

具有漸變式三層平面摻雜之擬晶性高電子遷移率電晶體之變溫特性

陳利洋¹、鄭岫盈²、陳梓斌¹、蔡宗翰¹、劉亦浚¹、廖信達¹、劉文超^{1,*}

¹國立成功大學電機工程系、微電子工程研究所

²國立宜蘭大學電子工程系

wcliu@mail.ncku.edu.tw

Journal of The Electrochemical Society 155, H995-H999 (2008).

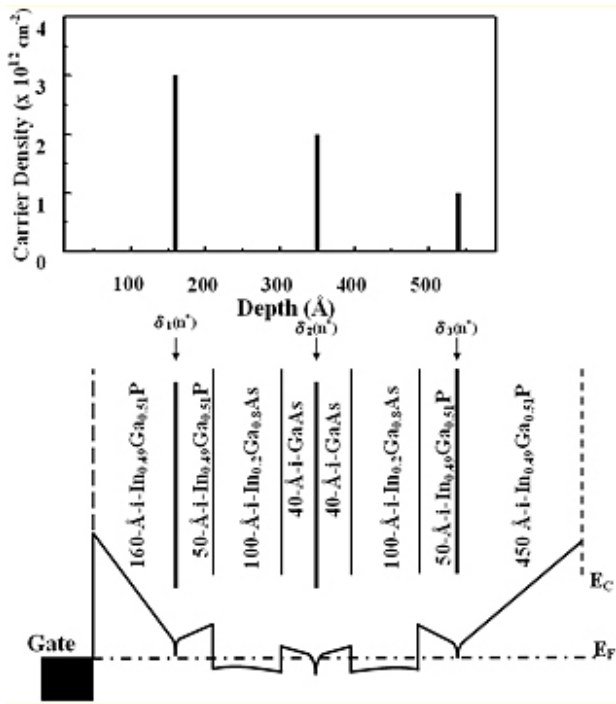
近幾年來，各種化合物半導體元件已經廣泛的應用在單石微波積體電路，例如：擬晶性高電子移動率電晶體，異質結構場效電晶體，異質接面雙極性電晶體。另一方面，通道摻雜場效電晶體由於具有特別的通道摻雜結構，可使得元件具有良好的線性特性。不過，通道摻雜場效電晶體的雜質散射效應會嚴重的影響載子傳輸特性。由實驗結果得知，選擇磷化銻鎵材料作為蕭特基層及緩衝層是一個良好的選擇。磷化銻鎵材料具有以下幾點優點(1)少了鋁元素可消除深能階缺陷問題;(2)具有低的表面復合速率，會有較小的雜訊;(3)在磷化銻鎵及砷化鎵之間具有高的化學蝕刻選擇性，使得閘極凹陷結構容易控制;(4)磷化銻鎵與氧有較低的反應性，所以會有較高的製程良率。



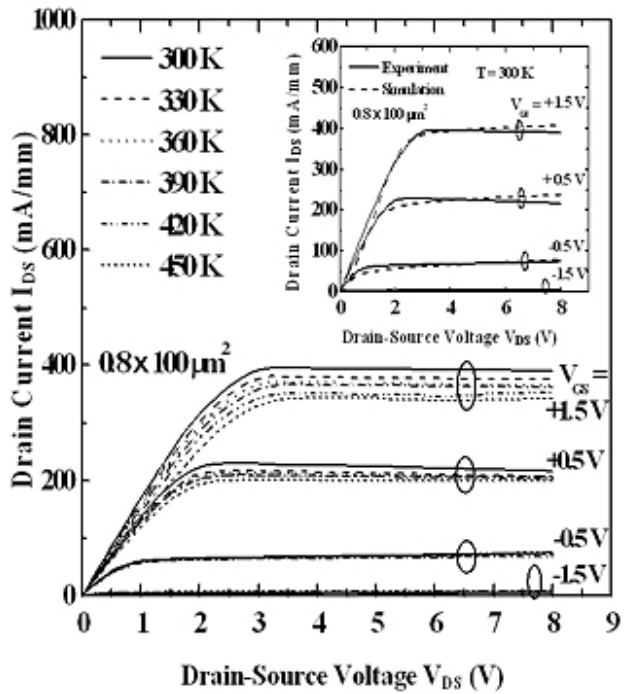
在本文中，吾人將研製具有漸變式三層平面摻雜之擬晶性高電子遷移率電晶體。由於雙層通道的結構設計，可以有效的增加總通道厚度並且維持銻含量高於0.2。此外，使用漸變式三層平面摻雜作為載子提供層(濃度為 $3.2,1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$)能使得載子均勻分配在雙層通道中。另外，磷化銻鎵/砷化鎵界面間的導電帶不連續度高達0.38eV，能有效的改善載子侷限能力。因此，可以預期得到良好的元件特性，例如：低漏電流、高崩潰電壓、高轉導值、高驅動汲極電流、好的通道侷限能力及較佳的微波特性。本文並將有系統地研究元件特性在寬廣溫度範圍(300~450K)中的變化。此外，在室溫下模擬分析的電流-電壓特性顯示與實驗結果相符合。

圖一顯示具有漸變式三層平面摻雜之擬晶性高電子遷移率電晶體之結構與能帶圖。元件結構組成包含了0.5 μm 未摻雜之砷化鎵緩衝層，450 \AA 未摻雜之磷化銻鎵緩衝層，n型平面摻雜載子供應層濃度為 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ，50 \AA 未摻雜之磷化銻鎵隔離層，100 \AA 未摻雜之砷化銻鎵通道層，40 \AA 未摻雜之砷化鎵隔離層，n型平面摻雜載子供應層濃度為 $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ，40 \AA 未摻雜之砷化鎵隔離層，100 \AA 未摻雜之砷化銻鎵通道層，50 \AA 未摻雜之磷化銻鎵隔離層，n型平面摻雜載子供應層濃度為 $3 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ，160 \AA 未摻雜之磷化銻鎵蕭特基能障層，及300 \AA n型摻雜之砷化鎵覆蓋層。在磊晶成長完之後，元件製程藉由標準的黃光微影、傳統的熱蒸鍍及剝離技術。首先，利用濕性化學蝕刻法來隔離元件。蒸鍍金鍍/鎳/金於300 \AA n型摻雜之砷化鎵覆蓋層上，在溫度350 的環境下退火30秒形成汲極及源極歐姆接觸。接著，利用濕性化學蝕刻法來移除砷化鎵覆蓋層。吾人將利用光阻之感光差異、光阻回流技術(硬烤溫度為140 ，時間為1小時)，以及使用旋轉式塗佈玻璃(厚度為1 μm)製作出具有次微米閘極長度為0.8 μm 的場效電晶體。最後，蒸鍍金於磷化銻鎵蕭特基能障層形成蕭特基接面。

圖二為不同溫度下共源極電流-電壓輸出特性曲線圖。圖二插圖顯示在室溫下元件實驗量測(實線)與模擬分析(虛線)的結果。閘極電壓每個間距為-1V。明顯地，模擬與量測的實驗結果吻合。從插圖中看出在室溫的情況下，閘極量測電壓為1.5V時，對於實驗量測及模擬分析元件的汲極電流分別高達396及408 mA/mm。另外，由於好的載子侷限能力及降低閘極漏電流使得元件在不同溫度的情況下仍具有良好的夾止及飽和特性。

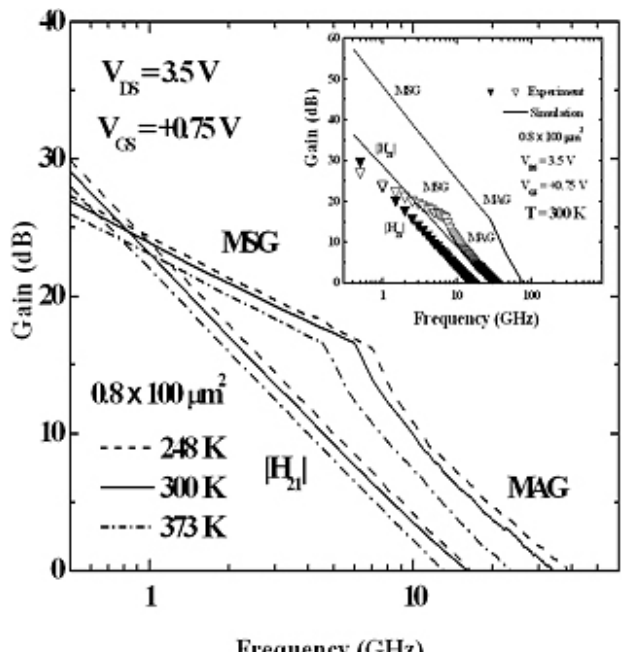
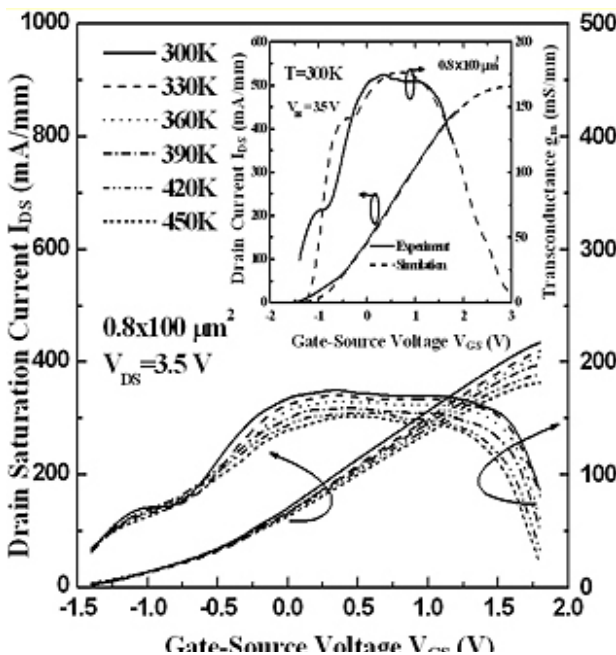


圖一、具有漸變式三層平面摻雜之擬晶性高電子遷移率電晶體之結構與能帶圖



圖二、為不同溫度下共源極電流-電壓輸出特性曲線圖。插圖為在室溫下元件實驗量測(實線)與模擬分析(虛線)的結果。

圖三說明元件在不同溫度下，汲-源極電流與轉導值對閘-源極偏壓之關係圖。圖三插圖顯示在室溫下元件實驗量測(實線)與模擬分析(虛線)的結果。汲-源極偏壓固定在3.5V時，對於實驗量測及模擬分析元件的最大轉導值分別為176及175 mS/mm。由於好的載子侷限能力及使用漸變式三層平面摻雜，元件在轉導值特性上具有較佳的線性度。同時，較佳的元件特性證明了有許多的電子侷限在砷化銦鎳雙層通道結構中。不過，當溫度增加時，載子濃度及電子移動率將會隨著溫度增加而下降，這將會使得轉導值及驅動電流跟著下降。在轉導值下降10%為電壓操作區間的定義下，在溫度為300及450K時，電壓操作區間分別為1.6及1.33V。這意味著即使是在高溫的情形下，本研究的元件仍然擁有高的閘-源極電壓範圍。當溫度上升時，基於元件於轉導值及電壓操作區間有較低的退化率，元件之溫度依賴性低，更適用於高電源及低失真電路應用。另外，對於實驗量測及模擬分析元件的臨界電壓分別為-1.25及-1.67V。在實驗量測與模擬分析之間的次臨界區有些許的不同，這可能是因為實際元件具有漏電流或是未預期的製程情況。



-1.5 -1.0 -0.5 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0

Gate-Source Voltage V_{GS} (V)

圖三、在不同溫度下，汲-源極電流與轉導值對閘-源極偏壓之關係圖。插圖為室溫下元件實驗量測(實線)與模擬分析(虛線)的結果。

Frequency (GHz)

圖四、溫度在248,300,373K時的微波特性。插圖為室溫下元件微波特性之實驗量測(實線)與模擬分析(虛線)的結果。

圖四說明元件在溫度248,300,373K時的微波特性。圖四插圖顯示在室溫下元件微波特性之實驗量測(實線)與模擬分析(虛線)的結果。汲-源極及閘-源極偏壓分別固定在3.5及0.75V。符號代表量測實驗結果，實線則代表模擬結果。元件實驗量測(模擬分析)的單位截止頻率及最大振盪頻率分別為16(34.6)及33.2(97.5)GHz。在實驗量測與模擬分析之間微波特性的不同可能是因為實際元件具有寄生電極電容、寄生電阻，例如：汲極-源極歐姆接觸及閘極的電阻及寄生電感。當溫度從248K上升到373K時，元件所量測到的截止頻率從17.3GHz下降到13.9GHz。相關的最大振盪頻率從35.1GHz下降到30.4GHz。明顯地，截止頻率及最大振盪頻率都隨溫度上升而下降。

綜合言之，本文成功地研製具有漸變式三層平面摻雜結構之磷化銦鎵/砷化銦鎵/砷化鎵雙通道擬晶性高電子移動率電晶體。理論上的分析使用模擬軟體探討元件特性，並與實驗量測結果進行比較。從實驗上得知，模擬分析與實驗量測的結果相符合。另外，本文亦探討擬晶性高電子移動率電晶體元件對溫度變化的相依性。從實驗的結果發現，優良的元件特性包含較高之汲極飽和電流、轉導值及較佳的微波特性皆可得到。因此，本文中所研究的元件能提供在高溫及高性能的微波電路上之應用。

Copyright 2010 National Cheng Kung University