

光子晶體光纖截面顯微影像與光輸出圖案之比較

陳浚原¹ (Jiun-Yuan Chen)，許芳文^{1,2} (Fang-Wen Sheu)

¹ 國立嘉義大學光電暨固態電子研究所，² 國立嘉義大學應用物理學系

60004 嘉義市鹿寮里學府路 300 號

Phone:+886-5-2717418, Fax:+886-5-2717909, E-Mail: s0950394@mail.ncyu.edu.tw

(NSC-95-2112-M-415-004)

摘要：我們將雷射光源、發光二極體光源或經過調變的部分非同調光源耦合進光子晶體光纖後，利用 CCD 攝影機來觀察光經過光纖後在出射端面的光輸出圖案。我們也使用白光顯微系統或是掃描式電子顯微鏡觀察光纖截面顯微影像，並與光纖端面光輸出圖案作比較。

關鍵字：光子晶體光纖 (photonic crystal fiber)、部分非同調光源 (partially incoherent light)、發光二極體 (light emitting diode)、截面影像 (cross-sectional image)、白光顯微系統 (white light microscope)、掃描式電子顯微鏡 (scanning electron microscope)。

1. 簡介

光子晶體光纖是將中空毛細管條狀物質成束狀排列，然後放置於背景物質中，經過加熱拉伸後，橫切面結構呈週期性孔洞排列的一種光纖^[1]，便可利用孔洞纖殼 (holey cladding) 較低的等效折射率，在實體的光纖核心形成波導。其中心條狀物質亦可經由特殊製程而為中空狀，便可利用其特殊週期孔洞結構具有光子能隙 (photonic bandgap) 的特性，在能隙頻率範圍內的電磁波因無法透過孔洞結構而被限制在中空的光纖核心中傳播。

以往想觀察光纖截面多半使用掃描式電子顯微鏡。基本原理為利用電子束打在我們想觀察的材料上，然後使用光電倍增管接收電子束與靶材交互作用後產生的二次電子，經過分析後重建影像。其優點為解析度高，適合觀察物質表面的精細結構。但由於光纖組成材料為 SiO₂，本身並不導電，所以需要在光纖表面鍍上一層導電膜，才能使用 SEM 觀察，等於是對光纖做破壞性檢測。而我們將若光耦合進光纖，然後觀察光輸出圖案 (如圖 1)，並不需要破壞光纖。

2. 實驗方法與系統架構

一開始我們直接將雷射光源 (He-Ne Laser, 15 mW) 耦合進光纖，可是在使用 CCD 攝影機觀察光強度分布圖時，發現光纖截面成像並不理想 (如圖 2 之 a、b)。我們歸因於均勻入射的雷射光截面之光強度分佈因為波導內高階模態的疊加而呈現雜亂斑點，所以會變得不夠均勻，因此無法將光子晶體光纖的細微結構表現出來。於是我們將一片賽絡片安裝在轉動馬達上。藉由高速的轉動，此裝置 (Rotating Diffuser) 可將雷射光轉換成部分非同調且比較均勻的光源。之後調整適當距離以一個 10 倍的顯微物鏡當成準直透鏡接收被散射的均勻光源。再以一個 20 倍的顯微物鏡將光耦合進光纖中。為了觀察光纖輸出端的截面圖案，我們在光纖後端放置一個 10 倍顯微物鏡將影像投影至 CCD 攝影機上，然後連接到電腦觀察。

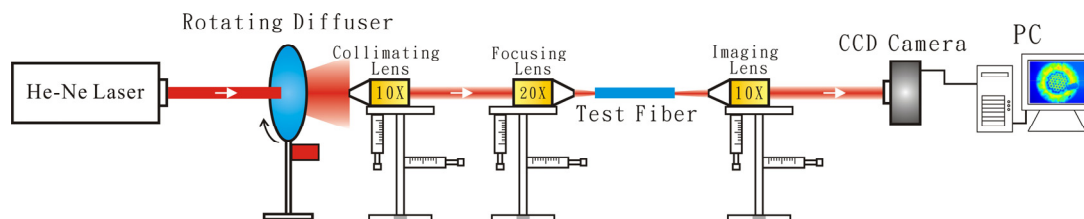
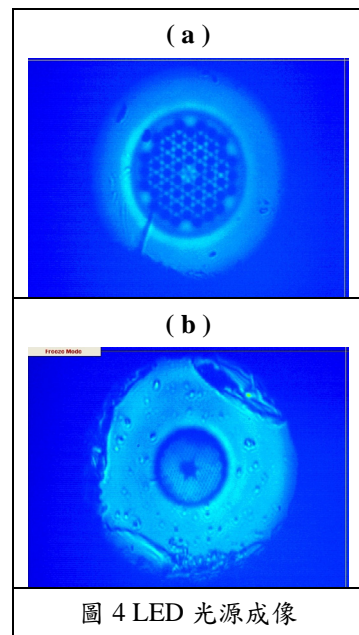
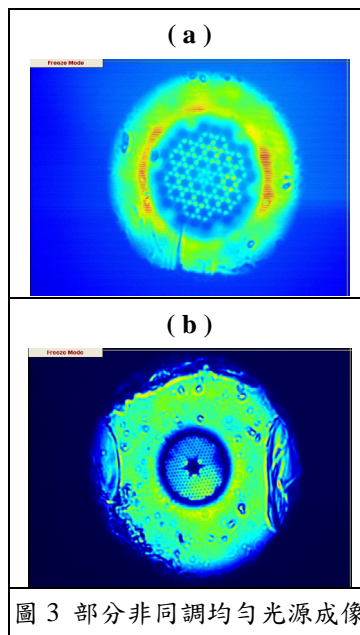
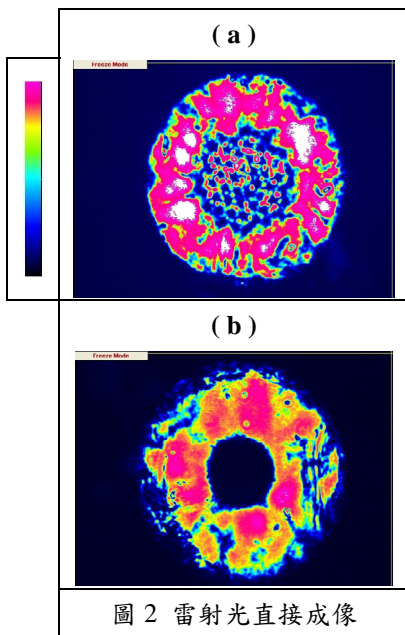


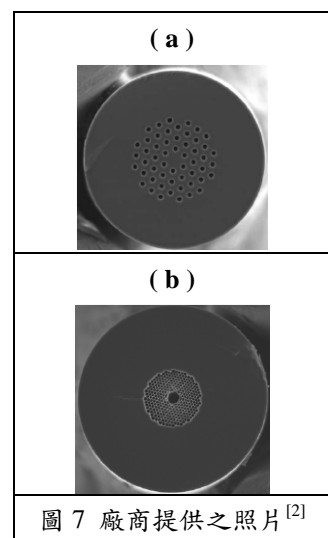
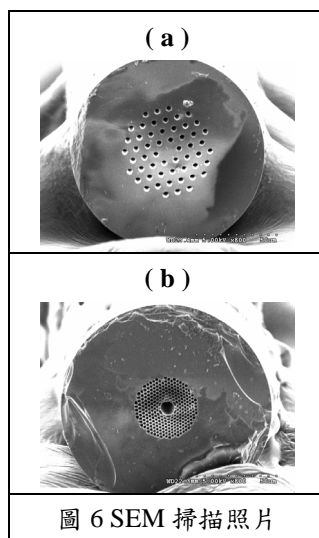
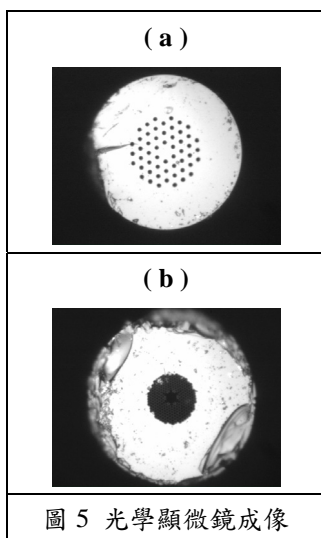
圖 1 實驗架構示意圖

3. 實驗結果與討論



(a)光子晶體光纖 ESM-12-01、(b)光子晶體光纖 HC-800-1

將雷射光轉換成均勻光源後，比較圖 2、圖 3 就可發現光輸出圖案的細節變多、成像品質有明顯的提升。我們觀察光在光子晶體光纖中的傳播狀態，以 PCF ESM-12-01 來說，光分成在外層 Cladding 和內部特殊孔洞結構傳播。因為其孔洞大致呈現六邊形排列(圖 5)，所以我們看到光纖輸出端的圖案也是六邊形。比較特別的是，其中央 Core 的部份光的圖案看起來像是六瓣花紋。而 PCF HC-800-1 因其中央 Core 的部份為中空，故無法導光(在可見光波長下)。但是因為其特殊的孔洞設計，中央形成一個六角星芒狀的暗區。這是因為在光子晶體光纖中，僅有 SiO_2 材料部分會導光，而特殊設計的孔洞中填滿的是空氣，無法導光。光子晶體光纖中，各種不同的特殊孔洞結構其主要功能為調整色散關係或是傳播模態。而 LED 光源成像大致上光纖的特性與截面細節都有呈現出來。但是在實驗中因為 LED 發出的光強度太弱、指向性比較差的關係，在同樣的投影距離(光纖放大倍數)下，影像比較暗，圖案細節也相對減少。



(a)光子晶體光纖 ESM-12-01、(b)光子晶體光纖 HC-800-1

為了證實我們的實驗方法可以正確辨認出光子晶體光纖截面的微結構，我們將白光光學顯微鏡以及 SEM (Hitachi, S3000H) 取得的光纖截面照片 (如圖 5、圖 6) 與圖 3 中的光纖輸出圖案做一個比較。從圖 5(b)可看出 PCF HC-800-1 中央孔洞區域的反射光太弱，所以光學顯微鏡無法清晰成像。圖 6 是利用昂貴的 SEM 掃描所得的顯微影像，其細節最為精緻。

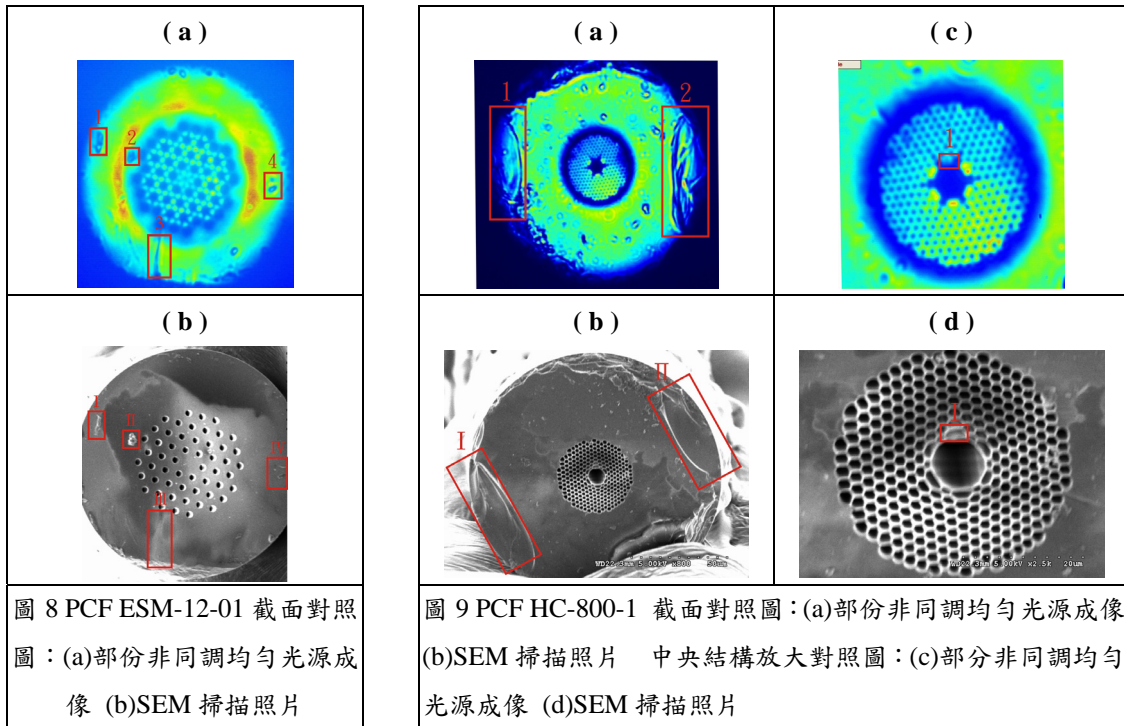


圖 3 和圖 6 的實驗圖形經旋轉及剪裁，做成上列之比較圖，並選出若干個對照區域(圖 8、9 中紅框)，分別標上 1 2 (3 4) 並對應 I II (III IV)。我們可以明顯看出只要光纖表面有任何缺陷、裂痕均會影響光輸出的狀態。所以透過我們的實驗系統可檢驗出光纖切口截面的情形，並同時觀察光輸出模態。另外，因為 PCF HC-800-1 中央結構較為複雜且細微，故我們將其放大來仔細觀察。我們發現中央的大空氣柱四周有六個特殊設計橢圓形的空孔可能因為光子能隙效應(Photonic Band-gap Effect)而能導光，但是其中一個空孔在 SEM 照片中顯示出被堵塞的狀況，所以在 CCD 強度分佈圖中才會有一個相對應的點沒有亮光出現。

4. 結論

這次實驗中我們使用了五種不同方式來觀察各種光纖的截面，各有優缺點。除了傳統的光學顯微鏡、SEM 之外，我們利用特殊調變的部分非同調雷射光源或 LED 光源打入光纖，然後從輸出光來判斷其輸出端面的狀況。經過與上述兩種方法比對後，我們發現新方法也能忠實呈現光纖截面的情況，而且具有實驗架構簡單、結果取得迅速、價格低廉等優點。在經過不同光源的測試後，以雷射光加上 Rotating Diffuser 之效果為最佳。至於 LED 光源可能需要並聯多顆提升亮度之後成像的品質才會改進。未來的研究目標是將光子晶體光纖的特殊輸出光學圖案應用在晶格式光折變空間光孤子的形成或是網式光鉗的微粒捕捉上。

5. 參考資料

- [1] T. A. Birks, J. C. Knight, and P. St. J. Russel, "Endlessly single-mode photonic crystal fiber," *Opt. Lett.* **22**, 961 (1997).
- [2] The datasheet of PCF ESM-12-01 and HC-800-1: [Http://www.blazephotonics.com](http://www.blazephotonics.com)