

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫三：DWDM 長波長面射型雷射之研發(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2215-E-009-030-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學光電工程研究所

計畫主持人：王興宗

計畫參與人員：賴利弘 盧廷昌 朱榮堂

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，1年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 26 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

期中進度報告

新穎元件架構實驗型高密度多段波長多工通訊網路系統整合研究-子計畫三:DWDM 用長波長面射型雷射之研發(2/3)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 91-2215-E-009-030

執行期間： 91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

計畫主持人： 王興宗 交通大學 光電工程研究所

計畫參與人員： 賴利弘 交通大學 光電工程研究所

盧廷昌 交通大學 光電工程研究所

朱榮堂 交通大學 光電工程研究所

一、中文摘要

本年度計畫中，我們將配合為期三年的 DWDM 前瞻性研究計畫，開發出符合 DWDM 系統的長波長面射型半導體雷射，由於長波長面射型雷射的發散角小，波長可調，整合性高，製作成本低，將成為下一代通訊系統主要的光訊號源。研究

內容主要是使用融合鍵結的方式整合磷化銦(InP)長波長主動層到砷化鎵(GaAs)及介電材料系列的高反射率布拉格鏡面上來製作面射型雷射，以實現未來在 1300nm 或 1550nm 波段室溫連續操作的單或多波長面射型半導體雷射為基本目標。

關鍵詞：DWDM，長波長面射型半導體雷射，磷化銦，砷化鎵，晶片鍵結

Abstract

The long wavelength vertical cavity surface emitting laser (VCSEL) has been viewed as the most promising candidate for both data- and tele-communication system for its advantages of small divergence angle, the ability to integrate with other electronics and low cost. In this project, our objective is to develop and realize long wavelength VCSEL that can be used in DWDM system. Our research effort will concentrate on the investigation and development of wafer fusion bonding of InP active layer with GaAs/AlAs and dielectric DBR. We will fabricate 1300/1550nm VCSEL by the wafer fusion technology. The long wavelength VCSEL can efficiently operate under high temperature environment to meet DWDM requirement in the future.

Keywords: long wavelength VCSEL, DWDM, DBR, wafer fusion

二、計畫目的

本計畫預計三年內開發出符合 DWDM 通訊用長波長 1300nm/1550nm 面射型雷射 (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL)。操作在 1300nm 和 1550nm 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 1300nm LED 和 850nm 面射型雷射作為訊號源；而 1300nm 面射型雷射極有機會取而代之。由於光纖在 1300nm 有較大的距離頻寬乘積，使用 1300nm 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 1300nm 和 1550nm 面射型雷射可成為下一代 DWDM 系統的訊號源。

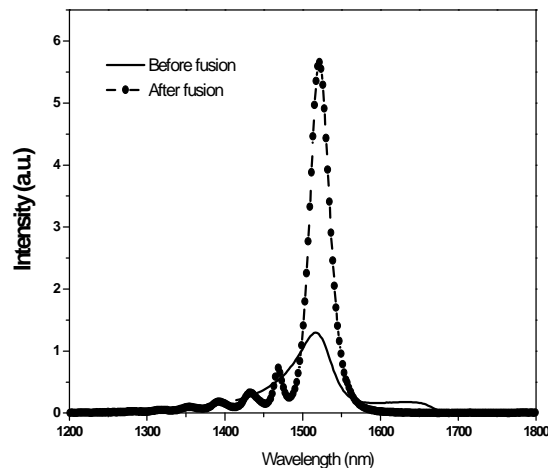
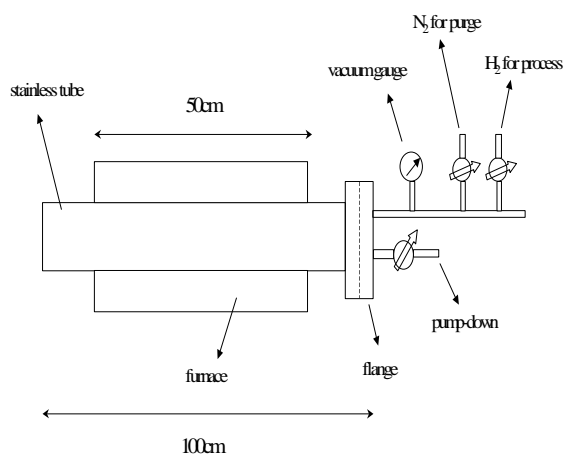
本計劃採用 wafer fusion 式的方式來製作長波長面射型雷射 [1-3]。基於此目標，我們在元件製作上有三大方向，首先是量子井主動層的結構設計，接著在 GaAs 基板上成長高反射率的 GaAs/AlAs DBR，最後是沉積介電材料 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ DBR。

三、結果與討論

A. 晶片融合鍵結設備的建立

為了使用晶片融合鍵結技術來製作長波長的面射型雷射，首先必須建立融合鍵結的相關設備，如圖一所示，其中主要反應腔體包括加熱用的爐管、不銹鋼管及加壓用夾具，在管路方面分為製程用及抽真空用管路，而在晶片融合鍵結時所使用的氣體為 H_2 。

圖一. 晶片融合鍵結設備示意圖



圖二、發光主動層在鍵結 DBR 前後的光激發頻譜比較圖。

B. 晶片的製作

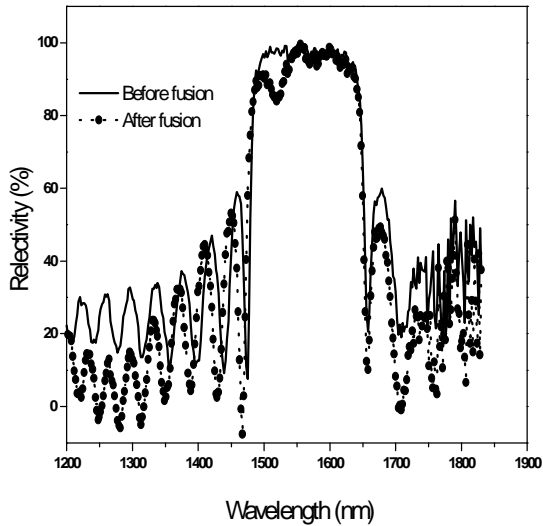
(一) 量子井主動層的結構設計

不管是直接成長在 InP 上的雷射結構或是 wafer fusion 式的雷射結構，主動層皆是成長在 InP 基板上的。傳統上，成長於 InP 上的主動層材料為 InGaAsP 或是 InGaAlAs 兩個系列。我們選擇使用 InGaAlAs 系列來作為主動層材料。其原因是 InGaAlAs 就磊晶上來說比 InGaAsP 容易控制，不管是固態成份的控制或是應力大小的調整，以及介面的完美性，InGaAlAs 都不用考量到 As 和 P 之間切換的問題，使得發展成本降低，以及時間效率提昇。另，InGaAlAs 的 ΔE_c 比 InGaAsP 來得大[4-5]，在製成雷射後，electron leakage 的機會變小，因此雷射的特性溫度(T_0)較高。圖二為長好之磷化銦系列的主動層在鍵結前與後的光激發頻譜(PL)。

由圖可知，發光的頻譜約在 1520 nm 左右，在經過高溫及高壓鍵結 DBR 製程後，光主動層的發光頻譜並沒有改變，表示主動層沒受到破壞。但是由於在鍵結 DBR 之後，因為往背面的被激發光將會被反射回正面，故相對的光訊號會比較強，如圖所示。

(二) DBR 成長

為了得到長波長 VCSEL 所需的高反射率 DBR，本計畫是採用 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 及 GaAs/AlAs 來分別當上及下 DBR 鏡面。GaAs/AlAs 是用 MOCVD 在砷化鎵基板上磊晶成長，而 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 是用 E-gun 蒸鍍機完成。因為 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 折射係數差比 GaAs/AlAs 大，故 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2$ 對只須 10 對，而 GaAs/AlAs 必須 25 對。圖三是用 MOCVD 長好的 GaAs/AlAs DBR 及與主動層鍵結前後的反射率頻譜比較圖。在融合鍵結前，反射頻譜的截止帶(stop-band)有 150 nm，反射率達 99% 以上。在鍵結之後，由於主動層會吸收 1520nm 的光，故反射頻譜在 1520nm 附近有一凹處，其反射率較低。游實驗結果顯示，高溫及高壓的晶片融合鍵結製程並不會影響 GaAs/AlAs DBR 的結構及反射率。



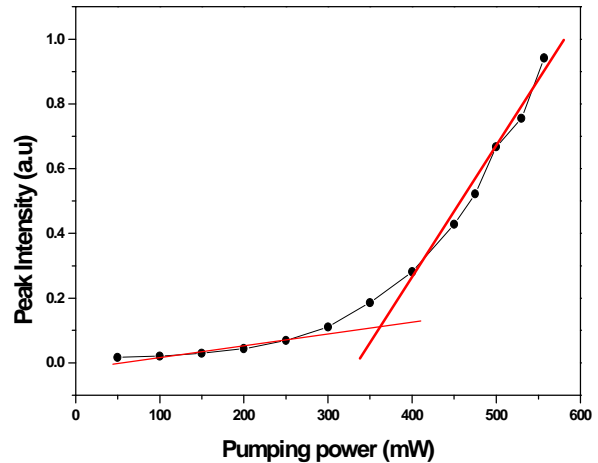
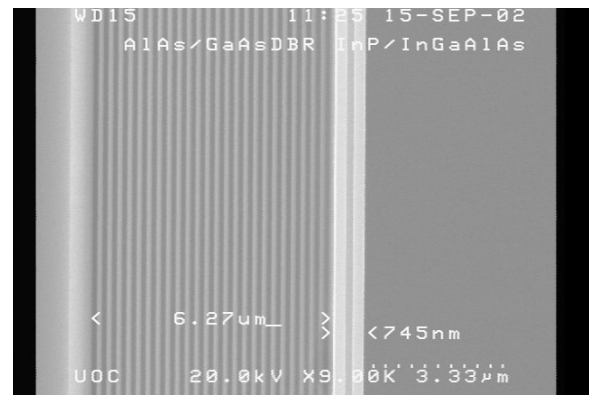
圖三、GaAs/AlAs DBR 在鍵結前後的反射頻譜圖比較圖。

(三) 雷射的製作

首先，分別在 GaAs 及 InP 基板上成長高品質的 GaAs/AlAs DBR 及 MQW 主動層，再將主動層晶片與 DBR 晶片利用融合鍵結技術鍵結在一起。接著將 InP 的基板移除。為了在鍵結後能將 InP 基板完全移除而不會破壞到主動層，在長 MQW 主動層之前先長一層蝕刻停止層 (Etch-stop layer)。鍵結好的元件側視圖如圖四所示。鍵結的製作是在溫度攝氏 600 °C 及一大氣壓 H₂ 的環境下完成的。在鍵結完成及移除 InP 基板之後，於 MQW 主動層的表面蒸鍍 10 對的 SiO₂/TiO₂ DBR 即完成光激發用的長波長面射型雷射。

圖五為長波長面射型雷射的光激發光圖，所使用的光激發源為 Ti-Sapphire 雷射，波長為 900 nm。當激發光的強度為 500 mW 時，雷射的輸出光有明顯的增加，故光激發臨界 power 為 500 mW。如此高的光激發臨界 power 可能是因為主動層及 DBR 之 Gain offset 不匹配所導致，此現象可由主動層的發光頻譜及共振腔的位置設計來改善。

圖四、GaAs/AlAs DBR 及與 InP 主動層鍵結後的電子顯微鏡側視圖。



圖五、長波長面射型雷射的光激發光圖。

四、結論

本計畫於今年度已完成光激發光的長波長 1500nm VCSEL 的設計與製作。使用融合鍵結的方式整合磷化銦 (InP) 長波長主動層到砷化鎵 (GaAs) 及介電材料系列的高反射率布拉格鏡面上可製作出長波長的面射型雷射。未來在只要在 DBR 部分加 p-type 及 n-type 的 dopant，優化長晶條件，降低串聯電阻，便可製成導電的電激發長波長 VCSEL。

五、參考文獻

- [1] J. J. Dudley, D. I. Babic, R. P. Mirin, L. Yang, B. I. Miller, R. J. Ram, T. E. Reynolds, E. L. Hu, and J. E. Bowers, *Appl. Phys. Lett.*, 64(12), p.1463(1994).
- [2] 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).
- [3] 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).
- [4] C. E. Zah, R. Bhat, B. N. Pathak, F. Favire, W. Lin, M. C. Wang, N. C. Andreadakis, D. M. Hwang, M. A. Koza, T. Lee, Z. Wang, D. Darby, D. Flanders, and J. J. Hsieh, IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron. VOL. 30, NO. 2, 511 (1994).
- [5] I. Sagnes, G. L. Roux, C. Meriadec, A. Mereuta, G. Saint-Girons, and M. Bensoussan, Electron. Lett. VOL. 37, NO. 8, 500 (2001).

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫執行 進度報告

※※※

※※※※

※

※

(計畫名稱)

※

※

※

※※※

※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC — — — — —

執行期間： 年 月 日至 年 月 日

計畫主持人：

共同主持人：

計畫參與人員：

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：

中 華 民 國 年 月 日