

## 第五章 液晶盒厚度及扭轉角量測結果與討論

在實驗中，我們使用兩個具有不同液晶參數的 80°MTN mode LCOS 來量測，第一個待測樣品使用的液晶為 Merck-00675，且液晶盒已貼在印刷電路板上，第二個待測樣品使用的液晶為 Chisso-5064，而液晶盒未貼在印刷電路板上，兩個液晶盒的液晶參數值分別如表一所示：

LC	ne	no	//		K11	K22	K33
Merck-00675	1.5869	1.4872	11	3.5	10.1	5.4	15
Chisso-5064	1.586	1.486	16.4	4.3	7.3	8.4	21.1

表一、待測樣品的液晶參數

### 5.1、入射面液晶指向矢為已知

#### 5.1.1、旋轉液晶盒及檢光片法

在假設入射面液晶盒的指向矢方向為已知的情況下，將其調整至與偏光片平行，開始旋轉液晶盒及檢光片進行量測。由於旋轉液晶盒時，其反射率的變化為一週期為  $\pi/2$  的弦波函數，因此我們只需將液晶盒由零度轉至 90 度即可，圖 5.1 即為旋轉液晶盒實驗的結果。在圖 5.1 中，我們可以找到曲線的最低點所對應的角度，將其代入 3.6 式，在扭轉角為已知的條件下，即可得到厚度解，表 5.1 為假設扭轉角為 80 度下量測第一個樣品的結果，為了減低誤差，我們對待測液晶盒樣品的同一個點進例多次而重覆地量測，最後將其平均。

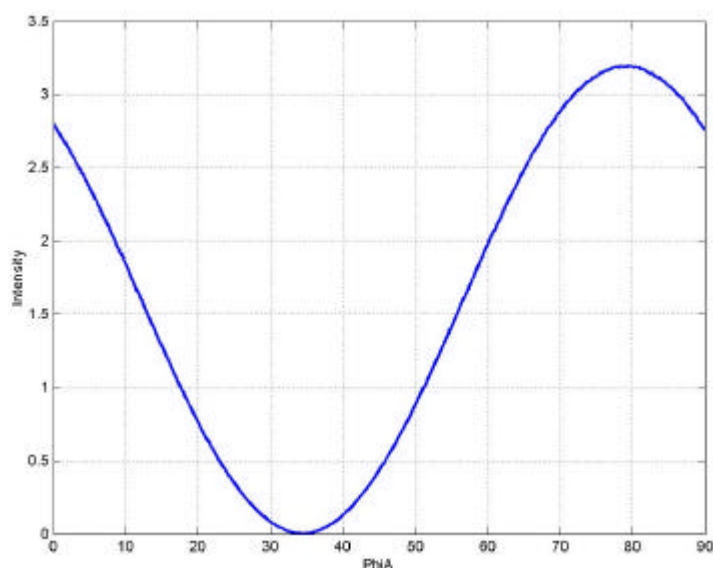


圖 5.1、實驗量測旋轉液晶盒之反射光強度

實驗	$\psi_0$	d
1	34.2357	2.4926
2	34.1412	2.4996
3	34.1544	2.4986
4	34.3396	2.4848
5	34.1956	2.4956
average	34.2133	2.4942

表 5.1、旋轉液晶盒第一組實驗結果（樣品一）

而在旋轉檢光片時，其反射率的變化為一週期為  $\pi$  的弦波函數，因此我們必須將檢光片由零度轉至 180 度，其結果如圖 5.2 所示。在圖 5.2 中，我們可以找到曲線的最低點所對應的角度，將其代入 3.8 式，一樣在假設扭轉角為 80 度的情況下，可以得到如表 5.2 所示之結果，為了減低誤差，我們一樣對待測液晶盒樣品的同一個點進例多

次而重覆地量測，最後將其平均。

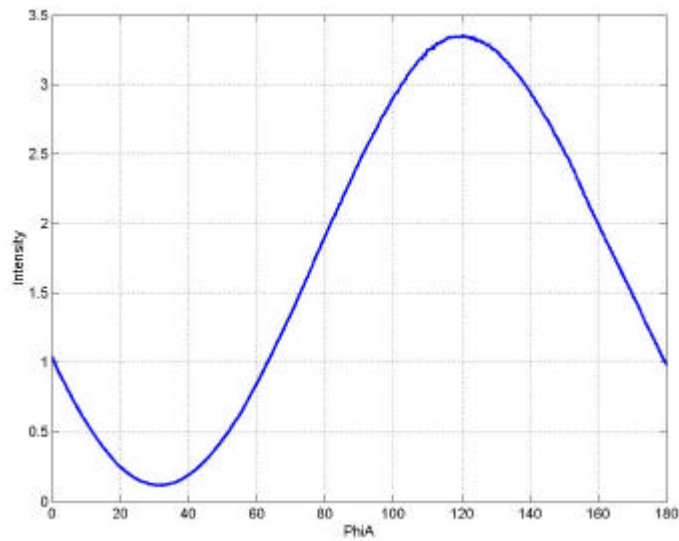


圖 5.2、實驗量測旋轉檢光片之反射光強度

實驗	$\psi_A$	d
1	24.0201	2.5564
2	24.2792	2.5662
3	23.5923	2.5401
4	23.4866	2.5361
5	23.7917	2.5477
average	23.8340	2.5493

表 5.2、旋轉檢光片第一組實驗結果（樣品一）

理論上，若入射面液晶指向矢方向已對至和偏光片平行且扭轉角為 80 度，則表 5.1 及 5.2 應該要得到相同的厚度角，但比較其結果，可以發現利用兩種方法求解出來的厚度並沒有相同，誤差約為 0.05  $\mu m$ 。

若將扭轉角設為未知，則可以利用求方程式 (3.6) 及 (3.8) 兩式的聯立解，同時求得厚度及扭轉角。圖 5.3 為利用表 5.1 及 5.2 的結果代入 3.6 及 3.8 式求解的結果，在圖中二條曲線的交點即為液晶盒的厚度及扭轉角。另外，我們也對多次實驗中，最大誤差進行評估，其結果如表 5.3 所示。

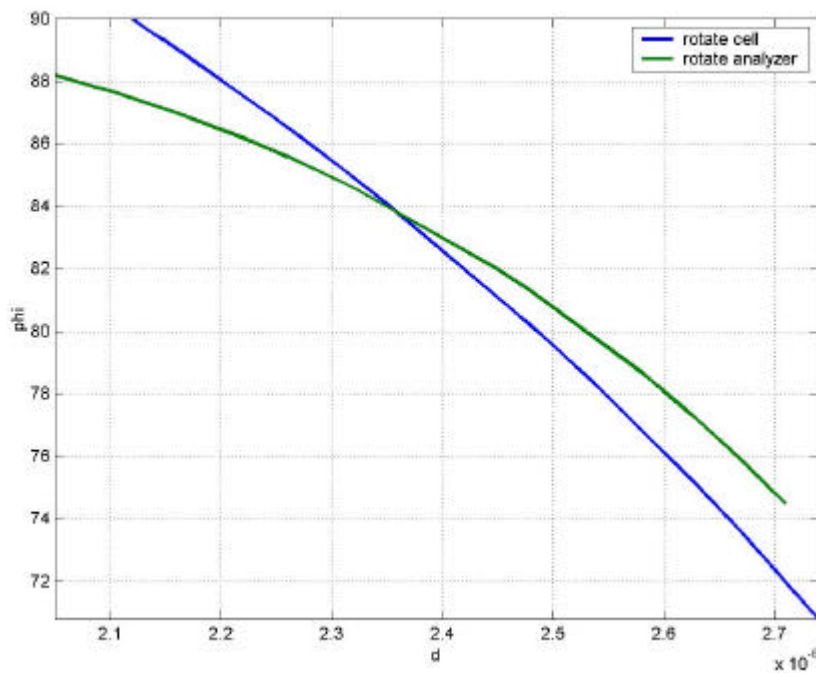


圖 5.3、式 (3.6) 及 (3.8) 的聯立解

	$\theta_{min}$	$A_{min}$	d		d/d(%)	$\theta$ (%)
average	34.2133	23.834	2.3331	84.8088	5.1948	3.3893
Error <sub>max</sub>	34.3396	24.2792	2.2647	86.3577		
Error <sub>min</sub>	34.1412	23.4886	2.3859	83.4833		

表 5.3、同時解厚度及扭轉角第一組結果 (樣品一)

表 5.3 的結果與我們預期的結果有很大的落差，可以發現在解聯立方程式時，兩組實驗的誤差被加乘而放大了，而這也很可能是由於入射面第一層液晶指向矢並沒有對到和偏光片平行的位置，因此我們先將貼在旋轉平台上的第一個樣品取下，然後重新將入射面第一層液晶指向矢對到和偏光片平行，重覆實驗步驟而得到第二組數據，其結果如表 5.4、5.5 及 5.6 所示。

實驗	$\psi_0$	d
1	34.47	2.475
2	34.45	2.4765
3	34.29	2.4885
4	34.47	2.475
5	34.33	2.4855
average	34.4020	2.4801

表 5.4、旋轉液晶盒第二組實驗結果（樣品一）

實驗	$\psi_A$	d
1	23.19	2.5247
2	22.32	2.4911
3	22.91	2.514
4	23.64	2.5419
5	24.1	2.5594
average	23.2320	2.5262

表 5.5、旋轉檢光片第二組實驗結果（樣品一）

	$\theta_{min}$	$A_{min}$	d		d/d(%)	/f(%)
average	34.40	23.33	2.3398	84.1844	9.0093	6.6987
Error <sub>max</sub>	34.47	24.1	2.2646	86.0588		
Error <sub>min</sub>	34.29	22.32	2.4754	80.4195		

表 5.6、同時解厚度及扭轉角第二組結果（樣品一）

比較二次的實驗結果，我們發現量測到的數據並沒有太大的改變，誤差仍然太大，因此我們推論誤差應不是來自於入射面第一層液晶指向矢和偏光片夾角的誤差所造成。

由於第一個樣品已經貼在印刷電路板上了，其背面並不是很平整，當將其貼在旋轉平台上而轉動時，不但很難控制雷射光保持垂直入射及反射光的光點要精確地打在光偵測器上，而且也很難保證液晶盒樣品在旋轉時，雷射光的光點會打在液晶盒的同一點上，因此我們使用了一個並未貼在印刷電路板上的液晶盒為第二個待測樣品，由於 LCOS 的下基板為矽晶圓，一般的半導體製程都會控制矽晶圓的厚度在很精確的範圍內，因此我們只要將雷射光正射於旋轉平台的軸心位置，即可大幅減低了實驗誤差。

將第二個液晶盒重覆實驗步驟及量測，其實驗結果列在表 5.7、5.8 及 5.9 中。

實驗	$\psi_0$	d
1	37.96	2.1914
2	37.96	2.1914
3	37.97	2.1906
4	37.96	2.1914
5	37.97	2.1906
average	37.9640	2.1911

表 5.7、旋轉液晶盒第一組實驗結果（樣品二）

實驗	$\psi_A$	d
1	15.3	2.1914
2	15.51	2.2008
3	15.85	2.2159
4	15.61	2.2053
5	15.77	2.2124
average	15.6080	2.2052

表 5.8、旋轉檢光片第一組實驗結果（樣品二）

	$\theta_{min}$	$A_{min}$	d		d/d(%)	/ (%)
average	37.964	15.608	2.1518	81.0047	3.1462	2.0872
Error <sub>max</sub>	37.97	15.85	2.125	81.6595		
Error <sub>min</sub>	37.96	15.3	2.1927	79.9688		

表 5.9、同時解液晶盒厚度及扭轉角結果（樣品二）

比較表 5.7 及 5.8 的結果，我們發現利用不同實驗條件下算出來

的厚度解已經由樣品一的  $0.055 \mu\text{m}$  大幅降低至  $0.014 \mu\text{m}$ ，因此利用解聯立方程式求液晶盒厚度及扭轉角的誤差也大幅地降低，這可由表 5.9 的結果得到印證，待測樣品的上下基板摩擦配向角度差為 80 度，若以製程誤差為  $\pm$  度來說，則我們的實驗結果已在製程誤差的邊緣。且實驗的最大及最小誤差均在 3% 附近，相較於之前的結果也大幅地降低了。

如第一個液晶盒般的實驗步驟，我們也將第二個液晶盒由旋轉平台取下，然後重新對準入射面第一層液晶指向矢與偏光片的夾角，然後作了第二組實驗，其結果列於表 5.10、5.11 及 5.12 中。

實驗	$\psi_0$	d
1	37.8578	2.2
2	37.8369	2.2018
3	37.9224	2.1946
4	37.8575	2.2
5	37.8526	2.2005
average	37.8654	2.1994

表 5.7、旋轉液晶盒第二組實驗結果（樣品二）



實驗	$\psi_A$	d
1	15.6927	2.209
2	15.6809	2.2084
3	15.7918	2.2134
4	15.6889	2.2088
5	15.6002	2.2048
average	15.6909	2.2089

表 5.10、旋轉檢光片第二組實驗結果（樣品二）

	$\theta_{min}$	$A_{min}$	d		d/d(%)	$\theta/f(\%)$
average	37.8654	15.6909	2.171	80.7291	2.2248	1.2957
Error <sub>max</sub>	37.9224	15.7918	2.1435	81.3035		
Error <sub>min</sub>	37.8369	15.6002	2.1918	80.2575		

表 5.11、同時解液晶盒厚度及扭轉角結果（樣品二）

比較表 5.9 及 5.10 的結果，其誤差只有 9.5nm，較第一組實驗結果更小，因此其厚度及扭轉角的誤差也更小，可以在表.11 中得到印證，其扭轉角的誤差已經在製程的誤差範圍內，且各個實驗數據的最大及最小誤差也都更低。

### 5.1.2、旋轉檢光片法

在入射面液晶盒的指向矢方向為已知的情形下，我們可以利用 3.9 式至 3.12 式或 3.16 式至 3.18 式，只需旋轉檢光片求解  $\theta_c$  及  $\theta_e$ ，

再將  $\theta_c$  及  $\theta_s$  代入 3.13 式 3.14 式及 3.15 式求解液晶厚度及扭轉角，圖 5.5 即為求解的結果，在圖中可以看到三條方程式會交叉於同一點，圖中的交叉點所對應的橫軸即為液晶厚度，縱軸即為扭轉角。

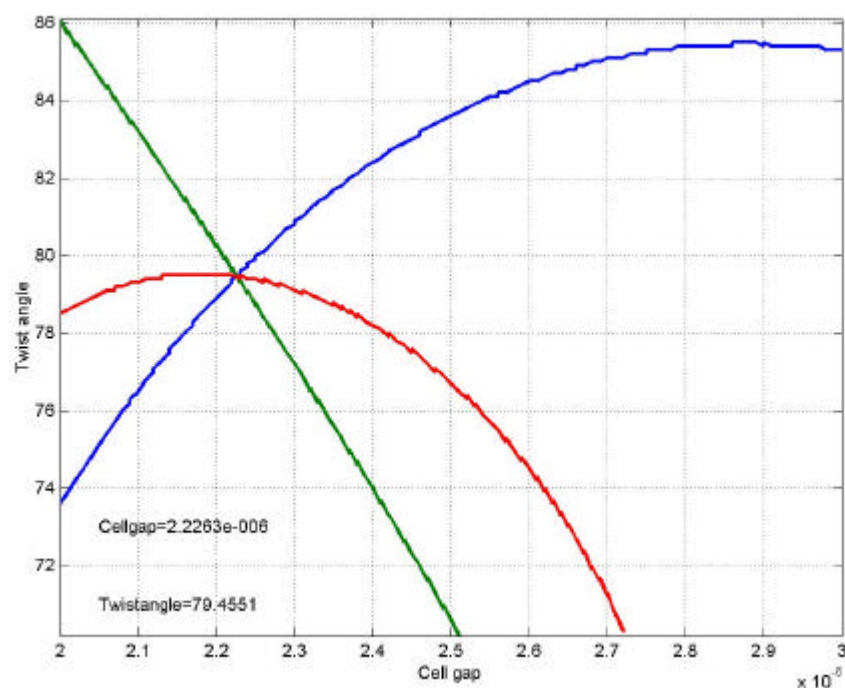


圖 5.5、3.15、3.16 及 3.17 式的聯立解

將 5.1 節中旋轉檢光片量測的結果代入方程式中，結果如表 5.13、5.14、5.15 及 5.16 所示之結果，比較表 5.13 及 5.3，量測到平均液晶盒的厚度由  $2.3331 \mu\text{m}$  提高至  $2.5333 \mu\text{m}$ ，非常接近 Spacer 的厚度，而液晶盒的扭轉角也由  $84.8088^{\circ}$  降低至  $80.5374^{\circ}$ ，已經在製程的誤差範圍內，厚度的最大及最小量測誤差降低了約一倍，扭轉角的最大及最小量測誤差更降低了約 5 倍。因此此種量測方法對於反射式液晶盒的背板並不平整的樣品來說是一種非常好的方法。

比較表 5.13 及 5.14 的結果，兩組數據的液晶盒平均厚度差為  $0.0267 \mu\text{m}$ ，液晶盒平均扭轉角差為  $1.2574^\circ$ 。由於兩組實驗的初始條件並不完全相同，包括入射面液晶指向矢和偏光片夾角偏差或雷射光的光點有些許的偏移，因此其結果有些許的誤差是可理解的，但都在可容許的範圍內。

除了大幅增加背板不平整的反射式液晶盒樣品量測的正確性外，對於背板很平整的樣品，如果只用一個步驟來取代二個步驟的話，一樣可以增進量測的正確性，比較表 5.15 及 5.9 的結果，雖然 5.9 的結果已經在製程誤差的邊緣，但 5.15 的結果更為接近我們預期的結果，且其最大及最小的量測誤都在 1% 以下。

若比較 5.15 及 5.16 的結果，兩組數據的液晶盒平均厚度差為  $4\text{nm}$ ，液晶盒平均扭轉角差為  $0.0146^\circ$ ，相差非常小。

	d		d/d(%)	/ (%)
average	2.5366	80.5186	2.562	0.947
Error <sub>max</sub>	2.565	80.897		
Error <sub>min</sub>	2.5	80.1343		

表 5.13、旋轉檢光片求厚度及扭轉角第一組實驗結果（樣品一）

	d		d/d(%)	/ (%)
average	2.560	79.28	2.461	0.479
Error <sub>max</sub>	2.591	79.48		
Error <sub>min</sub>	2.528	79.1		

表 5.14、旋轉檢光片求厚度及扭轉角第二組實驗結果（樣品一）

	d		d/d(%)	/ (%)
average	2.2274	79.474	0.763	0.856
Error <sub>max</sub>	2.238	79.75		
Error <sub>min</sub>	2.221	79.07		

表 5.15、旋轉檢光片求厚度及扭轉角第一組實驗結果（樣品二）

	d		d/d(%)	/ (%)
average	2.2278	79.4846	0.754	0.877
Error <sub>max</sub>	2.2381	79.7632		
Error <sub>min</sub>	2.2213	79.0664		

表 5.16、旋轉檢光片求厚度及扭轉角第二組實驗結果（樣品二）

## 5.2、入射面液晶指向矢為未知

### 5.2.1、加電壓及旋轉液晶盒

在入射面液晶指向矢為未知的情況下，我們可以利用對液晶盒施加電壓，然後找尋入射面液晶指向矢和液晶盒扭轉角的關係，如 3.19 或 3.20 式的結果，圖 5.5 為當對液晶盒施加不同電壓時，反射光強度最大時所對應的角度。

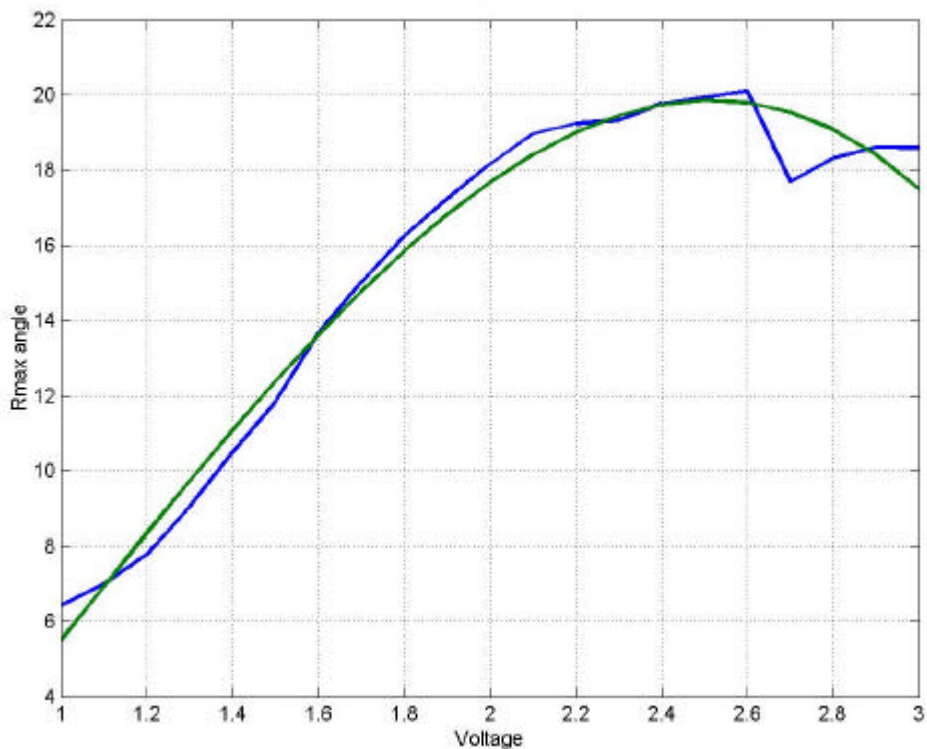


圖 5.5、最大反射光強度時的角度對不同電壓圖

圖中可以觀察到和圖 3.11 相似的結果，但當電壓大於 2.6 伏時就會和模擬的結果有出入，這可能是由於電壓愈大時，反射光的強度就愈弱，使得在高電壓時會產生很大的誤差，因此我們只取曲線的最高

點時所對應的角度  $20.11^{\circ}$ 。

將液晶盒固定  $20.11^{\circ}$  後，將檢光片由零度轉至  $180^{\circ}$  度，並記錄每一點的反射光強度，將其結果代入 3.9 3.12 式解得  $c_1$  及  $c_2$ ，將 3.19 式代入 3.13 3.15 式則可求得厚度及扭轉角，圖 5.6 為利用三條方程式解三個變數的結果，表 5.17 為實驗的結果。

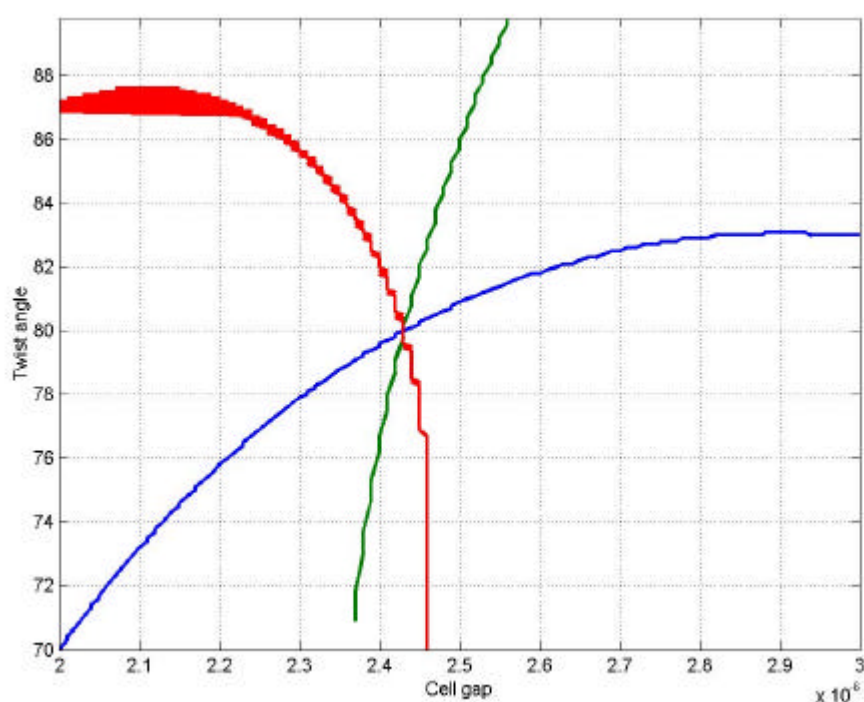


圖 5.6、3.19 式代入 3.13 3.15 式的解

	d		$\theta$
一	2.432	79.983	5.009
二	2.465	80.446	4.777
三	2.48	80.261	4.87
Average	2.459	80.23	4.885

表 5.17、加電壓及旋轉液晶盒求入射面液晶指向矢角度結果

在圖 5.5 中，若我們找尋最大反射光強度所對應的角度有  $1^\circ$  的誤差時，所計算出來液晶盒的厚度會有 1.6% 的變化，而液晶盒的扭轉角會有 0.6% 的變化，因此在這種計算條件下，厚度的誤差會較扭轉角的誤差大。

### 5.2.1、加電壓及旋轉 Half-Wave Plate

雖然加電壓及旋轉液晶盒可以找出入射面液晶指向矢和扭轉角的關係，但在實驗過程中，只要旋轉液晶盒，就會引入許多的誤差，且在電壓較高時，我們也需要較好的放大器來放大訊號，另外還需要一低通濾波器來濾除量測過程中產生的高頻雜訊，這些需求都可使用鎖相放大器來達到，圖 5.7 為對液晶盒施加不同電壓時，鎖相放大器的讀取到的相位值。

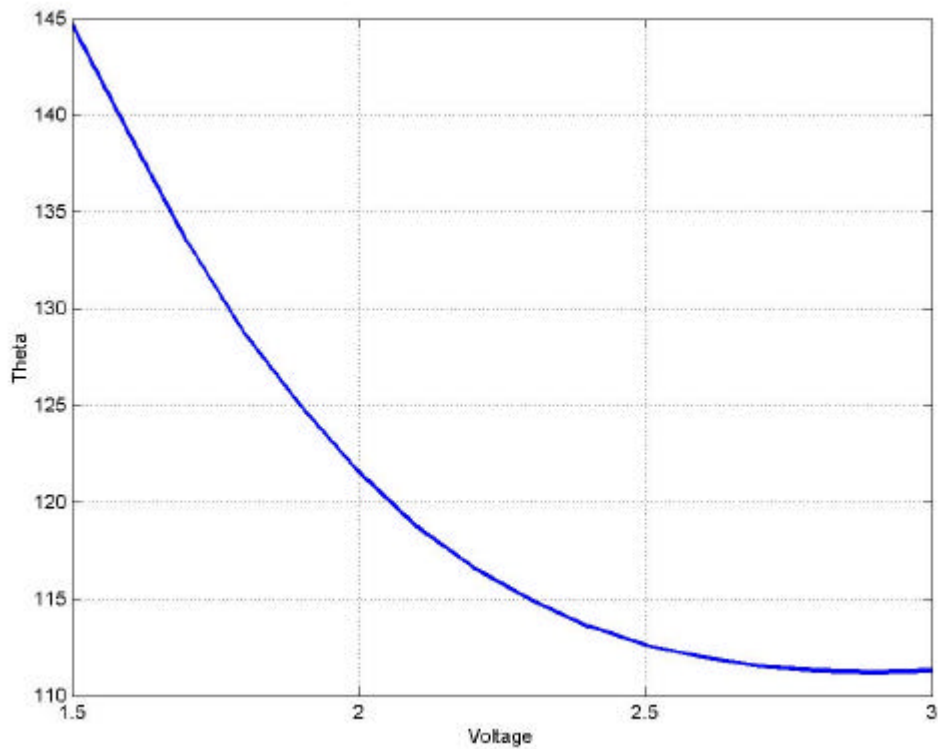


圖 5.7、鎖相放大器的相位值對不同電壓圖

圖 5.7 的實驗結果就已十分接近圖 3.11 所模擬的結果，在圖中，我們取相位為最低時的值代入 3.21 式中，將檢光片由零度轉至 180 度，並記錄每一點的反射光強度，將其結果代入 3.9 3.12 式解得  $c_0$  及  $c_1$ ，將 3.21 式代入 3.13 3.15 式則可求得厚度及扭轉角，圖 5.8 為利用三條方程式解三個變數的結果，表 5.18 為實驗的結果。



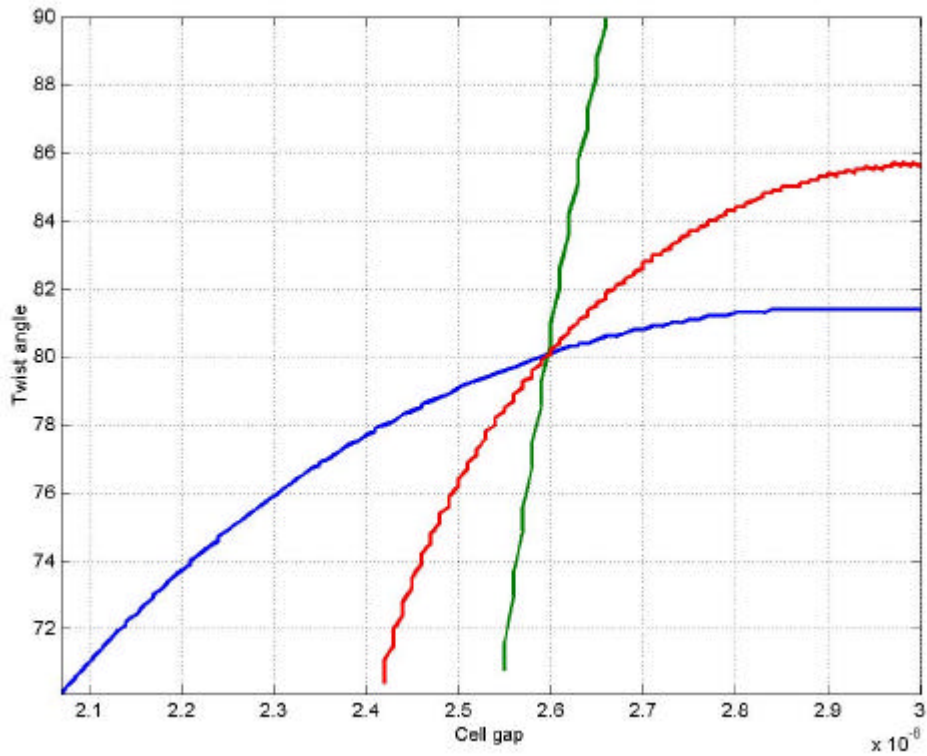


圖 5.8、3.21 式代入 3.13 3.15 式的解

	d		$\theta$
一	2.588	80.005	-12.203
二	2.589	79.903	-12.151
三	2.592	79.871	-12.136
average	2.5897	79.9263	-12.1632

表 5.18 加電壓及旋轉 Half-Wave Plate 求入射面液晶指向矢角度結果  
 在圖 5.7 中，若所讀取鎖相放大器的相位 ( ) 值有  $\pm 1$  的誤差時，則  
 液晶盒厚度會有 0.47% 的變化，而液晶盒的扭轉角會有 0.14% 的變  
 化，結果可以發現厚度的誤差也會大於扭轉角的誤差。