

# 中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學(一)科

## 探究精神獎

052318

音叉迴旋曲—探討石英音叉作為感測器的可行性

學校名稱：臺中市立臺中第一高級中學

作者：  高二 廖桓翌  高二 何承恩  高二 劉彥玟	指導老師：  凌美瓊
---	------------------

關鍵詞：石英音叉、感測器

## 摘要

石英音叉是一種高精密的壓電震盪器，本研究欲利用其高靈敏度(高品質係數)，探討其作為表面感測器之可行性。將音叉調整在最佳的驅動震盪狀態，並將待測物固定在三維旋轉台上，藉由調節輪控制待測物的移動方向，使其緩慢移動並與探針接觸。當音叉受到表面凸起之微擾時，其靈敏的性質將使其失去共振，可藉此得知待測物表面之起伏。在本研究中，我們得到的結論是以石英音叉作為表面感測器是可行的，此外，石英音叉探針黏著點、使用的黏著劑、探針的材質以及探測方法會對感測器靈敏度產生影響。

## 壹、研究動機

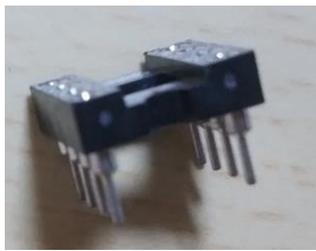
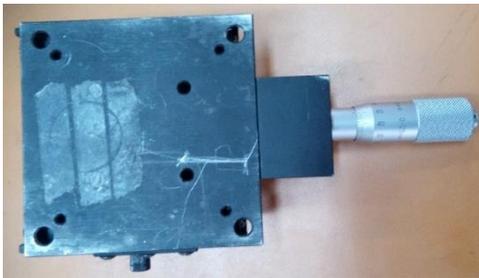
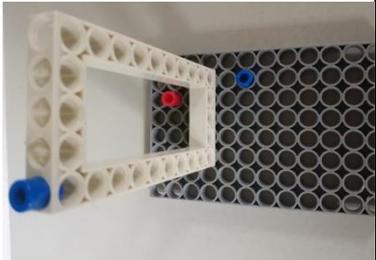
石英元件在人們的生活中扮演重要角色，在石英震盪器中含有一細小的「石英音叉」，常用於石英數位手錶。石英晶體所具有的壓電性質使得石英音叉在共振時產生電流脈衝，因此常被用於電腦晶片中。石英元件的功用除了參考頻率與定時功能外，也能提供感測與光學上的關鍵性功能，其應用範圍愈來愈廣。

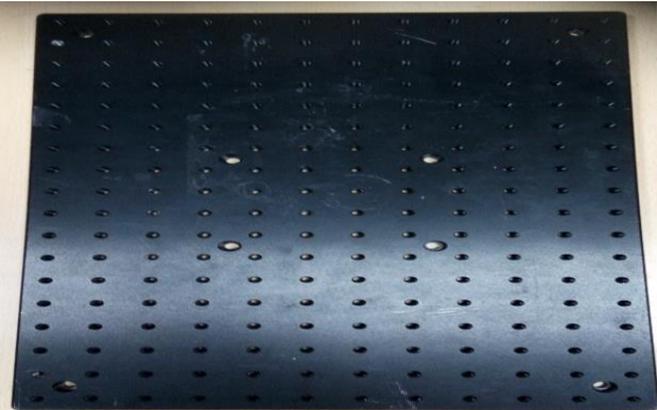
在物理課上，老師給我們看一些有關共振的影片，因此我們對石英音叉有十分靈敏的共振感興趣，在查詢相關文獻及與指導老師討論後，便想要深入探討其應用。最後決定研究石英音叉作為探針的可行性，探討其是否能如掃描式電子顯微鏡般，感測物體表面的高低起伏，作為表面感測器。

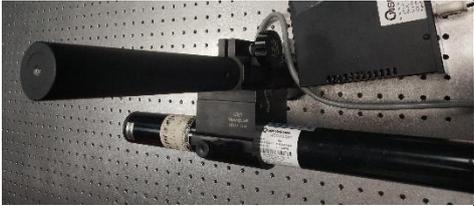
## 貳、研究目的

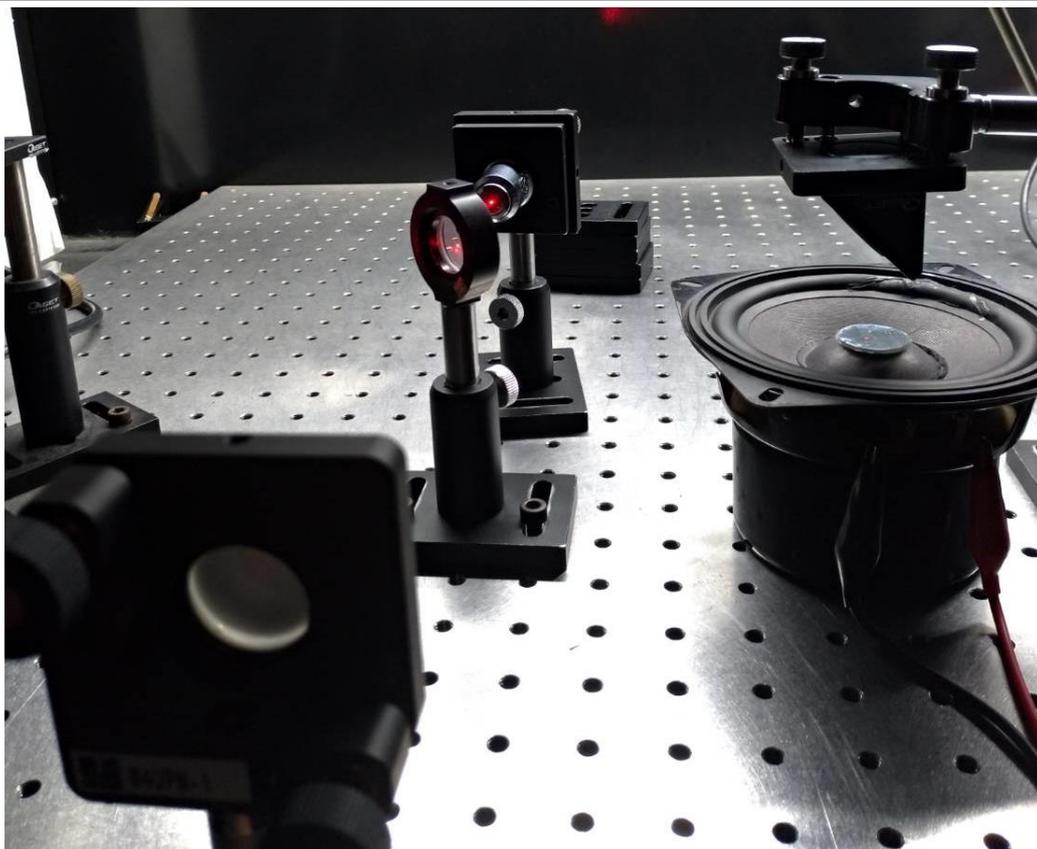
- 一、測量剝殼及未剝殼的石英音叉之品質係數(Q 值)。
- 二、比較使用不同探針黏著點之探針量測的靈敏度。
- 三、比較使用不同探針黏著劑之探針量測的靈敏度。
- 四、比較使用不同探針材質之探針量測的靈敏度。
- 五、探討石英音叉作為表面感測器的可行性。

### 叁、研究設備與器材

電路板		智高積木		鐵盒		AB 膠
電線		電鑽		電阻		三秒膠
<b>軟體</b>						
Sketchup2018		Excel2016		小畫家		
<b>偵測器</b>						
石英音叉		八腳插座		BNC 接頭		
光纖		op 放大器 (FP T9323)				
<b>架子</b>						
二維 移動 平台			音響			
移動 平台			智高積 木			
<b>儀器</b>						

<p>電源供應器</p>	
<p>示波器</p>	
<p>訊號產生器</p>	
<p>光學麵包板</p>	
<p>剝殼器</p>	

機械手			
麥克森干涉儀			
雷射		平面鏡	
分光鏡		光學感測器	



圖一 麥克森干涉儀

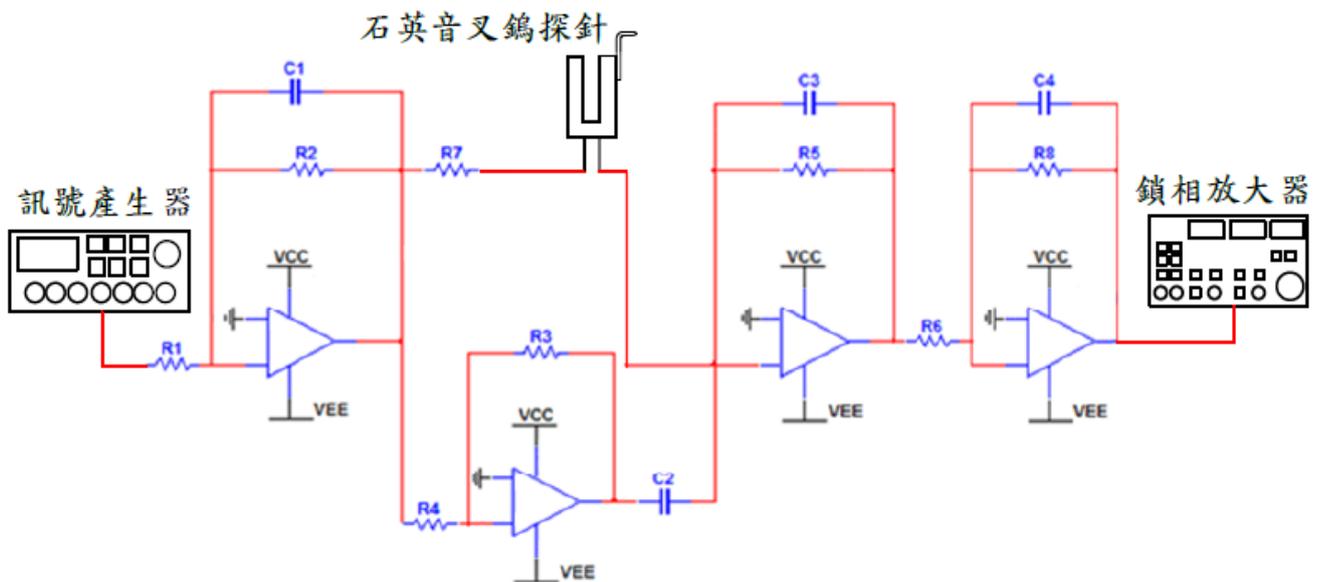
## 二、說明

### (一)壓電效應

壓電效應（Piezoelectricity）是介電質材料中一種機械能與電能互換的現象。壓電材料會有壓電效應是因晶格內原子間特殊排列方式，使得材料因受到外力的影響導致與電場耦合。本研究是利用壓電效應，將探針因物體表面的變化所受到的微擾會使石英音叉失去共振，因此石英音叉所傳出的振幅會有明顯的下降，使我們可以用精細的方式感測物體表面。

### (二)石英音叉探針

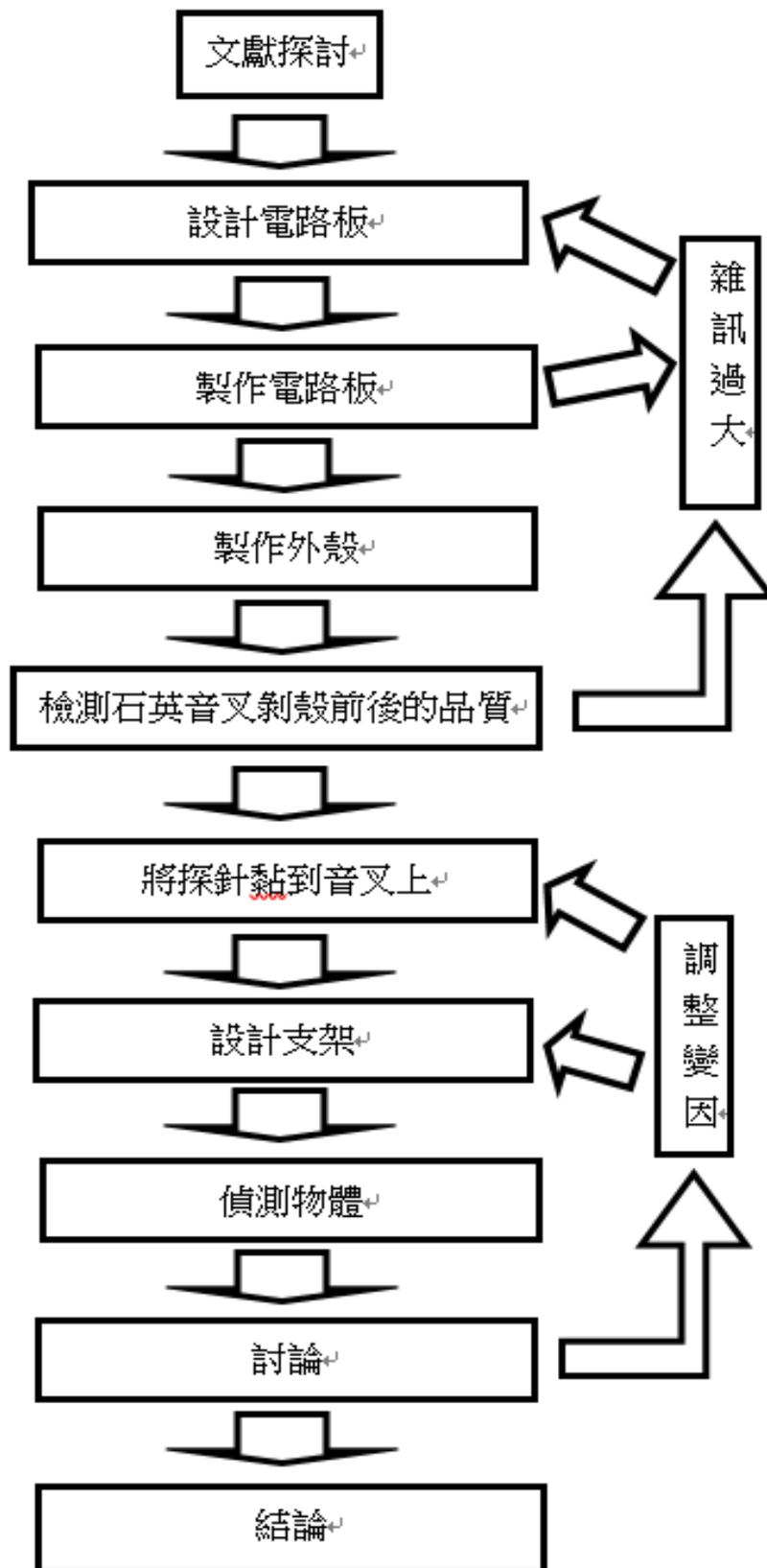
彭伯倫(2012)在<石英音叉鎢探針之設計與特性研究應用於表面形貌量測的研究>指出石英音叉結合鎢探針，可使石英音叉鎢探針正常的運作在共振頻率上，因此可應用於表面輪廓儀做為感測器的使用，免除了光槓桿法的光路對正機制，使用起來更為方便。其訊號處理電路圖如下：



圖二 訊號處理電路圖 資料來源：出自彭伯倫(2012：30)

## 肆、研究過程與方法

### 一、研究流程



圖三 研究流程圖

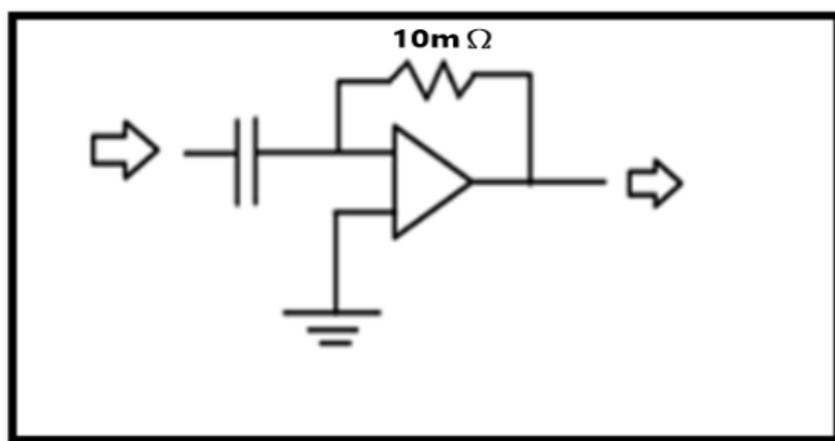
## 二、實驗過程

### (一)焊接出可使石英音叉驅動震盪之電路

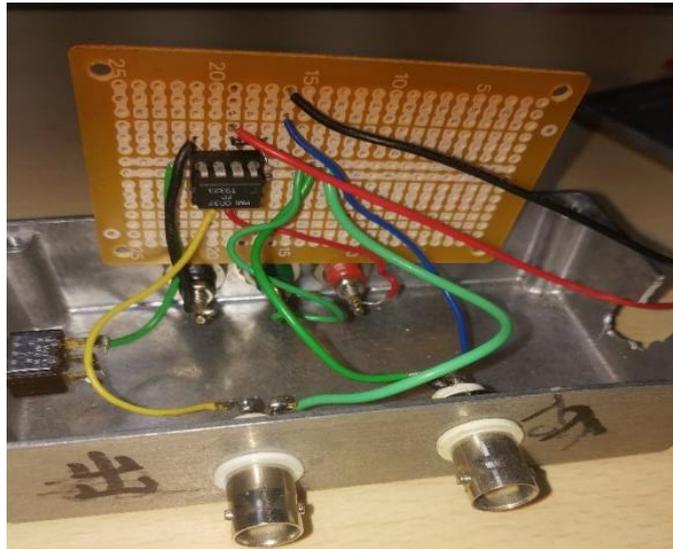


圖四 焊接電路板

電路圖如圖五。我們以此電路圖為藍本，開始製作電路。使用的元件為 OP 放大器和  $10\text{M}\Omega$  大電阻。我們檢測電路板時，發現由於音叉的高靈敏度，電路配置將嚴重影響其共振，於是歷經多次修改之後，完成了電路板。我們自製了一個鐵殼子作為屏蔽，以減少雜訊。電線的佈線方式也盡可能以減少干擾的方式設計，並在電路板背面貼上了絕緣膠帶，以減少干擾。成品如圖六所示。



圖五 電路圖



圖六 電路板成品  
電源連接處



圖七 接線配置圖

## (二)測量石英音叉的品質係數(Q 值)

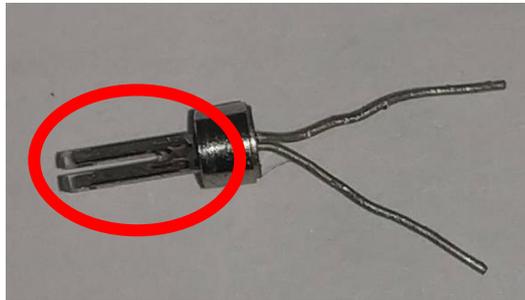
我們將石英音叉插入檢測裝置，調整頻率使其共振。在音叉共振時讀取其振幅，將振幅除以 $\sqrt{2}$  後，量取此振幅相對應的兩個頻率 $\nu_1$ 及 $\nu_2$ ，再依 Q 值公式算出音叉的 Q 值。

$$Q = \nu_{max} \div (\nu_1 - \nu_2)$$

藉由石英音叉的品質係數與實驗數據，檢測石英音叉是否具有足夠的靈敏度，我們才可以石英音叉作為感測器來探測物體。

## (三)將音叉剝殼，再次測量其暴露在空氣中的 Q 值

利用音叉剝殼器將音叉的外殼旋開，此時將露出其雙條狀結構，如圖三所示。接著再將剝殼音叉插入檢測裝置，測量 Q 值，檢測石英音叉是否具有足夠的靈敏度，不會因暴露在空氣中而失去高靈敏度的特性。如果失去高靈敏度的特性，我們就必須降低石英音叉附近的氣壓來提升它的 Q 值。



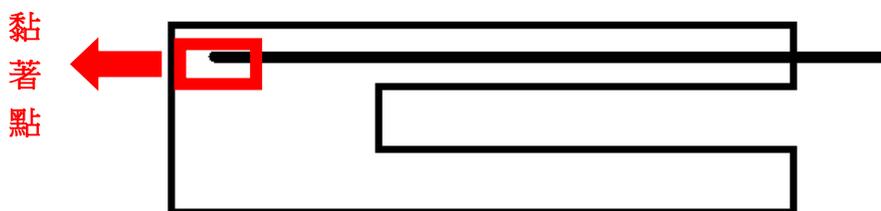
圖八 剝殼音叉及其雙條狀結構

#### (四)尋找適當的黏著劑及探針，並找出其最佳之黏著方式

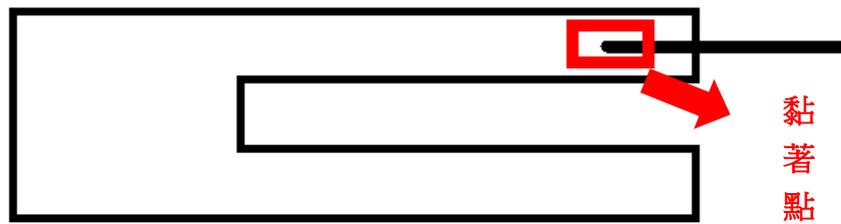
##### 1.黏著方式

經討論之後，我們決定嘗試三種黏著方式，並探討哪一種較為可行。方式與各自的優點分別如下：

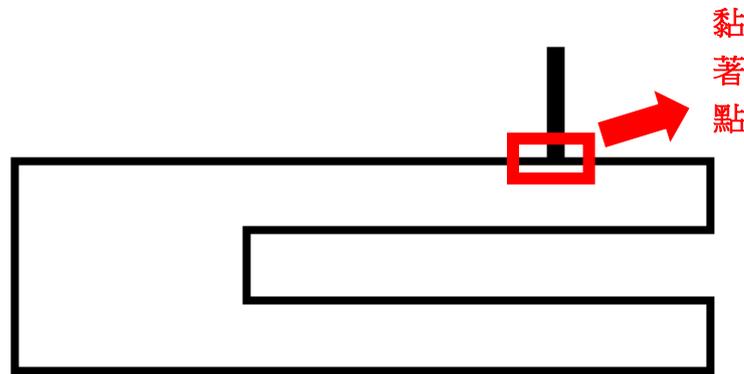
- (1) 探針黏著位置一，以平行音叉方向，將探針黏在音叉的底部，如圖九，此種黏著方式可以減低石英音叉因黏著探針所產生的影響。
- (2) 探針黏著位置二，以平行音叉方向，將探針黏在音叉的前端，如圖十，此種黏著方式可以減短探針的長度，減少誤差。
- (3) 探針黏著位置三，以垂直音叉方向，將探針黏在音叉的前端，如圖十一，此種黏著方式可以減短探針的長度，減少誤差。



圖九 位置一，以平行音叉方向，將探針黏在音叉的底部



圖十 位置二，以平行音叉方向，將探針黏在音叉的前端



圖十一 位置三，以垂直音叉方向，將探針黏在音叉的前端

## 2.黏著劑

在實驗當中，為了讓感測的結果更加精準，我們必須選用適當的黏著劑，將探針黏著在石英音叉上。所使用的黏著劑必須具備以下三個條件:持久、不易脫落，且不干擾音叉共振，於是我們擬採用瞬間膠及 AB 膠(環氧樹脂)進行黏著，並比較哪一種黏著劑的黏著能力較為優秀。

## 3.探針材質

若探針的硬度太高，在掃描物體表面時，探針可能會因為高低起伏的落差而斷裂。相反地，硬度若是太低，則探針可能在掃描過程中扭曲、變形，因此影響實驗結果。故探針材質的選擇，將是成功與否的關鍵。基於上述原因及取得便利之考量，本研究擬採用頭髮及光纖。我們將一般的光纖剝去最外層的殼，使我們的感測器可以更靈敏，測試哪一種探針能更精準地感測物體表面起伏。

### (五)設計適當之裝置，以精確地移動音叉

為了能夠準確且定量地移動音叉，以讓音叉能夠在掃描過程中穩定不晃動，因為音叉只要碰觸到了待測物，輸出振幅旋即受到影響。於是我們擬自行組裝一組能裝載音叉，又能定

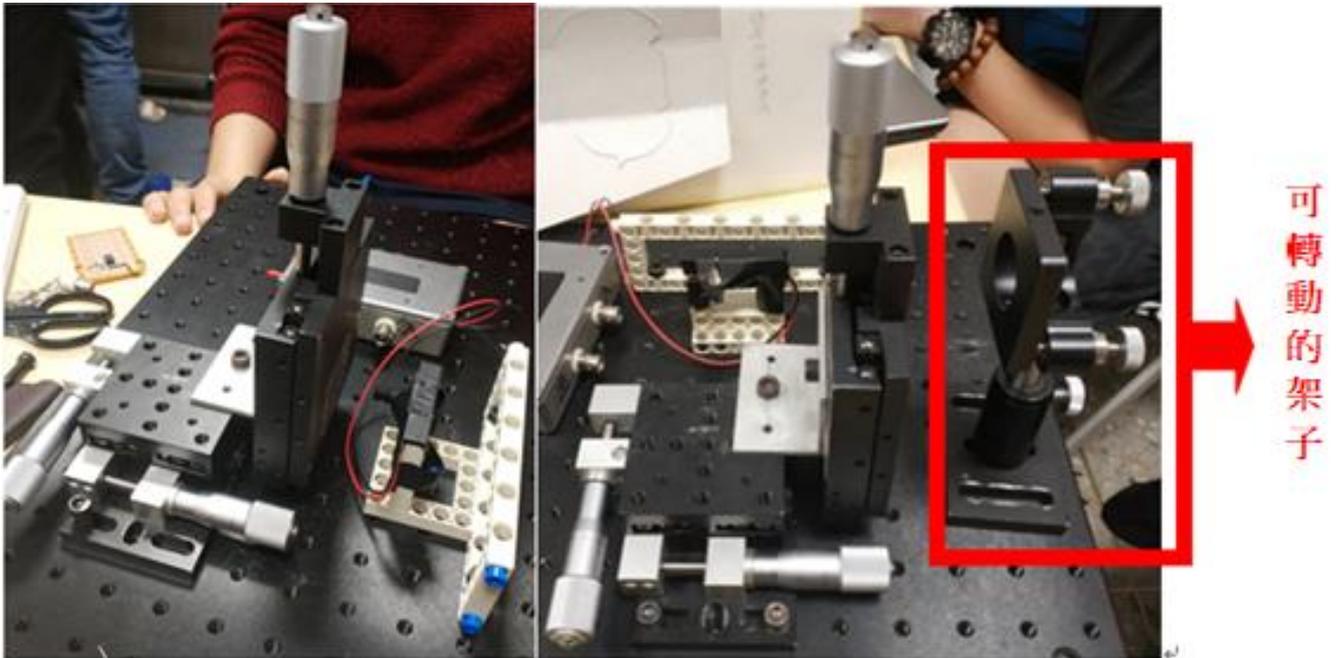
量且細微地移動的機器，改良過程如下：

### 1.第一代

由步進馬達與音響作為主體，透過麥克森干涉儀測試，發現我們很難對音響的縱向位移與電流大小之間的關係進行準確的量化，且兩者的組裝較為困難，因此我們便重新設計了支架。

### 2.第二代

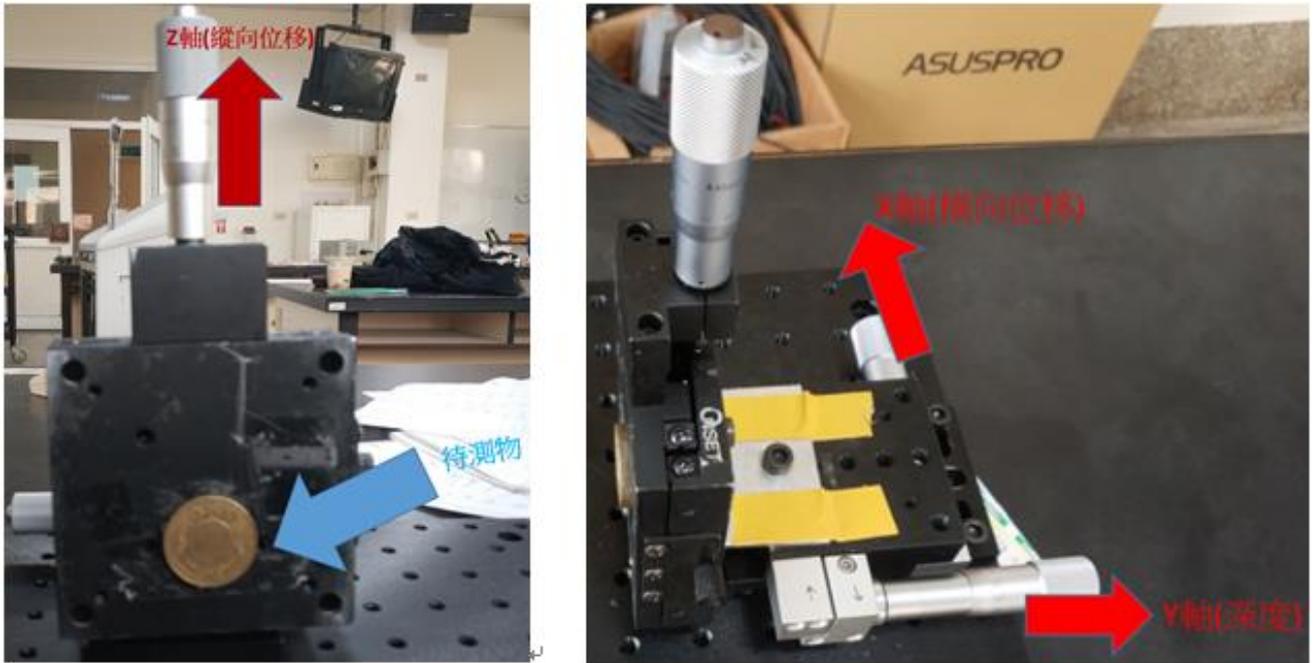
我們這次以光學麵包板做為底座，在其上方利用二維平移台及移動台組裝成三維平移台，製作成第二代支架之一(圖十三)，因為我們架設的架子是可以旋轉的，所以我們在進行測量後發現我們的待測物並不是與探針完全垂直，導致實驗出現誤差，因此我們重新設計了第二代支架之二(圖十二)。



圖十二 第二代支架之二

圖十三 第二代支架之一

第二代支架之二是由三維平移台和智高積木所組成，我們將智高積木直接固定在光學麵包板上，這便解決了第二代支架之一探針無法與待測物完全垂直的問題。



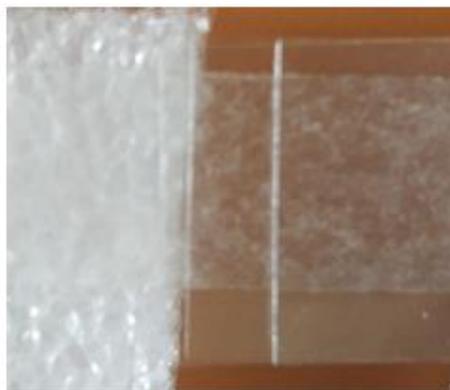
圖十四 位移方向示意圖

#### (六)比較不同條件時量測的靈敏度

本研究擬採用兩種感測情境來測量探針的靈敏度，期望能利用這些感測情境，來比較出各感測器的優劣，其感測情境如下：

##### 1.蓋玻片堆疊組成的階梯

我們將蓋玻片一片一片地由上而下，黏合成階梯狀結構，將此「蓋玻片階梯」黏在我們自行組裝的載物台上(如上圖十三)，再用感測器來檢測。由於每個蓋玻片的厚度皆為定值(即0.15mm)，因此便可以藉此對比實驗結果，並找出準確度最高的感測器。



圖十五 蓋玻片階梯



圖十六 50元硬幣感測位置

##### 2.五十元硬幣

上述蓋玻片階梯的測試，感測器因「蓋玻片階梯」僅有二維方向上的變化，因此我們只

能比較出感測器感測物體截面的差別，所以我們便想將此討論推廣至三維的感測。因此我們便想拿五十元硬幣來進行感測，將實驗結果用 EXCEL 程式繪圖。基於五十元硬幣過於龐大，我們將鎖定「五十元」當中的數字 5(如圖十五)進行感測。

#### (七)比較不同探針之間的解析度

我們希望可以量化不同探針在三維空間中各自的解析度，因此我們作了以下兩個實驗:

##### 1. 測量不同探針的直徑

由於探針在感測比探針直徑小的物體時，會感測到的是一個範圍而不是一個精確的位置。我們藉由量測探針的直徑，來確認其解析度。

##### 2. 測量深度的誤差

我們利用探針重複感測同一位置數次，將每筆數據減平均數據後，再取絕對值後平均，得出測量深度時的誤差，推測產生誤差的原因主要是人為的，例如：調整探針位置及觀測數據產生的誤差。

## 伍、研究結果

### 一、量測未剝殼音叉之品質係數Q

我們利用自製的電路板測量石英音叉的品質係數Q，紀錄以下輸入頻率對輸出電壓的數據，代入品質係數公式:

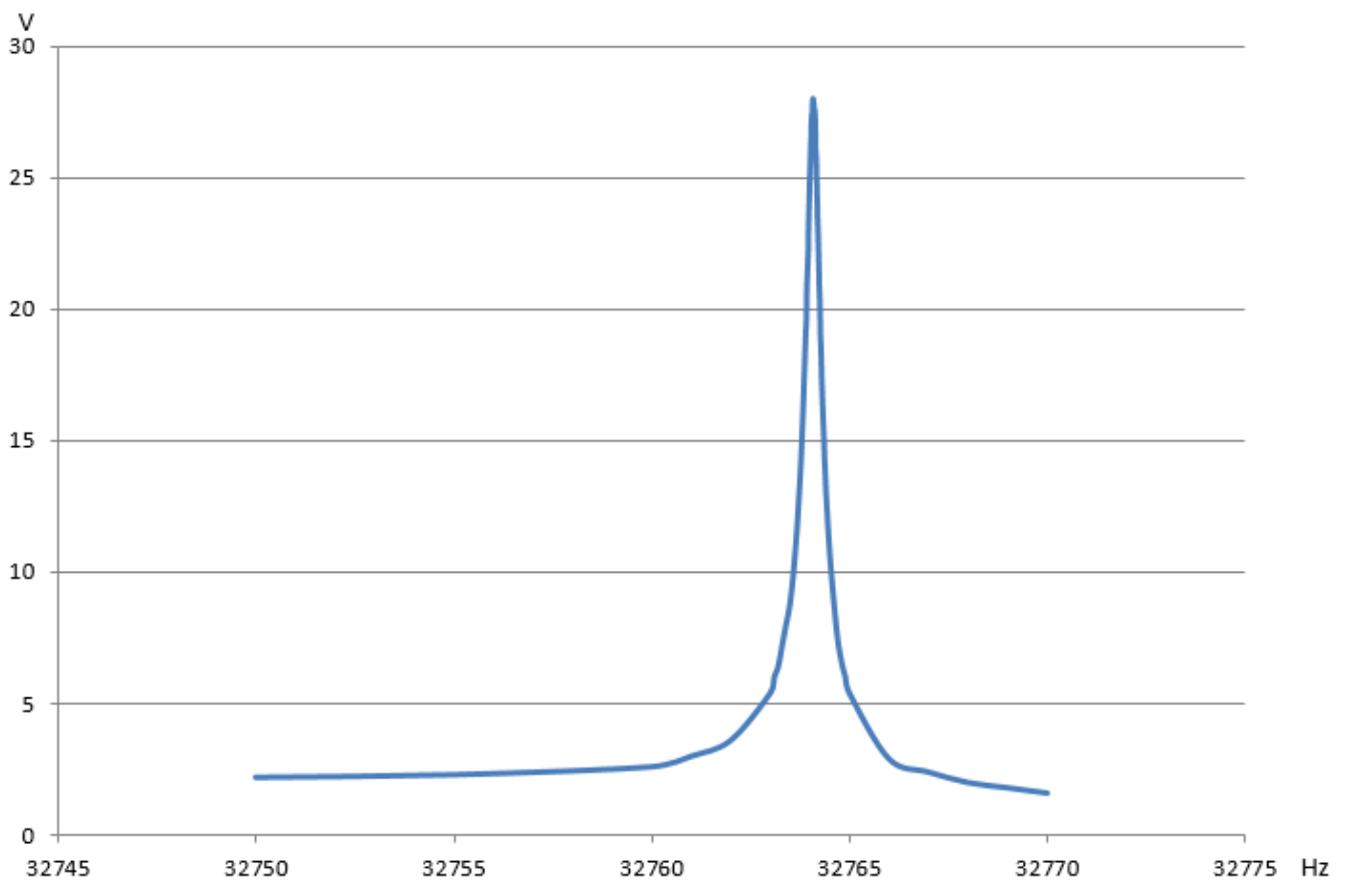
$$Q = \nu_{max} \div (\nu_1 - \nu_2)$$

$$Q = 32764.08 \div (32764.26 - 32763.92)$$

得出此石英音叉的品質係數Q為 96364(見圖十七)。從實驗數據我們可以確定石英音叉具有極高的靈敏度，因物體的品質係數數值越大代表該物體具有高靈敏度和高穩定性，因此只要我們輸入的訊號與石英音叉的共振頻率有微小的差別，石英音叉便失去共振，輸出的電壓會有明顯的下降。

f(Hz)	V(V)	f(Hz)	V(V)	f(Hz)	V(V)	f(Hz)	V(V)
32750	2.2	32763.93	21	32764.1	27.8	32764.27	19
32755	2.3	32763.94	21.4	32764.11	27.6	32764.28	18.6
32760	2.6	32763.95	21.8	32764.12	27.6	32764.29	18.1
32761	3	32763.96	22.2	32764.13	27.4	32764.3	17.4
32762	3.6	32763.97	23.2	32764.14	27	32764.4	13.4
32763	5.4	32763.98	23.8	32764.15	26	32764.5	10.8
32763.1	6	32763.99	24.4	32764.16	25.8	32764.6	9
32763.2	6.4	32764	25	32764.17	25.2	32764.7	7.5
32763.3	7.2	32764.01	25.4	32764.18	24.6	32764.8	6.6
32763.4	8	32764.02	26	32764.19	24	32764.9	6
32763.5	8.8	32764.03	26.4	32764.2	23.3	32765	5.4
32763.6	10.2	32764.04	27	32764.21	22.9	32766	2.9
32763.7	12.2	32764.05	27.4	32764.22	22.2	32767	2.4
32763.8	15	32764.06	27.4	32764.23	21.6	32768	2
32763.9	19.2	32764.07	27.8	32764.24	20.9	32769	1.8
32763.91	19.4	32764.08	28	32764.25	20.4	32770	1.6
32763.92	20.2	32764.09	27.9	32764.26	19.8		

表一 未剝殼音叉的輸入頻率對輸出電壓



圖十七 未剝殼音叉的輸入頻率對輸出電壓曲線圖

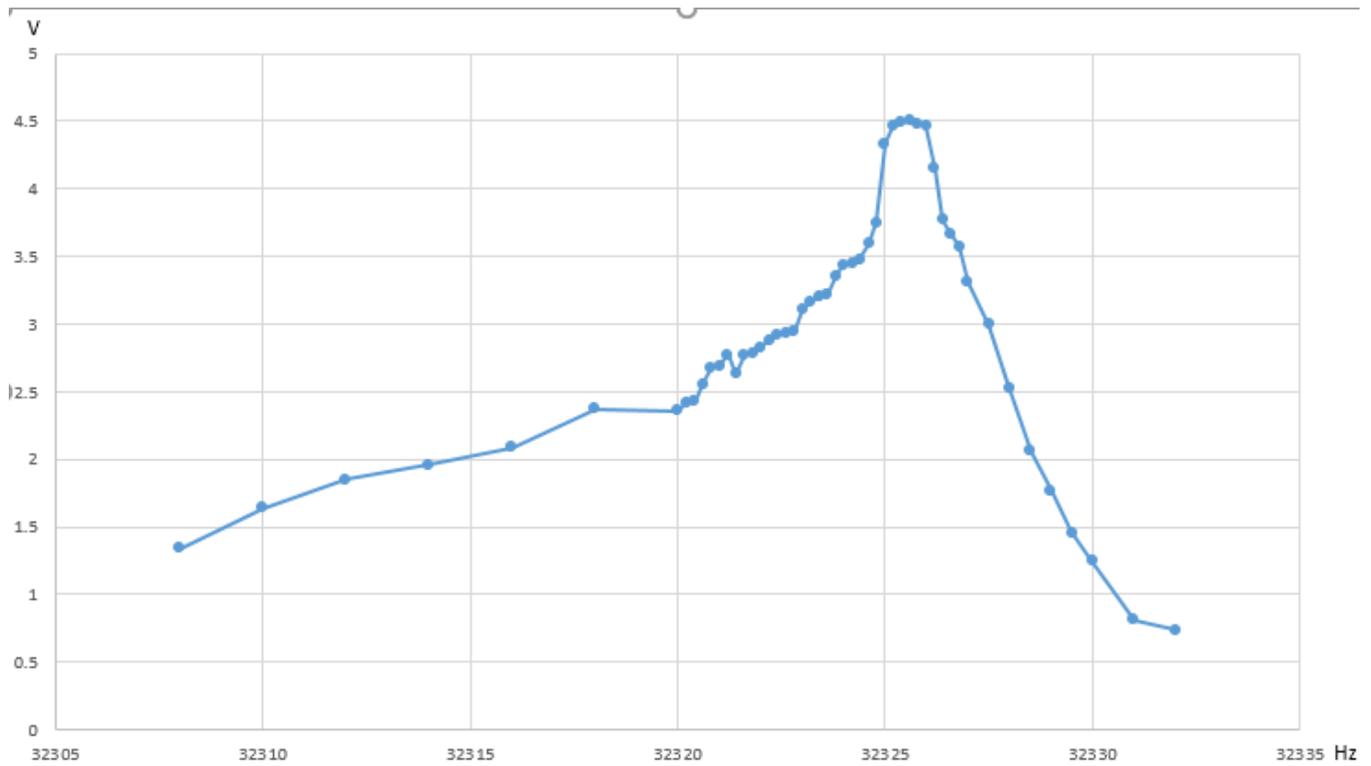
## 二、量測剝殼音叉之品質係數

$$Q = 32325.6 \div (32727 - 32323.4)$$

得出此剝殼石英音叉的品質係數 $Q$ 為 8979.3(見圖十八)，比對未剝殼石英音叉的品質係數 96364 可發現剝殼前後石英音叉的靈敏度下降劇烈。在這次實驗中，我們發現溫度也會影響石英音叉的品質係數，當有我們的手靠近石英音叉時，音叉的振幅會有明顯的變化，高溫的物體(如焊槍)靠近時，也可以觀察到石英音叉的振幅會有明顯的變化。而我們將與室溫差不多的物體(如筆)靠近時，我們發現音叉輸出的振幅沒有變化，因此我們推論溫度會影響石英音叉的品質係數，但我們目前還無法定量此發現。

f(Hz)	V(V)	f(Hz)	V(V)	f(Hz)	V(V)	f(Hz)	V(V)
32308	1.34	32321.2	2.772	32323.6	3.224	32326	4.46
32310	1.64	32321.4	2.63	32323.8	3.351	32326.2	4.15
32312	1.85	32321.6	2.77	32324	3.437	32326.4	3.77
32314	1.96	32321.8	2.784	32324.2	3.454	32326.6	3.66
32316	2.09	32322	2.825	32324.4	3.48	32326.8	3.57
32318	2.37	32322.2	2.88	32324.6	3.594	32327	3.31
32320	2.36	32322.4	2.919	32324.8	3.752	32327.5	3
32320.2	2.418	32322.6	2.936	32325	4.33	32328	2.53
32320.4	2.427	32322.8	2.949	32325.2	4.46	32328.5	2.06
32320.6	2.558	32323	3.107	32325.4	4.49	32329	1.77
32320.8	2.678	32323.2	3.163	32325.6	4.51	32329.5	1.46
32321	2.691	32323.4	3.2	32325.8	4.48	32330	1.25
						32331	0.81
						32332	0.74

表二 剝殼音叉的輸入頻率對輸出電壓



圖十八 剝殼音叉的輸入頻率對輸出電壓折線圖

### 三、找出輸入電流與高度變化之間的關係

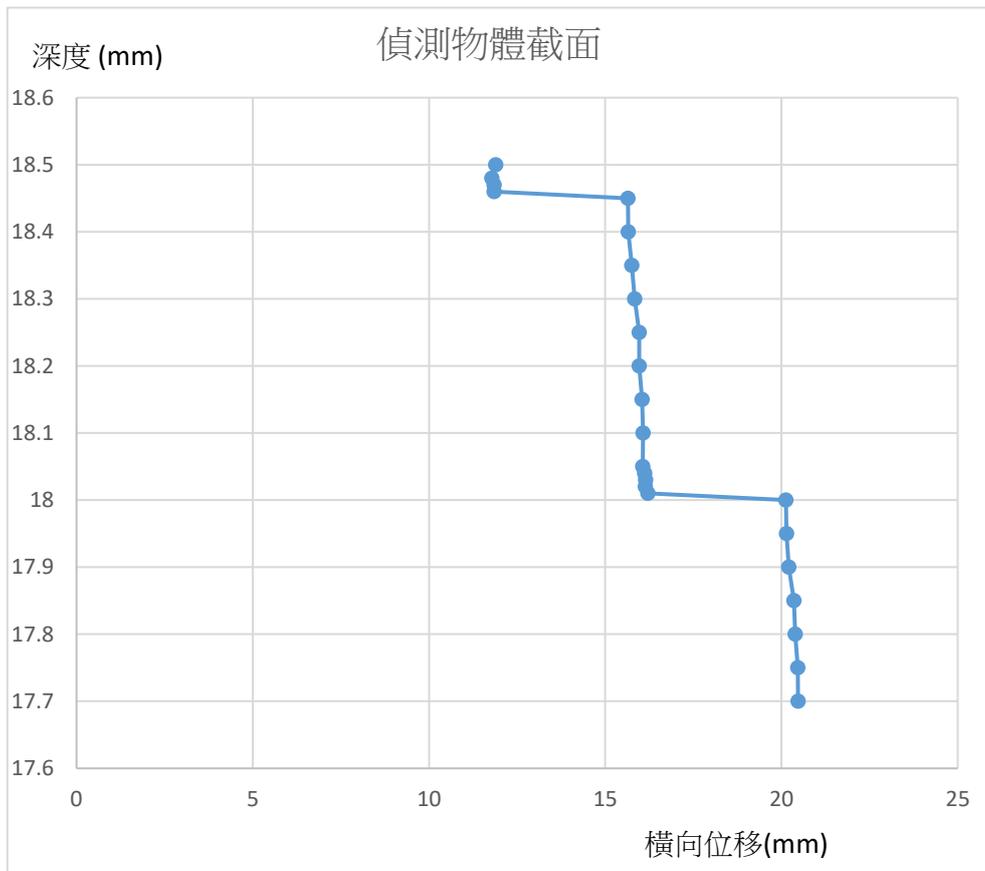
為了精準的移動載物台，我們打算以喇叭來做為移動裝置，再將音叉固定在喇叭上，並利用麥克森干涉儀來進行偵測，測量輸入電流與高度變化之間的關係。當喇叭通以直流電流時，喇叭將會有高度變化，因此藉由控制電流便可以使音叉前後移動。電流大小所對應到的高度變化不規則，且我們無法準確的控制電流大小的方法，因為市面上的儀器大多都是控制電壓大小而不是電流大小。於是我們最後決定重新設計支架，製作第二代支架。

### 四、使用自製感測器感測待測物的截面

我們一開始使用黏著光纖的自製感測器感測待測物的截面，但是檢測幾筆數據後，音叉就斷裂了，我們嘗試了數次後，便改為使用黏著頭髮的自製感測器感測待測物的截面，在此實驗中，待測物為數片蓋玻片堆疊組成的階梯。我們數次改變探針和階梯之距離(深度)，將探針碰觸物體，我們將恰沒接觸到探針的位置紀錄。經過測量與統整數據，我們發現了實測蓋玻片之間的深度差大概為 **0.44mm**(見圖十九)，這與蓋玻片的厚度(**0.15mm**)有巨大的差別。根據我們的推測，導致這巨大的差別的原因是我們黏蓋玻片的方式導致蓋玻片並不是平行堆疊，使蓋玻片傾斜並且片與片之間有空隙。

深度 (mm)	11.89	11.78	11.85	11.85	15.64	15.65	15.75	15.84
有感測到物體的位 置(mm)	0~18.5	0~18.48	0~18.47	0~18.46	0~18.45	0~18.4	0~18.35	0~18.3
深度 (mm)	15.96	15.96	16.05	16.07	16.06	16.12	16.15	16.14
有感測到物體的位 置 mm)	0~18.25	0~18.2	0~18.15	0~18.1	0~18.05	0~18.04	0~18.03	0~18.02
深度 (mm)	16.21	20.13	20.14	20.21	20.35	20.39	20.46	20.47
有感測到物體的位 置 mm)	0~18.01	0~18	0~17.95	0~17.9	0~17.85	0~17.8	0~17.75	0~17.7

表三 深度對橫向位移



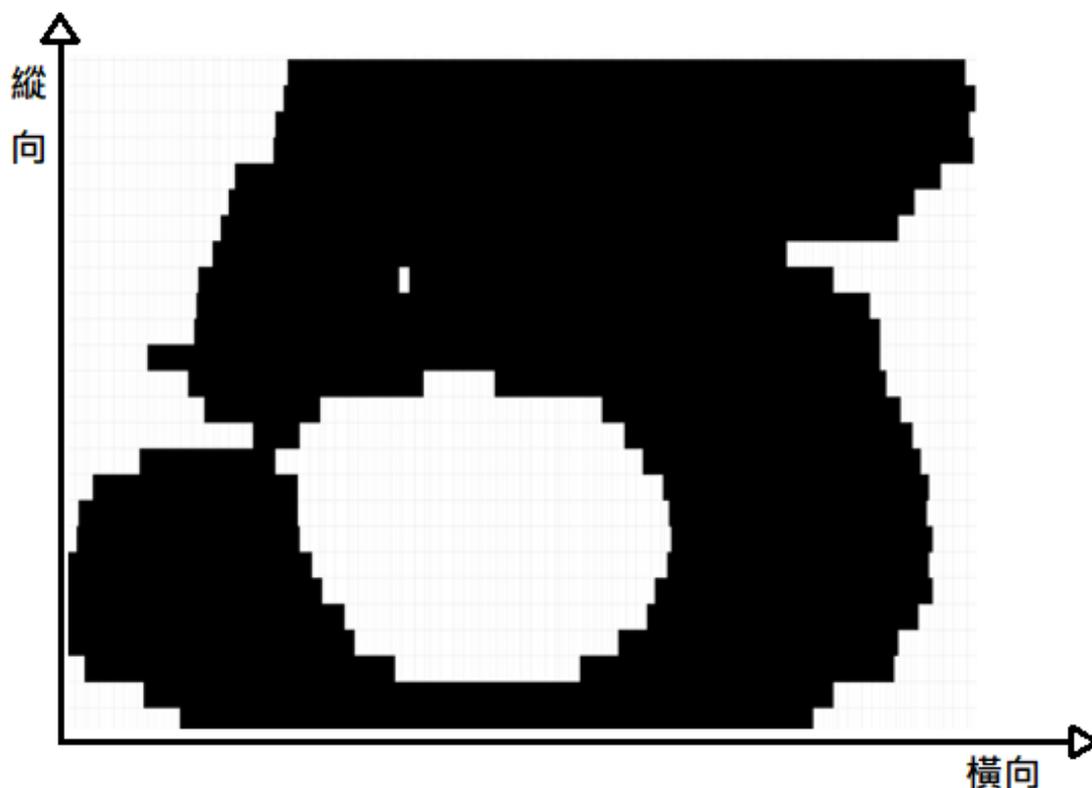
圖十九 深度對橫向位移的折線圖

## 五、使用自製感測器感測待測物的表面(平面)

我們在此實驗首先使用黏著頭髮的自製感測器進行測量，發現量測出來的數據與實際的樣貌有很大的差別，並且此感測器的石英音叉因受頭髮持續形變的干擾，在收集完數據前便失去明顯的共振，因此我們改用黏著光纖的自製感測器感測待測物的表面，發現因光纖探針較頭髮硬，所以石英音叉在收集完數據前，並沒有失去明顯的共振。圖二十是我們使用黏著光纖的自製感測器所測得的數據，其邊長為 4.34mm×3.5mm。如圖二十所示，黑色的地方表示探針有觸碰到物體，白色則無。圖中有一白點推測為刮痕，因此探針並沒有觸碰到物體。

探針縱向位置(mm)	有感測到物體的橫向位置(mm)	探針縱向位置(mm)	有感測到物體的橫向位置(mm)
15	1.14~4.25	16.3	1.18~2.34,3.68~4.61
15.1	0.96~4.35	16.4	0.98~4.58
15.2	0.67~2.2,3.1~4.65	16.5	1.21~4.58
15.3	0.54~2,3.29~4.67	16.6	1.22~4.53
15.4	0.51~1.95,3.43~2.77	16.7	1.23~2.22,2.26~4.35
15.5	0.58~1.84,3.47~4.54	16.8	1.3~4.12
15.6	0.58~1.79,3.53~4.52	16.9	1.34~4.67
15.7	0.63~1.73,3.55~4.54	17	1.38~4.75
15.8	0.64~1.72,3.52~4.52	17.1	1.41~4.88
15.9	0.71~1.61,3.41~4.78	17.2	1.6~5.04
16	0.94~1.61,3.41~4.78	17.3	1.61~5.02
16.1	1.5~1.73,3.32~4.74	17.4	1.65~5.05
16.2	1.26~1.83,3.21~4.68	17.5	1.67~5

表四 探針感測到物體的位置



圖二十 五十元硬幣感測結果圖

#### 六、感測物體表面(立體)

我們嘗試改變感測器感測的方法，我們首先將探針在平面的位置固定，然後只改變深度進行感測，但這樣探針容易斷裂，因此我們打算改成固定位置，改變深度的方法，以打點的方式來記錄來感測物體的表面。我們使用 Sketchup 作出立體圖(圖二十一、圖二十二)。

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.112	10.112	10.14	10.159	10.165	10.17	10.17	10.171	10.175
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.175	10.175	10.176	10.176	10.175	10.175	10.171	10.175	10.17
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.17	10.175	10.17	10.17	10.173	10.175	10.175	10.17	10.171
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.169	10.17	10.17	10.17	10.17	10.17	10.165	10.16	10.156
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9					
深度(mm)	10.145	10.125	10.89	10.9					

表五 探針縱向位置=22.6mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.06	10.055	10.096	10.11	10.12	10.115	10.12	10.119	10.12
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.122	10.123	10.122	10.105	10.106	10.105	10.102	10.1002	10.101

橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.101	10.106	10.107	10.105	10.105	10.103	10.104	10.103	10.103
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.103	10.103	10.104	1.01	10.1	10.1	10.099	10.09	10.085
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8						
深度(mm)	10.061	10.021	10.021						

表六 探針縱向位置=22.5mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.04	10.04	10.04	10.109	10.119	10.129	10.13	10.128	10.128
橫向位移(mm)	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5
深度(mm)	10.122	10.121	10.12	10.12	10.119	10.115	10.111	10.11	10.111
橫向位移(mm)	2.7	2.9	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7
深度(mm)	10.11	10.109	10.109	10.102	10.1	10.092	10.075	10.036	10.027

表七 探針縱向位置=22.35mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	9.985	9.989	10.02	10.057	10.074	10.086	10.081	10.081	10.081
橫向位移(mm)	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6
深度(mm)	10.08	10.075	10.07	10.07	10.066	10.06	10.06	10.059	10.06
橫向位移(mm)	2.8	3	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8
深度(mm)	10.061	10.051	10.05	10.05	10.04	10.014	9.97	9.97	9.97

表八 探針縱向位置=22.15mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
深度(mm)	9.95	9.95	10.04	10.061	10.071	10.078	10.074	10.073
橫向位移(mm)	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5
深度(mm)	10.073	10.07	10.07	10.068	10.062	10.06	10.055	10.053

表九探針縱向位置=21.95mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	9.95	10	10.047	10.062	10.07	10.073	10.07	10.072	10.07
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.09	10.056	10.021	9.991	9.982	9.98	9.991	10.015	10.025
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.025	10.02	10.03	10.031	10.035	10.031	10.031	10.03	10.026
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.02	10.021	10	9.999	9.99	9.969	9.964	9.965	9.964

表十探針縱向位置=21.75mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.04	10.09	10.11	10.112	10.112	10.112	10.112	10.11	10.11
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7

深度(mm)	10.083	10.08	10.085	10.088	10.09	10.093	10.095	10.095	10.095
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.095	10.095	10.1	10.098	10.097	10.095	10.095	10.095	10.095
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.093	10.092	10.09	10.088	10.086	10.08	10.076	10.066	10.052
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4				
深度(mm)	10.025	10.013	10.012	10.012	10.01				

表十一探針縱向位置=21.55mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.054	10.087	10.106	10.11	10.11	10.112	10.11	10.106	10.105
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.1	10.1	10.097	10.098	10.095	10.095	10.095	10.095	10.092
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.092	10.091	10.095	10.095	10.092	10.095	10.095	10.095	10.092
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.095	10.093	10.093	10.093	10.091	10.09	10.089	10.09	10.083
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.3	4.4
深度(mm)	10.071	10.046	10.015	10.008	10.01	10.01	10.008	10.008	10.01

表十二探針縱向位置=21.35mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.03	10.071	10.092	10.01	10.01	10.01	10.01	10.01	10.098
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.098	10.096	10.093	10.09	10.086	10.08	10.075	10.065	10.063
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.059	10.062	10.067	10.07	10.078	10.083	10.085	10.085	10.087
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.088	10.088	10.088	10.089	10.089	10.088	10.087	10.088	10.087
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2		
深度(mm)	10.083	10.076	10.057	10.025	10.005	10.005	10.005		

表十三探針縱向位置=21.15mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.02	10.02	10.018	10.018	10.038	10.07	10.079	10.085	10.082
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.075	10.058	10.023	10.01	10.01	10.008	10.007	10.007	10.007
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.008	10.008	10.007	10.011	10.011	10.011	10.038	10.075	10.08
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.085	10.083	10.083	10.085	10.085	10.085	10.085	10.085	10.085
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.3	4.4

深度(mm)	10.085	10.085	10.079	10.06	10.028	10.005	10.003	10.005	10.005
--------	--------	--------	--------	-------	--------	--------	--------	--------	--------

表十四探針縱向位置=20.95mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.02	10.039	10.044	10.051	10.06	10.056	10.049	10.03	10.009
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.005	10.009	10.008	10.009	10.003	10.006	10.004	10.002	10
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.001	10	10	10	10	10	9.999	10.03	10.071
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.076	10.079	10.08	10.079	10.079	10.078	10.08	10.079	10.079
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.3	4.4
深度(mm)	10.078	10.077	10.065	10.062	10.025	9.998	9.992	9.992	9.994

表十五探針縱向位置=20.75mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.07	10.078	10.08	10.08	10.081	10.08	10.076	10.079	10.04
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.012	10.007	10.002	10.002	10.002	10.002	10.001	10.001	10
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10	9.999	9.998	9.999	9.998	9.998	9.999	10.04	10.051
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.07	10.072	10.076	10.075	10.075	10.079	10.078	10.077	10.078
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.3	
深度(mm)	10.079	10.078	10.077	10.076	10.03	10.01	9.993	9.991	

表十六探針縱向位置=20.55mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.068	10.068	10.065	10.065	10.063	10.062	10.061	10.055	10.035
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.065	9.992	9.985	9.985	9.985	9.983	9.982	9.982	9.981
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	9.981	9.98	9.98	9.98	9.981	9.981	9.98	10.02	10.048
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.052	10.059	10.057	10.056	10.059	10.059	10.059	10.06	10.062
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.3	
深度(mm)	10.062	10.06	10.059	10.044	10.005	9.979	9.975	9.972	

表十七探針縱向位置=20.35mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.102	10.105	10.103	10.102	10.102	10.102	10.1	10.094	10.089
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7

深度(mm)	10.068	10.043	10.02	10.02	10.019	10.02	10.018	10.018	10.017
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.018	10.014	10.018	10.015	10.018	10.04	10.07	10.08	10.089
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.092	10.09	10.093	10.095	10.095	10.093	10.093	10.094	10.094
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.3	
深度(mm)	10.094	10.093	10.089	10.056	10.027	10.007	10.008	10.008	

表十八 探針縱向位置=20.15mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.07	10.07	10.07	10.072	10.07	10.07	10.069	10.07	10.066
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.063	10.057	10.048	10.041	10.032	10.02	10.017	10.011	10.012
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.013	10.02	10.03	10.04	10.048	10.052	10.06	10.063	10.064
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.064	10.063	10.065	10.067	10.066	10.065	10.065	10.066	10.066
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2		
深度(mm)	10.065	10.06	10.02	9.98	9.98	9.98	9.98		

表十九探針縱向位置=19.95mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	10.03	10.04	10.04	10.04	10.04	10.04	10.04	10.04	10.04
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.038	10.038	10.038	10.034	10.031	10.03	10.031	10.029	10.029
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.029	10.03	10.031	10.031	10.033	10.034	10.034	10.034	10.036
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.036	10.036	10.037	10.037	10.037	10.037	10.035	10.033	10.03
橫向位移(mm)	3.6	3.7	3.8	3.9	4				
深度(mm)	10	9.951	9.951	9.95	9.95				

表二十 探針縱向位置=19.75mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	9.98	9.978	9.982	10.022	10.032	10.04	10.038	10.04	10.04
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.038	10.037	10.035	10.035	10.035	10.037	10.036	10.036	10.033
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.035	10.033	10.035	10.037	10.035	10.037	10.038	10.037	10.037
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5
深度(mm)	10.038	10.038	10.037	10.034	10.029	10.003	9.96	9.953	9.951

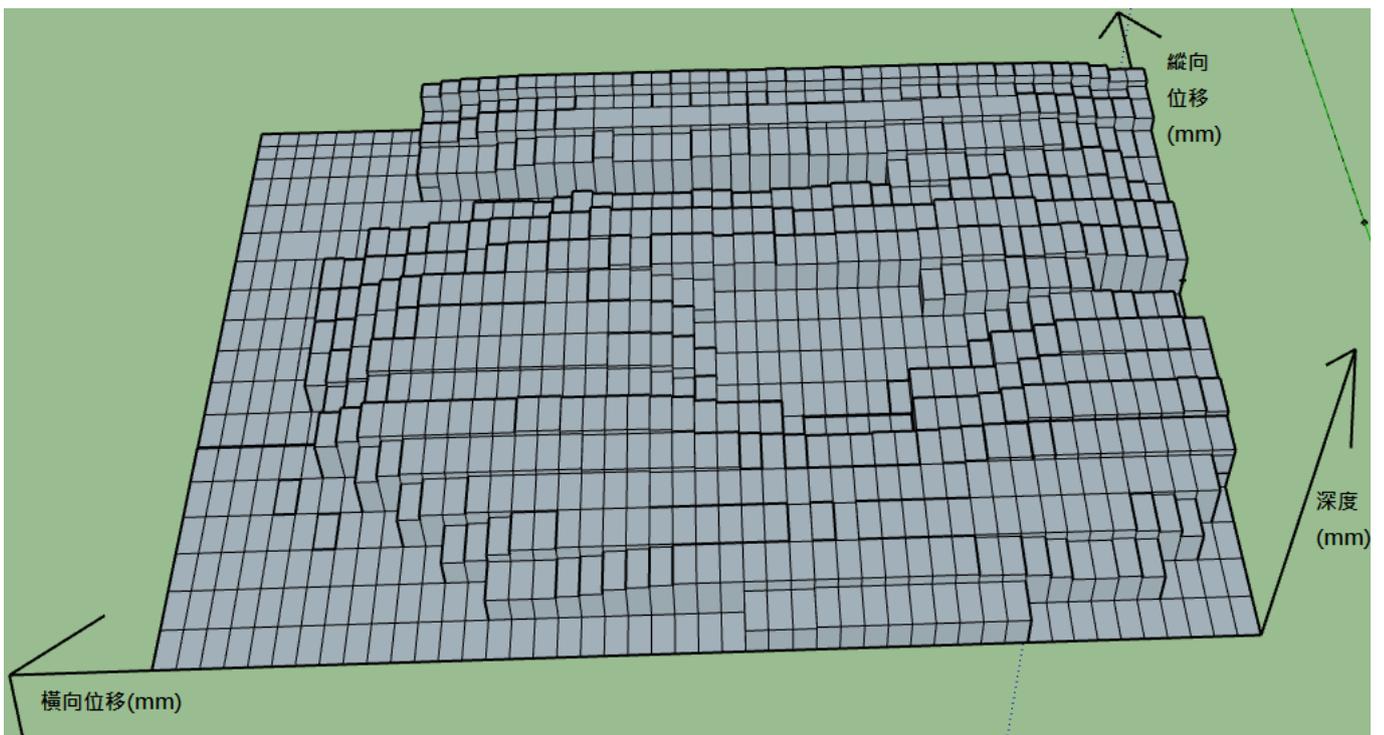
表二十一 探針縱向位置=19.55mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	9.974	9.974	9.972	9.972	9.972	9.98	9.971	9.971	9.991
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	10.008	10.02	10.024	10.03	10.029	10.03	10.03	10.03	10.029
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	10.03	10.03	10.03	10.03	10.03	10.028	10.025	10.021	10.014
橫向位移(mm)	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2			
深度(mm)	10	9.97	9.961	9.952	9.955	9.952			

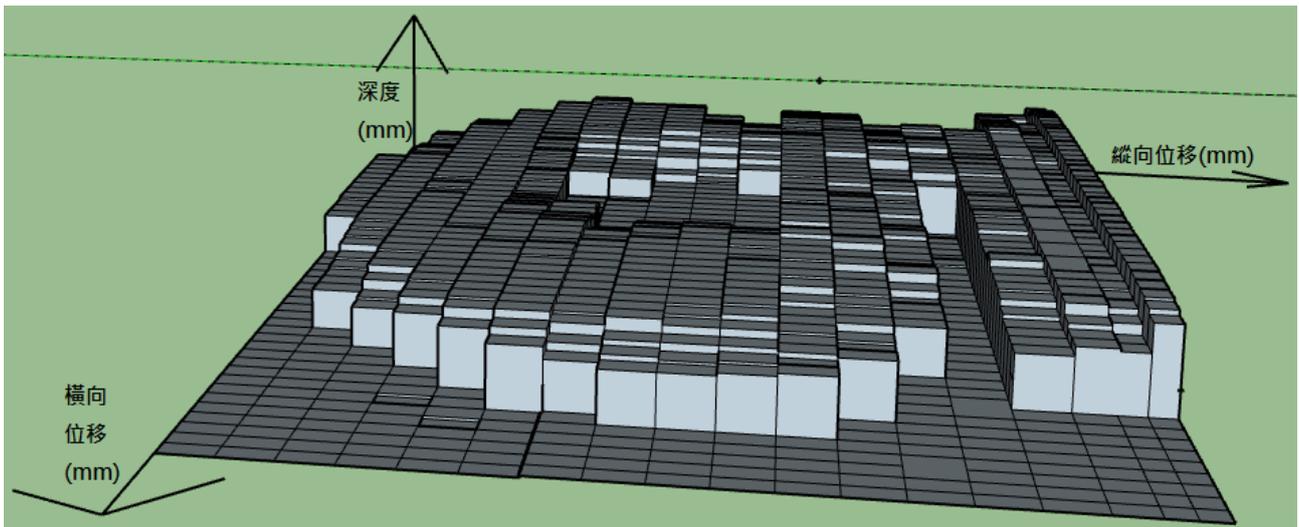
表二十二 探針縱向位置=19.35mm

橫向位移(mm)	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
深度(mm)	9.98	9.98	9.978	9.973	9.974	9.972	9.972	9.971	9.97
橫向位移(mm)	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
深度(mm)	9.969	9.97	9.968	9.97	9.969	9.97	9.967	9.965	9.97
橫向位移(mm)	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
深度(mm)	9.97	9.968	9.968	9.96	9.96	9.958	9.957	9.955	9.953

表二十三 探針縱向位置=19.15mm



圖二十一 五十元硬幣感測立體俯視圖



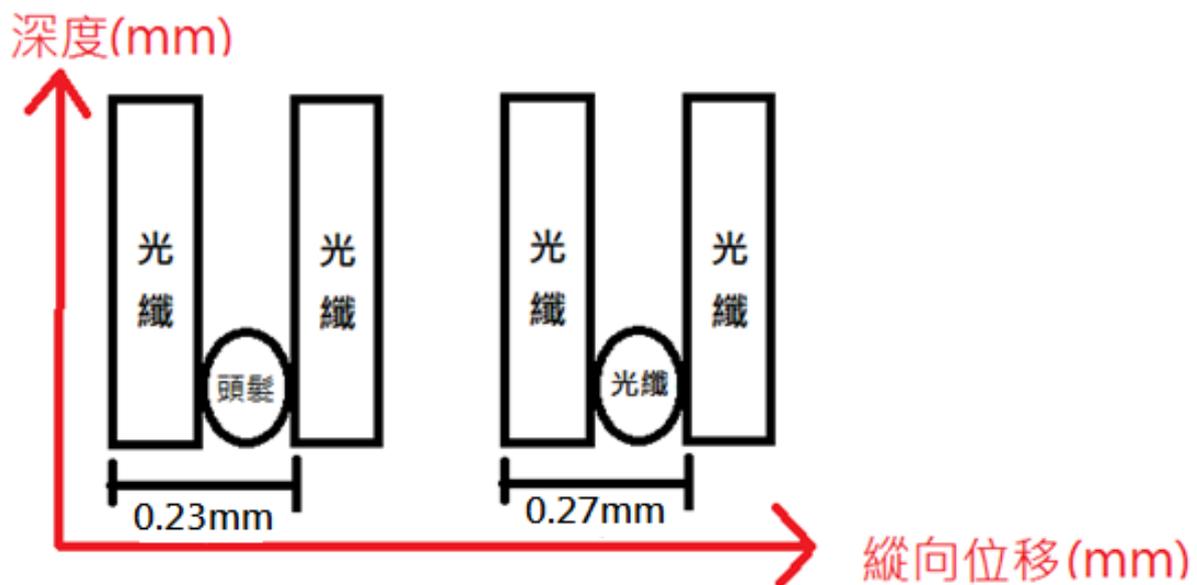
圖二十二 五十元硬幣感測立體側視圖

### 七、不同材質探針的量測解析度

我們在這個實驗中測出不同材質探針的量測解析度。其中，我們量測探針的直徑以得出探針在平面上的解析度，並測量探針在深度方向的平均誤差，算出深度的解析度。

#### (一) 檢測不同材質探針的寬度

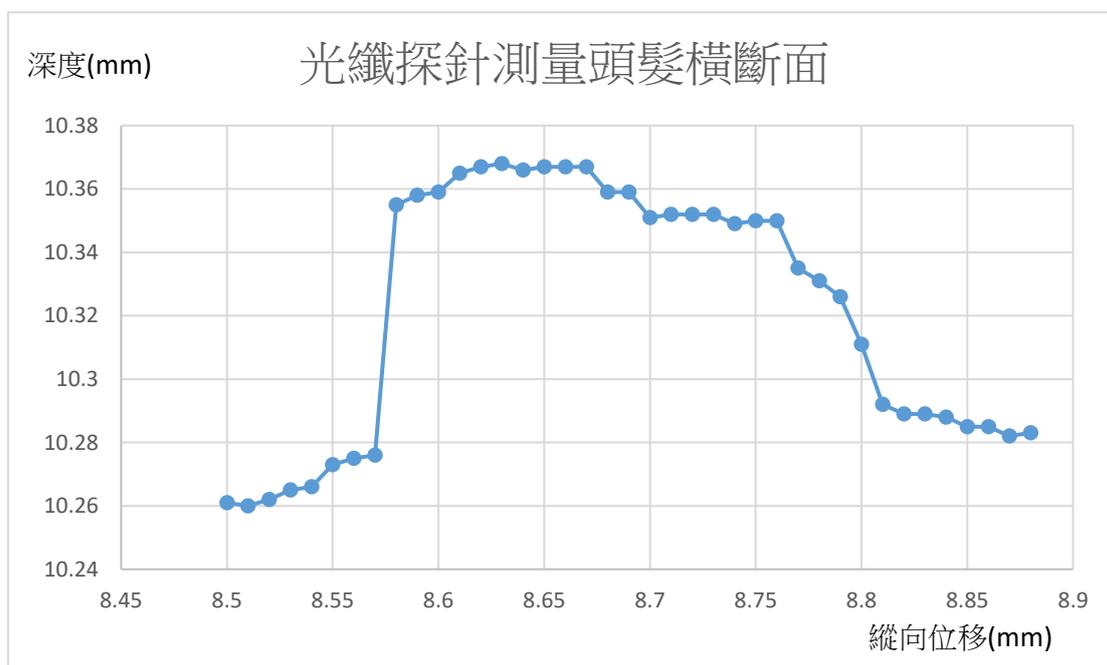
我們首先用光纖感測頭髮的橫截面，發現光纖加頭髮的寬度為  $230 \mu\text{m}$  (自  $8.58\text{mm} \sim 8.81\text{mm}$ )，我們再用光纖感測光纖的寬度，發現兩根光纖的寬度為  $270 \mu\text{m}$  (自  $10.58\text{mm} \sim 10.85\text{mm}$ )，因此我們可以得知我們所使用的頭髮直徑大約為  $95 \mu\text{m}$ ，光纖大約為  $135 \mu\text{m}$ 。



圖二十三 量測寬度示意圖

縱向位移(mm)	8.51	8.52	8.53	8.54	8.55	8.56	8.57	8.58	8.59
深度(mm)	10.26	10.262	10.265	10.266	10.273	10.275	10.276	10.355	10.358
縱向位移(mm)	8.6	8.61	8.62	8.63	8.64	8.65	8.66	8.67	8.68
深度(mm)	10.359	10.365	10.367	10.368	10.366	10.367	10.367	10.367	10.359
縱向位移(mm)	8.69	8.7	8.71	8.72	8.73	8.74	8.75	8.76	8.77
深度(mm)	10.359	10.351	10.352	10.352	10.352	10.349	10.35	10.35	10.335
縱向位移(mm)	8.78	8.79	8.8	8.81	8.82	8.83	8.84	8.85	8.86
深度(mm)	10.331	10.326	10.311	10.292	10.289	10.289	10.288	10.285	10.285
縱向位移(mm)	8.87	8.88							
深度(mm)	10.282	10.283							

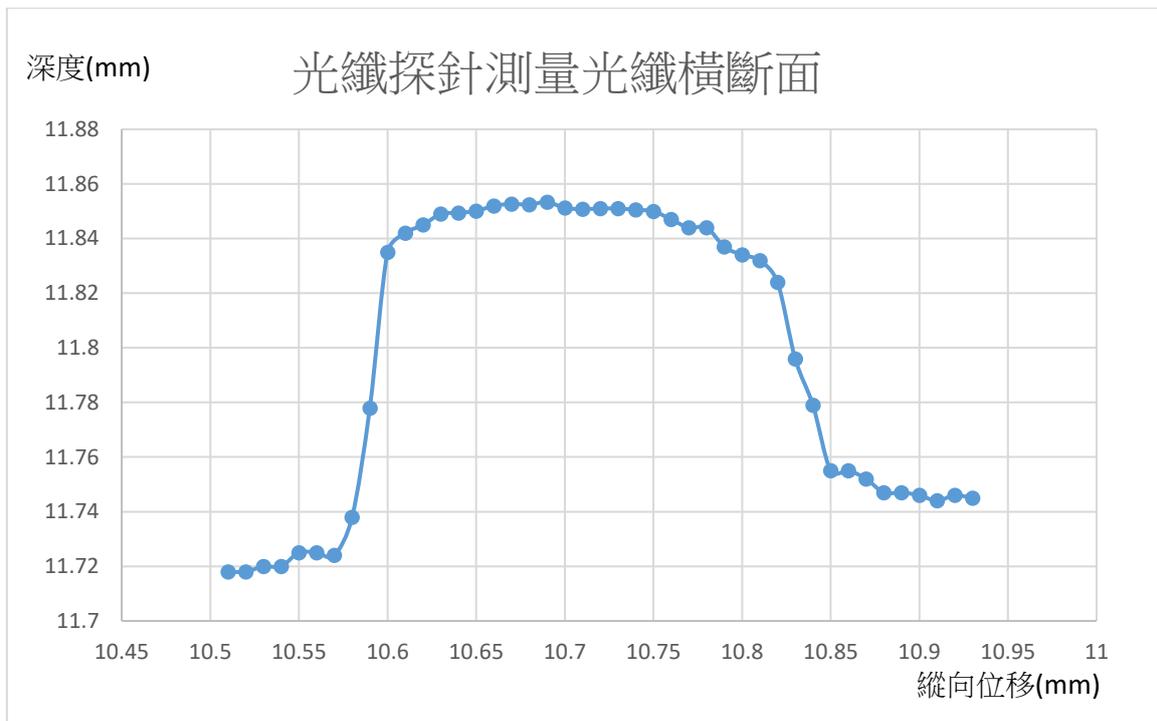
表二十四 以光纖探針量測頭髮寬度(塗色部分代表有感測到頭髮)



圖二十四 光纖探針測量頭髮橫斷面的縱向位移對深度的摺線圖

縱向位移(mm)	10.51	10.52	10.53	10.54	10.55	10.56	10.57	10.58	10.59
深度(mm)	11.718	11.718	11.72	11.72	11.725	11.725	11.724	11.738	11.778
縱向位移(mm)	10.6	10.61	10.62	10.63	10.64	10.65	10.66	10.67	10.68
深度(mm)	11.835	11.842	11.845	11.849	11.849	11.85	11.852	11.853	11.852
縱向位移(mm)	10.69	10.7	10.71	10.72	10.73	10.74	10.75	10.76	10.77
深度(mm)	11.853	11.851	11.851	11.851	11.851	11.85	11.85	11.845	11.844
縱向位移(mm)	10.78	10.79	10.8	10.81	10.82	10.83	10.84	10.85	10.86
深度(mm)	11.844	11.837	11.834	11.832	11.824	11.796	11.779	11.755	11.755
縱向位移(mm)	10.87	10.88	10.89	10.9	10.91	10.92	10.93		
深度(mm)	11.752	11.747	11.747	11.746	11.744	11.746	11.745		

表二十五 以光纖探針量測光纖寬度(塗色部分代表有感測到光纖)



圖二十五 光纖探針測量光纖橫斷面的縱向位移對深度的摺線圖

## (二)檢測光纖與頭髮的誤差

我們使用頭髮或光纖作為探針感測同一點數次，我們將每筆數據減平均數據後，再取絕對值後平均，得到光纖的平均誤差為  $0.8 \mu\text{m}$ ，頭髮的平均誤差為  $1.911 \mu\text{m}$ 。

光纖	1	2	3	4	5	6
探針位移(mm)	7.597	7.596	7.597	7.598	7.597	7.597
	7	8	9	10	平均(mm)	平均誤差(mm)
探針位移(mm)	7.597	7.599	7.598	7.599	7.5975	0.0008
頭髮	1	2	3	4	5	6
探針位移(mm)	6.944	6.944	6.949	6.945	6.943	6.943
	7	8	9	10	平均(mm)	平均誤差(mm)
探針位移(mm)	9.646	6.947	6.943	6.948	6.9452	0.001911

表二十六 以光纖與頭髮測量固定物體的探測結果

## 陸、研究討論

### 一、比較探針黏著位置的差異

我們將探針黏著在不同的位置，發現將探針黏著在位置 1 時，石英音叉會擁有較高的品質係數，但因黏著的探針過長，導致一些微小的變化會因探針的扭曲而偵測不到，因此很容易就產生誤差，將探針黏著在位置 2 是我們目前最佳的方案，此方法的靈敏度與準確率雖然

與將探針黏著在位置 3 差不多，但是在進行黏著時，我們將探針黏在黏著位置 2 可以較容易製造出成品。而將探針黏在黏著位置 3 石探針容易黏歪，導致探針在感測時脫落，其比較如表五所示。

	探針黏著位置一	探針黏著位置二	探針黏著位置三
靈敏度	極低	較佳	較佳
準確率	極低	較佳	較佳
壽命	較長	較短	較短
製作難度	較低	較低	較高

表二十七 黏著位置的差異

## 二、比較不同黏著劑的差異

我們在黏著探針時，使用了瞬間膠與 AB 膠。在使用 AB 膠黏著時，因為 AB 膠需要較長的時間來硬化，為了避免因為用手拿所產生的誤差，我們需要使用機械手臂輔助我們固定石英音叉與探針(圖二十一)，我們將使用 AB 膠黏著的探針拿去感測時，發現取得數筆數據後，探針便與一開始所黏著的位置有些微的偏離，我們便移除石英音叉上的 AB 膠，發現此石英音叉能會對特定頻率的訊號產生共振，因此我們推測石英音叉並未受到太大的損壞。我們使用瞬間膠時，因瞬間膠乾得很快，所以我們並未使用機械手來固定位置，而是直接用手黏著，而當我們使用以瞬間膠黏著的探針時，探針較不會因受到過多的外力而無法精準的感測。

	AB 膠	瞬間膠
黏著速率	極慢	快
黏著穩固度	較差	較佳
對石英音叉的傷害	較小	較大

表二十八 不同黏著劑的差異



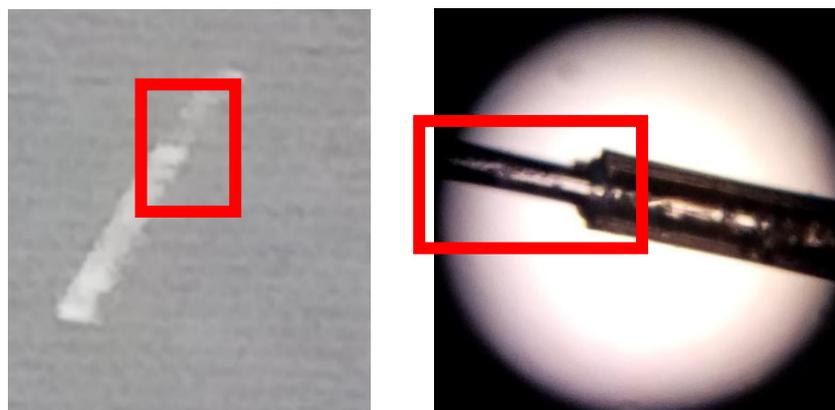
圖二十六 機械手輔助黏著

### 三、比較不同材質作為探針的差異

由於頭髮取得相當容易，我們就先以頭髮作為自製感測器的探針，進行測量時發現量測出來的數據與實際的樣貌有稍許差異，並且感測器的石英音叉因受頭髮持續形變的干擾，在收集完數據前便沒有明顯的共振。當我們改用黏著光纖的自製感測器感測待測物的表面，發現即使是剝去外殼的光纖(圖二十二)探針也較頭髮硬，所以石英音叉在收集完數據前，並沒有失去明顯的共振。頭髮探針和光纖探針的解析度我們是由實驗六得到的數據推論出來，探針的直徑會影響到平面上的解析度，而縱向的解析度可由實驗得知。

	以頭髮作為探針	以光纖作為探針
靈敏度	較差	較佳
準確率	較差	較佳
解析度	95*95*2( $\mu\text{m}$ )	135*135*1( $\mu\text{m}$ )
壽命	較差	較佳
優點	頭髮有較佳的柔韌度，所以在感測物體截面時較不易斷裂	光纖較不易形變，因此在感測物體表面時，準確率較高
缺點	頭髮在檢測物體表面時會因遇到起伏而產生形變，導致較大的誤差	光纖在感測物體截面時，會因物體深度變化過大而斷裂

表二十九 不同材料作為探針的差異



圖二十七、圖二十八 剝去外殼的光纖

## 柒、結論

### 一、研究結論

(一)我們量測得知，未剝殼的石英音叉擁有良好的品質係數，剝殼後石英音叉的品質係數雖會有大幅度的下降，但仍不失其靈敏性。

(二) 不同探針黏著點會對石英音叉的靈敏度、準確度及壽命產生影響。

(三) 使用不同探針黏著劑會影響石英音叉的使用，瞬間膠的黏著度及穩固度都比 AB 膠好，但是對石英音叉的傷害卻比較大。

(四) 比較不同探針材質的結果，光纖在靈敏度、準確度及壽命都表現得比頭髮好，頭髮雖有不易斷裂的優點，但容易產生誤差；光纖雖然準確度較高，卻有容易斷裂的缺點。此外，光纖在平面的解析度較頭髮差，但縱向的解析度較頭髮好。

因此，我們得到的結論是以石英音叉作為表面感測器是可行的，雖然我們所製作的儀器準確度還有進步空間，但考量其造價及耐用程度，整體而言，性價比(CP 值)是比較高的。

### 二、未來期許

我們之後如果有機會做更深入的研究，我們想嘗試改變感測器的外在環境，如：降低儀器附近的氣壓、溫度等，以測試其對感測器解析度的影響。關於石英音叉的研究，我們覺得可以找到更多變因來進行測試，使得石英音叉的應用更完善。

## 捌、參考資料

[1]彭伯倫(2012)。 石英音叉鎢探針之設計與特性研究應用於表面形貌量測。國立交通大學機械工程學系碩士論文，新竹市。

[2]A. A. Kosterev, Frank K. Tittel, Dmitry V. Serebryakov, Alexander L. Malinovsky, and Igor V. Morozov, Rev. Sci. Instrum. 76, 043105, 2005

[3]J.-M. Friedt and É. Carry, Am. J. Phys. Vol. 75, No. 5, May, 2007

## 【評語】 052318

本作品利用石英音叉高靈敏度的特性，從多方面探討其作為表面感測器之可行性，並實現系統的整合，研究用頭髮與光纖做探針結合創意與實作。系統需要校正樣品與方式來定量評估準確度，數據分析方式可再精進。

# 壹、摘要

石英音叉是一種高精密度的壓電震盪器，本研究欲利用其高靈敏度，探討其作為表面感測器之可行性。將音叉調整在最佳的驅動震盪狀態，並將待測物固定在三維旋轉台上，藉由調節輪控制待測物的移動方向，使其緩慢移動並與探針接觸。當音叉受到表面凸起之微擾時，其靈敏的性質將使其失去共振，可藉此得知待測物表面之起伏。在本研究中，我們得到的結論是以石英音叉作為表面感測器是可行的，此外，石英音叉探針黏著點、使用的黏著劑、探針的材質以及探測方法會對感測器靈敏度產生影響。

# 貳、研究動機

石英元件在人們的生活中扮演重要角色，在石英震盪器中含有一細小的「石英音叉」，常用於石英數位手錶。石英晶體所具有的壓電性質使得石英音叉在共振時產生電流脈衝，因此常被用於電腦晶片中。石英元件的功用除了參考頻率與定時功能外，也能提供感測與光學上的關鍵性功能，其應用範圍愈來愈廣。

在一次物理課上，老師給我們看一些有關共振的影片。對於石英音叉有十分靈敏的共振，本組很感興趣。在查詢相關文獻及與指導老師討論後，便想要深入探討其應用。最後決定研究石英音叉作為探針的可行性，探討其是否能如掃描式電子顯微鏡般，感測物體表面的高低起伏，作為表面感測器。

# 參、研究目的

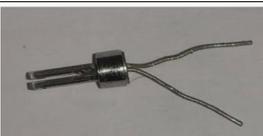
- 一、測量剝殼及未剝殼的石英音叉之品質係數(Q值)。
- 二、比較使用不同探針黏著點之探針量測的靈敏度。
- 三、比較使用不同探針黏著劑之探針量測的靈敏度。
- 四、比較使用不同探針材質之探針量測的靈敏度。
- 五、探討石英音叉作為表面感測器的可行性。

# 肆、研究設備與器材

一、器材：

電路板	智高積木	鐵盒	AB膠	電線	電鑽	電阻	三秒膠
-----	------	----	-----	----	----	----	-----

二、偵測器：

石英音叉		OP放大器 (FPT9323)		八角插座		光纖		BNC接頭	
------	---	-----------------	---	------	---	----	---	-------	---

三、架子：

二維移動平台		移動平台		音響	
--------	---	------	--	----	---

四、儀器：

電源供應器	示波器	訊號產生器	光學麵包板	剝殼器	
-------	-----	-------	-------	-----	---

# 伍、研究過程及方法

一、焊接出可使石英音叉驅動震盪之電路

我們使用的元件為:OP放大器、10MΩ大電阻，自製了一個鐵殼子作為屏蔽，以減少雜訊。電線的布線方式也盡可能以減少干擾的方式設計，並在電路板背面貼上了絕緣膠帶，以減少干擾。

二、測量剝殼前與剝殼後石英音叉的品質係數(Q值)

我們將石英音叉插入檢測裝置，調整頻率使其共振。藉由石英音叉的品質係數與實驗數據，檢測石英音叉是否具有足夠的靈敏度，我們才可以石英音叉作為感測器來探測物體。

三、尋找適當的黏著劑及探針，並找出其最佳之黏著方式

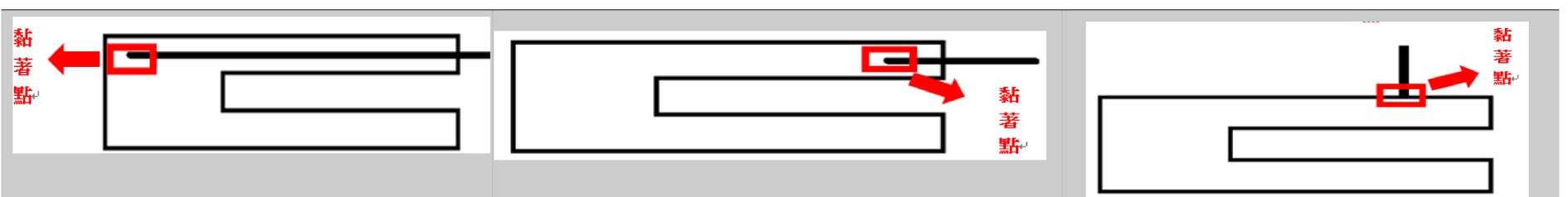
(一)黏著方式

我們決定嘗試三種黏著方式，並探討哪一種較為可行。

黏著位置一

黏著位置二

黏著位置三



表一 黏著位置

(二)黏著劑

我們採用瞬間膠及AB膠進行黏著，並比較哪一種黏著劑的黏著能力較為優秀。

(三)探針材質

我們採用頭髮及光纖當作探針。測試哪一種探針能更精準地感測物體表面起伏。

四、設計適當之裝置，以精確地移動音叉

為了能夠準確且定量地移動音叉，以讓音叉能夠在掃描過程中穩定不晃動，於是我們自行組裝一組能裝載音叉，又能定量且細微地移動的機器

五、比較使用不同感測情境時量測的靈敏度

本研究採用兩種感測情境來測量探針的靈敏度，期望能利用這些感測情境，來比較出各感測器的優劣。

# 陸、研究結果

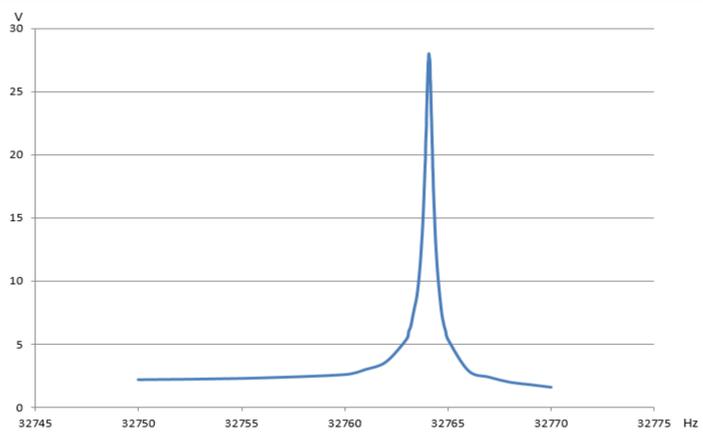
## 一、量測未剝殼音叉之品質係數Q

我們利用自製的電路板測量石英音叉的品質係數Q，紀錄以下輸入頻率對輸出電壓的數據，代入品質係數公式：

$$Q = v_{max} \div (v_1 - v_2)$$

$$Q = 32764.08 \div (32764.26 - 32763.92)$$

得出此石英音叉的品質係數Q為 96364。從實驗數據與品質係數我們可以確定石英音叉具有極高的靈敏度。如圖四。

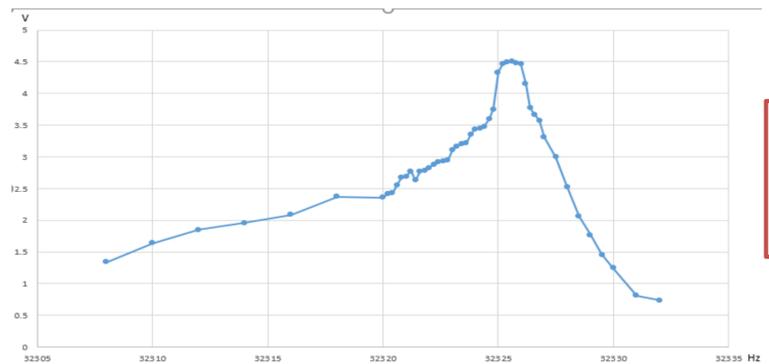


圖四 未剝殼音叉的輸入頻率對輸出電壓曲線圖

## 二、量測剝殼音叉之品質係數

$$Q = 32325.6 \div (32727 - 32323.4)$$

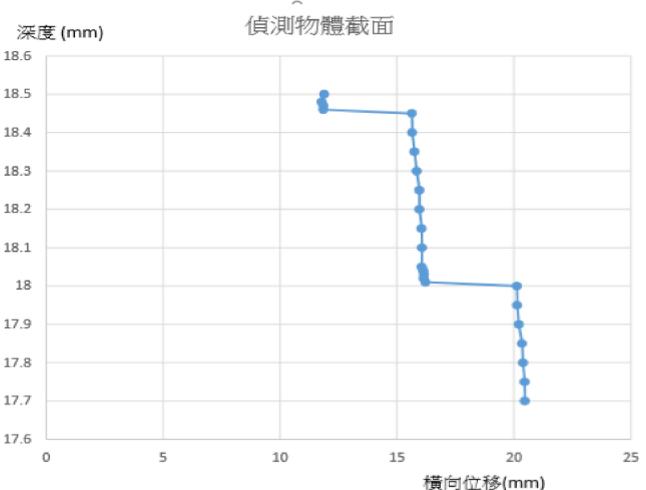
得出此剝殼石英音叉的品質係數Q為 8979.3，比對未剝殼石英音叉的品質係數96364，可發現剝殼前後石英音叉的靈敏度下降劇烈。如圖五。



圖五 剝殼音叉的輸入頻率對輸出電壓折線圖

## 三、使用自製感測器感測待測物的截面

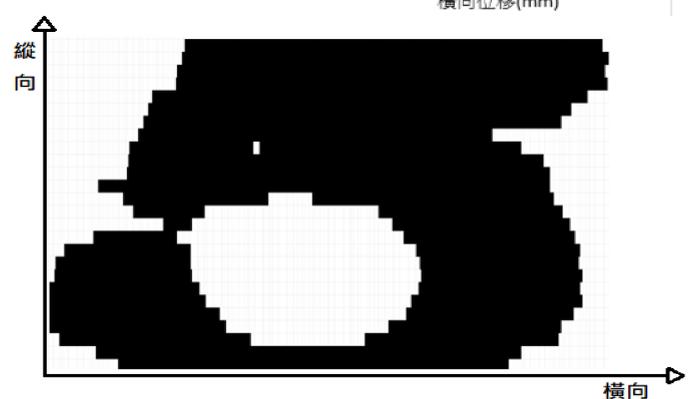
我們使用黏著頭髮的自製感測器感測待測物的截面，將沒接觸的位置紀錄，如圖六。經過測量與統整數據，我們發現了實測蓋玻片之間的深度差大概為0.44mm，這與蓋玻片的厚度(0.15mm)有巨大的差別。根據我們的推測，導致這巨大的差別的原因是我們黏蓋玻片的方式導致蓋玻片並不是平行堆疊，使蓋玻片傾斜並且片與片之間有空隙。



圖六 深度對橫向位移的折線圖

## 四、使用自製感測器感測待測物的表面(平面)

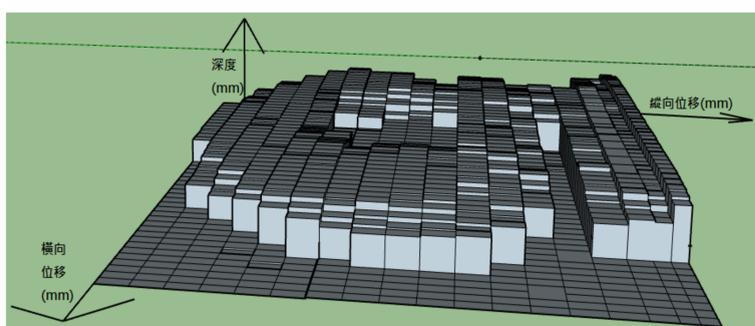
我們在此實驗使用黏著的光纖自製感測器進行測量。如圖七所示，黑色的地方表示探針有觸碰到物體，白色則無。圖中有一白點推測為刮痕，因此探針並沒有觸碰到物體。



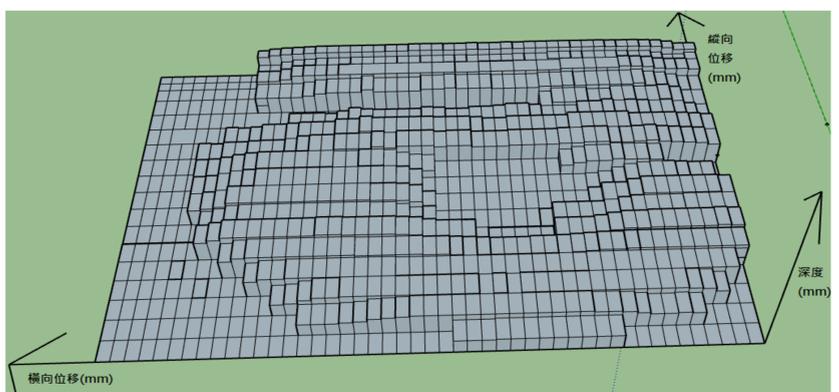
圖七 五十元硬幣感測結果圖

## 五、感測物體表面(立體)

我們將探針在平面的位置固定，然後改變深度進行感測。使用Sketchup作出立體圖，如圖八、九。



圖八 五十元硬幣感測立體俯視圖

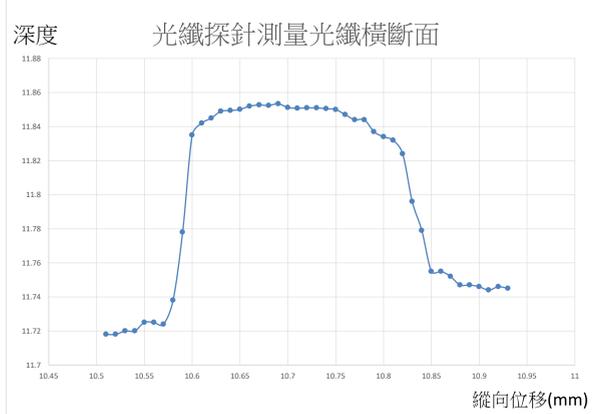


圖九 五十元硬幣感測立體側視圖

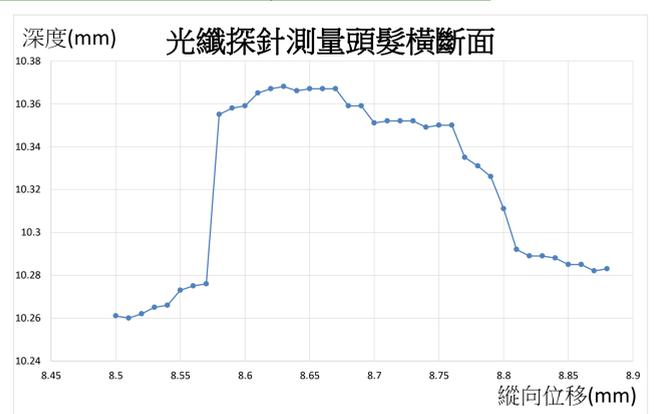
## 六、不同材質探針的量測解析度

### (一) 檢測不同材質探針的寬度

我們用光纖感測頭髮的橫截面，發現光纖加頭髮的寬度為230 μm(自8.58mm~8.81mm)，用光纖感測光纖的寬度，發現兩根光纖的寬度為 270 μm(自10.58mm~10.85mm)，因此可以得知我們所使用的頭髮直徑大概為 95 μm，光纖大概為 135 μm。



圖十 光纖探針測量光纖橫斷面的縱向位移對深度的摺線圖



圖十一 光纖探針測量頭髮橫斷面的縱向位移對深度的摺線圖

### (二) 檢測光纖與頭髮的誤差

我們使用頭髮或光纖作為探針感測同一點數次，我們將每筆數據減平均數據後，再取絕對值後平均，我們得到光纖的平均誤差為0.8 μm，得到頭髮的平均誤差為1.911 μm。如表二。

光纖	1	2	3	4	5	6
探針位移(mm)	7.597	7.596	7.597	7.598	7.597	7.597
	7	8	9	10	平均(mm)	平均誤差(mm)
探針位移(mm)	7.597	7.599	7.598	7.599	7.5975	0.0008
頭髮	1	2	3	4	5	6
探針位移(mm)	6.944	6.944	6.949	6.945	6.943	6.943
	7	8	9	10	平均(mm)	平均誤差(mm)
探針位移(mm)	9.646	6.947	6.943	6.948	6.9452	0.001911

表二 以光纖與頭髮測量固定物體的探測結果

## 柒、討論

### 一、比較探針黏著位置的差異

將探針黏著在位置一時，石英音叉會擁有較高的品質係數，但因黏著的探針過長導致一些微小的變化會因探針的扭曲而偵測不到，因此很容易就產生誤差。將探針黏著在位置二是目前最佳的方案，此方法的靈敏度與準確率雖然與將探針黏著在位置三差不多，但是在進行黏著時，將探針黏在黏著位置二可以較容易製造出成品，而將探針黏在黏著位置三石探針容易黏歪，導致探針在感測時脫落，其比較如表二所示。

	探針黏著位置 一	探針黏著位置 二	探針黏著位置 三
靈敏度	極低	較佳	較佳
準確率	極低	較佳	較佳
壽命	較長	較短	較短
製作難度	較低	較低	較高

表三 黏著位置的差異

### 二、比較不同黏著劑的差異

在黏著探針時，使用了瞬間膠與 AB 膠。使用 AB 膠黏著的探針拿去感測時，發現取得數筆數據後，探針便與一開始所黏著的位置有些微的偏離，於是我們移除石英音叉上的 AB 膠，並發現此石英音叉能會對特定頻率的訊號產生共振，因此我們推測石英音叉並未受到太大的損壞。而使用瞬間膠時，探針便較不會因受到過多的外力而無法精準的感測。

	AB膠	瞬間膠
黏著速率	極慢	快
黏著穩固度	較差	較佳
對石英音叉的傷害	較小	較大

表四 不同黏著劑的差異

### 三、比較不同材質作為探針的差異

以頭髮作為自製感測器的探針，進行測量時發現量測出來的數據與實際的樣貌有一些差異，並且感測器的石英音叉因受頭髮持續形變的干擾，在收集完數據前便沒有明顯的共振。當我們改用黏著光纖的自製感測器感測待測物的表面，發現即使是剝去外殼的光纖探針也較頭髮硬，所以石英音叉在收集完數據前，並沒有失去明顯的共振。我們由實驗六的數據可推論出頭髮探針和光纖探針的解析度。

	以頭髮作為探針	以光纖作為探針
靈敏度	較差	較佳
準確率	較差	較佳
解析度	100*100*2( $\mu\text{m}$ )	230*230*1( $\mu\text{m}$ )
壽命	較差	較佳
優點	頭髮有較佳的柔韌度，所以在感測物體截面時較不易斷裂	光纖較不易形變，因此在感測物體表面時，準確率較高
缺點	頭髮在檢測物體表面時會因遇到起伏而產生形變，導致較大的誤差	光纖在感測物體截面時，會因物體深度變化過大而斷裂

表五 不同材料作為探針的差異

## 捌、結論

### 一、研究結論

- (一) 我們量測得知未剝殼的石英音叉擁有良好的品質係數，但剝殼後石英音叉的品質係數便大幅度的下降。
- (二) 不同探針黏著點會對石英音叉的靈敏度、準確度及壽命產生影響。
- (三) 使用不同探針黏著劑會影響石英音叉的使用，瞬間膠的黏著度及穩固度都比 AB 膠好，但是對石英音叉的傷害卻比較大。
- (四) 比較不同探針材質的結果，光纖在靈敏度、準確度及壽命都表現得比頭髮好，頭髮雖有不易斷裂的優點，但容易產生誤差；光纖雖然準確度較高，卻有容易斷裂的缺點。此外，光纖在平面的解析度較頭髮差，但縱向的解析度較頭髮好。因此，我們得到的結論是以石英音叉作為表面感測器是可行的。雖然我們所製作的儀器準確度還有進步空間，但考量其造價及耐用程度，整體而言，性價比(CP值)是比較高的。

### 二、未來期許

我們之後如果有機會做更深入的研究，我們想嘗試改變感測器的外在環境，如：降低儀器附近的氣壓、溫度等，以測試其對感測器解析度的影響。關於石英音叉的研究，我們覺得可以找到更多變因來進行測試，使得石英音叉的應用更完善。

## 玖、參考資料及其他

[1]彭伯倫(2012)。石英音叉鑄探針之設計與特性研究應用於表面形貌量測。國立交通大學機械工程學系碩士論文，新竹市。

[2]A. A. Kosterev, Frank K. Tittel, Dmitry V. Serebryakov, Alexander L. Malinovsky, and Igor V. Morozov, Rev. Sci. Instrum. 76, 043105, 2005

[3]J.-M. Friedt and É. Carry, Am. J. Phys. Vol. 75, No. 5, May, 2007