

# 國立交通大學

精密與自動工程組

碩士論文

以鋼球撞擊試驗評估玻璃面板強度

Evaluation of the glass panel strength

By

Steel ball drop test

研究生：張簡志偉

指導教授：徐瑞坤 教授

中華民國九十六年十月

以鋼球撞擊試驗評估玻璃面板強度

Evaluation of the glass panel strength

By

Steel ball drop test

研究生：張簡志偉

Student：Chih-Wei Chang Chien

指導教授：徐瑞坤

Advisor：Ray-Quan Hsu

國立交通大學

精密工程組

碩士論文



Submitted to Institute of Mechanical Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

In partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master in

Mechanical Engineering

October 2007

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十六年十月

# 以鋼球撞擊試驗評估玻璃面板強度

研究生：張簡志偉

指導教授：徐瑞坤

國立交通大學精密與自動工程組

## 摘要

本研究目的為利用鋼球在預設高度下，以自由落體狀態撞擊 LCD 模組，作為評估 LCD 模組是否因結構改變而提昇玻璃面板強度。文中探討影響玻璃面板強度的主因有玻璃缺陷及 LCD 模組結構，為排除玻璃缺陷的不穩定因子，吾人選用玻璃原材且利用 4 點式彎曲測試與 ROR (Ring on Ring) 測試方法，並搭配韋伯分佈函數 (Weibull Distribution Function) 的應用作為判別玻璃試片穩定性之方式，最後藉由 LCD 模組結構因子的改變，分別為偏光板、光學高透膜 (Optic clear adhesive)、面板固定膠與鐵框的搭配使用，進行鋼球撞擊實驗以取得各結構間的耐撞擊高度，同時應用 ANSYS/LS-DYNA 模擬不同結構與撞擊高度所產生的應力，並比較高度與應力之間的關係。

從實驗及模擬結果得知當鋼球撞擊玻璃面板時，玻璃所產生的應力是最直接的，使用光學高透膜能在鋼球撞擊玻璃面板時，將撞擊力量有效分散以減少玻璃面板的直接撞擊力，使應力產生能大幅降低以達到玻璃面板的保護作用。

# Evaluation of the glass panel strength

By  
Steel ball drop test

Student : Chih –Wei Chang Chien

Advisor : Ray-Quan Hsu

Mechanical Engineering  
College of Engineering  
National Chiao Tung University

## Abstract

The purpose of this research is to evaluate the glass panel strength on a LCD module by steel ball drop test. The factors which affect the strength of the glass panel including glass defects ( cracks caused from scribe/break or handling process )and support-structure design( polarizer 、 optic clear adhesive 、 glass fixed adhesive 、 bezel ..etc. ) were then discussed. An ANSYS/LS-DYNA simulation model was also established, the result were compared the experiments.

The result of this study showed that optic clear adhesive on the glass is the most effective factor against panel broken problems.

## 致謝

本文的完成，首先必須感謝指導教授 徐瑞坤老師在研究過程中不斷的給予指導及從旁協助，得以順利完成本篇論文，在此獻上最誠摯的敬意及謝忱。另外，感謝統寶光電股份有限公司對於此研究所提供的資源設備及機構部經理 沈瑞協先生的協助，使得學生在 TFT LCD 的領域上，獲得更多的知識及資訊。

最後，感謝我的父母及家人，在研究所的過程，給予不斷的支持及鼓勵，得以順利完成學業，再以最誠摯的感謝給以上的人及其他在我研究的過程對我幫忙的夥伴。



# 目錄

摘要 .....	i
Abstract.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
一、緒論.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究動機與目的.....	3
1.3 文獻回顧.....	4
二、液晶顯示器構造及玻璃強度介紹.....	5
2.1 液晶顯示器 (Liquid Crystal Display) .....	5
2.1.1 背光模組 (Back Light Unit) .....	5
2.1.2 ITO 玻璃基板 (Indium Tin Oxide Conductive Glass) .....	8
2.1.3 彩色濾光片 (Color Filter).....	8
2.1.4 偏光片 (Polarizer) .....	8
2.1.5 液晶 (Liquid Crystal) .....	8
2.2 玻璃特性與強度測試介紹.....	9
2.2.1 玻璃基板種類.....	9
2.2.2 玻璃基板特性.....	9
2.2.3 玻璃基板製程.....	10
2.2.4 玻璃破裂模式.....	13
2.2.5 玻璃強度測試方法.....	20
2.2.6 韋伯分佈函數 (Weibull Distribution Function) 理論.....	27
2.2.6.1 機率密度函數.....	27
2.2.6.2 韋伯分佈函數.....	27
2.2.6.3 韋伯函數的可靠度函數 .....	29
2.2.7 利用可靠度判別玻璃強度.....	30

三、鋼球撞擊測試實驗方法與規劃.....	31
3.1 鋼球撞擊測試條件及方法.....	31
3.2 LCD 模組結構.....	32
3.3 鋼球撞擊測試實驗流程規劃.....	35
3.3.1 特性要因圖 (Cause and Effect Diagram) .....	35
3.3.2 鋼球撞擊測試實驗流程.....	38
3.4 玻璃試片製作.....	39
3.5 ANSYS/LS-DYNA 理論與鋼球撞擊模擬.....	46
3.5.1 動態撞擊的基礎原理.....	46
3.5.2 有限元素法理論.....	49
3.5.2.1 有限元素法簡述.....	49
3.5.2.2 LS-DYNA 之有限元素法.....	54
3.5.3 鋼球撞擊模擬.....	55
3.5.3.1 實體模型建構與元素選用.....	55
3.5.3.2 邊界條件定義.....	57
3.5.3.3 運算時程設定.....	59
四、結果與討論.....	60
4.1 鋼球撞擊測試實驗結果分析.....	60
4.2 ANSYS/LS-DYNA 模擬結果分析.....	62
五、結論與建議.....	64
參考文獻.....	66
附錄一、實驗數據表與比較圖.....	68
附錄二、模擬結果應力時程圖.....	74

## 表目錄

表 1：LCD 模組結構厚度表.....	33
表 2：鋼球撞擊測試實驗因子表（一）.....	37
表 3：鋼球撞擊測試實驗因子表（二）.....	37
表 4：LS-DYNA 模擬實驗因子表.....	37
表 5：4 點式彎曲測試資料表.....	40
表 6：4 點式彎曲測試韋伯資料表.....	41
表 7：ROR 測試資料表.....	42
表 8：ROR 測試韋伯資料表.....	43
表 9：材料性質表.....	56
表 10：實驗結果比較表.....	61
表 11：模擬結果比較表.....	63



## 圖目錄

圖 1：液晶顯示器基本構造.....	5
圖 2：背光模組基本構造.....	6
圖 3：側光型背光模組.....	7
圖 4：直下型背光模組.....	7
圖 5：浮式法 ( Float Technology ) .....	11
圖 6：流孔下引法 ( Slot Down Draw ) .....	11
圖 7：溢流熔融法 ( Overflow Fusion Technology ) .....	12
圖 8：裂面特徵 ( 一 ) .....	14
圖 9：裂面特徵 ( 二 ) .....	14
圖 10：裂面特徵 ( 三 ) .....	15
圖 11：正常裂面特徵.....	15
圖 12 玻璃切割流程.....	16
圖 13：玻璃裂片比較圖.....	17
圖 14：裂縫特徵.....	17
圖 15：無限大平板中的裂縫 ( 一 ) .....	18
圖 16：無限大平板中的裂縫 ( 二 ) .....	19
圖 17：裂縫與裂縫應力關係圖.....	19
圖 18：4 點式彎曲測試示意圖.....	21
圖 19：4 點式彎曲測試彎曲力矩圖.....	21
圖 20：4 點式彎曲測試圖.....	22
圖 21：4 點式彎曲測試產生的破裂模式 ( 一 ) .....	22
圖 22：4 點式彎曲測試產生的破裂模式 ( 二 ) .....	23
圖 23：ROR 測試治具細部結構圖.....	25
圖 24：ROR 測試示意圖.....	26
圖 25：ROR 測試產生的破裂模式.....	26
圖 26：韋伯分佈函數.....	27
圖 27：鋼球撞擊測試治具 ( 一 ) .....	31
圖 28：鋼球撞擊測試治具 ( 二 ) .....	32

圖 29：LCD 模組結構（一）.....	32
圖 30：LCD 模組結構（二）.....	33
圖 31：LCD 模組結構（三）.....	34
圖 32：特性要因圖.....	36
圖 33：光學高透膜.....	36
圖 34：鋼球撞擊測試實驗流程規劃圖.....	38
圖 35：玻璃試片（一）.....	39
圖 36：玻璃試片（二）.....	40
圖 37：4 點式彎曲測試韋伯分佈圖.....	42
圖 38：ROR 測試韋伯分佈圖.....	44
圖 39：4 點式彎曲測試治具（一）.....	44
圖 40：4 點式彎曲測試治具（二）.....	45
圖 41：ROR 測試治具（一）.....	45
圖 42：ROR 測試治具（二）.....	45
圖 43：ANSYS 軟體分析處理作業流程.....	53
圖 44：ANSYS/LS-DYNA 實體模型.....	55
圖 45：ANSYS/LS-DYNA 網格建立（一）.....	55
圖 46：ANSYS/LS-DYNA 網格建立（二）.....	56
圖 47：拘束邊界條件.....	57
圖 48：重力加速度邊界條件（一）.....	57
圖 49：重力加速度邊界條件（二）.....	58
圖 50：初始速度邊界條件.....	58
圖 51：輸入控制條件.....	59
圖 52：實驗結果比較圖.....	61
圖 53：模擬結果比較圖.....	63

## 一、緒論

### 1.1 前言

3C 產品歷經 Y2K 及網際網路的蓬勃發展下，資訊流通迅速，人與人之間互動越來越頻繁，相關 3C 產品也是大幅度的往前邁進，消費者因資訊取得容易，對於 3C 產品的要求及品味亦往上提昇，業者為符合消費者的口味，無不費盡心思在外型、功能上追求更上一層，以滿足消費者的慾望，手機業者更是此潮流下的最大推動者；在 2004 年底 Motorola 發表全球最輕薄的手機 RAZR (V3)，厚度僅 13.9mm 的機身，當時震撼了整個手機市場，也讓當時的消費者眼睛為之一亮，Motorola 也藉此市佔率由 14% 增加至 18%，成功地開啓了手機超薄化的新紀元，往後手機業者無不爭相搶進薄型化手機的設計，進而造成了薄型化的潮流，手機薄型化對於產品有著很大的革新，例如手機外殼、鍵盤、印刷電路板 (PCBa)、LCD 模組、電池... 等等皆都要變薄，對於整個產業鏈是一個很重要的分水嶺。

輕薄短小一直是研發單位一直追求的目標，以既有的空間提供最多的功能或是在現有的功能下提供最小的空間，在追求輕薄短小及滿足消費者的同時，延伸的問題變得複雜且需要更多的驗證方式，為了使產品的可靠度增加，市場領導者利用實驗或測試等方式定義新的測試規範及提高規範難度，目前手機機構強度測試項目中，有落下測試 (Drop test)、鋼球撞擊測試 (Ball drop test)、扭曲測試 (Torsion test)、面壓測試 (Push test)、滾筒跌落 (Tumble test) ... 等等，其中對於 LCD 模組上，鋼球撞擊測試 (Ball drop test) 為最新的測試且較少人有深入的研究，以往此測試主要驗證手機面板保護蓋 (Lens) 的強度，以防止手機面板保護蓋破裂或玻璃面板 (Panel) 破裂，但由於現在的手機以朝向輕薄小發展，相對地手機面板保護蓋的厚度需要變薄，或未來直接將手機面板保護蓋取消，目前數位相機 (DSC) 已經朝向此方向進行，手機業者也朝向此方向要求面板廠商將鋼球撞擊測試當成基本的測試項目，由於鋼球撞擊測試為動態且瞬間的變化是短暫，因此無法得知 LCD 模組結構的相對運動，或結構強度是否不足造成 LCD 模組的玻璃面板破裂，往往問題發生時，設計者幾乎是根據經驗或嘗試錯誤 (trial-and-error) 來解決

此問題，卻不能有效地提出數據佐證或將它列入設計規範。

基於此理由，希望利用實際的測試配合有限元素法(Finite Element Method)的 LS-DYNA 模擬，使有限元素法的結果收斂接近實際的測試，建構出完整有效的方法，以方便設計者解決現有的問題。



## 1.2 研究動機與目的

在手機的使用範圍裡，每個人使用的頻率幾乎是所有電子產品中最多亦最複雜（使用狀況複雜），手機業者爲了模擬使用者的狀態，針對機構強度發展了許多種類的可靠度測試，如落下測試（Drop test）、鋼球撞擊測試（Ball drop test）、扭曲測試（Torsion test）、面壓測試（Push test）、滾筒跌落（Tumble test）...等等，而 LCD 模組的玻璃面板是硬又脆且最容易被破壞的材料，基於此原因，業者無不在機構設計中，加強整體的 LCD 模組強度，以方便使用者因人爲的疏失所造成的損壞，畢竟一支手機也是價格不菲。

在這幾年的產業發展下，大家對於機構強度設計有了很多經驗，不過在這些經驗的累積中，都是經過了很慘痛的代價，往往造成開發成本提高或方向錯誤造成不必要的資源浪費，這都是時常所見的，針對上述的可靠度測試，以往大家只有在機構構件裡探討，卻不知道玻璃缺陷亦有影響，在玻璃業者（Corning）提供的資料以及相關玻璃資料的收集，得知玻璃的基本特性在製程條件下對於玻璃強度的影響，而其中玻璃切割製程的好壞會影響玻璃切割裂面的完整性，以及玻璃原材在經搬運或玻璃在 TFT 製程時所造成玻璃表面的缺陷等，對於玻璃破裂皆有著重大的影響，而表面缺陷對於表面強度測試的影響爲甚大；在探討鋼球撞擊測試對於面板的影響中，玻璃表面的缺陷對於玻璃強度爲

$$\sigma = \frac{K_I}{\sqrt{\pi a}}$$
（ $a$  爲裂縫），當裂縫長度增加時，所能承受的玻璃強度應力依照公式  $\sigma = \frac{K_I}{\sqrt{\pi a}}$  得

知有非常明顯的下降，爲確保玻璃試片的穩定，控制切割製程參數以防止切割裂片不良，並直接取用玻璃原材以避免因製程過程中搬運所造成的微小裂縫，將其干擾因子降至最低，並且藉由 4 點式彎曲測試與 ROR（Ring on Ring）測試的方法得到玻璃面板破裂時所能承受的應力，再應用韋伯分佈函數（Weibull Distribution Function）的計算分析得到玻璃試片強度的可靠度，從分析的結果確保穩定性良好的玻璃試片，最後藉由實驗搭配不同的 LCD 模組結構經由鋼球撞擊實驗比較不同 LCD 模組結構的耐撞擊高度，同時使用 ANSYS/LS-DYNA 軟體模擬鋼球在不同的落下高度與 LCD 模組結構改變時，鋼球撞擊玻璃面板的瞬間所能承受的應力的變化，再將實驗結果與模擬作比較找出共同點，當作未來設計的基礎考量。

### 1.3 文獻回顧

在 2004 年底 Motorola 發表全球最輕薄的手機 RAZR (V3)，在厚度僅 13.9mm 的機身風靡了全球，震撼當時整個手機市場，也促使相關機構元件被迫薄型化，手機業者當時利用鋼球落下測試實驗（須符合鋼球  $\Phi 31.8\text{mm}$ ，落下高度大於 250mm）作為判別手機面板保護蓋的強度是否足以防止玻璃面板破裂；為了符合薄型化的訴求，手機業者進而要求 LCD 模組廠商加強 LCD 模組強度，並符合落下高度大於 50mm 或 100mm 極嚴苛的條件，作為判定 LCD 模組整體的強度；對於這些鋼球落下高度皆是依據手機業者自行訂定，目前尚未有標準的測試規範，不過依據其他業界針對玻璃強度的測試規範記載，亦有相似之處，如建築業對玻璃強度的測試規範中是利用  $\Phi 83\text{mm}$  的鋼球依照客戶指定的高度落下撞擊以檢測玻璃的強度，測試條件其依照 GANA (The Glass Association of North America) LD 100-06 文獻中 "Standard Test Method for Ball Drop Impact of Laminated Architectural Flat Glass" 的測試規範；另外，觸控面板 (Touch panel) 則利用  $\Phi 50\text{mm}$  的鋼球在高度 1300mm 落下撞擊，作為判別觸控面板是否有損壞，並且須符合 UL-1950 和 CSA C22.2 No.50 鋼球落下測試標準，以上測試的玻璃皆使用強化玻璃 (TFT 製程的玻璃尚未能使用強化玻璃)。

由於玻璃缺陷對於整體的 LCD 模組強度有明顯的影響，在文獻[12]、[13]、[14]得知切割製程的好壞會影響玻璃切割裂面的完整性，在文獻[6]的基本理論及相關資料的收集得知，玻璃原材、搬運或玻璃經過 TFT 製程時，所造成玻璃表面的缺陷，對於玻璃的破裂有著顯著的影響；另外為了確保實驗的正確性，將干擾因子降低，依據文獻[10] ROR (Ring on Ring) 測試方式及四點彎曲測試分別得到破裂時所能承受的應力，並利用韋伯分佈函數 (Weibull Distribution Function) 得知玻璃試片基本強度的穩定性，最後在藉由 LCD 模組結構的改變評估玻璃面板強度的影響。

## 二、 液晶顯示器構造及玻璃強度介紹

### 2.1 液晶顯示器（Liquid Crystal Display）

液晶顯示器的構造，主要組成包括 ITO 玻璃基板、彩色濾光片、偏光片、驅動 IC、液晶材料、背光模組、軟式印刷電路板（FPC）或印刷電路板（PCB）。薄膜式液晶顯示器（TFT-LCD）以主動矩陣的方式驅動，首先由背光源的光線照在偏光板上，光線在穿過偏光板後，會被偏極化（每一個光線的分⼦，在能量、相位、頻率和方向上的特性都會相同），偏極化的光線會穿過液晶，因為液晶分子的排列方式被電極產生的電壓影響，因此液晶可以改變偏極化光線的偏光角度，不同的偏光角度造成出來的光線強度會不同，不同強度的光線再經由彩色濾光片的紅、藍、綠三個畫素，就會顯示出各種不同的亮度和不同顏色的畫素，最後再經由各個畫素就可以組成肉眼看得到的各種影像和圖形。

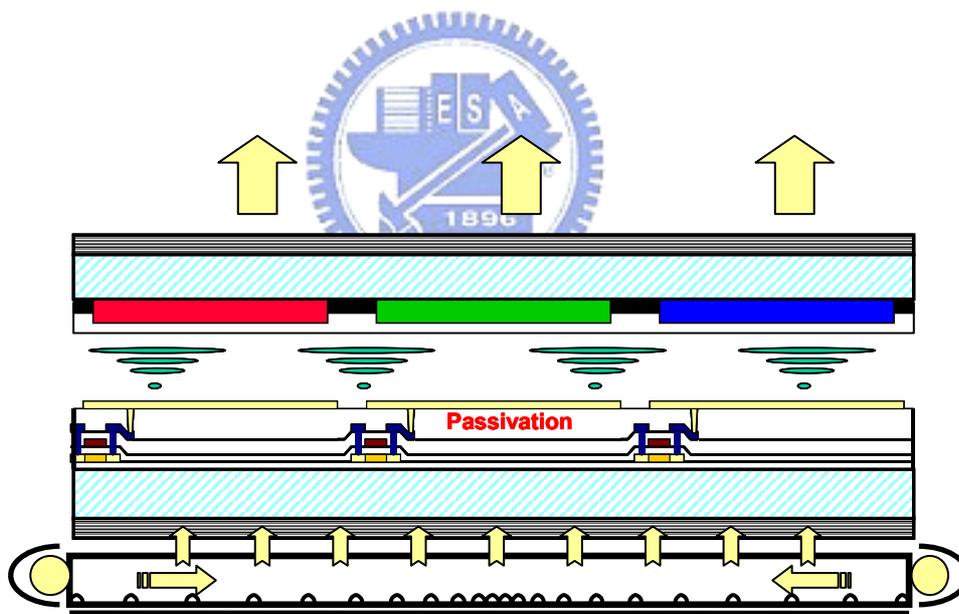


圖 1 液晶顯示器基本構造 [資料來源：統寶光電公司]

#### 2.1.1 背光模組（Back Light Unit）

背光模組（Back light unit）為液晶顯示器（Liquid Crystal Display）的關鍵零組件之一，由於液晶本身不發光，背光模組之功能即在於供應充足的亮度與分佈均勻的光源，使其能正常顯示影像。背光模組其主要分為光源（Light source），又分為冷陰極螢光管（Cold

Cathode Fluorescent Lamp, CCFL)、熱陰極螢光管 (Hot Cathode Fluorescent Lamp, HCFL)、發光二極體 (Light-Emitting Diode, LED) ...等, 光學膜分為增亮膜 (Brightness enhancement film, BEF)、擴散片 (Diffusion sheet)、反射板 (Reflective sheet), 導光板 (Light guide plate, LGP)、塑框及鐵框等元件組合而成。

液晶顯示器由於其厚度薄、質量輕且攜帶方便, 且相較於目前得CRT更有低輻射及省電的優點, 近年來需求快速的增加, 已能在顯示器的市場佔有一席之地。隨著液晶顯示器製造技術的提昇, 運用的層面越來越廣, 背光模組在考量輕量化、薄型化、低耗電、高亮度及降低成本的市場要求, 為保持在未來市場的競爭力, 開發與設計新型的背光模組是努力的方向及重要課題。

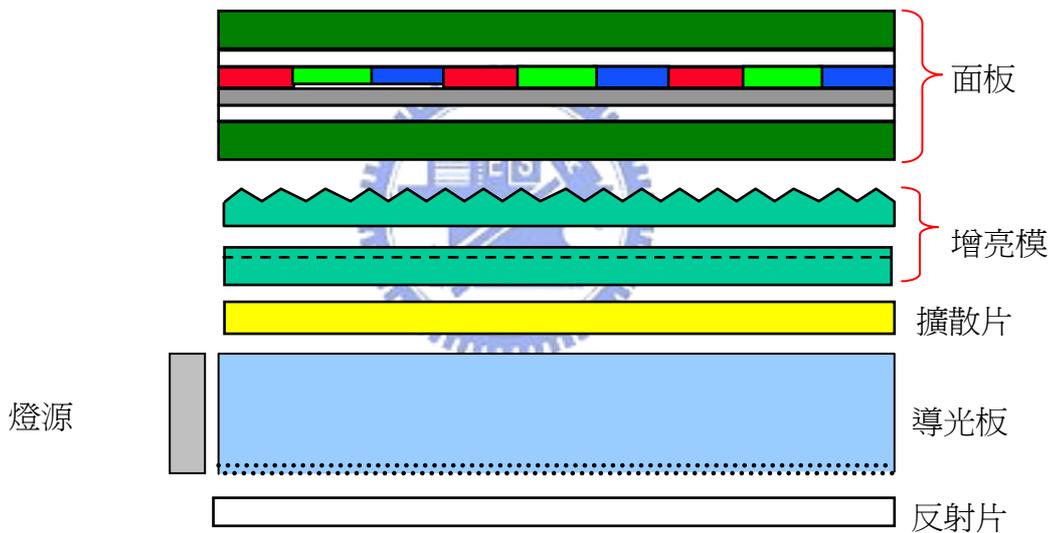


圖 2 背光模組基本構造 [資料來源：統寶光電公司]

背光模組可分為前光式 (Front light unit) 與背光式 (Back light unit) 兩種, 而背光式可依其發光源位置做分類, 發展出下列側光式 (Edge lighting) 直下型 (Bottom lighting) 和結構:

側光型 (Edge lighting) 結構: 發光源的位置在側邊, 導光板採射出成型 (無印刷式設計) 或以油墨的印刷方式一般常用於22吋以下中小尺寸的背光模組, 其側邊入射的光源設計, 擁有輕量、薄型、窄框化、低耗電的特色, 亦為手機、個人數位助理 (Personal digital

assistant, PDA) 、筆記型電腦 (Notebook) 、監視器 (Monitor) 等。

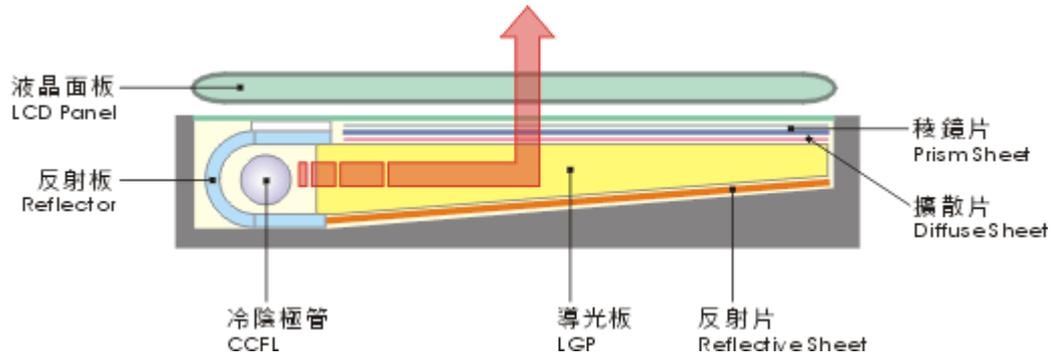


圖 3 側光型背光模組 [資料來源：和立聯合公司]

直下型 (Bottom lighting) 結構：超大尺寸的背光模組，側光式結構已經無法在重量、消費電力及亮度上佔有優勢，因此不含導光板且光源放置於正下方的直下型結構便被發展出來。光源由自發性光源(例如燈管、發光二極體等)射出藉由反射板反射後，向上經擴散板均勻分散後於正面射出，因安置空間變大，燈管可依TFT 面板大小使用2 至多之燈管，但同時也增加了模組的厚度、重量、耗電量、其優點為高輝度、良好的出光視角、光利用效率高、結構簡易化等，因而適用於對可攜性及空間要求較不挑剔的監視器 (Monitor) 與液晶電視 (LCD TV) 。

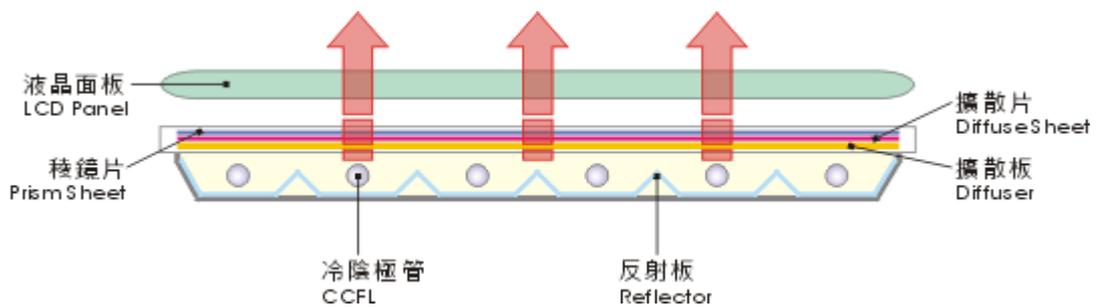


圖 4 直下型背光模組 [資料來源：和立聯合公司]

### 2.1.2 ITO 玻璃基板 (Indium Tin Oxide Conductive Glass)

ITO 導電玻璃是液晶顯示器的上游原料之一，ITO 是 Indium Tin Oxide 的縮寫，中文是氧化銦錫，ITO 導電玻璃是在原本不導電的母玻璃基板上，鍍上一層可導電的金屬材料；液晶本身不會發光，必須在液晶顯示面板後方加上背光源，光線穿透玻璃基板、液晶、彩色濾光片、偏光板，進入人眼中才能看到影像，因為材料必須能透光，所以液晶顯示器面板的基板要使用玻璃，但是，由於玻璃無法導電，必須在其上鍍上一層薄薄的二氧化矽與氧化銦錫，讓玻璃產生電極；因 ITO 導電玻璃的品質，嚴重影響 LCD 面板的生產良率，LCD 面板製造商對其品質都不敢掉以輕心。ITO 導電玻璃主要供應商多為美、日、韓廠商，國內則有默克百成、勝華科技等廠商進行生產。

### 2.1.3 彩色濾光片 (Color Filter)

彩色的 LCD 需要用到彩色濾光片，經由控制 IC 的訊號處理，使得從背光源發射的強光，可利用彩色濾光片的處理，表現出彩色的畫面；彩色濾光片之製作是於玻璃基板上，將紅、綠、藍三原色之有機材料，製作在每一個畫素之內，由於顏料分散法所製造之彩色濾光片，具有高精密度及較佳之耐光性與耐熱性，目前成為 TFT 型彩色濾光片之製造主流。

### 2.1.4 偏光片 (Polarizer)

偏光片主要用途係在有電場與無電場時使光源產生位相差而呈現明暗的狀態，偏光片只允許某一個方向的光線才能透過，為 LCD 液晶顯示器之重要零件，製作液晶顯示面板 LCD Panel 過程中，必須在液晶上下各使用一片偏光片，且二片偏光片成 90 度交錯方向。

### 2.1.5 液晶 (Liquid Crystal)

液晶是一種在一定溫度範圍內呈現既不同於固態、液態，又不同於氣態的特殊物質態，它既具有各向異性的晶體所特有的雙折射性，又具有液體的流動性，一般可分熱致液晶和溶致液晶兩類；在顯示應用領域，使用的是熱致液晶，超出一定溫度範圍，熱致液晶就不再呈現液晶態，溫度低了，出現結晶現象，溫度升高了，就變成液體，液晶顯示器件所標注的存儲溫度指的就是呈現液晶態的溫度範圍。

## 2.2 玻璃特性與強度介紹

### 2.2.1 玻璃基板種類

目前在商業上應用的玻璃基板，其主要厚度為 0.6 mm 及 0.5mm，目前更邁入 0.1~0.4 mm 玻璃厚度的薄型化製程，一般薄化製程又分為機械式和化學式。基本上，一片面板需使用到二片玻璃基板，分別為 TFT 玻璃基板(Array)及彩色濾光片(Color filter)之底板使用。

LCD 所用之玻璃基板概可分為有鹼玻璃及無鹼玻璃兩大類：有鹼玻璃包括鈉玻璃及中性矽酸硼玻璃兩種，多應用於 TN 及 STN-LCD 上，主要生產廠商有日本板硝子(NHT)、旭硝子(Asahi)及中央硝子(Central Glass)等，以浮式法制程生產為主；無鹼玻璃則以無鹼矽酸鋁玻璃(Alumino Silicate Glass，主成分為 SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 BaO 等)為主，其鹼金屬總含量須在 1%以下，主要用於 TFT-LCD 上，領導廠商為美國康寧(Corning)公司，以溢流熔融法制程生產為主。

### 2.2.2 玻璃基板特性

超薄平板玻璃基材之特性主要取決於玻璃的組成，而玻璃的組成則影響玻璃的熱膨脹、黏度(應變、退火、轉化、軟化和工作點)、耐化學性、光學穿透吸收及在各種頻率與溫度下的電氣特性，產品質量除深受材料組成影響外，也取決於生產制程。

玻璃基板在 TN/STN、TFT-LCD 應用上，要求的特性有表面特性、耐熱性、耐藥品性及鹼金屬含量等；以下僅就影響 TFT-LCD 用玻璃基板之主要物理特性說明如下：

1. 張力點(Strain Point)：為玻璃密積化的一種指標，須耐光電產品液晶顯示器生產制程之高溫。
2. 比重：對 TFT-LCD 而言，筆記型電腦為目前最大的市場，因此該玻璃基板之密度越小越好，以便於運送及攜帶。
3. 熱膨脹係數：該係數將決定玻璃材質因溫度變化造成外觀尺寸之膨脹或收縮之比例，其係數越低越好，以使大螢幕之熱脹冷縮減至最低。

其餘有關物理特性之指標尚有熔點、軟化點、耐化學性、機械強度、光學性質及電氣特性等，皆可依使用者之特定需求而加以規範。

### 2.2.3 玻璃基板製程

整個玻璃基板的制程中，主要技術包括進料、薄板成型及後段加工三部分，其中進料技術主要控制於配方的好壞，首先是在高溫的熔爐中將玻璃原料熔融成低黏度且均勻的玻璃熔體，不但要考慮玻璃各項物理與化學特性，並需在不改變化學組成的條件下，選取原料最佳配方，以便有效降低玻璃熔融溫度，使玻璃澄清，同時達到玻璃特定性能，符合實際應用之需求。而薄板成型技術則攸關尺寸精度、表面性質和是否需進一步加工研磨，以達成特殊的物理、化學特性要求，後段加工則包含玻璃之分割、研磨、洗淨及熱處理等制程。到目前為止，生產平面顯示器用玻璃基板有三種主要之制程技術，分別為浮式法（Float Technology）、流孔下引法（Slot Down Draw）及溢流熔融法（Overflow Fusion Technology）。

1. 浮式法（Float Technology）：為目前最著名的平板玻璃製造技術，該法系將熔爐中熔融之玻璃膏輸送至液態錫床，因黏度較低，可利用檔板或拉杆來控制玻璃的厚度，隨著流過錫床距離的增加，玻璃膏便漸漸的固化成平板玻璃，再利用導輪將固化後的玻璃平板引出，再經退火、切割等後段加工程式而成。以浮式法生產超薄平板玻璃時應控制較低之玻璃膏進料量，先將進入錫床的玻璃帶（Ribbon）冷卻至 700°C 左右，此時玻璃帶的黏度約為 108 泊（Poise；1 泊= 1 g / c m s e c），再利用邊緣滾輪拉住浮於液態錫上的玻璃膏，並向外展拉後，再將玻璃帶加熱到 850°C，配合輸送帶滾輪施加外力拉引而成，以浮式法技術拉制超薄平板玻璃如圖 5 所示。

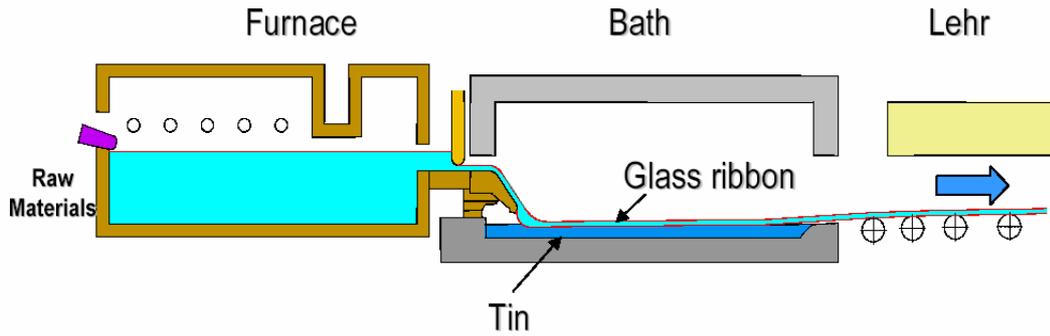


圖 5 浮式法 (Float Technology) [資料來源：Asahi glass 公司]

2. 流孔下引法 (Slot Down Draw)：就平面顯示器所需的特殊超薄平板玻璃而言，有不少廠商是使用流孔下引法技術生產，該法系以低黏度的均質玻璃膏導入鉑合金所製成的流孔漏板 (Slot Bushing) 槽中，利用重力和下拉的力量及模具開孔的大小來控制玻璃之厚度，其中溫度和流孔開孔大小共同決定玻璃產量，而流孔開孔大小和下引速度則共同決定玻璃厚度，溫度分佈則決定玻璃之翹曲，以流孔下引法技術拉制超薄平板玻璃如圖 6 所示。

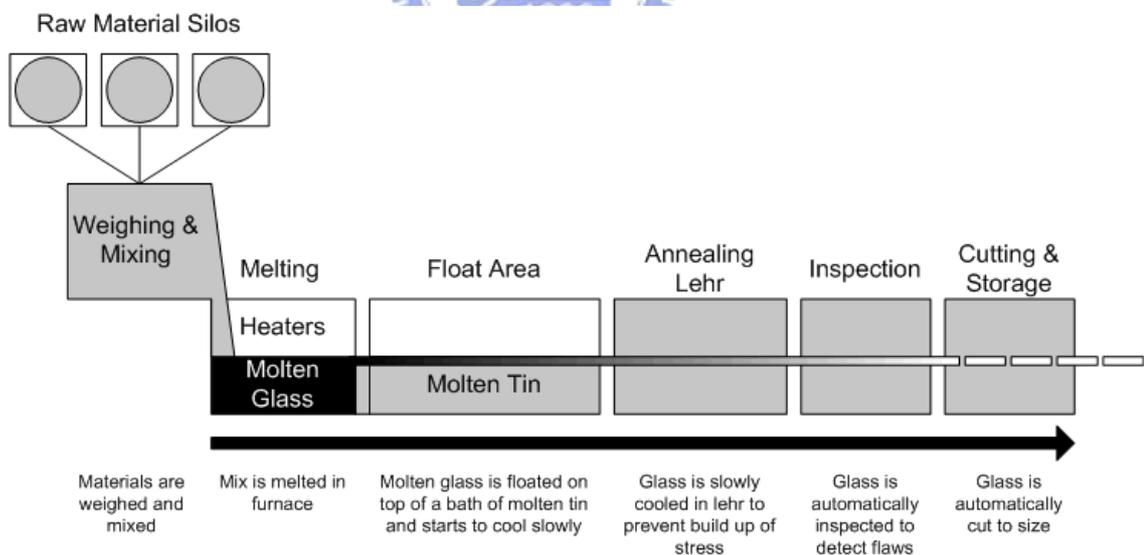


圖 6 流孔下引法 (Slot Down Draw)

3. 溢流熔融法 (Overflow Fusion Technology)：採用一長條型的熔融幫浦 (Fusion Pump)，將熔融的玻璃膏輸送到該熔融幫浦的中心，再利用溢流的方式，將兩

股向外溢流的玻璃膏於該幫浦的下方處再結合成超薄平板玻璃。利用這種成型技術同樣需要借重模具，因而熔融幫浦模具也面臨因受機械應力變形、維持熔融幫浦水平度及如何將熔融玻璃膏穩定打入熔融幫浦中的問題。因為利用溢流熔融法的成型技術所作成的超平板玻璃，其厚度與玻璃表面的質量是取決於輸送到熔融幫浦的玻璃膏量、穩定度、水平度、幫浦的表面性質及玻璃的引出量。

熔融溢流技術可以產出具有雙原始玻璃表面的超薄玻璃基材，相較於浮式法（僅能產出的單原始玻璃表面）及流孔下拉法（無法產出原始玻璃表面），可免除研磨或拋光等後加工制程，同時在平面顯示器製造過程中，也不需注意因同時具有原始及與液態錫有接觸的不同玻璃表面，或和研磨介質有所接觸而造成玻璃表面性質差異等，已成為超薄平板玻璃成型之主流，如圖 7 所示。。

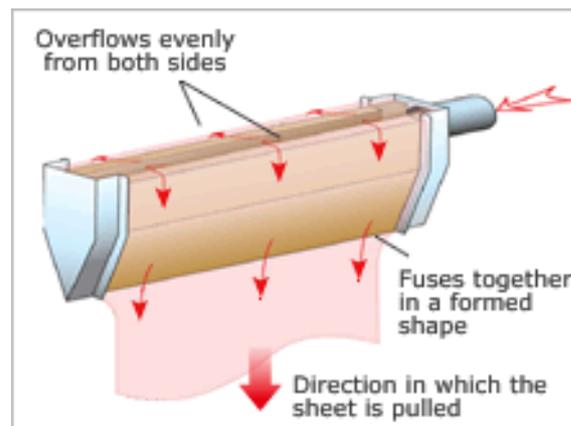


圖 7 溢流熔融法（Overflow Fusion Technology）[資料來源：NEG 公司]

## 2.2.4 玻璃破裂模式

玻璃破裂的原因是引伸張力集中在受損點以致於受外力時，產生之應力集中現象，造成玻璃破裂，而玻璃破裂模式分為裂面特徵和裂縫特徵，其中裂面特徵所造成的原因為玻璃切割裂片時，所造成的不良現象；裂縫特徵所造成的原因為玻璃搬運的刮傷或原材表面所產的裂痕。

1. 裂面特徵:裂面之上下兩面在破裂過程中產生相對滑移，因此造成擦痕等表面特徵。

(1) .破裂源點 (fracture origin) : 材料破裂發生起源點 (起裂點)。有時源點位置無法直接觀察可藉由梳紋、肋紋來推估。

(2) .鏡區與霧區 (mirror zone and mist zone) : 鏡區為破裂源點周圍較光滑明亮的區域，而霧區則在鏡區外圍較無光澤且較鏡區粗糙的區域，則鏡區與霧區不易產生，取而代之的是較平滑的破裂面。

(3) .渥勒線 (Wallner lines) : 在鏡區內的微小起伏，係由於破裂發生時，以超音波的形式釋出能量，並與破裂前緣交互作用，所形成的痕跡。

(4) .梳紋 (hackle mark) : 為霧區外圍有如羽毛狀的一條條紋路，因其平行裂面前進方向，故可藉此判斷破裂源點與裂面之延伸方向。

(5) .扭梳紋 (twist hackle) : 斷裂過程中，由主破裂面轉至另一層面，造成應力場的改變，所形成如雁行排列不連續的梳紋。

(6) .肋紋 (rib mark) : 稱停止線或貝殼狀構造，為裂面上圓弧或橢圓弧紋，是在破裂過程中，應力暫時下降所造成裂面暫時停止的構造，可藉此推估破裂源點與破裂速度。

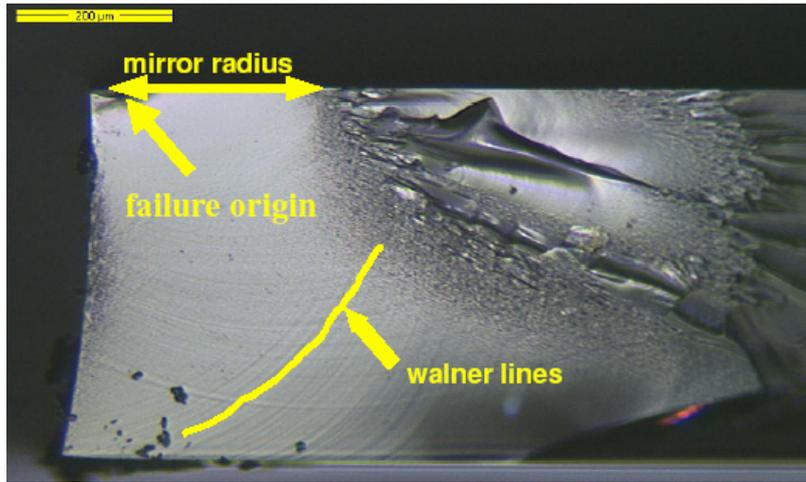


圖 8 裂面特徵（一）[資料來源：統寶光電公司]

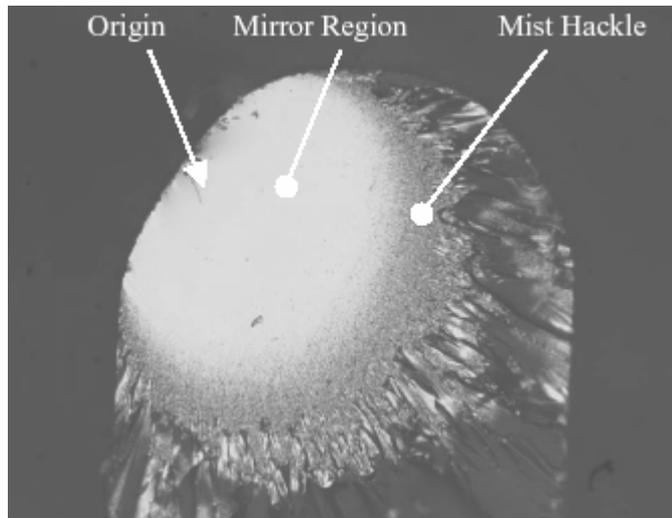


圖 9 裂面特徵（二）[16]

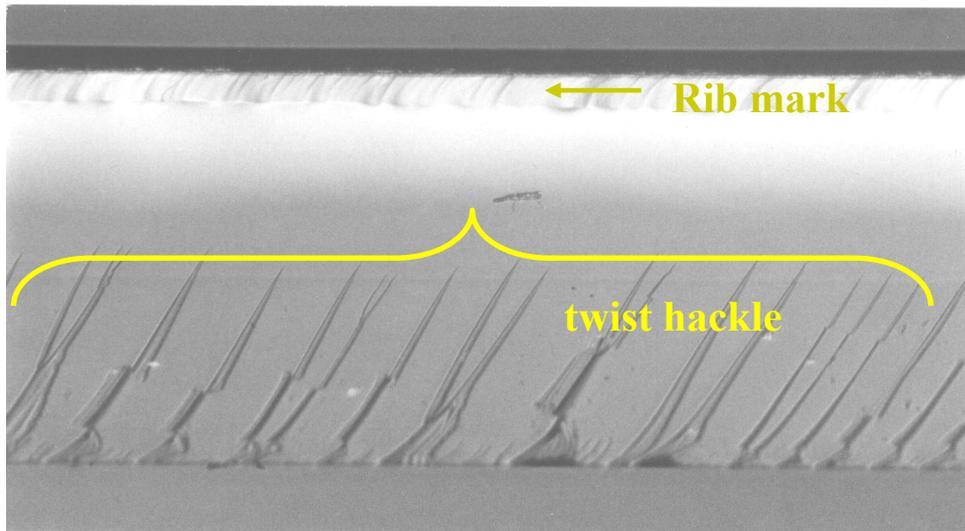


圖 10 裂面特徵（三）[16]



圖 11 正常裂面特徵 [16]

切割（Scribing）斷面形成步驟：切割不良時容易發生裂片不良。

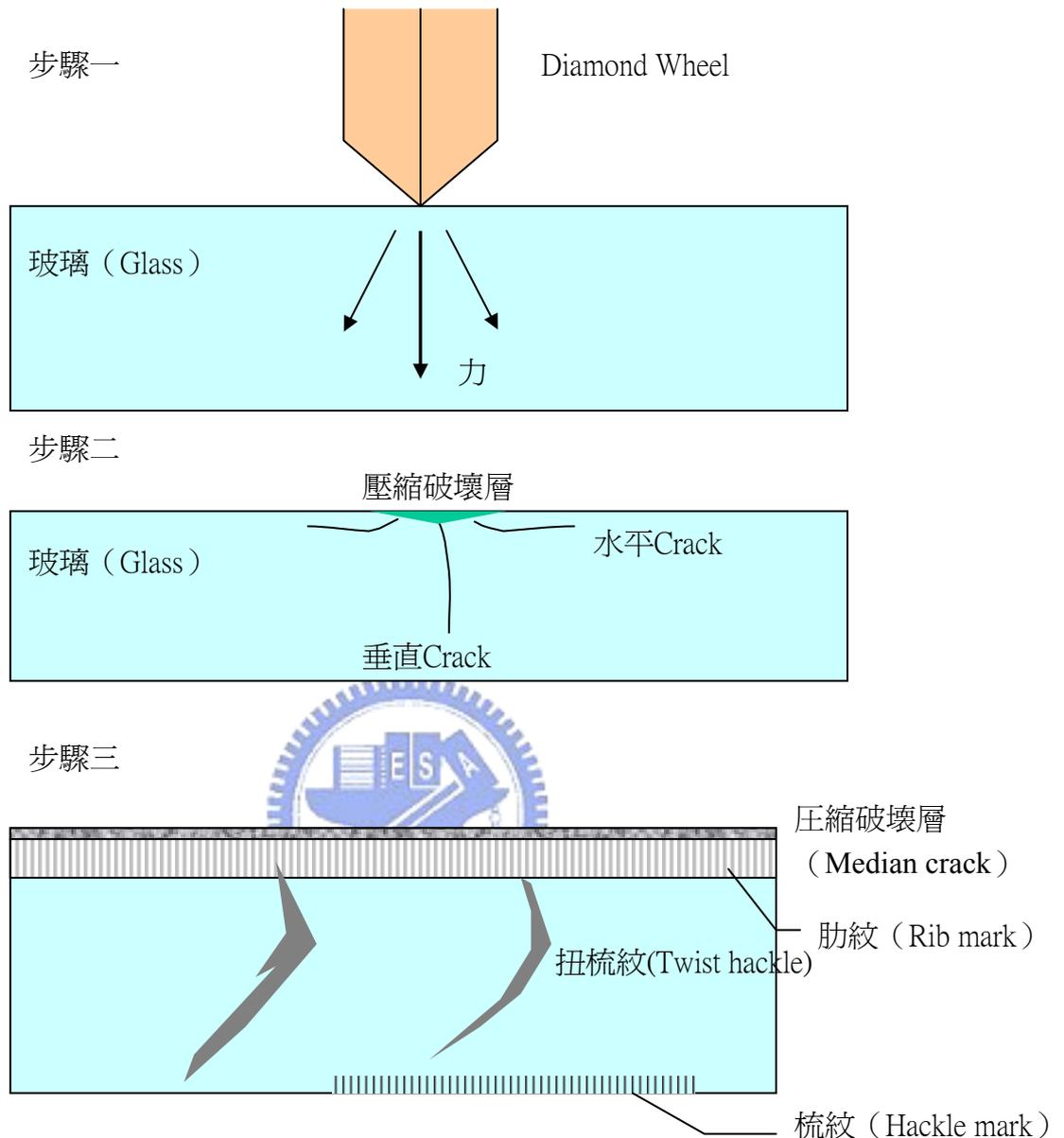


圖 12 玻璃切割流程 [資料來源：統寶光電公司]

- (1) .壓縮破壞層 (Median crack)：被切刀所擠壓的部分。
- (2) .肋紋 (Rib Mark)：垂直crack的深度大概相同。
- (3) .扭梳紋 (Twist hackle)：在斷面所顯現的傷。切割的狀態不良時，裂片時將會發生。
- (4) .梳紋 (Hackle mark)：出現在下方等兼具的排列傷。切斷後、剝離時因為兩側產生衝突。

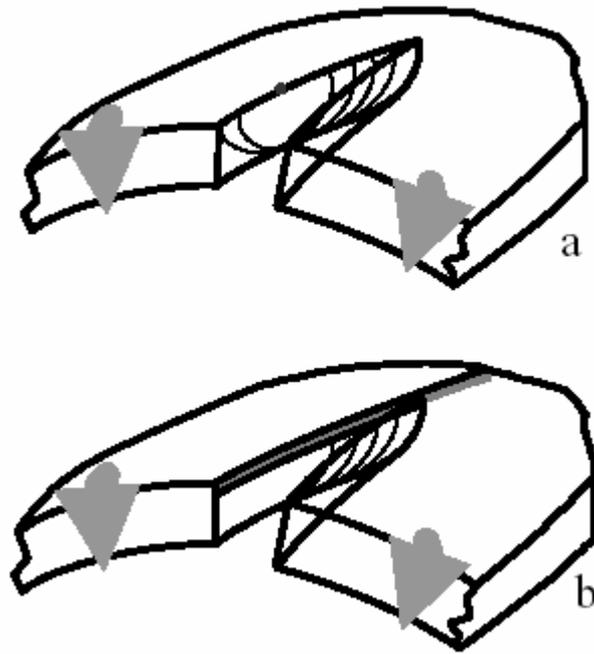


圖 13 玻璃裂片比較圖 (a為裂片不佳，b為裂片良好) [16]

## 2. 裂縫特徵：

一物體內的裂縫能有三種不同的受力模式，第 I 型是由正應力所造成”張裂型 (opening mode)”，其裂縫表面的位移垂直於裂縫面。第 II 型是平面內剪切所產生的”滑裂型 (sliding mode)”，其裂縫面位移在於裂縫平面上且與裂縫前緣垂直。第 III 行為”撕裂型 (tearing mode)”，是由出平面 (out-of plane) 剪切所造成，裂縫面位移亦存在於裂縫面上但與裂縫前緣平行。這三種模式的複合即描述了負荷的一般狀況，技術上以第 I 型最為重要。

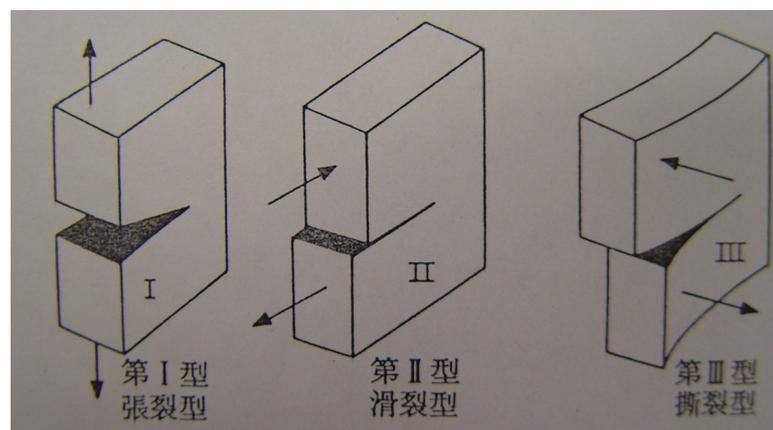


圖 14 裂縫特徵 [7]

考慮一任意大小， $a$ 的貫穿板厚的裂縫，存在於一任一大小及形狀的物體中，並承受一任意之第 I 型負荷，依圖14的座標系統，此一平面中裂縫應力恆可表示為

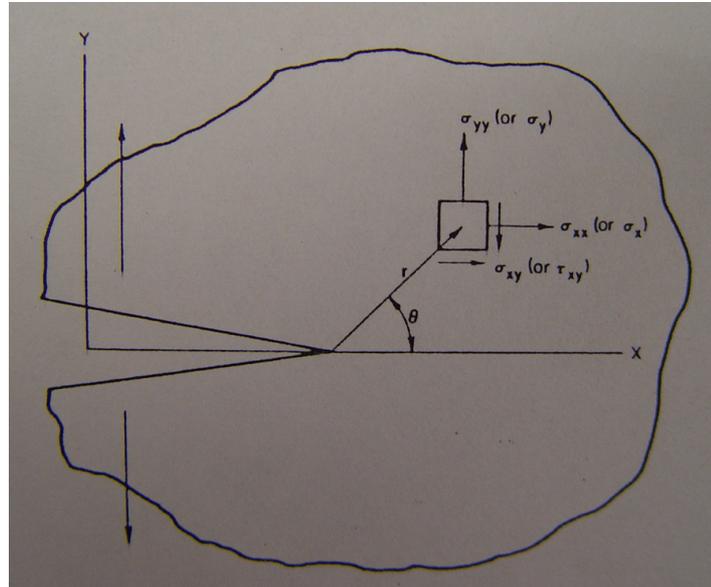


圖 15 無限大平板中的裂縫（一） [7]

$$\sigma_{ij} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} f_{ij}(\theta) \dots\dots\dots (1)$$

$\sigma_{ij}$  = 裂縫應力

$K_I$  = 應力強度因子（玻璃一般為0.75~0.85，康寧 code1737 F為0.83）

$r$  = 裂縫端

如果方程式（1）對任意物體均成立，則在一有中央裂縫 $2a$ ，承受均勻張力的無限大板也應成立（圖15）。從圖15得知裂縫平方根與裂縫應力成反比，所以當有極微小的裂縫，亦產生很大的裂縫應力。

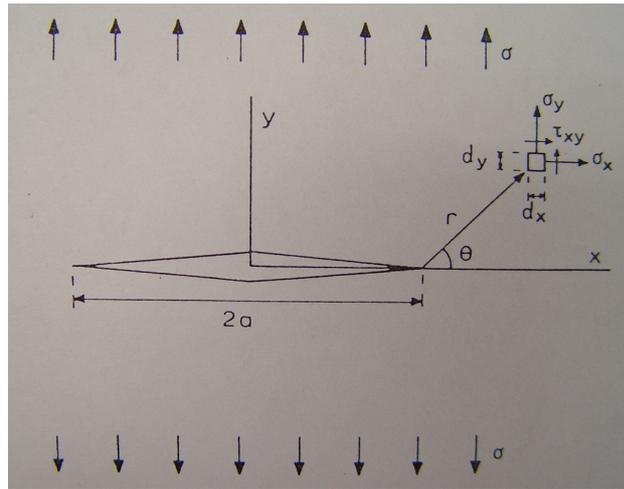


圖 16 無限大平板中的裂縫（二） [7]

$$\sigma = \frac{K_I}{\sqrt{\pi a}} \dots\dots\dots (2)$$

$\sigma$  = 裂縫應力

$K_I$  = 應力強度因子（玻璃一般為0.75~0.85，康寧 code1737 F為0.83）

$a$  = 裂縫

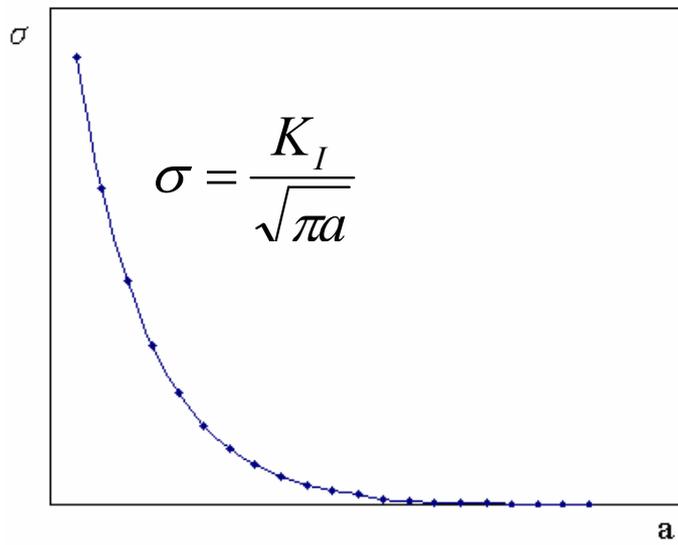


圖 17 裂縫與裂縫應力關係圖

## 2.2.5 玻璃強度測試方法

玻璃基板對於原材在整個生產的製程中，包括進料、薄板成型及後段加工和客戶使用的狀況下，包含搬運、切割裂片、TFT 製程過程、包裝均會產生所謂的缺陷 (defect)，嚴重影響製造的產量與產品品質。玻璃破裂的原因是在受損點於受外力時，產生之應力集中現象，造成相當大的玻璃強度差異，若要防止玻璃破裂，就必須去除受損點或減少引伸張力。為了方便檢測玻璃本身是否因製程造成的缺陷而產生應力差異，進而發展出以下的測試方式，其中最常用的玻璃基板強度測試分為 4 點式彎曲測試 (four point bending test) 和 ROR 測試 (ring on ring test)。

1. 4 點式彎曲測試 (four point bending test)：此測試主要判別玻璃切割及裂片時，切斷面是否正常 (請參照章節 2.2.4)。此測試方法為將玻璃放於上下各 2 支  $\Phi 3\text{mm}$  的不銹鋼桿子中間，兩桿間間距，下桿間距為上桿的 2 倍，手機用面板一般下桿間距為 20mm，則上桿為 10mm，再將上桿施加力量，當玻璃破裂時會產生一個 F 的力量，再依照材料力學的彎曲應力公式換算得知。

彎曲應力：

$$\sigma = \frac{My}{I} = \frac{M}{Z} \dots\dots\dots(1)$$

$\sigma$  = 彎曲應力

M = 斷面處彎矩

y = 距離中性軸距離

I = 斷面慣性矩

Z = 剖面模數

$$I_{\max} = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{h}{2}Z_{\max} \dots\dots\dots(2)$$

b = 樣品寬度

h = 樣品厚度

$I_{\max}$  = 最大斷面慣性矩

$$\sigma = \frac{\frac{F}{2} \times \frac{L}{4} \times \frac{h}{2}}{\frac{1}{12}bh^3} = \frac{\frac{F}{2} \times \frac{L}{4}}{\frac{1}{6}bh^2} = \frac{3FL}{4bh^2} \dots\dots\dots(3)$$

F = 負載力

L = 樣品長度 (下側桿距)

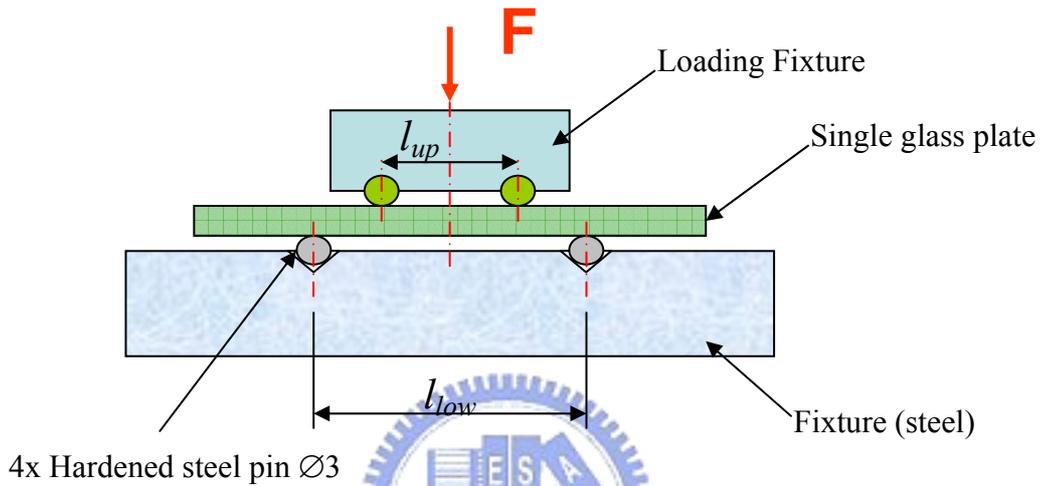


圖 18 4 點式彎曲測試示意圖 [資料來源：統寶光電公司]

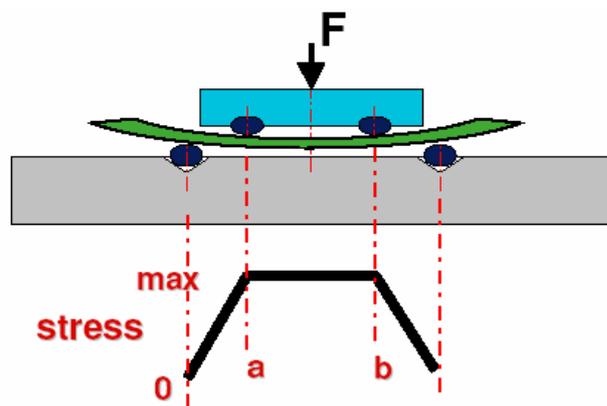


圖 19 4 點式彎曲測試力矩圖 [資料來源：統寶光電公司]

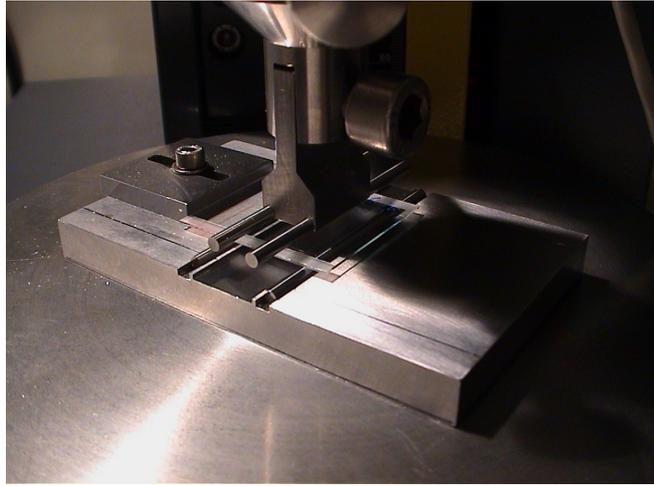


圖 20 4 點式彎曲測試圖 [資料來源：統寶光電公司]

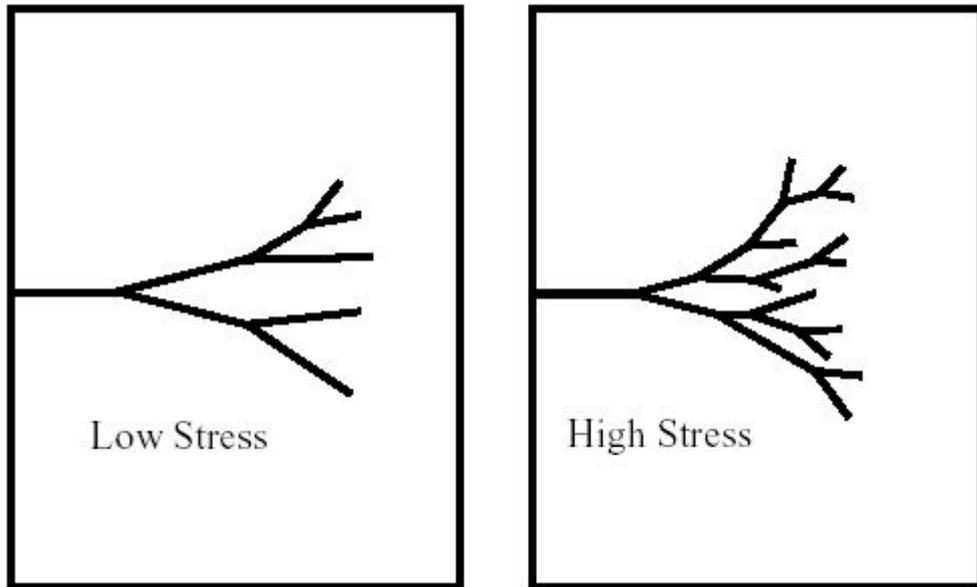


圖 21 4 點式彎曲測試產生的破裂模式（一）[16]

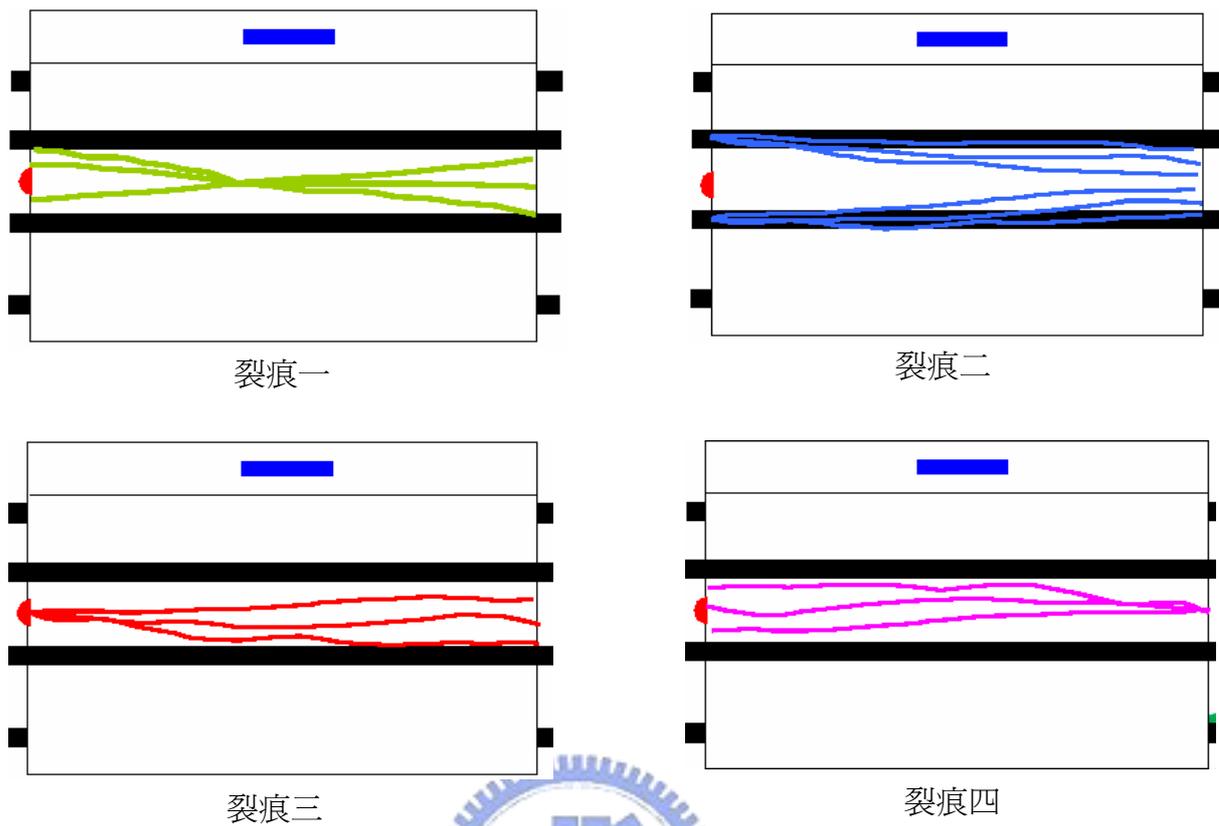


圖 22 4 點式彎曲測試產生的破裂模式 (二) [資料來源：統寶光電公司]



2. ROR 測試 (ring on ring test)：此測試主要判別玻璃表面是否刮傷或裂痕，當表面有缺陷時，以致於受外力會產生之應力集中現象，造成玻璃破裂（請參照章節 2.2.4）。此測試方法為將玻璃放於 2 個的圓環中間，手機用面板一般下環間距為 12 或 30mm，則上環為 8.5 或 19mm，再將上環施加力量，當玻璃破裂時會產生一個 F 的力量，再依照下列公式換算得知應力。

$$\sigma_f = \frac{3F}{2\pi h^2} \left[ (1-\nu) \frac{D_s^2 - D_L^2}{2D^2} + (1+\nu) \ln \frac{D_s}{D_L} \right] \dots\dots\dots(1) [14]$$

$\sigma_f$  = the expected equibiaxial fracture strength in units MPa

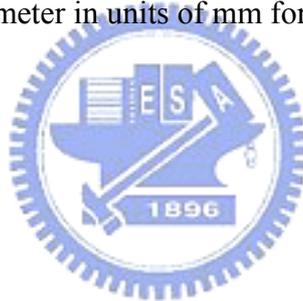
F = the breaking load in units of N

D<sub>s</sub>= the support ring diameter in units mm

D<sub>L</sub>= the load ring diameter in units mm

D = the test specimen diameter in units of mm for circular test specimens

$\nu$  = Poisson's ratio



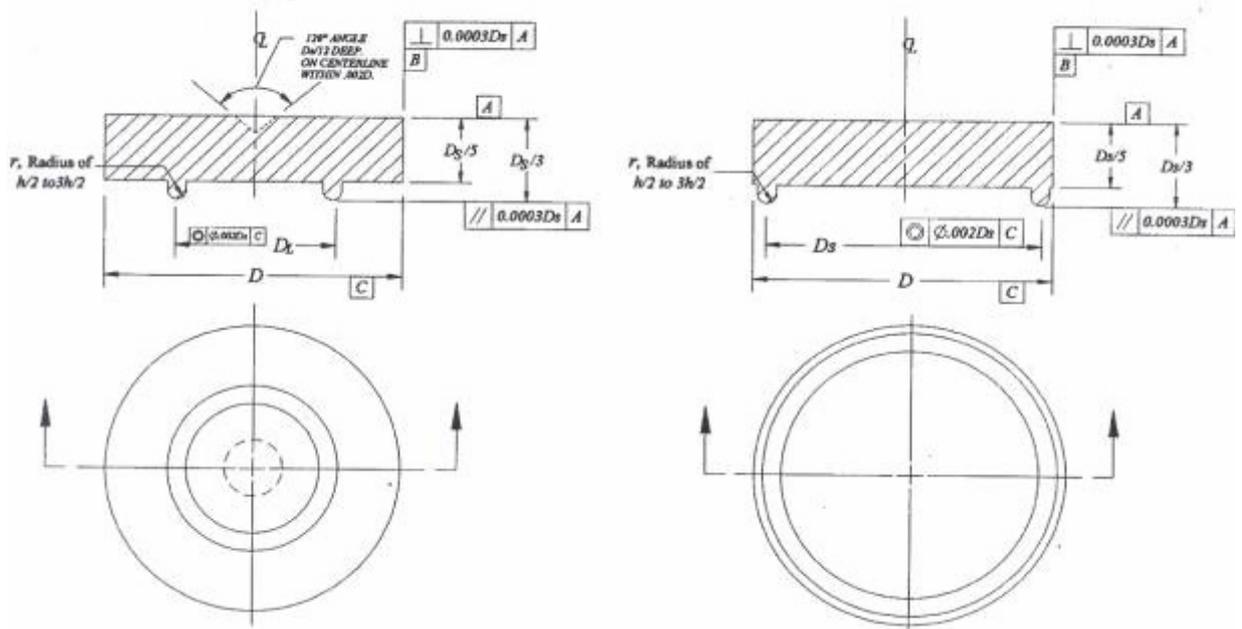


FIG. 2 Load and Support Fixture Designs for Equibiaxial Testing

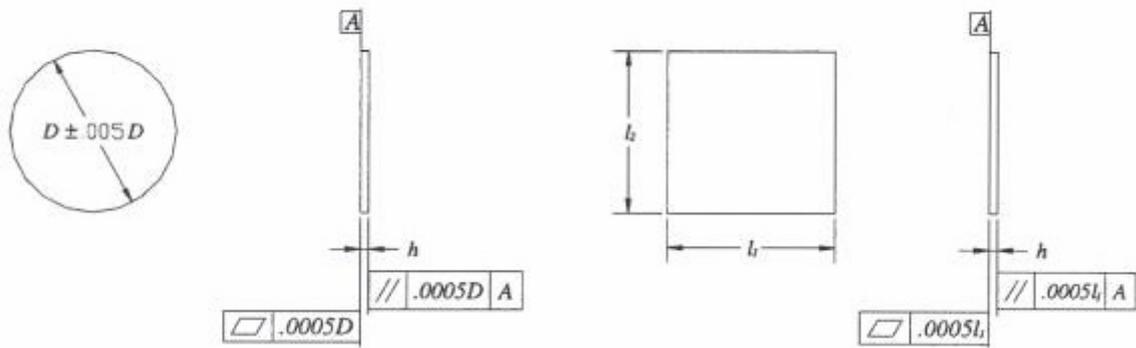


圖 23 ROR 測試治具細部結構圖 [14]

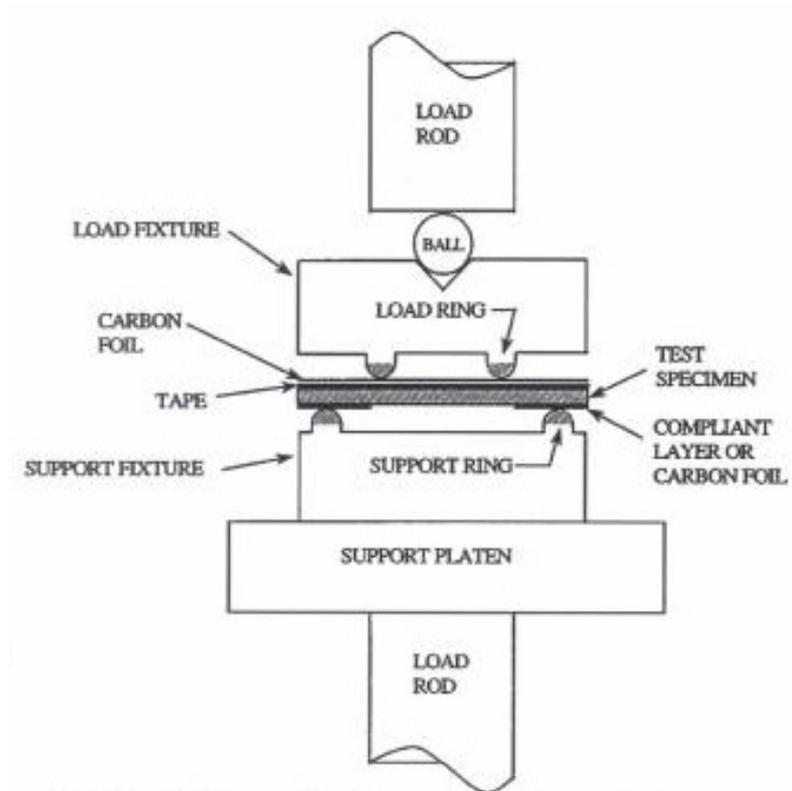


圖 24 ROR 測試示意圖 [14]

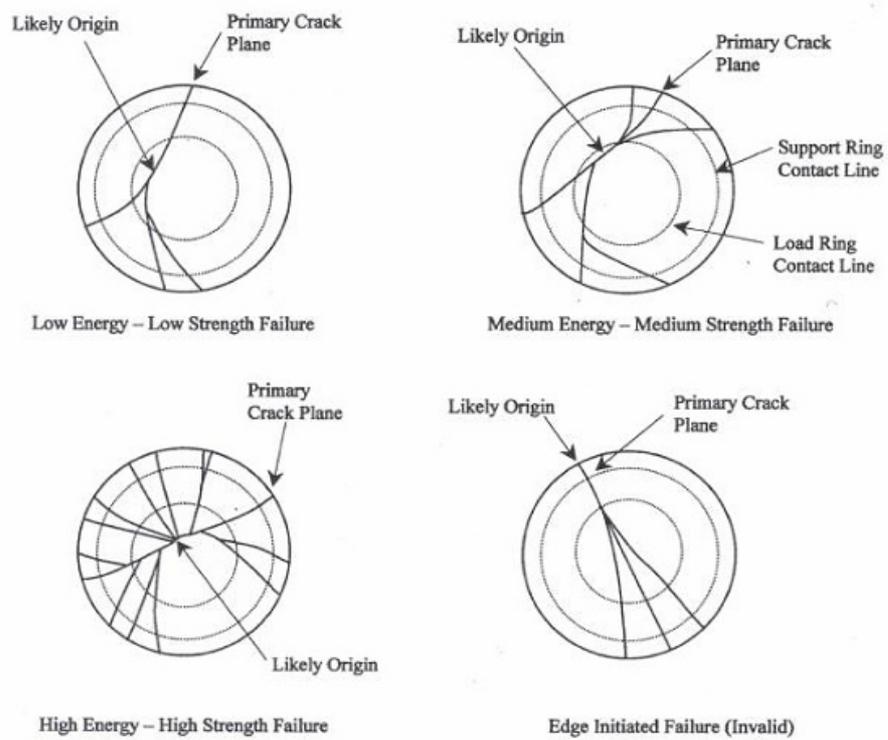


圖 25 ROR 測試產生的破裂模式 [14]

## 2.2.6 韋伯分佈函數 (Weibull Distribution Function) 理論

### 2.2.6.1 機率密度函數

若在 $[t_0, t_0 + \Delta t]$ 微小區間內發生的故障機率為  $\Pr(t_0 \leq x \leq t_0 + \Delta t)$ ，則機率密度函數  $f(x)$  定義為：

$$f(x) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Pr(t_0 \leq x \leq t_0 + \Delta t)}{\Delta t} \dots\dots\dots(1)$$

假設  $x$  代表產品壽命或材料性質，而產品可靠度  $R(x)$  為小於  $x_1$  而不發生故障的機率，即壽命大於  $x_1$  的機率：

$$R(x) = \int_{x_1}^{\infty} f(x) dx \dots\dots\dots(2)$$

若樣本空間為 1，因此在 0 到  $x_1$  間故障的累積故障率或稱為不可靠度 (unreliability)  $F(x)$  為：

$$F(x) = 1 - R(x) = \int_0^{x_1} f(x) dx \dots\dots\dots(3)$$

若對  $F(x)$  微分，可得到機率密度函數：

$$f(x) = dF(x)/dx \dots\dots\dots(4)$$

### 2.2.6.2 韋伯分佈函數

瑞典工程師韋伯 (Weibull) 於 1951 年提出一種能描述各種類型分佈的函數，稱為韋伯分佈函數 (Weibull Distribution Function)：

$$F(X) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{\eta}\right)^m\right] \dots\dots\dots(5)$$

其中

m：形狀參數 (Shape Parameter) 或韋伯模數 (Weibull Modulus)

$\eta$ ：尺寸參數 (Scale Parameter) 或特徵參數 (Characteristic Parameter)

$x_0$ ：位置參數 (Location Parameter) 或免失效時間 (Failure Free Time) 或最小壽命 (Minimum Life)

以上三參數稱為韋伯三參數，由以上三個參數來表示韋伯分佈，稱為三參數韋伯分佈函數。其求解方式如下：

1. 將試驗數據由小至大排列。
2. 估計累積故障機率  $F(x)$

根據過去學者研究結果，當數據分佈為非對稱時，中位數排列法 (Median Ranking) 比常用於對稱分佈之平均數排列法 (Average Ranking) 有較佳的估計及修正。F(x)的推算如採用中位數排列法，則為：

$$F(x) = \frac{(i-0.3)}{(N+0.4)} \quad i: \text{第}i\text{試片}, N: \text{試片總數} \dots (6)$$



F(x)的算若採用平均數排列法，則為：

$$F(x) = \frac{i}{(N+1)} \dots (7)$$

3. 將公式(5)加以變形成為

$$1 - F(x) = \exp \left[ - \left( \frac{x - x_0}{\eta} \right)^m \right] \dots (8)$$

公式左右二邊取自然對數二次，則

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(x)} = m \ln(x - x_0) - m \ln \eta \dots (9)$$

將  $\ln \ln[1/(1-F(x))]$  當作縱軸(Y 軸)， $\ln(x-x_0)$  當作橫軸 (X 軸)，使公(9)合乎線性函數  $Y = mX + b$  的型式，此直線的斜率即為韋伯模數  $m$ 。

4. 由直線 ( $Y = mX + b$ ) 與 X 軸的交點  $Y=0$ ，即可求出  $\eta$ 。當韋伯分佈經上述變換所得之線性，若為非直線關係，則表示該分佈可能為複合式韋伯分佈

5.  $x_0$  的求法如下：設  $x_0 = ax_1$ ， $0 \leq a < 1$ ， $a$  為常數， $x_1$  為實驗數據由小到大排列後的第一個實驗值，，首先假設數據分部狀況合乎二參數韋伯函數分佈(即只有  $m$  及  $\eta$  二參數存在，而位置參數  $x_0$  為 0)，以  $\ln(x)$  為橫座標，以  $\ln \ln[1/(1-F(x))]$  為縱座標作圖，若數據經迴歸後合乎線性，則這些數據以二參數韋伯分佈來表示是恰當的。否則，表示此數據應為三參數韋伯分佈，即必存在  $x_0$  為位置參數，由於  $0 \leq a < 1$ ，可獲得系列  $x_0$  值，以  $\ln \ln[1/(1-F(x))]$  為縱座標， $\ln(x-x_0)$  為橫座標作圖，經線性迴歸後，比較各不同  $x_0$  值所得的相關係數 (Correlation Coefficient)，其中相關係數最大者，即為該組數據之預測最小壽命。



### 2.2.6.3 韋伯函數的可靠度函數

當  $x \leq x_0$  時，因尚未有故障發生，所以故障機率密度函數為 0，可靠度為 1；當  $x > x_0$  時，故障機率密度函數  $f(x)$ ，由公式(4)的定義可得：

$$f(x) = dF(x)/dx = \frac{m}{\eta^m} (x-x_0)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{x-x_0}{\eta}\right)^m\right] \dots\dots\dots(10)$$

另，由公式(5)可得韋伯函數的可靠度函數為：

$$R(x) = 1 - F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x-x_0}{\eta}\right)^m\right] \dots\dots\dots(11)$$

## 2.2.7 利用可靠度判別玻璃強度

上節（2.2.5）所提到的測試方法分別為 4 點式彎曲強度測試及 ROR 測試，這兩種測試方法是為了有效判別玻璃切割的好壞及切割刀具的磨耗程度，或原材製程或任何製程搬運過程中造成的刮傷，所定義出來的測試方法。依照其測試方法所得到的應力，利用可靠度的韋伯分佈（Weibull Distribution）加以評價，可以了解上述的製程中是否有異常狀況，並藉此定義玻璃的基本強度，以方便使用者不會因玻璃本身的問題，產生機構設計強度的判斷錯誤。

當韋伯模數  $m$  大於 1，且當韋伯模數  $m$  越大時，表示每一片試片，所代表的強度彼此差異性不大，且製程參數是屬於穩定狀態，玻璃的韋伯模數  $m$  大於 6 為佳；就玻璃強度來判斷，且當得到應力越大時，代表玻璃能承受的力量越大。

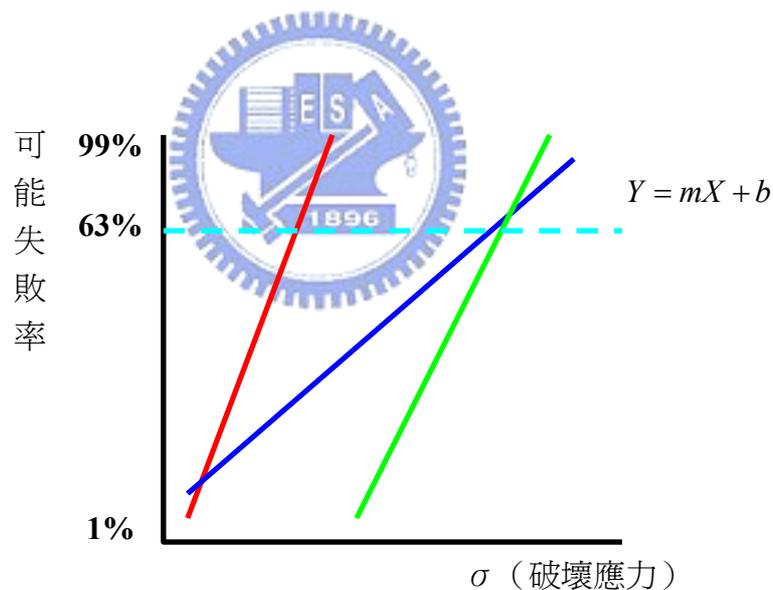


圖 26 韋伯分佈函數 [資料來源：統寶光電公司]

### 三、 實驗方法與規劃

#### 3.1 鋼球撞擊測試.條件及方法

鋼球撞擊測試主要是利用 130g 的鋼球 ( $\Phi 31.8\text{mm}$ ) 在預定的高度上，將鋼球以自由落體的方式落下，當鋼球撞擊 LCD 模組時，用以判定 LCD 模組的玻璃面板是否有破裂或裂痕的測試方式。

首先，將 LCD 模組置於治具 (Jig) 上，將 130g 的鋼球 ( $\Phi 31.8\text{mm}$ ) 放置於貼有刻度的空心塑膠管裡，空心塑膠管裡每一刻度代表 10mm，規範的定義如果為 100mm，那表示將固定棒放置於 100mm 的位置上並將鋼球放上，且空心塑膠管貼放於 LCD 模組，當取出固定棒時，鋼球以自由落體的狀況掉落至 LCD 模組，再將模組取出檢查是否有造成面板破裂或裂痕，一般 LCD 模組的測試高度為 50mm 或 100mm( 尚未制定為規範)；另外手機則為 250mm。

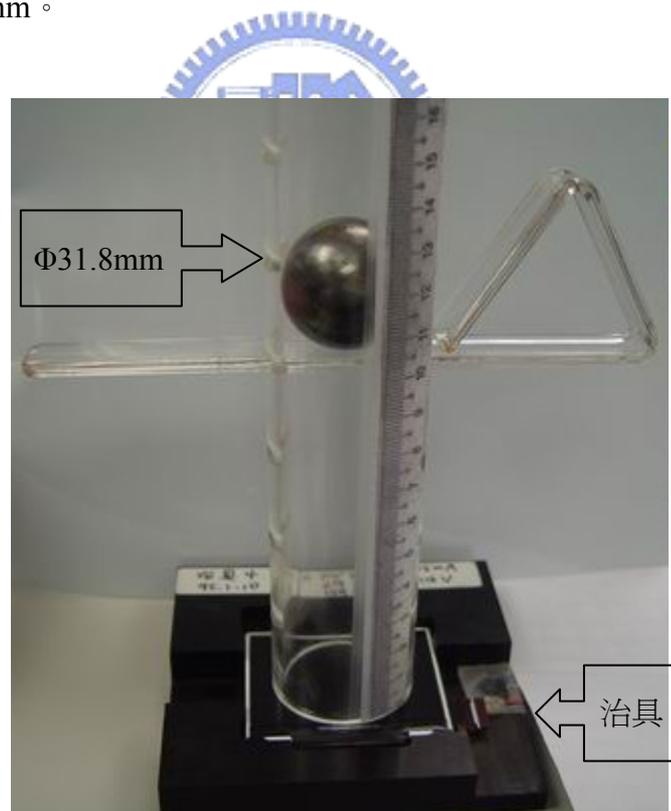


圖 27 鋼球撞擊測試治具 (一)



圖 28 鋼球撞擊測試治具（二）

### 3.2 LCD 模組結構

本研究以 2.5” LCD 模組作為實驗的樣本構件，其主架構分為面板、背光模組、電路板，面板次架構分為玻璃及偏光板，背光模組分為光學膜、導光板、雙面膠、塑框、鐵框、反射片...等，電路板則有主被動元件，圖 29、30、31 所表示的為實體構件的尺寸、相關的部品組成及樣本爆炸圖。

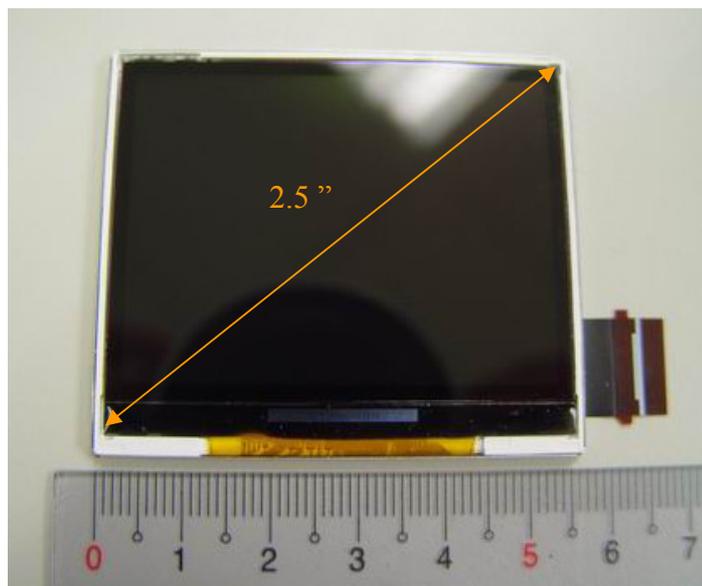


圖 29 LCD 模組結構（一）

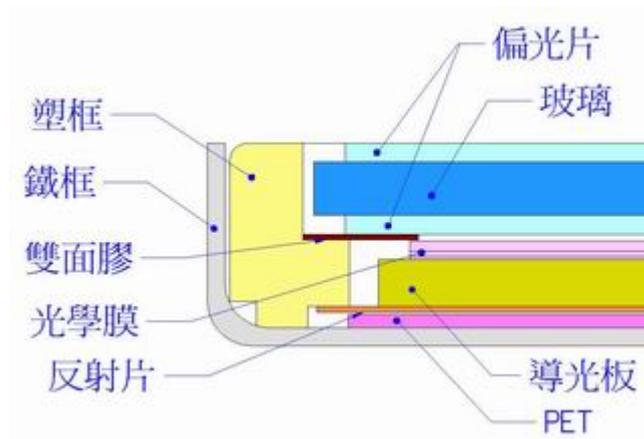
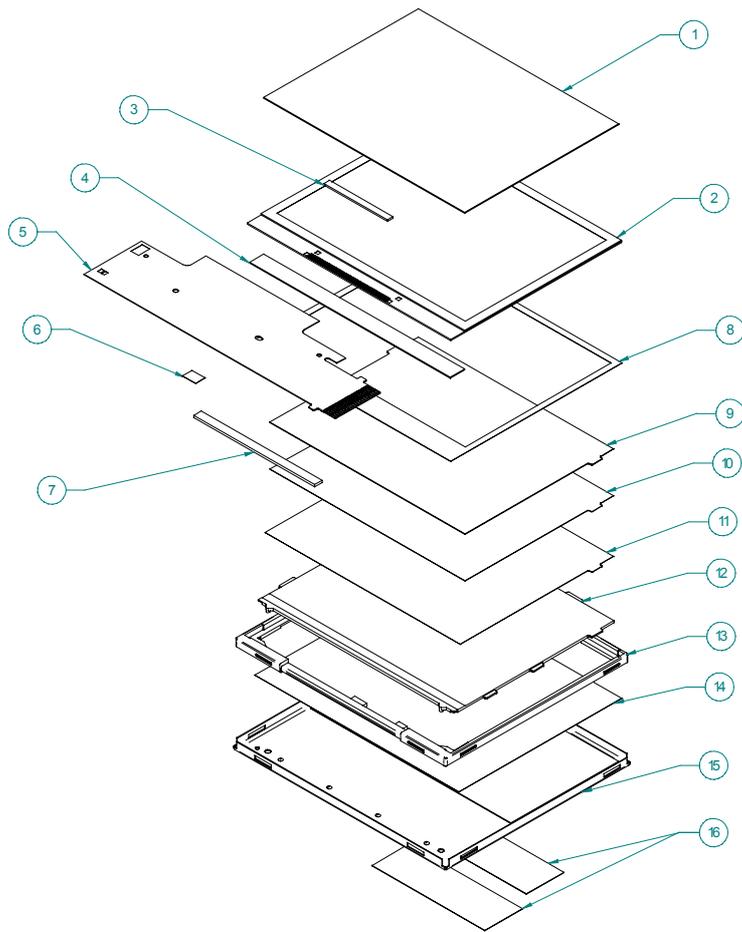


圖 30 LCD 模組結構 (二)

表 1 LCD 模組結構厚度表

部品名稱	t (mm)
上偏光片	0.2
玻璃	0.5
下偏光片	0.2
面板固定膠厚度	0.06
增亮膜 A	0.115
增亮膜 B	0.065
擴散片	0.035
導光板	0.5
反射片	0.065
鐵框	0.2
總厚度	1.94



項次	部品名稱
1	上偏光片
2	面板
3	IC
4	Mylar膠帶
5	FPCa
6	OTP膠帶
7	Sponge
8	雙面膠
9	增亮膜 A
10	增亮膜 B
11	擴散片
12	導光板
13	塑框
14	反射片
15	鐵框
16	模組標籤

圖 31 LCD 模組結構 (三)

### 3.3 鋼球撞擊測試實驗流程規劃

#### 3.3.1 特性要因圖 (Cause and Effect Diagram)

特性要因圖於 1953 年石川馨教授所提出，是一種方便探討結果（特性）與原因（要因）之間的關係，所發展出來的有效方法，亦有人稱為「石川 (Ishikwa) 圖」，又因其形狀很像魚骨，故又稱為「魚骨圖」。構成因素分為特性（欲解決問題點或目標）和要因，影響「特性」的東西，依其程度分為大骨、中骨、小骨，常用於問題之改善解析及製程管制。

對於玻璃面板強度影響的可能原因利用特性要因圖列舉出來，並且將現階段無法實施或不在此次的研究範圍內予以排除。首先在面板保護蓋部分，保護蓋材質、外型、表面處理及保護蓋與面板的間隙等因素皆建構在客戶的 ID，不列入此次研究的範圍；面板部分，如玻璃特殊材質、表面是否可強化等因子，在現階段 TFT 製程尚未有出現特殊改變，所以只能考慮偏光板厚度，一般偏光板的厚度依照光學的特性有所不同，此次實驗的偏光片厚度 0.2mm 剛好配合 LCD 模組的原始架構，至於選用厚度 0.6mm 是與原始架構作區別，藉此了解偏光片厚度的變化對耐鋼球撞擊是否有明顯的影響，另外光學高透膜 (Optic clear adhesive) 為最近發展出來的特殊材料，主要用途為緩衝外力撞擊以減少玻璃面板的受力，因材料薄且耐緩衝佳，光學穿透率又有 93% 以上，亦在此次的實驗範圍內；背光模組內部結構的選用主要考量為面板固定膠厚度的變化是否對鋼球撞擊有緩衝的效果，一般面板固定膠厚度為 0.06mm，對照組為厚度 0.18mm，另外鐵框的選用是否可以提升整體 LCD 模組結構強度亦在考慮範圍內，材質一般為 SUS430 或 SUS304。

從 LCD 模組結構裡，吾人規劃了四個實驗因子分別為偏光板厚度、光學高透膜、面板固定膠及鐵框，再將四個實驗因子可能影響玻璃面板的強度，細分為六個實驗條件。請參考表 2。

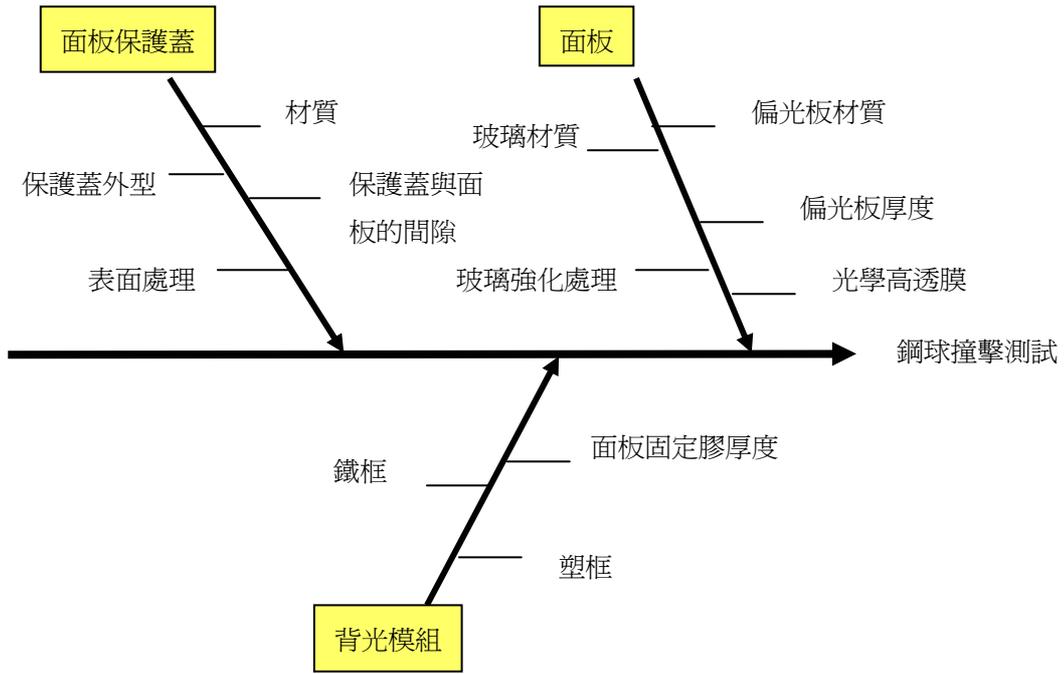


圖 32 特性要因圖

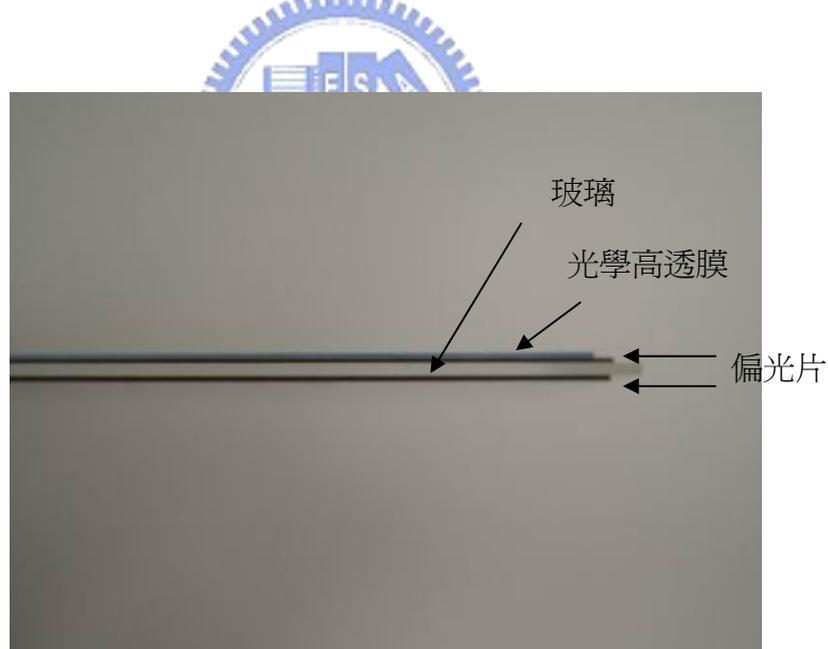


圖 33 光學高透膜

表 2 鋼球撞擊測試實驗因子表 (一)

部品名稱	實驗條件 A	實驗條件 B	實驗條件 C	實驗條件 D	實驗條件 E	實驗條件 F
光學高透膜	N/A	N/A	0.2	0.3	N/A	N/A
上偏光片	0.2	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2
玻璃	0.5					
下偏光片	0.2					
面板固定膠厚度	0.06	0.06	0.06	0.06	0.18	0.06
增亮膜 A	0.115					
增亮膜 B	0.065					
擴散片	0.035					
導光板	0.5					
反射片	0.065					
鐵框	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0.2
總厚度	1.74mm	2.14mm	1.94mm	2.04mm	1.86mm	1.94mm

表 3 鋼球撞擊測試實驗因子表 (二)

鋼球撞擊實驗因子				備註
實驗條件	實驗因子	厚度(mm)	耐撞擊高度(mm)	
A	偏光板	0.2	-	1.實驗條件 A 為原始 LCD 模組結構(表一) 不含鐵框。 2.實驗條件 B、C、D、E 皆不含鐵框
B		0.6	-	
C	光學高透膜	0.2	-	
D		0.3	-	
E	面板固定膠	0.18	-	
F	鐵框	0.2	-	

表 4 LS-DYNA 模擬實驗因子表

LS-DYNA 鋼球撞擊實驗因子				備註
實驗條件	實驗因子	厚度(mm)	應力(Mpa)	
A	偏光板厚度	0.2	-	1.實驗條件 A 為原始 LCD 模 組結構(表一)，不含鐵框。 2.實驗條件 B、C、D、E 皆不 含鐵框。 3.每一個實驗條件分別的模 擬高度為 25mm、50mm、 75mm 及 100mm。
B		0.6	-	
C	光學高透膜	0.2	-	
D		0.3	-	
E	面板固定膠	0.18	-	
F	鐵框	0.2	-	

### 3.3.2 鋼球撞擊測試實驗流程

為確保玻璃面板的穩定性，將直接選用玻璃原材且有效地控制切割製程參數，以避免切割裂片不良及製程過程中所造成的微小裂縫（請參考 2.2.4 節）等缺陷的影響，本實驗首先把切割好的玻璃分別利用 4 點式彎曲測試及 ROR 測試的方法取得玻璃破裂時所產生的力量  $F$ ，將力量  $F$  經由彎曲應力公式換算為應力  $\sigma$ ，再利用韋伯分佈函數判定玻璃的穩定度並取得玻璃樣本，藉由 LCD 模組結構調整得到當鋼球落下時面板玻璃的耐撞擊高度，並利用 LS-DYNA 模擬取得每種結構改變與鋼球撞擊高度 25mm、50mm、75mm、100mm 所產生的應力，最後比較耐撞擊高度與應力的關係。

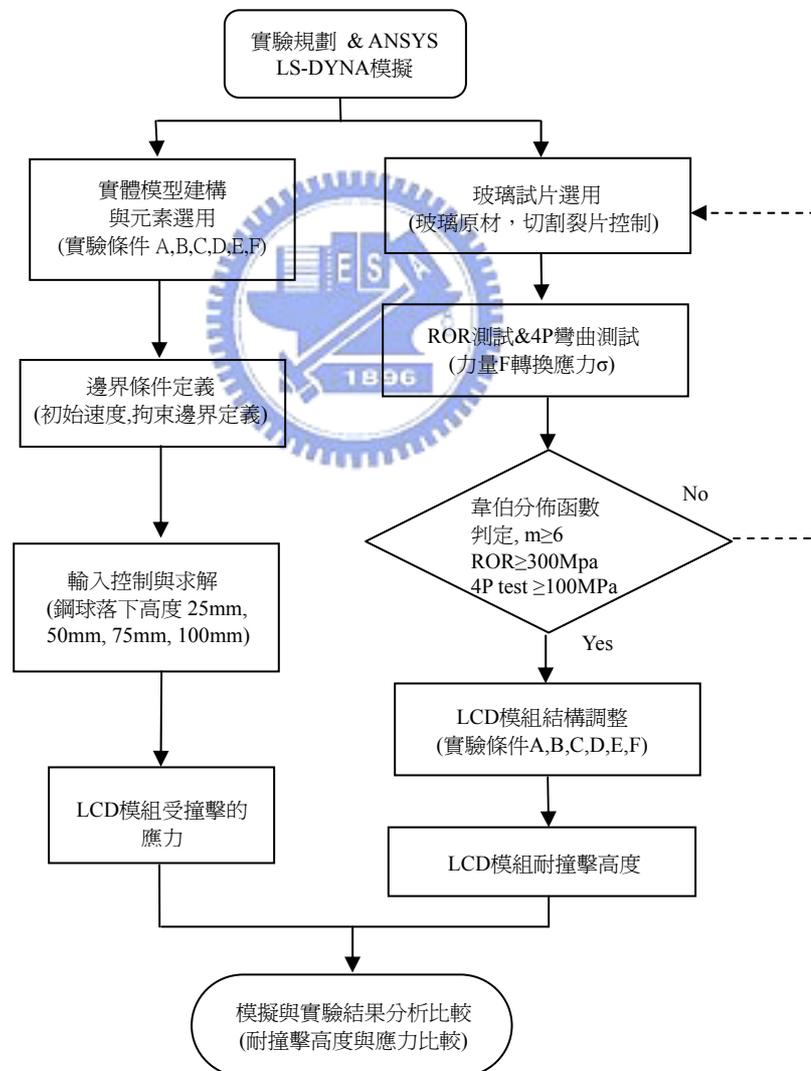


圖 34 鋼球撞擊測試實驗流程規劃圖

### 3.4 玻璃試片製作

利用 3.5 代 (620 x750mm) 厚度為 0.5mm 的玻璃原材，使用鑽石震動刀輪，將玻璃切割為 2.5" (53.92 x45.34mm) 尺寸的玻璃試片，從玻璃試片取出樣本數量 N=60pcs，分別將 N=30pcs 的試片經過 4 點式彎曲強度測試，當玻璃持續受力到破裂時，系統會偵測到最大的力量 (N)，再將最大的受力 F 轉換為應力  $\sigma$ ，並經過可靠度韋伯的計算得到韋伯模數及玻璃破裂強度，其 4 點式彎曲強度測試條件為上桿間距 10mm 與下桿間距為 20mm，速率為 1mm/min；另外再將其餘 N=30pcs 的試片經過 ROR 測試，並依照上述的方式得到力量 (N)，將力量 F 轉換為應力  $\sigma$ ，並經過可靠度韋伯的計算得到韋伯模數及玻璃破裂強度，其 ROR 測試條件上環為  $\Phi 19\text{mm}$  與下環 30mm，速率為 1.82mm/min。

由表 6 與表 8 可知測試的數據分佈為常見之常態分配，屬對稱分佈，F(x)之計算採用平均數排列法，再利用韋伯分佈函數公式取得韋伯模數，由圖 37 與圖 38 的韋伯分佈圖顯示，此次試片的韋伯模數 m 分別為 6.1434 與 6.2012，韋伯模數皆  $m \geq 6$ ，即表示每一片試片所代表的玻璃破裂強度彼此差異性不大，且製程參數是屬於穩定狀態，也表示表面裂縫因素也降至最低；若以故障率百分比  $F(x)=10\%$ (即  $F(x)\%=(1-R(x)) \times 100\%$ ) 來看，此次 4 點式彎曲測試的玻璃破裂強度為  $202\text{MPa} \geq 100\text{MPa}$ ，符合公司內部面板測試規範；另外 ROR 測試的玻璃破裂強度  $333\text{MPa}$  是優於公司的經驗資料值  $300\text{MPa}$ ，從以上韋伯模數及試片的玻璃破裂強度數據皆符合期待值。



圖 35 玻璃試片 (一)



圖 36 玻璃試片（二）

表 5 4 點式彎曲測試資料表

No.	Force (N)	No.	Force (N)
1	130	16	220
2	151	17	222
3	152	18	233
4	166	19	233
5	178	20	234
6	180	21	236
7	182	22	237
8	197	23	243
9	198	24	245
10	202	25	245
11	204	26	249
12	208	27	254
13	211	28	261
14	216	29	275
15	219	30	277

表 6 4 點式彎曲測試韋伯資料表

No.	$\sigma$ (Mpa)	F(x)	$\ln(\sigma)$	$\ln \ln \frac{1}{1-F(x)}$
1	172	0.032	5.149	-3.418
2	200	0.065	5.298	-2.708
3	202	0.097	5.306	-2.285
4	220	0.129	5.394	-1.979
5	235	0.161	5.460	-1.738
6	238	0.194	5.474	-1.537
7	241	0.226	5.487	-1.363
8	261	0.258	5.566	-1.209
9	262	0.290	5.568	-1.070
10	267	0.323	5.588	-0.943
11	270	0.355	5.598	-0.825
12	275	0.387	5.618	-0.714
13	279	0.419	5.631	-0.610
14	286	0.452	5.657	-0.510
15	290	0.484	5.669	-0.413
16	291	0.516	5.675	-0.320
17	294	0.548	5.683	-0.230
18	308	0.581	5.729	-0.140
19	309	0.613	5.733	-0.052
20	310	0.645	5.737	0.035
21	312	0.677	5.744	0.123
22	314	0.710	5.748	0.212
23	322	0.742	5.774	0.303
24	324	0.774	5.780	0.397
25	324	0.806	5.782	0.496
26	330	0.839	5.799	0.601
27	336	0.871	5.818	0.717
28	345	0.903	5.844	0.848
29	364	0.935	5.897	1.008
30	367	0.968	5.904	1.234

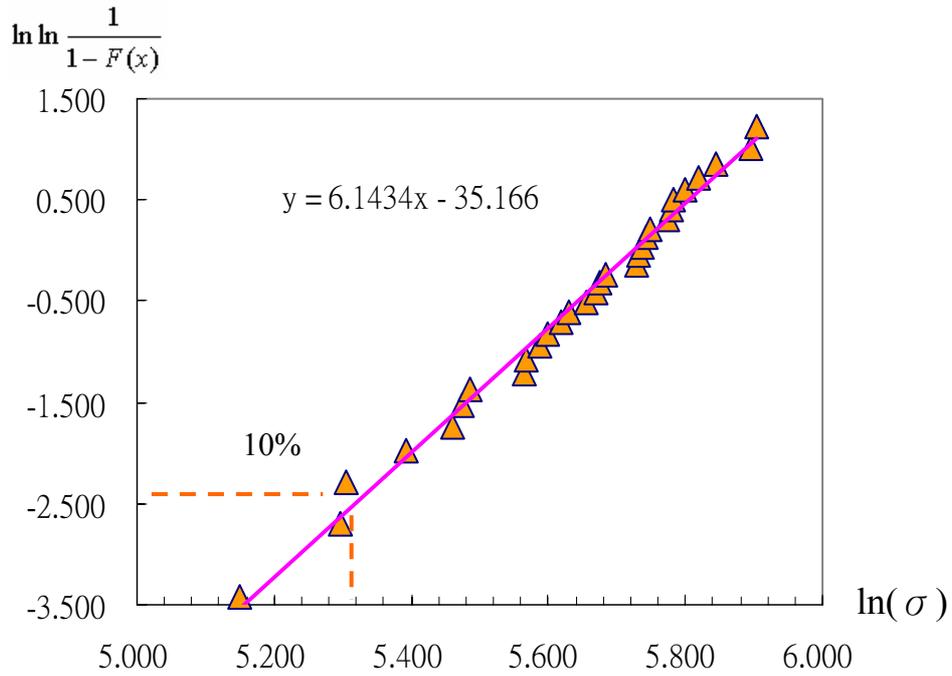


圖 37 4 點式彎曲測試韋伯分佈圖

表 7 ROR 測試資料表

No.	Force (N)	No.	Force (N)
1	211	16	353
2	231	17	356
3	263	18	369
4	272	19	375
5	275	20	378
6	293	21	379
7	297	22	379
8	311	23	386
9	312	24	400
10	321	25	408
11	326	26	410
12	329	27	415
13	329	28	417
14	332	29	429
15	337	30	430

表 8 ROR 測試韋伯資料表

No.	$\sigma$ (Mpa)	F(x)	$\ln(\sigma)$	$\ln \ln \frac{1}{1-F(x)}$
1	267	0.032	5.588	-3.418
2	293	0.065	5.681	-2.708
3	333	0.097	5.809	-2.285
4	345	0.129	5.842	-1.979
5	348	0.161	5.851	-1.738
6	372	0.194	5.918	-1.537
7	376	0.226	5.929	-1.363
8	394	0.258	5.977	-1.209
9	395	0.290	5.979	-1.070
10	407	0.323	6.009	-0.943
11	412	0.355	6.022	-0.825
12	416	0.387	6.031	-0.714
13	416	0.419	6.031	-0.610
14	421	0.452	6.043	-0.510
15	427	0.484	6.057	-0.413
16	446	0.516	6.101	-0.320
17	451	0.548	6.112	-0.230
18	467	0.581	6.146	-0.140
19	474	0.613	6.162	-0.052
20	479	0.645	6.172	0.035
21	480	0.677	6.174	0.123
22	480	0.710	6.174	0.212
23	489	0.742	6.192	0.303
24	507	0.774	6.228	0.397
25	516	0.806	6.247	0.496
26	519	0.839	6.251	0.601
27	525	0.871	6.264	0.717
28	529	0.903	6.270	0.848
29	543	0.935	6.298	1.008
30	545	0.968	6.300	1.234

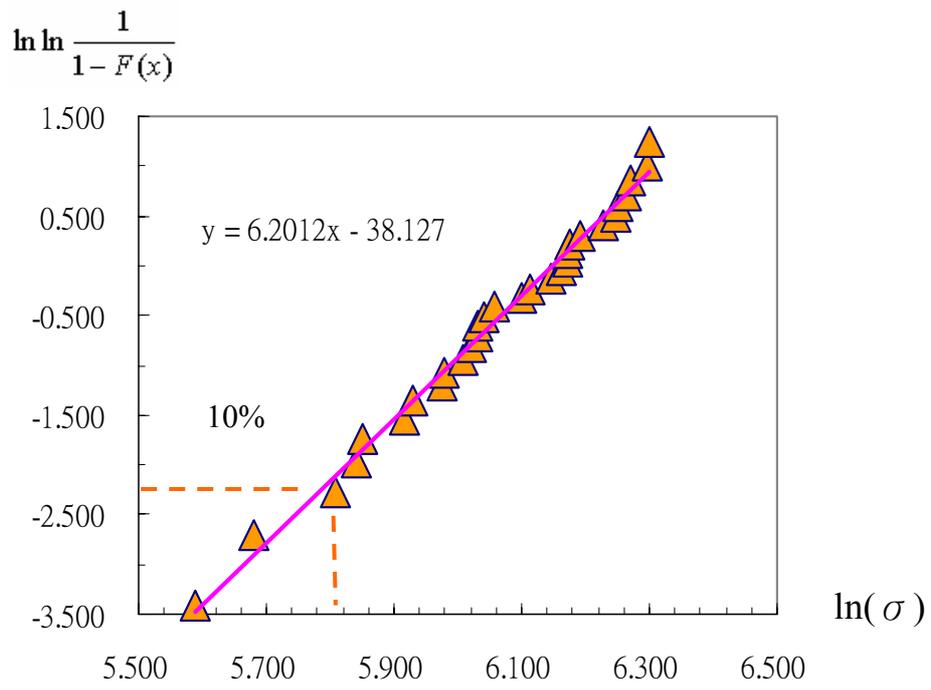


圖 38 ROR 測試韋伯分佈圖



圖 39 4 點式彎曲測試治具 (一)

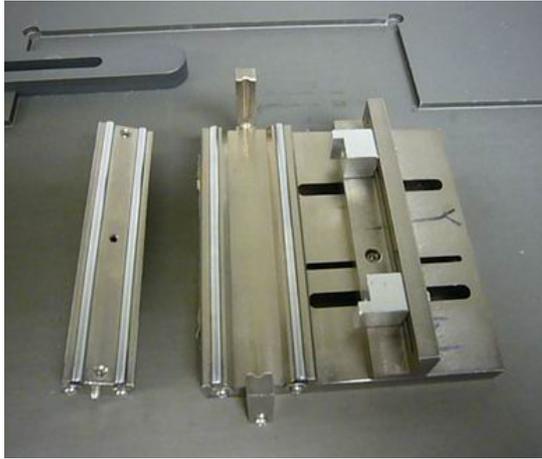


圖 40 4 點式彎曲測試治具 (二)



圖 41 ROR 測試治具 (一)



圖 42 ROR 測試治具 (二)

### 3.5 ANSYS/LS-DYNA 理論與鋼球撞擊模擬

#### 3.5.1 動態撞擊的基礎原理

在所有動態撞擊的領域裡，如應力波的傳遞、彈道模式及各種撞擊事件的數據模擬皆運用其三個基本的守恆定律：質量守恆定律、動量守恆定律及能量守恆定律，另外波動方程式為定義衝擊所引導的應力及應變值。

質量守恆定律(Conservation of Mass)：在任何的反應中，反應前後的質量總是守恆的。

$$\int_V \rho dV = const \dots\dots\dots(1)$$

其中， $\rho$ ：質量密度  
V：體積

動量守恆定律(Conservation of Momentum)：如果物體係受到的合外力為零，則系統內各物體動量的向量和保持不變。在封閉系統中有  $n$  個質量中， $m_i$  沒有任何外部的受力，其動量守恆狀態為：

$$\sum_{i=1}^n m_i v_i = const \dots\dots\dots(2)$$

根據牛頓第二定律

$$F = m \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots(3)$$

在衝量 (Impulse-Momentum) 的方程式中將 (3) 式代入 (2)

$$I = \int F dt = \int m dv = m v_f - m v_i \dots\dots\dots(4)$$

其中，I：衝量

$v_i$ ：初始速度  
 $v_f$ ：末速度

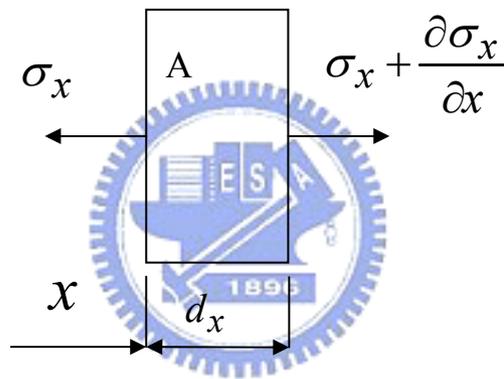
能量守恆定律 (Conservation of Energy)：一個系統能量的改變等於該系統輸入和輸出能量的差值，它表明能量既不會被創生，也不會被消滅，而只會從一種形式轉化為另一種形式，總量保持不變。

$$\sum_j E_i + \sum_j \frac{1}{2} \rho v_i^2 = \sum_j E_f + \sum_j \frac{1}{2} \rho v_f^2 + W \dots\dots\dots(5)$$

其中，E：內能

W：作功於系統上

波動方程式 (Wave Equation)：此方程式適用於微小應變及變形上。



$$\frac{\partial \sigma}{\partial x} = \rho \frac{\partial v}{\partial t} \dots\dots\dots(6)$$

$$\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x} \dots\dots\dots(7)$$

$$v = \frac{\partial u}{\partial t} \dots\dots\dots(8)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial t} \dots\dots\dots(9)$$

其中， $\sigma$ ：單軸向應力

$\rho$ ：質量密度

$x$ ：原始長度

$u$  : 位移量

假設  $\sigma$  與  $\varepsilon$  的關係式如下：

$$\sigma = \sigma(\varepsilon) \dots \dots \dots (10)$$

將方程式 (6) (9) 和 (10) 結合得到波動方程式 (11) (12)：

$$c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \dots \dots \dots (11)$$

$$c^2(\varepsilon) = \sqrt{\frac{S}{\rho}} \quad , \quad S = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \dots \dots \dots (12)$$

其中， $c(\varepsilon)$  : 波動速度

$S$  : 應力-應變的斜率



### 3.5.2 有限元素法理論

#### 3.5.2.1 有限元素法簡述

有限元素法在工業界的應用已經有超過一百年以上的歷史，發展上是從 Matrix Structural Analysis 的方法發展開始，首先是在以 Beam 及 Truss 為主的鋼構上應用。而後將理論引用至各個物理領域，例如熱傳、流力等等，現在有限元素法已經可以應用到很多物理領域。本研究為機構強度分析，將以結構力學為主作簡單的說明。

一懸臂樑，當其尾端受到外力作用時，此結構將產生變形，若將此外力移除時，其結構將回到原來的位置，假設在變形量很小的情況下觀察並記錄尾端變形量與外力之關係時，可以發現尾端變形量與外力之關係為線性關係，此一現象剛好符合虎克定律：

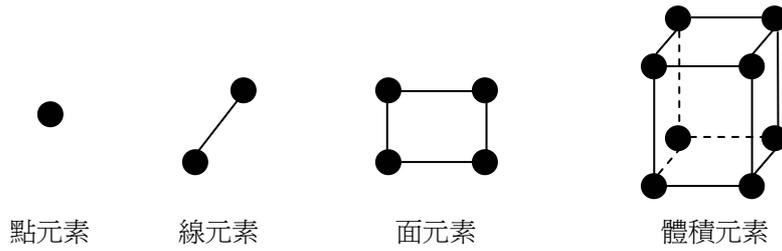


$F=KX$ ；其中  $F$  為外力， $X$  為位移， $K$  為結構剛性強度。

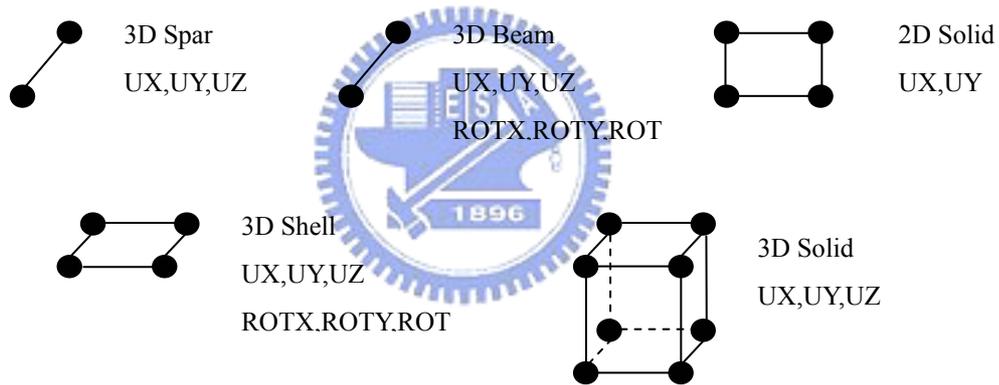
一懸臂樑尾端受力變形之狀況時，只要知道懸臂樑的截面以及長度與彈簧之剛性關係，就可求得彈簧剛性，最後使用虎克定律來進行計算；若想知道懸臂樑中間點變形的情形，只使用一根彈簧的簡化系統是無法達到目的，因此必須要將懸臂樑系統分解成由兩根樑組合而成的新系統，若是每一根樑都能轉換成彈簧與質量點相聯接之系統關係，則可以使用虎克定律來進行求解。事實上，在有限元素的計算法則，即是將這些小單元轉換成彈簧與質量點相聯接之剛性系統，而後使用虎克定律來進行求解。這些小單元在有限元素的專業名詞裡稱為元素 (Element)，而組合成元素的參考點稱為節點 (Node)。



元素為有限元素法的核心單元，它是由節點組合而成，存在的形狀可以是點，例如質量元素，或是線，例如樑元素、管元素，及面元素，體積元素為最基本之構成。

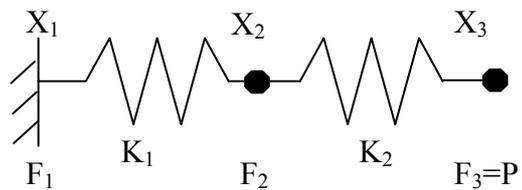
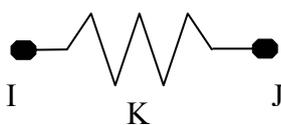


在節點上，每一節點都有一些被附予的物理意義，爲了完整的描述這些物理量，在節點上都有一些描述這些物理量的變數，這些變數就是每一節點的自由度 (Degree of Freedom)，以結構力學上，一個節點通常包含 UX、UY 及 UZ 三個自由度，有些元素還包含 ROTX、ROTY 及 ROTZ 等六個自由度，因此節點上的自由度通常會和所屬的元素有關，隨著節點上自由度的變化，不在是純量的數值關係，而是向量的矩陣關係。



以一個三個自由度的彈簧系統利用有限元素法來了解整個計算的流程，首先將這個彈簧系統用虎克定律的公式來表示：

$$\vec{F} = [K] \cdot \vec{X} \dots\dots\dots(1)$$



在方程式中， $\vec{F}$  爲外力向量， $\vec{X}$  爲位移向量， $K$  爲整個結構剛性強度矩陣，整個大  $K$  矩陣是由每一個元素的小  $K$  矩陣組合而成，只要把每一個元素的小  $K$  矩陣配合節點，放

入正確的大  $K$  矩陣中，就可以組成整個大  $K$  矩陣，以一個標準彈簧元素而言，其外力與位移的關係可表示為

$$\begin{Bmatrix} F_I \\ F_J \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{II} & k_{IJ} \\ k_{JI} & k_{JJ} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} X_I \\ X_J \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(2)$$

因此元素一可表示為

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(3)$$

元素二可表示為

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(4)$$

只要組合每一個元素，即可完成系統方程式

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(5)$$

由上述程序得知，當元素種類選定時，元素的基本剛性特性也已確定，而在元素屬性設定完成後，系統方程式有幾乎確定完成，因此元素得選定與設定在有限元素法裡是非常重要的，當矩陣組合完成，就可以進行求解的動作。

在求解的程序上，利用虎克定律的公式關係，只要給予位移，就可以求得力量的大小，但一般在習慣上是先施予系統外力，以求得位移、應力及應變等資料，因此在系統方程式必須改為

$$\vec{X} = [K]^{-1} \cdot \vec{F} \dots\dots\dots(6)$$

直覺上，當施外力於系統後，就可求得節點上的位移，但事實並非如此，因為就有限

元素法的理論而言，當系統未施加任何邊界條件時， $K$  矩陣有一特性為

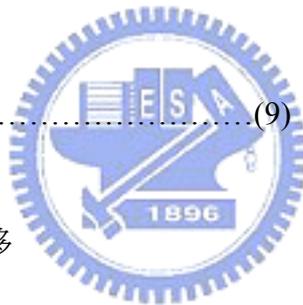
$$\det[K] = 0 \dots\dots\dots(7)$$

因此矩陣  $K^{-1}$  並不存在，就物理現象來看，乃是因為系統並沒有被完全拘束，以至於會產生剛體運動，為了使這個方法能夠繼續執行下去就必須要破壞  $K$  矩陣的特性，使得  $\det[K] \neq 0$ ，那也就說要拘束這個系統，使之不能產生剛體運動，在設定邊界條件的動作中，除了要拘束系統之外，尚需要施加外力至系統中，如此才能使系統產生變形。當邊界條件完成後，系統方程式可以重新改寫成

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ 0 \\ P \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 \\ 0 & -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} 0 \\ X_2 \\ X_3 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(8)$$

或者

$$\begin{Bmatrix} 0 \\ P \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} X_2 \\ X_3 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(9)$$



首先求解得到非拘束點的位移

$$\begin{Bmatrix} X_2 \\ X_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{Bmatrix} 0 \\ P \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(10)$$

而後從非拘束點的位移再求得拘束點的反力

$$F_1 = -k_1 \cdot X_2 \dots\dots\dots(11)$$

位移（變形）求得之後，可求得應變及應力

$$\varepsilon = \frac{dx}{du} \dots\dots\dots(12)$$

$$\sigma = K \cdot \varepsilon \dots\dots\dots(13)$$

綜合以上所言，整個有限元素法的處理步驟如下

1. 選用適當的元素。
2. 將整個物理空間隔點化形成元素，並賦予元素適當的屬性。
3. 設定邊界條件。
4. 選用解題的解法。
5. 組合形成系統方程式，並求解。
6. 解讀結果。

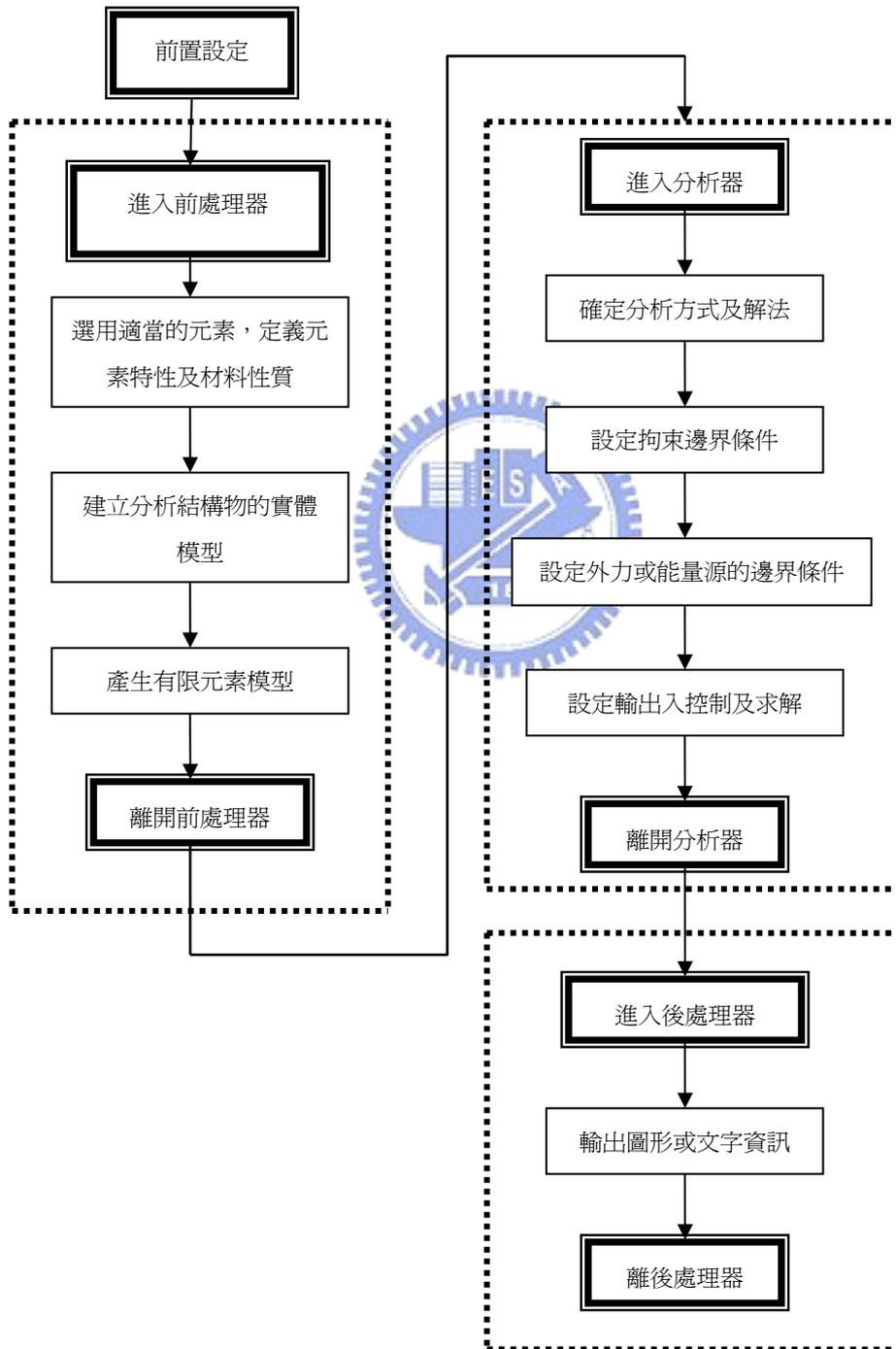


圖 43 ANSYS 軟體分析處理作業流程

### 3.5.2.2 LS-DYNA 之有限元素法

ANSYS LS-DYNA 的前後處理工具為 ANSYS 之軟體介面，其求解器則採用 LSTC 公司的 LS-DYNA 計算核心，ANSYS LS-DYNA 為 ANSYS 與 LSTC 兩家公司的合作產品，利用 LS-DYNA 的顯示法 (Explicit method) 求解器，可以處理各種極短時間內的線性與非線性動態力學問題；非線性的動態問題採用傳統的隱式法 (Implicit method)，求解過程容易發散，因此 ANSYS LS-DYNA 顯示法求解器為較佳的選擇。

當作用的時間極短且可量化，一般稱之為脈衝或衝擊問題，脈衝及衝擊最重要的假設其作用面時間短且可量化，但是這只是理想化的情況，實際的狀況，通常只知道傳遞的大小，並不知道如何將此介面相互傳遞的衝量量化，如果衝量的來源來自固體接觸，則此問題可歸納到碰撞問題，結構遭到外物碰撞後，可能產生的物理現象同時包含了靜態、動態、非線性及接觸介面，在做碰撞分析時，模型的假設一般皆按實際狀況設定，將假設降到最少，所有的物理量及現象也都是同時考慮到非線性及暫態（時間因素）。其方程式如下：

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = \{F(t)\} \dots\dots\dots(14)$$

$$\{^{t+1}\dot{X}\} = \{^t\dot{X}\} + \{^t\ddot{U}\} \cdot \Delta t \dots\dots\dots(15)$$

$$\{^{t+1}X\} = \{^tX\} + \{^t\dot{X}\} \cdot \Delta t \dots\dots\dots(16)$$

將公式 (15) 及 (16) 代入 (14)，最後可消掉位移及速度未知數，以加速度的函數取代，再經過整理後 (14) 式可簡化成公式 (17)

$$[M^*]\{^{t+1}\ddot{X}\} = \{F^*(t)\} \dots\dots\dots(17)$$

最後由 (17) 式求得加速度後可反求速度及位移。

### 3.5.3 鋼球撞擊模擬

#### 3.5.3.1 實體模型建構與元素選用

將 LCD 模組建構為 ANSYS 的實體模型，鋼球尺寸  $\Phi 31.8\text{mm}$ ，LCD 模組外型尺寸會依照不一樣的結構會有不同的厚度（請參考表 2）；設定鋼球落下高度 25mm、50mm、75mm 時，鋼球距離 LCD 模組為 1mm 以節省運算時間，另外落下高度 100mm，鋼球距離 LCD 模組則為 2mm；選用元素為 Solid 164，其後選擇適當的材料性質（請參考表 9），由於增亮膜平放於導光板上且厚度薄，而且材料性質又接近，吾人將它歸為導光板的一部份以解省運算，另外考量不同的實驗因子時，在模型上亦有所改變。

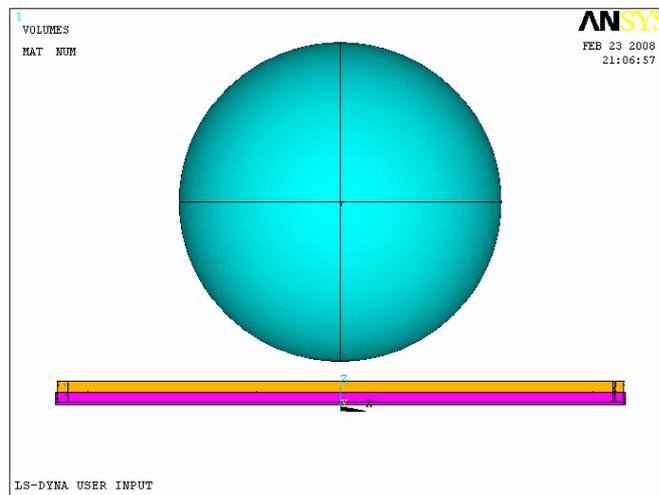


圖 44 ANSYS/LS-DYNA 實體模型

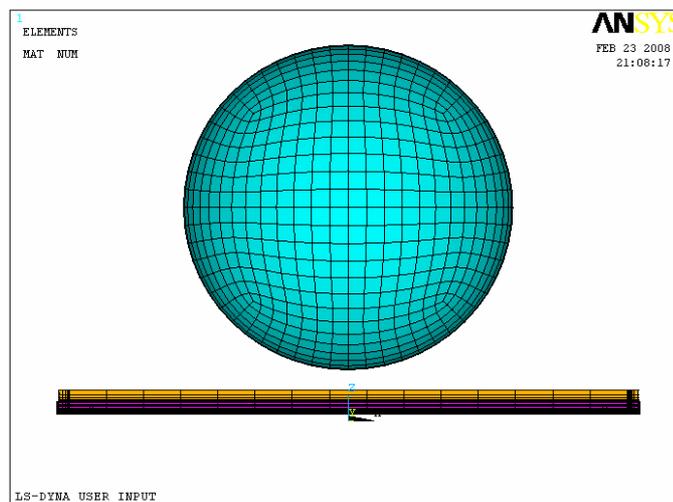


圖 45 ANSYS/LS-DYNA 網格建立（一）

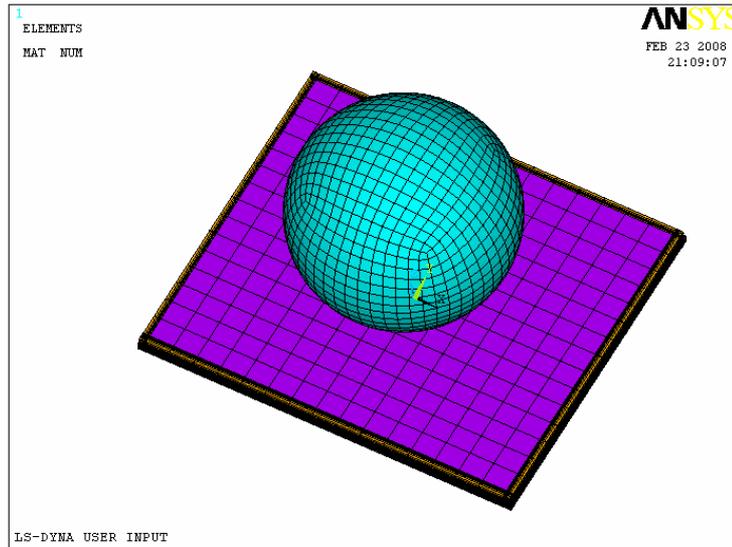


圖 46 ANSYS/LS-DYNA 網格建立 (二)

表 9 材料性質表

Material Properties				
Part	Material	Density kg/mm <sup>3</sup>	Young's Modulus	Poisson's Ratio
導光板	PC (LC1500)	1.20E-06	2000MPa	0.4
塑框	PC (URZ2502)	1.33E-06	2400MPa	0.4
玻璃	SiO <sub>2</sub>	2.38E-06	73600MPa	0.23
光學增亮膜	PMMA+PET	1.30E-06	3000MPa	0.48
偏光片	PVA	1.20E-06	2400Mpa	0.3
膠帶	PET	7E-7	1000MPa	0.3
鐵框	SUS430	7.93E-06	21000MPa	0.3
光學高透膜	Silicone	1.10E-06	6.5Mpa	0.6

### 3.5.3.2 邊界條件定義

將 LCD 模組底部設定拘束邊界條件為零，另外為節省計算時間，取鋼球落下撞擊與 LCD 模組接觸之前的某特定時間作為分析的初始時間，因此鋼球的分析過程的零時間時就具有一定的初始速度，首先對鋼球施加初始速度，初始速度則利用位能轉換為動能  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$  取得，假設鋼球初始位置設定為 100mm，鋼球距離 LCD 模組高度為 2mm，所以模擬高度為 98mm，經換算得知的初始速度設定為 1387mm/sec，重力加速度則為 9800mm/sec；其餘初始位置為 25mm、50mm、75mm，初始速度分別為 686mm/sec、981mm/sec、1205mm/sec（鋼球距離 LCD 模組高度為 1mm）。

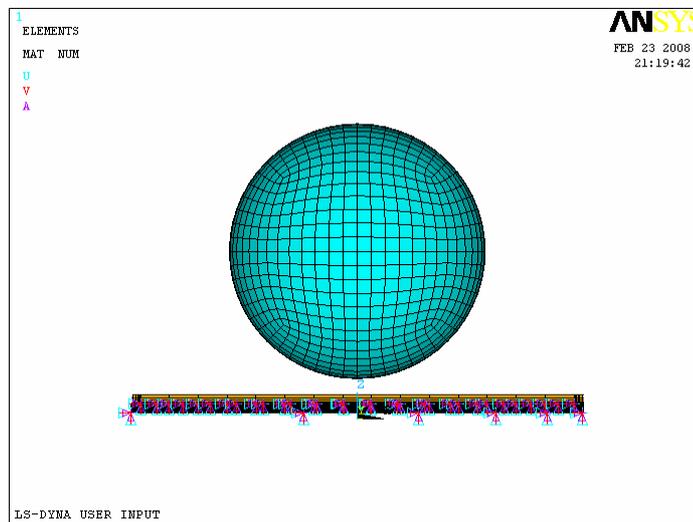


圖 47 拘束邊界條件

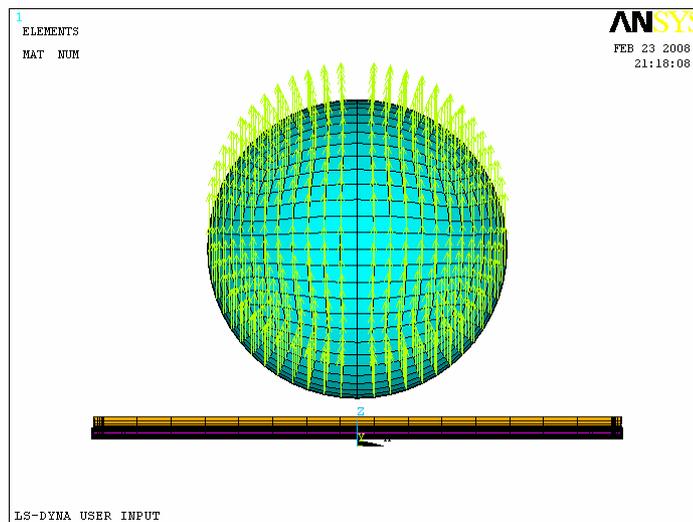


圖 48 重力加速度邊界條件（一）

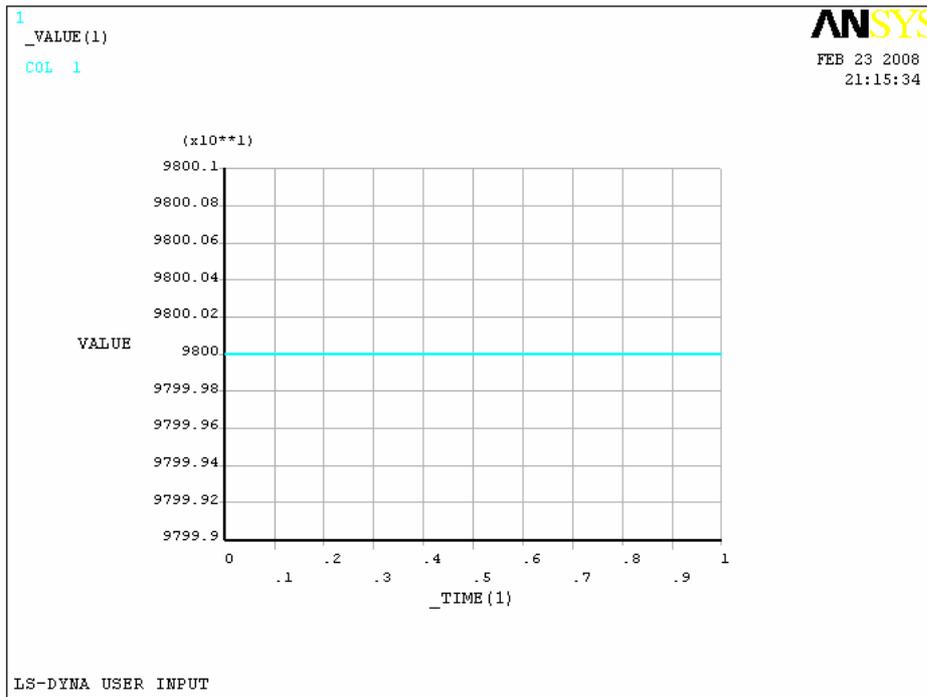


圖 49 重力加速度邊界條件（二）

**Input Velocity**

[EDPV] Initial Velocity

Input velocity on part/assembly: 1

Translational Velocity:

VX Global X-component: 0

VY Global Y-component: 0

VZ Global Z-component: -1387

Angular Velocity (rad/sec):

OMEGAX Global X-component: 0

OMEGAY Global Y-component: 0

OMEGAZ Global Z-component: 0

圖 50 初始速度邊界條件

### 3.5.3.3 運算時程設定

假設鋼球初始位置設定為 100mm，鋼球距離 LCD 模組高度為 2mm，從公式  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$  得知鋼球與 LCD 模組接觸時的時間為 1.44msec，整個鋼球落下時程設定為 3.0msec，此外依上述方式得到當鋼球高度 25mm，鋼球距離 LCD 模組高度為 1mm 時，設定時程為 2.5msec，其餘高度 50mm、75mm，鋼球距離 LCD 模組高度為 1mm，設定時程皆為 2.0msec，每次計算為 0.1msec，再利用 ANSYS/LS-DYNA 進行求解，以得知當鋼球撞擊玻璃的瞬間，所能承受應力的變化，進而了解 LCD 模組結構的改變或結構材料的變更對於面板玻璃的影響。

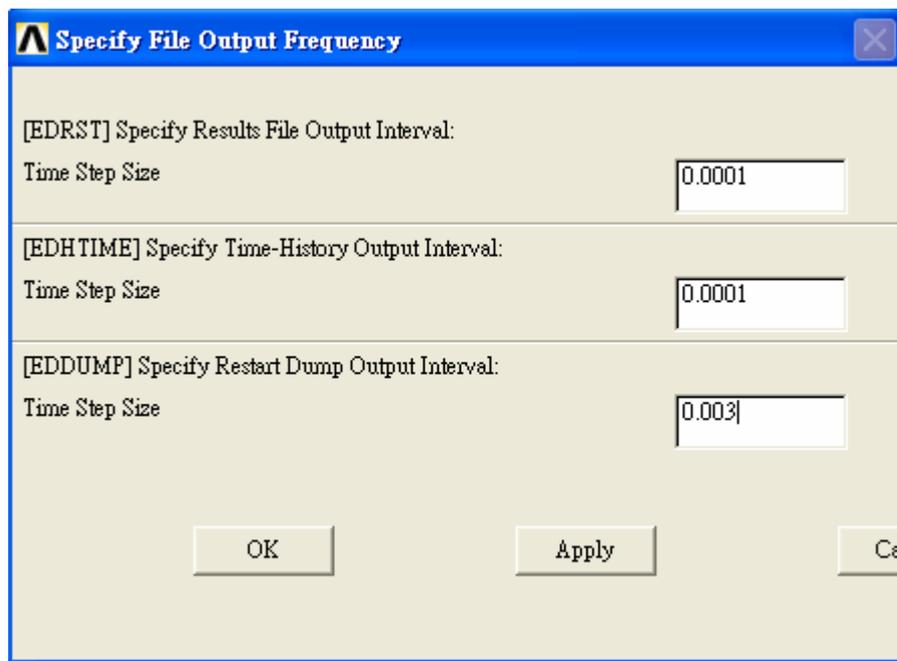


圖 51 輸入控制條件

## 四、 結果與討論

### 4.1 鋼球撞擊測試實驗結果分析

依照事前實驗規劃取了 6 個實驗條件 ABCDEF，此 6 個實驗條件分別為 A 條件（偏光板厚度 0.2mm）、B 條件（偏光板厚度 0.6mm）、C 條件（光學高透膜 0.2mm）、D 條件（光學高透膜 0.3mm）、E 條件（面板固定膠厚度 0.18mm）和 F 條件（0.2mm 鐵框），以上詳細的實驗條件請參照表 2，分別進行鋼球撞擊實驗，每個實驗條件的玻璃試片樣本數為 N=21，每次測試高度為 25mm，逐次增加高度以避免每次的測試次數過多造成實驗的不正確性。

由下列圖 52 及表 10 得知各條件對玻璃面板破壞影響程度，當 LCD 模組結構搭配光學高透膜 0.2mm 厚度，設定落球高度 50mm 的撞擊時，有 100%通過測試，玻璃面板不會有任何破裂，當高度提昇為 75mm 成功率則有 85.71%，高度為 100mm 亦有 67.7%的成功率；當使用光學高透膜 0.3mm 厚度，在設定落球高度 100mm 的實驗中，鋼球撞擊玻璃面板時不會產生任何破裂，且落球高度提昇 125mm 仍有 80.95%的成功率，從實驗的結果讓我們了解使用光學高透膜有極佳的耐撞擊效果；此外在有鐵框與無鐵框的 LCD 模組結構實驗比較，使我們了解鐵框對於整體 LCD 模組的耐撞擊並沒有任何的改善，皆只能承受 25mm 的鋼球撞擊高度；若從偏光板厚度改變的實驗裡，使我們得知偏光板厚度為 0.6mm 有 42.86%可通過落球高度 50mm，對於 LCD 模組結構的耐衝擊效果只有些微的改善，但效果並不明顯；最後考量面板固定膠的厚度對於鋼球撞擊是否有緩衝的效果，從實驗結果看來面板固定膠厚度為 0.18mm 在落球高度 50mm 時，只有 19.04%的成功率，與面板固定膠厚度為 0.06mm 的成功率 14.29%比較，差異性非常小，我們認為它無任何影響。

從整體的實驗結果看來，LCD 模組結構改變對玻璃面板的保護成效為 D 實驗條件>C 實驗條件> B 實驗條件> E 實驗條件 $\geq$ F 實驗條件 $\geq$ A 實驗條件。從上述結果使我們了解在這些實驗條件的組成中，使用光學高透膜對於耐鋼球撞擊有極佳的效果，而其他的因子並沒有顯著的效果。（完整資料可參照附錄一）

表 10 實驗結果比較表

撞擊高度 實驗條件	25mm	50mm	75mm	100mm	125mm	150mm	175mm	200mm
A	100%	9.52%	0.00%	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
B	100%	42.86%	9.52%	0%	N/A	N/A	N/A	N/A
C	100%	100%	80.95%	67.70%	28.60%	0%	N/A	N/A
D	100%	100%	100%	100%	85.71%	38.09%	19.04%	0%
E	100%	19.04%	4.76%	0%	N/A	N/A	N/A	N/A
F	100%	14.29%	4.76%	0%	N/A	N/A	N/A	N/A

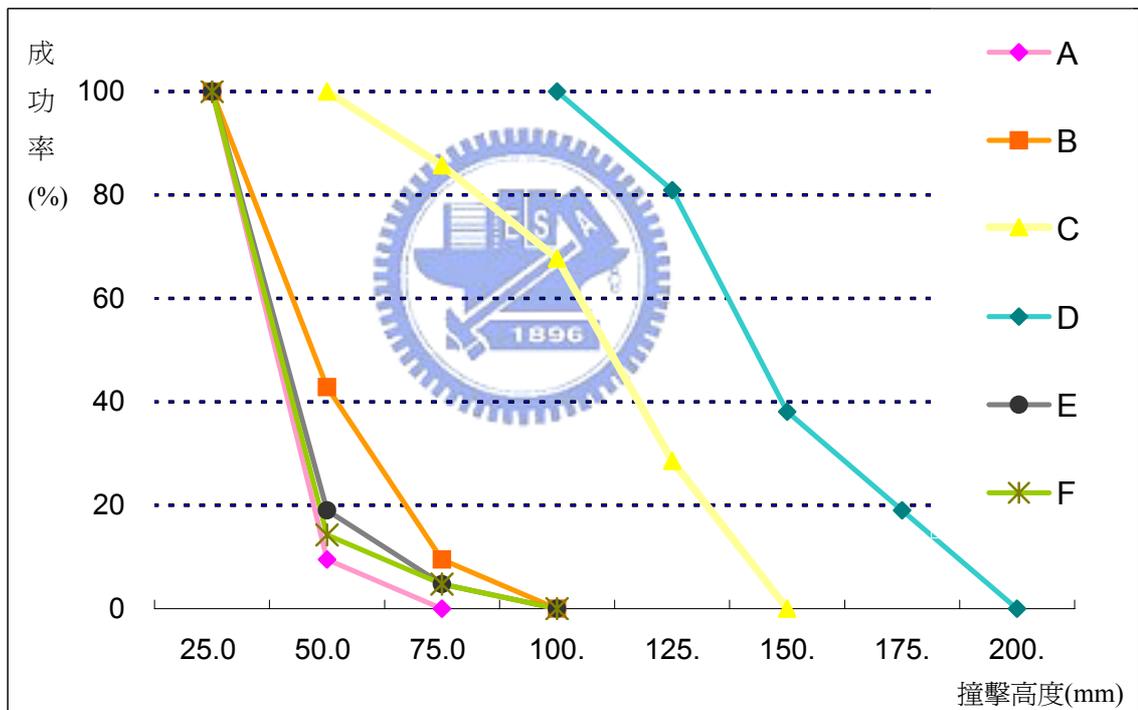


圖 52 實驗結果比較圖

## 4.2 ANSYS/LS-DYNA 模擬結果分析

此次在假設條件為鋼球在高度 25mm、50mm、75mm 和 100mm 及改變 LCD 模組結構下進行 ANSYS/LS-DYNA 模擬，依照不同的假設條件得到鋼球撞擊玻璃面板瞬間所能承受的應力及應力發生的時程圖，並比較耐撞擊高度與應力的關係。

藉由 ANSYS POST1 與 LS-PREPOST 的輸出結果得到等效應力 (von Mises SEQV) 與應力時程圖 (完整資料可參照附錄二)。從模擬結果比較圖表使我們知道當假設撞擊高度 100mm 時，實驗條件 C (光學高透膜為 0.2mm) 所產生的應力為 130.96MPa，當結構為實驗條件 D (光學高透膜為 0.3mm) 時，玻璃面板撞擊所產生的應力為 94.456MPa，而假設為實驗條件 A (偏光板厚度 0.2mm) 所產生的應力為 422.348Mpa，如果實驗條件 B 時 (偏光板厚度 0.6mm)，玻璃面板撞擊所產生的應力為 377.189MPa，另外實驗條件 E 時 (面板固定膠厚度 0.18mm) 所產生的應力為 383.266MPa，最後實驗條件 F 時 (0.2mm 鐵框) 的應力為 422.235MPa，從上述結果得知 ABEF 條件與 CD 條件在假設高度為 100mm 時，玻璃面板經鋼球撞擊時所產生的應力差距甚大，約 4 倍左右，間接使我們了解光學高透膜的使用能使玻璃面板受鋼球撞擊時所產生的應力最小，而且與 ABEF 條件所產生的應力有很大的差距，此差距使我們知道光學高透膜對於鋼球撞擊時，對玻璃有極佳的保護作用；就材料的特性來看，光學高透膜在鋼球撞擊玻璃前將撞擊力量分散，以減少玻璃的直接撞擊；此外 A F 條件受鋼球撞擊時產生的應力最大且彼此間所產生的應力並沒有任何差距，從結果看來 LCD 模組有無使用鐵框並沒有任何的影響，而 BE 條件所產生的應力較 AF 條件小，但差距不大只有 50Mpa 左右，如果從高度 25mm、50mm 的模擬數據與高度 100mm 比較，那差距更小，此微小差距使我們得到 ABEF 條件彼此間對於鋼球撞擊的影響皆很小，而且對於鋼球撞擊時並沒有產生保護的作用以至於無法承受鋼球的撞擊力。最後我們從模擬結果發現當鋼球撞擊所產生的應力在 100MPa 以下時，ABEF 條件的模擬高度為 25mm，C 條件的模擬高度為 75mm，D 條件的模擬高度為 100mm。

表 11 模擬結果比較表

撞擊高度 實驗條件	25mm	50mm	75mm	100mm
A	92.8 MPa	161.54 MPa	266.59 MPa	422.35 MPa
B	83.28 MPa	141.61 MPa	228.6 MPa	377.19 MPa
C	50.32 MPa	68.87 MPa	97.25 MPa	130.96 MPa
D	37.92 MPa	43.79 MPa	64.41 MPa	94.46 MPa
E	89.56 MPa	147.64 MPa	243.74 MPa	383.27 MPa
F	92.65 MPa	161.52 MPa	266.57 MPa	422.24 MPa

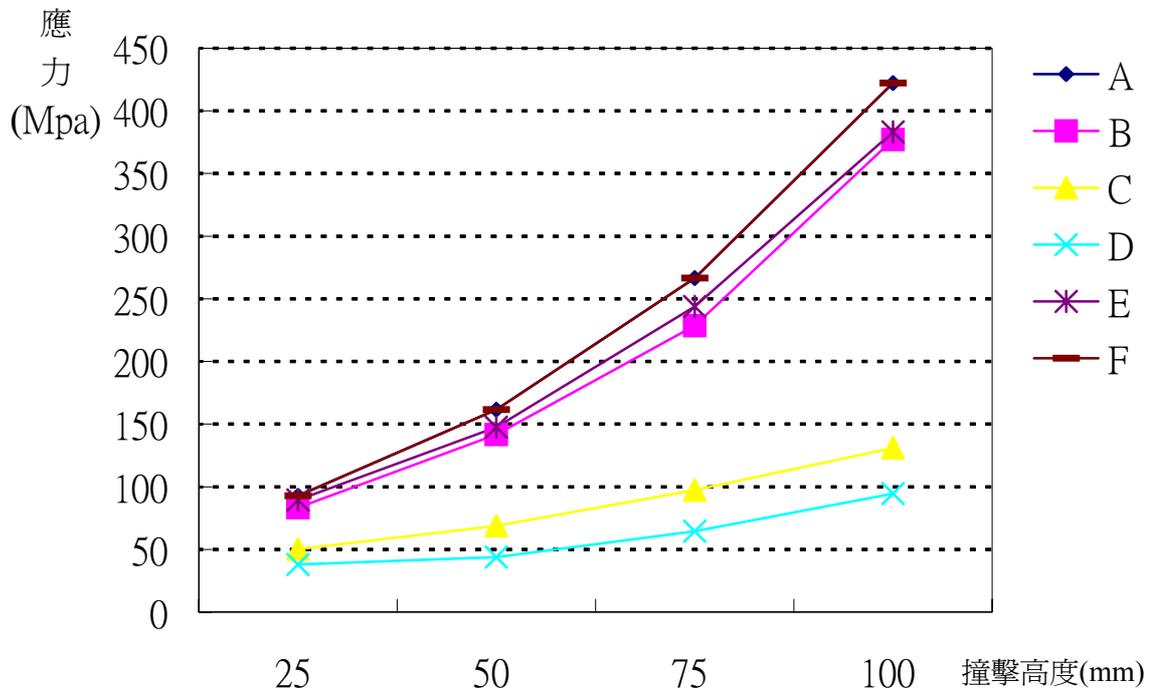


圖 53 模擬結果應力比較圖

## 五、 結論與建議

本研究探討鋼球在預設高度下，以自由落體狀態撞擊 LCD 模組，作為評估 LCD 模組是否因結構改變而提昇玻璃面板強度，並找出耐撞擊高度與 LCD 模組結構之間的關係及影響玻璃破裂的主要結構因子，同時藉由不同的撞擊高度與 LCD 模組結構條件的改變，利用 ANSYS/LS-DYNA 軟體模擬鋼球撞擊玻璃瞬間所能承受應力變化，最後得到耐撞擊高度與應力的關係。從鋼球撞擊實驗與模擬結果得到以下結論：

1. 直接選用玻璃原材與控制切割製程參數可藉由 4 點式彎曲測試及 ROR 測試配合韋伯函數分佈分析得到韋伯模數  $m$  及玻璃面板試片的破裂強度  $\sigma$ ，以方便判別玻璃面板試片的穩定度及玻璃破裂強度。從本次試片的韋伯模數  $m$  分別為 6.1434 與 6.2012，韋伯模數  $m$  大於 6，使我們得知試片彼此間的玻璃破裂強度差異性不大，這代表著切割製程屬於穩定，及表面裂縫因素降至最低，若以故障率百分比  $F(x)=10\%$  來看，4 點式彎曲強度測試的玻璃強度為  $202\text{MPa} \geq 100\text{MPa}$ ，ROR 測試的數據為玻璃強度  $333\text{MPa} \geq 300\text{MPa}$  皆符合期待值。
2. 從鋼球撞擊實驗結果使我們了解 LCD 模組對於鐵框使用與否，以及面板固定膠的厚薄架構裡，玻璃面板所受的保護是不顯著，只能通過撞擊高度 25mm，若將偏光片厚度由正常的 0.2mm 替換為 0.6mm 時，則有 42.86%成功率通過撞擊高度 50mm，對於保護玻璃面板的效果略有提昇，但效果有限；當使用光學高透膜厚度 0.3mm 的材料，則可完全通過撞擊高度 100mm，而玻璃不會有任何破裂，且光學高透膜厚度 0.2mm 亦有 85.71%成功率通過撞擊高度 75mm，對於耐撞擊效果非常顯著。從整個實驗結果看來，光學高透膜有極佳的玻璃面板保護能力。
3. 從鋼球撞擊模擬結果得知當撞擊高度越高時，撞擊高度與應力成正比，為了有效減緩撞擊力，使用楊氏係數低的光學高透膜能在同樣的撞擊高度下，在鋼球撞擊玻璃時將撞擊力量有效的分散以減少玻璃面板的直接撞擊力，使應力的產生大幅降低以達到玻璃面板的保護作用。

4. 我們發現當鋼球撞擊所產生的應力在 100MPa 以下時，ABEF 因子的模擬高度為 25mm，C 因子的模擬高度為 75mm，D 因子的模擬高度為 10mm，也剛好與鋼球撞擊實驗的結果吻合。



## 參考文獻

1. 紀國鐘，鄭晃忠教授主編，“液晶顯示器技術手冊”，台灣電子材料與元件協會，2002年。
2. 趙世輝，“可靠性淺釋”，中華民國，中華民國品質管制學會，1988年。
3. 先鋒品管研究會，“實用可靠度”，中華民國，先鋒企業管理發展中心，1984年。
4. 石逸群，“累積失效與可靠度關係之探討”，國立中央大學碩士論文，1990年7月。
5. 楊昌裔編著，“可靠度工程”，新文京開發股份有限公司，2007年2月。
6. 劉上聰編著，“材料力學”，全華科技圖書股份有限公司，1995年5月。
7. David Broek著/陳文華,張士欽譯，“基本工程破裂力學”，台北市編譯館，1995年。
8. 康淵、陳信吉著，“ANSYS入門”，全華科技圖書股份有限公司，2002年。
9. 陳申岳編著，“ANSYS有限元素法-實務產品可靠度分析”，全華科技圖書股份有限公司，2004年1月。
10. 李裕春、時黨勇、趙遠編著，“ANSYS10.0 LS-DYNA基礎理論與工程實踐”，中國水利水電出版社，2006年4月。
11. 尙曉江、蘇建宇編著，“ANSYS LS-DYNA動力分析方法與工程實例”，中國水利水電出版社，2006年1月。
12. Paul Kales，“Reliability For Technology Engineering and Management”，Prentice-Hall, Inc.，1998.
13. Jonas A. Zukas，“High Velocity Impact Dynamics”，John Wiley & Sons, Inc.，1990.
14. C1499-01 Standard Test Method for Monotonic Equibiaxial Flexural Strength of Advanced Ceramics at Ambient Temperature by Copyright 2007 ASTM International.
15. C158-02 Standard Test Methods for Strength of Glass by Flexure (Determination of Modulus of Rupture) by Copyright 2007 ASTM International.
16. Fracture Analysis, a Basic Tool to Solve Breakage Issues (Technical Information Paper TIP 201)，November 2004.

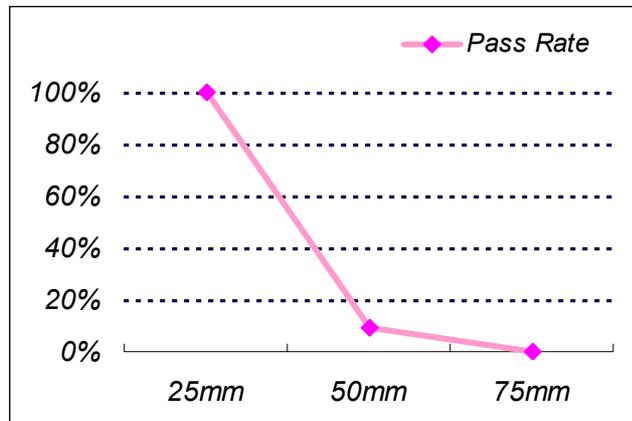
17. Effective of Scribing Wheel Dimensions on the Cutting of AMLCD Glass Substrates  
( Technical Information Paper TIP 306 ) , November 2004.
18. Fracture Analysis of the Glass Scoring Process ( Technical Information Paper TIP 308 ) ,  
November 2004.
19. S. T. Gulati\*, J. D. Helfinstine, J. F. Bayne, W. R. Powell\*\* and J. C. Lapp” Mechanical  
Reliability of LCD Panels under Static Loading” , SID Symposium Digest of Technical  
Papers , May 2004.



## 附錄一 實驗數據表&比較圖

### A 條件實驗數據表

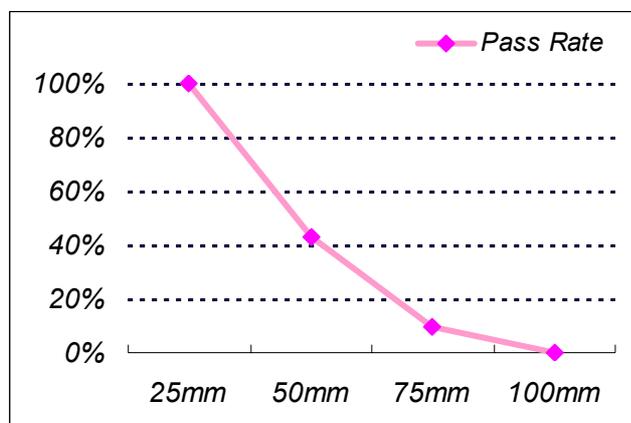
No.	25mm	50mm	75mm
1	O	O	X
2	O	X	N/A
3	O	X	N/A
4	O	X	N/A
5	O	X	N/A
6	O	X	N/A
7	O	X	N/A
8	O	X	N/A
9	O	X	N/A
10	O	X	N/A
11	O	X	N/A
12	O	O	X
13	O	X	N/A
14	O	X	N/A
15	O	X	N/A
16	O	X	N/A
17	O	X	N/A
18	O	X	N/A
19	O	X	N/A
20	O	X	N/A
21	O	X	N/A
Pass rate	100%	9.52%	0%



### A 條件實驗比較圖

B 條件實驗數據表

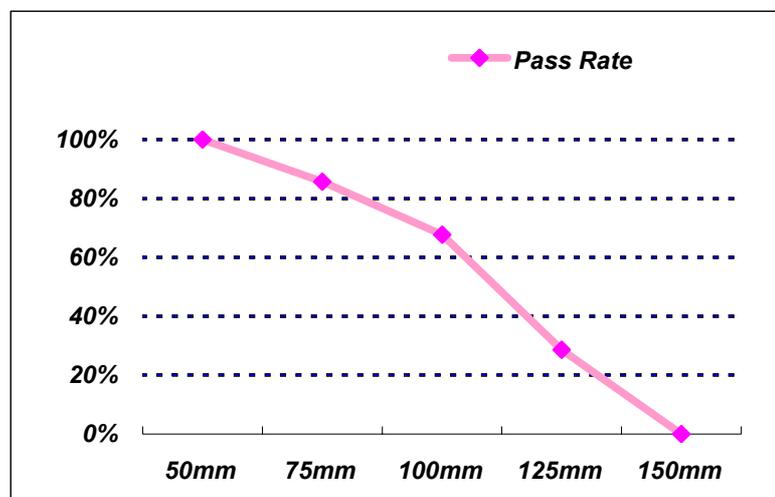
No.	25mm	50mm	75mm	100mm
1	O	X	N/A	N/A
2	O	X	N/A	N/A
3	O	X	N/A	N/A
4	O	O	X	N/A
5	O	X	N/A	N/A
6	O	X	N/A	N/A
7	O	O	X	N/A
8	O	O	O	X
9	O	X	N/A	N/A
10	O	O	X	N/A
11	O	O	X	N/A
12	O	X	N/A	N/A
13	O	O	O	X
14	O	O	X	N/A
15	O	X	N/A	N/A
16	O	X	N/A	N/A
17	O	O	X	N/A
18	O	X	N/A	N/A
19	O	O	X	N/A
20	O	X	N/A	N/A
21	O	X	N/A	N/A
Pass rate	100%	42.86%	9.52%	0%



B 條件實驗比較圖

C 條件實驗數據表

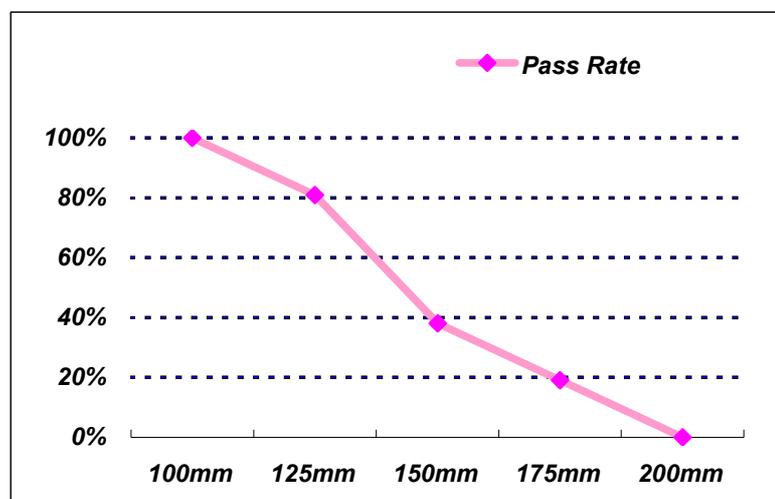
No.	50mm	75mm	100mm	125mm	150mm
1	O	O	O	X	N/A
2	O	O	X	N/A	N/A
3	O	O	O	X	N/A
4	O	O	O	O	X
5	O	X	N/A	N/A	N/A
6	O	O	X	N/A	N/A
7	O	O	O	O	X
8	O	X	N/A	N/A	N/A
9	O	O	O	X	N/A
10	O	O	O	O	X
11	O	O	X	N/A	N/A
12	O	O	O	O	X
13	O	O	O	X	N/A
14	O	O	O	X	N/A
15	O	O	X	N/A	N/A
16	O	O	O	O	X
17	O	X	N/A	N/A	N/A
18	O	O	O	X	N/A
19	O	O	O	O	X
20	O	O	O	X	X
21	O	O	X	N/A	N/A
Pass rate	100%	85.71%	67.7%	28.60%	0.00%



C 條件實驗比較圖

D 條件實驗數據表

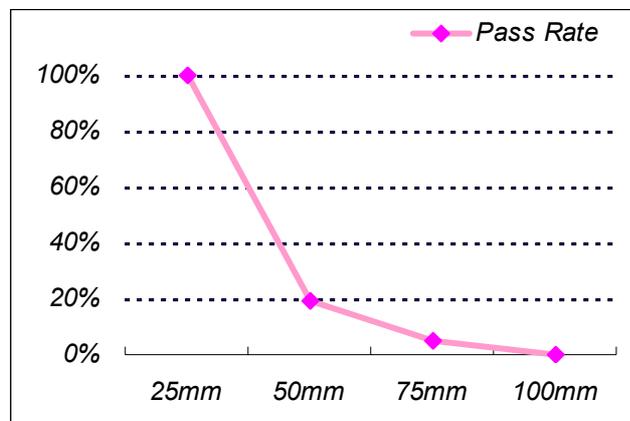
No.	100mm	125mm	150mm	175mm	200mm
1	O	O	X	N/A	N/A
2	O	O	O	O	X
3	O	X	N/A	N/A	N/A
4	O	X	N/A	N/A	N/A
5	O	O	O	O	X
6	O	O	X	N/A	N/A
7	O	X	N/A	N/A	N/A
8	O	O	X	N/A	N/A
9	O	O	O	X	N/A
10	O	O	X	N/A	N/A
11	O	X	N/A	N/A	N/A
12	O	O	O	O	X
13	O	O	O	O	X
14	O	O	X	N/A	N/A
15	O	O	X	N/A	N/A
16	O	O	O	X	N/A
17	O	O	X	N/A	N/A
18	O	O	O	X	N/A
19	O	O	X	N/A	N/A
20	O	O	X	N/A	N/A
21	O	O	O	X	N/A
Pass rate	100%	80.95%	38.09%	19.04%	0.00%



D 條件實驗比較圖

E 條件實驗數據表

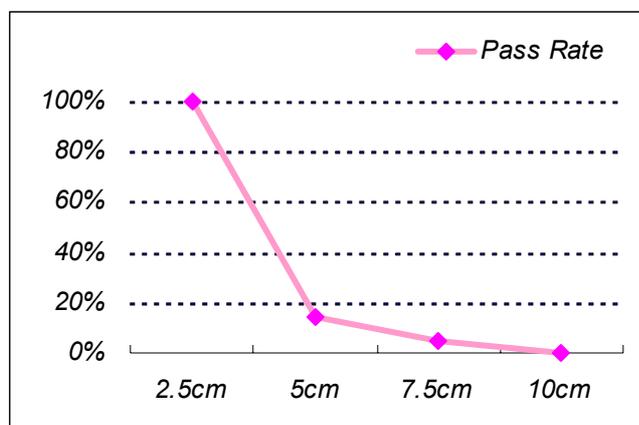
No.	25mm	50mm	75mm	100mm
1	O	X	N/A	N/A
2	O	X	N/A	N/A
3	O	X	N/A	N/A
4	O	X	N/A	N/A
5	O	X	N/A	N/A
6	O	O	X	N/A
7	O	X	N/A	N/A
8	O	X	N/A	N/A
9	O	O	X	N/A
10	O	O	O	X
11	O	X	N/A	N/A
12	O	X	N/A	N/A
13	O	X	N/A	N/A
14	O	X	N/A	N/A
15	O	X	N/A	N/A
16	O	X	N/A	N/A
17	O	X	N/A	N/A
18	O	X	N/A	N/A
19	O	O	X	N/A
20	O	X	N/A	N/A
21	O	X	N/A	N/A
Pass rate	100%	19.04%	4.76%	0%



E 條件實驗比較圖

F 條件實驗數據表

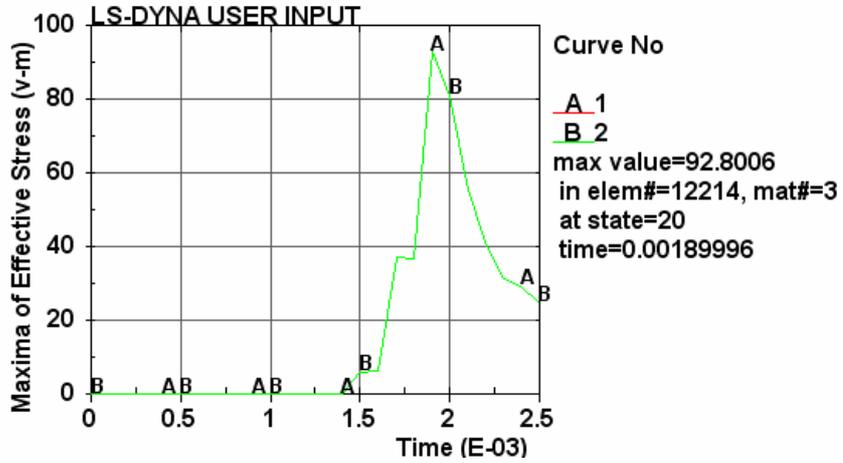
LCM (0.2t Bezel)				
No.	25mm	50mm	75mm	100mm
1	O	O	X	N/A
2	O	X	N/A	N/A
3	O	X	N/A	N/A
4	O	X	N/A	N/A
5	O	O	X	N/A
6	O	X	N/A	N/A
7	O	X	N/A	N/A
8	O	X	N/A	N/A
9	O	X	N/A	N/A
10	O	O	O	X
11	O	X	N/A	N/A
12	O	X	N/A	N/A
13	O	X	N/A	N/A
14	O	X	N/A	N/A
15	O	X	N/A	N/A
16	O	X	N/A	N/A
17	O	X	N/A	N/A
18	O	X	N/A	N/A
19	O	X	N/A	N/A
20	O	X	N/A	N/A
21	O	X	N/A	N/A
Pass rate	100%	14.29%	4.76%	0%



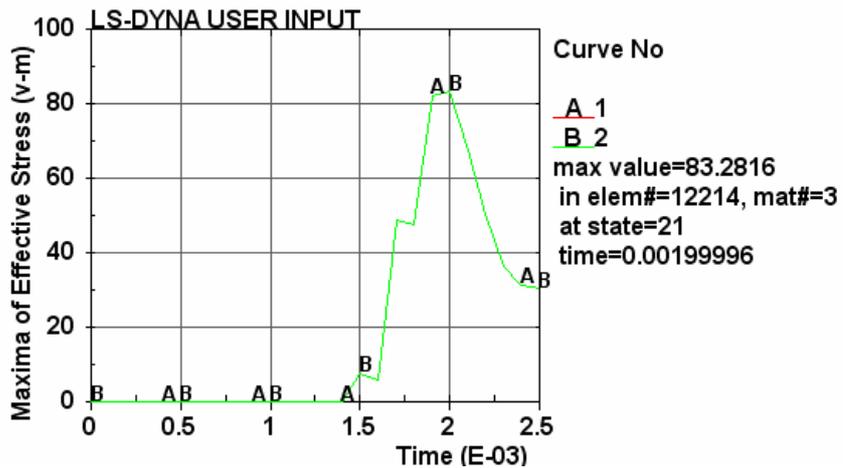
F 條件實驗比較圖

## 附錄二 模擬結果應力時程圖

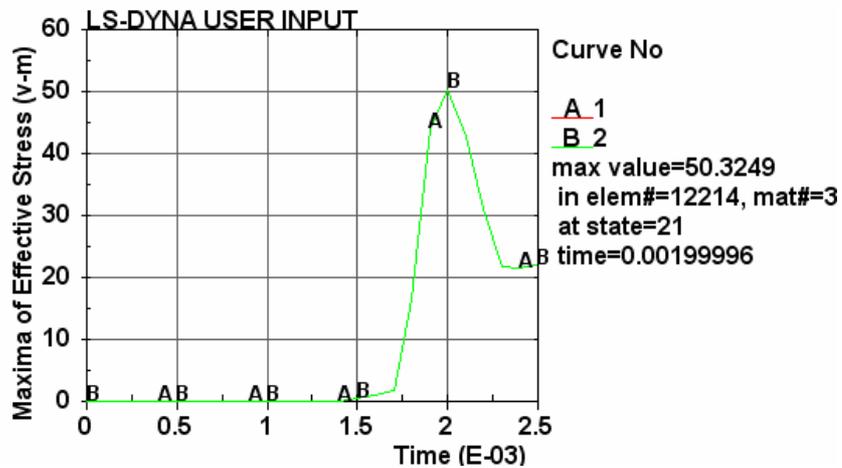
### 1. 模擬高度 25mm



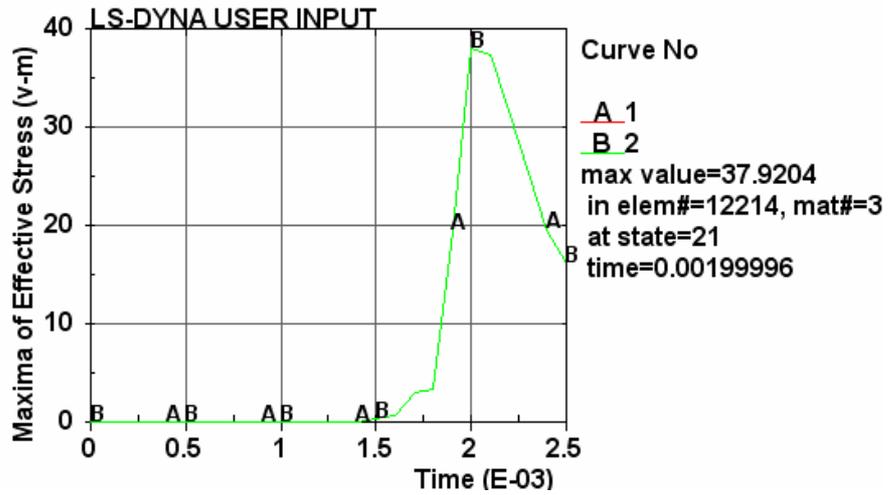
A 條件應力時程圖



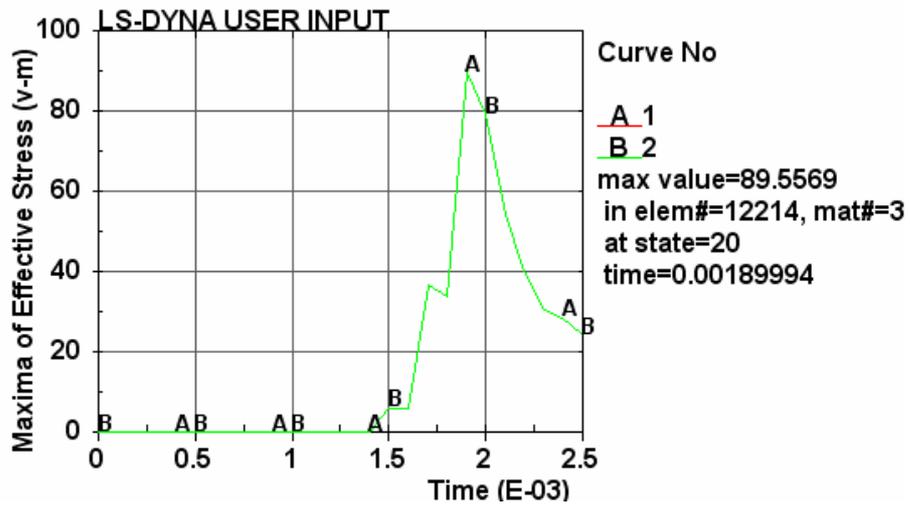
B 條件應力時程圖



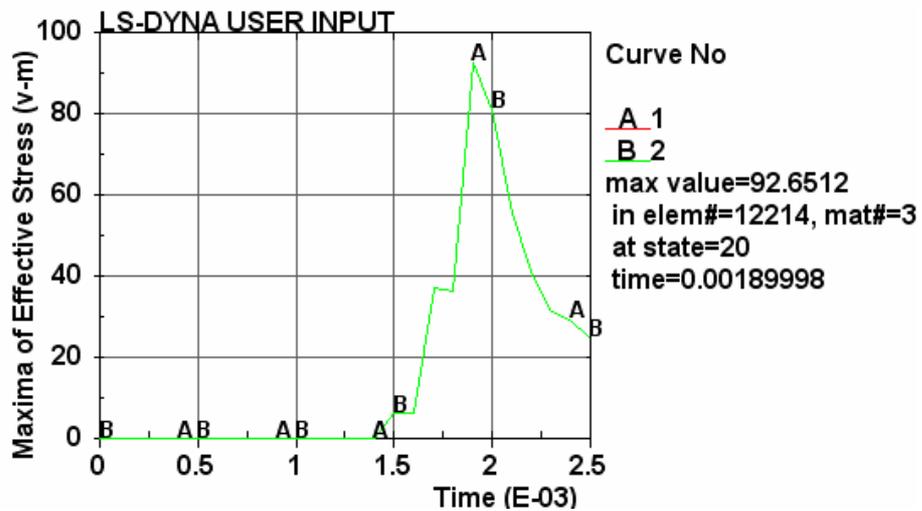
C 條件應力時程圖



D 條件應力時程圖

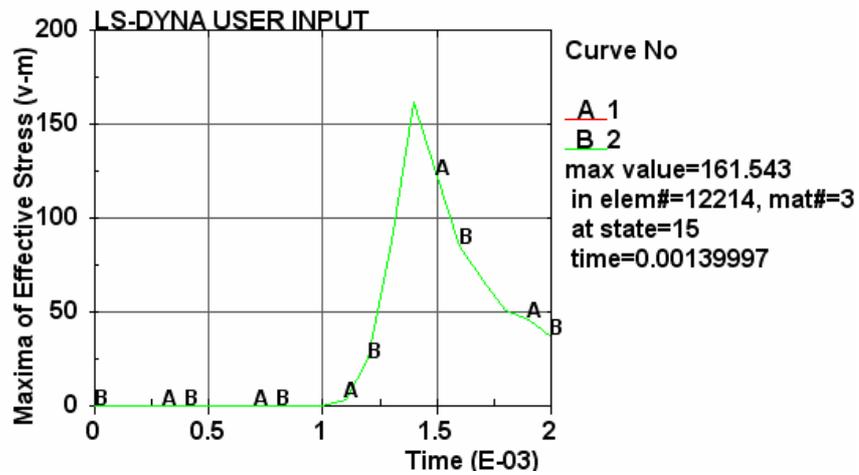


E 條件應力時程圖

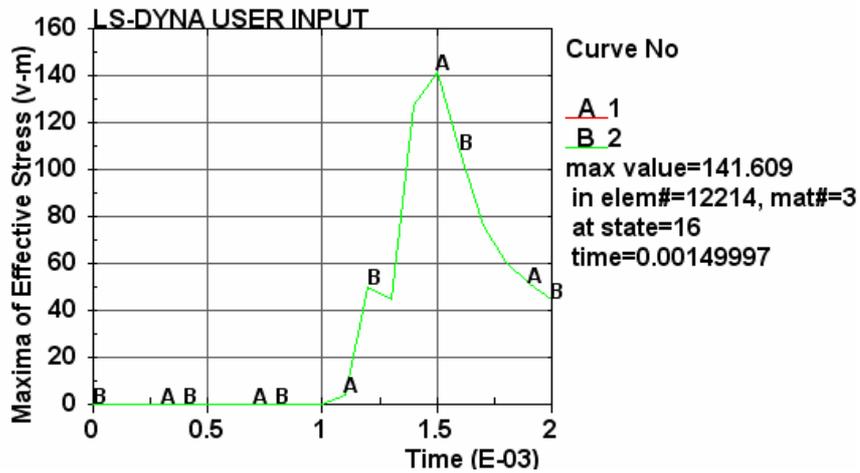


F 條件應力時程圖

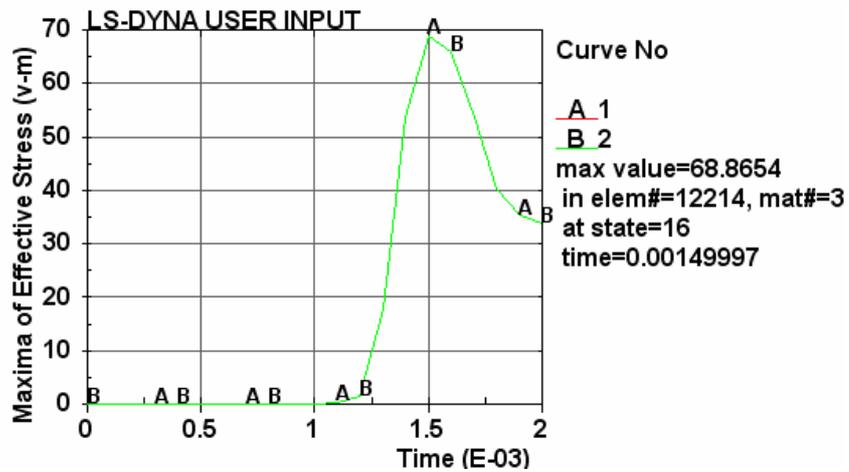
## 2. 模擬高度 50mm



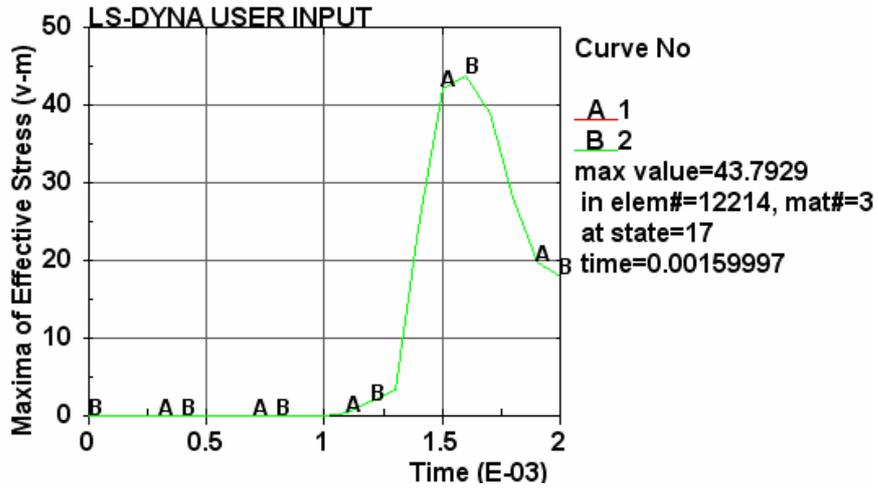
A 條件應力時程圖



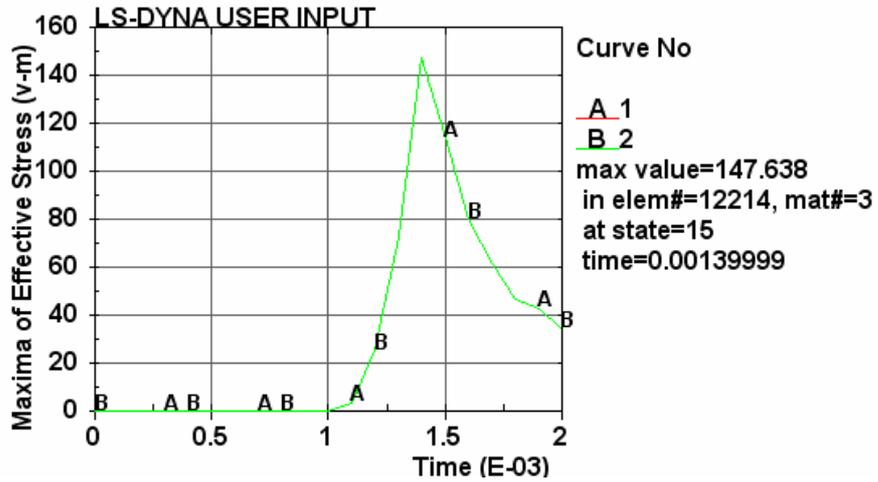
B 條件應力時程圖



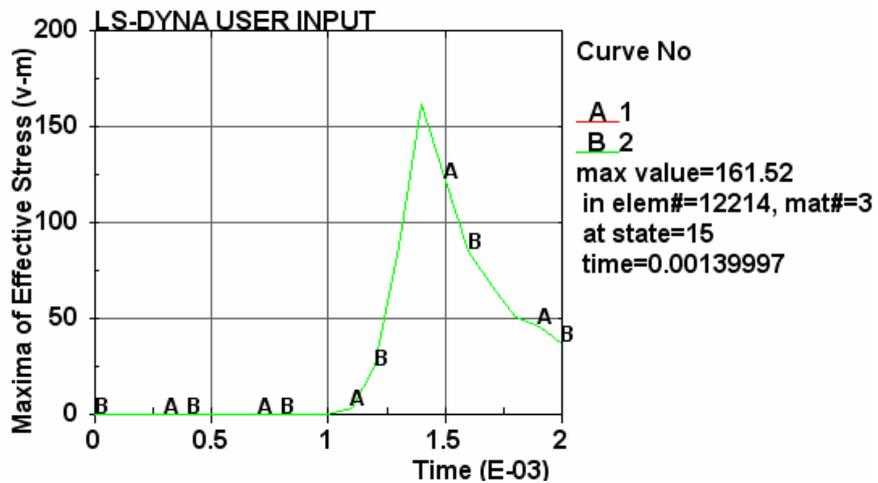
C 條件應力時程圖



D 條件應力時程圖

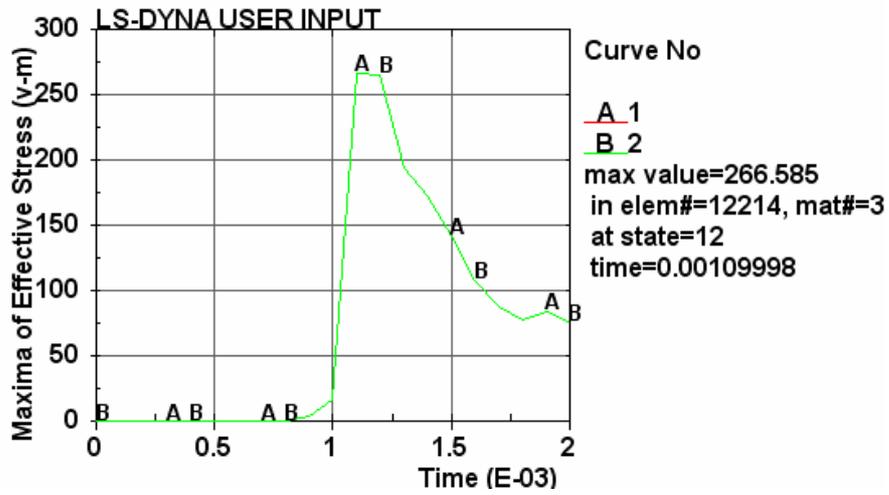


E 條件應力時程圖

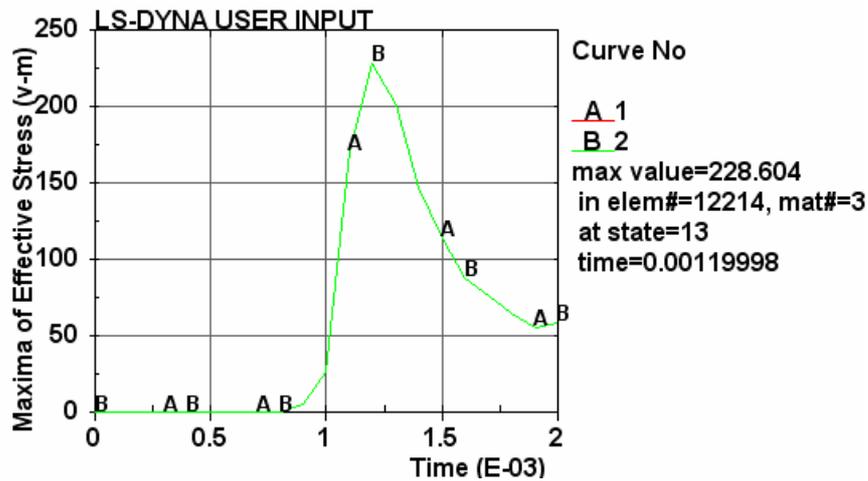


F 條件應力時程圖

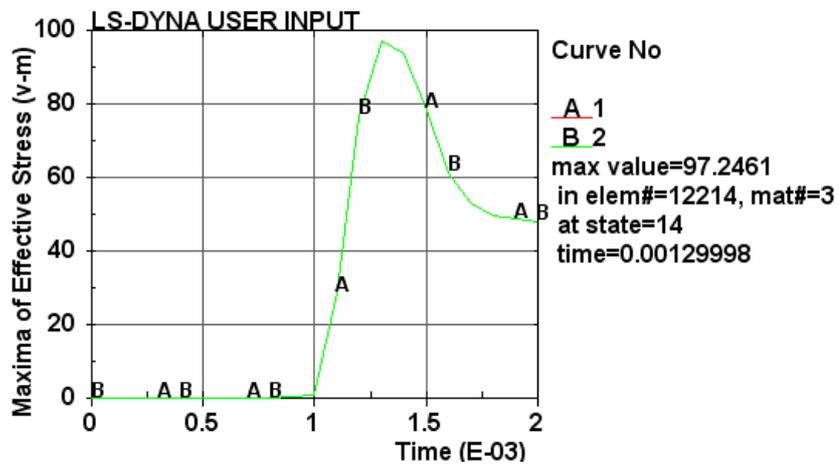
### 3. 模擬高度 75mm



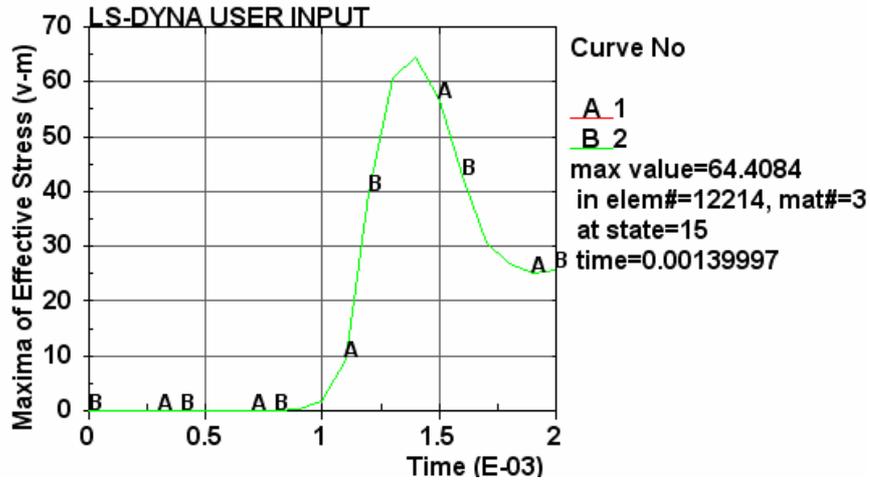
A 條件應力時程圖



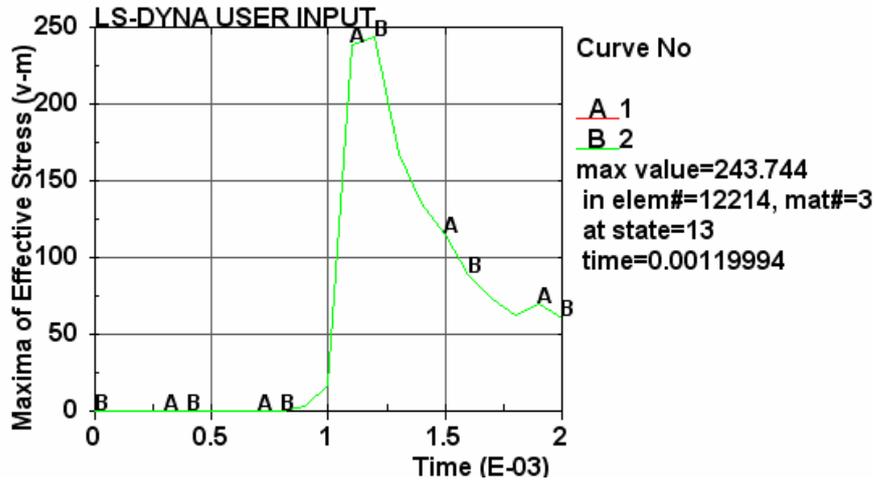
B 條件應力時程圖



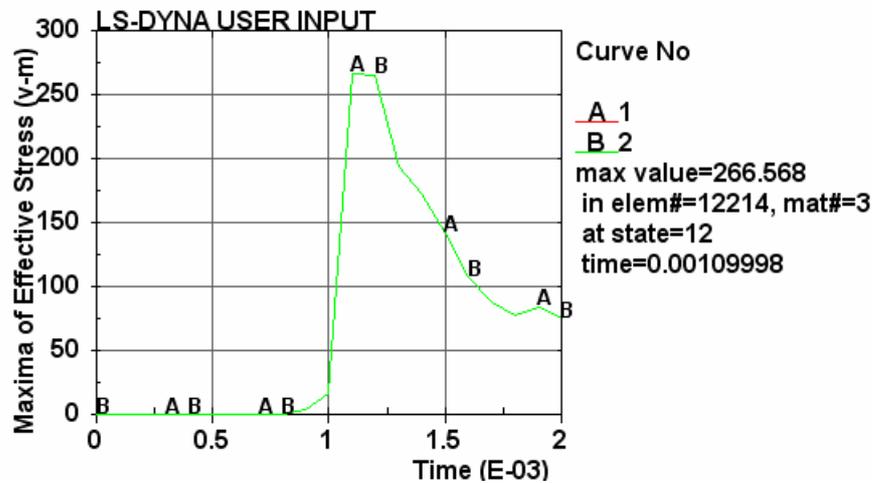
C 條件應力時程圖



D 條件應力時程圖

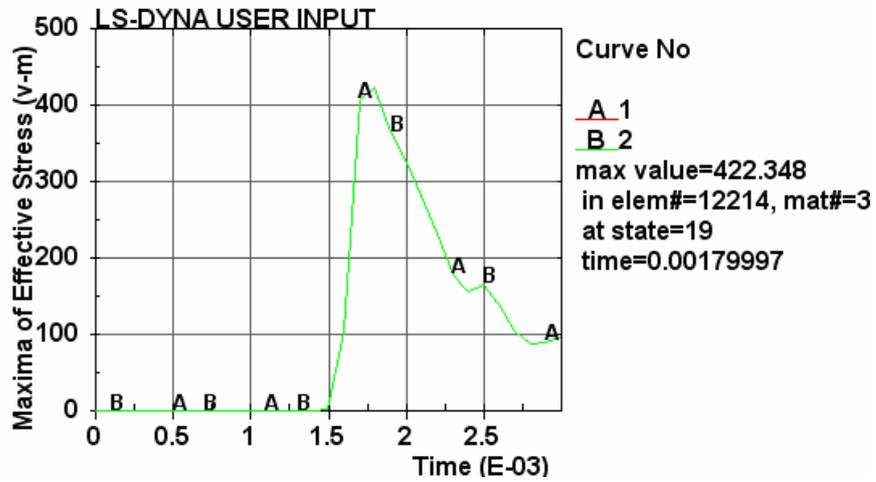


E 條件應力時程圖

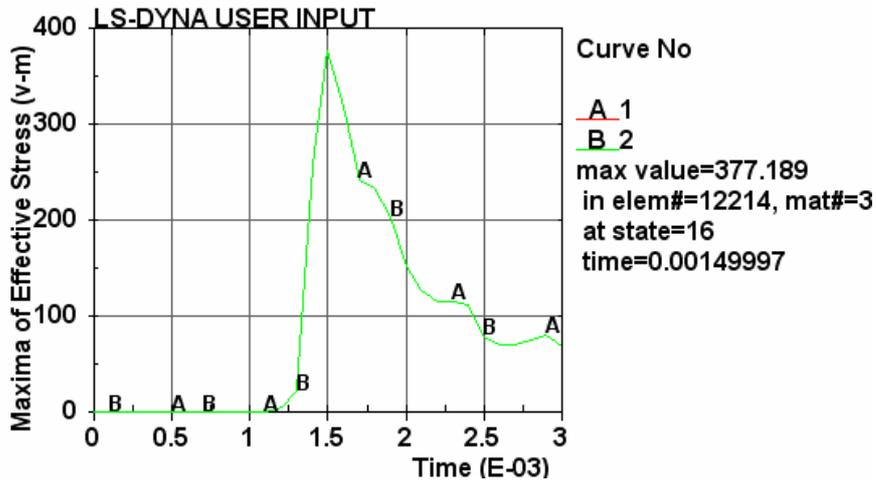


F 條件應力時程圖

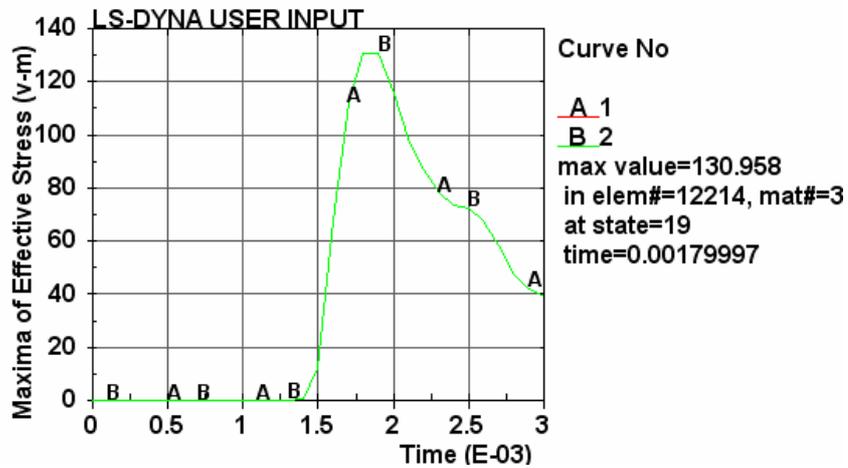
#### 4. 模擬高度 100mm



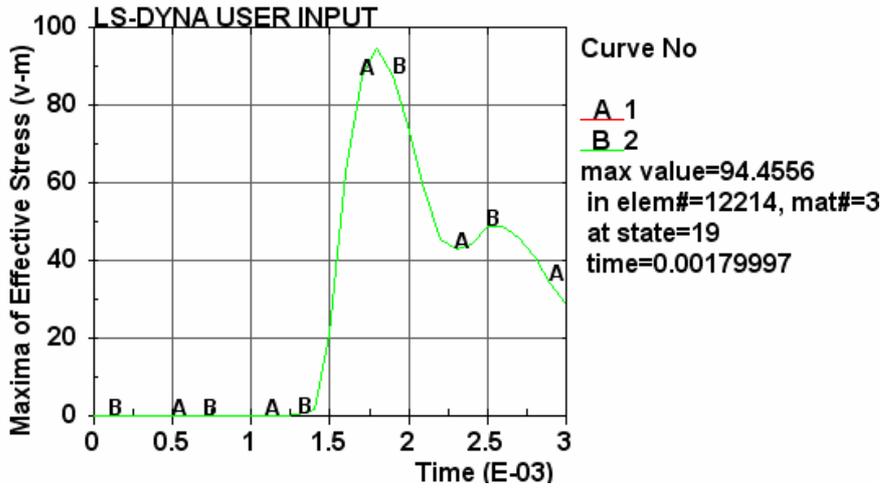
A 條件應力時程圖



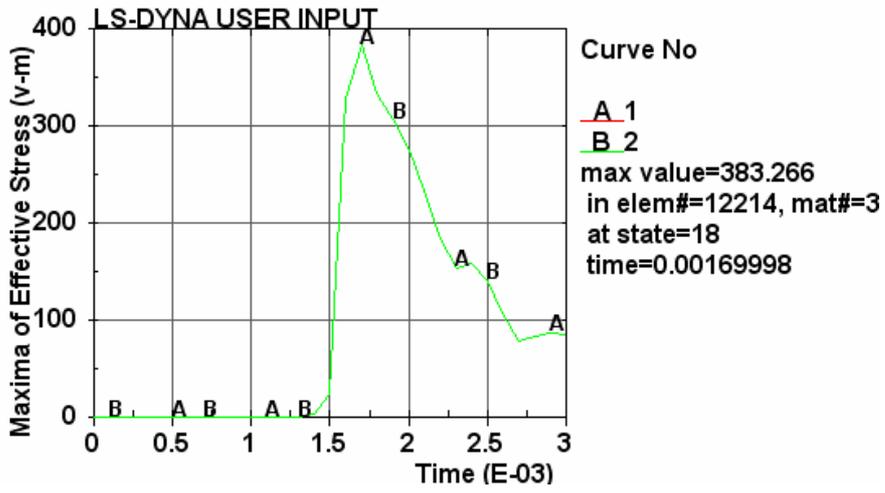
B 條件應力時程圖



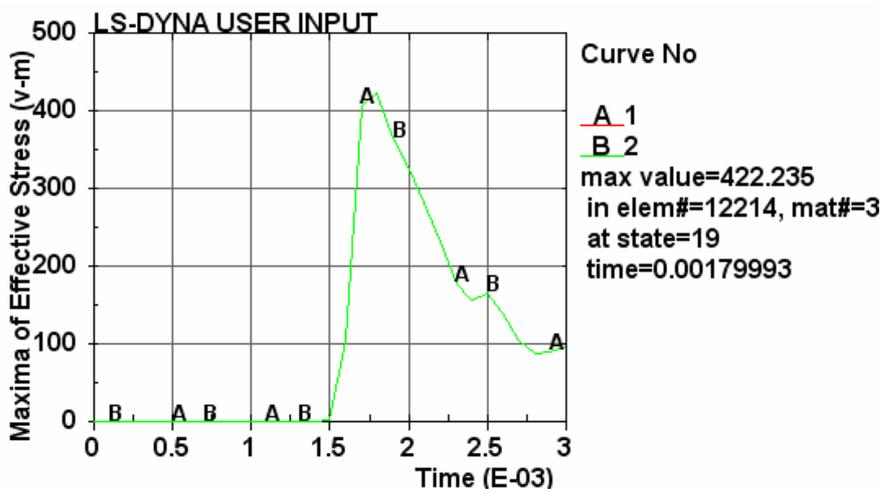
C 條件應力時程圖



D 條件應力時程圖



E 條件應力時程圖



F 條件應力時程圖