

國立台北科技大學
103學年度光電工程系
專題實務研究

空心光纖填充摻染料液晶微腔雷射
Dye doped LCs filled hollow core
fiber Microcavity Laser



指導教授：林家弘 教授
專題生：林冠學、涂政琦
中華民國 103年

目錄

一、摘要

二、實驗動機

三、簡介

2.1 液晶介紹(Liquid crystal)

2.2 向列型液晶(Nematic LC)

2.3 層列型液晶 (Smectic LC)

2.4 鐵電液晶(FLCs)

四、樣品製作與量測架構

4.1 實驗材料

4.2 樣品製作步驟

4.3 光斑量測裝置

五、數據分析參數

六、結論

一、摘要

本發明提出一種消光斑方式，其中裝置主體是由液晶摻雜高分子的混合物填入玻璃片內構成，採用 CW 雷射作為光源，其中心波長為 532 奈米。在液晶玻璃片上接導線，藉由改變電壓及電流改變液晶旋轉方向，以此達到消除光斑的效果。

二、實驗動機

近來光學成像技術的發展越趨成熟，對光源的明亮度要求越來越高，因此許多照明系統開始採用發光二極體(LED)、超輻發光二極體和雷射(laser)來替代傳統光源。雖然雷射與超輻發光二極體非常明亮，卻不適合應用於全場成像的應用上，因為它們具備相當高的空間同調性，這將會造成同調性的人造圖像，例如光斑，使得影像的失真。因此，消除光斑一直是成像技術上有待解決的問題，在此專題中我們提供一種抑制光斑的方法，藉由對 PDLC 通電壓，使排列液晶的整齊度降低造成光的散射，達到抑制光斑雜訊的效果，藉由通電電壓的大小與調變頻率可以發現光斑雜訊的變化。而此抑制光斑的元件不但是一種可攜式的裝置，並且方便使用、體積也小非常具有發展潛力。

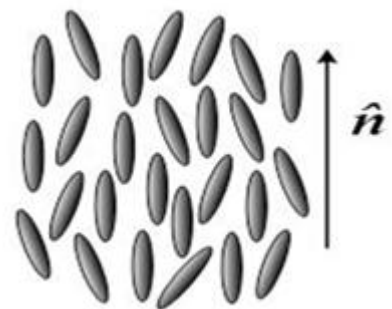
三、簡介

2.1 液晶介紹(Liquid crystal)

液晶(liquid crystal)首度發現並有歷史文獻記載是於西元 1888 年，1888 年 3 月 14 日，奧地利布拉格德國大學的植物生理學家 F. Reinitzer 藉由在植物內加熱苯甲酸膽固醇酯研究膽固醇，觀察到膽固醇苯甲酸酯在熱熔時的異常表現。該物質在 145.5°C 時熔化，產生了帶有光彩的混濁物，溫度升到 178.5°C 後，光彩消失，液體透明。此澄清液體稍微冷卻，混濁又復出現，瞬間呈現藍色。萊尼澤反覆確定他的發現後，向德國物理學家 O. Lehmann 請教。1889 年，O. Lehmann 對此化合物做詳細的分析。他在偏光顯微鏡下發現，此白濁液體化合物具有異向性(anisotropic)結晶所具有的雙折射率(birefringence)的光學性質，故將這種似晶體的液體命名為液晶。因此，對於『液晶』的詮釋，我們可以說它是在某一特定溫度的範圍內，將同時具有液體及晶體的特性，換言之，既有液體的流動性質，亦有晶體的光學異向性質。

2.2 向列型液晶(Nematic LC)

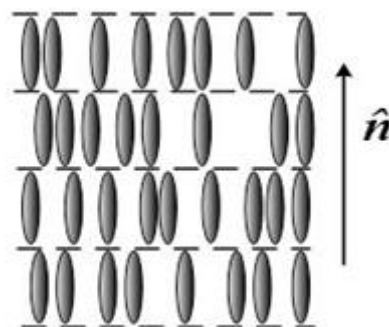
向列型液晶為棒狀分子作平行排列，其分子軸方向保持平行，而分子重心沒有位置沒有次序性，但不具層狀構造，只有一維的規則度。分子的排列方向存在一定程度的次序性，分子傾向於某個共同的方向去排列，圖(a)所示。**Nematic LC** 具有光學上的正折射性。與層列型液晶比較，該液晶分子於長軸方向容易自由運動，因此其分子間作用力小，黏度也較小，且易於滑動，為所有的種類液晶中，流動性最大者，是液晶成員中最重要的，也是最廣泛被使用者。其命名 Nematic 在希臘語中是細扁帶狀的意思，而本實驗則採用 E 7 向列型液晶。



圖(1) 向列型液晶

2.3 層列型液晶 (Smectic LC)

這類型的液晶為棒狀分子以層狀構造排列，各個分子與層面垂直或具有一傾斜角度，而且所構呈的分子均為互相平行排列，由結構上的差異 **Smectic** 又可分為 A、C、B、F、I、M、L、G、J、E、H、K 等多種。但從結構上看，所有的 **Smectic** 都具有層狀結構。由於分子層間分子的互相結合合力較弱，易於滑動，故層列型液晶具有二維的流體性質與二維的規則性。此液晶中，垂直於分子的光速比平行方向的光速慢，光學上稱之為光的複折射性。而且，這類液晶的黏度比一般液晶顯著為大，是其一大特徵。



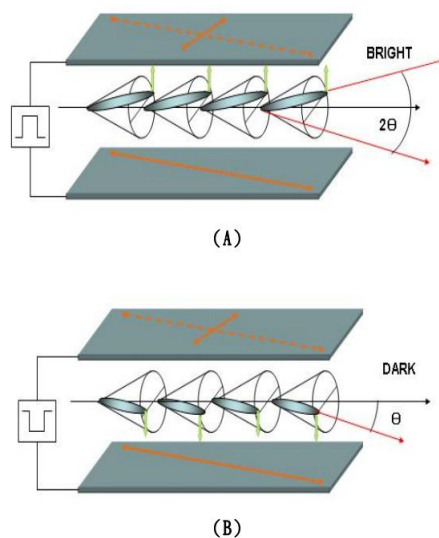
圖(2) 層列型液晶

2.4 鐵電液晶(FLCs)

一些高分子聚合物的晶體，若具有非對稱性，可能也具有鐵電性，如液晶層狀 C 結構，若為手性 (chirality) 分子，並具有與長軸垂直的電偶極矩，則有鐵電性。現有研究物質以葵氧基苄叉對氯二甲丁基肉桂酸鹽 (DOBAMBC) 為代表。在

FLC 中的液晶分子轉動是藉由電場與自發偶極距 P_s 的力矩： $\hat{\tau} = \hat{P}_s \times \hat{E}$

因此液晶分子的轉向與電場極性方向有關，且表示當以電場作用時，將促使液晶分子轉動，即使電場取消後，鐵電液晶分子依然穩定在圓錐某一端，直到相反極性的電場作用後，液晶分子才又轉為另一穩定態；因此藉由相反極性的電場驅動，將可呈現亮態與暗態的雙穩態 (bistable state)。



圖(3) FLC 液晶分子在電場驅動下的是意圖
(A) 亮態 (B) 暗態

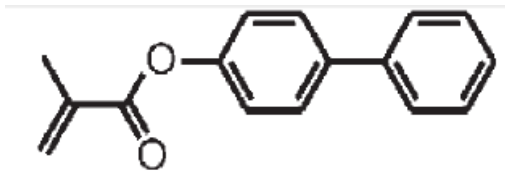
四、樣品製作與量測架構

4.1 實驗材料

(a) C0 polymer

為了增加在液晶通電時的散射效果，我們必須增加通電時液晶與聚合物間的非匹配性，因此我們選擇這種可光驅動型的化合物—聯苯甲基丙烯酸酯 (biphenyl methacrylate monomer)，其化學結構下圖表示之，此單體的折射異相性係數為 0.2，我們稱其為單體 1(圖 1)，我們將其匹配至液晶(5CB)關閉的狀態，此 PDLC 膜較傳統的 ($\leq 70\%$) 具有較高的透明度 ($\geq 80\%$)，在導通狀態時，最大非匹配係數可達到 0.2，也製造了更好的散射效果，甚至將對比率(contrast ratio)提升到了 10，並將傳統驅動電壓 10V 降至 5V。

其中為了增加其異性光學特性，我們使用兩種(單體 2 與單體 3)聯苯甲基丙烯酸酯(biphenyl methacrylate monomer)，並搭配不同的官能團以形成聚合網路，我們稱其為 C0 polymer。



圖(4)

(b) 向列型液晶?(Nematic Liquid Crystal, E7)

E7 屬於向列型液晶 (Nematic LC)，向列型液晶為棒狀分子作平行排列，其分子軸方向保持平行，但不具有層列型液晶般的層狀構造，只有一維的規則度。它具有光學上的正折射性。與層列型液晶比較，該液晶分子於長軸方向容易自由運動，因此其分子間作用力小，黏度也較小，且易於滑動，為所有的種類液晶中，流動性最大者，是液晶成員中最重要，也是最為廣泛被使用者。如果以高倍顯微

鏡觀察液晶分子，可以看到如細帶狀的外形，其命名 Nematic 在希臘語中是細扁帶狀的意思，結構如圖(1.1)所示。

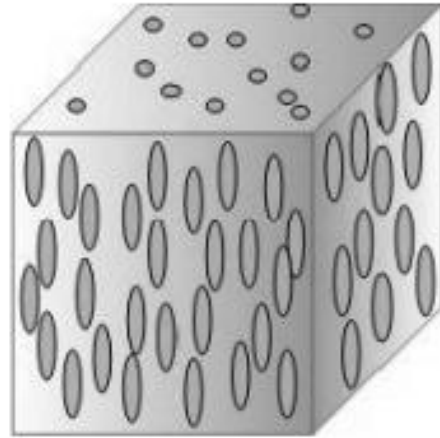
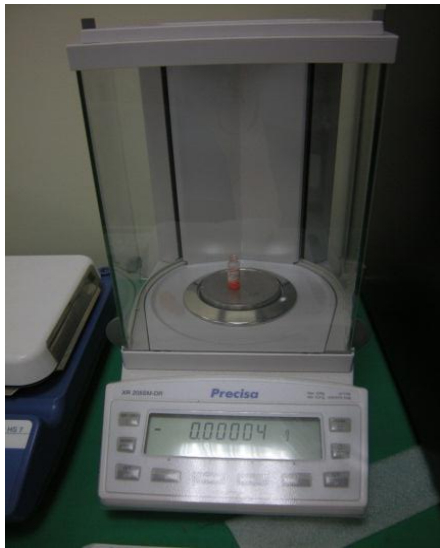


圖 (1.1) 向列型 (Nematic) 液晶

4.2 樣品製作步驟

1. 取一液晶瓶放入微量天秤(圖 1)，歸零後取出，先加入 0.5%之 Polymer(C0)約略 0.00001g，再加入液晶(E7)99.5%約 0.00095g，再放至加熱器上使用玻璃棒攪拌，時間大約 25 分鐘，溫度 135 度)。



液晶瓶放至微量天秤中(圖一)

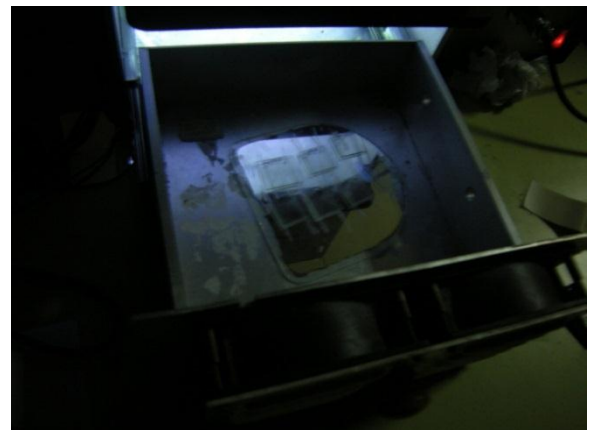


將液晶放置加熱台上(圖二)

2. 取一滴管，將滴管放入裝有事先調配好的液晶瓶中，利用毛細現象將瓶中之液晶混合物吸起，再將其滴入液晶片中(過程須在加熱台上進行，並且只能由同一個方向滴入，避免有空氣被擠壓進去)，將其拿至日光燈確認液晶已經灌滿整個液晶片中心，取出後並在頭尾兩端利用 AB 膠黏著劑封住(圖三)，再放至 UV 光下照射(圖四)約略 20 分鐘。



將液晶片兩側封上 AB 膠(圖三)



將其放置 UV 光下照射(圖四)

3. 兩液晶片兩端黏上多心線，並確認通電後會中心出現閃爍(圖四、圖五)



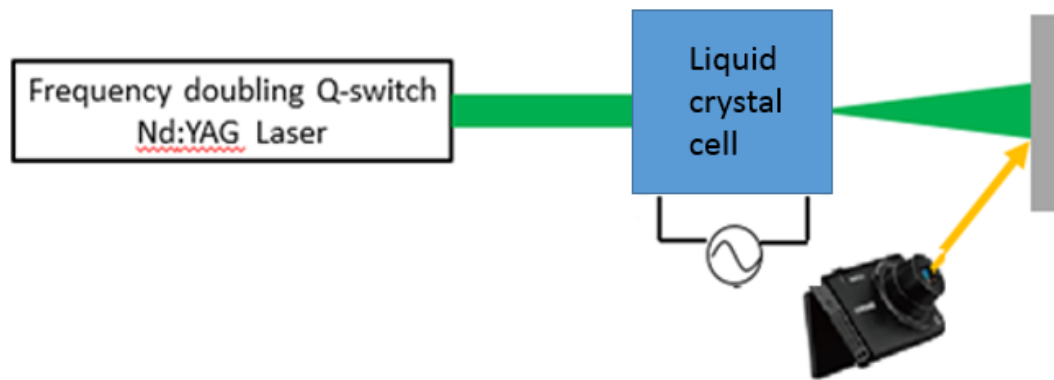
(圖四)



(圖五)

4.3 光斑量測裝置

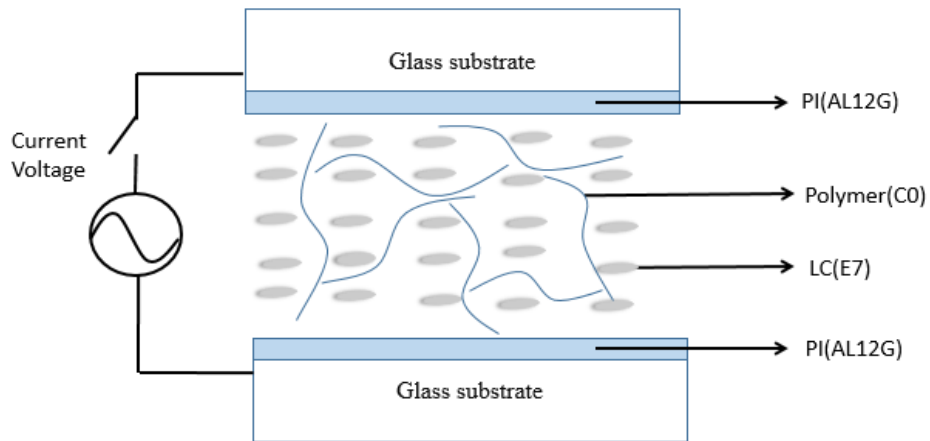
本實驗利用連續綠光雷射(CE-09PI-300 laser) 作為光源，將製作好的液晶盒放置在光源後方，接著在液晶盒接上導線，電源使用正弦波交流電，藉由改變電流頻率轉換電場來改變液晶排列，在未加電壓的情況下，液晶在沒有電場的狀態下會以相同方向平躺在玻璃片上，當加入電壓以後，液晶會順著電場方向轉動，但部分的液晶會受到高分子的擠壓造成液晶排列方向不一致，使得散射的效果增強，破壞雷射的空間同調性來達成消去光斑的目的。為了確定光斑消除的效率，我們利用公式(一)計算照片平均光強度，並利用公式(二)計算出照片的方均根植，便可獲得(C, Contrast)，稱作消班率，消班率越高代表效果越好。



圖六-光斑測量裝置架構圖

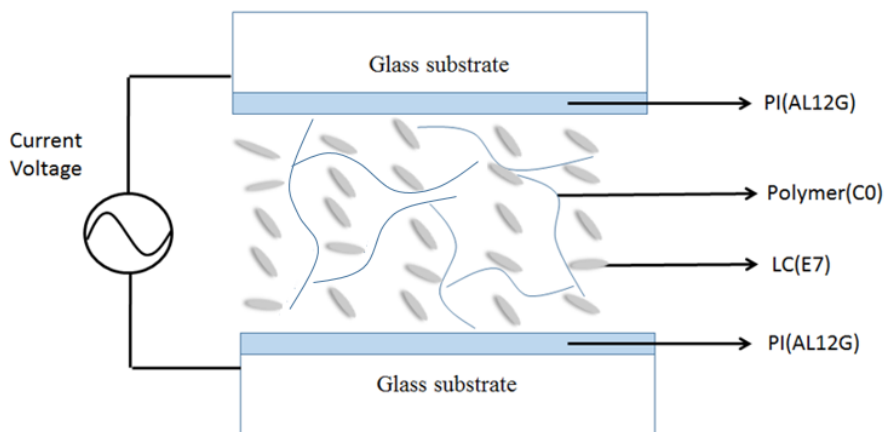
利用(CE-09PI-300 laser) 作為光源，並將製備好的液晶盒放置在光源後方，為了調變液晶，我們在液晶核上加裝導線，以此連接電源供應器，由電源供應器提供三角波交流電，藉由改變電流頻率可以快速變換電場狀態來改變液晶排列。

雷射光源經過衰減片打在屏幕上方，將此時屏幕上方的雷射拍下，再將液晶通電後，配上不同頻率與電壓並觀察其光斑數目的改變。



(圖七)

(圖七)液晶依照 rubbing 方向均勻排列在玻璃表面，造成均勻散射，由於光束存在空間同調性，故會產生光斑，液晶通電前並不會改變旋轉角度，所以雷射通過並不會有多餘散射出現，也因為如此光斑對影像品質影響甚大。



(圖八)

(圖八)液晶通電後由於液晶會受電場轉動，但高分子不會，所以造成每一區塊的液晶受到不同數量的高分子拉扯，產生每一區塊的液晶旋轉程度不同，造成整體 PDLC 排列混亂，達到徹底破壞空間同調性的結果。

五、數據分析參數

這次實驗我們以三角波為例，此實驗比較的數據為對比度，其計算方式如下：

$$\sigma = [\sum_{n=1}^N |I_{ave} - I_n|^2 / N]^{1/2} \quad (1)$$

$$I_{ave} = (\sum_{n=1}^N I_n) / N$$

$$C = \frac{\sigma}{I_{ave}} \quad (2)$$

σ : 光強度的方均根值

I_{ave} : 光平均強度

N : 一張照片的總點數

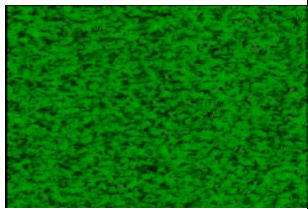
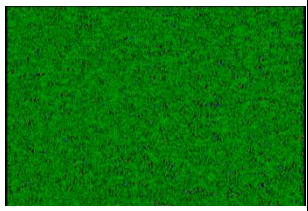
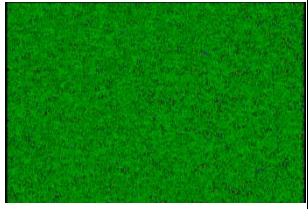
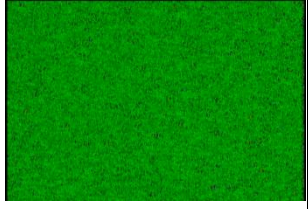


I_n : 單點的光強度

消斑率:

$$(C_{none} - C_n) / C_{none}$$

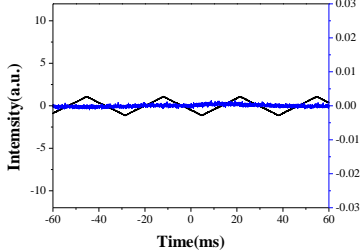
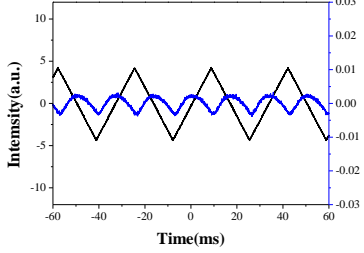
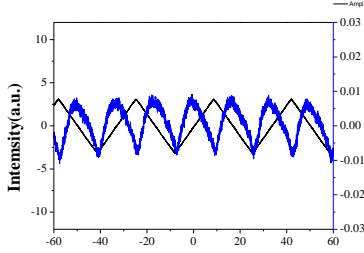
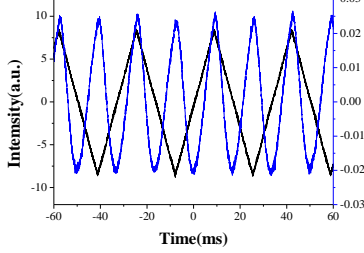
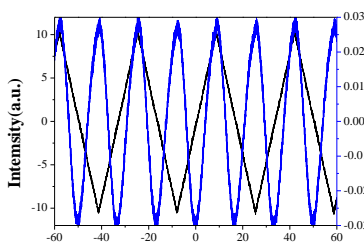
輸入電壓由 0~10V 輸入，輸入頻率為 30Hz，並將輸入波型與輸出波型繪製成圖，觀察其是否有失真，確保實驗之準確度。

(a)以下以 0V、2V、4V、6V、8V 不同電壓做消斑率之比較:

	<ul style="list-style-type: none"> • 0V • C=0.1410 • 消斑率=0% 	
	<ul style="list-style-type: none"> • 2V • C=0.13 • 消斑率=7.80% 	當電壓為 2V 時，contrast 只減少了 0.1，消斑效果十分差，判斷為電壓不足(<5V)，液晶無法完全驅動
	<ul style="list-style-type: none"> • 4V • C=0.1141 • 消斑率=19.08% 	效果依然不顯著，但當電壓達到 4V 時已經和理論上 PDLC 驅動電壓 5V 相當接近。
	<ul style="list-style-type: none"> • 6V • C=0.0937 • 消斑率=33.55% 	電壓到了 6V 後，已經超過推 PDLC 驅動電壓(5V)，由肉眼直接觀看圖片即可看出與初始照片差異。
	<ul style="list-style-type: none"> • 8V • C=0.0849 • 消斑率=39.79% 	電壓 8V 時，消斑率達到最高的 39.79%，圖片整體變得明亮且清晰，因此由 8V 著手進行變頻。
	<ul style="list-style-type: none"> • 10V • C=0.0853 • 消斑率=39.50% 	電壓 10V 時，消光斑的效果與過 8V 幾乎一樣。

(b)輸入波形與輸出波形之追蹤(三角波、frequency=30Hz)

下圖黑線為輸入波形，藍線為輸出波形。

Voltage=2V		電壓為 2V 時，輸入波型為三角波，但輸出波形卻難以觀察，甚至像是雜訊般的輸出。
Voltage=4V		當電壓升高至 4V，波形變形像是旋波函數輸出，因此判定輸入電壓與輸出電壓尚未完全同步。
Voltage=6V		電壓上升至 6V 時，輸出波形已經有三角波的形式出現，但是在邊緣部分有些許的雜訊，因此間接影響消斑效果。
Voltage=8V		電壓 8V 時輸出與輸入幾乎同步，並解可以看到沒有雜訊的完整三角波輸出，因此消斑效果理當最佳。
Voltage=10V		當電壓持續增加到 10V，可以發現輸出波形再次出現些許雜訊，因為如此消斑率又有些許下降。

小結:

由上方兩種數據可推斷以下影響消斑率之因素:

- (1).電壓至少要超過 5V 的 PDLC 膜驅動電壓，液晶才能被完全驅動。
- (2).輸入與輸出波形是否同步是影響消斑率的一大因素。
- (3).當輸出波形有雜訊時，消斑效果會有顯著的下降。

(c)綜合比較

		無液晶	0V	2V	4V	6V	8V	10V
三角 波 比較	contrast	C=0.141	0.1264	0.13	0.1141	0.037	0.0849	0.0853
	消斑率		10.35%	7.8%	19.08%	33.55%	39.79%	39.50%
	輸出輸 入波形 比較	X		失真	似旋波	似三角 波但有 雜訊	三角無 雜訊	三角有些 微雜訊

由上方比較可以清楚得知，在輸入為三角波，頻率為 30Hz 的情況下，當電壓為 8V 時，其 Contrast 最低，且達到最高之消斑率，輸入與輸出波型有完整的同步，且無雜訊。

(d)將 contrast 和消斑率在縱軸做比較，橫軸為 0~10 的電壓。

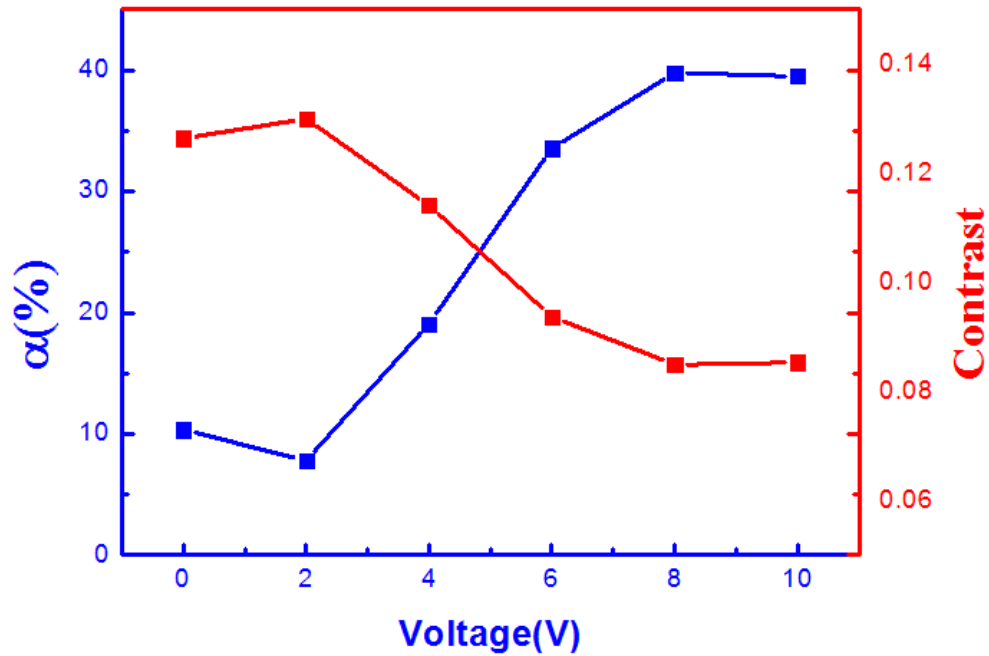
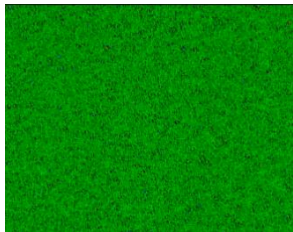
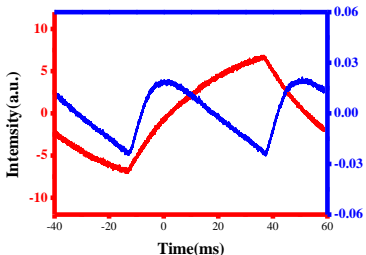
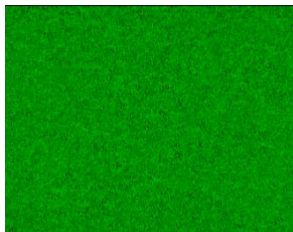
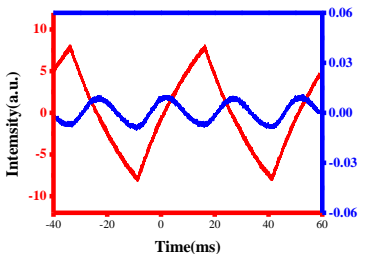
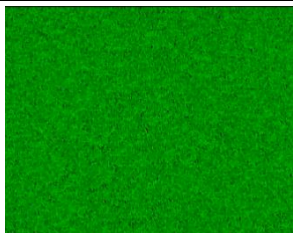
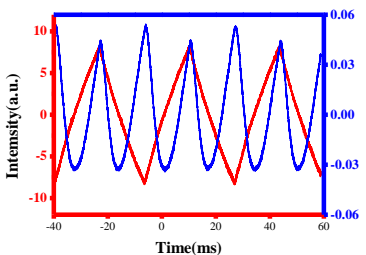
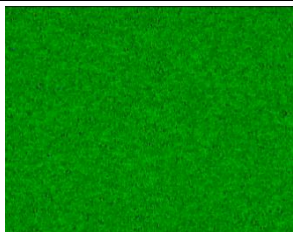
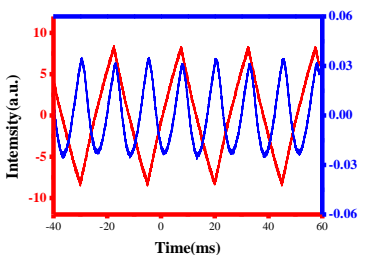
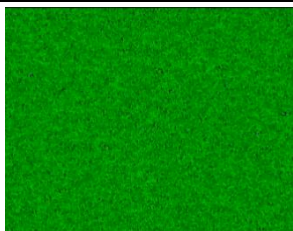
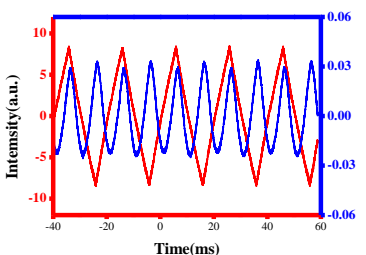


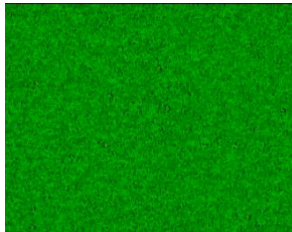
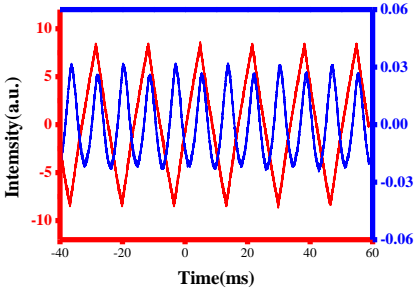
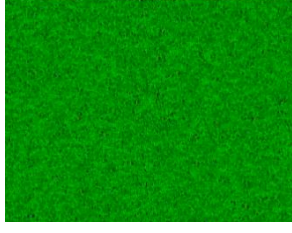
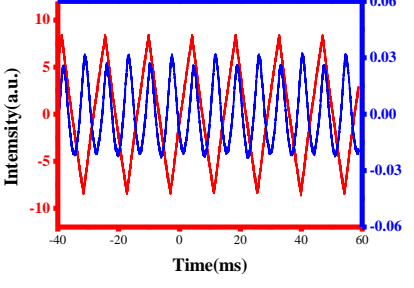

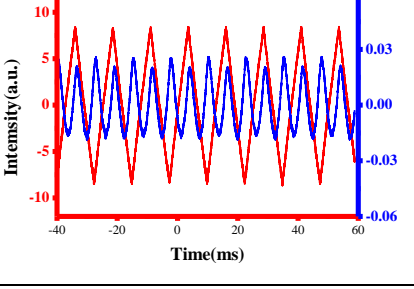

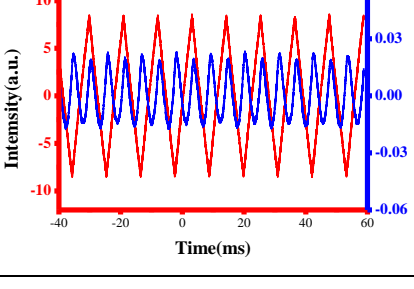

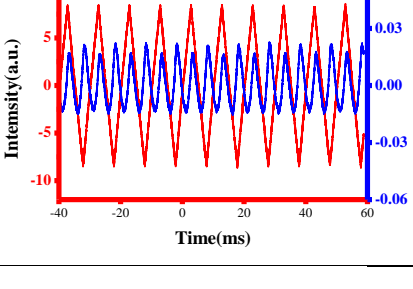
圖 5-1

由(圖 5-1)可清楚得知，當電壓為 5V 時，消斑率與 Contrast 值有明顯的上升與下降，因此與理論上 DLC 膜驅動電壓=5V 不謀而合，當電壓足以驅動液晶時，Contrast 值便因大量的散射而下降，消斑率因而上升。可觀察在 8V~10V 之間，不論是 Contrast 值或消斑率都不會因電壓有顯著影響，整次實驗最佳效果發生在電壓=8V 時。

由於電壓 8V 時消斑效果為最佳，因此我們採用 8V 去做頻率的變化，觀察是否有更好消斑效果發生在特定頻率。

(e)固定 8V，改變頻率，紅線為輸入波形，藍線為輸出波形

消斑影像	消斑數值	輸入波形與輸出波形之追蹤
	<ul style="list-style-type: none"> 10hz $C=0.1041$ 消斑率=27.1%	
	<ul style="list-style-type: none"> 20hz $C=0.0902$ 消斑率=36.8%	
	<ul style="list-style-type: none"> 30hz $C=0.0906$ 消斑率=36.5%	
	<ul style="list-style-type: none"> 40hz $C=0.0878$ 消斑率=38.5%	
	<ul style="list-style-type: none"> 50hz $C=0.888$ 消斑率=37.8%	

	<ul style="list-style-type: none"> 60hz <p>$C=0.0936$</p> <p>消斑率=34.4%</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> 70hz <p>$C=0.0890$</p> <p>消斑率=37.6%</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> 80hz <p>$C=0.0919$</p> <p>消斑率=35.6%</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> 90hz <p>$C=0.0890$</p> <p>消斑率=37.6%</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> 100hz <p>$C=0.0893$</p> <p>消斑率=37.4%</p>	

由上面追蹤圖形與消斑率來看，10hz 消斑率十分差，而且輸出無法與輸入同頻，20hz 時消斑率就非常好但輸出輸入依然無法同頻。30~100hz 消斑率並沒有太大改變，輸出與輸入也能同頻，其中 40hz 時消斑率達到最高的 38.5%。

(f)將 contrast 和消斑率在縱軸做比較，橫軸為 0~10 的頻率。

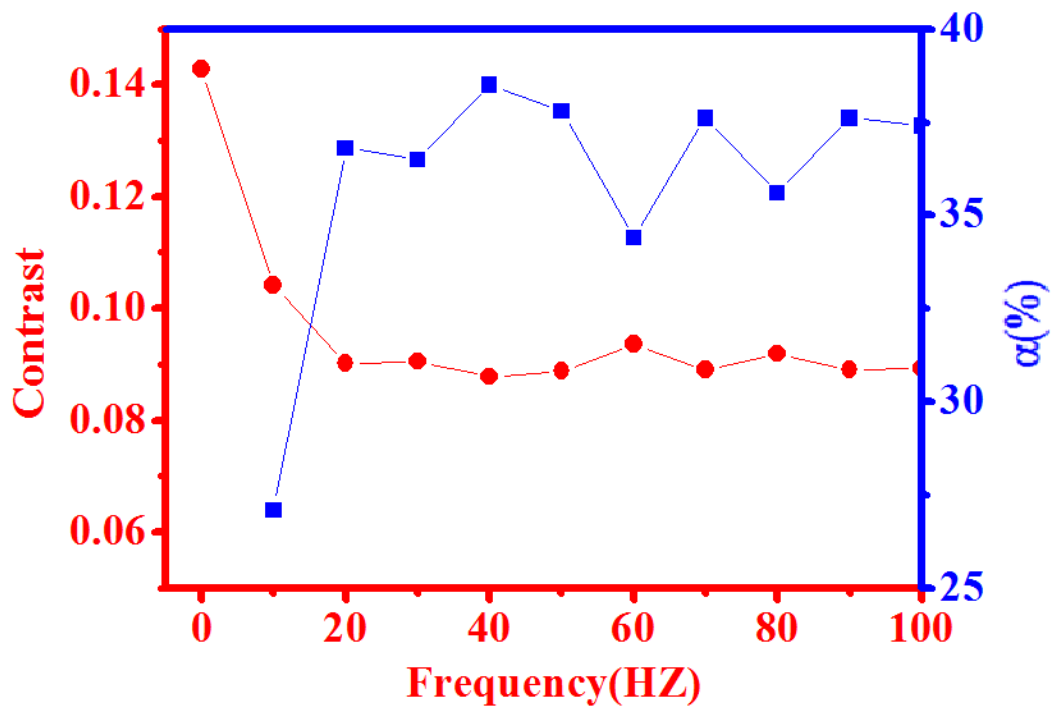


圖 5-2

小結:由圖(5-2)可以清楚明白，頻率在 20hz 以下時，Contrast 值很高，且消斑率不到 30%，而其他頻率在 8V 情況下，消斑效果並沒有太大差異。

六、結論

1. 經實驗證明確實可藉由改變電壓改變液晶旋轉方向，雷射通過此通電液晶後，可達到消除光斑的效果。
2. 由圖形中可觀察出電壓在 8V 時有最好的消斑效果。
3. 頻率在 30hz 以上時，消斑率並不會因頻率而受太大影響。
4. 電壓至少要超過 5V 的 PDLC 膜驅動電壓，液晶才能被完全驅動。
5. 輸入與輸出波形是否同步是影響消斑率的一大因素。
6. 當輸出波形有雜訊時，消斑效果會有顯著的下降。