

# 利用高功函數矽化銦金屬閘極之高溫熱穩定性高介電係數氮氧化鏷銦p-型金氧半場效電晶體

吳建宏<sup>1</sup>，洪彬舫<sup>2</sup>，荊鳳德<sup>2</sup>，王水進<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>成功大學微電子所

<sup>2</sup>交大電子系

Email: [sjwang@mail.ncku.edu.tw](mailto:sjwang@mail.ncku.edu.tw)

Paper published in IEEE Electron Device Letters, Vol. 28, No. 4, pp. 292-294, April, 2007

## 根

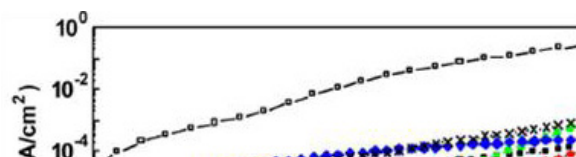
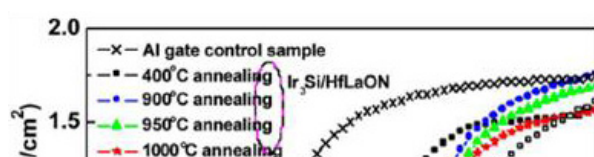
據國際半導體技術藍圖之規劃，隨著互補式金氧半電晶體元件尺寸持續微縮，傳統的絕緣層-二氧化矽將遭遇漏電流過大的物理限制，而傳統的多晶矽閘極也將遭遇諸多挑戰-例如多晶矽空乏、硼穿透及高電阻係數，金屬閘極/高介電係數介電層將成為超大型積體電路(VLSI)製程技術之主流，目前有關金屬閘極/高介電係數介電層之技術研發正如火如展開中，並已成為半導體產業重要的研究之一。

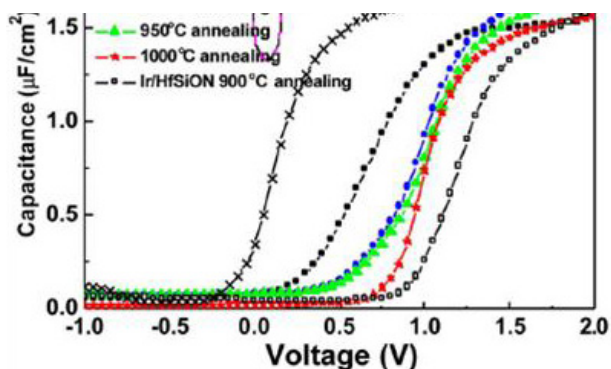
近來，氮氧化矽銦由於高的介電常數、低的閘極漏電流和在經過自我對準製程中經1000 快速熱退火處理後仍然維持類似的非晶結構，成為有希望取代氮氧化矽的候選材料。然而，在周期表中只有銦(5.27 eV)和鉑(5.65 eV)的功函數符合功函數大於5.2電子伏特的需求，在缺乏適合的高



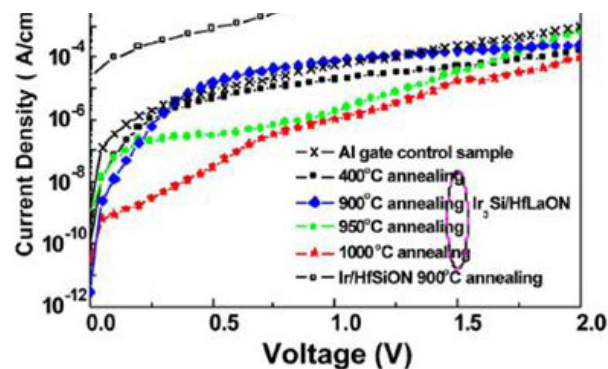
功函數的的閘極搭配氮氧化矽銦p-型金氧半場效電晶體成為一種挑戰。氮氧化矽銦的另外一個問題是有著相對較低的介電常數，大約只有14-17，限制了元件微縮的能力。為了解決上述的問題，我們發展高溫穩定的矽化銦/氮氧化鏷銦p-型金氧半場效電晶體。新穎的氮氧化鏷銦介電材料與氮氧化矽銦相同，在經過1000 快速熱退火處理仍然維持非晶結構，而氮氧化矽銦擁有明顯較高的介電常數。使用高功函數矽化銦閘極電極的p-型金氧半場效電晶體，展現出良好的元件特性。在等效二氧化矽厚度1.6奈米時，超過平帶電壓1伏特時有的很低漏電流 $1.8 \times 10^{-5}$  A/cm<sup>2</sup>、高有效功函數5.08 電子伏特、高的電洞載子遷移率84 cm<sup>2</sup>/V-s與1000 快速熱退火處理後仍保持穩定。此些特性足以和在文獻上已發表之最佳金屬閘極/高介電係數p-型金氧半場效電晶體的結果匹敵甚至更佳。

於本研究之元件製作實驗中，所使用之矽基板係為標準阻值為1~10 Ω-cm之n-型矽晶圓。矽晶圓於經標準RCA清洗之後，利用物理氣相沈積之方式將氧化鏷銦薄膜成長於n-型矽晶圓上，然後再進行沈積後的退火處理。氮氧化鏷銦是將氧化鏷銦經由氮氣電漿做表面氮化處理後形成的。接著按順序將5奈米厚之非晶矽及20奈米厚之銦沈積在氮氧化鏷銦薄膜上並進行400~1000 、30~5秒不等之快速熱退火，此即完成電容結構之製作。於實驗過程中我們亦製作銦/氮氧化矽銦電容以作為對照比較之用。銦/氮氧化矽銦電容結構係利用原子層化學氣相沈積之氧化矽銦後，再進行表面電漿處理後所獲得的。另為作為評估有效功函數的參考，我們亦以低溫沈積鋁金屬薄膜於經過1000 快速熱退火之氮氧化鏷銦電容上。於p-型金氧半場效電晶體之製作方面，我們額外覆蓋較厚之氮化鉍層於銦/矽/氮氧化鏷銦上以作為離子佈植的阻擋層，其中矽化銦的金屬閘極係在快速熱退火時自動形成。於定義出閘極圖案之後，自我對準的硼離子被植入矽基板形成電晶體的源極和汲極，然後在1000 的高溫之下活化雜質離子。建構完成的p-型金氧半場效電晶體則隨即進行電容-電壓與電流-電壓特性之量測。



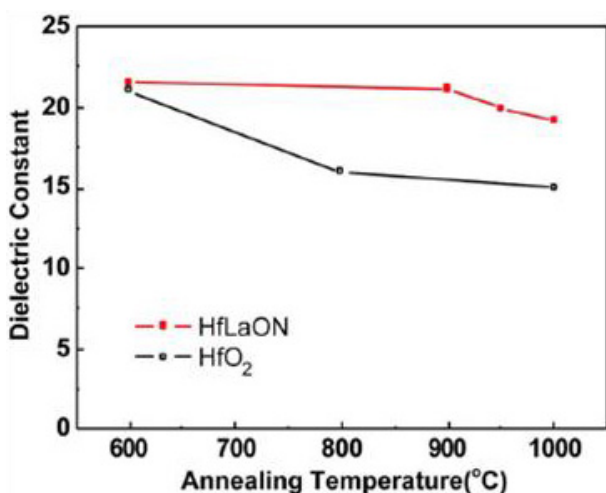


圖一 (a)、矽化銱/氮氧化鑷鉛電容的電容-電壓關係

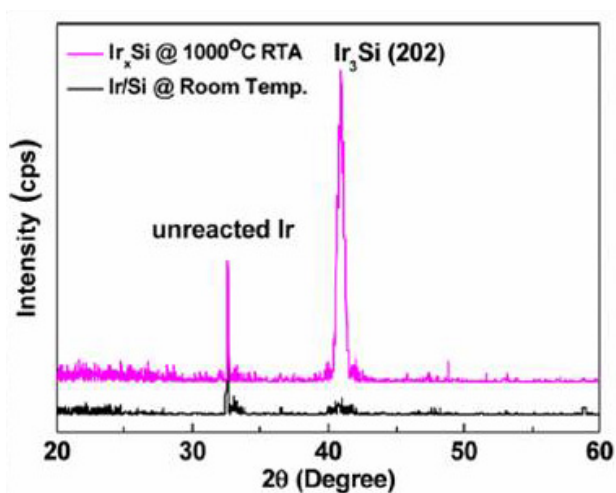


圖一 (b)、矽化銱/氮氧化鑷鉛電容的漏電流-電壓特性

圖一中的(a)圖與(b)圖分別顯示了在不同的快速熱退火的溫度之下矽化銱/氮氧化鑷鉛電容的電容-電壓與電流密度-電壓的特性。另外，銱/氮氧化矽鉛與經過1000 退火的鋁/氮氧化鑷鉛作比較，平帶電壓隨退火溫度的增加而呈現增加的趨勢。這可歸因矽化銱擴散至高介電係數絕緣層與矽的介面造成反應的緣故。純金屬銱在氮氧化矽鉛得到最高的平帶電壓，但在經過1000 的退火之後就失去電容的特性，相對的矽化銱/氮氧化鑷鉛的熱穩定性可到達1000 ，這是因為藉由在矽基板和金屬銱之間插入一層5奈米的非晶矽之後，純金屬矽能形成矽化銱因此而提高了熱穩定度。然而，我們必須在良好的熱穩定度或是稍微降低的平帶電壓做適當的取捨，由鋁電容與電容-電壓的相對飄移量，我們推得矽化銱/氮氧化鑷鉛中金屬功函數為5.08電子伏特。鋁閘極的電容可作為參考是因為傳統低溫沈積的純金屬在高介電係數材料上做成的電容比較不會有費米控效應，鋁的控制閘極的使用是為了避免由電漿氮化處理和製程差異造成氧化層電荷的不一樣。由所得到的良好電子遷移率可以推得固定電荷密度應該很小，使用氮氧化鑷鉛優於氮氧化矽鉛結果可清楚的由漏電流獲得好幾個數量級的改善得知。矽化銱/氮氧化鑷鉛的結構在1.6奈米的等效氧化層厚度之下，當施加高於平帶電壓一伏特的閘極電壓時其漏電流是非常低的 $1.8 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ ，如此低的漏電流歸因於高達20的介電係數以及在經過1000 快速熱退火後仍維持非晶結構，這點可以由穿透式電子顯微鏡的截面圖看出來。電容-電壓隨退火溫度增加而曲線突出的減少暗示氧化層品質的改善以及在高溫之下缺陷的消除。因此高有效功函數5.08電子伏特、 $1.8 \times 10^{-5} \text{ A/cm}^2$ 的低閘極漏電以及1000 的熱穩定性可以同時達到。在1.6奈米的等效氧化層厚度之下的矽化銱/氮氧化鑷鉛結構減少的電容密度隨快速熱退火的溫度增加這是因為介電係數隨退火溫度的增加而減少，但是電容值的減小遠遠小於二氧化鉛，如圖一(c)所示。



圖一 (c)、矽化銱/氮氧化鑷鉛電容的介電係數隨退火溫度的變化

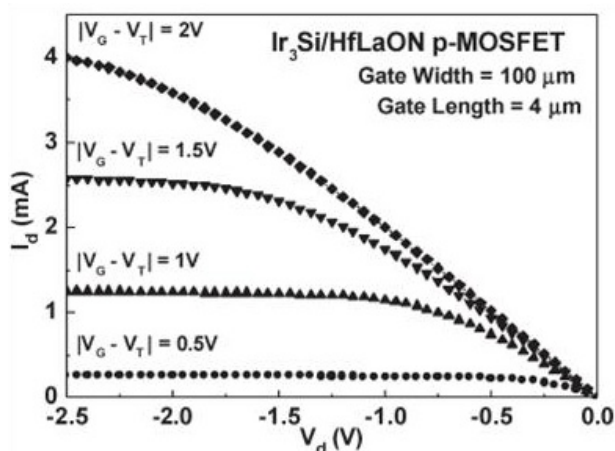


圖二、矽化銱/氮氧化鑷鉛電容的X光繞射分析圖

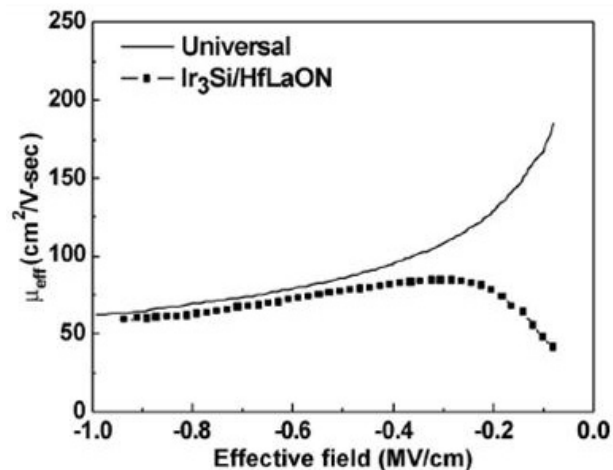
我們進一步使用X光繞射分析量測來看看矽化銱的材料特性，如圖二所示。Ir<sub>x</sub>Si在x等於3時銱的含量是充足的，這個資料足以和以發表的資料相比。在經過1000 的快速熱退火後氮氧化鑷鉛仍維持非晶結構也在低掠

角的X光繞射量測果得到確認。

圖三所示為1000 °C退火後的矽化銱/氮氧化鑷鉛電晶體汲極電流-汲極電壓隨不同閘極電壓減臨線電壓的關係。實驗結果顯示所製作之元件具有良好之電晶體特性。由汲極電流-閘極電壓的關係圖我們得到的臨限電壓是-0.1伏特，此一結果所推的的功函數和由電壓-電容曲線所得到的相符。圖四所示為所製備p-型金氧半場效電晶體通道電洞之遷移率隨閘極電場之變化情形。於峰值與1 MV/cm的電場之下所得到的電洞遷移率分別為84 與 63  $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 。本研究所進行矽化銱金屬閘極之高溫熱穩定性高介電係數氮氧化鑷鉛p-型金氧半場效電晶體之實驗結果，與現階段國際間文獻已發表之結果比較下，毫不遜色甚至更佳；而所採用閘極金屬與高介電係數介電材料亦同時具有和現今超大型積體電路技術相容之優勢。



圖三、矽化銱/氮氧化鑷鉛場效電晶體的汲極電流對汲極電壓的關係



圖四、矽化銱/氮氧化鑷鉛場效電晶體的電洞遷移率隨閘極電場的變化

Copyright 2009 National Cheng Kung University