



(21)申請案號：101100964

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 01 月 10 日

(51)Int. Cl. : **H01L29/778 (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, EDWARD YI (TW)；張嘉華 CHANG, CHIA HUA (TW)；林岳欽 LIN, YUEH CHIN (TW)；陳宥綱 CHEN, YU KONG (TW)；劉世謙 LIU, SHIH CHIEN (TW)

(74)代理人：林火泉

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：12 項 圖式數：5 共 21 頁

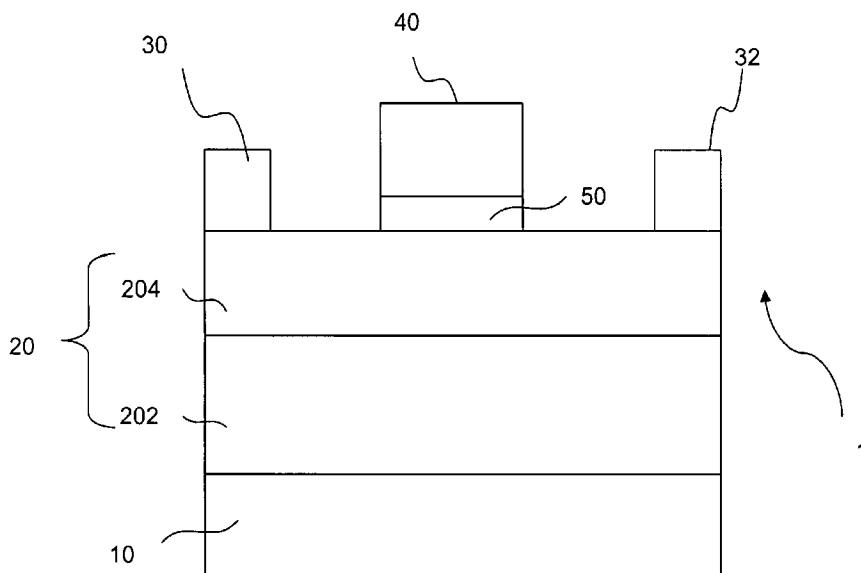
(54)名稱

具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構

A STRUCTURE OF GAN HIGH ELECTRON MOBILITY TRANSISTOR

(57)摘要

一種具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，包括一基板、一位於基板上之氮化鎵磊晶層、至少一位於氮化鎵磊晶層上之歐姆接觸層、一位於氮化鎵磊晶層之上的金屬閘極層、以及一位於金屬閘極層與氮化鎵磊晶層之間的擴散阻擋層。利用此一擴散阻擋層，可用以阻擋金屬閘極層之擴散，使得氮化鎵電晶體結構具有較佳之元件特性及可靠度。



- 1：具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構
- 10：基板
- 20：氮化鎵磊晶層
- 30：歐姆接觸層
- 32：歐姆接觸層
- 40：金屬閘極層
- 50：擴散阻擋層
- 202：氮化鎵層
- 204：氮化鋁鎵層

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：

101100964

※申請日：

101. 1. 10

※IPC 分類：

H01L 29/1778 R2006.01

一、發明名稱：(中文/英文)

具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構 / A structure of GaN high electron mobility transistor

二、中文發明摘要：

一種具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，包括一基板、一位於基板上之氮化鎵磊晶層、至少一位於氮化鎵磊晶層上之歐姆接觸層、一位於氮化鎵磊晶層之上的金屬閘極層、以及一位於金屬閘極層與氮化鎵磊晶層之間的擴散阻擋層。利用此一擴散阻擋層，可用以阻擋金屬閘極層之擴散，使得氮化鎵電晶體結構具有較佳之元件特性及可靠度。

三、英文發明摘要：

A structure of GaN high electron mobility transistor (HEMT) is provided. The GaN HEMT structure includes a substrate, a GaN crystal layer on the substrate, at least one ohmic contact on the GaN crystal layer, a metallic gate on the GaN crystal layer, and a barrier disposed between the metallic gate and the GaN crystal layer. By employing the barrier, it prevents the metallic gate from diffusing into the crystal layer, thus GaN HEMT structure having improved electrical characteristics and reliability.

四、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1A) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

- 1 具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構
- 10 基板
- 20 氮化鎵磊晶層
- 30 歐姆接觸層
- 32 歐姆接觸層
- 40 金屬閘極層
- 50 擴散阻擋層
- 202 氮化鎵層
- 204 氮化鋁鎵層

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】

本發明係有關於一種氮化鎵電晶體結構，特別是一種具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構。

【先前技術】

氮化鎵 (GaN) 半導體裝置是一新近之發展，其係為第三至五 (III-V) 族或第三 (III) 族氮化物型的裝置，是新興作為功率半導體裝置的有力候選者。由於氮化鎵裝置 (GaN device) 能夠攜帶大電流並且支援高電壓，因此，這類裝置亦能提供非常低的導通電阻以及快速的切換時間。

高電子移動率電晶體 (High electron mobility transistor, HEMT) 是以氮化鎵材料為基礎來製造之其中一類型的功率半導體裝置。HEMT 氮化鎵電晶體由於有著高崩潰電壓及高能隙等物理特性，因此可被置於高溫或是高電壓及高電流環境下操作。

然而，傳統上以金作為氮化鎵電晶體之金屬閘極，隨著黃金價格越來越高，採用其他金屬替代金作為閘極係成為迫切之需求。

一般而言，由於銅具有價格便宜與高導電度之優點，因此可用以作為氮化鎵電晶體之金屬閘極。習知技術已提出用銅作為電晶體之閘極，可替代傳統金閘極。然而，以銅作為 HEMT 氮化鎵電晶體之閘極，往往在高溫或是高電壓及高電流的情況下，會有元件特性退化的現象出現。

其原因在於，銅極易擴散入半導體中，在元件後續經過高溫退火製程時，金屬銅會擴散進入 HEMT 氮化鎵電晶體中，而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，閘極可能會有漏

電流 (leakage current) 增加的現象，導致元件崩潰電壓下降，進而使得元件失效。於此，大大限制了 HEMT 氮化鎵電晶體之操作環境與條件。

【發明內容】

爰是，本發明之主要目的係在提供一種具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其係透過加入一擴散阻擋層，以提升元件特性及可靠度。

本發明之另一目的係在提供一種具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其係藉由將此一擴散阻擋層沉積於金屬閘極下，達到阻擋金屬擴散入氮化鎵電晶體之目的。

本發明之再一目的係在提供一種具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其係改善習知氮化鎵電晶體導入銅金屬作為閘極時，銅易擴散入半導體中之問題，並進一步地改善元件崩潰電壓與導通電流變化之特性。

為達到上述之目的，本發明係有關於一種具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，包括：一基板、一氮化鎵磊晶層、至少一歐姆接觸層、一金屬閘極層、以及一擴散阻擋層。其中，氮化鎵磊晶層係位於基板上；歐姆接觸層係位於氮化鎵磊晶層上；金屬閘極層係位於氮化鎵磊晶層之上；擴散阻擋層係位於金屬閘極層與氮化鎵磊晶層之間，以用來阻擋金屬閘極層之擴散。

根據本發明之實施例，其中金屬閘極層之材質係為銅。

根據本發明之實施例，其中擴散阻擋層之材質係為氮化鈦或氮化鎢。

根據本發明之實施例，其中擴散阻擋層之厚度可約為 5~100 奈米。

底下藉由具體實施例配合所附的圖式詳加說明，當更容易瞭解本發明之目的、技術內容、特點及其所達成之功效。

【實施方式】

請參考第 1A 圖，其係為根據本發明一實施例之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構 (HEMT) 的結構示意圖。

如第 1A 圖所示，此一具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構 1 包含一基板 (substrate) 10、一位於基板 10 上之氮化鎵磊晶層 20、以及一位於氮化鎵磊晶層 20 上之歐姆接觸層 (ohmic contact) 30、32。

其中，氮化鎵磊晶層 20 包含有一氮化鎵層 (GaN) 202 與一氮化鋁鎵層 (AlGaN) 204。氮化鎵層 202 係位於基板 10 上，氮化鋁鎵層 204 係位於氮化鎵層 202 上。根據本發明之實施例，此一氮化鎵磊晶層 20 係可由上述之氮化鎵層 202 與氮化鋁鎵層 204 所組成。根據本發明之其他實施例，氮化鎵磊晶層 20 當然也可包含其他磊晶層，其磊晶層之種類與層數並非用以限定本發明之發明範疇。熟習此項技術領域者，當可根據其需求而自行設計之。

歐姆接觸層 30、32 係形成於氮化鎵磊晶層 20 上，其可包含有複數個歐姆接觸堆疊結構，以作為氮化鎵電晶體結構 1 之源極 (source) 與汲極 (drain)。

在一實施例中，如第 1B 圖所示，上述之歐姆接觸堆疊結構在氮化鎵磊晶層 20 上可依序包含有：鈦層 (Ti) 302,322、鋁層 (Al) 304,324、以及銅層 (Cu) 306,326。

在一實施例中，上述之歐姆接觸堆疊結構在氮化鎵磊晶層 20 上亦可依序包含有：鈦層 (Ti) 以及鋁層 (Al)。

根據本發明之另一實施例，如第 1C 圖所示，上述之歐姆接觸堆疊結構

在氮化鎵磊晶層 20 上也可依序包含有：鈦層 (Ti) 302,322、鋁層 (Al) 304,324、鎳層 (Ni) 305,325、以及金層 (Au) 308,328。

或者是，上述之歐姆接觸堆疊結構在氮化鎵磊晶層 20 上亦可依序包含有：鈦層 (Ti)、鋁層 (Al)、鉬層 (Mo) 以及金層 (Au)。

在一實施例中，上述之歐姆接觸堆疊結構在氮化鎵磊晶層 20 上亦可依序包含有：鈦層 (Ti)、鋁層 (Al)、鎳層 (Ni) 以及銅層 (Cu)。

上述之各示範例，皆可用以實施本發明之發明目的，並非用以限定本發明之發明範疇。

根據本發明之實施例，此種具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構 1 更包含一金屬閘極層 40 與一擴散阻擋層 (barrier) 50。一般而言，此一金屬閘極層 40 之材質例如可為銅，其係形成於氮化鎵磊晶層 20 之上，並作為氮化鎵電晶體結構 1 之閘極 (gate)。

擴散阻擋層 50 係夾置於金屬閘極層 40 與氮化鎵磊晶層 20 之間，其材質例如可為氮化鈦 (TiN) 或氮化鎢 (WN)。是以，根據本發明之實施例，擴散阻擋層 50 係可用以阻擋金屬閘極層 40 中金屬銅之擴散。

其中，擴散阻擋層 50 之形成方法，例如可透過濺鍍 (sputter)、蒸鍍 (evaporation)、或化學氣相沉積法 (chemical vapor deposition) 形成於氮化鎵磊晶層 20 上。此一擴散阻擋層 50 之厚度約介於 5~100 奈米 (nano-meter, nm) 之間。

第 2A 圖與第 2B 圖係為以 WN/Cu 作為閘極金屬之高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構的直流特性圖。由第 2A 圖與第 2B 圖可見，以氮化鎢作為擴散阻擋層時，HEMT 電晶體仍具有不錯的電流特性及轉導值

(trans-conductance)。

第 3A 圖與第 3B 圖係為以 TiN/Cu 作為閘極金屬之高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構的直流特性圖。由第 3A 圖與第 3B 圖可見，以氮化鈦作為擴散阻擋層時，HEMT 電晶體亦具有不錯的電流特性及轉導值 (trans-conductance)。

更進一步而言，本發明係以單一 Cu 閘極比較 WN/Cu 閘極之電晶體崩潰電壓特性如第 4 圖所示。由第 4 圖可見，採用 WN/Cu 閘極的崩潰電壓較單一 Cu 閘極可提升約 25%，顯示本發明所揭示之 WN/Cu 閘極結構特性較佳。

接著，本發明係將單一 Cu 閘極與 WN/Cu 閘極、TiN/Cu 閘極之電晶體作開啟狀態 (on-state) 的高電壓測試，並記錄上述三種不同閘極漏電流的變化狀況，其結果係為第 5 圖所示。其測試條件為高汲極偏壓 ($V_d=60V$)，閘極偏壓 $V_g=1V$ 。如第 5 圖之結果所示，當測試到 250 秒時，單一 Cu 閘極元件的閘極漏電流已經急速上升，而使用 WN/Cu 閘極、TiN/Cu 閘極之電晶體即便經過 600 秒的測試後仍達穩定，顯示本發明所揭示之 WN/Cu、TiN/Cu 閘極結構特性較佳，並仍為良好之銅導線結構。

綜上所述，本發明所揭示之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，係利用在金屬閘極下沉積一擴散阻擋層，以阻擋該金屬閘極層之擴散。於此，本發明所提出以 WN/Cu 或 TiN/Cu 作為的閘極結構，相較於習知之單一銅閘極電晶體，具有較佳的崩潰電壓及導通特性。

以上所述之實施例僅係為說明本發明之技術思想及特點，其目的在使熟習此項技藝之人士能夠瞭解本發明之內容並據以實施，當不能以之限定

本發明之專利範圍，即大凡依本發明所揭示之精神所作之均等變化或修飾，仍應涵蓋在本發明之專利範圍內。

【圖式簡單說明】

第 1A 圖係為根據本發明一實施例之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構的結構示意圖。

第 1B 圖係為根據本發明另一實施例之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構的結構示意圖。

第 1C 圖係為根據本發明又一實施例之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構的結構示意圖。

第 2A 圖與第 2B 圖係為以氮化鎢/銅作為閘極金屬之高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構的直流特性圖。

第 3A 圖與第 3B 圖係為以氮化鈦/銅作為閘極金屬之高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構的直流特性圖。

第 4 圖係為根據本發明之實施例，以單一銅閘極比較氮化鎢/銅閘極之電晶體崩潰電壓特性圖。

第 5 圖係為根據本發明之實施例，以單一銅閘極比較氮化鎢/銅閘極與氮化鈦/銅閘極之電晶體閘極漏電流特性圖。

【主要元件符號說明】

- 1 具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構
- 10 基板
- 20 氮化鎵磊晶層
- 30 歐姆接觸層



32 歐姆接觸層

40 金屬閘極層

50 擴散阻擋層

- 202 氮化鎵層

- 204 氮化鋁鎵層

302 鈦層

304 鋁層

305 鎳層

306 銅層

308 金層

322 鈦層

324 鋁層

325 鎳層

326 銅層

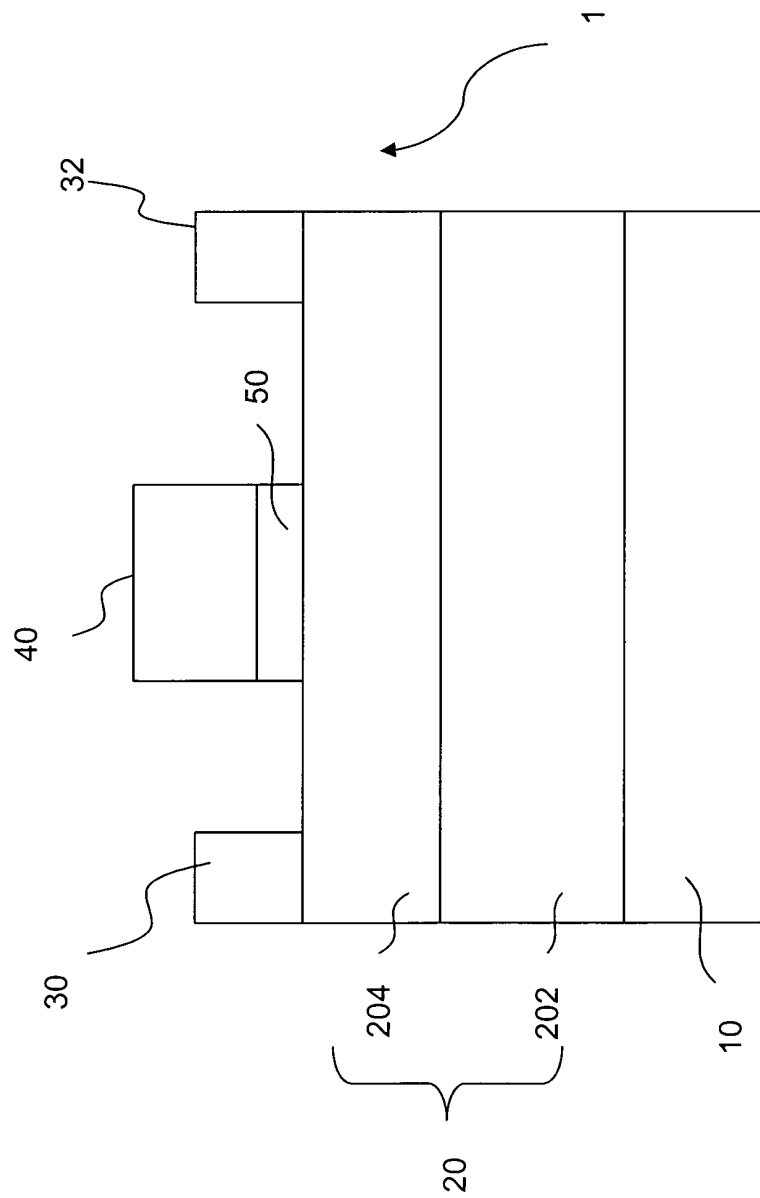
328 金層

七、申請專利範圍：

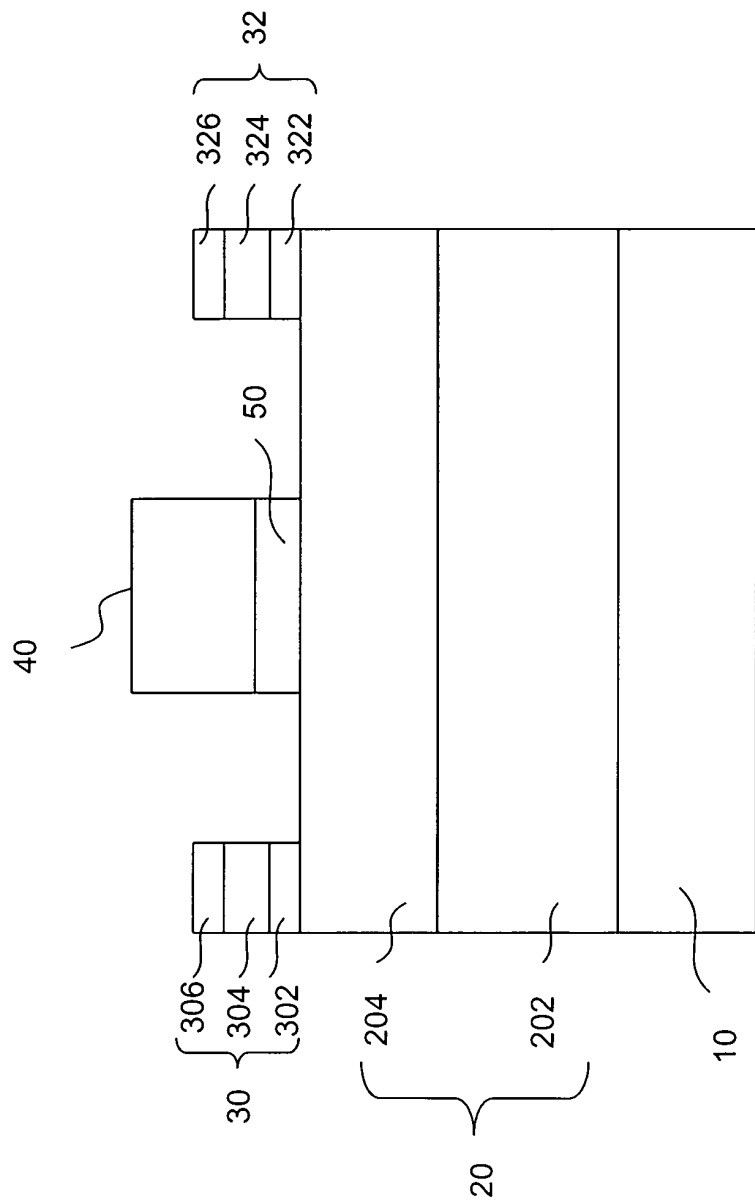
1. 一種具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，包括：
 - 一基板；
 - 一氮化鎵磊晶層，係位於該基板上；
 - 至少一歐姆接觸層，係位於該氮化鎵磊晶層上；
 - 一金屬閘極層，係位於該氮化鎵磊晶層之上；以及
 - 一擴散阻擋層，係位於該金屬閘極層與該氮化鎵磊晶層之間，該擴散阻擋層係用以阻擋該金屬閘極層之擴散。
2. 如請求項 1 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該氮化鎵磊晶層更包含：
 - 一氮化鎵層，其係位於該基板上；以及
 - 一氮化鋁鎵層，其係位於該氮化鎵層上。
3. 如請求項 1 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該歐姆接觸層係包含有複數個歐姆接觸堆疊結構。
4. 如請求項 3 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該歐姆接觸堆疊結構係包含有：鈦層、鋁層、鎳層以及金層。
5. 如請求項 3 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該歐姆接觸堆疊結構係包含有：鈦層、鋁層、鉬層以及金層。
6. 如請求項 3 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該歐姆接觸堆疊結構係包含有：鈦層以及鋁層。
7. 如請求項 3 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該歐姆接觸堆疊結構係包含有：鈦層、鋁層、以及銅層。

8. 如請求項 3 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該歐姆接觸堆疊結構係包含有：鈦層、鋁層、鎳層、以及銅層。
9. 如請求項 1 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該金屬閘極層之材質係為銅。
10. 如請求項 1 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該擴散阻擋層之材質係為氮化鈦或氮化鎢。
11. 如請求項 1 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該擴散阻擋層係由濺鍍、蒸鍍、或化學氣相沉積法形成於該氮化鎵磊晶層上。
12. 如請求項 1 所述之具有高電子遷移率之氮化鎵電晶體結構，其中該擴散阻擋層之厚度係約為 5~100 奈米。

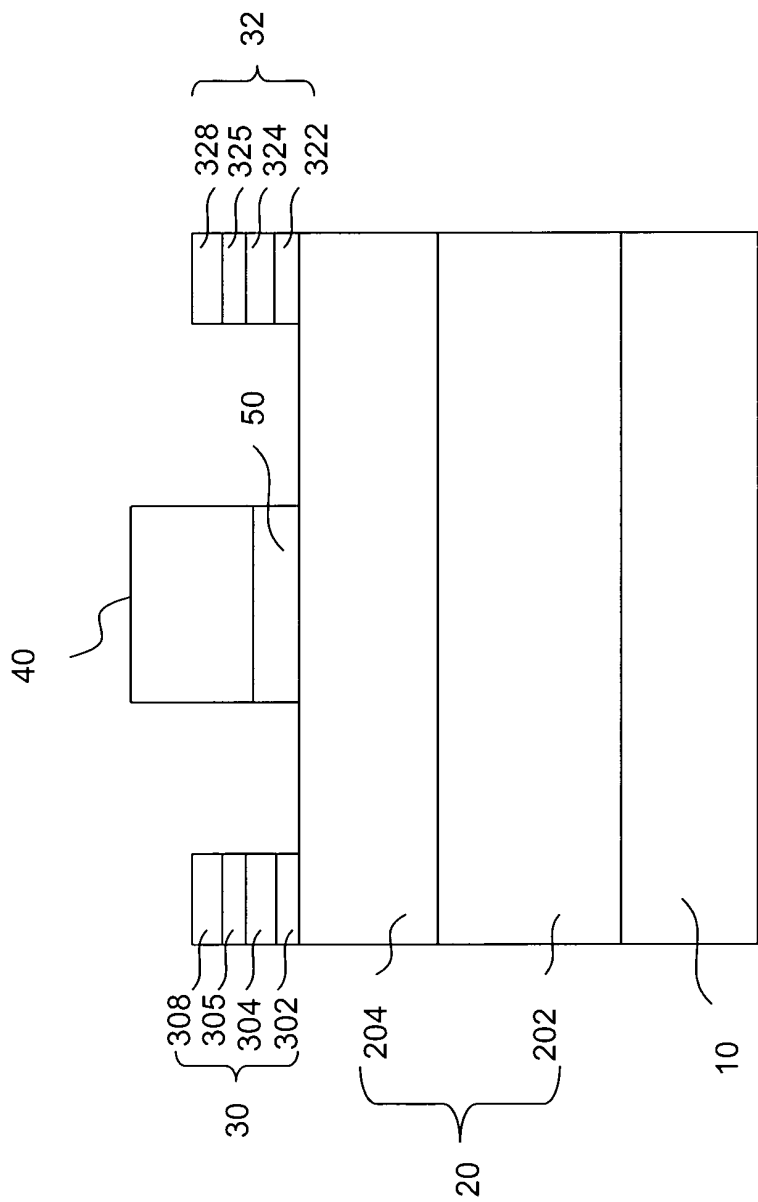
八、圖式：



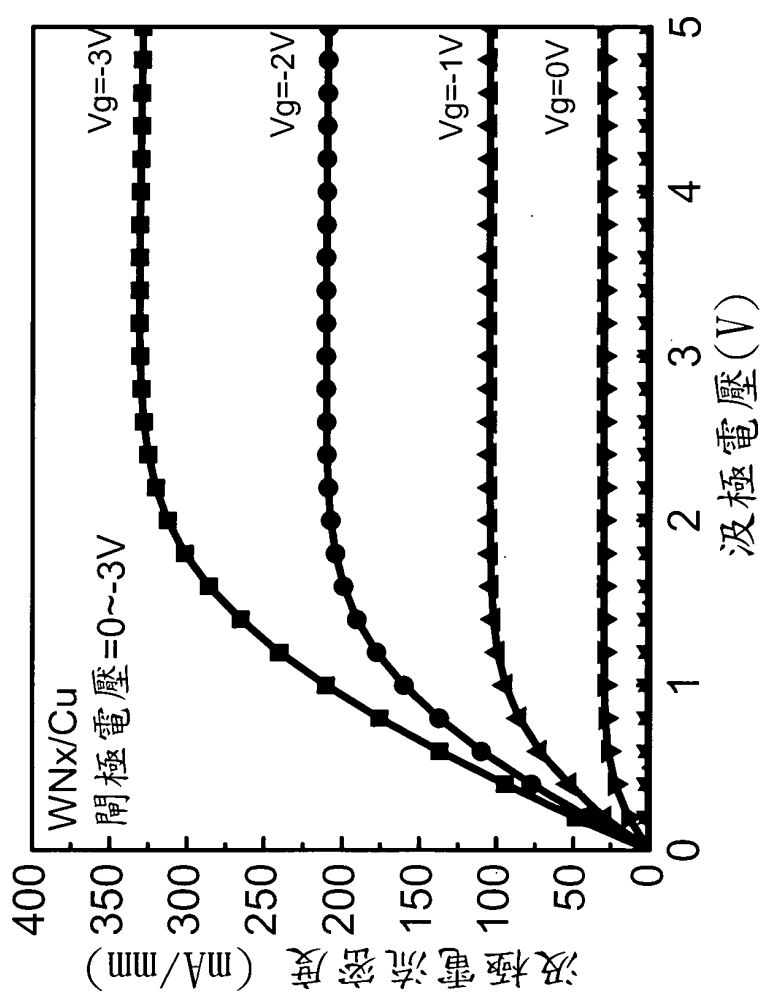
第1A圖



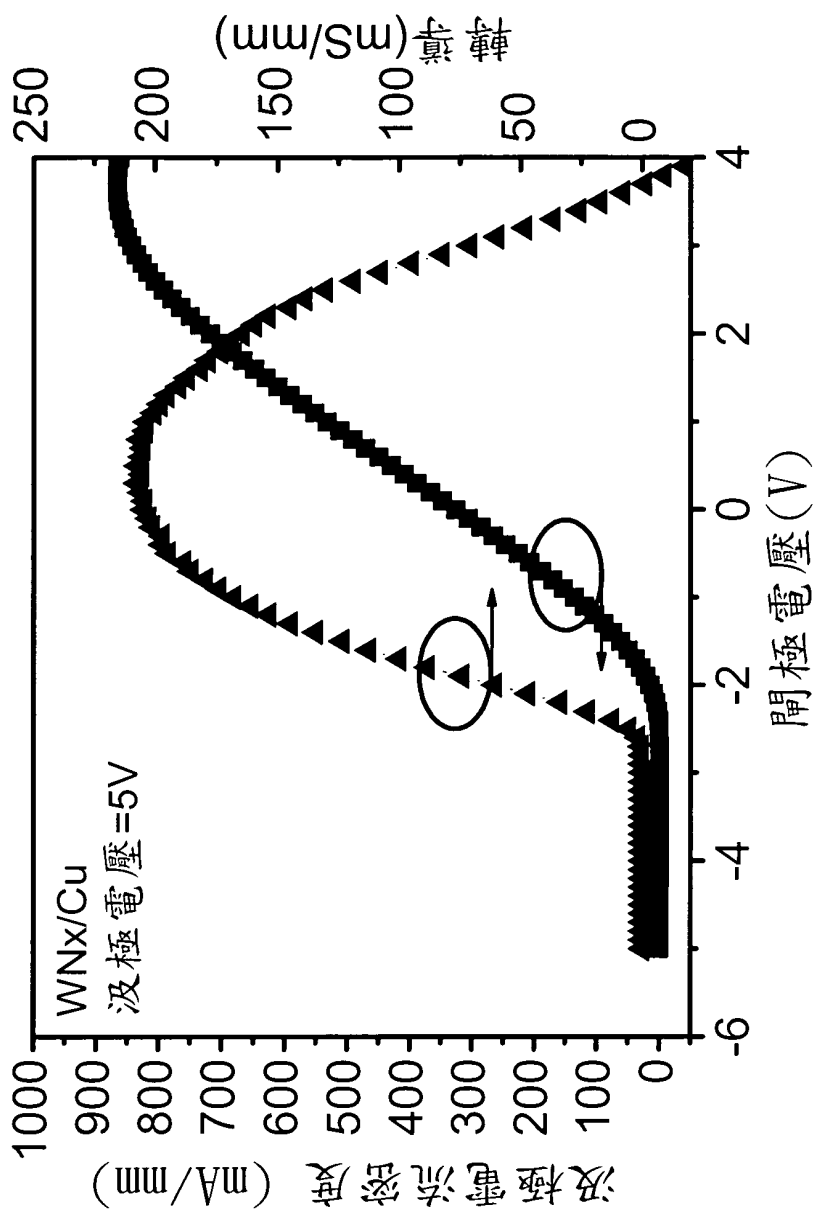
第 1B 圖



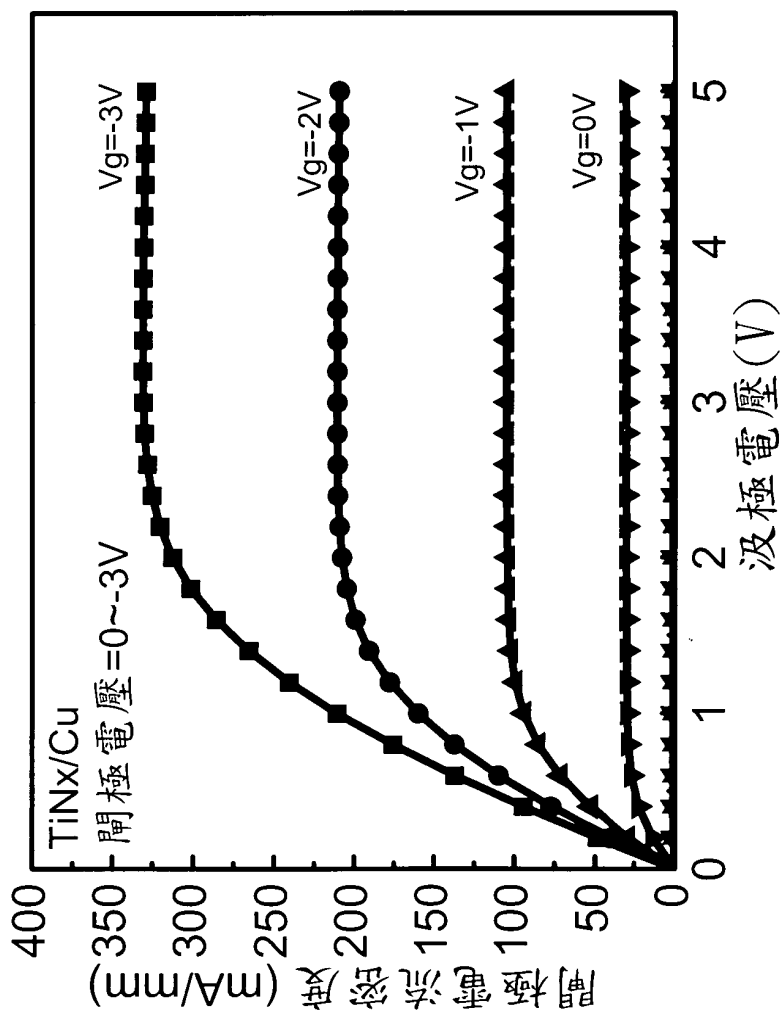
第 1C 圖



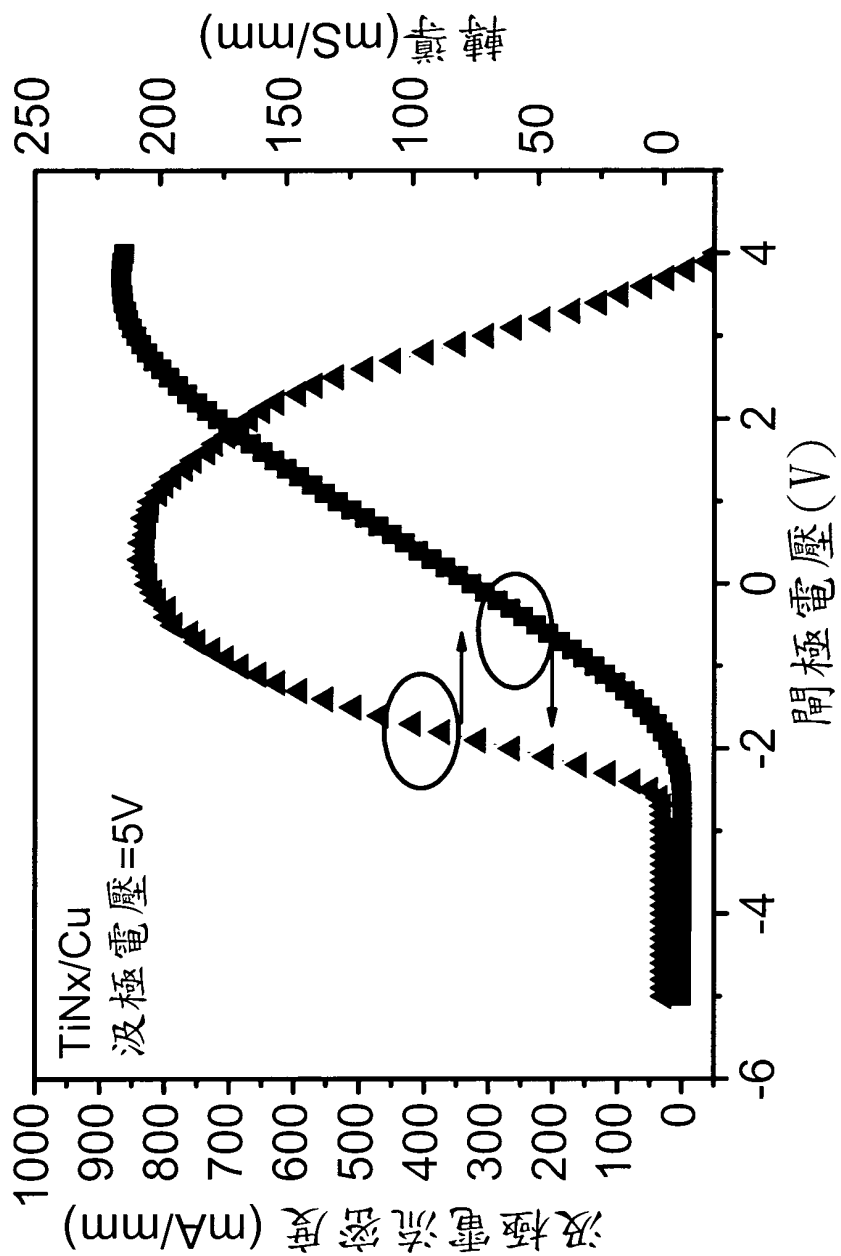
第 2A 圖



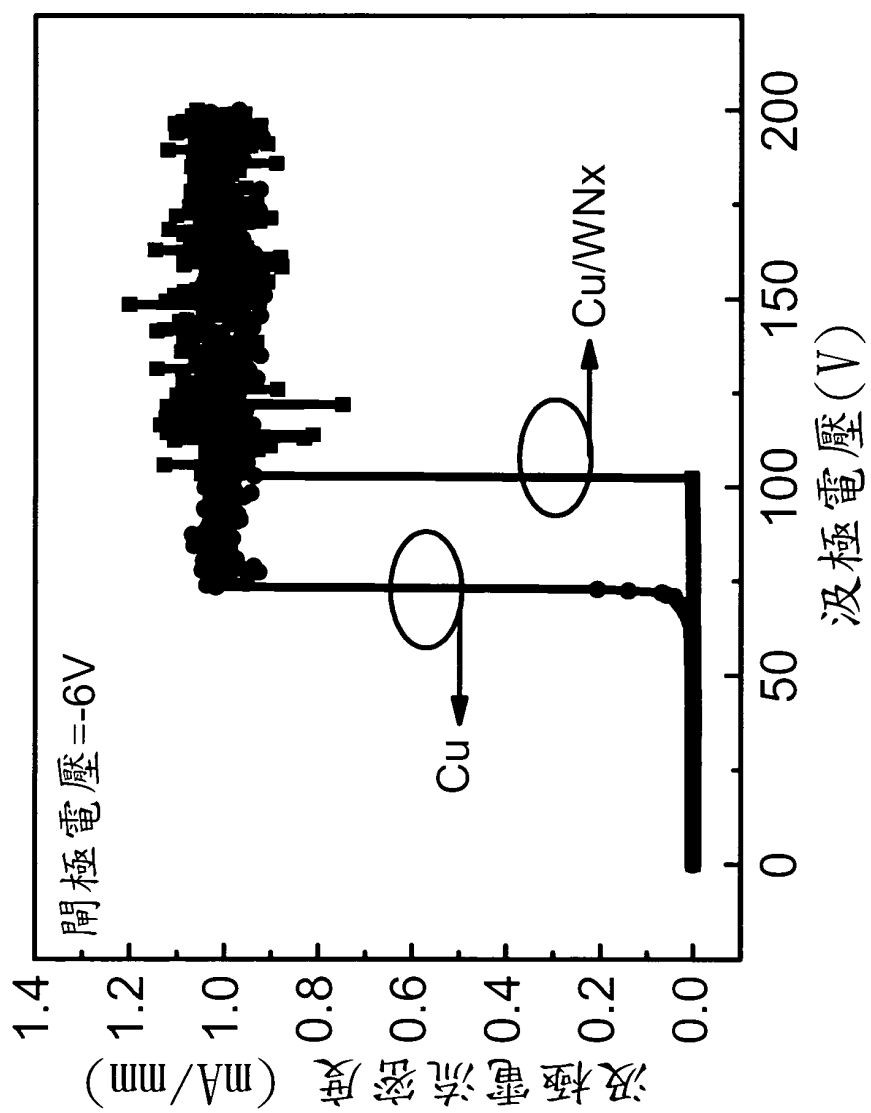
第 2B 圖



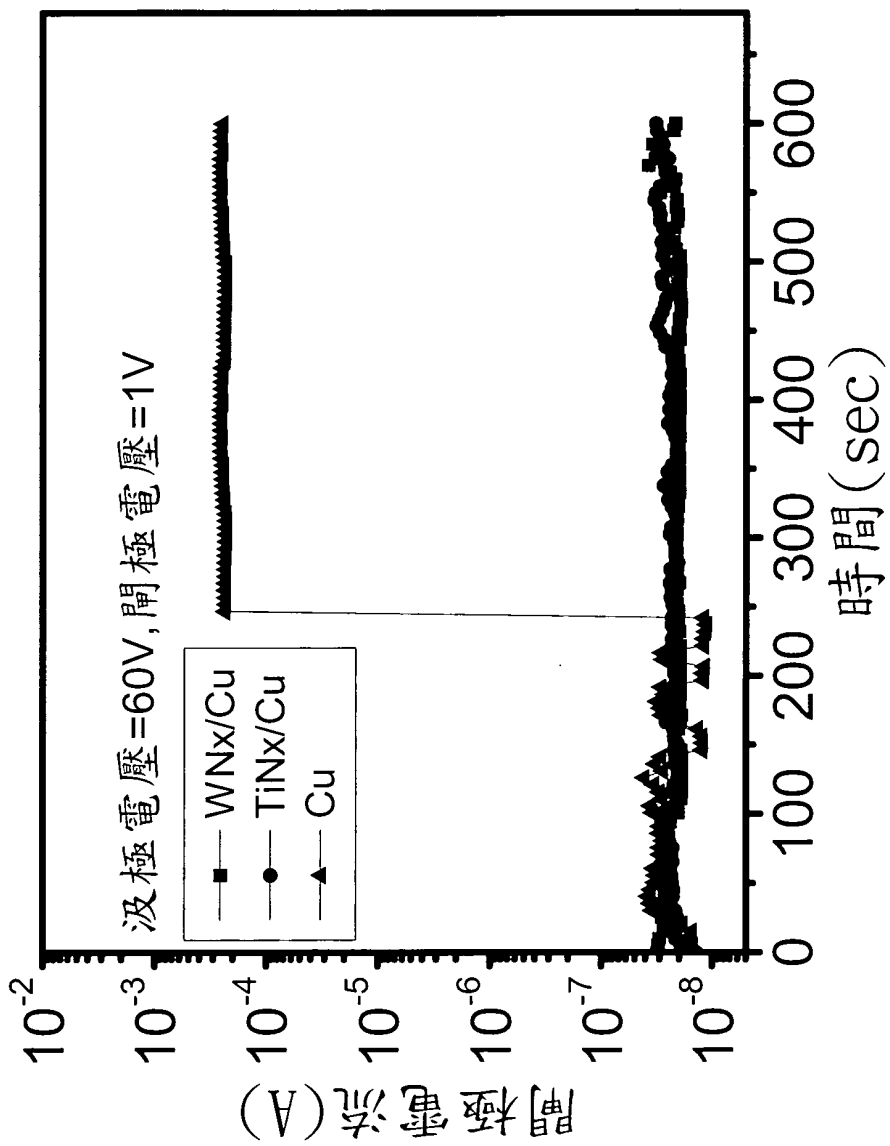
第 3A 圖



第 3B 圖



第 4 圖



第 5 圖