

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：097116760

※ 申請日期：2008/5/7

※IPC 分類：H01L 21/8238 (2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

利用自動對準低溫淺接面製造具有極低臨界電壓金屬閘極/高介電常數材質之互補金  
氧半場效電晶體之方法

## 二、申請人：(共 1 人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學

ID:

代表人：(中文/英文) 吳重雨

住居所或營業所地址：(中文/英文)

300-10 新竹市大學路 1001 號

No.1001, Ta-Hsueh Rd., Hsinchu City 300, Taiwan (R.O.C.)

國 籍：(中文/英文) 中華民國/R.O.C.

## 三、發明人：(共 1 人)

姓 名：(中文/英文)

荊鳳德

ID:

國 籍：(中文/英文) 中華民國/R.O.C.

四、聲明事項：

主張專利法第二十二條第二項  第一款或  第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

主張專利法第三十條生物材料：

須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

## 五、中文發明摘要：

本發明提出一種利用新穎的自動對準低溫超淺接面製造具有極低臨界電壓 ( $V_t$ ) 金屬閘極 / 高介電常數 ( $\kappa$ ) 材質之互補金氧半場效電晶體 (CMOSFETs) 之方法，其中該方法係採用與超大型積體電路 (VLSI) 相容之前閘極製程。當等效氧化層厚度 (EOT) 為 1.2 奈米時，p 型及 n 型金氧半導體 (MOS) 分別測得 5.3 及 4.1 eV 之良好有效功函數、+0.05 及 0.03 V 之低臨界電壓、90 及 243  $\text{cm}^2/\text{Vs}$  之高遷移率以及在 85°C 下小於 32 mV 之低偏壓溫度不穩定性 (10 MV/cm, 1 hr)。

## 六、英文發明摘要：

This invention proposes a method for making very low threshold voltage ( $V_t$ ) metal-gate/high- $\kappa$  CMOSFETs using novel self-aligned low-temperature ultra shallow junctions with gate-first process compatible with VLSI. At 1.2 nm equivalent-oxide thickness (EOT), good effective work-function of 5.3 and 4.1 eV, low  $V_t$  of +0.05 and 0.03 V, high mobility of 90 and 243  $\text{cm}^2/\text{Vs}$ , and small 85°C bias-temperature-instability <32 mV (10 MV/cm, 1 hr) are measured for p- and n-MOS.

**七、指定代表圖：**

(一)本案指定代表圖為：第( 16 )圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

無

**八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：**

無

## 九、發明說明：

### 【發明所屬之技術領域】

本發明係關於一種製造具有極低臨界電壓 ( $V_t$ ) 金屬閘極 / 高介電常數材質之互補金氧半場效電晶體之方法。更特定言之，本發明係關於一種利用自動對準低溫淺接面製造具有極低  $V_t$  [ 鈦 (Ir) - 鈦 (Hf) ] / 氧化釷鈦 (HfLaO) 之互補金氧半導體之方法，其中該方法係採用與超大型積體電路製程相容之前閘極製程。

### 【先前技術】

對於具有金屬閘極 / 高介電常數材質之互補金氧半場效電晶體而言，其主要之技術問題在於當等效氧化層厚度 (EOT) 較小時會產生吾人所不樂見之高  $V_t$  值，而其所涉及之細部機構尚未清楚 [1]\* - [6]\* ( 先前技藝 [1]\* - [6]\* 之細節請參閱本發明說明書「發明內容」中之表 1 )。若欲解決此問題，方法之一係利用適當之雙金屬閘極補償上述之高  $V_t$  值，其中該等雙金屬閘極之有效功函數 ( $\phi_{m-eff}$ ) 就 n 型金氧半導體而言小於目標值 4.1 eV，就 p 型金氧半導體而言則大於其所需之 5.2 eV。雖然低溫成形之完全矽化 (FUSI) 釷系矽化物 ( $Yb_xSi$ ) [2]\* 及碳化鈮 (TaC) 閘極均十分適合搭配 n 型金氧半導體使用，但若欲為 p 型金氧半導體選出適用之金屬閘極則極其困難，原因在於週期表中僅鉑 (Pt) 與鈦具有大於目標值 5.2 eV 之所需功函數 [2]\*，但鉑卻不易以反應性離子蝕刻法 (RIE) 蝕刻。據文獻指出，具有矽化鈦 ( $Ir_3Si$ ) / 氮氧化釷

鈣(HfLaON)之 p 型金氧半導體 [1]\* 即使經 1000 °C 快速熱退火 (RTA) 完成離子植入活化處理後，仍具有吾人所需高達 5.08 eV 之  $\phi_{m-eff}$ ，且當 EOT 為 1.6 奈米時，仍具有 -0.1 V 之低  $V_t$  值。然而，一旦 EOT 減至 1.2 奈米，該等裝置之平帶電壓 ( $V_{fb}$ ) 將隨之降低，因而產生吾人所不樂見之高  $V_t$  值。既然此方法未能奏效，吾人便須對高  $V_t$  值及  $V_{fb}$  在 EOT 縮小時之衰減現象有基本之瞭解。

### 【發明內容】

為克服先前技藝之缺點，本發明提出一方法以解決先前技藝之問題。在本發明中，當 EOT 為 1.2 奈米時，自動對準且使用前開極製程之 [鈹 - 鈣] / 氧化鋁鈣 p 型及 n 型金氧半導體分別表現出 5.3 及 4.1 eV 之良好  $\phi_{m-eff}$ 、+0.05 及 0.03 V 之低  $V_t$  值、以及 90 及 243  $cm^2/Vs$  之高遷移率，此外，其在 85 °C 之偏壓溫度不穩定性 (BTI) 均甚小，顯示可靠度甚佳。此一良好裝置效能係藉由一低溫 (<900 °C) 超淺接面 (USJ) 製程來達成，若與用於離子植入摻雜物活化作用所需之傳統 1000 °C 快速熱退火相比，該製程係以指數方式增加降低了界面反應。對使用鎳 (Ni) / 銻 (Sb) 固相擴散 (SPD) 之 n 型金氧半場效電晶體而言，該製程之處理溫度甚至可降至 650 °C，而仍可產生 0.14 V 之低  $V_t$  值及 209  $cm^2/Vs$  之高遷移率等良好裝置效能。此外，對  $p^+/n$  接面而言，所測得之超淺接面深度 ( $X_j$ ) 僅 9.5 至 20 奈米，而對  $n^+/p$  接面而言，所測得之

$X_j$  則為 23 至 35 奈米，優於在相同片電阻 ( $R_s$ ) 下以 1 keV 植入砷離子 ( $As^+$ ) [7]\* 所產生之接面深度，其原因在於本發明可減少因離子植入損害所引起之缺陷輔助擴散作用 (defect-assisted diffusion)。由於本發明係使用自動對準超淺接面及可與超大型積體電路相容之前開極製程，因此上述結果與先前技藝 [1]\* - [6]\* 不相上下，及展現更低的  $V_t$  值及更小的 EOT。本發明之方法包括利用物理蒸氣沈積法 (PVD) [1]\* 沉積氧化鎢鉛、沉積後之退火處理、及沉積氮化鈮 ( $TaN$ ) / 鈷及氮化鈮 / 鉛。在開極圖案成形後，再沉積 5 奈米自動對準之鍍 ( $Ga$ ) 或 10 奈米鎳 / 5 奈米鍍 (上覆 100 奈米之二氧化矽 ( $SiO_2$ ) 覆蓋層) 以形成 p 型金氧半導體，然後透過  $550^\circ C$  至  $900^\circ C$  之快速熱退火進行固相擴散。在形成 n 型金氧半導體時則係以旋塗方式沉積自動對準之磷酸 ( $H_3PO_4$ )，並使其在  $200^\circ C$  之溫度下轉變為五氧化二磷 ( $P_2O_5$ )，然後透過  $850^\circ C$  至  $900^\circ C$  之快速熱退火進行固相擴散。上述之濕式磷酸噴塗及摻雜作業可用於製造商用矽太陽能電池。或者，n 型金氧半導體之源極 - 汲極接面可由 10 奈米鎳 / 5 奈米銻透過  $600^\circ C$  至  $700^\circ C$  之低溫快速熱退火完成固相擴散，最後再加上源極 - 汲極之金屬接頭。本發明另利用植入硼離子 ( $B^+$ ) 及砷離子之方式及搭配  $1000^\circ C$  之快速熱退火，製造出 [矽化鈷 - 矽化鉛 ( $Hf_xSi$ )] / 氮氧

化銦鉛互補金氧半導體以資比較。

表 1 多種具有金屬閘極 / 高介電常數材質之 n 型及 p 型金氧半場效電晶體之裝置完整性資料之比較表 (所列同時包括本發明及先前技藝)

高介電常數材質	金屬閘極 p/n	EO T nm	$\phi_{m-cf}$ r (eV) p/n	$V_t$ (V) p/n	處理溫度	遷移性 ( $cm^2/Vs$ ) p/n
本發明 HfLaO	Ir / Hf	1.2	5.3 / 4.1	+0.05 / 0.03	<900° C 固 相擴 散	90 / 243
本發明 HfLaO	- / Hf	1.3		- / 0.14	650°C 固相 擴散	- / 209
本發明 HfLaON	Ir <sub>3</sub> Si / Hf <sub>x</sub> Si	1.2	5.0 / 4.3	-0.25 / 0.19	1000° C	86 / 214
HfLaON [1]*	Ir <sub>3</sub> Si / TaN	1.6	5.08 /4.2 8	-0.1 / 0.18	1000° C	84 / 217
HfAlON [2]*	Ir <sub>x</sub> Si / Yb <sub>x</sub> Si	1.7	4.9 / 4.15	-0.29 / 0.1	950°C / 完全 矽化	80 / 180



HfTaO [3]*	- / TaN	1.6	-/ 4.6	- / -	1000° C	- / 354
HfSiON [4]*	Ni <sub>31</sub> Si 12 /NiSi	1.5	~4.8 /~4. 5	-0.4 / 0.5	完全 矽化	~70/~24 0
HfSiON [5]*	NiSiG e / -	1.3	- / -	-0.5 / -	完全 矽化	70 / -
HfSiON [6]*	Ni <sub>3</sub> Si /NiSi <sub>2</sub>	1.7	4.8 / 4.4	-0.69 / 0.47	完全 矽化	65 / 230

\*先前技藝之細節：( [7] 將在本專利說明書之「實施方式」中隨本發明之較佳實施例一併說明 )

### 【實施方式】

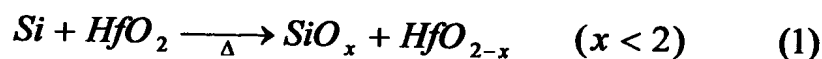
為徹底瞭解本發明之內容，請參閱以下有關本發明較佳實施例之詳細說明及附圖。

本發明提出一種利用自動對準低溫淺接面製造具有極低  $V_t$  金屬閘極 / 高介電常數材質之互補金氧半場效電晶體之方法，其包括利用物理蒸氣沈積法 (PVD) [1]\* 沉積具有高介電常數之氧化鎢鈣、沉積後之退火處理、及沉積氮化鈮 / 鈷及氮化鈮 / 鈣。在閘極圖案成形後，沉積 5 奈米自動對準之鍍或 10 奈米鎳 / 5 奈米鍍 (上覆 100 奈米之二氧化矽覆蓋層) 以形成 p 型金氧半導體，然後透過 550°C 至 900°C 之快速熱退火進行固相擴散 (SPD)。在形成 n 型金氧半導體時則係以旋塗方式沉積自動對

準之磷酸，並使其在 200°C 之溫度下轉變為五氧化二磷，然後透過 850°C 至 900°C 之快速熱退火進行固相擴散。上述之濕式磷酸噴塗及摻雜作業可用於製造商用矽太陽能電池製造矽板。或者，n 型金氧半導體其源極－汲極接面之形成方式亦可與前述 p 型金氧半導體類似，亦即以 600°C 至 700°C 進行鎳／銻之固相擴散形成，最後再加上源極－汲極之金屬接頭。本發明另以植入硼離子及砷離子之方式，搭配 1000°C 之快速熱退火，製造出 [矽化銻－矽化鉛]／氮氧化鎳鉛互補金氧半導體 [1]\* 以資比較。

#### A. $V_{fb}$ 因 EOT 降低而衰減：

圖 1 顯示氮氧化鎳鉛互補金氧半導體經 1000°C 快速熱退火後之電容與電壓 (C-V) 特性，其中 1.6 及 1.2 奈米之 EOT 係透過量子力學電容－電壓模擬法求得。使用矽化鉛閘極之 n 型金氧半導體在 EOT 為 1.2 奈米時產生一低  $V_{fb}$ ，然而矽化銻／氮氧化鎳鉛 p 型金氧半導體之  $V_{fb}$  則降低。由於氮氧化鎳鉛係使用相同之矽化銻金屬閘極，因此，EOT 較小時所產生非吾人所樂見之低  $V_{fb}$  可能肇因於較高之氧化物電荷密度，如圖 2 所列之  $V_{fb}$  公式所示。該等電荷係來自非理想配比之氧化物 ( $x < 2$ ) 中因界面反應及交互擴散而必然產生之帶電空位及懸鍵：



由於二氧化矽及二氧化鈪 ( $\text{HfO}_2$ ) 具有相似之鍵焓分別為  $800 \text{ kJ/mol}$  及  $802 \text{ kJ/mol}$ [2]\*，故上述反應可在高溫下進行。此外，當 EOT 較小時，僅較薄之界面二氧化矽可符合降低漏電流所需之高介電常數值。由於界面化學反應遵循阿瑞尼斯 (Arrhenius) 公式之溫度依存關係，因此本發明特開發一低溫程序以減少上述效應。

#### B. 低溫淺界面：

圖 3 至 6 分別顯示不同案例之  $p^+/n$  界面之片電阻 ( $R_s$ )、電流密度—電壓 (J-V) 關係及二次離子質譜儀 (SIMS) 分析圖。將鎳加入鍺之固相擴散後，可透過鎳—鍺共同擴散及形成矽化物之過程改善片電阻，同時維持良好之  $p^+/n$  特性，其理想因子 (n 因子) 達 1.36。在使用鍺與鎳/鍺之例中，超淺界面之深度  $X_j$  經二次離子質譜儀量測之結果分別為 9.5 奈米與 20 奈米。圖 7 至 9 分別顯示  $n^+/p$  界面之片電阻、電流密度—電壓關係及二次離子質譜儀分析圖。自動對準之磷酸之旋塗作業其 n 因子為 1.4，並產生少量漏電流及一低片電阻。在  $850^\circ\text{C}$  或  $875^\circ\text{C}$  快速熱退火後利用二次離子質譜儀所測得之超淺界面深度  $X_j$  則為 23 奈米或 35 奈米，此結果優於在相同片電阻下以 1 keV 植入砷離子並進行高溫瞬間退火 (spike RTA) 所產生之淺界面深度 [7]\*，而前者較優之原因在於未發生因砷離子植入損害所引起之缺陷輔助擴散作用。當 n 型金氧

半導體係採用與 p 型金氧半導體類似之形成方式，亦即使用鎳／銻固相擴散時，其快速熱退火之處理溫度甚至可降至  $650^{\circ}\text{C}$ ，並產生  $126\text{ ohm/sq}$  之低片電阻(如圖 10 所示)，而 n 因子則為 1.5(如圖 11 所示之  $n^+/p$  接面)。對氧化鋇鈣而言，此一大於  $900^{\circ}\text{C}$  之處理溫度十分重要，因為其有助於在不使用氮氧化鋇鈣之情況下，保存氧化鋇鈣於  $900^{\circ}\text{C}$  之無定形結構，如圖 12 所示。若使用氮氧化鋇鈣則將降低釘扎於金屬閘極／高介電常數材質介面之可能性。相較於結晶氧化鋇鈣，氧化鋇鈣於  $900^{\circ}\text{C}$  之無定形結構可提供較低之偏壓溫度不穩定性，因為若使用結晶氧化鋇鈣，電荷會遭聚二氧化鋇鈣 (poly- $\text{HfO}_2$ ) 之粒界截留 [1]\* - [3]\*。

### C. 裝置特性：

圖 13 至 16 顯示具有氮化鉍／銦及氮化鉍／鈣閘極之氧化鋇鈣裝置之電容－電壓 (C-V) 與電流密度－電壓特性。當 EOT 為 1.2 奈米時，閘極之漏電流在電壓為  $\pm 1\text{ V}$  之情況下僅  $2.4 \times 10^{-4}$  及  $1.8 \times 10^{-4}\text{ A/cm}^2$ 。當 EOT 為 1.3 奈米時，就 n 型金氧半導體而言，即使以極低之溫度 ( $650^{\circ}\text{C}$ ) 進行固相擴散，仍減少閘極漏電流(如圖 17 及 18 所示)。圖 19 則為電流密度－EOT (J-EOT) 關係圖，顯示當 EOT 為 1.2 奈米時之漏電流遠低於二氧化矽之漏電流。將快速熱退火之溫度降至  $900^{\circ}\text{C}$  以下，對吾人選擇具有適當  $\phi_{m\text{-eff}}$  之純金屬閘極至為重要，因為銦／氧

化鋁鈣經  $1000^{\circ}\text{C}$  快速熱退火後，便因鈹在高介電常數材質中擴散而失效 [2]\*。

請注意，在圖 1 中，氮化鈹 / 鈹 / 氧化鋁鈣於  $850^{\circ}\text{C}$  之  $V_{fb}$  較氮化鈹 / 矽化鈹 / 氮氧化鋁鈣於  $1000^{\circ}\text{C}$  之  $V_{fb}$  高出  $0.7\text{ V}$ 。為瞭解此一重大改良，本發明人特繪製  $V_{fb}$  與 EOT 之關係於圖 20 中，並得到 p 型及 n 型金氧半導體之適當  $\phi_{m-eff}$  分別為  $5.3\text{ eV}$  及  $4.1\text{ eV}$ 。頂部鈹界面之  $\phi_{m-eff}$  僅較矽化鈹 ( $5.0\text{ eV}$ ) 高出  $0.3\text{ eV}$ ，並不足以解釋  $V_{fb}$  高達  $0.7\text{ V}$  之衰減幅度。由於兩者係使用類似之介電常數材質，因此非期望的  $V_{fb}$  之衰減係來自公式 (1) 中非理想配比氧化物之電荷。就矽化鈹 / 氮氧化鋁鈣而言，該等電荷係在溫度較高之  $1000^{\circ}\text{C}$  快速熱退火過程中產生。此等氧化物空位可依理論加以預測，且可在二氧化鈣中形成能量較低之能量阱。而這或許即為  $\phi_{m-eff}$  係透過由能量較低之能量阱所輔助之傳導作用釘扎於矽中間隙 (Si midgap) 之原因之一。就鈹 / 氧化鋁鈣裝置而言，若將處理溫度降至  $900^{\circ}\text{C}$  以下，此界面反應即以指數方式減少。

圖 21 至 23 分別顯示 [鈹 - 鈣] / 氧化鋁鈣 p 型及 n 型金氧半場效電晶體其汲極電流 ( $I_d$ ) 與汲極電壓 ( $V_d$ ) 之關係、汲極電流 ( $I_d$ ) 與閘極電壓 ( $V_g$ ) 之關係、以及電洞電子遷移率 ( $\mu_{eff}$ ) 與電場強度 ( $E$ ) 之關係。根據量測結果，[鈹 - 鈣] / 氧化鋁鈣 p 型及 n 型金氧半場效電晶體可提供良好之電晶

體特性、+0.05 及 0.03 V 之低  $V_t$  值、以及 90 及 243  $\text{cm}^2/\text{Vs}$  之高遷移率，該經改善的遷移率係優於經 1000°C 快速熱退火處理之氮氧化鎳鉛互補金氧半導體，此一現象係與公式 (1) 中因界面反應而產生之帶電空位帶電量較低結果相吻合。圖 24 至 26 則顯示以 650°C 進行固相擴散所形成之 n 型金氧半場效電晶體其  $I_d$  與  $V_d$  之關係、 $I_d$  與  $V_g$  之關係及  $\mu_{\text{eff}}$  與  $E$  之關係。即使以 650°C 進行固相擴散，仍可達成 0.14 V 之低  $V_t$  值及 209  $\text{cm}^2/\text{Vs}$  之高遷移率。

圖 27 中有關偏壓溫度不穩定性 (BTI) 之資料則顯示閘極之可靠度，在互補金氧半導體處於 85°C 及 10 MV/cm 之應力條件下一小時之過程中，產生一小於 32 mV 之  $\Delta V_t$ 。此一良好 BTI 可靠度係來自氧化鎳鉛在處理溫度不大於 900°C 時之無定形結構，因為該種處理溫度可防止載子遭多顆粒之粒界截留 (以二氧化鉛為例)，使 BTI 可靠度不致降低。表 1 係比較多種具有金屬閘極 / 高介電常數材質之互補金氧半導體之資料 [1]\* - [6]\*。本發明使用固相擴散及超淺接面之自動對準 [銻 - 鉛] / 氧化鎳鉛 p 型及 n 型金氧半導體具有下列優點：5.3 及 4.1 eV 之適當  $\phi_{\text{m-eff}}$ 、+0.05 及 0.03 V 之低  $V_t$ 、90 及 243  $\text{cm}^2/\text{Vs}$  之高遷移率以及小於 32 mV 之低偏壓溫度不穩定性 (85°C, 10 MV/cm, 1 hr)。又，將固相擴散之處理溫度降至 650°C，仍可使 n 型金氧半場效電晶體產生良好之裝置特性，亦即

0.14 V 之低  $V_t$  及  $209 \text{ cm}^2/\text{Vs}$  之高遷移率。

綜言之，本發明已證明界面反應係  $V_{fb}$  衰減之關鍵因素，而  $V_{fb}$  衰減則會在 EOT 較大之情況下產生非期望的高  $V_t$  值。本發明所提出之超淺接面法係在不大於  $900^\circ\text{C}$  之溫度下執行，並使 [銱 - 鉛] / 氧化銱鉛互補金氧半導體裝置產生適當之  $\phi_{m\text{-eff}}$ 、低漏電流及低臨界電壓。

以上雖以本發明之一較佳實施例說明本發明之內容，但熟習本發明所屬技術領域之一般技藝人士當可針對上述實施例進行修改而不脫離本發明之範圍。本發明之範圍係由後附之申請專利範圍加以界定。

### 【圖式簡單說明】

圖 1 係金屬閘極 / 氮氧化銱鉛互補金氧半導體經  $1000^\circ\text{C}$  快速熱退火後之電容 - 電壓 (C-V) 關係圖，其中  $|V_{fb}|$  隨 EOT 縮小而衰減之現象突顯介面之重要性。

圖 2 顯示  $|V_t|$  增量可來自頂部及底部界面。在非理想配比之氧化矽 ( $\text{SiO}_x$ ) 與氧化鉛 ( $\text{HfO}_{2-x}$ ) 中，帶電之氧化物空位可調整  $V_{fb}$  並提高  $|V_t|$ 。

圖 3 係銳與鎳 / 銳之片電阻 ( $R_s$ ) 與快速熱退火所用溫度之關係圖，其中銳與鎳 / 銳係以固相擴散法形成。

圖 4 顯示  $p^+/n$  接面之電流密度與電壓 (J-V) 關係圖，其中該  $p^+/n$  接面係由二氧化矽 / 銳透過  $900^\circ\text{C}$

之快速熱退火完成固相擴散，並透過  $1000^{\circ}\text{C}$  之快速熱退火植入硼離子 ( $\text{B}^+$ ) 所形成。

圖 5 係  $\text{p}^+/\text{n}$  接面之電流密度與電壓關係圖，其中該  $\text{p}^+/\text{n}$  接面係由二氧化矽 / 鎳 / 鍺透過  $550^{\circ}\text{C}$  至  $850^{\circ}\text{C}$  之快速熱退火完成固相擴散後所形成，其漏電情形及  $n$  因子係與以  $900^{\circ}\text{C}$  完成固相擴散並於一較低溫度下形成之鍺相仿。

圖 6 係鍺與鎳 / 鍺 - 矽化物之二次離子質譜儀 (SIMS) 分析圖，其中深度為 9.5 或 20 奈米之超淺接面係透過  $900^{\circ}\text{C}$  之固相擴散或  $700^{\circ}\text{C}$  之快速熱退火形成。超淺接面之深度  $X_j$  在先前技藝 [7] 中係定義為  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 。

圖 7 顯示磷酸經旋塗、固相擴散及在快速熱退火之條件下植入砷離子 ( $\text{As}^+$ ) 後之片電阻 ( $R_s$ ) 變化，其中有關以 1 keV 植入砷離子及  $1020^{\circ}\text{C}$  快速熱退火之資料係來自先前技藝 [7]。

圖 8 係  $\text{n}^+/\text{p}$  接面之電流密度與電壓關係圖，其中該  $\text{n}^+/\text{p}$  接面係由磷酸經旋塗及透過  $850^{\circ}\text{C}$  與  $875^{\circ}\text{C}$  之快速熱退火完成固相擴散後所形成，其漏電情形及  $n$  因子係與植入砷離子並經  $1000^{\circ}\text{C}$  快速熱退火處理之接面相仿。

圖 9 係磷酸經旋塗及透過  $850^{\circ}\text{C}$  與  $875^{\circ}\text{C}$  之快速熱退火完成固相擴散後，所做磷之二次離子質譜儀分析圖，其中超淺接面之深度  $X_j$  為 23 及 35 奈米，圖中包括先前技藝 [7] 之  $X_j$  資料係供對照。



圖 10 係鎳 / 鍺以固相擴散法形成後，其片電阻與快速熱退火所用溫度之關係圖。

圖 11 係  $n^+$ /p 接面之電流密度與電壓關係圖，其中該  $n^+$ /p 接面係由二氧化矽 / 鎳 / 銻以固相擴散法形成，且該等關係為快速熱退火溫度之函數。

圖 12 係氧化鋇鈣經  $600^\circ\text{C}$  及  $900^\circ\text{C}$  快速熱退火處理後（處理時間均為 30 秒）之低掠角 X 光繞射（XRD）光譜圖，其中氧化鋇鈣經處理後仍保有未結晶之無定形結構，其對偏壓溫度不穩定性（BTI）有重要影響。

圖 13 係具有氮化鈮 / 銱及氮化鈮開極且經  $850^\circ\text{C}$  及  $900^\circ\text{C}$  快速熱退火處理後之氧化鋇鈣 p 型金氧半導體之電容與電壓（C-V）關係圖，其中該 p 型金氧半導體之  $V_{fb}$  較圖 1 中經  $1000^\circ\text{C}$  快速熱退火處理後之矽化銱 / 氮氧化鋇鈣高出  $0.7\text{ V}$ 。

圖 14 係具有氮化鈮 / 銱開極且經  $850^\circ\text{C}$  或  $1000^\circ\text{C}$  快速熱退火處理後之氧化鋇鈣 p 型金氧半導體之電流密度與電壓關係圖，其中在  $850^\circ\text{C}$  之快速熱退火過程中出現低量漏電流，但此漏電流於  $1000^\circ\text{C}$  時因金屬擴散而終止。

圖 15 係具有氮化鈮 / 鈣及氮化鈮開極且經  $875^\circ\text{C}$  及  $900^\circ\text{C}$  快速熱退火處理後之氧化鋇鈣 n 型金氧半導體之電容與電壓關係圖，圖中亦包括量子力學電容 - 電壓模擬法之模擬資料。

圖 16 係具有氮化鈮 / 鈣及氮化鈮開極且經

875°C 及 900°C 快速熱退火處理後之氧化鋁銦 n 型金氧半導體之電流密度與電壓關係圖。

圖 17 係具有氮化鋁 / 鈣開極並使用二氧化矽 / 鎳 / 銻固相擴散之氧化鋁銦 n 型金氧半導體之電容與電壓關係圖。

圖 18 係具有氮化鋁 / 鈣開極並使用二氧化矽 / 鎳 / 銻固相擴散之氧化鋁銦 n 型金氧半導體之電流密度與電壓關係圖。

圖 19 顯示氧化鋁銦在 EOT 為 1.2 奈米時之開極漏電流密度，並與二氧化矽及氮氧化鋁銦 [1] 相比較。

圖 20 係銦、氮化鋁及鈣開極之  $V_{fb}$  與 EOT 關係圖，有效的功函數為 5.3、4.3 及 4.1 eV。

圖 21 係自動對準並以前開極法製成之 p 型及 n 型金氧半場效電晶體之  $I_d$  與  $V_d$  關係圖。

圖 22 係自動對準並以前開極法製成之 p 型及 n 型金氧半場效電晶體之  $I_d$  與  $V_g$  關係圖，並與雙開極 [矽化銦 - 矽化鈣] / 氮氧化鋁銦互補金氧半導體（經 1000°C 快速熱退火處理）相比較。

圖 23 顯示自動對準並以前開極法製成之互補金氧半電晶體之電洞與電子遷移率，並與 [矽化銦 - 矽化鈣] / 氮氧化鋁銦互補金氧半導體（經 1000°C 快速熱退火處理）相比較。

圖 24 係自動對準、使用二氧化矽 / 鎳 / 銻固相擴散、並以前開極法製成之氮化鋁 / 鈣 / 氧化鋁銦

n 型金氧半場效電晶體之  $I_d$  與  $V_d$  關係圖。

圖 25 係自動對準、使用二氧化矽 / 鎳 / 銻固相擴散、並以前開極法製成之氮化鈮 / 鉛 / 氧化鋁鉛 n 型金氧半場效電晶體之  $I_d$  與  $V_g$  關係圖。

圖 26 顯示自動對準、使用二氧化矽 / 鎳 / 銻固相擴散、並以前開極法製成之氮化鈮 / 鉛 / 氧化鋁鉛 n 型金氧半場效電晶體之電子遷移率。

圖 27 顯示雙開極氧化鋁鉛互補金氧半場效電晶體於  $85^{\circ}\text{C}$  及  $10\text{ MV/cm}$  之應力條件下一小時之  $\Delta V_t$  飄移現象。

#### 【主要元件符號說明】

無

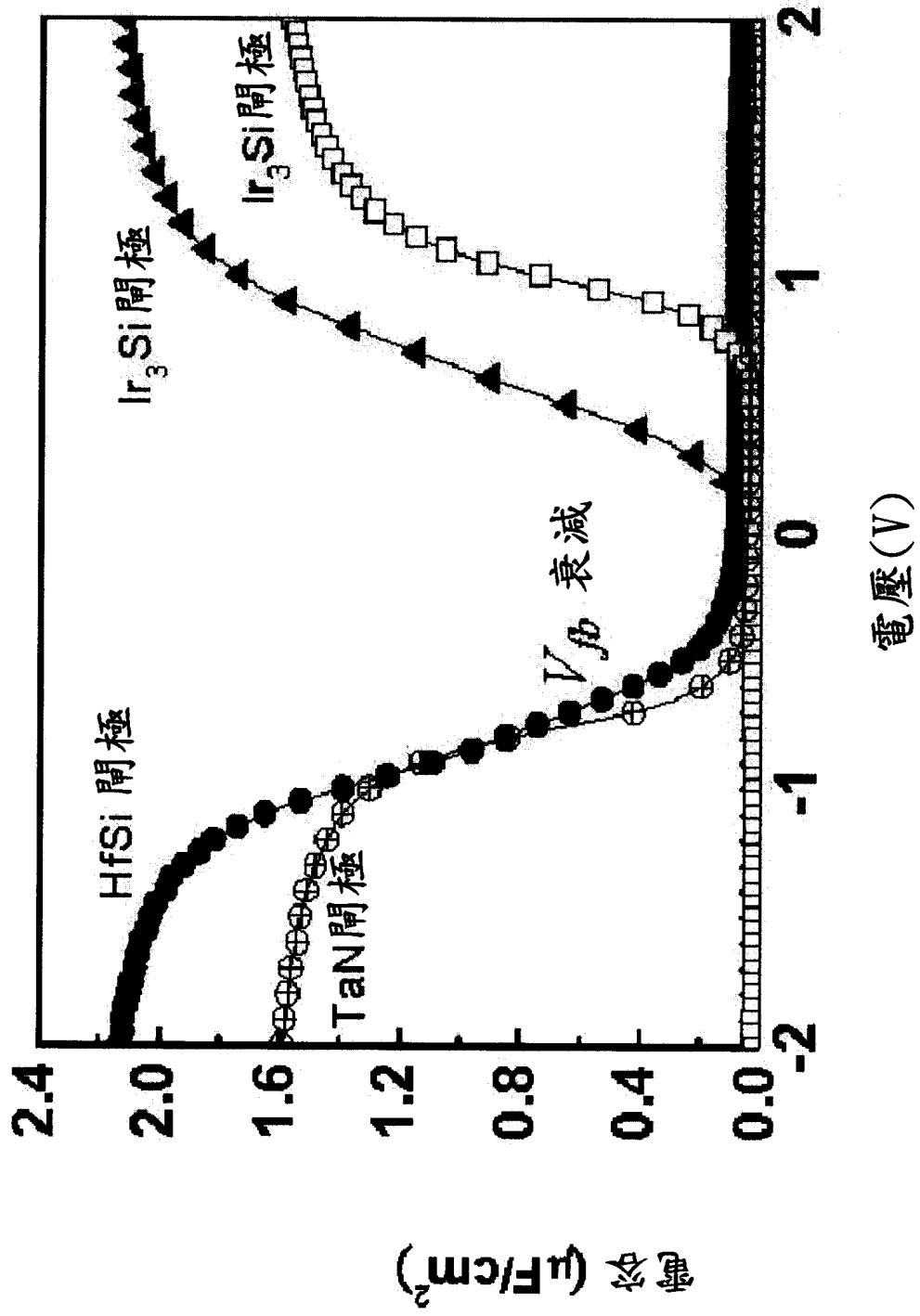
## 十、申請專利範圍：

1. 一種利用自動對準低溫淺接面製造具有極低臨界電壓金屬閘極／高介電常數材質之互補金氧半場效電晶體之方法，其特徵在於該方法係利用一低溫淺接面法在互補金氧半場效電晶體之製程中減少其界面反應，其處理溫度係低於 $900^{\circ}\text{C}$ 。
2. 一種利用自動對準低溫淺接面製造具有極低臨界電壓金屬閘極／高介電常數材質之互補金氧半場效電晶體之方法，包括下列步驟：
  - A. 施行高介電常數之閘極介電材料沉積、沉積後之退火處理、及雙金屬閘極沉積；
  - B. 施行閘極圖案成形，其中係具有一頂覆蓋層之自動對準之鍍或鍍／鍍經沉積成一 p 型金氧半導體，然後透過 $550^{\circ}\text{C}$ 至 $900^{\circ}\text{C}$ 之快速熱退火進行固相擴散；及
  - C. 以旋塗方式沉積自動對準之磷酸，並使其在 $200^{\circ}\text{C}$ 之溫度下轉變為五氧化二磷，然後透過 $850^{\circ}\text{C}$ 至 $900^{\circ}\text{C}$ 之快速熱退火進行固相擴散，以形成一 n 型金氧半導體；或者採用類似該 p 型金氧半導體之形成方式，具有頂覆蓋層之鍍／鍍，經沉積，然後進行 $600^{\circ}\text{C}$ 至 $700^{\circ}\text{C}$ 之固相擴散，以形成該 n 型金氧半導體。
3. 如申請專利範圍第 2 項之利用自動對準低溫淺接面製造具有極低臨界電壓金屬閘極／高介電

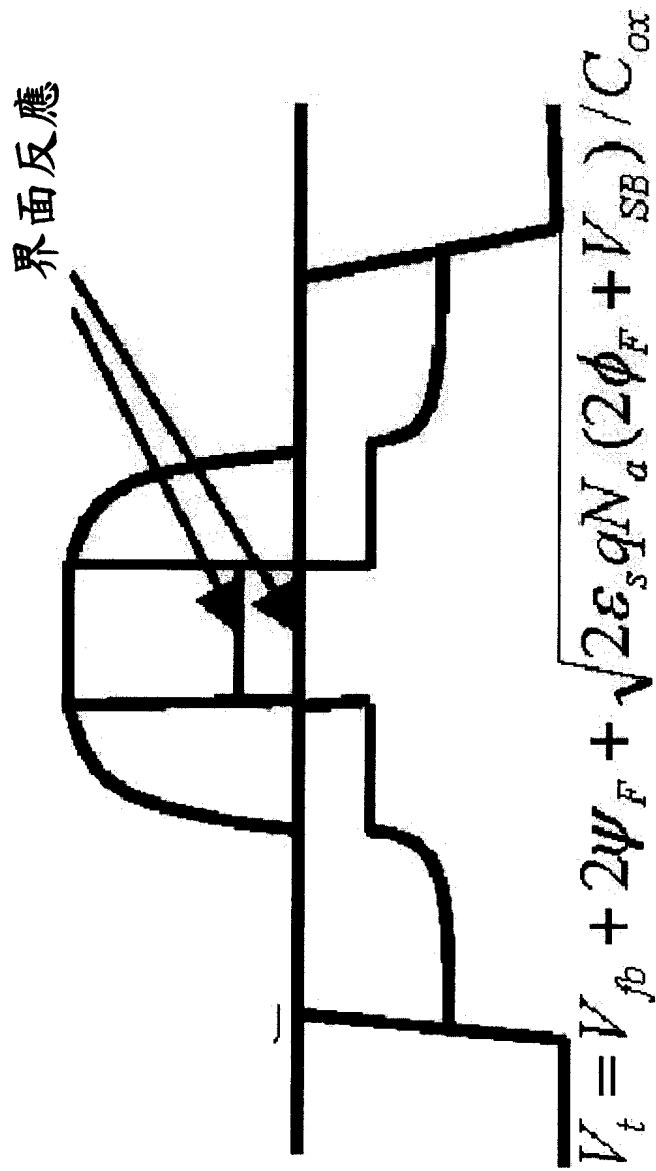
常數材質之互補金氧半場效電晶體之方法，其中當該方法係用於製造商用矽太陽能電池板時，需進一步實施濕式磷酸噴塗及摻雜作業。

4. 如申請專利範圍第 1 項之利用自動對準低溫淺接面製造具有極低臨界電壓金屬閘極／高介電常數材質之互補金氧半場效電晶體之方法，其中該處理溫度係介於  $600^{\circ}\text{C}$  與  $900^{\circ}\text{C}$  之間。

十一、圖式：



第一圖

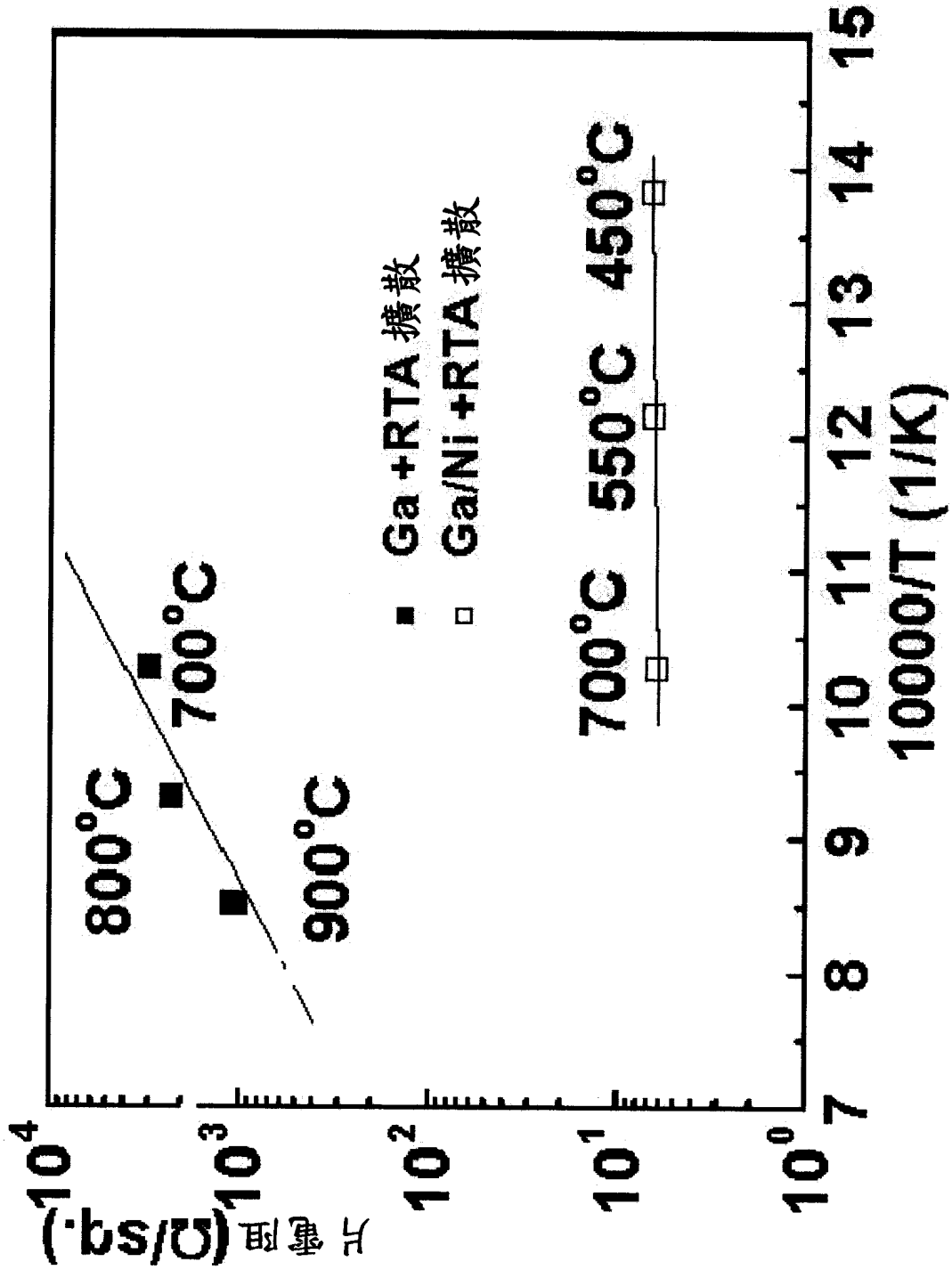


$$V_t = V_{fb} + 2\psi_F + \sqrt{2\epsilon_s q N_a (2\phi_F + V_{SB})} / C_{ox}$$

$$V_{fb} = \Phi_{MS} - \frac{Q_f}{C_{ox}} - \frac{1}{C_{ox}} \int_0^{x_0} \frac{x}{x_{ox}} \rho_{ox}(x) dx$$

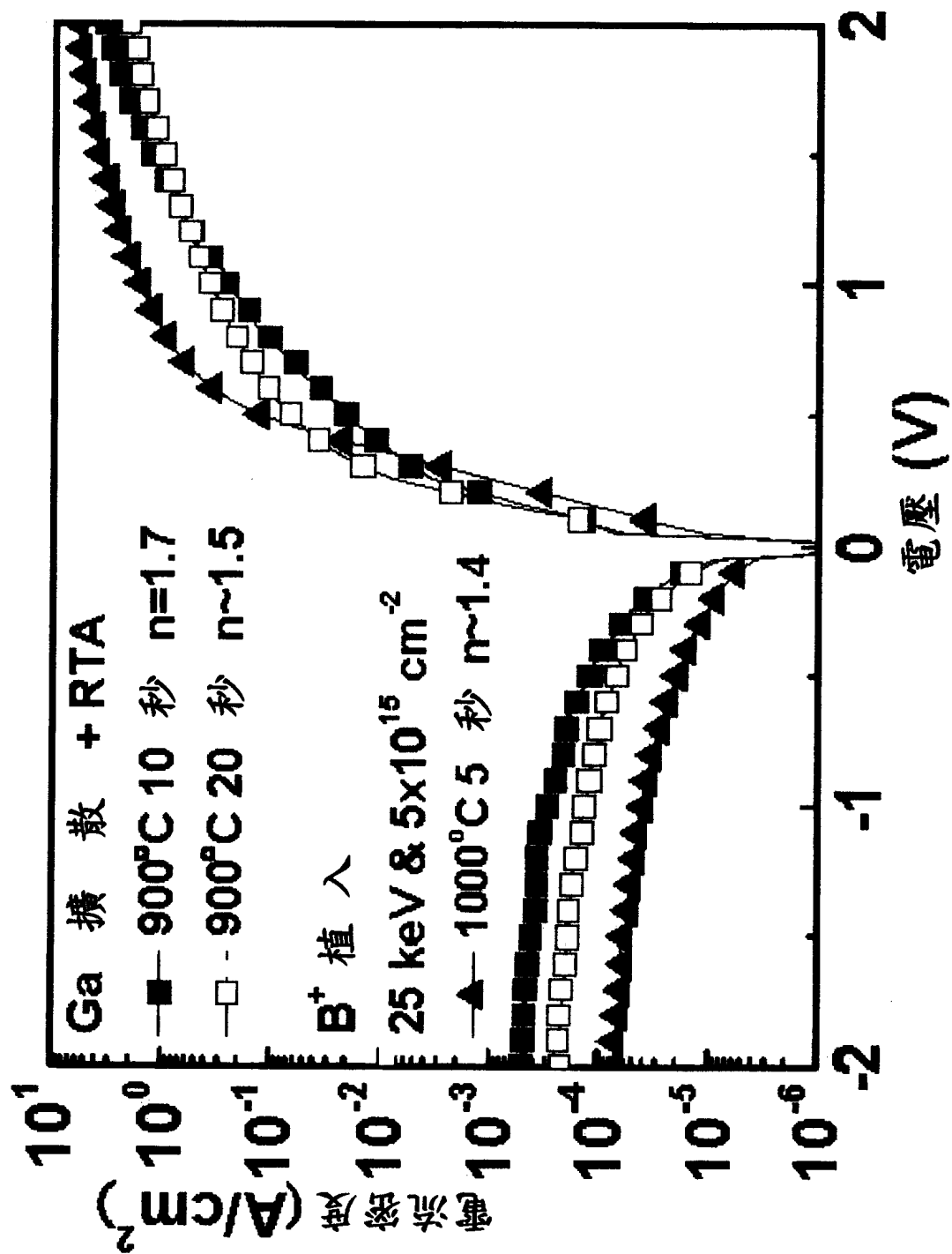


第二圖

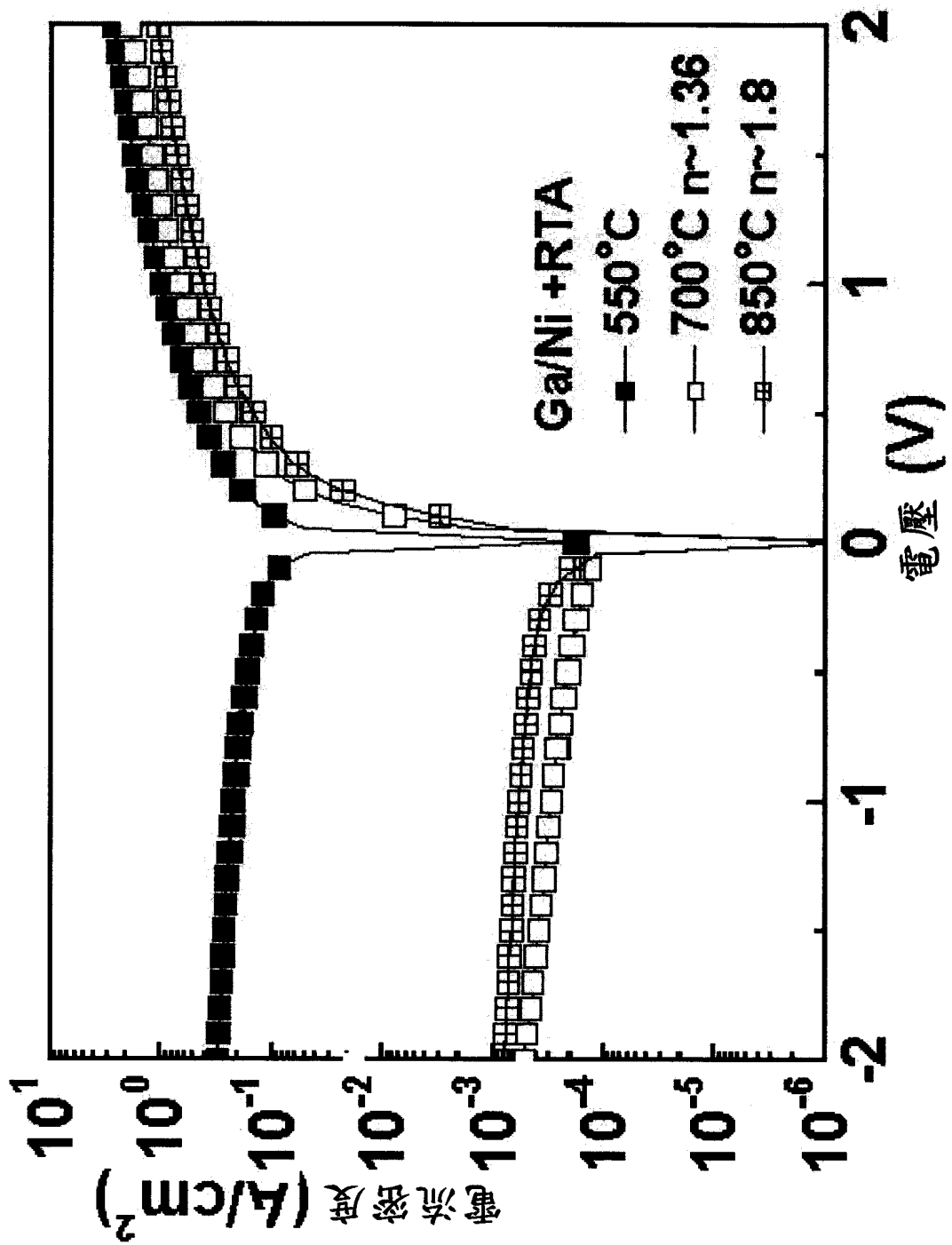


第三圖

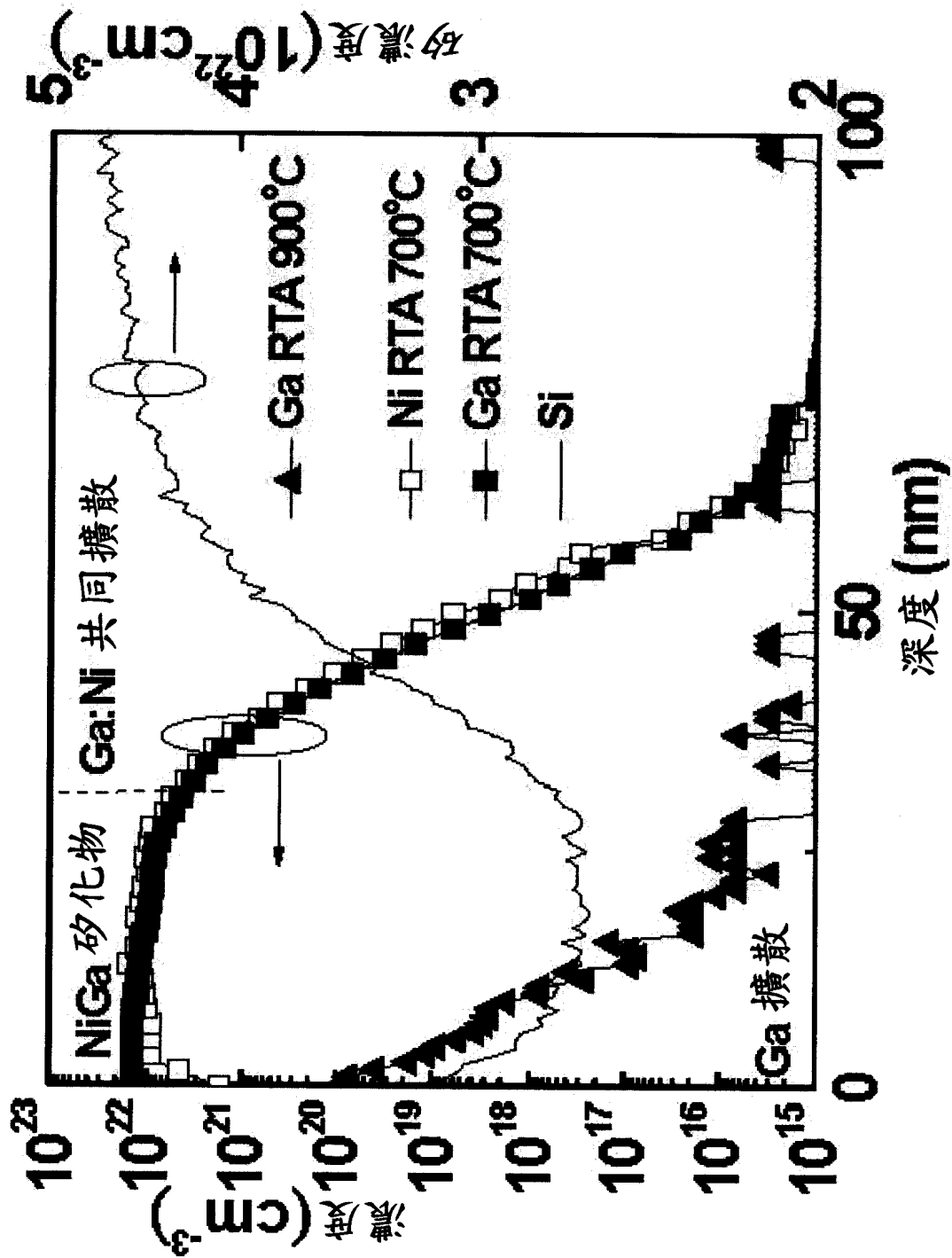




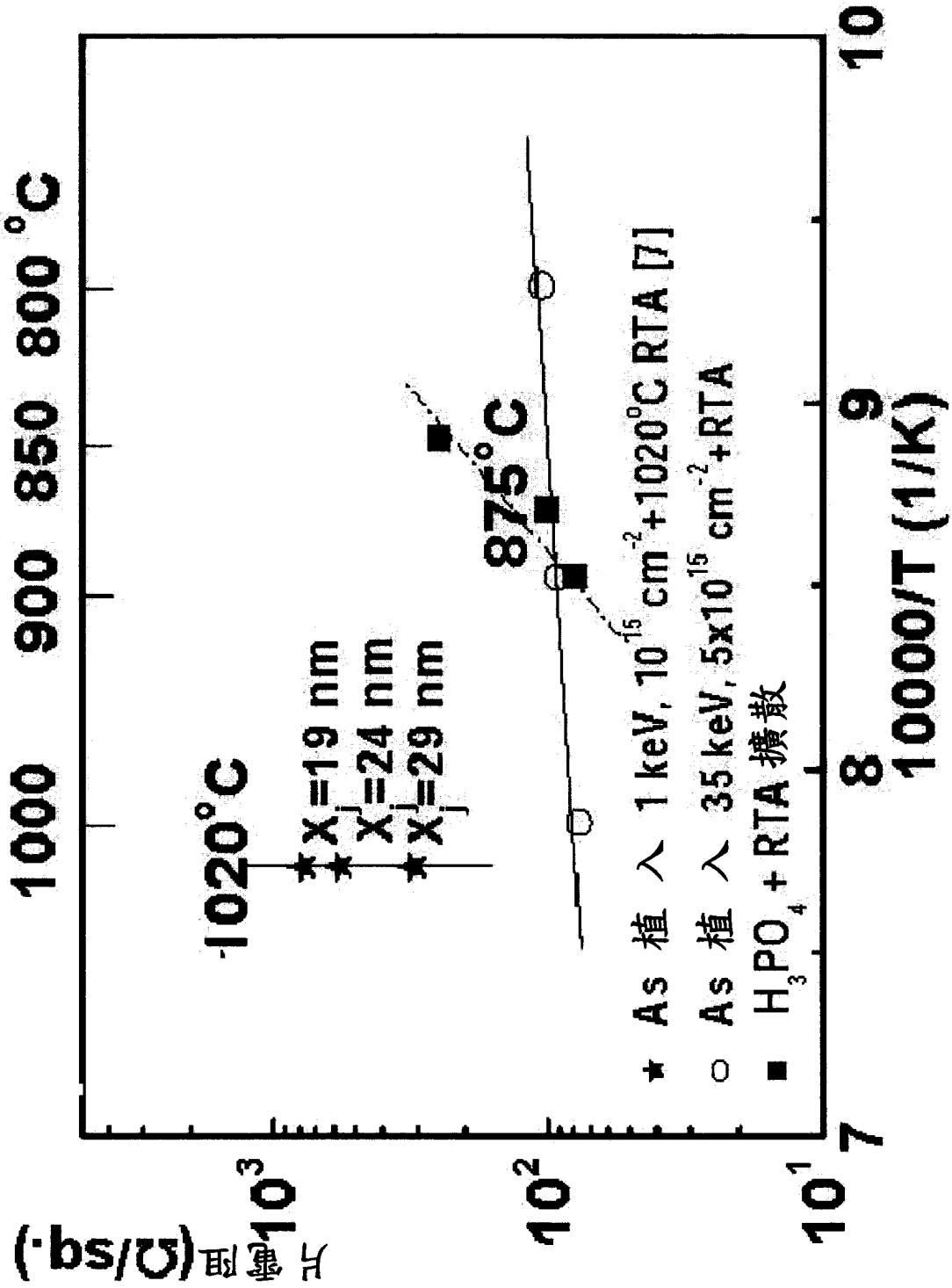
第四圖



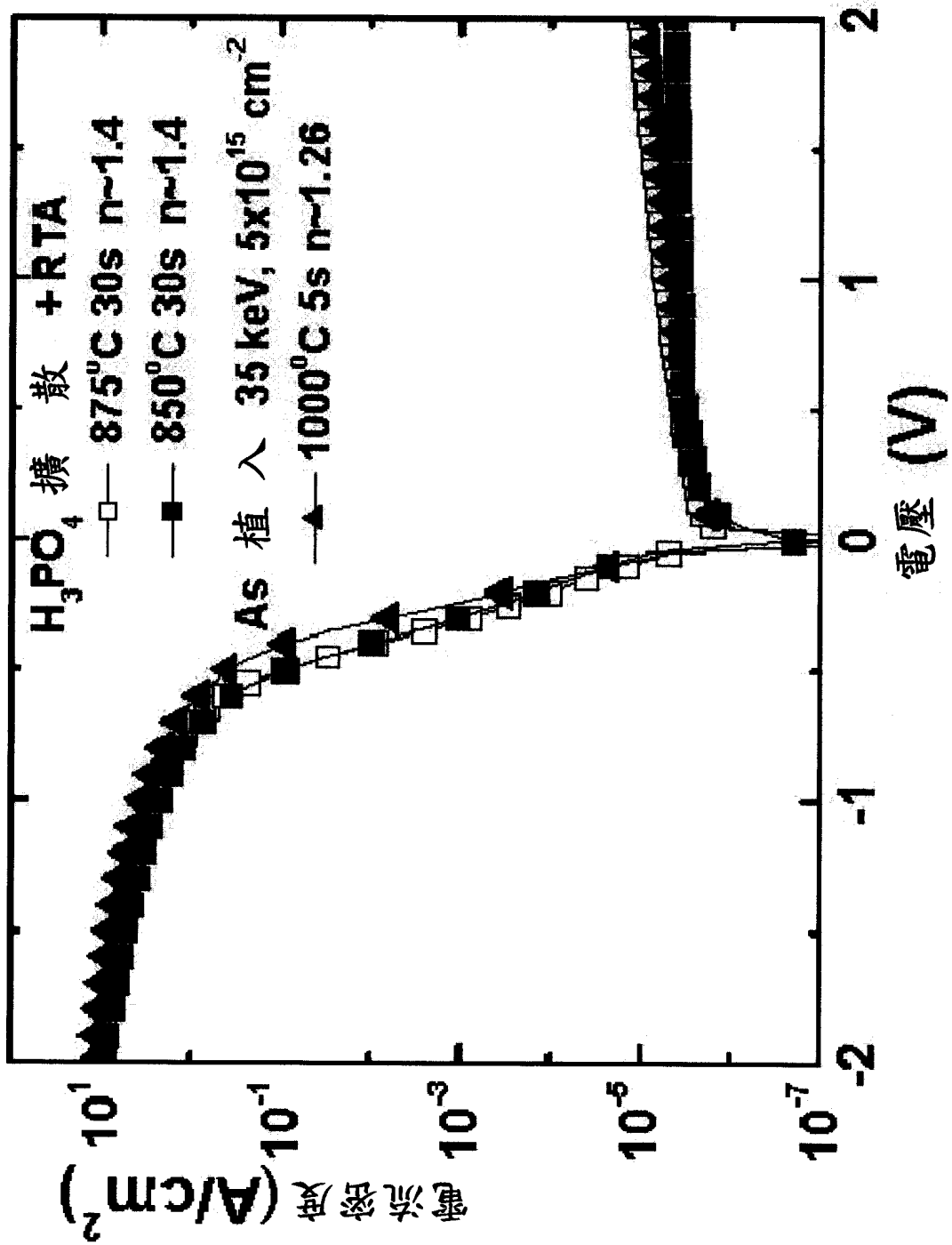
第五圖



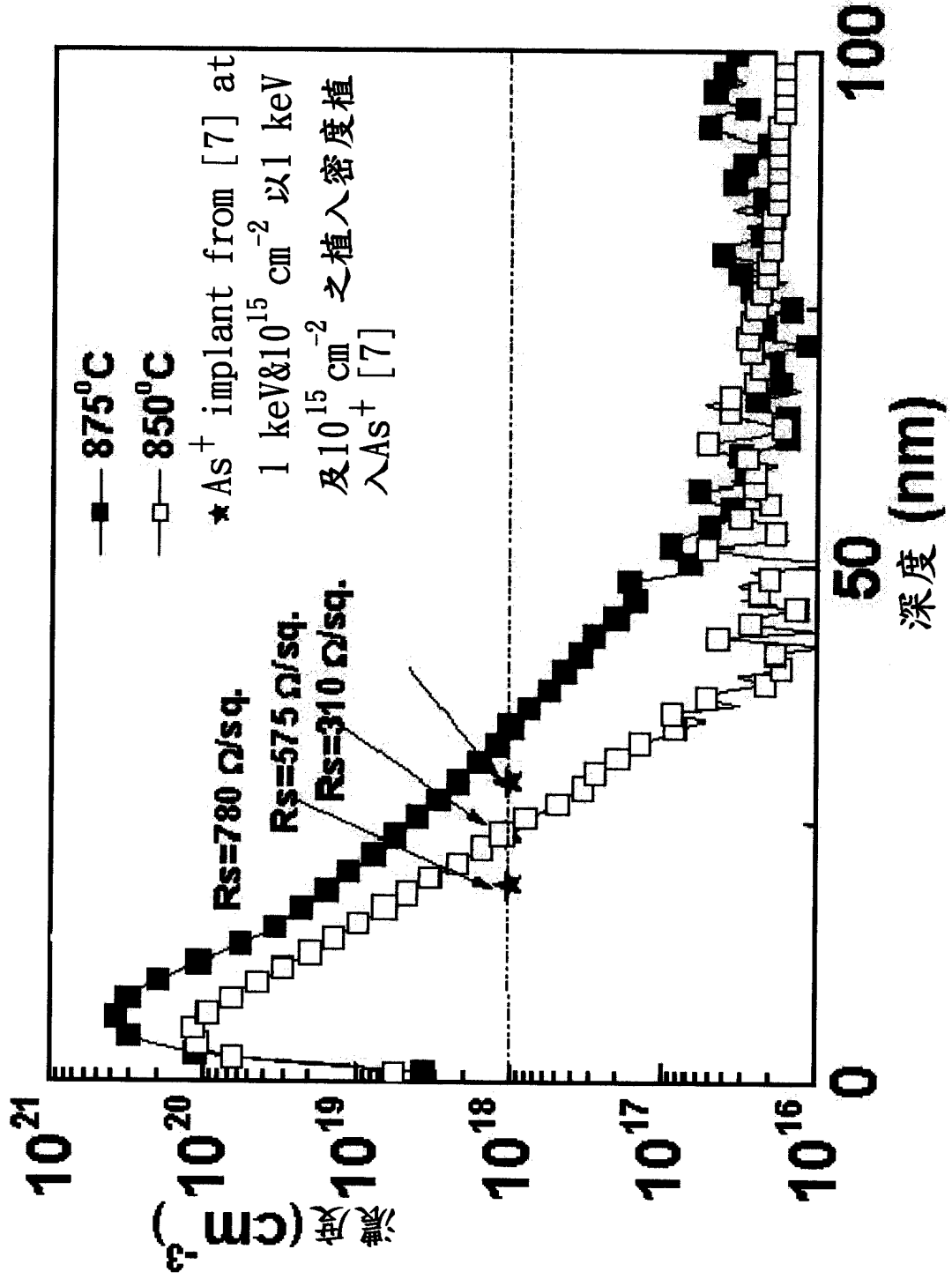
第六圖



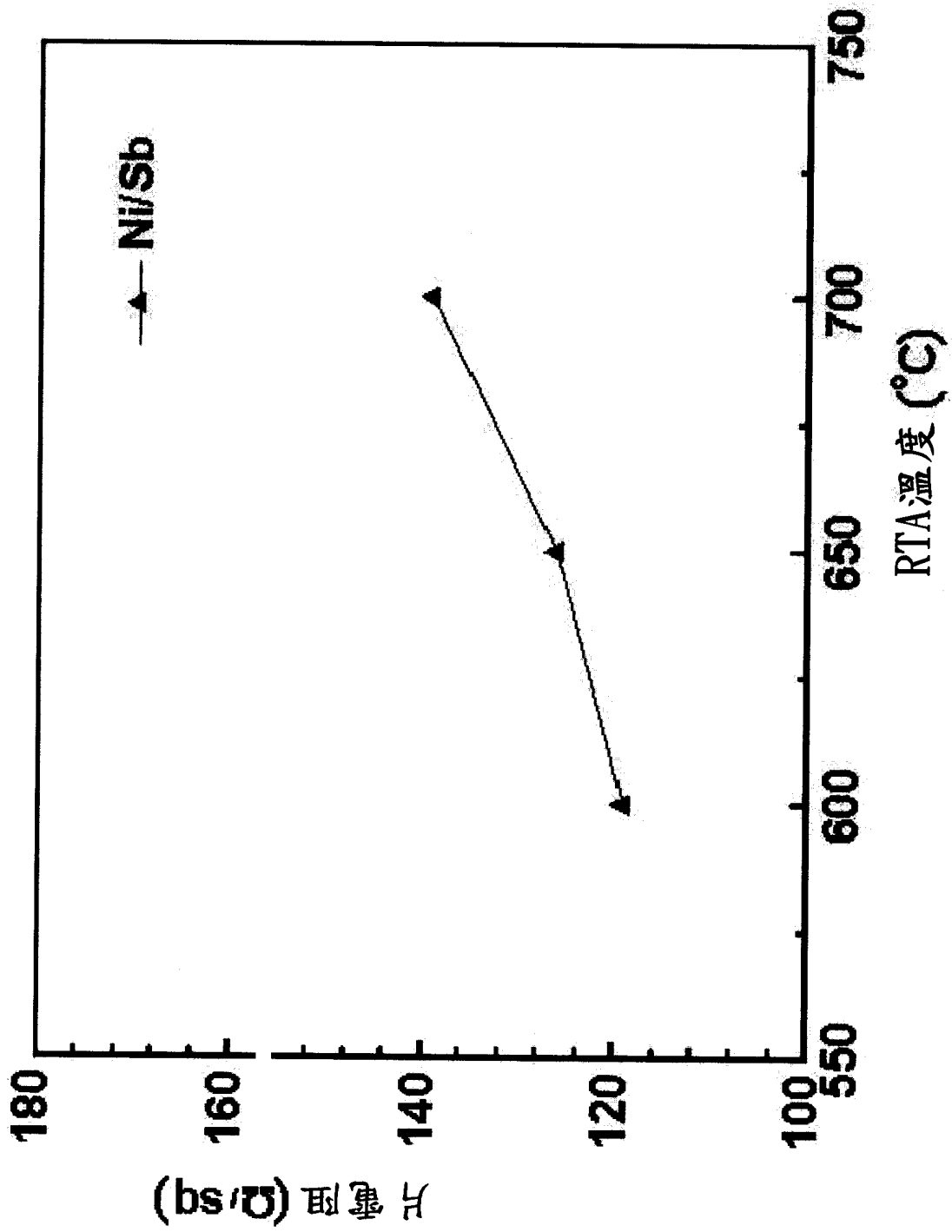
第七圖



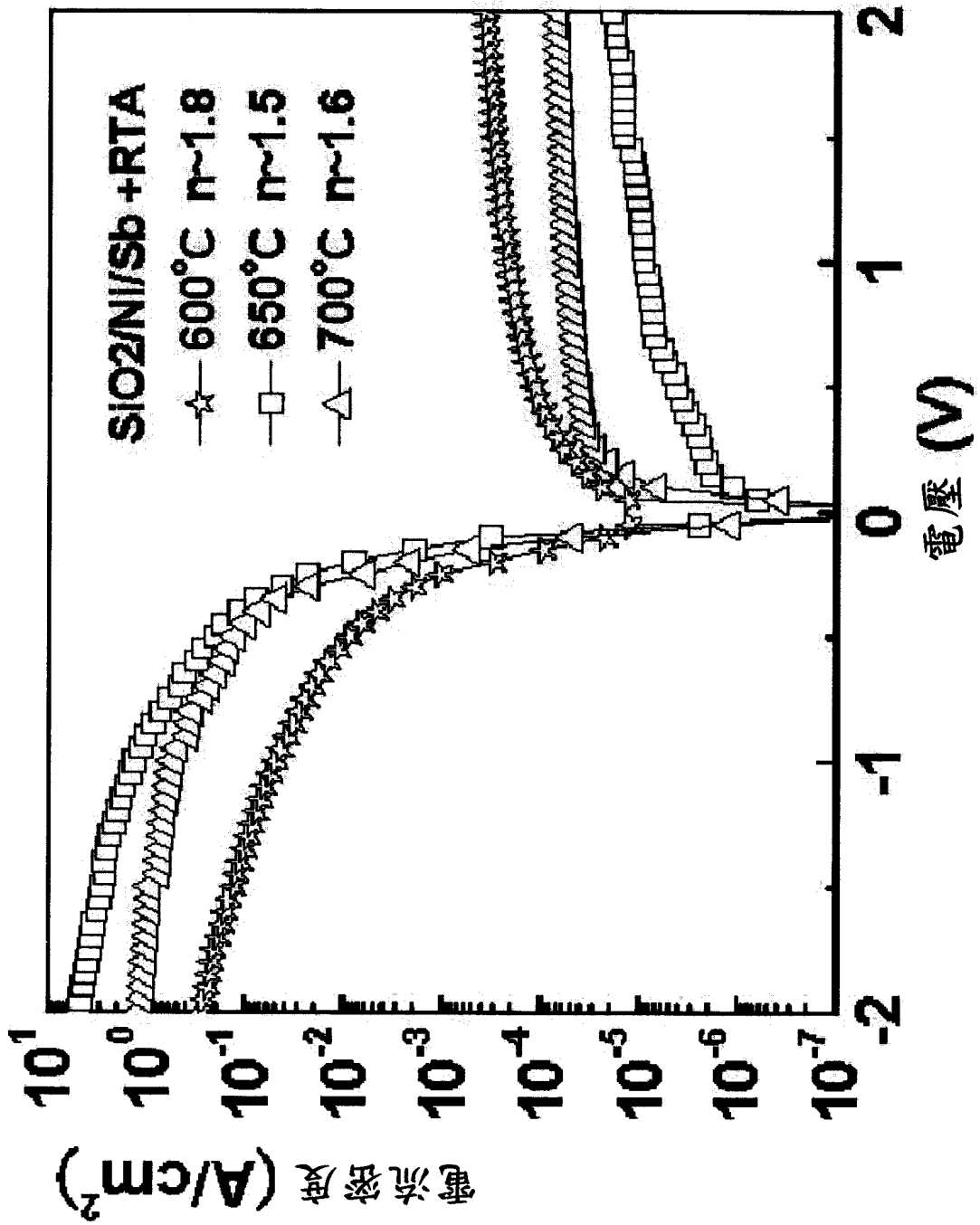
第八圖



第九圖

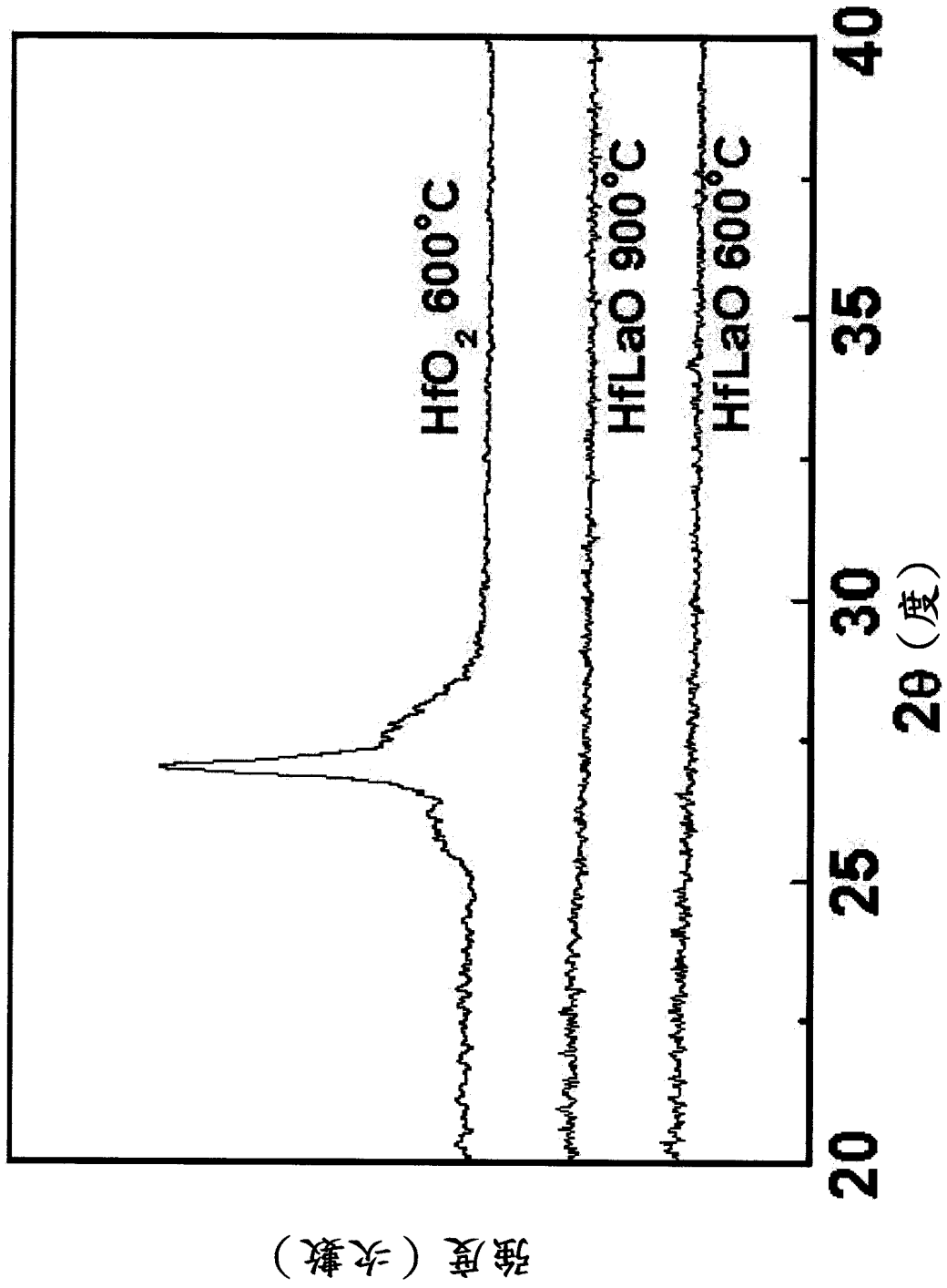


第十圖

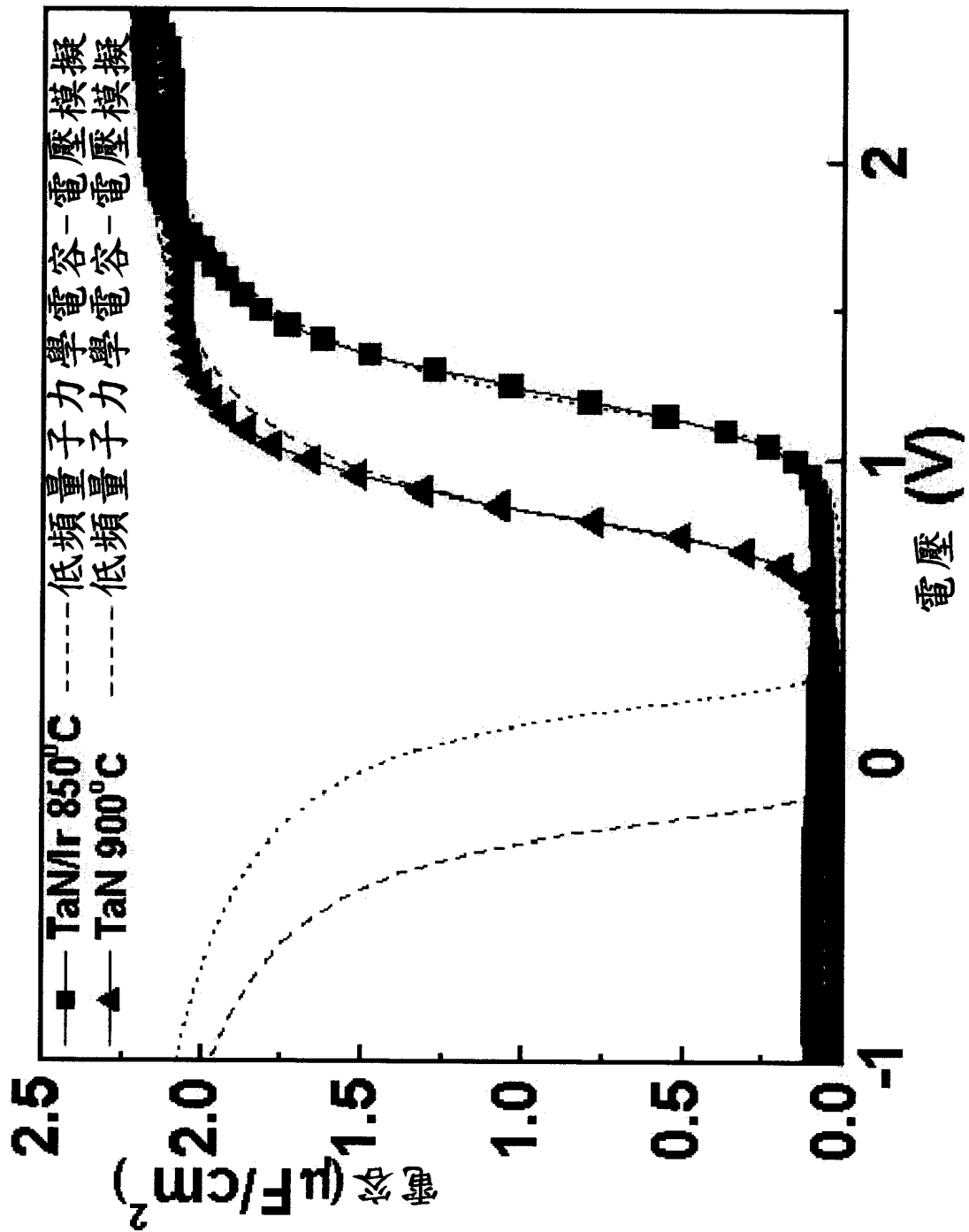


第十一圖

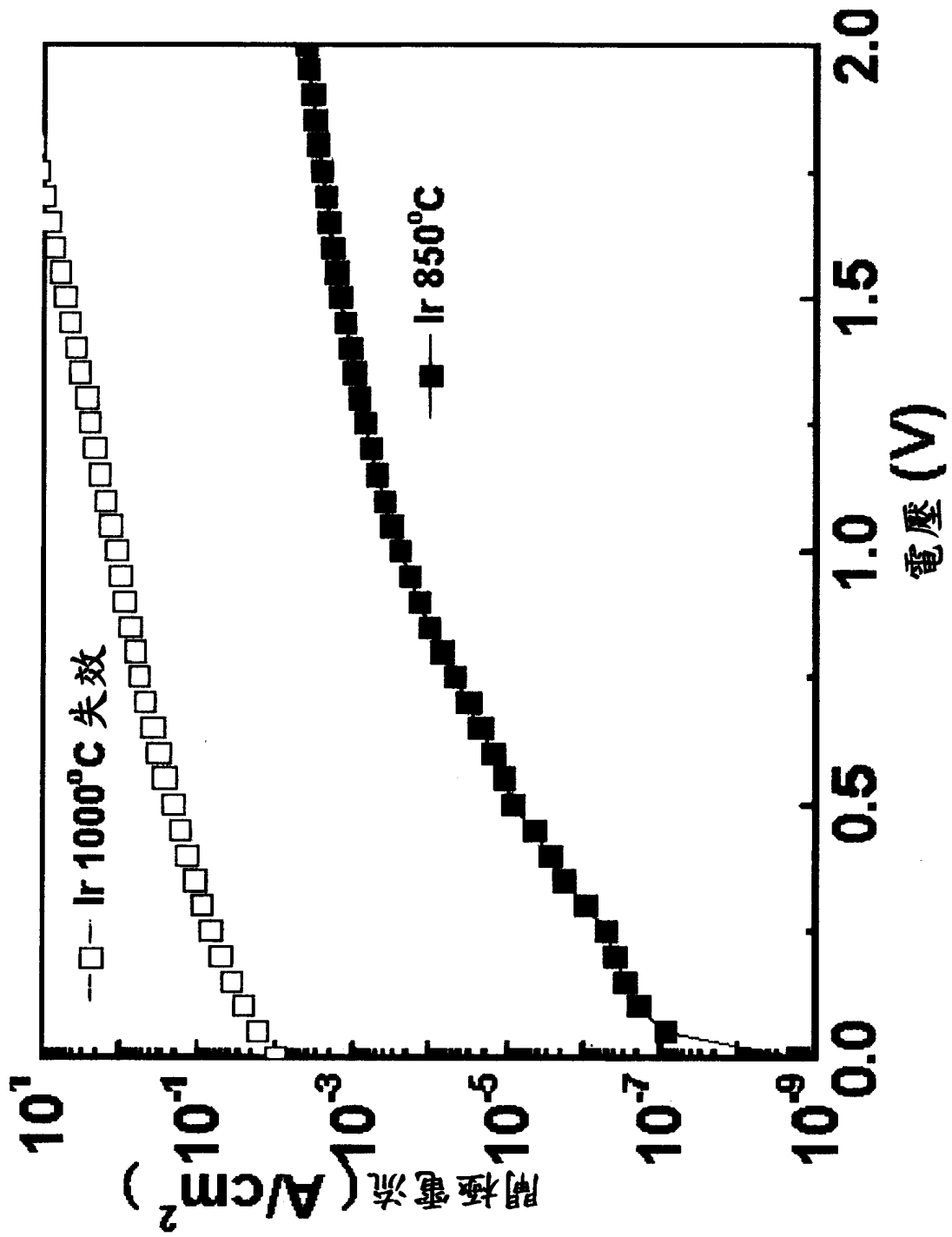




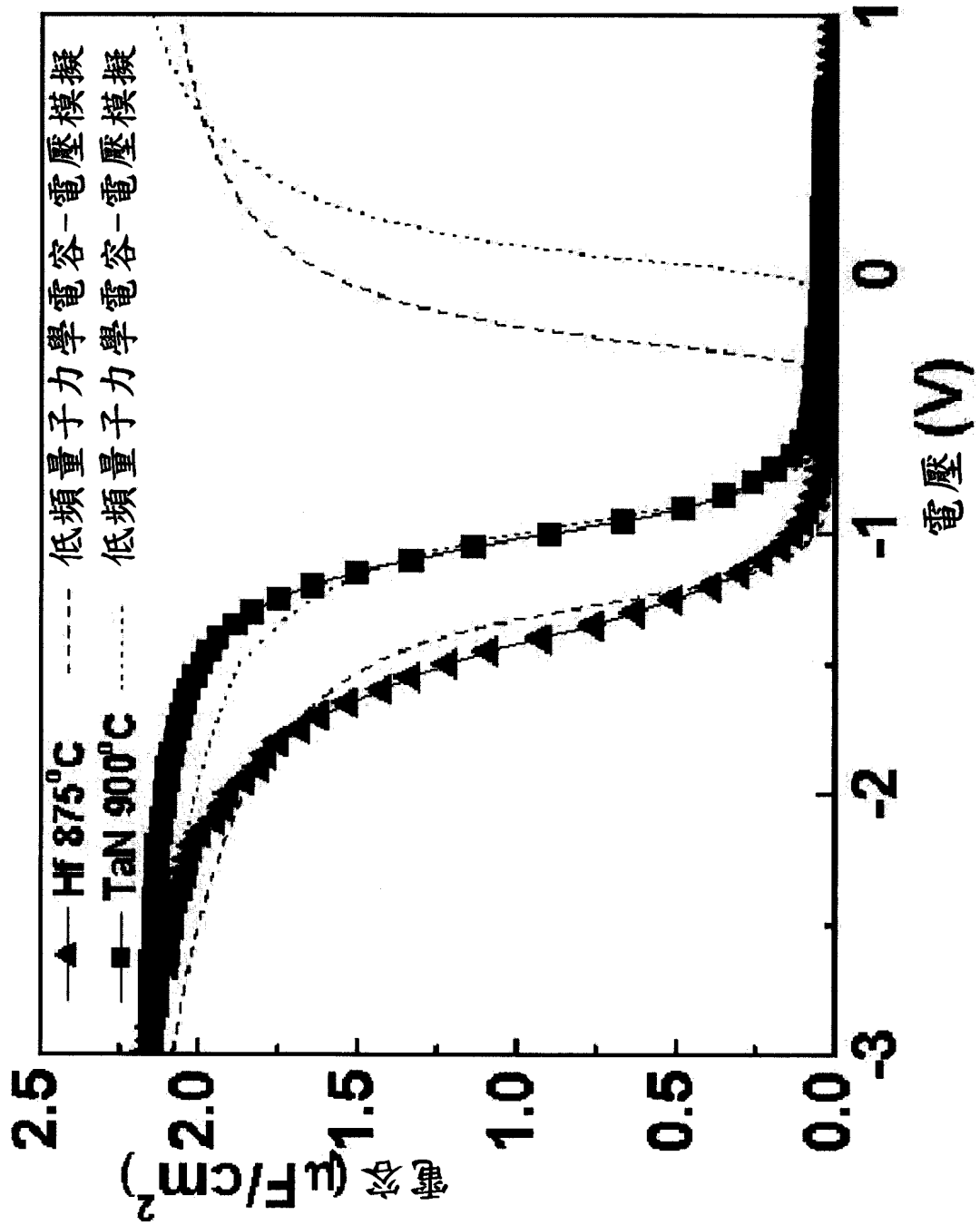
第十二圖



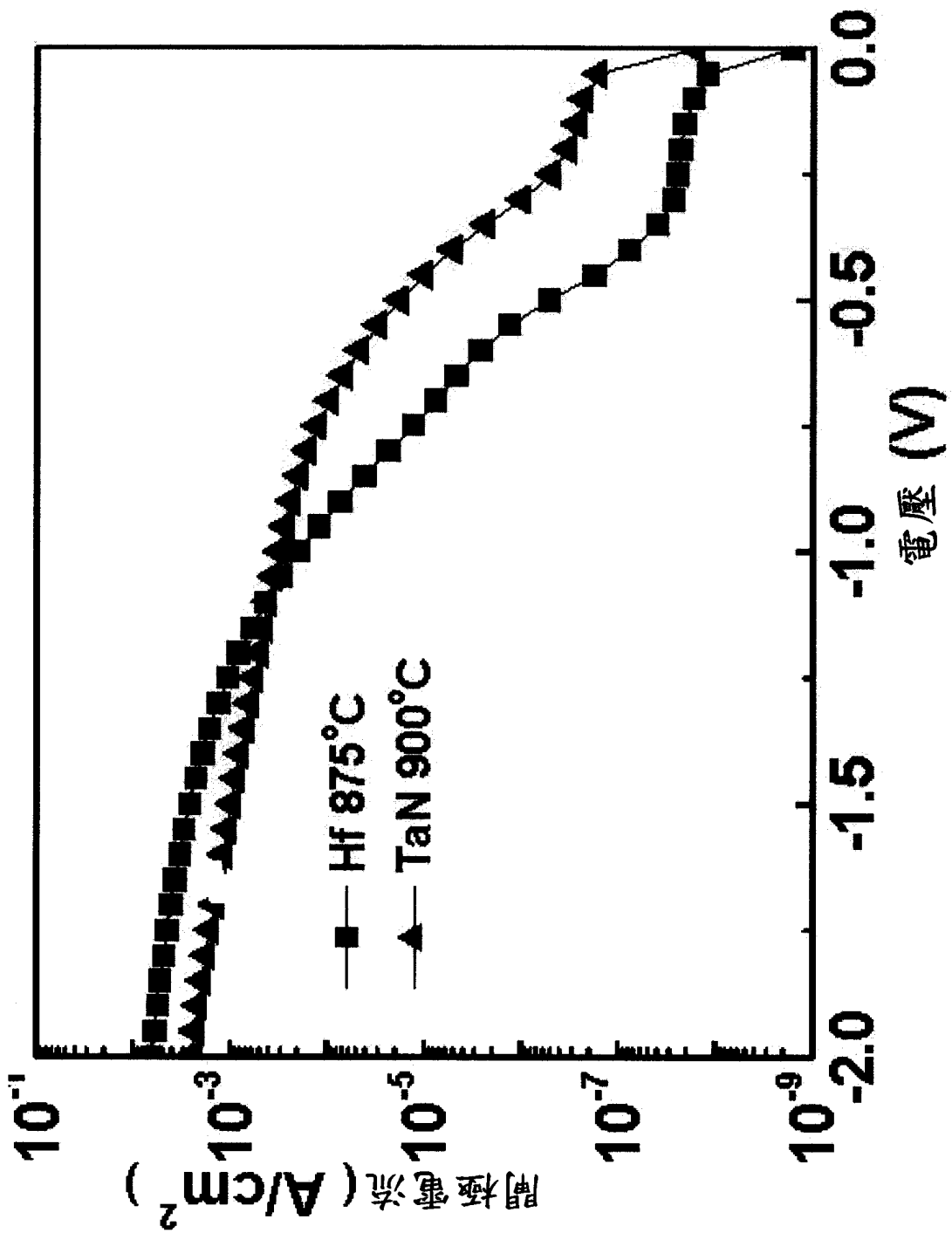
第十三圖



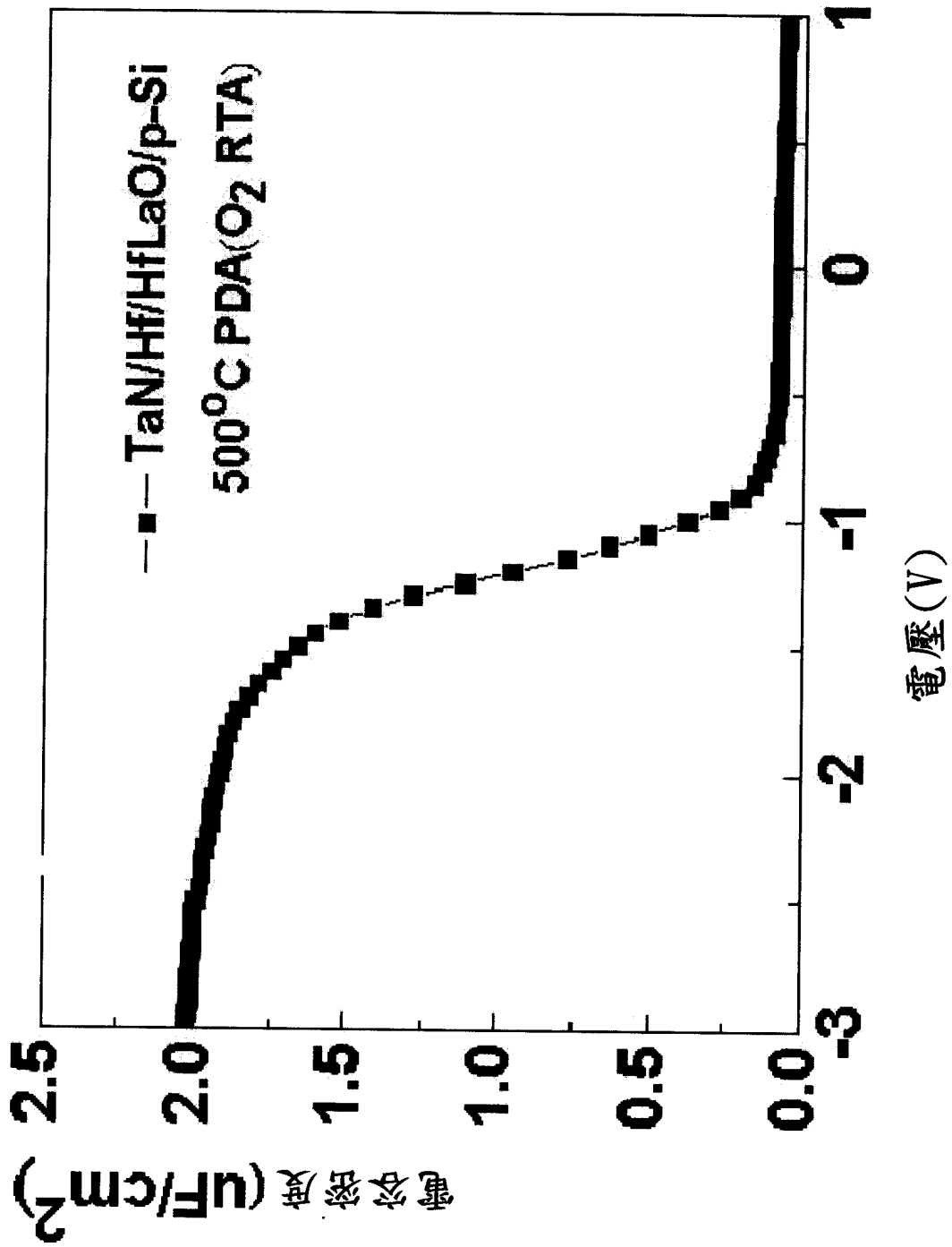
第十四圖



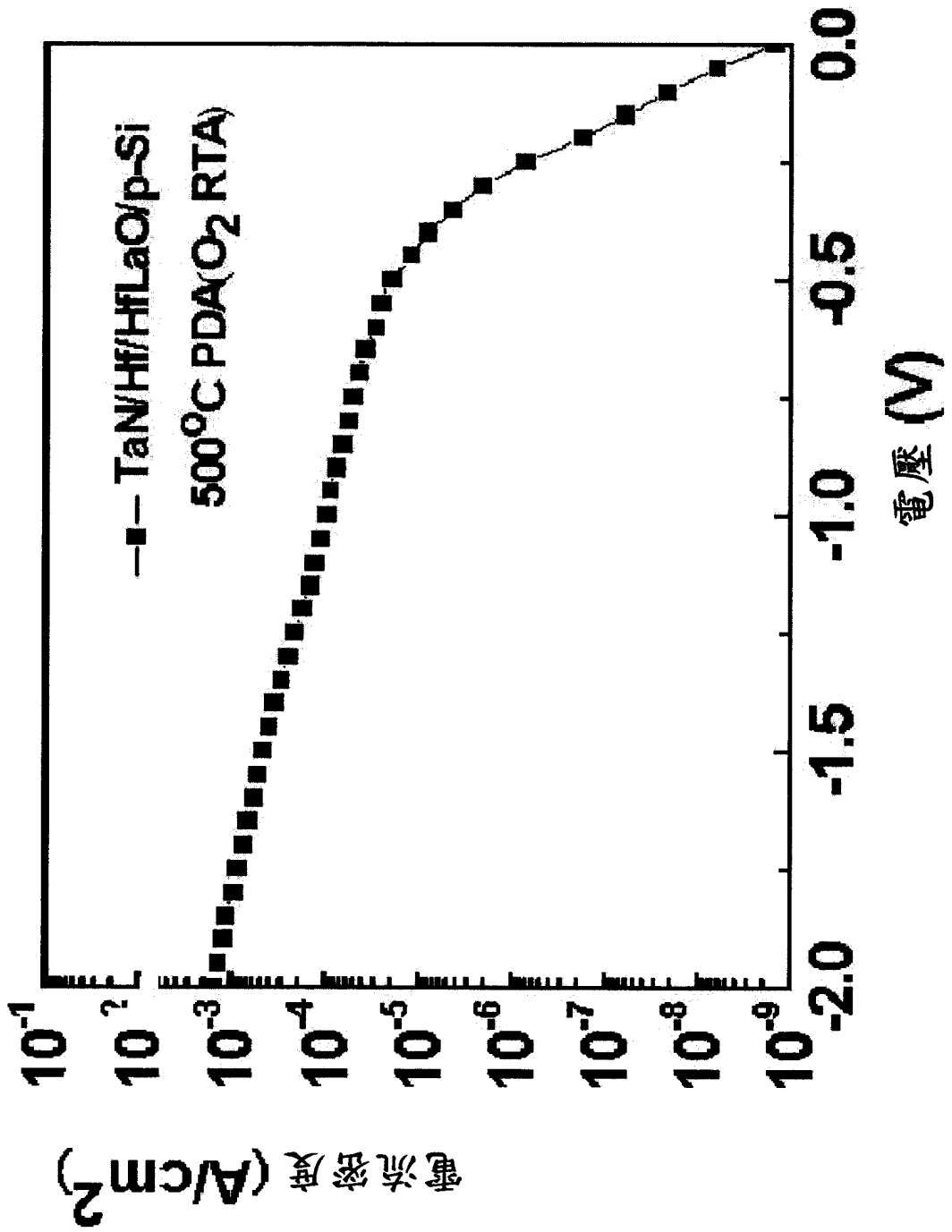
第十五圖



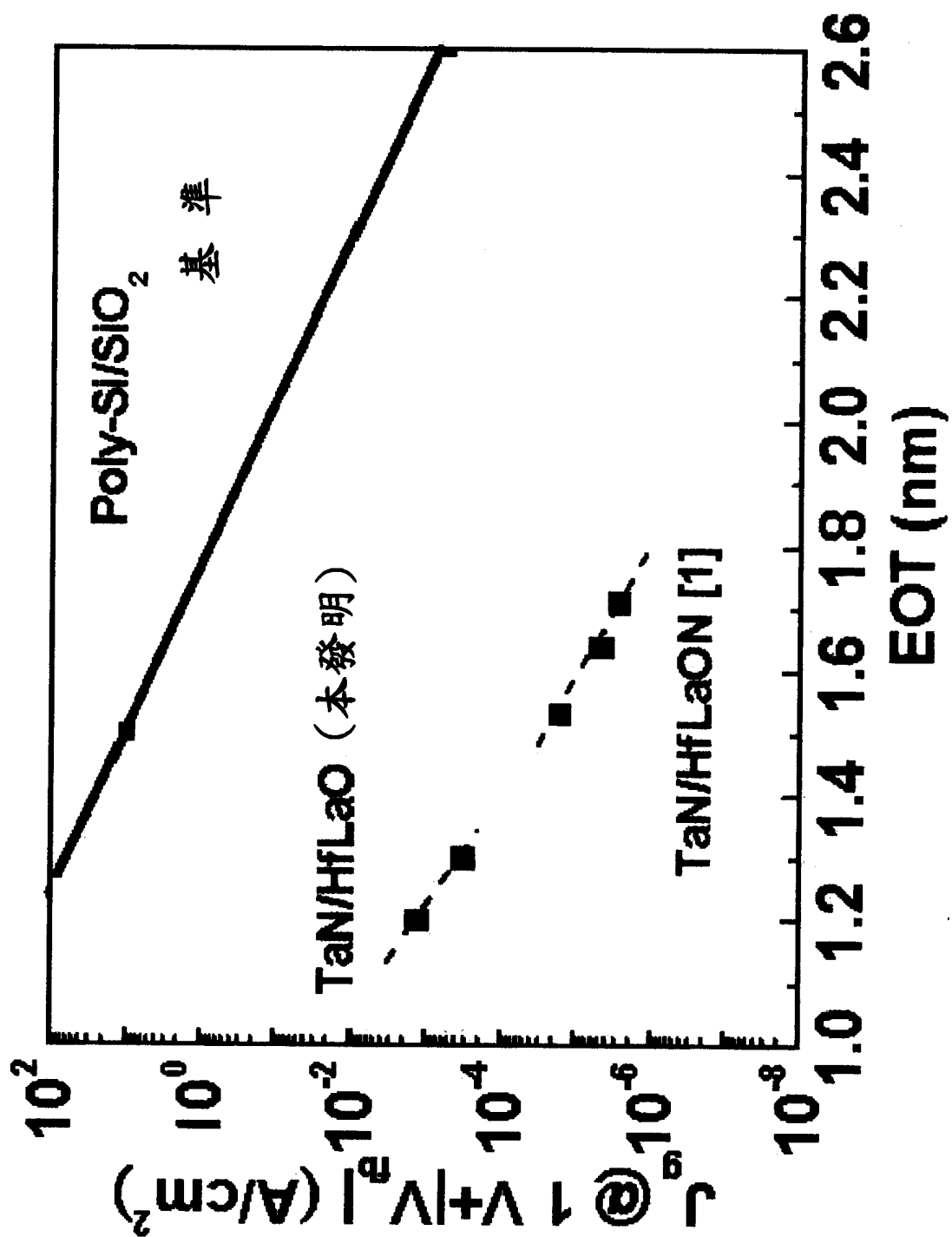
第十六圖



第十七圖

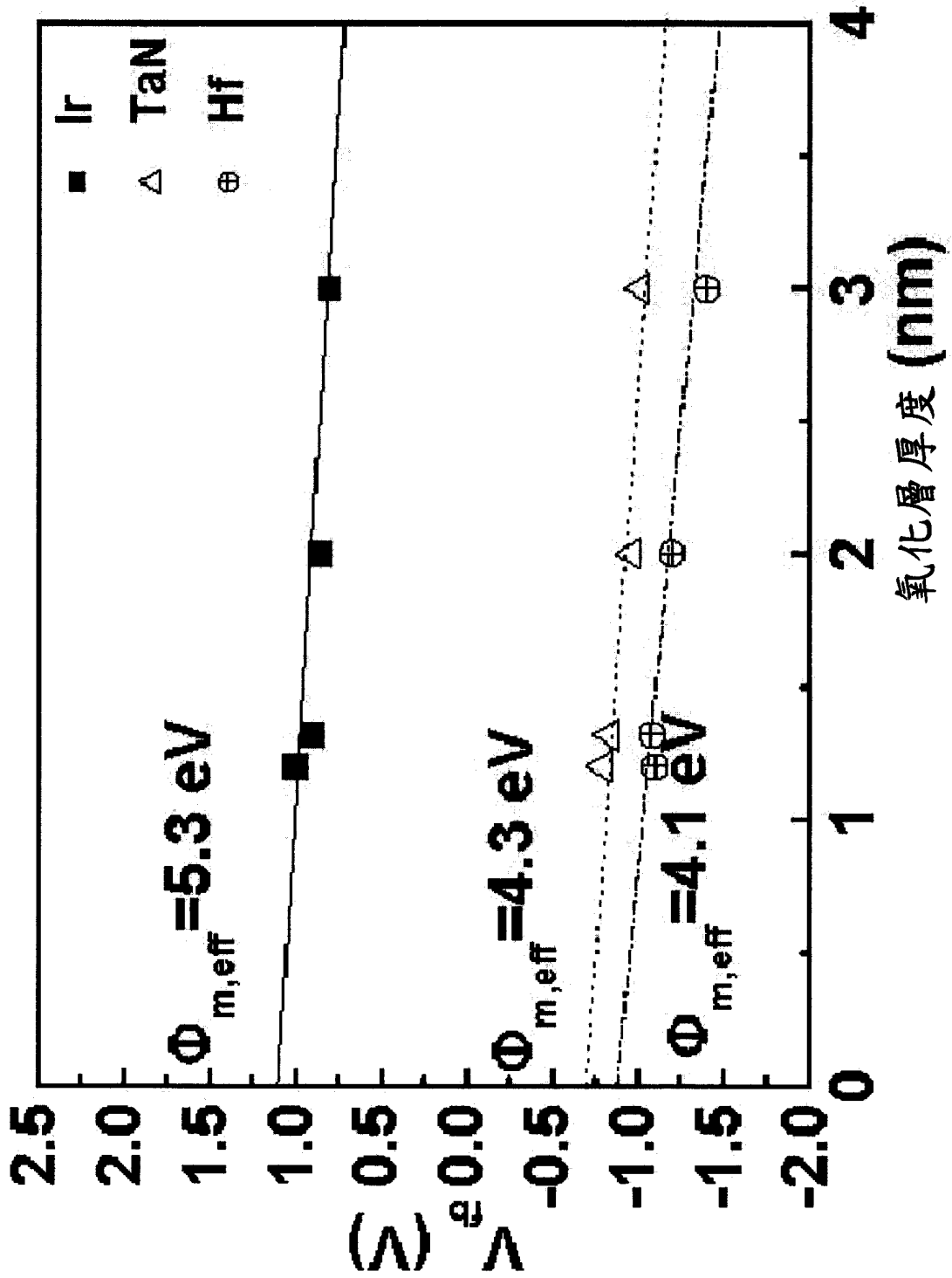


第十八圖

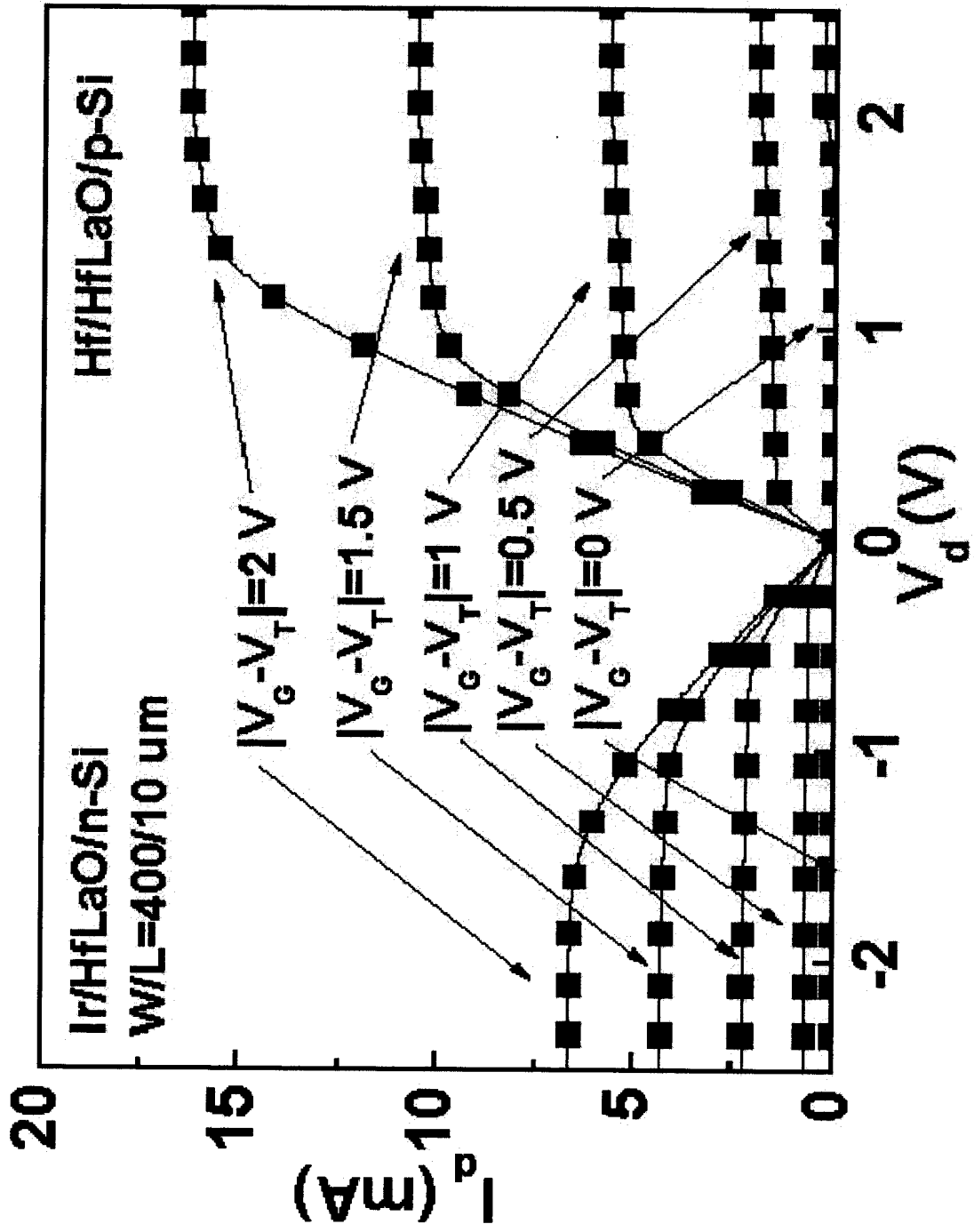


第十九圖

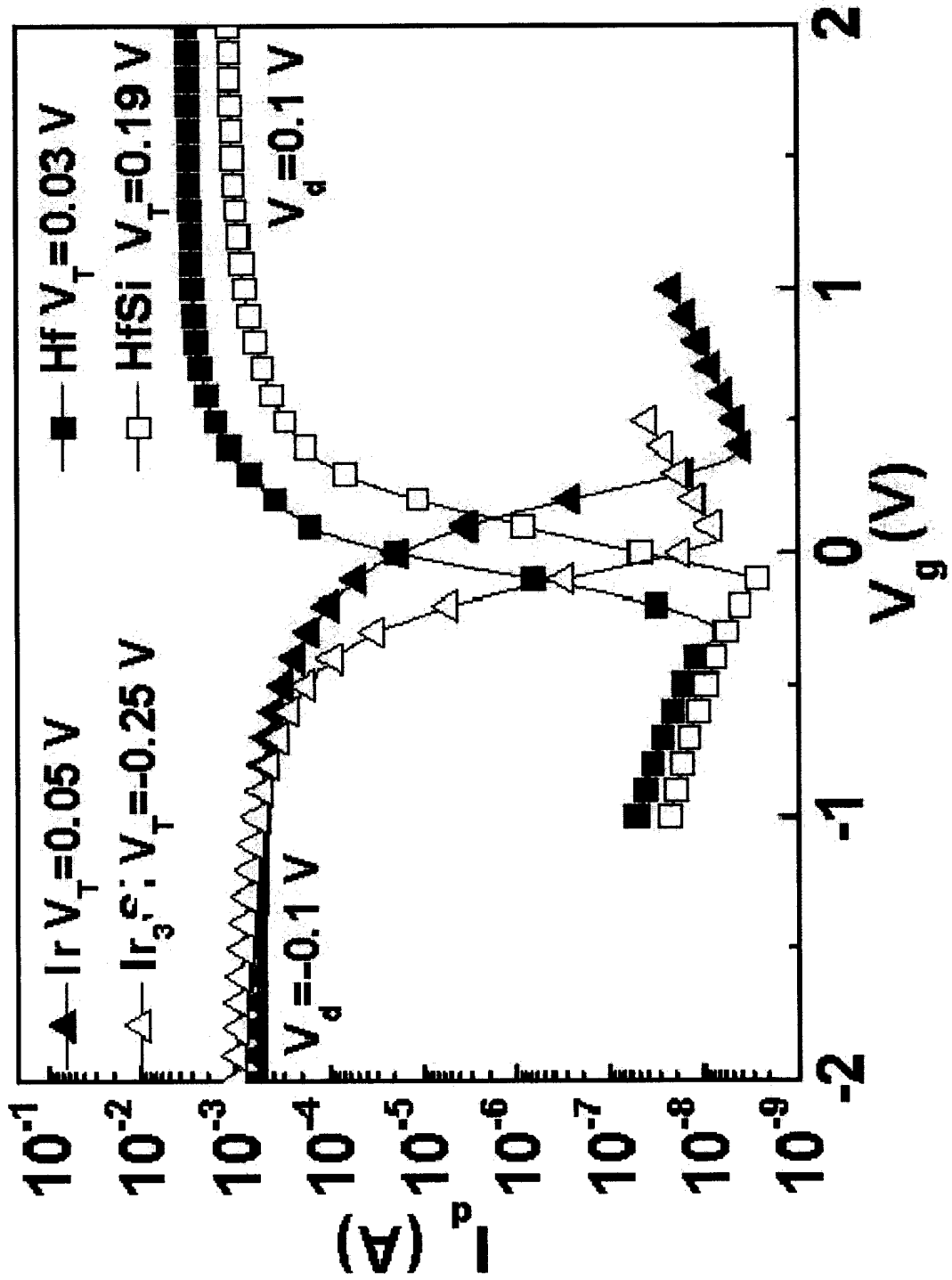




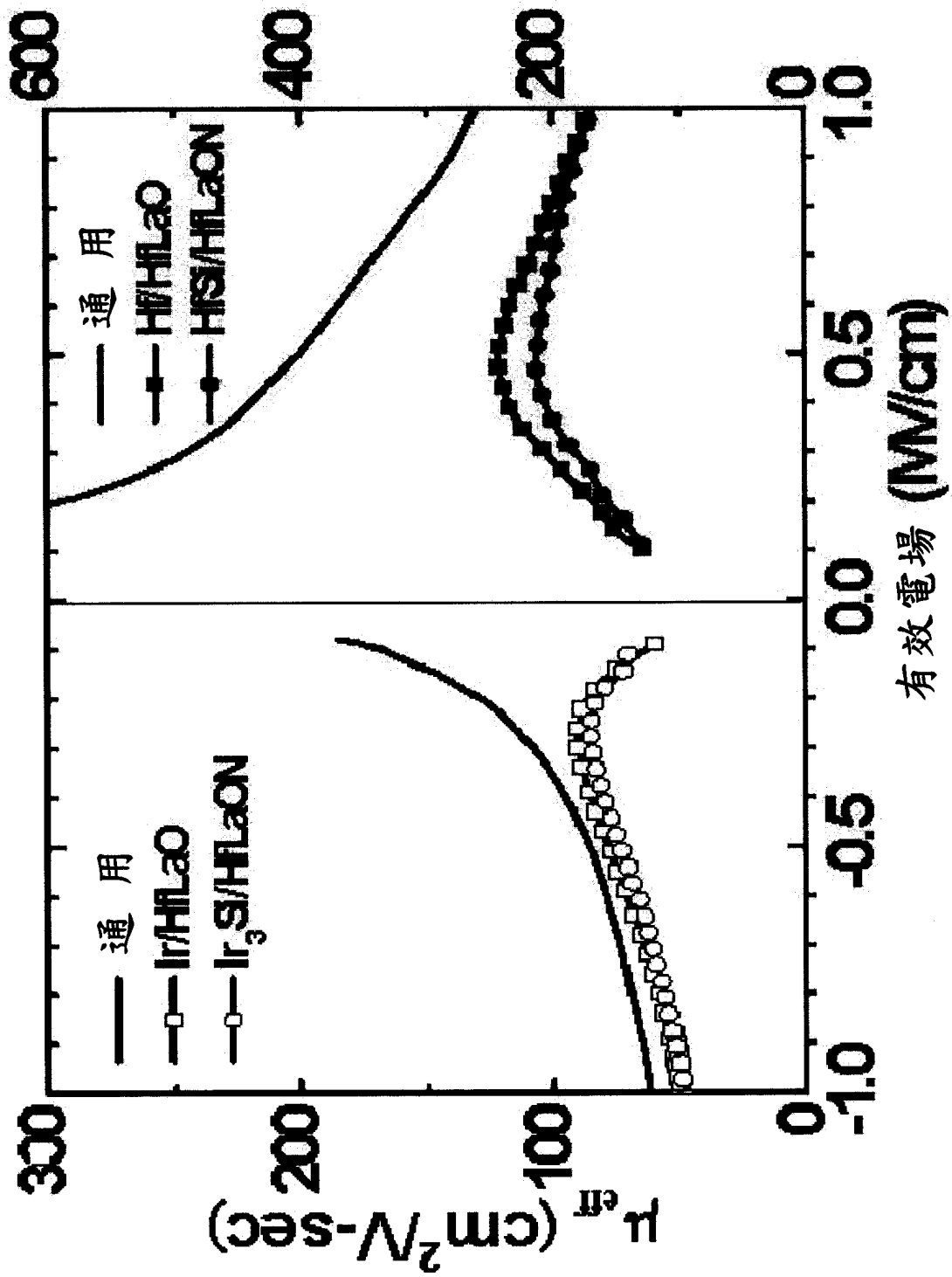
第二十圖



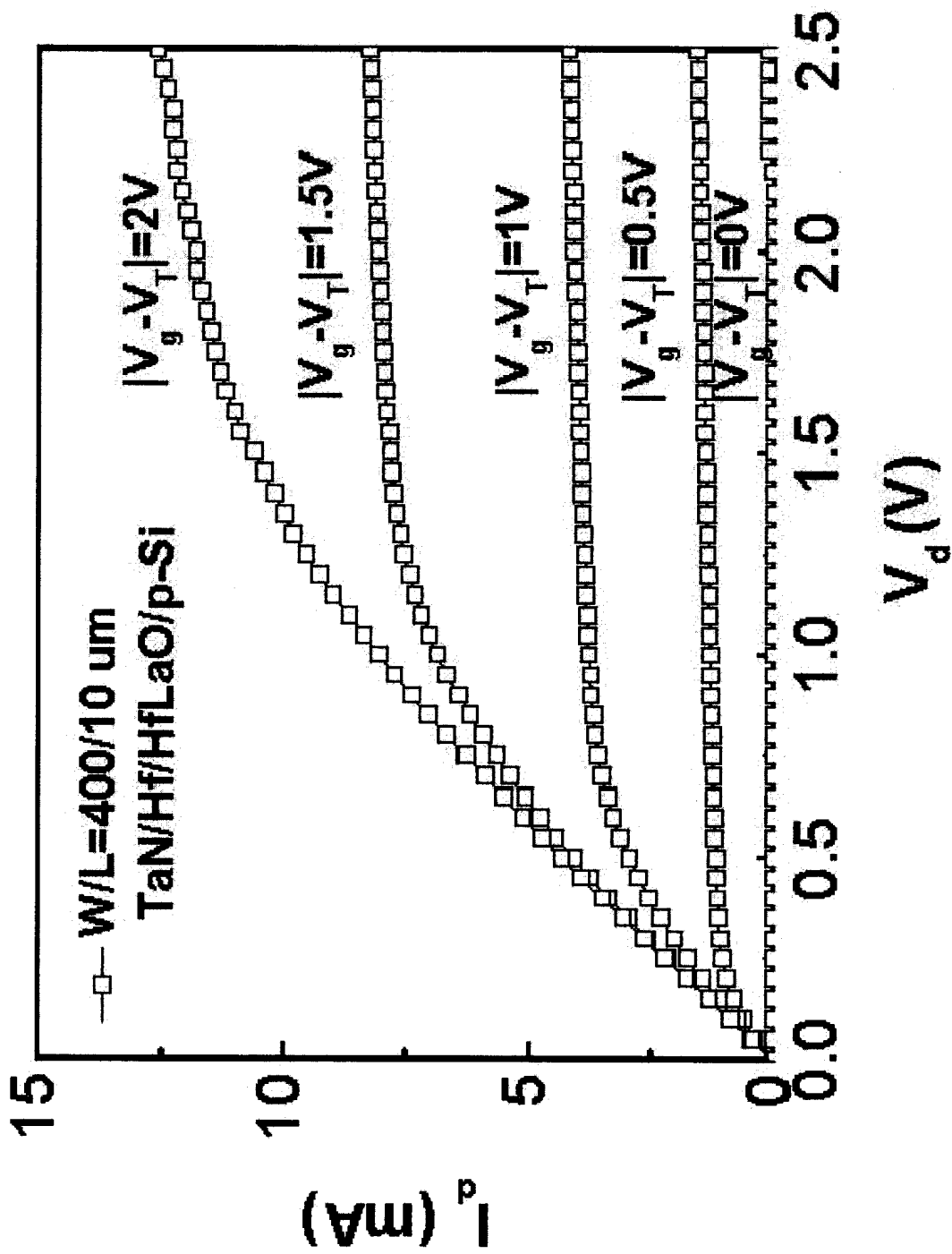
第二十一圖



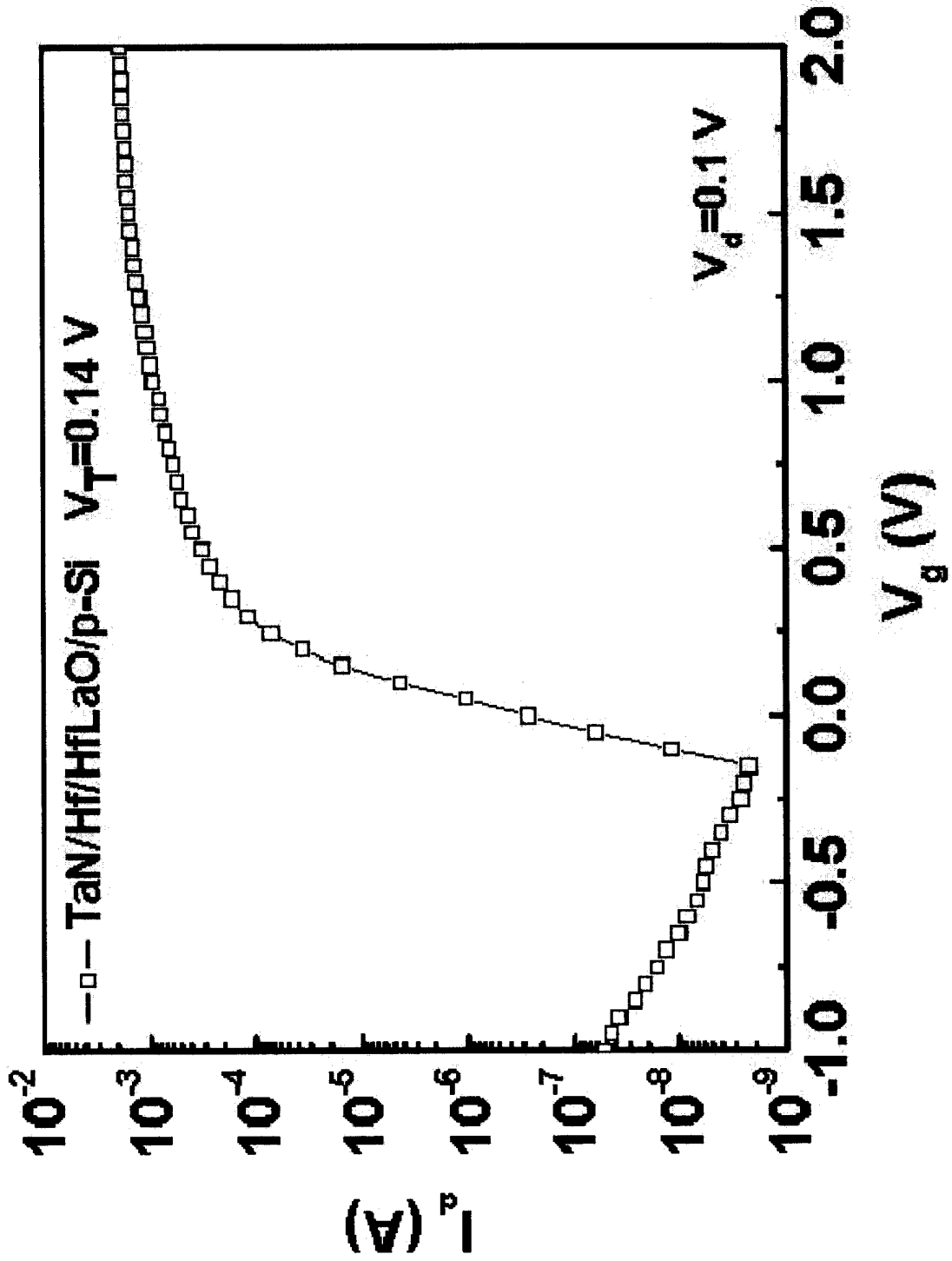
第二十二圖



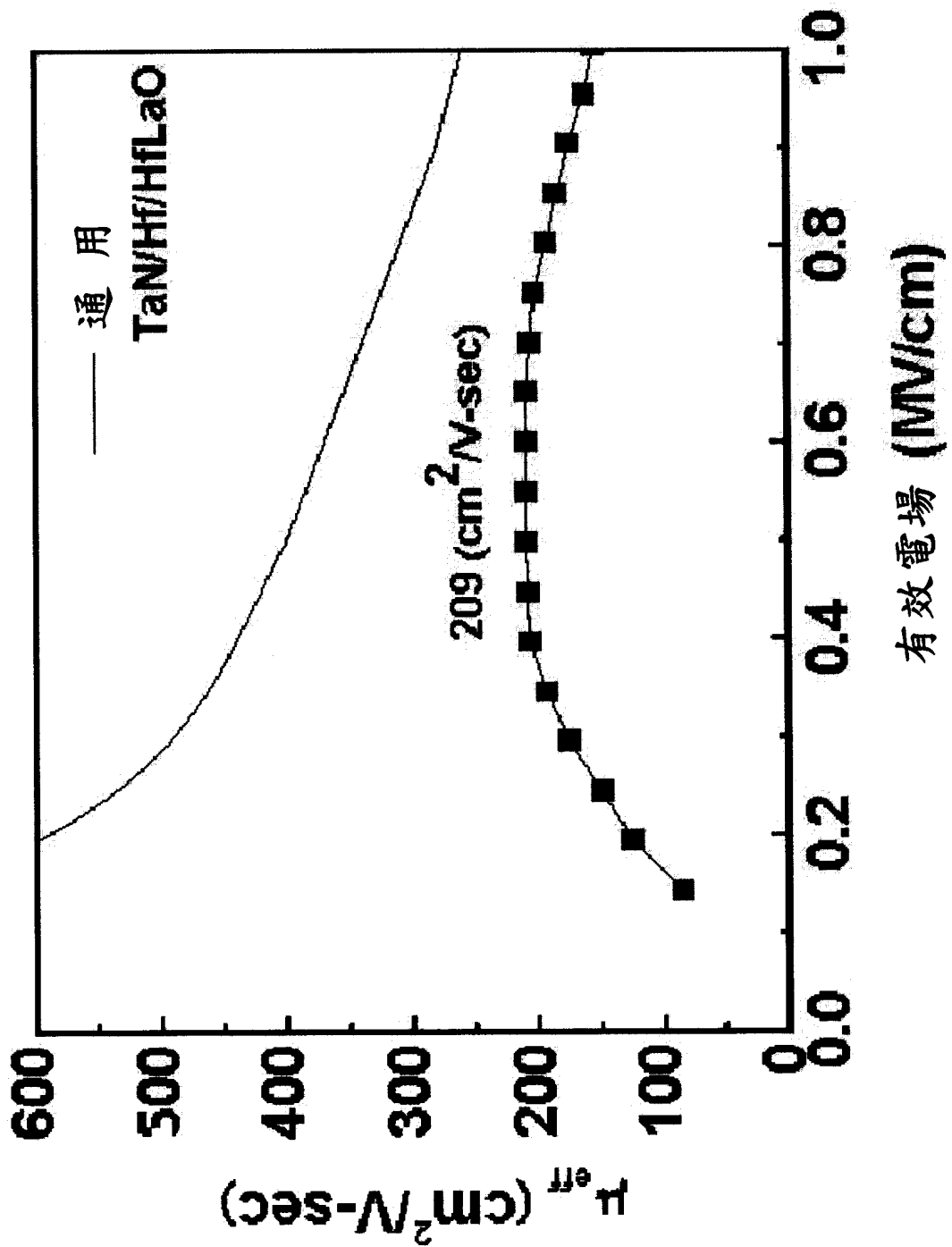
第二十三圖



第二十四圖

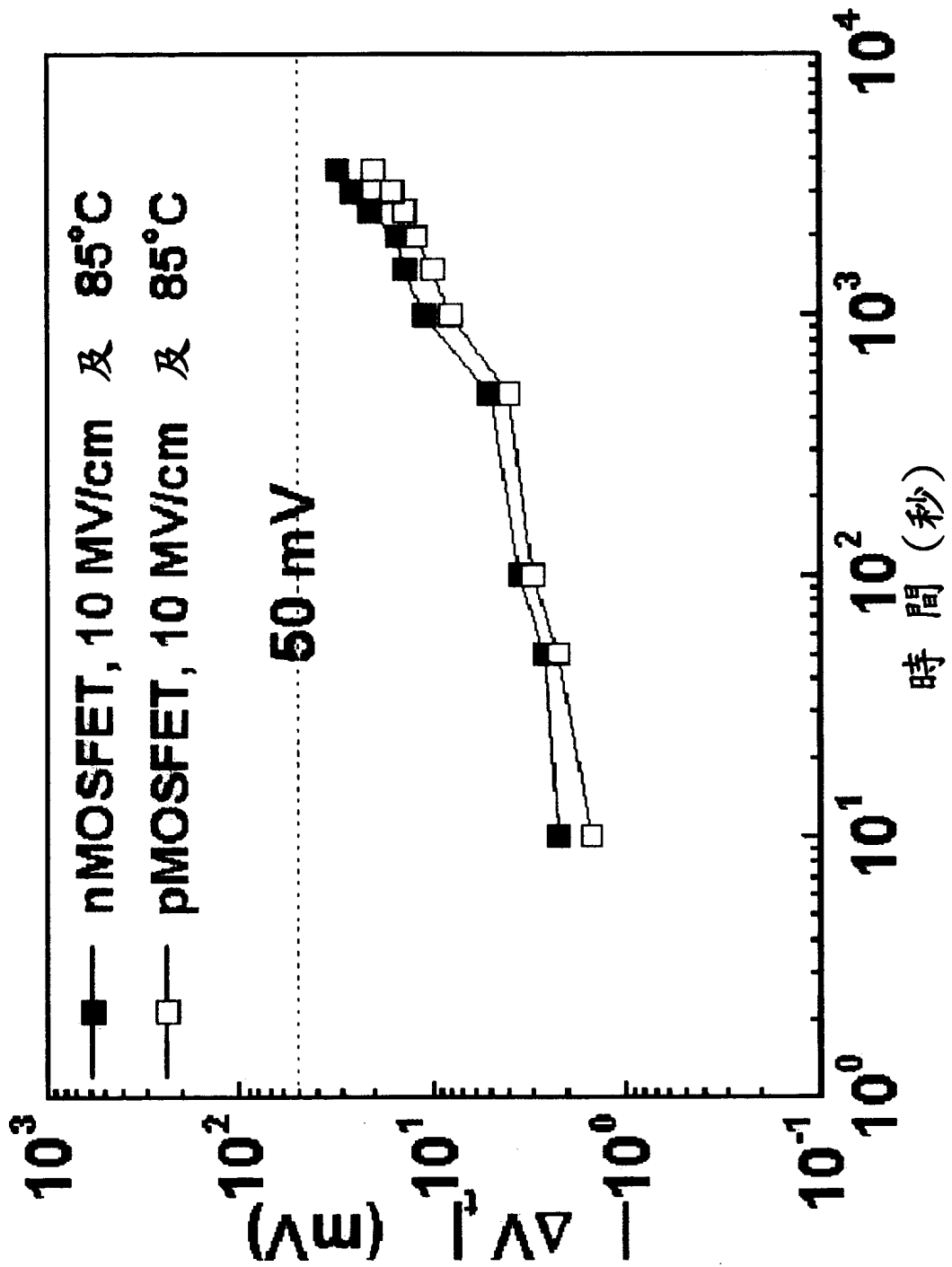


第二十五圖



有效電場 (MV/cm)

第二十六圖



第二十七圖



# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：097116760

※ 申請日期：2008/5/7

※IPC 分類：H01L21/8238(2006.01)

## 一、發明名稱：(中文/英文)

利用自動對準低溫淺接面製造具有極低臨界電壓金屬閘極/高介電常數材質之互補金  
氧半場效電晶體之方法

## 二、申請人：(共1人)

姓名或名稱：(中文/英文)

國立交通大學

代表人：(中文/英文) 吳重雨

住居所或營業所地址：(中文/英文)

300-10 新竹市大學路 1001 號

No.1001, Ta-Hsueh Rd., Hsinchu City 300, Taiwan (R.O.C.)

國 籍：(中文/英文) 中華民國/R.O.C.

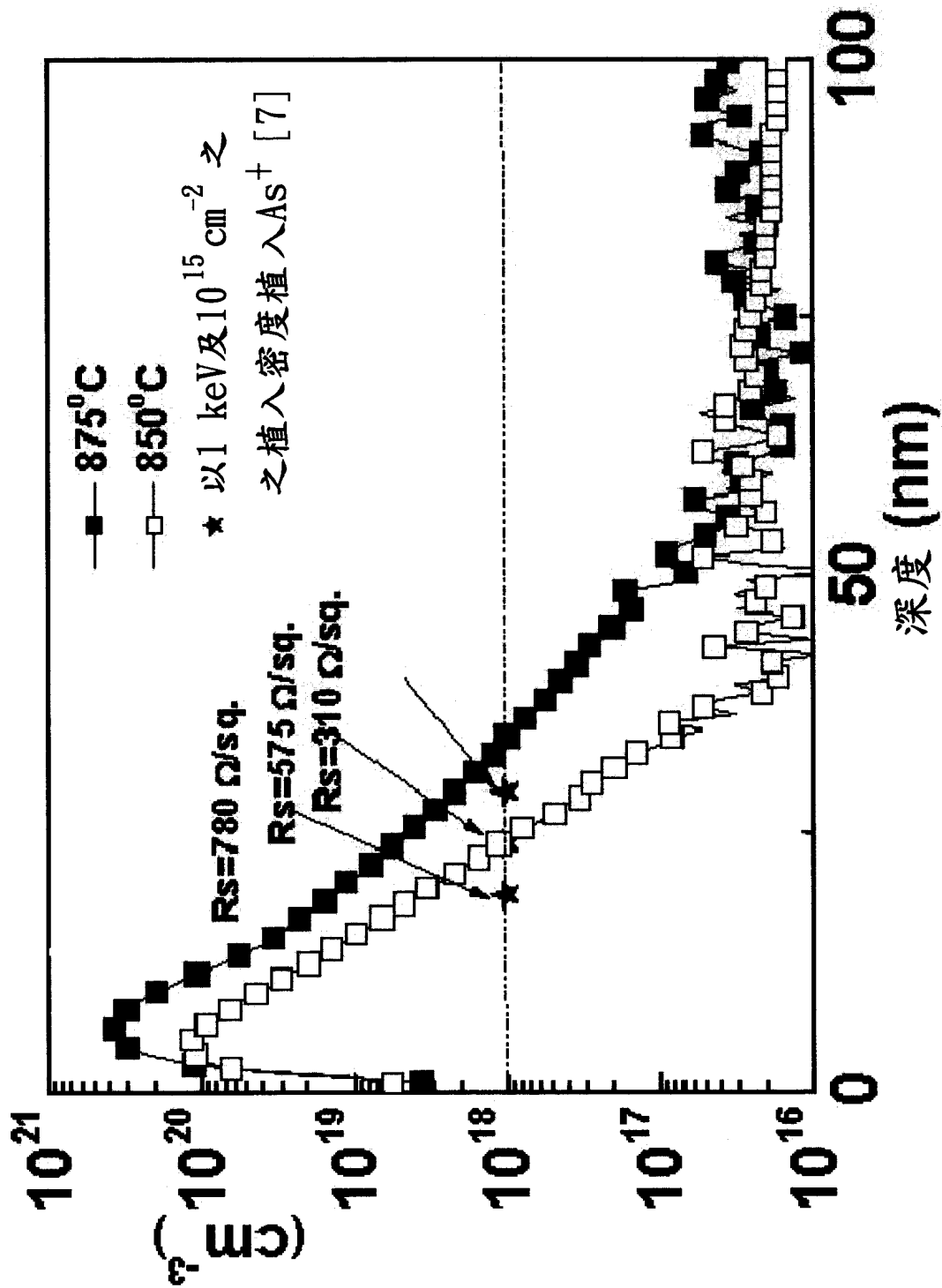
## 三、發明人：(共1人)

姓 名：(中文/英文)

荊鳳德

國 籍：(中文/英文) 中華民國/R.O.C.

97年7月4日



第九圖