

台灣二〇〇五年國際科學展覽會

科 別：物理

作品名稱：液晶面板在不同電場下穿透光譜之研究

得獎獎項：大會獎佳作

學 校：臺北市立中山女子高級中學

作 者：洪子晴

評語與建議事項：

傳統液晶性質檢測的實驗，創新稍弱。

中文摘要

本研究主要是探討液晶面板在不同的電壓下，對紅外光區及可見光區之穿透光譜。藉由控制外加液晶面板兩側的電壓，改變內部的電場強度，驅使液晶分子長軸方向改變（偏轉），以達到控制穿透率之目的。

施加於液晶面板兩側的電壓 V 大於起始電壓 V_0 時，液晶分子長軸受電場作用與電場方向平行，減弱引導偏振光扭轉之能力，讓部分光通過偏振片。令 V_{10} 及 V_{90} 分別代表穿透率達到最大穿透率之10%及90%時的外加電壓，則定義「光-電開關斜率」 γ 為：

$\gamma = \frac{V_{90} - V_{10}}{V_{10}}$ 。透射光強度與外加電壓關係曲線則稱為「光-電開關特性曲線」。穿透率

除與液晶分子之旋光程度有關，我們也做了在不同電壓下，液晶分子之穿透光譜，並討論其特性。

Abstract

The main idea of the project is to discuss the transmittance spectra of liquid-crystal device in the range of infrared and visual light (400~900 nm) with different electric field by changing voltage. Different biases are applied to the liquid-crystal cell, causing the axis of liquid-crystal to rotate, and the transmittances are measured. If the application of bias is greater than the threshold voltage (V_0), the axis of liquid-crystal will be parallel to the electric field, and make the beam pass through polaroid. Electro-optical switching slope γ is defined as $\gamma = \frac{V_{90} - V_{10}}{V_{10}}$, where V_{10} and V_{90} are the applied voltages enabling output light signal reaches up to 10% and 90% of its maximum intensity, respectively. It is understood that transmittance depends on the optical activity of liquid-crystal cells. Besides, we will discuss the relation between wavelength and transmittance of liquid-crystal cells.

一、前言

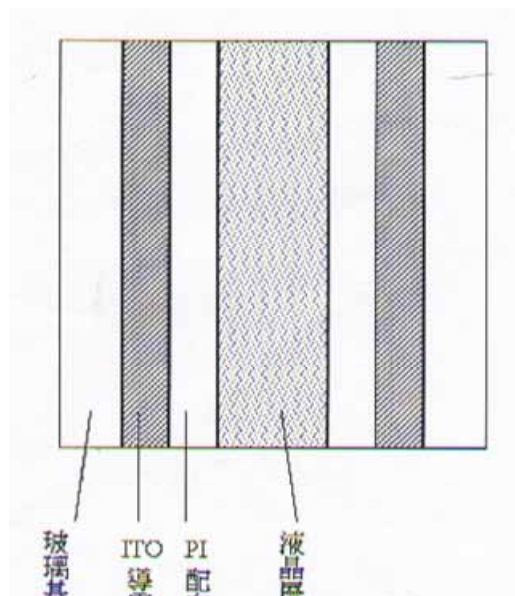
本研究計畫主在探討液晶面板於不同的電壓下，對紅外光區及可見光區之穿透光譜研究。

目前市售液晶面板係由長條形有機分子構成(又稱為絲狀液晶)。這些長鏈分子經表面配向處理後，其排列方向是具有規則性，我們可利用外加電場驅使液晶分子長軸的指向產生改變(旋轉)，進而改變其透光強度。

絲狀液晶對光具有特殊光學性質，當光線沿分子長軸方向傳播時，光波的電場振動方向皆垂直於分子長軸，故可視分子長軸的方向為光軸。當光線前進的方向與光軸不平行時，光波的電場分量與光軸垂直的光波，稱為尋常光，其折射率為 n_o ；電場分量與光軸平行的光波，稱為異常光，其折射率為 n_e ，又稱為「非常折射率」。

圖一為本研究計畫所使用的液晶面板之結構示意圖

在液晶兩側的偏振片加上電壓 V ，且當 V 大於低限電壓 V_0 時，絲狀液晶分子的長軸



方向，會受到外加電場的作用，而沿電場方向作平行排列，這將失去對偏振光偏振方向的引導扭轉能力，使得部分的光能通過偏振片。令 V_{10} 及 V_{90} 分別代表透射光強度達到最大透射光強度之 10%及 90%時的外加電壓，則可定義「光-電開關斜率」 γ 為 $\gamma = \frac{V_{90} - V_{10}}{V_{10}}$ 。至於透射光強度與外加電壓的關係曲線則稱為「光電開關特性曲線」。

透光強度除了與液晶分子改變光的偏振方向有關之外，我們有興趣的想知道在不同的電壓下，液晶分子對各波長的光之穿透程度有何關係，因此我們設計以下這個實驗。

二、 研究動機

現今的顯示器技術可分為陰極管顯示器及平面顯示器兩種，我所研究的液晶面板則屬於平面顯示器的一種。

同樣都是顯示器，但液晶面板的所占的體積與空間相較於陰極管顯示器卻小得許多，液晶面板中的液晶分子想必有其特殊之光學性質。

本實驗所使用之液晶面板是由兩塊偏振方向互相垂直的偏振片，中間插進一個液晶盒，液晶盒的表面玻璃內層鍍上透明電極，電極引線用導線相連交流電源供應器。液晶盒裡裝有液晶，液晶兼具液體的流動性，但在方向性上則類似晶體是為各向異性。液晶分子在電場的作用下容易轉向，在電極沒有加上電壓時，液晶具有旋光性，光通過第一塊偏振片後，有了一定的振動方向，而在通過液晶盒時，偏振方向被液晶分子旋轉 90° ，於是光能通過第二塊偏振片。

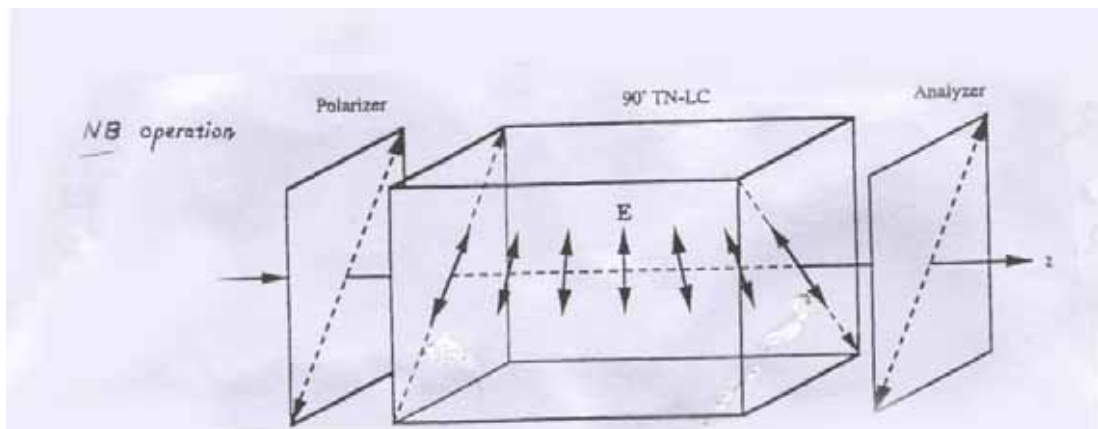
由於液晶面板在顯示器中的應用越來越廣，基於好奇心以及對希望能對液晶有更多的了解，因此我選擇作液晶面板在不同電壓下的穿透光譜之研究。

三、文獻探討

(一)液晶：

液態晶體(簡稱液晶, Liquid-Crystal)是一種介於固態結晶體和非晶形液態之間的物質。夾在兩個偏振片中的液晶有兩條選擇光軸,沿液晶分子長軸的方向偏振的光線有一確定的折射率。當入射光線以液晶分子的兩條軸之間的一個方向偏振時,光線將在兩個偏振方向上分解,並以不同的速度通過液晶。由於它們的相位不同,於是穿過玻璃紙的光線的最終偏振方向被旋轉了。在一般狀況下,光線是不能通過兩塊偏振方向互相垂直,疊在一起的偏振片,但在這兩塊偏振方向互相垂直的偏振片中放入液晶後,穿過第一塊偏振片的光線的偏振方向被液晶所旋轉,使得部分光線與第二塊偏振片具有相同的偏振方向,這樣就能通過第二塊偏振片了,如圖二及圖三所示。

當我們能控制液晶扭轉光線的多寡,就能造成光線明暗。控制施予液晶的電壓,就能調整光線的穿出量。



圖二 液晶分子改變光的偏振方向示意圖



圖三 液晶分子改變光的偏振方向示意圖

若要使液晶面板顯示彩色的影像,則需要薄膜電晶體(TFT)來控制每一個像素光通

過量，因此我們稱 TFT 為“主動矩陣薄膜電晶體”。為使每一個獨立像素都能產生想要的顏色，多個冷陰極燈管必須被使用以最為液晶面板的背光源，且為使光通過每個像素，液晶面板需被分割且製造成多個單一獨立的開關使光通過。每一個像素都由紅(R)、綠(G)、藍(B)三個子像素(Subpixel)組成，如同 CRT 顯示器一般，由於光點小且排列緊密，眼睛接受時便會將三個顏色混合在一起，而形成所要的顏色。

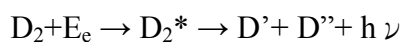
(二)分光光譜儀(Perkin Elmer Lambda 900 UV/VIS/NIR，如下圖)：



1、光源

(1)氙燈 [紫外光(UV) —— $\lambda=30\sim 400\text{ nm}$]

紫外光的連續光譜是氙氣在低壓下以電激發所產生的，其連續光譜產生的機制是最先形成激發分子，接著再將激發分子解離，形成二個不同動能的氙原子與紫外光光子，其的反應如下：



其中 E_e 為分子吸收的電能， D_2^* 表示激發態的氙分子。整個過程的能量變化可以用下式表示，

$$E_{D_2} + E_e = E_{D_2^*} = E_{D'} + E_{D''} + h\nu$$

這裡， $E_{D_2^*}$ 為 D_2^* 的固定量化能 (fixed quantized energy)，而 $E_{D'}$ 和 $E_{D''}$ 為二個氙原子的動能，後兩者的總和可由零連續變化至 $E_{D_2^*}$ 。因此，光子的能量和頻率能連續地改變。亦即，當兩個動能變小時， $h\nu$ 則變大；反之亦然。所以我們可以得到波長 170~375 nm 的範圍內之連續光譜。

(2)鎢絲燈 [可見光(VIS)~近紅外光(NIR) —— $\lambda=400\sim 4000\text{ nm}$]

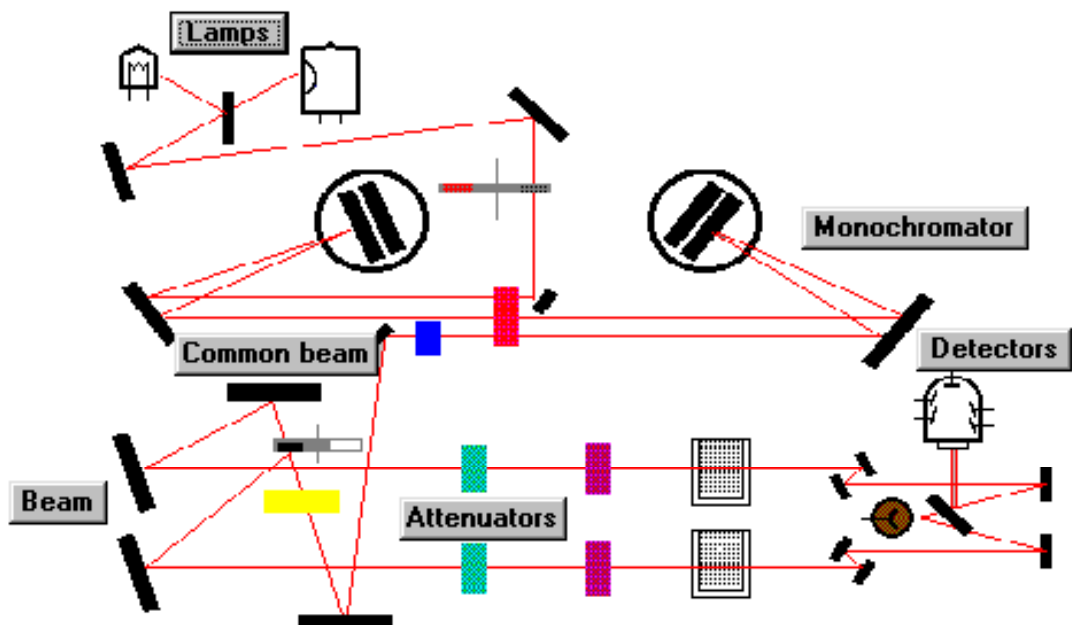
可見光和近紅外光區最常見的光源為鎢燈絲。這種光源能量的分佈近似於黑體輻射，因此與溫度有關。大部分的吸收度儀器，操作溫度為 2870 K；因此大部分的能量在紅外光區被釋出。鎢絲燈適用的波長範圍為 350~2600 nm。

2、偵測器：

紫外光區的偵測器為光電倍增管，可見光區和近紅外光區的偵測器為 PbS (硫化鉛)。實驗過程中易受到空氣中水氣的影響，大約在 800 nm 和 1400 nm 會有水氣的訊號，因此實驗前必須通入氮氣將實驗裝置中的水氣趕出，才能得到正確的量測訊號。

3、工作原理：

圖四為分光光譜儀的實驗裝置簡圖，採用單束光源入射，經過狹縫、光柵分光與一連串反射形成兩束相同的入射光，其中一束光通過樣品，另一束光不經過樣品作為校正，兩束的路徑測器接收讀取反射或吸收訊號。



圖四 分光光譜儀的實驗裝置圖

四、 研究過程

由於液晶面板的透光強度與內部的液晶分子之排列方向有關，於是我們利用改變外加液晶面板兩側的電壓，使液晶分子作不同程度的旋轉，藉以探討在不同的偏壓下，其透光度的變化。本實驗是利用分光光譜儀(Perkin Elmer Lambda 900 UV/VIS/NIR)，在不同電壓下量測液晶面板對紅外光區及可見光區之穿透光譜，並進一步探討其光學性質。

本實驗所使用的液晶面板是由台灣師範大學物理系提供的，為扭轉向列型液晶 V129。

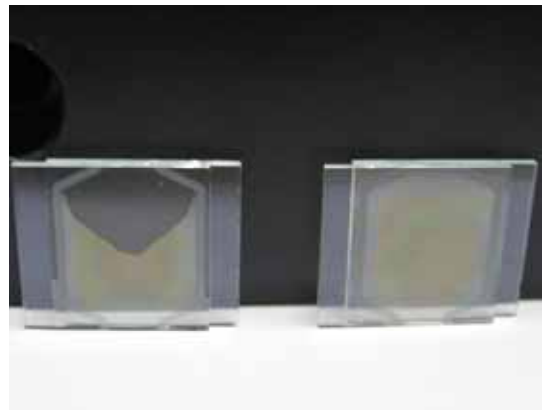
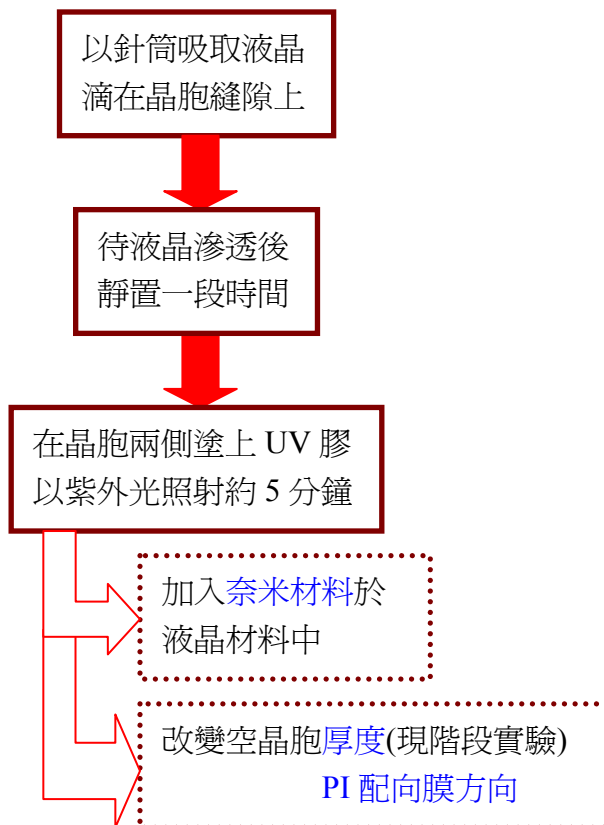
(一)將未施加電壓(0 V)的液晶面板置於分光光譜儀(PE)中，測量其穿透光譜強度作為背景，比較在其他偏壓下，液晶面板對於不同波長的入射光之相對強度的變化。我們使用鎢絲燈作為光源，測量範圍約為 400 ~ 870 nm，將所測得的資料經電腦處理數據後以圖表呈現。

(二)於液晶面板兩側通入直流電(DC)，改變直流電的電壓，量測液晶面板的穿透光譜。

(三)於液晶面板兩側通入交流電(AC)，改變交流電的電壓和頻率，量測液晶面板的穿透光譜。

(四)討論直流電與交流電對液晶分子之旋光性所造成的穿透光譜之異同。

(五)自製樣品

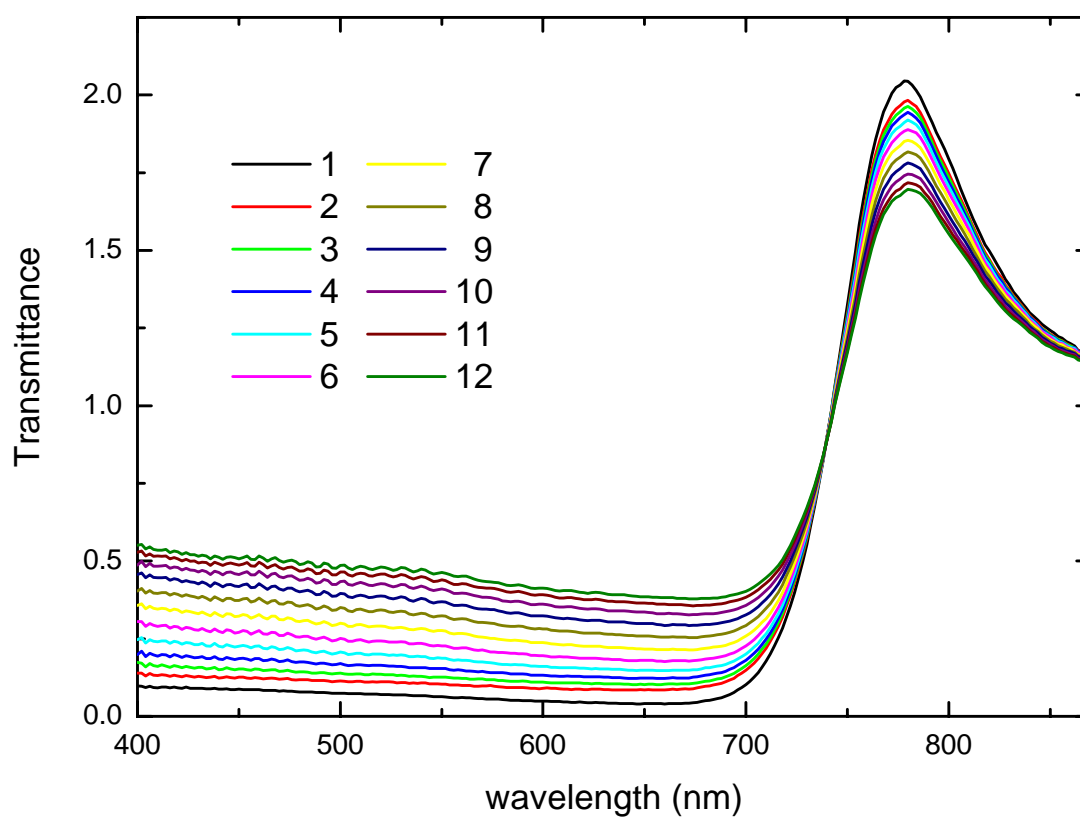


(六)討論不同厚度液晶面板其穿透光譜之異同。

五、 研究結果

(一) 直流偏壓(DC)：

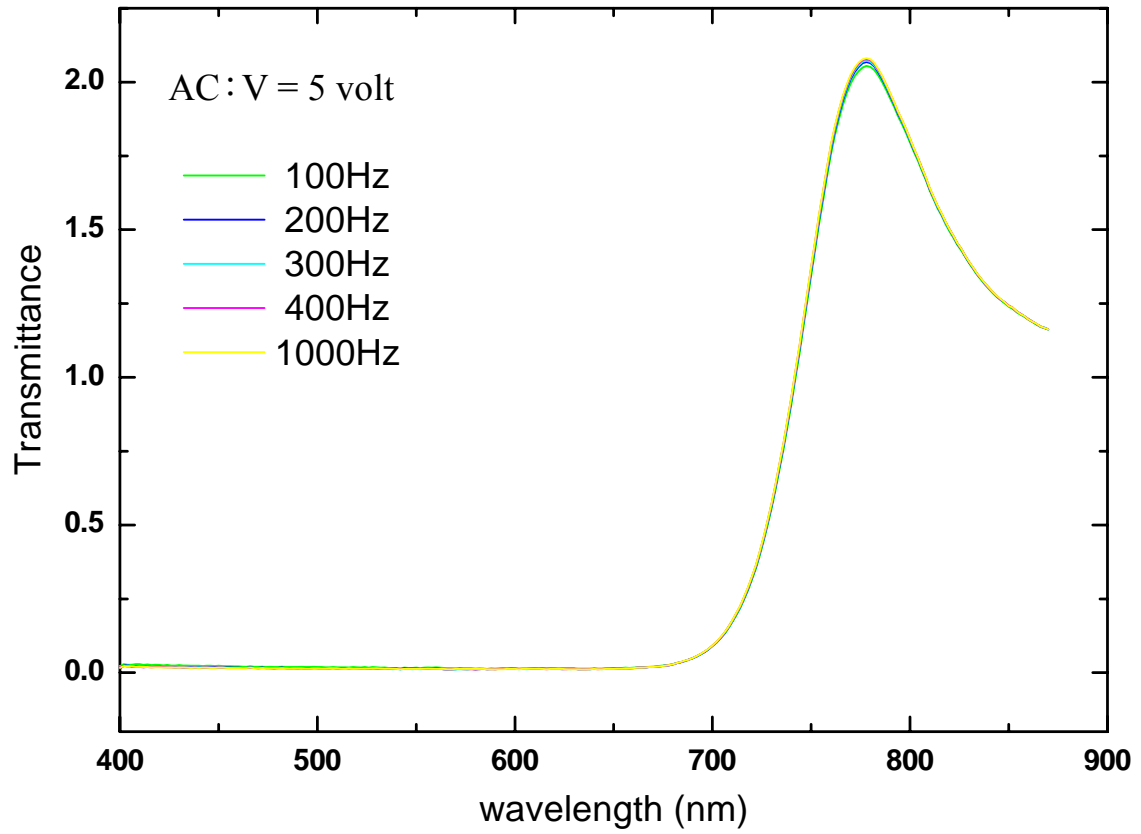
在尚未開始實驗前，我們猜測液晶分子偏轉的角度會與施加的直流電壓呈線性關係，但實驗中我們發現，液晶面板的穿透強度雖會隨電壓增加而變大，但液晶分子卻會隨時間而逐漸恢復至原先未加電壓時的狀態，只有在電壓大於某一臨界值後，才不會再變化。圖(五)為外加 9 V 的直流電壓於液晶面板的兩側，以分光光譜儀連續量測 12 次，每次量測的時間間隔約為 150 秒，以觀察液晶面板的穿透光譜隨時間變化的關係。



圖(五) 9 V 的直流電壓之液晶面板的穿透光譜隨時間變化的關係圖

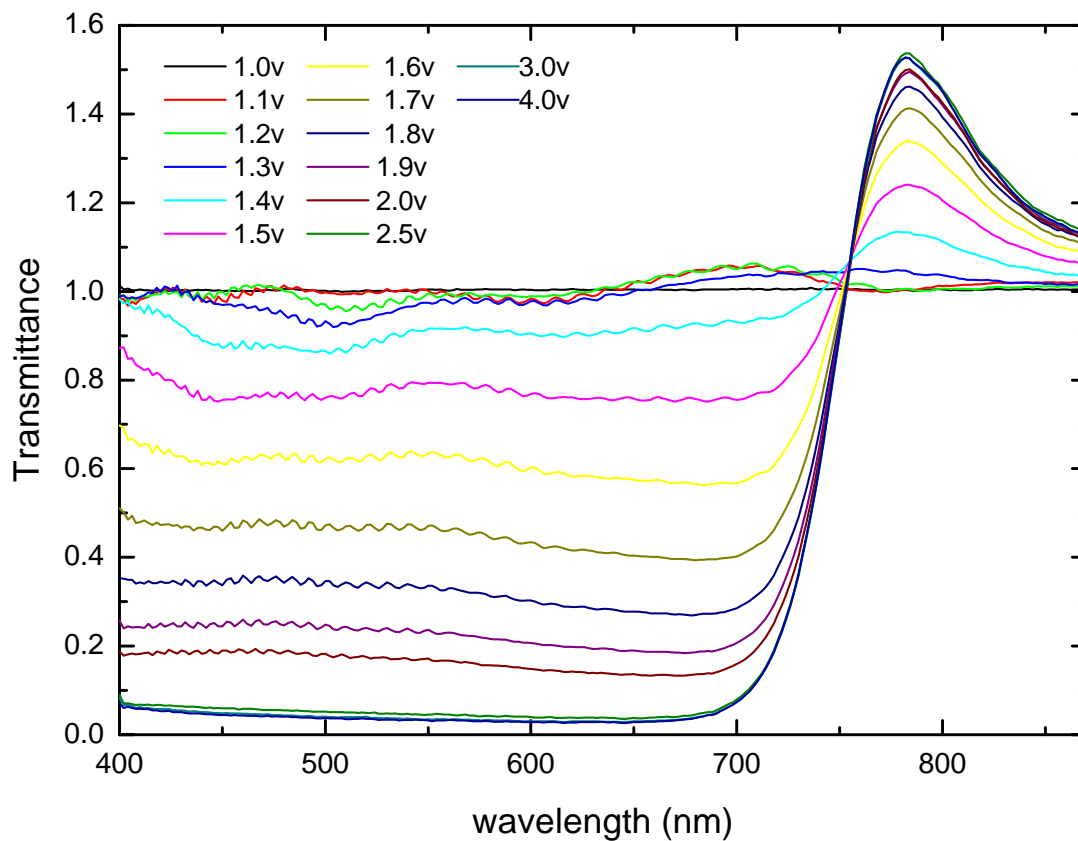
(二)交流偏壓(AC)：

1.我們更進一步以數種不同頻率的交流電，量測液晶面板的穿透光譜，如圖(六)。結果顯示其光譜與頻率是沒有關係的，且不會像外加直流電壓般的隨時間而變。



圖(六) 5 V 的交流電不同頻率下液晶面板的穿透光譜圖

2. 因此我們選用一般常用的 60 Hz 交流電，探討液晶面板在不同的偏壓下，其穿透光譜之異同，如圖(七)所示。結果顯示隨電壓的增加而使液晶分子作規則地偏轉。



圖(七) 60 Hz 的交流電在不同的偏壓下液晶面板的穿透光譜圖

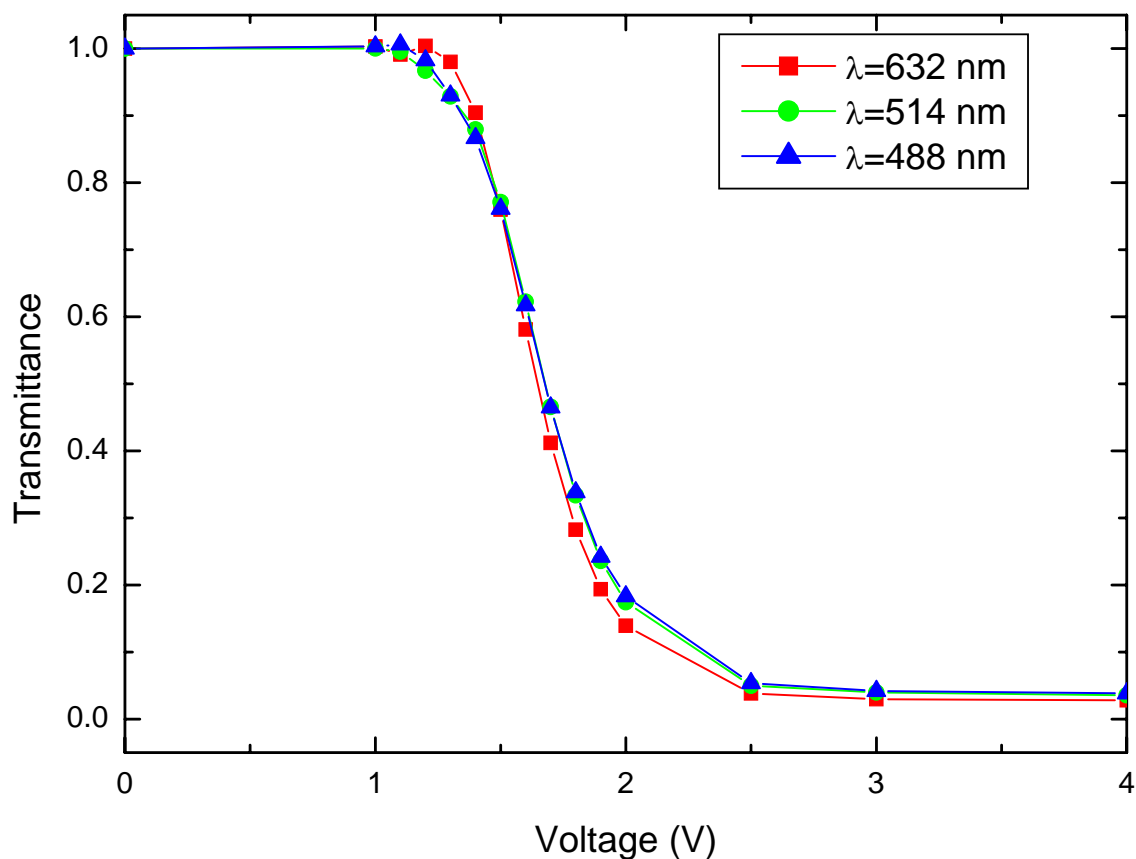
(三)我們定穿透率X的電壓= V_X

下表為紅、綠、藍三原色之 V_{90} 、 V_{50} 、 V_{10} 之電壓大小。

定義「光-電開關斜率」 γ 為 $\gamma = \frac{V_{90} - V_{10}}{V_{10}}$

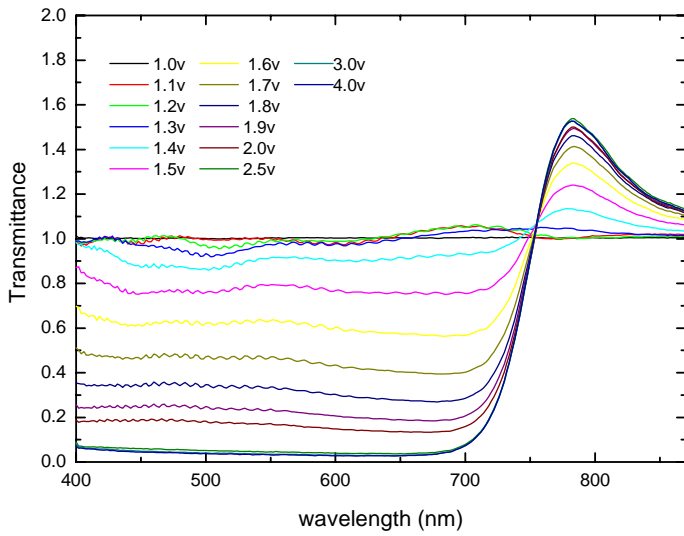
由表中可知紅、綠、藍三色光的 V_{90} 皆為 1.4 V，但在 V_{50} 、 V_{10} 時，則有些許差異。

	紅($\lambda=632$ nm)	綠($\lambda=514$ nm)	藍($\lambda=488$ nm)
V_{90}	1.4 V	1.4 V	1.4 V
V_{50}	1.7 V	1.8 V	1.8 V
V_{10}	2.2 V	2.3 V	2.3 V
γ	-0.363	-0.391	-0.391

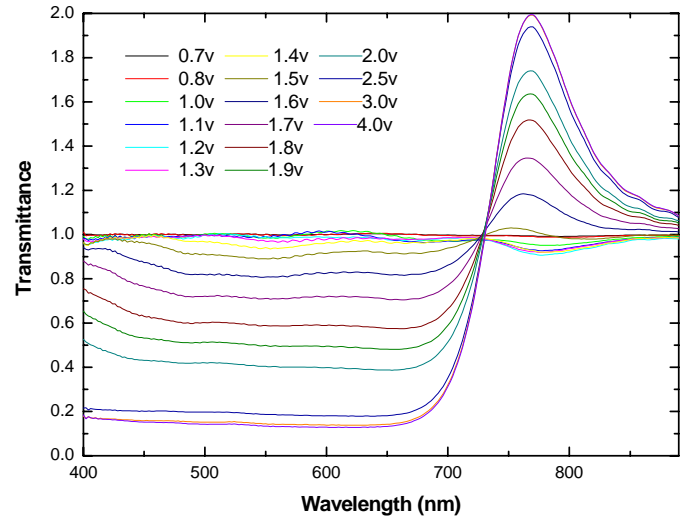


圖(八) 三原色之穿透率隨電壓變化關係圖

(四)比較不同厚度液晶面板其穿透光譜之異同



圖(九) 厚度 $7.8 \mu\text{m}$ 液晶面板(V129)
隨電壓變化之穿透光譜



圖(十) 厚度 $9.0 \mu\text{m}$ 液晶面板(E7B1)
隨電壓變化之穿透光譜

由上面兩張光譜圖可明顯看出液晶面板 E7B1 在 750~870 之間的振幅遠大於液晶面板 V129，且 E7B1 的起始電壓 0.8V 較 V129 的起始電壓 1.1V 小，並且在飽和電壓時，E7B1 的穿透率 V129 略大。

六、 研究討論

- (一) 圖(五)為外加 9 V 的直流偏壓於液晶面板的兩側，液晶分子的偏轉角度會隨時間而恢復的關係圖，每次實驗的時間間隔約為 150 秒。其原因應該是由於在外加直流偏壓時，會造成液晶分子內部的電荷累積。剛通上偏壓時，液晶分子的確會旋轉到某一個角度，但隨時間的增加，由於分子與分子間正負電荷逐漸互相抵消，導致液晶分子的電偶極變小，而減小使其偏轉的作用力矩，故無法繼續維持固定的角度，因此會隨著時間的增加而逐漸恢復到尚未施加電壓的狀態。但當外加的直流電壓大到某一個臨界值後，大部分的液晶分子的旋轉方向達到一致時，分子與分子間產生的極化(類似以磁鐵磁化鐵釘，使鐵釘成為暫時磁鐵)會使分子間的正負相互抵消，電荷便無法累積，此時液晶分子會旋轉至與電場平行的方向而達成平衡。
- (二) 由圖(六)可以看出，在固定的電壓下改變交流電的頻率，所量測出液晶面板的穿透光譜幾乎一模一樣。也就是說，在相同的交流電偏壓下，頻率並不會影響液晶分子的偏轉機制。
- (三) 圖(七)為 60 Hz 的外加交流電於液晶面板兩側，不同的電壓之穿透光譜圖。此時因為交流電的電流方向在不斷地改變，使電荷沒有足夠的時間累積，分子與分子間便不會有正負電荷互相抵消的情形發生，因此液晶分子不會產生電荷累積的現象，如此一來，液晶分子便能在某一個電壓下維持固定的旋轉角度。這也是目前市面上的液晶顯示器為什麼皆以交流電作為供應電源的原因。
- (四) 在圖(七)中我們發現一個有趣的現象，在可見光區時，液晶面板的穿透率隨電壓增加而變小，但在近紅外光區時，穿透率卻隨電壓增加而變大。目前造成這個現象的原因尚不清楚，未來我們將設計一連串的實驗再加以探討。
- (五) 從圖(八)可以看出，本樣品對三原色之轉變電壓範圍($V_{90} \rightarrow V_{10}$)約略不同，其穿透率隨電壓變化之關係大略相同，而紅光的光-電開關斜率(γ)較小，綠光及藍光的光電開關斜率則較大且幾乎相同。
- (六) 比較圖(九)與圖(十)可以明顯看出厚度不同的液晶面板穿透光譜，除了振幅大小不同，兩者的起始電壓與飽和電壓也有差異。究竟是什麼原因造成兩者的明顯差異則是下一步我們所要探討的。

七、 未來實驗內容方向

此次實驗使用的液晶已有部份是自製的，我們進一步希望能夠改變液晶材料，並且比較不同液晶材料所實驗出的穿透光譜圖是否有其他現象產生。

目前我們已經由台灣智索(CHISSO)取得他們贊助的液晶分子材料(ZOC-5089 與 ZOC-5090 兩種)與空的液晶晶胞，未來我們計畫利用這兩種不同的液晶材料，從事以下的研究：

- (1) 置入厚度不同的空晶胞中，觀察穿透光譜與偏向電壓間的關係。(現階段實驗)
- (2) 置入不同方向之 PI 配向膜的空晶胞中，觀察穿透光譜與偏向電壓間的關係。
- (3) 在液晶材料中，加入不同比例、不同顆粒大小或數種不同折射率之奈米材料(如奈米碳管、奈米金屬粒等)，並藉由改變外加電場(AC)的大小及頻率，觀察其穿透光譜的變化與起始電壓大小之異同，並藉由穿透光譜來探討其他的光學性質。

八、 特別感謝

台灣師範大學物理系 劉祥麟教授，以及實驗室的所有學長們

臺灣智索股份有限公司(CHISSO)及奇美電子提供液晶材料

參考資料

1. 謝文俊、趙治宇，2003，液晶顯示器特別報導，科學月刊 11 月號，第 34 卷第 11 期，p.928~933
2. 許世傑，淡江大學物理系碩士論文，91/6
3. Jearl Walker 著，葉偉文譯，物理馬戲團 3，天下遠見出版社
4. F.J. Keller, W. E. Getty, and M. J. Skove, “Physics”, 2nd (Mcgraw-Hill, 1993), Chapter 37. p.929
5. I. C. Khoo and S-T. Wu, “Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals” (World Scientific, 1993) Chaper2
6. LIQUID CRYSTALS, APPLICATIONS AND USES” ed. Birendra Bahadur (World Scientific, 1990)
7. <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ipho2003/word/2003%20IPhO%20EXPFinalVersionQuestion.doc>
8. <http://entry.hit.edu.tw/~d904107>
9. <http://www.mse.nsysu.edu.tw/~fcj/lcd>
10. <http://eee.mat.ncku.edu.tw/engineer.htm>
11. <http://eee.mat.ncku.edu.tw/>
12. <http://140.138.140.197/index.htm>