

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

液晶顯示器面版間格球滯滑運動之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2212-E-216-003-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：中華大學機械工程學系

計畫主持人：陳俊宏

計畫參與人員：陳精一、簡志鴻、王立夫、廖乙安

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 25 日

中文摘要

本計畫針對 TFT-LCD 面板振動所引發之間格球滯滑運動進行研究。計畫包括建立面板的等效有限元素模型與間格球的滯滑運動數學模型。摩擦力的理論模式將採用卡諾普摩擦模型(Karnopp friction model)，探討間格球受面版正向力、摩擦力以及重力作用下，是否產生間歇性的移動。計畫中利用有限元素法計算各個間格球受振時正向力的變化，代入滯滑運動數學模型探討間格球的運動行為。本計畫成果可提供面板設計者於設計之初，預估面板壽命與改善方向的參考，達到縮短設計時程，提高產業競爭力與品質提升之目標。計畫中探討不同的參數，如間格球的分佈、面板振動頻率、面板與間格球材料特性等對間格球的滯滑運動的影響。

關鍵詞：卡諾普摩擦模型、滯滑運動、間格球、TFT-LCD 面版

Abstract

The stick-slip motion of ball spacers induced by the vibrating TFT-LCD panel was study in this project. The Karnopp friction model was adopted and the intermittent movement of ball spacers acted by normal force, friction, and weight is investigated. This project constructed both the equivalent finite element model of TFT-LCD panel and the stick-slip motion model of ball spacers. Through the finite element model, one can obtain the normal forces acting on ball spacers and then substitutes them into the stick-slip motion model to compute the movements of ball spacers. The proposed method can be used to predict the life and improve the performance in the primary design of the panel. The effects of various parameters, such as the distribution of ball spacers, the frequency of the vibrating panel, and material properties of ball spacers and the panel, were study in this project.

Keyword: Karnopp friction model, stick-slip motion, ball spacers, TFT-LCD panel

1. 前言：

TFT-LCD產業先驅者為日本，其於1990年即量產1世代製程產品。其次為韓國，在1995年進入2世代製程，我國雖也在1992年就展開1世代製程的研究，但真正大量投資則在1997年3世代製程才開始，屬落後者。中、日、韓三國競爭力分析，日本具技術優勢，但台、韓較具成本優勢，尤其台灣在稅制優惠上更勝於韓國，為韓不敢小覷的對手。據估計台灣將2005年前TFT-LCD產值達到35%的市佔率，與日、韓三分天下[1]。

TFT-LCD產業若要長期維持高成長，必須不斷開發新的應用產品，目前筆記型電腦、LCD監視器、LCD電視等三大市場的成長潛力已為各廠確定。但新的應用產品如行動電話、影像電話、攜帶型終端產品、電子媒體閱讀機、網際網路對應裝置、車用顯示器及可穿戴顯示器等，均為可期待的高成長LCD應用產品。而在中小尺寸面板產能由台灣居冠，資策會MIC也指出，在行動電話與車用面板帶動下，中小面板成長可期。由此可知未來TFT-LCD面板的應用與使用將面對愈來愈複雜的環境，如車用面板與行動電話的使用，讓TFT-LCD面板面臨高度振動的考驗。

2. 研究目的：

目前TFT-LCD面板的構造是藉由間隔球 (ball spacer) 將上下基板隔開，讓液晶能均勻的注入基板中，在此間隔球的分佈扮演製程上極具重要的一環，若噴灑密度不均，會造成兩基板間的間隔不一，產生電場變化而使液晶轉向異常或無法轉向，造成色差、light on等現象，使得此面板成為廢片。因為間隔球僅藉由上下基板施加預力所產生的磨擦力固定，間隔球與基板間並未使用黏膠，若TFT-LCD面板因使用環境因素而受到長時間的振動，有可能造成間隔球移動，當移動距離至一定程度，便會產生面板間隔的不均，此時電場一樣會出現變化產生色差，則此片TFT-LCD面板的壽命即告終了；會使間隔球發生脫落的情形絕大部分來自振動[2]，隨著車用面板以及行動電話的日益普及，面板因使用環境而受到長時間的振動造成間隔球滑動以致面板失效的問題經常發生，如何能夠準確評估TFT-LCD面板的使用環境與壽命，便成為TFT-LCD面板在設計時的重要課題。

本計劃針對TFT-LCD面板的振動以及間隔球受正向力、重力與摩擦力所造成的滑動情形，建立一個完整的數學模型，透過電腦模擬計算TFT-LCD面板振動時的應力、應變變化以及間隔球移動的距離，預估TFT-LCD面板的壽命。此結果將可轉移至產品品質管制界線，並可導入TFT-LCD面板設計規範之內，讓設計者於設計之初，即可預估產品壽命與改善方向，有助於縮短設計時程，有效改善製程上參數值與TFT-LCD次數，降低生產成本，提高產業競爭力與產品品質提昇之目標。

3. 文獻探討：

有關TFT-LCD面板振動的電腦模擬，林浩妃[3]曾針對車用尺寸之面板進行振動分析，量測其振形與振頻，並利用實驗結果對數值參數作修正，找出數值模型並有效模擬振動行為。陳君明[4]探討TFT-LCD模組受衝擊行為時之動態行為，藉由數值模擬與實驗相互印證，以對結構設計提出改善。由於TFT-LCD面板振動時，間隔球受面板正向力、重力以及摩擦力的作用，摩擦力在間隔球鬆脫過程扮演相當重要角色。對於一物體受摩擦力與其他外力作用，目前已有相當多的學術論文探討其各種運動行為。兩接觸物體間摩擦力的數學模型主要是根據庫倫摩擦定律(Coulomb's Law of friction)，但根據庫倫摩擦力的定義，在相對速度為零時會摩擦力會產生不連續值，因此當滯滑行為(stick-slip behavior)在機械系統扮演重要角色時，會造成電腦數值模擬的困難[5-6]，因此Karnopp[7]針對庫倫摩擦建立Karnopp model，利用相對速度門檻(a threshold contact velocity magnitude)來區隔滑動與黏滯摩擦力，以消除電腦值模擬上的問題。Karnopp model後來經過許多學者改良，例如Tan與Rogers[8]以及Leine等[9]，來增加數值模擬的穩定性以及精確度。但是經這些學者改良後的Karnopp model，摩擦力仍然為不連續的，尤其在滑動與黏滯摩擦力之間轉換時特別明顯。為了解決不連續的模擬問題，Turner[10]藉著增加狀態變數，來解決不連續函數的模擬問題。Oden與Martins[11]以及Song等[12]則提出平滑規則化(smooth regularization)的庫倫摩擦力模型，使得摩擦力模型更容易在電腦實現，但是在相對速度為零時之摩擦力實際值與模型預測值仍有差異存在。Quinn[13]提出一個新的規則化方法，更進一步改良庫倫摩擦力模型，使得摩擦力在電腦模擬時為連續的形式。其他尚有許多學者基於物理上的考量加入額外的變數於摩擦力模型[14-16]，以便描述實驗上所觀察到的摩擦力現象。Wikiel與Hill[17]分析兩物體以彈簧相連接，在垂直圓管內的運動行為，物體與管壁之間的摩擦力為庫倫摩擦力，他們將摩擦力門檻值設為兩物體間距離的函數，經數值模擬結果與實驗值相當吻合。Vielsack與Spiess[18]則探討剛體位於受調和激振的斜面上得滑動情形，剛體與斜面的摩擦力假設為摩擦係數為隨機的庫倫摩擦。Cheng 與Zu[19]研究質量彈簧系統受到含有兩個頻率的調和激振力激振，以及庫倫和阻泥摩擦力同時影響下的振動行為，發現在接近共振區時，其動態響應與受到單一頻率激振時的動態響應不同。Beunder與Rem[20]用多面體模擬不規則形狀物體不完全滾動(non-perfect rolling)的運動軌跡，多面體面的數目可做為物體表面粗糙度及能量消耗的指標，當面的

數愈多，能量消耗愈少速度愈快。計畫申請人[21]亦曾探討螺絲的鬆脫行為與螺紋角、預負荷、振動頻率之關係，首先建立螺絲鎖緊機構的靜態與動態模型，然後結合卡諾普(karnopp)摩擦力模型建立螺絲的鬆脫模型，預測螺絲鬆脫與否、何時鬆脫，以及應力是否超過材料的降服強度而造成破壞。

4. 研究方法：

本計畫首先建立整個面板的有限元素模型，利用ANSYS軟體分析面板的振動行為，求得正向力對時間的變化。由於間隙球只要掉落極短的距離，便能造成面板的失效，為了簡化模擬過程，可假設在間隙球的掉落過程，對於整個面板的振動行為並沒有影響。其次再建立間隙球的滯滑運動數學模型，利用此模型運算出間隙球的滯滑現象。本計畫所使用之材料參數與尺寸，由TFT-LCD面板供應商提供，根據這些資料建立面板的有限元素模型。

4.1 有限元素模型分析

模型的元件(圖1)包括上基板(Color filter)、下基板(TFT)、間隙球(Spacer)、框膠(Epoxy rubber)、液晶(Liquid Crystal)，以ANSYS有限分析軟體來進面板結構分析，求解出間隙球所受應力的大小。ANSYS分析時，當元素分割愈細密時，所得結果也愈精確，但相對的也須要更多的運算時間，相反的若是元素分割太大，則失去精準度；由於面板內間隔球數目過多且基板間間隙過小，運算元素數目原本就很大，因此本文採等效模型分析的方式求解[22]，以期能加快電腦分析的速度而又不失精確度。

面板內，每 mm^2 內有225顆的間隙球，總數約為 3.5×10^6 ，要處理數量如此多的元素，對電腦來說是一個相當大的負擔；再來就是液晶層厚度(Cell Gap)與玻璃厚度的比例差異相當大，液晶層厚度只有0.38微米，而玻璃厚度是0.6厘米，若是將液晶層分成4等份，則上下基板將需被切割成 5×10^4 等份，如此多的元素對電腦運算是費時也無效益的。要解決這兩個問題，必須要運用等效的方式來處理；首先是簡化數量龐大的間隙球，以基板表面的每個切割元素大小為一範圍，把範圍內的所有間隙球數合成一顆間隙球，其彈性係數變為範圍內所有間隙球彈性係數的加總，此並聯間隙球的方式可大大的減少ANSYS運算時的數目；再來是把微米的液晶層放大成與玻璃的厚度相近，這樣元素的切割數會變的較少較容易運算，不過這種作法需要對材料特性做些變換才能符合原來的物體質量與元素特性。首先，液晶的體積模量(M)必須轉換成等效的材料特性：

$$\Delta V / V_0 = -\Delta P / M$$

ΔV = 體積改變量

V_0 = 原體積

ΔP = 壓力變化量

而液晶體積 = 長 \times 寬 \times 液晶層厚度，ANSYS模型裡只改變了液晶厚度，所以方程式裡的 $\Delta V / V_0$ 簡化為 dT / T ， dT 為原液晶層厚度， T 為放大後的液晶層厚度；簡化後的方程式為：

$$-M * dT / T = \Delta P \quad \text{或} \quad -(M / T) * dT = \Delta P$$

所以等效後的體積模數乘上液晶層的放大比例，可得到原來的物理特性。相同的道理，間隙球的彈性係數也一樣要乘上液晶層的放大比例，方能產生相等於實際的材料特性。

4.2 間隙球的滯滑運動數學模型

間隙球主要功能為隔開兩基板，讓兩基板不會互相接觸；將間隙球視為被兩基板壓住，而摩擦力必須要在大於間隙球的重量時，間隙球才不會產生往下掉落的現象，如圖2所示。間隙球運動模式有靜止、滑動與滾動。本論文中只考慮靜止與滑動，並運用ANSYS分析出來的正向力數值，代入依據Karnopp的模型理論導出的滯滑運動數學模型(圖3)分析，求出間隙球受到振動力時所產生的滯滑現象。

本模型左右兩側的摩擦係數不盡相同，所以以分開運算的方式來計算摩擦力，並可同時排除如果左右基板材料特性或摩擦係數不同時的問題。間隙球粒徑為 $4.2 \mu\text{m}$ ，故將數值模擬臨界數度(DV)定為 $0.000000001 \mu\text{m/s}$ ；間隙球與PI膜的摩擦係數目前業界與模擬

學術界並無相關資料與研究，所以在本論文裡以廠商測試的非公開數據為標準，取這兩種材質的摩擦係數作為電腦數值模擬分析的 μ 值。靜摩擦係數為0.42，動摩擦係數為0.39。

5. 模擬結果與討論

ANSYS模型以實際面板尺寸為準，除液晶層厚度會放大外，其餘皆為實際尺寸，如表1。上下基板元素選定為shell63、間隙球元素選定LINK10、框膠元素選定solid185、液晶元素選定fluid80。建立模型順序為下基板、液晶層、框膠、前基板、最後完成間隙球，材料特性如表2。模型建立完成後，需經驗證所使用的等效模式是否具可靠性及能代表實際結構與材料特性的動態現象；本文以六種等效模型做驗證，分別改變

元素尺寸大小與兩基板間的液晶層間隙；將元素尺寸分成 2*2、4*4、6*6 三種，每種尺寸的元素，分別在用兩種液晶層厚度 0.475mm、0.95mm 做模擬。若是六種等效模型的模態皆有相同自然頻率，則表示模型具有可靠性。經過分析後，六種模型之模態與自然頻率非常相近，也證明了本文使用等效原理的正確性，圖 4 為 4*4 以及液晶層厚度 0.475mm 之模擬結果。利用所建立的等效分析模型，求得間隙球在個頻率時的所受正向力值 (N_t, N_r)，將數據代入間隙球的滯滑運動模型(圖 3)，即可求得間隙球之運動行為。

依據面板廠商標準測試，利用簡諧運動分析，振幅固定為 1.5mm，頻率由 5 Hz~500 Hz；模擬數據取間隙球位於面板內部四點，每 10 Hz 的受力情形(圖 5)。從圖 5 可以看出四區域的受力情形幾乎一樣，在 380 Hz 後的變化較明顯。利用滯滑運動模型模擬結果，當振動頻率達 390Hz 時，間隙球才會開始脫落(圖 6)。本計畫以不同的振幅激振面板，發現間隙球得滑落現象依然出現於高頻區，頻率應力圖如圖 7、8 所示，可見激振力頻率為影響間隙球滑落與否的主要因素。

從模擬數據顯示，得知面板不會因一般振動 (<390Hz) 而造成損壞，所以此面板為一優良產品設計。透過本文的模擬分析方式驗證，可以知悉實際產品在使用環境上結果。

6. 計畫成果自評

ANSYS 的分析能依據不同面板尺寸、材料特性、預應力、振幅、頻率等，求出間隙球受力大小，再將數據代入滯滑運動數學模型運算求出間隙球的滑移現象及產品的使用極限；這不但節省了許多設計上與製程條件測試的時間，也節省許多測試模具的開銷費用，更具有說服客戶購買產品的有力證明。

國內面板廠商，多數未導入模擬分析的方法來替代傳統的實務測試，目前最新的 ANSYS 10.0 版，已經有新元素能直接運用在超薄、微小體的運算，能直接對應到電子產品奈米級的元素分析，這對電子產業而言，無非是設計上的一大利器。最後希望本文能做為面板廠導入電腦模擬分析的價值參考與新的產品驗證方式。

本計畫的面板振動分析尚有許多質的改進與持續探討的地方；比如面板模型的模擬結果，可與實際振動測試的結果互相驗證，增加模型的正確性；未來若有興趣研究者，可繼續探討面板暫態之振動行為，如在汽車上使用的面板必會受到各種不同路面的振動模式，此乃值得研究的方向之一。若面板使用在飛機或船腔上，可能會受到大氣壓與重力的影響等等，皆為值得研究的方向。希望未來持續研究者，能將模型建立的更確切、考量更多方面的變動因素，把間隙球滑動現象思考的更慎密更多面。

參考文獻：

- [1] 王淑珍, 『台灣邁向液晶王國之秘』, 2003, 中國生產力中心出版。
- [2] 陳志強, 『LTPS 低溫多晶矽顯示技術』, 2004, 全華圖書公司。
- [3] 林浩妃, 液晶顯示器面板振動行為之探討, 2004, 國立清華大學動力機械工程研究所碩士論文。
- [4] 陳君明, TFT-LCD 衝擊模擬分析與驗證研究, 2004, 國立中央大學機械工程研究所碩士論文。
- [5] Oden, J. T., and Pires, E. B., 1983, "Nonlocal and Nonlinear Friction Law and Variational Principles for Contact Problems in Elasticity," ASME Journal of Applied Mechanics, 50, pp.67-76.
- [6] Tariku, F. A., and Roger, R. J., 2001, "Improved Dynamic Frictional Models for Simulation of One-Dimensional and Two-Dimensional Stick-Slip Motion," ASME Journal of Applied Mechanics, 123, pp. 661-669.
- [7] Karnopp, D., 1985, "Computer Simulation of Stick-Slip Friction in Mechanical Dynamic Systems," ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements, and Control, 107, pp. 100-103.
- [8] Tan, X., and Rogers, R. J., 1998, "Simulation of Friction in Multi-Degree-of-freedom Vibration Systems," ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements, and Control, 120, pp. 144-146.
- [9] Leine, R. I., Van Campen, D. H., De Kraker, A., and Van Den Steen, 1998, "Stick-Slip Vibration Systems Induced by Alternate Friction Models," Nonlinear Dynamics, 16, pp. 41-54.
- [10] Tuner, J. D., 2001, "On the Simulation of Discontinuous Functions," ASME Journal of Applied Mechanics, 68, pp. 751-757.
- [11] Oden, J. T. and Martins, J. A. C., 1985, "Models and Computational Method for Dynamic Friction Phenomena," Comput. Methods Appl. Mech. Eng., 52, pp. 527-634.
- [12] Song, P., Kraus, P., Kumar, V., and Dupont, P., 2001, "Analysis of Rigid body Dynamic Models for Simulation of System with Frictional Contact," ASME Journal of Applied Mechanics, 68, pp. 118-128.
- [13] Quinn, D. Dane, 2004, "A New Regularization of Coulomb Friction," ASME Journal of Vibrations and Acoustics, 126, pp. 391-397.
- [14] Ruina, A. L., 1983, "Slip Instability and State Variable Friction Laws," J. Geophys. Res., 88(B12), pp. 10359-10370.
- [15] Gu, J. C., Rice, J. R., Ruina, A. L., and Tse, S. T., 1984, "Slip Motion and Stability of a Single Degree of

Freedom Elastic System with Rate and State Dependent Friction,” J. Mech. Phys. Solids, 32(3), pp. 167-196.

- [16] Haessing, Jr., D. A., and Friedland, B., 1991, “On the Modeling and Simulation of Friction,” ASME Journal of Dynamic Systems, Measurements, and Control, 113, pp. 354-362.
- [17] Wikel, B. and Hill, J. M., 2000, “Stick-Slip Motion for Two Couple Masses with Slid Friction,” International Journal of Non-Linear Mechanics, 35, pp. 953-962.
- [18] Vielsack, P. and Spiess, H., 2000, “Sliding of a Mass on an Inclined Driven Plane with Randomly Varying Coefficient of Friction,” ASME Journal of Applied Mechanics, 67, pp. 112-116.
- [19] Cheng, G. and Zu, Jean W., 2002, “Two-Frequency Oscillation with Combined Coulumb and Viscous Frictions,” ASME Journal of Vibration and Acoustics, 124, pp. 538-544.
- [20] Beunde, E. M. and Rem, P. C., 2003, “The Motion of a Rolling Polygon,” ASME Journal of Applied Mechanics, 70, pp. 275-280.
- [21] Chen, J. H., Hsieh, S. C., and Lee, A. C., 2005, “The Failure of Threaded Fasteners Due to Vibration,” Proc. IMechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, **219**, 299-314.
- [22] Powell, W. R. and Hoysan, S. F., 2004, “Computer Simulation of LCD Sheet Distortion Associated with Gravity Mura Defect,” SID 04 Digest, pp.1605~1607.

表 1 零件尺寸

尺寸 原件	Length (mm)	Width (mm)	Thickness (mm)	Diameter (μm)
上基板	162	95.77	0.6	—
下基板	162	97.77	0.6	—
間隙球	—	—	—	4.2 μm
框膠	162-4	95.77-4	3.8	—

* Cell Gap 為 3.8 μm , Spacer Distance 為 62.5 μm

表 2 材料特性

性質 材料	彈性係數 E (kg/mm^2)	蒲松比 (ν)	密度 (kg/mm^3)
上基板	7060	0.23	2.37e-6
下基板	7060	0.23	2.37e-6
間隙球	478	—	1.11e-6
液晶	203.94	—	1.008e-6
框膠	1508.76	—	1.55e-6

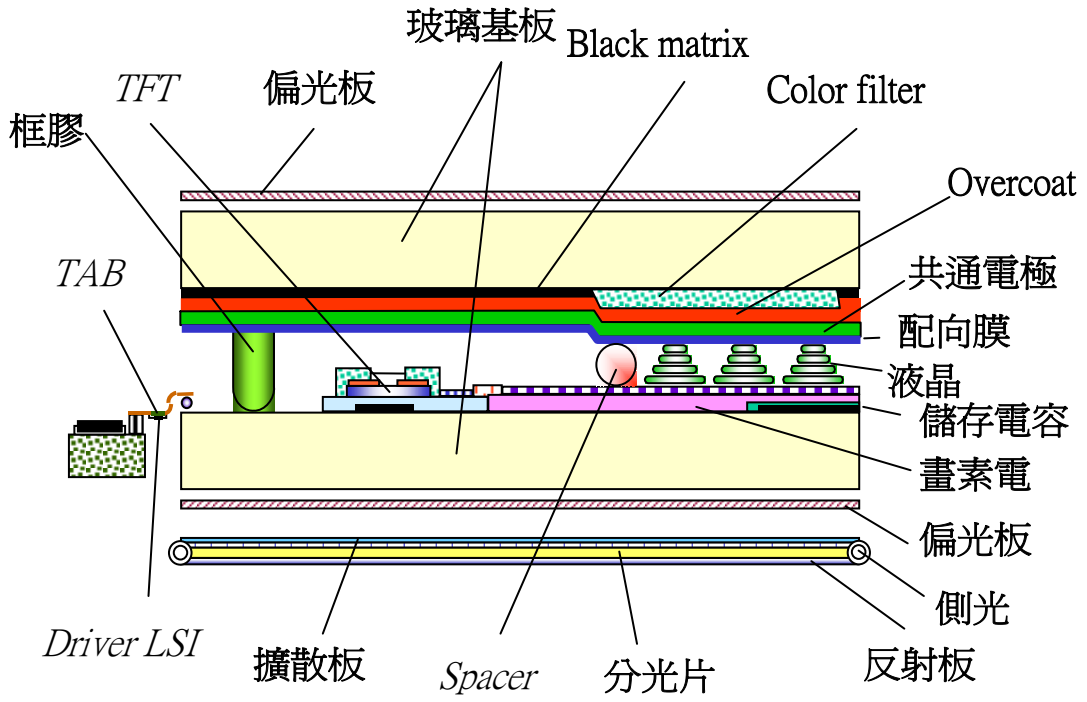


圖1、TFT-LCD 面板構造

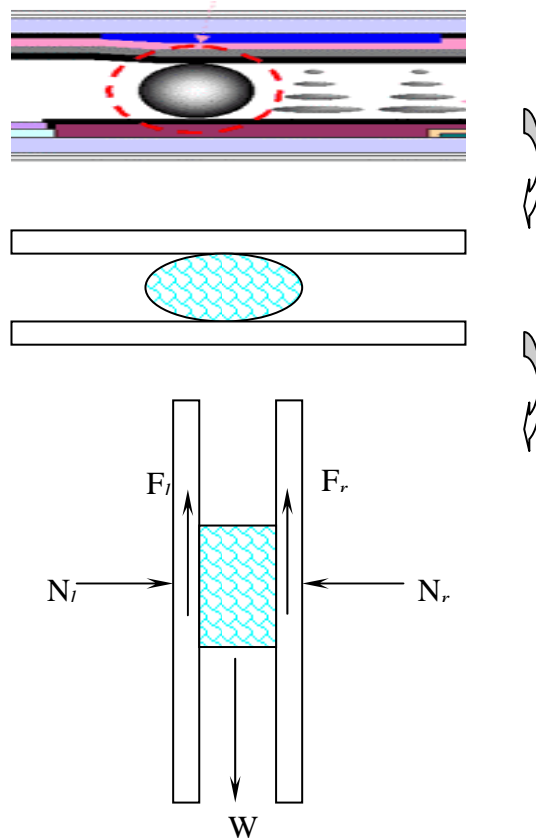


圖2 間隙球受力狀態圖

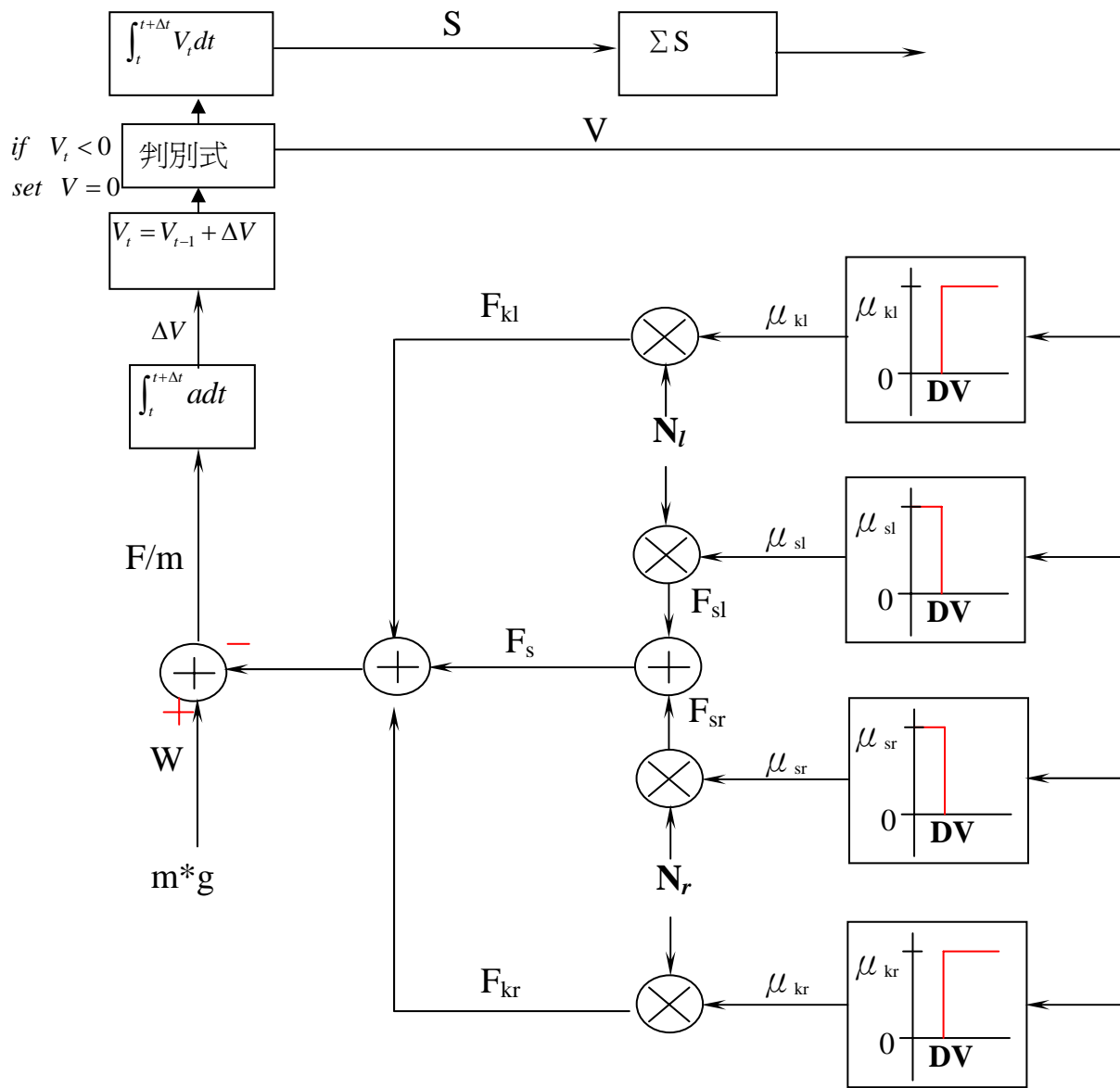


圖3 間隙球滯滑運動模型方塊圖

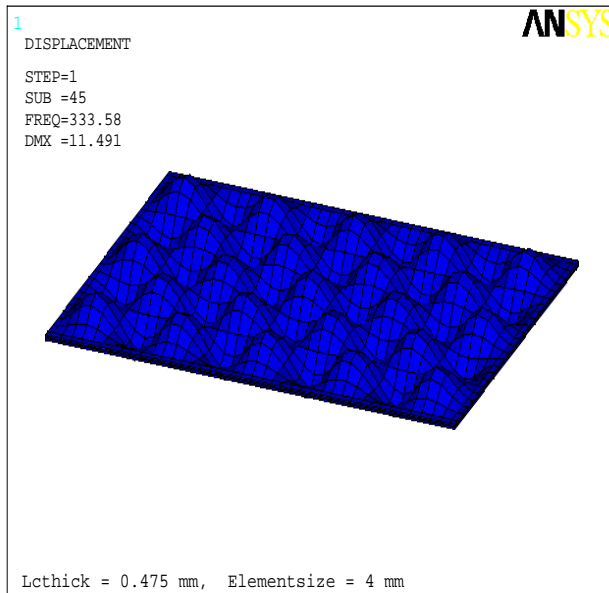


圖4 元素4*4、液晶層0.475mm

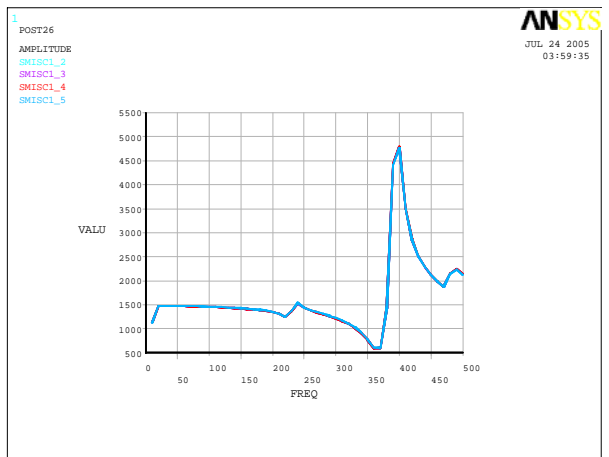


圖5 振幅1.5mm頻率應力圖

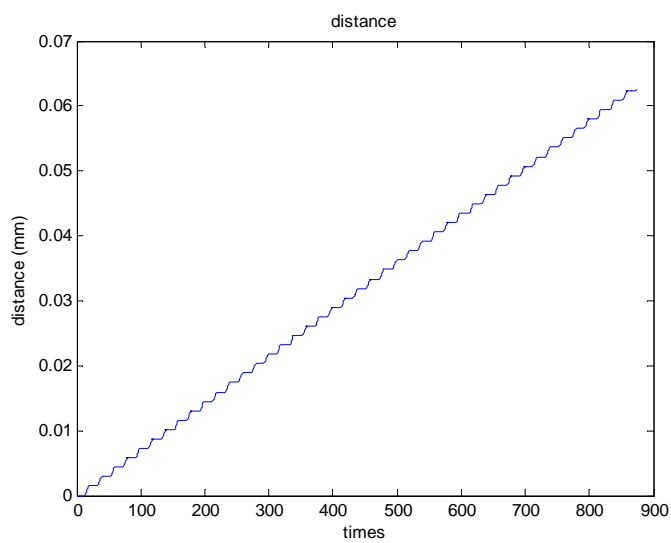


圖6 390Hz，1.5mm之滯滑運動

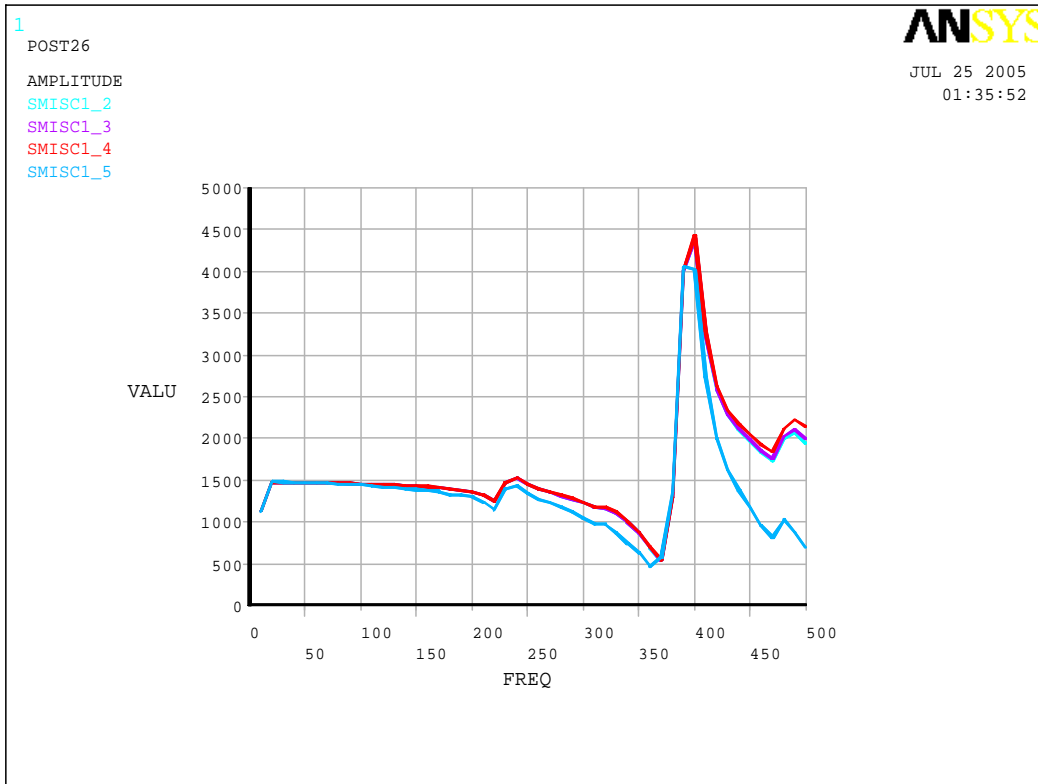


圖 7 振幅 100mm 頻率應力圖

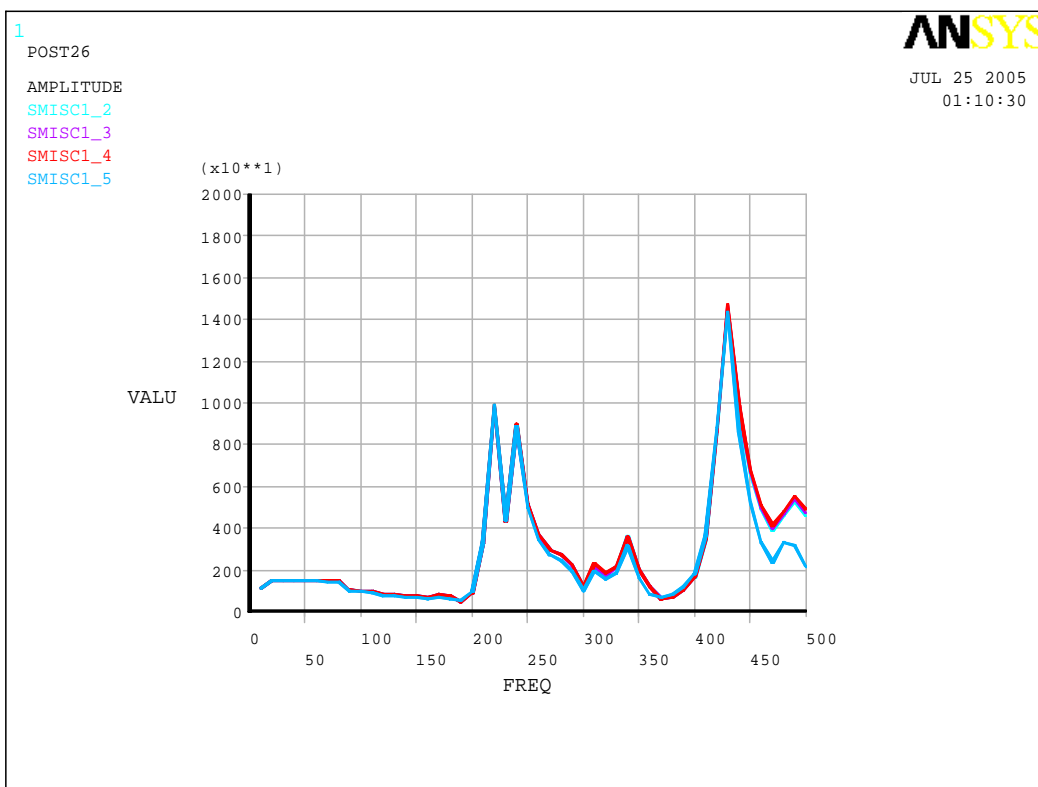


圖 8 振幅 200mm 頻率應力圖

可供推廣之研發成果資料表

 可申請專利 可技術移轉

日期：95 年 10 月 25 日

國科會補助計畫	計畫名稱：液晶顯示器面版間格球滯滑運動之研究 計畫主持人：陳俊宏 計畫編號：NSC 94-2212-E-216-003- 學門領域：機械固力
技術/創作名稱	液晶顯示器面版間格球滯滑運動分析
發明人/創作人	陳俊宏
技術說明	中文：針對 TFT-LCD 面板振動所引發之間格球滯滑運動進行研究。計畫包括建立面版的等效有限元素模型與間格球的滯滑運動數學模型。成果可提供面板設計者於設計之初，預估面板壽命與改善方向的參考。
	英文：This project constructed both the equivalent finite element model of TFT-LCD panel and the stick-slip motion model of ball spacers. The proposed method can be used to predict the life and improve the performance in the primary design of the panel.
可利用之產業 及 可開發之產品	液晶顯示器面版產業。
技術特點	可有效建立液晶面板有限元素模型以及模擬間格球之運動行為。
推廣及運用的價值	可應用在面板設計時的振動分析。

※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。

※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。

※ 3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。