

第六章 液晶顯示器畫素大小與電極間距對邊際場效應影響

6.1、簡介

Liquid-crystal-on-silicon (LCOS)已被廣泛地應用在大螢幕投影機及頭戴型顯示器上，然而因為高解析度的需求，因而使得畫素的大小愈來愈小，由於矽基板具有很高的電子遷移率 (electron mobility)，畫素大小在 10 ~ 15 μm 的 LCOS 已被實現在商業化的用途上，然而當畫素大小減小時，仍然有許多的問題待克服，例如開口率 (Aperture ratio)、繞射損失 (Diffraction loss) 及邊際場效應 (Fringe field effect) 等，如何在高解析度的投影機上仍然保持高亮度 (brightness) 及高對比 (contrast ratio)，至今仍是一個困難的挑戰。

另外，當電極間距大至和液晶的厚度可比較時，則邊際場效應對於相鄰兩個各為亮及暗的畫素會產生向錯線 (disclination line)，而這些向錯線會降低液晶的電光特性及減低顯示器的亮度及對比度，在我們的研究中，我們分析了畫素大小及電極間距如何地影響顯示器的對比度；在模擬過程中，我們將畫素大小由 11 μm 開始，以 1 μm 遞增至 15 μm ，而電極間距由 0.5 μm 開始，以 0.1 μm 遞增至 0.9 μm 。而在做模擬結果與實驗比較時，由於我們並沒有如此多的樣品，因此我們將只針對已有的樣品做比較。

6.2、原理

我們模擬的理論基礎為 Frank's 連體理論，並使用有限元素法來計算液晶指向矢的分佈；一旦得到指向矢的分佈後，我們即可利用 2X2 Jones matrix 來計算反射率，在 Crossed Polarizer 的架構下，待測樣品 (LCOS) 的反射率 (R) 可以用來下方程式來表示：

其中， M^T 為 M 的轉置矩陣， θ 為偏光片與第一層液晶的夾角，

$$R = |V' M^T M V|^2$$

$$M = \begin{bmatrix} \cos X - i \frac{\Gamma \sin X}{2X} & f \frac{\sin X}{X} \\ -f \frac{\sin X}{X} & \frac{\Gamma \sin X}{2X} \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{bmatrix}$$

$$V' = [-\sin \theta \quad \cos \theta]$$

為液晶的扭轉角， $X = \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{4} \right)$ ， $\Gamma = 2 \pi n / \lambda$ ，d 為液晶盒厚度，

n 為液晶的雙折射 (birefringence) 係數差，在模擬中，我們將液晶盒分割成 N 層，每一層視為一單光軸晶體，最後的反射率為光通過每一層液晶，用 Jones Matrix 相乘之結果。

6.3、模擬結果

我們所使用的模擬軟體為 2D_Dimos，圖 6.1 為我們用來模擬 LCOS 結構的剖面圖，在模擬時，我們設定鋁電極的厚度為 $0.3\mu\text{m}$ ，ITO 的厚度為 $0.2\mu\text{m}$ ， SiO_2 的厚度為 $0.4\mu\text{m}$ ，液晶層厚度為 $2\mu\text{m}$ ，上下層液晶分子的扭轉角為 80° ，角為 20° ，入射光波長選用 550nm ，所使用的液晶參數如下表所示：

K11	K22	K33	D n	//	
12.2	3.4	14	236	9.7	3.7

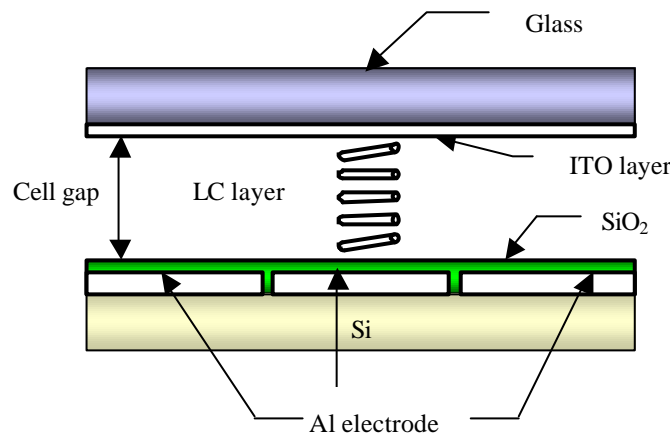


圖 6.1、LCOS 結構剖面圖

扭轉型線狀液晶顯示器在外加電壓下，液晶分子會順著液晶盒表面的分子預傾方向傾向於與電作用方向平行，當有橫向場作用時，液晶分子指向矢的變化可能就不如我們所想的那麼直觀。因此我們藉由液晶指向矢模擬程式來了解分子的變化過程，再利用程式來計算結果。

我們利用三個畫素來模擬邊際場效應對不同畫素大小及不同電

極間距的影響，由於 boundary 的影響，因此在計算對比度時，我們忽略了左右兩邊各半個畫素的反射率。

為了能得到最大的對比度，我們先用軟體模擬了電壓與反射率的關係，根據此關係，我們將畫素的最亮態偏壓設在零伏特；而最暗態偏壓設在 1.5 伏特。為了要比較對比度，我們分成畫素為全亮、全暗及畫素為亮暗交替兩種情形來討論。

6.3.1、畫素為全亮及全暗

圖 6.2 為全亮時，液晶指向矢的模擬結果圖，由於全亮時，所有電極都施加 1.5 伏特的電壓，因此沒有橫向電場的產生。

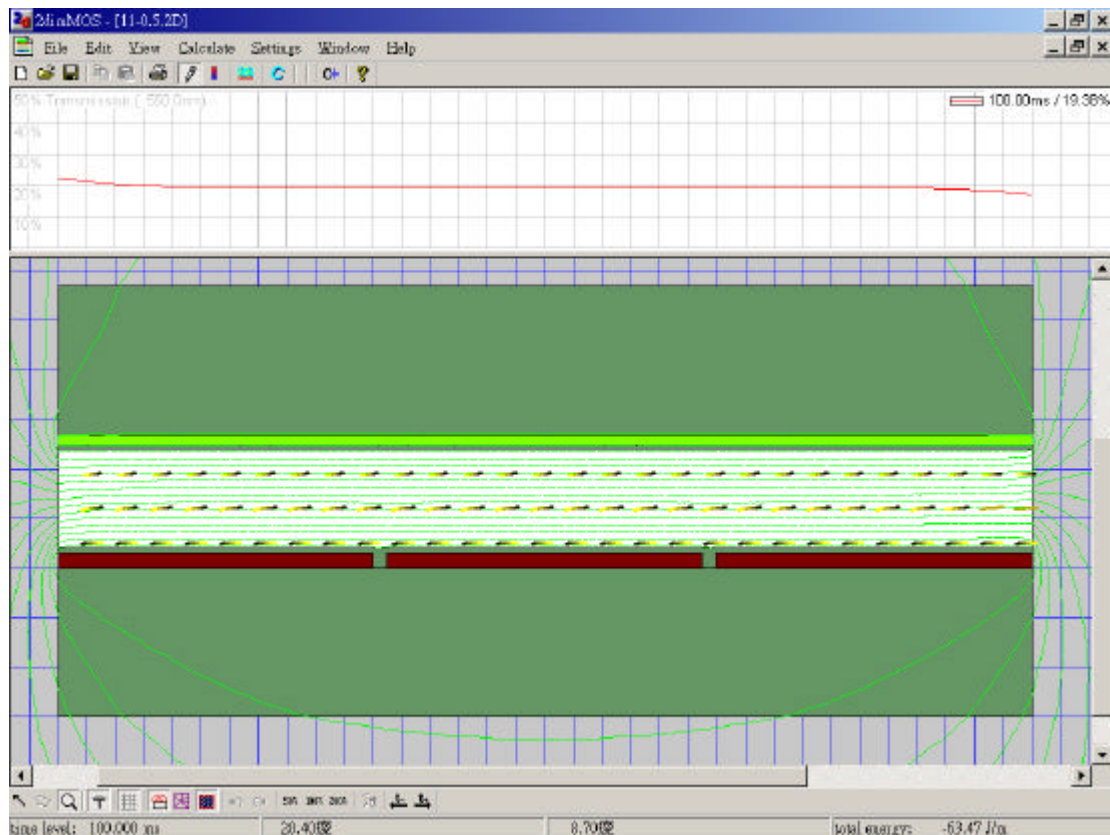


圖 6.2、畫素為全亮時，液晶指向矢的分佈圖

圖 6.3 為全亮時，電極間距為 $0.5\ \mu\text{m}$ ，畫素大小為 $11\ \mu\text{m}$ 的光學模擬結果，在全亮時，由於在電極上方橫向電場非常小，所以在圖中我們並沒有看到邊際場效應對液晶的影響，因此無論增加電極間距或畫素大小對光學的反射率來說都不會有影響。另外，在圖 6.3 中，可以看到兩個反射率為零的區間，那是因為 LCOS 在電極間距間會設有 Black Matrix，因此我們假設電極間距的反射率為零。

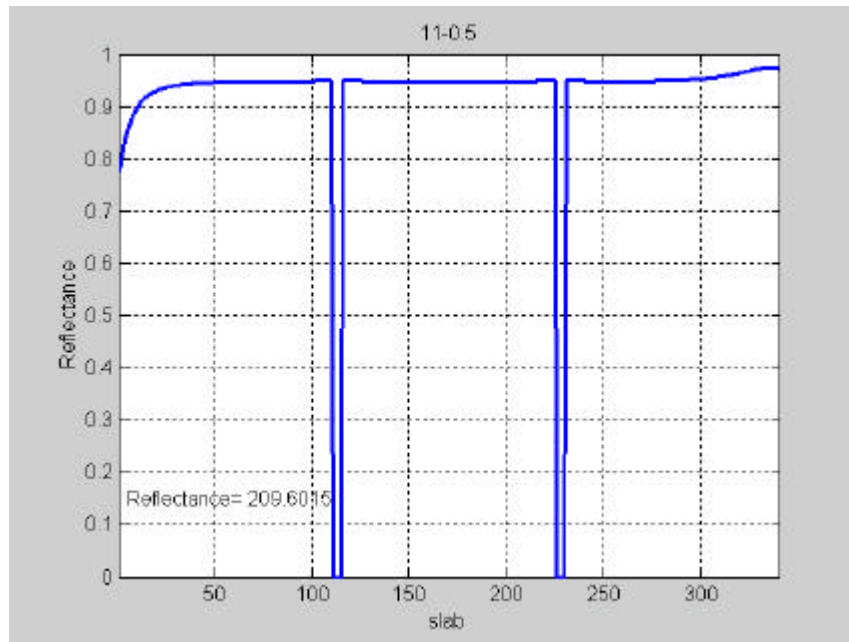


圖 6.3、畫素為全亮時的光學模擬結果

圖 6.4 為全暗時，液晶指向矢的模擬結果圖，由於全暗時，所有電極都施加 5 伏特的電壓，因此在電極上方橫向電場非常小。圖 6.5 為全暗時，電極間距為 $0.5\ \mu\text{m}$ ，畫素大小為 $11\ \mu\text{m}$ 的光學模擬結果，和全亮時一樣，橫向電場非常小，因此我們在圖中也沒有看到邊際場效應對液晶的影響，當電極間距及畫素大小增加時，光學的反射率並

沒有明顯的變化。

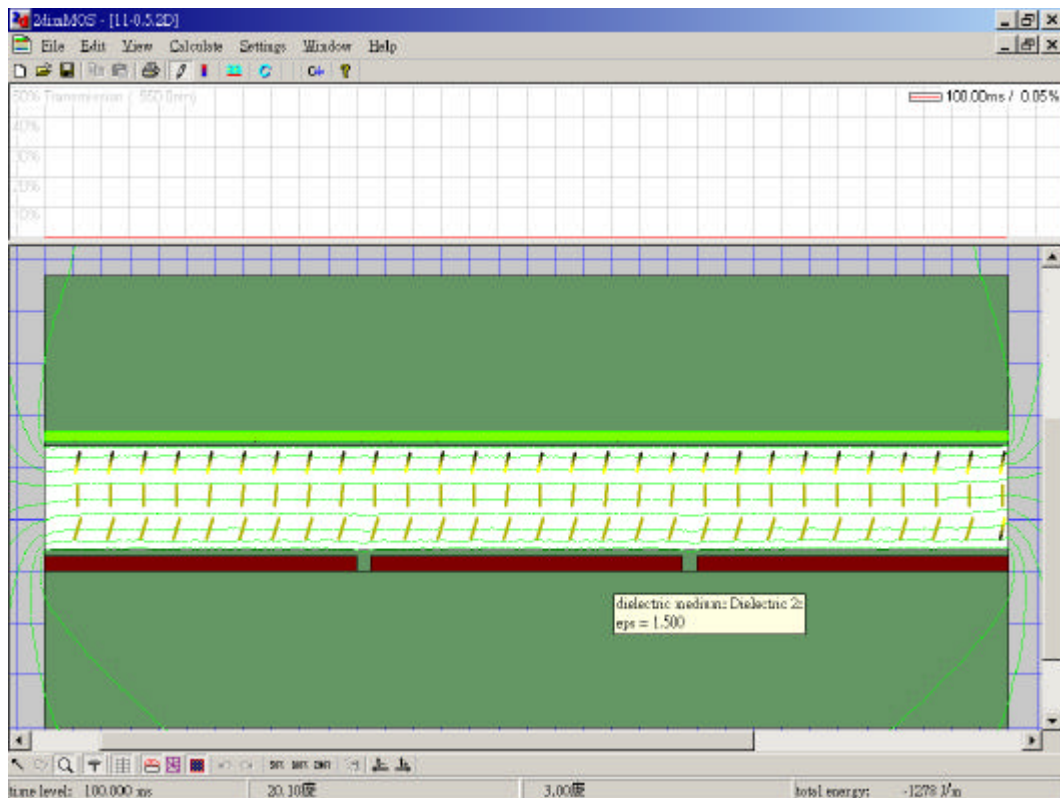


圖 6.4、畫素為全暗時，液晶指向矢的分佈圖

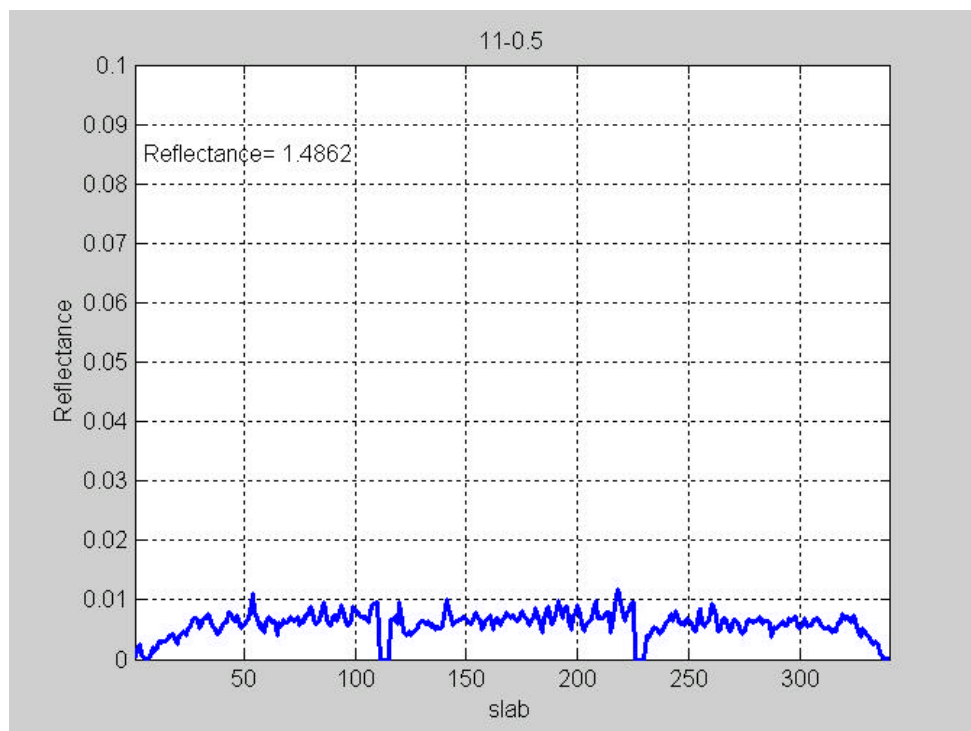


圖 6.5、畫素為全暗時的光學模擬結果

將在各個不同畫素大小及電極間距下得到的全亮態及全暗態下畫素上之平均反射率相除，即可得到對比度如圖 6.6 所示之結果，在圖中可以看出不同畫素大小及電極間距的對比度變化幅度非常小。

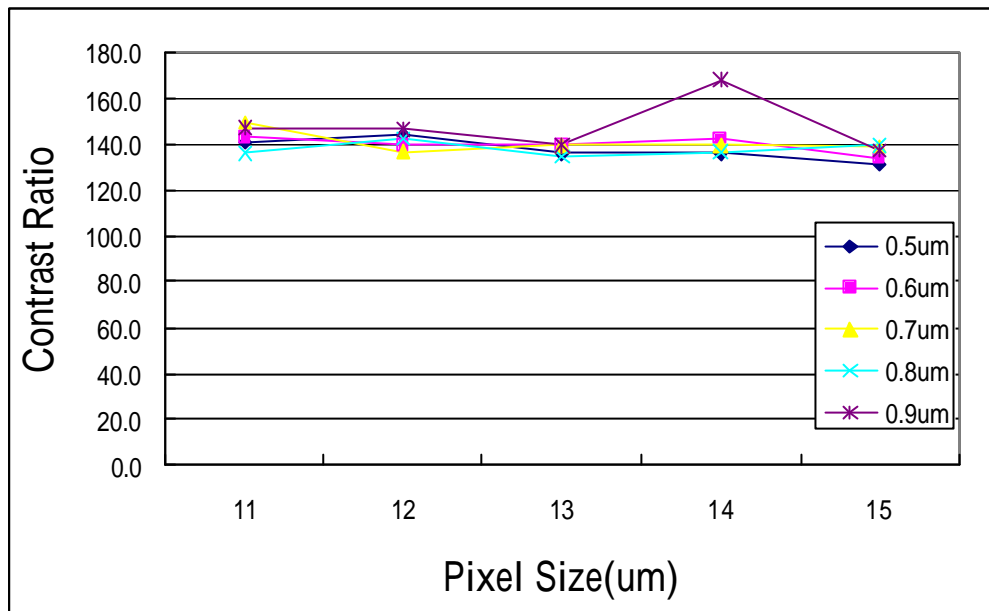


圖 6.6、畫素為全亮及全暗時之對比度

6.3.2、畫素為亮暗交替

由於一般在顯示畫面時，大部份的畫面不會是全亮或全暗，而是會有亮暗交替的畫面，因此我們也做了當畫面為亮暗交替時的模擬。

圖 6.7 為液晶指向矢 Profile 的模擬結果，我們將其中受橫向電場影響的區域放大，在圖中可以清楚地看到在暗態的液晶指向矢並非全部都為垂直，有部份的液晶分子因右左兩邊電場的方向不同而產生向錯線(Disclination Line)，因而在光學上會產生了一在暗態的亮紋。

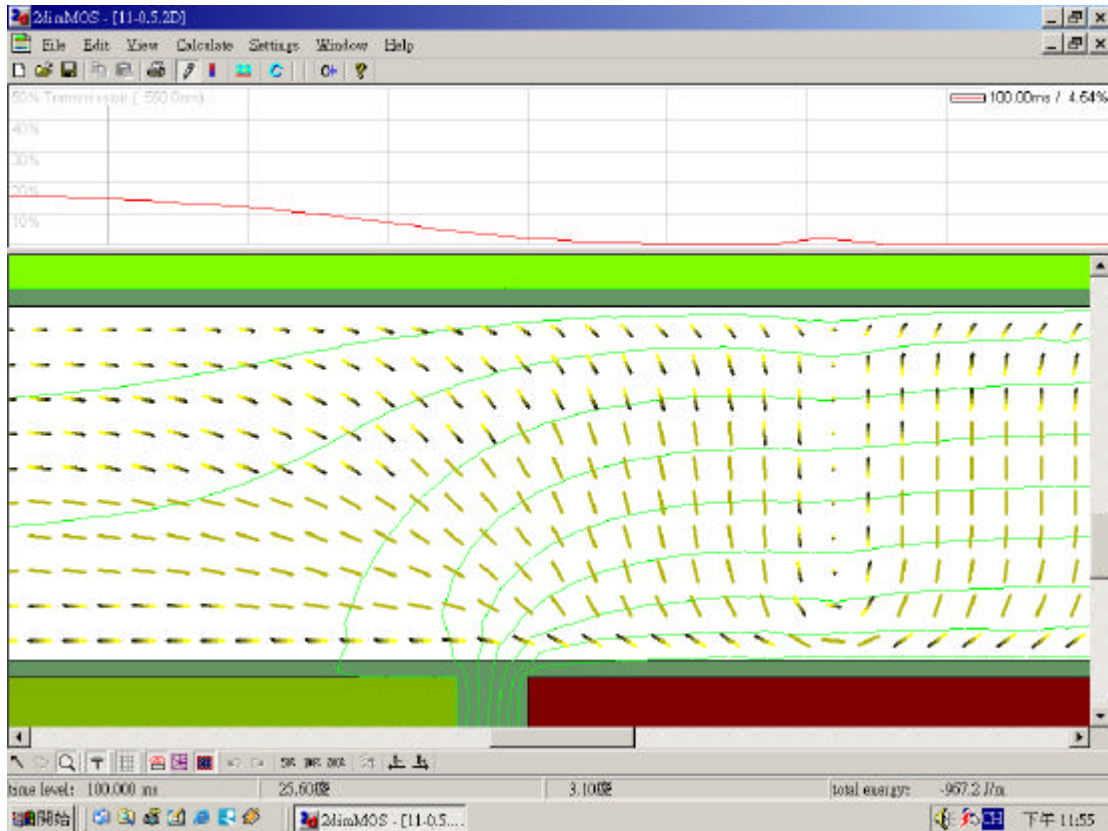


圖 6.7、畫素為亮暗交替時，液晶指向矢的分佈圖

圖 6.8 (a) ~ (d) 為畫素為亮暗交替時光學模擬的結果，在圖中可以很明顯地看到兩旁畫素的液晶分子會受到中間畫素電場的影響，尤其是右邊的畫素，由於電場的方向的不同而產生向錯線。

比較相同畫素大小但不同間距的情形時，我們發現當間距變大時，兩側畫素的暗態反射光總量由 4.244 降至 3.499，中間亮態畫素的反射光總量並沒有明顯變化，因此增加電極間距可以降低邊際場效應的影響，進而提高對比度。

比較相同間距但不同畫素大小的情形時[見圖(6.7)及(6.9)]，可以發現不但兩側暗態的反射光總量提高了(由 4.244 增加至

4.575), 中間亮態的反射光總量也提高的幅度更大(由 105.605 增加至 143.478), 因此當增加畫素大小也可以降低邊際效應的影響, 以提高對比度。

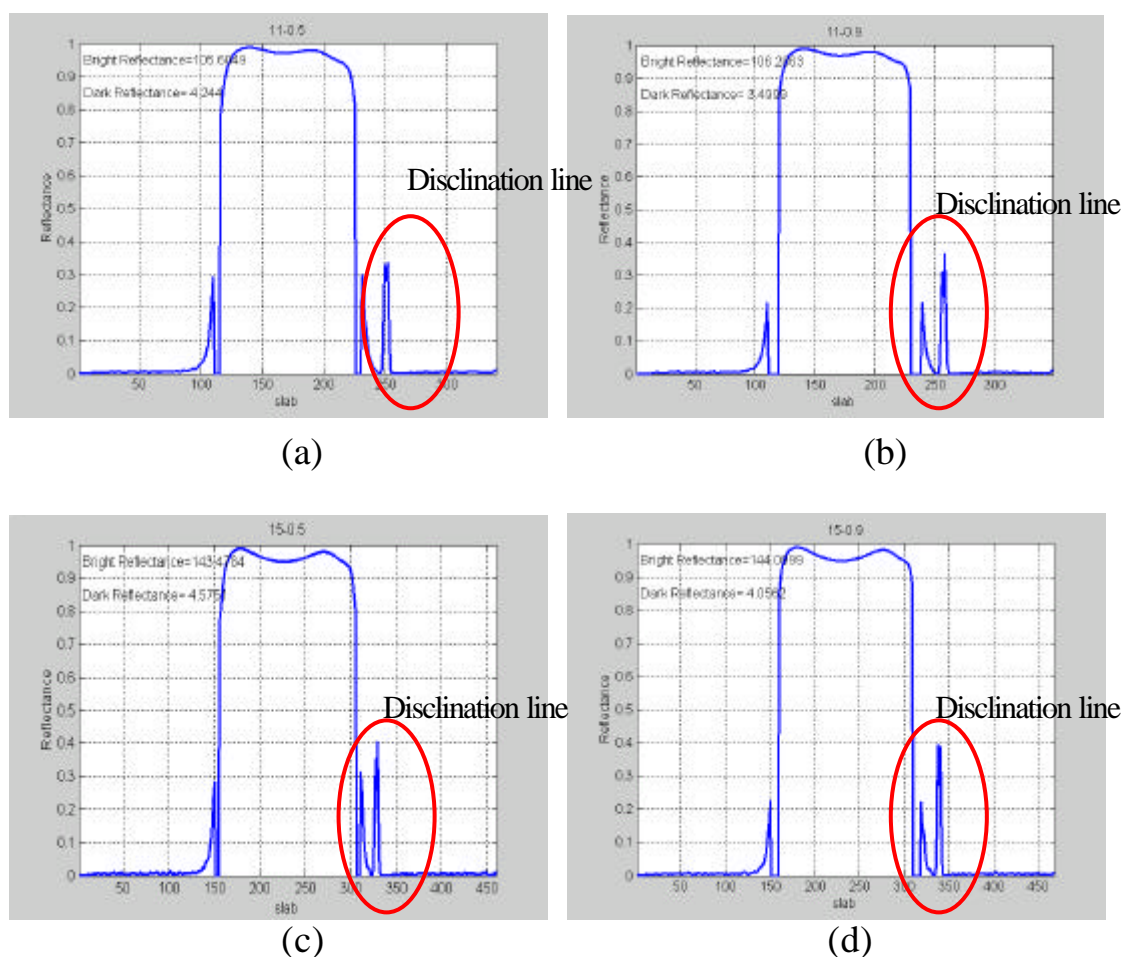


圖 6.8、不同電極間距及畫素大小時的反射率對位置圖
 (圖(a)的電極間距為 $0.5 \mu\text{m}$, 畫素大小為 $11 \mu\text{m}$;
 圖(b)的電極間距為 $0.9 \mu\text{m}$, 畫素大小為 $11 \mu\text{m}$;
 圖(c)的電極間距為 $0.5 \mu\text{m}$, 畫素大小為 $15 \mu\text{m}$;
 圖(d)的電極間距為 $0.9 \mu\text{m}$, 畫素大小為 $15 \mu\text{m}$)

圖 6.9 為我們模擬不同畫素及電極間距下的對比度結果, 在圖中可以發現所有曲線均是近乎線性地上升, 因此無論是增加畫素大小或電極間距, 均可以增加對比度。

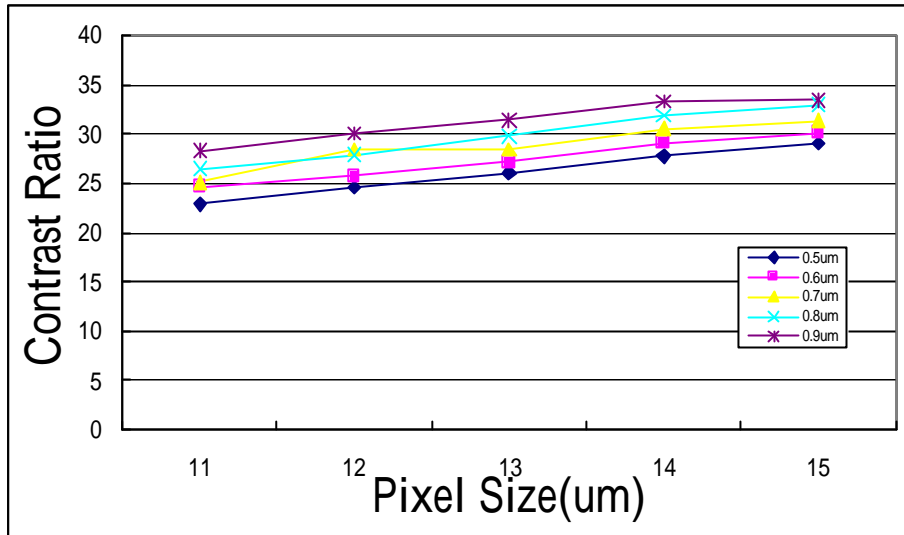


圖 6.9、畫素為亮暗交替時之對比度

6.4、實驗觀察結果與模擬結果比較與討論

雖然模擬的結果告訴我們改變畫素大小及電極間距可以降低邊際場效應的影響，進而提高對比度，但由於我們並沒有如此多的樣品，因此我們只對已有的樣品做實驗與模擬結果的比較，使用液晶材料的參數如下：

K11	K22	K33	d n	//		1
10.1	5.4	15	257	11	3.5	0.114

6.4.1、畫素為全亮或全暗

圖 6.10(a)、(b)及(c)為畫素為全亮時偏光顯微鏡觀察到的結果與模擬結果比較圖：

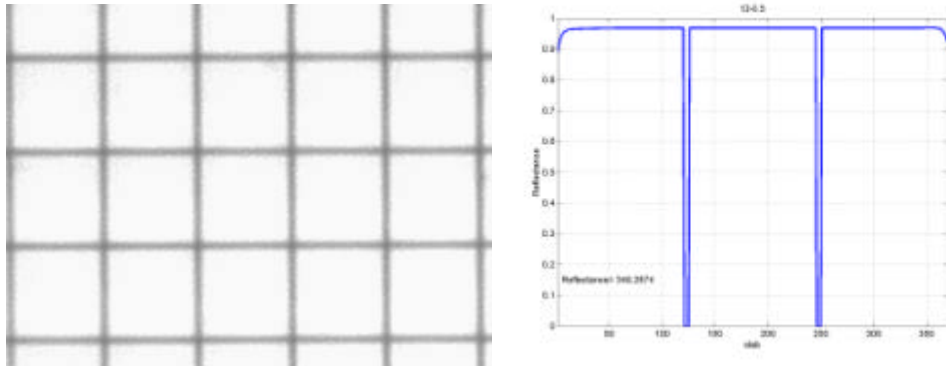


圖 6.10 (a)、畫素大小為 $12 \mu\text{m}$ ，電極間距為 $0.5 \mu\text{m}$

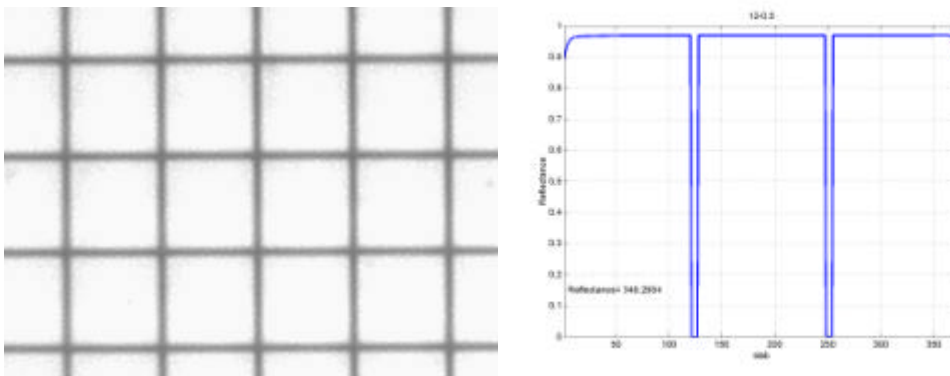


圖 6.10 (b)、畫素大小為 $12 \mu\text{m}$ ，電極間距為 $0.7 \mu\text{m}$

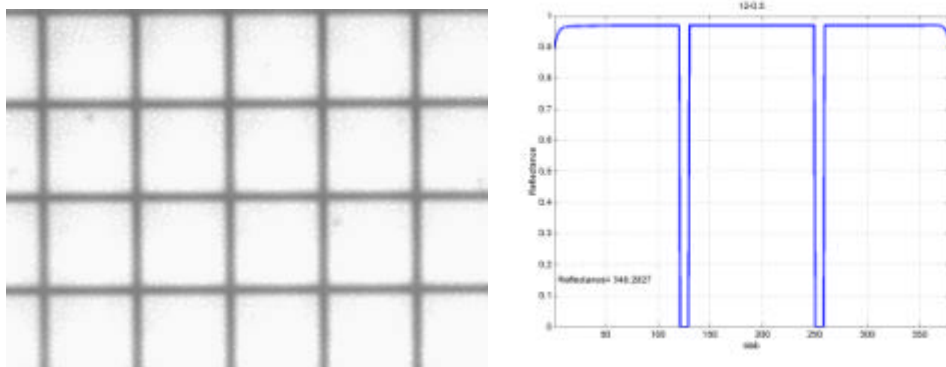


圖 6.10 (c)、畫素大小為 $12\ \mu\text{m}$ ，電極間距為 $0.9\ \mu\text{m}$

圖 6.11 為畫素全暗時偏光顯微鏡觀察到的結果與模擬結果比較圖由於畫素在全暗時，不同電極間距所觀察的結果並沒有太大的差別，因此只用電極間距為 $0.5\ \mu\text{m}$ 時圖形來表示。

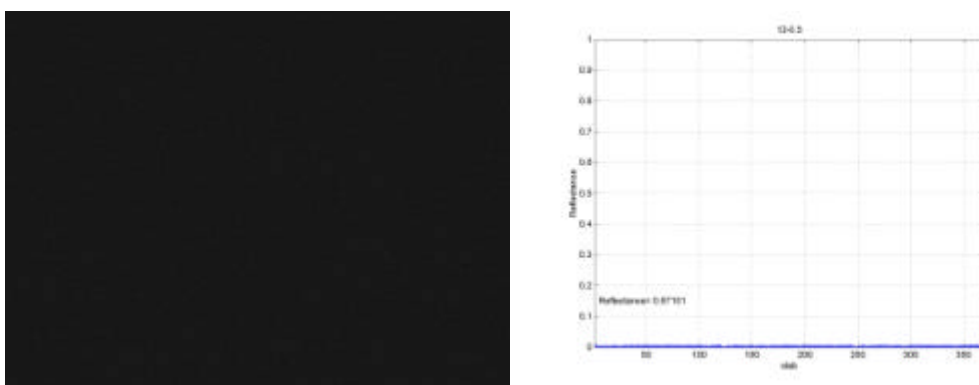


圖 6.11

6.4.2、畫素為亮暗交替

圖 6.12(a)、(b)及(c)表示了畫素為亮暗交替時，偏光顯微鏡觀察的結果與模擬結果比較圖，在模擬的結果圖中，我們可以很清楚地看到一條明線地向錯線，但在實驗的結果圖中，無論間距大小為何，都沒有發現在暗態時有明顯的亮紋。

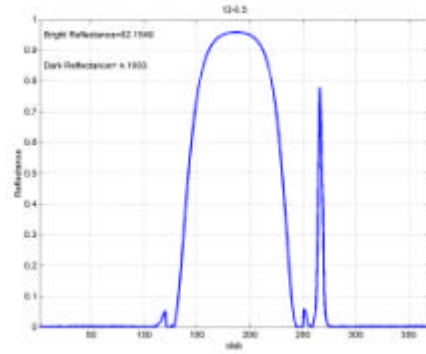
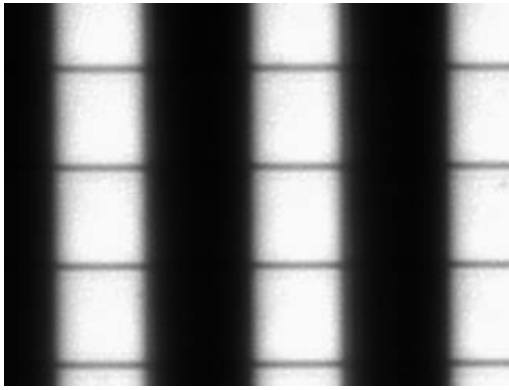


圖 6.12 (a)、 畫素大小為 $12\ \mu\text{m}$ ，電極間距為 $0.5\ \mu\text{m}$

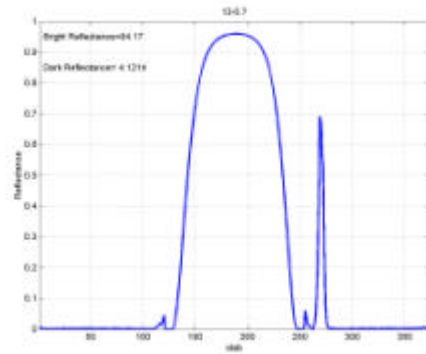
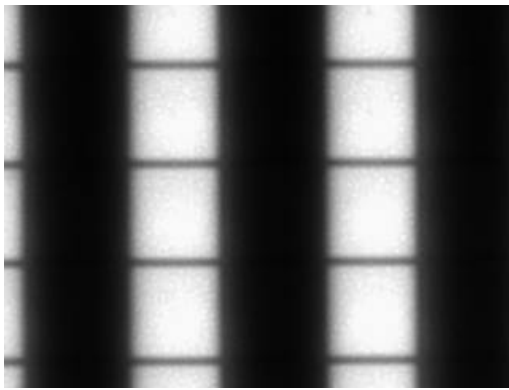


圖 6.12 (a)、 畫素大小為 $12\ \mu\text{m}$ ，電極間距為 $0.7\ \mu\text{m}$

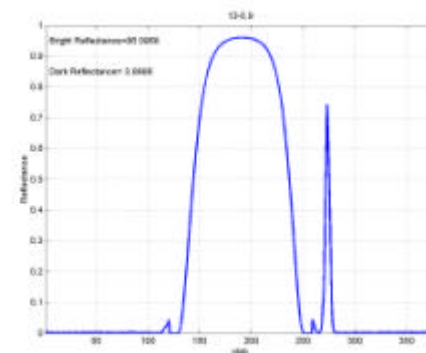
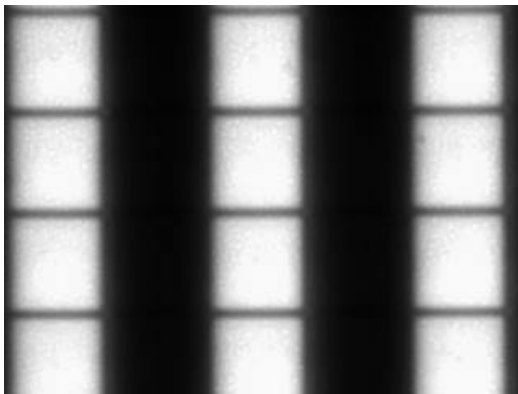


圖 6.12 (c)、 畫素大小為 $12\ \mu\text{m}$ ，電極間距為 $0.9\ \mu\text{m}$

由於模擬結果與實驗結果有很大的出入，因此我們又針對畫素大小為 $12\ \mu\text{m}$ 、電極間距為 $0.7\ \mu\text{m}$ 的畫素加不同的電壓來觀察其結果，如圖 6.13(a),(b),(c),(d)及(e)所示，當電壓為 2 伏時，可以很清楚地看到向錯線，當電壓增加時，向錯線會愈來愈細，這與模擬結果符

合，但實驗結果在高電壓時向錯線會消失，但模擬結果卻沒有這個現象，我們推論模擬結果可能只是暫態的結果，而實驗的結果為穩態的結果。

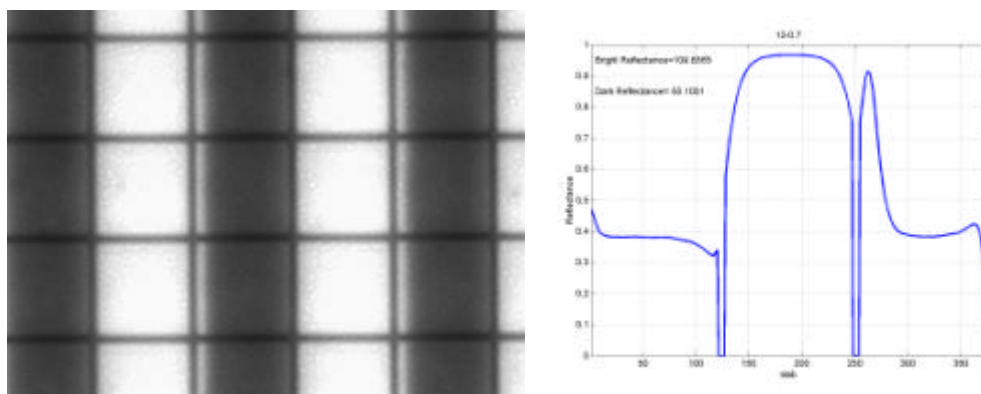


圖 6.13 (a)、電壓為 2 伏

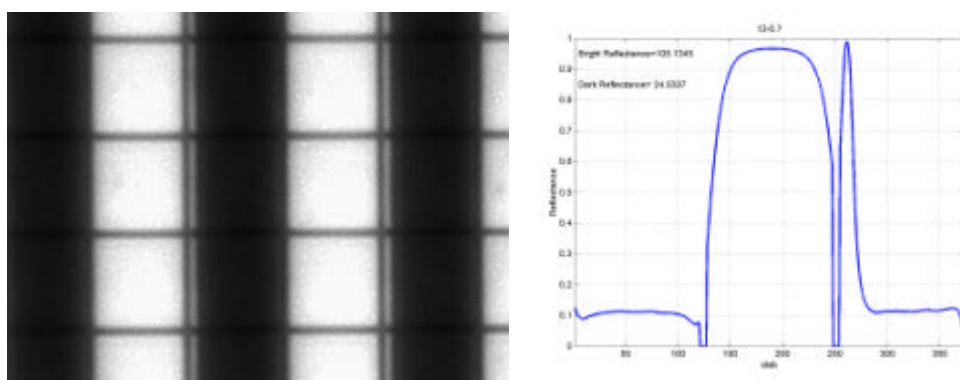


圖 6.13 (b)、電壓為 2.5 伏

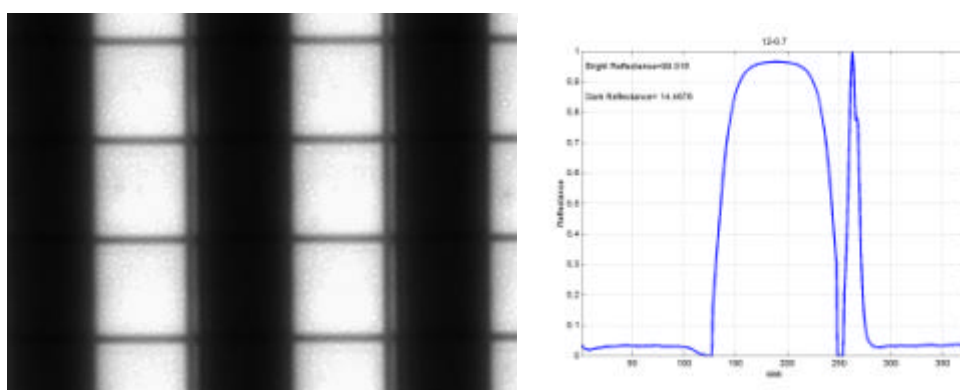


圖 6.13 (c)、電壓為 3 伏

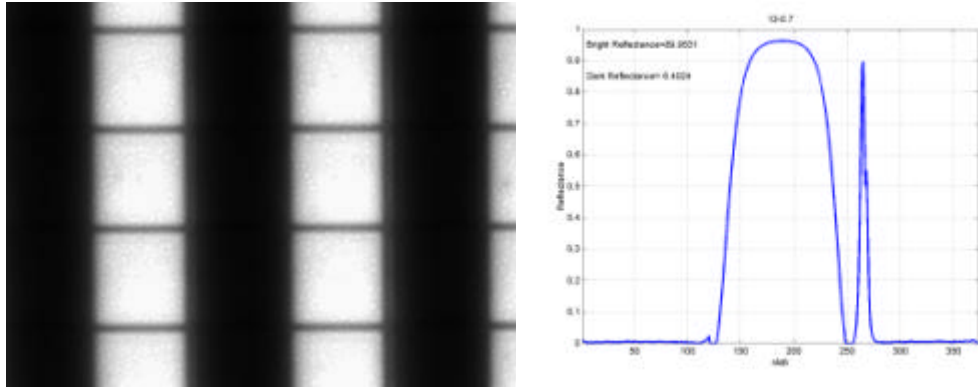


圖 6.13 (d)、電壓為 4 伏

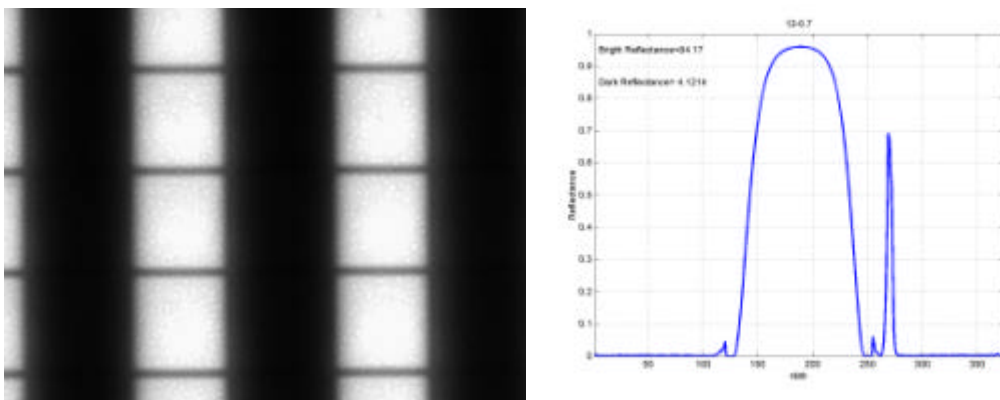


圖 6.13 (e)、電壓為 5 伏

由於模擬軟體採用 Vector Form 來計算指向矢分佈，因此當液晶分子受橫向電場影響而產生向錯線時，在向錯線附近的指向矢向量相差 180 度，但在電壓增加時，向錯線會聚集更多的能量，當能量超過一定的範圍時，會使得向錯線左右兩邊的指向矢指向相同的方向，使得向錯線消失。在實驗中，當對液晶突然施加 5 伏特的電壓時，我們可以很短暫地看到向錯線，暫態的轉變過程如圖 6.14 (a)~(g)所示之結果。

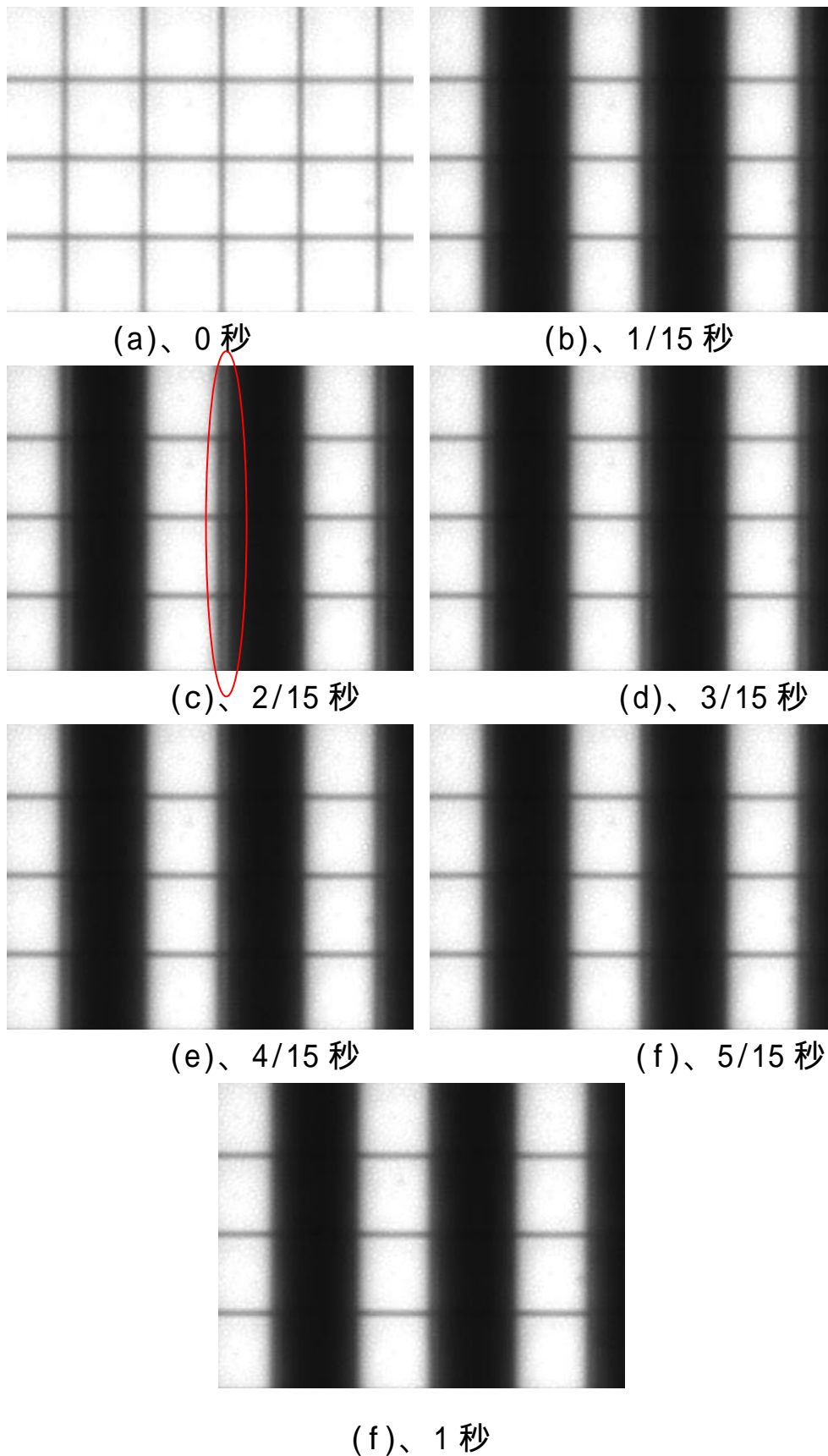


圖 6.14、實驗觀察的暫態過程