之電流傳輸特性並無明顯的改變。由此可得知閘極並無明顯損傷，且其氮化鎵材料並無擴散至下方之氮化鋁鎵層及氮化鎵層的現象。相反地，在第 6B

圖中，顯示具有鎳/金閘極之 HEMT 氮化鎵電晶體在 24 小時之時效後，閘極已經失去控制汲極電流大小的能力。由此可以證明使用氮化鎢材料來做為 HEMT 氮化鎵電晶體的閘極，可以非常有效地提升元件之耐時效性。

測試熱穩定性

此外，亦對具有高氮含量氮化鎢閘極之 HEMT 氮化鎵電晶體之熱穩定性進行測試，此特性將會影響 HEMT 氮化鎵電晶體之最高工作溫度以及散熱機構之設計。測試條件為在攝氏 600 度下進行一小時之回火(anneal)製程後，在不同固定閘極電壓(0 - -4 伏特)下，量測電晶體導通後之汲極電流的大小。

第 7 圖為具有高氮含量氮化鎢閘極之 HEMT 氮化鎵電晶體的熱穩定性測試結果。在第 7 圖中，顯示 HEMT 氮化鎵電晶體在退火前後之電流特性曲線十分接近，顯示閘極之高氮含量氮化鎢材料並沒有被高溫分解或擴散至下方之氮化鋁鎵層及氮化鎵層，而導致閘極掘入(gate sinking)的問題。

由上面測試可知，使用高氮含量氮化鎢材料來製作 HEMT 氮化鎵電晶體的閘極，具有高耐時效性與高熱穩定性，使 HEMT 氮化鎵電晶體的可靠度大為提高。

雖然本發明已以實施方式揭露如上，然其並非用以限定本發明，任何熟習此技藝者，在不脫離本發明之精神和範圍內，當可作各種之更動與潤飾，因此本發明之保護範圍當視後附之申請專利範圍所界定者為準。

【圖式簡單說明】

為讓本發明之上述和其他目的、特徵、優點與實施例能更明顯易懂，所附圖式之說明如下：

第 1A-1B 圖分別為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之氮之 1s 軌域電子以及鎢之 4f 軌域電子的 XPS 光譜。

第 2 圖由上至下依序顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 、 W_2N 以及 W 之 XRD 光譜。

第 3 圖顯示 $W_{0.52}N_{0.48}$ 之紫外光放射光譜。

第 4A - 4C 圖係繪示依照本發明一實施方式的一種 HEMT 氮化鎢電晶體的製造流程剖面示意圖。

第 5 圖係顯示 HEMT 氮化鎢電晶體之氮化鎢閘極的氮含量與 HEMT 氮化鎢電晶體蕭特基能障高度之間的關係。

第 6A-6B 圖分別為使用高氮含量氮化鎢閘極以及鎳/金閘極之兩種 HEMT 氮化鎢電晶體之耐時效性測試結果。

第 7 圖為具有高氮含量氮化鎢閘極之 HEMT 氮化鎢電晶體的熱穩定性測試結果。

【主要元件符號說明】

400：基底

410：氮化鎢層

420：氮化鋁鎢層

430：源極/汲極

440：光阻

440a：開口

450a、450b：氮化鎢層

七、申請專利範圍：

1. 一種具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎢電晶體，該 HEMT 氮化鎢電晶體至少包含：

- 一氮化鎢層，位於一基底上；
- 一氮化鋁鎢層，位於該氮化鎢層上；
- 一蕭特基閘極，位於該氮化鋁鎢層上，且該蕭特基閘極之材料為氮莫耳百分比約為 0.5 之氮化鎢；以及
- 一源極與一汲極分別位於該蕭特基閘極兩側之該氮化鋁鎢層上。

2. 如請求項 1 所述之 HEMT 氮化鎢電晶體，該氮化鎢之化學式為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 。

3. 一種具有高氮含量氮化鎢蕭特基閘極接觸之 HEMT 氮化鎢電晶體的製造方法，該製造方法至少包含：

- 形成一氮化鎢層於一基底上；
- 形成一氮化鋁鎢層於該氮化鎢層上；
- 形成一源極與一汲極於該氮化鋁鎢層上，且該源極與汲極之間相隔一距離；以及
- 形成一蕭特基閘極，位於該源極與汲極間之該氮化鋁鎢層上，且該蕭特基閘極之材料為氮莫耳百分比約為 0.5 之氮化鎢。

4. 如請求項 3 所述之製造方法，其中形成該氮化鎢的方法至少包含反應濺鍍法。

5. 如請求項 4 所述之製造方法，其中該反應濺鍍法中所通入之氣體為混合比例 0.5 之氮氣/氬氣。

6. 如請求項 3 所述之製造方法，其中該氮化鎢之化學式為 $W_{0.52}N_{0.48}$ 。