

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

液態晶體平行配向的方向固定強度研究

Study on the Anchoring Strength of Planar Alignment of Liquid Crystals

計畫編號：NSC NSC 90-2112-M-009-051

執行期限：90年08月01日至91年07月31日

主持人：趙如蘋 國立交通大學電子物理系

計畫參與人員：林雅峯, 鄒明釗, 黃郁惠, 王智杰
國立交通大學電子物理系

一、中文摘要

表面方向強度是液晶元件的重要參數，因為所有的液晶盒都是利用表面配向膜對液晶分子的方向性作用力以提供一方向性之邊界條件。在開發新配向材料或拓展應用上，均需了解配向劑之配向強度。我們從事數種新的配向方法，包括：(1)AFM對polyimide膜之修飾，和(2)具微小溝紋的玻璃表面。針對這數種處理方法的配向層，我們將探討其配向強度與配向層製作方法及其他物性參數間之關係。

關鍵詞：液態晶體，表面配向，配向強度，原子力顯微術

Abstract

The anchoring strength is an important parameter for surface alignment film in liquid crystal cells.

We have studied new methods of surface alignment and measured the anchoring strength, particularly the azimuthal anchoring strength and their relations with our process. In this report, we report the results for our study on the films made by AFM modified polyimide film and micro-grooved glass surface.

Keywords: Liquid Crystal, Surface Alignment, Anchoring Strength, AFM

二、緣由與目的

液態晶體是有方向性的流體，其方向受電場磁場的影響可改變。在與其他材料接觸（如容器或液晶盒的基底等）則受與其他材料之方向性作用而有特定的排列，因而造成方向之邊界條件。在許多的應用中（如具有灰階的光學元件等），我們希望邊界條件越穩固越好。為了擴展液態晶體在各個領域的應用，人們希望能在液晶元件中

劃分出微小的區域，並使其具有不同之邊界條件。另外，如可在液晶元件完成後再改變其邊界條件，則可對液晶元件的可能用途提供新的方向，也可對所謂的瑕疵點進行修補。但在各種新配向發展中，其配向強度是一個必須檢驗的性質。

液晶在一具有配向膜之材料上其方向可用 polar angle Θ 及 azimuthal angle Φ 來描述。（如圖1）對特定液晶及特定配向膜，在沒有其他因素影響下，液晶的 easy direction 為 (Θ_0, Φ_0) 。若有其他因素影響，表面處的液晶方向可能也會改變成 (Θ, Φ) ，此時表面能量密度可以下列來表示：

$$F_s = 1/2 [A \sin^2(\Theta - \Theta_0)] + 1/2 [B \sin^2(\Phi - \Phi_0)],$$

式中 A 為 Azimuthal anchoring strength 而 B 為 polar anchoring strength。若在觀察範圍內 $\Theta \sim \Theta_0$ (or $\Phi \sim \Phi_0$) 則稱該方向具有 strong anchoring，這是在理論分析上常常用的假設。但是在新方法的發展過程中，我們必須確定其是否為 strong anchoring 或其 anchoring 強度為多少。

本報告將針對我們以(1)AFM對polyimide膜之修飾，(2)具微小溝紋的玻璃表面等方法進行之配向研究成果及 anchoring strength 測量結果作綜合比較。

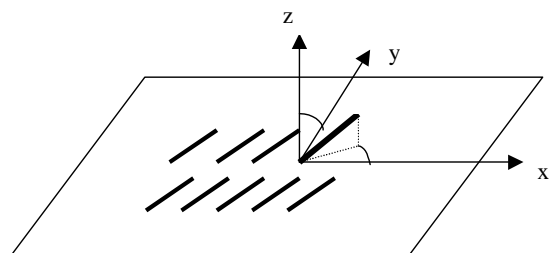


圖1 液晶方向

定向強度 (anchoring strength) 測量步驟

我們的量測原理是根據 Y. Sato、K. Sato 和 T. Uchida[1]、Sun R.[2-3]、G. P. Bryan-Brown[4]、Alan Lien[5]等人的方法，利用下式求出 anchoring strength，其中 A 是指表面自由能密度中的定向強度：

$$A = \frac{2K_{22}}{\sin\theta} \left(\frac{2\pi}{P_0} - \frac{\theta}{d} \right) \quad (1)$$

K_{22} : twist elastic constant ;
 P_0 : the chiral pitch ;
 d : cell gap ;
 θ : twist angle.

因為在這裡我們所注入的 LC 是有 chirality，所以對這種有 twist angle 的樣品，其光穿透率的表達式如下所示

$$T = \left[\frac{1}{\sqrt{1+u^2}} \sin(\sqrt{1+u^2}\theta) \sin(\theta - \psi_{pol}) + \cos(\sqrt{1+u^2}\theta) \cos(\theta - \psi_{pol}) \right]^2 + \frac{u^2}{1+u^2} \sin^2(\sqrt{1+u^2}\theta) \cos^2(\theta + 2\psi_0 - \psi_{pol}) \quad (2)$$

ψ_0 : polarizer 與第一層液晶長軸所夾角度；

ψ_{pol} : polarizer 與 analyzer 所夾角度；

$$u = \frac{\pi d}{\lambda \theta} (n_e - n_o)$$

λ : 入射光波長；

n_e and n_o : extraordinary and ordinary indices of refraction of the liquid crystal ;

$\Delta n = n_e - n_o$: the birefringence of liquid crystal ;

而當光穿透率最低時，也就是使得 (2-4)

$T=0$ ，我們可以再利用實驗中找出 ψ_{pol} 後，計算出有 chirality LC 的 θ ，然後代入 (1) 便可以求出 Anchoring strength。

在正交的兩偏振片之間，置放液晶樣品的溝槽方向與第一片偏振片平行， $\theta' = 0^\circ$ ，第二片偏振片的角度 $\psi_{pol} = 2\theta' - 90^\circ$ ，皆以電腦控制步進馬達進行。打入為波長 632.8nm 並且經過擴束的氬氛雷射，經過偏振片及液晶樣品後再量測光強度變化，如圖 3-4。由先前理論的推導式子(2)，我們為使穿透率 T 為零，必須滿足以下二式：

$$T_1 = \theta + 2\psi_0 - \psi_{pol} = \pm \frac{\pi}{2} \quad (3)$$

$$T_2 = \frac{1}{\sqrt{1+u^2}} \sin(\sqrt{1+u^2}\theta) \sin(\theta - \psi_{pol}) + \cos(\sqrt{1+u^2}\theta) \cos(\theta - \psi_{pol}) = 0 \quad (4)$$

實驗中，液晶樣品逆時針旋轉 θ' 而第二片偏振片旋轉 $2\theta'$ 的方法逆時針進行，即滿足(3)式。步進馬達進行方式為 θ' 自 20° 轉至 -90° ， $2\theta'$ 自 40° 轉至 -180° 才停止，我們可得一相對於穿透最暗值的液晶盒所旋轉 θ' 值。如圖 3-5 所量測到的穿透率最低點相對應的角度 $\theta' = -13.73^\circ$ ，則 $\psi_{pol} = 2\theta' - 90^\circ = -117.46^\circ$ 。再經由(4)式 T_2 對 θ 作圖可得一角度 θ_1 使得 $T_2=0$ ，即為圖 3-6 中的曲線相交於水平軸零點，可得 $\theta_1 = -27.27^\circ$ ，此 θ_1 即為 LC twist angle。

此時我們除了得到了 twist angle 之外，再將量測的 cell gap d 、實驗得到的 pitch P_0 、擬合得到的 K_{22} 代回(2-3)，即可算出 Anchoring Strength。以上的實驗皆經由自行撰寫 LabView 程式控制旋轉平台，並以電腦記錄的結果。

三、結果與討論

AFM 對 polyimide film 之修飾：

當 AFM 探針以 contact mode 掃過鍍有 polyimide 之玻璃表面，可造成此表面對液晶與掃描方向平行之排列，如圖 2 及顯示以據此薄膜之一液晶樣品在片光顯微鏡下顯示之排列效果。此種方法對液晶之定向強度與 AFM 探針修飾密度有關，在我們的探討範圍內，我們得到一幾乎成正比的結果(圖 3)。

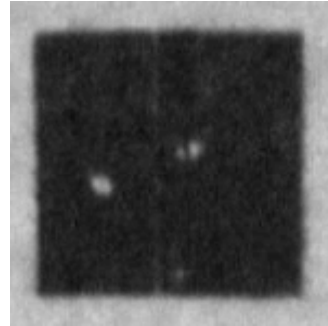


圖 2 Parallel LC cell under polarized microscope. The darker area is scanned with AFM tip under “contact mode”; the size is $80 \mu\text{m} \times 80 \mu\text{m}$.

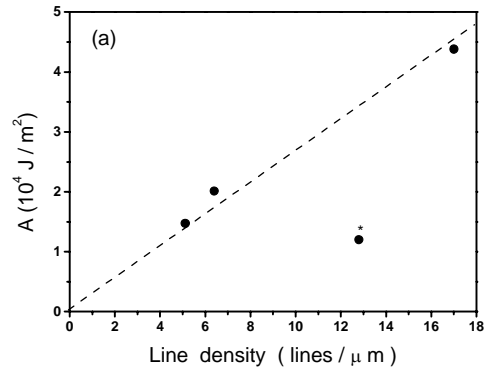


圖 3 Azimuthal anchoring strength vs. modifying density by AFM probe. Nematic liquid crystal 5CB is used in the cells except the one marked with “*”, in which a chiral dopant is added.

具微小溝紋的玻璃表面：

我們以光微影製程及乾式蝕刻(RIE)方法在玻璃表面製作了週期性微小溝槽(圖 4)。利用溝槽週期及深度變化,我們可在非常廣之範圍調整 anchoring strength 之大小(圖 5)。密溝槽 (2 μm) 其 anchoring strength 甚至大於磨刷之 polyimide surface,而若的情況可僅有其千分之一。

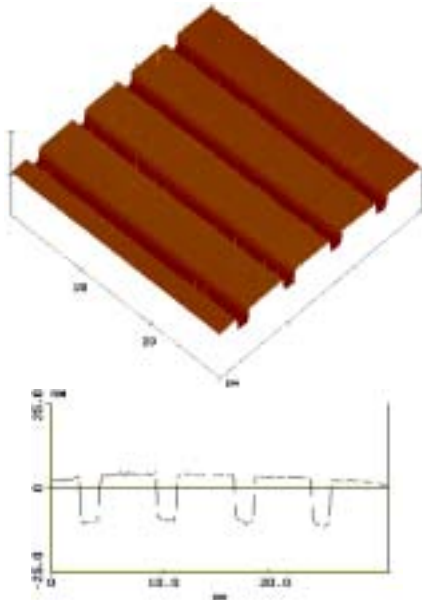


圖 4 The surface topography of the RIE processed glass surface. Groove period is 7 μm in this picture.

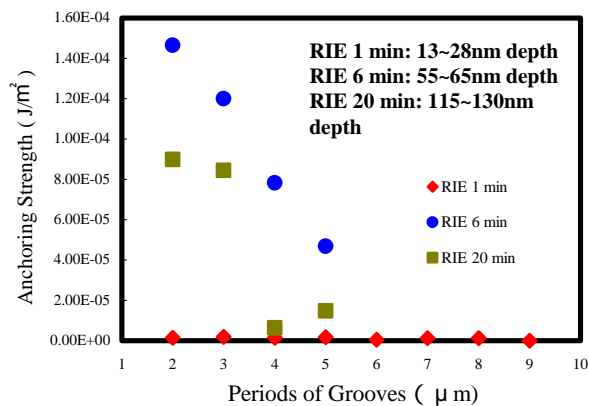


圖 5 Anchoring strength of micro-grooved glass to liquid crystal 5CB.

四、計劃自評

我們研究了兩種非磨刷液晶配向方法,並以本計劃所建立之方法測出其定向強度。這在欲將液晶應用擴展到小尺寸或微機電的工作上是非常重要的知識。本計劃所提之工作亦均已完成。

五、參考文獻

- [1] Y. Sato, K. Sato and T. Uchida, J. Appl. Phys., 31, L579. (1992).
- [2] Sun Ruipeng, Huang Ximin, Ma Kai, Wang Zongkai, and Jiang Min, "Alternative method of investigating surface torsional anchoring energy for pure nematic liquid crystals", Physical Review E, 50, pp. 1253-1256, (1994).
- [3] Sun Ruipeng, Huang Ximin, Ma Kai, Wang Zongkai, and Jiang Min, "A new method for the study of surface torsional anchoring of nematic liquid crystals", SID, Proc. IDRC, pp. 616-619, 1994.
- [4] G. P. Bryan-Brown and I. C. Sage, "Photoinduced ordering and alignment properties of polyvinylcinnamates", Liquid Crystals, 20, 6, pp. 825-829, Feb. 1996.
- [5] Alan Lien and Yukito Saitoh, "An Improved Azimuthal Anchoring Energy measurement Method Using Liquid Crystals with Different Chiralities", Jan. J. Appl. Phys. 39, pp. 1743-1746, (2000).
- [6] A. Lien, "Optimization of the Off-States for Single-Layer and Double-Layer General Twisted Nematic Liquid-Crystal Displays", IEEE Trans Electron Dev 36, pp. 1910-1914, (1989)