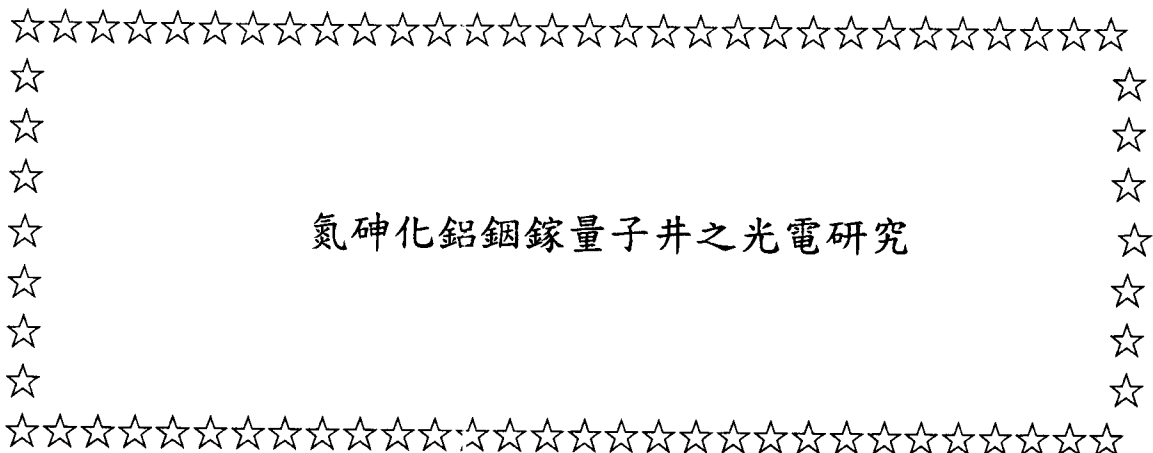


行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告



計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC89-2112-M009-018

執行期間：88年 8月 1日至 89年 7月 31日

個別型計畫：計畫主持人：黃凱風

處理方式： 可立即對外提供參考
 一年後可對外提供參考
 兩年後可對外提供參考
(必要時，本會得展延發表時限)

執行單位：國立交通大學電子物理系

中華民國 90年 2月 16日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

氮砷化鋁銦鎵量子井之光電研究

計畫編號：NSC89-2112-M009-018

執行期限：88年8月1日至89年7月31日止

主持人：黃凱風教授 國立交通大學電子物理系

一、中文摘要

本計畫以具有 N_2 電漿源之分子束磊晶系統成長氮砷化銦鎵量子井雷射結構，並製作寬面積雷射。氮砷化銦鎵量子井可直接成長於砷化鎵基板，利用此種結構可設計出長波長 $1.3 \mu m$ 之雷射。此種含氮雷射結構之優點是 GaInAsN 與 GaAs 在導帶所形成之 ΔE_c 可達 300meV 以上可使被注入活性層之電子更不易洩出，因而使雷射特徵溫度 T_0 超過 130K，大幅提升 $1.3 \mu m$ 雷射之溫度特性。InGaAsN 材料系統之 miscibility gap 較大，故 N 非常不容易溶入磊晶材料中，本計畫先從分子束磊晶成長 GaInAsN 著手，成長出高品質之 GaInAsN 量子井結構。並克服 N 溶入磊晶內之方法是採用 N_2 電漿源將活性 N 原子直接鍍於基座上參與反應，因 N 溶化比例無法由長晶完全掌握，故 InGaAsN 量子井 PL 波長僅能達到 $1.2 \mu m$ 附近。再利用此種 InGaAsN 量子井雷射結構製成寬面積雷射，其雷射之起振電流密度約為 $4.0 kA/cm^2$ 。

二、英文摘要

The aim of the project is to use N_2 plasma source MBE to grow InGaAsN quantum well laser structure and fabricate broad area laser diodes. InGaAsN can be lattice matched GaAs substrates and hence $1.3\mu m$ laser structure can be designed and fabricated on GaAs. The advantage of this N-contained structure is that its higher ΔE_c ensures higher T_0 and therefore better temperature characteristics. However N incorporation is relatively difficult due to larger miscibility gap in this material system. In this project we have achieved high quality growth of GaInAsN quantum well structures. PL emission at $1.2\mu m$ has been achieved and the laser structure fabricated has a threshold current density of $4.0kA/cm^2$.

三、背景及目的

本計劃之主要目的是利用具 RF N_2 電漿源之分子束磊晶系統成長氮砷化銦鎵材料，建立含氮 III-V 化合物分子束磊晶成長技術，並提供 GaInAsN 量子井磊晶片供中華電信研究所製作 stripe 結構二極體雷射。

長波長 $1.3 \mu m$ 半導體雷射在光纖通訊應用中是最重要光源之一，目前 $1.3 \mu m$ 雷射元件都是以 InGaAsP/InP Strained Quantum Well 結構製成，且已有商品化之產品。但 InGaAsP 雷射與 GaAs 雷射比較，溫度特性仍然相差甚多。其原因主要是 InGaAsP/InP 雷射結構中，導帶差 ΔE_c 較小，造成之電子束縛較差因而在操作溫度高時，注射入之電子容易跳出活性層，漏電流因而增大。為了解決此問題，在 InP 基座上可改用 InGaAlAs 做為位能障以提高 ΔE_c 。Bellcore 之研究群(C.E. Zah 等)在 InAlGaAs/InP 材料上得到不錯之結果，但 T_0 仍然在 100K 以下。近幾年來含氮之 III-V 化合物半導體磊晶成長技術有突破性之進展，特別是在短波長藍光及 UV 波段，InGaN 或 GaN 高亮度 LED 及室溫 CW 操作之雷射已可成功製成。另外因 InGaAsN 材料系統具有較大之 bowing 現象，在摻入少量之 N 時其能隙是先大幅降低再升高，故發光波長可拉長至 $1.3 \mu m$ 。又因其晶格常數仍與 GaAs 匹配，故 InGaAsN 量子井結構可長在價格較 InP 便宜甚多之 GaAs 基座上，而 InGaAsN 與 GaAs 位能障之 ΔE_c 大部份均落在導帶上，故其 ΔE_c 大於 300meV，較 GaInAsP 材料系統之 100meV 及高出甚多，故理論上 InGaAs 之雷射結構其特徵溫度 T_0 必然較 InGaAsP 高出許多。InGaAsN 近幾年來已成為 $1.3 \mu m$ 雷射研發之最重要材料。但因 InGaAsN 材料 miscibility gap 較大，如何將 N 溶入成為長晶最大之問題，目前各研發群大都以 MBE 或 gas source MBE 加上 N_2 plasma source 成長。1996 年 8 月 Hitachi 公司 Kondow 研究群首先發表以 gas source MBE 長成之 $\lambda = 1.12 \mu m$ ，N 含量 0.5%，In 含量 30% 之 InGaAsN 雷射，但僅能在 77K

連續操作。96年11月，同一 group 發表 $\lambda = 1.18\mu\text{m}$ 室溫下連續操作之 InGaAsN 雷射。97年5月 Kondow 又發表了 $\lambda = 1.22\mu\text{m}$ ，N 含量 0.7%，In 30% 之 InGaAsN 表面發光雷射，但僅是 photo pumping 之結果。97年7月日本 Ricoh 公司之 Sato 亦發表了以 MOCVD 成長之 InGaAsN 雷射， $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ ，In 含量 10%，N 含量 3%，但該雷射僅能在室溫下脈衝操作。98年 Hitachi Kondow group 再度發表 $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ ，室溫連續操作雷射，氮含量已可提高至 1%，In 含量仍為 30%。98年 Kondow 亦成功製成 $\lambda = 1.18\mu\text{m}$ 之 VCSEL 雷射二極體，In 含量 30%，氮含量 0.4%，但僅能在室溫下脈衝操作，最大功率可達 5mW 以上。由以上之論文資料可看出 InGaAsN 做成 $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ 之雷射已確定可行，且其 $T_0 = 126\text{K}$ 已證實確實較 InGaAsP 系統高出許多。

InGaAsN 因可長在 GaAs 基座上，故可直接利用 GaAs/AlAs 布拉格反射鏡設計 $1.3\mu\text{m}$ 之面發光雷射，此種結構之優點是不需做 Wafer Bonding，磊晶一次長成，此種面發光雷射之可靠度必然較先前以晶片鍵連之 $1.3\mu\text{m}$ 面發光雷射更好。

本實驗室在 GaAs 雷射之製作已有相當之經驗，目前 MBE 磊晶系統亦已裝有 N_2 Source，已可成長含氮 InGaAs 磊晶，計劃之主要工作即為建立 InGaAsN 之長晶技術，並配合電信研究所，提供 InGaAsN QW 雷射磊晶片。

四、長晶 MBE 系統與 ECR N_2 source

ECR N_2 source 部份

實驗室內之 MBE 系統已安裝 ECR N_2 source，ECR 靠外部管路與 MBE 真空系統連接，另外加裝之氣體處理系統由日本公司大誠實業一併製作。管路系統，主要是加入一小鋼瓶做為 N_2 儲存瓶，使得每次長晶時，不必經由外部鋼瓶送入 N_2 ，直接使用由小鋼瓶輸入之 N_2 即可，如此可節省氣體處理 purge 之時間。MFC 之控制由 O-20 SCCM，Microwave 功率 200W，由日本公司提供之資料顯示，Atomic N 在 747nm 之 emission intensity 最強，應可提供相當不錯之 N source。

五、InGaAs QW 長晶與 PL 之研究

在研究 InGaAsN QW 之前，我們認為 InGaAs QW 是有必要先做較詳細之研究，特別是其 PL 強度與 In 含量間之關係，圖 1 所附為長晶溫度 480°C 時之結果 In 之含量由 Flux 之估計，分別為 $\text{In}=0.2, 0.25$ 及 0.3 ，InGaAs/GaAs QW 長晶結構為 $0.2\mu\text{m}$ GaAs buffer 層，3 個 InGaAs/GaAs QW，QW 之厚度為 60\AA ，另外再長一層 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 之 Cladding layer 在 In 含量達 0.3 時 60\AA 之 QW 應仍在 critical 臨界厚度之內。Buffer layer 之長晶溫度維持 600°C ，但至 QW InGaAs 時降至 $T=480^{\circ}$ 。長晶溫度為 $T=520^{\circ}\text{C}$ 時之結果並不理想，In flux 增高時，其 PL 之波長並未隨著增長，研判其原因可能是溫度過高 In 之 sticking coefficient 太小，造成 In 無法長入磊晶內，PL 之強度極差，且波長均在 930nm 附近。 $T=480^{\circ}\text{C}$ 之結果可看出 $\text{In}=0.2$ 時， $\lambda = 0.98\mu\text{m}$ ， $\text{In}=0.25$ 時 $\lambda \cong 1.1\mu\text{m}$ $\text{In}=0.3$ 時 $\lambda = 1.18\mu\text{m}$ 顯示 In 確實隨著 flux 增加進入 QW 磊晶層內，但 PL 之強度在 $\text{In}=0.3$ 時強度亦減弱。圖 2 所示為當 In flux 固定，QW PL 與長晶溫度之關係， $T=480^{\circ}\text{C}$ 時，PL $\lambda = 1.18\mu\text{m}$ ， $T=490^{\circ}\text{C}$ $\lambda \cong 1.15\mu\text{m}$ ， $T=500^{\circ}\text{C}$ $\lambda = 1.1\mu\text{m}$ 波長隨長晶溫度降低顯示 In 進入 QW 之量逐漸降低 InGaAs 之 Band gap 變大，因而使 PL 之波長變短。

上圖之結果顯示當長晶溫度升高時，PL 之強度亦大幅上升，但 In 進入之量亦會降低，故如何取得最佳之長晶條件，將 InGaAs/GaAs QW 拉至 $1.2\mu\text{m}$ 附近，但仍然具有極佳之 PL 特性，目前是一極須努力完成之工作。

六、InGaAsN QW 與雷射結構

當 InGaAs/GaAs，QW 內摻入 N 時，QW 之 PL 強度立刻大幅下降，目前 N 摻入之量尚無法控制，因 ECR 出口距離 GaAs substrate 較遠，故預計 N 摻入之量不多，在多次嘗試之後，仍然採用 $T=480^{\circ}\text{C}$ ，In 確定可達 30% 之條件下成長摻雜 N 之 InGaAsN QW。雷射之結構如圖 3 所示，其中 cladding layer 為 $\text{Al}_{0.35}\text{Ga}_{0.65}\text{As}$ 。採用兩個 InGaAsN 之 QW，為 active layer。X-ray 如圖 4 顯示，AlGaAs 實際約束 $\text{Al}_{0.36}\text{Ga}_{0.64}\text{As}$ ，並未看到有 lattice relaxed 之現象顯示 QW 結構尚可。長成雷射結構之 PL 如圖 5，其 peak 波長約在 $\lambda_p = 1197\text{nm}$ 。經 processing 製成 $L = 1.5\text{mm}$ ， $W = 8\mu\text{m}$ 之 stripe Laser 結構後，以低 repetition rate 量測 pulsed operation 下雷射出光結果亦示於圖 5 中，其雷射波長位於 1218nm ，距離 1300nm 尚有一段距離。圖 6 所示為不同溫度下之 L-I curve， 20°C 時 I_{th} 約為 490mA ， $J_{th} \cong 4.1\text{kA}/\text{cm}^2$ ，較一般 $1.3\mu\text{m}$ InP Laser 尚高出許多，其 T_0 經分析後約為 102K ，亦較預期為低。特性較差之原因可能主要是 N 摻雜量較低，In 之含量過高，compressive strain 過大，因而使得 QW 之品質降低，故若能使 N 摻雜量提高，不但能降低 compressive strain，亦能使 QW 之發光波長拉長，此將為未來之重點方向。

七、結論

本計劃以具有 N_2 電漿源之分子束磊晶系統成長氮砷化銦鎵量子井雷射結構，並製作寬面積雷射。氮砷化銦鎵量子井可直接成長於砷化鎵基板，利用此種結構可設計出長波長 $1.3 \mu m$ 之雷射。此種含氮雷射結構之優點是 GaInAsN 與 GaAs 在導帶所形成之 ΔE_c 可達 300meV 以上可使被注入活性層之電子更不易洩出，因而使雷射特徵溫度 T_0 超過 130K，大幅提升 $1.3 \mu m$ 雷射之溫度特性。InGaAsN 材料系統之 miscibility gap 較大，故 N 非常不容易溶入磊晶材料中，本計劃先從分子束磊晶成長 GaInAsN 著手，成長出高品質之 GaInAsN 量子井結構。並克服 N 溶入磊晶內之方法是採用 N_2 電漿源將活性 N 原子直接鍍於基座上參與反應，因 N 溶化比例無法由長晶完全掌握，故 InGaAsN 量子井 PL 波長僅能達到 $1.2 \mu m$ 附近。再利用此種 InGaAsN 量子井雷射結構製成寬面積雷射，其雷射之起振電流密度約為 $4.0kA/cm^2$ 。

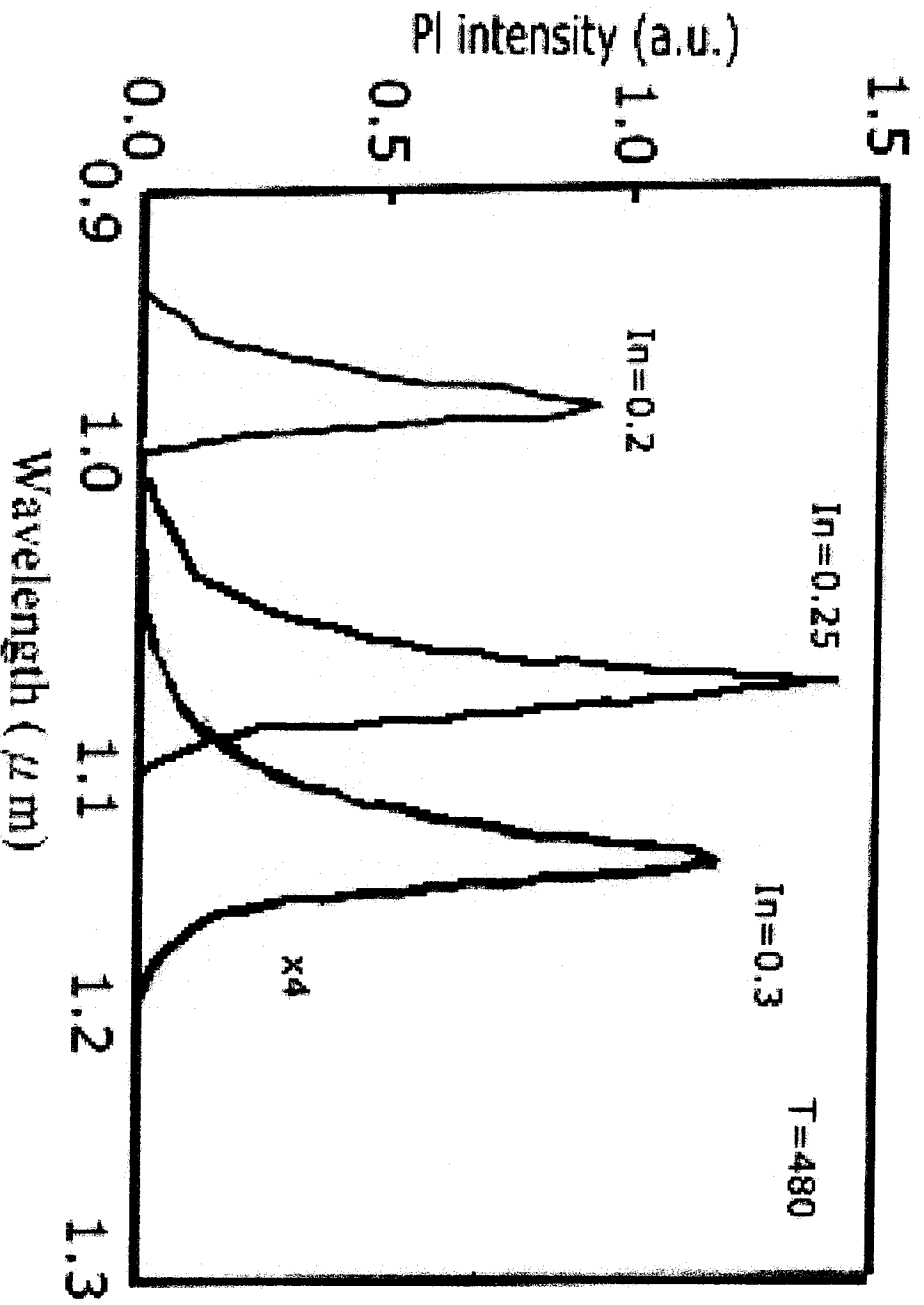


Fig 1 Room-temperature PL spectra of the GaInAs/GaAs QWs.

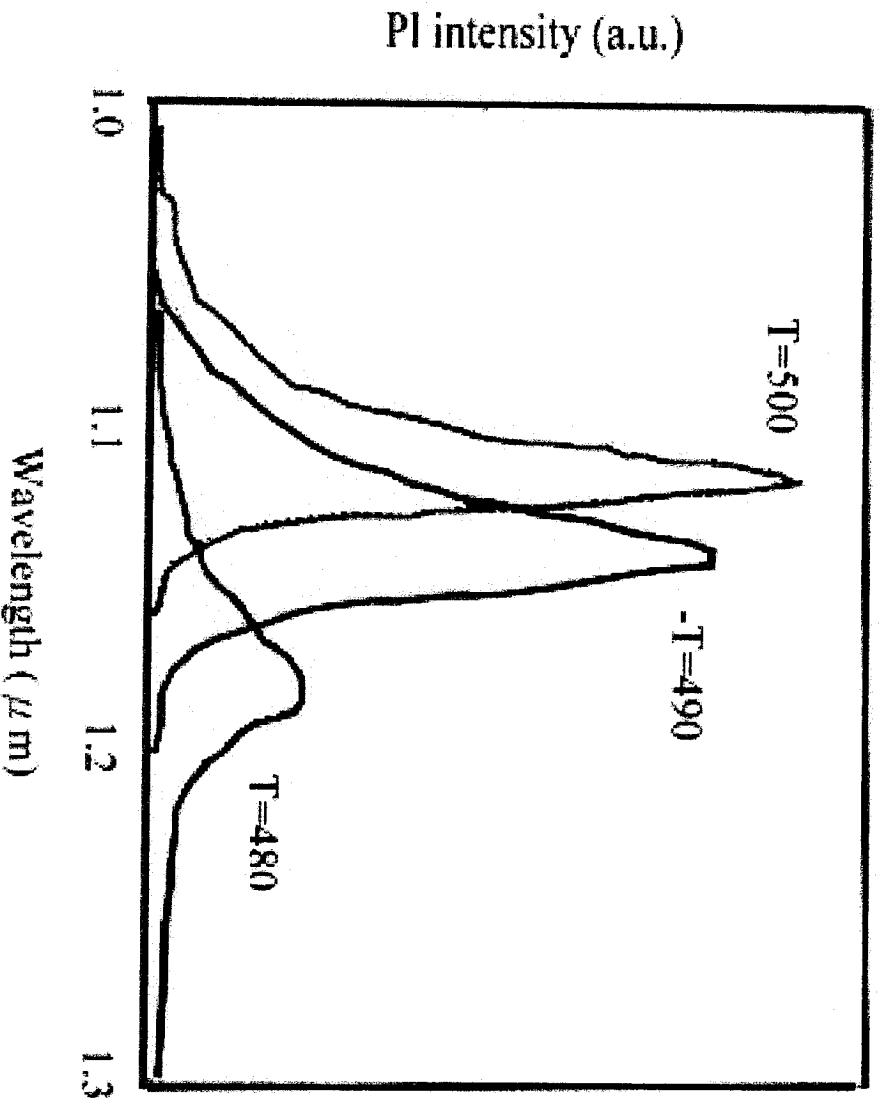


Fig. 2 Room-temperature PL spectra of the GaInAs/GaAsQWs with In Flux fixed but different growth Temperature.

		Specification					
Layer	Material	Composition (Al%)	Thickness (μm)		Carrier Density (cm^{-3})		Dopant
			Specified ($\pm 10\%$)	Actual	Specified ($\pm 30\%$)	Actual	
9	GaAs		0.15	-	$>1\text{E}+19$	-	P(Be)
8	Al(x)GaAs	0.35	1.6	-	5E+17	-	P(Be)
7	GaAs		0.1	-	-	-	U/D
6	GaAs		0.003	-	-	-	U/D
5	GaIn(x)AsN		Active Layer	-	-	-	U/D
4	GaAs		0.003	-	-	-	U/D
3	GaAs		0.1	-	-	-	n(Si)
2	Al(x)GaAs	0.35	1.5	-	5E+17	-	n(Si)
1	GaAs		0.25	-	4E+18	-	n(Si)

Fig 3 GaInAsN QW 雷射磊晶結構圖

Centre Point

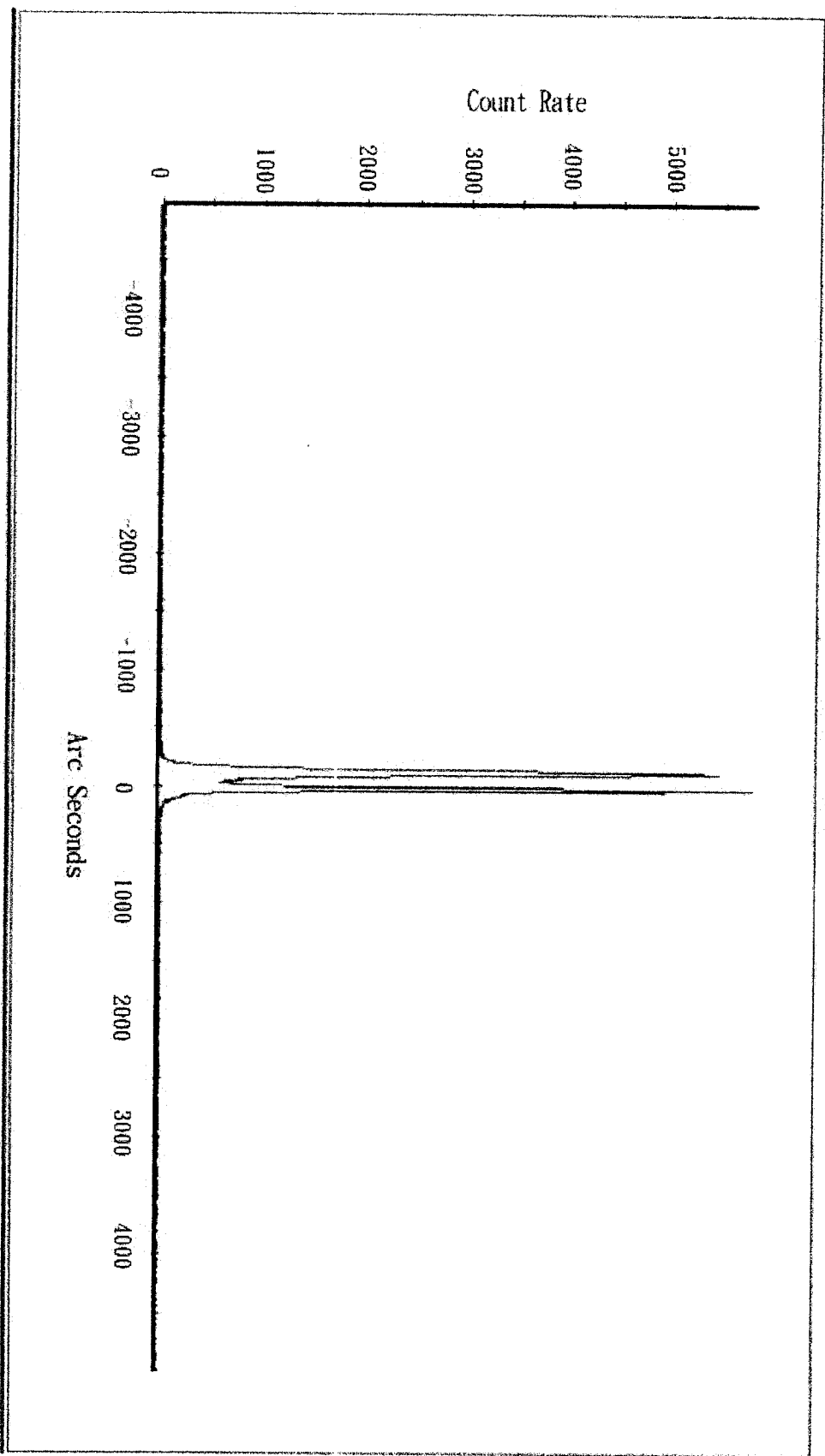
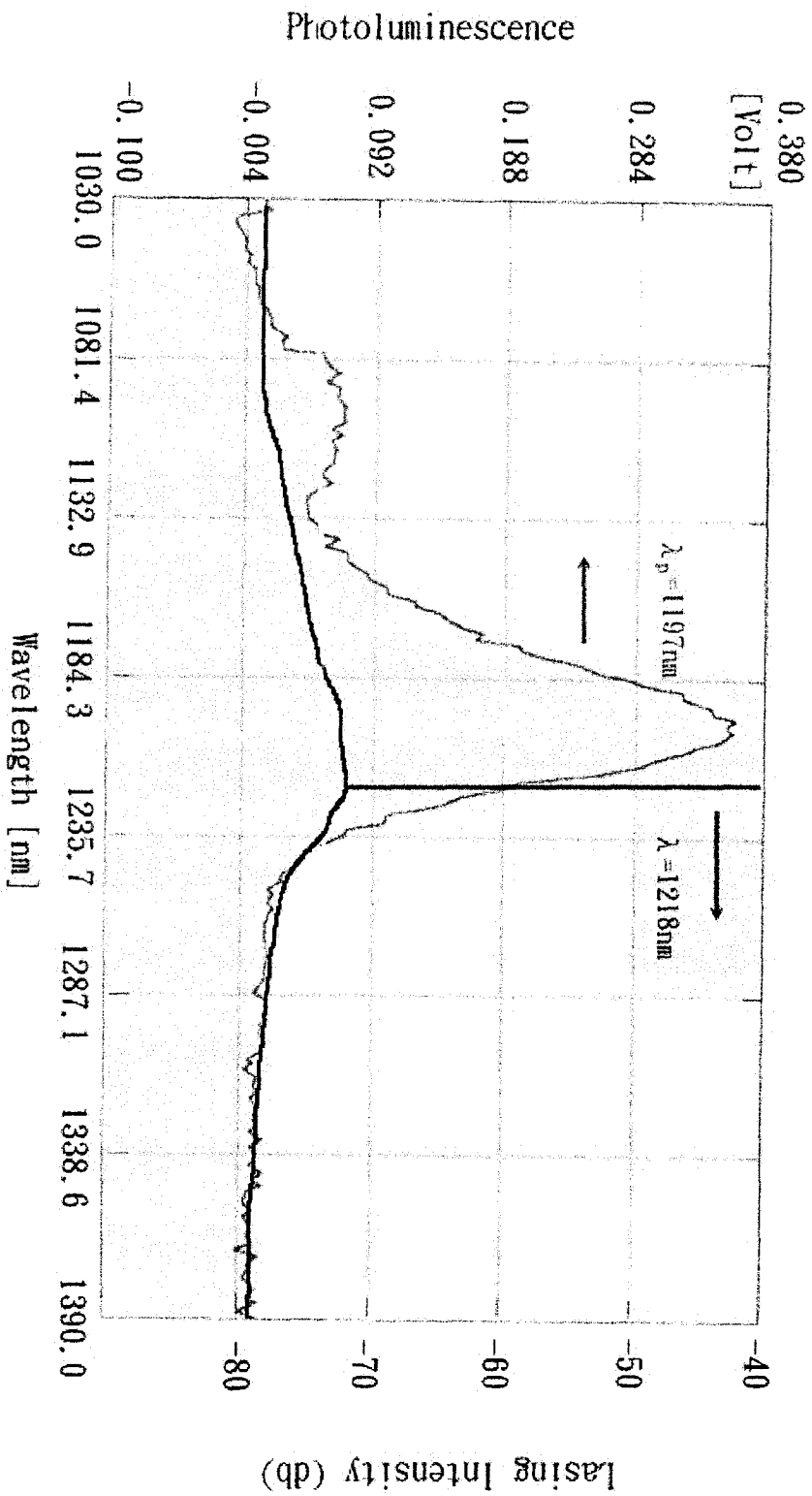


Fig 4 雷射結構之 X-ray 圖

Fig 5 Photoluminescence and Lasing Intensity



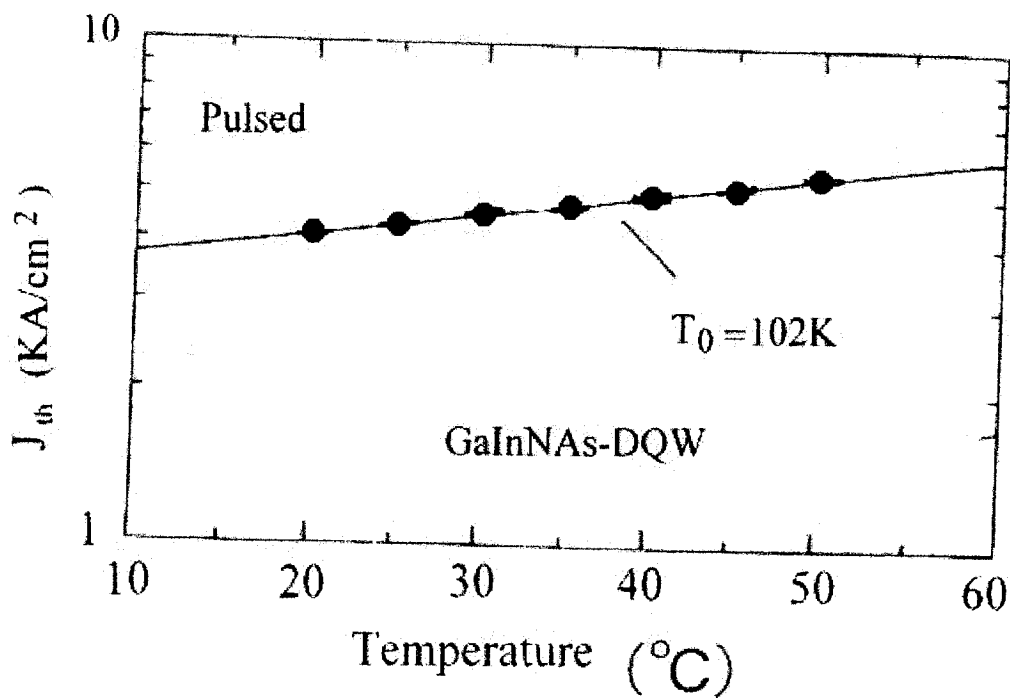
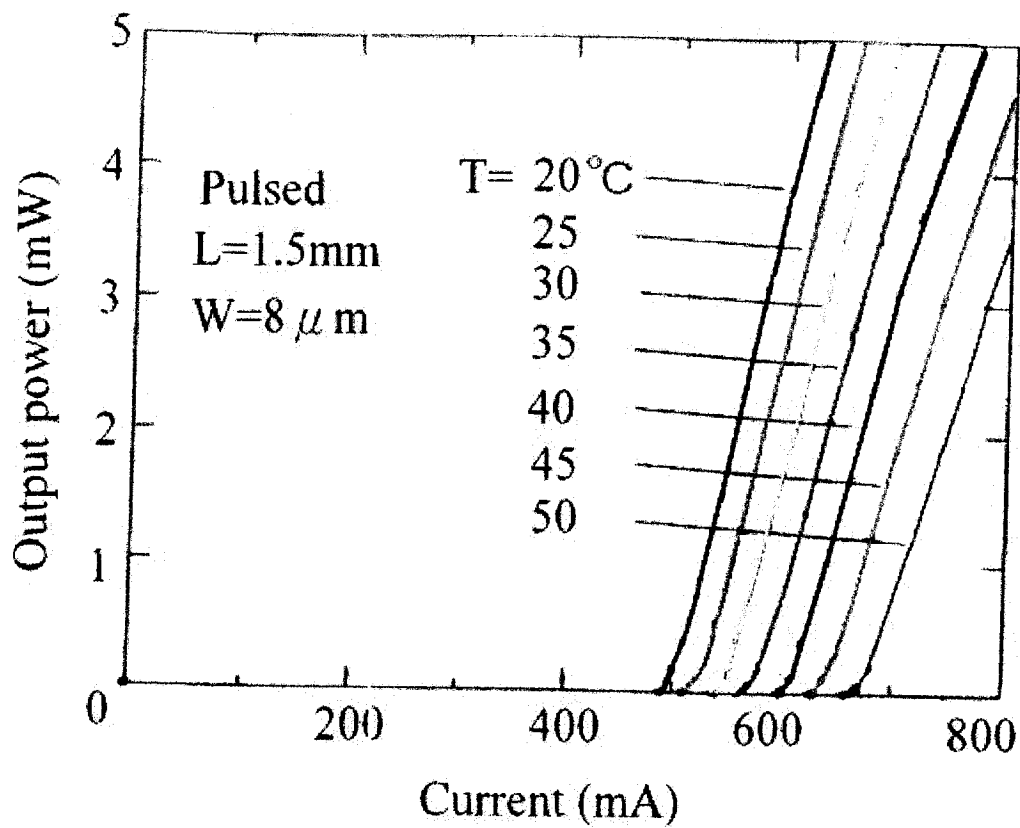


Fig (6) 不同溫度之 L-I 圖 及 J_{th} 對溫度圖