

國立臺灣大學電機資訊學院光電工程學研究所



碩士論文

Graduate Institute of Photonics and Optoelectronics  
College of Electrical Engineering and Computer Science

National Taiwan University

Master Thesis

垂直配向邊緣場效驅動液晶顯示器的反應時間之研究

Response time of vertically-aligned fringe field switching mode  
liquid crystal display

楊承祐

Cheng-Yu Yang

指導教授：蔡永傑 博士

Advisor: Wing-Kit Choi, Ph.D.

中華民國 111 年 7 月

July, 2022

## 中文摘要



延續 VAFFS (Vertical alignment fringe-field switching) 之研究，2D VAFFS 利用正型液晶達到了極快的反應速度，3D VAFFS 則可利用負型液晶達到高穿透率，缺點為拉長電壓週期後造成兩步驟轉動 (Two-step process)，虛擬牆將會消失而使反應速度下降，以往研究中發現改變電極圖案設計可以延長虛擬牆存在時間，擁有高穿透率，改善兩步驟轉動的影響，並對其中的機制加以說明。

此論文則提出限制電壓週期的觀點，希望有足夠時間施加電壓，驅使液晶達到高穿透率，並在兩步驟轉動發生前就歸零電壓，這項方法得到了不錯的穿透率與很短的反應時間，並能再縮小電極尺寸，得到更短的反應時間。

3D VAFFS<sub>com</sub> 則是在上方加入一整片共用電極，使得我們在原有的水平方向電場基礎上多加入垂直方向電場，除了使用負型液晶模擬外，也利用正型液晶模擬，兩者會有完全相反的影響，能幫助我們對於 3D VAFFS<sub>com</sub> 的實際效果有更深入的認識。

**關鍵字：**快速響應時間、三維電極結構、垂直配向邊緣場效驅動、轉動機制、虛擬牆

## Abstract



Continuing the study of VAFFS in which liquid crystals with positive anisotropy were used in 2D VAFFS to achieve fast response time, liquid crystals with negative anisotropy have also been used in 3D VAFFS to reach higher transmittance. However, in the case of 3D VAFFS, a two-step process may occur after we lengthen the applied voltage period. As a result, the virtual wall can disappear that makes response speed slower. In the previous study, it has been found by changing the pattern design of electrode we could extend the existence of virtual walls. This finding not only has high transmittance but also improves the effect of two-step process and explains the mechanism in it.

This paper proposes the idea of limiting the applied voltage period. We hope there will be enough time to apply voltage, to drive the liquid crystal to reach high transmittance, and to return the voltage to zero before a two-step process occurs. In this way, we can obtain good transmittance, fast response time, and reduce the electrode size to reach faster response time. 3D VAFFS<sub>com</sub> design is to add a whole piece of common electrode at the top. It will add vertical electric field to the existing horizontal electric fields. In addition to using liquid crystals with negative anisotropy in simulations, we here also use liquid crystals with positive anisotropy. These two designs can have completely opposite effect that can help us understand more about the design of 3D VAFFS<sub>com</sub>.

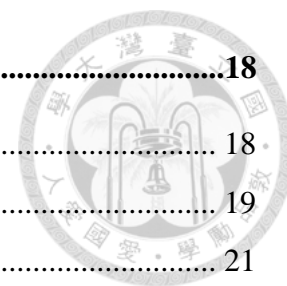
**Keywords :** Fast response time, three-dimensional electrode, vertically aligned fringe field switching, switching mechanism, virtual walls

# 目錄



中文摘要 .....	ii
Abstract .....	iii
目錄 .....	iv
圖目錄 .....	vi
表目錄 .....	x
<b>第一章 簡介 .....</b>	<b>1</b>
1.1 液晶簡介 .....	1
1.1.1 液晶相態 .....	1
1.1.2 液晶的介電異向性 .....	1
1.1.3 液晶的雙折射性 .....	2
1.2 液晶顯示器技術簡介 .....	3
<b>第二章 文獻回顧與研究動機 .....</b>	<b>5</b>
2.1 二維垂直配向邊緣場效驅動 .....	5
2.2 三維垂直配向邊緣場效驅動 .....	6
2.3 研究動機 .....	9
<b>第三章 模擬軟體介紹與參數設定 .....</b>	<b>10</b>
3.1 TechWiz LCD 3D 軟體介紹 .....	10
3.2 參數設定 .....	11
3.3 TechWiz layout .....	12
3.4 網格設定 .....	14
3.5 電壓設定 .....	14
3.5.1 V-T 圖 .....	15
3.5.2 t-T 圖 .....	15
3.6 液晶配向參數 .....	16
3.7 光學分析設定 .....	16

<b>第四章</b>	<b>結果與討論</b> .....	<b>18</b>
4.1	電壓週期與兩步驟轉動.....	18
4.1.1	兩步驟轉動.....	19
4.1.2	控制電壓週期.....	21
4.2	小線寬 3D VAFFS 結構.....	23
4.2.1	反應時間與操作電壓.....	24
4.2.2	穿透率.....	26
4.2.3	比較.....	27
4.3	UCF-N6 液晶於 3D VAFFS 之表現.....	28
4.3.1	UCF-N6 液晶性質.....	28
4.3.2	操作電壓與穿透率.....	29
4.3.3	反應時間.....	31
4.3.4	比較.....	33
4.4	3D VAFFS 與 3D VAFFS <sub>com</sub> 之比較.....	34
4.4.1	3D VAFFS <sub>com</sub> 原理與機制.....	34
4.4.2	操作電壓與穿透率.....	37
4.4.3	反應時間.....	39
4.4.4	比較.....	40
4.5	正型液晶應用於 3D VAFFS <sub>com</sub> .....	41
4.5.1	正型液晶性質.....	41
4.5.2	操作電壓與穿透率.....	42
4.5.3	反應時間.....	45
4.5.4	比較.....	48
<b>第五章</b>	<b>結論</b> .....	<b>49</b>
	<b>參考資料</b> .....	<b>50</b>



# 圖目錄



圖 1-1 液晶的三種彈性係數.....	1
圖 1-2 正型及負型液晶在電場中的排列方向.....	2
圖 1-3 入射光非正向打入液晶分子示意圖.....	3
圖 1-4 IPS 的操作模式與失效區 (a) 側視圖 (b) 俯視圖.....	4
圖 1-5 電場等位線 (a) IPS (b) FFS[12].....	4
圖 2-1 VAFFS 結構示意圖.....	5
圖 2-2 負型液晶應用於 2D VAFFS 發生兩步驟轉動示意圖 (a) 正型液晶 於 5 ms (b) 負型液晶於 3 ms (c) 負型液晶於 7 ms (d) 負型液晶於 30 ms [17].....	6
圖 2-3 3D VAFFS 結構示意圖.....	7
圖 2-4 虛擬牆在不同時間段下的移動與結合 (a) 30 ms (b) 150 ms (c) 300 ms (d) 400 ms (e) 450 ms [18].....	7
圖 2-5 電極圖案設計示意圖 (a) 菱形電極 (b) 孔洞圖案電極.....	8
圖 2-6 虛擬牆命名.....	8
圖 3-1 TechWiz LCD 3D 使用流程示意圖.....	10
圖 3-2 液晶盒結構截面示意圖 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS_com.....	13
圖 3-3 3D VAFFS 電極結構圖 (a) 側面 (b) 俯視.....	13
圖 3-4 液晶盒各層厚度及順序設定 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS_com .	13
圖 3-5 時間間隔及資料輸出間隔.....	15
圖 3-6 V-T 測量設定.....	15
圖 3-7 t-T 測量設定.....	16
圖 3-8 軟體內所顯示的方波信號.....	16
圖 3-9 液晶配向設定.....	16
圖 3-10 光學結構堆疊順序.....	17

圖 3- 11 光學結構示意圖 .....	17
圖 4- 1 3D VAFFS 畫素電極(w)及電極間隔寬度(g)皆為 2 $\mu\text{m}$ V-T 圖 ...	18
圖 4- 2 3D VAFFS 畫素電極(w)及電極間隔(g)寬度皆為 2 $\mu\text{m}$ 穿透亮度圖 (a) 14 V (b) 20 V .....	19
圖 4- 3 維持電壓不同時間後的虛擬牆移動情形 (a) 10 ms (b) 30 ms (c) 50 ms .....	20
圖 4- 4 距下基板 0.1 $\mu\text{m}$ 液晶層水平截面圖 (a) 10 ms (b) 90 ms.....	20
圖 4- 5 $w = 2 \mu\text{m}$ , $g = 2 \mu\text{m}$ 畫素電極上的垂直截面 ( $x = 6 \mu\text{m}$ ).....	21
圖 4- 6 液晶層垂直截面圖 (a) 10 ms (b) 50 ms (c) 90 ms .....	21
圖 4- 7 電壓週期從 10 ms 到 90 ms (a) t-T 圖 (b) 反應時間趨勢圖.....	22
圖 4- 8 穿透亮度圖 (a) $w = 2 \mu\text{m}$ $g = 2 \mu\text{m}$ , 10 ms (b) $w = 3 \mu\text{m}$ $g = 3 \mu\text{m}$ , 10 ms .....	23
圖 4- 9 穿透亮度圖 (a) $w = 2 \mu\text{m}$ $g = 2 \mu\text{m}$ , 20 ms (b) $w = 3 \mu\text{m}$ $g = 3 \mu\text{m}$ , 20 ms .....	23
圖 4- 10 3D VAFFS V-T 圖 (a) $w = 2 \mu\text{m}$ (b) $w = 3 \mu\text{m}$ .....	24
圖 4- 11 固定畫素電極寬度(w)、改變電極間隔(g)，觀察反應時間變化	25
圖 4- 12 3D VAFFS 中存在的 2D VAFFS 結構，當畫素電極寬度(w)越小， 此結構密度越高，虛擬牆密度亦越高 .....	25
圖 4- 13 3D VAFFS 電場方向分布圖 .....	26
圖 4- 14 (a) $w = 2 \mu\text{m}$ 及 (b) $w = 3 \mu\text{m}$ 下，改變不同的 g，得到 t-T 圖 ...	27
圖 4- 15 (a) nE7 參數 (b) UCF-N6 參數 .....	28
圖 4- 16 nE7 與 UCF-N6， $w = 2 \mu\text{m}$ $g = 2 \mu\text{m}$ ，V-T 圖 .....	29
圖 4- 17 畫素電極寬度(w)固定為 2 $\mu\text{m}$ ，距離下基板 0.6 $\mu\text{m}$ 液晶層水平 切面電場分布圖 (a) $g = 3 \mu\text{m}$ (b) $g = 6 \mu\text{m}$ .....	30
圖 4- 18 (a) UCF-N6 固定 $w = 2 \mu\text{m}$ V-T 圖 (b) nE7 固定 $w = 2 \mu\text{m}$ V-T 圖 .....	30
圖 4- 19 3D VAFFS 穿透亮度圖 (a) $w = 2 \mu\text{m}$ $g = 3 \mu\text{m}$ (b) $w = 2 \mu\text{m}$ $g$ $= 6 \mu\text{m}$ .....	31
圖 4- 20 畫素電極寬度為 2 $\mu\text{m}$ 反應時間趨勢圖 (a) UCF-N6 (b) nE7.....	32

圖 4- 21 nE7 與 UCF-N6 的 t-T 圖 .....	32
圖 4- 22 $w = 2 \mu\text{m}$ $g = 3 \mu\text{m}$ 畫素電極及電極間隔上的垂直截面( $x = 5 \mu\text{m}$ ) .....	34
圖 4- 23 3D VAFFS 垂直截面電場方向 .....	35
圖 4- 24 3D VAFFS 電場大小 (a) 畫素電極上方電場 (b) 畫素電極間隔上 方電場 .....	35
圖 4- 25 3D VAFFS 液晶層垂直截面方向 .....	35
圖 4- 26 3D VAFFS_com 垂直截面電場方向 .....	36
圖 4- 27 3D VAFFS_com 電場大小 (a) 畫素電極上方電場 (b) 畫素電極 間隔上方電場 .....	36
圖 4- 28 3D VAFFS_com 液晶層垂直截面方向 .....	37
圖 4- 29 穿透亮度圖 (a) 3D VAFFS_com (b) 3D VAFFS .....	37
圖 4- 30 UCF-N6 在不同結構的 V-T 圖 (a) 3D VAFFS_com (b) 3D VAFFS .....	38
圖 4- 31 UCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度( $w$ )為 $2 \mu\text{m}$ ，改變電極 間隔( $g$ )之 t-T 圖 (a) 3D VAFFS_com (b) 3D VAFFS .....	39
圖 4- 32 UCF-N6 於不同結構的反應時間趨勢圖 (a) 3D VAFFS_com (b) 3D VAFFS .....	40
圖 4- 33 正負型液晶參數 (a) pUCF-N6 (b) UCF-N6.....	41
圖 4- 34 pUCF-N6 於 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS_com 之畫素電極寬度 ( $w$ )為 $2 \mu\text{m}$ V-T 圖 .....	42
圖 4- 35 pUCF-N6 於 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS_com 之畫素電極寬度 ( $w$ )為 $3 \mu\text{m}$ V-T 圖 .....	43
圖 4- 36 pUCF-N6 於 3D VAFFS，畫素電極寬度( $w$ )為 $2 \mu\text{m}$ ，電極間隔( $g$ ) 為 (a) $3 \mu\text{m}$ (b) $4 \mu\text{m}$ (c) $5 \mu\text{m}$ (d) $6 \mu\text{m}$ 之穿透亮度圖.....	43
圖 4- 37 pUCF-N6 於 3D VAFFS，畫素電極寬度( $w$ )為 $2 \mu\text{m}$ 、電極間隔( $g$ ) 為 $3 \mu\text{m}$ 之液晶層轉動示意圖( $x = 5 \mu\text{m}$ ).....	44
圖 4- 38 pUCF-N6 於 3D VAFFS_com，畫素電極寬度( $w$ )為 $2 \mu\text{m}$ ，電極間 隔( $g$ )為 (a) $3 \mu\text{m}$ (b) $4 \mu\text{m}$ (c) $5 \mu\text{m}$ (d) $6 \mu\text{m}$ 之穿透亮度圖 ....	44



圖 4-39 pUCF-N6 於 3D VAFFS_com，畫素電極寬度(w)為 2 $\mu\text{m}$ 、電極間隔(g)為 3 $\mu\text{m}$ 之液晶層轉動示意圖(x = 5 $\mu\text{m}$ ).....	45
圖 4-40 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 2 $\mu\text{m}$ ，改變電極間隔(g)之 t-T 圖 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS_com.....	46
圖 4-41 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 3 $\mu\text{m}$ ，改變電極間隔(g)之 t-T 圖 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS_com.....	46
圖 4-42 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 2 $\mu\text{m}$ ，不同電極間隔(g)的反應時間 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS_com.....	47
圖 4-43 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 3 $\mu\text{m}$ ，不同電極間隔(g)的反應時間 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS_com.....	47

## 表目錄



表 3-1 液晶材料參數.....	11
表 3-2 絕緣層材料參數.....	11
表 3-3 電極材料參數.....	12
表 3-4 偏振片材料參數.....	12
表 3-5 波板材料參數.....	12
表 3-6 網格設定.....	14
表 4-1 10~90 ms 反應時間.....	22
表 4-2 $w = 2 \mu\text{m}$ 及 $w = 3 \mu\text{m}$ 下，改變不同的 $g$ ，觀察其反應時間與操作電壓.....	24
表 4-3 畫素電極寬度( $w$ )為 $3 \mu\text{m}$ 與寬度為 $2 \mu\text{m}$ 的比較表，暫時忽略上升時間因此標示為斜線，標示為○是優點.....	27
表 4-4 畫素電極寬度( $w$ )為 $2 \mu\text{m}$ ，UCF-N6 與 nE7 於不同電極間隔( $g$ )的比較表.....	32
表 4-5 UCF-N6 與 nE7 比較表.....	33
表 4-6 UCF-N6 於不同結構的反應時間及電壓.....	39
表 4-7 UCF-N6 應用在不同結構的比較表.....	40
表 4-8 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度( $w$ )為 $2 \mu\text{m}$ ，不同電極間隔( $g$ )的反應時間及電壓.....	46
表 4-9 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度( $w$ )為 $3 \mu\text{m}$ ，不同電極間隔( $g$ )的反應時間及操作電壓.....	47
表 4-10 pUCF-N6 應用在不同結構的比較表.....	48
表 4-11 不同結構優點於正型與負型液晶的比較表.....	48



# 第一章 簡介

## 1.1 液晶簡介

### 1.1.1 液晶相態

一般來說，物質透過溫度改變分子間鍵結與排列，擁有固態、液態與氣態，液晶態則是介於固態與液態之間的特別相態，具有固態的光學晶體特性及液態的流體特性，施加電場可以透過流體特性改變液晶排列並利用光學晶體特性折射光線。液晶排列方式主要受到彈性係數影響，分別為 Splay( $K_{11}$ )、Twist( $K_{22}$ )及 Bend( $K_{33}$ )[1]，三種係數將互相作用，以儲存最小自由能之型式，形成完整的液晶排列。

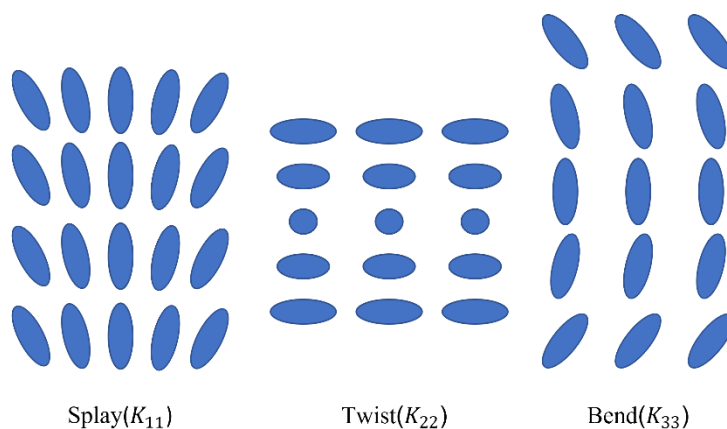


圖 1-1 液晶的三種彈性係數

### 1.1.2 液晶的介電異向性

液晶分子具備極性，通常為棒狀分子，介電常數常用來量化液晶分子感應電場的能力，較高介電常數的極化軸為長軸，長軸的介電常數標示為 $\epsilon_{\parallel}$ ；具有較低介電常數的極化軸為短軸，短軸的介電常數標示為 $\epsilon_{\perp}$ ，介電異向性定義為 $\Delta\epsilon = \epsilon_{\parallel} - \epsilon_{\perp}$ 。介電異向性數值為正，代表 $\epsilon_{\parallel} > \epsilon_{\perp}$ ，液晶長軸會與電場方向同向，擁有此種特性的



液晶被稱為正型液晶(Positive liquid crystal)；介電異向性數值為負，代表 $\epsilon_{\parallel} < \epsilon_{\perp}$ ，液晶長軸會垂直電場方向排列，擁有此種特性的液晶被稱為負型液晶(Negative liquid crystal)。

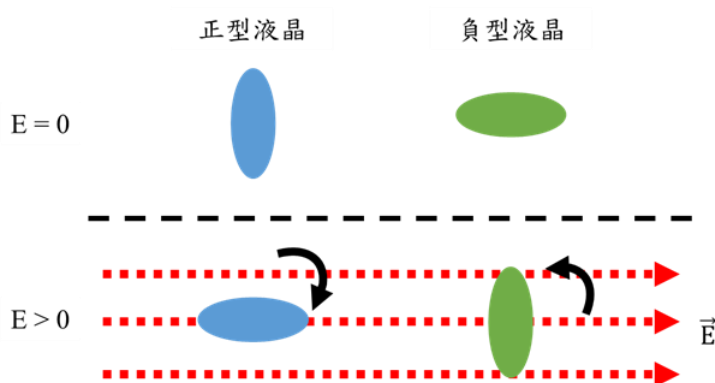


圖 1-2 正型及負型液晶在電場中的排列方向

### 1.1.3 液晶的雙折射性

液晶分子長軸與短軸極化強度不同，能改變電磁波在其中傳遞時的相位，而對光波的影響則定義為折射率，長軸亦稱導軸或光軸，極化強度較強、折射率較高，定義為非尋常光折射率( $n_e$ )；短軸極化強度較弱、折射率較低，定義為尋常光折射率( $n_o$ )，兩者的差值 $\Delta n = n_e - n_o$ ，稱為雙折射性，是液晶改變光相位的能力。

一般情況下，入射光不一定會正向的進入液晶，而是與光軸有一定的夾角，如圖 1-3 所示，此時並不能單純考慮 $n_e$ 及 $n_o$ 大小，而是需要將入射光與光軸的夾角 $\theta$ 一併考慮，寫成(1-1)式[2]，此結果被稱為等效折射率( $n_{eff}$ )。

$$n_{eff} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\cos^2 \theta}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \theta}{n_e^2}}} \quad (1-1)$$

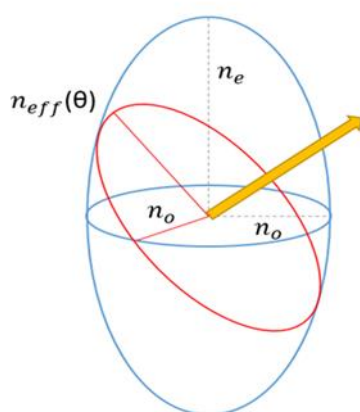


圖 1-3 入射光非正向打入液晶分子示意圖

## 1.2 液晶顯示器技術簡介

過去數十年，有許多的顯示器推陳出新，其中液晶顯示器擁有體積小、重量輕及壽命長的優點，至今仍被廣泛應用，面對新型顯示器像是有機發光二極體顯示器的崛起[3]，液晶顯示器必須追求更快的反應速度、更高的穿透率、更低的操作電壓及更廣的視角。

回顧液晶顯示器的發展歷史，從 1971 年開始，扭轉向列型(Twisted Nematic, TN)[4]、超扭轉向列型(Super-twisted nematic, STN)[5]接連被發明出來，雖然擁有良好穿透率及低操作電壓，但缺點是視角過窄，因此又推出新的驅動模式，例如：MVA(Multi-domain vertical alignment)[6][7]、PVA(Patterned vertical alignment)[8][9]、IPS(In-plane switching)[10][11]，具有更廣視角的液晶顯示技術。

IPS 雖然改善了視角問題，缺點卻是穿透率較低，原因出自於其操作模式，依靠電極間的水平電場控制液晶，垂直電極的電場無法轉動液晶而在電極上方形成暗區，此區域被稱為失效區(Deadzone)。

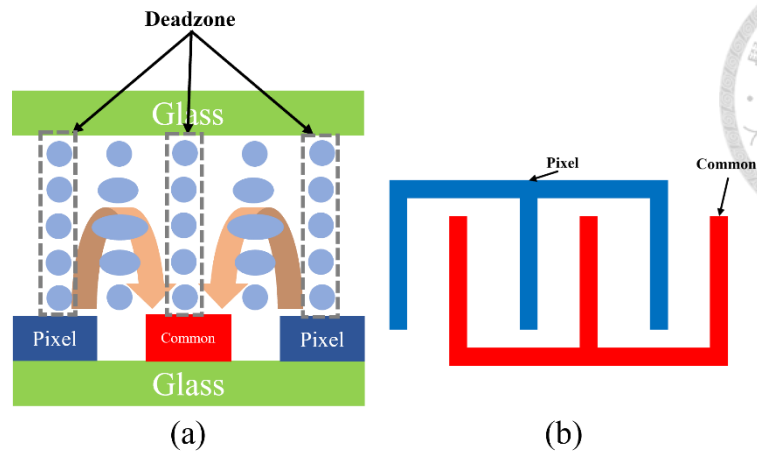


圖 1- 4 IPS 的操作模式與失效區 (a) 側視圖 (b) 俯視圖

為了解決 IPS 低穿透率的同時也要維持廣視角，FFS(Fringe-field switching)操作模式被提出，與 IPS 最大的不同在於 FFS 不存在失效區，也就沒有暗區產生。

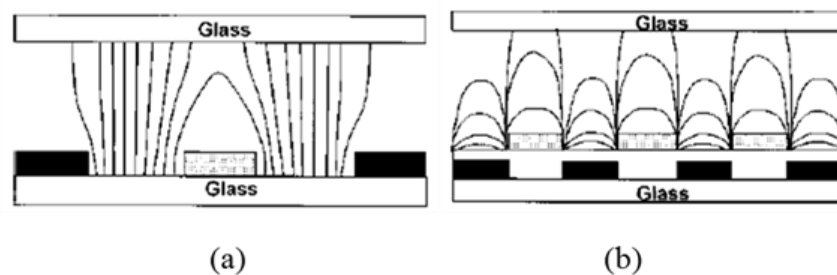


圖 1- 5 電場等位線 (a) IPS (b) FFS[12]

至今為止，FFS 的改良仍在進行，幫助其具有更快的反應速度、更低的操作電壓及更高的穿透率[13][14][15]。



## 第二章 文獻回顧與研究動機

### 2.1 二維垂直配向邊緣場效驅動

垂直配向邊緣場效驅動(VAFFS) 是一種邊緣場效驅動(FFS)的模式，具有高穿透率與高反應速度[16]，最大的優勢在於不需要薄液晶層就能達到極快的回復時間(Fall time)，操作在極低的電壓且穩定性高。

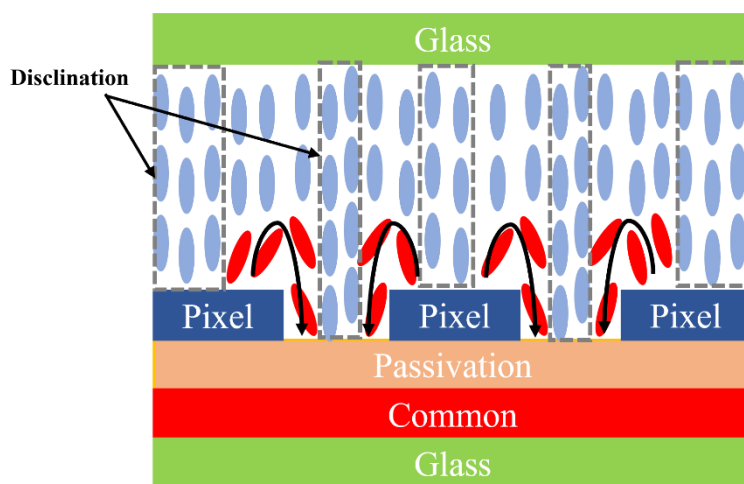


圖 2- 1 VAFFS 結構示意圖

VAFFS 將正型液晶以垂直基板的方式配向，為二維電極結構，朝 x 方向分佈的條狀畫素電極(Pixel)放置在以絕緣層隔絕的共用電極(Common)上方，施加電壓時，電場分佈於畫素電極邊緣促使正型液晶轉動，此時將在電極上方及間隔中間產生不連續點(Disclination)，我們稱之為虛擬牆(Virtual wall)，虛擬牆的產生讓 VAFFS 具有達到次毫秒級的反應速度。



## 2.2 三維垂直配向邊緣場效驅動

負型液晶具有高穿透率，然而應用於 2D VAFFS 時卻發生問題，負型液晶導軸與電場方向垂直，隨電場持續時間拉長，負型液晶的導軸方向改變，稱為兩步驟轉動(Two step process)。

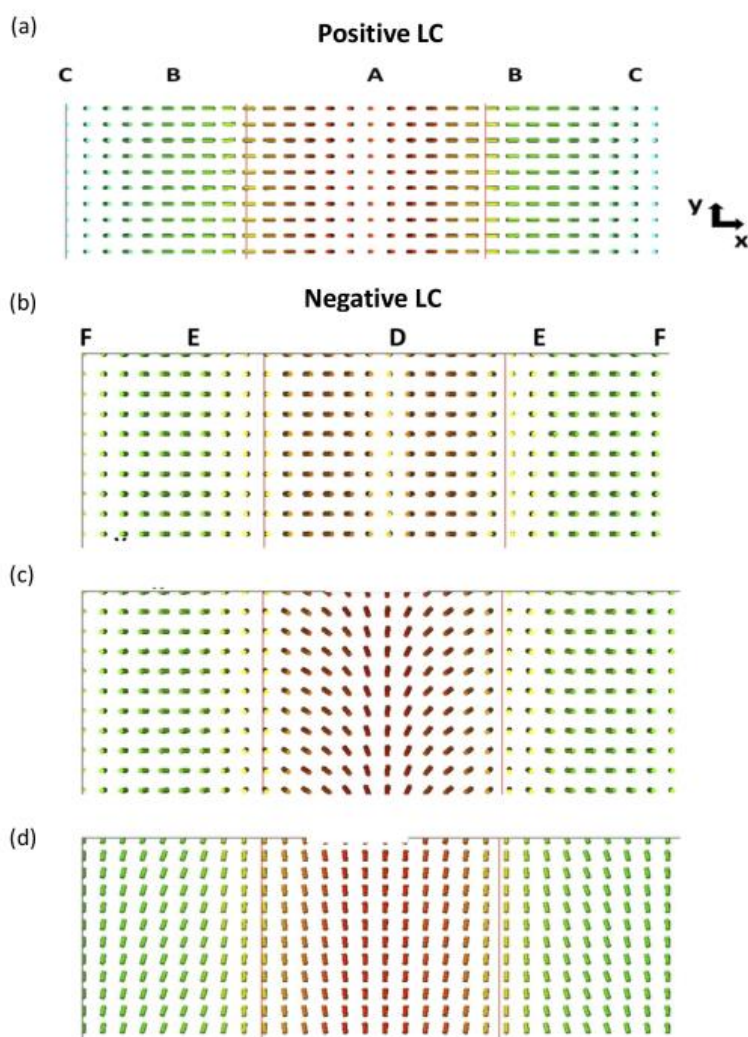
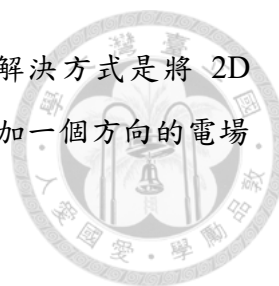


圖 2-2 負型液晶應用於 2D VAFFS 發生兩步驟轉動示意圖 (a) 正型液晶於 5 ms  
(b) 負型液晶於 3 ms (c) 負型液晶於 7 ms (d) 負型液晶於 30 ms [17]





兩步驟轉動的發生及虛擬牆的消失造成反應速度下降，解決方式是將 2D VAFFS 改良成三維垂直配向邊緣場效驅動(3D VAFFS)，透過增加一個方向的電場控制負型液晶的轉動。

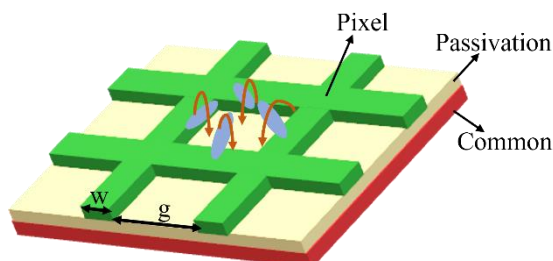


圖 2- 3 3D VAFFS 結構示意圖

過去的研究[18]中提到當畫素電極間隔小於  $10\ \mu\text{m}$ 且電壓持續時間大於  $100\ \text{ms}$ 時，畫素電極上方的虛擬牆會有明顯的位移，最後與其他虛擬牆結合並消失。

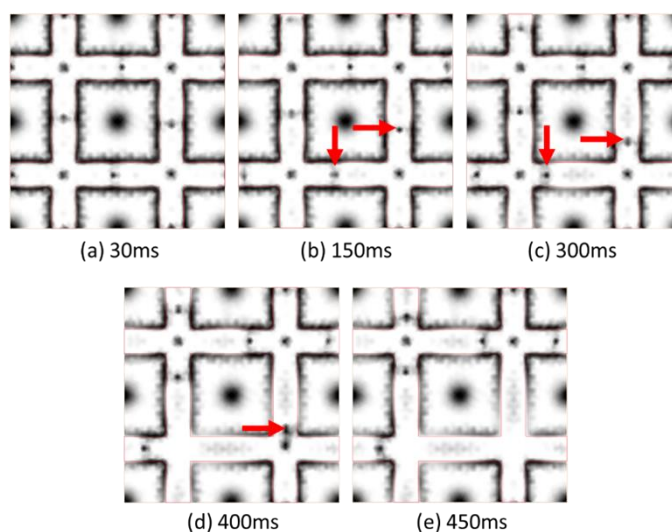


圖 2- 4 虛擬牆在不同時間段下的移動與結合 (a) 30 ms (b) 150 ms (c) 300 ms (d) 400 ms (e) 450 ms [18]

為了解決虛擬牆位移的問題，過去的論文提出菱形電極(Diamond shape)與孔洞圖案電極(Hole pattern)等改變電極圖案的方法，希望透過破壞 3D VAFFS 中類似 2D VAFFS 的結構避免兩步驟轉動的發生，以此延長虛擬牆的存在時間。

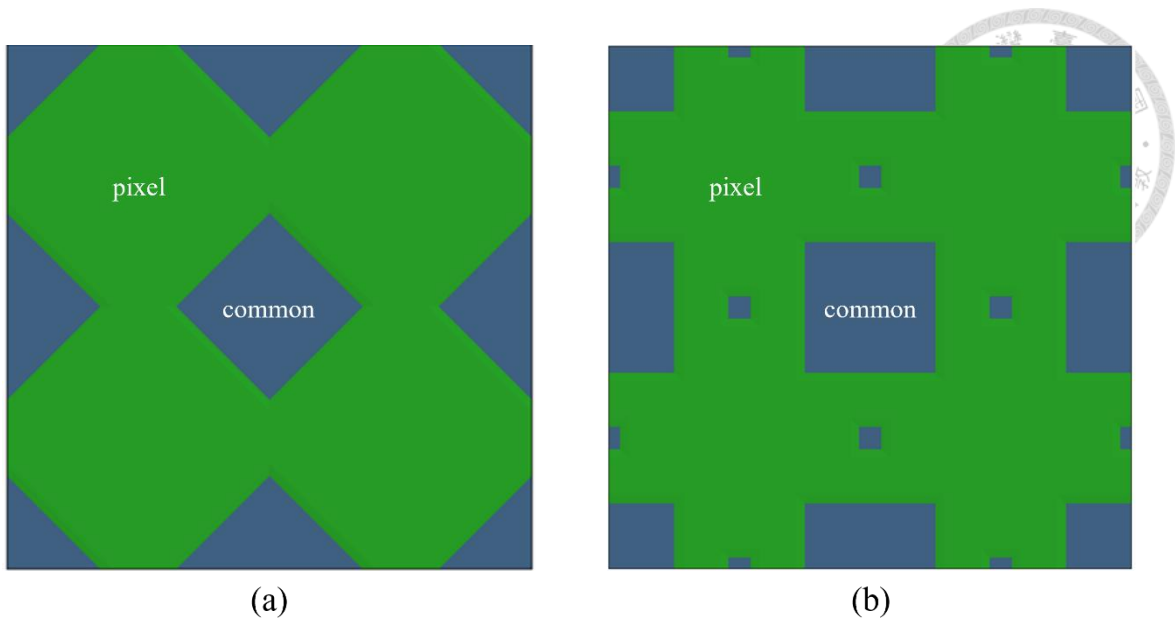


圖 2-5 電極圖案設計示意圖 (a) 菱形電極 (b) 孔洞圖案電極

本篇論文中為了方便辨認虛擬牆位置，因此將依照虛擬牆產生位置的不同，進行分類並命名。

1. 對邊虛擬牆(Opposite virtual wall)：  
電極間隔的四邊，畫素電極上方的虛擬牆。
2. 對角線虛擬牆(Diagonal virtual wall)：  
電極間隔的對角線上，電極上方的虛擬牆
3. 邊緣虛擬牆(Edge virtual wall)：  
電極間隔的邊緣的虛擬牆。

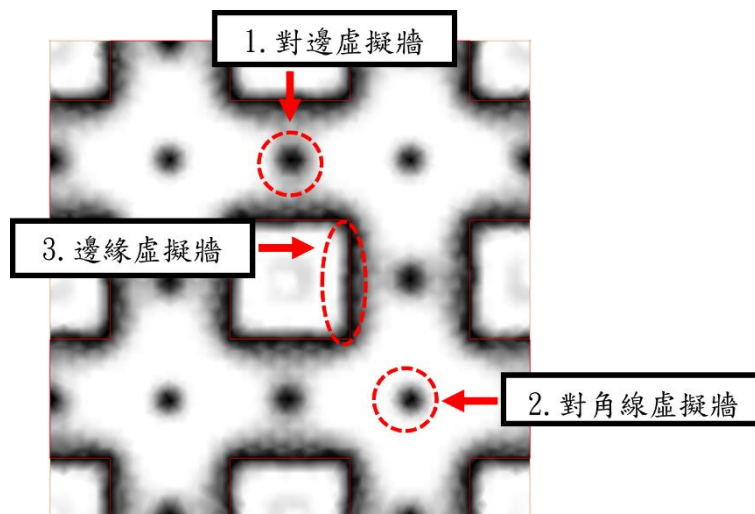


圖 2-6 虛擬牆命名

## 2.3 研究動機



過去的研究像是改變電極圖案的方法，專注在負型液晶應用於 3D VAFFS 並持續電壓一段時間後，幫助液晶顯示器擁有高穿透率的同時，虛擬牆仍能存在，但缺點是與 3D VAFFS 相比反應時間會略為下降與無法縮小畫素電極寬度。整理虛擬牆相關研究時發現，施加強電壓與拉長電壓週期都是以提升穿透率為目的，但會令虛擬牆消失導致反應速度緩慢。

本篇論文希望能將上述的研究反向進行，與原先拉長電壓週期至 100 ms 以上，並改變 3D VAFFS 電極圖案以追求更長時間持續的虛擬牆不同，我們採用原先電極圖案的 3D VAFFS 結構並提供一段約 10 ms 長的電壓週期，目的在於避免拉長時間而發生的兩步驟轉動，虛擬牆的位移在小於 100 ms 的電壓週期並不明顯，10 ms 幾乎確保虛擬牆保持不動，這時縮小畫素電極寬度(w)、改變電極間隔(g)不會讓虛擬牆更容易消失，並觀察穿透率、反應速度及操作電壓等表現。

我們在利用 10 ms 電壓週期保持虛擬牆穩定後，對於改變 3D VAFFS 的電場方向的結果很感興趣，代表我們可以在虛擬牆存在的前提上進行改良，因此我們試圖研究上層加入整片共用電極的 3D VAFFS<sub>com</sub>，透過電場方向改變，驅動液晶在其中的轉動方向，加上虛擬牆的存在讓液晶顯示器本身就擁有不錯的反應速度，在快速反應速度的基礎上，觀察 3D VAFFS<sub>com</sub> 對於各項表現的影響。

### 第三章 模擬軟體介紹與參數設定



#### 3.1 TechWiz LCD 3D 軟體介紹

本篇論文的實驗使用 TechWiz LCD 3D 模擬軟體進行。TechWiz LCD 3D 為韓國 Sanayi System 所開發，可以用來模擬各種性質的液晶在液晶層內受到不同電極結構所施加的電場下的轉動情形，並外加光學元件後測量穿透率。

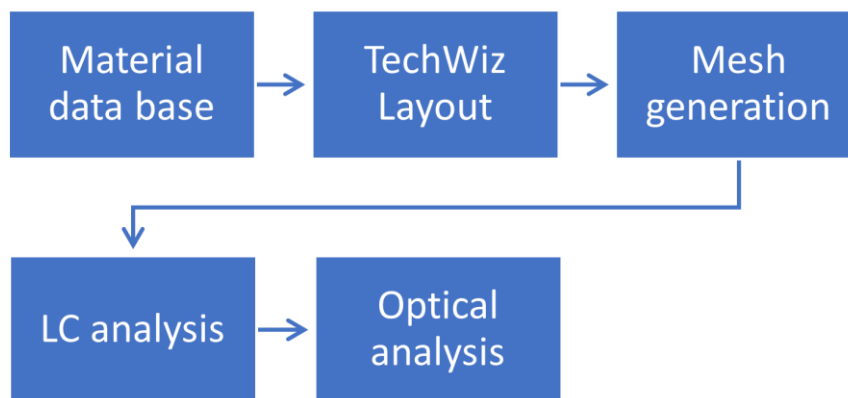


圖 3- 1 TechWiz LCD 3D 使用流程示意圖

- (1)加入材料參數資料庫(Material data base)，資料庫本身即具有常用液晶的參數，若需要添加新式液晶資料，則可自行輸入彈性係數、介電常數、旋轉黏性及折射率，資料庫內亦包含絕緣層、金屬、偏振片及波板等液晶顯示器常使用到的結構。
- (2) TechWiz Layout 能自行設計模擬所需的一切結構，諸如電極圖案設計、各層厚度與堆疊順序，並在匯出時決定液晶類別、電極所用的金屬與絕緣層材料等細節，完成後會得到圖檔。
- (3)在 TechWiz LCD 3D 中匯入 Layout 完成的圖檔，並在網格生成(Mesh generation)中設定切割層數(Layers)、網格邊長(Unit length of mesh)、Factor 與邊界類型。



(4)液晶分析(LC analysis)中設定施加電壓、電壓信號與持續時間，並決定模擬液晶轉動所用的時間單位(Time step)及資料輸出間隔(Data output step)。

(5)光學分析(Optical analysis)中設定液晶盒之外的光學結構，如偏振片、波板等。

以上流程結束時，便完成液晶盒模擬後所得穿透率變化。

## 3.2 參數設定

本論文以過去 3D VAFFS 負型液晶研究為基礎[18][19]，我們使用的液晶為虛擬液晶 nE7，nE7 是原有的真實液晶 E7 將介電常數調換而來，方便兩者比較，以及此次新使用的實際存在負型液晶 UCF-N6。

### (1) 液晶材料參數

表 3-1 液晶材料參數

材料名稱	$K_{11}(\text{pN})$	$K_{22}(\text{pN})$	$K_{33}(\text{pN})$	$\Delta n$	$\Delta\epsilon$	$\gamma(\text{mPa sec})$
nE7	11.7	8.8	19.5	0.223	-14.4	150
UCF-N6	20	10	17.5	0.159	-3.03	105.1

### (2) 絕緣層材料參數

表 3-2 絕緣層材料參數

材料名稱	介電常數 $\epsilon_r$	折射率 $n$
glass	4.5	1.5
passivation	6.5	1.5



(3)電極材料參數

表 3-3 電極材料參數

材料名稱	電阻率 $\rho(\Omega\text{m})$	折射率 $n$
ITO	$2.7 \times 10^{-6}$	1.5

(4)偏振片材料參數

表 3-4 偏振片材料參數

材料名稱	$n_e$	$K_e$	$n_o$	$K_o$
polarizer	1.5	0.0015	1.5	2.23e-005

(5)波板材料參數

表 3-5 波板材料參數

材料名稱	$n_e$	$n_o$	Retarder type
Quarter wave plate	1.5	1.49863	uniaxial

### 3.3 TechWiz layout

圖 3-2 為液晶盒的結構截面示意圖，3D VAFFS 及 3D VAFFS\_com 會隨液晶種類不同而更改電極與絕緣層厚度，nE7 與 UCF-N6 亦有各自的最佳厚度，選取公式為式子(3-1)，N 為大於零的奇數， $\lambda$ 為模擬光波長，預設為 550 nm，d 為液晶層厚度，滿足上式可確保模擬能達到最佳穿透率，隨章節不同，3D VAFFS 各層厚度會再調整。

$$\frac{N\pi}{2} = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta nd \quad (3-1)$$

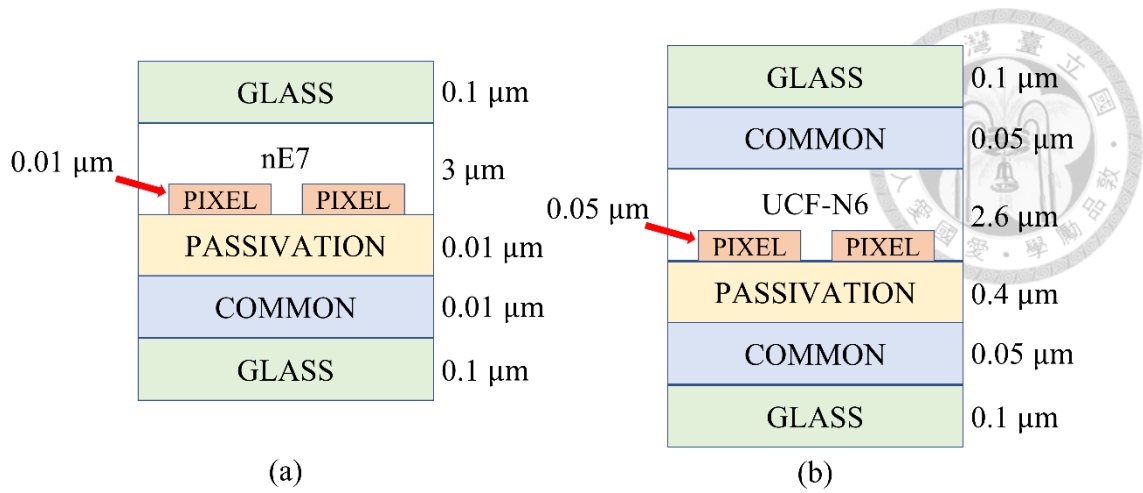


圖 3-2 液晶盒結構截面示意圖 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS\_com

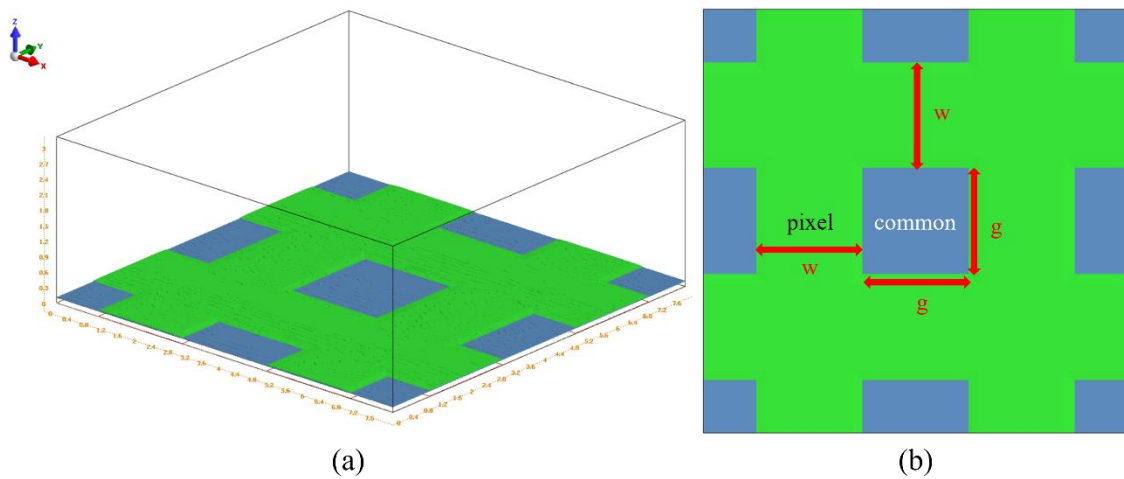


圖 3-3 3D VAFFS 電極結構圖 (a) 側面 (b) 俯視

Name	Material	Thickness
glass_t	GLASS	0.100 um
nE7	nE7	3.000 um
pixel	ITO	0.010 um
passvi	PASSIV	0.010 um
common	ITO	0.010 um
glass_b	GLASS	0.100 um

(a)

Name	Material	Thickness
glass_t	GLASS	0.100 um
common_t	ITO	0.050 um
UCF-N6	UCF-N6	2.600 um
pixel	ITO	0.050 um
passvi	PASSIV	0.400 um
common_b	ITO	0.050 um
glass_b	GLASS	0.100 um

(b)

圖 3-4 液晶盒各層厚度及順序設定 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS\_com



### 3.4 網格設定

網格設定是此軟體中決定液晶轉動精確性的重要步驟，切割層數與網格邊長都會影響模擬結果是否正確，網格邊長則隨圖檔不同而改變，實作上圖檔所畫的區域大小會影響網格邊長大小，區域越大網格邊長越大，反之亦然，原因在於 TechWiz 限制了模擬所用的點數為 5 萬點，點數會由模擬區域、切割層數與網格邊長決定，完成模擬區域的圖檔後，切割層數固定為 10，再來只要調整網格邊長讓總點數接近 5 萬點，確保模擬的精確性。

表 3-6 網格設定

Layers	Factor	Boundary condition	Nodes
10	3	Periodic	≈ 50000

Factor 設定的數值越大，切割層的分佈會越靠近基板，1 則為平均分配，我們設定為 3，液晶底層是模擬中最複雜的地方，電場在此影響最大，設定較多層數在此分佈可以了解不同電極結構下液晶如何轉動。邊界類型為模擬區域的邊界之外的結構配置，本篇論文電極結構設計皆為週期性排列，因此選擇週期性(Periodic)。

### 3.5 電壓設定

本篇論文中所有電壓持續時間都默認為 10 ms，原因是電壓持續時間超過 10 ms 容易造成虛擬牆移動，對於我們想要研究虛擬牆與反應時間的關係有負面影響，圖 3-5 顯示該模擬液晶轉動的時間長短，從開始時間(Initial time)計算到結束時間(Final time)，圖中為 0 ms 直到 10 ms，時間間隔(Time step)為液晶以多長時間進行一次轉動，圖中為 0.02 ms 進行一次轉動，資料輸出間隔(Data output step)為每經過多少次轉動輸出一次資料，圖中為 5 次。





Initial Time :	0 [msec]
Final Time :	10 [msec]
Time Step :	0.02 [msec]
Data Output Step :	5

圖 3-5 時間間隔及資料輸出間隔

### 3.5.1 V-T 圖

V-T 圖是決定我們該使用多少電壓進行 t-T 測量的前置步驟，通過 V-T 圖可以找出持續 10 ms 仍能存在未移動虛擬牆的最大電壓。掃描(Sweep)設定是指從開始電壓(Start)到停止電壓(Stop)以間隔電壓(Step)進行模擬，圖 3-5 中開始電壓為 0 伏特、停止電壓為 20 伏特，間隔電壓為 1 伏特，代表此次模擬會從 0 伏特開始以 1、2、3 直到 20 伏特，需要注意的是進行 V-T 測量時每次的資料輸出會是以間隔電壓為單位，直接顯示施加電壓 10 ms 後液晶轉動的結果。

#	Name	Voltage Type	Condition	Start	Stop	Step	Ref. Sweep
<input checked="" type="checkbox"/> 1	pixel	Sweep	Sweep	0.0000	20.0000	1.0000	MAIN
<input checked="" type="checkbox"/> 2	common_b	DC	0.0000	-	-	-	-

圖 3-6 V-T 測量設定

### 3.5.2 t-T 圖

t-T 圖是該結構以 V-T 圖選定最大操作電壓後，進行液晶模擬所得到的時間與穿透率關係圖，在此上升時間(Rise time)定義為 t-T 圖從最大亮度 10% 上升到 90% 所需時間，回復時間(Fall time)定義為 t-T 圖從最大亮度 90% 下降到 10% 所需時間。將設定切換為信號(Signal)，我們將會輸入一個總長為 30 ms 的方波，前段 10 ms 為 0 伏特，中段 10 ms 為操作電壓，後段 10 ms 為 0 伏特，中段及後段是 t-T 圖中最關鍵的地方，中段可以看到施加電壓後液晶隨持續時間而轉動對於穿透率的影響，後段則可以看到放電壓後液晶回復原位的時間，因此 t-T 圖的結束時間將設定在 30 ms。

#	Name	Voltage Type	Condition	Start	Stop	Step	Ref. Sweep
<input checked="" type="checkbox"/> 1	pixel	Signal	V	-	-	-	-
<input checked="" type="checkbox"/> 2	common_b	DC	0.0000	-	-	-	-

圖 3-7 t-T 測量設定

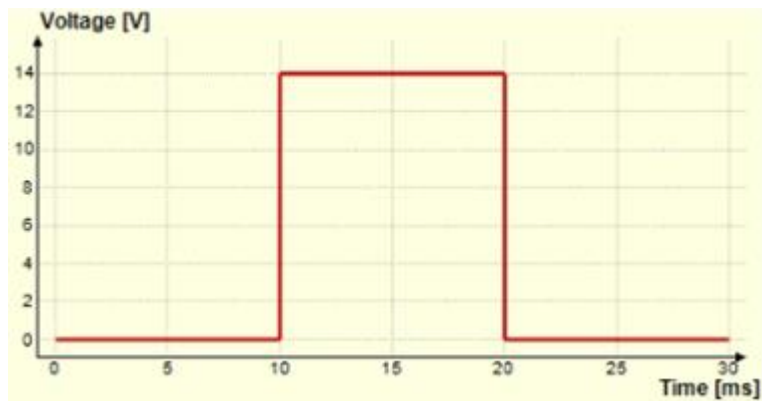


圖 3-8 軟體內所顯示的方波信號

### 3.6 液晶配向參數

基板上液晶的預傾角(Pretilt angle)、方位角(Azimuthal angle)可以在“analysis”中的“Condition”設定。預傾角是單一液晶中心為原點展開球座標系中的 $\theta$ 角，方位角為 $\varphi$ 角，本篇論文探討垂直配向液晶，設定預傾角為 90 度，方位角為 0 度，配向上會將所有液晶皆垂直基板。

Name	Top Surface		Bottom Surface	
	Pretilt	Azimuthal	Pretilt	Azimuthal
nE7	90	0	90	0

圖 3-9 液晶配向設定

### 3.7 光學分析設定

光學結構除了上下有正交的偏振片外，在液晶層的前後還加上了四分之一波板。過去的文獻中提到，由於 3D VAFFS 中液晶的排列有輻射狀的特性，使用圓偏

振光可以幫助增加穿透率[17]，因此非偏振光通過偏振片後會再通過波板，最後形成圓偏振光。入射光波長為 550 nm，模擬計算方式為  $2 \times 2$  Jones Matrix Method[20]。



Name	Type	Thickness	Theta	Phi	Psi
Polarizer	Polarizer	230.000	-	45.00(A)	-
QWP	Retarder	100.370	0.00	90.00	-
LC_Cell	-	-	-	-	-
QWP	Retarder	100.370	0.00	0.00	-
Polarizer	Polarizer	230.000	-	-45.0...	-

圖 3- 10 光學結構堆疊順序

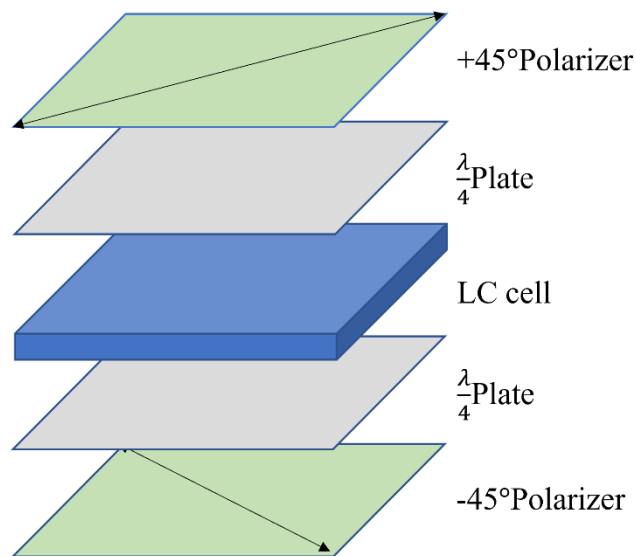


圖 3- 11 光學結構示意圖

## 第四章 結果與討論



### 4.1 電壓週期與兩步驟轉動

本篇論文圍繞在能明顯看出虛擬牆存在的前提下進行模擬，施加電壓時，虛擬牆由於液晶連續性影響而發生兩步驟轉動，移動、結合並消失；放電壓時，虛擬牆亦透過液晶連續性幫助周遭液晶更快回復原位，可以縮短反應時間。我們希望能更了解相關機制，因此使虛擬牆存在並防止兩步驟轉動，再根據虛擬牆是否存在選取操作電壓，是進行實驗的必要動作，在後續章節我們都會以此方法為基準。

穿透率方面不是液晶本身的最大穿透率，而是虛擬牆存在時的最大穿透率，以圖 4-1 及圖 4-2 為例，圖 4-2(a)為操作電壓 14 伏特，圖 4-2(b)為更高的電壓 20 伏特，穿透率比 14 伏特高，圖 4-1 可以看出兩者的數值相差約在 10%，但是對角線虛擬牆幾乎消失，對於我們要觀察虛擬牆存在時的各項表現會不理想。

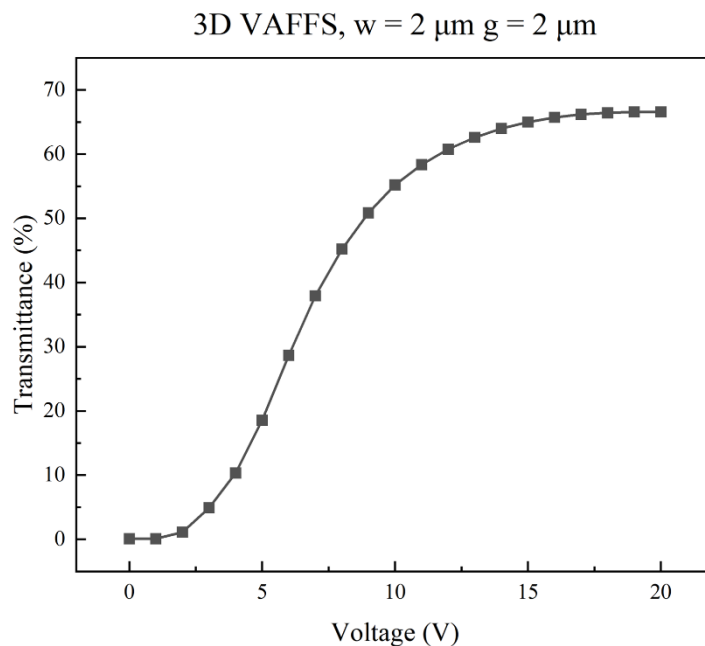


圖 4-1 3D VAFFS 畫素電極( $w$ )及電極間隔寬度( $g$ )皆為  $2 \mu\text{m}$  V-T 圖

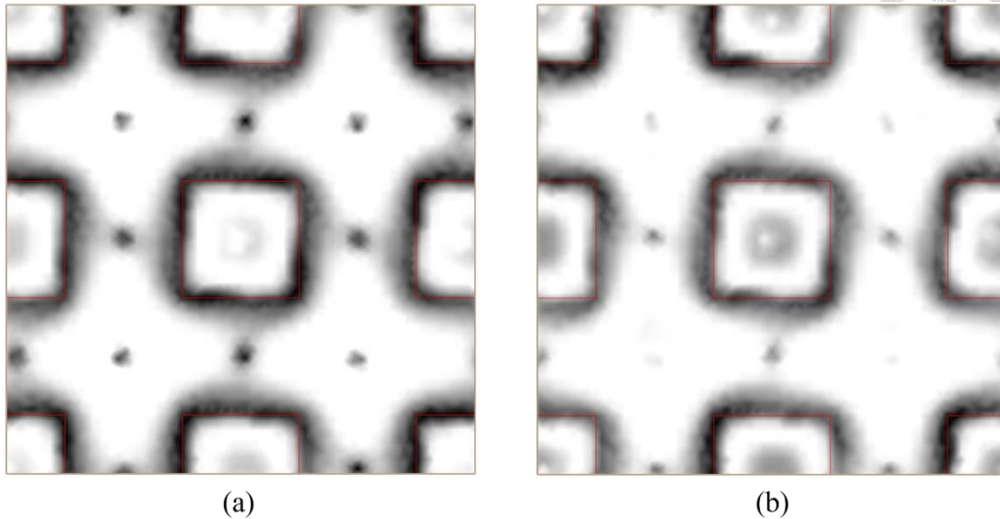


圖 4-2 3D VAFFS 畫素電極(w)及電極間隔(g)寬度皆為 2  $\mu\text{m}$  穿透亮度圖 (a) 14 V  
(b) 20 V

我們尤其注重回復時間，原因是上升時間可以透過過載電壓(overdrive voltage)縮短，而回復時間只能憑藉液晶本身特性及電極結構進行改良，這也是本篇論文的出發點之一：如何得到穿透率不錯且反應時間快的液晶顯示器。

#### 4.1.1 兩步驟轉動

過去的研究中我們發現，當拉長電壓週期時，會開始發生兩步驟轉動，造成穿透率上升和反應時間拉長的結果。圖 4-3 可以看出，隨著電壓週期拉長，紅色箭頭所標示的對邊虛擬牆移動及虛線標示的部分邊緣虛擬牆消失。

圖 4-4 則能看出液晶層水平截面方向，液晶的轉動方向逐漸改變，根據先前的研究，我們將此種現象歸類為兩步驟轉動，虛擬牆的消失雖然能提升穿透率，但虛擬牆分布發生改變，導致對周遭液晶的影響將無法如兩步驟轉動前一致。

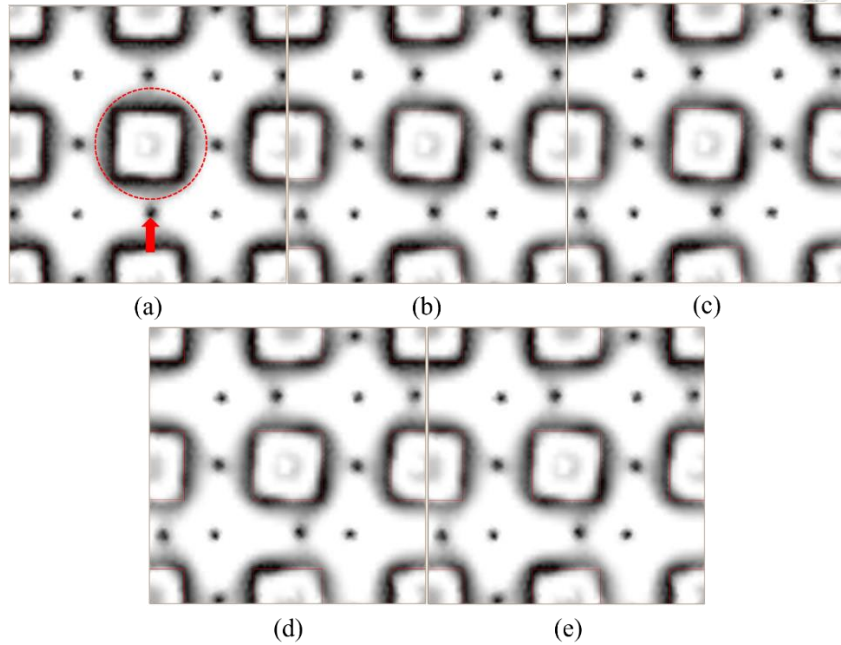


圖 4-3 維持電壓不同時間後的虛擬牆移動情形 (a) 10 ms (b) 30 ms (c) 50 ms  
(d) 70 ms (e) 90 ms

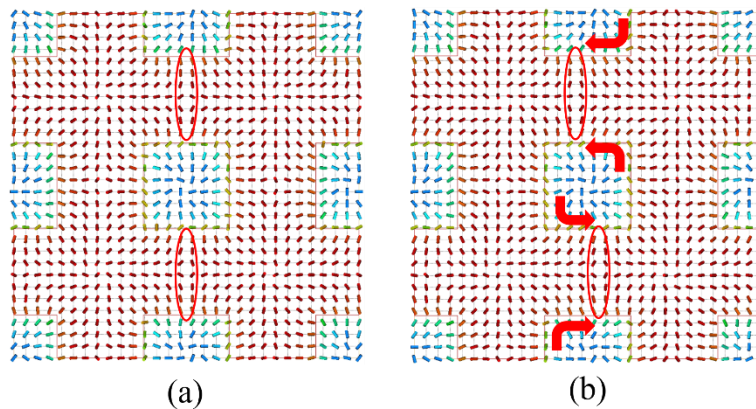


圖 4-4 距下基板  $0.1 \mu\text{m}$  液晶層水平截面圖 (a) 10 ms (b) 90 ms

圖 4-6 顯示，由於液晶的連續性影響，圖 4-6(a)框內右側為對邊虛擬牆朝對角虛擬牆逐漸移動，圖 4-6(b)(c)框內右側虛擬牆的液晶逐漸與周遭液晶轉動方向一致，造成虛擬牆移動與部分虛擬牆消失的現象，液晶轉動讓偏振光逐漸改變偏振方向並通過偏振片，因此提升穿透率，但是虛擬牆的疏密分布改變，會有距離虛擬牆或遠或近的轉動液晶，離虛擬牆較遠的液晶難以受到液晶連續性而緩慢回復原位，使得回復時間上升。



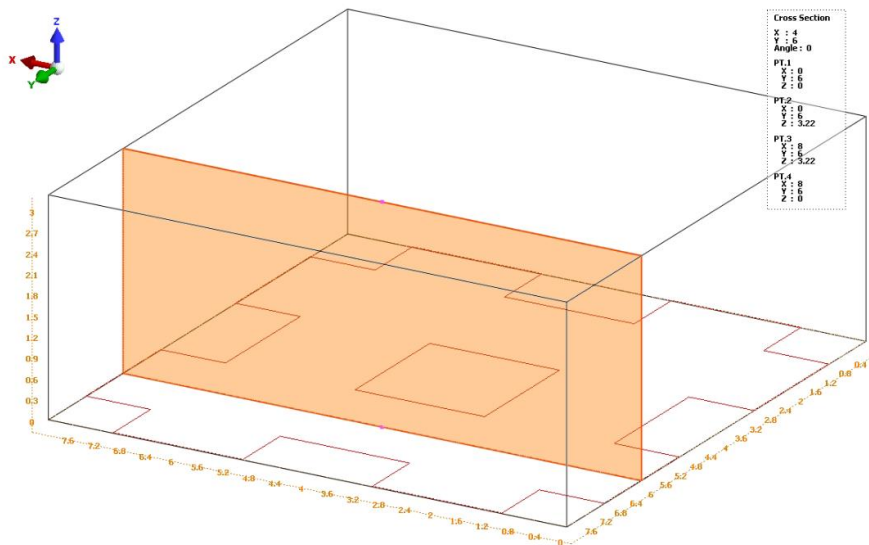


圖 4-5  $w = 2 \mu\text{m}$  ,  $g = 2 \mu\text{m}$  畫素電極上的垂直截面( $x = 6 \mu\text{m}$ )

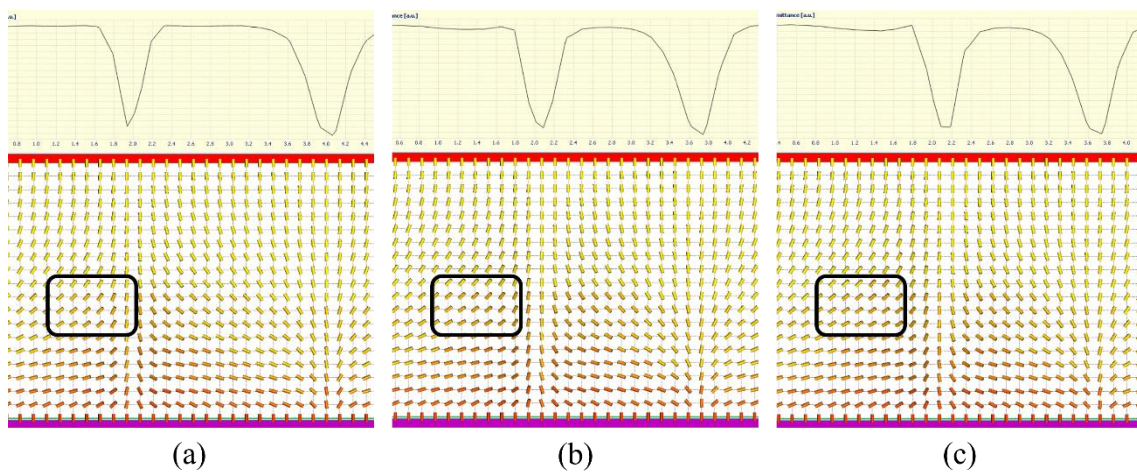


圖 4-6 液晶層垂直截面圖 (a) 10 ms (b) 50 ms (c) 90 ms

#### 4.1.2 控制電壓週期

由於兩步驟轉動會拉長液晶顯示器的反應時間，本篇論文則以虛擬牆與電極結構的關係出發，提出固定電壓週期在 10 ms 之觀點，目的是最小化兩步驟轉動的影響，我們重複之前的研究結果，觀察到電壓週期不超過 10 ms 時，則難以發生兩步驟轉動，然而仍必須給予液晶一定的電壓週期，令其轉動達到高穿透率，因此將電壓週期定在 10 ms，防止兩步驟轉動發生亦讓液晶顯示器擁有高穿透率。

表 4-1 10~90 ms 反應時間

voltage time (ms)	rise time (ms)	fall time (ms)
10	1.31	1.19
30	1.52	1.38
50	1.56	1.43
70	1.59	1.46
90	1.6	1.49

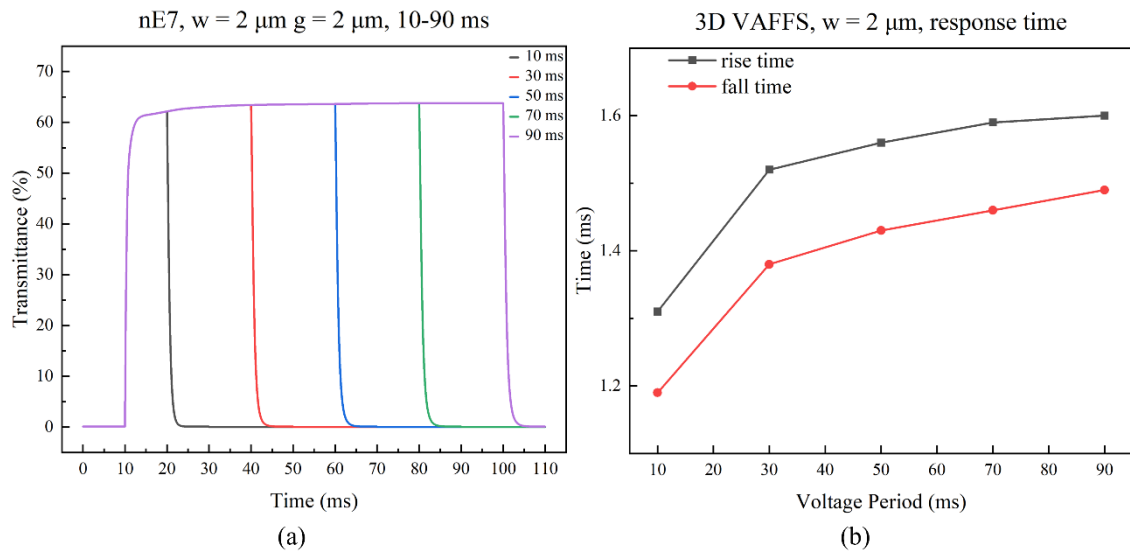


圖 4-7 電壓週期從 10 ms 到 90 ms (a) t-T 圖 (b) 反應時間趨勢圖

由圖 4-7 及表 4-1 可知，施加電壓 10 ms 與施加電壓 90 ms 後的穿透率，兩者相差約在 2%；而在反應時間方面，兩者的上升及回復時間各相差 0.3 ms，施加電壓 10 ms 比施加電壓 90 ms 的情況下反應時間更快，與 4.1.1 節兩步驟轉動與虛擬牆分布改變對於反應時間上的論述一致，因此我們於電壓週期上的控制保持在 10 ms 前提下進行實驗，後面章節將探討改變液晶性質與電極結構，幫助我們了解虛擬牆在不同情況下的表現。





## 4.2 小線寬 3D VAFFS 結構

以往研究中畫素電極寬度( $w$ )小於  $2\ \mu\text{m}$ 時，虛擬牆將更早發生兩步驟轉動導致移動或消失，但時間大體皆落在  $10\ \text{ms}$  之後，因此若固定電壓週期在  $10\ \text{ms}$ ，既避免兩步驟轉動發生也得到高穿透率，可以研究更小尺寸的 3D VAFFS 結構下虛擬牆對液晶顯示器造成的影響，此節的使用液晶為虛擬液晶 nE7，並以 4.1 節所述限制電壓週期為  $10\ \text{ms}$  進行模擬。

如圖 4-8(a)、(b)所示，畫素電極寬度( $w$ )等於  $2\ \mu\text{m}$ 及  $3\ \mu\text{m}$ 並在電壓持續  $10\ \text{ms}$ 時，皆尚未發生兩步驟轉動，持續  $20\ \text{ms}$ 時，圖 4-9(a)顯示，畫素電極寬度( $w$ )等於  $2\ \mu\text{m}$ 的情況則開始發生兩步驟轉動，對邊虛擬牆位移更多，且邊緣虛擬牆也開始消失，而  $3\ \mu\text{m}$ 相較之下，圖 4-9(b)除了對邊虛擬牆有微小位移外，幾乎沒有明顯的兩步驟轉動的跡象。

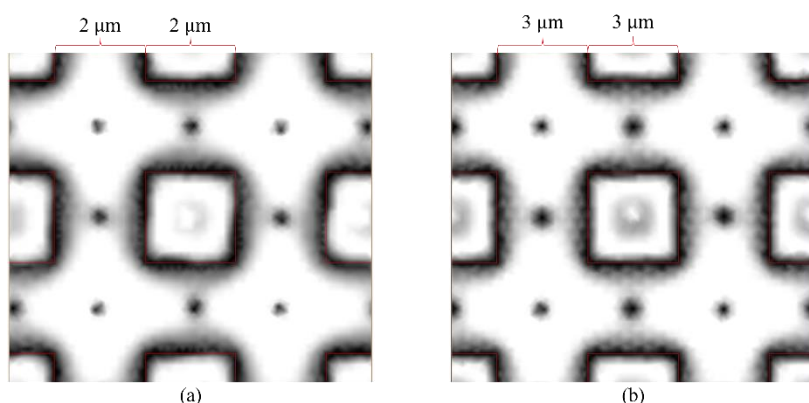


圖 4-8 穿透亮度圖 (a)  $w = 2\ \mu\text{m}$   $g = 2\ \mu\text{m}$ ,  $10\ \text{ms}$  (b)  $w = 3\ \mu\text{m}$   $g = 3\ \mu\text{m}$ ,  $10\ \text{ms}$

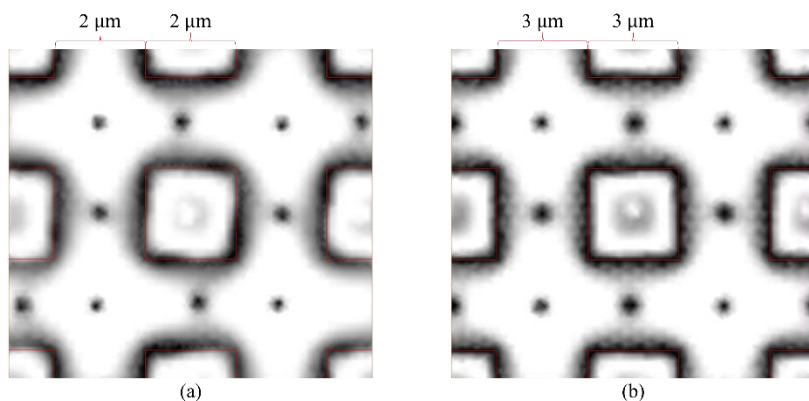


圖 4-9 穿透亮度圖 (a)  $w = 2\ \mu\text{m}$   $g = 2\ \mu\text{m}$ ,  $20\ \text{ms}$  (b)  $w = 3\ \mu\text{m}$   $g = 3\ \mu\text{m}$ ,  $20\ \text{ms}$



#### 4.2.1 反應時間與操作電壓

等於  $2\ \mu\text{m}$  的畫素電極寬度( $w$ )在過去的研究中較少提及，實驗後歸納數據發現，與畫素電極寬度( $w$ )等於  $3\ \mu\text{m}$  的情況相比，表 4-2 顯示，等於  $2\ \mu\text{m}$  能幫助液晶顯示器擁有更短的反應時間，當固定畫素電極寬度( $w$ )並改變畫素電極間隔( $g$ )從  $3\ \mu\text{m}$  一直到  $6\ \mu\text{m}$ ，能縮短回復時間  $0.5$  到  $0.6\ \text{ms}$ ，上升時間則有長有短，不過我們關注仰賴液晶特性及電極結構的回復時間，因此上升時間暫時忽略，再來是操作電壓的改良雖不明顯，但能看出至少下降約  $1$  伏特。

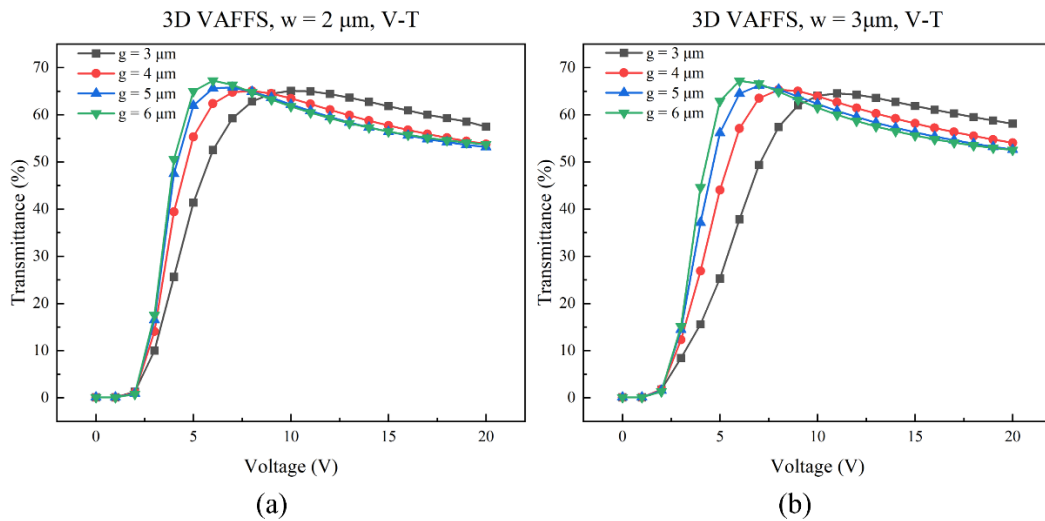


圖 4- 10 3D VAFFS V-T 圖 (a)  $w = 2\ \mu\text{m}$  (b)  $w = 3\ \mu\text{m}$

表 4- 2  $w = 2\ \mu\text{m}$  及  $w = 3\ \mu\text{m}$  下，改變不同的  $g$ ，觀察其反應時間與操作電壓

3D VAFFS, $w=2\mu\text{m}$ , response time				3D VAFFS, $w=3\mu\text{m}$ , response time			
gap ( $\mu\text{m}$ )	rise time (ms)	fall time (ms)	voltage (V)	gap ( $\mu\text{m}$ )	rise time (ms)	Fall time (ms)	voltage (V)
3	1.96	1.44	8	3	2.63	2.05	10
4	2.79	1.71	6	4	3.59	2.23	7
5	4	1.97	5	5	3.75	2.5	6
6	4.24	2.35	5	6	2.95	2.89	6

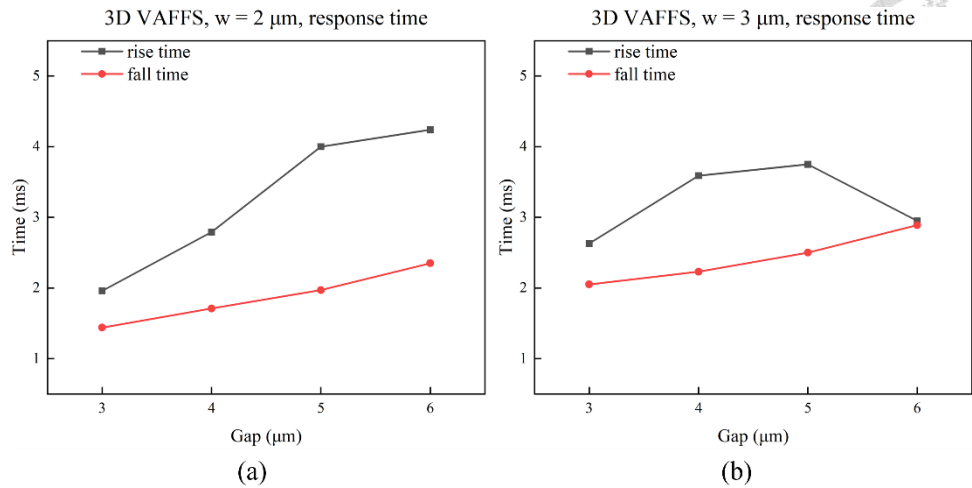


圖 4- 11 固定畫素電極寬度( $w$ )、改變電極間隔( $g$ )，觀察反應時間變化  
(a)  $w = 2 \mu\text{m}$  (b)  $w = 3 \mu\text{m}$

圖 4-12 中更小線寬的 3D VAFFS 結構深入探討可以發現類似 2D VAFFS 的結構數量變多，因此在相同面積下，能創造出更多虛擬牆，使虛擬牆密度上升，當轉動的液晶更加靠近虛擬牆，在液晶連續性影響下，幫助轉動的液晶更快回復原位，使線寬越小的 3D VAFFS 結構擁有更短的回復時間。

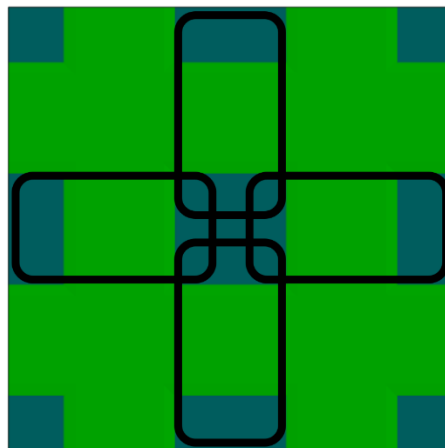


圖 4- 12 3D VAFFS 中存在的 2D VAFFS 結構，當畫素電極寬度( $w$ )越小，此結構密度越高，虛擬牆密度亦越高

VAFFS 之原理為畫素電極與共用電極間存在的邊緣場帶動其覆蓋區域的液晶轉動，圖 4-13 顯示 3D VAFFS 的電場方向分布，藉由多方向電場固定負型液晶的轉動方向，電場由畫素電極朝向共用電極導通，圖 4-13 中電場往間隔中央分布，此電場即為邊緣場，過去的研究中提到，以小線寬的畫素電極寬度( $w$ )分布可以增加邊緣場密度，讓液晶廣泛地受到邊緣場及轉動帶來的液晶連續性影響而轉動，操作電壓也因此下降。

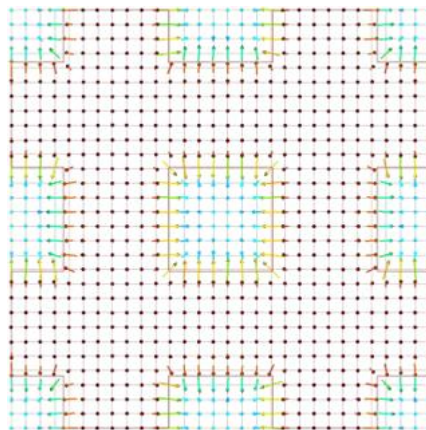


圖 4-13 3D VAFFS 電場方向分布圖

#### 4.2.2 穿透率

雖然小線寬 3D VAFFS 結構提高了邊緣場的覆蓋面積與增加虛擬牆密度，同時亦提高了虛擬牆的整體面積，導致穿透率下降，從圖 4-14 可以發現，當畫素電極寬度( $w$ )等於  $3\ \mu\text{m}$  的穿透率會比等於  $2\ \mu\text{m}$  還要高約 5%，但此動作又與縮小寬度而能得到快速反應時間與低操作電壓相互矛盾，我們認為三者之間應該比較並取得平衡。

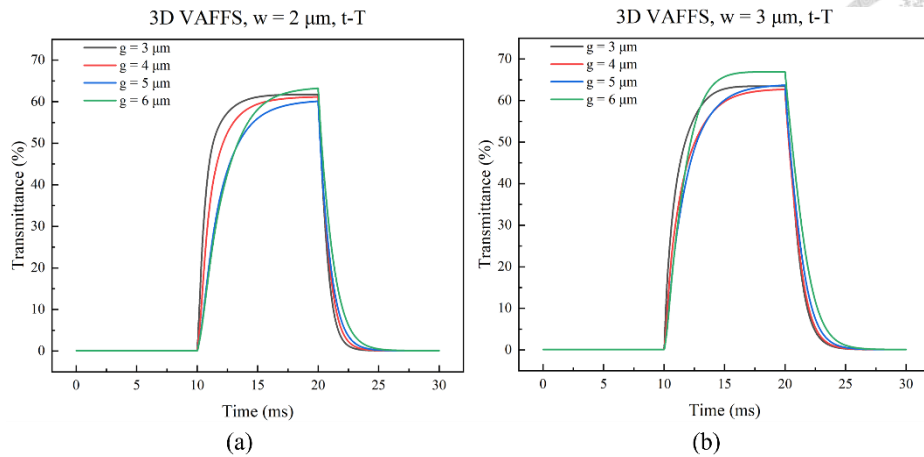


圖 4-14 (a)  $w = 2 \mu\text{m}$  及 (b)  $w = 3 \mu\text{m}$  下，改變不同的  $g$ ，得到 t-T 圖

### 4.2.3 比較

液晶顯示器中我們在意的有 3 個要素，分別是反應時間、操作電壓及穿透率，將畫素電極寬度( $w$ )為  $3 \mu\text{m}$  與寬度為  $2 \mu\text{m}$  放在一起比較，在虛擬牆存在的前提下，整理得到表 4-3，寬度( $w$ )縮小對於 3D VAFFS 的影響為縮短回復時間，虛擬牆密度增加讓液晶連續性的影響範圍變大，以及相同面積下，邊緣場覆蓋面積增加，令驅動電壓有下降的趨勢，但同時虛擬牆為不透光的暗區，增加虛擬牆的密度將會導致穿透率降低。

表 4-3 畫素電極寬度( $w$ )為  $3 \mu\text{m}$  與寬度為  $2 \mu\text{m}$  的比較表，暫時忽略上升時間因

此標示為斜線，標示為○是優點

畫素電極寬度 ( $\mu\text{m}$ )	上升時間	回復時間	操作電壓	穿透率
2	/	○	○	/
3	/	/	/	○



## 4.3 UCF-N6 液晶於 3D VAFFS 之表現

### 4.3.1 UCF-N6 液晶性質

參考文獻後[21]，上層加整片共用電極的 3D VAFFS\_com 對於我們來說是一項新的嘗試，該研究使用 UCF-N6，對我們來說是新的液晶，且尚未有 UCF-N6 應用於 3D VAFFS 的研究，因此我們先在此節探討 UCF-N6 應用於 3D VAFFS。與以往我們實驗室常用來模擬的虛擬液晶 nE7 不同，由於 UCF-N6 介電異向性小，因此 UCF-N6 對電場並不敏感，同樣的電壓，在 3D VAFFS 下，驅動 nE7 的轉動幅度較 UCF-N6 的轉動幅度大。但在黏度方面，UCF-N6 黏度較小，因此擁有更快的反應時間，我們認為研究 UCF-N6 對於快速反應時間的液晶顯示器有不錯的好處，並結合 4.1 節所述限制電壓週期為 10 ms 進行模擬。本篇論文提出驅動 UCF-N6 達到高穿透率的方法有兩種：

1. 提高操作電壓
2. 改善電極結構

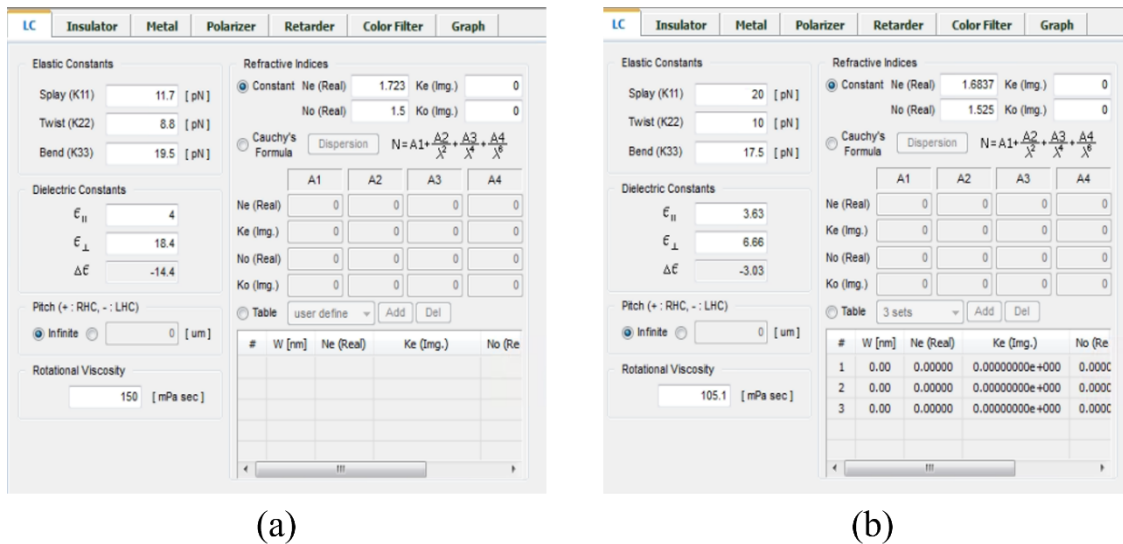


圖 4- 15 (a) nE7 參數 (b) UCF-N6 參數





nE7 是實驗室常用的虛擬液晶，最終希望看到 UCF-N6 能與 nE7 在 3D VAFFS 結構下，以較相同的環境進行比較，可以幫助我們掌握 UCF-N6 液晶的一些特性以及使用上的要點。

#### 4.3.2 操作電壓與穿透率

如 4.3.1 節所述，UCF-N6 對於電場並不敏感，需要較高電壓驅動，透過此方法，雖能驅動 UCF-N6 大幅轉動並達到高亮度，但操作電壓經常達到 100 伏特以上，若要與 nE7 比較，這是一項較大的缺點。原因在於操作電壓會影響液晶顯示器的反應時間，若電壓相差過高則兩者的比較會不準確。

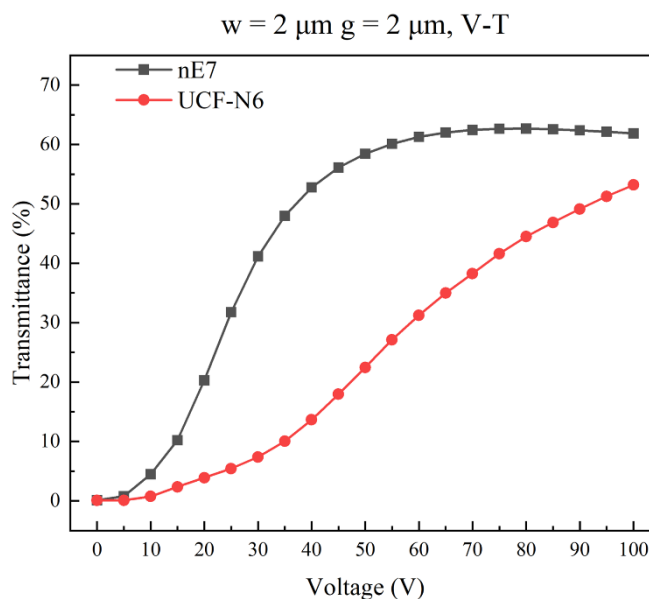


圖 4-16 nE7 與 UCF-N6， $w = 2 \mu\text{m}$   $g = 2 \mu\text{m}$ ，V-T 圖

圖 4-16 為 nE7 與 UCF-N6 在相同結構下，僅調整為各自最佳的液晶層厚度，其餘結構皆不變，與 4.1 節與 4.2 節的結構差別在電極厚度與絕緣層厚度都增厚。透過兩者比較可得知，達到虛擬牆不發生兩步驟轉動的最大電壓各不相同，nE7 在約 60 伏特之前便有較高的穿透率，同樣的電壓，UCF-N6 的穿透率卻仍在上升，直到 100 伏特前都尚未達到 nE7 的最大穿透率，若要直接將兩者放入比較，電壓太高會是一項不理想的因素，仍需要對該現象做出改良。

過去的研究中提到，提高邊緣場的覆蓋面積有助於降低操作電壓，此節所應用的方法與 4.2.1 節所述類似，差別在於 4.2.1 節僅探討畫素電極寬度( $w$ )對於操作電壓的影響，此節則探討固定電極寬度( $w$ )，並改變電極間隔( $g$ )，調整兩者的比例以改善 UCF-N6 的高操作電壓，圖 4-17 可以看出邊緣場分布在固定寬度( $w$ )為 2，間隔( $g$ )為 3 與 6 的不同，我們推論間隔( $g$ )為 3 時，單一空格中的邊緣場及液晶連續性能影響面積為 9；間隔( $g$ )為 6 時，能影響的單一空格面積為 36，因此間隔( $g$ )為 6 可以比間隔( $g$ )為 3 時，影響更多面積的液晶，讓液晶顯示器用更小電壓便達到高穿透率。

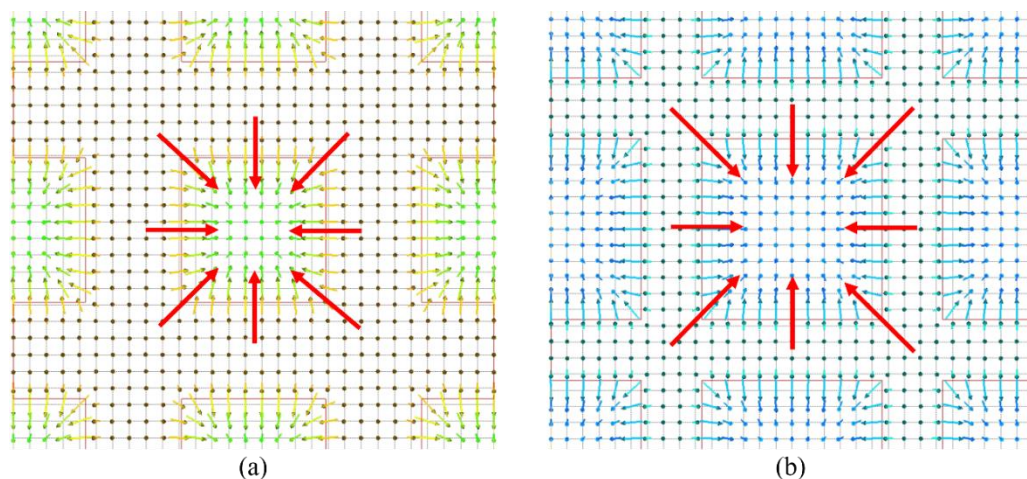


圖 4-17 畫素電極寬度( $w$ )固定為 2  $\mu\text{m}$ ，距離下基板 0.6  $\mu\text{m}$  液晶層水平切面電場分布圖 (a)  $g = 3 \mu\text{m}$  (b)  $g = 6 \mu\text{m}$

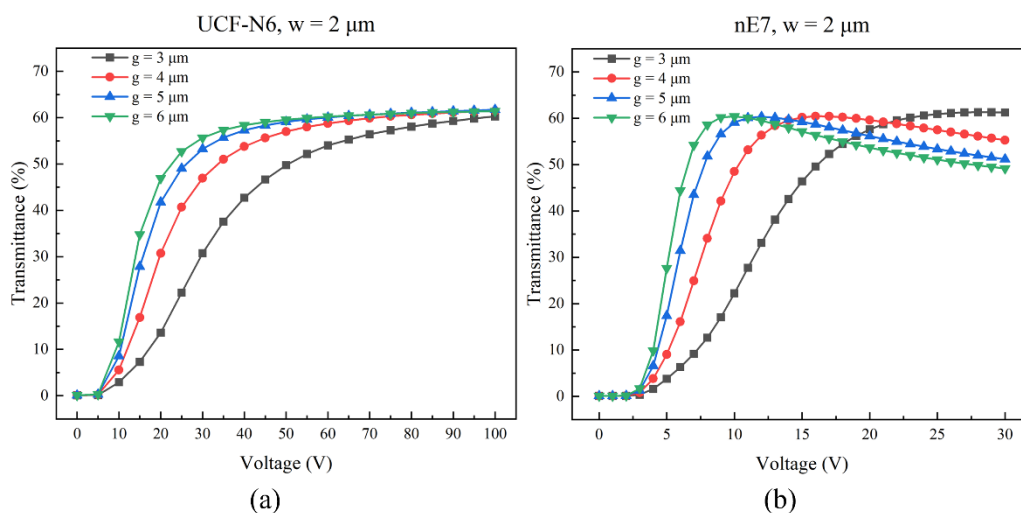


圖 4-18 (a) UCF-N6 固定  $w = 2 \mu\text{m}$  V-T 圖 (b) nE7 固定  $w = 2 \mu\text{m}$  V-T 圖



如圖 4-18 所示，畫素電極間隔( $g$ )大於畫素電極寬度( $w$ )，達到高穿透率的操作電壓隨電極間隔( $g$ )增大而變小，UCF-N6 由本來在間隔( $g$ )為  $2\ \mu\text{m}$  時，需要超過 100 伏特才能達到的穿透率，間隔( $g$ )3 到  $6\ \mu\text{m}$  時能在 80 伏特內達成，操作電壓分別選在 45、30、25、20 伏特，能確保虛擬牆存在；nE7 也得到改善，間隔( $g$ )為  $2\ \mu\text{m}$  時，需要 50 伏特才能達到的穿透率，間隔( $g$ )為 3 到  $6\ \mu\text{m}$  時能在 25 伏特內達成，操作電壓分別選在 20、13、10、8 伏特，能確保虛擬牆存在。

然而觀察前段曲線可發現，寬度與間隔兩者相差過大此現象會趨於平緩，這是由於間隔( $g$ )變得過大時，邊緣場及液晶連續性逐漸影響不到間隔中央的液晶，導致間隔中央亮度偏低，如圖 4-20(b)的紅色虛線圈內所示，使得穿透率上升幅度趨緩。

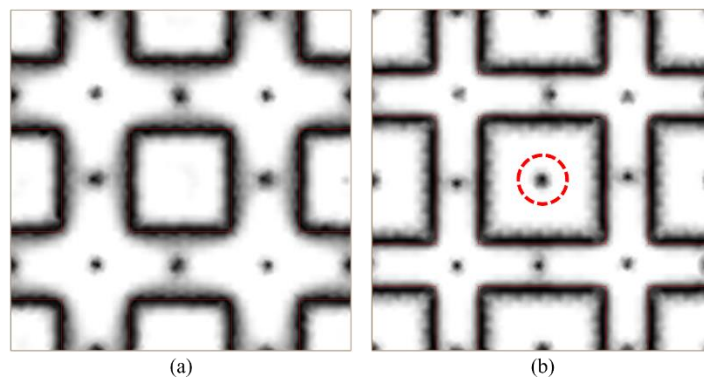


圖 4- 19 3D VAFFS 穿透亮度圖 (a)  $w = 2\ \mu\text{m}$   $g = 3\ \mu\text{m}$  (b)  $w = 2\ \mu\text{m}$   $g = 6\ \mu\text{m}$

### 4.3.3 反應時間

改善操作電壓後，我們可以開始 UCF-N6 與 nE7 液晶間的比較，兩者都是取能看出虛擬牆的最大電壓並持續 10 ms。UCF-N6 黏度較低，反應時間較 nE7 短，表 4-4 及圖 4-20 可以看到，UCF-N6 的反應時間幾乎是 nE7 的一半，對於快速反應的液晶顯示器會有很好的效果。

表 4-4 畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ ，UCF-N6 與 nE7 於不同電極間隔(g)的比較表

UCF-N6, w=2 $\mu\text{m}$ response time				nE7, w=2 $\mu\text{m}$ response time			
gap ( $\mu\text{m}$ )	rise time (ms)	fall time (ms)	voltage (V)	gap ( $\mu\text{m}$ )	rise time (ms)	fall time (ms)	voltage (V)
3	1.43	0.76	45	3	2.49	1.43	20
4	1.57	0.9	30	4	2.86	1.8	13
5	1.57	1.06	25	5	3.05	2.16	10
6	1.87	1.16	20	6	3.58	2.42	8

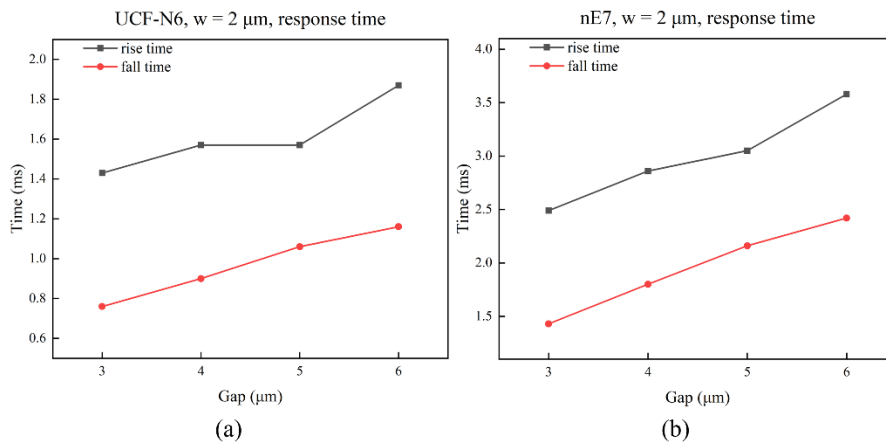


圖 4-20 畫素電極寬度為 2  $\mu\text{m}$ 反應時間趨勢圖 (a) UCF-N6 (b) nE7

從圖 4-21 兩方的時間對於穿透率曲線則可以看到，UCF-N6 的穿透率會比 nE7 差距約 10%，但上升時間段的曲線會比 nE7 還要快達到飽和。

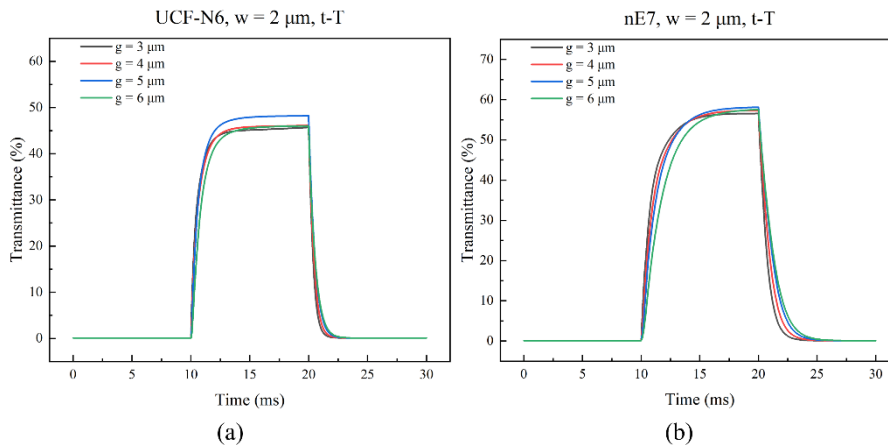


圖 4-21 nE7 與 UCF-N6 的 t-T 圖



#### 4.3.4 比較

表 4-5 整理了雙方的優點，實際上更換不同液晶同時也代表改變黏度、介電係數及折射率等各項參數，無法定論誰優誰劣，此節以實驗室模擬常用的虛擬液晶 nE7，對比上 UCF-N6，觀察兩者不同，在確保虛擬牆存在的前提下進行各項表現的比較後發現，UCF-N6 由於黏度較小，對於反應時間有著很大的優勢，能讓反應時間縮短至 nE7 的一半，但是低介電異向性造成的操作電壓高，以及對電場較不敏感，同電壓下的液晶轉動幅度不大而導致穿透率下降，但在後續 4.4 節的討論，能幫助我們得知使用 UCF-N6 的原因及兩種不同結構的差異。

表 4- 5 UCF-N6 與 nE7 比較表

液晶類別	反應時間	操作電壓	穿透率
UCF-N6	○		
nE7		○	○



## 4.4 3D VAFFS 與 3D VAFFS\_com 之比較

我們想知道添加上層共用電極形成 3D VAFFS\_com 的效果[21]，並通過我們已知的 3D VAFFS，將雙方進行比較，並得出此動作會改變液晶顯示器的何種數值。此節的研究將使用延續 UCF-N6，但不同的是應用 4.2 節的畫素電極寬度(w)為  $2\ \mu\text{m}$ ，由於 nE7 對電場比較敏感，且為負型液晶，液晶導軸與電場方向垂直，而 3D VAFFS\_com 的電場過於複雜，會大幅增加 nE7 液晶轉動方向的不確定性，導致無法控制穿透率，此章節的 3D VAFFS 與 3D VAFFS\_com 都會採用 UCF-N6，並同樣以 4.1 節所述限制電壓週期為 10ms 進行模擬。

### 4.4.1 3D VAFFS\_com 原理與機制

3D VAFFS 與 3D VAFFS\_com 的差別在於添加一層上層共用電極，使 3D VAFFS\_com 除了水平方向邊緣場外，增加了垂直方向電場，並主導畫素電極上方液晶轉動方向。

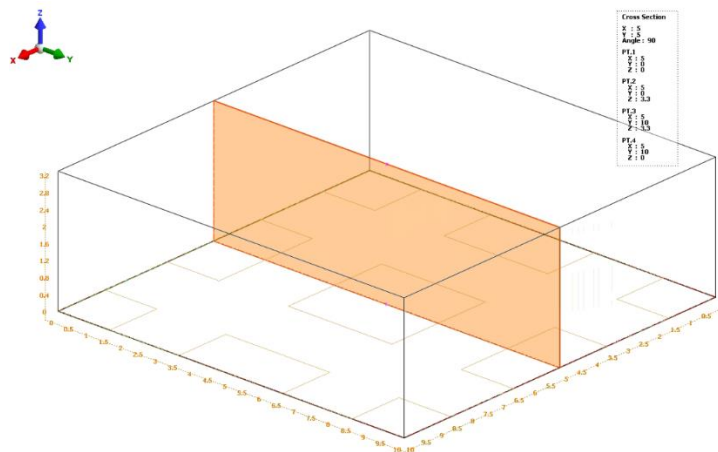


圖 4-22  $w = 2\ \mu\text{m}$   $g = 3\ \mu\text{m}$  畫素電極及電極間隔上的垂直截面( $x = 5\ \mu\text{m}$ )

如圖 4-24 所示，可以看出 3D VAFFS 的上方電場快速衰減接近 0，造成上方液晶轉動幅度極小而對光偏振沒有作用，僅透過下方液晶轉動以改變光偏振方向，



圖 4-25 紅色虛線圈起來的部分，與圖 4-23 對照，電場幾乎垂直朝下，但周遭轉動的液晶在連續性作用下，幫助畫素電極間隔中央的液晶轉動。

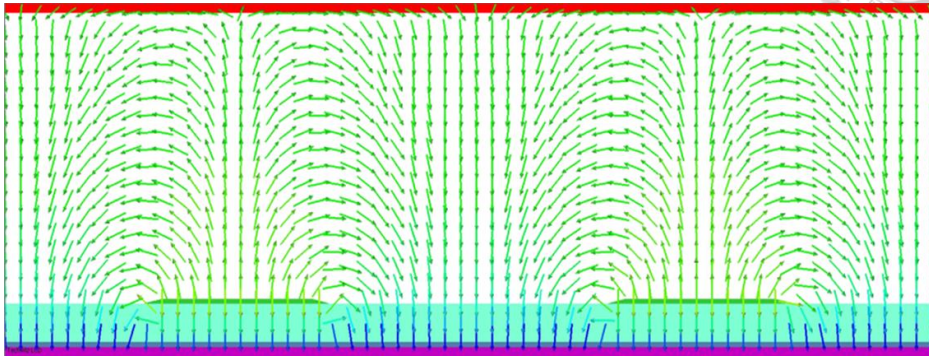


圖 4- 23 3D VAFFS 垂直截面電場方向

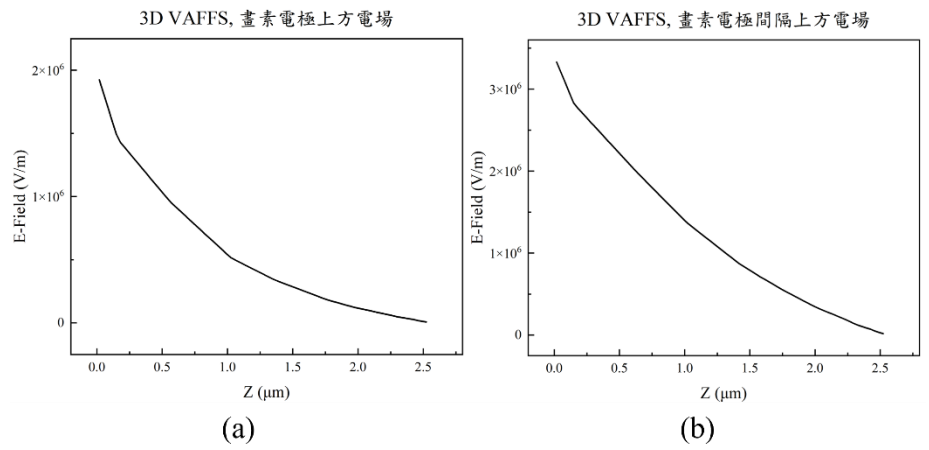


圖 4- 24 3D VAFFS 電場大小 (a) 畫素電極上方電場 (b) 畫素電極間隔上方電場

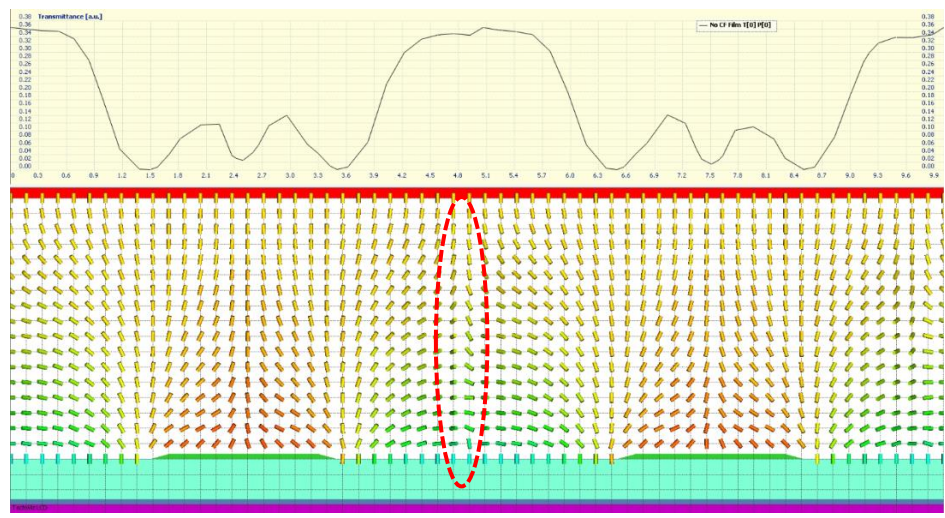


圖 4- 25 3D VAFFS 液晶層垂直截面方向



圖 4-27 則顯示，3D VAFFS\_com 可以維持上方電場，平均電場強度較為平均，使整層液晶皆轉動，對光偏振方向的改變更徹底，圖 4-28 紅色虛線圈起來的部分，看出畫素電極中央及電極間隔中央的液晶沒有轉動而形成虛擬牆。

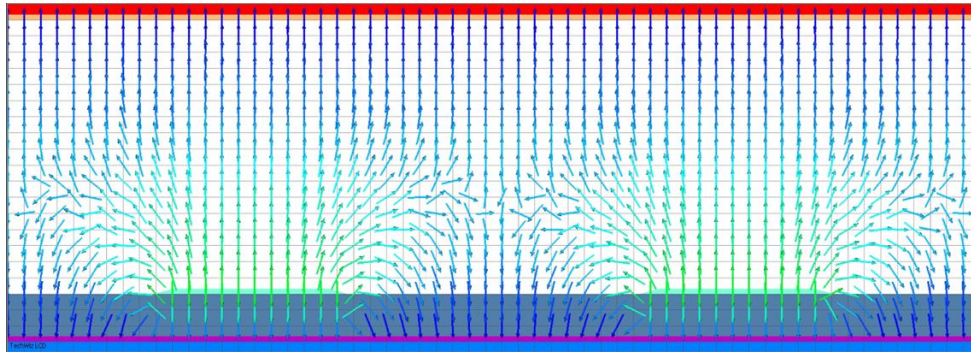


圖 4- 26 3D VAFFS\_com 垂直截面電場方向

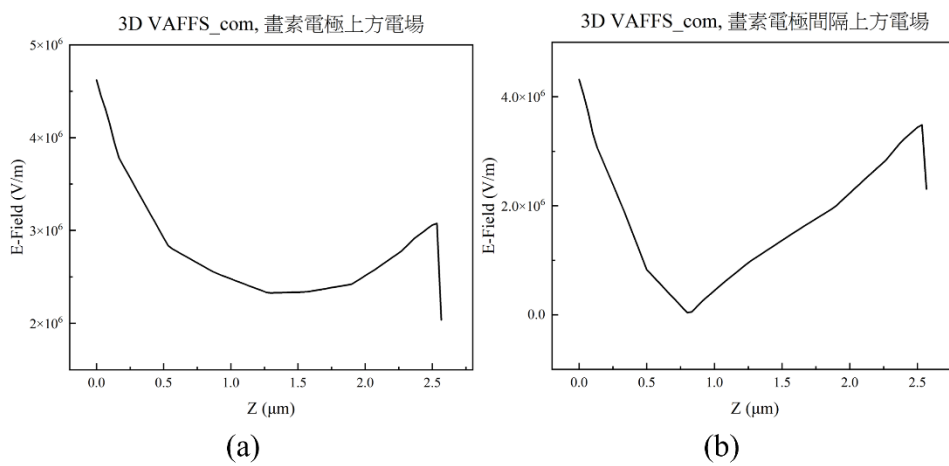


圖 4- 27 3D VAFFS\_com 電場大小 (a) 畫素電極上方電場 (b) 畫素電極間隔上方電場

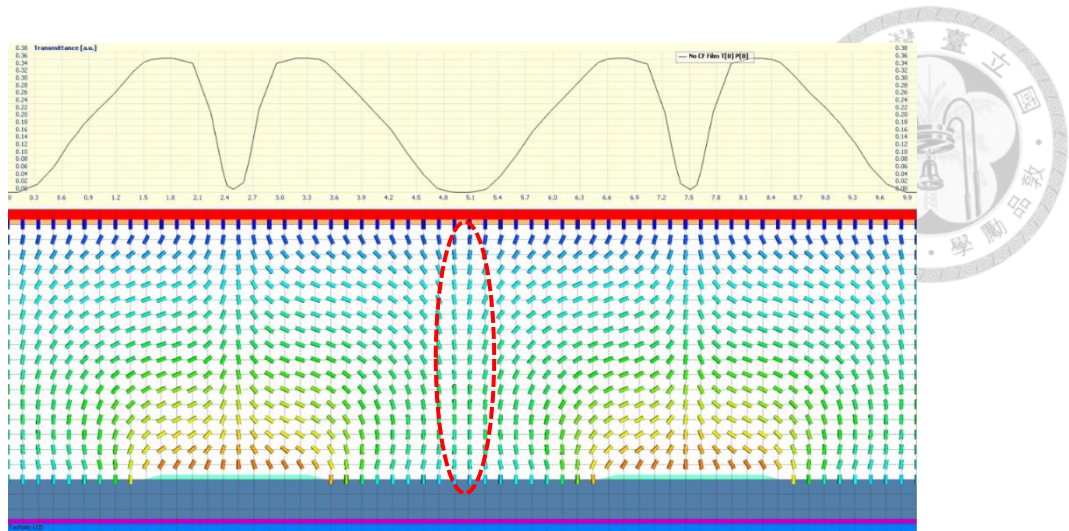


圖 4-28 3D VAFFS\_com 液晶層垂直截面方向

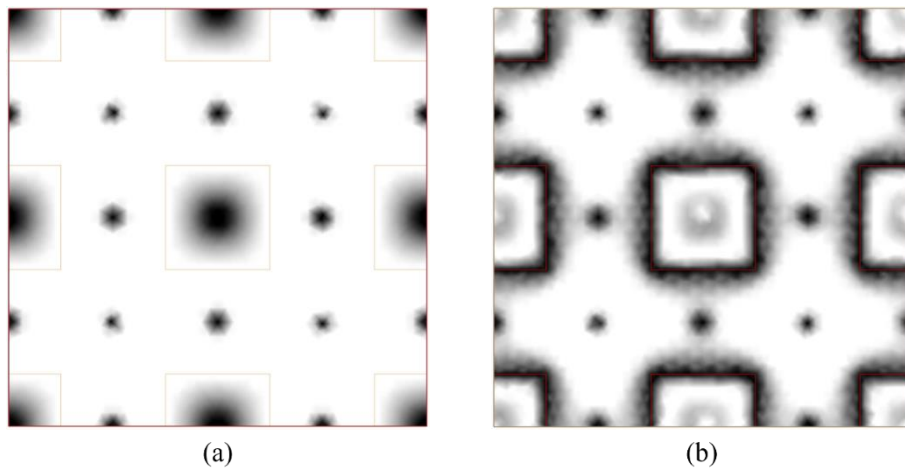


圖 4-29 穿透亮度圖 (a) 3D VAFFS\_com (b) 3D VAFFS

#### 4.4.2 操作電壓與穿透率

將 3D VAFFS 與 3D VAFFS\_com 進行比較可以發現操作電壓大幅下降且穿透率更高，使用 3D VAFFS 結構的 UCF-N6 液晶其電壓經過 4.3.3 節的改善，仍然需要大於 10 伏特的電壓驅動，操作電壓由間隔(g)為 3  $\mu\text{m}$ 到 6  $\mu\text{m}$ 分別選在 45、30、25、20 伏特，能確保虛擬牆存在，穿透率約在 50%，但在 3D VAFFS\_com 中，操作電壓分別選在 9、9、8、7 伏特，能確保虛擬牆存在，穿透率約在 80%到 60%。

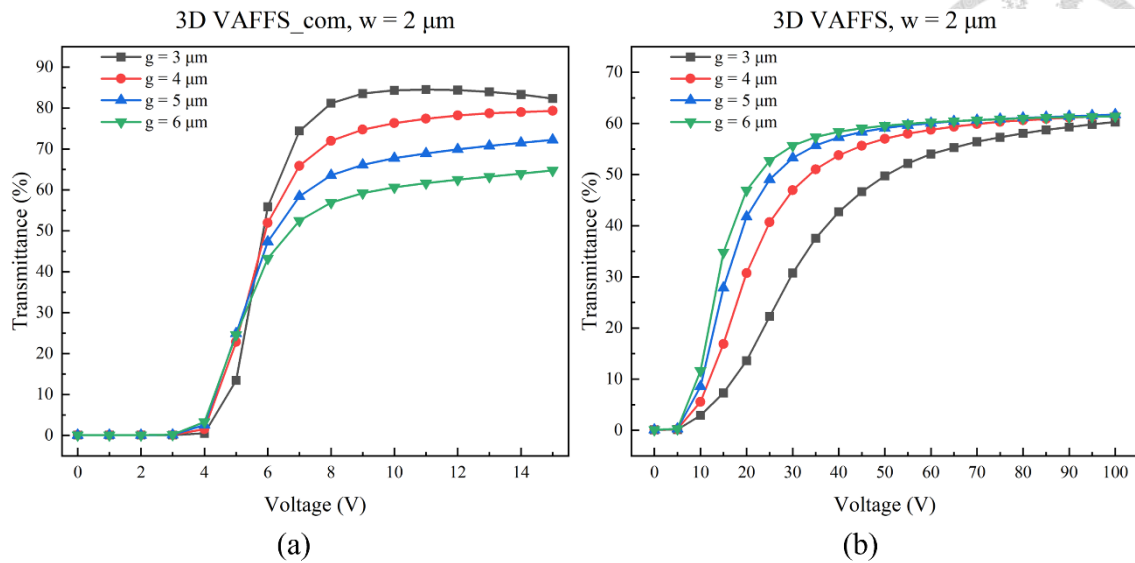


圖 4-30 UCF-N6 在不同結構的 V-T 圖 (a) 3D VAFFS\_com (b) 3D VAFFS

如圖 4-30，3D VAFFS\_com 的操作電壓比 3D VAFFS 還小且穿透率更高，我們推論這跟電場強度與範圍有關，4.4.1 節說明 3D VAFFS 僅在下層具有較大的電場，3D VAFFS\_com 的上層共用電極使電場延伸到上方並維持電場的整體強度，同時受到電場影響而轉動的液晶也增多，不需要如 3D VAFFS 一樣以強電壓驅動液晶轉動且轉動範圍只限於邊緣場的覆蓋區域。

圖 4-30 還顯示了 4.3.3 節所做的改變電極間隔(g)以降低操作電壓的方法，對於 3D VAFFS\_com 沒有顯著效果，原因在於液晶轉動不再侷限於水平邊緣場，亦加入了垂直電場讓更多液晶轉動，讓液晶充分改變光偏振方向，使更多光穿透出偏振片，因此 3D VAFFS\_com 能有效降低操作電壓並提升穿透率。此外與 3D VAFFS 不同，3D VAFFS\_com 改變電極間隔(g)甚至影響了穿透率，4.4.1 節提到，3D VAFFS\_com 電極間隔(g)的中央液晶沒有轉動，造成此區域為暗區，當電極間隔(g)越大，此區面積也越大，因此電極間隔(g)大小會影響 3D VAFFS\_com 的穿透率。





### 4.4.3 反應時間

從表 4-6 及圖 4-32 看到，3D VAFFS\_com 的反應時間會比 3D VAFFS 還要長，由 4.4.1 節的論述，推論 3D VAFFS 上層液晶轉動幅度不大，在液晶連續性作用下，讓 3D VAFFS 的液晶受到了虛擬牆及上方液晶的不轉動或極小轉動幅度，幫助 3D VAFFS 更快回復原位。而 3D VAFFS\_com 整層液晶皆在轉動，只剩虛擬牆能透過液晶連續性幫助轉動液晶復位，因此拉長了 3D VAFFS\_com 的回復時間。

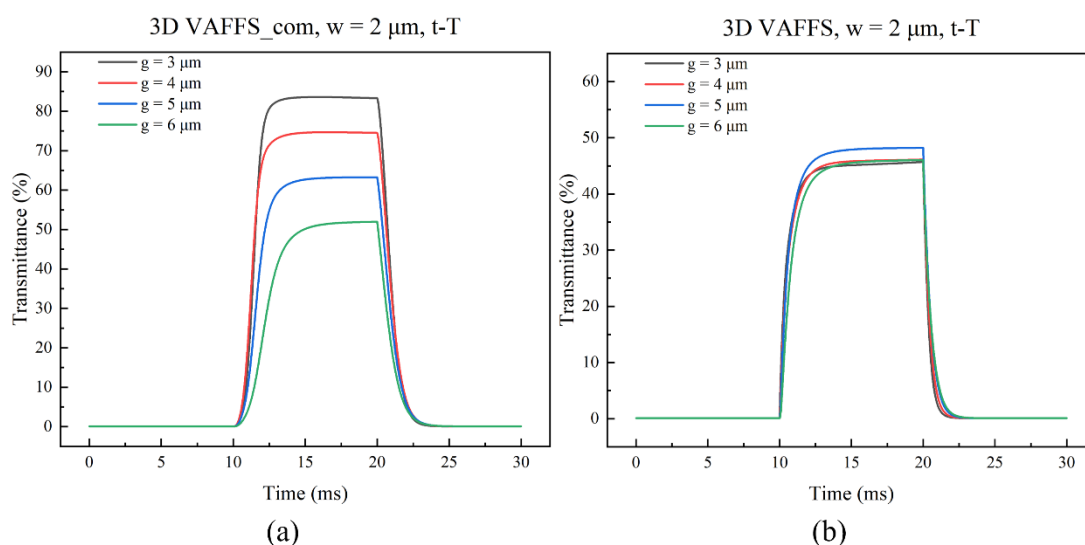


圖 4-31 UCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 2 μm，改變電極間隔(g)之 t-T 圖 (a) 3D VAFFS\_com (b) 3D VAFFS

表 4-6 UCF-N6 於不同結構的反應時間及電壓

3D VAFFS_com, w = 2 μm				3D VAFFS, w = 2 μm			
gap (μm)	rise time (ms)	fall time (ms)	voltage (V)	gap (μm)	rise time (ms)	fall time (ms)	voltage (V)
3	1.25	1.55	9	3	1.43	0.76	45
4	1.34	1.7	9	4	1.57	0.9	30
5	1.87	1.77	8	5	1.57	1.06	25
6	2.68	1.78	7	6	1.87	1.16	20

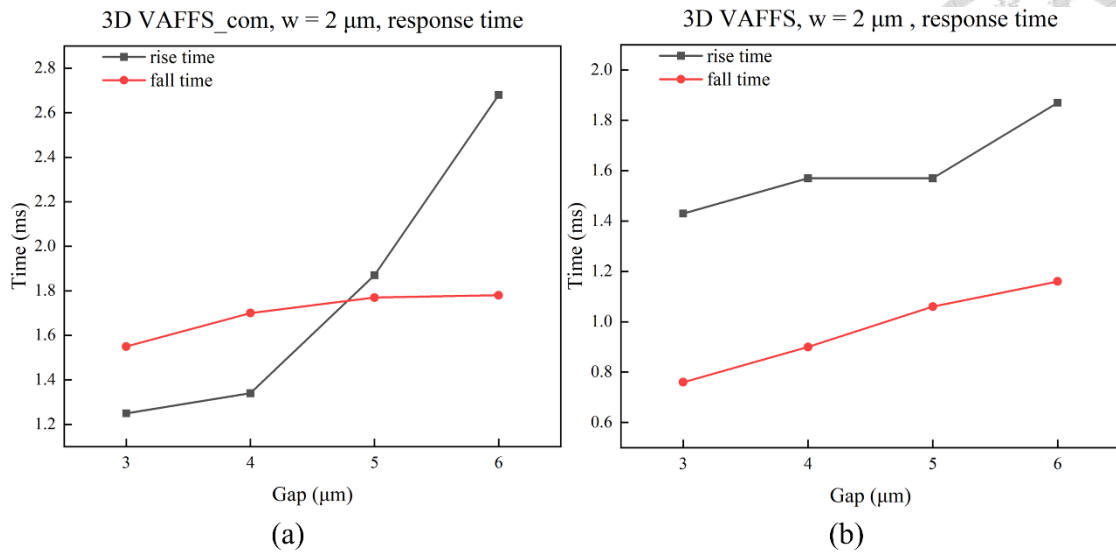


圖 4- 32 UCF-N6 於不同結構的反應時間趨勢圖 (a) 3D VAFFS\_com (b) 3D VAFFS

#### 4.4.4 比較

此節將 3D VAFFS 與 3D VAFFS\_com 一起比較，兩者都是取能看出虛擬牆的最大電壓並持續 10 ms。3D VAFFS 除了虛擬牆以外還有上層液晶都是為轉動液晶，驅動液晶回復原位的液晶連續性影響範圍較大，3D VAFFS\_com 則僅有虛擬牆區域為未轉動液晶，液晶連續性的影響範圍較小，因此 3D VAFFS 的反應時間較短，但 3D VAFFS\_com 具有較為平均的電場強度帶動整層液晶轉動，對於改變光相位有更好的能力，能以更低的操作電壓就達到不錯的穿透率，而有穿透率上升及操作電壓大幅降低的優點。

表 4- 7 UCF-N6 應用在不同結構的比較表

結構	反應時間	操作電壓	穿透率
3D VAFFS	○	△	△
3D VAFFS_com	△	○	○



## 4.5 正型液晶應用於 3D VAFFS\_com

### 4.5.1 正型液晶性質

進行了不同結構、不同液晶的比較，我們也想知道負型及正型液晶在這兩種結構的表現差異，延續 4.4 節的討論，將負型液晶 UCF-N6 改成正型液晶 pUCF-N6，兩者差異在介電常數相反， $K_{11}$ 與 $K_{22}$ 也不同，其餘參數皆不變。本章節會討論正型液晶放入 3D VAFFS\_com 的運作機制，並以 4.1 節所述限制電壓週期為 10 ms 進行模擬，並將正負型液晶兩者的表現放入比較。

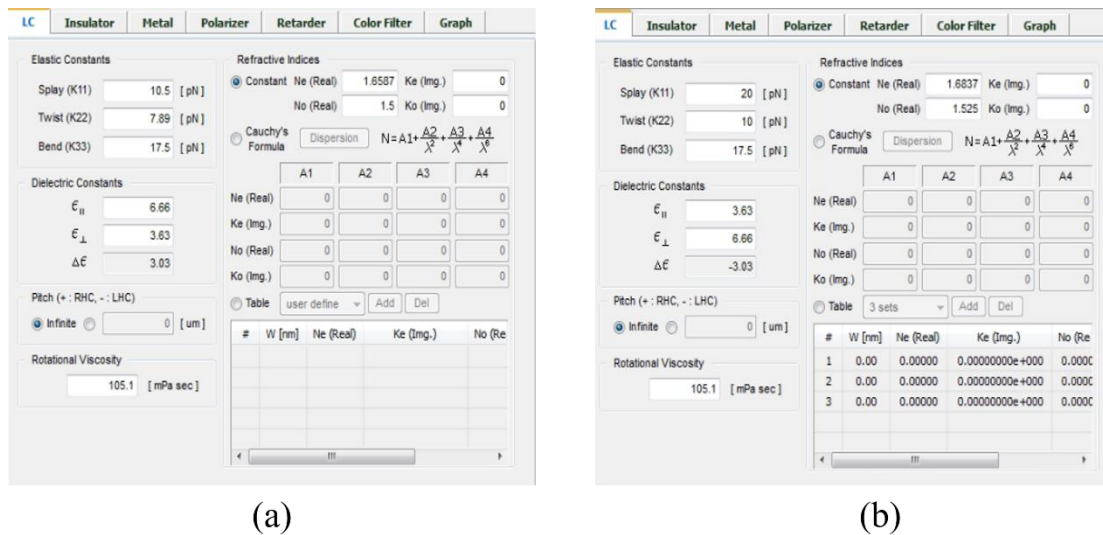


圖 4-33 正負型液晶參數 (a) pUCF-N6 (b) UCF-N6

正型液晶與負型液晶最大的不同在於介電異向性，介電異向性決定該液晶的導軸與電場方向是否同向或垂直，正型液晶為正值，導軸與電場同向，負型液晶為負值，導軸與電場垂直。



#### 4.5.2 操作電壓與穿透率

3D VAFFS 與 3D VAFFS\_com 應用 pUCF-N6 會得到不同的效果，圖 4-34(a)及 4-35(a)中 3D VAFFS 選定的操作電壓會隨畫素電極寬度(w)及間隔(g)大小不同而有所改變，而穿透率有大致上的範圍，像間隔(g)為 3  $\mu\text{m}$ 及 6  $\mu\text{m}$ 差距約 5%；圖 4-34(b)及 4-35(b)則顯示 3D VAFFS\_com 選定的操作電壓會是在 50 伏特以後會有穩定的虛擬牆，在穿透率方面，增加畫素電極寬度(w)會降低穿透率、增加電極間隔(g)會增加穿透率，後者的影響尤其明顯，間隔(g)為 3  $\mu\text{m}$ 及 6  $\mu\text{m}$ 差距約 20%，很明顯看出各間隔(g)的最大穿透率差距很大。正型液晶其轉動方向與電場同向，因此我們推測這樣的影響來自於 3D VAFFS 與 3D VAFFS\_com 兩者的電場方向差異。

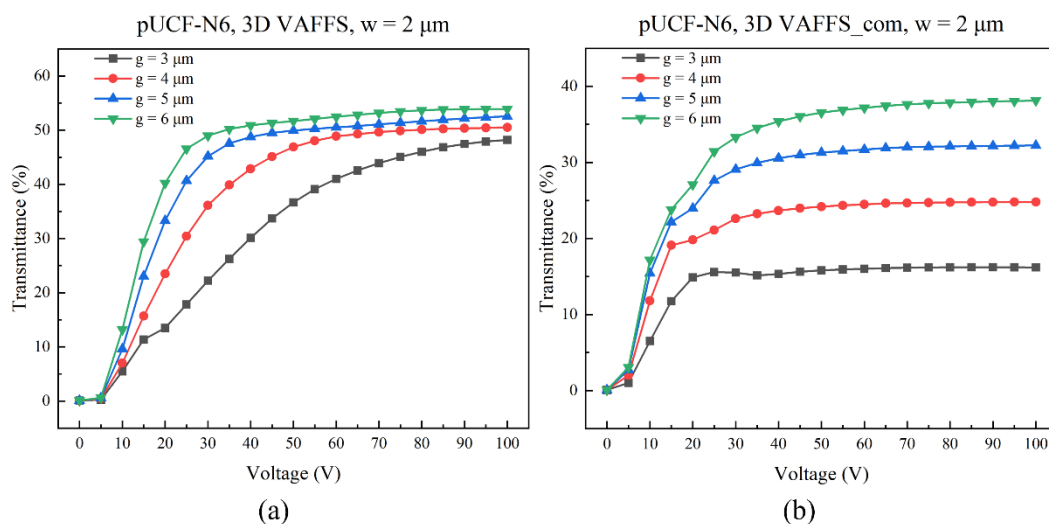


圖 4-34 pUCF-N6 於 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS\_com 之畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ V-T 圖

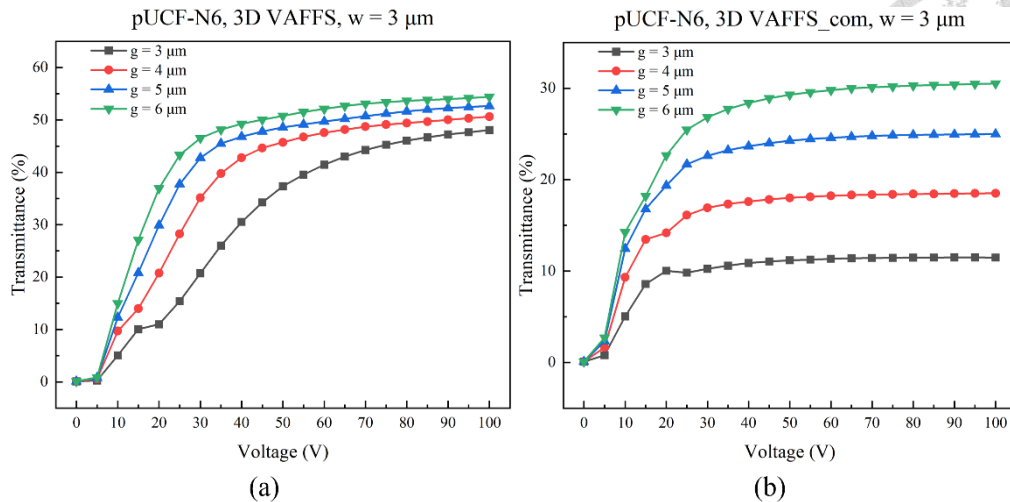


圖 4- 35 pUCF-N6 於 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS\_com 之畫素電極寬度(w)為 3  $\mu\text{m}$ V-T 圖

4.4.1 節顯示了 3D VAFFS 及 3D VAFFS\_com 的電場方向，與圖 4-36 及圖 4-37 對照可以得知，虛擬牆部分為垂直電場，亮區則為邊緣場，4.4.1 節推測，負型液晶應用於 3D VAFFS 時，電極間隔中央的液晶由邊緣場及周遭液晶在連續性幫助下轉動形成亮區，而與負型液晶不同，正型液晶的液晶連續性在此對於電極間隔(g)中央的液晶幾乎沒有作用，間隔(g)中央的液晶會朝向垂直的電場方向，無法轉動因而形成虛擬牆。

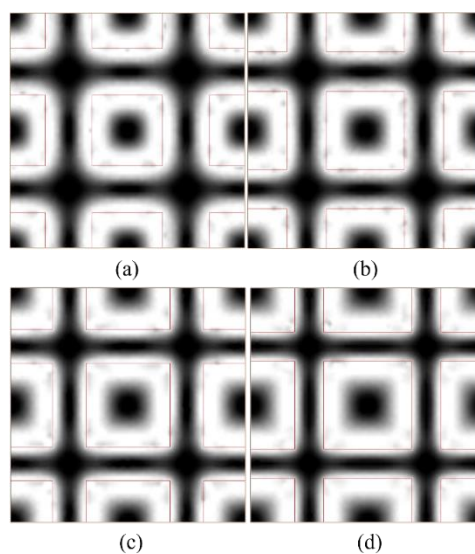


圖 4- 36 pUCF-N6 於 3D VAFFS，畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ ，電極間隔(g)為 (a) 3  $\mu\text{m}$  (b) 4  $\mu\text{m}$  (c) 5  $\mu\text{m}$  (d) 6  $\mu\text{m}$  之穿透亮度圖

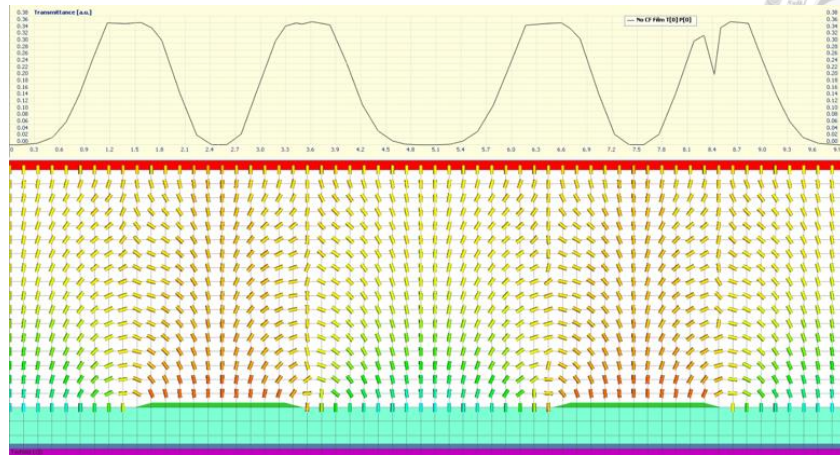
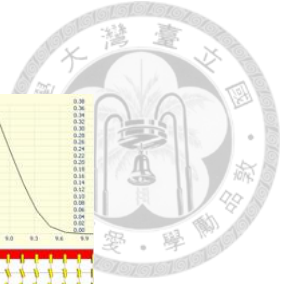


圖 4-37 pUCF-N6 於 3D VAFFS，畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ 、電極間隔(g)為 3  $\mu\text{m}$  之液晶層轉動示意圖(x = 5  $\mu\text{m}$ )

圖 4-38 也與 4.4.1 節的 3D VAFFS\_com 的電場方向一樣，畫素電極上方及間隔中央的垂直電場讓正型液晶無法轉動而形成虛擬牆，亮區則代表邊緣場的影響區域，3D VAFFS\_com 的邊緣場與 3D VAFFS 相比會更複雜，圖 4-39 紅色虛線部分看出同一區域層內電場方向上下不一致，液晶轉動方向亦不一致，造成亮區會有部分黑斑存在而降低穿透率。整體可以看出隨間隔越大，邊緣場的影響範圍越大而改善正型液晶應用於 3D VAFFS\_com 時的穿透率，但仍不及 3D VAFFS。

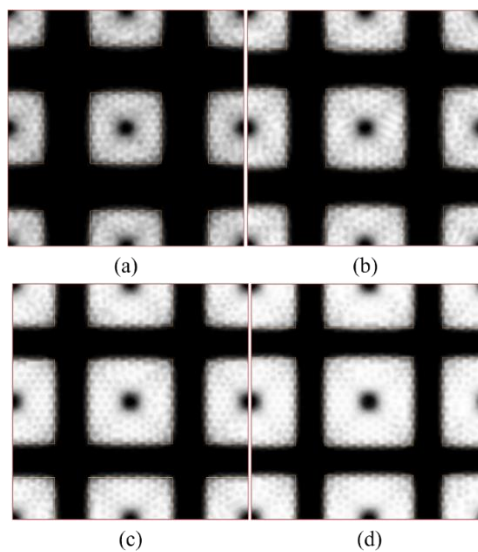


圖 4-38 pUCF-N6 於 3D VAFFS\_com，畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ ，電極間隔(g)為 (a) 3  $\mu\text{m}$  (b) 4  $\mu\text{m}$  (c) 5  $\mu\text{m}$  (d) 6  $\mu\text{m}$  之穿透亮度圖



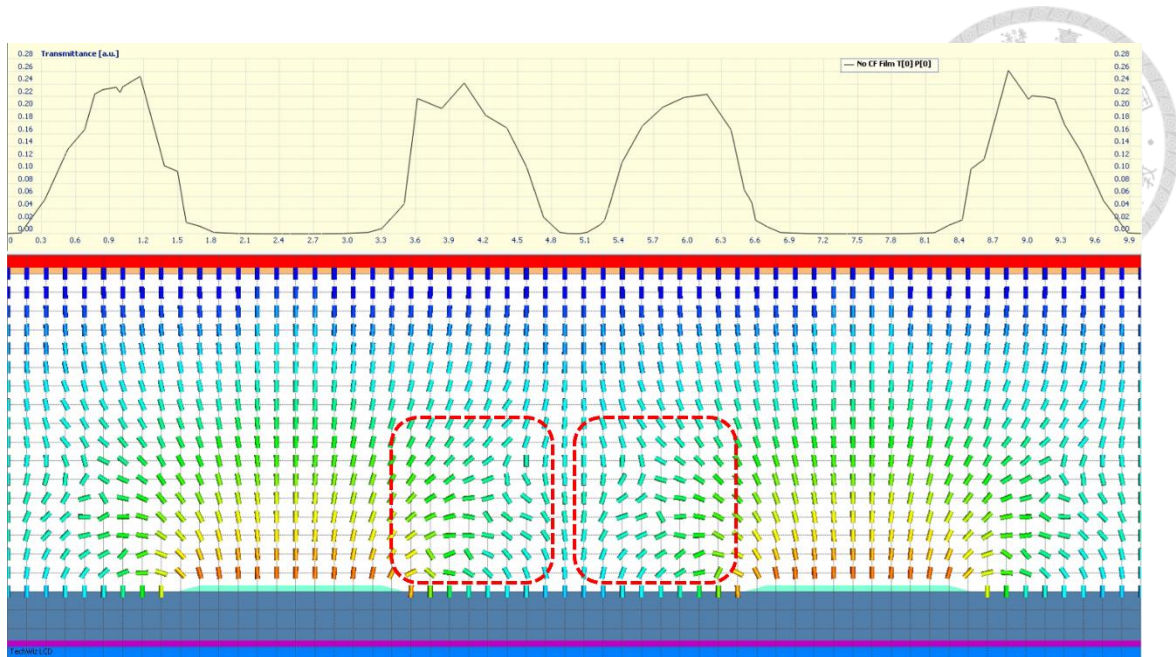


圖 4-39 pUCF-N6 於 3D VAFFS\_com，畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ 、電極間隔(g)為 3  $\mu\text{m}$ 之液晶層轉動示意圖(x = 5  $\mu\text{m}$ )

#### 4.5.3 反應時間

正型液晶的優點在於極短的反應速度，原先應用於 3D VAFFS 的數據比負型液晶還要快，與 4.2.1 節論述相同的是，圖 4-42 及圖 4-43 也能看出畫素電極(w)及電極間隔寬度(g)越大，反應時間會更長，但也有與負型液晶相反的結果，即正型液晶應用於 3D VAFFS\_com 的反應時間會比 3D VAFFS 更短，上升時間從原先的 0.4 到 0.8 ms 縮短至 0.1 ms，回復時間也有縮短，但隨間隔增大，回復時間逐漸拉長，從間隔(g)為 3  $\mu\text{m}$ 的 0.5 ms，在間隔(g)為 6  $\mu\text{m}$ 時拉長至 1 ms。

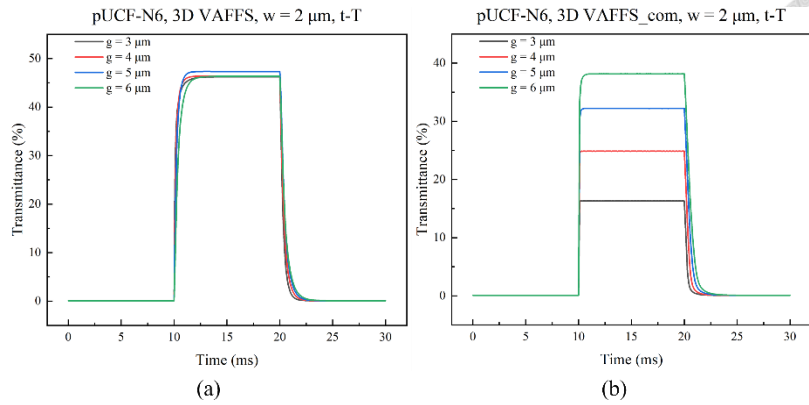


圖 4-40 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ ，改變電極間隔(g)之 t-T 圖 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS\_com

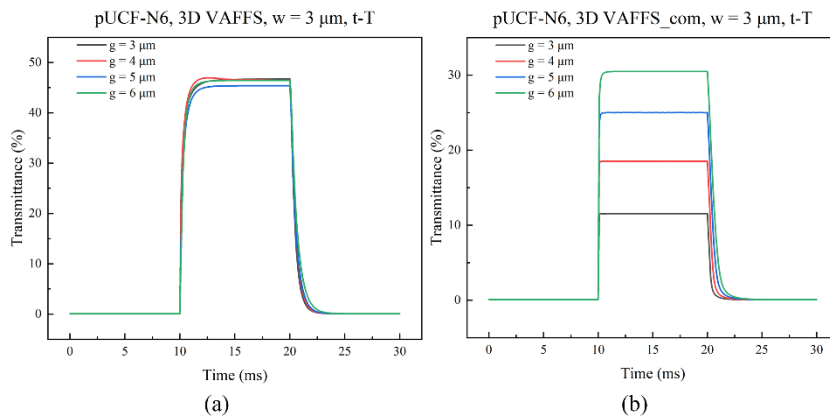


圖 4-41 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 3  $\mu\text{m}$ ，改變電極間隔(g)之 t-T 圖 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS\_com

表 4-8 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ ，不同電極間隔(g)的反應時間及電壓

pUCF-N6, 3D VAFFS, w = 2 $\mu\text{m}$ response time				pUCF-N6, 3D VAFFS_com, w = 2 $\mu\text{m}$ response time			
gap ( $\mu\text{m}$ )	rise time (ms)	fall time (ms)	voltage (V)	gap ( $\mu\text{m}$ )	rise time (ms)	fall time (ms)	voltage (V)
3	0.44	0.65	85	3	0.08	0.43	100
4	0.43	0.81	50	4	0.08	0.63	100
5	0.55	0.93	35	5	0.09	0.84	100
6	0.86	1.05	25	6	0.13	1.04	100





表 4-9 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 3  $\mu\text{m}$ ，不同電極間隔(g)的反應時間及操作電壓

pUCF-N6, 3D VAFFS, w = 3 $\mu\text{m}$ response time				pUCF-N6, 3D VAFFS_com, w = 3 $\mu\text{m}$ response time			
gap ( $\mu\text{m}$ )	rise time (ms)	fall time (ms)	voltage (V)	gap ( $\mu\text{m}$ )	rise time (ms)	fall time (ms)	voltage (V)
3	0.76	0.91	90	3	0.08	0.47	100
4	0.65	1.01	55	4	0.08	0.65	100
5	0.78	1.1	35	5	0.08	0.86	100
6	0.71	1.31	30	6	0.12	1.06	100

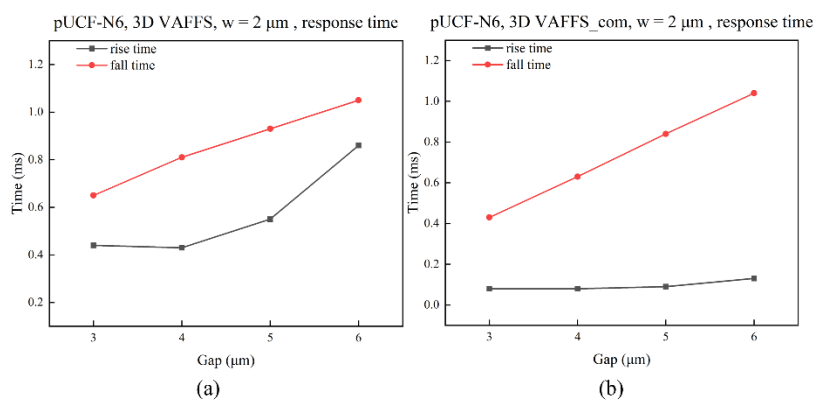


圖 4-42 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ ，不同電極間隔(g)的反應時間 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS\_com

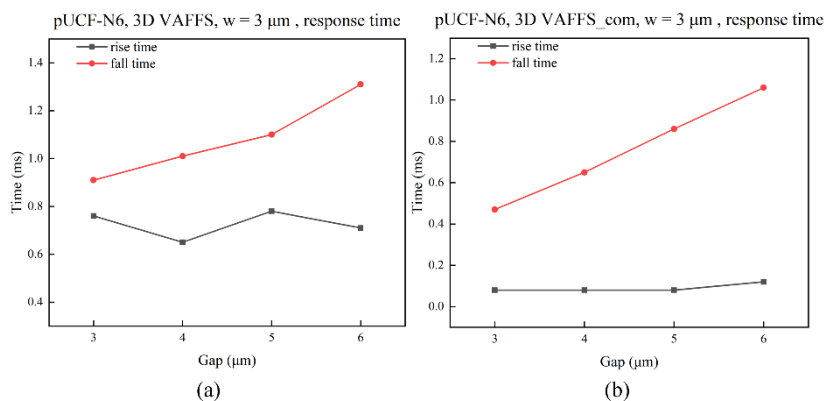


圖 4-43 pUCF-N6 於不同結構，固定畫素電極寬度(w)為 3  $\mu\text{m}$ ，不同電極間隔(g)的反應時間 (a) 3D VAFFS (b) 3D VAFFS\_com



#### 4.5.4 比較

表 4-10 能看出正型液晶應用於 3D VAFFS\_com 時，畫素電極上方電場將以垂直電場主導，導軸與電場同向的正型液晶無法轉動因而形成虛擬牆，同時虛擬牆的佔據面積廣，液晶連續性幫助轉動液晶更快回復原位而能縮短反應時間，虛擬牆為不透光的暗區，因此需要高電壓才能得到較好的穿透率，造成高操作電壓及低穿透率，與 4.4.4 節則得到負型液晶應用於 3D VAFFS\_com 會拉長反應時間，卻擁有低操作電壓及高穿透率的結論相反。

表 4- 10 pUCF-N6 應用在不同結構的比較表

結構	反應時間	操作電壓	穿透率
3D VAFFS	/	○	○
3D VAFFS_com	○	/	/

表 4-11 整理 UCF-N6 及 pUCF-N6 應用於 3D VAFFS 與 3D VAFFS\_com 各項表現上相比選出較佳結構，例如 UCF-N6 在反應時間表現上，會以 3D VAFFS 為佳而非 3D VAFFS\_com，可以看出正負型液晶在 3D VAFFS 及 3D VAFF\_com 所得到的優缺點會完全相反。

表 4- 11 不同結構優點於正型與負型液晶的比較表

液晶	反應時間	操作電壓	穿透率
UCF-N6	3D VAFFS	3D VAFFS_com	3D VAFFS_com
pUCF-N6	3D VAFFS_com	3D VAFFS	3D VAFFS



## 第五章 結論

本篇論文探討了電壓週期與兩步驟轉動的關係，以往研究中兩步驟轉動的發生原因，觀察到拉長電壓週期導致虛擬牆移動的現象，並希望能以新的觀點出發，也就是限制電壓週期防止虛擬牆移動，研究中發現其帶來的優點除了能讓虛擬牆穩定外，也擁有不錯的穿透率與更快的反應速度。

當限制電壓週期，保證虛擬牆穩定存在後，能夠研究以往被視為會使虛擬牆更容易位移的小線寬 3D VAFFS 結構，一樣是縮短電壓週期，在兩步驟轉動發生前就完成整個模擬，模擬結果讓我們得到畫素電極寬度(w)為 2  $\mu\text{m}$ 與 3  $\mu\text{m}$ 的 3D VAFFS 的差別與特點，2  $\mu\text{m}$ 的 3D VAFFS 擁有更快的反應速度與些微降低的操作電壓，但卻使穿透率下降。

由於想研究上層加共用電極的 3D VAFFS\_com 效果，我們也使用新的液晶 UCF-N6，先從 3D VAFFS 開始掌握 UCF-N6 的一些特性，整理參數在虛擬牆存在情況下影響液晶的各項表現，而其中極快的反應速度是 UCF-N6 的一大特點。

我們先從 3D VAFFS\_com 與 3D VAFFS 的電場方向下手，得出 3D VAFFS\_com 能維持上方電場，進而驅動整層液晶轉動，與 3D VAFFS 大部分為下方液晶轉動相比，3D VAFFS\_com 能提升穿透率與大幅降低操作電壓，但會減緩反應速度。

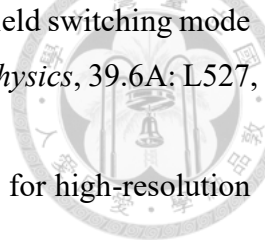
最後我們想知道若是將正型液晶 pUCF-N6，應用於 3D VAFFS 及 3D VAFFS\_com 會產生何種影響，討論前需要掌握正負型液晶差異及兩種結構的電場方向，進行模擬後我們的得知，pUCF-N6 與 UCF-N6 會產生相反的結果，應用 3D VAFFS\_com 反而會使 pUCF-N6 的操作電壓上升與更快的反應速度，穿透率反而會下降。

本論文對於縮短回復時間取得一些進展，但若想完善整個研究，利用過載電壓縮短上升時間會是不可或缺的一部分，再來則是研究 3D VAFFS\_com 的電場方向及對正負型液晶的關係，上方加入整片共用電極後整體表現差異，若未來想改善 3D VAFFS\_com，則也能考慮改變上層共用電極圖案，可以有效改變電場方向。

## 參考資料



- [1]. VERTOGEN, G. "Elastic constants and the continuum theory of liquid crystals." *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 117.1: 227-231, 1983.
- [2]. WU, Shin-Tson. "Birefringence dispersions of liquid crystals." *Physical Review A*, 33.2: 1270, 1986.
- [3]. Chen, HW., Lee, JH., Lin, BY. et al, "Liquid crystal display and organic light-emitting diode display: present status and future perspectives." *Light: Science & Applications* 7, 17168, 2018.
- [4]. SCHADT, Martin; HELFRICH, Wolfgang. "Voltage-dependent optical activity of a twisted nematic liquid crystal." *Applied Physics Letters*, 18.4: 127-128, 1971.
- [5]. CHIGRINOV, Vladimir G. "Liquid crystal devices: physics and applications." 1999.
- [6]. TING, Chin-lung; HUANG, Wen-fu. "Multi-domain vertical alignment liquid crystal display and driving method thereof." *U.S. Patent* No 6,922,183, 2005.
- [7]. KIM, Kyeong Hyeon. "Domain divided vertical alignment mode with optimized fringe field effect." *ASID* 98, 1998.
- [8]. KIM, Sang Gyun, et al. "Stabilization of the liquid crystal director in the patterned vertical alignment mode through formation of pretilt angle by reactive mesogen." *Applied physics letters*, 90.26: 261910, 2007.
- [9]. LEE, You-Jin, et al. "Surface-controlled patterned vertical alignment mode with reactive mesogen." *Optics express*, 17.12: 10298-10303, 2009.
- [10]. OH-E, Masahito; KONDO, Katsumi. "Electro-optical characteristics and switching behavior of the in-plane switching mode." *Applied physics letters*, 67.26: 3895-3897, 1995.
- [11]. OH-E, Masahito; KONDO, Katsumi. "Response mechanism of nematic liquid crystals using the in-plane switching mode." *Applied physics letters*, 69.5: 623-625, 1996.
- [12]. LEE, S. H.; LEE, S. L.; KIM, H. Y. "Electro-optic characteristics and switching principle of a nematic liquid crystal cell controlled by fringe-field switching." *Applied physics letters*, 73.20: 2881-2883, 1998.

- 
- [13]. HONG, Seung Ho, et al. "Electro-optic characteristic of fringe-field switching mode depending on rubbing direction." *Japanese Journal of Applied Physics*, 39.6A: L527, 2000.
- [14]. GOU, Fangwang, et al. "Submillisecond-response liquid crystal for high-resolution virtual reality displays." *Optics express*, 25.7: 7984-7997, 2017.
- [15]. JIAO, Meizi, et al. "Submillisecond response nematic liquid crystal modulators using dual fringe field switching in a vertically aligned cell." *Applied Physics Letters*, 92.11: 111101, 2008.
- [16]. CHOI, Wing K.; WU, Shin-Tson. "Fast Response Liquid Crystal Mode." UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA ORLANDO, No. 7369204, 2011.
- [17]. CHOI, Wing-Kit, et al. "Effects of electrode structure and dielectric anisotropy on the performance of VA-FFS LC mode." *Optics express*, 27.23: 34343-34358, 1990.
- [18]. 朱崑豪。改善垂直配向邊緣場效驅動液晶顯示器的虛擬牆穩定性之研究。未出版之碩士論文，國立台灣大學光電工程學研究所。2021。
- [19]. 謝易呈。三維電極結構之垂直配向邊緣場效驅動液晶顯示器元件模擬。未出版之碩士論文，國立台灣大學光電工程學研究所。2020。
- [20]. LIEN, A. "Extended Jones matrix representation for the twisted nematic liquid-crystal display at oblique incidence." *Applied physics letters*, 57.26: 2767-2769, 1990.
- [21]. Fangwang Gou, Haiwei Chen, Ming-Chun Li, Seok-Lyul Lee, and Shin-Tson Wu, "Submillisecond-response liquid crystal for high-resolution virtual reality displays." *Optics Express Vol. 25*, Issue 7, pp. 7984-7997, 2017.