

# 行政院原子能委員會 委託研究計畫研究報告

質子佈植應於長波長  $1.3\mu\text{m}$  VCSEL 之研製

計畫編號：922001INER015

受委託機關（構）：國立交通大學

計畫主持人：王興宗

報告日期：92年11月25日

## 圖目說明

圖一 (a)、1300nm N-InGaAs 面射型雷射上視圖。.....	7
圖一 (b)、1300nm N-InGaAs 面射型雷射剖面圖。.....	7
圖二、1300 nm VCSEL 完整結構的反射頻譜。.....	10
圖三、1300 nm VCSEL 磊晶好之剖面側視圖。.....	11
圖四、N-InGaAs 主動層的螢光激光譜譜。.....	11
圖五、完整的 1300 nm VCSEL 結構的質子佈植能量與佈植深度的模 擬分析圖。.....	12
圖六、1300 nm VCSEL 元件所用之光罩示意圖。.....	13
圖七、探針顯微鏡系統 (probe-station) .....	14
圖八、質子佈植型 1300 nm VCSEL 元件製作流程圖。.....	15

## 中文摘要

於本計畫中，我們完成了以有機金屬氣相沈積法 (MOCVD) 全磊晶式的長波長 1300 nm 面射型雷射 (VCSEL) 晶片的計算模擬與磊晶，並建立了 1300 nm VCSEL 的製程與量測之方法。由於氮摻雜砷化鎵 (N-InGaAs) 材料之晶格與砷化鎵 (GaAs) 匹配，故可以直接的在 GaAs 基板上直接成長 1300 nm VCSEL。上、下 DBR 部分可用鋁化鎵 (AlAs) 與 GaAs 兩種反射係數差異較大的材料依據  $\lambda/4$  的厚度堆疊而成。為了有效的降低元件的操作電壓，在上、下 DBR 部分分別有碳(C)及矽(Si)摻雜，且在 AlAs 及 GaAs 接面處有用漸變組成方式來成長。在 DBR 反射率方面，上 DBR 約需 99.6% 的反射率，而下 DBR 之反射率則越高越好，最好達到 100%。在主動層的設計上，藉由調變 In 及 N 的含量就可以得到晶格常數匹配 GaAs 的 N-InGaAs 材料。

以 N-InGaAs 為主動層長在晶格匹配的 AlAs/GaAs 的 DBR 上，其 F-P (Fabry-Perot) dip 在 1283 nm，在質子佈植於全磊晶式 1300 VCSEL 的結構中，所需的能量和深度關係的經由 Trim 模擬軟體的分析與計算，得到最佳的質子佈植能量為 500 KeV 為最佳電流侷限能量。另，為獲得最佳元件光電特性，我們希望在做質子佈植時能有各種不同的佈植孔徑及不同尺寸的 Bond-Pad 金屬的光罩。

## 英文摘要

In this project, the proton-implanted 1300 nm VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) was epitaxy by MOCVD system has been simulated and fabricated. The processes and measurement systems of the 1300 nm VCSEL were also been established. Because of the lattice constant of N-InGaAs match to GaAs, the N-InGaAs VCSEL can be fabricated on GaAs substrate directly. To reduce the series resistance of top- and bottom-DBR, the interface between high and low reflective index layer were achieved by the linear graded composition, and the doping materials were C and Si respectively. The reflectivity of the top-DBR was 99.6 %, and the bottom-DBR was equal to 100 %. The F-P dip was about at 1283 nm.

To optimize the opto-electronics characteristics of proton-implanted 1300 nm VCSEL, the energy of implanted was about 500 Kev, which was obtained by the Trim simulator, and the dimension of implanted region, and bond-pad size were designed.

## 計畫目的

本計畫預計開發出符合光通訊用之質子佈植型長波長  $1.3\mu\text{m}$  面射型雷射(Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL)。長波長的面射型雷射其發散角小、整合能力高，在光纖通訊的應用上極具低成本發光源的潛力。目前在短距離的資料通訊中常用  $1300\text{nm}$  LED 和  $850\text{nm}$  面射型雷射作為訊號源；而  $1300\text{nm}$  面射型雷射極有機會取而代之。由於光纖在  $1300\text{nm}$  有較大的距離頻寬乘積，使用  $1300\text{nm}$  面射型雷射將使資料傳輸量至少增加一倍。此外，面射型雷射具有低成本的優勢，容易製成多波長二維雷射陣列及適合和其他元件的整合能力使得單模  $1300\text{nm}$  和  $1550\text{nm}$  面射型雷射可成為下一代 DWDM 系統的訊號源。

## 計畫緣起

目前，國外包括美國、日本、歐洲等研究機構及公司團體熱衷於長波長面射型雷射的研究。其中 UCSB, Walter Schottky Inst., NTT Photonics Lab., Alcatel, Noval Crystal 及 Sandial Lab. 已成功製成以電流驅動室溫下連續操作的長波長面射型雷射[1]-[4]。其他機構亦均爭相在此領域發展[5]-[10]，並朝向可供多波長的面射型雷射的應用研究。因此在此時投入相關研究，將可縮短國內研發時程及縮小與各國研究技術的差距。

在國內的技術及市場現況方面，關於面射型雷射的研究情形，以交通大學、工研院、電信研究所及台灣大學在 850nm 及 980nm 面射型雷射的研究已有相當的成果；而業界方面，有光環、勝陽、晶誼、博達和全新科技在 850nm 面射型雷射商用產品中開發製程與磊晶；至於長波長邊射型雷射(Edge Emitting Laser, EEL)方面，包括交通大學、中央大學、成功大學、電信研究所及工研院等已有不錯的水準，而在市場上包括嘉信光電、聯亞光電及鴻亞科技均已推出 1300nm 和 1550nm 邊射型雷射產品及磊晶片。目前國內正積極投入波長 1300 和 1550nm 面射型雷射的研究。由於近年來光纖網路及通訊快速發展，對高速度、高頻寬雷射光源將更迫切，因此單波長或多波長之長波長面射型雷射的地位將會日趨重要。

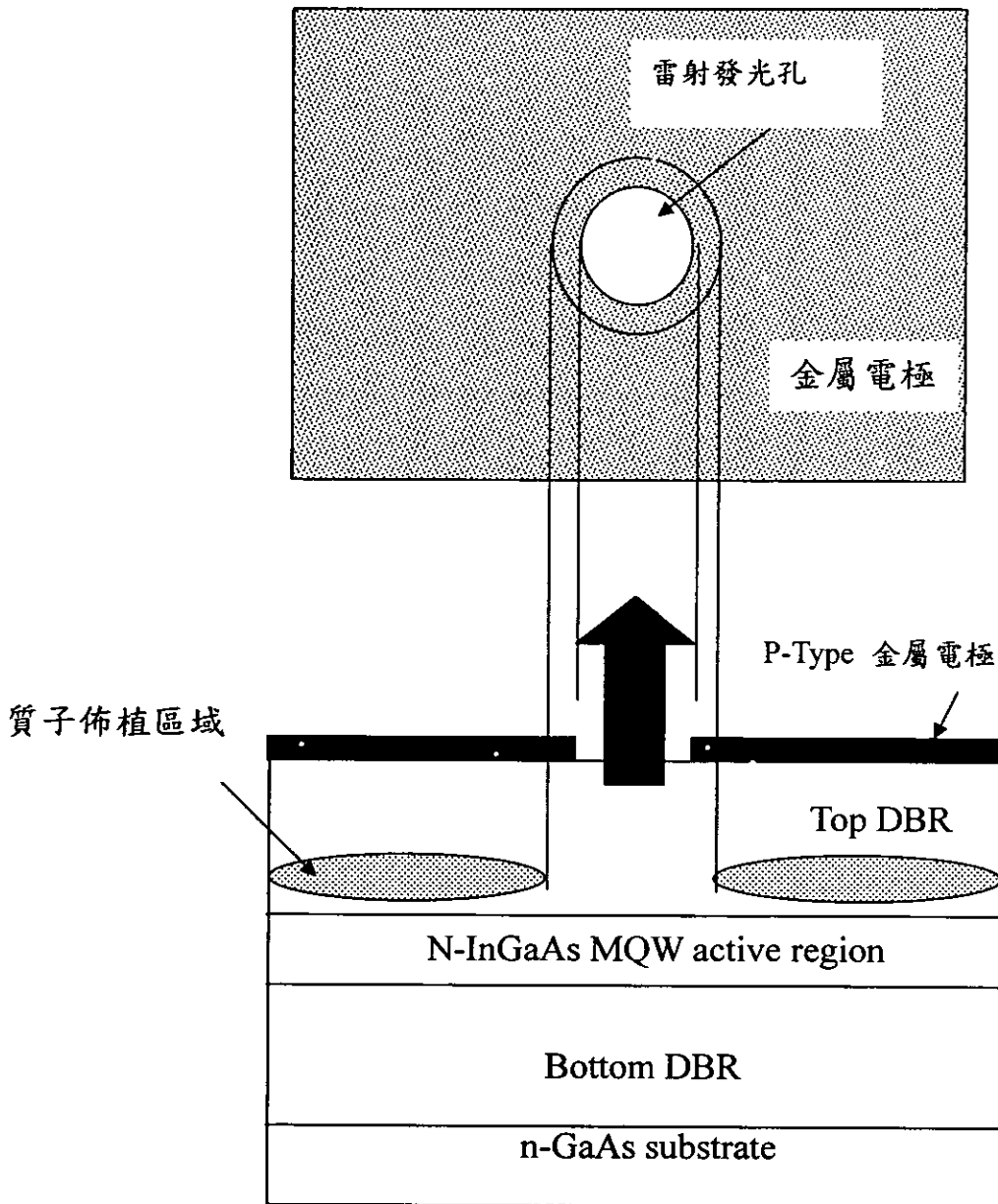
交大在面射型雷射的研究團隊起步甚早，目前已具備製作 GaAs/InGaAs/AlGaAs 邊射型雷射二極體及面射型雷射二極體的設計、磊晶、製程及分析能力，是國內相當具有光電半導體元件經驗的研究團隊，相信在研發氮摻雜砷化鎵(N-InGaAs)長波長面射型雷射的過程中，除了能為國家培育相關的光電人才、增加國家在光電世界的水準，更可提昇國家在光電及通訊產品的競爭力。

## 執行方法與進度說明

### 一、 元件結構：

本計畫之元件結構示意如圖一所示。

圖一(a) 1300nm N-InGaAs 面射型雷射上視圖。



圖一 (b) 1300nm N-InGaAs 面射型雷射剖面圖。

## 二、 元件製程開程：

本計畫主要研究方法及步驟有下列幾項，茲就將以下各項加以說明：

- (1) 磊晶成長與元件結構設計：由於 N-InGaAs 材料之晶格與 GaAs 匹配，故可以直接的在 GaAs 基板上成長 1300nm VCSEL，其元件結構如圖一 (b) 所示。上、下 DBR 部分可用 AlAs 與 GaAs 兩種反射係數差異較大的材料依據  $\lambda/4$  的厚度堆疊而成。為了有效的降低元件的操作電壓，在上、下 DBR 部分分別有碳 (C) 及矽 (Si) 摻雜，且在 AlAs 及 GaAs 接面處有用漸變組成方式來成長。在 DBR 反射率方面，上 DBR 約需 99.6% 的反射率，而下 DBR 之反射率則越高越好，最好達到 100%。在主動層的設計上，藉由調變 In 及 N 的含量就可以得到晶格常數匹配 GaAs 的 N-InGaAs 材料。
- (2) 質子佈植模擬分析：質子佈植的深度對 VCSEL 元件是非常重要的，若離活性層太遠，則會產生電流散開 (Current Spreading)，使 VCSEL 的臨界電流無法有效降低。但是，若佈植的太深，超過活性主動層，則會將 Quantum-Well 破壞，使光增益變小，而光輸出強度也變小，且臨界電流亦變大。在固定的佈植能量下，不同的材料成分也造成不同的佈植深度。為得到最佳的佈植能量及因應未來不同成分材料的 VCSEL 結構，本計畫擬以模擬軟體將要製



作的材料做一系列的模擬，使佈植的能量達到最佳化。

(3) 光罩設計：為得最佳的元件特性，除了磊晶的重要外，不同的元件尺寸也將影響 VCSEL 的光電特性。本計畫中，擬將設計各種不同質子佈植孔徑及不同 Bond-Pad 尺寸。

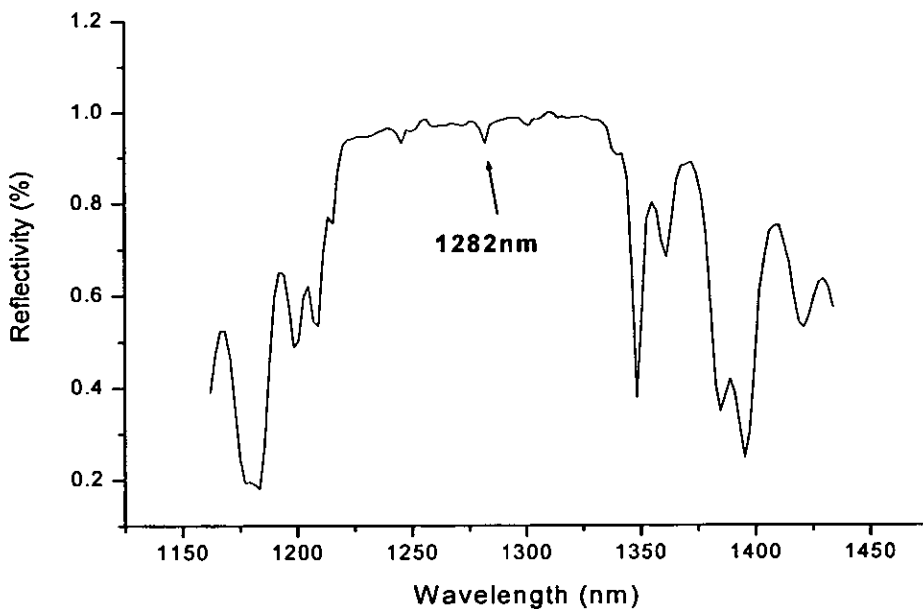
(4) 質子佈植的製程：由於 1300nm VCSEL 的上 DBR 部分預計將有 5~6 $\mu\text{m}$ ，故需要較大的佈植能量方能達到此深度，較高能量的佈植對雷射發光孔徑非佈植區的阻隔就增加其製程上的困難度，為解決此問題，本計畫擬用厚光阻來作為佈植時的阻隔層。

(5) 金屬電極的製作

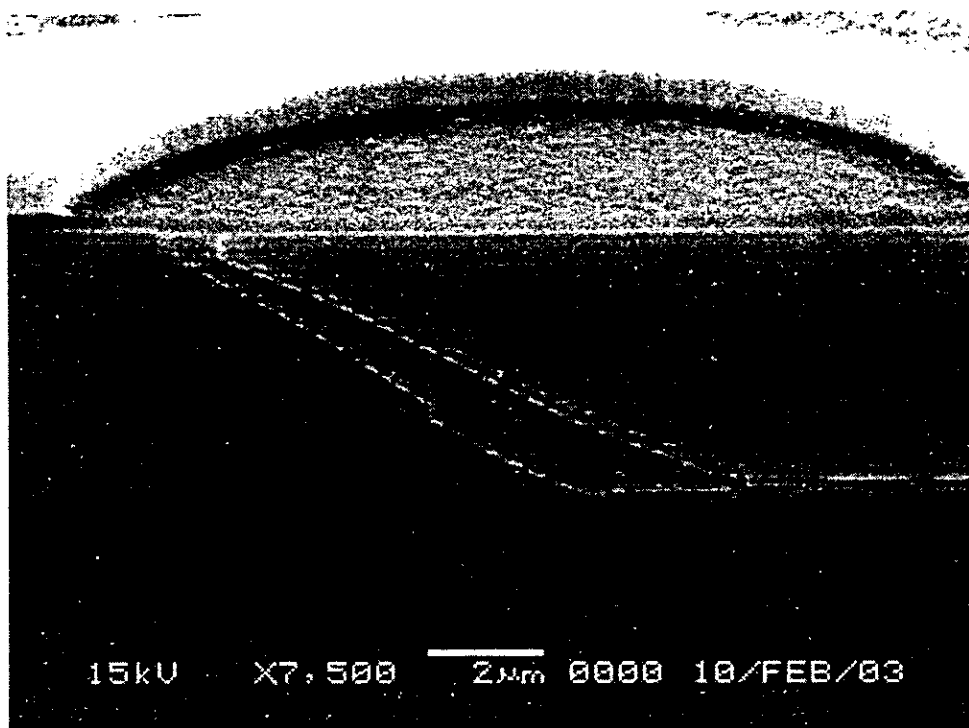
(6) 光電特性量測：本計畫擬針對不同質子佈植的 1300nm VCSEL 元件做一系列的分析量測，包括光-電流-電壓 (L-I-V) 特性，雷射光之近場發光圖形 (near-field pattern)，溫度特性及元件的穩定度量測等。

## 結論與建議

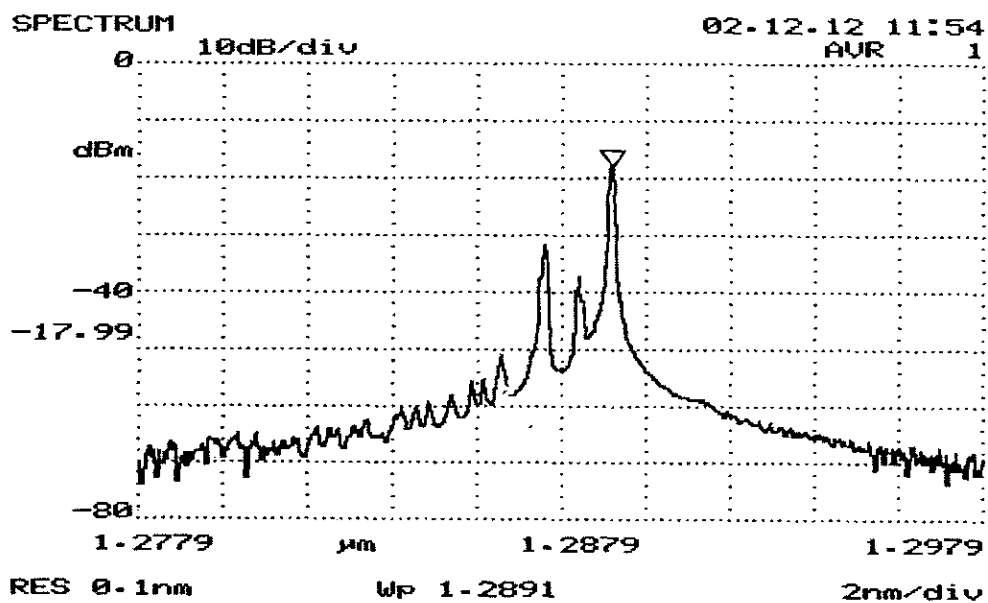
(1) 磊晶成長與元件結構設計：我們選擇與 GaAs 晶格匹配的 N-InGaAs 材料為活性層，直接成長在 AlAs/GaAs DBR 上，我們先對此全磊晶 (all epitaxial) 的面射型雷射 wafer 進行反射率量測和螢光光譜 (PL) 量測，由圖二可以看到此雷射結構的反射率頻譜圖的 F-P dip 為 1283 nm 此為面射型雷射的發光波長。含 F-P dip 的 VCSEL 反射頻譜是由上、下 DBR 及共振腔所形成，若 DBR 的厚度不正確，或共振腔長度不準，則 F-P dip 的位置及反射率中心波長必不正確。圖三為 1300 nm VCSEL 磊晶好之剖面側視圖。



圖二、1300 nm VCSEL 完整結構的反射頻譜。

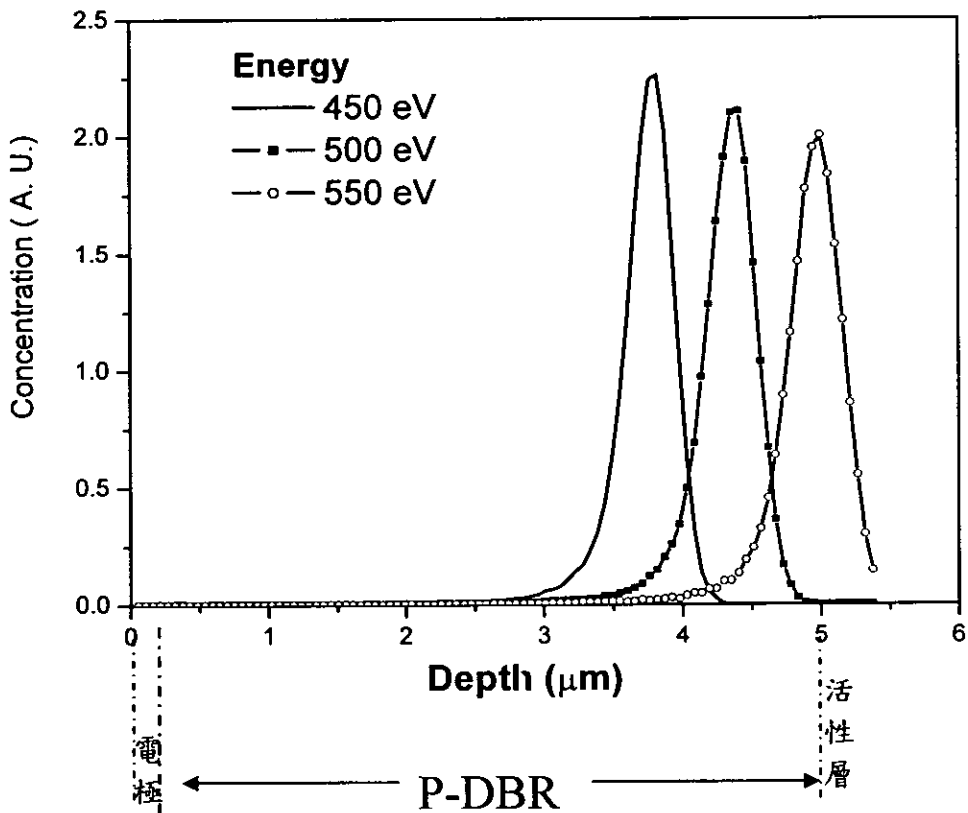


圖三、1300 nm VCSEL 磊晶好之剖面側視圖。



圖四、N-InGaAs 主動層的螢光激光譜譜。

圖四面射型雷射的主動發光層的螢光激光頻譜，由圖可知主動層的發光波長峰值在 1289 nm，此值非常接近 F-P dip (1283 nm)。此結果是相當的不錯，因為於 1300 nm VCSEL 的長晶中，N-InGaAs 是非常難長的，因為 N-InGaAs 中 N 的成份不能高於 0.5%，且 N 在 InGaAs 的摻入率是非常難控制的。

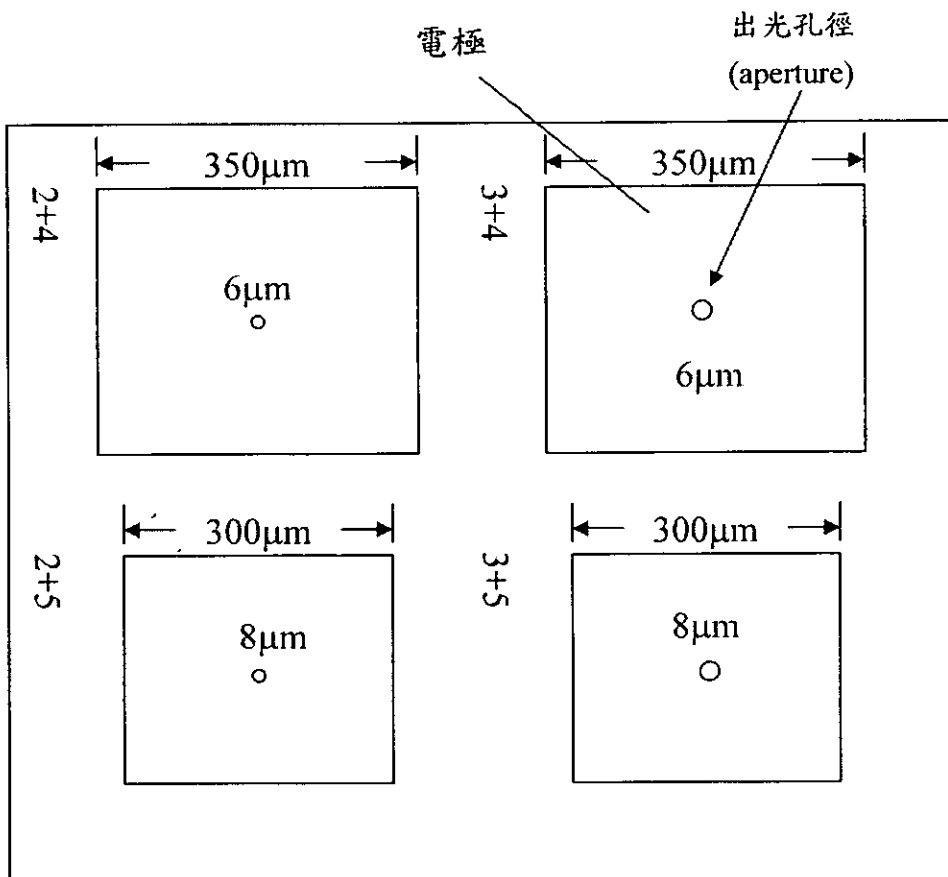


圖五、完整的 1300 nm VCSEL 結構的質子佈植能量與佈植深度的模擬分析圖。

為了確定質子佈植能正確地佈植在活性層的正上方又不會破壞到活性層，我們先針對質子佈植所需的能量和深度做模擬計算，如圖五。由圖可知，上 DBR 到活性層的深度大約有 5 μm，而質子佈植的

能量約為 500KeV 時佈植質深度為 4.4  $\mu\text{m}$ ，此應為最佳的質子佈植能量，因為電流阻隔層不會破壞到活性層且深度也剛好在其上方。

(2) 由於不同的 VCSEL 上電極出光孔徑會影響到雷射光強度，但光孔徑過大雖使元件的阻值變小，操作電壓變低，但又會讓臨界電流過大，使元件的操作電流變大，而降低了元件的操作速度，且增加了電功率的消耗，更降低了元件的生命週期(life-time)，所以我們設計了不同電極的尺寸及不同出光孔徑的光罩(如圖六)，以研究其不同的元件特性，其中 bond-pad 有 300x300 及 350x350  $\mu\text{m}^2$ ，而發光圓直徑有 6 與 8  $\mu\text{m}$ 。



圖六、1300 nm VCSEL 元件所用之光罩示意圖。

(3) 在質子佈植的 1300 nm VCSEL 製程方面，我們已發展了一套完整的

製程流程如下：

(a) 先將面射型雷射的晶片浸泡在丙酮(ACE)中 3 分鐘，

(b) 然後將面射型雷射的晶片浸泡在甲醇(CH<sub>3</sub>OH)中 3 分鐘，

(c) 再將面射型雷射的晶片用去離子水(D. I. Water)沖 3 分鐘，

(d) 接者用氮氣吹乾。

(e) 用光阻 AZ5214E 定義金屬電極的圖型(pattern)，

(f) 然後用電子槍蒸鍍機蒸鍍金屬 Ti/Au (20nm/200nm)在面射型雷射的晶片之上。

(g) 用丙酮將光阻去除，獲得 p-metal。

(h) 再用電子槍蒸鍍機蒸鍍金屬 Au/Ge/Ni/Au (20nm/40nm/14nm/200nm)在背面的 n-GaAs substrate 之上。

(i) 然後將鍍完金屬的面射型雷射晶片置入快速熱退火(RTA)系統以 415°C，30 秒的條件在氮氣環境下進行金屬與半導體的退火 (anneal)處理。

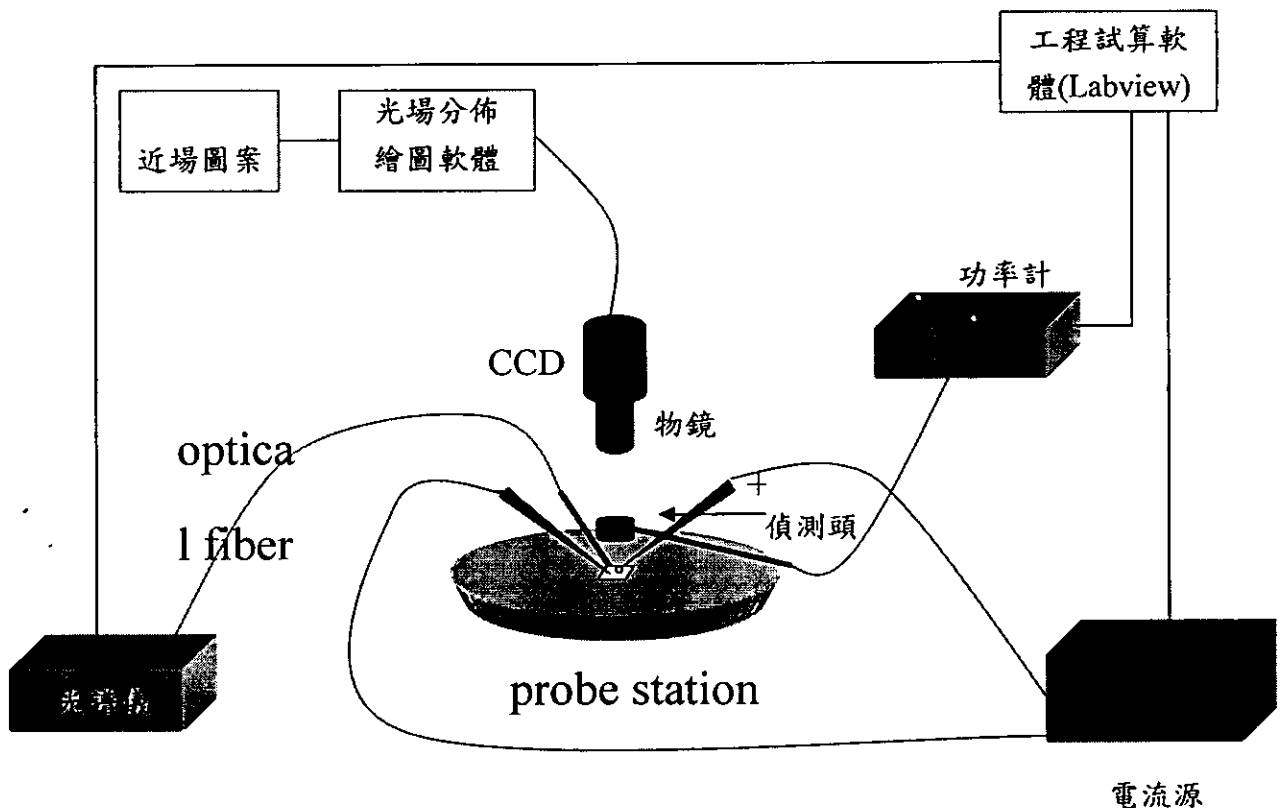
(j) 接者再用厚光阻定義質子佈植的區域，因為 1300nm VCSEL 的上 DBR 部分預計將有 5~6 μm，所以需以特殊的厚光阻 AZ4620 才能達到此厚度，以避免出光區域受質子佈植損壞。

(k) 質子佈植。

(1) 最後用丙酮將光阻去除。

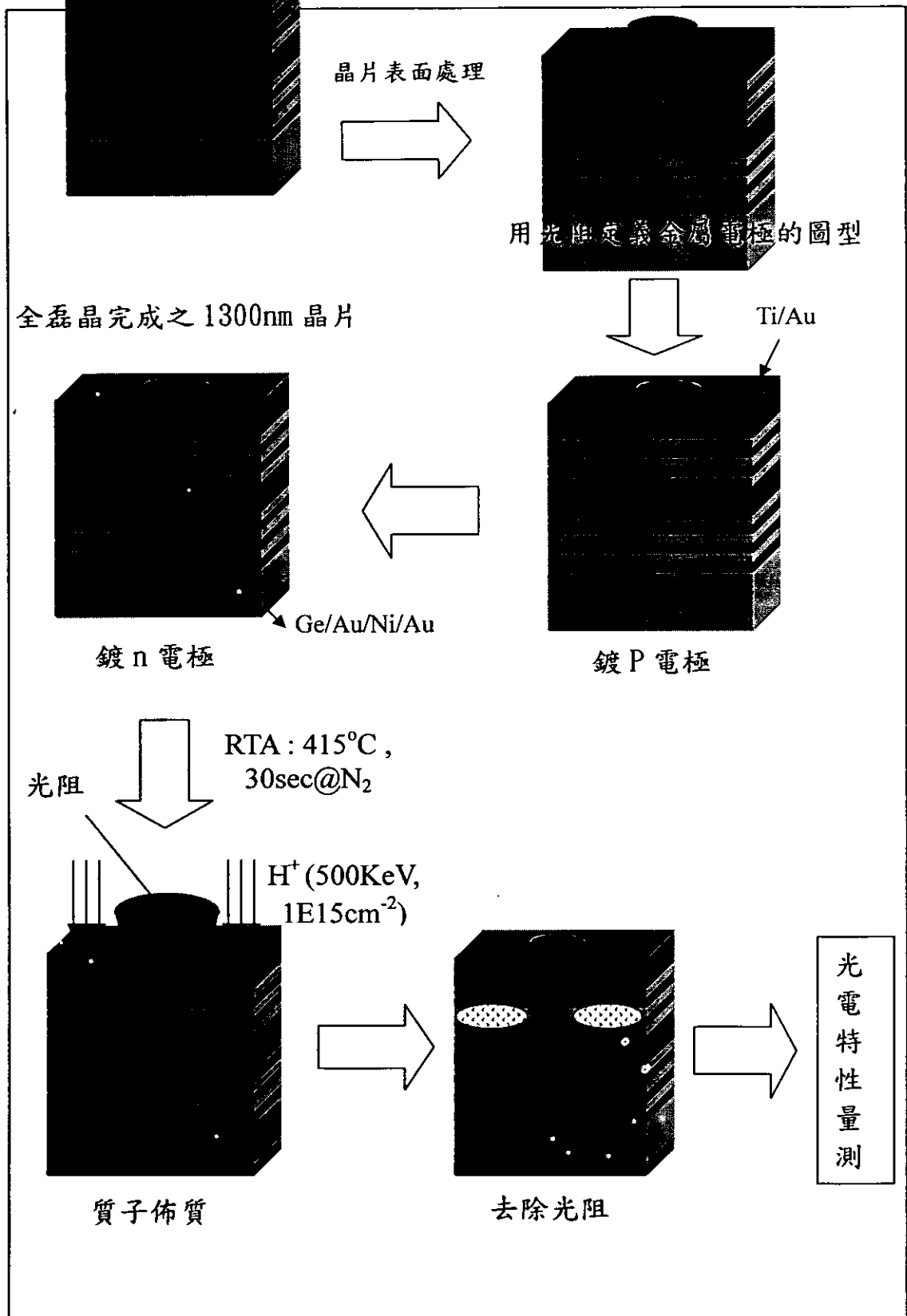
(4) 金屬電極的製作方面，因為上、下 DBR 分別採用 p-AlAs/GaAs 和 n-AlAs/ GaAs 的 DBR，所以 p-AlAs/ GaAs 上面的電極採用與其形成歐姆接觸的 Ti/Au，而 n-AlAs/ GaAs 的電極我們採用與其形成歐姆接觸的 Au/Ge/Ni/Au 來作為電極。

(5) 光電特性量測，在元件製作完成後需測量不同質子佈植的 1300nm VCSEL 元件的特性，包括光-電流-電壓(L-I-V)特性，雷射光之近場發光圖形(near-field pattern)，溫度特性及元件的穩定度量測等，所以我們架設了探針顯微鏡系統(probe-station)如圖七。



圖七、探針顯微鏡系統 (prob-station)

將完...，如圖八所示。



圖八、質子佈植型 1300 nm VCSEL 元件製作流程圖。



## 建議

1. 由反射頻譜圖看來，上 DBR 的反射率非常的高，如此可能表層數過多，而此會導致於元件阻值過大，所以可能可以降低 pair 數而增加元件的特性。

## 参考文献

- [1] A. Karim, K. A. Black, P. Abraham, D. Lofgreen, Y. J. Chiu, J. Piprek and J. E. Bowers, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 12(11), p.1438(2000)
- [2] R. Shau, M. Ortsiefer, M. Zigludrum, J. Roskopf, G. Bohm, F. Kohler, M. C. Amann, *Electron. Lett.*, 36(15), p.1286(2000)
- [3] Y. Ohiso, R. Iga, K. Kishi, C. Amano, *Electron. Lett.*, 36(1), p.39(2000)
- [4] J. Boucart, C. Starck, F. Gaborit, A. Plais, F. Brillouet, J. Jacquet, L. Goldstein, C. Fortin, D. Carpentier, P. Salet, F. Brillouet, J. Jacquet, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 11(6), p.629(1999)
- [5] J. P. Debray, N. Bouche, G. Le Roux, R. Raj and M. Quillec, *Electron. Lett.*, 33(10), p.868(1997)
- [6] D. I. Babic, K. Streubel, R. P. Mirin, N. M. Margalit, J. E. Bowers, E. L. Hu, D. E. Mars, L. Yang and K. Carey, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 7(11), p.1225(1995)
- [7] K. Uomi, S. J. B. Yoo, A. Scherer, R. Bhat, N. C. Andreadakis, C. E. Zah, M. A. Koza and T. P. Lee, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 6(3), p.317(1994)
- [8] O. K. Kwon, B. S. Yoo, J. H. Shin, J. H. Baek and B. Lee, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 6(3), p.317(1994)
- [9] J. H. Baek, I. H. Choi, B. Lee, W. S. Han and H. K. Cho, *Appl. Phys. Lett.* 75(11) p.1500(1999)
- [10] J. Piprek, Y. A. Akulova, D. I. Babic, L. A. Coldren and Bowers, *Appl. Phys. Lett.* 72(15) p.1814(1998)
- [11] H. Soda, K. Iga, C. Kitahara and Y. Suematsu, *Jpn. J. Appl. Phys.* 18(2) p.2329(1979)