

教育部顧問室
影像顯示科技人才培育計畫
95 年專題實作競賽

1. 參賽題目	觀察光子晶體光纖在灌入液晶前後之傳輸模態與光能量分布
2. 參賽組別	工程技術
3. 指導教授	許芳文
4. 參賽成員	邱柏仁
5. 參賽單位	國立嘉義大學光電暨固態電子研究所

摘要

光子晶體光纖 (Photonic Crystal Fibre, PCF)，其結構由內而外分別為核心 (core)、內部外殼 (inner cladding)、外部外殼 (outer cladding)。其中內部外殼部份是由週期性排列的空洞 (air hole) 所組成。PCF 的導光機制可以用修正的全反射 (modified total internal reflection, mTIR) 或是 Photonic Band Gap (PBG) 來解釋。利用毛細作用將液晶吸入 PCF 的空洞中，形成一個一個的液晶細桿 (rod)。如此一來，核心部份的折射率不再大於外殼部分的平均折射率，部分的光會穿透，所以在核心傳播的光會被耦合到液晶細桿中。而液晶細桿的折射率大於周圍的背景矽折射率，光會在液晶中全反射，所以每一個液晶細桿會自成一個波導結構。

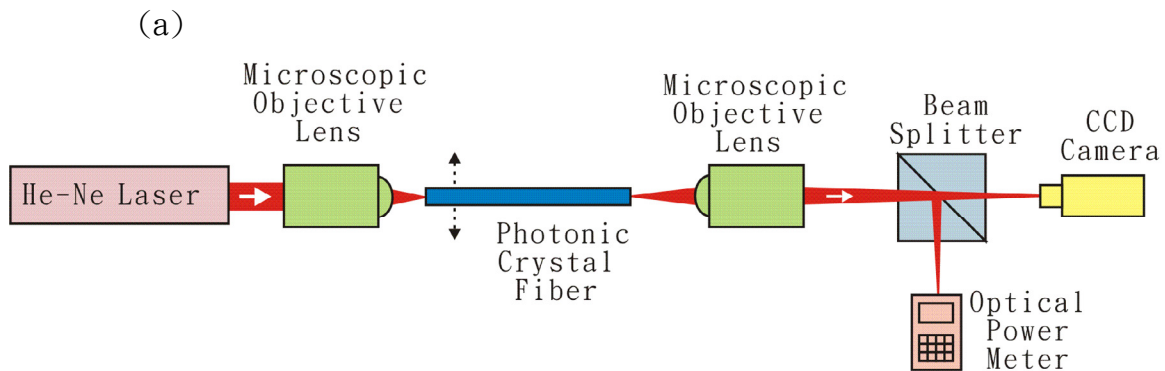
經由測量到的光能量變化，可以發現，當光在 PCF 外殼 (cladding mode) 傳播時光能量最大。但是，由 CCD 成像可以發現當光在核心傳播時，能量密度最大，因為光擠在維度很小的核心中傳播。事實上，PCF 不是經由全反射(modified total internal reflection)傳播，就是藉由 Photonic Band Gap (PBG) 的效果來導光。我們藉由在 PCF 的空洞中灌入液晶，改變其全反射與波導效果，觀察其核心模態的光能量分布。

作品簡介

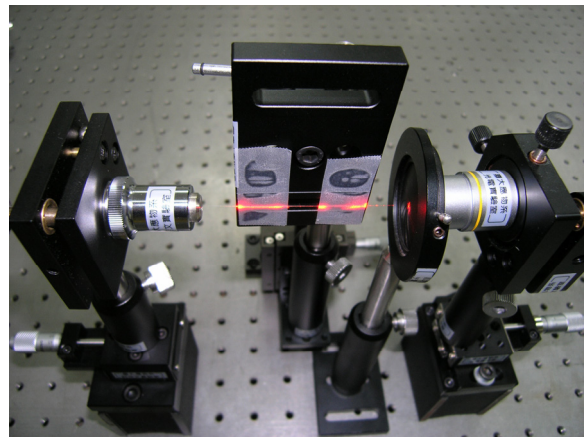
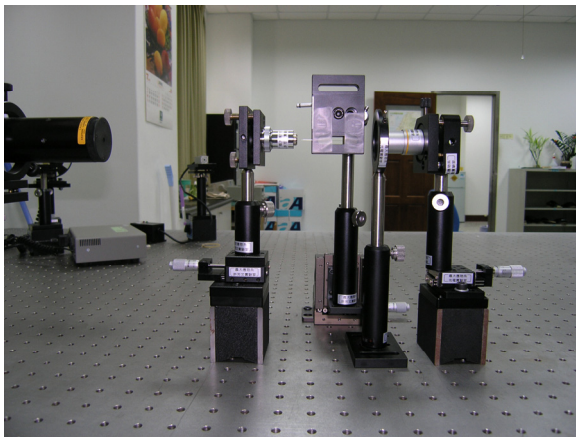
一、題目

觀察光子晶體光纖在灌入液晶前後之傳輸模態與光能量分布

二、作品摘要



(b)



圖一、實驗系統：(a)架構圖 (b)實體圖。

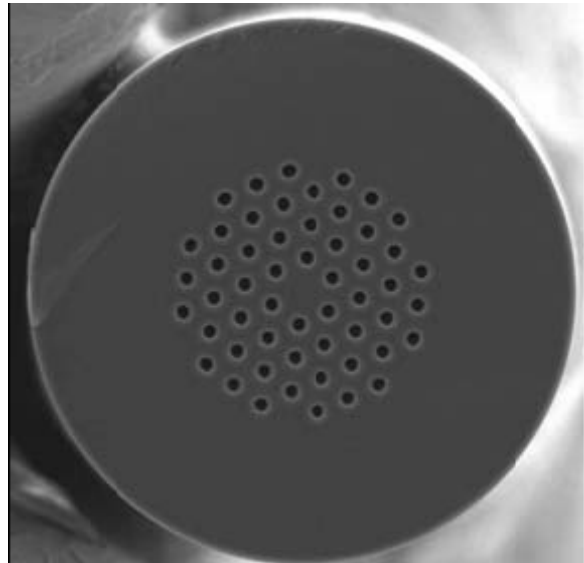
圖一為實驗系統之架構圖與實體圖，雷射光經顯微物鏡耦合到光子晶體光纖 (Photonic Crystal Fibre, PCF)，再經由顯微物鏡呈像於 CCD Camera。並經由分光至光功率計測量光纖橫向位移的橫態分布與光功率之變化。

一般的傳統光纖是利用光在核心 (core) 和外殼 (cladding) 界面的全反射，使得光在折射率高的核心中傳播，形成一個波導結構。

光子晶體光纖 (Photonic Crystal Fibre, PCF)，其結構由內而外分別為核心 (core)、內部外殼 (inner cladding)、外部外殼 (outer cladding)。其中內部外殼部份是由週期性排列的空洞 (air hole) 所組成。PCF 的導光機制可以用修正的全反射 (modified total internal reflection, mTIR) 或是 Photonic Band Gap (PBG) 來

解釋。利用毛細作用將液晶吸入 PCF 的空洞中，形成一個一個的液晶細桿 (rod)。如此一來，核心部份的折射率不再大於外殼部分的平均折射率，部分的光會穿透，所以在核心傳播的光會被耦合到液晶細桿中。而液晶細桿的折射率大於周圍的背景矽折射率，光會在液晶中全反射，所以每一個液晶細桿會自成一個波導結構。

我們先用精密平移台橫向移動 PCF，觀察並紀錄光在核心模態 (core mode) 和外殼模態 (cladding mode) 傳播的橫態分布與光能量變化。然後換液晶光子晶體光纖 (LC-PCF)，觀察 LC-PCF 的核心傳播模態。



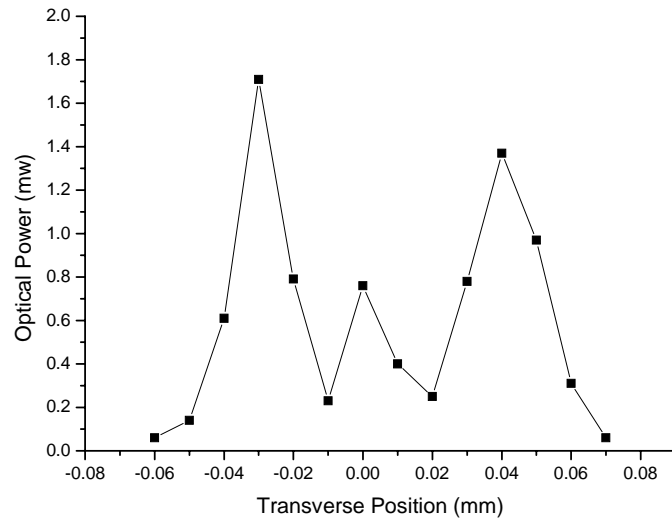
圖二、使用的 PCF 的橫截面(廠商提供下載的資料)

三、 創新性說明

我們觀察到了 PCF 的傳輸模態與光能量之變化，並在 PCF 中灌入液晶之後觀察核心模態的光能量分布。雖然在文獻中已經有很多研究 LC-PCF 的特性以及應用，但是對我們來說尚在起步階段，我們將繼續致力於 LC-PCF 的光學研究。

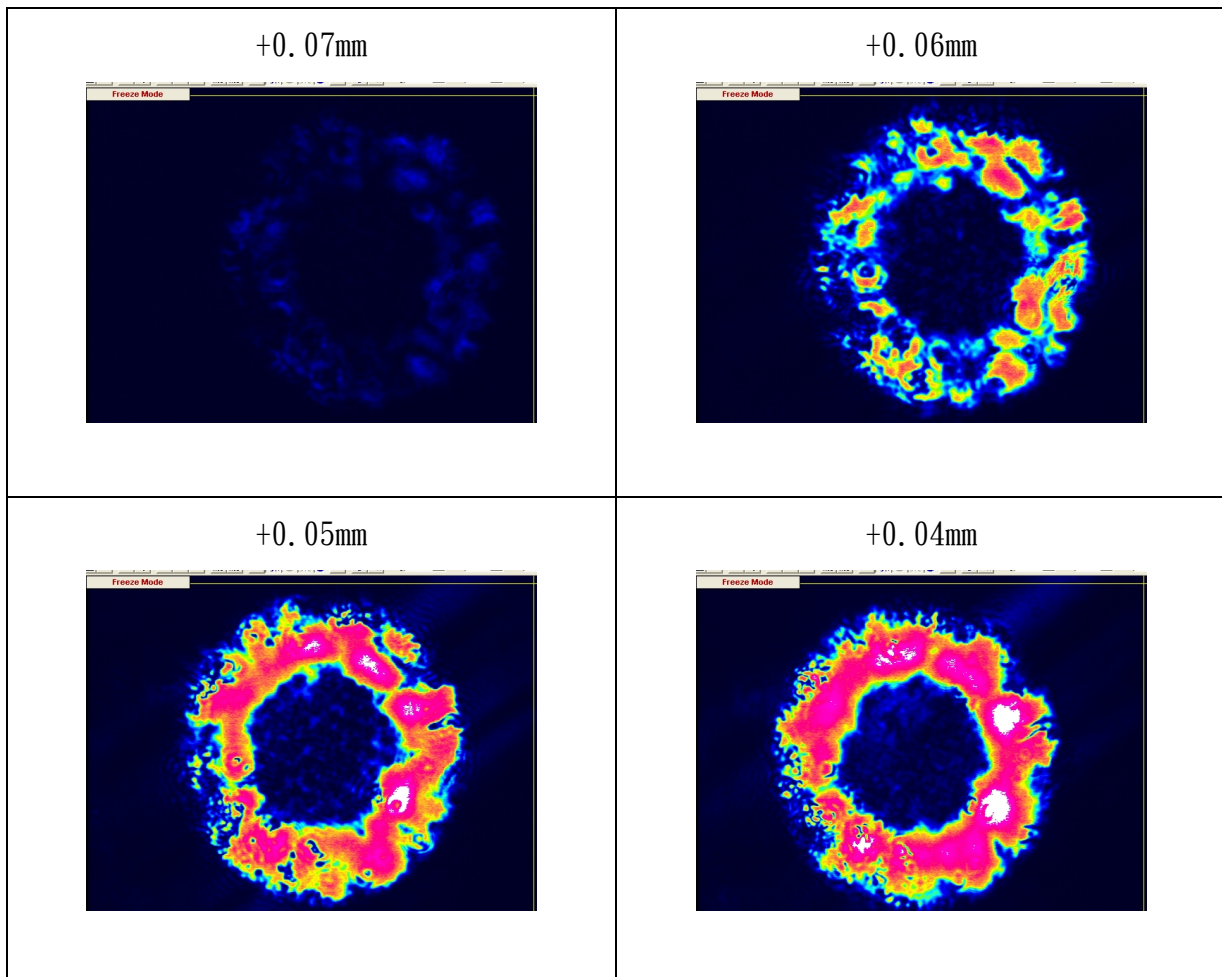
四、 具體成果說明

圖三是利用 Origin 將所測得的光功率對橫向位置作圖。原點的位置是光在核心中傳播 (core mode)，而兩邊的峰值是光在外殼 (cladding mode) 中傳播。因為 PCF 是圓柱對稱，所以兩邊的峰值會對稱於核心。可以看到光在外殼傳播時的能量比在核心傳播時大，我們認為這是因為外殼的面積比核心面積大，光比較容易耦合進去外殼部份。

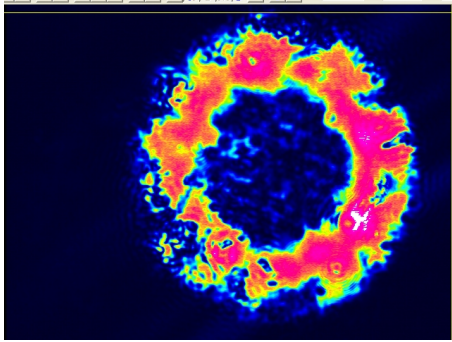


圖三、輸出光功率對光子晶體光纖橫向耦合位置作圖

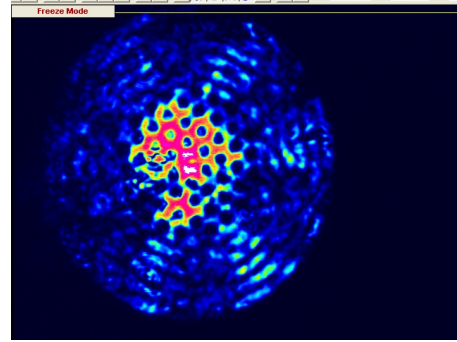
圖四是我們利用 CCD Camera 擷取到的 PCF 輸出端的模態影像，也就是光功率-橫向位置圖中每一資料點對應到的圖案。



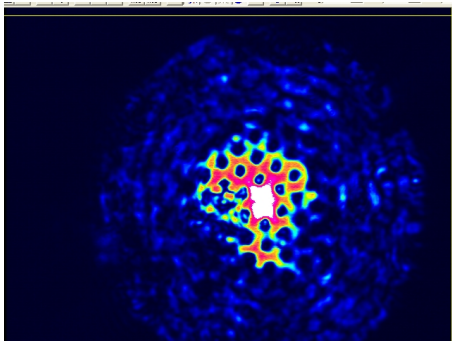
+0.03mm



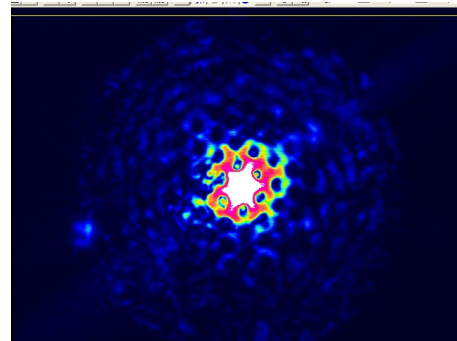
+0.02mm



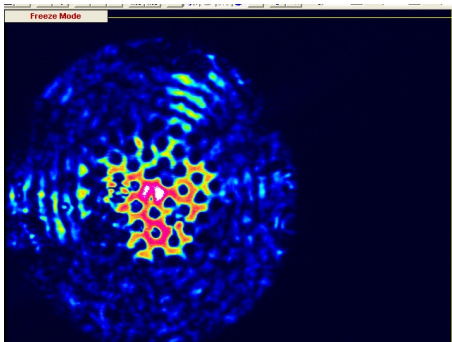
+0.01mm



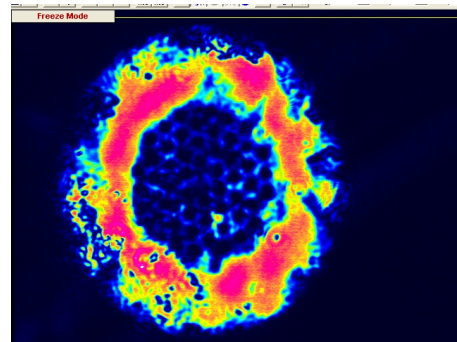
原點



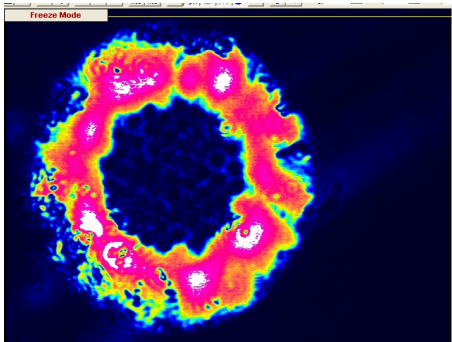
-0.01mm



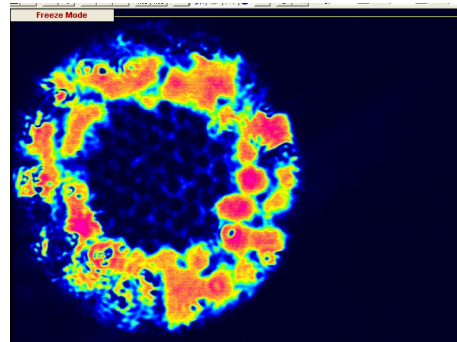
-0.02mm

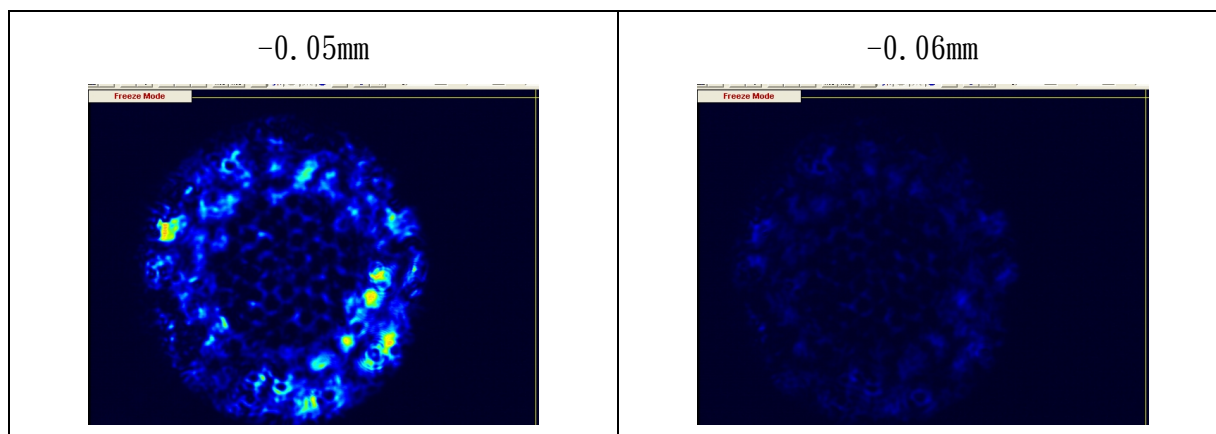


-0.03mm

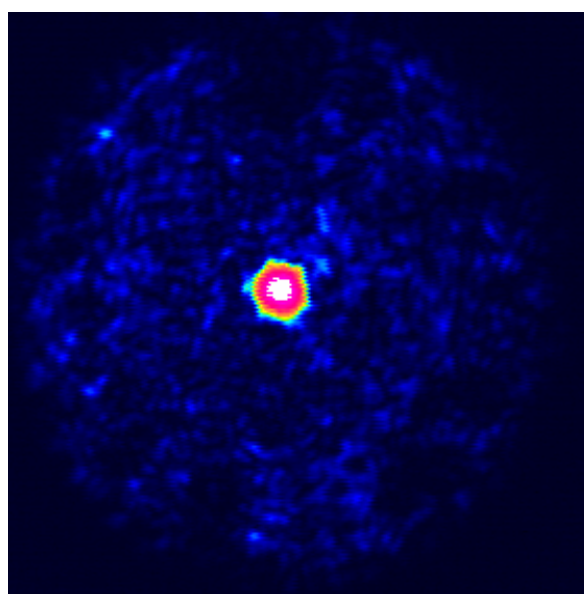


-0.04mm





圖四、經由 CCD Camera 得到的 PCF 輸出端的模態影像



圖五、灌入液晶後，光在 PCF 核心傳播的模態分布圖案

五、結論

經由測量到的光能量變化，可以發現，當光在 PCF 外殼 (cladding mode) 傳播時光能量最大。但是，由 CCD 成像可以發現當光在核心傳播時，能量密度最大，因為光擠在維度很小的核心中傳播。事實上，PCF 不是經由全反射(modified total internal reflection)傳播，就是藉由 Photonic Band Gap (PBG) 的效果來導光。我們藉由在 PCF 的空洞中灌入液晶，改變其全反射與波導效果，觀察其核心模態的光能量分布。

由文獻的探討可以發現，在空洞中灌液晶，經由控制溫度或是電壓來控制液晶分子的旋轉，可以讓光在核心和灌液晶的空洞中產生強烈的耦合。因為光在全反射後會在折射率大的介質中傳播，所以控制液晶分子的旋轉，可以讓充滿液晶的空洞自成一個一個的波導，所以可以選擇要讓光在核心模態傳播或是外殼模態傳播。也可以選擇性地將液晶灌入想要的空洞中，來達成所需要的應用。

經由文獻的探討，我們發現許多方面值得我們去觀察和討論，比如說：將液晶參雜染料灌入液晶，利用不同的雷射光打在染料液晶上來控制液晶分子的旋轉。如此一來，便可以經由光控制液晶然後控制其他的光源通過 PCF，達成調變的效果。

六、參考文獻

1. L. Xiao, W. Jin, M. S. Demokan, H. L. Ho, Y. L. Hoo, C. Zhao, "Fabrication of selective injection microstructured optical fibres with a conventional fusion splicer," *Opt. Express* 13, 9014-9022(2005).
2. T. A. Birks, J. C. Knight, P. St. Russel, "Endlessly single-mode photonic crystal fiber," *Opt. Lett.* 22, 961-963(1997).
3. K. M. Gundu, M. Kolesik, J. V. Moloney, "Ultra-flattened-dispersion selectively liquid-filled photonic crystal fibers," *Opt. Express* 14, 6870-6878(2006).
4. A. Corella-Madueno, J. A. Reyes, "Electrically controlled liquid crystal fiber," *Opt. Commun.* 264, 148-155(2006).
5. T. T. Larsen, A. Bjarklev, D. S. Hermann, J. Broeng, "Optical devices based on liquid crystal bandgap fibres," *Opt. Express* 11, 2589-2596(2003).