中文
成大研發快訊　第七卷 第一期 - 2008年十二月十九日
[http://research.ncku.edu.tw/re/articles/c/20081219/1.html]

以光電化學氧化法成長氮化鋁鎵/氮化鎵金屬-氧化物-半導體高速電子移動率場效電晶體閘極氧化層之高頻與低頻雜訊特性

黃立賢、葉書豪、李清庭*

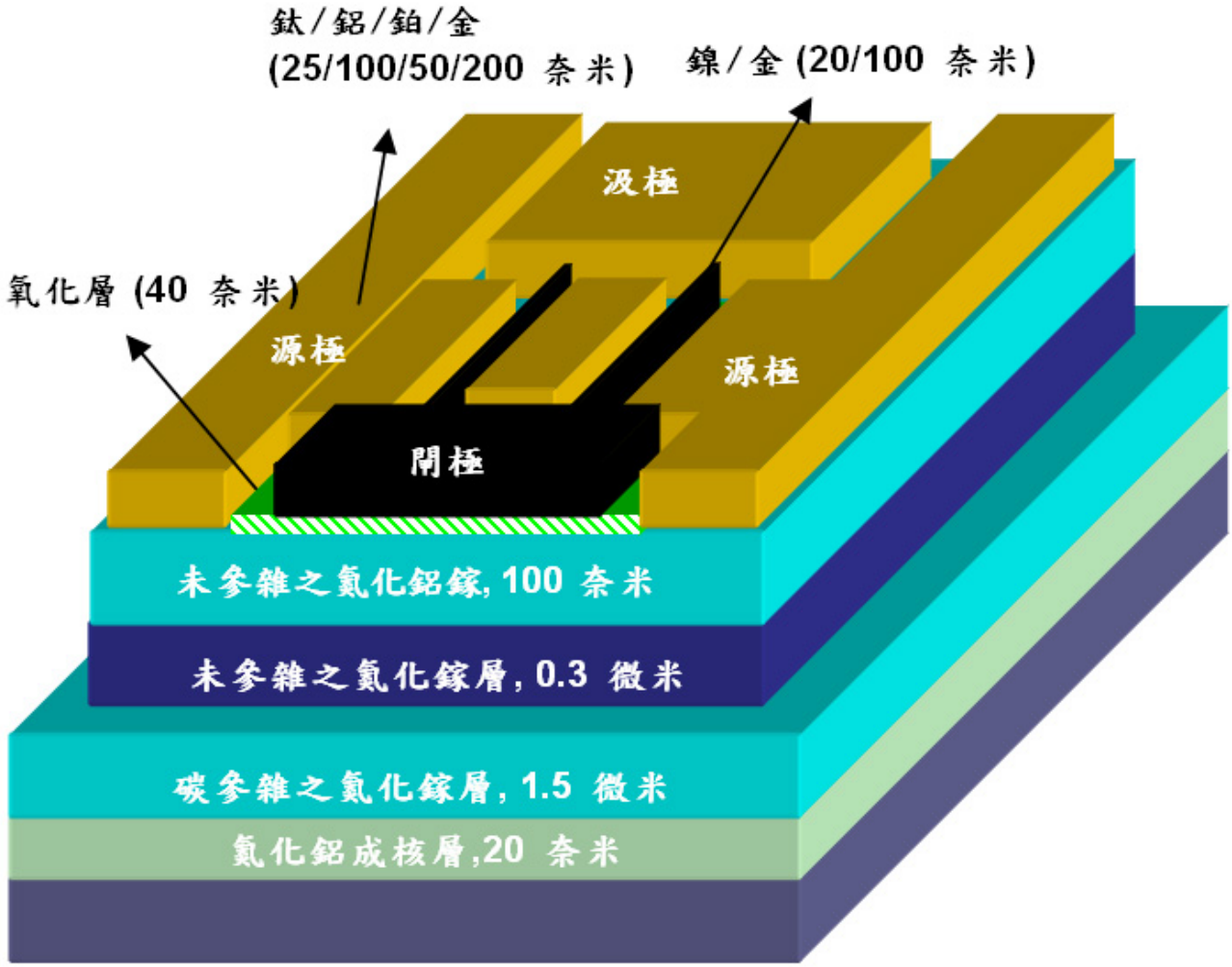
國立成功大學電機資訊學院微電子工程研究所
ctlee@ee.ncku.edu.tw

Appl. Phys. Lett., vol. 93, 043511 (2008).

近幾年來，由於氮化鎵系列半導體具有高的電子移動率、寬的直接能隙、優良的熱穩定性以及化學穩定性，以致被廣泛地應用於電子元件與發光元件中。目前使用蕭特基閘極之金屬-半導體場效電晶體與金屬-半導體高速電子移動率場效電晶體均已成功地使用於高頻系統上，但是在高功率應用上，使用蕭特基閘極之場效電晶體與高速電子移動率場效電晶體等元件具有較大的閘極漏電流與較小的崩潰電場等缺點，因此在高頻及高功率的應用上，金屬-氧化物-半導體高速電子移動率場效電晶體具有較優良的特性。

截至目前為止，已經有許多介電材料被應用於製作氮化鎵系列金屬-氧化物-半導體高速電子移動率場效電晶體的閘極氧化層。對矽基材之金氧半元件與積體電路而言，利用濕式氧化法與乾式氧化法可直接在矽晶圓上得到具有優良特性之二氧化矽薄膜與二氧化矽/矽之介面，因此，為得到高品質的絕緣層與絕緣層/氮化鎵系列半導體之介面，直接在氮化鎵系列半導體表面上成長氧化層，將是製作高品質氮化鎵系列金屬-氧化物-半導體元件的氧化層成長方式。

目前已經成功地應用光電化學氧化法來直接氧化氮化鎵系列半導體材料以形成氧化物。光電化學氧化法除可得高品質的氧化層與氧化層/半導體介面外，相關的氮化鎵金氧半元件與金氧半高速電子移動率場效電晶體的直流特性，也已經在最近發表。在本研究中，我們將量測與分析:利用光電化學氧化法成長閘極氧化層之氮化鋁鎵/氮化鎵金屬-氧化物-半導體高速電子移動率場效電晶體的高頻特性與大汲源極偏壓下的低頻雜訊特性。

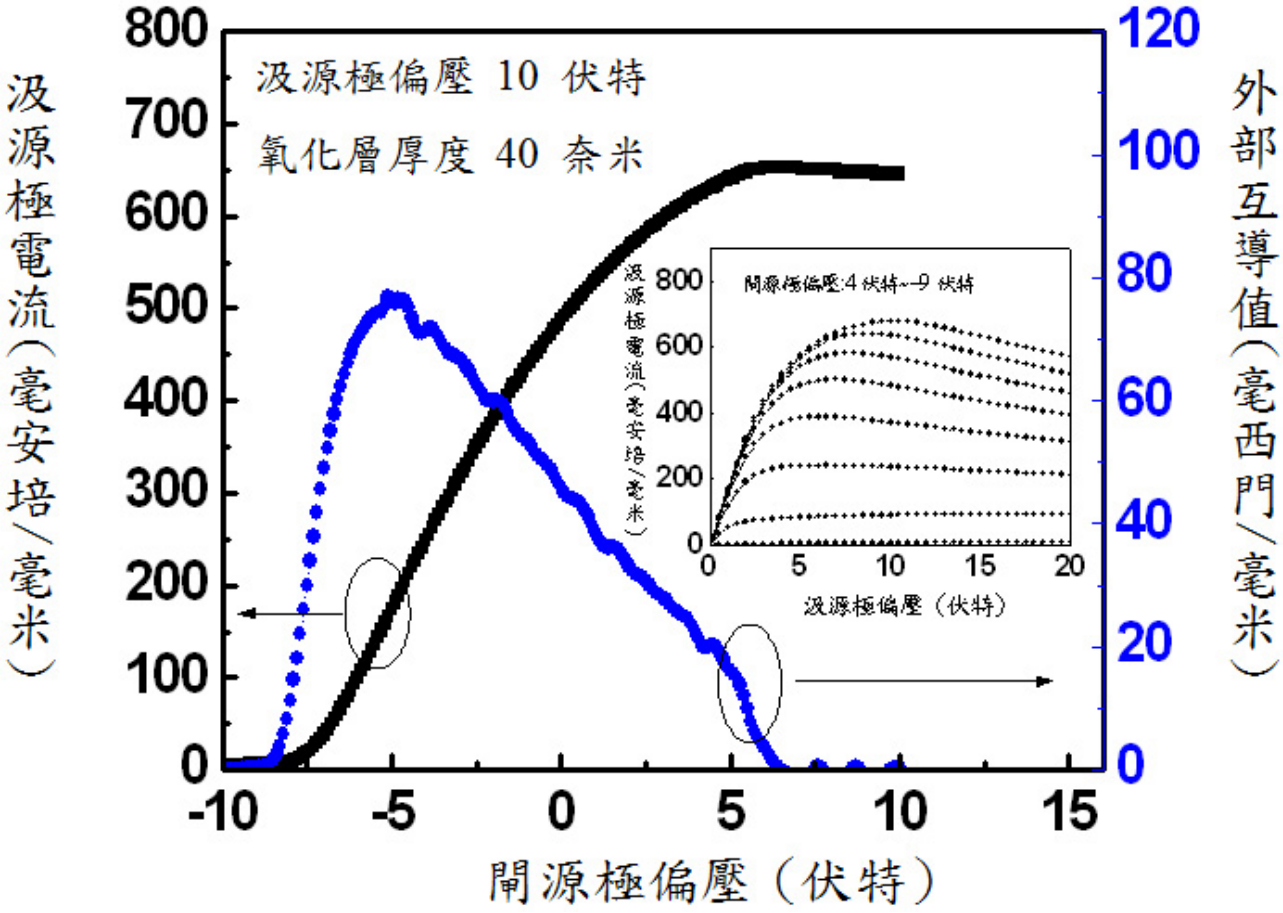


圖一、氮化鋁鎵/氮化鎵金屬-氧化物-半導體高速電子移動率場效電晶體元件結構圖。

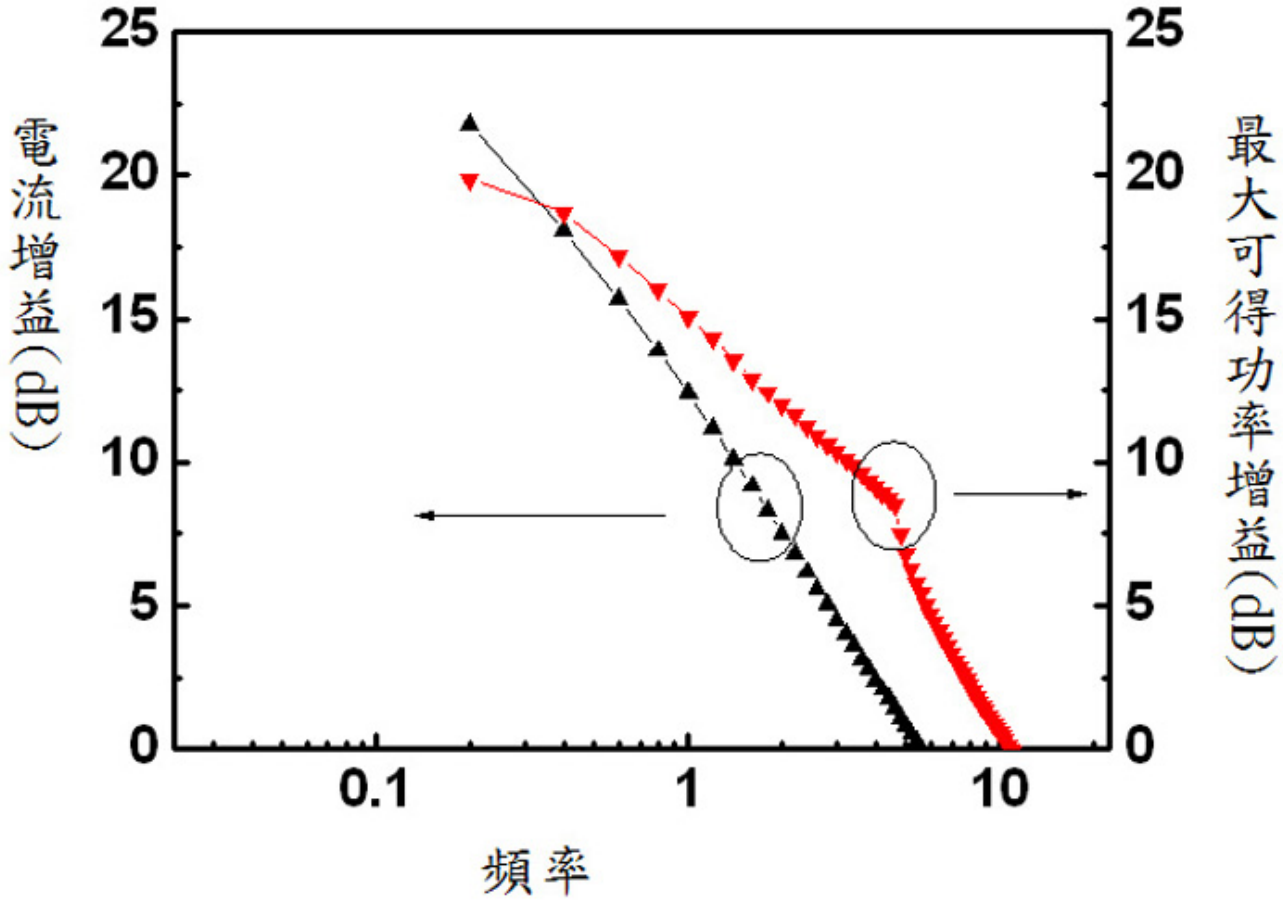
圖一是本實驗所使用的氮化鋁鎵($Al_{0.15}Ga_{0.85}N$)/氮化鎵高速電子移動率場效電晶體之磊晶結構。首先我們利用活性離子蝕刻機與鎳/金金屬光罩來製作高台圖樣。在蒸鍍鈦/鋁/鉑/金(25/100/50/200 奈米)作為歐姆金屬之前，先利用表面硫化處理去除氮化鋁鎵半導體表面的原生氧化層。接著利用快速熱退火系統，以850度、氮氣氛圍、2分鐘熱處理，可以達到良好的歐姆特性。接著，使用光電化學氧化法在汲源極間區域成長氧化層作為閘極絕緣與表面護佈之用。最初成長的氧化層經過700度 、氧氣氛圍及2小時的熱處理過程，其氧化層不會再被顯影液、酸性溶液以及鹼性溶液所蝕刻，因此適用於接下來的元件製程。熱處理後的氧化層厚度與表面態位密度分別為40 奈米與5.1×10^{11} 1/平方公分.電子伏特。最後，蒸鍍鎳/金(20/100 奈米)作為閘極金屬(GSG形式)，雙指閘極電極的長度與寬度分別為1 微米 與 50微米。

圖二為不同閘源極偏壓下之汲源極電流-電壓關係與元件轉移特性。閘源極偏壓為0 伏特時的飽和電流為580 毫安培/毫米，臨界電壓為–9 伏特。在閘源極偏壓為–5.1 伏特與汲源極電壓為10 伏特時，最大之外部互導值為76.72 毫西門/毫米。順偏崩潰電壓與逆偏崩潰電壓分別為25 伏特與大於－100 伏特。當閘源極偏壓為20 伏特與－60 伏特時，閘極漏電流只有960×10^{-9} 安培與102×10^{-9} 安培。

圖三是由氮化鋁鎵/氮化鎵金屬-氧化物-半導體高速電子移動率場效電晶體的S參數測量取出的電流增益與最大可得之功率增益對頻率的關係圖。當汲源極電壓為10 伏特時，電流增益截止頻率與最大振盪頻率分別為5.6×10^{9} 赫茲與10.6×10^{9} 赫茲。



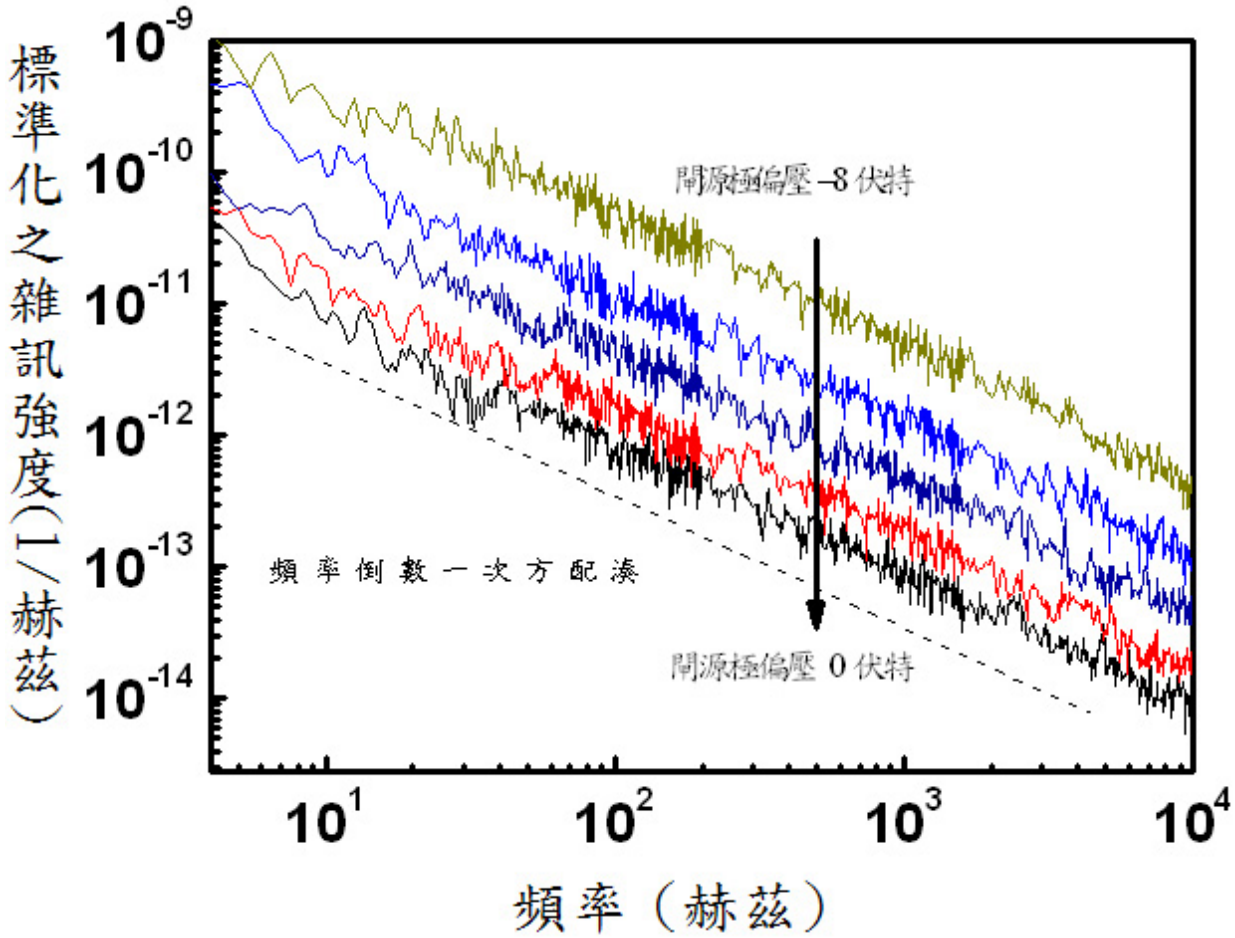
圖二、不同閘源極偏壓下之汲源極電流-電壓特性曲線與元件轉移特性。



圖三、由S參數量測所取出之電流增益與最大可得功率增益對應頻率之關係圖。

當量測元件在室溫下的低頻雜訊特性時，頻率範圍由4赫茲到1×10^4赫茲，汲源極偏壓為10伏特，閘源極偏壓由－8 伏特到0 伏特(間距為2伏特)，其標準化後的低頻雜訊頻譜如圖四所示，由圖四中可以發現其低頻雜訊具有良好的頻率倒數一次方之配湊趨勢。利用移動率擾動模型，可以藉由公式(1)計算虎格係數(α)為：

$$\alpha=S_I(f)\times f\times N/I^2=[S_I(f)\times f\times(L_g^2/q\times\mu\times R_{ch})]/I^2 \qquad (1)$$



圖四、氮化鋁鎵/氮化鎵金屬-氧化層-半導體高速電子移動率場效電晶體飽和區之標準化低頻雜訊頻譜圖。

其中$S_I(f)$是雜訊強度，f是頻率，I是汲源極電流，L_g是閘極長度，μ為載子移動率，R_{ch}為通道電阻。當元件操作在汲源極偏壓為10伏特，閘源極偏壓為0 伏特，頻率為100赫茲時，計算所得的值為1.25×10^{-3}。由圖四中可以發現當閘源極偏壓越負時，標準化後的雜訊強度隨之增強。在元件中，閘極漏電流比汲源極工作電流小5個數量級，且特徵接觸電阻也只有8.7×10^{-6} 歐姆-平方公分，因此主要低頻雜訊來源為本體雜訊。整體雜訊能以公式(2)表示:

$$S_{Rt}=S_{Rch}+S_{Rs} \qquad (2)$$

其中SRt代表整體雜訊，SRch代表由閘極下方通道所產生的雜訊，SRs是除了閘極下方通道外的其他區域所產生的雜訊。元件的整體電阻能以公式(3)表示:

$$R_t = R_s + R_{ch} = R_s+L_g|V_{off}|/(Wq\,\mu\,n_{ch}V_G) \qquad (3)$$

其中R_t為整體電阻，R_s為除閘極下方通道外的電阻，R_{ch}為閘極下方的通道電阻，L_g為閘極長度，V_{off}為元件截止電壓，W為閘極寬度，μ為載子移動率，n_{ch}為閘源極電壓0 伏特時的二維電子氣濃度，V_G為等效閘極電壓($V_G=V_{GS}-V_{off}$)。當閘源極偏壓為負偏壓時，通道電阻(R_{ch})大於閘極通道區域外的電阻(R_s)，因此整體雜訊由通道下方產生之雜訊所主導，因此整體低頻雜訊能以公式(4)及(5)表示為:

$$S_I(f)/I^2 = S_{Rt}/R_t^2 = (S_{Rch}+S_{Rs})/(R_{ch}+R_s)^2 \cong S_{Rch}/R_{ch}^2 \qquad (4)$$

$$S_I(f)/I_2 = \alpha/fN \propto V_G^{-1} \qquad (5)$$

因此當閘源極偏壓越負時，雜訊強度也隨之增加。

本研究利用光電化學氧化法製作氮化鋁鎵/氮化鎵金屬-氧化物-半導體高速電子移動率場效電晶體之閘極氧化層。元件的飽和電流(閘源極偏壓0 伏特)與最大外部互導分別為580 毫安培/毫米與76.72 毫西門/毫米。元件的順偏崩潰電壓與逆偏崩潰電壓分別為25 伏特與大於 -100 伏特。元件的電流增益截止頻率與最大振盪頻率分別為5.6×10^9 赫茲與10.6×10^9 赫茲。氮化鋁鎵/氮化鎵金屬-氧化物-半導體高速電子移動率場效電晶體的低頻雜訊具有良好的頻率倒數一次方之配湊趨勢。當元件操作在閘源極偏壓為0 伏特與汲源極偏壓為10 伏特，頻率為100 赫茲時，計算所得的虎格係數為1.25×10^{-3}。由上述結果可以證明，光電化學氧化法將可應用於製作具有高性能的氮化鎵系列之金氧半元件與積體電路。

Copyright 2008 National Cheng Kung University