

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

非可見光元件與技術之研究及其在植物生長之應用
利用半導體雷射幫浦技術以產生可調波長紅外光

**Tunable wavelength IR generation using
semiconductor-laser-pumped technology**

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC90-2215-E-002-016

執行期期間：90年8月1日至91年7月31日

計畫主持人：林清富 教授

執行單位：台灣大學光電工程研究所
中華民國九十一年九月二十日

行政院國家科學委員會專題研究計畫執行進度報告

非可見光元件與技術之研究及其在植物生長之應用 利用半導體雷射幫浦技術以產生可調波長紅外光 **Tunable wavelength IR generation using semiconductor-laser-pumped technology**

計畫編號：NSC90-2215-E-002-016

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：林清富 台灣大學光電工程研究所

一、中文摘要

本研究應用準相位匹配技術來改善非線性光學轉換中傳統非線性光學晶體的性質。我們研發波導展開式半導體雷射放大器，藉由外腔型結構具有寬頻可調的特性，用來取代傳統體積大、價格昂貴之高功率雷射，作為非線性光學轉換的雷射幫浦。並研發製作週期性區域反轉鈮酸鋰晶體，成功的架設一個半導體雷射幫浦差頻系統，以產生波長落在紅外線區段的差頻光。此外還發展三維模型以評估準相位匹配光學轉換的情形。

關鍵詞：非線性光學轉換，準相位匹配，週期性區域反轉鈮酸鋰晶體，差頻

Abstract

Quasi-phase-matching (QPM) techniques used in the nonlinear optical wavelength conversion are studied. We developed tapered-waveguide semiconductor laser amplifiers for high-power tunable semiconductor lasers to replace conventional bulky lasers used in the nonlinear wavelength conversion applications. Then we fabricate the periodic-poled-Lithium-Niobate devices used for quasi-phase-matching by one direction heated proton exchange. The

generation of mid-IR radiation by quasi-phase-matching difference frequency generation pumped by high power semiconductor lasers are developed successfully. In addition, we had developed mathematical model for simulating nonlinear QPM wavelength conversion.

Keywords : nonlinear optical wavelength conversion , quasi-phase-matching , periodic poled Lithium Niobate , difference frequency generation

二、計畫緣由與目的

自從雷射技術問世後，引起現代光電工程革命性的進展。然而，目前雷射光源所涵蓋的頻譜範圍仍然有限，要在單一光源具有高品質的雷射光，且涵蓋多範圍波長，利用非線性光學中的頻率轉換的特性是一種有效的做法。

早期沒有適當的非線性晶體和足夠功率的雷射，直到90代早期非線性光學頻率轉換一直進展緩慢。另外由於非線性光學頻率轉換的系統敏感度很高，架設上的穩定度要求十分的高，以及頻率調整上的困難，所以造成其普及化和用上的困難。其中最關鍵的因素，在於非線性光學轉換對於光學準直非常敏感。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。利用準相位匹配的技術可以解決這個問題。準相位匹配的技術就是利用非線性晶體做週期性區域反轉的方式去補償交互作用的光波的相位差。利用此技術，不僅可以利用到晶體的最大非線性係數，而且藉由轉動晶體可以得到不同的區域反轉週期，以配合不同的準相位匹配條件，而產生不同波長的差頻光。另一方面，在這種狀況下，非線性光學轉換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。利用準相位匹配的技術，非線性光學轉換的穩定性將大幅的提升。

在本研究中，我們在理論上先研究週期性區域反轉的基本性質，我們研發出數個數值模型，可以有效地計算準相位匹配光學轉換的情形。

我們進一步利用鉍酸鋰所做成的週期性區域反轉非線性晶體，建立一個半導體雷射幫浦差頻系統，其所產生差頻光的波長落在紅外線區段。

我們也成功研製出高功率寬頻可調式半導體雷射幫浦。並將此半導體雷射元件與差頻系統組合，以實際產生性質優良的寬頻可調式紅外線光源。

三、結果與討論

在準相位匹配非線性光學晶體的理論研究方面，將二維模擬擴展為三維模擬，使得此模型可以實用於塊狀的準相位匹配材料，而所需的計算時間並未增加。模擬結果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〔 $0.015\%/W\text{cm}:0.0292\%/W\text{cm}$ 〕，若將紅外光於非線性晶體表面反射的效果加入，轉換效率為 $0.0192\%/W\text{cm}$ ，與實驗結果相去不遠，相信此演算法可實用作為將來實驗結果之預測。除此之外，使用我們所發展出來的演算法，可以對一些實際準相位匹配元件的特性，有更深入的了解，這是以往使用簡單的理論所無法辦到的，我們發現光參振盪所產生的紅外光其光束和高斯光束有些差異，如圖一所示。

在準相位匹配週期性區域反轉鉍酸鋰晶體的製作技術上，我們發展一維式質子交換法產生深的區域反轉的技術。在實驗上我們已經抓到了某些製程條件：急速降溫（降溫速度達 $200^\circ\text{C}/\text{min}$ 時）、溫度變化時焦磷酸的必要性等，這些條件有利於深的區域反轉的發生，最深可達 $100\ \mu\text{m}$ 以上。用一維式質子交換法所得到的區域反轉深度要比一般用化學擴散法所製做出來的區域反轉深度深很多。

在差頻紅外光的架設中〔圖二〕，我們初步利用波長為 $808\ \text{nm}$ 半導體雷射和 $1064\ \text{nm}$ 的 Nd-YAG 雷射產生波長落在紅外線區段的差頻光。利用 beam splitter 將 1064 和 $808\ \text{nm}$ 兩道雷射光合併在一起，再利用雙凸透鏡將雷射光一起聚入週期性區域反轉鉍酸鋰晶體，在鉍酸鋰晶體後方以 Ge 濾鏡濾去 808 、 $1064\ \text{nm}$ 兩道雷射光，只讓在鉍酸鋰晶內產生的差頻光通過，再利用 InSb 紅外線偵測器偵測差頻紅外光的功率。

由於商用 808nm 之波長頻譜不純，我們也利用光柵來控制 $808\ \text{nm}$ 半導體雷射幫浦的波長，如圖六所示，使半導體雷射光波長穩定而不再受電流不同時波長有位移現象的影響。有光柵回饋時，轉換效率在 $39 -$

46.5 $\mu\text{W}/\text{W}^2\text{-cm}$ 之間，較原先沒有光柵時略高。

最後我們利用自製波導展開式半導體雷射放大器進行類似的研究。我們使用一個寬頻可調式線型外腔雷射，其可以產生超過500mW之高功率雷射，並可以調頻約10nm之頻寬，利用此特性，以足夠作為光參振盪器的幫浦光源。此波導展開式半導體雷射放大器在有光柵將光回饋至共振腔和沒有將光回饋至共振腔之遠場如圖三所示，可看到回饋的影響。

然後架設差頻紅外光的光學系統，如圖四所示。我們成功地產生差頻波長為4.3 μm 的光。圖五為Nd:YAG光強度固定，而半導體雷射光改變之情形，圖六為半導體雷射光固定，而Nd:YAG光強度改變之情形，可看到明顯的差頻訊號。

四、計畫結果自評

本計畫在整個過程中已做到以下數個部分，第一部分是在研究準相位匹配非線性光學轉換之評估方式，第二部分則是在於波導展開式半導體雷射放大器的研究，第三部分為週期性區域反轉鋯酸鋰晶體的研製，第四部分是可調高功率半導體雷射之架設和實驗，第五部份為半導體雷射幫浦差頻系統的架設，第六部份是實際利用自製的波導展開式半導體雷射放大器產生差頻紅外光。整體而言，本計畫的理論和實務並重，我們得到相當完整且不錯的研究成果。

我們發展以一維式質子交換法產生深的區域反轉的技術。在實驗上我們發現用這種方法所得到的區域反轉深度，要比一般用化學擴散法所製做出來的區域反轉深很多，最深可達100 μm 以上。

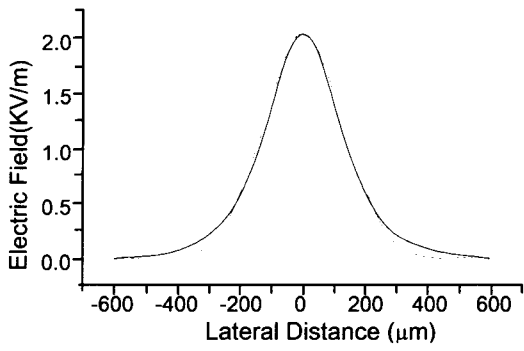
我們進一步利用週期性區域反轉鋯酸鋰晶體，成功的建立一個準相位匹配半導體雷射幫浦差頻系統。

由我們的研究成果顯示，我們可以使研製深度大的週期性區域反轉鋯酸鋰晶體，同時也使用週期性區域反轉鋯酸鋰晶體來取代傳統的非線性光學晶體，建立起一個準相位匹配半導體雷射幫浦差頻系統。我們將此差頻系統進一步結合我們自製的高功率寬頻可調式半導體雷射，以產生寬頻可調式紅外線光源。研究結果顯示此做法的可行性，然而要將此結果應用於實際的測量中，還需投入更多的資源和人力，若有實際市場需要，值得進行更多工程課題之開發。

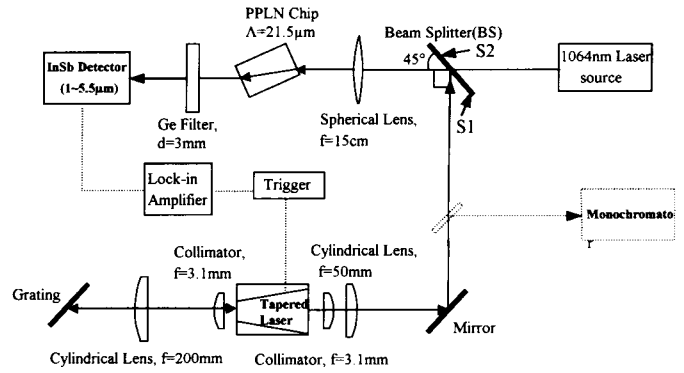
五、參考文獻

- [1] Lim, M.M.Fejer, R.L.Byer, *Electron. Lett.* 25, 174 (1989)
- [2] Armstrong, N. Blombergen, J. Ducuing, and P.S. Pershan, *Phys. Rev.*,127, 1918 (1962)
- [3] S.O.Brien, D.F.Welch, R.A.Parke, D.Mehuys, K.Dzurko, R.J.Lang, R.Waarts, and D.Scifres,*IEEE J. Quantum Electron.*, 29, 2052 (1993)
- [4] H.-F. Chou, C.-F. Lin, and G.-C. Wang, *J. Lightwave Technol.*, vol. 16, pp. 1686-1693, 1998.
- [5] H.-F. Chou, C.-F. Lin, and S. Mou, *J. Lightwave Technol.*, vol. 17, pp. 1481-1486, 1998.
- [6] Shing Mou, Ching-Fuh Lin, and Hsu-Feng Chou, *IEEE Journal of Lightwave Technol.* May, 2001.

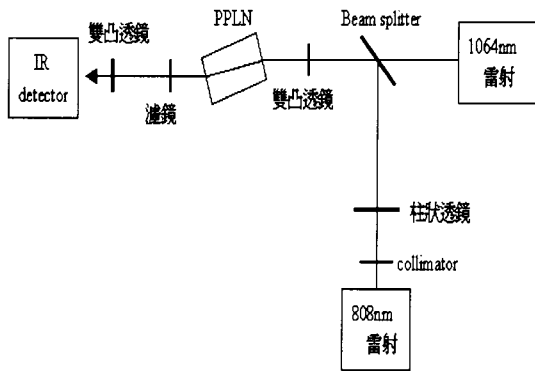
六、圖表



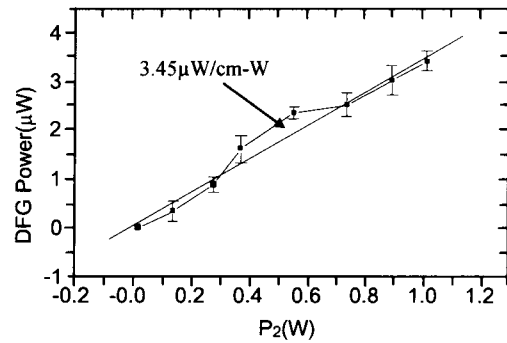
圖一: The beam profiles and its Gaussian fit profile of the ω_1 (DFG) wave at $50000\mu\text{m}$



圖四: Schematic diagram of DFG system

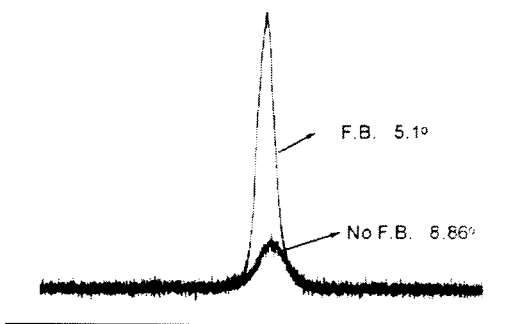


圖二: 半導體雷射幫浦差頻紅外光架設的簡圖

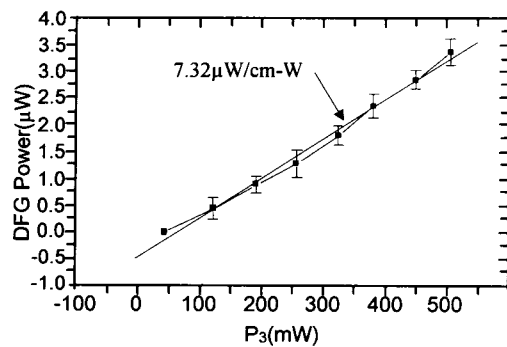


圖五: DFG power versus signal power for pump power is kept at 500mW in experiment

Far Field at 800mA, 854nm



圖三: Far field lasing at 854 nm for I=800mA / 1.5 A



圖六: DFG power versus P₃ for P₂ is kept at 1.0 W in experiment