

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

次微米準相位匹配非線性光子晶體與頻率轉換應用(2/3) 期中進度報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-002-377-
執行期間：95年08月01日至96年10月31日
執行單位：國立臺灣大學光電工程學研究所

計畫主持人：彭隆瀚

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96年07月19日

一、計畫內容

1. 利用非線性晶體鉬酸鋰製作藍光雷射光源

A. 前言

藉由雷射光源的諸多優點，如色域寬廣、對比度高、色彩飽和度佳等，成為未來在照明、背投影顯示器市場中蓄勢待發的明日之星，而我們利用非線性晶體及準相位匹配原理 (quasi phase matching (QPM)) 來達成倍頻轉換，藉此產生紅、藍、綠三原色的雷射光源，非線性晶體我們選用鉬酸鋰，因為鉬酸鋰有著穿透區間廣的優勢，可製作出較短波長的光源，做為 DVD 的雷射讀寫頭，我們知道光源波長越短，資料儲存量越大，應用於光資訊儲存系統，更可大大提升資料儲存量，除此之外 RGB 光源的應用不勝枚舉，在此不再詳加闡述。

B. 研究方法

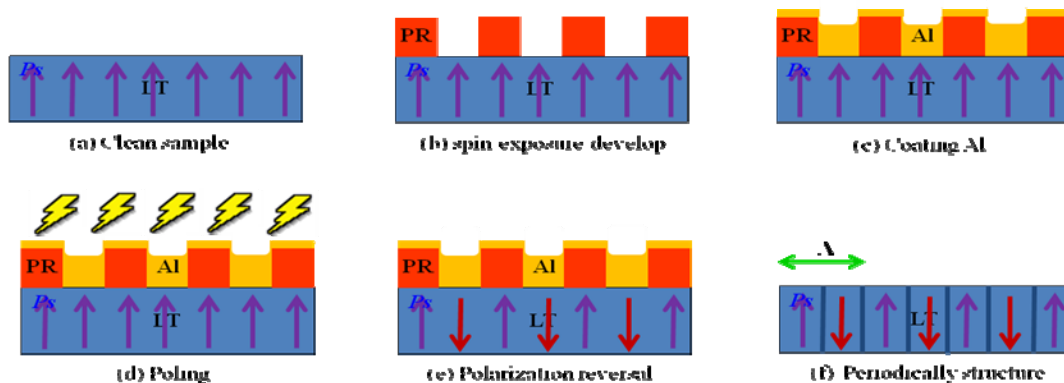
倍頻晶體製作部分則以微影製造技術在空間中製造出鐵電疇(ferroelectric domain Ps)產生週期性的空間反轉排列，導致同為奇數階張量之光學非線性係數產生週期性之符號改變，這項結構之變化，不僅使得非線性晶體獲得特定之晶格動量以滿足準相位匹配，同時也使得非線性光學頻率轉換可以利用到晶體最有效率的張量值 d_{33} ，與傳統之 bi-refrigent phase matching (BPM) 相比，以一維 QPM 結構進行二次諧波 (second harmonic generation, SHG) 比起一維塊才有 $(2d_{33}/\pi d_{31})^2 \sim 10$ 倍數以上之轉換效率提升，而我們發展了二維結構，在倒置向量空間可提供更多方向的 K 向量，達成 QPM。

C. 元件製作及特性分析

甲、倍頻晶體的製作

A. 製作流程

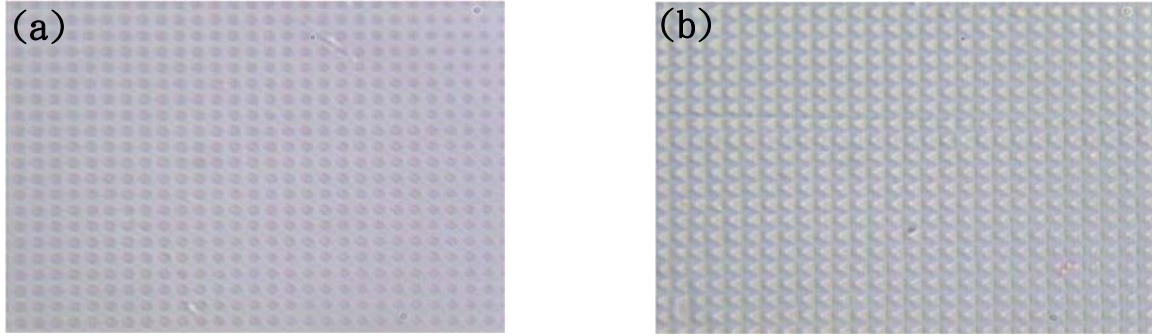
我們利用微影技術定義出所需週期大小，之後施以高電壓使晶體極化反轉，即為鐵電疇(ferroelectric domain Ps)產生週期性的空間反轉排列，隨即拋晶體端面，進行光學量測。



圖一、晶體製作流程

B. 製作結果

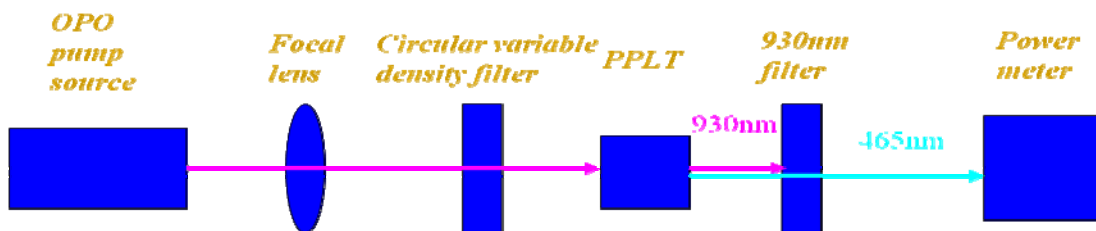
施以高電壓使鉍酸鋰產生極化反轉後，我們使用熱電效應作為觀察 PPLT 的技術，與典型觀測技術相比較，如原子力顯微鏡(Atomic force microscopy)，X 光繞射及氫氟酸蝕刻法，熱電效應觀測法具備經濟、省時、安全外，還具有高解析度、非破壞性觀測的特性。在鉍酸鋰上加溫至 95°C，可在晶體+Z 與-Z 面兩端造成溫度差使之可以產生上述熱電效應之結果，靠著顯微鏡在不同聚焦深度時，我們就可以觀察到由+Z 面至-Z 面極化反轉區域形成的結果。



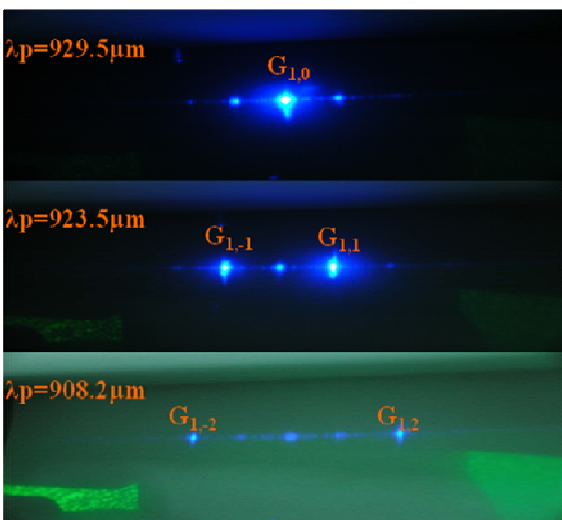
圖二、週期為 5.1mm 藍光倍頻晶體製作結果(a)圖為晶體+Z 面(b)圖為晶體-Z 面

乙、光學架設及量測結果

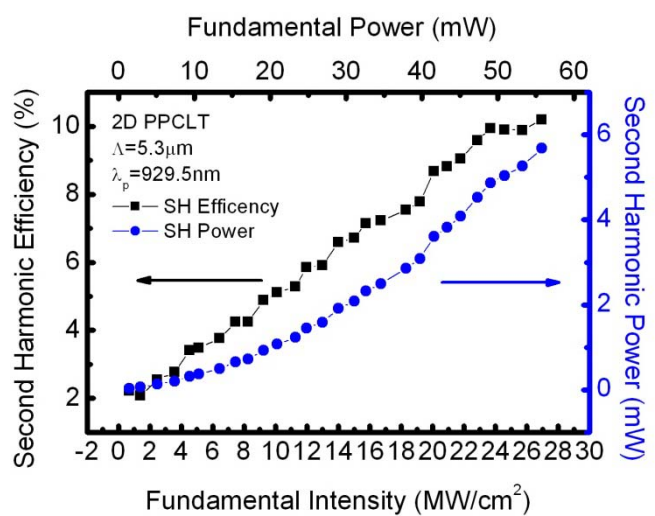
A. 光學架設(波長 930nm 倍頻光源)



B. 量測結果(二維藍光倍頻晶體)



圖三、不同入射波長達到準相位匹配的 K 向量



圖四、倍頻藍光轉換效率

D. 結論與計畫自評

本實驗室已可製作出有效長度 6X6mm 的週期性極化反轉的倍頻藍光晶體，再經由 930nm 的倍頻光源入射後，產生倍頻藍光光源已有 10% 的轉換效率，迫切需要再提升轉換效率，提升的方法有加長晶體週期性極化反轉的區域，再者可以使極化反轉的區域更加均勻，若可如上提升效率與晶體製作良率，可預見未來將有廣大的應用市場與新的契機。

2. 利用週期性反轉鋰酸鋯製作腔內倍頻綠光雷射

A. 前言

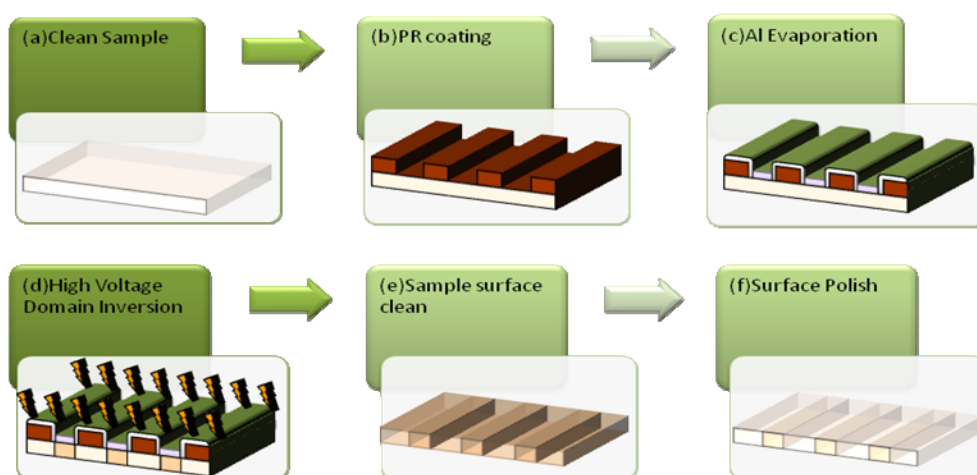
目前綠光雷射技術的發展上相當具多元化，如氣體雷射、半導體雷射、固態雷射等，但有的不是效率低、生命週期太短，就是體積過於龐大。因此，未來若想使得綠光雷射商品化，勢必是朝向體積更小且更簡單的目標邁進。其中以半導體雷射激發之固態雷射，因為結合了半導體雷射輕、薄、短、小的特性加上固態雷射高品質的輸出橫向、縱向模態、高功率的優點，故在這方面有其發展的優勢。

B. 研究方法

採用腔內倍頻研製小型化、高效率的固體雷射元件是近年來雷射元件領域內的一個非常活躍的方向。利用 Nd:YVO₄ 當作增益介質，選用單模態的 808nm 雷射二極體作為泵浦光源，可製作小型甚至微型固態雷射激發器。進一步採用本實驗室製作之高非線係數、有效長度為 6mm 長之週期性反轉鋰酸鋯技術作為倍頻晶體獲得綠光輸出，可以在彩色顯示、雷射分色、醫療及娛樂等許多領域中獲得應用。

C. 元件製作及特性分析

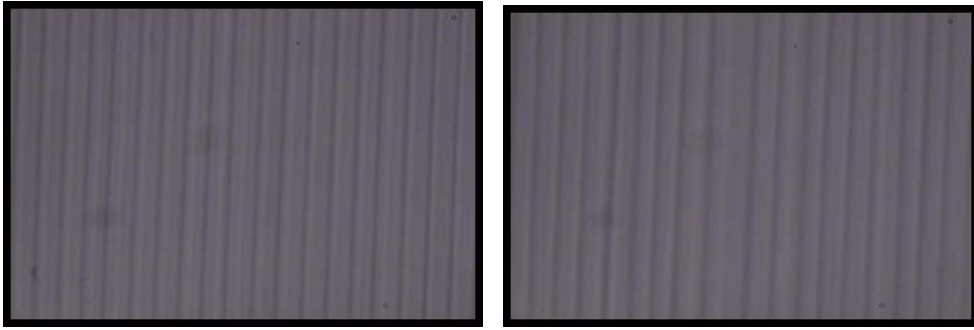
甲. 週期性反轉鋰酸鋯製程流程



圖一、綠光 PPLN 倍頻晶體製作流程

- (a) 我們先使用標準的清洗程序將樣品表面清潔
- (b) 接著在樣品表面利用黃光流程，以光阻定義出所需反轉的區域

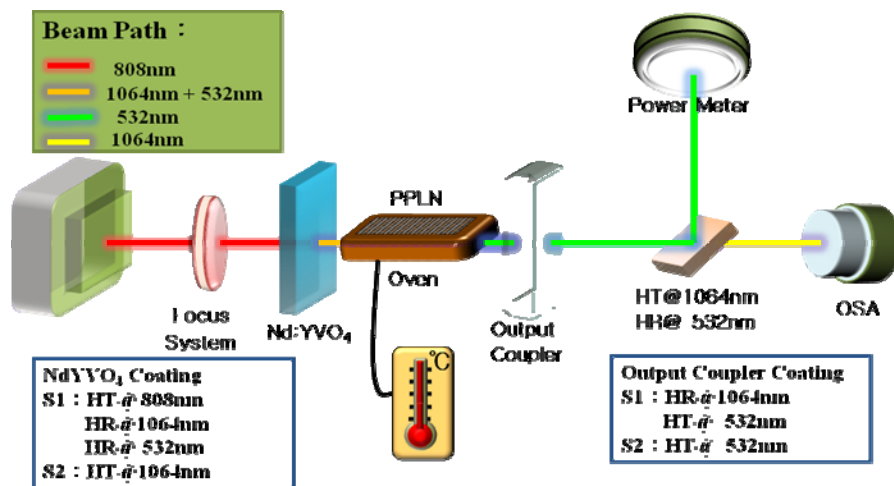
- (c) 在樣品表面蒸鍍上一層金屬作為導電電極
- (d) 施加一高電壓於樣品表面使得與電極接觸的部分產生極化反轉
- (e) 將樣品表面的光阻與金屬清洗乾淨
- (f) 在晶體兩個端面研磨拋光，使之達到光學等級的雷射的輸入、輸出面



圖二、綠光PPLN倍頻晶體正、負面圖

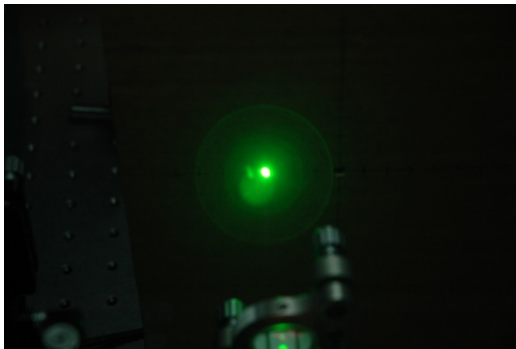
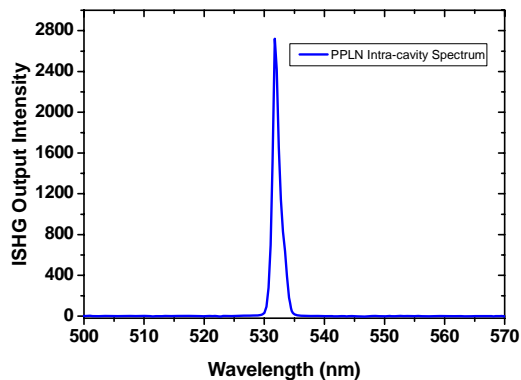
圖二為樣品製作完成示意圖，兩週圖是互相對應到的，由圖中可知整個0.5mm厚度都有極化反轉，且duty約為1:1。

乙. 週期性反轉鈮酸鋰腔內倍頻綠光系統架設

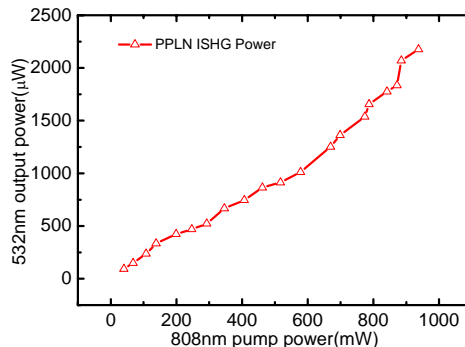
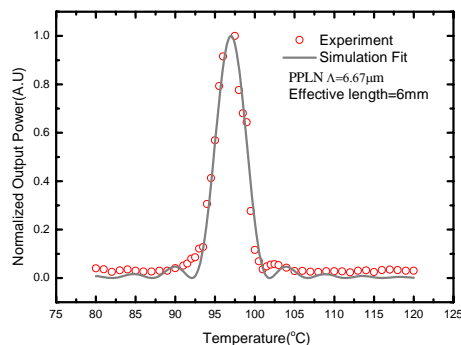


圖三、綠光腔內倍頻光學架構圖

本實驗使用808nm雷射二極體輸入Nd:YVO₄晶體得到1064 μm 近紅外雷射，再用PPLN晶體進行腔內倍頻得到532 μm 的綠光雷射，並採用獨特的聚焦系統和控溫系統提高元件的整體性能。本實驗設計之共振腔為線型之平凹型，將Nd:YVO₄晶體表面對1064 μm 基頻光作為輸入端的諧振腔反射鏡；並用一平凹反射鏡作輸出端反射鏡，並把倍頻晶體放在Nd:YVO₄晶體附近。然而，對於以PPLN作為倍頻晶體時，晶體處於穩定的特定溫度，對提高輸出功率並保持其穩定是十分重要的。為此，本實驗室自製了一套溫控系統，可有效的將晶體控制在其所對應之溫度。圖三是的微型共振腔的結構示意圖。整體共振腔的長度約為30mm，只有半個彩色膠捲大小。



圖四、綠光腔內倍頻出光情形與頻譜分析圖



圖五、532nm倍頻光強度對溫度的變化曲線 圖六、532nm綠光對808nm LD的轉換效率圖

綠光雷射出光後的實際情形與其頻譜分析結果如圖四所示，可得知經過PPLN倍頻後的綠光確實落於532nm的窄頻波段。另外，在PPLN製作完成後我們先以1064nm的脈衝雷射測試二倍頻後的結果，其中圖五即顯示了輸出光強度對溫度的變化曲線，經過理論模擬後可知吾人自製的二倍頻晶體有效長度高達6mm。最後將綠光倍頻晶體置入Nd:YVO₄的1064nm共振腔內，使之產生腔內倍頻綠光，量的其轉換效率曲線如圖六所示，由圖中可知目前PPLN腔內倍頻的轉換效率還不如預期，推測原因為PPLN晶體輸入與輸出端面未作抗反射鍍膜，導致浪費了大部分的光源，尤其在腔內損耗的情形更顯嚴重，目前晶體還在鍍膜階段，等鍍膜完成預期會有更好的結果呈現。

D. 結論與計畫自評

本實驗目前已完成以便宜、簡化流程的製程，製作出綠光倍頻晶體，並完成綠光腔內倍頻實驗的架設，未來將針對PPLN晶體的通光部分鍍上抗反射膜，將有助於有效降低腔內的損耗，完成高轉換效率之腔內倍頻綠光架設。

3. 930nm 雷射光源之系統架設與光學特性量測

A. 前言

紅、綠、藍之可見光雷射光源在顯示器市場具有廣大的應用潛力與商業價值。我們實驗室近年來也極力發展利用週期性極化反轉鈮酸鋰/鈿酸鋰(PPLN/LT)當作倍頻轉換元件來實現紅、綠、藍可見光雷射光源之技術。此倍頻轉換元件是利用準相位匹配(QPM)的原理，在鈮酸鋰或鈿酸鋰上製作出週期性極化反轉的結構，具有此種結構之晶體就可以有效率地

將紅外光轉換成可見光，可用以實現可見光雷射。目前我們實驗室已可以自行製作出用來產生紅、綠、藍可見光之週期性極化反轉鋁酸鋰/鈮酸鋰晶片。

為了量測我們所製作出來的週期性極化反轉鋁酸鋰/鈮酸鋰之倍頻轉換效率與光學特性，我們架設了一套週期性極化反轉摻氧化鎂鈮酸鋰光參共振器(PPMgO:SLT optical parametric oscillator)，用來提供量測倍頻晶體效率所需之幫浦光源。

本實驗中，我們所選用的藍光波長為 465nm，所對應到的基頻光為 930nm，我們利用光參共振器(OPO)產生 930nm 附近波長可調之雷射光源，並用以測試 930nm 之倍頻晶體。此光參共振器之系統架設與特性量測是於中央研究院原子與分子科學研究所孔慶昌研究員之實驗室所進行的。

B. 研究方法

我們使用一個長度為 2cm，週期為 $8\mu\text{m}$ 的 PPMgO:SLT 晶體，自行架設了一套 532nm 幫浦的光參共振器，並對此光參共振器之特性進行了量測。此光參共振器可提供 850nm 至 1000nm 之 signal，以及 1100nm 至 1350nm 之 idler，為一個波長可調的雷射光源。利用此光參共振器之波長可調性，我們量測了 930nm 倍頻晶體之轉換效率頻寬以及轉換效率。

C. 元件製作及特性分析

甲. 光參共振器系統架設

此實驗中所使用的晶體為 PPMgO:SLT，摻雜濃度為 1.0mol%，晶體尺寸為 $20\text{mm} \times 1.4\text{mm} \times 1\text{mm}$ 。晶體上製作了週期性極化反轉結構，週期為 $8\mu\text{m}$ 。晶體之端面鍍有 532nm 及 840nm~1400nm 之抗反射膜。此晶體被放置於一個可控溫之夾具中，控溫精準度達 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。實驗中所使用的幫浦雷射為 Model 611-12 (Light wave Electronics Inc.)，其所發出之 1064nm 的雷射光經過一個 KTP 倍頻晶體後，產生 532nm 的幫浦光，最大功率為 842mW，重複頻率(Repetition rate)為 3kHz，脈衝寬度(Pulse duration)為 16.5ns，此光被聚焦至 PPMgO:SLT 晶體的正中心，光腰半徑(beamwaist)為 $150\mu\text{m}$ ，幫浦光可達之最大強度為 $48\text{MW}/\text{cm}^2$ 。共振腔架構如 Fig.1 所示，採用 Flat-Flat 架構，腔長約為 28mm。共振腔輸入鏡(Input coupler, IC)鍍有 532nm 抗反射膜、900~1000nm 高反射膜。輸出鏡(Output coupler, OC)鍍有部分反射膜，在 946nm 處反射率為 50%。

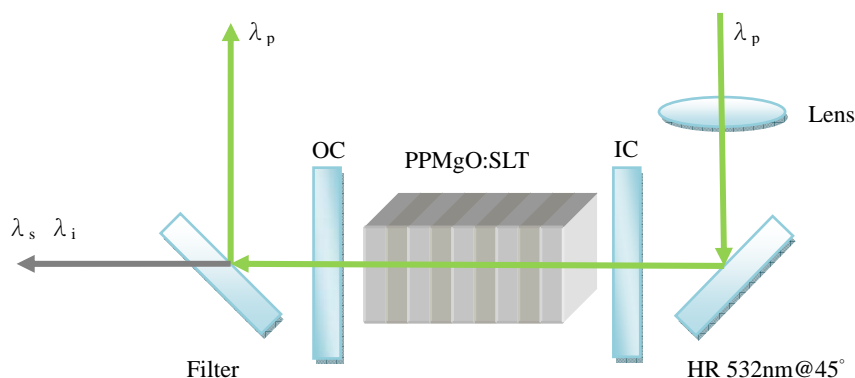


Fig.1 系統架構圖

乙. 系統特性量測

光參共振器的優點為具有廣大的波長可調範圍。藉由調整 PPMgO:SLT 之溫度，可以改變光參共振器之信號光(signal)與閒置光(idler)之波長。我們量測了此光參共振器的波長可調特性，由 Fig. 2 可知，當我們將 PPMgO:SLT 的溫度由 40°C 調至 160°C 時，signal 可以由 850nm 調至 1000nm，idler 可由 1100nm 調至 1350nm。

接著我們對 signal 的特性進行了探討，由 Fig. 3 可看出，在 930nm 附近，功率皆可維持在 100mW 以上，頻寬約在 1nm 左右，由於基頻光的頻寬對於倍頻轉換效率影響很大，因此若能將頻寬再降低，就可以量到比較精確的轉換效率。我們目前正在努力降低此光參共振器之信號光的頻寬。

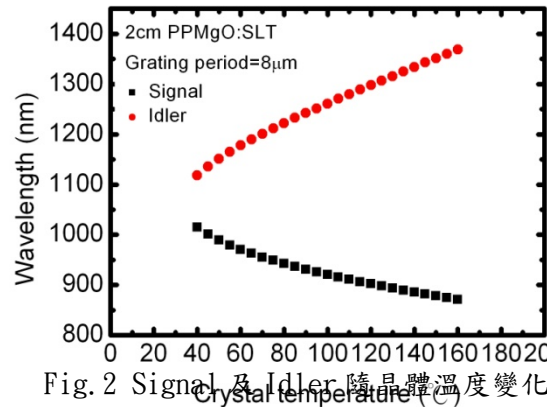


Fig. 2 Signal 及 Idler 隨晶體溫度變化圖

此外，我們量測了此光參共振器之轉換效率(Fig. 4)，在最大幫浦光功率 842mW(強度為 48MW/cm²)的情況下，信號光的轉換效率可達 12.9%，閒置光的轉換效率可達 14.1%，總共的轉換效率為 27%。信號光及閒置光的功率斜率效率(power slope efficiency)分別為 19.7%、21.9%。

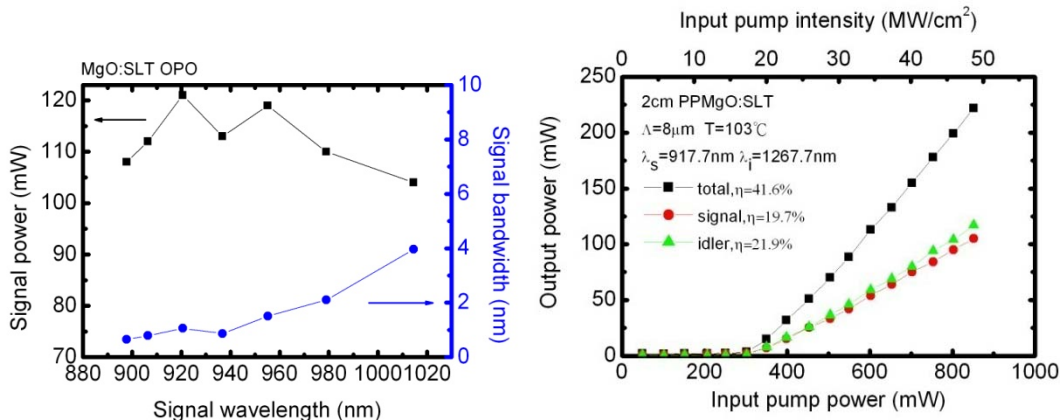


Fig. 3 信號光之功率及頻寬對信號光波長之關係

Fig. 4 光參共振器輸出功率與輸入功率之關係

D. 結論與計畫自評

我們架設了 532nm 幫浦 PPMgO:SLT 光參共振器，並對其特性進行了量測，經由調變 PPMgO:SLT 之溫度，我們可以得到 930nm 附近波長可調之光源。在 930nm 附近，功率皆維持在 100mW 以上，頻寬約在 1nm 左右，我們利用此光參共振器來當作 930nm 的雷射幫浦光源，以進行 930nm 倍頻晶體轉換效率及光學特性之量測。此光參共振器的信號頻寬及轉換效率還有改進的空間。

4. 利用次微米小球顯影術製作奈米級之週期性極化反轉結構之研究

A. 前言

微米小球顯影術 (Microsphere Lithography)，此方法係改良 1999 年由美國西北大學化學系 Prof. Van Duyne 所提倡之 nano-sphere lithography。其特徵為塗佈後乾燥之 mono-dispersive 懸浮態奈米小球之具備空間自組 (self-assembly) 能力，可形成近似六方最密堆積結構之單平面 (single layer) 小球遮罩 (mask)。發展此技術的緣由是為了製作小線寬的金屬遮罩，在相較於 E-beam 製程來說具有成本低的優勢下，也可達到良好的深寬比 (aspect ratio)。在結構表面裡填入單層且緊密均勻排列的小球，此均勻排列的小球下，球與球彼此間會有規則且大小一致的孔隙產生。

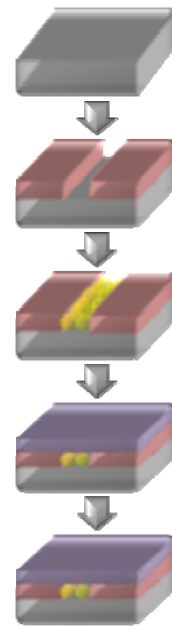
B. 研究方法

一般小球微影術，是利用小球形成光罩效應，經由蒸鍍金屬、lift-off 等過程，以形成空間有序排列之三角形奈米點。而我們發展的小球微影術在極化反轉的應用上，則是蒸鍍完金屬後，直接直樣品表面施加高電壓，這些微米小球即為製程裡的高電壓極化反轉遮罩。因為小球間隙的大小比小球本身小上許多，因此以微米等級的小球可以製造出次微米甚至是奈米等級的遮罩。

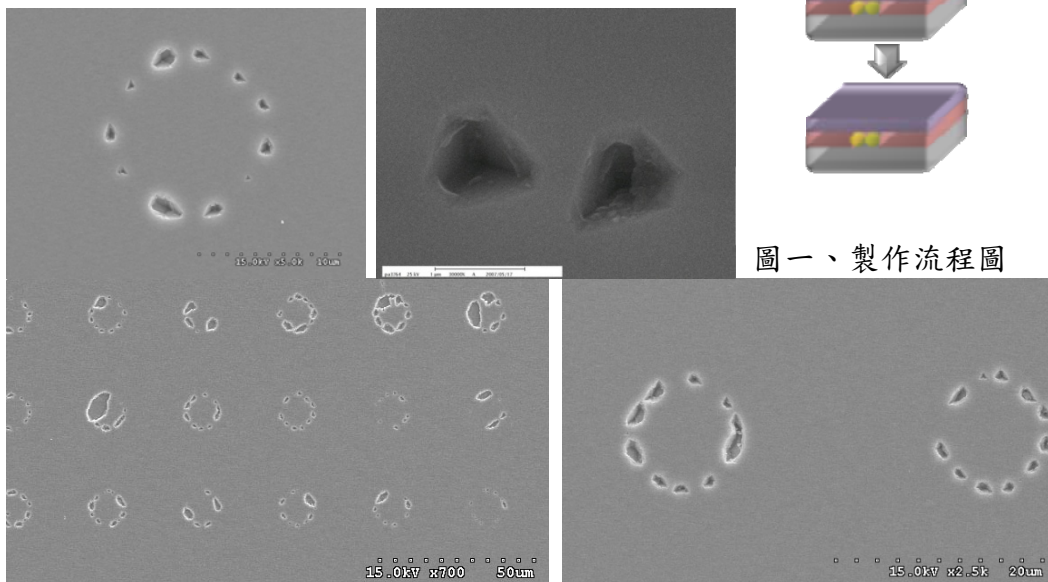
C. 元件製作及特性分析

在此首先簡述元件製作過程，如圖一所示。製作方式如下：

- (1) 將 3" Z-cut LiNbO_3 晶圓 (德清) 切割為約 $12 \times 12 \text{ mm}^2$ 大小，並以丙酮、甲醇與去離子水清潔晶體表面。
- (2) 晶體表面旋塗上光阻，並曝光顯影出結構。
- (3) 結構裡填入排列緊密的單層小球。
- (4) 晶體表面蒸鍍一層金屬。
- (5) 使用高壓極化反轉機制對晶體進行週期性極化反轉。



圖一、製作流程圖



圖二、SEM 下的小球反轉結構圖

在 SEM 下可觀察到，如圖二所示：每個圓圈內部部分，每個小點約為 1 微米左右的大小，且其深度高達 500 微米，確實達到高深比結構的條件；而每個圓圈之間則呈週期性排列，達到所謂”長程有序短常無序”的特殊結構。

D. 結論與計畫自評

經過思考與問題的解決，我們已可以完成 $6 \times 6 \text{ mm}^2$ 之單層緊密排列的小球塗佈，極化反轉深度也可達到 0.5 mm。下圖為經過高壓極化反轉機制對晶體進行週期性極化反轉之後的晶體表面。技術未來的方向將致力於大面積的均勻度，以及更小線寬的製程技術。小球微影技術的發展，可廣泛應用於新型雷射用非線性晶體、光子晶體、微光學積體元件，而我們將會繼以思考與嘗試，成功完成目標。

二、參考文獻

1. Hideki Ishizuki, Ichiro Shoji and Takunori Taira, , Appl. Phys. Lett. 82,4062 (2003)
2. Kiminori Mizuuchi, Akihiro Morikawa, Tomoya Sugita and Kazuhisa Yamamoto, Jpn. J. Appl. Phys. 42, 90 (2003)
3. L. H. Peng, Y. J. Shih, and Y. C. Zhang, Appl. Phys. Lett. 81,1666 (2002)
4. M. L. Bortz, S. J. Field, M. M. Fejer, D. W. Nam, R. G. Waarts, and D. F. Welch, IEEE J. of Quantum Electron., 30, 2953 (1994)
5. A. Agronin, Y. Rosenwaks, and G. Rosenman, Appl. Phys. Lett. 85, 452 (2004)
6. M. Yamada, N. Nada, M. Saitoh, and K. Watanabe, Appl. Phys. Lett. 62, 435 (1993)
7. L. E. Myers, R. C. Eckardt, M. M. Fejer, and R. L. Byer, J. Opt. Soc. Am. B 12, 2102 (1995)
8. Kiminori Mizuuchi and Kazuhisa Yamamoto, Appl. Phys. Lett. 66, 2943 (1995)
9. D. H. Jundt, Opt. Lett. 22, 1553 (1997).
10. S. Nagano, M. Konishi, T. Shiomi, and M. Minakata, Jpn. J. Appl. Phys. 42, 4334 (2003)
11. Simonetta Grilli, Pietro Ferraro, Melania Paturzo, Domenico Alfieri, and Paolo De Natale, OPTICS EXPRESS, 12, 1833 (2004)
12. Hideki Ishizuki, Takunori Taira, Sunao Kurimura, Jung Hoon Ro and Myoungsik Cha, Jpn. J. Appl. Phys. 42, L108-L110 (2003)

三、計畫自評

計畫自評的段落安排在各個子題目的討論及自評之中，以利於作各個子題目之自評與討論，在此不再撰寫。

Papers published for the 3 yr LN project (8.1.2004~7.31.2007):

1. L.-H. Peng, Y.-H. Chen, C.-D. Lin, L.-F. Lin, and A.-H. Kung, "Sub-micrometer domain engineering on periodically poled LiNbO₃," J. Cryst. Growth 292, 328 (2006).
2. L.H Peng, C.-C. Hsu, and A. H. Kung, "Broad multi-wavelength second-harmonic generation from two-dimensional c⁽²⁾ nonlinear photonic crystals of tetragonal lattice structure," IEEE J. Selected Topics in Quantum Electron. 10, 1142 (2004).
3. L.-H. Peng, C.-C. Hsu, J. Ng, and A. H. Kung, "Wavelength tunability of second-harmonic generation from two-dimensional c⁽²⁾ nonlinear photonic crystals with a tetragonal lattice structure," Appl. Phys. Lett. 84, 3250 (2004).

Invited Talk:

1. L.-H. Peng, "Sub-micron domain engineering in periodical poling of QPM-LiNbO₃ and LiTaO₃ c⁽²⁾ nonlinear photonic crystals," presented in the 3rd Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology (Beijing, PRC, Oct, 2005)
2. L.-H. Peng, S.-M. Tsan, J.-C. Shih, C.-C. Hsu, and A. H. Kung, "Multi-wavelength second-harmonic generation from two-dimensional c⁽²⁾ nonlinear photonic crystals, presented in the 2004 OSA Nonlinear Optical Meeting (Hawaii, USA, 2004)

Regular conference papers:

1. L.-F. Lin, L.-H. Peng, S.-C. Pei, A. H. Kung, Z.-R. Xia, "Optical characterization of 2D c⁽²⁾ nonlinear photonic crystal on periodically poled bulk ZnO:LiNbO₃ crystal," paper QWL2-3 presented at CLEO_PR 2005, July 11-15, Tokyo, Japan.
2. Chao-Hung Lin, L. H. Peng, L. F. Lin, H. C. Liu, A. H. Kung, Jenq-Yang Chang, Y. H. Chen, and C. D. Lin, "Nano-domain Engineering in Two-dimensional c⁽²⁾ Nonlinear Photonic Crystal on Bulk Lithium Niobate," paper CMW3 at CLEO 2005, Baltimore, May 22-27 (2005).
3. C.-Y. Lu, C.-W. Chang, L.-F. Lin, C.-H. Lin, L.-H. Peng, J.-Y. Chang, and A. H. Kung, "Phase-control in photonic-crystal based lasers," paper presented at US Air Force/Taiwan Nanoscience Initiative Workshop, Honolulu, Feb. 17-18, 2005.
4. C.-C. Hsu, L.-H. Peng, J. Ng, and A. H. Kung, "Wide tuning and multi-wavelength SHG from 2D c⁽²⁾ nonlinear photonic crystal of tetragonal lattice structure" paper CThU presented at CLEO 2004, Longbeach, USA, May, 2004.

專書論文

1. Lung-Han Peng, Han-Ming Wu, A. H. Kung, and Chih-Ming Lai, and, "**Fabrication and characterization of self- assembled ferroelectric linear and nonlinear photonic crystals: GaN and LiNbO₃**," in "*Micro/nano engineering and characterization of ferroelectric crystals for applications in photonics*" ed., Pietro Ferraro, Simonetta Grilli and Paolo De Natale (Springer, 2007, in press)

Patent

1. L.-H. Peng, W.-S. Wang, S.-M. Tsang, Y.C. Shih, Y.-C. Zhang, and C.-C. Hsu, "Method of fabrication 2D ferroelectric nonlinear crystal with periodically inverted domains," US 6,926,770 B1 (issued Aug. 9, 2005)

國際研討會議相關資料及心得報告	
指導教授姓名: 彭隆瀚	職稱: 教授
出席學生(報告撰寫人): 巫漢敏	台灣大學光電所博士班 五年級
國際會議名稱: Conference on Lasers and Electro- Optics 2007	
預算科目: 次微米準相位匹配非線性光子晶體與頻率轉換應用(2/3) 95-2221-E-002-377	
國家: 美國 城市: 巴爾地摩	國際會議舉行日期 自 96 年 05 月 07 日 至 96 年 05 月 11 日
會議報告題目: High Quality Factor with Fundamental Resonant Mode near the Bandedge of GaN Triangular Submicron Laser Cavity	

(一) 參加會議經過

2007 年度的雷射與光電研討會是(Conference on Lasers and Electro- Optics 2007, CLEO 2007) 每年舉辦一次的光電學科研討會，輪流在美國東岸與西岸舉辦，如 CLEO 2005 在巴爾地摩、CLEO 2006 在 Long Beach、CLEO 2007 再次回到巴爾地摩舉辦，而下次的 CLEO 2008 將在 San Jose 舉辦。由於 CLEO 是雷射領域研究中極為重要的研討會，在此研究領域執牛耳之眾多學者與廠商都會選擇在此研討會中發表最新研究成果，討論議題廣泛而專精，涵蓋了雷射材料與應用的相關研發題目、元件與材料。以本次 CLEO 2007 為例，議題主要分為材料成長技術、雷射結構特性、光電應用元件、光子晶體特性、非線性光學、線性光學與超快雷射研究等。國內與會學者，有台大光電所所長楊志忠教授、交大光電王興宗教授、郭浩忠教授、盧廷昌教授、中興大學武東星教授等。筆者受到國科會計劃資助而能成行，因援筆述其盛事，以就教於國內光電界各方先進。

(二) 與會心得

此次會議中，筆者應邀就”High Quality Factor with Fundamental Resonant Mode near the Bandedge of GaN Triangular Submicron Laser Cavity”給了 15 分鐘的口頭報告。此篇報告討論奈米小球在二維光子晶體之製程中的應用，藉由此項技術，在氮化鎵材料上成功完成了次微米三角共振腔體的製作。再使用先進的微米光激發光量測，我們也驗證了此共振腔體具備產生高品質雷射的特性，進而結合二維光子晶體的製作與佈局，具有高度潛力這項技術的發展。報告後的討論時間中，獲得在場研究者的熱烈討論，是我了解努力完成的技術，必定會受到大眾的肯定。

在會議中，我也在老師的引薦之下，與耶魯大學的張國鼎教授共進一個溫暖的早餐、以及對我的研究題目進行一個小時深度的討論。早餐中，張老師溫文儒雅的氣質讓我感受其溫醇的學者風範，深深地折服。在研究討論中，老師也對我的題目提出問題與建議，老師也進一步與我分享近期的研究成果，是串接式的雷射腔體，由於是非對稱的設計，因此可以有效地取出特定模態的雷射，是一項非常先進的研究題目。而張老師近年也為身患帕金森氏病所苦，但是依舊不畏辛勞，不斷在求新求進步，在雷射光學中，開發新的科技與領域，當張老師興致昂昂地與我討論時，我可以感受到老師熾熱的生命力，也為老師那份研究熱誠所感動。

此次會議也特地安排了光子晶體、光子晶體光纖、奈米材料非線性光學、nonlinear information processing 等相關場次的演講。而演講者報告的重點也由早些年代的線性光學應用，轉到非線性頻率轉換、與量子信息處理、奈米技術的應用等，讓我一窺未來世界中雷射應用範圍之遠景。我們很欣慰見到在國科會的協助之下，本實驗室在二維光子晶體、氮化鎵次微米三角共振腔體的研究成果，能夠有機會在 CLEO 2007 年度之重點會議上獲得重視，並與各方學者切磋琢磨。

(三) 攜回資料名稱及內容

Conference on Lasers and Electro- Optics 2007, CLEO 2007 proceeding 一份。