

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

石墨烯及氧化鋅/氮化鎵材料之成長及其元件應用 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 100-2112-M-009-018-
執行期間：100年08月01日至101年07月31日
執行單位：國立交通大學光電工程學系(所)

計畫主持人：紀國鐘

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 10 月 26 日

中文摘要： 在本計劃執行過程中，本實驗室成功利用化學氣相沈積法在銅箔成長出大面積單層石墨烯薄膜，利用拉曼光譜作為分析石墨烯品質及層數的工具。並由拉曼光譜中的 D band 與 G band 的強度比例估算石墨烯薄膜缺陷密度。我們藉由調控甲烷與氫氣的流量比例與成長時間控制，可以得到單層碳原子所組成的石墨烯或者是多層石墨烯。並發現在不同甲烷與氫氣的流量比例下，其拉曼光譜 D band 與 G band 的強度比例有所不同，代表石墨烯薄膜在不同成長條件下有不同缺陷密度。目前最佳成長條件的石墨烯薄膜其載子飄移率為 $1500\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{S}^{-1}$ ，樣品尺寸為 2×2 公分。相關石墨烯研究成果已發表於 *Appl. Phys. Lett.* 99, 243502 (2011)。在應用方面，石墨烯具有高透光且導電性良好的特性，是極具應用潛力的光電元件材料。因為石墨烯的疏水性造成金屬與石墨烯的接觸電阻極大導致元件效率不佳。為了改善石墨烯表面特性使金屬接觸電阻變小提升石墨烯元件效率。我們利用臭氧清潔石墨烯表面，使金屬與石墨烯接觸電阻降低為未處理前的千分之一。此研究對於石墨烯的應用元件極為重要。本研究已投稿至 *J. Vac. Sci. Technol. B*。另外，製作石墨烯元件過程中必然會使用到相關半導體製成及相關化學藥劑，為了了解半導體製程及相關化學藥劑對於石墨烯表面改質特性影響，我們將石墨烯表面經過不同製程與化學藥劑處理後量測電阻變化，得到一系列的石墨烯表面改質成果。發現石墨烯表面有非極性溶液附著時，破壞石墨烯六角對稱結構有機會打開石墨烯的能帶間隙，使得石墨烯的電阻產生變化。此結果已發表 *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 30, No. 4, Jul/Aug 2012。利用石墨烯比表面積大且容易吸附氣體分子的特性，我們成功制備出以單層石墨烯為反應層的氧氣偵測器，在低於 1.25% 的氧濃度情況下，仍可以發現明顯的電流變化。此成果已發表至 *Appl. Phys. Lett.* 99, 243502 (2011)。研究以化學氣相沈積法在不同方向性的氮化鎵基板上成長出 a, c, m 三種不同方向性之氧化鋅薄膜及氧化鋅奈米線。沿 c 軸成長之氧化鋅薄膜，其光激螢光光譜數據顯示隨著氧化鋅薄膜厚度從 $0.4\mu\text{m}$ 增加到 $1.3\mu\text{m}$ ，其光激螢光光譜峰值將由 3.3eV 藍移到 3.26eV 。光激螢光光譜訊號藍移原因是氧化鋅薄膜厚度薄其晶格應力越大，這也同時由 XRD 數據證實氧化鋅薄膜的晶格受應力壓縮。在非極性的氧化鋅材料成長方面，我們利用非極化的 a-plane 氮化鎵基板成長出單晶非極性之 a-plane 氧化鋅奈米線，由 SEM 結果判斷，因為 a-plane 氧化鋅奈米線延著 (110) 方向成長，所以 a-plane 氧化鋅奈米線和基板夾角為 30° ，從 a-plane 奈米線表面形貌分析其成長機制為 vw 模式。與 c-plane 氧化鋅

奈米線的 S K 模式不同，推測其原因是 a-plane 的自由能較低。我們同時在 m-plane p 型氮化鎵基版上成長出 n 型氧化鋅薄膜，並將其做成非極性異質接面發光二極體。其電激螢光發光波長為 458 奈米，且在不同電流 (10, 20, 40mA) 的注入下，其發光波長並未產生紅移或藍移現象。材料應用方面，將利用本實驗室成長出的高品質單晶氧化鋅奈米線為主體結構結合氮化鎵/鋁氮化鎵高電子移動率電晶體 High electron mobility transistor (HEMT) 成功制備二氧化碳氣體偵測器可測得最低濃度 400ppm。此成果發表於 Appl. Phys. Lett. 98, 223504 (2011)

中文關鍵詞： 氧化鋅，石墨烯，感應器，化學汽相磊晶

英文摘要： Monolayer and few-layer of high-quality graphene have been grown on copper foils with different H₂/ CH₄ gas ratio by chemical vapor deposition at 17torr. The combination of UV ozone exposure prior to metal contact deposition and annealing of the contacts produces minimum specific contact resistances values of $7 \times 10^{-7} \Omega\text{-cm}^2$ for Ti/Au on graphene layers on SiO₂/Si substrates. This is an attractive option for cleaning the graphene surface without issues related to energetic ions in O₂ plasma exposures. For application, graphene sensor showed rapid change in the current when exposed to different O₂ concentration ambient at room temperature. These results show the potential of graphene for O₂ sensing applications.

The ZnO material with different orientation grown on various substrates and graphene grown on copper foil by home-made atmospheric pressure chemical vapor deposition.

For c-plane ZnO films growth, the thin films were grown on c-plane GaN templates. The surface morphology of ZnO film depended on growth temperature and growth time. From photoluminescence (PL) spectrum, near band edge peak suggest that the film stress could be responsible for the blue shift, which corresponding to the XRD results.

For the a-plane ZnO nanowires growth, the ZnO nanowires were grown on a-plane GaN templates without employing any catalyst. The growth mechanism on a-GaN was the Volmer-Weber (VW) mode and differed from the

Stranski-Krastanow (SK) mode observed for growth on c-GaN. This difference results from the higher interfacial free-energy on the a-plane between ZnO and GaN than that on the c-plane orientation.

m-plane ZnO thin film were successfully grown on m-plane p-GaN and be fabricated a heterostructured light emitting diodes. I-V measurement result shows the turn on voltage was 6 volt and the electroluminescent emission peak was at 458 nm in room temperature with different injected current.

英文關鍵詞： ZnO, Graphene, sensor, CVD

一、 前言及研究目的

近年來，石墨烯優異的光電特性引起廣泛的研究。石墨烯是完美二維單原子層薄膜結構，具有良好機械特性，在電特性上其載子飄移速率是目前所有已知的材料最快的（為光速1/300）。其二維結構在光電元件上極聚應用潛力如：高頻元件 透明導電電極 生物相關議題…等。美國與韓國研究團隊利用化學氣相沈積法成長出大面積且高品質的石墨烯材料，使的石墨烯的應用更加貼近產業需求。然而目前化學氣相沈積法成長石墨烯的材料成長機制尚未為明朗。本實驗室利用改變成長之環境，例如成長壓力，氣體流量，以及成長溫度等，研究其成長機制。目的在於成長出高品質低缺陷大面積的石墨烯薄膜。在應用元件方面，石墨烯其電子遷移率高達 $10^6 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{S}$ ，且其透明度高達 97%。故石墨烯成為最具潛力的光電材料之一。[7-10]氧化鋅為寬能隙(3.37eV)的II-VI族直接能隙半導體材料，其結構為wurtzite，a、c軸的晶格常數分別為0.32奈米和0.52奈米。且氧化鋅(ZnO)的自由激子的束縛能約60meV大於氮化鎵(GaN)的25meV 與鋅化硒(ZnSe)的20meV，因此在室溫下氧化鋅(ZnO)中的激子對依然可以存在。具有高的化學穩定性、低價電常數、高機電耦合係數、光催化特性、等特性，對於變組器、壓電元件、氣體感測器、觸媒、發光材料、太陽能電池…等都是十分合適的材料。[1-3] 一維奈米材料的特性常常不同於巨觀時的情況。不僅僅只因為尺寸的縮小，表面積增加，此時許多迥異於一般尺度下的物理特性便一一浮現外，其量子限域效應(Quantum Confinement Effect)和表面效應引起的介觀化學性質的變化也是研究的焦點。隨著奈米科技的進步，科學家發現許許多多的材料的尺寸縮小到了奈米等級，就有許多不同的聲、光、電、磁等特性。[3-6]本實驗室利用化學氣相沈積法成功制備在不同方向性的氮化鎵基板上成長出a, c, m三種不同方向性之氧化鋅薄膜及氧化鋅奈米線並成功應用在發光二極體元件上，我們在p-type氮化鎵基板上以化學氣相磊晶系統成長m-plane非極化n-plane氧化鋅薄膜，厚度約為100nm，其光激螢光以及XRD結果都顯示出其磊晶品質都非常良好。利用n型氧化鋅-p型氮化鎵的異質接面結構製出發光二極體。其電激螢光頻譜在波長為458 nm。在不同電流電激螢光顯示出其光波長不會有因為極化電場所產生之藍位移現象。利用高品質單晶c-plane氧化鋅奈米線吸附一些特定分子的特性並在吸附分子同時會改變表面電場的特性，我們將高品質單晶c-plane氧化鋅奈米線放置氮化鎵/氮化鋁鎵場效電晶體上，利用其電場改變而偵測其吸附之分子量多寡。並利用高品質單晶c-plane氧化鋅奈米線高接觸面積比例已增加其對特定氣體之偵測能力。

二、 研究方法

本計劃的研究主要分為氧化鋅與石墨烯材料成長與應用兩部份,在氧化鋅的研究方面,利用化學氣相沉積法在氮化鎵基板上成長氧化鋅薄膜與奈米線,在本研究中使用三種不同軸相a, c, m-plane 氮化鎵基板是利用有機金屬化學氣相沉積法成長出高品質氮化鎵基板,其氮化鎵晶層的厚度為 $2 \mu\text{m}$ 。成長氧化鋅薄膜與奈米線之化學氣相沉積系統示意圖如圖一所示,將氮化鎵基板及鋅粒放置於高溫爐管的中央處並通入100 SCCM 之氫氣,然後將爐管的溫度升高至 850°C ,當溫度到達此製程溫度後,開始通入 5 SCCM 之氧氣來成長氧化鋅奈米線,成長過程中爐管之壓力維持在一大氣壓。在本研究中以 10 分鐘、30 分鐘、60 分鐘以及 120 分鐘等不同的成長時間來成長氧化鋅薄膜與奈米線,藉由不同的成長時間在氮化鎵基板上成長不同線徑大小的奈米線或不同厚度的氧化鋅薄膜,並觀察其特性。我們成功成長出高品質單晶氧化鋅材料並將之應用於元件上,在發光二極體應用方面,我們在成長高品質單晶的m-plane n-type的氧化鋅薄膜於m-plane p-type氮化鎵薄膜基板上,形成p-n異質界面結構。利用標準發光二極體製成方式製作出非極性氧化鋅發光二極體,並量測其光以及電之特性。在感應器方面,由於高品質單晶氧化鋅奈米線容易吸附一些特殊原子,分子。且比表面積大,故許多國際研究團隊以氧化鋅奈米線為感應器材料來感測特定之物質。本實驗室成功成長高品質且不同方向性之氧化鋅奈米結構,利用品質單晶氧化鋅奈米線吸附一些特定原子,分子改變表面電場,進而改變在氮化鎵/氮化鋁鎵高速電子場效電晶體的閘極上電場改變並影響其汲源極之電流,研究氧化鋅奈米線吸附氣體時的特性,並發展氣體偵測器其市場應用潛力。

在石墨烯研究方面,利用化學氣相沉積法在多晶銅基板上成長單層石墨烯薄膜,在本研究其銅箔厚度為 $25 \mu\text{m}$ 。成長石墨烯之化學氣相沉積系統示意圖如圖二所示,將銅箔放置於高溫爐管的中央處並通入20 SCCM 之氫氣,然後將爐管的溫度升高至 950°C ,當溫度到達此製程溫度後,開始通入10 SCCM 之甲烷來成長石墨烯薄膜,成長過程中爐管之壓力維持在300m torr。在本研究中以 1分鐘、3 分鐘、10 分鐘等不同的成長時間來成長石墨烯薄膜,藉由不同的成長時間在銅基板上成長不同大小的石墨烯薄膜並分析其特性。進一步改變氣體流量改變石墨烯薄膜材料品質與特性。

三、 結果與討論

在氮化鎵基板上成長c-plane氧化鋅薄膜的研究方面,以 10 分鐘、20 分鐘以及 30 分鐘的成長時間所成長出的氧化鋅奈米線之直徑分別為 375 ± 25 , 690 ± 35 , 1100 ± 30 ,其厚度隨著成長時間增長而變大。圖三所示為成長時間為 30 分鐘所成長出的氧化鋅薄膜在掃描式電子顯微鏡觀察下之影像圖,由此影像圖可觀察到所成長出的氧化鋅薄膜以六角結構堆積於氮化鎵基板上且分佈均勻。圖四所示為成長時間和氧化鋅薄膜光激螢光發光峰值對應圖,發現隨著氧化鋅薄膜厚度越厚其光激螢光發光峰值有紅移的現象,推測是由於氧化鋅與氮化鎵基板晶格不匹配造成氧化鋅薄膜的應力,隨著氧化鋅薄膜厚度增加應力得以抒發,使得氧化鋅光激螢光發光峰值往低能量偏移。

在非極性的氧化鋅材料成長方面,我們利用有機化學氣相沈積法在r-plane藍寶石基板上成長非極化a-plane 氮化鎵薄膜,並以此非極化a-plane 氮化鎵薄膜作為成長出單晶非極性之a-plane氧化鋅奈米線的基板,由圖四SEM結果發現a-plane氧化鋅奈米線和基板夾角為30度,從a-plane奈米線表面形貌分析其成長機制為vw 模式。與c-plane 氧化鋅奈米線的 S K 模式不同,推測其原因是 a-plane的自由能較低。由圖五X-ray繞射圖得知a-plane氧化鋅奈米線延著(110)方向成長,由圖六穿透式電子顯微鏡數據顯示我們成功成長出高品質低缺陷單晶非極性a-plane氧化鋅奈米線,由此可知a-plane氧化鋅奈米線和基板夾角為30度是因為氧化鋅與氮化鎵基板晶格匹配關係,如圖七所示。

本實驗室成功利用化學氣相沈積法在m-plane p型氮化鎵基板上成長出n型氧化鋅薄膜,並將其做成非極性異質接面發光二極體。其電激螢光發光波長為458奈米,且在不同電流(10, 20, 40mA)的注入下,其發光波長並未產生紅移或藍移現象。氧化鋅發光二極體之結構如圖八所示,我們將氧化鋅成長在p型的氮化鎵上。SEM, PL用來檢測其材料特性,曝光顯影,黃光蝕刻技術將其制作為LED 的結構。圖十顯示出氧化鋅薄膜的低溫PL光譜,其發光峰值在370奈米,幾乎沒有發現波長500奈米的缺陷發光,證明以氧化鋅薄膜維高品質低缺陷的氧化鋅薄膜。圖九為SEM剖面圖。成長時間為一小時的氧化鋅薄膜厚度約為100nm而且具有非常良好之均勻性。原子力顯微鏡顯示其粗糙度約為16nm。其XRD的結果,結果証實其只有(100)方向性的m-plane氧化鋅成長在(100)方向的m-plane氮化鎵基板上。rocking curve的數據顯示出m平面的氧化鋅薄膜之半高寬只有504 arcsec。室溫下的電流電壓曲線,其順向電流當其偏壓為10 V約為12uA,其起使電壓約為6 V。當我們注入不同的電流大小時,如圖十一所示,我們可以見到其電激螢光的波長458奈米不隨電流變化而有所偏移,因為非極化的氧化鋅與氮化鎵材料內建電場幾乎為零,故其不會有因為極化電場所產生之藍位移現象。

利用本實驗室成長出的高品質單晶氧化鋅奈米線為主體結構結合氮化鎵/鋁氮化鎵高電子移動率電晶體High electron mobility transistor (HEMT) 成功制備二氧化碳氣體偵測器。本實驗室成功成長高品質c-plane氧化鋅奈米線,我們以光激螢光光譜,XRD,掃描式電子顯微鏡以及SADP來檢測其光特性。如圖十二所示,氧化鋅奈米線之半徑約為80nm,長度約為 $3.5 \mu\text{m}$ 。低溫光激螢光發光光譜顯示其near band-edge emission的峰值在369奈米,並沒有發現由缺陷所導致的螢光光譜,證明其品質良好並沒有太多缺陷。XRD以及SADP顯示出其晶格品質非常之好而且沿著002面成長的單晶奈米線。

高速電子遷移率電晶體的結構為 $2\mu\text{m}$ 厚的未摻雜的氮化鎵上成長一層厚度為的氮化鋁鎵。我們以乾式蝕刻將其吃出絕緣區，以曝光顯影技術製作出 $50\times 50\mu\text{m}^2$ 的Ohmic contacts。以及 $50\times 50\mu\text{m}^2$ 的閘極區域並將c-plane氧化鋅奈米線鋪在其上。如圖十三所示。在一氧化碳的氣體量測方面，我們將氧化鋅氣體感應器元件放入一個自製的腔體內，並先將其依氮氣充滿。腔體之溫度保持常溫。我們利用電壓供應器提供固定之500 mV的電壓。並隨時間變化，量測當不同濃度之一氧化碳通入腔體時其汲源極電流之變化。如圖十五顯示，我們將濃度由0 ppm 調整為400 ppm and 0 ppm 調整為3200 ppm，分別對於極化以及非極化的氧化鋅奈米線為閘極之場效電晶體，他們分別都顯現出良好的重複性。其電流的變化主要來自於當一氧化碳被吸附在氧化鋅奈米線上時，會釋放出電子使的閘極上的電場改變進而影響到下面的電子通道。我們可以利用此原理將其感應之一氧化碳數量化。在極性的氧化鋅奈米線上，我們將其氣體濃度由1600ppm漸漸地挑降為400ppm，如圖十四所示，我們可以見到其隨著濃度地降低，其電性的變化。此成果發表於Appl. Phys. Lett. 98, 223504 (2011)。

我們成功利用化學氣相沈積法在銅箔成長出大面積單層石墨烯薄膜，成長石墨烯之化學氣相沉積系統示意圖如圖二所示，將銅箔放置於高溫爐管的中央處並通入20 SCCM 之氫氣，然後將爐管的溫度升高至 950°C ，當溫度到達此製程溫度後，開始通入10 SCCM 之甲烷來成長石墨烯薄膜，成長過程中爐管之壓力維持在300m torr。在本研究中以 1分鐘、3 分鐘、10 分鐘等不同的成長時間來成長石墨烯薄膜，藉由不同的成長時間在銅基板上成長不同大小的石墨烯薄膜。成長時間為一分鐘其表面形貌如圖十六所示。其石墨烯大小為2微米的不連續六角形狀，顯示我們成功成長出蜂巢狀的單層石墨烯薄膜。當成長時間為十分鐘時，形成連續的石墨烯薄膜其結晶邊界大小約為3微米。利用拉曼光譜作為分析石墨烯品質及層數的工具。並由拉曼光譜中的 D band 與 G band 的強度比例估算石墨烯薄膜缺陷密度。我們可以發現本實驗成長出的石墨烯薄膜幾乎沒有D band訊號產生，證明石墨烯薄膜缺陷極少。藉由2D band的半高寬和2D/G band的訊號比再次證明我們成功成長出高品質的單層石墨烯薄膜。目前最佳成長條件的石墨烯薄膜其載子飄移率為 $1500\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{S}^{-1}$ ，樣品尺寸為 2×2 公分。相關石墨烯研究成果以發表於Appl. Phys. Lett. 99, 243502 (2011)。

在應用方面，石墨烯具有高透光且導電性良好的特性，是極據應用潛力的的光電元件材料。因為石墨烯的疏水性造成金屬與石墨烯的接觸電阻極大導致元件效率不佳。為了改善石墨烯表面特性使金屬接觸電阻變小提升石墨烯元件效率。為了改善金屬與石墨烯接觸電阻我們將石墨烯經過不同時間臭氧清潔後鍍上鈦金屬實驗流程圖如圖十九所示。利用臭氧清潔石墨烯表面，接觸電阻隨臭氧清潔時間而改變如圖二十所示。若進一步將石墨烯至於氮氣環境下回火，在最佳條件使金屬與石墨烯接觸電阻降低為 $5\text{E}-7$ 。此研究對於石墨烯的應用元件極為重要本研究已投稿至J. Vac. Sci. Technol. B。製作石墨烯元件過程中必然會使用到相關半導體製成及相關化學藥劑，為了了解半導體製程及相關化學藥劑對於石墨烯表面改質特性影響，我們將石墨烯表面經過不同製程與化學藥劑處理後量測電阻變化，其實驗流程圖如圖二十二所示。得到一系列的石墨烯表面改質成果如圖二十三所示。圖二十四顯示隨著溶液的揮發石墨烯的電阻人無法回到原值並由圖二十五顯示石墨烯的拉曼2D band 有偏移現象產生，推論是當石墨烯表面有非極性溶液附著時，破壞石墨烯六角對稱結構有機會形打開石墨烯的bandgap，使得石墨烯的電阻產生變化。此結果已發表J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 30, No. 4, Jul/Aug 2012。

利用石墨烯比表面積大且容易吸付氣體分子的特性，我們成功制備出以單層石墨烯為反應層的氧氣偵測器，利用化學氣相沈積法在銅箔成長出大面積單層石墨烯薄膜並轉印至二氧化矽基板上在兩端鍍上電極。在氧氣的氣體量測方面，我們將石墨烯氣體感應器元件放入一個自製的腔體內，並先將其依氮氣充滿。腔體之溫度保持常溫。我們利用電壓供應器提供固定之500 mV的電壓。並隨時間變化，量測當不同濃度之一氧化碳通入腔體時其汲源極電流之變化。如圖二十六所示。將氧氣濃度由0 % 調整為 1.25% and 0 % 顯現出良好的重複性。其電流的變化主要來自於當氧氣被吸附在石墨烯上時，會改變石墨烯表面載子濃度使得電阻改變如圖二十七所示。我們可以利用此原理將其感應之氧氣數量化。當氣體濃度4.25漸漸地挑降為1.25%時，如圖二十八所示，我們可以見到其隨著濃度地降低，其電性的變化在低於1.25% 的氧濃度情況下，仍可以發現明顯的電流變化。已發表至Appl. Phys. Lett. 99, 243502 (2011).

肆、 結論

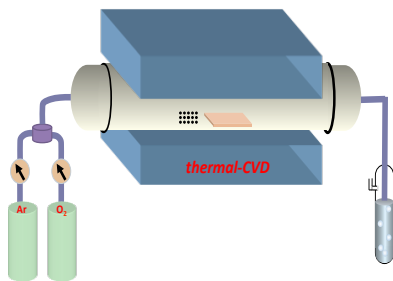
成功以自組裝的化學氣相沈積系統在不同方向性的氮化鎵基板上成長出a, c, m三種不同方向性之氧化鋅薄膜及氧化鋅奈米線。發現沿c軸成長之氧化鋅薄膜厚度越薄其晶格應力越大，這也同時由XRD數據證實氧化鋅薄膜的晶格受應力壓縮。非極化的a-plane 氮化鎵基板成長出單晶非極性之a-plane 氧化鋅奈米線，從a-plane奈米線表面形貌分析其成長機制為vw 模式。與c-plane氧化鋅奈米線的S K模式不同，推測其原因是 a-plane的自由能較低。m-plane p型氮化鎵基板上成長出n型氧化鋅薄膜，並將其做成非極性異質界面發光二極體。其電激螢光發光波長為458奈米，且在不同電流（10，20，40mA）的注入下，其發光波長並未產生紅移或藍移現象，證明無內建電場造成發光波長偏移。材料應用方面，將利用本實驗室成長出的高品質單晶氧化鋅奈米線為主體結構結合氮化鎵/鋁氮化鎵高電子移動率電晶體High electron mobility transistor (HEMT) 成功制備二氧化碳氣體偵測器可測得最低濃度400ppm。此成果發表於Appl. Phys. Lett. 98, 223504 (2011)。

在氧化鋅奈米線應用與感應器方面，氧化鋅奈米線經過氮化鎵/氮化鋁家高速電子遷移率電晶體的放大訊號。在室溫環境之下一氧化碳的感應程度可以到達400ppm。顯示出其對於一氧化碳的偵測具有極大潛力。此結果發表於Appl. Phys. Lett. 98, 223504 (2011)。我們成功利用化學氣相沈積法在銅箔成長出大面積單層石墨烯薄膜，我們藉由調控甲烷與氫氣的流量比例與成長時間控制，可以得到單層碳原子所組成的石墨烯或者是多層石墨烯。並發現在不同甲烷與氫氣的流量比例下，目前最佳成長條件的石墨烯薄膜其載子飄移率為 $1500\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{S}^{-1}$ ，樣品尺寸為 2×2 公分。相關石墨烯研究成果以發表於Appl. Phys. Lett. 99, 243502 (2011)。

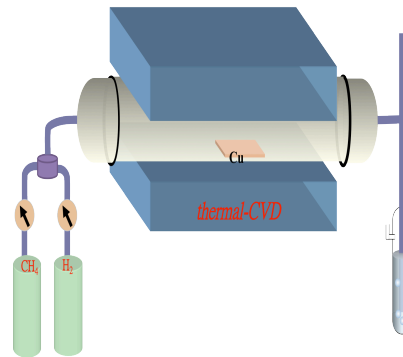
在應用方面，因為石墨烯的疏水性造成金屬與石墨烯的接觸電阻極大導致元件效率不佳。我們成功利用臭氧清潔石墨烯表面改善石墨烯表面特性使金屬接觸電阻變小提升石墨烯元件效率，使金屬與石墨烯接觸電阻降低為未處理前的千分之一。此研究對於石墨烯的應用元件極為重要本研究已投稿至J. Vac. Sci. Technol. B。另外，製作石墨烯元件過程中必然會使用到相關半導體製成及相關化學藥劑，將石墨烯表面經過不同製程與化學藥劑處理後量測電阻變化，得到一系列的石墨烯表面改質成果。發現石墨烯表面有非極性溶液附著時，破壞石墨烯六角對稱結構有機會形打開石墨烯的bandgap，使得石墨烯的電阻產生變化。此結果已發表J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 30, No. 4, Jul/Aug 2012。利用石墨烯比表面積大且容易吸付氣體分子的特性，我們成功制備出以單層石墨烯為反應層的氧氣偵測器，在低於1.25% 的氧濃度情況下，仍可以發現明顯的電流變化。已發表至Appl. Phys. Lett. 99, 243502 (2011)。

四、 参考文献

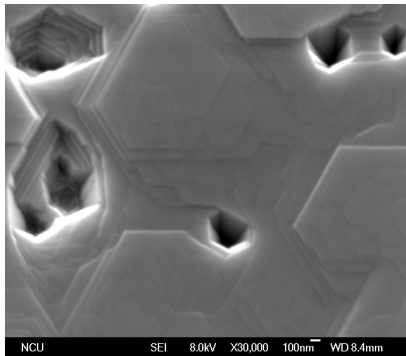
- [1] Claflin B, Look DC, Park SJ, Cantwell G. *J Cryst Growth* 2006;287:16.
- [2] Hwang D-K, Oh M-S, Lim J-H, Park S-J. *J Phys D Appl Phys* 2007;40:R387.
- [3] Pearton SJ, Norton DP, Ip K, Heo YW, Steiner T. *Prog Mater Sci* 2005;50:293
- [4] Pearton SJ, Norton DP, Ip K, Heo YW, Steiner T. *J Vac Sci Technol B* 2004;22:932.
- [5] Coleman VA, Jagadish C. In: *ZnO bulk, thin films and nanostructures*. Oxford: Elsevier; 2006.
- [6] D. M. Bagnall, Y. F. Chen, Z. Zhu, T. Yao, M. Y. Shen, and T. Goto, *Appl. Phys. Lett.* 73, 1038 (1998).
- [7] S. Stankovich, D. A. Dikin, G. H. B. Dommett, K. M. Kohlhaas, E. J. Zimney, E. A. Stach, R. D. Piner, S. T. Nguyen, and R. S. Ruoff, *Nature* 442, 282 (2006).
- [8] S. Watcharotone, *Nano Lett.* 7, 1888 (2007). 8C.-A. Di, D. Wei, G. Yu, Y. Liu, Y. Guo, and D. Zhu, *Adv. Mater.* 20, 3289 (2008).
- [9] X. Wang, L. Zhi, and K. Mullen, *Nano Lett.* 8, 323 (2007).
- [10] H. A. Becerill, J. Mao, Z. Liu, R. M. Stoltenberg, Z. Bao, and Y. Chen, *ACS Nano* 2, 463 (2008).



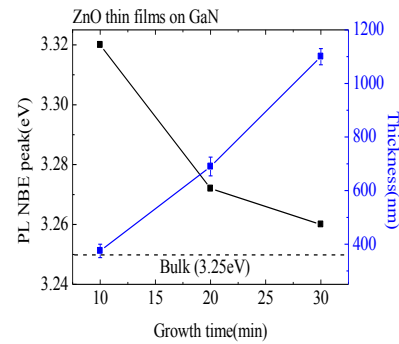
圖一：成長氧化鋅材料化學氣相沈積系統示意圖



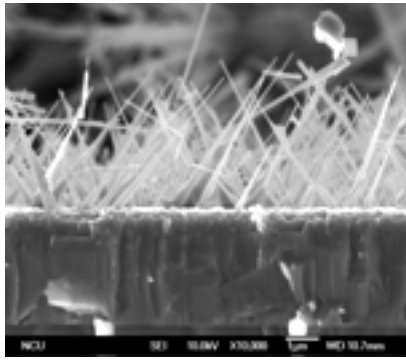
圖二：成長石墨烯薄膜材料化學氣相沈積系統示意圖



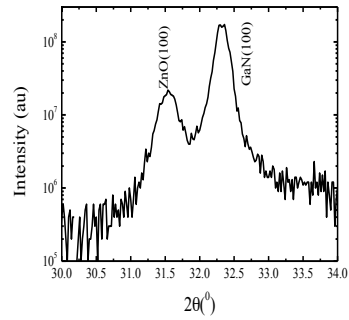
圖三：氧化鋅薄膜之掃描式電子顯微鏡影像圖



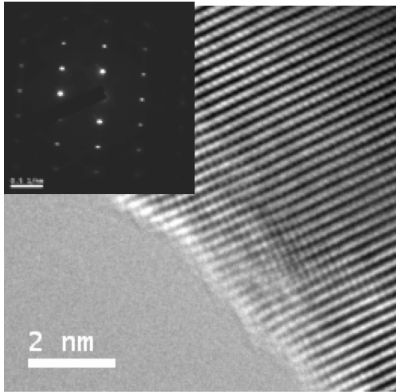
圖四：氧化鋅薄膜厚度與光激螢光發光峰值圖



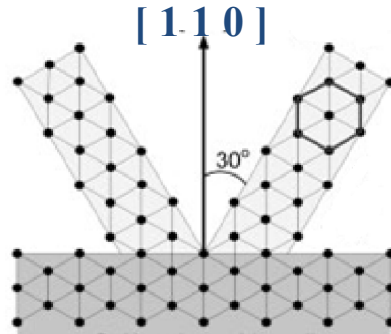
圖四：a-plane氧化鋅奈米線之掃描式電子顯微鏡影像圖



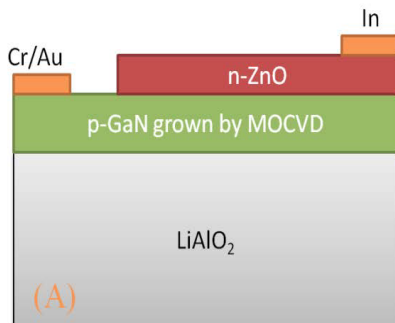
圖五：a-plane氧化鋅奈米線之XRD繞射圖



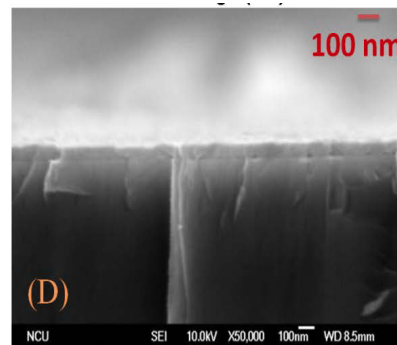
圖六：a-plane氧化鋅奈米線之穿透式電子顯微鏡影像圖



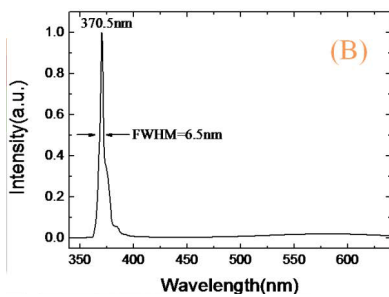
圖七：a-plane氧化鋅奈米線結構示意圖



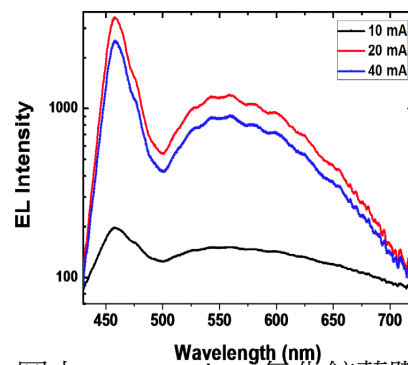
圖八：m-plane氧化鋅發光二極體示意圖



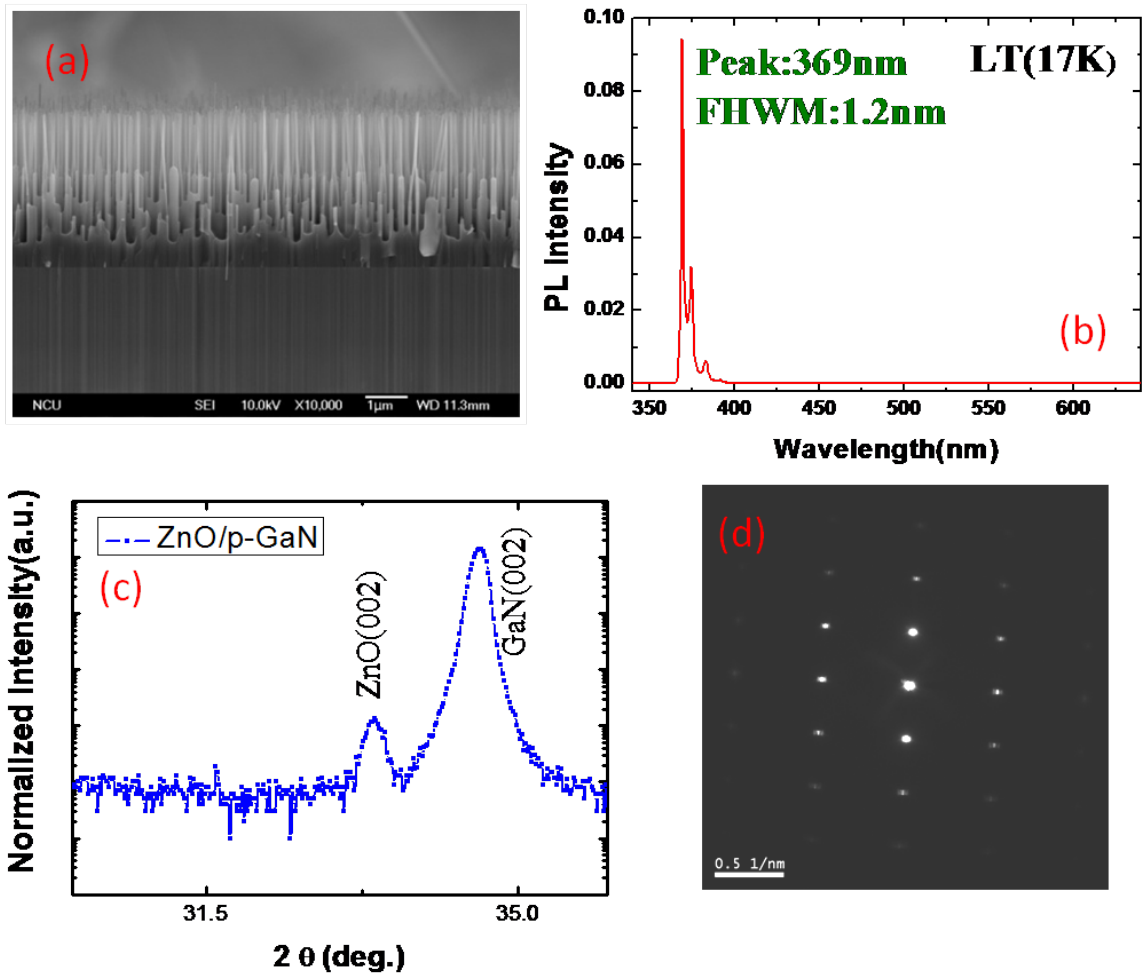
圖九：m-plane氧化鋅薄膜之掃描式電子顯微鏡影像圖



圖十：m-plane氧化鋅薄膜之光激發光發光光譜



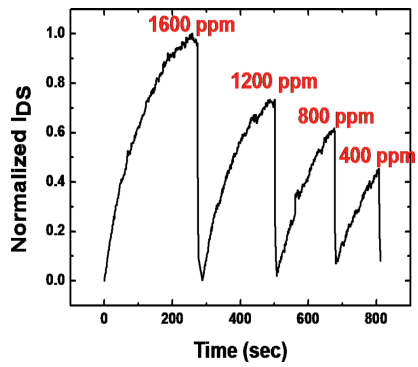
圖十一：m-plane氧化鋅薄膜之電激發光發光光譜



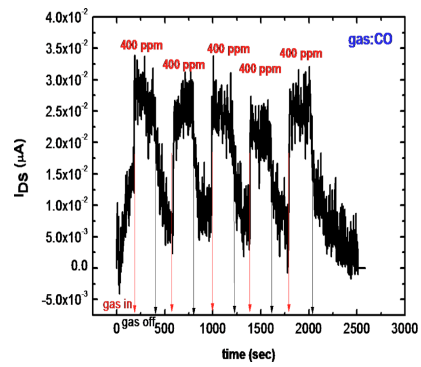
圖十二：c-plane 氧化鋅奈米線表面形貌結構與光學特性分析



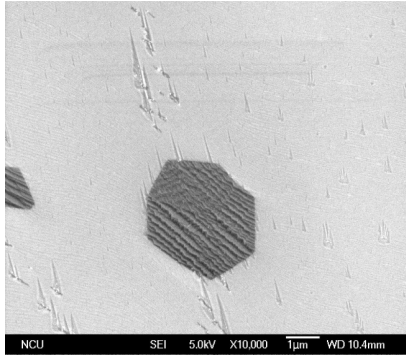
圖十三：元件示意圖



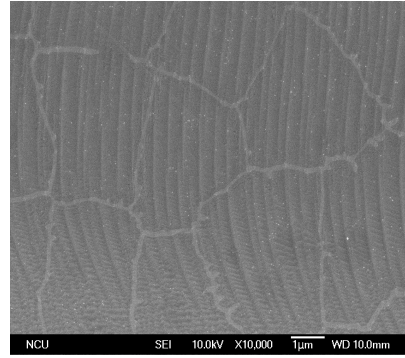
圖十四：隨不同一氧化碳濃度之汲源極電流



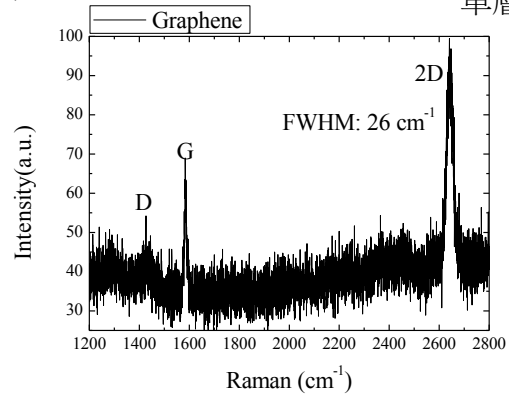
圖十五：氧化鋅奈米線之一氧化碳偵測器之重複性實驗



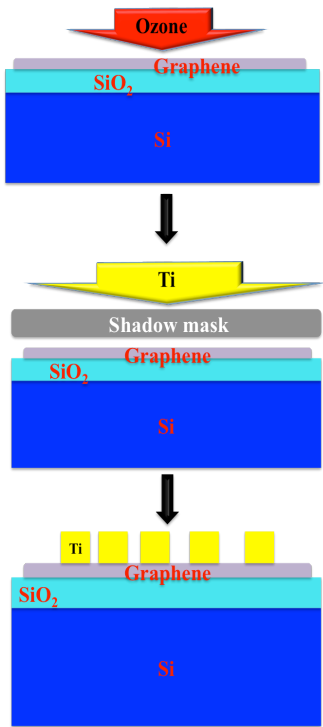
圖十六：成長時間為一分鐘的單層石墨烯薄膜



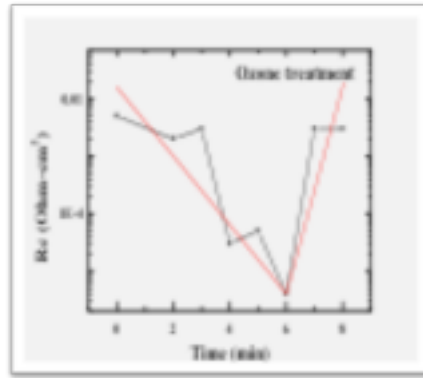
圖十七：成長時間為十分鐘的單層石墨烯薄膜



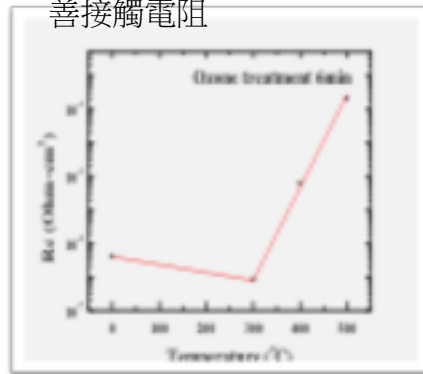
圖十八：單層石墨烯薄膜拉曼光譜分析



圖十九：接觸電阻實驗流程圖



圖二十：不同臭氧清潔時間改善接觸電阻



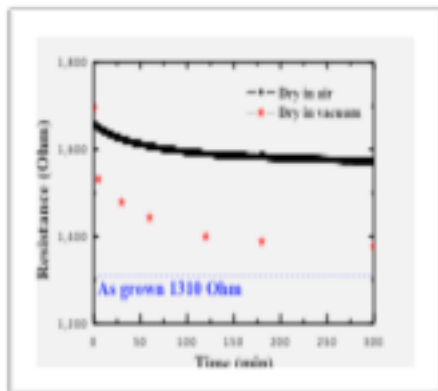
圖二十一：不同回火時間改善接觸電阻



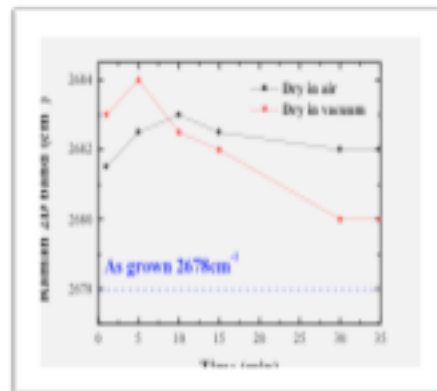
圖二十二：石墨烯電阻製程實驗流程圖

Sample	Treat time (sec)	Resistance (Ohm)
As grown		1310
Acetone/N ₂	10/10	1500
Isopropanol/ N ₂	10/10	1300
Acetone/Isopropanol/N ₂	10/10/10	1300
H ₂ O/N ₂	10/10	1680
H ₂ O/Acetone/Isopropanol/N ₂	10/10/10	1390
Diluted HCl/H ₂ O/N ₂	10/10/10	1580
Diluted Ammonium Hydro-oxide/H ₂ O/N ₂	10/10/10	1600
UV ozone	60	1200
Oxygen plasma 18W	6	>10 ⁶

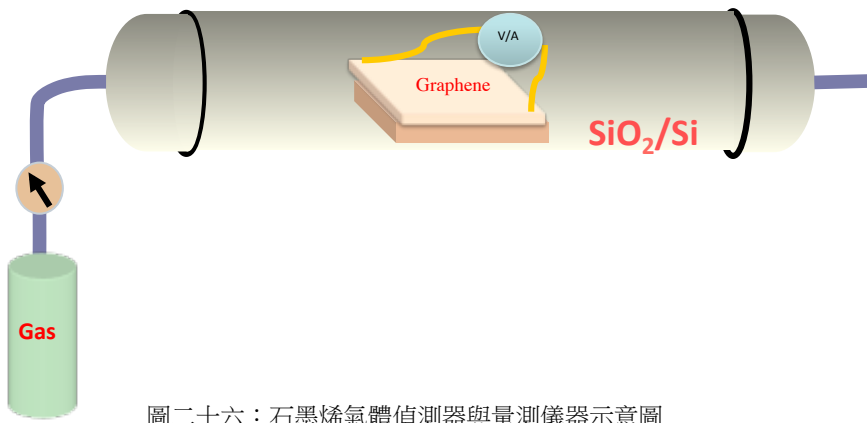
圖二十三：化學溶液與半導體製程對石墨烯電阻影響



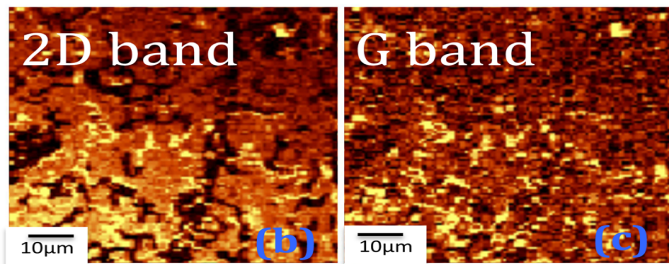
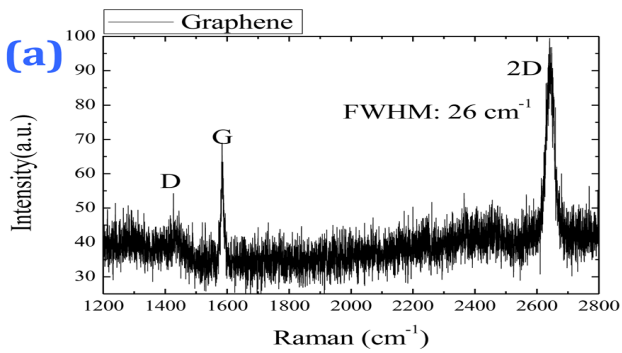
圖二十四：乾燥時間與方式對石墨烯電阻影響



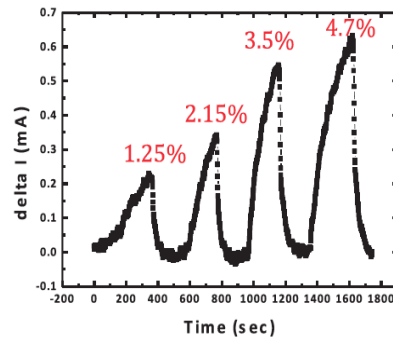
圖二十五：乾燥時間與方式對石墨烯拉曼光譜影響



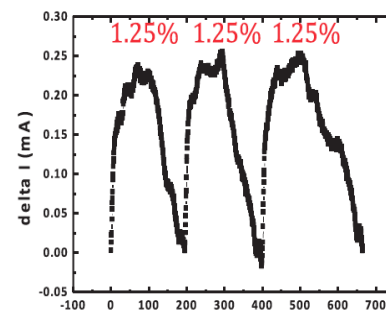
圖二十六：石墨烯氣體偵測器與量測儀器示意圖



圖二十七：石墨烯拉曼光譜圖



圖二十八：隨不同氧氣濃度電流變化



圖二十九：石墨烯氣體偵測器之重複性實驗

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：__年__月__日

計畫編號	NSC 100-2112-M-009-018-		
計畫名稱	石墨烯及氧化鋅/氮化鎵材料之成長及其元件應用		
出國人員姓名	洪聖均	服務機構及職稱	中央大學光電中心，博士後研究員
會議時間	2012年1月21日至 2012年1月26日	會議地點	美國舊金山
會議名稱	(中文) 2012 西方光電會議 (英文) 2012 Photonics West		
發表論文題目	(中文) 1.口頭報告：石墨烯材料製作之氧氣偵測器 2.壁報：在 p 型矽基板上以常壓式有機金屬化學汽相磊晶成長之俱有低表面複合速度之氧化鋁材料 (英文) 1. Oral: Oxygen sensor made by graphene 2. Poster : Low surface recombination velocity on p-type B-doped Si by atmosphere pressure metal-organic chemical vapor deposition grown aluminum oxide		

一、參加會議經過

2012年 SPIE Photonics West 於 1 月 21 日至 26 日共六天在美國加州舊金山(San Francisco, California, USA)的 MOSCONE CENTER 舉行，PW12 會議共約 20000 人參與，1150 名演講人，4200 篇投稿論文，分為五大主題，計 BIOS, OPTO, LASE, MOEMS-MEMS, Green Photonics，65 個子題，24 日至 26 日有光電相關廠商的展覽，展示零組件如磊晶成長的基板，光學顯微鏡，原子力顯微鏡跟真空系統設備等等，以及一些廠商的講座。報告方式分為：口頭報告(Oral presentation) 及壁報論文(Poster presentation)。此次會議投稿接受的文章共近千篇，並有許

多家廠商參展，有台灣、日本、韓國、以及歐美各國學者參與，此會議之重要性由此可見一斑。

二、與會心得

2012年 SPIE Photonics West 於 1 月 21 日至 26 日共六天在美國加州舊金山(San Francisco, California, USA)的 MOSCONE CENTER 舉行，PW12 會議共約 20000 人參與，1150 名演講人，4200 篇投稿論文，分為五大主題，計 BIOS, OPTO, LASE, MOEMS-MEMS, Green Photonics，65 個子題，24 日至 26 日有光電相關廠商的展覽，展示零組件如磊晶成長的基板，光學顯微鏡，原子力顯微鏡跟真空系統設備等等，以及一些廠商的講座。25 日上午由洪聖均博士口頭報告，論文發表在 OPTO 的 Quantum Sensing and Nanophotonic Devices IX 的 Graphene 內，題目為 Oxygen sensors made by monolayer graphene，目的是藉由 graphene 與氧氣產生反應的材料特性，經由電壓電流量測觀察到強度變化情形，可做為氧氣偵測器；晚上去張貼海報，我們的論文發表在 OPTO 的 Physics, Simulation, and Photonic Engineering of Photovoltaic Devices 內，題目為 Low surface recombination velocity on p-type B-doped Si by atmosphere pressure metal-organic chemical vapor deposition grown aluminum oxide，與人分享使用 MOCVD 成長 AlOx 材料於矽基板上的太陽能電池，目的是利用 AlOx 絕緣的特性來降低電子於表面復合的速率，提升太陽能電池的效率，利用一段時間去觀看其他海報，比較印象深刻的是 type of polygon-based high-definition CGHs and its Reconstruction by white light，Hiroshi Yamashita(Japan)用 3D 全像技術透過 IPAD 實體展示，很符合目前 3D 立體科技發展的趨勢，Measurements of off-state electrical stress in InAlN/AlN/GaN heterostructure field-effect transistors with varying In compositions，Romualdo A. Ferreyra(VCU USA)使用 MOCVD 成長晶格匹配的 InAlN barrier 於 GaN 上的 HEMTs 元件，利用 InAlN 材料優於 GaN 的電子遷移率特性來做為通道，在大電流注入於元件時，可得到可靠度較佳的結果，收穫就是成長薄的 InAlN 不會很難(20nm)，且當 InAlN 與 GaN 晶格匹配時會達到無裂紋的成長，製作高品質的元件。在會議上也遇到一些從台灣各個學校去張貼海報及演講的朋友跟師長，成大的許進恭老師，中央電機的綦振瀛老師，交大的余沛慈老師，張正陽老師實驗室的學生，與會的台灣人約 30 人以上。另一個收穫是使用 carmea3.0 的技術製作光場相機，從一位畢業於台大電機的博士口中得知，他被 Lytro 公司從台灣聘到美國研發製造光場相機的相關技術。

三、考察參觀活動(無是項活動者略)

四、建議

國內學界應積極走出國外，與相同領域之專家交換意見。國家也應多編列國外差旅之費用，以增加國內學者之軟實力。以增加競爭力。

五、攜回資料名稱及內容

會議光碟

六、其他

寄件人: <mattn@SPIE.org>
標題: SPIE Paper Number 8256-60 Acceptance and Manuscript Information
日期: 2011年9月21日上午5:10:21 [GMT+08:00]
收件人: shengchun@ufl.edu

Dear Dr. Sheng Chun Hung,

Congratulations! The chairs of the upcoming "Physics, Simulation, and Photonic Engineering of Photovoltaic Devices" conference have accepted your paper, "**Low surface recombination velocity on p-type B-Si by atmosphere pressure metal-organic chemical vapor deposition grown aluminum oxide**," for Poster presentation to be presented 25 Jan 2012. This conference is part of SPIE OPTO which will be held 21-26 January 2012 in San Francisco, California United States.

PLEASE SAVE OR PRINT THIS MESSAGE FOR FUTURE REFERENCE AS IT PROVIDES IMPORTANT DETAILS FOR THIS EVENT.

PAPER TITLE: Low surface recombination velocity on p-type B-Si by atmosphere pressure metal-organic chemical vapor deposition grown aluminum oxide

PAPER NUMBER: 8256-60

PRESENTATION DATE: 25 Jan 2012

PRESENTATION TYPE: Poster

- The decision of oral or poster presentation is made by the conference chair(s)
- See <http://spie.org/x27476.xml> for poster presentation guidelines

PRESENTATION DURATION: 120 minutes (interact with attendees and answer questions)

PREPARE YOUR PRESENTATION AND PROCEEDINGS MANUSCRIPT: <http://spie.org/x27472.xml>

MANUSCRIPT DUE DATE: 23 Dec 2011

- All authors (oral, poster, keynote, and invited) are expected to submit a manuscript containing at least 6 pages. Your work is extremely important and valuable to your fellow researchers, so we look forward to including it in this year's publications.
- The manuscript submission site at <http://myspie.org> will open 5 weeks prior to the deadline.
- The Proceedings volume for this conference will be published shortly after the meeting. Manuscripts will be available on the SPIE Digital Library within 2-4 weeks of the meeting, published in the printed Proceedings volume within 4-6 weeks of the meeting, and published on the CD-ROM 6-8 weeks after the meeting.
- Your presentation must be made as scheduled in order to have your manuscript published in the conference Proceedings.

VIEW THE CURRENT PROGRAM: <http://spie.org/pw>

- For the most up-to-date information, including the conference program and additional conference-related activities. The program is subject to change at any time before or during the conference.
- If you are presenting more than one paper, please check the program online to see if the sessions overlap. If your presentations are at risk of overlapping, please notify me immediately so that we can adjust the program (Email: mattn@spie.org)

COMMUNICATE CHANGES

- If you have changes to your title, abstract, or list of authors for the conference program, please send changes directly to me, mattn@spie.org by 14 November 2011. Changes submitted with your manuscript will not automatically be reflected in the conference program.
- If you are unable to attend and make your presentation, please look for an alternate speaker before canceling. Cancellation dates and reasons are noted in your permanent record. Last-minute cancellations and no-show authors may risk not being accepted to present at future SPIE events. If you or a colleague are unable to make your presentation, please notify me no later than 14 November 2011 so we can remove the presentation from the final program.

REQUEST AN INVITATION LETTER FOR VISA APPLICATION: <http://spie.org/USvisa-info>

- Only authors and coauthors listed on a paper may request invitation letters.
- Because of the number of visa applications and the need for thorough security reviews, the visa application process can take several months. It is strongly encouraged travelers to apply for their visas as early as possible (at least 3 to 4 months before the visa is needed).

BOOK YOUR HOTEL: <http://spie.org/x24983.xml>

All authors (including invited and keynote) are expected to obtain funding for their registration fees, travel, and accommodations, independent of SPIE, through their sponsoring organizations.

REGISTER FOR THE CONFERENCE: <http://spie.org/x14624.xml>

All authors attending the conference must register (**including invited and keynote speakers**).

REGISTRATION DISCOUNTS:

- All author registration rates are discounted.
- Current SPIE Members receive an additional discount.
- Pre-register by 6 January 2012 for \$100 off the onsite rate (prices online reflect this discount).

PRESENT A BETTER PAPER:

Take one of these new online courses from SPIE. These courses are free for Members and \$150 for non-members. Find out more about:

- Effective Technical Presentations at <http://spie.org/WS897>
- Effective Scientific Papers at <http://spie.org/WS908>

SPIE Contact Information:

Please include your SPIE Paper Number in the subject line of all Email correspondence.
For questions about your presentation, or the meeting, contact me at mattn@spie.org.
For questions about your manuscript, contact Kristina Nelson at kristinah@spie.org.

This year's event includes an outstanding selection of presenters and we look forward to your participation!

Matthew Novak
Conference Program Coordinator
Conference Programs & Proceedings
SPIE
Tel: +1 360 676 3290
Fax: +1 360 647 1445
mattn@spie.org

SPIE.org
SPIE is an international society advancing an interdisciplinary approach to the science and application of light.

寄件人: <mattn@SPIE.org>
標題: SPIE Paper Number 8268-73 Acceptance and Manuscript Information
日期: 2011年9月21日上午7:58:01 [GMT+08:00]
收件人: shengchun@ufl.edu

Dear Dr. Sheng Chun Hung,

Congratulations! The chairs of the upcoming "Quantum Sensing and Nanophotonic Devices IX" conference have accepted your paper, "**Oxygen sensor made by graphene**," for Oral presentation to be presented 25 Jan 2012. This conference is part of SPIE OPTO which will be held 21-26 January 2012 in San Francisco, California United States.

PLEASE SAVE OR PRINT THIS MESSAGE FOR FUTURE REFERENCE AS IT PROVIDES IMPORTANT DETAILS FOR THIS EVENT.

PAPER TITLE: Oxygen sensor made by graphene

PAPER NUMBER: 8268-73

PRESENTATION DATE: 25 Jan 2012

PRESENTATION TYPE: Oral

- The decision of oral or poster presentation is made by the conference chair(s)
- See <http://spie.org/x27475.xml> for oral presentation guidelines

PRESENTATION DURATION: 15 minutes (including Q&A)

PREPARE YOUR PRESENTATION AND PROCEEDINGS MANUSCRIPT: <http://spie.org/x27472.xml>

MANUSCRIPT DUE DATE: 14 Nov 2011

- All authors (oral, poster, keynote, and invited) are expected to submit a manuscript containing at least 6 pages. Your work is extremely important and valuable to your fellow researchers, so we look forward to including it in this year's publications.
- The manuscript submission site at <http://myspie.org> will open 5 weeks prior to the deadline.
- The Proceedings volume for this conference is "On-Site," which means that the volume will be prepared and printed before the meeting, and made available at the conference. Manuscripts will be available on the SPIE Digital Library on the first day of the conference, and the printed Proceedings will be available at the SPIE Marketplace at Photonics West. Because the CD-ROM is dependent upon other volumes for compilation, it will be available 6-8 weeks after the meeting.

VIEW THE CURRENT PROGRAM: <http://spie.org/opto>

- For the most up-to-date information, including the conference program and additional conference-related activities. The program is subject to change at any time before or during the conference.
- If you are presenting more than one paper, please check the program online to see if the sessions overlap. If your presentations are at risk of overlapping, please notify me immediately so that we can adjust the program (Email: mattn@spie.org)

COMMUNICATE CHANGES

- If you have changes to your title, abstract, or list of authors for the conference program, please send changes directly to me, mattn@spie.org by 14 November 2011. Changes submitted with your manuscript will not automatically be reflected in the conference program.
- If you are unable to attend and make your presentation, please look for an alternate speaker before canceling. Cancellation dates and reasons are noted in your permanent record. Last-minute cancellations and no-show authors may risk not being accepted to present at future SPIE events. If you or a colleague are unable to make your presentation, please notify me no later than 14 November 2011 so we can remove the presentation from the final program.

REQUEST AN INVITATION LETTER FOR VISA APPLICATION: <http://spie.org/USvisa-info>

- Only authors and coauthors listed on a paper may request invitation letters.
- Because of the number of visa applications and the need for thorough security reviews, the visa application process can take several months. It is strongly encouraged travelers to apply for their visas as early as possible (at least 3 to 4 months before the visa is needed).

BOOK YOUR HOTEL: <http://spie.org/x24983.xml>

All authors (including invited and keynote) are expected to obtain funding for their registration fees, travel, and accommodations, independent of SPIE, through their sponsoring organizations.

REGISTER FOR THE CONFERENCE: <http://spie.org/x14624.xml>

All authors attending the conference must register (**including invited and keynote speakers**).

REGISTRATION DISCOUNTS:

- All author registration rates are discounted.
- Current SPIE Members receive an additional discount.
- Pre-register by 6 January 2012 for \$100 off the onsite rate (prices online reflect this discount).

PRESENT A BETTER PAPER:

Take one of these new online courses from SPIE. These courses are free for Members and \$150 for non-members. Find out more about:

- Effective Technical Presentations at <http://spie.org/WS897>
- Effective Scientific Papers at <http://spie.org/WS908>

SPIE Contact Information:

Please include your SPIE Paper Number in the subject line of all Email correspondence.

For questions about your presentation, or the meeting, contact me at mattn@spie.org.
For questions about your manuscript, contact Andrea Heimer at andrea@spie.org.

This year's event includes an outstanding selection of presenters and we look forward to your participation!

Matthew Novak
Conference Program Coordinator
Conference Programs & Proceedings
SPIE
Tel: +1 360 676 3290
Fax: +1 360 647 1445
mattn@spie.org

SPIE.org
SPIE is an international society advancing an interdisciplinary approach to the science and application of light.

**Low surface recombination velocity on p-type B-doped Si by
atmosphere pressure metal-organic chemical vapor deposition grown
aluminum oxide**

S. C. Hung^{1*}, C. F. Lin², C. H. Yang², S. M. Lan^{2,3}, T. N. Yang³, W. Y.
Uen², Y. H. Chien⁴ and G. C. Chi⁵

¹Optical Science Center, National Central University, Jhong-Li 320, Taiwan

²Department of Electronic Engineering, College of Electrical Engineering
and Computer Science, Chung-Yuan Christian University, Chung-Li 32023,
Taiwan

³ Institute of Nuclear Energy Research Atomic Energy Council, Longtan,
Taoyuan 32546, Taiwan

⁴Department of Optics and Photonics, National Central University, Jhong-Li
320, Taiwan

⁴Department of Photonics, National Chiao Tung University, Hsinchu 300,
Taiwan

Corresponding author : shengchun@ufl.edu

abstract

Aluminum oxide layers can provide excellent passivation for lowly and highly doped p-type silicon surface. Fixed negative charges induce an accumulation layer at the p-type silicon interface, resulting in very effective field-effect passivation. In this work, we demonstrate highly negatively charged aluminum oxide layers grown by atmosphere pressured metal-organic chemical vapor deposition, leading to very low effective recombination velocities 35cm^{-1} on low-resistivity p-type substrate. Further detail will shown in the conference.

Oxygen sensor made by Graphene

C. W. Chen², S. C. Hung¹, Y. H. Chien², Y. P. Huang², C. Y. Shieh³, and G. C. Chi⁴

¹Optical Science Center, National Central University, Jhong-Li 320, Taiwan

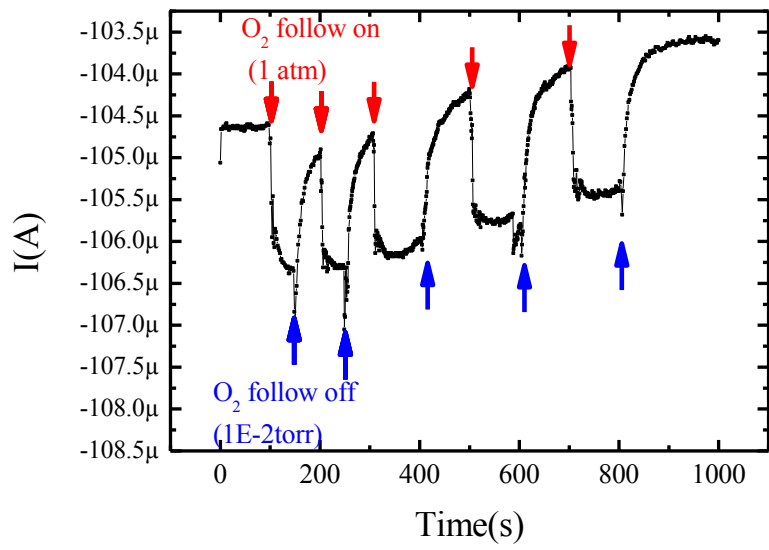
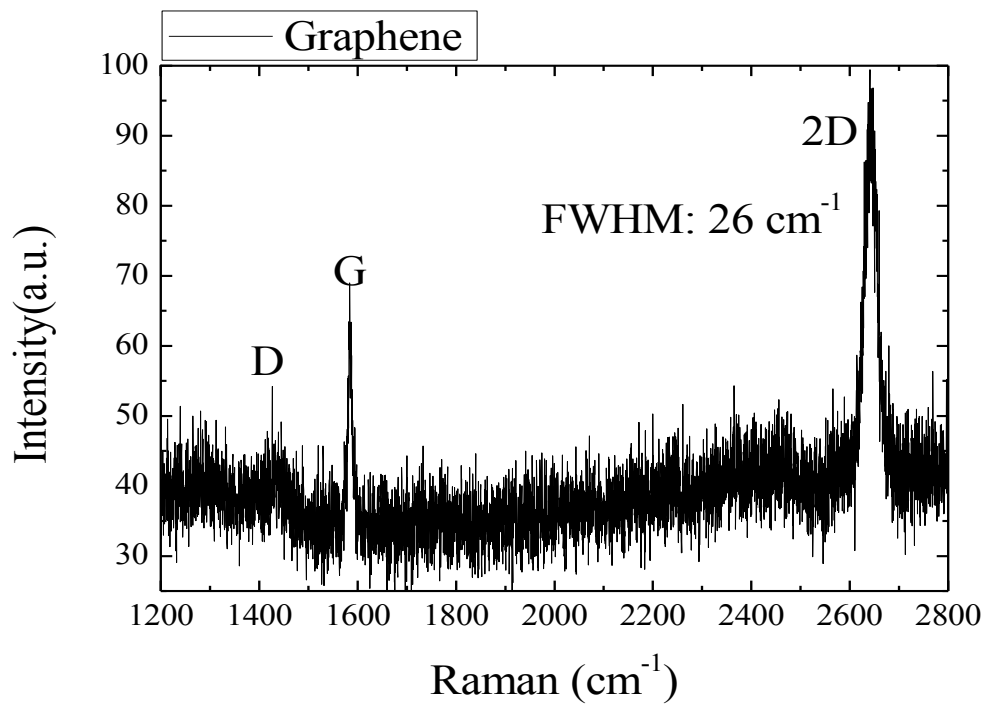
²Department of Physics, National Central University, Jhong-Li 320, Taiwan

³Department of Optics and Photonics, National Central University, Jhong-Li 320,

Taiwan

⁴Department of Photonics, National Chiao Tung University, Hsinchu 300, Taiwan

Graphene is a promising material in lots of applications, such as transparent contact layer for optoelectric devices and biosensor. In our previous work, we demonstrate a minipressure sensor made by functionized gated AlGa_N/Ga_N HEMTs. In this study, we will demonstrate another minipressure sensor made by CVD grown graphene with metal contact. The sheet resistivity of graphene is highly dependent with different concentration of oxygen in the testing chamber. The results shows the potential of the application of graphene in oxygen gas sensor.



國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/10/26

國科會補助計畫	計畫名稱: 石墨烯及氧化鋅/氮化鎵材料之成長及其元件應用
	計畫主持人: 紀國鐘
	計畫編號: 100-2112-M-009-018- 學門領域: 光電物理－實驗
無研發成果推廣資料	

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：紀國鐘		計畫編號：100-2112-M-009-018-					
計畫名稱：石墨烯及氧化鋅/氮化鎵材料之成長及其元件應用							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （本國籍）	碩士生	5	0	100%	人次	
		博士生	2	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			
國外	論文著作	期刊論文	4	2	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	5	2	100%		
		專書	0	0	100%	章/本	
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 （外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
博士後研究員		0	0	100%			
專任助理		0	0	100%			

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>無</p>
--	----------

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

在石墨烯成長以及元件應用上，我們發表之論文，包含臭氧處理，化學藥劑處理，以及成長機制，感應器之應用，對後續石墨烯材料的研發都有極為重要的價值。

在氧化鋅奈米線成長及應用方面，非極化的氧化鋅奈米線之光電特性應用以及感應器元件發展亦佔有一定之重要特性。