

# 應用選擇性液相氧化法於砷化銦鎵製作無需閘極蝕刻金氧半砷化銦鋁/砷化銦鎵變晶高電子移動率場效電晶體

李冠慰<sup>1</sup>、林顯正<sup>2</sup>、杜朝賢<sup>2</sup>、李凱霖<sup>2</sup>、王永和<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>義守大學電機資訊學院電子工程學系(所)

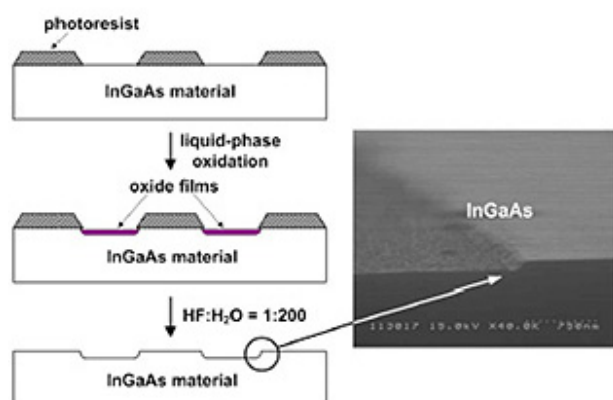
<sup>2</sup>國立成功大學電機資訊學院微電子工程研究所

yhw@eembox.ncku.edu.tw

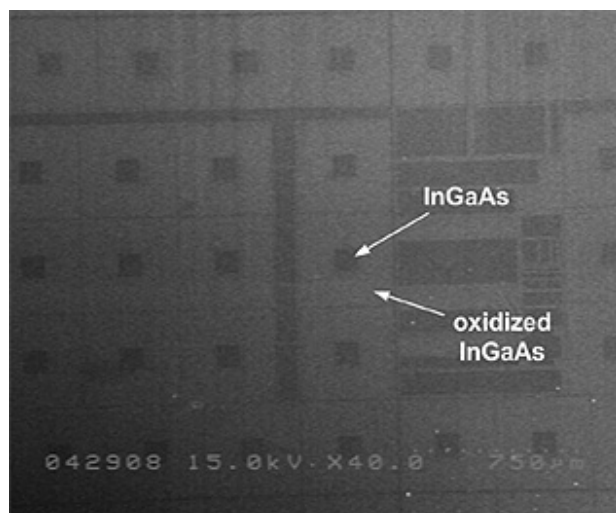
Journal of The Electrochemical Society 155 (11), H932 (Sep 2008)

**液**相氧化法是一項具有選擇性成長，低成本以及低溫成長(30–70 °C)等特點之製作氧化層的技術。於稍早文獻中發表過，以金屬或光阻當作遮罩，應用液相氧化法於砷化銦鎵，選擇性成長氧化層，並探討此氧化層的組成成分和其他製程問題。最後，在本篇文章中製作無需閘極蝕刻金氧半砷化銦鋁/砷化銦鎵變晶高電子移動率場效電晶體。無需閘極蝕刻，即意味著閘極氧化層是源於直接氧化砷化銦鎵覆蓋層於成長液當中。與無成長閘極氧化層的變晶高電子移動率場效電晶體相比較，金氧半變晶高電子移動率場效電晶體，由於採用具有低溫及選擇性成長等特點之液相氧化法，故較適用於高功率之應用。此外，金氧半砷化銦鋁/砷化銦鎵變晶高電子移動率場效電晶體擁有同時成長自然般的氧化層及披護元件側壁的優點與能力。

近來，一項簡單及具有選擇性成長等特點的液相氧化法技術，已發表於文獻中並探討應用此技術，於接近室溫下(30–70°C)成長氧化層於砷化銦鎵系列材料上。基於此點，液相氧化法可用於矽、磷化銦、砷化鋁鎵、磷化銦鎵、砷化銦鎵等半導體材料上成長氧化層。液相氧化主要發生在氧化層與半導體界面，藉著把氧傳送進半導體並氧化，轉化半導體為氧化層，因此可得到較佳的氧化層及半導體界面。憑藉此技術，於低溫下可以很好控制所成長的氧化層及其再現率。此外，液相氧化法於成長過程中不需外加任何能量輔助，或使用真空及氣體濃縮設備。因此，液相氧化法不僅無需使用複雜的設備還可於低溫下操作，此外還能得到相當不錯的氧化層品質。



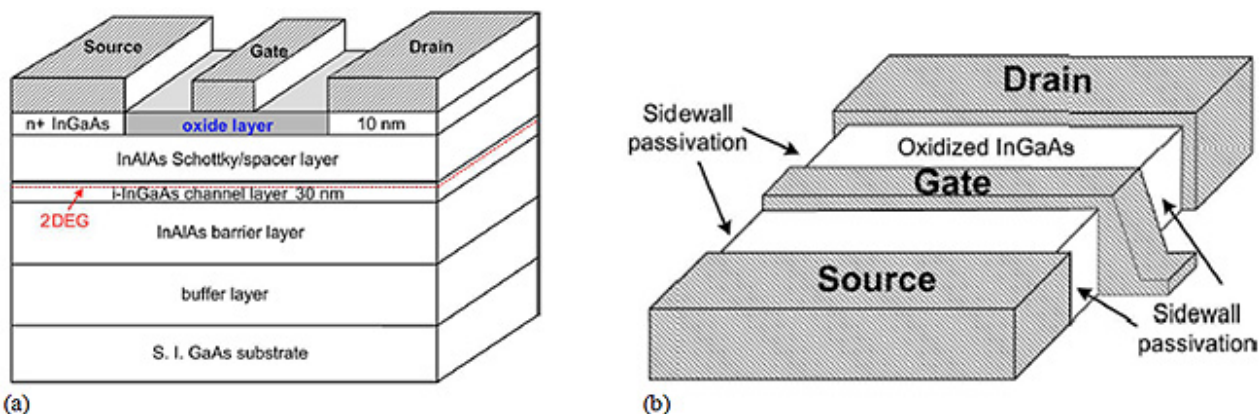
圖一 選擇性氧化之實驗步驟與流程



圖二 掃描式電子顯微鏡上視圖顯示砷化銦鎵及經過氧化處理的砷化銦鎵區域之區別

圖一說明選擇性氧化之實驗步驟與流程。首先，運用黃光微影技術於砷化銦鎵材料上定義一層光阻。接著，把經黃光微影定義後之砷化銦鎵材料置入成長液中成長氧化層。由圖可知，氧化層僅能成長於沒有被光阻覆蓋之半導體區域內。最後經丙酮去除光阻後，即可得到選擇性氧化層的結構。根據掃描式電子顯微鏡圖像顯示，稀釋過的氫氟酸可以有效的蝕刻氧化層，由於氧化層為半導體轉化而來，因此造成砷化銦鎵的損耗而形成高低差。圖二藉由掃描式電子顯微鏡上視圖，可以清楚的區分砷化銦鎵及經過氧化處理的砷化銦鎵區域之不同。

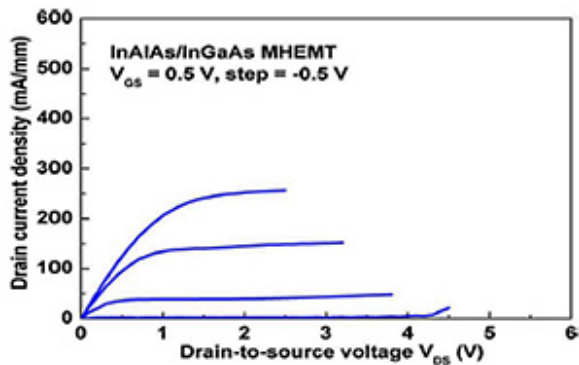
圖三(a)為砷化銦鋁/砷化銦鎵金氧半變晶高電子移動率場效電晶體結構示意圖，變晶高電子移動率場效電晶體結構是利用有機金屬化學氣相沉積機台磊晶成長於半絕緣砷化鎵基板上而得。室溫下，電子霍爾移動率及二維電子氣片電子濃度分別為 $7000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 及 $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 。金氧半變晶高電子移動率場效電晶體製作起始於利用濕蝕刻液蝕刻半導體至緩衝層達到元件隔離的效果。歐姆接觸部分首先利用熱蒸鍍方式蒸鍍金/鎳/鎢金屬合金於半導體表面，再利用舉離技術定義金屬之區域，緊接著利用快速熱退火技術完成歐姆接觸之製作。



圖三 (a) 砷化銦鋁/砷化銦鎵金氧半變晶高電子移動率場效電晶體結構示意圖 (b) 元件表面和側壁披護示意圖

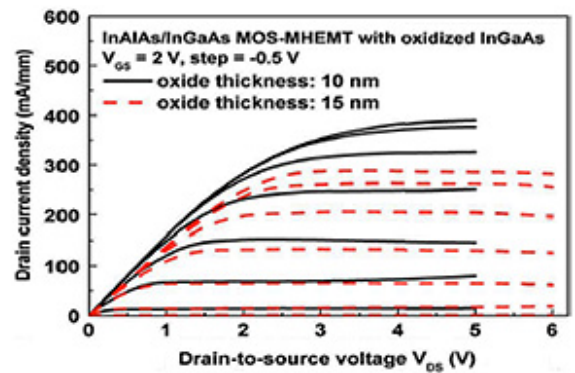
然後，無需製作閘極蝕刻，直接將試片放入成長液中，在 $50^\circ \text{C}$ 環境下於砷化銦鎵上成長所需的閘極氧化層（約莫一個小時）。於這道手續內，氧化層成長及元件表面和側壁披護可以在同一時間內完成，示意於圖三(b)。這主要是利用前述製作歐姆接觸時，蒸鍍的金/鎳/鎢金屬作為遮罩，於砷化銦鎵表面造成選擇性氧化的效果。最後，蒸鍍金作為閘極蕭基接觸之用，元件即製作完成。整體元件而言，閘極面積及汲極到源極通道寬度分別為 $0.65 \times 200 \mu\text{m}^2$ 及 $3 \mu\text{m}$ 。在成長液pH值均為5.0及成長溫度均控制在 $50^\circ \text{C}$ 環境下，對於砷化銦鎵而言，不同比例的銦含量將會造成氧化速率的不同，以銦比例分別為15%及53%相比較，前者每小時氧化層的成長速率為15-20奈米，而後者則降為每小時10-15奈米。而本篇文章所成長的氧化層厚度，經橢圓測厚儀量測可得約42奈米。根據前述，液相氧化法是利用轉化半導體為氧化層，由此可知，所得到之氧化層，為三種不同半導體材料轉化所得到之氧化層混合物，相關結果可由X光光電子能譜儀縱深而得。此外，根據X光光電子能譜儀銦(In-3d)、鎵(Ga-3d)、砷(As-3d)蕊層能階訊號(core level)，可知所成長之氧化層主要成分為三氧化二銦，三氧化二鎵及三氧化二砷之混合物。

圖四(a)及(b)說明變晶高電子移動率場效電晶體I-V特性及不同氧化層厚度之金氧半變晶高電子移動率場效電晶體I-V特性。此外，良好的夾止與飽和特性由圖中可得。對金氧半變晶高電子移動率場效電晶體而言，由於閘極界面處擁有較高的能障，所以可以比變晶高電子移動率場效電晶體擁有較高的汲極-源極及閘極-源極操作偏壓，因而可得到較高的電流，進而有利於高功率元件之應用。反之，傳統蕭基-閘極變晶高電子移動率場效電晶體，由於遭受比較低的閘極擺幅偏壓以及逆向崩潰電壓，因而限制元件本身之應用。

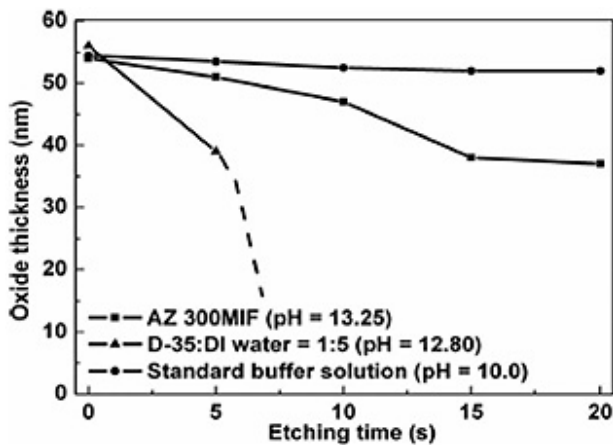


(a)

圖四 (a) 砷化銦鋁/砷化銦鎵變晶高電子移動率場效電晶體 I-V 特性 (b) 不同氧化層厚度之砷化銦鋁/砷化銦鎵金氧半變晶高電子移動率場效電晶體 I-V 特性



(b)



圖五 不同 pH 值鹼性蝕刻液對氧化層蝕刻能力之比較。

對於元件製作而言，黃光微影技術有其製程上之必要，然而，在顯影的過程當中，氧化層有直接暴露在顯影液之風險。為了探討顯影液對氧化層蝕刻方面之影響，利用橢圓測厚儀量測經顯影液蝕刻一段時間後之試片，其厚度的變化，近而了解對氧化層之影響。圖五說明不同 pH 值的鹼性顯影蝕刻液對氧化層蝕刻能力之比較，針對已成長氧化層之砷化銦鎵試片，不使用光阻作為遮罩，置入三種不同的蝕刻液當中，分別為 D-35 顯影液 (pH 12.80)，AZ 300MIF 顯影液 (pH 13.25) 及標準緩衝液 (pH 10.0)，觀察其蝕刻時間對厚度變化之比較。AZ 300MIF 顯影液主要成分為氫氧化四甲基銨 (TMAH) 而 D-35 顯影液主要成分則為氫氧化鈉。如圖所示，無覆蓋光阻之氧化層試片置入 pH 值為 12.80 之 D-35 顯影液內，氧化層於蝕刻起始 5 秒後開始大量消逝。

最後，本篇文章不僅證實可利用光阻或金屬當作遮罩，應用液相氧化法於砷化銦鎵，低溫下 (30–70 °C) 選擇性成長氧化層，並探討此氧化層的組成成分。更進一步，將此技術應用於砷化銦鋁/砷化銦鎵金氧半變晶高電子移動率場效電晶體製程上。無需閘極蝕刻，即意味著閘極氧化層是源於直接氧化砷化銦鎵覆蓋層於成長液當中。相較之下，砷化銦鋁/砷化銦鎵金氧半變晶高電子移動率場效電晶體較適用於高功率元件之應用。