

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

氮化鎵銻多重量子井及超晶格結構光電特性之研究(2/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2112-M-009-039-

執行期間：91年08月01日至92年10月31日

執行單位：國立交通大學電子物理學系

計畫主持人：楊賜麟

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 9 月 20 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 氮化鎵銦多重量子井及超晶格結構光電特性之研究(2/2)

### Optoelectronic Properties of Structures and Devices of InGaN Quantum Wells and Superlattices (2/2)

計畫編號： NSC 91-2112-M-009 -039 -

執行期限：91年8月1日至92年10月31日

主持人：楊賜麟 slyang@mail.nctu.edu.tw 交通大學電子物理系

計畫參與人員：張國彬、陳姿均、李國勝、王世賢 交通大學電子物理系

#### 中文摘要

本計畫探討氮化鎵銦量子井或超晶格結構的光電特性，並製作氮化鎵銦量子井或超晶格發光二極體及其他相關的結構與元件，測量此等元件與結構的光電特性，進而模型化分析氮化鎵銦量子井或超晶格發光二極體的操作特性。

前期計劃中，我們利用束傳遞法 (beam propagation method) 來計算GaN/InGaN/GaN多重量子井及超晶格結構的能階與次能帶的大小，及溫度變化下這些結構的能階與次能帶隨溫度變化的關係。以光激冷光 (PL) 及光調制反射光譜 (PR) 的方法，量測分析GaN/InGaN/GaN多重量子井及超晶格結構的光電特性。同時，我們製備並分析透明導電層/GaN間的歐姆接觸及蕭基接觸的工作。以所設計、製備而成的金屬接觸利用傳輸線模型 (transmission line model, TLM)，來測量分析導電層與GaN間的歐姆接觸比率電阻 (specific contact resistance)；蕭基接觸方面，除了以傳統的電流 - 電壓 (I-V)、電容 - 電壓 (C-V) 測量方法外，我們也以光調變反射光譜技術測量分析導電層與GaN間的蕭基位障高度。

在第二年度計劃中，我們將補強前期研究未臻完善之處，並進行GaN/InGaN/GaN多重量子井及超晶格發光二極體的製作與特性量測分析。另外，我們亦製作了並測量分析比較金半金 (MSM) 光偵測器的特性表現，實驗結果顯示簡單的製程即可獲得紫外光的光偵測器，也多提供了GaN材料的應用領域。

**關鍵詞：**氮化鎵銦、量子井、超晶格、接觸比率電阻、金半金光偵測器、發光二極體、

#### Abstract

In this project, we mainly study electronic and optical properties of GaN/InGaN/GaN multiple quantum-well and superlattice structures and devices, such as metal-semiconductor-metal (MSM) photodetectors and light emitting diodes (LED), based on a two-year planning.

By using beam propagation method (BPM), we calculated the confined energy levels and energy sub-bands as function of temperature of multiple quantum-well and superlattice structures. Consequently, we measured and analyzed photoluminescence (PL) and photoreflectance (PR) spectra of prior prepared samples to demonstrate the accuracy of theoretical simulation modeling. Meanwhile, we study the electrical property of GaN with overlaying transparent metal alloys in the first year. By employing the transmission line model (TLM), specific contact resistance of such constructed metal-semiconductor junctions was retrieved. The Schottky barrier height of rectifying MS junction was measured not only by using current-voltage and capacitance-voltage methods, but also using photoreflectance technique.

In the end of this year and the second year, we continue to enhance the unsatisfied resulting part of this year planning and to make and characterize GaN/InGaN/GaN devices with multiple quantum-well or superlattice structure. Pursuing electronic and optical properties of GaN/InGaN/GaN multiple quantum-well and superlattice structures is the main purpose of this project. Through physically examining the device constructed details to fulfilling the application need is the side aim of this project.

**Keywords:** InGaN, quantum well, superlattice, TLM, MSM detector, LED

## 計畫緣由與目的

近年來,氮化鎵(GaN)系列的材料已成為半導體材料的注目的焦點<sup>1, 2</sup>, 各半導體研究機構莫不傾力研究氮化鎵類的磊晶材料與其物理特性, 並進行光電元件的開發與應用。

目前, 氮化鎵系列的材料在元件的應用上以發光二極體(light emitting diode, LED)<sup>3-5</sup>為主。國內、外光電半導體廠多有進行開發與生產, 商品化的氮化鎵發光二極體亦多有所見。這些光電元件或著眼於增強的發光效率或針對所需光的波長限制, 其結構上多有GaN/InGaN/GaN類的量子井發光區域。本計劃進行GaN/InGaN/ GaN多重量子井及超晶格(superlattice)結構及光電元件的特性研究。

另外, 考慮了元件製作以印證其操作特性及元件製程中, 我們在此二年的時間內執行GaN/InGaN/GaN多重量子井及超晶格結構的光電特性研究外, 製作了GaN/ InGaN/GaN多重量子井或超晶格結構的發光二極體, 期望能成為一較為完整而連續的研究計劃。

GaN/InGaN/GaN發光二極體受於絕緣基板—藍寶石不導電的限制, 其結構大異於一般常見發光二極體的結構。近年來, 開發出近透明的導電層—Au/Ni, Au/Ti以作為表面電極<sup>6, 7</sup>, 其與GaN間的歐姆接觸比率電阻(specific contact resistance)或蕭基接觸(Schottky contact)等問題都是頗值得探討的題目。前者或有較多的研究文獻報告<sup>6-8</sup>, 而後者可說少見有類似的研究在進行中<sup>9</sup>, 而其研究成果亦可做為製作金屬—半導體—金屬(MSM)<sup>9, 10</sup>光偵測器的評估基礎。除了原預定執行的計劃內容外, 我們也投注力部分心力進行InAs量子點的光電特性<sup>11-13</sup>研究, 獲得稍微令人滿意的結果。

整體而言, 在本計劃中我們主要完成了

- (1) BPM 程式以計算理想介面條件(無壓電效應及量子點結構)下 GaN/InGaN/GaN 量子井與超晶格結構之電子能態。
- (2) 量測及分析 GaN 及 GaN/InGaN/GaN 量子井之 PL 及 PR 之光譜響應(如圖 1)。

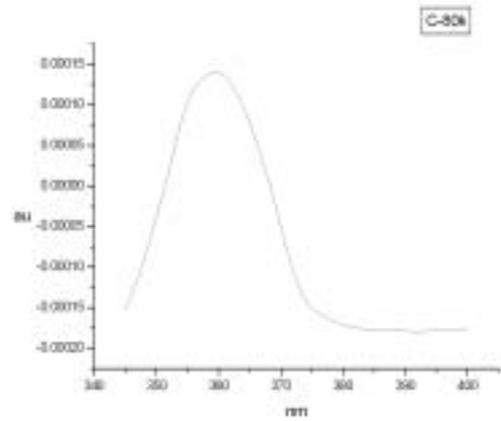


圖 1-a 室溫下, GaN 的 PL 光譜曲線。

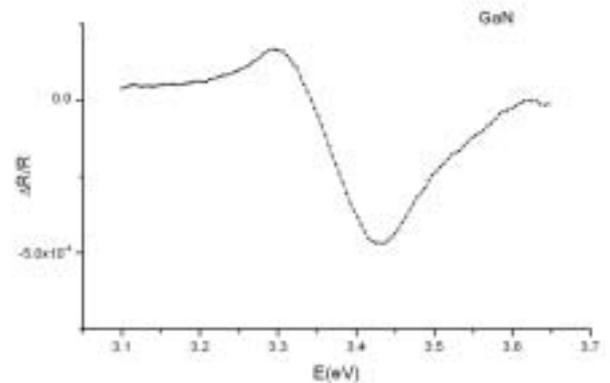


圖 1-b 室溫下, GaN 的 PR 光譜曲線。

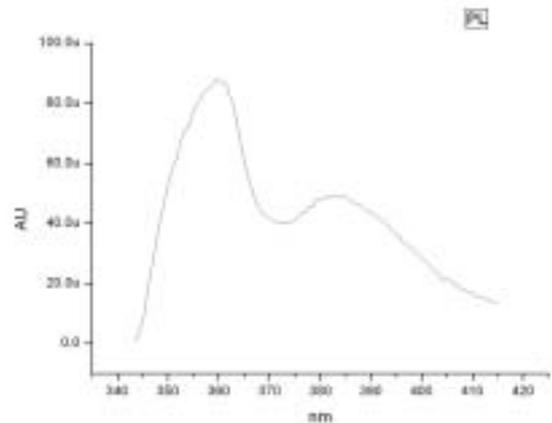


圖 1-c 室溫下, GaN/InGaN/GaN LED 結構的 PL 光譜曲線(短波長部分)。

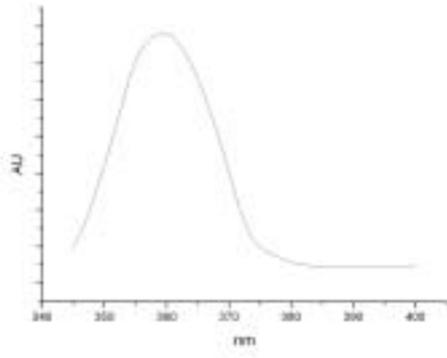


圖 1-d 室溫下，GaN/InGaN/GaN 結構的 PL 光譜曲線(長波長部分)。

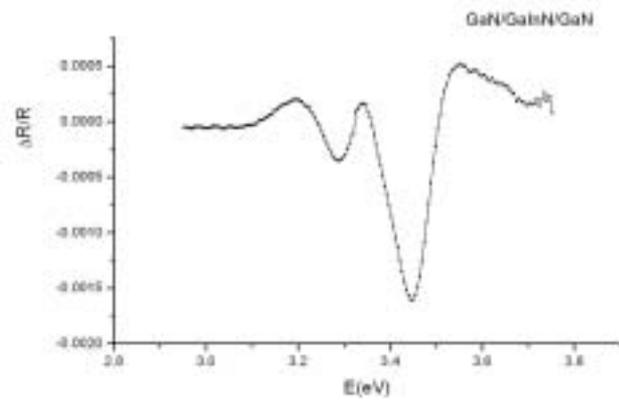


圖 1-e 室溫下，GaN/InGaN/GaN 結構的 PR 光譜曲線。

(3)設計及成長 GaN/InGaN/GaN LED 結構(如圖 2)以及設計製備光罩(如圖 3)進行製程實驗，作為其後 LED 元件製程之參考及評估依據。

p-GaN	0.16um
InGaN(MQW, superlattice)	0~0.1um
n-GaN	3um
Substrate(Sapphire)	450um

圖 2 GaN/InGaN/GaN LED 結構。

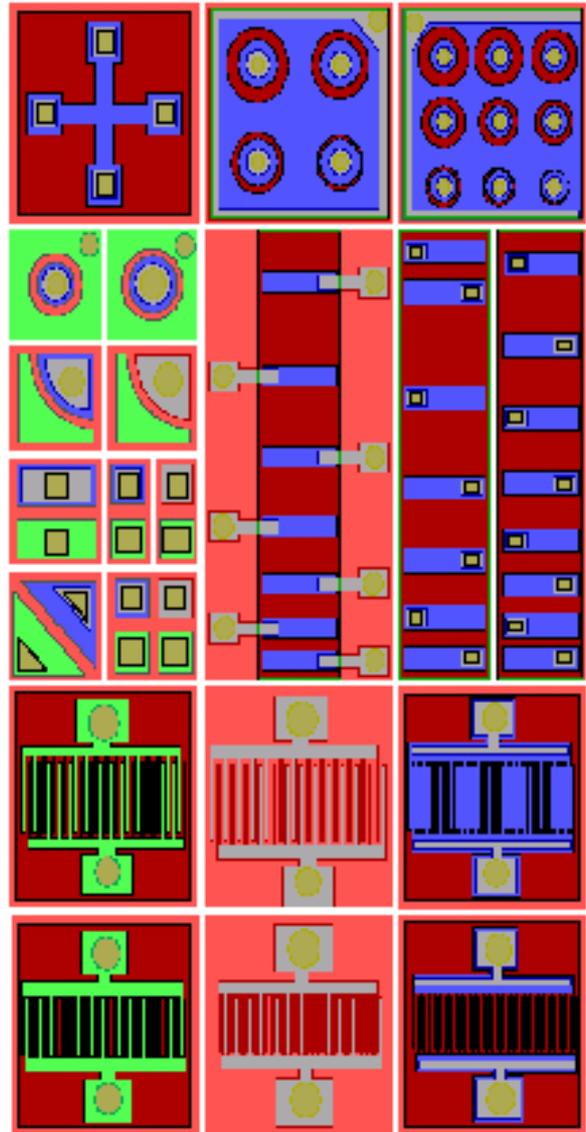


圖 3 三層光罩設計。

(4)設計光罩及相關製程(如圖 3)，同時完成

(4-a)TLM 與 CTLM 結構以測量分析金半(各種製備條件的金屬薄膜/p-GaN)之接觸比例電阻(如圖 4)。

(4-b)各種幾何形狀及尺寸的金屬薄膜/P-GaN 及金屬薄膜/N-GaN)之蕭基接面二極體以 I-V 及 C-V 法測量各種金半接面之蕭基位障(如圖 5)。

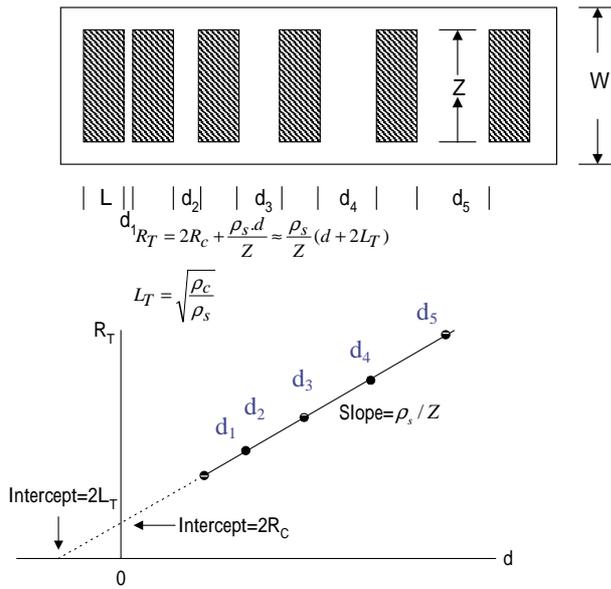


圖 4-a TLM 測量接觸比例電阻原理示意圖。

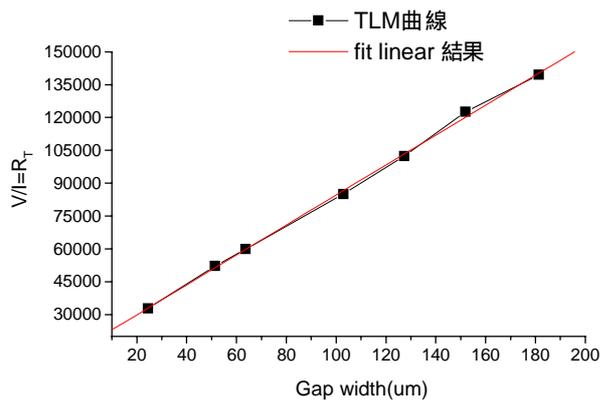


圖 4-b TLM 量測與擬合結果。

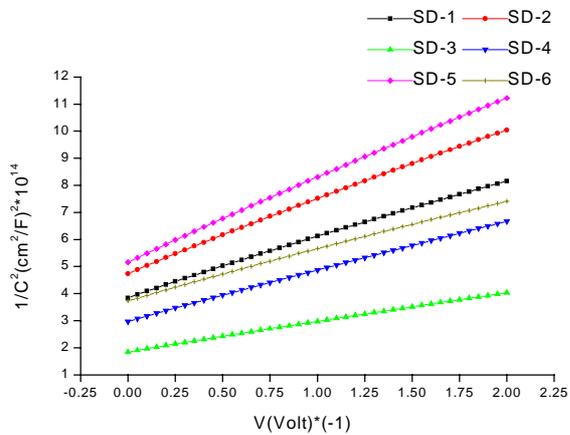
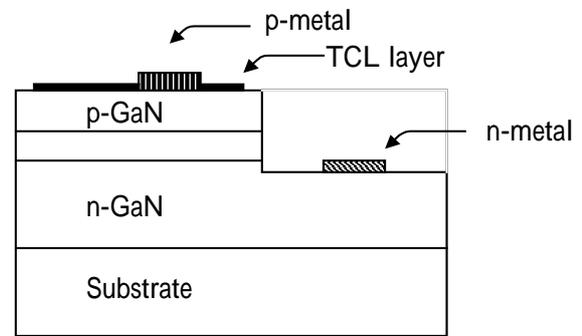


圖 5 各種金半界面之 C-V 關係曲線。

(5) 氮化鎵銦多重量子井發光二極體的製作與特性量測分析(如圖 6 ~ 9)



(a)



(b)

圖 6 發光二極體元件(a)俯視圖(b)剖面圖

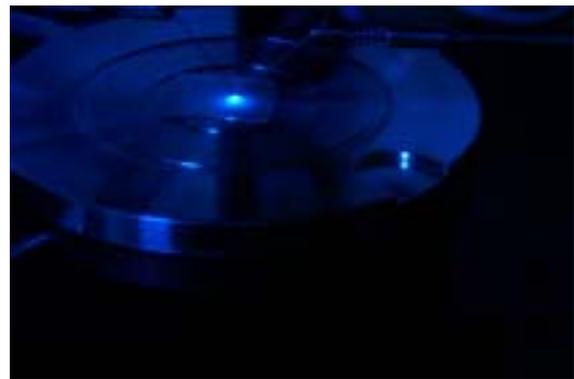


圖 7 藍光發光二極體發光情形

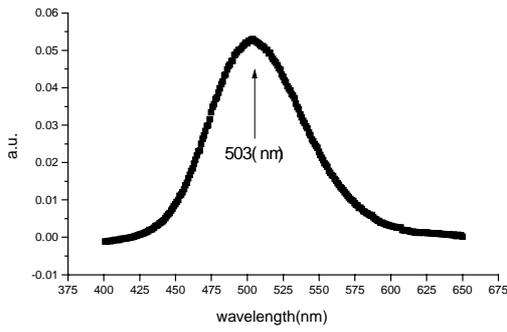


圖 8 發光二極體發光頻譜

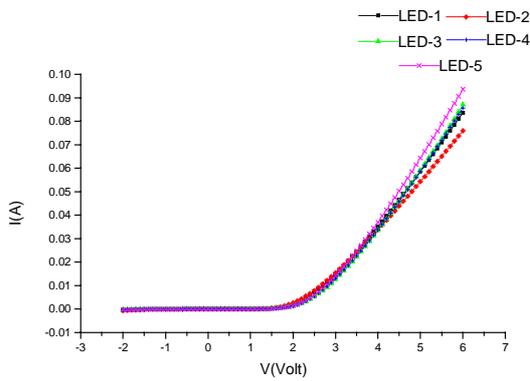


圖 9 不同材料與結構發光面積的發光二極體之 I-V 特性曲線

表 1 發光二極體的量測數據

	發光面積 ( $\times 10^{-4} \text{ cm}^2$ )	理想 $n_f$	飽和電流密 $J_s (\text{A/cm}^2)$	串聯電 $R_s (\text{ohm})$	工作電壓 ( $I = 20 \text{ mA}$ )
LED	7.5	4.346	$5.703 \times 10^{-3}$	40.69	3.342
LED	13.18	4.801	$3.603 \times 10^{-2}$	48.72	3.369
LED	3.47	4.814	$7.094 \times 10^{-3}$	37.54	3.258
LED	4.63	4.106	$1.659 \times 10^{-2}$	40.54	3.340
LED	3.81	4.791	$8.023 \times 10^{-3}$	37.50	3.239

(6) 各種 MSM 光偵測器的製作與特性量測分析(如圖 10 ~ 13)。

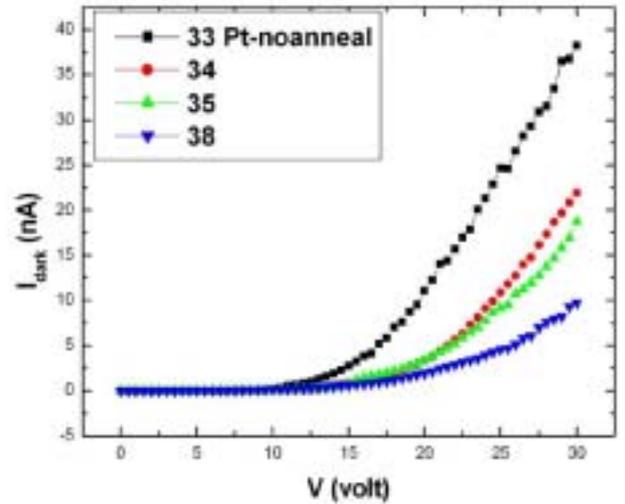


圖 10 各種結構尺寸 MSM 光偵測器之暗電流。

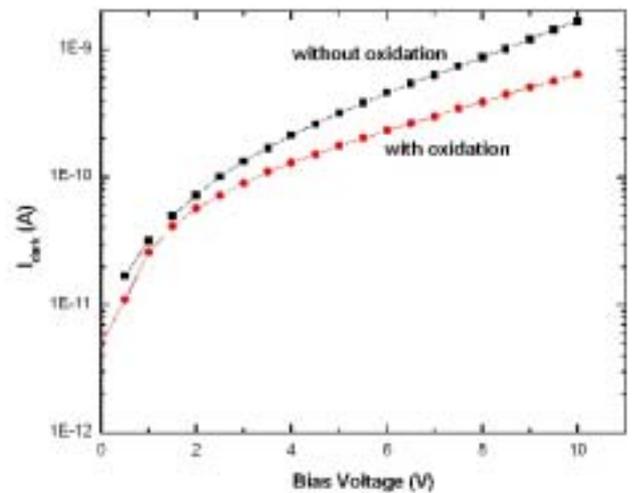


圖 11 MSM 光偵測器表面氧化對暗電流大小的影響。

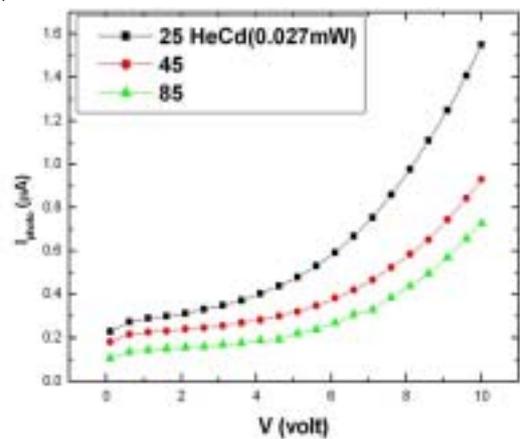


圖 12 MSM 光偵測器光電流大小及其結構尺寸的關係。

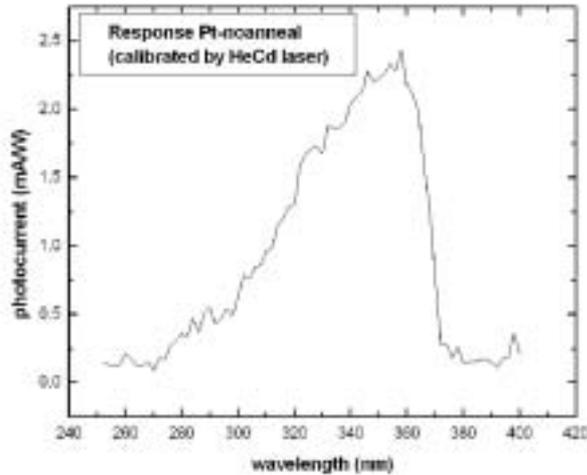


圖 13 Pt-MSM 光偵測器光頻譜響應。

(7) InAs 量子點的光電特性量測與分析(如圖 14)，其中，我們對量子點中載子的行為表現做了相當具深度的分析討論，於此不及備載說明。

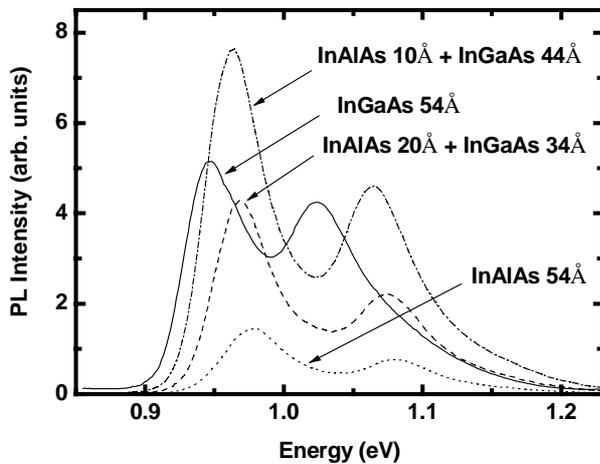


圖 14 各種結構 InAs 量子點之 PL 光譜。

### 計畫成果自評

本計畫執行內容與原計畫相符，另增加了製作及特性量測 MSM 光偵測器的部分及 InAs 量子點光電特性的量測與分析。理論上，我們目前已可以 BPM 法模擬計算 GaN/InGaN/GaN 量子井及超晶格的電子能態；實務上，當 In 成分較高時的量子結構尚需考慮壓電效應及組合成量子點的效應，這些考慮我們將於後期完成。巧妙的設計光罩，使

我們可於同一製程內完成(1)TLM 結構以求金半的接觸比率電阻、(2)各種尺寸結構的金半二極體並以 I-V 及 C-V 方法測得蕭基位障、以及 (3)MSM 光偵測器與光導(photoconductive)偵測器以進行此類光電元件的特性表現。前期較著重於製程與測量等實驗改進，不及做較有系統的分析整理工作，預期在本年度後期及第二年度計劃內原僅規劃的 LED 製作與特性量測時程內，我們因前期累積的製程經驗可提供更多餘力對整體的第二年度計劃做出最好的的成果。

本計劃的執行成果除了於期中參加研究會發表論文如下外：

1. K.P. Chang, R. S. Hsiao, C. M. Lin, Y. W. Lui, and S. L. Yang, (2004), "Photoluminescence study on the self-assembled InAs/GaAs quantum dots with InAlAs/InGaAs composite strain reduced layers" Annual Meeting of Physical Society of the Republic of China '03, Hsinchu, Taiwan, Feb. 9-11.
2. Z. C. Chen, D. S. Tsai, K. P. Chang, and S. L. Yang, (2004), "Fabrication and Characterization of Pt/GaN MSM Photodetectors" Annual Meeting of Physical Society of the Republic of China '03, Hsinchu, Taiwan, Feb. 9-11
3. K.S. Lee C.J. Pan S.S. Wang, and S.L. Yang (2003), "Fabrication and Characterization of GaN Light Emitting and Schottky Diodes," Annual Meeting of Physical Society of the Republic of China '02, Hualien, Taiwan, Feb. 12-14.
4. J.J. Chen, J.L. Wu, K.P. Chang, and S.L. Yang (2003), "Fabrication and Characterization of GaN Metal-Semiconductor-Metal Detectors," Annual Meeting of Physical Society of the Republic of China '02, Hualien, Taiwan, Feb. 12-14.

我們於本年度5月中整理完成論文

*Characterization of self-assembled InAs quantum dots with InAlAs/ InGaAs strain-reduced layers by photoluminescence spectroscopy*

K.P. Chang, S.L. Yang\*, D.S. Chuu, R. S. Hsiao, J.F. Chen

Department of Electrophysics

National Chiao Tung University, Hsinchu 300 Taiwan, R.O.C

L. Wei, J. S. Wang, and J. Y. Chi

Industrial Technology Research Institute,  
Hsinchu 300, Taiwan  
\* email: slyang@mail.nctu.edu.tw

投稿至 Journal of Applied Physics，預期可有接受發表的結果。

## 參考文獻

- 1.D. E. Aspnes, "Modulation spectroscopy /electric field effects on the dielectric function of semiconductors", Optical Properties of Solids, M. Balkanski ed., New York, North-Holland, vol.2, pp109-154 (1980).
- 2.H. Shen and M. Dutta, Appl. Phys. Lett. 57, 587, (1990).
- 3.P. Panek et al., Phys. Stat. Sol.(b)190, 579, (1995).
4. S. Shiobara, T. Hashizume, H. Hasegawa, Jpn. J. Appl. Phys. 35, 1159 (1996).
5. A. Ksendzov, F. H. Pollak, P. M. Amirtharaj, and J. A. Willson, J. Cryst. Growth 86, 586 (1988).
6. C. H. Goo, W. S. Lau, T. C. Chong, and L. S. Tan, Appl. Phys. Lett. 69, 2543 (1996).
7. Dieter K. Schroder, Semiconductor Material and Device Characterization, John Wiley and Sons (1990).
8. N. Bottka, D. K. Gaskill, R. S. Sillmon, J. of Elec. Materials, Vol. 17 (2), p161 (1988).
9. Z. Y. Zhang, B. Xu, P. Jin, X. Q. Meng, Ch. M. Li, X. L. Ye, and Z. G. Wang, J. Appl. Phys. 92, 511 (2002).
10. R. Jia, D. S. Jiang, H. Y. Liu, Y. Q. Wei, B. Xu, Z. G. Wang, J. Crystal Growth 234, 354-358 (2002).
11. H. Y. Liu, I. R. Sellers et al., Appl. Phys. Lett. 83, 3716 (2003).
12. E.-T. Kim, Z. Chen, and A. Madhukar, Appl. Phys. Lett. 81, 3473 (2002).
13. S. Sanguinetti, M. Henini, M. Grassi Alessi, M. Capizzi, P. Frigeri, and S. Franchi, Phys. Rev. B 60, 8276 (1999).

