

2013 臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

作品編號	100007
參展科別	工程學科
作品名稱	以有機溶劑摻雜改善高分子分散型液晶性質之探討
得獎獎項	四等獎

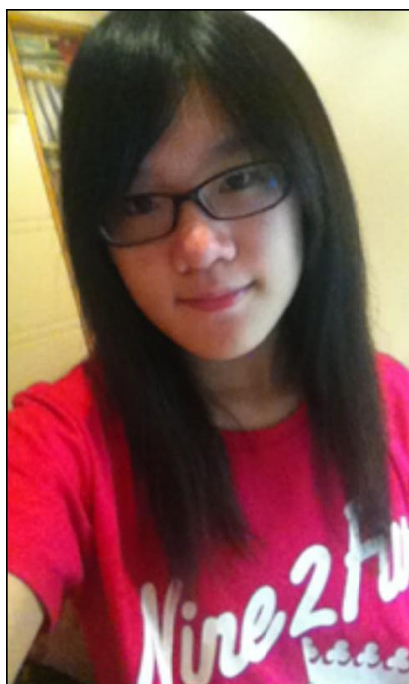
就讀學校 臺北市立第一女子高級中學

指導教師 李美英、趙治宇

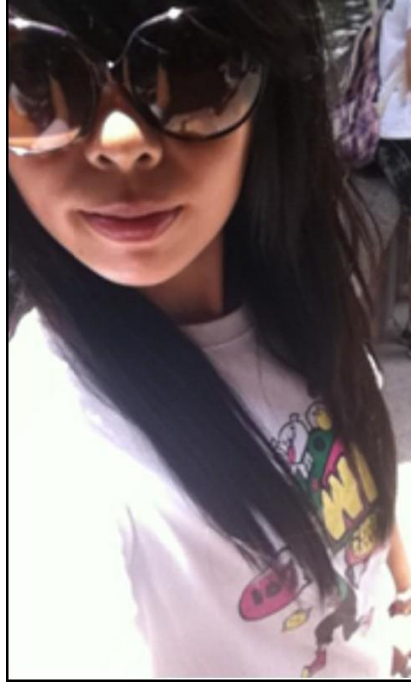
作者姓名 林芝紋、張天慈

關 鍵 字 PDLC、閾值電壓、酒精

作者簡介



我是林芝玟，目前就讀北一女中高二數理資優班，個性外向活潑，對於科學方面還滿有興趣的，小時候總是對大自然的神奇現象充滿好奇，喜歡自己動手做實驗，或接觸新的知識。我認為做專研是一個很令人振奮的事情，這次因為專題研究的課程，讓我有機會到外面的實驗室進行研究，除了學習到許多課本內所沒有的知識外，更學到了做實驗應有的耐心和態度！



我是張天慈，目前就讀北一女中高二數理資優班，個性活潑愛玩，因此相較於抱著課本念，更喜歡自己動手做實驗，也對於科學實驗方面有不少的興趣。國中即有參加科展，也喜歡參加諸如智慧鐵人一類的趣味比賽。這次很高興能有機會可以進到實驗室裡，這對我來說是一種新的體驗，也非常難得，自己著手做實驗後才發現，一個研究從有雛形架構，到可以發表需要許多努力。

摘要

高分子分散型液晶(Polymer Dispersed Liquid Crystal, 簡稱 PDLC)是由高分子聚合物包覆的液晶微滴所組成, 透過電場量值的改變能有不透光與透光的變化。然而目前 PDLC 的閾值電壓相對於傳統液晶而言較高, 成為發展的阻礙之一, 因此我們希望透過摻雜有機溶劑的方式來降低 PDLC 的閾值電壓。

我們先探討不同製程變因對 PDLC 的影響, 以建立影響 PDLC 光電性質的理論模型, 接下來我們嘗試摻雜不同的有機溶劑, 並發現以乙醇的效果最佳, 於是我們便進行不同重量百分率的摻雜實驗以及調整摻雜方式。我們發現酒精的摻雜可以大幅降低 PDLC 的閾值電壓, 摻入 25% 的酒精約可使閾值電壓降低 50%, 除此之外, 酒精的摻雜似乎可以降低 PDLC 的遲滯效應, 而 PDLC 的初始光穿透率與摻入酒精的重量百分率約成正相關。這樣的結果相信對於 PDLC 在節能省電的應用方面將有很大的幫助。

Abstract

Polymer Dispersed Liquid Crystal (PDLC) is a new class of material that is different from traditional liquid crystal display. PDLC consists of liquid crystal droplets that are dispersed in a solid polymer matrix. It can vary from a transparent state to opaque state by applying an external electric field. However, its rather high threshold voltage is one of the disadvantages that impede its further application. As a result, we doped organic solvent in PDLC in order to find a way to decrease its threshold voltage.

First, we performed experiments with different factors, including polymerization temperature, UV light exposure time, cell gaps, and the proportions of liquid crystal and polymer, creating a hypothetical model to explain the relationship between the structure of PDLC and its electric-optic traits. In the experiment of doping, we added various kinds of organic solvents into the material, including Alkanes, Alcohols, Benzene, etc. According to our observations, Ethanol has the best mixture condition. Moreover, we found that adding alcohol into well-mixed material based on volume is a more concise method.

As a result, we added different percentages of Ethanol to PDLC and looked into its electric-optic traits and structures. The doping of Ethanol can significantly decrease the threshold voltage yet slightly increase the transmittance. The threshold voltage was cut down by 50% with doping 25% of Ethanol. Moreover, after quantifying the figure, we noticed that the Hysteresis effect was eliminated slightly.

All in all, the effect of doping Ethanol in PDLC can surely create significant progress in the application of PDLC, making it more efficient in electric consumption.

壹、研究動機

在高一基礎物理中，我們對於液晶的原理與應用有了初步的認識，老師不僅介紹了顯示器，還提到了「智慧型玻璃」。智慧型玻璃以大片導電玻璃配合液晶製成，可以藉由改變所施加的電壓，達到控制光線穿透量的目的，而有調節溫度的效用。這引起了我們的興趣，因此，我們開始查詢相關資料，得知高分子分散型液晶(Polymer dispersed liquid crystal，簡稱 PDLC)是種常應用於此的材料，它與一般傳統液晶特性不大相同，且頗具發展潛力，於是在和師長討論後，我們便決定以此為研究的對象，做進一步的探討。

在實驗過程中，我們無意間發現在 PDLC 中摻入酒精能有效降低其閾值電壓，在查詢相關文獻後，並沒有找到相關的探討。由於摻雜有機溶劑比摻雜奈米粒子或在液晶滴邊上做配向處理等目前有相關研究的方法，易取得且摻雜方便，我們認為它將會有不錯的應用價值，可以改善目前 PDLC 的光電性質與效果，因此希望能夠藉實驗尋找較適合的有機溶劑並進行深入的實驗與探討。

貳、研究目的

1. 藉由實際製作 PDLC 樣品探討各不同製程變因對於 PDLC 光電性質的影響，進而找尋一個較佳的組合，以進行後續實驗。
2. 在 PDLC 中摻雜不同種類的有機溶劑，探討適合摻雜的方式。
3. 摻雜不同重量百分率的選定有機溶劑，並探討該溶劑對 PDLC 光電性質的影響與影響機制

參、研究設備及器材

一、研究器材

ITO 玻璃、間隔材、25 μ m PI 薄膜、50 μ m 雙面膠、紫外光接著劑、25mL 量筒、1L 燒杯、長尾夾、鑽石刀、玻璃切割器、高壓氮氣槍、超純水、玻璃洗劑、紫外光汞燈源、加熱板、0.5ml 注射針筒、微量電子秤、氦氖紅色雷射光(波長 632.8nm)、光偵測器、函數產生器、電錶、高壓氮氣灑球機、微量吸管(pipette)

二、製作材料

液晶分子(E7)、高分子聚合物(NOA65)、甲醇、乙醇、丙三醇、丁醇、戊醇、己醇、辛醇、癸醇、聚乙二醇、甲苯、對-二甲苯、正十六烷

三、各材料資料

- (一) ITO 導電玻璃(Indium Tin Oxide Coated Glass，以下簡稱 ITO 玻璃)為 ITO 導電層厚 $21\pm 5\text{nm}$ 、面電阻 $120\Omega/\square$ ，在波長為 550nm 之光穿透率 $>86\%$ 。
- (二) 間隔材(spacer)為二氧化矽微小顆粒，本實驗使用 14 μ m、20 μ m 間隔材。
- (三) 紫外光接著劑(Norland optical adhesive 65，簡稱 NOA65)為一光聚合材料。
- (四) 高分子聚合物(Norland optical adhesive 65，簡稱 NOA65)與紫外光接著劑相同，折射率(n_p)=1.524。
- (五) E7 液晶分子，折射率 $n_o=1.521$ ， $n_e=1.747$ 。

肆、研究過程與方法

一、研究器材一、實驗方法：PDLC 樣品製作

（一）切割 ITO 玻璃

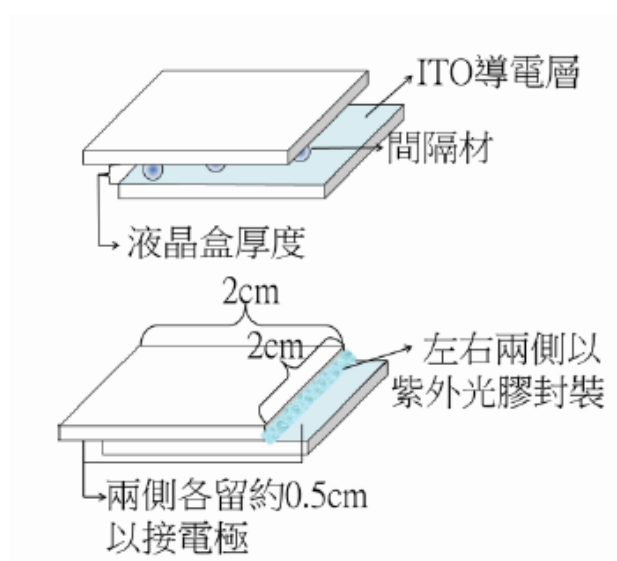
利用鑽石刀和玻璃切割器將 ITO 玻璃裁切成 2×2 公分的正方形。

（二）清洗 ITO 玻璃

以超純水和洗劑配合刷子，將表面較大的髒污洗去，並重複使用超音波震洗機將表面較微小顆粒去除，確保玻璃上的髒污不會影響到樣品的製作。

（三）組裝液晶盒

每一液晶盒使用兩片 ITO 玻璃，將其中一片以高壓氮氣灑球機灑上所需大小之間隔材，以控制兩片玻璃間的距離，再取另一片無灑球之 ITO 玻璃，將兩者導電的面相向疊合約 1.5 公分，固定後以紫外光膠封裝兩側，如圖(一)。

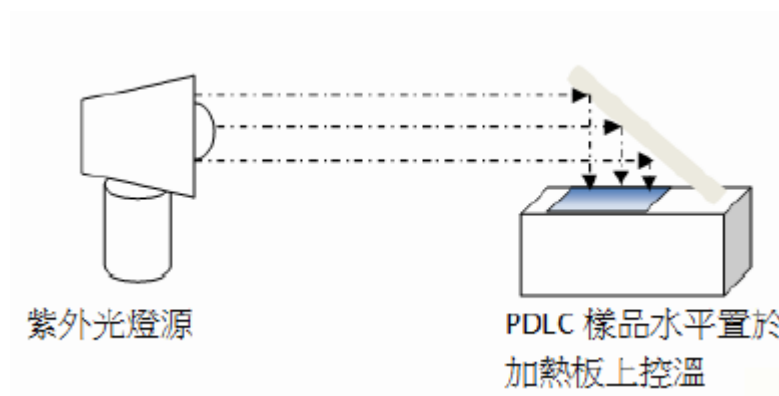


圖(一) 液晶盒示意圖

(四) 灌入液晶材料及聚合

將調配好的液晶材料加熱混合均勻，以注射針筒滴於空液晶盒未封裝處，使材料滲入並充滿液晶盒。

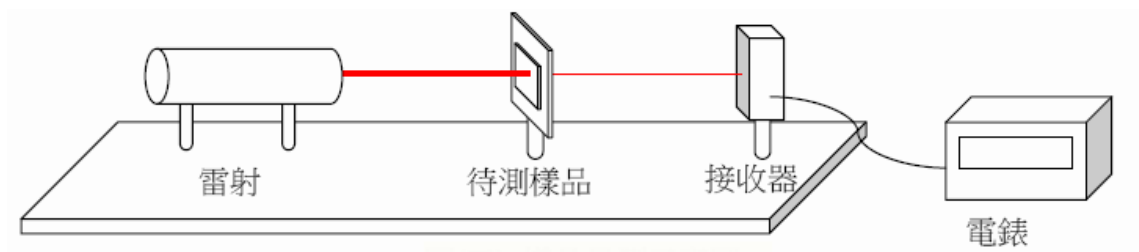
待材料充滿液晶盒後，將樣品平放於距光源約 70 公分處的加熱板上，控制各種變因，並以鏡子反射 200W 之平行紫外光，使其垂直照射於樣品上，使樣品聚合，如圖(二)，並控制照光時間。



圖(二) 紫外光照射示意圖

(五) 量測

在光學桌上將氦氖紅色雷射光垂直打在 PDLC 樣品上，將穿透過 PDLC 樣品的雷射光以光偵測器及電錶轉換成電壓數值，自 0V 開始對 PDLC 施加電壓，記錄讀值電壓並繪製圖表，如圖(三)。



圖(三) 樣品量測示意圖

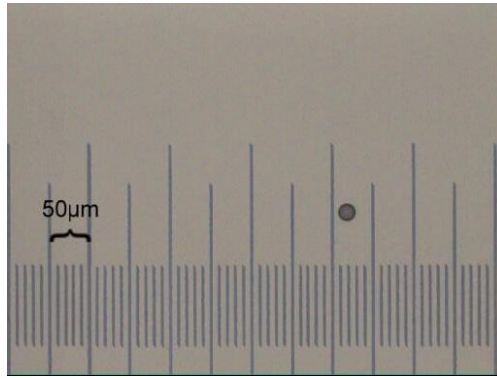
二、研究過程

實驗一：PDLC 製程探討

製作 PDLC 樣品，分別改變照光溫度、照光時間、液晶盒厚度、液晶含量和間隔材數量等製程變因，製作 PDLC 樣品，量測並記錄結果，繪製圖表比較、探討其差異與影響。

以較佳的顯示效果來說，PDLC 應要有較低的初始光穿透率、較高的最終光穿透率以及較低的閾值電壓，故我們將以這些光電性質來探討一個樣品的好壞。

- (一) 照光溫度：以加熱板控制 PDLC 照光時的溫度於 30°C、40°C、60°C、100°C、150°C。
- (二) 照光時間：以計時器控制照光時間於 1 分鐘、2 分鐘、4 分鐘及 6 分鐘使樣品聚合。
- (三) 液晶盒厚度：分別以 14 μm 間隔材、20 μm 間隔材、25 μm PI 薄膜及 50 μm 雙面膠控制其厚度。
- (四) 液晶含量：分別以微量電子秤控制液晶之重量百分率於 40%、50%、60%及 70%。
- (五) 間隔材數量：分別控制間隔材數量於少、中、多。間隔材數量以在光學顯微鏡 200x 的鏡頭下(約 600 μm $\times$ 450 μm)之平均間隔材數做區分。數量少為平均有 1 個間隔材，如圖(四)；數量中為平均有 2~3 個間隔材；數量多則為平均有 4~6 個間隔材。



圖(四) 間隔材在 200X 光學顯微鏡下照片

實驗二：不同有機溶劑的摻雜及摻雜方式探討

- (一) 在液晶分子及高分子聚合物單體中加入不同種類的有機溶劑，包括醇類、聚醇類、烷類、苯類等，加熱並觀察其混合狀況以及是否有揮發的情況。
- (二) 採用以下三種方法來摻雜 10% 的有機溶劑，並針對實驗的精準度比較其效果。

1. 以微量天秤量取所需有機溶劑的重量，並在量測時直接加入高分子聚合物和液晶分子的混合材料中。

將所需有機溶劑的量換算成體積，在加熱前以微量吸管加入液晶材料中，並加熱使三者混合均勻。

將所需有機溶劑的量換算成體積，在液晶分子與高分子聚合物加熱混合均勻後，以微量吸管加入液晶材料中，稍待其混合均勻後便直接灌入。

實驗三：有機溶劑摻雜

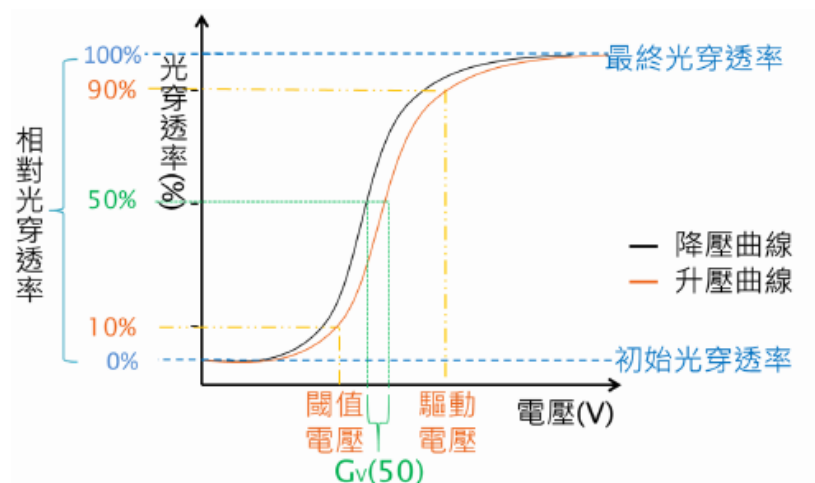
從實驗二的有機溶劑中選定一個和液晶材料混合良好且不易揮發的有機溶劑進行以下實驗：

以微量吸管吸取有機溶劑，在 PDLC 中摻雜重量百分率 5%、10%、15%、20%、25%、30% 以及 50% 的有機溶劑，並和液晶與高分子聚合物單體混合均勻，分別製作有摻雜酒精和未摻雜之 PDLC

樣品，固定各控制變因，照光聚合後量測並記錄樣品結果，繪製圖表比較、探討其差異與影響。

三、名詞定義

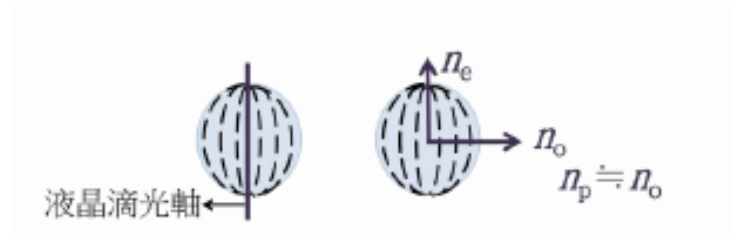
- (一) 讀值電壓(VS)：雷射光打到光偵測器，並轉換為電壓的電表讀值。
- (二) 初始電壓(VR)：未放置 PDLC 樣品時，雷射光直接打到光偵測器上，並轉換為電壓的讀值。
- (三) 光穿透率： VS / VR 。
- (四) 閾值電壓(VTh)：PDLC 之相對穿透率 10%時所對應到的電壓，如圖(五)。
- (五) 驅動電壓(Vd)：PDLC 之相對穿透率 90%時所對應到的電壓，如圖(五)。
- (六) 尋常光折射率 n_o (ordinary ray)：光的電場振動方向與液晶光軸方向垂直時的折射率。
- (七) 非尋常光折射率 n_e (extraordinary ray)：光的電場振動方向與液晶光軸平行時的折射率。
- (八) 相對穿透率 X%電壓差值($G_v(X)$)：PDLC 在升壓曲線和降壓曲線在光穿透率 X%時所對應到的電壓差值上來量化遲滯效應。



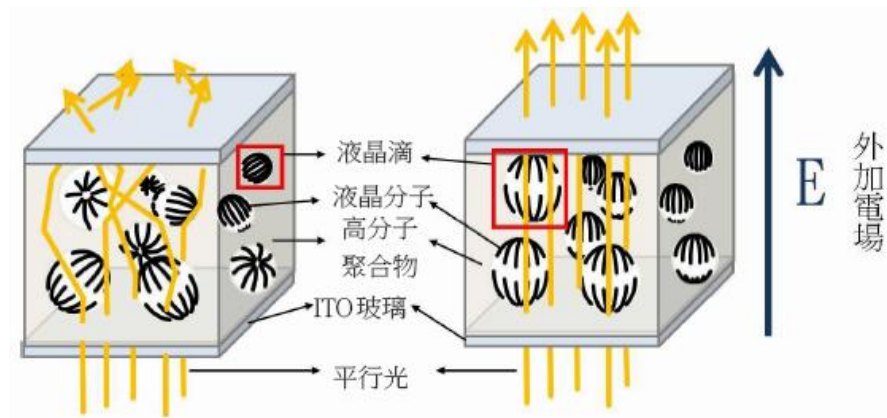
圖(五) 名詞定義示意圖

四、實驗原理

高分子分散型液晶(PDLC)，是一種由液晶和高分子聚合物所形成的凝態材料。原均勻混合的液晶和高分子聚合物單體在照射紫外光後會產生相分離，此時高分子聚合物單體會產生聚合反應，而液晶分子被高分子聚合物包裹而形成液晶滴。液晶分子會因為高分子聚合物對於液晶的束縛力而平行排列高分子的表面，形成某個特定方向的光軸，如圖(六)，而這些液晶滴會隨機散佈在高分子聚合物中，如圖(七)。



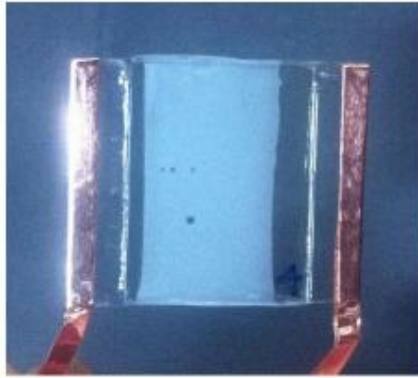
圖(六) 液晶滴雙折射率與光軸示意圖



圖(七) PDLC 結構示意圖

其中，高分子聚合物的光折射率 n_p 約等於液晶分子尋常光折射率 n_o ，不等於液晶分子的非尋常光折射率 n_e 。在未施加電場的情況下，液晶滴的光軸是凌亂隨機的，故當光通過 PDLC 時，光線折射路徑凌亂，而引起光的散射，如圖(八)；施加電場時，會使液晶滴的光軸和電場平行，此時液晶滴有效的折射率是 n_o ，當光通過 n_p 和 n_o 兩個相近的折射率的界面，不會造成散射的現

象，此時 PDLC 會呈現透明狀，如圖(九)。



圖(八) 未施加電壓之 PDLC 樣品

圖(九) 施加電壓之 PDLC 樣品

伍、研究結果與討論

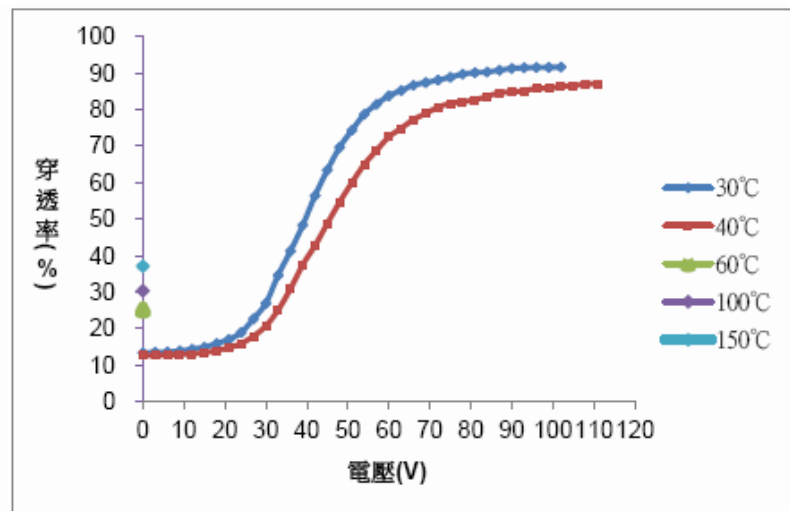
一、PDLC 製程探討

(一) 不同照光溫度

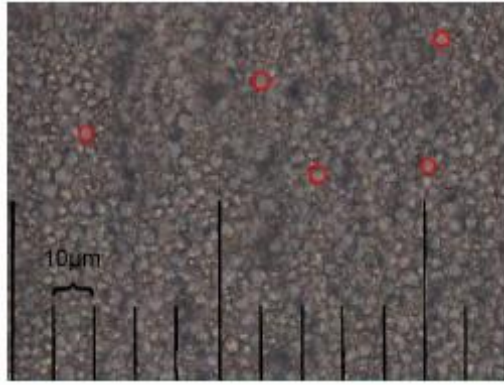
共同樣品條件：

液晶含量 50%、照光時間 5 分鐘、紫外光汞燈源 200W、液晶盒厚度 $20\mu\text{m}$ 、間隔材數量中。

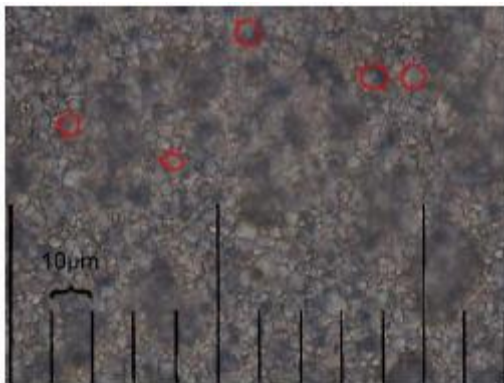
量測結果與圖表：



圖(十) 不同照光溫度之 PDLC 樣品的穿透率-電壓圖



圖(十一) 照光溫度 30°C 之 PDLC(1000x)



圖(十二) 照光溫度 40°C 之 PDLC(1000x)

結果討論：

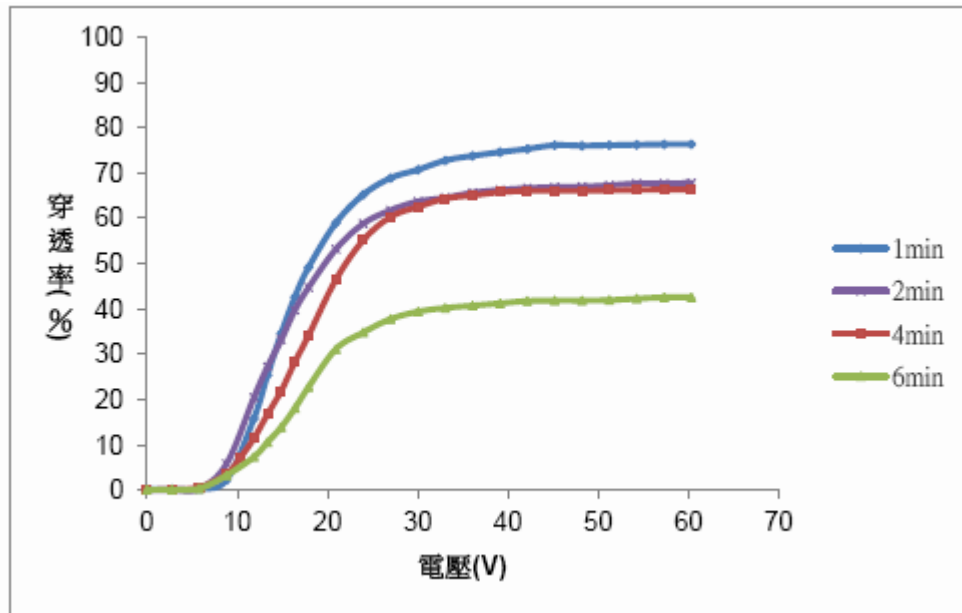
1. 在成份比例固定下，照光溫度越低，初始光穿透率越低，在顯微鏡下可觀察到液晶滴越小，如圖(十一)和圖(十二)，紅圈處為較明顯的液晶滴。由圖可知照光溫度 30°C 時的液晶滴約為 3 μm ，而照光溫度 40°C 時約為 5 μm ，溫度較低時，液晶滴較小。我們推測，當一束光通過 PDLC 樣品時，液晶滴

(二) 不同照光時間

共同樣品條件：

液晶含量 60%、紫外光汞燈源 200W、液晶盒厚度 20 μm 、照光溫度 30°C、間隔材數量少。

量測結果與圖表：



圖(十四) 不同照光時間之 PDLC 樣品的穿透率-電壓圖

結果討論：

1. 照光時間對於 PDLC 的初始光穿透率及閾值電壓沒有明顯的影響，而照光時間越長，最終光穿透率越低。我們使用 200W 紫外光源促使高分子聚合物進行聚合反應，在照射紫外光時，高分子聚合物以較快的速度聚合。若以此速度完成大部分的聚合反應，會有部分液晶分子在尚未聚集形成液晶滴前，就被高分子聚合物固定，使其在施加電壓後無法順利轉向；若在照射紫外光後，將樣品拿離光源，已被誘發的聚合反應仍會繼續進行，但速度較慢，因此使液晶分子有足夠的時間完全相分離。故長時間照射紫外光會使最終光穿透率降低。
2. 若要去除上述的討論提及的問題，除了縮短照光時間外，也可以改用功率較低的紫外光進行實驗，因為功率低的紫外光單位時間提供的能量較小，聚合反應速率較慢。
3. 此外，我們也推論，照光時間越長，會使液晶滴持續以較快的時

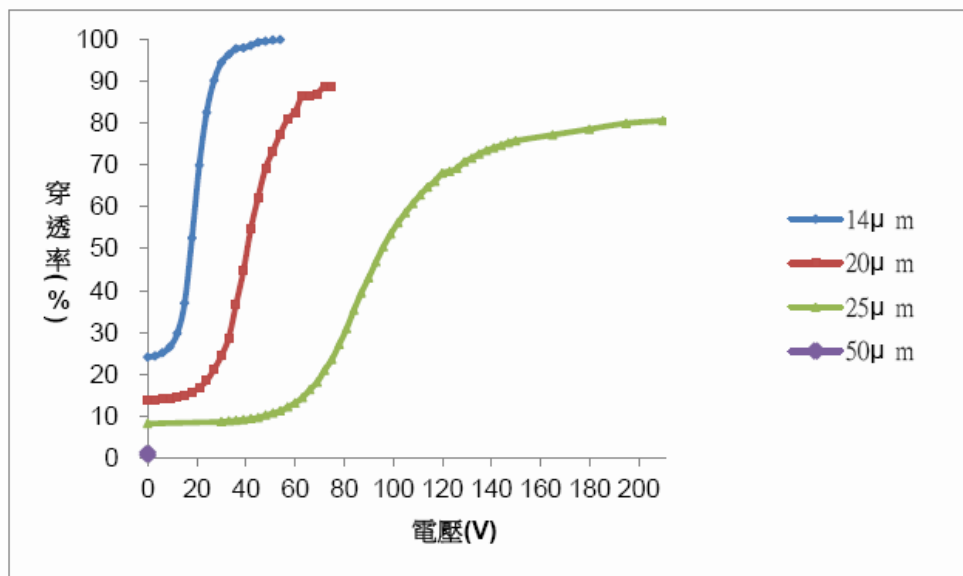
間聚集，而形成的液晶滴較小,根據先前的實驗結果討論,也可以推知照光時間越長其光穿透率越低。

(三) 不同液晶盒厚度

共同樣品條件：

液晶含量 50%、紫外光汞燈源 200W、照光溫度 30℃、照光時間 5 分鐘、間隔材數量中。

量測結果與圖表：



圖(十五) 不同液晶盒厚度之 PDLC 樣品的穿透率-電壓圖

結果討論：

1. 在相同控制變因下，PDLC 越厚，所含有的液晶滴越多，故會有較強的光散射性，使其初始光穿透率較低，不過並非所有的液晶滴在施加電壓後其光軸都能成功地平行於電場方向，仍會有些液晶滴光軸呈凌亂排列，而使其最終光穿透率較低。
2. 液晶盒越厚，所含有的液晶滴越多，驅動所需的電場較大，故液晶盒越厚，閾值電壓越高。

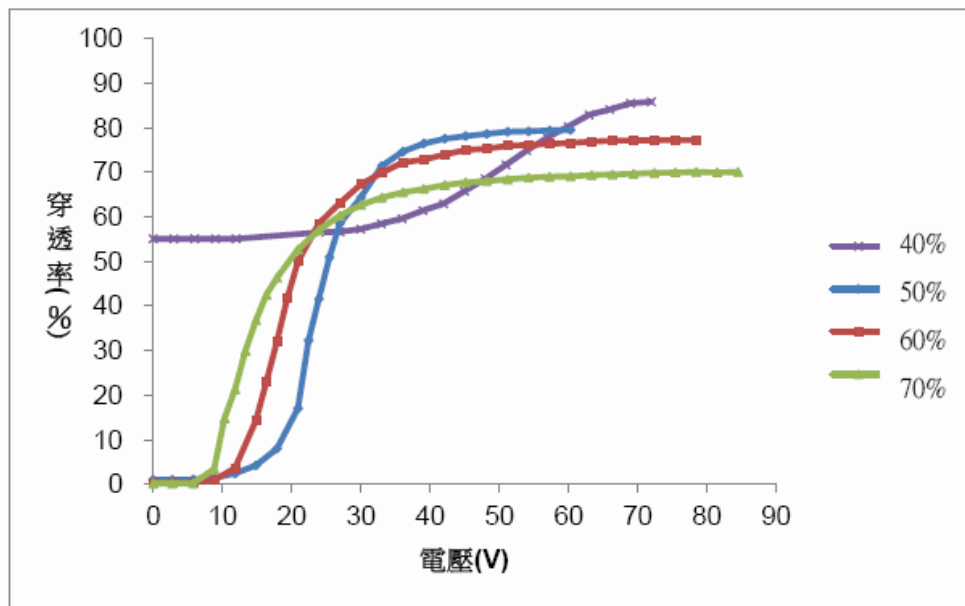
3. 綜合考慮閾值電壓與光穿透率，我們認為 $20\mu\text{m}$ 為較適合進行實驗的液晶盒厚度，同時具備小於 30V 的閾值電壓和小於 15% 的初始光穿透率。

(四) 不同液晶含量

共同樣品條件：

紫外光汞燈源 200W 、液晶盒厚度 $20\mu\text{m}$ 、照光溫度 30°C 、照光時間 4 分鐘、間隔材數量少。

量測結果與圖表：



圖(十六) 不同液晶含量之 PDLC 樣品的穿透率-電壓圖

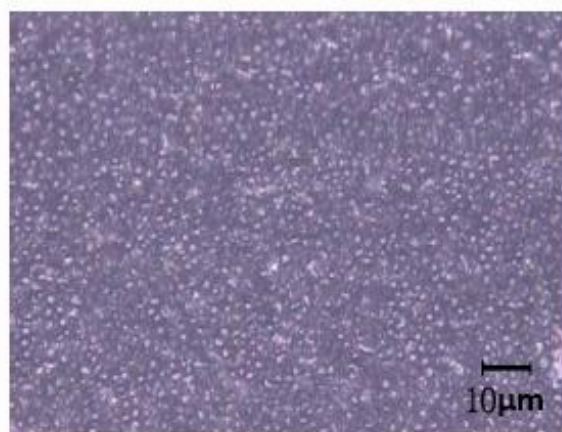
結果討論：

1. 由圖(十六)可知液晶含量越高的 PDLC 其閾值電壓越低。

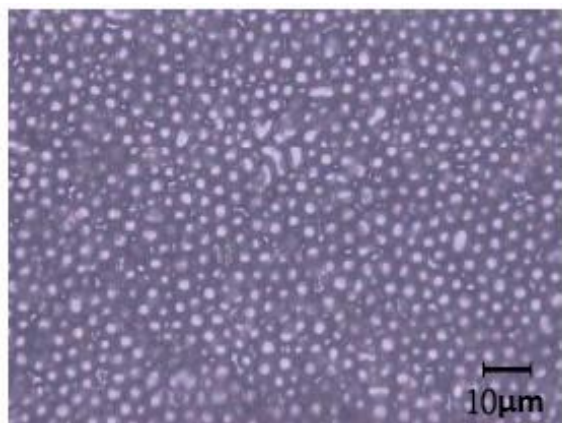
PDLC 對於電場的反應主要需先克服高分子聚合物對於液晶分子的束縛力，此束縛力與液晶和高分子聚合物的接觸表面積成正相關，如圖(十七)、(十八)，液晶含量較高的 PDLC 形成的液晶滴較大，總表面積較小，其分子束縛力較小。因此，液晶含量 40% 的樣品分子束縛力過大而對電場反應差，而液

晶含量 70%的樣品僅需不到 10V 就可驅動。

2. 液晶含量越多的 PDLC 樣品其初始光穿透率越低，而最終光穿透率也越低，此現象主要是因為液晶越多，其光散射能力越好；然而液晶滴不一定每個都能夠在施加電場後完全和電場方向平行，故液晶含量越高其最終光穿透率越低。
3. 綜合上述討論，可知 PDLC 無法以液晶含量控制同時擁有最佳初始光穿透率和最終光穿透率，而我們認為液晶含量 60% 的 PDLC 具有較好的顯示條件，同時擁有約 10V 的閾值電壓、3% 的初始光穿透率和約 80% 的最終光穿透率。



圖(十七) 液晶含量 50%之 PDLC 樣品(1000X)



圖(十八) 液晶含量 70%之 PDLC 樣品(1000X)

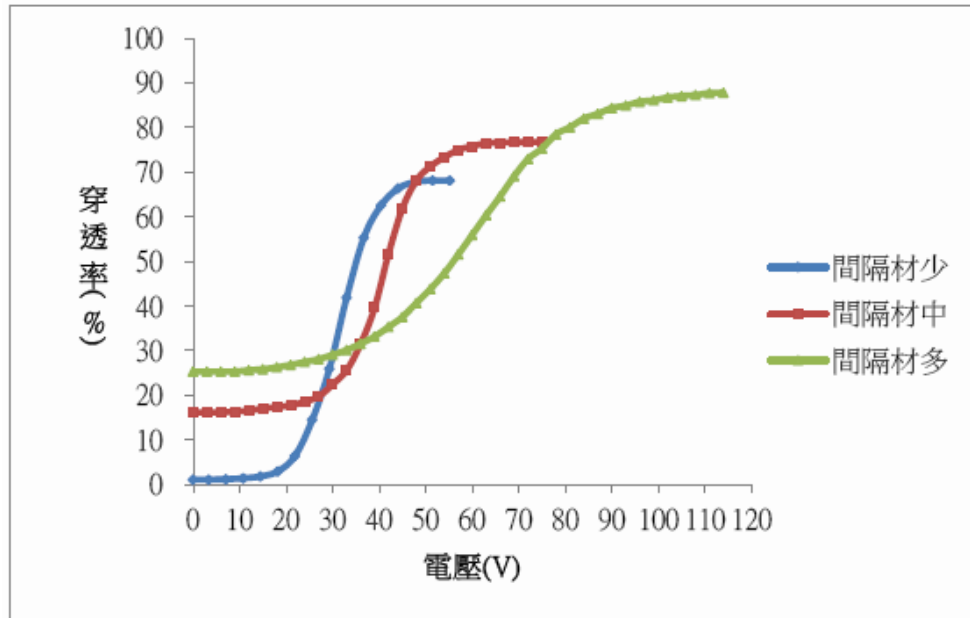
以上兩圖皆以正己烷去除液晶分子，僅留下高分子聚合物。

(五) 不同間隔材數量

共同樣品條件：

液晶含量 50%、紫外光汞燈源 200W、液晶盒厚度 $14\mu\text{m}$ 、照光溫度 30°C 、照光時間 5 分鐘。

量測結果與圖表：

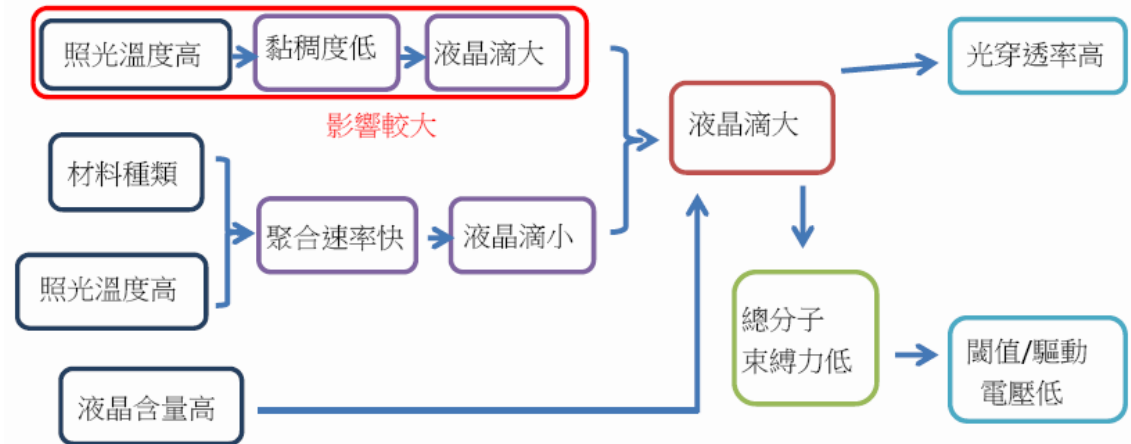


圖(十九) 不同間隔材數量之 PDLC 樣品的穿透率-電壓圖

結果討論：

由圖(十九)可知間隔材數量的改變，對於初始光穿透率有顯著的影響，由於我們所使用的間隔材為二氧化矽(SiO_2)，是一種透明的微小顆粒，間隔材越多，等於是在液晶盒間形成越多會透光的孔洞，因此初始光穿透率較高，而這樣的現象對於 PDLC 的品質是不佳的，所以在其他實驗中我們選擇間隔材數量少來進行實驗。

(六) PDLC 光電性質與液晶滴大小理論模式探討



圖(二十) PDLC 光電性質與各變因關係圖

1. 綜合實驗一的各變因結果，我們根據 PDLC 的顯示原理建立一個 PDLC 光電性質與液晶滴大小理論模式 (如圖(二十))。

- 液晶滴大小影響 PDLC 的光穿透率與閾值電壓及驅動電壓，液晶滴越大光穿透率越高；而液晶滴越大的 PDLC 樣品，其高分子聚合物對液晶分子的總分子束縛力較小，因而閾值電壓較低。除此之外液晶分子含量的多寡也直接影響總分子束縛力的大小。(詳細原因可參考結果討論(一)、(二))

- 液晶滴則同時受高分子聚合物黏稠度和聚合速率影響，照光溫度高，高分子聚合物黏稠度低，但聚合速率快，根據我們實驗結果黏稠度的影響較大，而使液晶滴較大。

2. 根據此理論模型，可知若以製程變因改變液晶滴大小，難以在對初始光穿透率影響不大的情況下，直接降低高分子聚合物與液晶分子之間的分子束縛力，達到閾值電壓大幅降低的

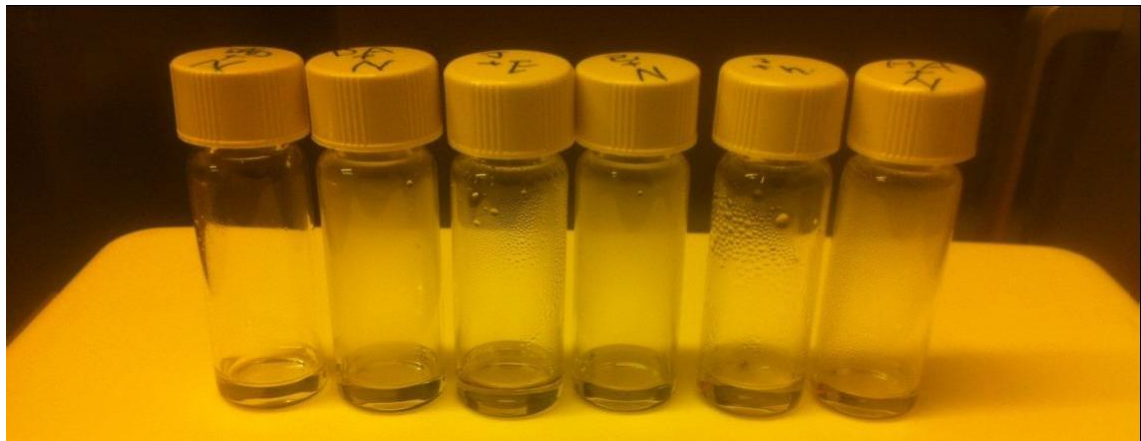
效果。因此我們希望能夠尋找其他直接降低總分子束縛力的非製程變因方法。

二、不同有機溶劑與液晶材料之摻雜與摻雜方式

(一) 不同有機溶劑與液晶材料之混合

表(一) 各有機溶劑與液晶材料混合情形

不互溶	互溶但易揮發	互溶且不易揮發
乙二醇	丁醇	甲醇
丙三醇	戊醇	乙醇
正十六烷	己醇	甲苯
聚乙二醇	辛醇	對-二甲苯
	癸醇	

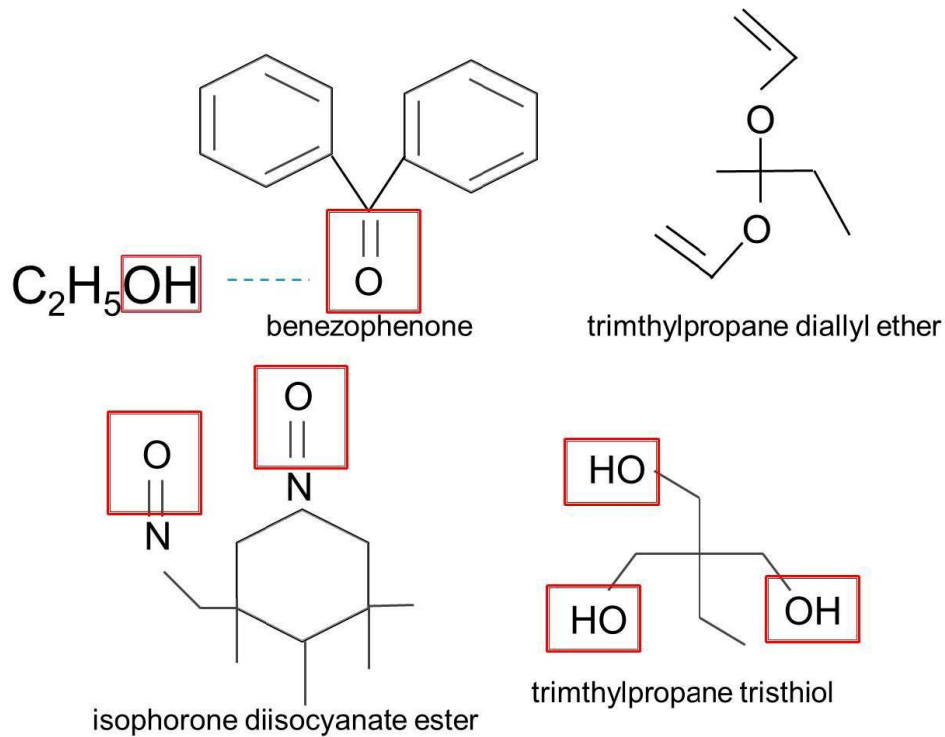


乙醇 癸醇 丁醇 己醇 戊醇 辛醇

圖(二十一) 蒸發情況照片

1. 由實驗結果發現，分子量較小的醇類以及苯類和液晶材料混合均勻且不容易揮發，和我們原本的預料恰好相反，沸點低的乙醇反而是不容易從液晶材料中揮發，從圖(二十一)照片可清楚觀察到，除了乙醇外，其它分子量較大的醇類在加熱到約 80℃ 並冷卻後，瓶壁上都有明顯的凝結狀況。我們認為這

是因為酒精中的 OH 羥基會和高分子聚合物單體中的醛基和羥基產生氫鍵(圖(二十二)中紅框處)，使酒精分子不容易自高分子聚合物單體中揮發，而相較之下碳鏈較長的醇類，雖然也會產生相同的氫鍵，但由於碳鏈較長所以分子作用力相對較小，反而容易揮發。



圖(二十二) 高分子聚合物(NOA65)成分結構圖與氫鍵示意圖

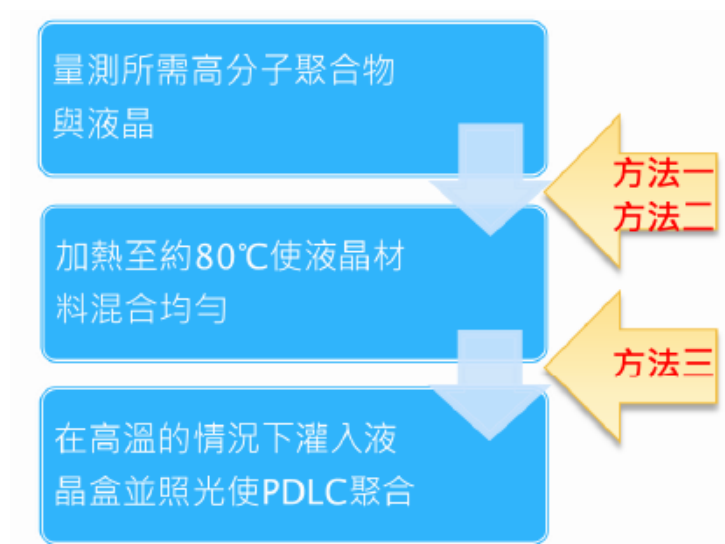
2. 由於苯類及甲醇具有毒性，操作上較不方便，酒精相對來講安全且取得容易，因此我們決定以酒精作為接下來實驗的材料，進行不同重量百分率的摻雜實驗。

(二) 不同摻雜方式

1. 方法一中我們以重量為依據，在配置完液晶材料後，以胰島素針吸取過濾過之無水酒精，分別使用微量電子秤量測，配置摻雜不同重量百分率酒精的液晶材料。但在實驗過程中，我們發現由於我們所摻雜的酒精量約在 10^{-3} ~ 10^{-4} 克，而

我們所使用的微量電子秤在此範圍無法較精確的測量，故方法一無法精確控制實驗所需的酒精比例。

2. 方法二及方法三中，我們將酒精所需要的量換算成體積，使用微量吸管量取。而為了使高分子聚合物與液晶均勻混合，配置材料過程中會以加熱輔助，從實驗一的結果裡，我們雖然得到乙醇較不易揮發的結果，但因我們實際實驗中所使用的乙醇量非常少，些許量的變化即會造成重量百分濃度的改變，因此方法二，也就是在加熱混合前加入酒精還是會影響酒精確實的比例。
3. 方法三，也就是在液晶材料加熱完才加入酒精，則不會發生上述情況，且酒精和液晶材料不需要加熱即可混合均勻，並不會影響實驗結果。因此我們認為在液晶材料加熱混合均勻後再添加乙醇的方式較佳。



圖(二十三) 實驗流程說明圖

三、不同重量百分率之酒精摻雜

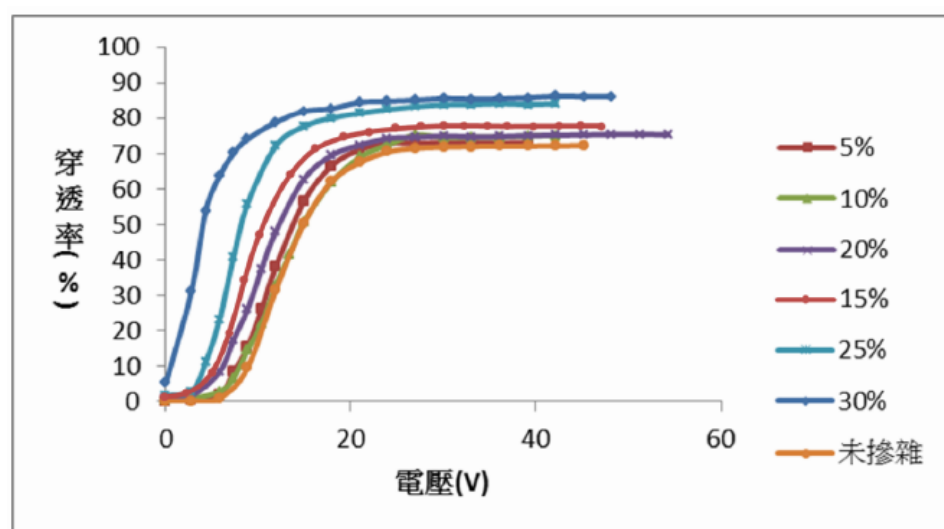
樣品共同條件：

液晶含量 60%、紫外光汞燈源 200W、液晶盒厚度 $20\mu\text{m}$ 、照光溫度 30°C 、照光時間 1 分鐘、間隔材數量少。

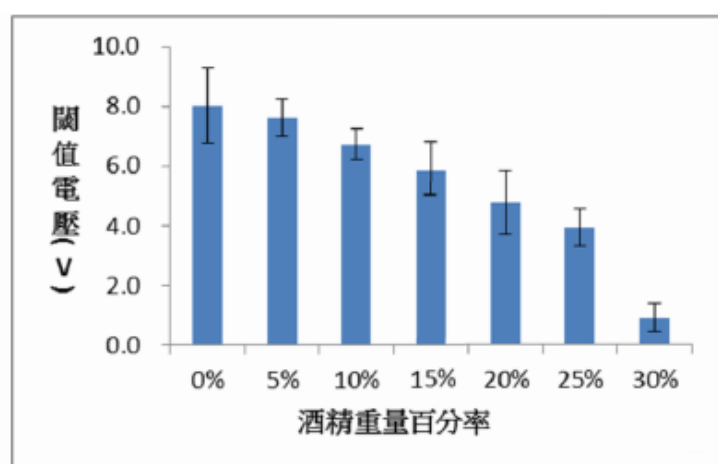
酒精摻雜比例：0%、5%、10%、15%、20%、25%、30%、50%

量測結果與圖表：

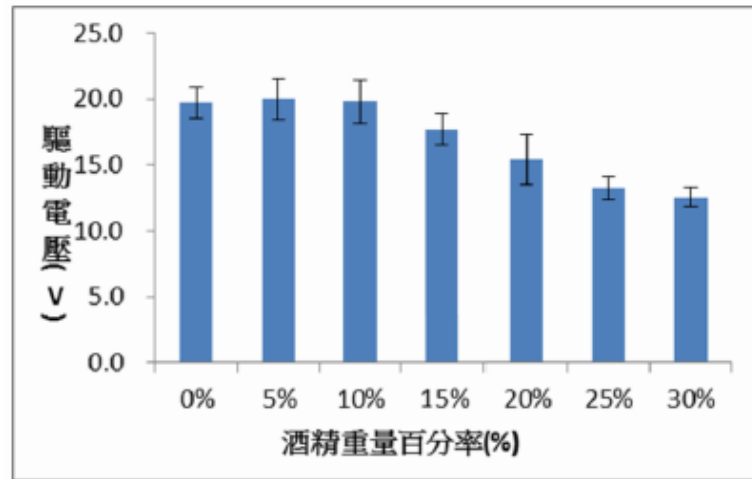
4. 不同重量百分率酒精之 PDLC 樣品之穿透率-電壓關係與各光電性質的改變



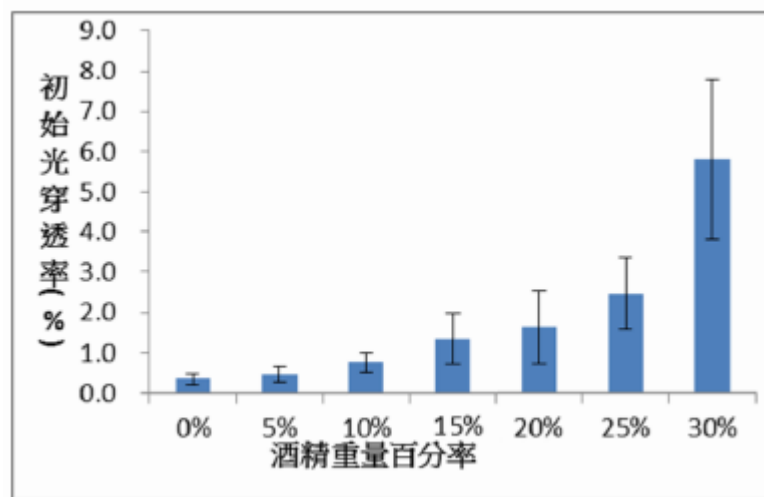
圖(二十四) 摻雜不同重量百分率酒精之 PDLC 樣品的穿透率-電壓圖



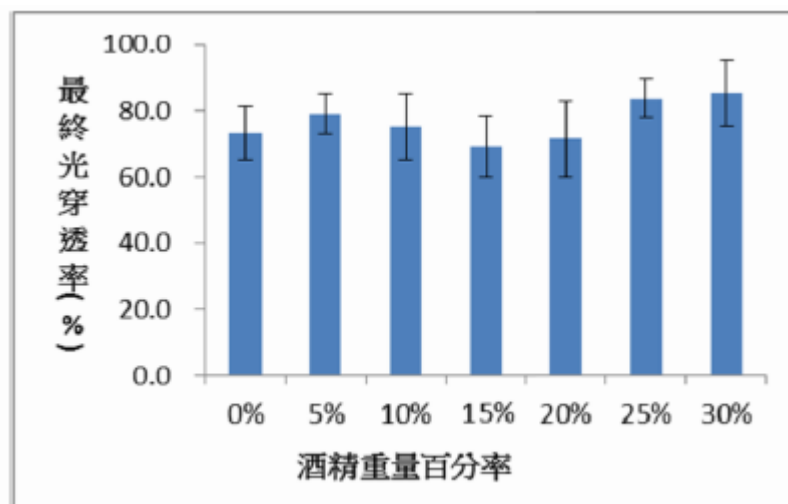
圖(二十五) 摻雜不同重量百分率的酒精之閾值電壓



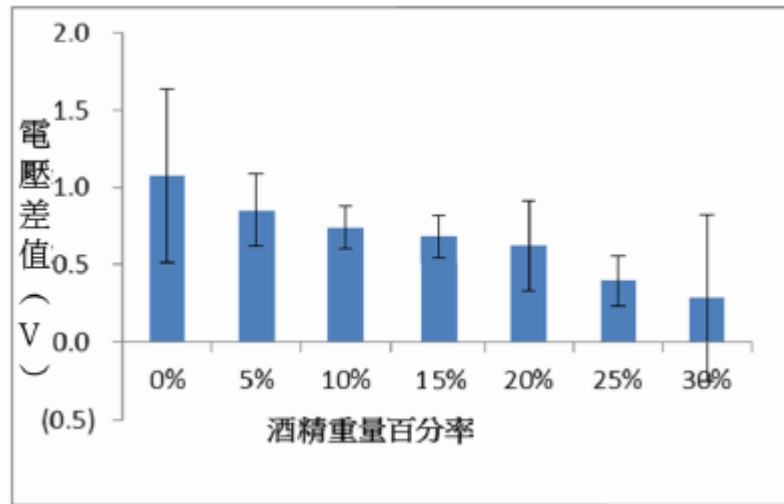
圖(二十六) 摻雜不同重量百分率的酒精之驅動電壓



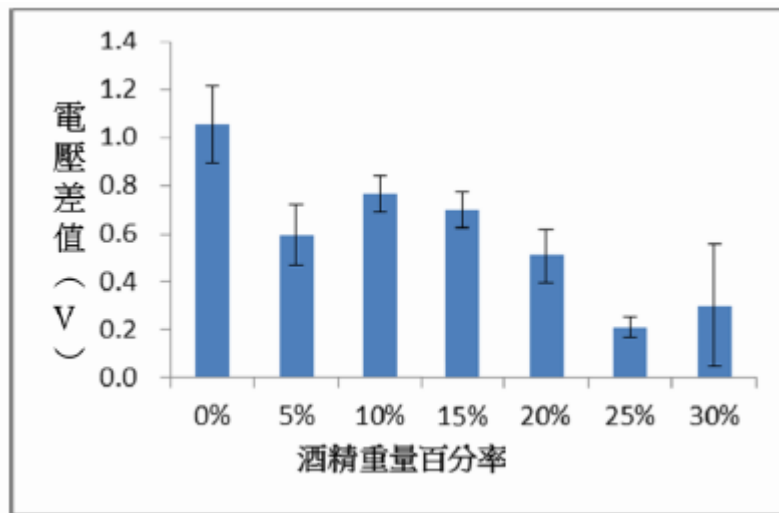
圖(二十七) 摻雜不同重量百分率的酒精之初始光穿透率



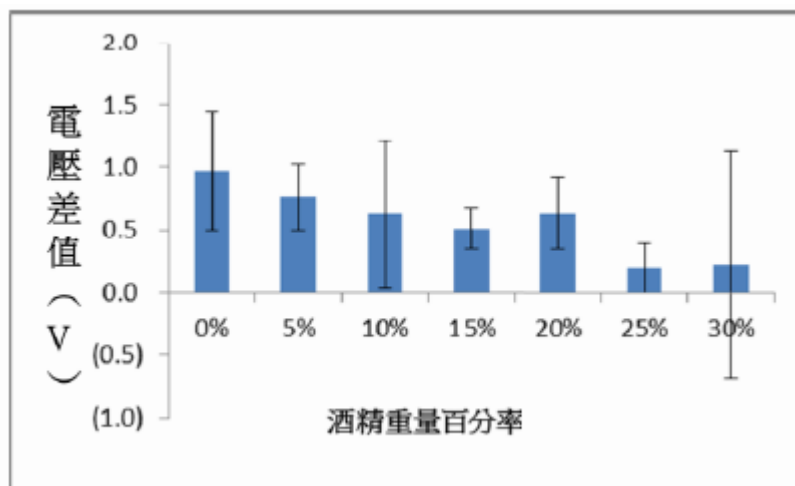
圖(二十八) 摻雜不同重量百分率的酒精之最終光穿透率



圖(二十九) 摻雜不同重量百分率酒精之相對穿透率 25%電壓差值



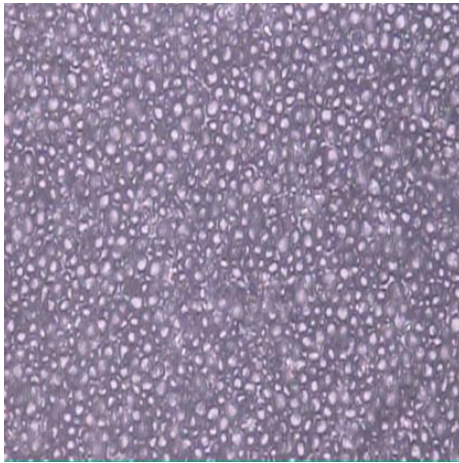
圖(三十) 摻雜不同重量百分率酒精之相對穿透率 50%電壓差值



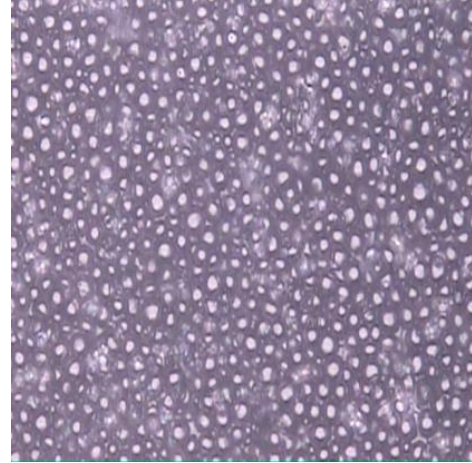
圖(三十一) 摻雜不同重量百分率酒精之相對穿透率 75%電壓差值

(註：以上長條圖為實驗數值的平均，以上誤差值為標準差。)

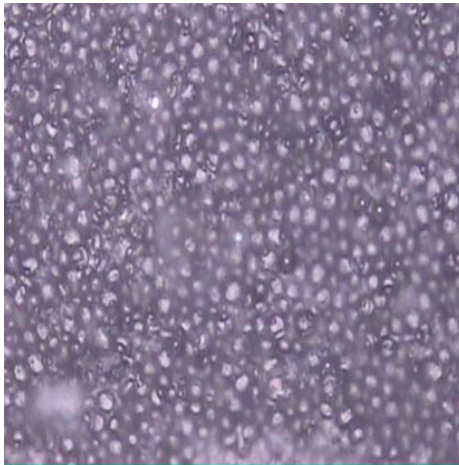
5. 摻雜酒精 PDLC 樣品液晶滴分布與大小觀察



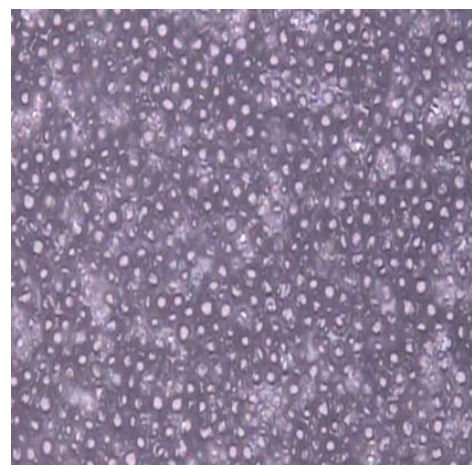
圖(三十二) 未摻雜酒精之 PDLC
(1000X)



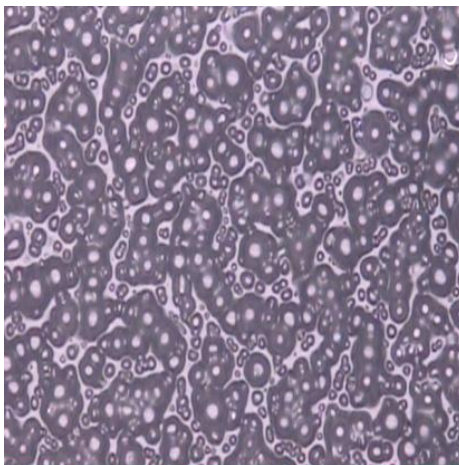
圖(三十三) 摻雜 5%酒精之 PDLC
(1000X)



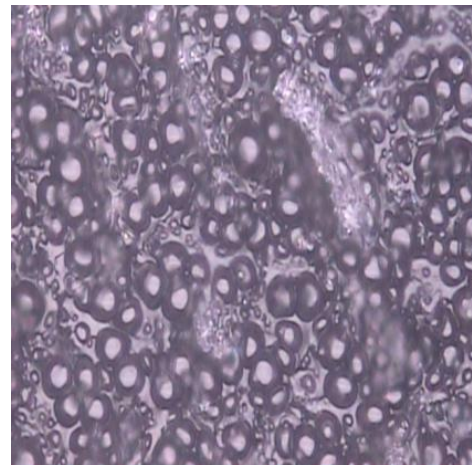
圖(三十四) 摻雜 10%酒精之 PDLC
(1000X)



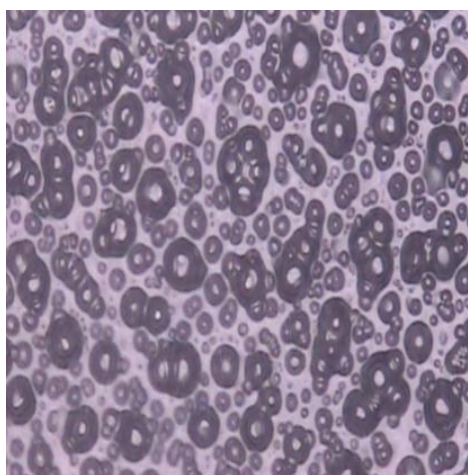
圖(三十五) 摻雜 15%酒精之 PDLC
(1000X)



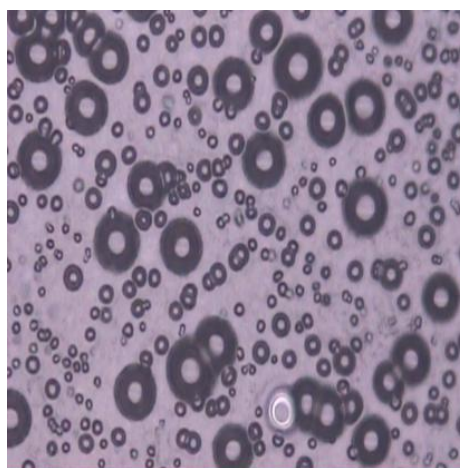
圖(三十六) 摻雜 20%酒精之 PDLC
(1000X)



圖(三十七) 摻雜 25%酒精之 PDLC
(1000X)



圖(三十八) 摻雜 30%酒精之 PDLC
(1000X)



圖(三十九) 摻雜 50%酒精之 PDLC
(1000X)

結果討論：

1. 在光學顯微鏡下觀察可發現摻入超過約 30%的酒精時，PDLC 開始出現不均勻的狀況(如圖(三十八))，當酒精含量為 50%時(如圖(三十九))，由於所含有的液晶材料過少，無法均勻分散在酒精中，故出現酒精與液晶材料分離的現象，有些地方非常不透明，而有些地方則幾乎是透明的，故不列入以下討論。我們認為酒精摻雜以 30%為上限。
2. PDLC 的初始光穿透率與摻入的酒精重量百分率約成正相關，摻入較多酒精時，其初始光穿透率略升，但皆低於 10%，影響較不大，而最終光穿透率則略微從 73%提升到 85%。
3. 由圖(三十二)~圖(三十九)可知在液晶材料中摻入酒精會使液晶滴變大，我們可以推論在液晶材料中摻入酒精會使液晶材料的黏稠度降低，根據我們先前提出的理論模型，我們推論在液晶材料中加入酒精能夠降低高分子聚合物的黏稠度，使液晶分子較容易聚集並形成較大的液晶滴，同時我們認為摻入酒精也能夠使高分子聚合物單體的聚合速度降低，使液晶

滴有較長的時間聚集。上述兩個因素都造成液晶滴增大的現象。

4. PDLC 對於電場的反應主要需先克服高分子聚合物對於液晶分子的束縛力，摻入酒精能夠大幅降低其閾值電壓，摻入 30 % 的酒精之閾值電壓不到 1V，且其驅動電壓大約為 15V，也就是 PDLC 在 15V 時可趨近最終光穿透率。

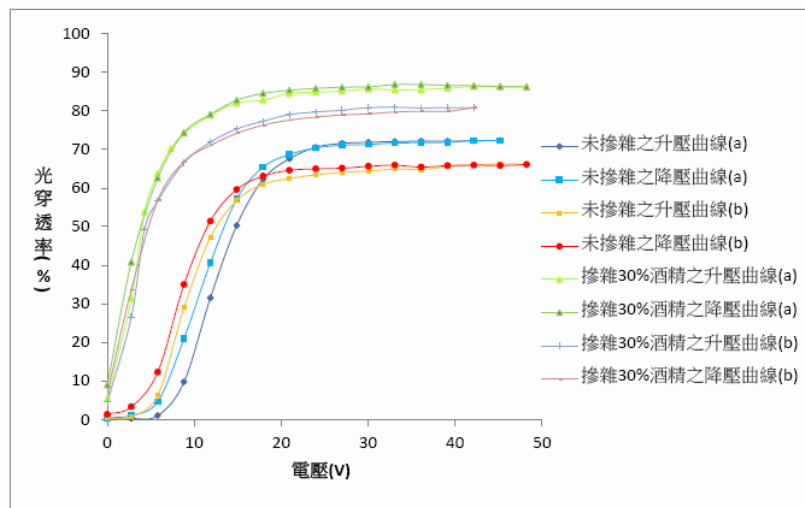
我們推論，此現象主要是因為酒精會分佈於高分子聚合物的縫隙以及液晶與高分子聚合物的接觸面間，而能夠降低高分子聚合物對液晶的分子束縛力，故液晶分子克服束縛力而轉向所需的電場較小。此外，在 PDLC 中摻入酒精時，相對來講就是減少高分子聚合物所佔的比例，會需要較多的空間來容納液晶分子與液態的酒精，根據顯微鏡下觀察的結果液晶滴變大，使其總表面積較小，根據我們所建立的理論模型可確定，閾值電壓也會有較小的情況。

5. 摻入較多酒精的 PDLC 樣品其初始光穿透率較高，這是由於在一個固定厚度的液晶盒中，能夠容納的材料體積是固定的，因此在 PDLC 中摻入酒精，會使液晶含量相對減少，造成光的散射能力會較差。除此之外，從顯微鏡下的照片也可觀察到摻雜酒精後的 PDLC 樣品的液晶滴有變大且不均勻的傾向，對照我們先前所做過實驗，液晶滴較大會使最終光穿透率略微上升。
6. 綜合上述討論，我們認為酒精的摻雜以 25% 最為適合，其閾值電壓可低於 5V，和未摻雜的 PDLC 相比大約降低了 50%，且在約 15V 即可達到飽和狀態，而其初始光穿透率約為 3% 對於 PDLC 的顯示效果雖有影響，但不會太大，因此我們認

為在 PDLC 中摻入 25% 的酒精能夠在對於其穿透率影響較小的情況下，大幅節省驅動 PDLC 所需的能量。

7. 我們以相對穿透率 25%、50%、75% 時所需的電壓差來量化遲滯效應(稱之為穿透率 25%、50%、75% 電壓差值)，發現摻入酒精似乎可以降低 PDLC 的遲滯效應，且由圖(四十)升降壓穿透率-電壓關係圖中也可觀察到，未摻雜時降壓曲線會略高於升壓曲線，而摻雜酒精後的升壓與降壓曲線較相近，兩條線幾乎可以重疊，此效果以 25% 和 30% 較明顯。PDLC 在施加電壓後，有極性的高分子聚合物會受電場誘發電偶極，而影響液晶分子，在移除外加電壓後，此電偶極會有遲滯效應，並連帶影響同樣具極性的液晶分子，而使液晶分子無法快速隨著電壓的下降而恢復原來的狀態。

我們推論摻入酒精能夠降低高分子聚合物對液晶分子的吸引，使其遲滯效應的影響較小，不過深入的原因還有待繼續探討。



圖(四十) 摻雜酒精與未摻雜之升壓降壓光穿透率-電壓圖

8. 在先前的討論中，我們皆可成功的以理論模型來解釋各實驗結果，因此我們可相信酒精確實能夠有效地降低高分子聚合

物與液晶間之分子束縛力的影響，我們推測這個影響或許可以縮短 PDLC 的反應時間，使液晶滴中的分子能夠迅速的在光軸排列整齊與混亂間切換，使 PDLC 能夠更快速的控制光的通過與否，不過我們目前尚未進行此部分的實驗，但我們可以合理的推測在 PDLC 中摻入適量的有機溶劑或許可以提升他在顯示器方面的應用潛力。

9. 目前相關的學術研究中已發現，在 PDLC 中摻雜奈米金粒子可降低閾值電壓，另外，尋找分子量較低且極性較小的高分子聚合物或在液晶滴邊上做配向處理可降低其遲滯效應；然而，我們在查詢相關資料庫後(全國碩博士論文網、IEEE、SCI)，發現目前尚未有人有此發現，我們認為上述的方法比較起來，酒精取得容易且經濟實惠，在製作過程中也不需用到特別的技術，卻可以達到如此的效果，因此我們認為酒精摻雜的研究能有重要的學術及應用價值。

陸、結論

一、結論

(一) 在 PDLC 的製程中，照光溫度、照光時間、液晶含量、間隔材數量以及液晶盒厚度對於 PDLC 光穿透率皆有一定程度的影響，其中照光溫度越高，初始光穿透率普遍越差。照光時間越長，則最終光穿透率越低，而液晶盒的厚度和其初始光穿透率則呈現負相關，間隔材數量多，會使其穿透率較高，最後，液晶含量則以 40% 時有較佳光電性質。

(二) 由於分子束縛力大小的差異以及高分子聚合物的結構，分子量較

小的醇類以及苯類和液晶材料混合均勻且不容易揮發，在經過比較及考慮實驗安全後我們認為乙醇較適合摻雜於 PDLC 中。

(三) 有機溶劑的摻雜應該以微量滴管來控制所要摻雜的有機溶劑種量百分率，且在液晶材料混合均勻後再加入有機溶劑能夠得到最精確的實驗結果。

(四) 在 PDLC 中摻入越多酒精能夠大幅降低其閾值電壓以及驅動電壓，並略微提升其初始光穿透率及最終光穿透率，不過摻入超過約 30% 的酒精時，PDLC 開始出現不均勻的狀況，綜合考慮光穿透率、閾值電壓及驅動電壓，我們認為摻雜比例 25% 能夠有較好的效果。此外，我們將遲滯效果量化後也可推測在 PDLC 中摻入酒精可以略微降低 PDLC 的遲滯效果。

二、未來展望

(一) 我們希望繼續探討酒精對 PDLC 其他光電性質如反應時間的影響，並深入探討遲滯效果改變的確切原因，更加以驗證我們這項發現的重要性。

(二) PDLC 目前已被應用於綠能智慧型玻璃，可藉電源控制光線的通過量，以控制室內溫度，若摻雜酒精等相關有機溶劑，在控制室內溫度與採光效果的同時，將能夠達到不錯的省電效果。

(三) 此外，相較於目前的液晶顯示器，PDLC 具有結構簡單、製作方便的優點，且無須配向膜，可以製造較低成本的電子看板，如此可減低紙張及看板耗材的消耗，目前 PDLC 之所以無法進入大量的應用，主要是因為其較高的閾值電壓與驅動電壓，尚不符合商業化的耗電量，且反應時間較慢，因此我們相信酒精對於閾值電壓

的改善將大幅提升 PDLC 的應用性。

柒、參考資料及其他

1. Wonsool Ahn and KiRyong Ha,1999,Temperature Effects on LC droplets of PDLC Films with Thermoplastic Matrix,Korea Polymer Journal,Vol7,No2,p130~135
2. L.O.Dolgov and O.V.Yaroshchuk,2005,The method to suppress off-axis haze of PDLC, Proc.of ADT' 05, p233~239

捌、附錄

圖(二十四)中摻雜不同重量比例酒精之原始數據表

表（二）

未摻雜酒精						初始電壓 1.07V		
電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)
0	3	0.18	14.88	539	53.78	30.03	770	76.88
2.76	3.5	0.23	17.91	667	66.58	33.06	772	77.08
5.79	11.8	1.06	20.94	724	72.28	36.09	773	77.18
8.82	105	10.38	23.97	756	75.48	39.12	773	77.18
11.85	338	33.68	27	767	76.58	42.15	774	77.28

表（三）

摻雜 5%酒精						初始電壓 1.03V		
電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)
0	4.7	0.35	11.85	392	39.08	30.03	754	75.28
2.76	5.7	0.45	14.88	582	58.08	33.06	755	75.38
5.79	21.6	2.04	17.91	688	68.68	36.09	753	75.18
7.305	88	8.68	20.94	734	73.28	39.12	755	75.38
8.82	160	15.88	23.97	752	75.08			
10.335	270	26.88	27	753	75.18			

表（四）

摻雜 10%酒精						初始電壓 1.03V		
電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)
0	8.1	0.69	11.85	339	33.78	27	776	77.48
2.76	10.8	0.96	13.365	430	42.88	30.03	769	76.78
5.79	31	2.98	14.88	523	52.18	33.06	770	76.88
7.305	71	6.98	17.91	640	63.88	36.09	770	76.88
8.82	152	15.08	20.94	712	71.08	39.12	774	77.28

表(五)

摻雜 15%酒精						初始電壓 1.04V		
電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)
0	10.2	0.75	11.85	341	36.87	27	765	77.58
2.76	14.2	1.05	13.365	452	46.11	30.03	769	77.71
5.79	66	5.98	14.88	579	60.25	33.06	771	77.13
7.305	146	15.47	17.91	692	66.13	36.09	776	77.20
8.82	231	20.52	20.94	728	70.88	39.12	774	77.19

表 (六)

摻雜 20%酒精						初始電壓 1.02V		
電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)
0	12	1.08	14.88	642	64.08	36.09	764	76.28
2.76	19	1.78	17.91	711	70.98	39.12	767	76.58
5.79	88	8.68	20.94	740	73.88	42.15	768	76.68
7.305	180	17.88	23.97	759	75.78	45.18	769	76.78
8.82	268	26.68	27	762	76.08	48.21	771	76.98
10.335	383	38.18	30.03	766	76.48	51.24	771	76.98
11.85	491	48.98	33.06	763	76.18	54.27	770	76.88

表 (七)

摻雜 25%酒精						初始電壓 1.02 V		
電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)
0	20.4	1.92	11.85	766	76.48	30.03	890	88.88
2.76	33	3.18	14.88	824	82.28	33.06	891	88.98
4.275	119	11.78	17.91	850	84.88	36.09	894	89.28
5.79	248	24.68	20.94	864	86.28	39.12	891	88.98
7.305	435	43.38	23.97	876	87.48	42.15	894	89.28
8.82	594	59.28	27	884	88.28			

表 (八)

摻雜 30%酒精						初始電壓 1.02 V		
電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)	電壓 (V)	讀值電壓 (mV)	穿透率 (%)
0	56	5.48	14.88	829	82.78	36.09	865	86.38
2.76	318	31.68	17.91	837	83.58	39.12	868	86.68
4.275	544	54.28	20.94	855	85.38	42.15	873	87.18
5.79	645	64.38	23.97	858	85.68	45.18	872	87.08
7.305	710	70.88	27	861	85.98	48.21	872	87.08
8.82	750	74.88	30.03	866	86.48			
11.85	797	79.58	33.06	864	86.28			

評語

本研究由實驗結果，能以敏銳觀察力發現有機溶劑可以成為調整液晶晶粒性質之有效工具，然後再作深入更有系統之研究與驗證。對於有機溶劑之作用內部機構，也許尚要更多之研究，但是本身之現有成果已能具實用潛力。