

# 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

030814

離位感應墊的製作與可靠性實驗

學校名稱：臺北市立實踐國民中學

作者：  國一 林昀靚  國一 曾姿嫣  國一 葉佩珊	指導老師：  陳麗鳳
---	------------------

關鍵詞：離位感應墊、溫度、電阻

## 摘要

隨著人口老化逐年上升，且長照機構需求的增加；再因照護人力的不足；導致被照護者的照護不佳，並影響到其居家品質；近年政府開始重視長照的課題；實驗內容為了解壓力、溫度（室溫、高溫及低溫狀況下）與電阻三者間對離位感應墊的破壞關係；最後利用電子顯微鏡（SEM）觀察離位感應墊之感應片表面的組織（油墨）變化；此結果讓吾組了解到離位感應墊於不同的溫度、力及電阻三者之間的破壞關係。

實驗成果，可提供給予照護機構與製造單位之可用壽命（時間）的參考與改進數據，對於被照護者或有睡眠障礙者，已可提供好的居家品質與照護服務，且可減輕照護人員的工作壓力；期望未來可做到偵測全身壓力之分佈、呼吸訊號之量測及睡眠品質之評估等功能。

## 壹、研究動機

全球人口的結構，正面臨高齡化與少子化的衝擊，每個家庭因受到可照護資源的不同和人力短缺等問題的影響，導致被照護者或高齡者轉而接受護理之家、養護機構的照護，或是利用居家照護服務、申請外籍看護等…需求也大幅的增加。

聯合國衛生組織的人口統計單位顯示，2013 年全球 60 歲以上的老年人口占總人口比率已上升 11.7%，預估 2050 年老年人口將增加至 20 億以上，其比例將達到 22%；同時，80 歲以上超高齡老人占老年人口比率，亦將由 2013 年的 14% 上升至 2050 年的 19%，所以未來 50 年內老年人口的成長，將是目前的四倍，尤其是 80 歲以上的老人增加速度更快，可能達五倍以上的成長。「2010 年至 2060 年臺灣人口推計」報告書，指出臺灣在 2010 年老年人口比率已達 10.7%，預估至 2060 年老年人口比率將達到 41.6% 以上，屆時將與其週邊國家（如日本、韓國與大陸<sup>[1]</sup>）同樣成為高齡化的國家。2012 年 6 月底臺灣「老人長期照顧及安養機構概況」顯示，臺灣的長期照顧及安養機構立案數共計 1,057 所，可進住人數為 57,957 人，實際進住人數為 42,898 人，其使用率達 74.02%，較 2011 年底之使用率增加 3.07%<sup>[2]</sup>。在長期照顧及安養機構中，每位照護者必須服務 5~8 位<sup>[3]</sup>被照護者或高齡者；但隨著長照服務需求日益增加，照護人力卻明顯不足。

近年來，許多研究結合了紡織技術製成「穿戴式感應裝置」，利用非監視的方式，感應量測被照護者的生理訊號與身體活動...等健康資訊。如 Rossi<sup>[4]</sup>將導電聚合物或混合碳與橡膠的壓阻材料塗佈於織物上，其所製成之穿戴式的量測系統，可量測與紀錄穿戴者的姿勢與動作。

Pacelli<sup>[5]</sup>將壓阻布料或可導電織布料作為電極，以不同縫紉技術與織物結構，將電極整合於衣服中；此感測技術適合長時間量測，其舒適度高且無體感，可量測到人體的生理訊號與身體姿勢。

Cheng<sup>[6]</sup>提出可攜式睡眠身體活動監測系統，其採用穿戴式感應裝置，應用於臥/離位活動的感測；該系統是以特殊的導電纖維所製成的感測裝置，去偵測受測者的身體活動訊號，依所設計的數學演算法進行清醒與睡眠階段的鑑別（空床、清醒、睡眠）；前述係利用無察覺性與非約束性的方式進行睡眠監測，提供受測者整夜完整的睡眠歷程，此數據可供後續的醫學評估與診斷。

Lokavec<sup>[7]</sup>將力敏電阻採用陣列方式，做成聚合物厚膜放置在枕頭上，此裝置可感測睡姿與心肺訊號。

吳<sup>[8]</sup>結合市售導電纖維材料，利用手工縫製於鬆緊帶上，藉由導電纖維中之軟性電路接點與導電布之間的接觸與否，發展出躺臥、離位及睡眠感測裝置器。

陳<sup>[9]</sup>開發適用於居家長期監測的臥床活動感知床墊，可在保有高度舒適性的前提下，提供臥/離位、姿態辨識與活動力感測的功能，並針對前述三項感測功能，研究其靈敏度與預測值的分析。

多年前三位實驗者其中一位的外祖父，因長期中風住於養護中心，某日獨自下床時，不慎跌落床邊，導致二次中風長期癱瘓；跌落時因發現過晚與無使用離位感應墊的裝置，故無可提供照護人員及時發現被照護者的狀況和給予最合適的協助。故實驗者在父親從事老人輔具相關產品開發的耳濡目染下，即引發了實驗者對離位感應墊進行實驗的動機。

此次參與實驗工作之組員，透過 7 年級上學期『自然與生活科技』的課程，所習得之知識與內容，如第八章資訊與生活的『活動 8.1-1 網版印刷』等，來構思與規劃此次實驗設計；此實驗應用古老的網版印刷技術與監控功能於照護的生活科技上，借此協助與建立長期照顧系統的安全、並兼顧被照護者隱私與減少因照護人力不足所造成的問題。

## 貳、研究目的

近年來，許多「穿戴式感應裝置」係結合紡織技術製成，並利用監視的方式，感應量測被照護者的生理訊號與身體活動…等健康資訊。

此實驗的目的在於了解離位感應墊處於室溫、高溫、低溫及混合高低溫狀況下，受反覆性的垂直壓力（後續簡稱壓力）與電阻三者間的關係。實驗的數值亦可作為改善離位感應墊使用壽命（時間）之參考，另可提供離位感應墊更高的舒適度、便利性與低成本之設計要素；

讓高齡者或被照護者在面臨生理機能與身體的衰退時，仍能保有高度健康、舒適、安全性佳的晚年生活，已成為現今社會非常值得重視的社福課題。

實驗過程採用與市售產品不同之導電感應薄膜或簡稱感應片（由 Solidyear Co., Ltd. 製作），其大幅度的改良了製程方式與圖型設計。此導電感應薄膜屬於『可撓性與高抗壓之感測元』，簡稱『感測元』，透過此『感測元』組合成『離位感應墊』；此導電感應薄膜的製程方式，係利用噴印與網印的兩項技術所完成；其所設計之壓電阻式之觸控感應薄膜，係屬無察覺式與非約束性的觸控感應方式，並考量被照護者在使用時的高舒適度與耐用性（較市售產品多二倍以上的使用時間）。

## 參、研究設備器材

此節乃在於說明離位感應墊的功能、圖型、結構、簡易的製作方法、使用原理、電氣特性與實驗設備等…。透過實驗組員與指導師長所準備之實驗設備，探討其受垂直壓力(簡稱壓力)與不同溫度（室溫、高溫及低溫狀況）、電阻的關係。透過實驗測試的結果，可了解離位感應墊之性能與穩定度，進而提高被照護者或高齡者的生活品質、減少照護人員的工作負擔，並給予家屬較安心的信賴。

### 一、離位感應墊

離位感應墊的功能與特性，乃是在偵測被照護者的身體位置在就/離位狀態；利用壓力讓上/下感應導電薄膜之感測元接觸，此時單晶片的控制裝置，將供應微小電流，所以當兩片導電薄膜接觸或分離時，其接觸變化將造成離位感應墊的電氣特性改變，此電氣特性屬於電阻式或壓阻式的接觸變化，再者控制裝置即可達成基本的感測功能；依據高齡者或被照護者的

使用情境，離位感應墊未來提供的其他需求，如下所示：

- (一) 功能面：臥/離位感測、睡眠偵測、重量偵測與快速訊號傳輸…等；
- (二) 使用面：易收納、柔軟性好、舒適度高、可重覆清洗…等；
- (三) 製造面：低成本、簡易製程、大量與快速生產。

實驗的離位感應墊樣品，乃是外覆高彈性的布料、中間為彈性體及最內層的導電薄膜(表面為先噴印銀漿/再網印上石墨的導電性電路)等；其關鍵的設計要素為舒適性好、易於清潔及低售價，且不需使用特殊的硬體感測電子元件為基礎，而是採用軟質、高撓性和抗壓性好的感應單元模式。

## 二、實驗樣品、製造方法與結構

如前面所提到此實驗之離位感應墊，乃是採用先噴印一層銀漿，再網印一層石墨的導電感應薄膜，(後續導電感應薄膜將簡稱感應片，塑膠薄膜的材料規格為強度  $22\sim 25\text{kg/cm}^2$ 、平均厚度為  $0.1\text{mm}\pm 0.05$ 、表面阻抗值為  $10^7\sim 10^9\Omega$ 、材料反覆延伸率  $70\%\sim 85\%$  之南亞公司所生產的塑膠薄膜)，加上中間的彈性體為厚度  $4\text{mm}\sim 6\text{mm}$  的泡棉及外層為透氣性高的 PU 材質的塑膠布料，厚度為  $0.3\sim 0.5\text{mm}$ ，此彈性布料具有抗氧、抗潮及防腐的功能，無論如何拉扯都有良好伸縮性；圖 1 為離位感應墊的成品，外形尺寸為長  $45\text{cm}$ 、寬為  $30\text{cm}$  及厚度  $6\text{mm}\sim 6.5\text{mm}$ ；組裝方式採用俗稱『三明治結構』<sup>[10]</sup> 的形式呈現；PU 材質的塑膠布料的壓合封裝，乃是採用高週波壓合技術完成。

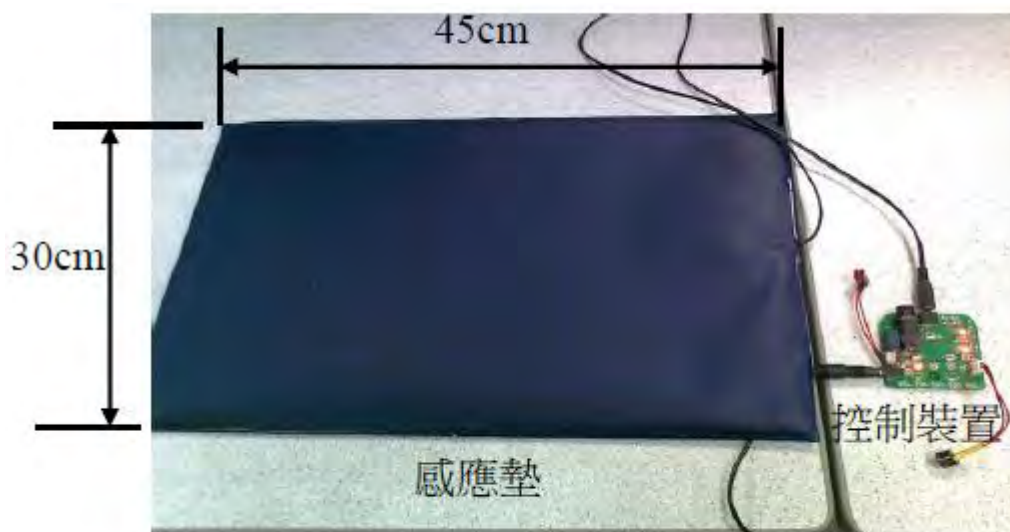


圖 1 離位感應墊和控制裝置

如圖 2 所示為感應片之感應線路，其在塑膠薄膜噴/網印導電油墨（先噴印再網印圖形），圖 2(a)所示為上感應片和圖 2(b)所示為下感應片。

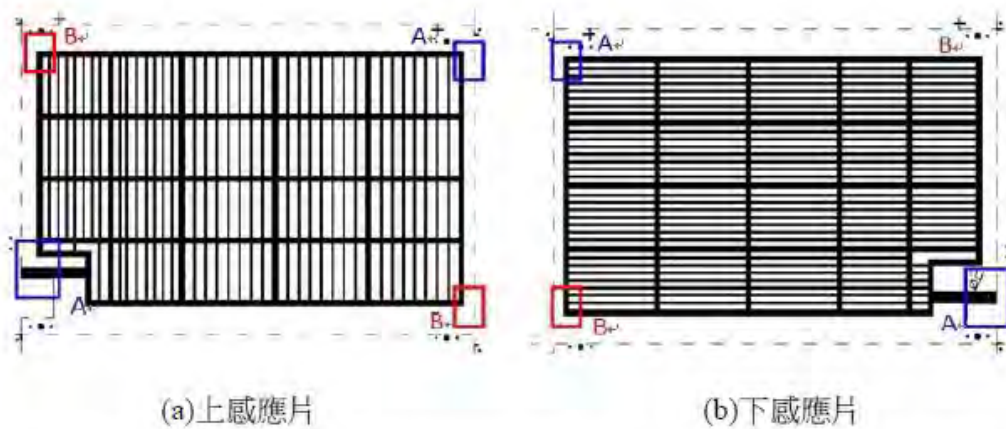


圖 2 噴/網印感應薄膜之原始設計圖(a)為上感應片和圖(b)為下感應片

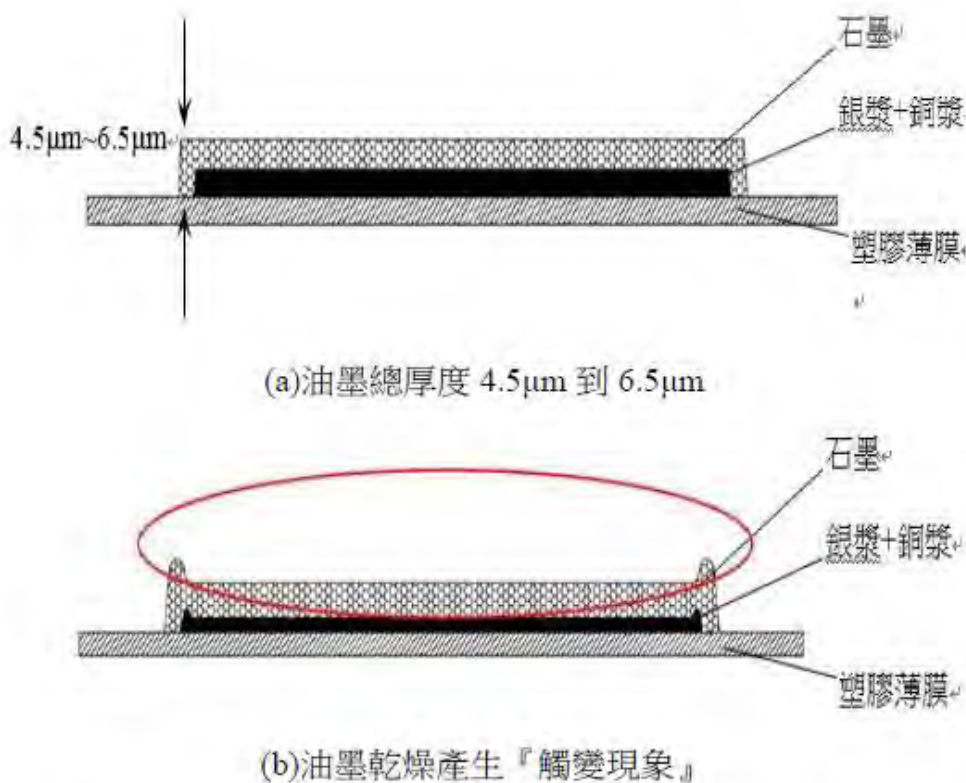


圖 3 油墨(a)總厚度  $4.5\mu\text{m}$  到  $6.5\mu\text{m}$  和(b)發生『觸變現象』

製造方法為先噴印再網印，此方法乃是在塑膠薄膜上方先噴印一層銀漿層，再覆蓋一層石墨層保護銀漿層，總厚度控制在  $4.5\mu\text{m}\sim 6.5\mu\text{m}$  間，如圖 3(a)所示。油墨在烘乾後，中間會微微的下降，稱為『觸變現象』<sup>[11]</sup>，其原因為表面的水份減少，使油墨的中間部份凹陷，左右兩端容易形成尖塔的形狀，如圖 3(b)所示；假如此尖塔形狀如果太高，容易造成尖端放電，



所以在製造過程中，一般都會採用皮料進行磨平。

導電油墨的平均電阻值，控制在  $150\Omega/40\text{cm}$  以下（以左右兩端對稱角落量取，如圖 2(b)A-A 端點與 B-B 端點為測點），乾燥後其表面的油墨硬度，需可抗 3H 鉛筆以上的硬度測試與百割刀的黏附性測試（98%~95%以上的附著性）；以上係由協助製作公司所提供之資料。

此快速導電傳導方法的優點，乃是取其銀漿層的高速傳導與強韌之特性，及利用石墨層防止氧化反應、抗破壞與降低成本等優勢所加工完成的導電薄膜；所以快速導電原理是利用電荷或電粒子在銀漿層通道中，高速的傳導或提供給予電荷加速移動特性。

離位感應墊的內部構造，如圖 4(a)所示，內層含有上/下感應片，中間層為彈性體；內層間使用抗靜電膠帶固定貼緊（6 片抗靜電膠帶貼於不同的位置），防止塑膠薄膜產生靜電流竄。內層固定前，先將 2 條電線（1 條控制線，另 1 條量測線），焊黏於感應片上（圖中紅色

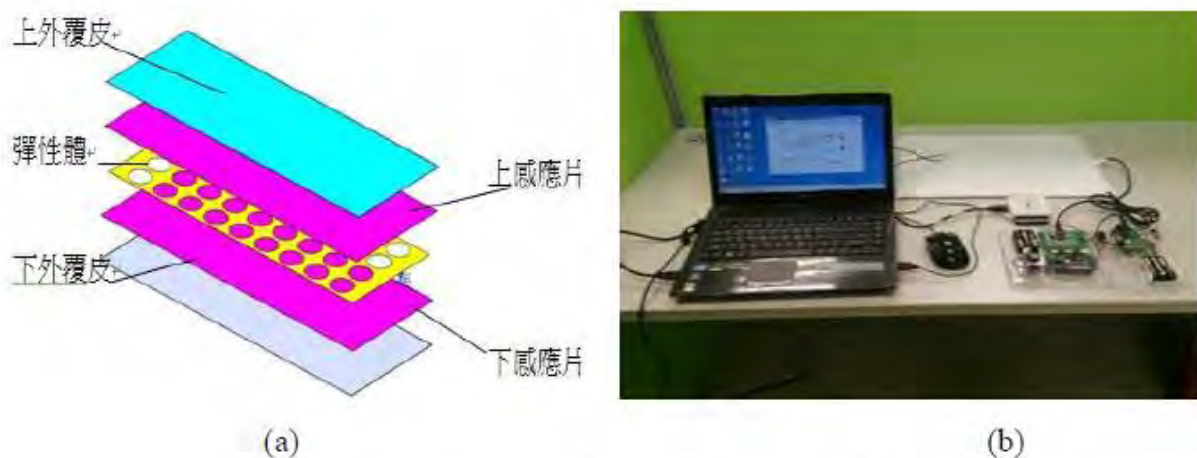


圖 4 離位感應墊(a)內部構造與(b)離位感應墊量測方式

框部份)，並貼上絕緣膠布，避免上/下層感應片在無力量狀態下，與另一層感應片因水氣和潮濕的問題，導致上/下層感應片接觸，而形成自由電子導通的狀況。以上步驟完成之離位感應墊，如圖 4(b)所示，其中一條導線為控制裝置輸入端，另一條導線為感應墊擷取訊號的輸出端。

### 三、使用原理

放入 AAA 電池三顆或置入電源供應器後，將離位感應墊放置於床墊上或床墊之下方，如圖 5 所示為離位感應墊使用方式。

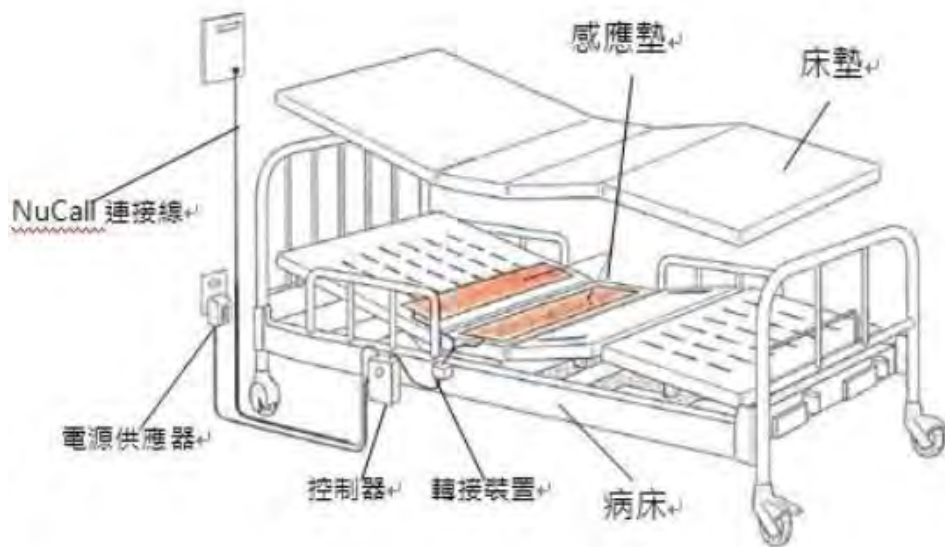


圖 5 離位感應墊使用方式

使用者未躺置於床墊時，控制器之警示系統鳴叫(啟動狀態)，反之使用者躺置於床墊時，即啟動感應墊之觸發訊號功能，控制器之警示系統關閉。故若病人、兒童或老人從病床上離開、跌落，即立刻發出鈴聲警示(作動原理與流程圖為一般的電阻式之 ON/OFF 感應開關)，如圖 6 與圖 7 所示。圖 6(a)所示為無力量狀態下，離位感應墊的上/下感應片呈現開路狀態；反之，離位感應墊受到壓力時，上/下感應片接觸，則呈現通路狀態，如圖 6(b)所示。

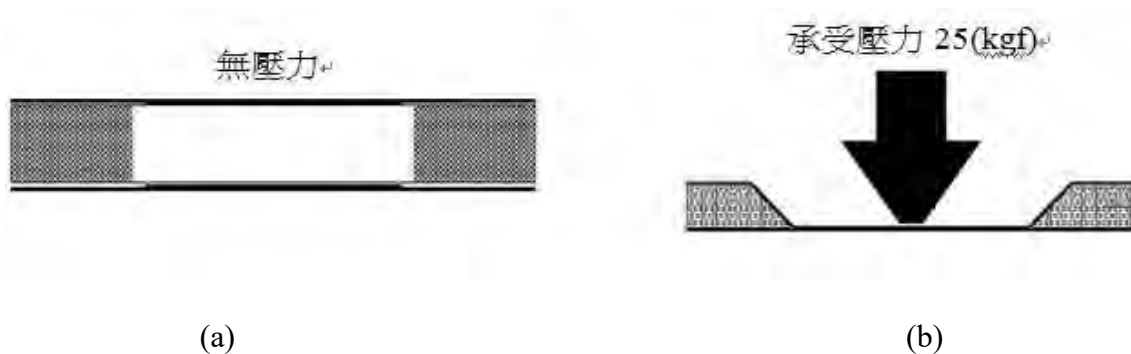


圖 6 離位感應墊(a)無給予力量呈現斷路狀態與(b)給予 25kgf 力量呈現通路狀態



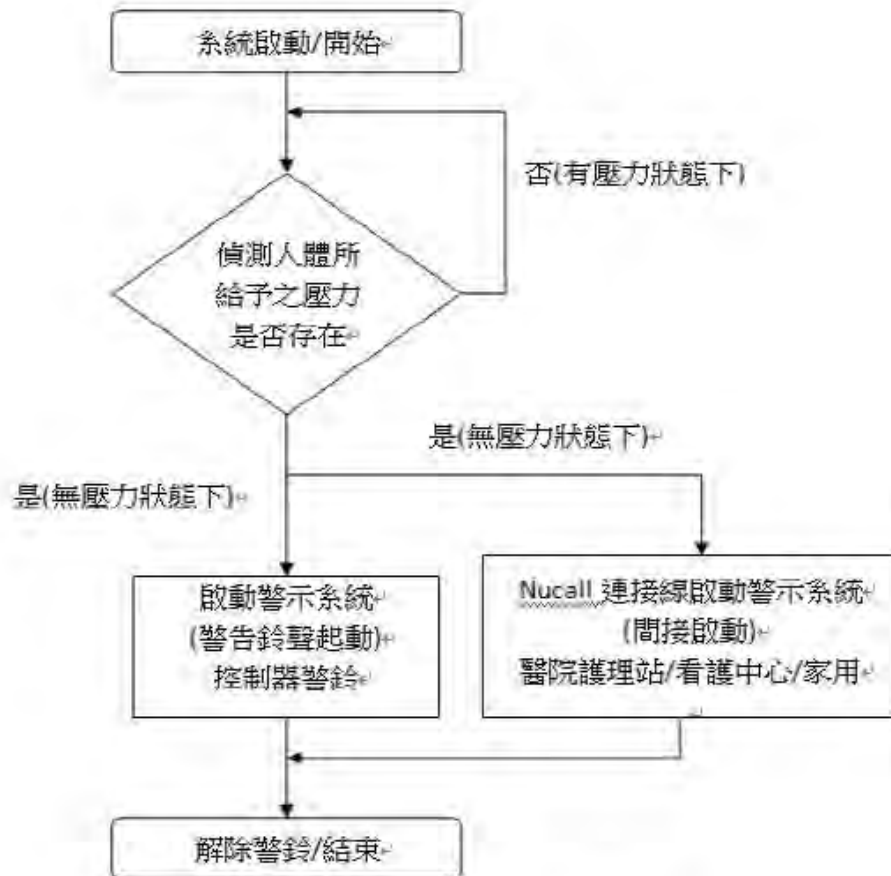


圖 7 離位感應墊的作動流程圖

#### 四、實驗設備

表 1 實驗使用設備

項目	物品名稱	規 格	數量	單位	備 註 欄
1	三用電錶		1	台	自行購買
2	離位感應墊	45cm*30cm	17	套	委託秀育公司製作
3	離位控制器		1	台	委託秀育公司製作
4	拉伸試驗機		1	台	向磊鑫公司借用
5	衝擊模擬器	縮小人體臀部面積 1:10	1	台	委託慶豐公司製作
6	壓力感測器	5kgf~50kgf	1	台	自行購買
7	家用冰箱	低溫保持 0°C±5°C	1	台	組員提供
8	高溫測試箱	高溫保持 65°C±5°C	1	台	委託慶豐公司製作
9	顯微鏡		1	台	組員提供
10	SEM 電子顯微鏡		1	台	向環騰公司借用
11	打孔器		1	隻	組員提供

	
(a) 三用電錶	(b) 離位感應墊與離位控制器
	
(c) 拉伸試驗機	(d) 衝擊模擬器與壓力感測器
	
(e) 低溫測試箱 (冰箱)	(f) 高溫測試箱
	
(g) 打孔器	(h) 顯微鏡
	
(i) 電子顯微鏡	

圖 8 使用實驗設備照片

## 五、實驗計劃與時間表

此次實驗過程已達成預期成果，且符合實驗者所排定的時間控制點，雖然小組於時間控制上偶有延後完成或補做實驗，但就其學習成果皆符合需求，以下所示為其預期完成成果與實驗時間控制圖：

- (一) 小組成員於執行期限內，完成所須執行之工作項目，並建立完整的實驗方法與利用實際實驗測試確認準確度。
- (二) 對於實驗或其他應用方面預期之貢獻，如應用在離位安全系統上，對於被照護人員的情況，及新手或照護人員的訓練上進行改善，未來可以利用此系統作為其他延伸子系統之開發與研究，便於完成後減少長照中心的人力需求與照顧全天自動化，但是對於全天候的人員照顧與人力之變化都需要去額外增加與考量，以提升其精確度與穩定度。
- (三) 對於參與實驗工作之小組成員，其預期可獲得之訓練與增進上課學習成效，如運用此學期自然與生活科技第八章資訊與生活的活動 8.1-1 網版印刷。
  1. 學習圖控程式語言(如 S4A 圖控程式)的能力獲得提升；
  2. 訓練蒐集參考資料及過濾資訊能力的提升；
  3. 建立實驗場地與實驗設計的架構；
  4. 取得實驗數據進行分析與確認數值等過程；
  5. 學習個人口語報告與分工再整合能力。
- (四) 預定進度甘梯圖

表 2 研究計劃之甘梯圖

工作項目 \ 月	7月 中旬	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月初
資料及文獻收集									
硬體與軟體設計									
實驗設計 (溫度與表面觀察)									
論文撰寫與整理									

## 肆、實驗過程與方法

為了解離位感應墊所承受下壓之力(25Kgf)時，處於不同環境溫度(室溫、高溫及低溫狀況)與電阻之間的三者關係與特性，故將此研究分別設計多個實驗來進行探討；實驗的最後，利用電子顯微鏡(SEM)觀察離位感應墊薄膜的表面之組織狀況(油墨狀況)。

### 一、歐姆定律<sup>[12]</sup>

西元 1825~1826 年，德國物理學家歐姆經由電路的實驗發現，在相同的溫度下，元件的端電壓(V)與電流(I)及元件的電阻(R)，三者之間存在一線性關係；如公式 4-1 與 4-2 所示。

$$V=I \times R \quad \text{公式 4-1}$$

$$P=V \times I=V \times (V/R)=V^2/R \quad \text{公式 4-2}$$

任何物體中阻止電荷流動的力量，稱為「電阻」，符號為 R，單位為歐姆 (ohm)，符號為  $\Omega$ ；任何材料均有電阻，只是大小不同而已。影響電阻的因素有下列五項，且(一)~(三)項之關係，如公式 4-3 所示。

- (一) 截面積 (A)：電流流經物體時，該物體的截面大小；R 與 A 成反比。
- (二) 長度 (l)：電流流入到流出物體的距離；R 與 l 成正比。
- (三) 電阻係數 ( $\rho$ )：物體材質的特性；R 與  $\rho$  成正比。
- (四) 溫度 (T)：金屬導體的電阻也和溫度有關，溫度增加時，電阻隨之增大。
- (五) 材料的老化也會影響電阻的增減。

$$R=\rho \times (l/A) \quad \text{公式 4-3}$$

### 二、高溫潛變與鬆弛現象

#### (一) 高溫潛變

潛變<sup>[13]</sup>是材料在長時間的恆定溫度和恆定力量作用下，發生緩慢的塑性變形現象；如果溫度越高或力量越大，潛變現象的越明顯著；所以高溫下，作用的力量雖然遠低於材料之彈性限度，但是材料仍然會產生緩慢，而且持續的塑性變形，同時隨時間增加其變形也隨著增加，最後到達破壞材料等。

## （二）鬆弛現象

材料在高溫和力的作用下，其應變數維持不變，但壓力隨著時間的延長會產生逐漸降低的現象，此稱為應力鬆弛。材料在高溫下發生壓力鬆弛，是有一部分在初應力作用下產生的彈性變形逐漸地轉化為塑性變形的結果。

鬆弛現象與潛變現象有著材料內在的關繫，而且都是在高溫和壓力變化作用下的不斷性變形過程，兩者的區別僅在於潛變時，壓力基本固定不變，鬆弛時壓力則不斷在降低。

## 三、實驗設計

離位感應墊乃是感應被照護者在就位或離位時的活動狀況，其可透過反覆性的垂直壓力、經過室溫、高溫及低溫狀況後與電阻的三者間的關係與影響；並經過前述不同行為的使用狀況下，討論離位感應墊之電氣特性與穩定性。

實驗的過程乃在了解離位感應墊的電氣特性與破壞狀況，而其所要實驗方法與探討的問題，如下所示為：

實驗方法 1：常(室)溫狀態下，電阻值與壓力的關係；

實驗方法 2：低溫過程後，電阻值與壓力的關係；

實驗方法 3：高溫過程後，電阻值與壓力的關係；

最後利用顯微鏡與 SEM 電子顯微鏡觀察前述完成三項實驗的感應片之表面油墨狀況。

依據勞動部勞動及職業安全衛生研究所歷年所建立的人體表面積計測資料庫顯示，被照護者設定為 20~70 歲間；其一般座位之椅墊長度與寬度的平均值分別為  $40\pm 0.5\text{cm}$  與  $30\pm 0.5\text{cm}$ ，經計算後被照護者的平座面積約為  $1200\text{cm}^2$ ；被照護者的體重範圍設定為 40~100kg 之間，其可得到離位感應墊的單位面積內之平座受力範圍約為  $30\text{gf}/\text{cm}^2\sim 80\text{gf}/\text{cm}^2$ ；實驗所模擬的人型臀部面積為 1:10 的縮小版，且為了加速離位感應墊受正向壓力所產生的老化作用，所以正向受力需放大 30 倍力量，約為 25 kgf；實驗所以採用的下壓之力最大值 25 kgf 進行各實驗測試。

圖 9 所示為實驗數據截取流程；首先將離位感應墊平放於實驗平台上，如圖 8(b)所示；離位感應墊的出線端有兩條導線，導線一的輸出端連接到數據擷取裝置，將其所輸出之電流

值轉換為電阻訊號，另一導線的輸入端乃連接到單晶片控制裝置，利用分流電路的原理，提供感應墊+3.3V的工作電壓、讓感應墊警示被照護者的就位/離位活動狀況...等；數據擷取裝置，具有提供相關訊號處理的功能，可將電流值的類比訊號/轉換為電阻值的數位訊，最後將其數位訊號顯示人機介面系統(由 S4A 程式或 NI Labview 程式所開發的程式)，並儲存於個人電腦中；其所存取之數據為每次離位感應墊作動所產生之電阻值，圖 10 所示為實驗數據截取實際狀況與接線狀況。

壓力部分，為了有效避免不平均的壓力分佈，實驗過程乃利用 1 組壓力控制源（可控制下壓之力為 5kgf~50kgf）及治具中加入了具有壓力平衡及補償功能的彈簧，並且使用 1 組塑膠圓柱，其圓柱類似於人體臀型，再者圓柱表面積為 120cm<sup>2</sup>；實驗過程可透過壓力控制源與輔助彈簧有效的正常調整重量，並解決壓力不平均的問題；如圖 8(d)所示。

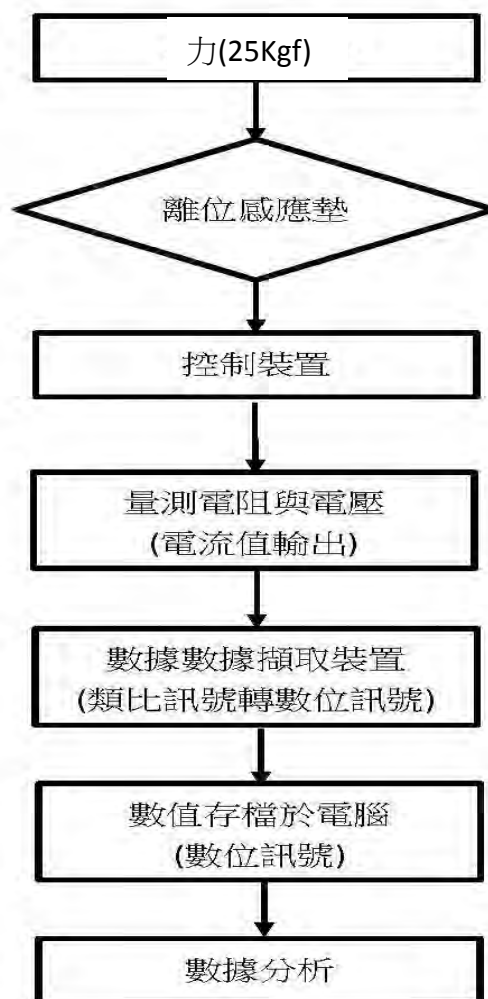


圖 9 實驗數據截取流程圖





(a)



(b)

圖 10 實驗數據截取流程與實際接線狀況

### (一) 常(室)溫下電阻值與壓力次數之關係

依前述實驗方法，將離位感應墊放置於實驗平台上，其受力面積固定，經長時間與常(室)溫 25°C 下，受相同壓力來回作用，當實驗到達設定次數時，量測電阻數值，最後將電阻與壓力轉換為 Excel 數據表，並觀察兩者之間的變化。

實驗過程的力為 25kgf，實驗量測的次數，分別為 2000 次、2500 次、3000 次、3500 次與 4000 次；依據不同的次數，記錄電阻值的變化，將電阻變化率與不同次數之相互關係，在 Excel 軟體統計整理與比較，並繪製兩者的關係曲線，以做為離位感應墊之穩定性評估基礎；實驗樣品為 4 組樣品，分別為 Mould A ~ Mould D，並將此 4 組實驗結果呈現出來。

### (二) 低溫後電阻值與壓力次數之關係

將離位感應墊長時間置於冰箱的上層冷凍櫃中，如圖 8(e)所示為試驗之冰箱，經長時間 0°C 的低溫度作用，如圖 11 所示為低溫曲線。取出後，執行實驗方法一，受相同的壓力來回的作用，觀察電阻與壓力的兩者關係；實驗規劃的受力接觸面積為固定；實驗過程的力為 25kgf，實驗量測的次數，分別為 2000 次、2500 次、3000 次、3500 次與 4000 次；依據不同的次數，記錄電阻值的變化，且電阻變化率與不同次數之相互關係，在 Excel 軟體統計整理與比較後，繪製兩者的關係曲線，再評估離位感應墊之穩定性，最後利用顯微鏡與 SEM 電鏡觀察 4 組樣品的感應片之表面狀況。

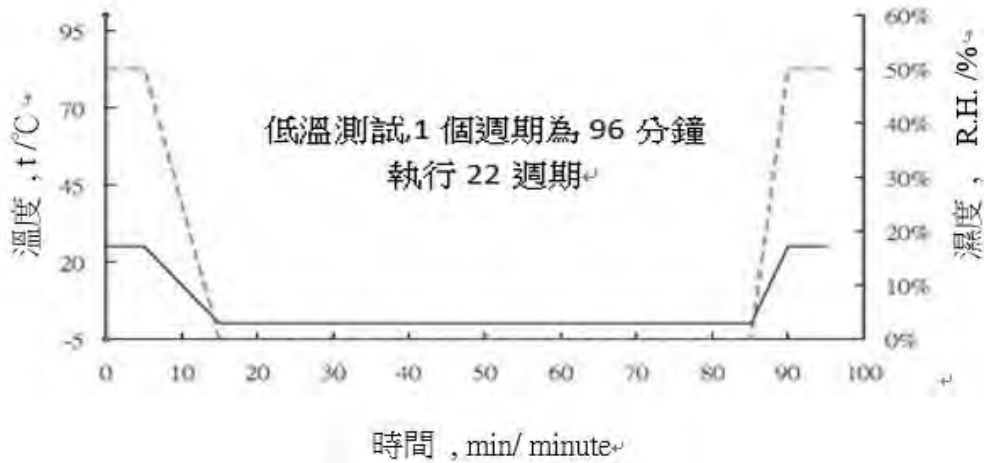


圖 11 低溫曲線

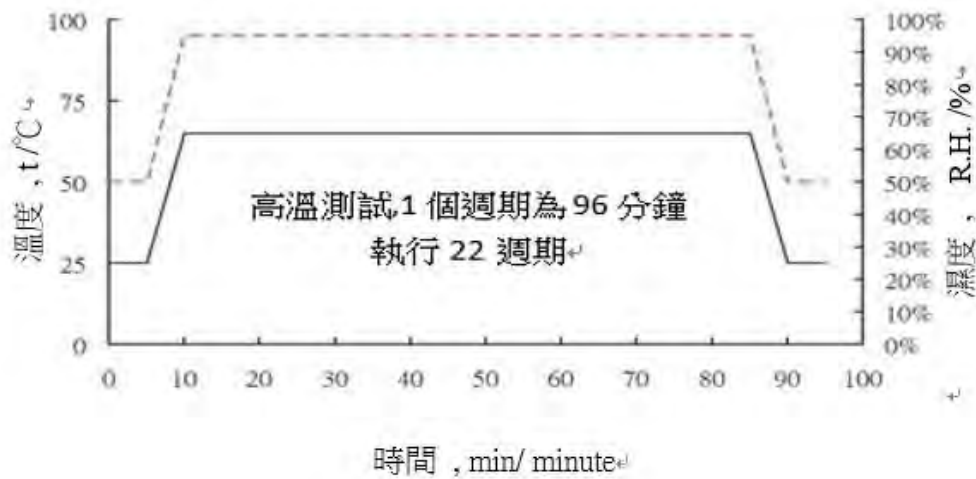


圖 12 高溫曲線

### (三) 高溫後電阻值與壓力次數之關係

將離位感應墊長時間置於其所設計之高溫測試櫃中，如圖 8(f)所示為試驗之高溫測試箱；經長時間 65°C 的高溫度作用，如圖 12 所示為高溫曲線。取出後，執行實驗方法一，受相同的壓力來回的作用，觀察電阻與壓力的兩者關係；實驗規劃的受力接觸面積為固定；實驗過程的力為 25kgf，實驗量測的次數，分別為 2000 次、2500 次、3000 次、3500 次與 4000 次；依據不同的次數，記錄電阻值的變化，且電阻變化率與不同次數之相互關係，在 Excel 軟體統計整理與比較後，繪製兩者的關係曲線，再評估離位感應墊之穩定性，最後利用顯微鏡與 SEM 電鏡觀察 4 組樣品的感應片之表面狀況。

#### (四) 感應片的表面狀況之觀察

最後觀察感應片的油墨層表面狀況；此實驗的目的，乃在觀察經長時間的壓力過程與不同溫度變化下(室溫、高溫及低溫狀況)，其感應片的油墨層是否有剝離或是脫落的可靠度問題、或是析出物散佈於彈性物的表面層。實驗過程可透過顯微鏡與 SEM 掃描式電鏡，觀測油墨層的變化，如有剝離或是脫落的表面層，其表面將產生尖狀的凸出物，該凸出物易產生異常性尖端放電。

實驗方法與步驟，乃是先完成不同溫度變化的實驗狀況，如前述室溫 25°C、低溫 0°C、與高溫 65°C，再經過固定壓力與不同次數測試(實驗設定為 2000 次、2500 次、3000 次、3500 次與 4000 次的耐壓測試)，依前述設定的實驗次數進行量測離位感應墊的實際電阻值；當完成前述所有步驟，利用圖 8(g)所示之打孔器截取 Ø12.5mm 的圓形試片，將塑膠感應試片分別鑲嵌於酚醛塑料中與貼覆於圓形不鏽鋼承座表面，觀察感應片的表面狀況；其觀察的項目包含以下幾項：

1. 將感應片的側面鑲嵌於酚醛塑料中，採用圖 8(h)所示之顯微鏡觀察油墨的厚度變化。
2. 將感應片的正面貼覆於圓形不鏽鋼承座表面，送入圖 8(i)所示之 SEM 掃描式電鏡的腔體中，進行表面粗糙度的量測與觀察感應片的表面狀況。

實驗的重點，乃在於觀察油墨的厚度變化、表面粗糙度變化與觀察有無剝離或是脫落的現象；因表面狀況的變化，將決定感應片的油墨層有無剝離現象而生成凸出的尖端物，其凸出物將會造成異常性尖端放電等問題。

#### 伍、研究結果與討論

此實驗所產生之電阻數值變化率，將可用於判斷離位感應墊承受壓力狀況下，與分別處於常(室)溫、高溫及低溫狀況下的老化情況。此老化情況的特性，可做為離位感應墊之可使用時間長短的判定與是否需要重新購買更新等；以下為所得到之電阻數值變化率與相關承受之來回壓力衝擊次數，依據所設計之多個實驗過程進行探討。實驗的最後，透過電子顯微鏡 (SEM) 觀察離位感應墊內的感應片，其表面之組織狀況 (油墨狀況)。

### 一、常(室)溫下電阻值與壓力次數之關係

圖 13 所示為一般 25°C 室溫下，受壓力作用，其電阻與次數比對的結果。此數據呈現穩定的線性反應；實驗開始前與實驗完成後，利用打孔器截取  $\text{Ø}12.5\text{mm}$  的圓形試片，將感應試片的側面鑲嵌於酚醛塑料中，採用顯微鏡觀察與量測油墨表面的厚度，如圖 14 所示為顯微鏡觀察與量測油墨表面的厚度。從圖 14(a)中，在未進行壓力實驗前，量測之油墨表面厚度為  $6.374\mu\text{m}$ ；但是在進行壓力實驗後，如圖 14(b)量測之油墨表面厚度為  $6.004\mu\text{m}$ 。也就是實驗後，其油墨表面被來回之壓力給予壓實，材料變的比較密實，但是對表面電阻影響並不大。

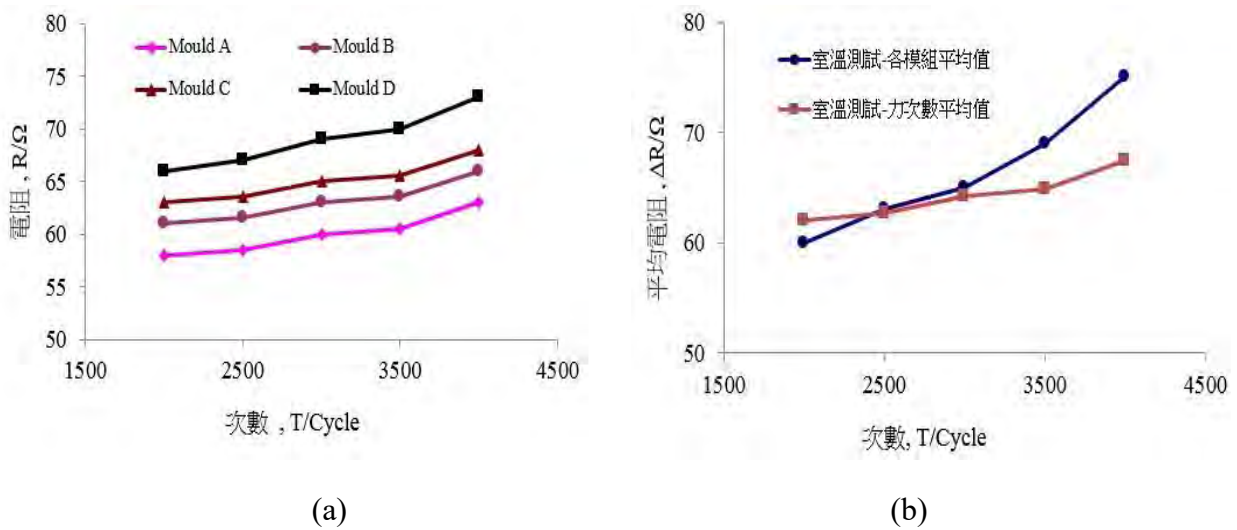


圖 13 室溫 25°C 之電阻值與壓力次數的關係

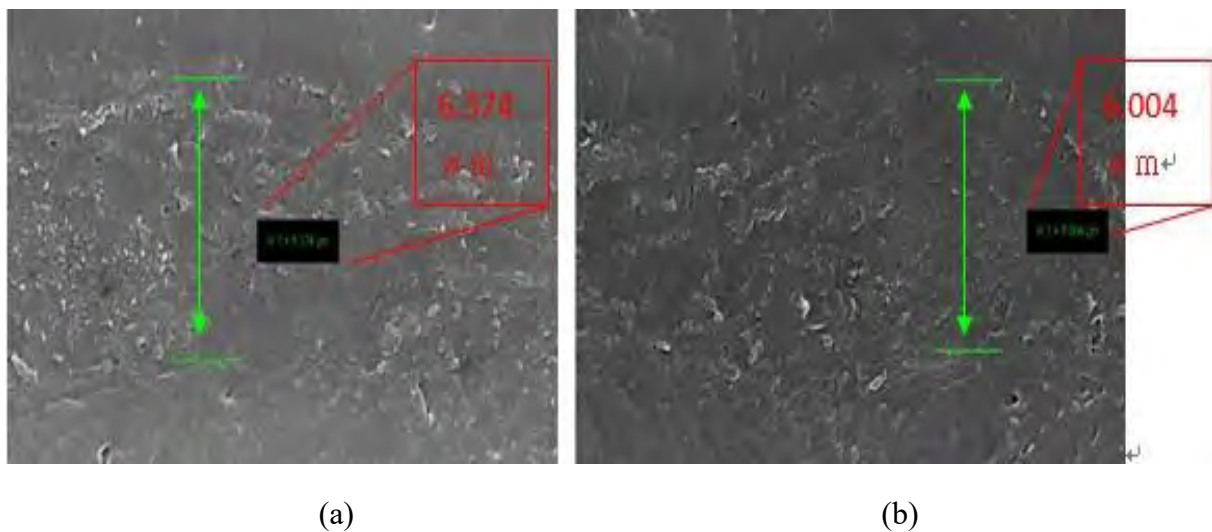


圖 14 顯微鏡量測油墨表面的厚度(a)實驗前的油墨厚度與(b)實驗後的油墨厚度

## 二、低溫後電阻值與壓力次數及表面之關係

圖 15 (a)為經低溫作用前後，承受壓力作用與平均電阻的關係，此數據為穩定的線性反應。圖 15 (b)為低溫作用後，各單一模組的電阻值與壓力的次數比較圖；各數據在 3500 次前，呈現穩定之線性反應，但模組 C 數據在 3500 次後，由  $62\Omega$  急升  $80\Omega$ ；探究變化的原因為模組 C 試片，發現微量石墨層產生『裂痕』，也就是感應薄膜之油膜開始進入『裂痕』區域，如圖 16 所示。其表面經確認，平坦無尖端凸出物，不會產生尖端放電；反之若有尖端凸出物，其表面有靜電流竄，易產生尖端放電，導致控制器誤動作或靈敏度變化之不正确反應。

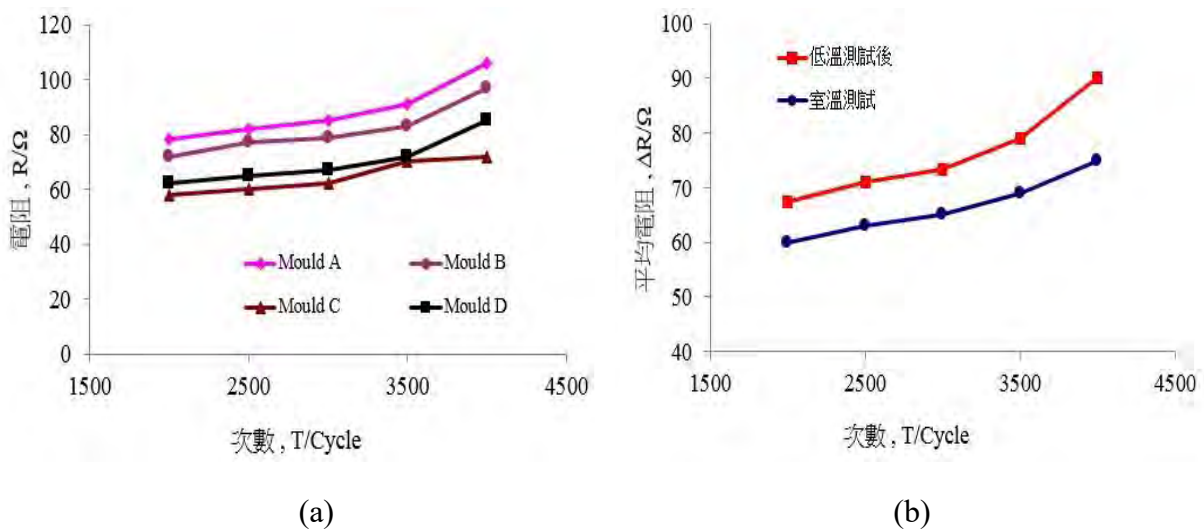


圖 15 低溫作用後壓力次數與電阻值的關係

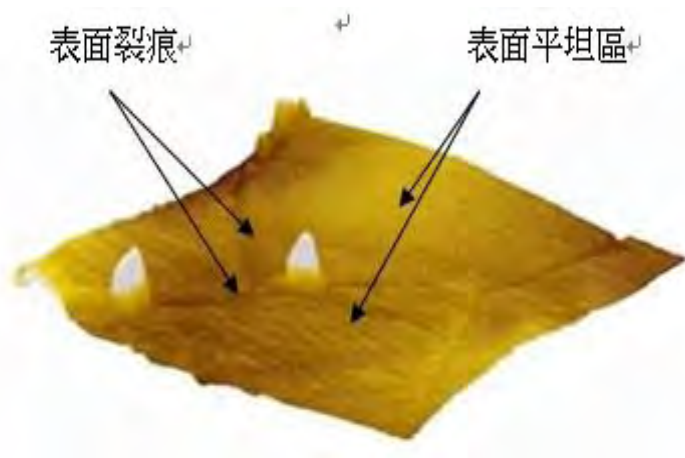


圖 16 石墨層產生『裂痕』現象



### 三、高溫後電阻值與壓力次數及表面之關係

圖 17 (a)為高溫作用前後，承受壓力作用與平均電阻的關係，數據為穩定的線性反應數據十分穩定呈線性反應。圖 17 (b)為高溫作用後，各單一模組的電阻值與壓力的次數比較圖；各模組之數據在 3000 次前，呈現穩定之線性反應，但模組 D 數據在 3500 次後，由  $62\Omega$  急升  $74\Omega$ 。探究其變化原因，為模組 D 試片發現微量石墨層『脫落』，表面有黑綠色氧化反應，如圖 18 所示。其表面經確認後，平坦無尖端凸出物，不會產生尖端放電。

實驗各模組的警示功能維持不變，因其他各模組無石墨層剝落失效之問題；此乃銀銅複合材具有高強韌性，撓性好與高抗壓性；再則製程與材料結構改變，讓樣品壽命、電氣可靠性與品質提升。

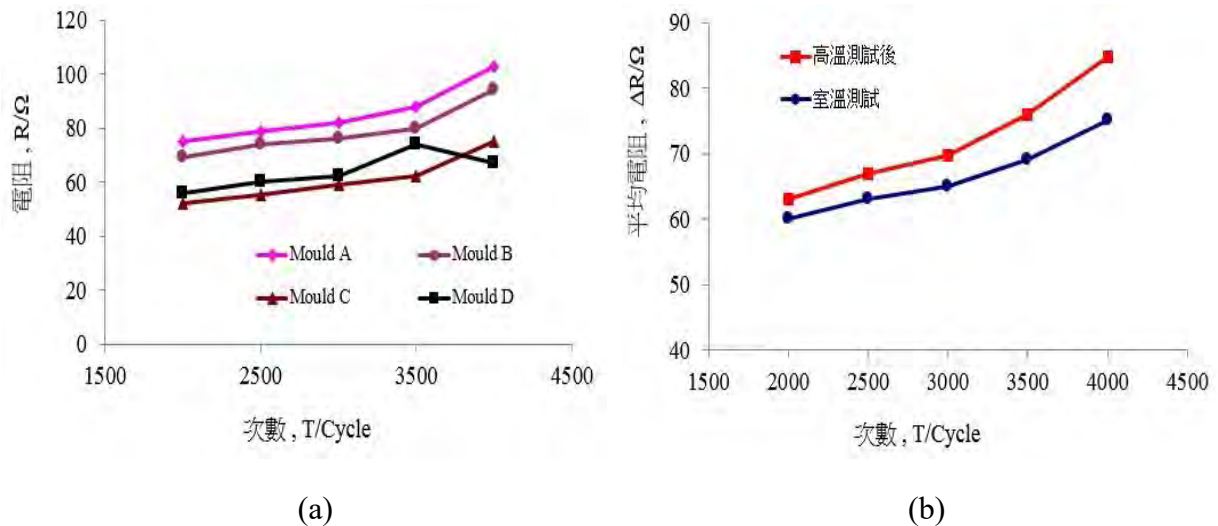


圖 17 高溫作用後壓力次數與電阻值的關係

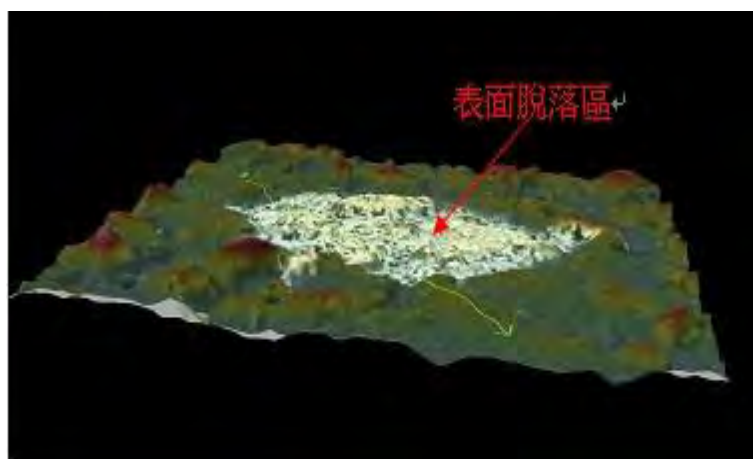


圖 18 石墨層『脫落』現象



## 陸、結論

實驗的工作在分析離位感應墊受到壓力、不同溫度下與電阻變化率的關係，利用此研究數據，觀察油墨表面層的變化。此實驗的規劃，將提供一般使用者利用簡單三用電錶量測電阻值的變化，以了解離位感應墊的使用壽命，是否需要進行更換等。

由於一般早期市售之離位壓力感應墊多為耗材品，且使用 3 個月後就因內部石墨或電阻絲的斷裂，導致使用功能的損壞；本實驗之離位感應墊，其材質改變與採用新的製造方法，將可提升離位感應墊的使用時間，其使用過程由原先的 3 個月加長到 12 個月（非褥瘡型病人可使用），藉此改變大眾對離位感應墊為耗材的看法；而且利用電阻值的變化率，觀察油墨層表面的狀況，可了解因環境與外力變化，所造成的破壞與加速生成的時間。

此電阻變化率數據，未來將可再次簡化離位感應墊之圖形的設計與製程；透過實驗可證實離位感應墊的電阻值，承受到來回性壓力之大小的影響，分別存在著線性正比的關係。

進一步由不同的溫度中(常溫、低溫與高溫狀況下)，觀察到離位感應墊(感應片)的表面層變化，由實驗方法 2，分別觀察在承受壓力（耐壓測試）後，於 3500 次開始出現輕微的裂痕（裂紋擴展區），如圖 16 所示；但其警示的傳導功能，並不受其影響。由實驗方法 3，因離位感應墊受到更嚴格的高溫衝擊與耐壓測試，其離位感應墊(感應薄膜)表面層於 3500 次開始出現輕微的剝離與脫落，如圖 18 所示。最後，整理所有的實驗結果，得到離位感應墊的使用次數與穩定性，不會因石墨的剝離與『脫落』導致其傳導性喪失，且可於短時間內穩定下來。再者沒有發生因離位感應墊材料彈性疲乏，而造成結構上失效模式的問題產生，如接觸點無法順利回彈等...

未來此實驗工作，將結合其他不同功能，如與床罩、地墊、光電感測...等產品整合，進行更多的反應測試，並實驗證明離位感測墊的成效。期待，此離位感應墊的實驗結果，可提供與建立一個完整無察覺式就位/離位與睡眠監測系統，未來還可提供睡眠障礙患者和高齡者更好的居家健康管理與照護服務。

## 致謝

感謝協助與幫忙此次製作樣品的叔叔與阿姨們，讓此次科展實驗工作可以順利在 9 月~12 月之間順利快速的進行(1 月~2 月進行實驗的補強實驗)，更感謝借用機器之廠商與研究單位。

## 柒、參考文獻

- [1] Council for Economic Planning and Development, Executive Yuan, 2010, “Population projection for R.O.C.(Taiwan’s):2010 ~ 2060. Retrieved October 4, 2012.
- [2] <http://statis.moi.gov.tw/micst/>
- [3] Ministry of Health and Welfare, Executive Yuan, 2012, “Establishment Standards of Senior Citizens’ Welfare Institutions. Retrieved December 3, 2012.
- [4] De Rossi, D.; Carpi, F.; Lorussi, F.; Mazzoldi, A.; Scilingo, E.P., Tognetti, A.; 2002, “Electroactive Fabrics for Distributed, Conformable and Interactive Systems”, Sensors. Proceedings of IEEE, v. 2, pp. 1608-1613.
- [5] Pacelli, M., Loriga, G., Taccini, N., Paradiso, R., 2006, “Sensing fabrics for monitoring physiological and biomechanical variables: E-textile solutions.” In: Proceeding of the 3rd IEEE EMBS international summer school and symposium on medical devices and biosensors, Boston, MA.
- [6] Cheng, C. M., Hsu, Y. L., Young, C. M., 2008, “Development of a portable device for tele-monitoring of physical activities during sleep,” Telemedicine and e-Health, v. 14, n. 10, pp. 1044-1056.
- [7] Lokavee, S., Watthanawisuth, N., Mensing, J.P., Kerdcharoen, T. (2012). Sensor pillow system: Monitoring cardio-respiratory and posture movements during sleep. Proceedings of Biomedical Engineering International Conference (BMEiCON); Chiangmai, Thailand, 29–31 January 2012; pp. 71–75.
- [8] Yuan-ke Wu, Jia-zhe Xu and Yeh-Liang Hsu (2009), “The design, development and application of bed-movement / sleep sensor” Master thesis, Yuan Ze University .
- [9] Tsu-Wei Chen,(2013), “Development and Commercialization of a Motion-Sensing Mattress Applied in Home Environment” Master thesis, Yuan Ze University.
- [10] <http://terms.naer.edu.tw/detail/940725/>
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/Thixotropy>
- [12] <https://zh.wikipedia.org/wiki/歐姆定律>
- [13] <https://zh.wikipedia.org/wiki/潛變>

## 【評語】 030814

1. 讓參與學生了解到離位感應墊於不同的溫度、力及電阻三者之間的破壞關係。
2. 應可另探討其他原理之感應方法。
3. 本研究主要是探討離位感應墊在不同的溫度下，壓力與電阻之影響關係，期能對居家與老人照護應用時有所貢獻。
4. 由於關鍵的離位感應墊與離位控制器均委外製作、衝擊模擬器與高溫測試箱也均委外製作，另還用到了大型借用的拉伸試驗機與掃描式電子顯微鏡（SEM）等，因此不易呈顯其主要貢獻。關鍵的組件宜以自製為主，分析亦宜以容易掌控者為佳。
5. 研究有趣。
6. 研究的用意很好，但抓不住重點，僅止於舒服？
7. 分析計量太多，應有重點分析？
8. 進行有關「長照」的研究，創意頗佳。
9. 離位墊使用次數會破壞內部結構，增加電阻，本實驗較少人探討，研究動機很有創意。
10. 使用壓力測試設備分析離位感應器壽命，並用顯微鏡觀察。
11. 委託製作的壓力感測器規格沒有解釋清楚。

## 作品海報



# 摘要

隨著人口老化比例逐漸上升，高齡者照護機構需求增加，但照護人員的數量卻不足夠；因此被照護者的服務及居家品質，已受到民眾的重視；實驗的內容為了解壓力、溫度(室溫、高溫及低溫狀況下)與電阻三者之間對離位感應墊(簡稱感應墊)的關係；最後利用電鏡 (SEM) 觀察離位感應墊之感應片表面的組織 (油墨) 變化；此實驗結果讓吾組了解到離位感應墊、於不同的溫度、壓力及電阻之間的破壞關係。

此實驗成果，將可提供做為照護機構使用離位感應墊之可用壽命 (時間) 的參考值，對於目前的被照護者、高齡者或有睡眠障礙者，提供好的居家健康管理與照護服務，減輕照護人員的工作壓力；期望未來可偵測到身體壓力的分佈、呼吸訊號的量測及睡眠品質的評估等...

## 一、研究目的與動機

人口老化的問題愈來愈嚴重，依人口統計評估至2060年，平均每位照護人員，所須服務的被照護者，由原來的4位增加為6~8位，所以我們想要藉由這次的實驗來減少因照護人力不足所造成的問題。

為了解決問題，我們到醫院做實際訪視，但根據照護人員所說，用來監控病人的離位感應墊多為耗材品，不但價格高並且使用壽命低，大約三個月後，就要進行更換的動作，讓許多家屬和醫護人員感到頭痛，所以我們就針對離位感應墊進行了一連串的實驗，目的就是為了塑造一個能改變大家的觀念，還能廣受醫療機構和民間喜愛的好產品！

## 二、離位感應墊的原理

離位感應器與感應墊的工作原理，乃將感應墊置於床面上方或下方。使用者未躺置於床墊時，控制器之警示系統鳴叫；反之使用者躺置於床墊時，即啟動感應墊之觸發訊號功能，控制器之警示系統關閉，病人、兒童或老人如由病床上離開、跌落，即立刻發出警告鈴聲求援(作動原理與流程圖為一般的電阻式之on/off感應器)，如圖1所示。如圖2為離位感應墊置放方式，圖3所示接觸與非接觸狀態。

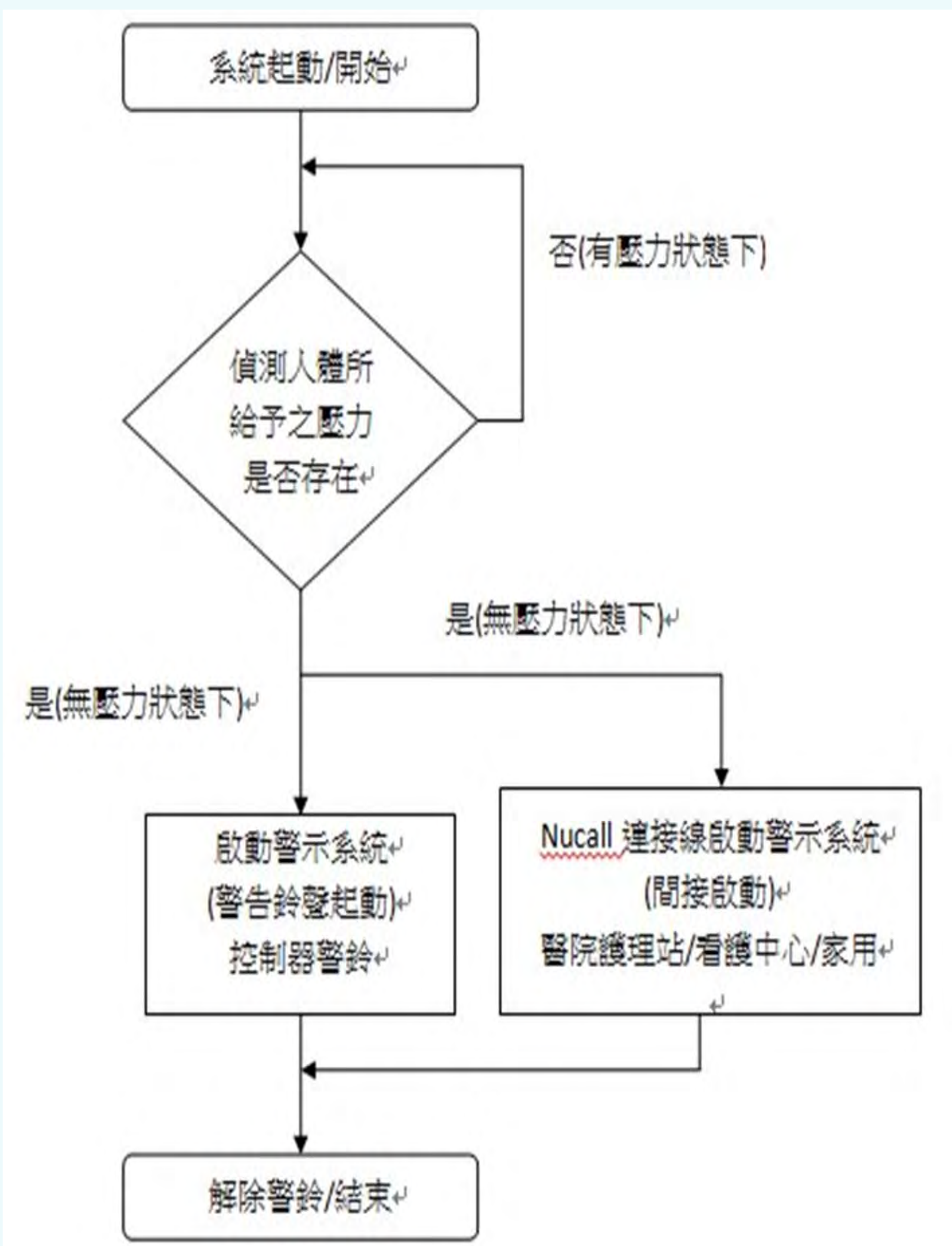


圖1 離位感應墊的啟動流程圖

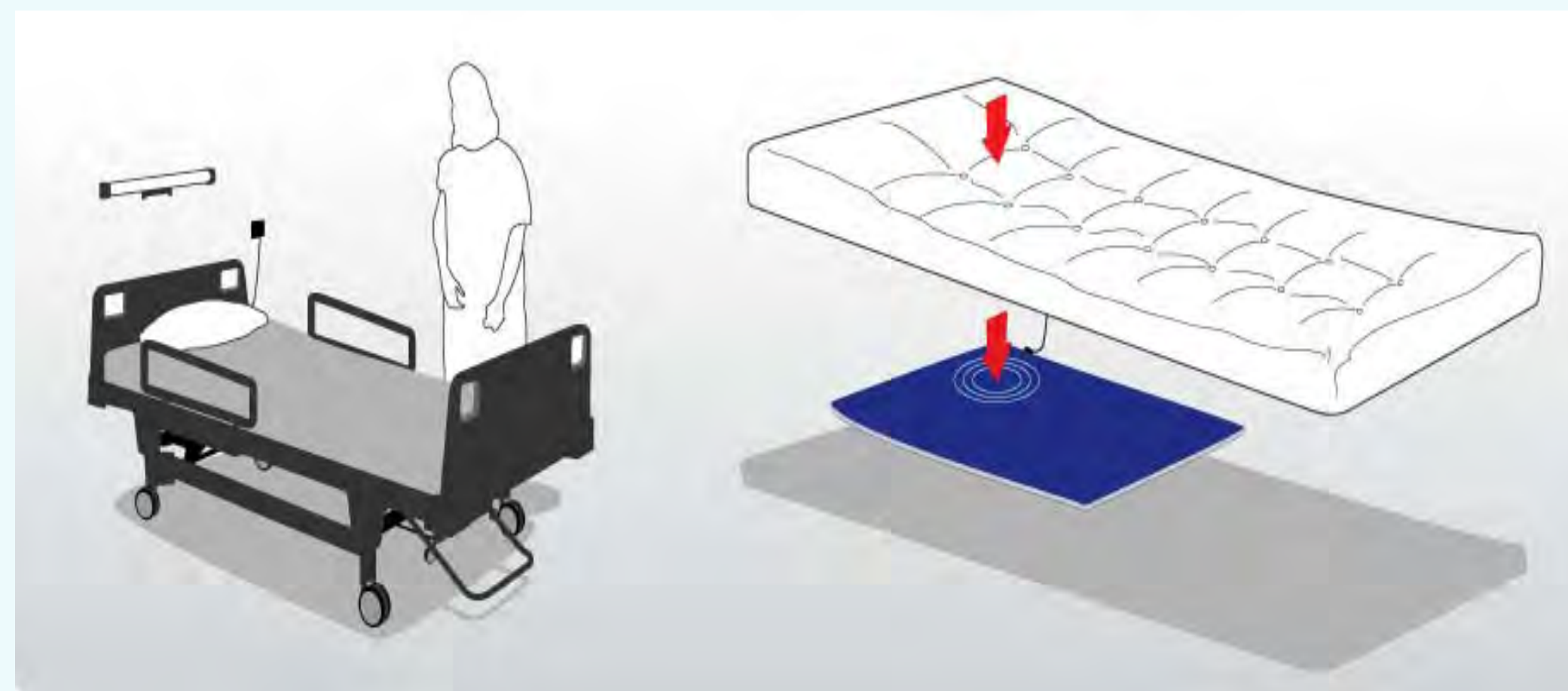


圖2 所示離位感應墊置放方式

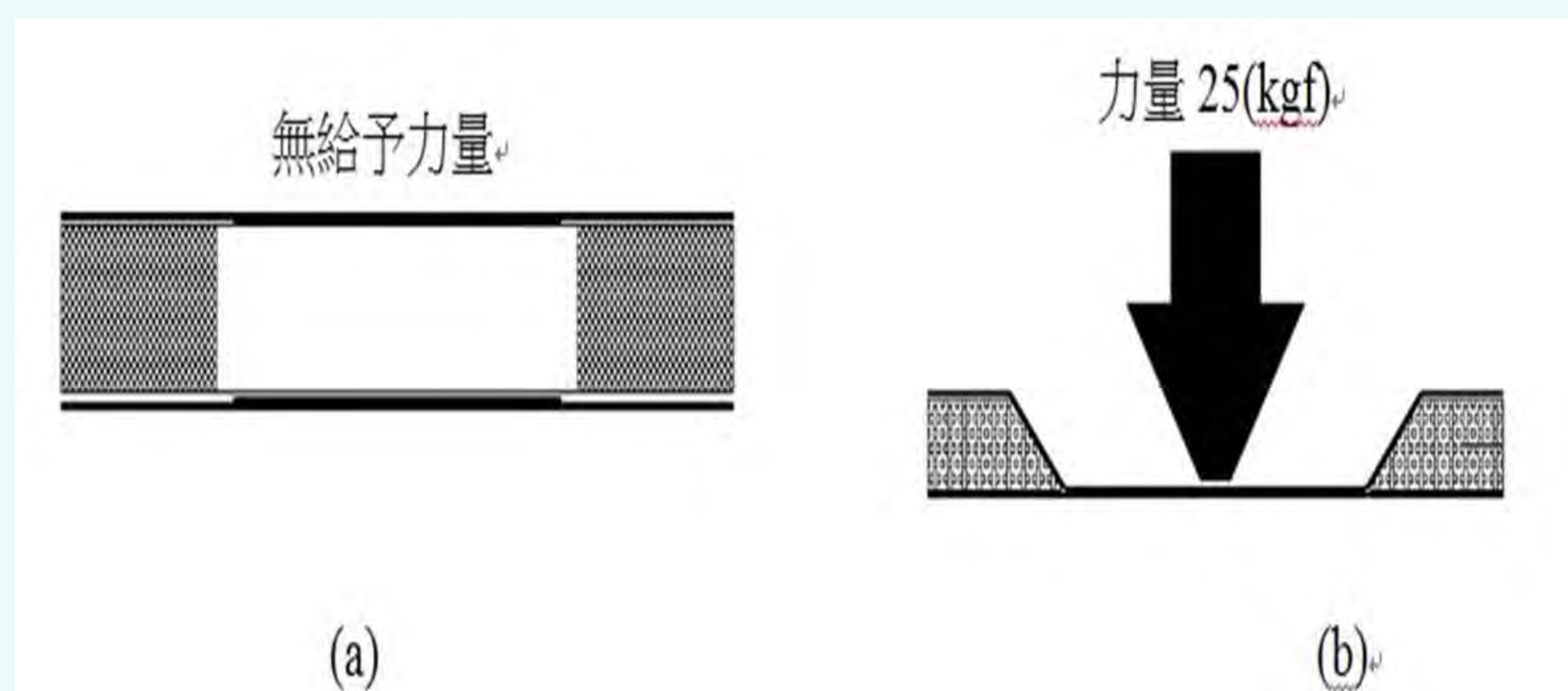


圖3 接觸與非接觸狀態

## 歐姆定律

西元1825~1826年，德國物理學家歐姆經由電路的實驗發現，在相同的溫度下，元件的端電壓(V)與電流(I)及元件的電阻(R)，三者之間存在一線性關係；如公式(1)、(2)所示。

$$V=I \times R \quad (1)$$

$$P=V \times I=V \times (V/R)=V^2/R \quad (2)$$

在任何物體中，阻止電荷流動的力量，稱「電阻」，符號為R，單位為歐姆 (ohm)，符號為Ω；任何材料均有電阻，只是大小不同而已。影響電阻的因素有下列五項，且第1項~第3項，如公式3所示之關係：

- (1) 截面積(A)：電流流經物體時，該物體的截面大小；R與A成反比。
- (2) 長度(L)：電流流入到流出物體的距離R與L成正比。
- (3) 電阻係數(P)：物體材質的特性；R與P成正比。
- (4) 溫度(T)：金屬導體的電阻也和溫度關，溫度增加時，電阻隨之增大。
- (5) 材料的老化也會影響電阻的增減等...

$$R=\rho \times (L/A) \quad (3)$$

## 三、實驗設備與工具





## 四、自製離位感應墊的構造

圖4所示為網版印刷所製成的感應導電片(簡稱感應片)，此感應片與控制裝置組合，且由控制裝置供應微小電流(120~150 $\mu$ A)；當上/下感應片相互接觸或分離時，其電阻將發生變化，達成所需求之功能；感應片的表面，利用網版印刷的方式，所製造之薄膜電路技術；成品的結構，乃是利用『三明治結構』的方式呈現，中層為特殊彈性體，具有可撓性與好彈性；成品的最外層皮料為親膚性材質，如圖5為感應墊內部結構之示意圖；圖6所示為長45cm、寬30cm與厚6mm~6.5mm的樣品。

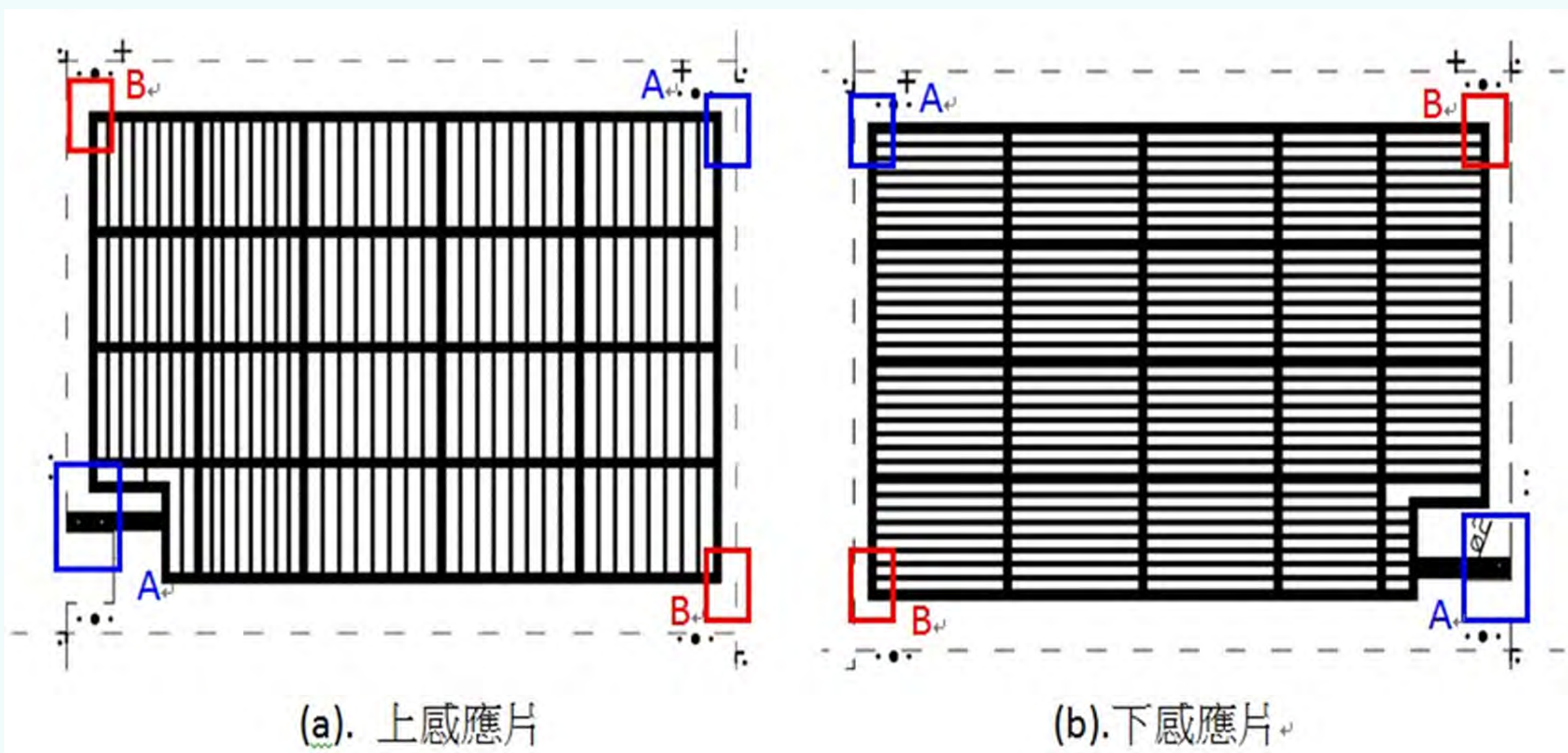


圖4 網版印刷之(a)上感應片和(b)下感應片

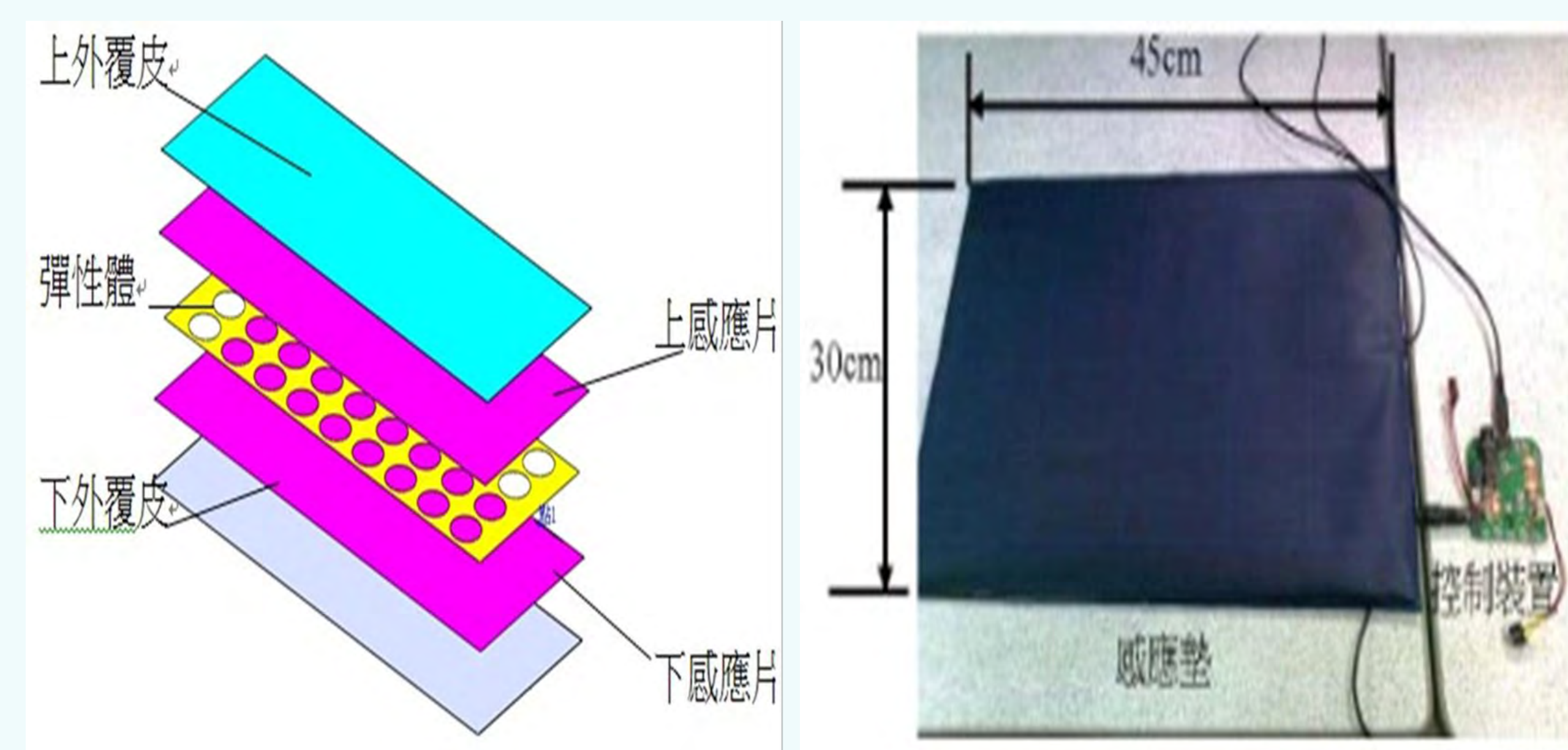


圖5感應墊內部結構

圖6離位感應墊樣品

### 觸變現象

感應導電片於網印製乾燥後，中間會微微下沉的情形。其厚度控制在4.5 $\mu$ m~6.5 $\mu$ m之間

，如圖7所示，感應片的導電網印材料為銀+銅之複合材，具電荷高速傳導與耐韌性，此層採用網印的方式將石墨覆蓋於其上，防止氧化反應與抵抗破壞...等。前述原理為自由電荷於下層通道高速傳導或加速移動提高反應靈敏度。

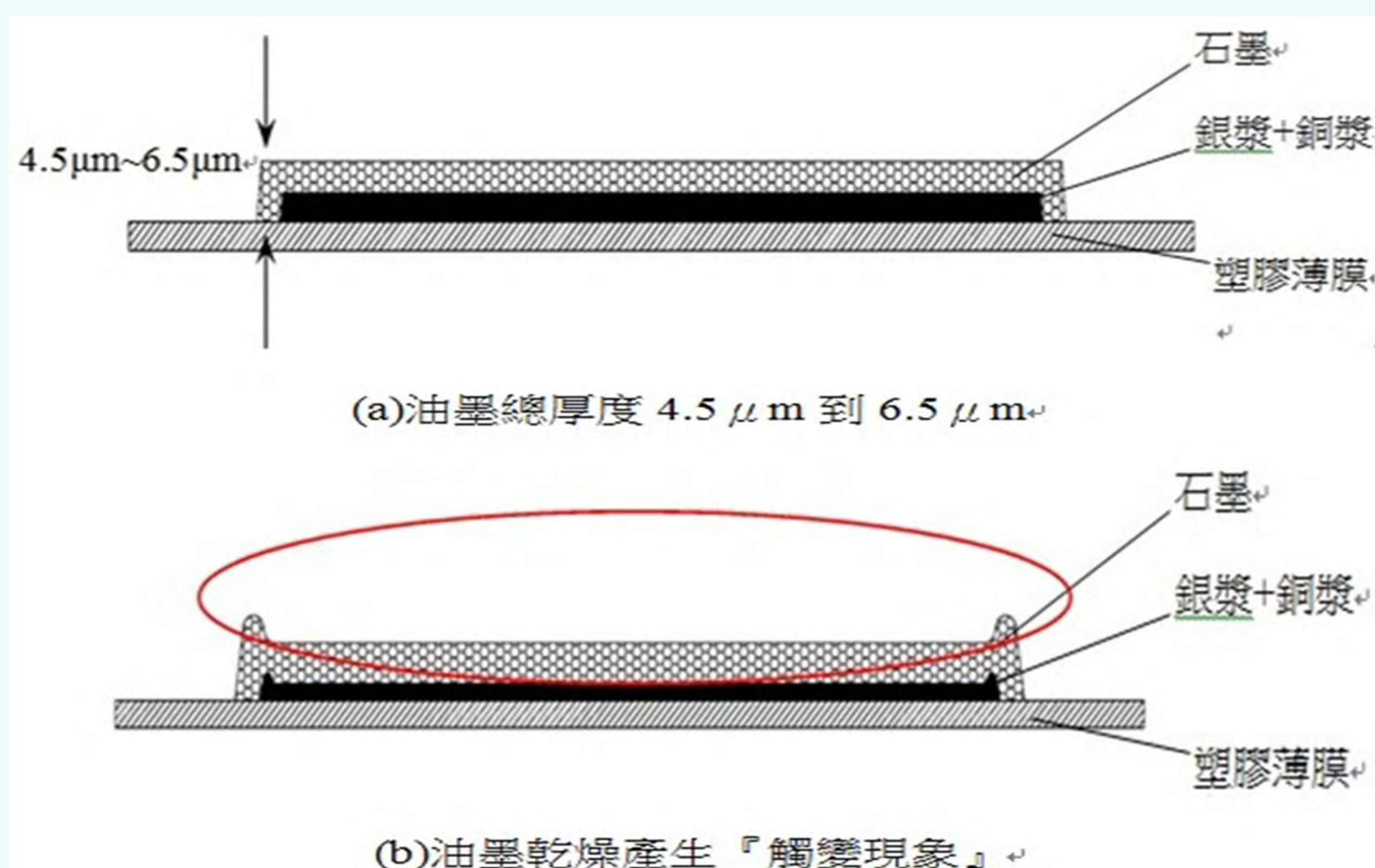


圖7 (a).為無觸變現象與(b).為觸變現象

## 五、研究方法

我們先改變感應墊內部的材質，在經過實驗過程，將其感應墊受壓力、溫度(室溫、高溫及低溫狀況下)與電阻之間的關係與特性；實驗分別設計三個實驗過程來進行探討；最後，利用電子顯微鏡(SEM)，觀察感應墊之感應片的表面之組織狀況(油墨狀況)；利用實驗前後的變化，吾組研究其壓力、溫度與電阻三者間關係。

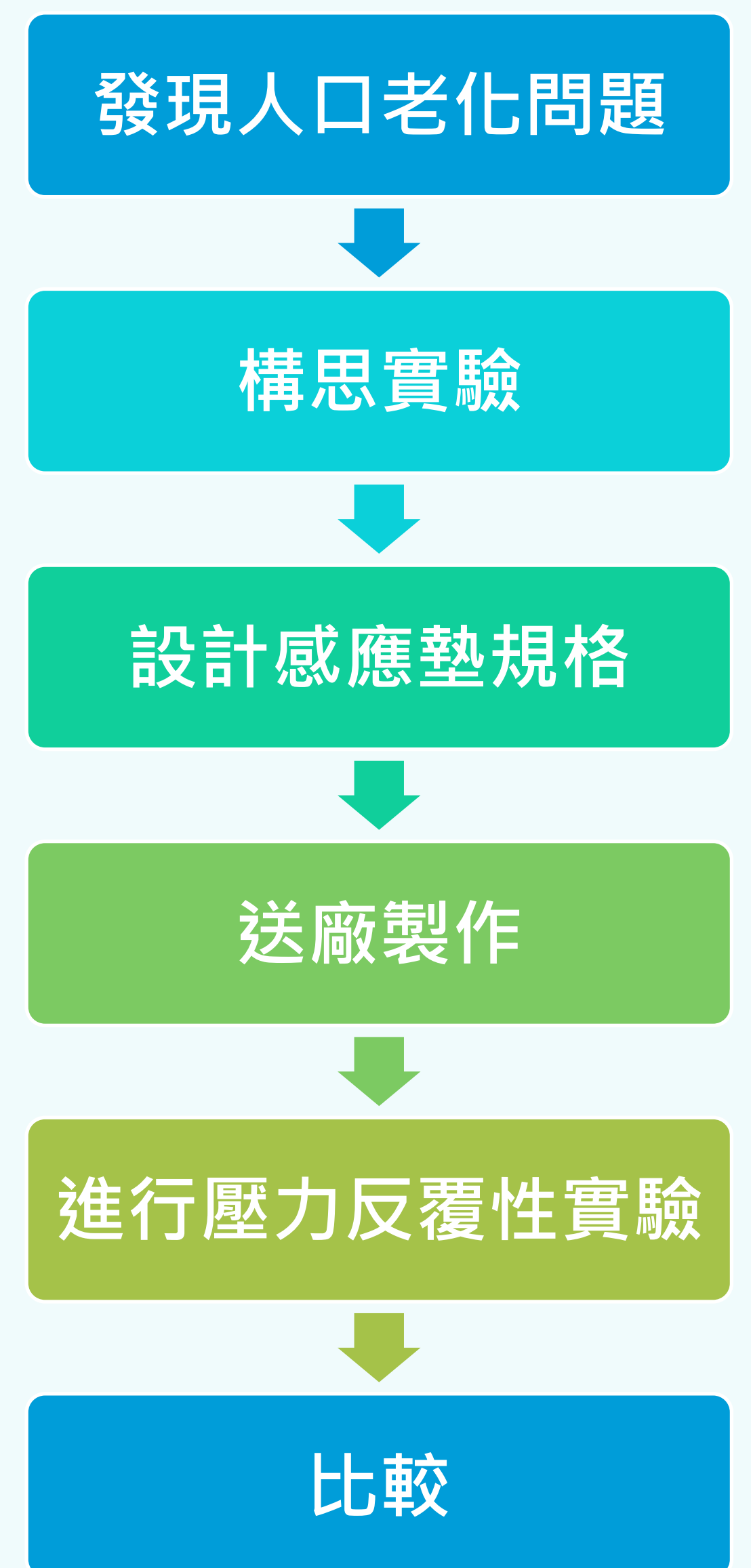


圖8 研究架構

### (一)細節說明

將感應墊置於實驗平台上，受力面積固定，經長時間與不同溫度(常溫、低溫與高溫)，相同壓力來回作用(力25kgf)；實驗量測的反覆次數，分別為2000次、2500次、3000次、3500次與4000次；依據不同的次數，記錄電阻值的變化，將電阻變化率與不同次數之相互關係，在Excel軟體統計整理與比較，並繪製兩者的關係曲線，做為感應墊之穩定性評估基礎；實驗樣品分為4組樣品，分別為Mould A ~ Mould D，將此4組實驗結果呈現出來。

### (二)實驗觀察

(a).觀察方法1: 將 $\Phi$  12.5mm的感應試片側面，鑲嵌於酚醛塑料中，採用顯微鏡觀察，觀察油墨的厚度變化。

(b).觀察方法2: 將 $\Phi$  12.5mm的感應試片之正面貼覆於圓形不鏽鋼承座的表面，並送入掃描式電鏡的腔體中，進行表面粗糙度的量測與觀察感應試片的表面狀況。

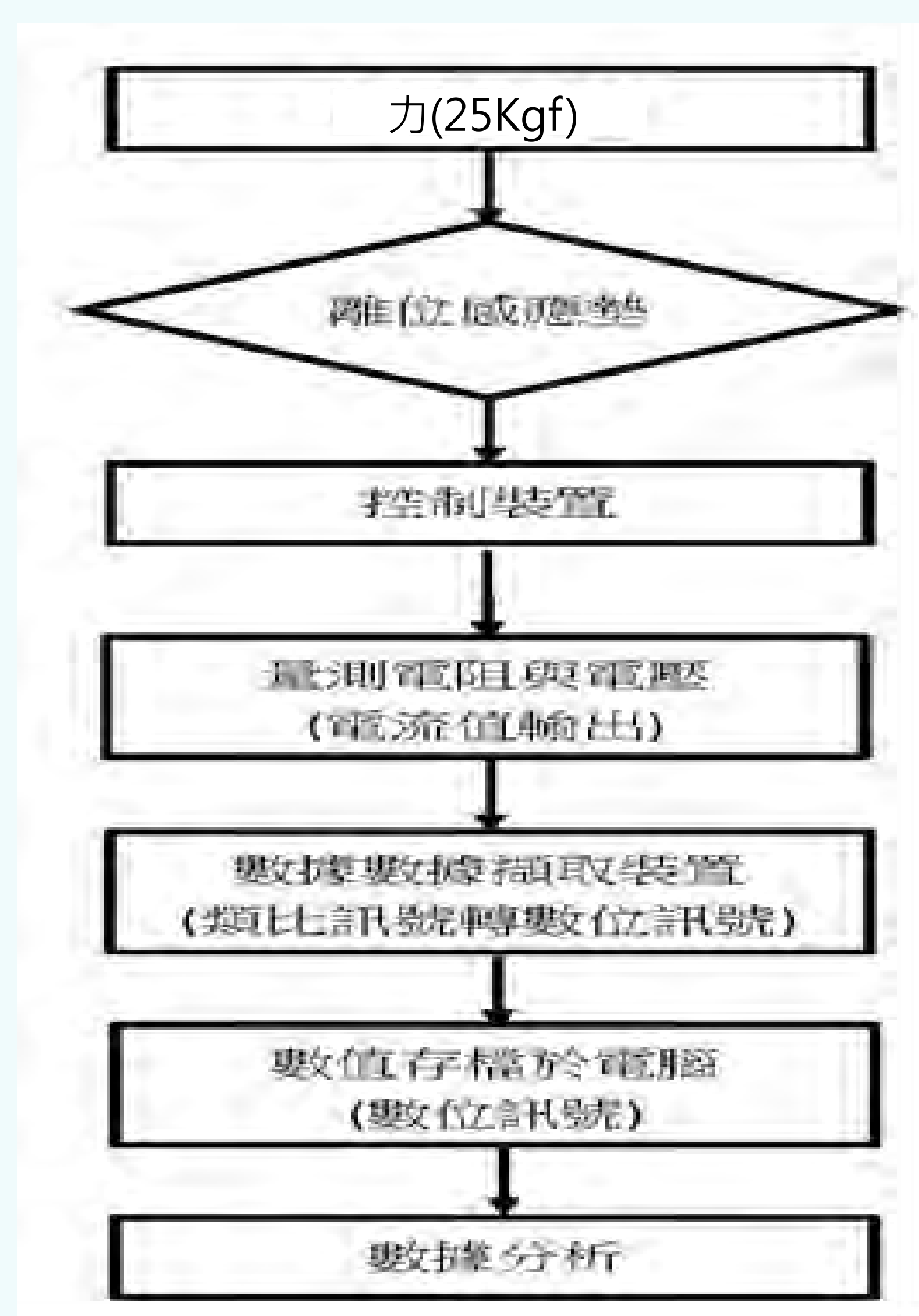


圖9 實驗方法與流程圖



## 六、實驗結果

### 實驗方法1(常溫)結果:

固定常(室)溫 $25^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，觀察電阻值與力的關係。

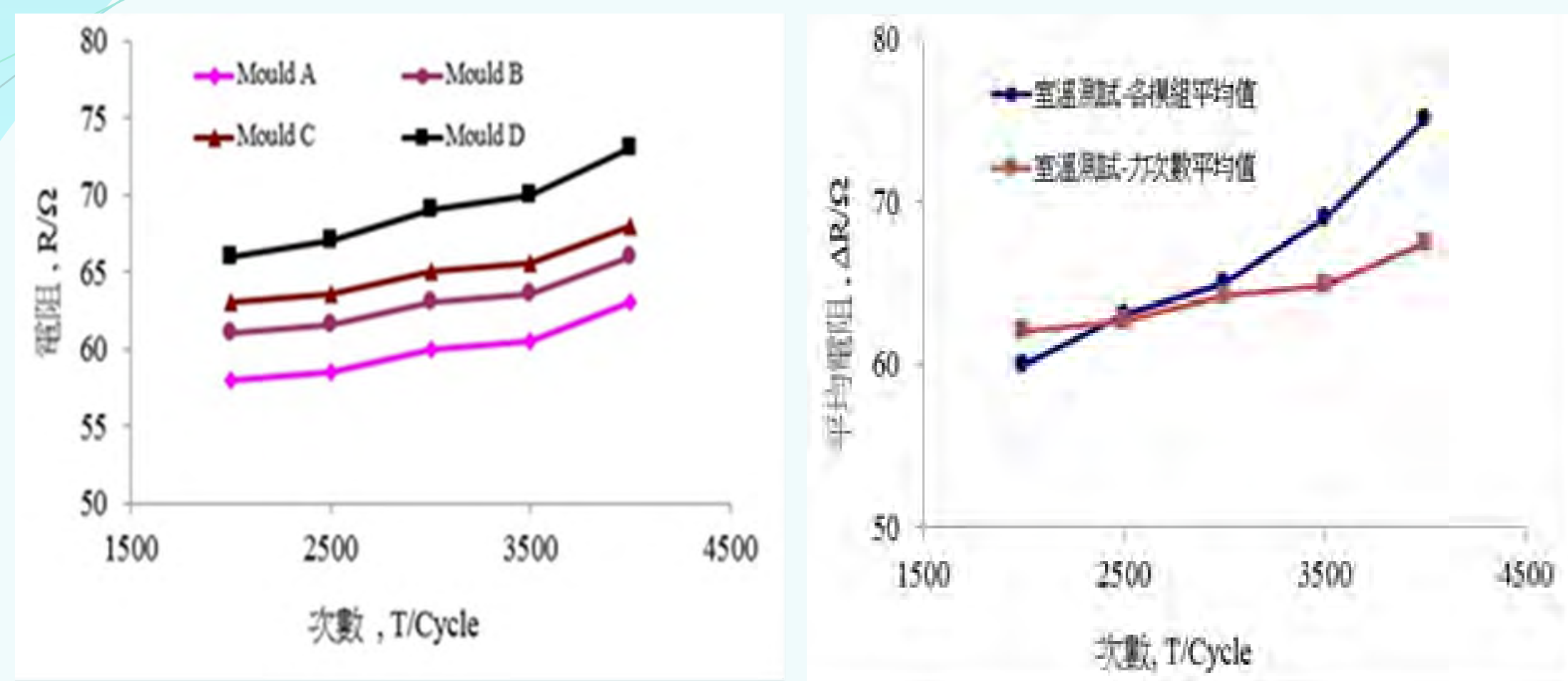


圖10 為常(室)溫 $25^{\circ}\text{C}$ 下樣品受壓力後電阻與次數的比對圖。

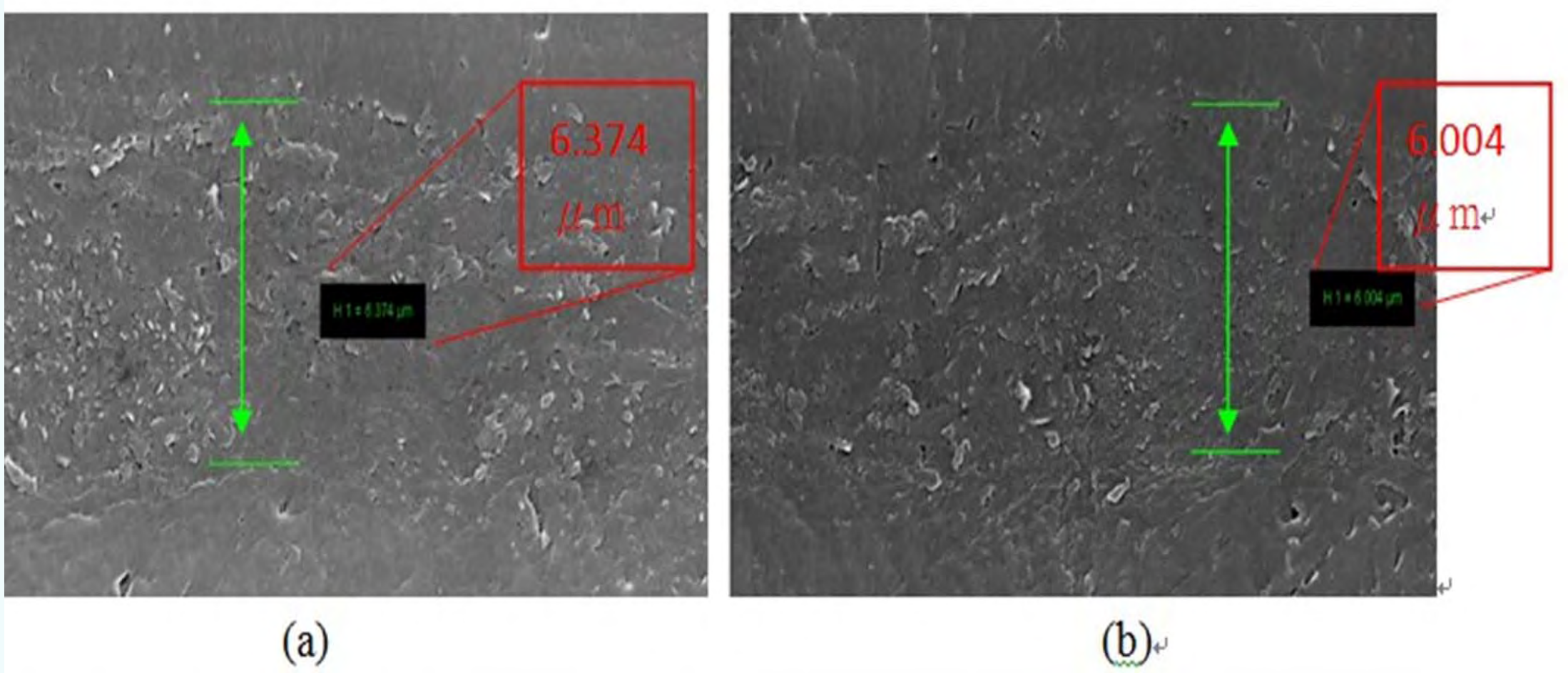


圖11 顯微鏡量測之油墨表面厚度

圖11(a)所示，在常溫下未進行壓力的實驗前，所量測之油墨表面厚度為 $6.374\mu\text{m}$ ；經過反覆性壓力實驗後，如(b)再進行量測後，油墨表面厚度為 $6.004\mu\text{m}$ 。由結果顯示，其油墨表面被反覆性的壓力給予壓實，其材料變密實，但對表面電阻影響並不大。

### 實驗方法2(低溫)的結果:

固定低溫 $0^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，觀察電阻值與力的關係。

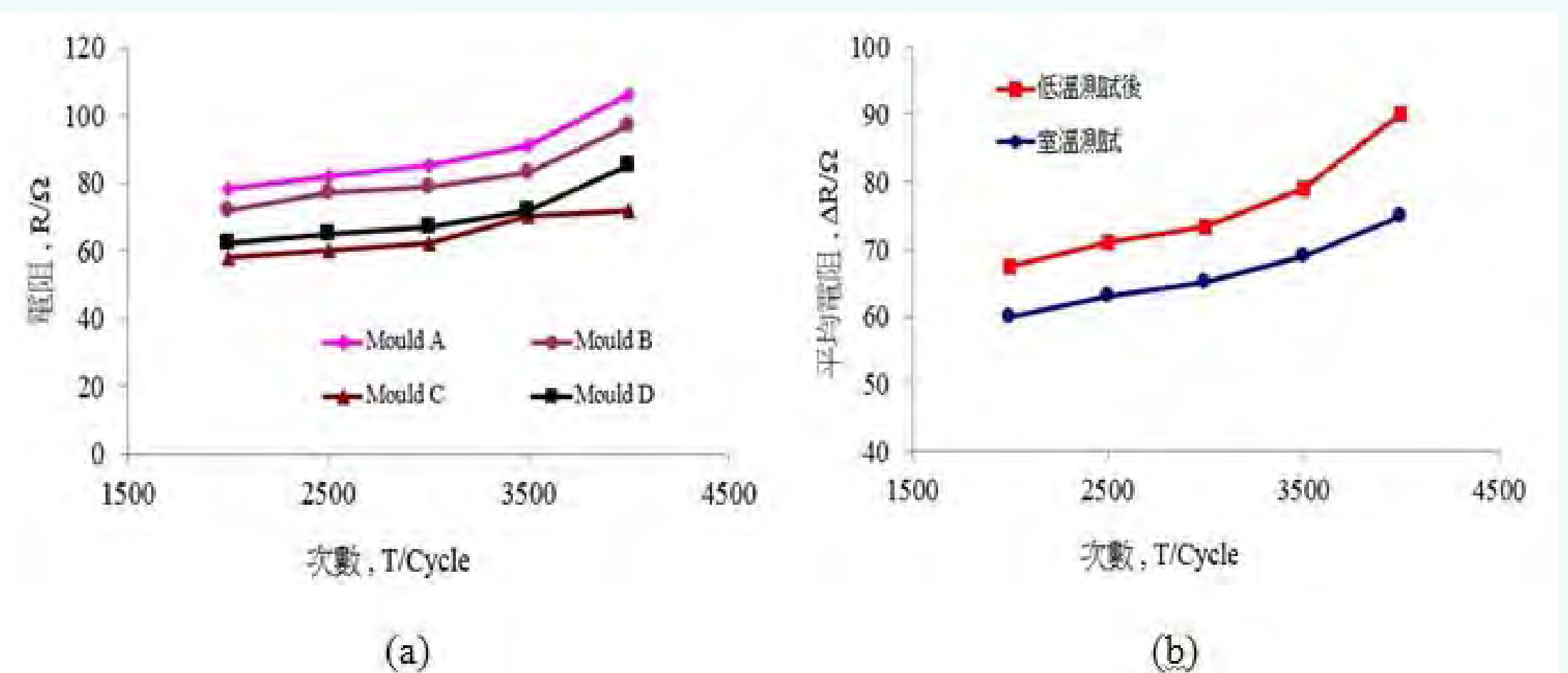


圖12 低溫作用後壓力次數與電阻值的關係

如圖12所示，經低溫過程後，在利用壓力(耐壓)測試的過程，Mould C在3500次時，電阻值微小上移，實驗後透過電鏡觀察到輕微的裂痕(裂紋擴展區)，如圖14所示，但其警示的傳導功能，並不受其影響。

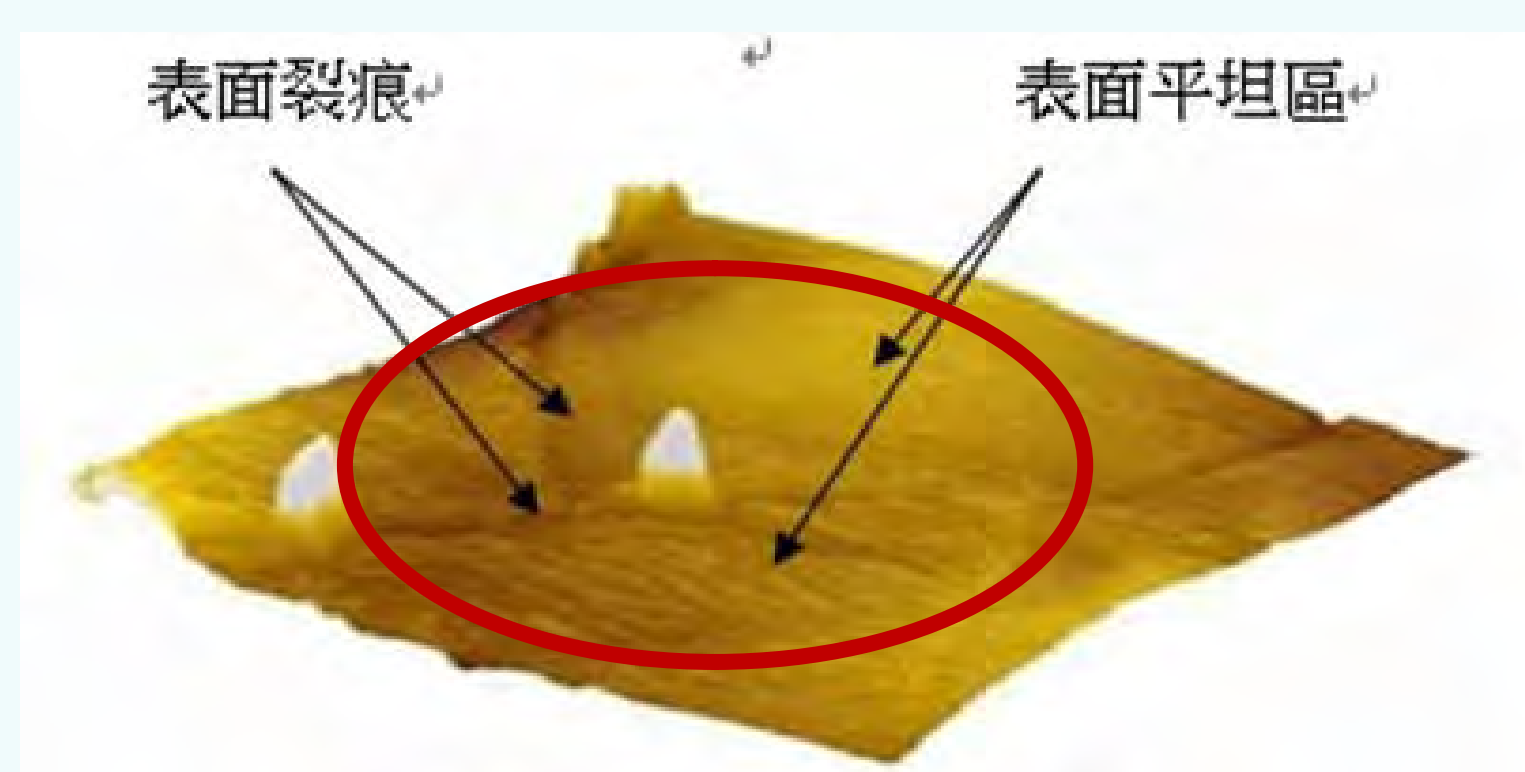


圖13 石墨層產生『裂痕』現象

### 致謝

感謝協助此次實驗的叔叔與阿姨們、讓此次科展工作可順利在9月~11月之間順利進行，更感謝借用機器之廠商與研究單位。

### 實驗方法3(高溫)結果:

固定高溫 $70^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，觀察電阻值與力的關係。

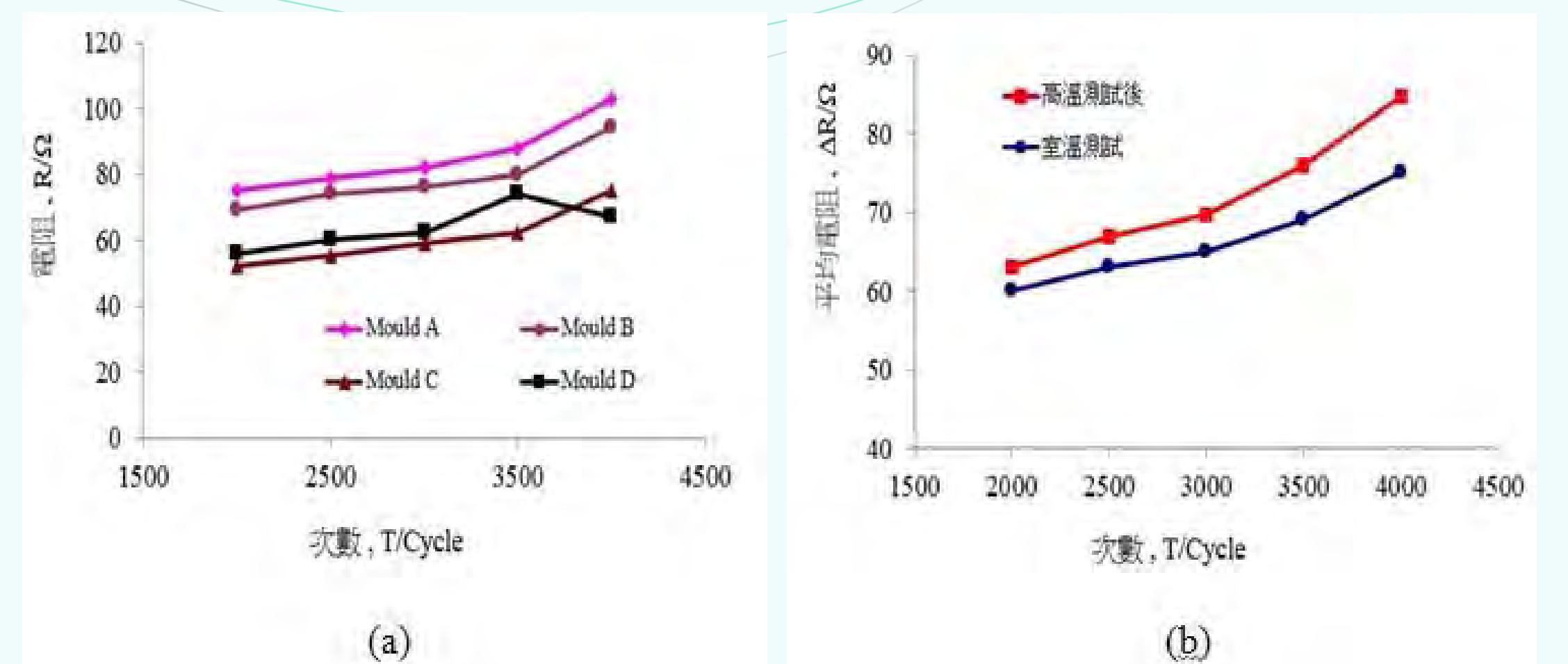


圖14 高溫作用後壓力次數與電阻值的關係

經過高溫過程，加上壓力(耐壓)測試後，Mould D在3500次時電阻值大幅上移，實驗後利用電鏡觀察到石墨層『脫落』，導致其傳導性微弱喪失，但可於短時間內穩定下來，如圖15所示；前述三項實驗過程，其感應墊的都沒有發生材料彈性疲乏，且無造成結構上失效模式的問題產生，如接觸點無法順利回彈等。



圖15 石墨層產生『脫落』現象

## 七、結論

1. 我們根據訪視，成功的將市售的離位感應墊改良，將其中的彈性體厚度、內部材質和電阻絲調整，把我們的感應墊塑身成廣受醫療機構和民間喜愛的好產品。
2. 根據實驗結果，自製的離位感應墊，可在低溫 $0^{\circ}\text{C}$ 、常溫 $25^{\circ}\text{C}$ 和高溫 $70^{\circ}\text{C}$ 的環境下品質均可較市售佳。
3. 市售的離位感應墊多為耗材品，可使用的時間為3個月左右，但經過我們的改良式製程與驗證方式後，將使用壽命從原來的3個月為提升到12個月，並改變民眾對離位感應墊為耗材品的觀念。
4. 經過改良後，由於離位感應墊的構造與材質改變後，所以價格降低。
5. 我們自製的離位感應墊不僅提供完整的睡眠監測系統，還提供睡眠障礙患者和高齡者更好的居家健康管理與照護服務。

## 八、參考文獻

- [1]. 『2010年至2060年人口推計』中華民國行政院國家發展委員會發行。
- [2]. <http://terms.naer.edu.tw/detail/940725/>
- [3]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Thixotropy>
- [4]. <https://zh.wikipedia.org/wiki/歐姆定律>