

臺灣二〇〇六年國際科學展覽會

科 別：物理科

作 品 名 稱：摻入奈米碳管的液晶面板之穿透光譜研究

學校 / 作者：臺北市立中山女子高級中學 沈 萱
臺北市立中山女子高級中學 洪子晴



作者簡介：

我目前是高二生，興趣是鋼琴，雖然對物理考試並不擅長，但做物理科的科展與考試並不相同，我十分樂在其中。個性偏內向，但是熟稔後就會變得活潑。國小和國中也曾經參加過科展，校方都十分鼓勵參加。做科展讓我學會能獨立完成一個研究計畫，也培養了我耐心…學到許多東西，謝謝曾經幫助我的老師及學長學姊們！

壹、 摘要

本研究計畫主要探討液晶摻雜奈米碳管後，液晶面板對可見光區之穿透光譜。由於奈米碳管在應用上有一大缺點是容易聚結糾纏在一起，不容易排列整齊，為了使奈米碳管能夠依照所希望的方向排列，並且能動態地改變碳管的排列方向，我們將奈米碳管散布在液晶內，藉以控制奈米碳管的排列。為此，我們自製液晶面板以便能夠自由改變液晶材料的成分，即調整奈米碳管的種類及粗細長短程度和奈米碳管與液晶材料的混合比例，並量測其穿透光譜，探討奈米碳管對液晶分子偏轉程度的影響，及摻雜奈米碳管後的液晶面板，其穿透光譜對各波長光的關係。

第一階段的基礎實驗中，我們先經由控制不同的外加電場，了解液晶分子對各波長的光之穿透程度隨電場變化的關係；第二階段的實驗中，再進一步控制更多的變因，依需求將控制不同變因自製液晶面板，並且逐步探討其穿透光譜對於種種變因的關係為何。

貳、 研究動機

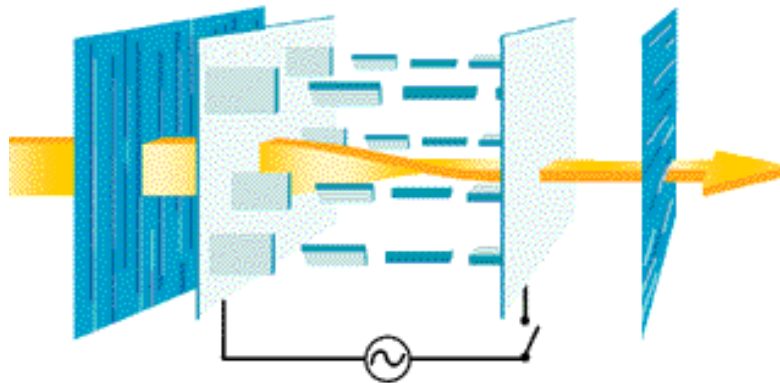
近幾年來，新材料的研發是一個熱門領域，其中奈米材料被眾所矚目。奈米材料有很多種，大家耳熟能詳的莫過於奈米碳管。但奈米碳管容易糾結在一起，在應用上是一大不便之處，為了解決這個問題，有研究人員將奈米碳管摻入液晶材料中，發現液晶分子自組排列的特性會連帶影響到散布其中的奈米碳管。我對於這個說法感到很有興趣，因次想要控制奈米碳管更多的變因，除了驗證上述的這個說法外，更想找出奈米碳管對於液晶面板的影響。

參、 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。夾在兩個方向互相垂直的偏振片中，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

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

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

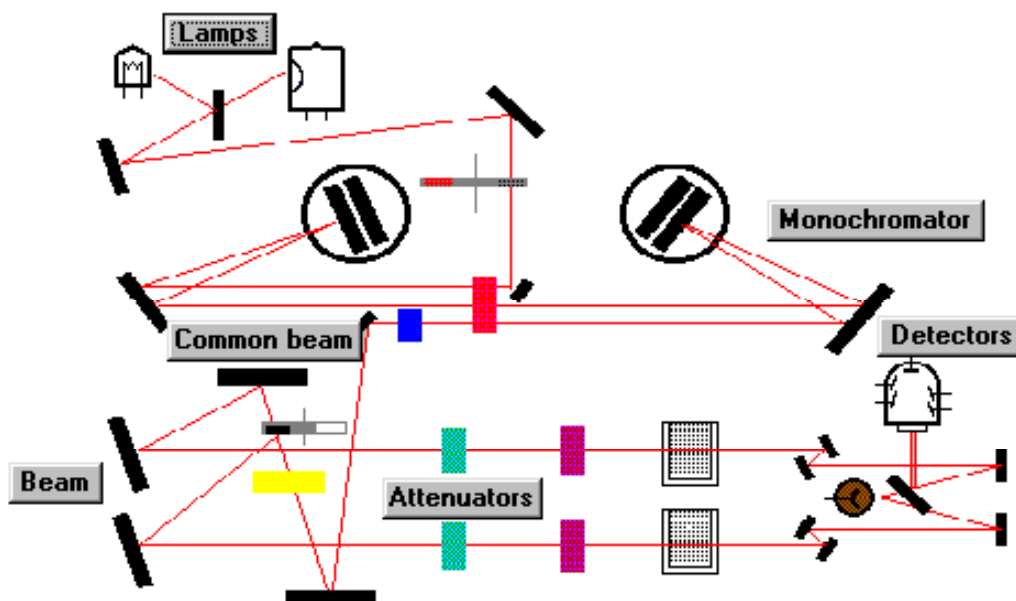
可見光和黑體輻射，因此與溫度有關。大部分的吸收度儀器，操



作溫度為 2870 K；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、工作原理：

圖三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。



圖三 分光光譜儀的實驗裝置圖

三、液晶促使奈米碳管排列整齊：

在“nanotechweb.org”的網站，2004/6/4 的期刊上，有一篇報告指出液晶可促使奈米碳管排列整齊，研究人員將單壁及多壁式奈米碳管在液晶內，藉以控制奈米碳管的排列。研究學者表示，奈米碳管在應用上的一大缺點是它們容易聚結糾纏在一起，為使它們能按所選定的方向排列，並且同時能動態改變此方向以重新排列，此時液晶的自組排列特性便能轉嫁到散布其中的奈米碳管。

肆、 研究方法

由於液晶分子的排列方向隨外加電場大小在 0° 到 90° 之間改變，我們可以利用改變外加電場大小，使液晶分子作不同程度的旋轉，間接控制散佈於液晶材料中的奈米碳管其排列方向。

本實驗利用分光光譜儀，探討所量測出液晶面板的穿透光譜，在摻雜奈米碳管前後有何不同，並進一步探討奈米碳管與液晶分子互相影響的關係。

一、第一階段實驗

第一階段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。

1. 將未施加電壓(0V)的液晶面板置於分光光譜儀中，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 400~750nm，將所測得的資料經電腦處理數據後以圖表呈現。
2. 於液晶面板兩側通入直流電(DC)，改變電壓，量測液晶面板的穿透光譜。
3. 於液晶面板兩側通入交流電(AC)，改變電壓和頻率，量測液晶面板的穿透光譜。
4. 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。
5. 在同一電壓下，逐漸改變液晶面板(V129)在載臺上擺放的角度，使入射光能以不同入射角通過液晶面板，量測液晶面板之穿透光譜，進一步探討入射光角度與透光程度的關係。

二、第二階段實驗

第二階段實驗所使用的液晶由台灣師範大學物理系提供的，為扭轉向列型液晶 E7。

1. 由於奈米碳管過長，易糾結在一起，且不易於觀察期偏轉情形，所以我們加酸剪裁多壁奈米碳管至適當長度。經過多次的嘗試及實驗，我們確定了以下的程序。

將奈米碳管3mg倒入體積比 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{HNO}_3=3:1$ 的酸中，
放入超音波震盪池，固定溫度40度，震盪18小時



架設過濾裝置，加五倍的去離子水，用孔洞為100nm的濾紙過濾



將濾紙上佈滿的碳管抖落入第二次使用的酸 $\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{SO}_4=1:4$



用電磁加熱攪拌器，維持70度，轉速刻度調到9，攪拌30分鐘

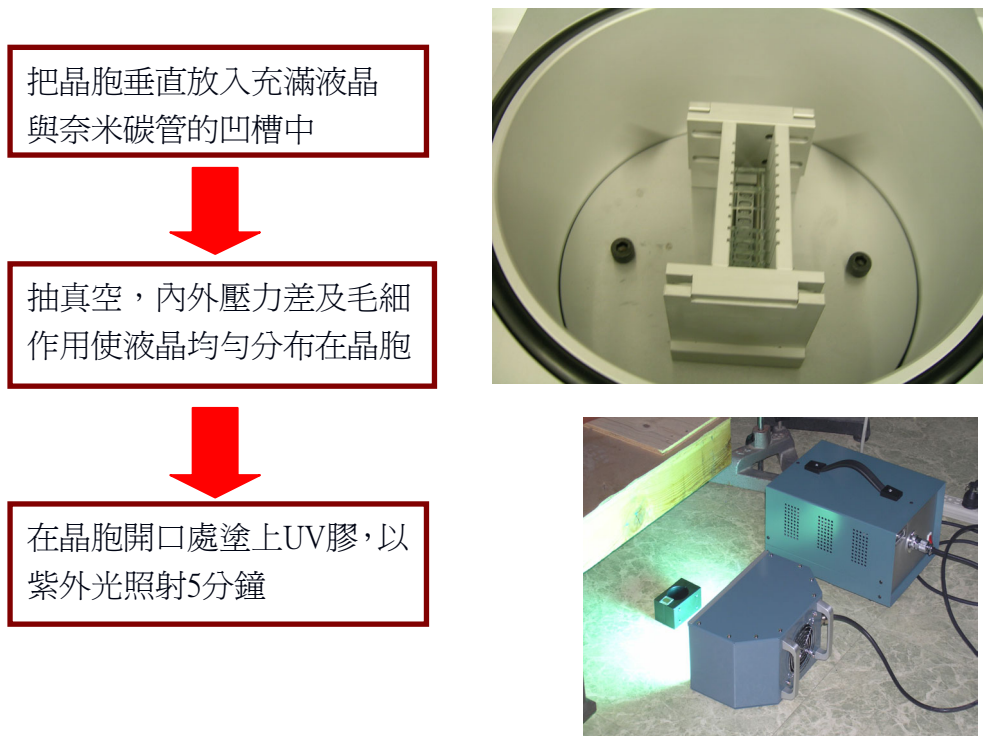


加五倍的去離子水，進行第二次過濾，得到有奈米碳管的濾紙



將濾紙塞入保存溶液(甲醇)中，用超音波震盪至濾紙上無碳管殘留

2. 自製樣品→進一步探討各個變因造成穿透光譜改變的現象。下為自製樣品流程圖。

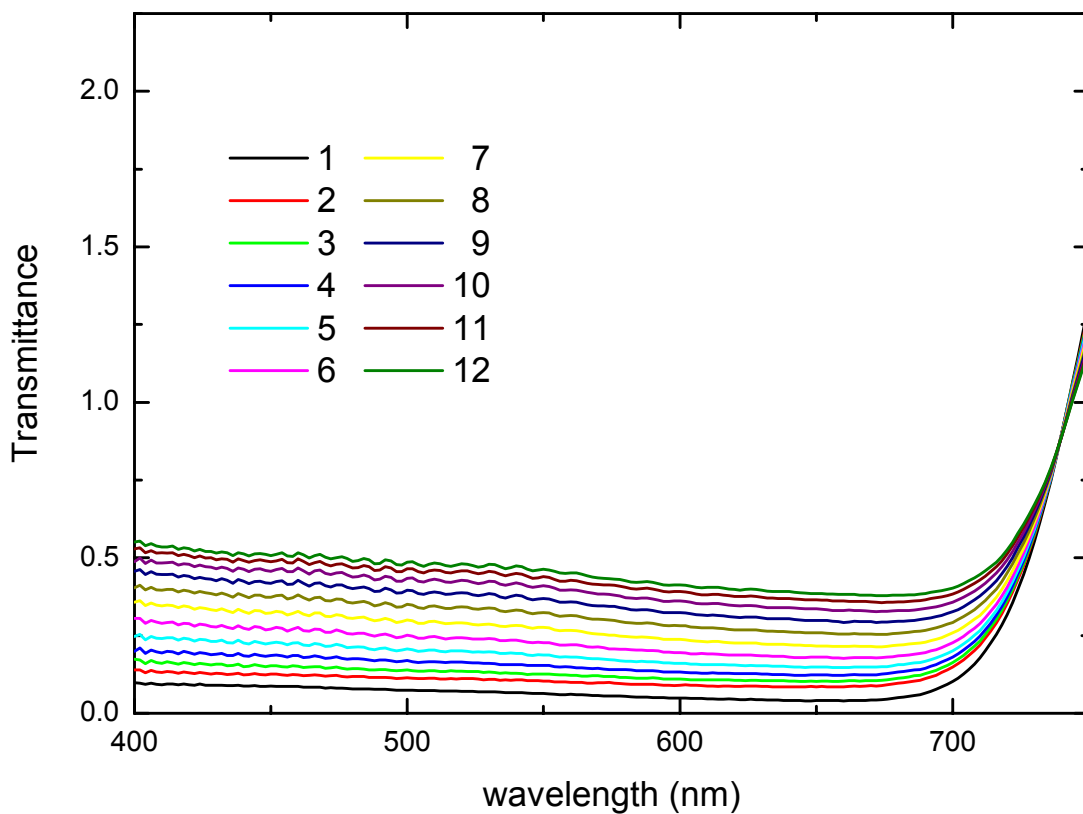


3. 將奈米材料範圍擴大到不同粗細及種類的奈米碳管，以不同比例將之與液晶材料混合製成樣品，量測其穿透光譜，觀察含有奈米材料的液晶分子是否會使光的偏轉有所不同，並且加以比較、探討奈米碳管與液晶分子之間互相作用的關係。

伍、 研究結果

一、直流偏壓(DC)：

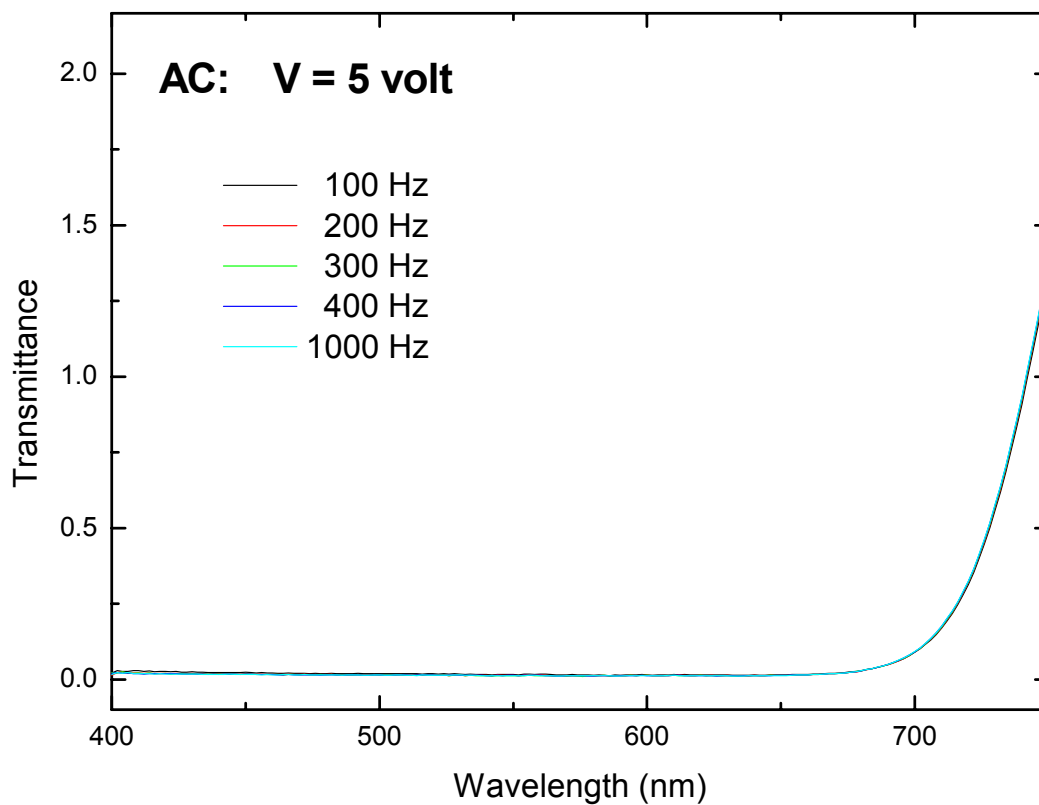
在尚未開始實驗前，我們猜測液晶分子偏轉的角度會與施加的直流電壓呈線性關係，但實驗中我們發現，液晶面板的穿透強度雖會隨電壓增加而變大，液晶分子卻隨時間而逐漸恢復至原先未加電壓時的狀態，只有在電壓大於某一臨界值後，才不會再變化。圖四為外加 9 V 的直流電壓於液晶面板的兩側，以分光光譜儀連續量測 12 次，每次量測的時間間隔約為 150 秒，以觀察液晶面板的穿透光譜隨時間變化的關係。



圖四 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

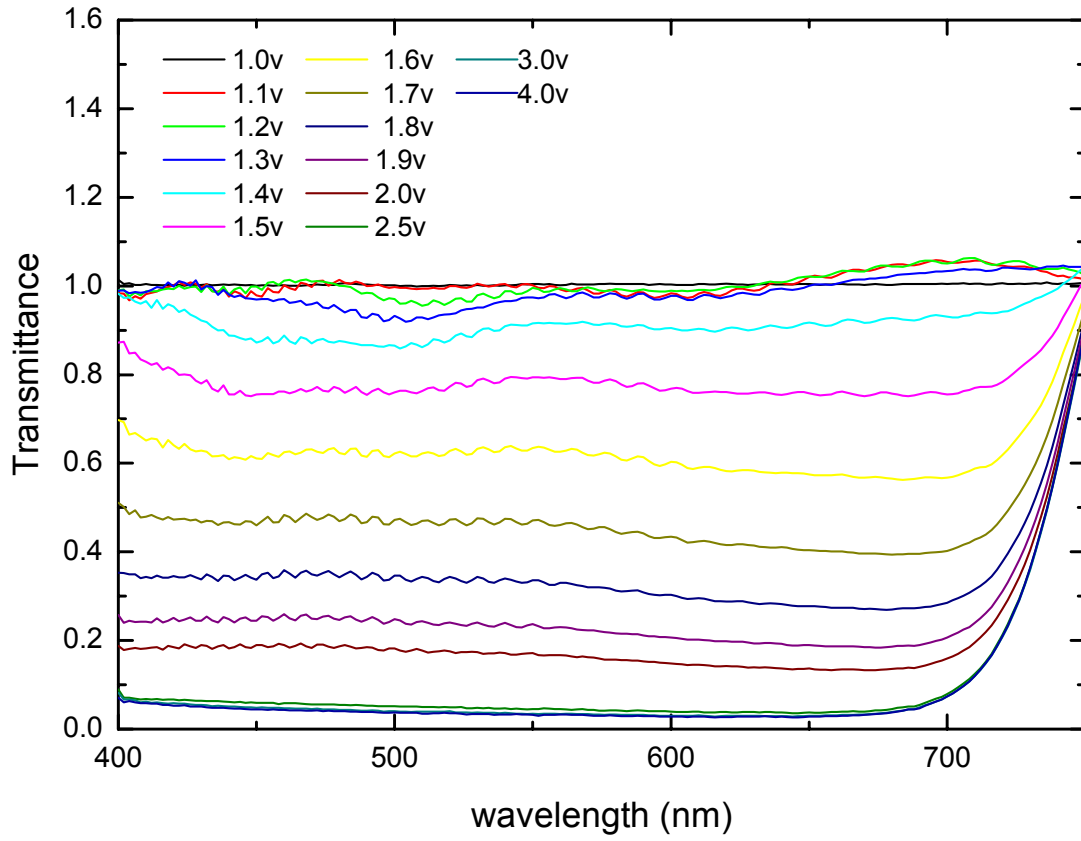
二、交流偏壓(AC)：

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，如圖五。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。



圖五 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，如圖六所示。結果顯示隨電壓的增加而使液晶分子作規則地偏轉。



圖六 60 Hz 的交流電在不同的偏壓下液晶面板的穿透光譜圖

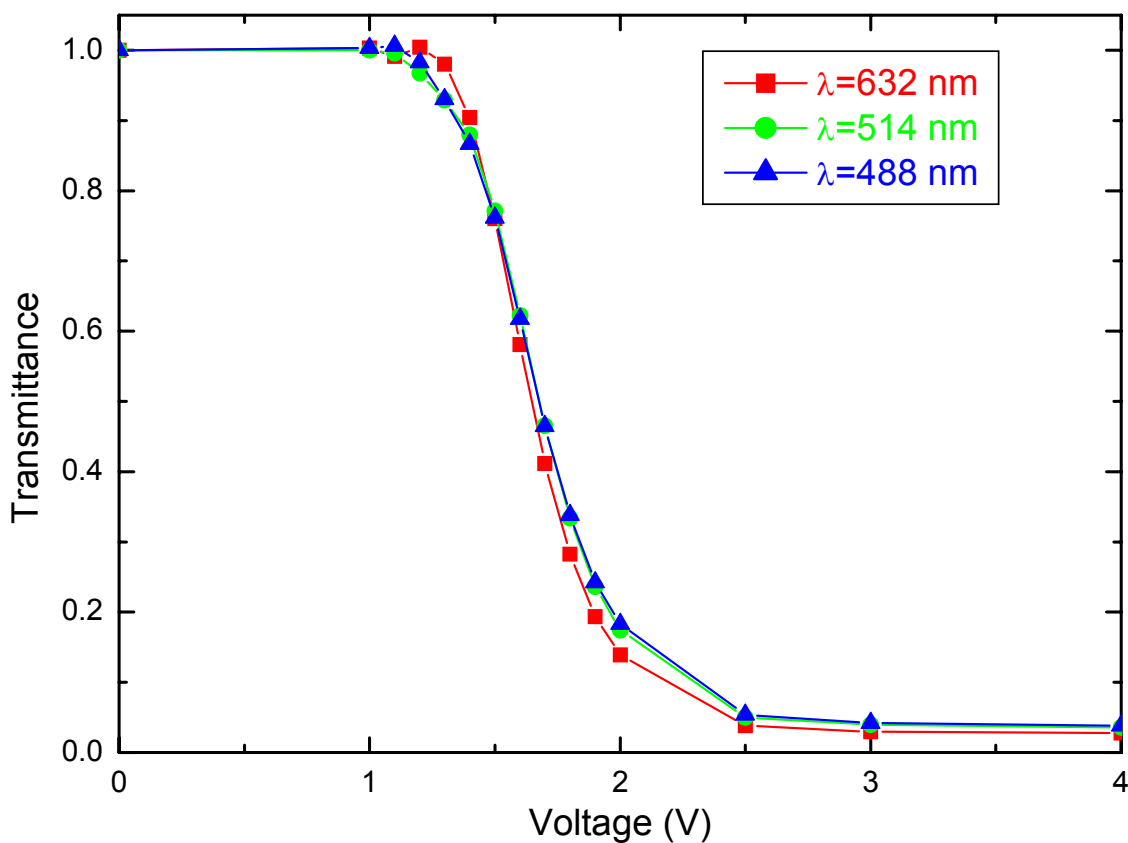
三、我們定穿透率 X 的電壓= V_x

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 $\gamma = \frac{V_{90} - V_{10}}{V_{10}}$

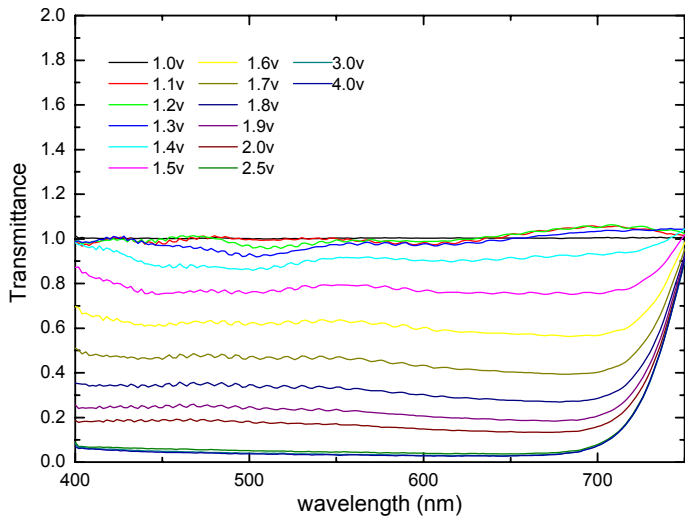
由表中可知紅、綠、藍三色光的 V_{90} 皆為 1.4 V，但在 V_{50} 、 V_{10} 時，則有些許差異。

	紅($\lambda = 632 \text{ nm}$)	綠($\lambda = 514 \text{ nm}$)	藍($\lambda = 488 \text{ nm}$)
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

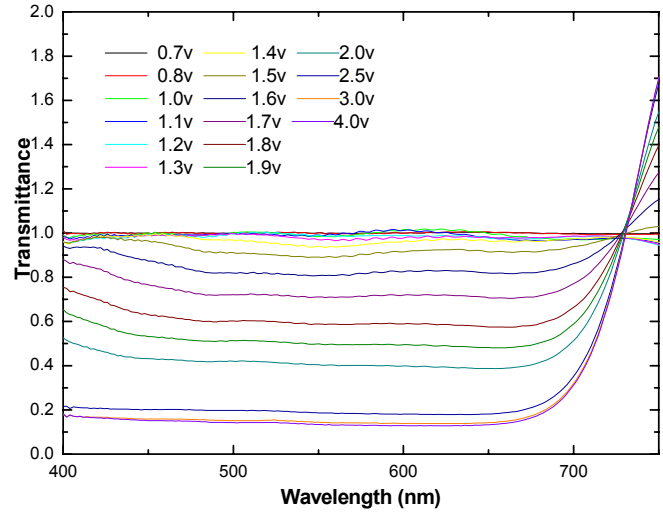


圖七 三原色之穿透率隨電壓變化關係圖

四、比較不同厚度液晶面板其穿透光譜之異同



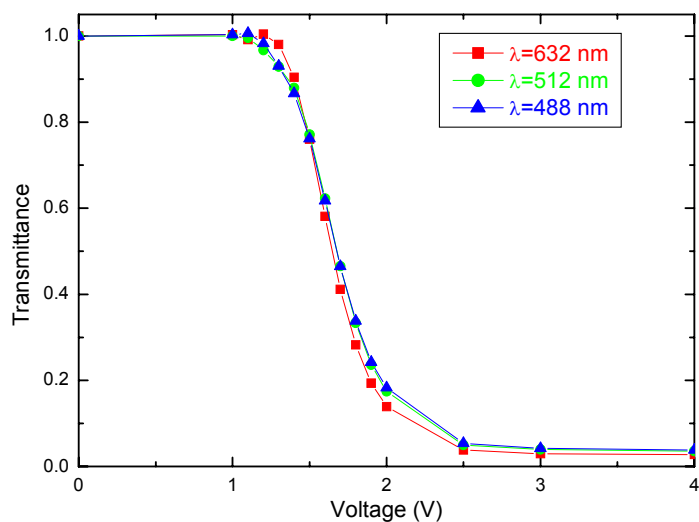
圖八 厚度 $7.8 \mu\text{m}$ 液晶面板(V129)
隨電壓變化之穿透光譜



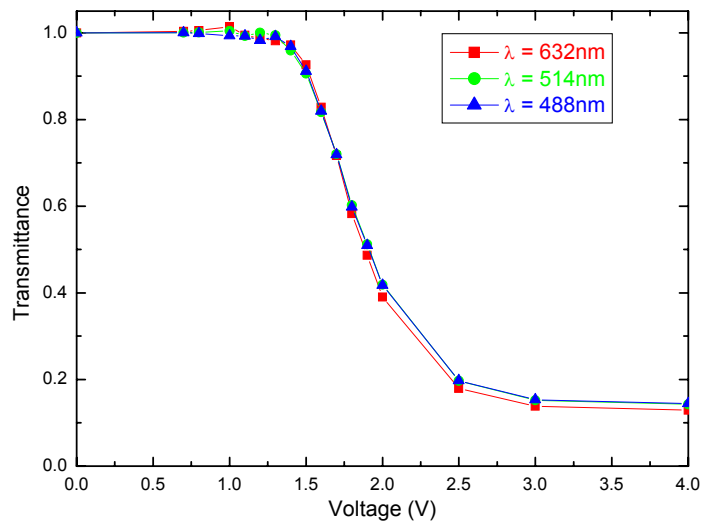
圖九 厚度 $9.0 \mu\text{m}$ 液晶面板(E7B1)
隨電壓變化之穿透光譜

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。

五、比較不同厚度液晶面板其三原色之穿透率隨電壓變化關係圖之異同



圖十 厚度 $7.8 \mu\text{m}$ 液晶面板(V129)
隨電壓變化之穿透光譜



圖十一 厚度 $9.0 \mu\text{m}$ 液晶面板(E7B1)
隨電壓變化之穿透光譜

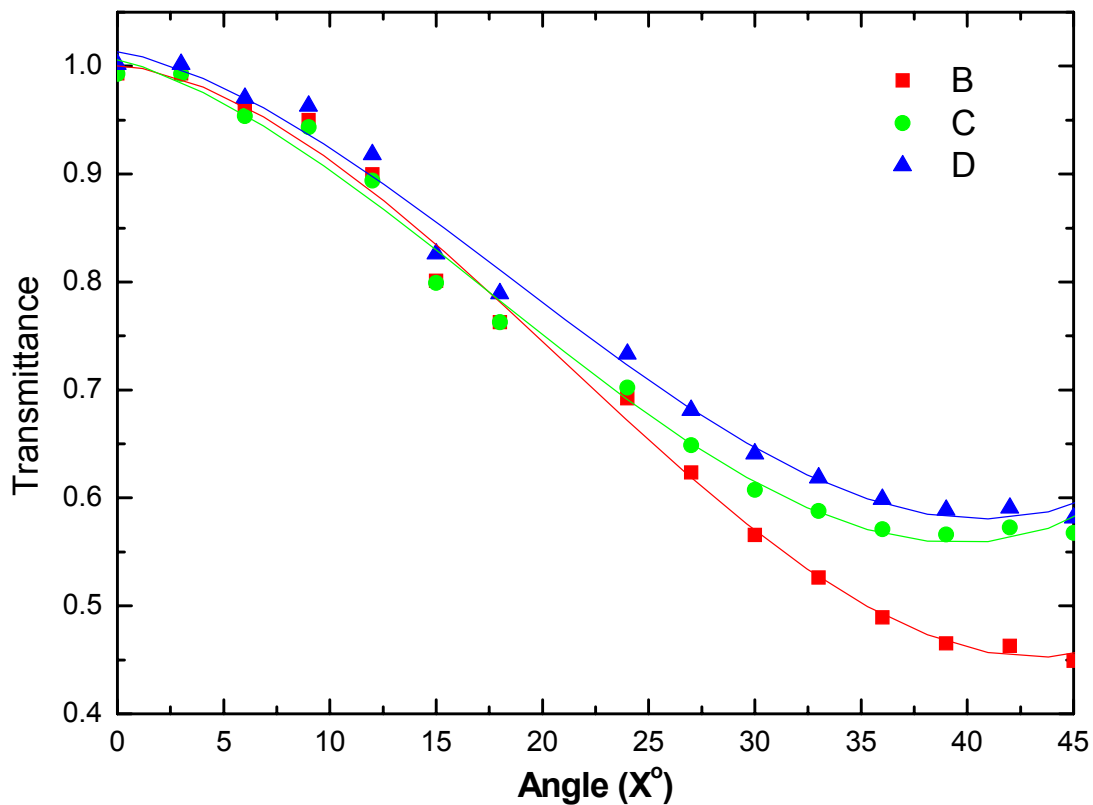
下表為液晶面板厚度 $7.8 \mu\text{m}$ 及 $9.0 \mu\text{m}$ 三原色之光-電開關斜率表

	V129—晶胞厚度 $7.8 \mu\text{m}$			E7B1—晶胞厚度 $9.0 \mu\text{m}$		
	紅	綠	藍	紅	綠	藍
V_{90}	1.4 V	1.4 V	1.4 V	1.6 V	1.6 V	1.6 V
V_{50}	1.7 V	1.8 V	1.8 V	1.8 V	1.9 V	1.9 V
V_{10}	2.2 V	2.3 V	2.3 V			
γ	-0.363	-0.391	-0.391			

從圖中可以看到，兩不同厚度之液晶面板，其三原色之穿透率皆隨電壓變大規則地逐漸變小，不同的是，液晶面板 E7B1 其穿透率無法達到 V_{10} ，故無法求出 E7B1 三原色之光-電開關斜率

六、入射光與液晶面板之夾角與穿透率的關係

由目視液晶面板即可得知，當正視液晶面板時，其亮度為最大，當斜視液晶面板時，其亮度則較小，故入射光垂直於液晶面板時，其穿透率應為最大，隨著入射光與液晶面板之夾角逐漸變小，其穿透率亦隨之呈規則變小。

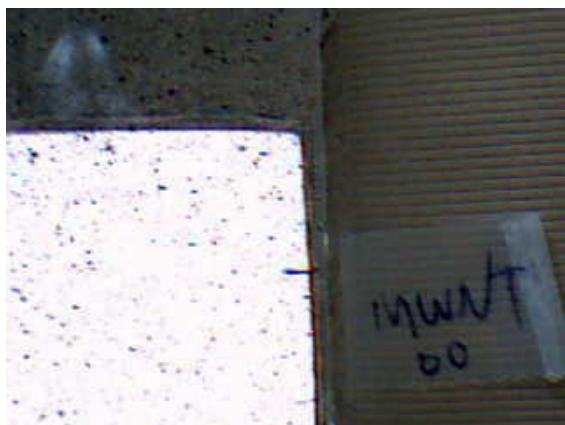


圖十二 三原色的穿透率隨入射角變化情形

從上圖可以為我們所觀察到的現象加以佐證。當入射光垂直液晶面板時，三原色的穿透率為最大，即我們所得到亮度最大的情形，而當入射光逐漸變大時，三原色的穿透率則逐漸變小，並且三原色的變化情形不同，這便可以說明當我們斜視液晶面板時，所得到的色彩亮度會變小，並且色彩有失真的情形。

七、超音波震盪時間對奈米碳管剪裁的影響

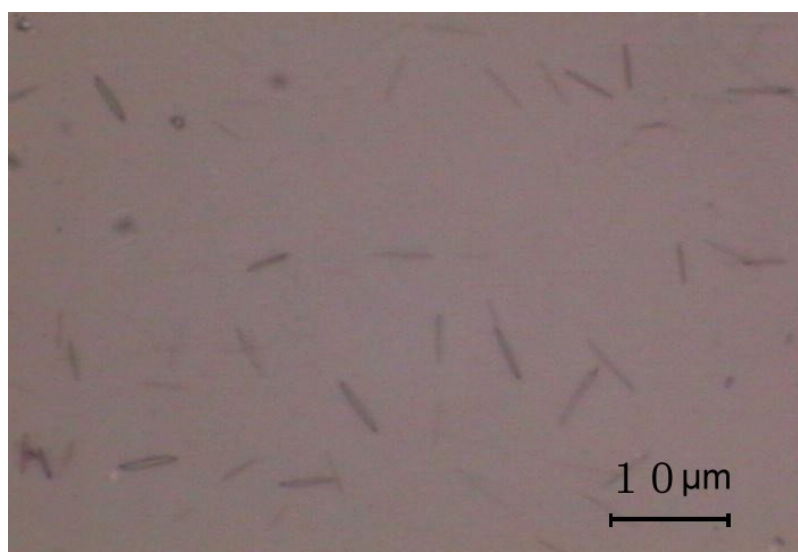
改變超音波震盪時間的長短，發現時間過短則奈米碳管中尚殘留許多雜質，時間過長則奈米碳管剪裁過短，最適合本實驗的超音波震盪時間為 18 小時，剪裁出長度約為 $5\mu\text{m}$ 的奈米碳管。



圖十三 未經過超音波震盪的多壁奈米碳管
此圖為從試管背後打光
可看出奈米碳管糾結在一起且分布不均。



圖十四 經超音波震盪 18 小時後的多壁奈米碳管
此圖為從試管背後打光
顏色呈現茶色，目測可看出奈米碳管分布均勻。



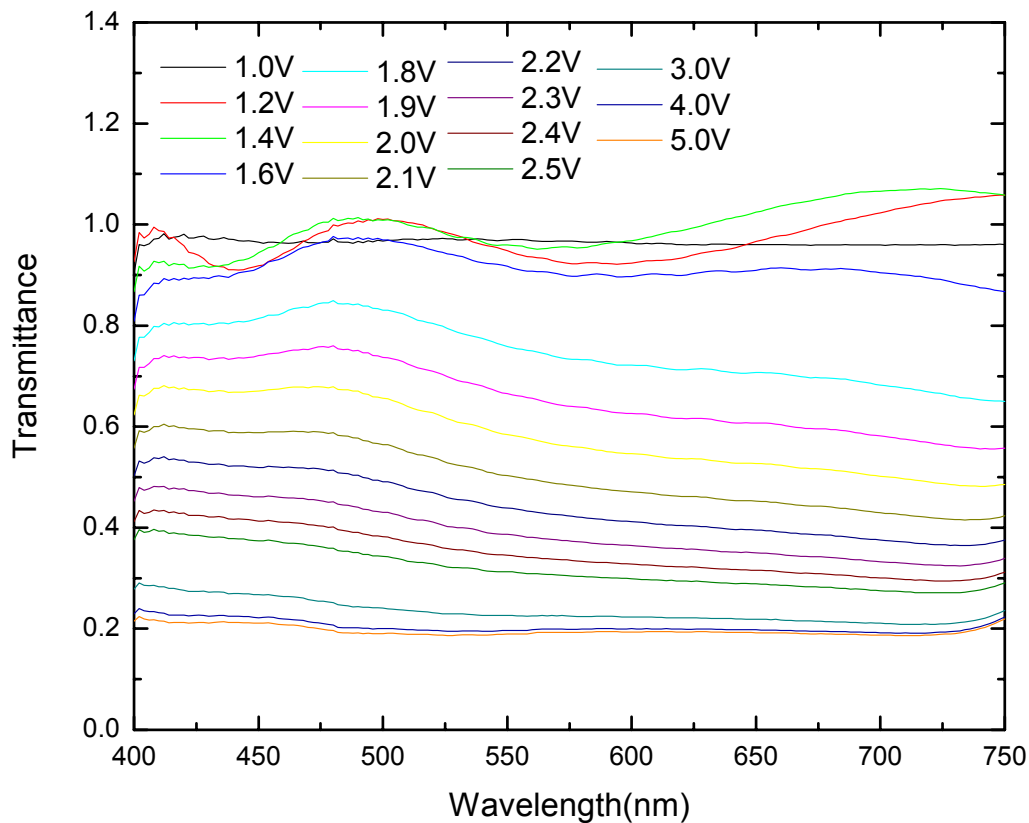
圖十五 以光學顯微鏡觀察經過超音波震盪 18 小時後的奈米碳管

八、摻雜不同濃度的奈米碳管之液晶面板，在不同電壓下的穿透光譜

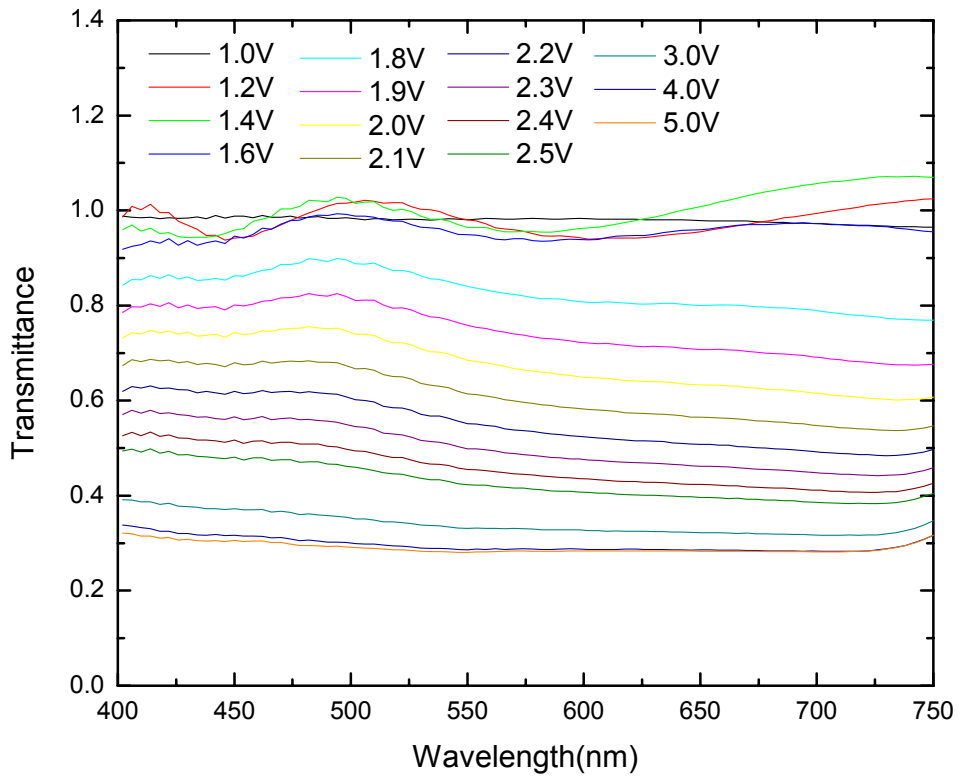
1. 由於奈米碳管的質量很輕，以精密的電子秤也不易量測出。所以我們選擇以固定液晶的重量，加入不同倍數的奈米碳管來調整不同的濃度。

編號	液晶	奈米碳管溶液
1	純液晶	
2	0.3g	10 滴
3	0.3g	15 滴
4	0.3g	20 滴
5	0.3g	30 滴

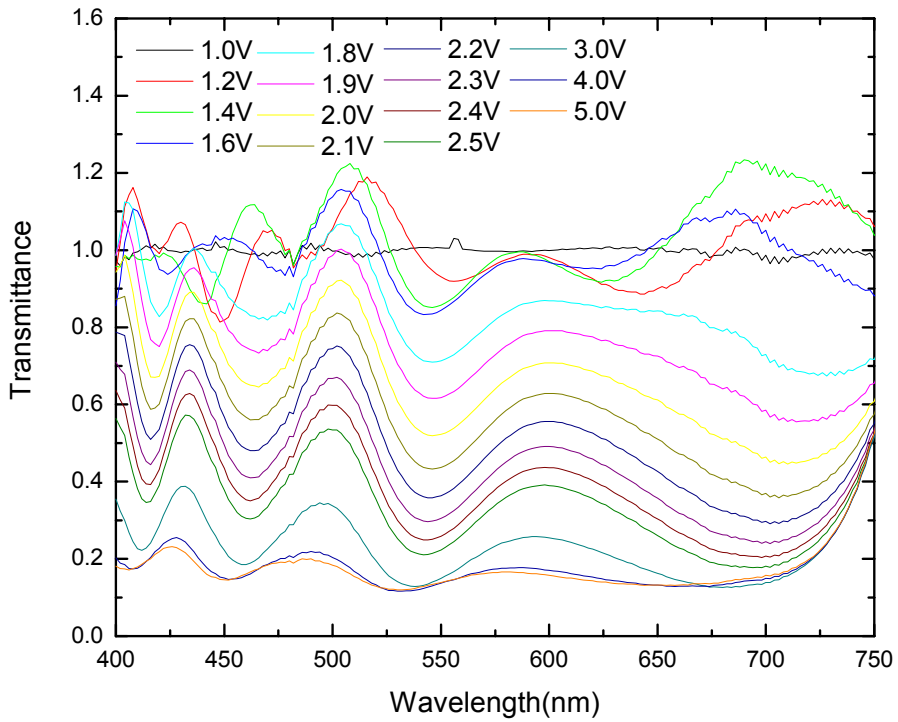
2. 圖十六～圖十九摻雜四種不同濃度奈米碳管液晶面板在 60Hz 交流電源作用下之穿透光譜圖。



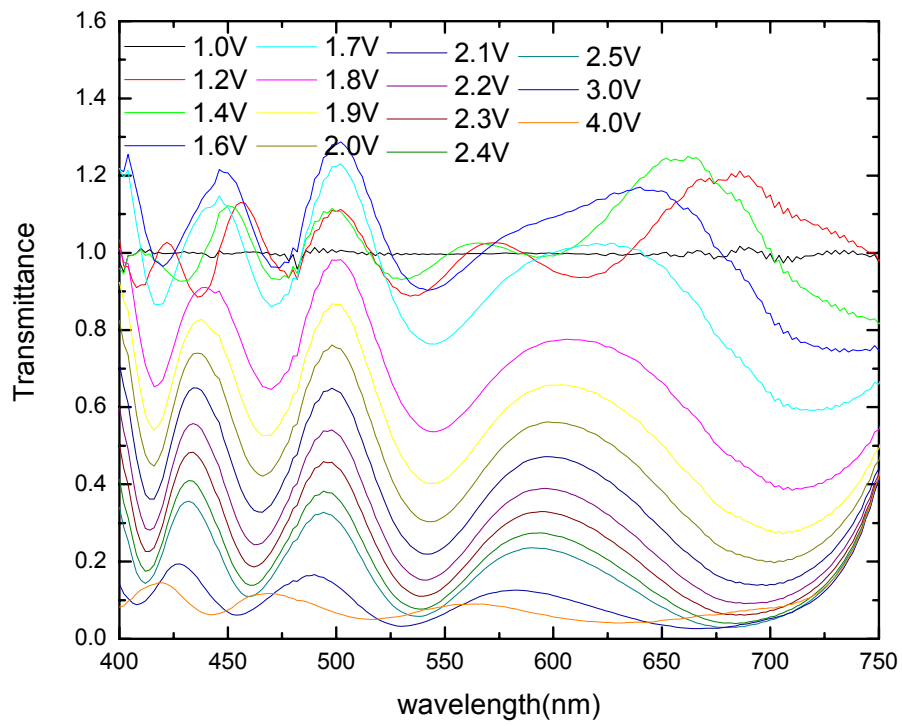
圖十六 編號 2(0.3g 液晶摻入 10 滴奈米碳管溶液)液晶面板的穿透光譜



圖十七 編號 3(0.3g 液晶摻入 15 滴奈米碳管溶液)液晶面板的穿透光譜

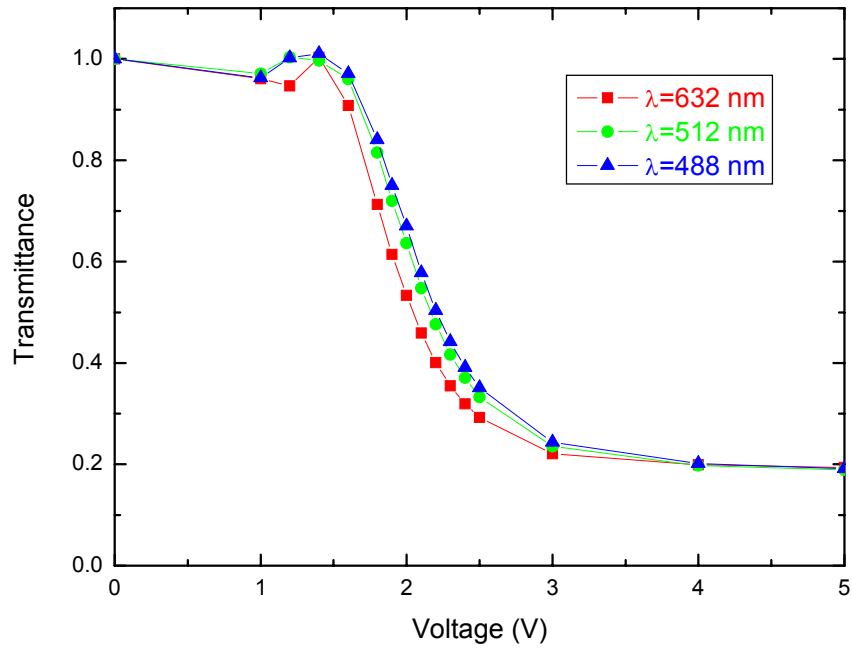


圖十八 編號 4(0.3g 液晶摻入 20 滴奈米碳管溶液)液晶面板的穿透光譜

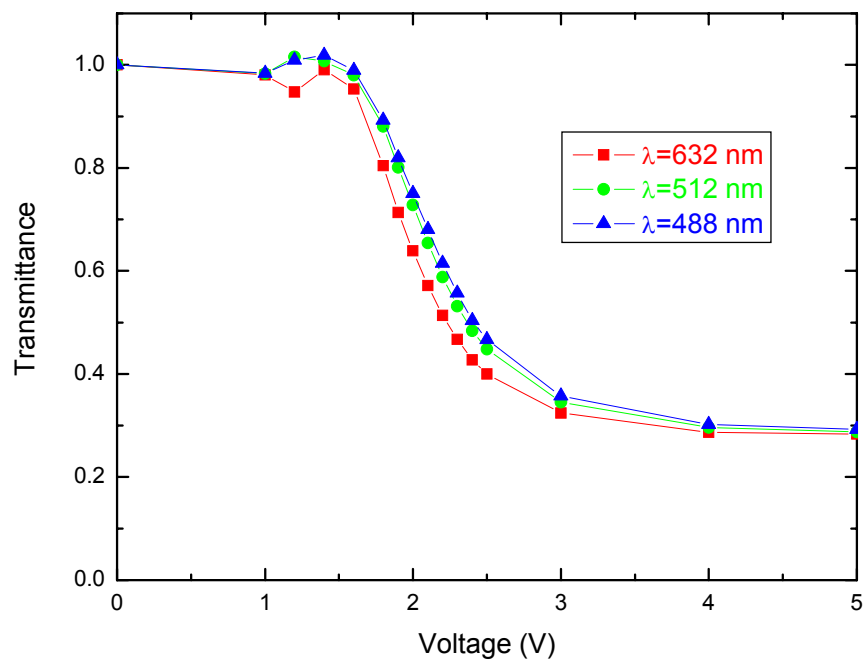


圖十九 編號 5(0.3g 液晶摻入 30 滴奈米碳管溶液)液晶面板的穿透光譜

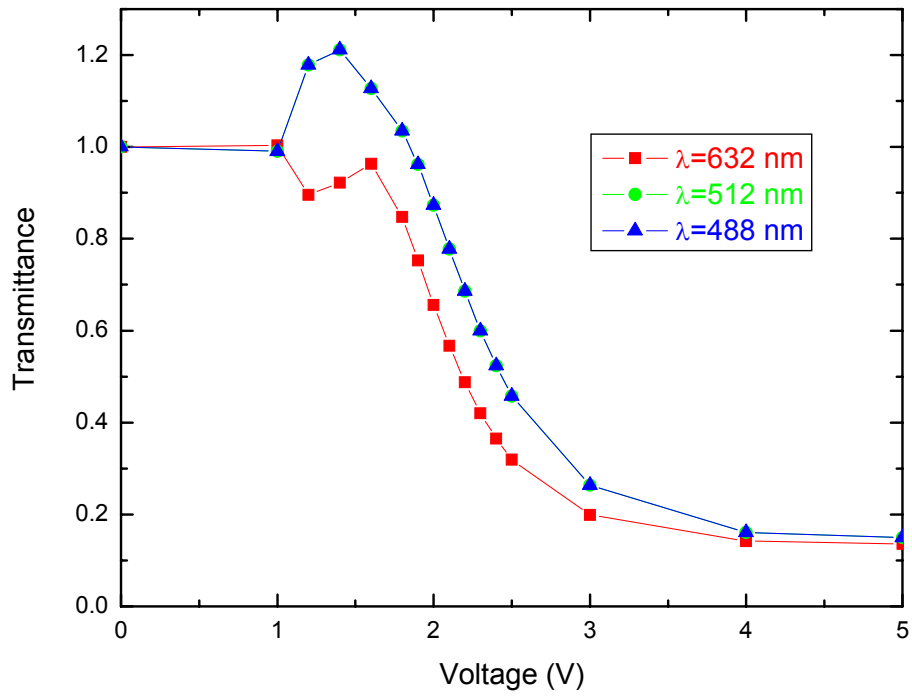
3. 我們從其中挑出三元色的穿透光譜，畫出穿透光譜隨電壓變化關係圖。摻入奈米碳管前，變化曲線較為接近；摻雜奈米碳管後，變化曲線有明顯不同。



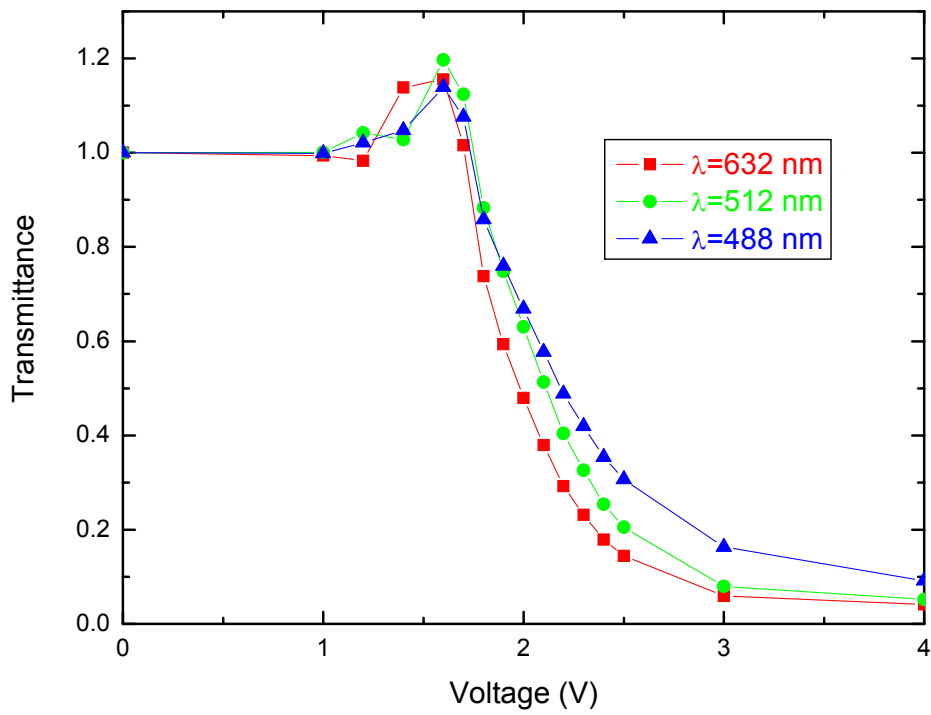
圖二十 編號 2(0.3g 液晶摻入 10 滴奈米碳管溶液)液晶面板的三原色穿透光譜



圖二十一 編號 3(0.3g 液晶摻入 15 滴奈米碳管溶液)液晶面板的三原色穿透光譜



圖二十二 編號 4(0.3g 液晶摻入 20 滴奈米碳管溶液)液晶面板的三原色穿透光譜



圖二十三 編號 5(0.3g 液晶摻入 30 滴奈米碳管溶液)液晶面板的三原色穿透光譜

陸、 研究討論與結論

- 一、圖四為外加 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、由圖五可以看出，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、圖六為 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、從圖七可以看出，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。
- 五、比較圖八與圖九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。
- 六、比較圖十與圖十一可以明顯看出厚度不同的液晶面板其三原色之穿透率皆隨電壓變大規則地逐漸變小，不同的是，液晶面板 E7B1 其穿透率無法達到 V_{10} ，目前造成此現象的原因尚不清楚，我們將再進一步設計實驗探討之。
- 七、穿透率隨入射角變大而規則變小，且三原色變化情形不同，造成在斜視液晶面板時所得色彩失真且亮度變小。

- 八、剪裁奈米碳管時，在酸中震盪時間以 18 小時最適當。因為液晶分子長度為 $1\sim 10\ \mu\text{m}$ ，經過處理的奈米碳管長度約為 $5\ \mu\text{m}$ ，兩者長度相近。
- 九、摻入濃度不同的奈米碳管至液晶中，會使液晶面板的穿透光譜發生明顯地改變。我們發現，當液晶分子中的奈米碳管濃度越高，其穿透光譜的變化越大，這主要是液晶分子受到外加電場作用時，由於奈米碳管的影響，使轉動慣量增大，因此其旋光性也發生變化。
- 十、摻入奈米碳管濃度過高，使穿透光譜產生震盪的現象，可能是奈米碳管會吸收某種波長的光，我們還需要設計實驗來探討。
- 十一、摻入奈米碳管後，液晶面板的三原色穿透率隨電壓變化關係明顯不同，這可應用在液晶顯示器的顯色上，使其有更豐富的色彩變化。

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. <http://nanotechweb.org/>, 2004/6/4 期刊
5. F.J. Keller, W. E. Getty, and M. J. Skove, “Physics”, 2nd (Mcgraw-Hill, 1993), Chapter 37. p.929
6. I. C. Khoo and S-T. Wu, “Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals” (World Scientific, 1993) Chaper2
7. LIQUID CRYSTALS, APPLICATIONS AND USES” ed. Birendra Bahadur (World Scientific, 1990)
8. <http://www.phy.ntnu.edu.tw/ipho2003/word/2003%20IPhO%20EXPFinalVersionQuestion.doc>
9. <http://entry.hit.edu.tw/~d904107>
10. <http://www.mse.nsysu.edu.tw/~fcj/lcd>
11. <http://eee.mat.ncku.edu.tw/engineer.htm>
12. <http://eee.mat.ncku.edu.tw/>
13. <http://140.138.140.197/index.htm>

評語

本作品以市購奈米碳管摻入液晶中，並探討其對透光率的影響，實驗流程為標準的制式模型，其所採用用以討論透光率改變的情形有可議空間。且實驗結論的機制討論亦嫌薄弱，對其所觀測到透光率隨波長振盪的物理行為較不完整，應有討論的空間，實驗應可改進。