

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

氮化鎵光致氧化膜 MOS 元件之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2622-E-002-021-CC3

執行期間：91年06月01日至92年05月31日

執行單位：國立臺灣大學光電工程學研究所

計畫主持人：彭隆瀚

計畫參與人員：彭隆瀚教授,巫漢敏,林晉逸

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 92 年 8 月 28 日

國科會補助提升產業技術及人才培育研究計畫成果精

簡報告

計畫名稱：氮化鎵光致氧化膜 MOS 元件之研究

計畫編號：NSC 91-2622-E-002-021-CC3

執行期間：91年06月01日至92年05月31日

執行單位：台灣大學光電工程學研究所

主持人：彭隆瀚 教授

參與學生：

姓名	年級 (大學部、碩士班、博士班)	已發表論文或已申請之專利 (含大學部專題研究論文、碩博士論文)	工作內容
巫漢敏	博士班	氮化鎵金氧半電容元件之製作與特性研究	光致氧化膜成長、結構分析、Ga ₂ O ₃ /GaN 元件製作、模型建立
林晉逸	碩士班	氮化鋁鎵光致氧化膜在金氧半電容元件之研究	AlGa ₂ O ₃ /GaN 元件製作、模型建立

合作企業簡介

合作企業名稱：美商朗弗寬頻微電子股份有限公司 台灣分公司

計畫聯絡人：吳怡萱 經理

產品簡介：以無線/有線寬頻關鍵零組件為主要產品，包括功率放大器、驅動放大器、無線區域網路射頻收發模組、與客制化的模組設計。

網址：<http://www.rfintc.com/>

電話：(02) 2698-1022

研究摘要(500 字以內)：

動機：氮化鎵系列材料之高寬能隙效應($E_g > 3.5 \text{ eV}$)，使得此類電子元件之高溫($>400^\circ\text{C}$)操作特性，為一般半導體元件所無法匹及；而其電子之高電場飄移速度，更有益於高頻功率放大元件之應用。例如，康乃爾大學早在 1998 年就成功地報導在 AlGaIn/GaN HEMT 中獲得 $f_i = 75 \text{ GHz}$, $f_{max} = 140 \text{ GHz}$ 之響應，而在 1~10GHz 通訊波段的功率放大之理論值更可高達 10W/mm (@10dB gain)。

目前氮化鎵高頻元件研發，所面臨的一大挑戰就是無法生長自然氧化膜，製程上端賴傳統之 CVD 技術作 SiO_x 、 Si_xN_y 介電層沉積。由於容易造成晶格缺陷，以 PECVD、電子束沉積技術所製作之 GaN MIS diode 之介面狀態密度 $D_{it, \min}$ 常高於 $10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ，因而不具產業應用之價值。

目的：為求提昇氮化鎵高頻元件之高溫穩定、降低閘極漏電流所需之表面保護(surface passivation)，我們應用已獲得六項專利授權之光致氮化鎵自然氧化膜生長技術，研發具有低介面狀態 $D_{it, \min} < 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 之 $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{GaN}$ 之製程技術。此技術之發展，亦有益於氮化鎵藍綠光二極體與雷射之應用。

研究方法：以深紫外光技術，增益氮化鎵之光電化學氧化還原反應，於室溫下氧化出 $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{GaN}$ 結構。利用高溫氣氛還原，降低晶格缺陷並形成穩定態之 $s\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 。以表面分析(SEM、EDX、XRD、XPS、Auger)技術，研究製程條件對於氧化鎵與結晶成分與結構之影響。利用 PL 技術，研究氧化鎵之光學係數與表面保護性應。應用 I-V、C-V 量測分析與高溫氣氛處理，研究氧化鎵之電性傳導特性。藉此以研發低介面狀態濃度 $D_{it, \min} < 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 之 $\text{Ga}_2\text{O}_3/\text{GaN}$ 製程技術。

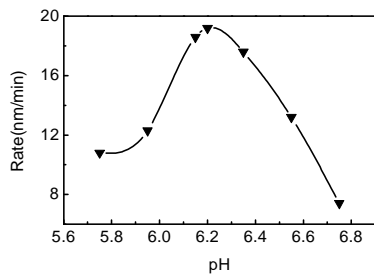
人才培育成果說明：

在實驗研究中，困難與問題的出現是勢必難免的，但我們老師與學生依舊努力，結合資源、努力與智慧克服困難，不只完成各階段的預期目標進度，同時也讓兩位在學學生有機會學習，增長了知識與能力，更學習到研究的精神與態度，收穫良多，符合此計畫的初衷。因此我們在成果自評中，認為這次計畫之進行與實現完成度非常高，提升產業技術與人才培育皆有達到目標。

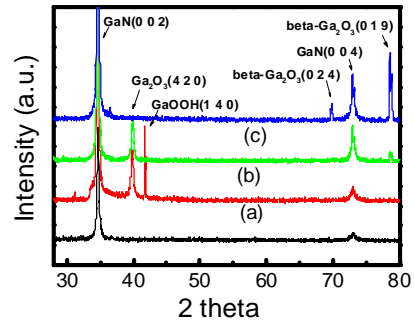
技術研發成果說明：

到 05/25/2003 為止，我們計完成的工作有

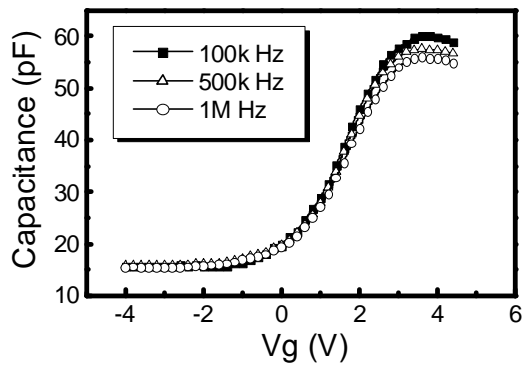
- (a)成功研發氮化鎵與氮化鋁鎵自然氧化膜(AlGaInO_3)成長技術
- (b)光致化學氧化膜成長速率整理，氧化速率約為 19.2nm/min，如圖一所示
- (c) AlGaInO_3 特性研究，並以高溫氣氛熱退火進行氧化膜品質最佳化，如圖二所示，氧化膜在高溫退火下，出現複晶之晶格結構。
- (d)GaN MOS 元件製作、量測、分析
- (e)AlGaIn MOS 元件製作、量測、分析如圖三所示。
- (f)崩潰電場最高化達 3MV/cm，如圖四所示。
- (g)介面狀態密度最低化，達 10^{10} 數量級



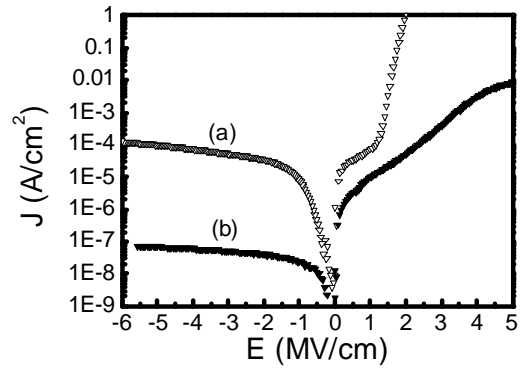
圖一 氧化速度曲線



圖二 XRD 分析



圖三 電容電壓曲線圖



圖四 電流曲線圖

寬能隙之氮化鎵材料無法以一般氧化技術得到品質良善之氧化膜，是氮化鎵材料急需克服之困難。而我們利用非傳統之光致化學氧化法，成功在氮化鎵與氮化鋁鎵實現了自然氧化膜之成長，並對其特性作各種量測，包括氧化速度、表面分析(包含 SEM、EDX)、成份分析(XPS)、能隙量測、電容元件之量測與模擬計算與導電性分析。最後結論之結果，顯示結合光致化學氧化法與高溫氧氣熱退火處理技術後，可以成長高品質自然氧化膜。

技術特點說明：

對於氮化鎵而言，製作金氧半(MOS)結構的最大挑戰，就是自然氧化膜之生長極為困難。目前製程上端賴傳統之 CVD 技術作 SiO_x 、 Si_xN_y 介電層沉積。但是由於容易造成在氮化鎵介面產生晶格缺陷，以 PECVD、電子束沉積技術所製作之 GaN MIS diode 之介面狀態密度 $D_{it, \min}$ 常高於 $10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ，因而不具產業應用之價值。結合光致化學氧化法與高溫氧氣熱退火處理技術後，吾人成功將氮化鎵材料氧化膜介面的狀態濃度降至 $10^{10} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ 等級，氮化鋁鎵材料氧化膜介面的狀態濃度在 $1 \times 10^{11} \text{ eV}^{-1} \text{ cm}^{-2}$ ，另外也提高了氧化層絕緣性質、降低漏電流、增加崩潰電壓達，從數據分析顯示，與傳統 CVD...等技術相比，我們研究之氮化鎵系材料氧化層品質與特性是非常好，擁有更佳的商業應用價值。

可利用之產業及可開發之產品：

將氧化膜繼續應用在高頻、高功率電晶體之製作上，當未來技術成熟與元件製作完成後，其應用範圍廣泛，進入大眾生活之中，可為大眾帶來更好的科技與便利，其應用價值具有莫大的潛力。

而在光電產業，同樣也具有潛力。氧化膜的表面保護作用可以降低缺陷密度，增加電子電洞在材料中的壽命與再結合之效率，同時氧化膜亦提供了折射係數匹配之功能，減少光線全反射比率，增加透光率，能大幅改善光電元件之發光效率與照明強度。

推廣及運用的價值：

藍光氮化物元件的研發，自從日本 Nichia 公司於 1995 年成功量產高亮度的藍綠光 LED，與 2000 年量產紫光雷射後，已造成光電半導體業界的另一項革新。實際上，氮化鎵元件比起三十年前砷化鎵元件出道時所備受的禮遇與重視，簡直不可同日而語。其原因是除了在高密度光資訊儲存、顯示以及高溫操作之運算速度特性上，氮化鎵材料都具備無法匹敵之優勢。右圖為 Strategies Unlimited 所提供 GaN 元件未來 5 年的市場分析。此分析顯示，到了 2005 以後，氮化鎵元件之產品，將佔有 III-V 市場之 20%，足以證明此一新興領域之市場區隔與獨占性。

而目前台灣在氮化鎵材料之研發與應用上，仍在日本與美國之下，多項專利已被日本美國取得，研究與商業應用受限的台灣，更需要投入更多努力與設備來推廣，才可能急起直追，在這新興領域中，得到一席之地，為台灣帶來最大之價值。