

第四屆旺宏科學獎
成果報告書

參賽編號：SA4-343

作品名稱：薄膜測厚儀

姓名：陳永介

關鍵字：薄膜，測厚，氣泡

壹、摘要

本研究將噴出空氣的針頭靠近障礙物產生的微壓，來調控管線系統中的壓力大小，最大約可增至 400Pa，此方法可達到很精準的微壓控制。用這樣的方法改良傳統的螺旋測微器，擴大它的樣品適用範圍，進而量測軟性物質的厚度，例如薄膜，我們將增加的壓力導入氣泡指示計，並定義管口產生半顆氣泡時，物體與針頭是為最適當距離，讀取測微器刻度，扣掉空隙部份，即可求得未破壞前的薄膜厚度。

貳、研究動機

傳統的測厚裝置常侷限於硬性物質，如果要測量軟性物質，例如葉子的表皮細胞，則會因為接觸時產生的形變，使得到的數據非原來物質的厚度，這時候傳統測具就不適用了，因此如何降低形變程度是測量軟物質的一大課題。

參、研究目的

- 螺旋測微器的使用方法
- 自製機械與改良
- 用蓋玻片做為標準片來校正
- 探討針頭距離物體與生成泡的關係
- 利用針頭靠近障礙物時產生的微壓來微調氣泡的大小

肆、文獻探討

(一) 表面張力

液體表面上對每單位長度所呈現的張力。

$$\gamma = \frac{F}{L}$$

γ 為表面張力，單位：牛頓/公尺(N/m)

F 為液面邊緣所受的垂直拉力，單位：牛頓

L 為表面張力實際作用的長度，單位：公尺

(二) 雷諾數

雷諾(Reynolds)曾經做過一連串的實驗，他發現圓管中流體欲形成穩定的層流必須流速低而口徑小，他定義一個無因次的物理量

$$N_R = \frac{\rho v D}{\eta}$$

其中 D 為圓管直徑，當 N_R 小於 2000 時管中液體可以形成穩定層流，而若 $N_R > 4000$ 則必然形成亂流，所以做黏度實驗時(特別是低黏度液體時)，必須盡量降低流速與管徑使雷諾數 $N_R < 2000$ ，以確保管中流體為穩定層流。

(三) 接口效應

在容器或粗管與細管入口〔或出口〕接續時因管徑忽然變窄(或變寬)，流體的速度分佈必須進入管口一段距離才能逐漸穩定而形成層流，

$$\frac{L_e}{D} = 0.035 \frac{\rho v D}{\eta} = 0.035 N_R$$

由此式知 eL 與 $2D$ 成比例，所以降低管徑就能有效降低此段非穩流的過度長度。

另外如果選擇較長(長度 L)的細管來做實驗，當 $L \gg eL$ 時(L 至少需為 eL 的 50 倍以上)通常則可以忽略接口效應的影響了。

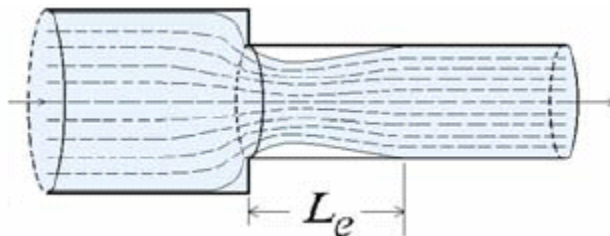


圖 1

(四) 氣泡指示膜厚儀運作原理

當我們用針頭將氣體射向物體時，會生成一股反壓，反壓會隨著針頭接近物體而愈大，再藉此反壓透過一條管子導進水中產生氣泡（即下頁圖中的氣壓指示計），作為針頭接近程度的依據，當產生半顆氣泡時，扣除針頭與物體的多餘距離，即可知其厚度。

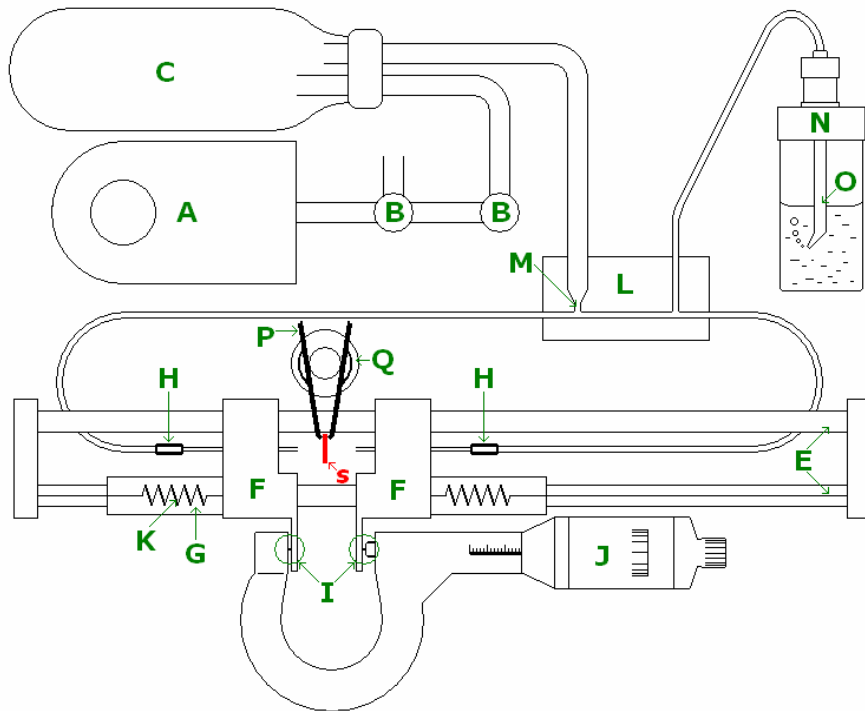


圖 2

用幫浦(A)壓縮空氣，然後在幫浦與緩衝瓶(C)中間，接上兩個針閥(B)洩掉大部分氣體，以達到氣體調節的功能，避免太強氣流破而損壞薄膜，而剩下的相對壓力約 400 帕。軸承裝配在平坦的鋼板上，由一兩個支架支撐一對平行鐵棒(E)，兩支 18 號針頭(H)分別以螺絲固定在兩個鐵塊(F)上，再用鋁塊(G)穩定鐵塊，由螺旋測微器(J)推動之，鐵塊與測微器之間的是兩顆小鐵球(I)。彈簧(K)是將鐵塊(F)往外拉。物體(S)則以彈簧夾(P)夾著，裝在一個磁鐵(Q)上。氣泡指示計(N)部份，內部的玻璃管(O)彎曲 45°，出泡口的深度可由下列公式得到

$$h = \frac{Pr - 2\gamma}{r\rho g}$$

h 為氣泡成核點深度，P 為氣泡內壓， γ 為表面張力， ρ 為液體密度，g 為重力加速度。

五、研究設備與器材

自製器材

- 氣泡指示膜厚儀
- 氣泡指示計
- 伸展軸承基座台

廠製成品器材

- XY 平移台
- 小型空氣幫浦(水族箱用，吐出量 800 cc/min)
- 螺旋測微器(0.01mm)
- 樂高積木一批
- 高倍放大鏡(22X)

電子零件類

- 微壓感測晶片(MPXV5004GC6U)

五金機械類

- 線性軸承與專用鋼棒
- 圓鋁條
- 各式螺絲、螺帽一批
- 各式彈簧

玻璃、塑膠材料類

- 壓克力材料
- 各式塑膠接頭
- PE 板
- 玻璃瓶
- 二氯甲烷與粘合劑
- 針閥
- 各式矽膠管

醫療用品

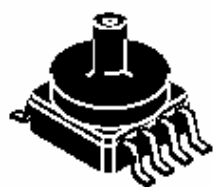
- 各式皮下注射針頭
- 60 cc針筒
- 醫療用細管



圖 3 各式針頭、接頭、噴管、橡皮塞、玻璃瓶



圖 4 上為螺旋測微器，下為伸展軸承



MPXV5004GC6U
CASE 482A

圖 5 壓力感測晶片



圖 6 小型幫浦



圖 7 筆記型電腦



圖 8 壓克力材料



圖 3 蓋玻片



圖 4 彈簧和軸承

實驗器材之研製

氣泡指示膜厚儀



圖 12 尚未做改良前的樣子

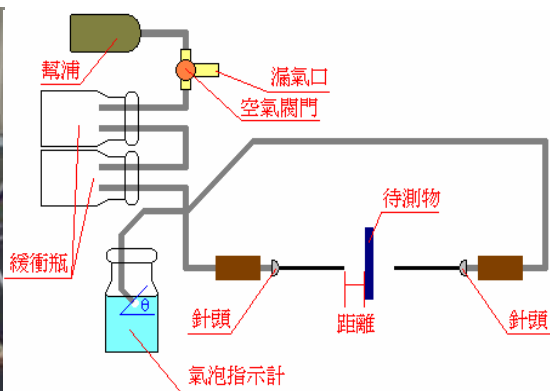


圖 13 機械改良前的示意圖

圖 12、13：膜厚儀初型機，運作同文獻探討第四點，但由於不易控制氣泡大小，故不是很好用，探討原因有幾點：

- 一、太多不同的粗管和細管接合，造成接口效應〔文獻探討第三點〕。
- 二、緩衝瓶雖然可緩和氣流的不穩定性，但效果不彰，反而造成遲鈍的問題，更不便於操作。
- 三、為了讓管線內的壓力不至於過大，所以安裝漏氣閥，但是會有很多不確定因素，以及降低儀器的敏感度。
- 四、待測物與針頭兩邊的距離不同，使得氣泡生成不穩定。
- 五、氣泡指示計用玻璃圓罐，使觀察上會很吃力。
- 六、體積太過龐大。

我們就這六點作了些改善：

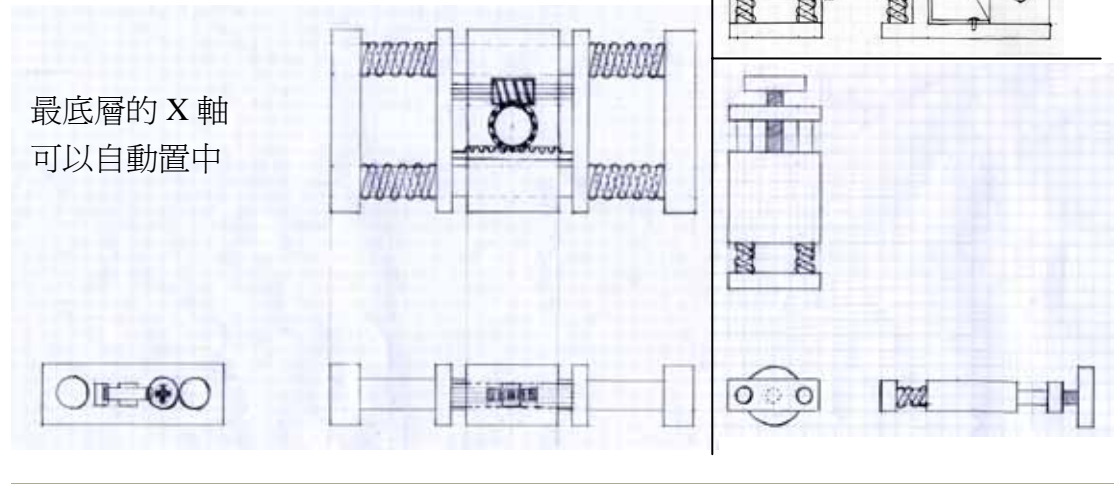
- 一、根據文獻探討第二點，流體欲形成穩定的層流必須流速低而口徑小，於是減少管徑，增加長度，換成醫療用長細管。
- 二、拿掉緩衝瓶，利用細管本身的阻力，使之儘可能接近穩定的層流，來彌補不穩的情形，這樣可以增加儀器的敏銳性。

三、減少接頭的使用，降低接口效應。

四、利用彈簧的彈力使被測物維持在兩針頭的中間〔後面有詳述〕

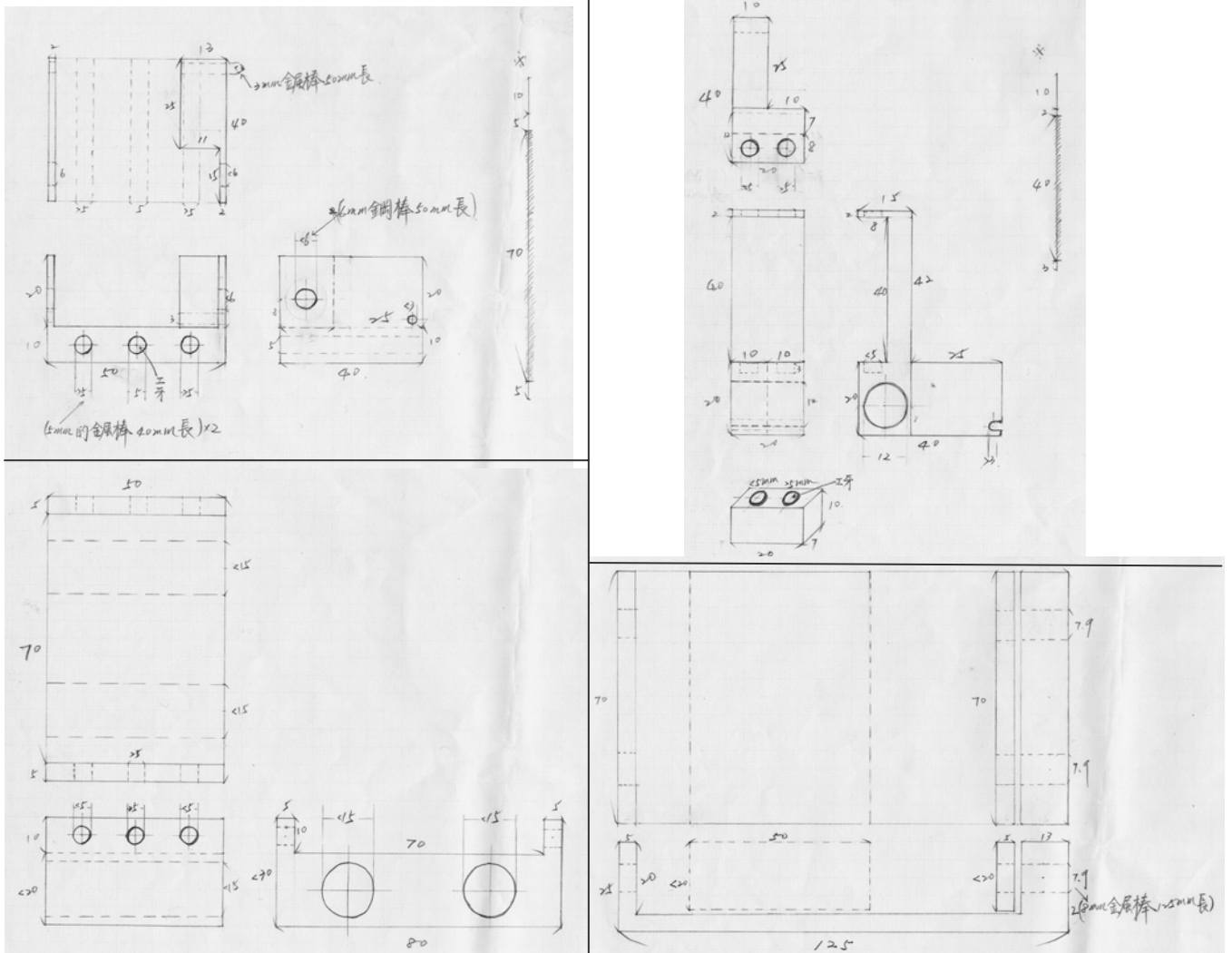
第一次改良設計草圖

圖 14



第二次改良設計草圖

圖 15



儀器製作過程（貳號機）

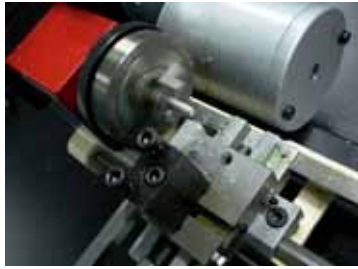


圖 16 用小車床磨到菱角



圖 17 以膠帶固定零件



圖 18 線鋸機切割 PE 板

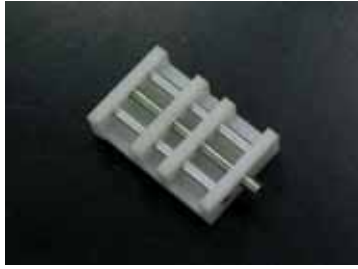


圖 19 X 軸



圖 20 Y 軸



圖 21 Z 軸



圖 22 螺旋測微器之固定



圖 23 螺旋測微氣之固定

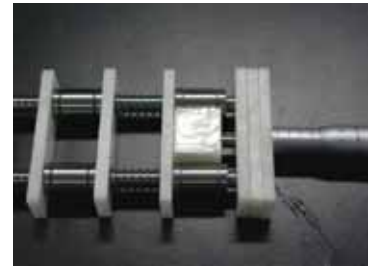


圖 24 自動置中被測物裝置

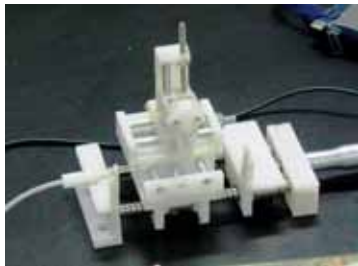


圖 25 完成品的樣子

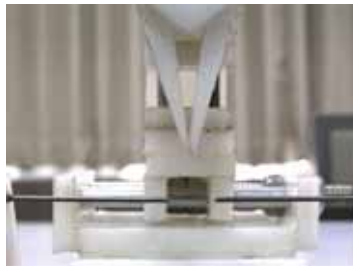


圖 26 以兩針頭為探針

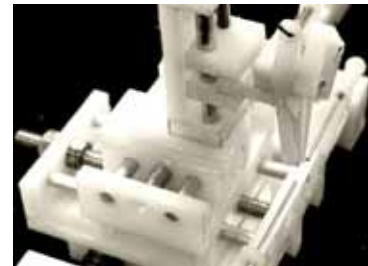


圖 27 XYZ 平移台

儀器製作過程（三號機）

氣泡指示器：

由於氣泡指示計的管口非常狹小，直徑只有 0.356mm，單憑肉眼是很難看得清楚，所以自製一個簡單的放大器，配上高倍放大鏡(22X)方便觀察。



圖 5
放大鏡配合 XZ 平移裝置



圖 6
氣泡指示計

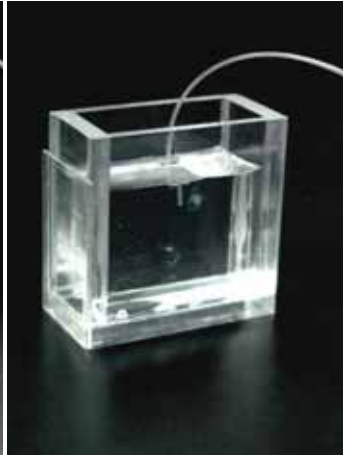


圖 7
方形水槽



圖 8 氣泡指示計

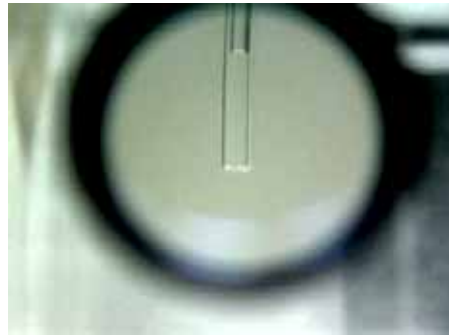


圖 9 放大鏡放大情形

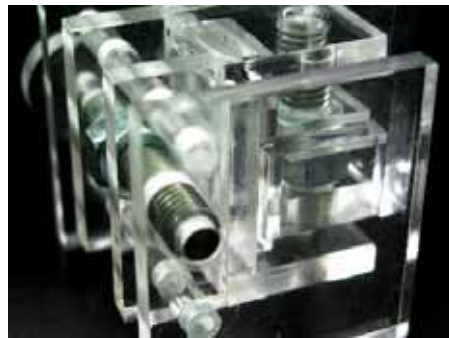


圖 10 XZ 平移台，控制放大鏡位置



圖 11 再次改良：可調角度（角度及深度刻度尚未配置）

針頭：

換裝內徑 1mm 針頭，裝於特製固定架上，並於後方利用 T 形接管連接一微壓感測晶片(MPXV5004GC6U)。

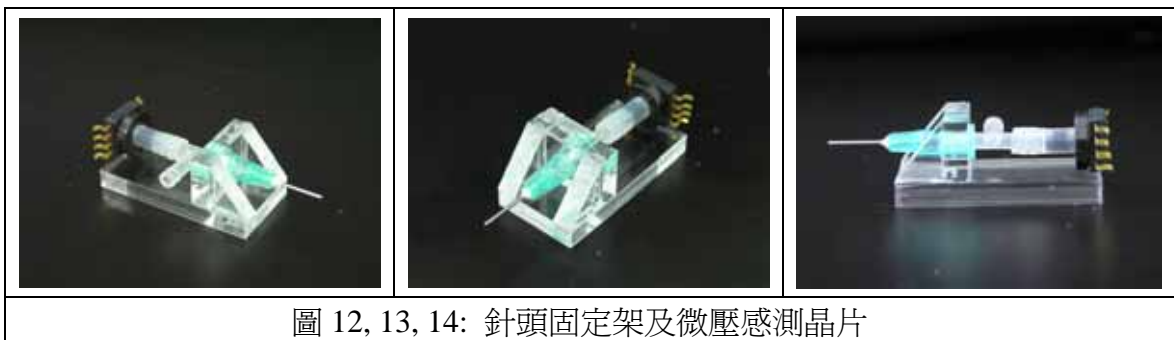


圖 12, 13, 14: 針頭固定架及微壓感測晶片

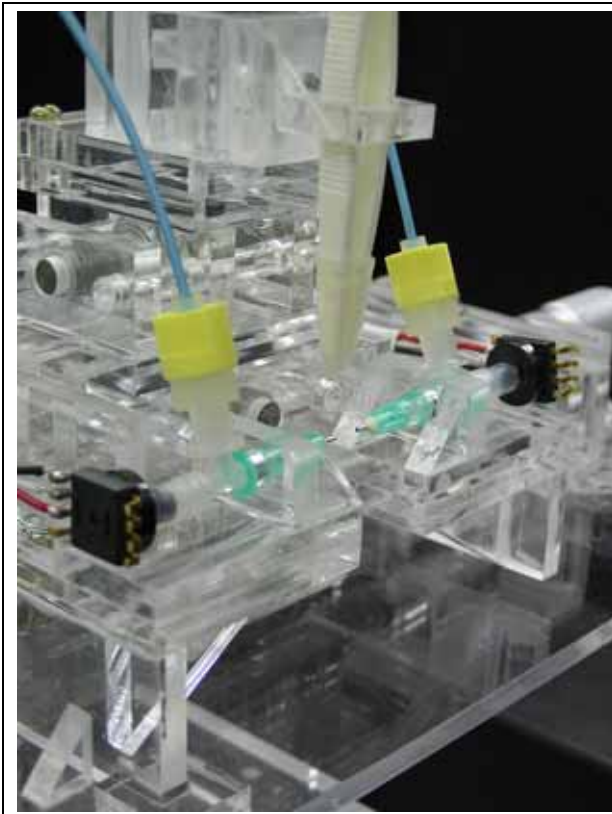


圖 15：初版配置圖

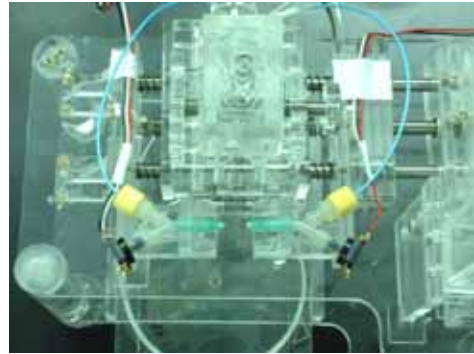
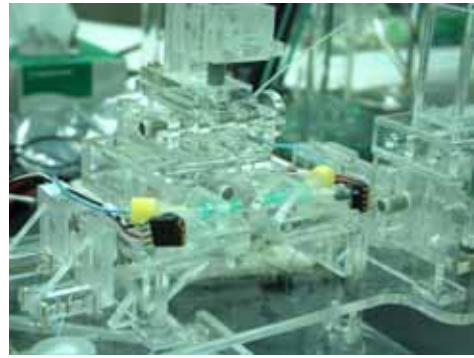


圖 16：改良後配置圖（使用 Y 形接頭）

管線：

使用內徑 0.356mm 之軟管，由於管線容易受損，故製作其專屬收納版以保存之。



圖 17：內徑 0.356mm 之軟管

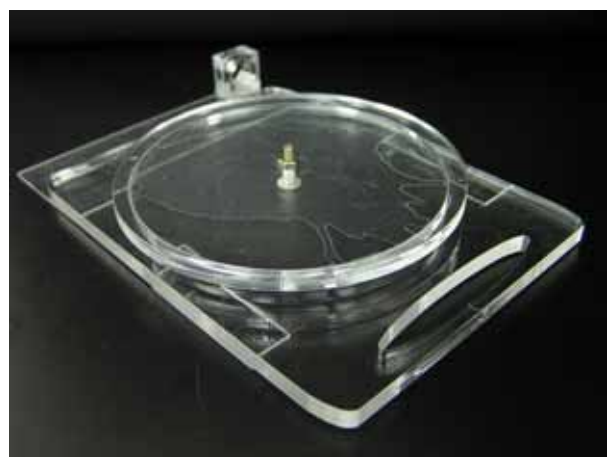


圖 18：專屬收納版

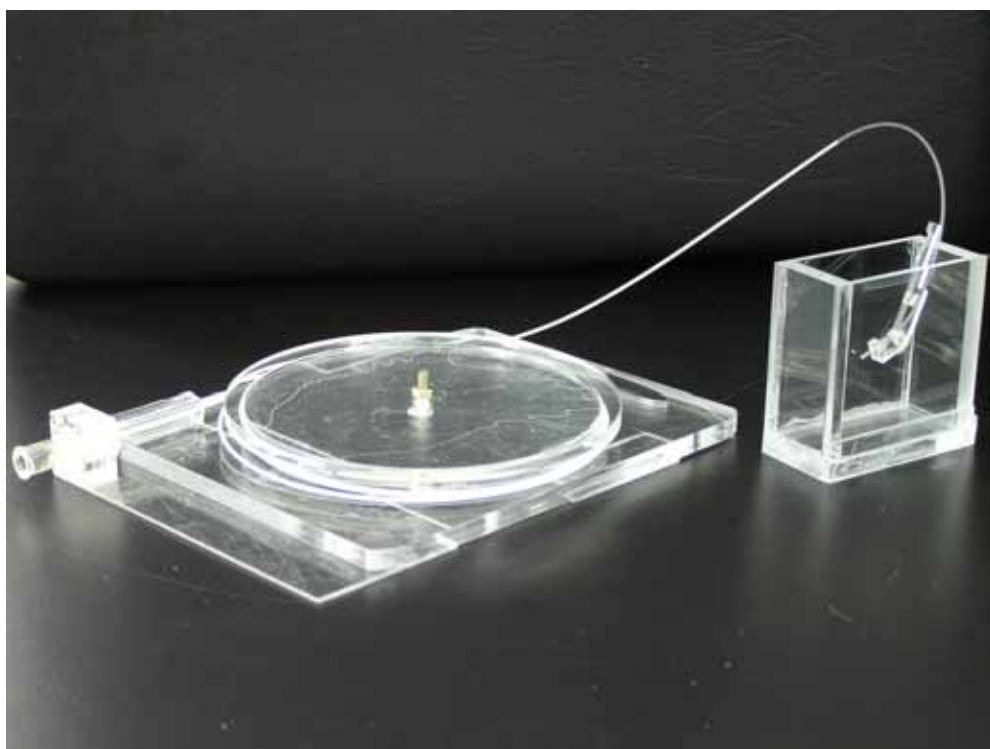


圖 19：完成圖

三號機完成圖：



圖 20

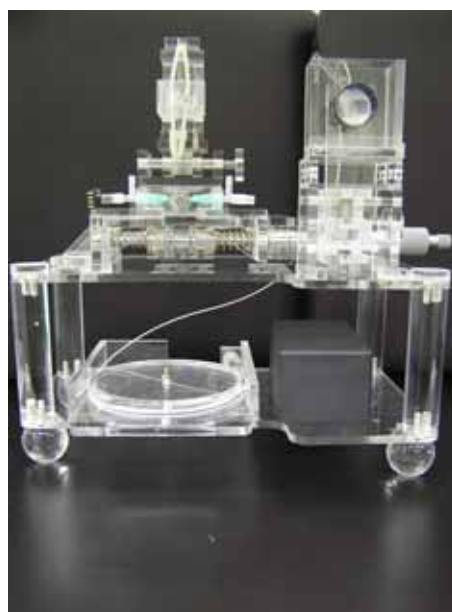


圖 21



圖 22

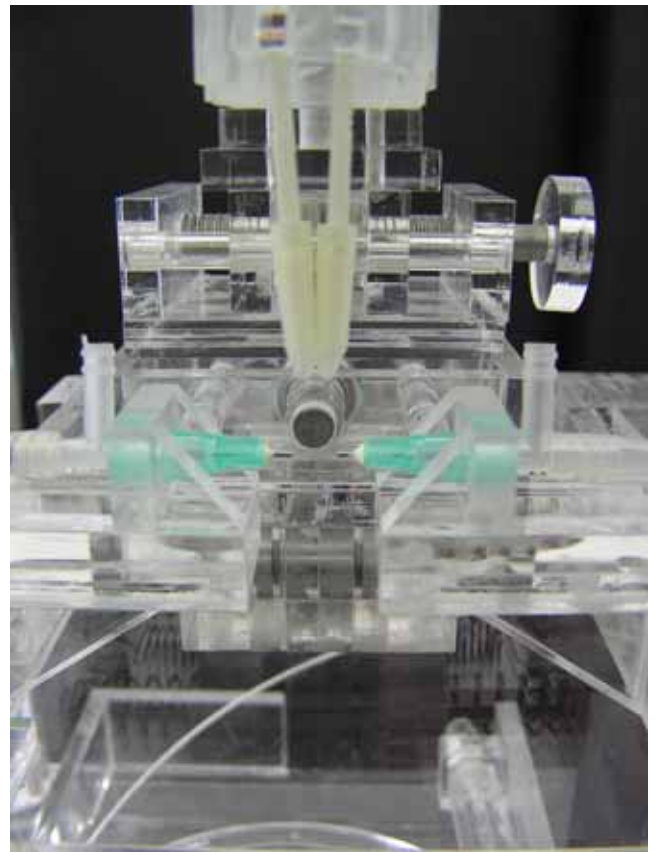


圖 23

最初的想法是將彈簧夾固定在可活動的磁鐵上，並吸附於鐵板，如此能自由移動，但是量測上無法保證兩邊針頭與被測物的距離都等長，這會造成兩邊反壓不同，使得氣流不穩定，直接影響到氣泡指示計運作。

針對這個問題，如何讓被測物維持在兩針頭的中間呢？

我們在夾子兩側加上彈簧，利用彈簧的彈力來維持被測物於兩針頭的中間如

圖 36

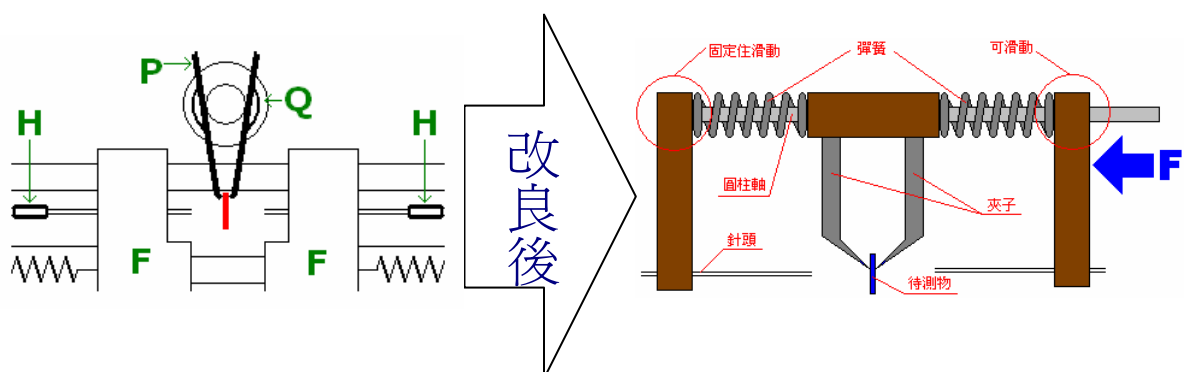


圖 28

如此一來就不必一邊調整針頭，一邊移動被測物，又要觀察氣泡，造成操作上的不方便。

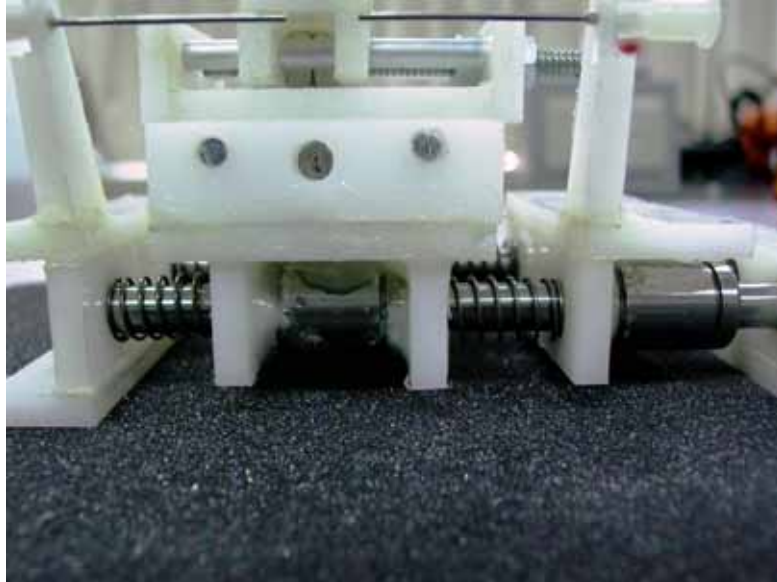


圖 29 實作時之情形，最後利用彈簧將 XYZ 平移台維持在兩針頭的中間

實驗一：

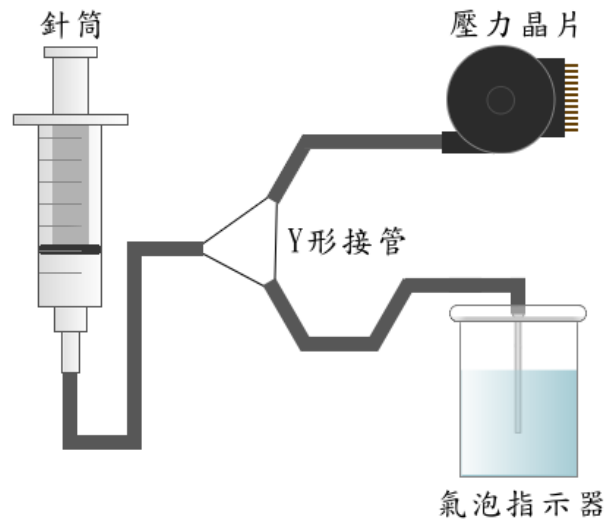
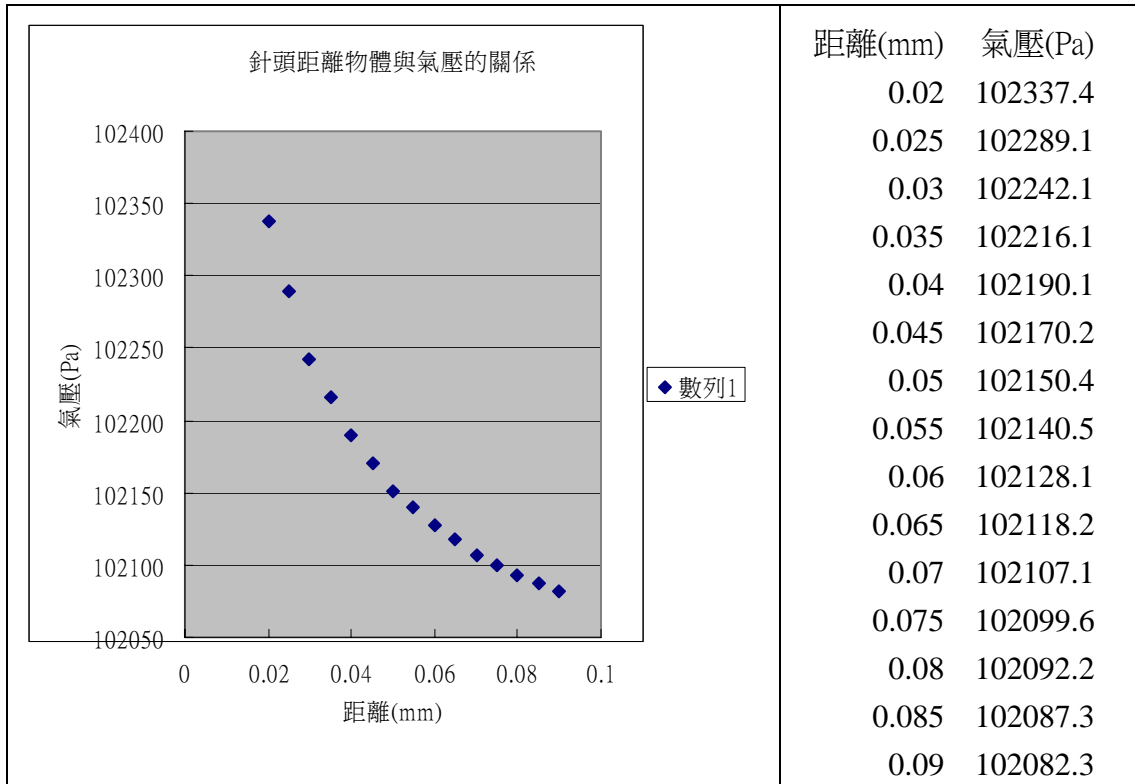
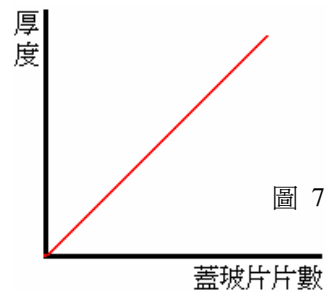
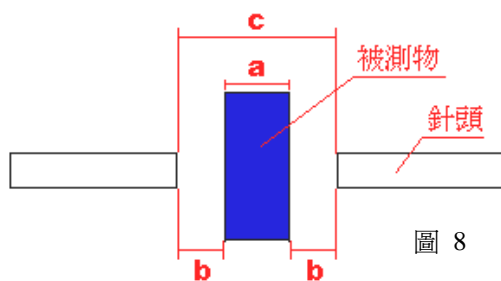


圖 6

爲了了解針頭靠近待測物時的微壓變化與其靈敏度，我們將儀器減化成上面的示意圖，以螺旋測微器控制針頭與待測物的距離，將針頭與緩衝瓶中間拉出一微壓感測晶片(MPXV5004GC6U)條管線，接到微壓感測晶片(MPXV5004GC6U)，量測不同的距離下其氣壓值的變化。



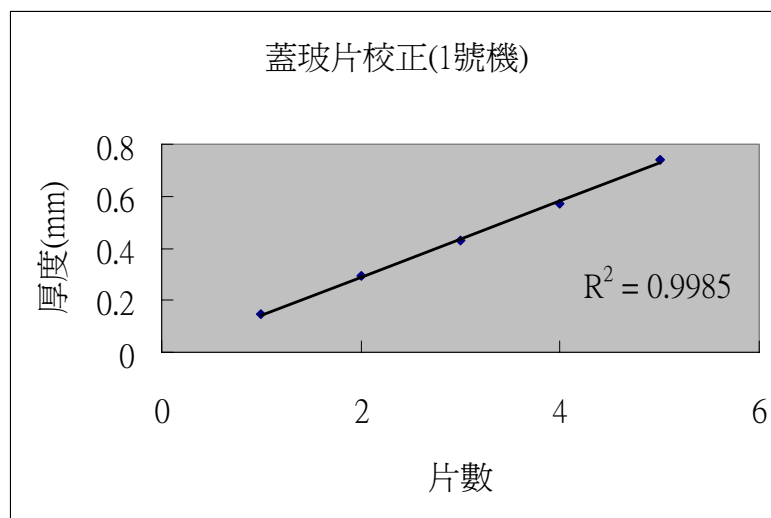
實驗二：氣泡指示膜厚儀之校正



我們以蓋玻片作為被測物，由於兩針頭夾擊時不接觸被測物，所以當氣泡指示計出現半顆氣泡時，即可得到上圖的夾緊度，此時被測物與針頭有一段距離 b ，將兩針頭的距離 c 扣掉已知被測物厚度 a ，即可得到校正值 $2b$ ，其蓋玻片的片數與厚度呈現右上圖的直線關係。

往後測量被測物厚度，只要出現半顆氣泡，即是在校正儀器時的夾緊度，扣掉校正值即可得到被測物的真實厚度。

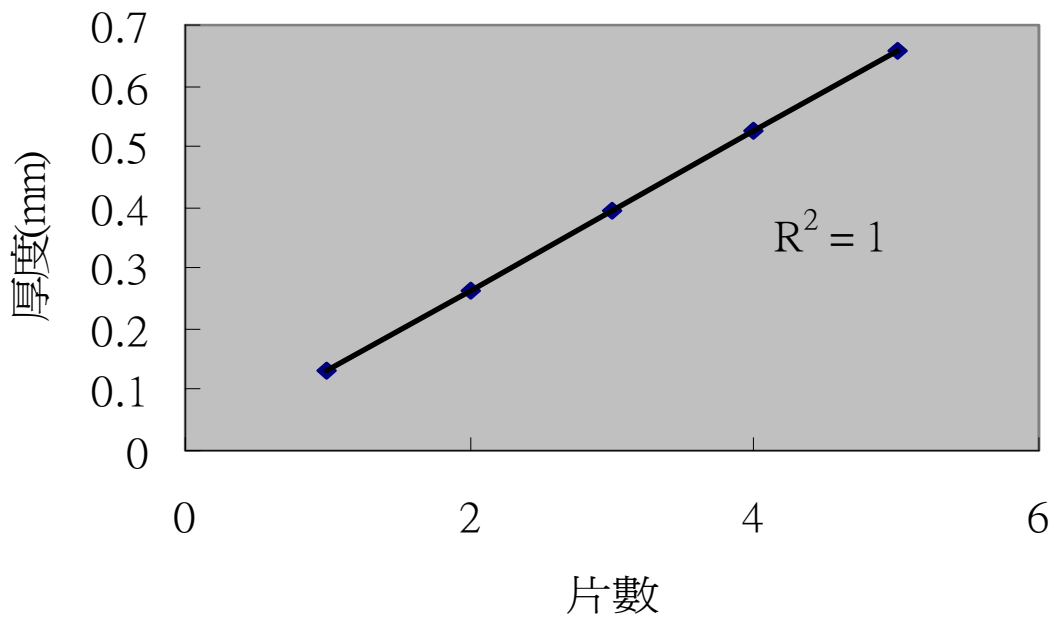
校正常數 (mm)	片數	理論值 (mm)	實驗值 (mm)	誤差 (mm)
34.566	1	0.146	0.145	-0.001
	2	0.293	0.292	-0.001
	3	0.439	0.428	-0.011
	4	0.528	0.573	-0.009
	5	0.740	0.742	+0.002



貳號機

校正常數 (mm)	片數	理論值 (mm)	實驗值 (mm)	誤差 (mm)
5.100	1	0.134	0.132	-0.002
	2	0.262	0.264	+0.002
	3	0.398	0.396	-0.002
	4	0.523	0.525	+0.002
	5	0.649	0.656	+0.007

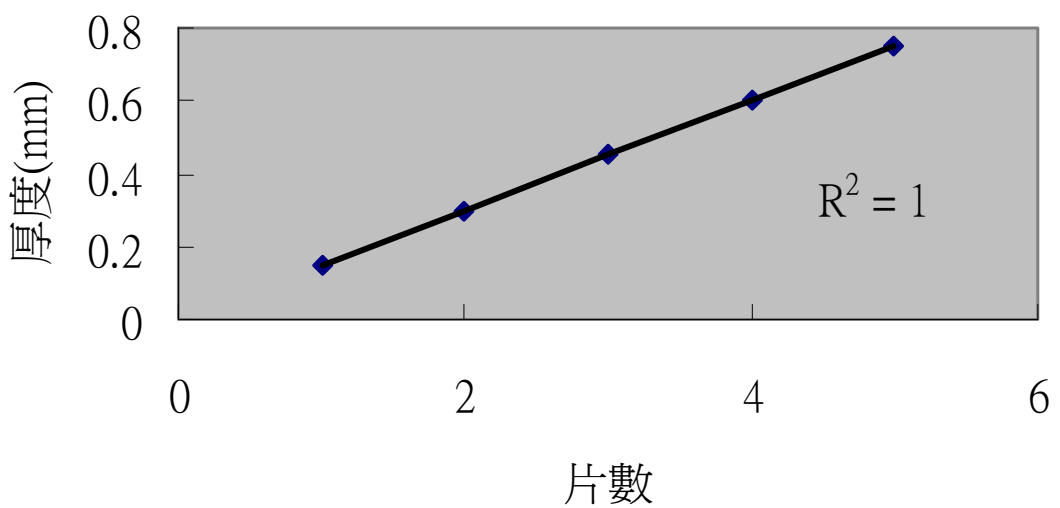
蓋玻片校正(2號機)



三號機

校正常數 (mm)	片數	理論值 (mm)	實驗值 (mm)	誤差 (mm)
5.100	1	0.150	0.150	+0.000
	2	0.300	0.301	+0.001
	3	0.450	0.450	+0.000
	4	0.600	0.599	-0.001
	5	0.750	0.749	-0.001

蓋玻片校正



改良結果比較

誤差	標準差
一號機：±0.011mm	一號機：0.008mm
二號機：±0.007mm	二號機：0.004mm
三號機：±0.001mm	三號機：0.0004mm

柒、討論

如何使氣泡穩定下來？

氣泡的不穩定是我們實驗中最大的麻煩，可能是水族箱用的幫浦流量精度不夠造成的，可能是洩壓時產生不定的因素，從而言之，氣泡指示器不受我們控制，問題一直到更換成醫療用細管時才有改善。

捌、結論

我們成功的利用噴氣針頭靠近障礙物時產生的反壓，達到微量調節壓力的良好效果，所以能夠精確的控制氣泡。

氣泡指示膜厚儀結合了傳統的測具——螺旋測微器，經由氣泡指示計的顯示，自製的儀器測出的數值，與傳統測具的精確程度不相上下，等同於是把針做為傳統測微器的延伸，而我們比起傳統測具的最大優點，是以氣體做為媒介，做非接觸式測量，所以不會有傷到樣品的問題，固可測得未形變前的軟性材質，這一點是傳統測具做不到的，因配合了良好的微壓調整方法，加上電子儀器的配合，能夠更確定物體置中的位子，使得測出來的數據可以非常精準，約只有±0.001mm 的誤差範圍。

自製儀器比起傳統測量厚度的儀器能更省成本，且更能精確的測量出微小物質的厚度，這是一個嶄新的突破，精密的測量結合了生物與物理的測厚儀，使得被測物不再侷限於厚度大的堅硬固體，運用氣體的方式不但省下更多的經費，也

減少許多的麻煩。

玖、參考資料及其他

- Air gagging
Manufacturing Engineering; Oct 2003; 131, 4; Proquest Computing
- Noncontacting measurement system
Manufacturing Engineering; Feb 2000; 124, 2; Proquest Computing
- INFAS Sociedad Responsabilidad Limitada, Repu'blica Argentina.
- An automatic micrometer for measuring soft electrically conductive materials
- G E Gale and P Griffiths, Silsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford MK45 4HS, UK
- Automated dimension measurement system for soft biological materials
Diehl K C, van Gelder M F and Byler R K, 1990
- “PNEUMATIC CONTROL: An Introduction to the Principles”, Werner Deppert/Kurt Stoll
- 高中物質科學物理篇下冊 南一出版
- 鄭雨軒 毛細管內液體流速隻探討及黏度測量方法之創新
- <http://www.pep.com.cn/>
- www.sme.org/manufacturingengineering