

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告
環保及生化用紅外線光源

The Infrared Light Source used in Environment Protection
and Biochemistry

計畫編號: NSC88-2215-E-002-018

執行期限: 87/8/1~88/7/31

主持人: 李嗣涔教授 台灣大學電機系

協同主持人: 管傑雄副教授 台灣大學電機系

協同主持人: 林清富副教授 台灣大學電機系

一、中文摘要:

紅外線雷射光源是空氣污染源監控系統的重要核心。針對不同污染源其所需光源的波長也不相同。本年度的計畫，是利用分子束磊晶(MBE)技術在砷化鎵基底上，利用去年進行單層量子點結構的光電物性的分析的結果來成長多層砷化鎵量子點以及 GaInAs/AlInAs 張力自補式雷射及發光二極體之結構，同時由於傳統高功率雷射體積大、價格昂貴、壽命短，因此我們利用準相位匹配技術來改善光參振盪器中傳統非線性光學晶體的性質。並研發波導展開式半導體雷射放大器以及寬頻可調式半導體雷射來取代傳統高功率雷射。

Abstract

An infrared laser light source is the key component of the monitor to

the atmospherical contaminations. As far as the different air-contaminating cause is concerned, the wavelength of the needed light source is different. In the project, based on the physical property about optoelectrical measurement of InAs QD single layer, structures of multi-layer InAs QD superlattice and GaInAs/AlInAs strained self-compensated laser and light emitting diodes structure are grown by MBE. And still, due to the large size, high price and short lifetime of traditional high-power laser, quasi-phase-matching techniques are used to improve the properties of the optical parametric oscillators. And high-power flared semiconductor

laser amplifiers are developed for the pumping sources of the optical parametric oscillators. Broadband tunable semiconductor lasers are developed successfully and could be used as the wavelength-tunable pumping sources of the optical parametric oscillator in replace of the traditional high-power laser.

二、計畫緣由與目的

空氣污染的監控是環保工作的重要課題，尤其是在台灣的大都會中，利用雷達遙測、光偵測及測距技術，亦即所謂的光達技術(LIDAR, light detection and ranging)來監測大氣中之有毒成份、指標污染物、揮發性有機化合物及危險空氣污染物等，已成為勢在必行的工作[1]。如表一所列[2]，由於這些污染物的主要吸光波長皆在紅外線區，因此紅外線發光源在偵測大氣污染源的環保工作上佔著極為重要的地位。

因此便需要研究開發此種紅外線光源所需的技術及材料，以期應用於環保監控系統中。目前，此種紅外線雷射光源所使用的材料系統主要是 III-Sb [3-5]；此種以錫(Sb)為根基的 III-V 族半導體，其能量帶溝是在紅外線區。此外，該雷射所採用元件的基本結構是 PN 二極體，而且在界面處以量子井的結構來增加電子、電洞及光子的 confinement [6]。換言之，以 III-Sb 所製成的雷射光源是靠 interband transition 作為發光的原理。

就本系現有的設備而言，我們無法發展 III-Sb 的材料系統；但是可取而代之，又有發展潛力的是 GaInAs/AlInAs

材料[7-9]，然而由於一維或二維空間內的載子，其波函數受到位障的限制，會使得正面入射光的吸收為零，因此，量子點光電元件以及張力自補式之結構便成為極具潛力之研究方向。

另外一方面，一個穩定的光參振盪器的研發仍然停留在實驗室階段，與實際上的應用仍然有一段距離，其中最關鍵的因素，在於光參振盪器對於光學準直及其共振腔的穩定性非常敏感，這個問題主要是起源於非線性光學晶體必須滿足相位匹配的條件，造成光學準直上可接受的角度範圍非常狹小，要改善上述情形，就必須改善非線性光學晶體的性質，而利用準相位匹配的方式就可以避免傳統非線性光學晶體的種種缺點。準相位匹配元件就是在非線性光學晶體上對其非線性係數做周期性的調變，在這種狀況下，光參振盪器就可以滿足相位匹配的條件，不再有光學準直上可接受角度範圍過小的問題，也就是說，利用準相位匹配的技術，光參振盪器的穩定性將大幅的提升，因此，我們也鎖定在三種關鍵性元件的研究：

1. 準相位匹配非線性光學晶體
2. 波導展開式半導體雷射放大器
寬頻可調式半導體雷射。

三、研究方法與成果

首先是有關 InAs 量子點的成長，我們利用去年的研究成果所得到砷化銻磊晶層的最佳成長條件，我們成功地在砷化銻晶片上，成長 20 個週期的 InAs/GaAs(2.5ML) 載子摻雜濃度在 $1.5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ ，每層 GaAs 厚度為 30 nm，如圖一所示。經由原子力顯微鏡(Atomic Force Microscopy, AFM)的量測技術，也量測到 2.5 個原子層(ML)砷化銻量子點

的表面影像，高度 65Å，底寬約為 150Å，如圖二所示。接著藉由傅利葉紅外線吸收頻譜實驗以及光激發光頻譜實驗可以看出我們已經成功的成長出良好的量子點電晶元件。

而對 GaAs/AlGaAs 超晶格的研究，我們設計發展出 multiple-color infrared photodetector 如圖三以及圖四所示。

在準相位匹配非線性光學晶體的理論研究方面，我們改良了過往所提出的光束傳播法，從原本的二維模擬改為三維模擬，使得此模型可以實用於塊狀的準相位匹配材料（即為我們實驗中將要使用之材料），與已發表期刊上所做的非線性差頻實驗來比較，非線性轉換效率約為實驗所得之兩倍（ $0.015\%/Wcm:0.0292\%/Wcm$ ）（圖五），為同一個數量級，故此演算法已可實用作為將來實驗結果之預測。針對波導展開式半導體雷射放大器的研究，根據以往所研製的放大器（圖六），我們在輸出的兩個鏡面上進行抗反射鍍膜的研究，以便使此半導體雷射放大器能夠實際運作。最後，我們也使用商用的高功率半導體雷射及 Nd:YAG 固態雷射進行半導體雷射幫浦光參震盪器之研究，以期作為原形，之後再以波導展開式半導體雷射放大器代替商用高功率雷射。

四、結果與討論

我們成功地在砷化鎵晶片上，利用 20 週期超晶格結構，分別成長了 2.5 個原子層 (ML) 的砷化銦量子點。並利用傅利葉紅外線吸收頻譜與光激發光頻譜與溫度的關係瞭解週期性量子點結構基本能量躍遷特性，以及與量子井元件最大的不同就是光能正向入射被此結構所吸收，這是未來製成量子點偵測元件最大

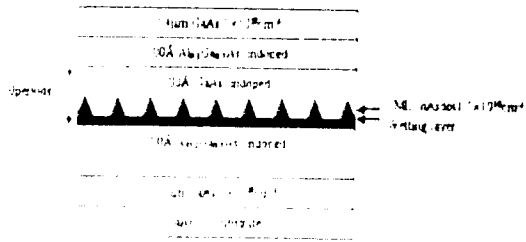
的優勢，並且我們也發展出多彩的超晶格偵測器，其中吸收峰值決定於所外加的電壓值，約從 -0.3V 到 +1.3V 左右。

最後我們的研究成果顯示，我們可以使用我們所製做的波導展開式半導體雷射放大器以及寬頻可調式外腔半導體雷射做為光參震盪器的雷射幫浦，同時使用準相位匹配元件來取代傳統的非線性光學晶體，以期研發出性質優良的光參震盪器，以產生可調式紅外線光源。

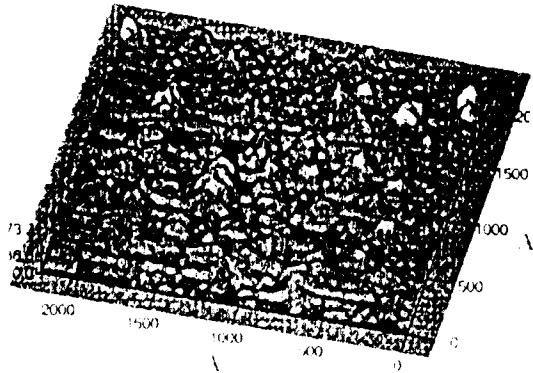
五、參考文獻

- [1] 行政院國科會光電小組所發行的『光訊第五十四期』(Opto News & Letters), June 1995.
- [2] Compound Semiconductor, Vol. 1, No2, Sept./Oct. 1995, p.12~p.13.
- [3] T. C. Hasenberg et al, Electron. Lett. 31(4), 275 (1995).
- [4] H. K. Choi and G. W. Turner, Appl. Phys. Lett. 67(3), 332 (1995).
- [5] H. Lee, et al. Appl. Phys. Lett. 66(5), 1942 (1995).
- [6] S. M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc. (1981).
- [7] B. F. Levine, A. Y. Cho, J. Walker, R. J. Malik, D. A. Kleinman, and D. L. Sivco, Appl. Phys. Lett. 52, 1481 (1988).
- [8] H. Asai and Y. Kawamura, Appl. Phys. Lett. 56, 746 (1990).
- [9] S. D. Gunapala, B. F. Levine, D. Ritter, R. Hamm, and M. B. Panish, J. Appl. Phys. 71, 2458 (1992).

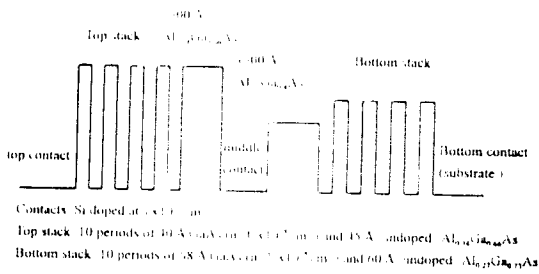
六、圖表



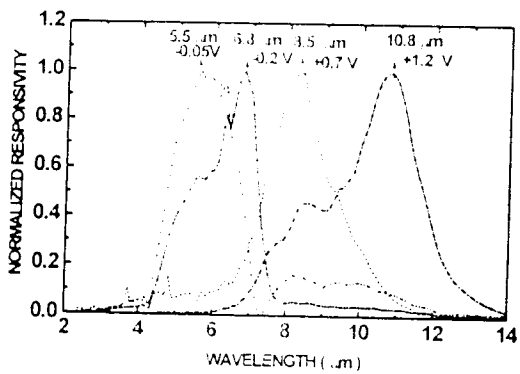
圖一、20 週期量子點超晶格結構示意圖。



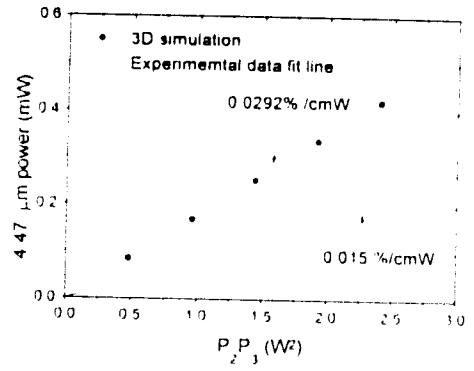
圖二、以 AFM 掃瞄之 2.5 原子層 (ML) InAs/GaAs 量子點的三維圖像。



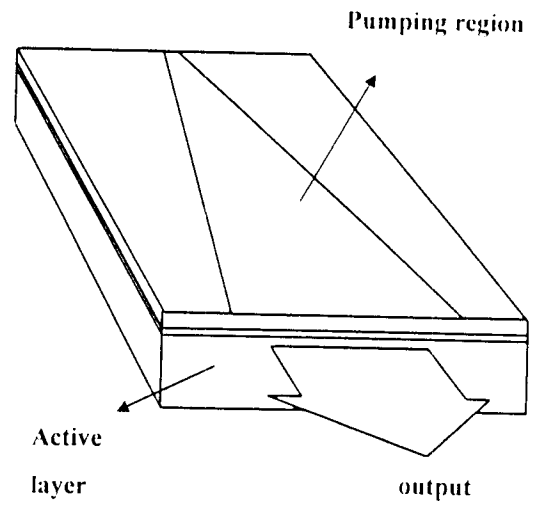
圖三、多彩超晶格紅外線偵測器的帶圖與結構。



圖四、多彩超晶格紅外線偵測器光響應與偏壓的變化。



圖五：非線性轉換效率。



圖六：波導展開式半導體雷射放大器。