

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

082807

「微」鋼琴三部曲

學校名稱：國立南科國際實驗高級中學附設國小

作者： 小六 李昕妍 小六 陳宜菁	指導老師： 黃雅君 陳鴻珊
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：micro:bit、paper piano、水果樂器

摘要

現代科技日新月異，許多人慢慢的接觸了程式設計，例如：Scratch、mBlock、micro:bit。我們的研究以 micro:bit 作為程式設計，先探究生活中物品的導電性，再以這些可導電的物品加上 micro:bit 的程式設計，運用「琴鍵編碼表」的邏輯概念，以最少的接線，設計出以下三種可攜帶的科技鋼琴：1、西卡紙與導電材質結合；2、塑膠鍵盤與導電材質結合；3、木片與導電材質結合。只要輕輕的按琴鍵，就可以彈出一首優美的簡單樂曲。為了突破微鋼琴的琴鍵數量限制，我們增設降 8 度及升 8 度鍵，可增加彈奏的音域。另外我們也運用了 micro:bit 板子上的 A 和 B 鍵，一按 A 或 B 鍵，micro:bit 就會自動彈出一首歌曲，非常有趣。

壹、研究動機

有一次跟家人去高雄科工館時，看到了一個很特別的樂器，一張薄薄的西卡紙內貼著鋁箔，連接了電路板和喇叭，用手輕輕的按西卡紙，因電線連接到電路板發出了優美的音樂。剛好學校五年級下學期自然課教到「聲音與樂器」這個單元，老師請同學們自製一個樂器，我們馬上聯想到可以以這種「紙鋼琴」當作樂器，且在五年級上學期電腦課也上過「Scratch」學習如何寫程式，之後接觸到科展，我們就以之前的經驗進階學習「micro:bit」程式設計，運用「琴鍵編碼表」的邏輯概念，在琴鍵上做一些改變，想做一個可攜帶的「微鋼琴」。

貳、研究目的

- 一、測試日常生活中常見物品的導電性（實驗一）
- 二、以 micro:bit 進行程式設計（實驗二）
- 三、探討以不同的材質作為琴鍵
 - (一) 西卡紙與導電材質結合（實驗三、四）
 - (二) 塑膠琴鍵與導電材質結合（實驗五、六）
 - (三) 木片與導電材質結合（實驗七）
 - (四) 增加木鋼琴彈奏的音域（實驗八）

參、研究設備及器材

一、【實驗一】：測試日常生活中常見物品的導電性

鋁箔紙、單導銅箔膠帶、黏土（市售／自製）、不鏽鋼餐具、迴紋針、石墨棒、硬幣（50元、10元、5元和1元）、橡皮擦、鐵鋁片、鮭魚糖包裝紙（有／無顏色）、木頭、西卡紙、鐵尺、萬孔板、電線、LED 燈、電池盒、電池 2 顆。



【圖 1】實驗一之研究設備及器材

二、【實驗二】：以 micro:bit 進行程式設計

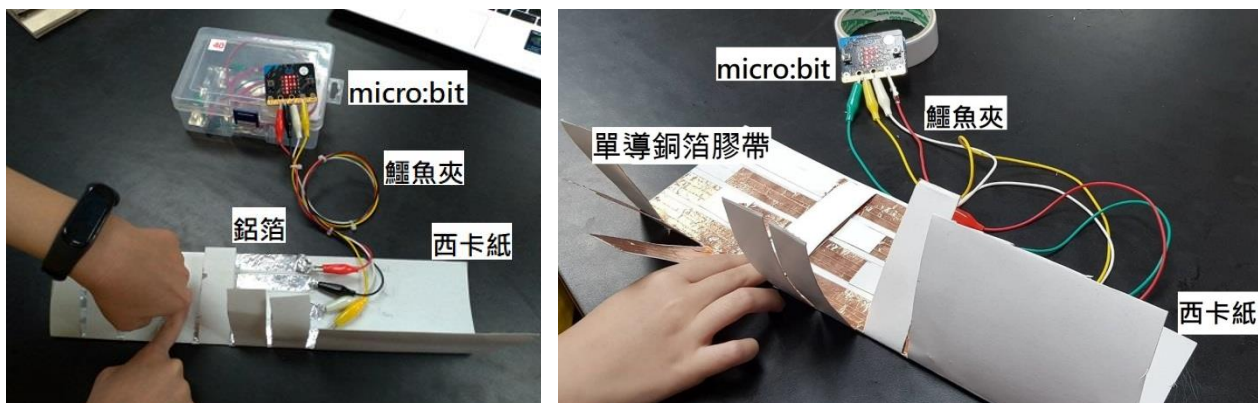
筆記型電腦、micro:bit+micro:bit 專用鋰電池擴充板（KSB40）、USB 傳輸線。



【圖 2】實驗二之研究設備及器材

三、【實驗三、四】：西卡紙與導電材質結合

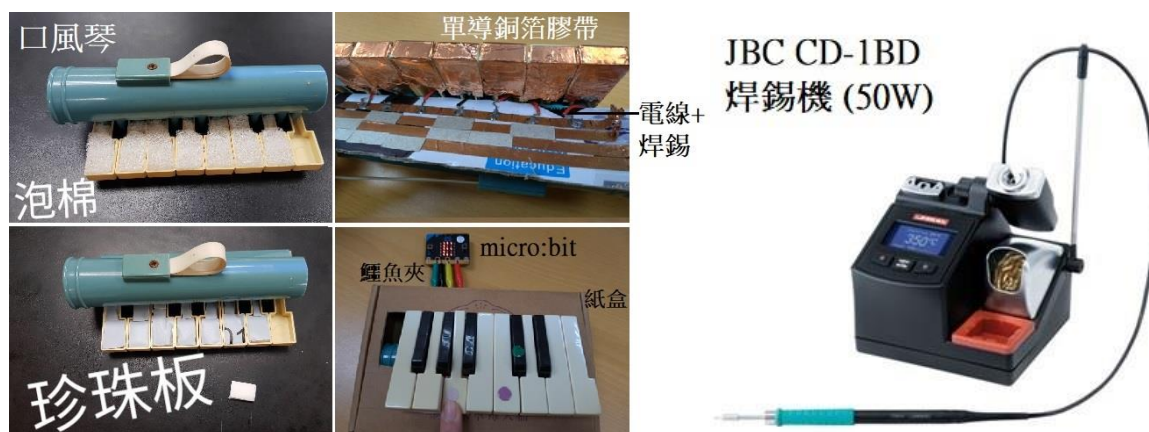
西卡紙、單導銅箔膠帶、鋁箔紙、口紅膠、micro:bit、鱷魚夾。



【圖 3】實驗三、四之研究設備及器材

四、【實驗五、六】：塑膠琴鍵與導電材質結合

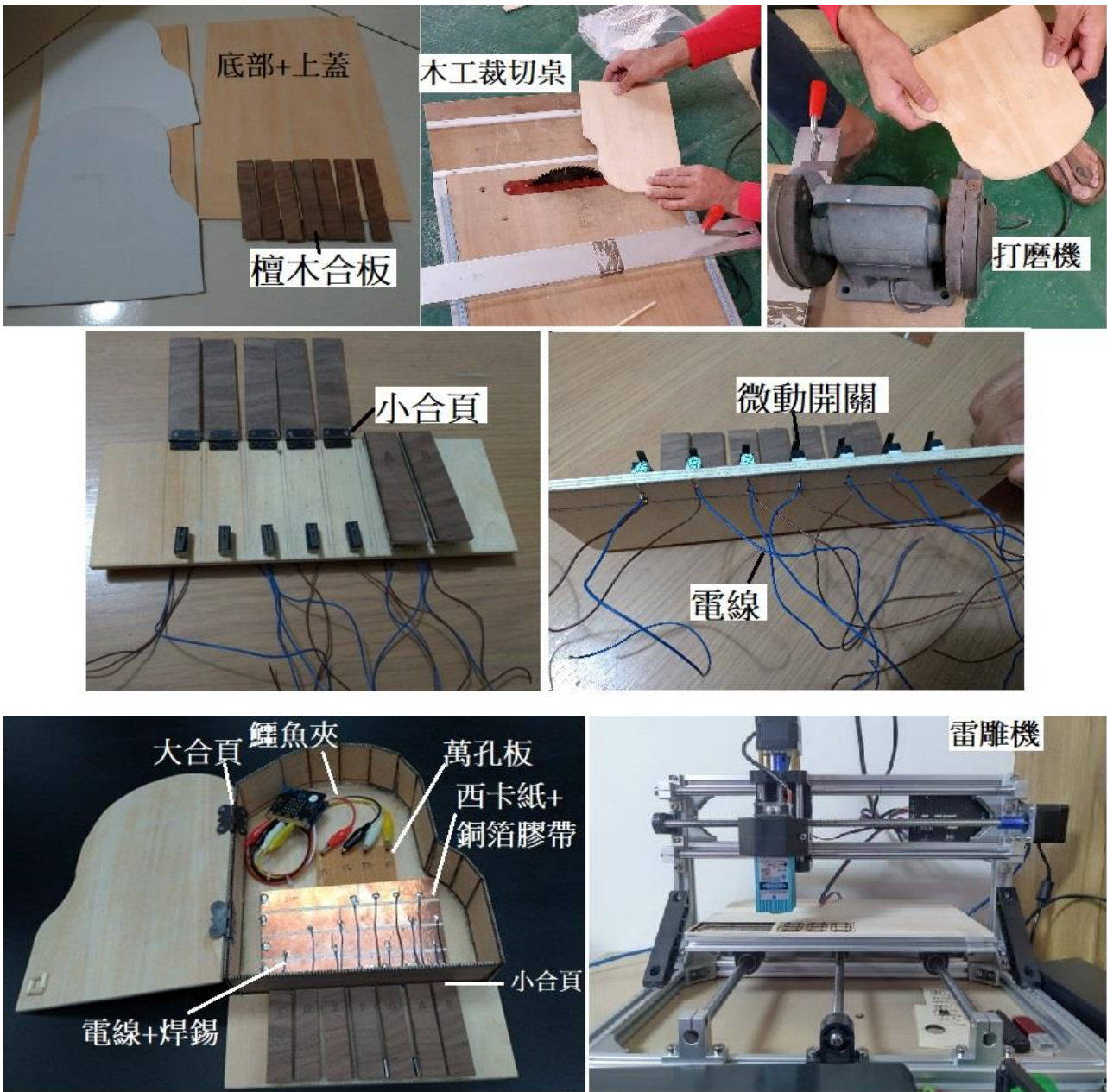
拆解的口風琴、珍珠板、泡棉、單導銅箔膠帶、紙板、電線、焊錫機（JBC CD-1BD）、micro:bit、鱷魚夾、熱熔膠槍、紙盒（20*15*5cm³）。



【圖 4】實驗五、六之研究設備及器材

五、【實驗七】：木片與導電材質結合

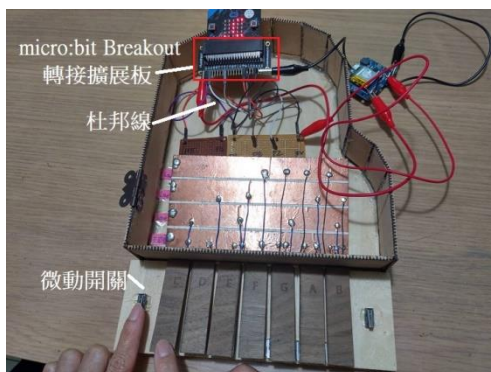
1. 檀木合板琴鍵（2*7 cm）七片；
2. 琴鍵底部木板（21*7 cm）一片；
3. 琴身周圍的木板（2.5 cm 三片、3 cm 四片、5 cm 一片、7 cm 二片、19 cm 一片、19.5 cm 一片，高皆為 5 cm）；
4. 琴身上蓋（20.5*23 cm）一片、琴身底部（20.5*30cm）一片；
5. 雷雕機、木工裁切桌、打磨機、小合頁七片、熱熔膠槍、AB 膠、微動開關 12 個、西卡紙、單導銅箔膠帶、電線、焊錫機、micro:bit、鱷魚夾、萬孔板、大合頁 2 片、竹筷。



【圖 5】實驗七之研究設備及器材

六、【實驗八】：增加木鋼琴彈奏的音域

微動開關 2 個、檀木合板（升／降符號）、雷雕機、電線、焊錫機、萬孔板、鱷魚夾、micro:bit Breakout 轉接擴展板、杜邦線（公-母）20cm 共 6 條。



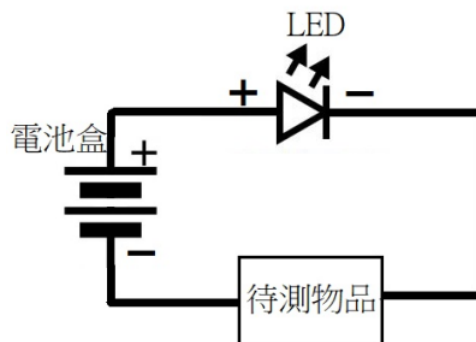
【圖 6】實驗八之研究設備及器材

肆、研究過程與結果

【實驗一】：測試日常生活中常見物品的導電性

(一) 實驗步驟：

- 1.在長 7.3cm，寬 4.7cm 的萬孔板上依序接上電線、電池盒及 LED 燈泡，接線圖如下。
- 2.將 2 顆電池放入電池盒中，2 條電線正負相接觸確認 LED 燈泡是否會亮。
- 3.確認接通電之後，再將電線接觸在要測試的日常物品上（燈泡如果有亮代表可以導電稱為導體；如果燈泡沒有亮代表不可以導電，稱為不良導體）。



【圖 7】接線示意圖

(二) 實驗結果：（以★的數量來表示 LED 燈發亮的程度）

物品名稱（主要成分）	LED 燈亮度	圖片
鋁箔紙	★★★ 較亮	
單導銅箔膠帶	★★★ 較亮	
黏土（市售）	★ 較暗	
黏土（自製） （水、鹽、麵粉混合物）	★ 較暗	

不鏽鋼餐具	★★★ 較亮	
迴紋針	★★★ 較亮	
石墨棒	★★★ 較亮	
硬幣 (50 元) (含鎳 2%及鋁 6%)	★★★ 較亮	
硬幣 (10 元) (含鎳 25%)	★★★ 較亮	
硬幣 (5 元) (含鎳 25%)	★★★ 較亮	
硬幣 (1 元) (含鎳 6%及鋁 2%)	★★★ 較亮	
橡皮擦	×	
鐵鋁片 (有顏色)	★★ 亮	

鐵鋁片（沒有顏色）	☆☆☆ 較亮	
鮭魚糖包裝紙（有顏色）	×	
鮭魚糖包裝紙（沒有顏色）	☆☆☆ 較亮	
木頭	×	
西卡紙	×	
鐵尺	☆☆☆ 較亮	

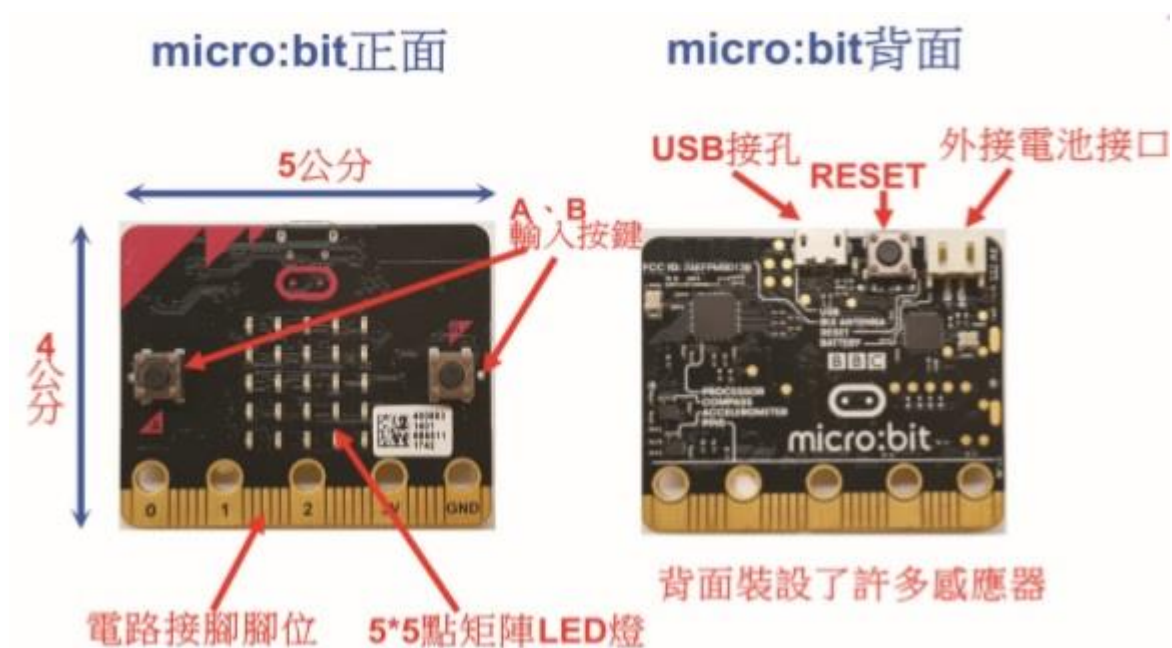
(三) 實驗發現：

- 1.在測試過程中我們發現，大多數能導電的物質，除了石墨與黏土之外，都是金屬材質。查資料後發現石墨的主要成份是碳，具有層狀的平面結構，每個碳原子都會放出一個電子，那些電子能夠自由移動，所以石墨也屬於導體；另外黏土的主要成分為麵粉混合物，但會加入食鹽防腐，在五年級上學期自然單元三水溶液中有提到食鹽水屬於電解質，所以黏土竟然也是導電物質。
- 2.接續下來的實驗中，導電材質需與不同材質（紙、塑膠、木片）做結合，要具備可裁切、可彎折、可貼合且有連續性，因此我們先選用鋁箔紙及單導銅箔膠帶來進行實驗。

【實驗二】：以 micro:bit 進行程式設計

(一) 開發模組的選用：

micro:bit 是英國 BBC 公司和微軟、ARM、三星等軟硬體廠商共同設計的可程式電路開發板。它的外觀非常輕巧可愛，大小約 5x4 公分【如圖 8】，體積雖然小，但內部包含了許多感應器，也保留有一些電路腳位，可以額外外接硬體電路，擴充 micro:bit 的無限功能。我們透過 MakeCode 使用拖拉式的積木語法轉換成文字型的程式語言（JavaScript 語言），再將程式透過 USB 傳輸線下載到 micro:bit 上，就可執行了。



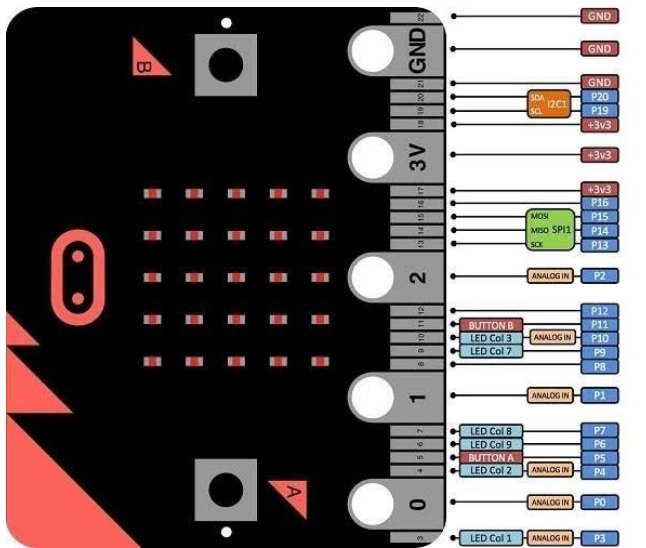
【圖 8】 micro:bit 正反面外觀

(二) 電路設計：

我們從網路搜尋許多運用 micro:bit 演奏音樂的應用，其中包括：

1. 鍵盤樂器：鍵盤連接 micro:bit 數位腳位 P1、P2、P8、P12、P13、P14、P15 及 P16【如圖 9】，利用這些腳位一開始其數位值為 0，當受到 3V 電壓觸發後，其值變成 1，然後讓 micro:bit 發出相對應音階。
2. 水果樂器：將 5 顆水果分別連接 micro:bit 類比腳位 P1、P2、P3、P4 及 P10，當 micro:bit 接上電源後，這些腳位的訊號值約在 200~600 之間，若以手觸摸連接之水果時，該連接腳的類比訊號值會增加（大於 600），便可直接做判斷，讓 micro:bit 發出相對應音階。

3.以上兩種方法最大的缺點是，每個音階均需連接一個腳位，而我們設計的鋼琴最少要有七個不同音階，因此，至少要用 7 條電線連接 7 個腳位，線路顯得有點複雜。我們參考以上兩種方法，採用「琴鍵編碼表」方式，僅需連接 3 個腳位，即可達成七個音階的彈奏。

Micro:bit 腳位示意圖	說明
	<p>GND：接喇叭的接頭</p> <p>3V：共同接點</p> <p>P16：擴充音域接收</p> <p>P15：擴充音域接收</p> <p>P2：編碼導電卡接收</p> <p>P8：編碼導電卡接收</p> <p>P1：編碼導電卡接收</p> <p>P0：接喇叭的接頭</p>

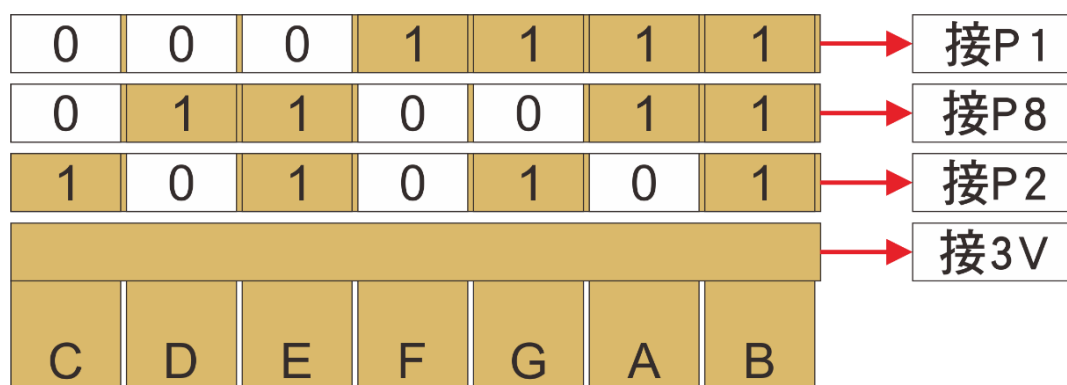
【圖 9】micro:bit 腳位說明

4.「琴鍵編碼表」：我們利用每個腳位都有 1 (ON) 及 0 (OFF) 2 種狀態，只要連接 3 個腳位，就有三位元 (2^3) 8 種組合，扣除 3 個腳位均為 0 的情形，便有 7 種組合，可分別對應由 C 到 B 的音階【如圖 10】。例如：當連接的腳位 4 個時，則有 (2^4) 16 種組合，更可增加到 15 個音階。

0	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	0	1	1
1	0	1	0	1	0	1
C	D	E	F	G	A	B

【圖 10】琴鍵編碼表之設計圖

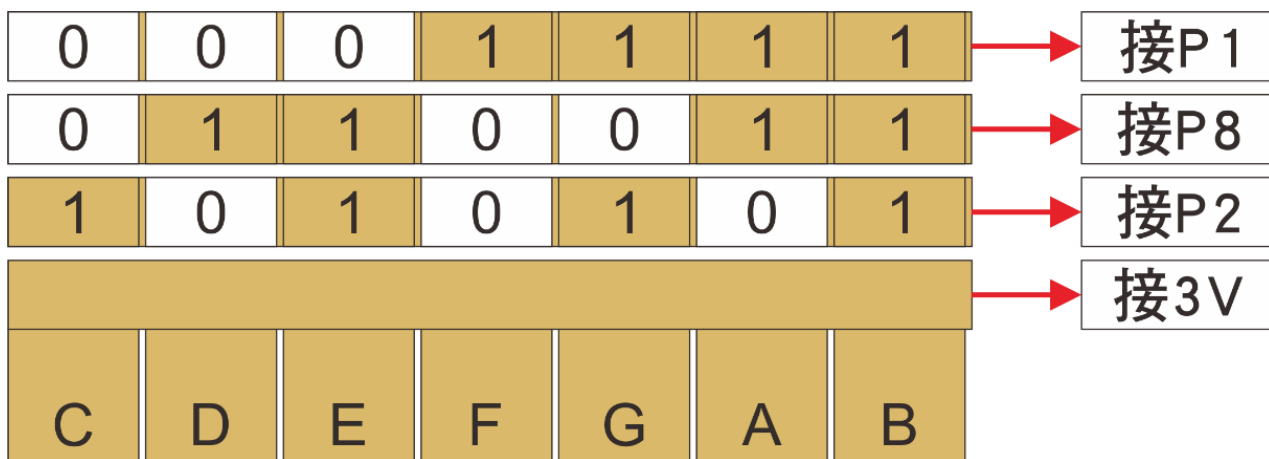
5. 「琴鍵編碼導電卡」：我們利用鋁箔紙或銅箔膠帶導電材質，貼製成 4 條導電條，再以鱷魚夾分別連接 micro:bit 的 P1、P8、P2 及 3V 的腳位。下圖中標示為 0 的位置，在導電條上方貼上絕緣紙；1 的位置則保留原有的導電材質，便可完成「琴鍵編碼導電卡」的製作表。



【圖 11】琴鍵編碼導電卡之接線圖

(三) micro:bit 程式設計：

<p>Step1：連結至 https://microbit.org/code/ 頁面，按下「Go to MakeCode Editor」。</p>	<p>Step2：按下「新增專案」。</p>
<p>Step3：開始進行程式設計。 ①~⑦為 MakeCode 操作介面介紹。</p>	<p>Step4：7 個音階所對應的「琴鍵編碼表」。</p>



Step5：「琴鍵編碼導電卡」：根據琴鍵編碼表，利用鋁箔紙或銅箔膠帶貼製導電條，其中 0 代表在導電條上方貼上絕緣紙；1 代表保留原有之鋁箔或銅箔；而最下層為共同接點（3V）。

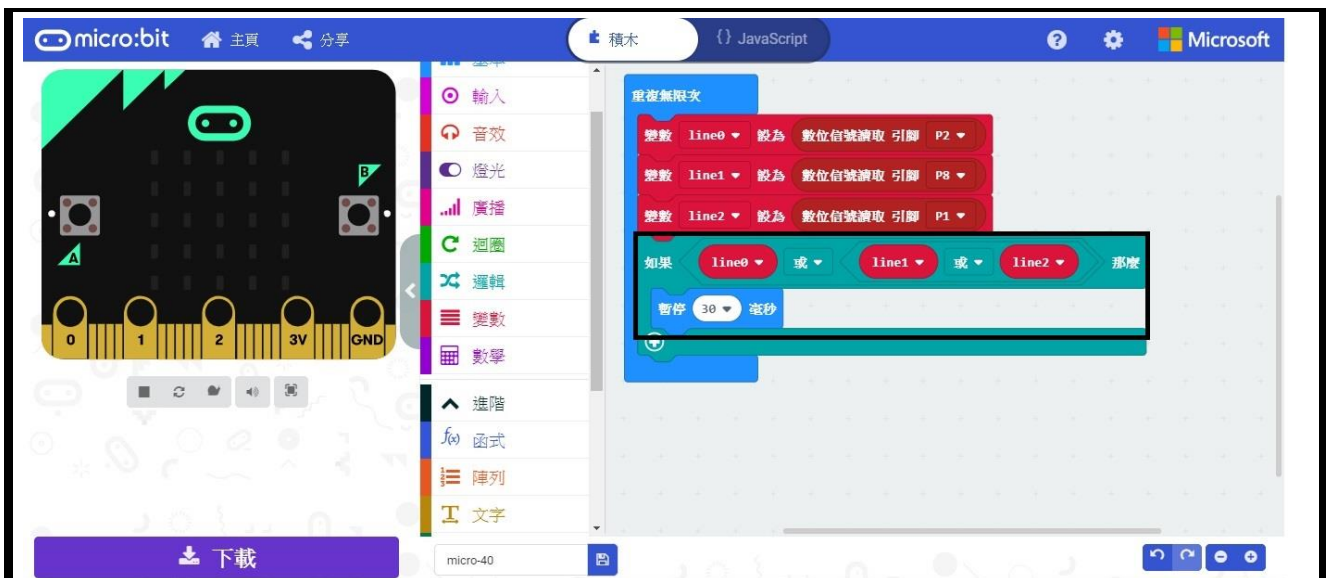


各種積木的顏色都不相同，使用時只要注意積木顏色就可以知道是屬於哪類積木。

Step6：點選『基本』→將「重複無限次」拖曳至程式編輯區。

Step7：點選『變數』→點選「建立一個變數」→分別建立「line0」、「line1」、「line2」→再將「變數」拖曳至「重複無限次」內層。

Step8：點選『進階』→點選『引腳』→將「數位信號讀取引腳」拖曳至「變數」內層，定義出 line0 接 P2，line1 接 P8，line2 接 P1。



Step9：點選『邏輯』→將條件（Conditionals）「如果…那麼」拖曳至「重複無限次」內層。

Step10：點選『邏輯』→將布林值（Boolean）「…或…」拖曳至「如果…那麼」內層。

Step11：點選『變數』→分別加入「line0」、「line1」、「line2」。

Step12：點選『基本』→將「暫停…毫秒」拖曳至「如果…那麼」內層→選擇 30。



Step13：點選『邏輯』→將條件（Conditionals）「如果…那麼」拖曳至「重複無限次」內層。

Step14：點選『邏輯』→將布林值（Boolean）「…且…」拖曳至「如果…那麼」內層。

Step15：點選『邏輯』→將布林值（Boolean）「…不成立」拖曳至「如果…那麼」內層。

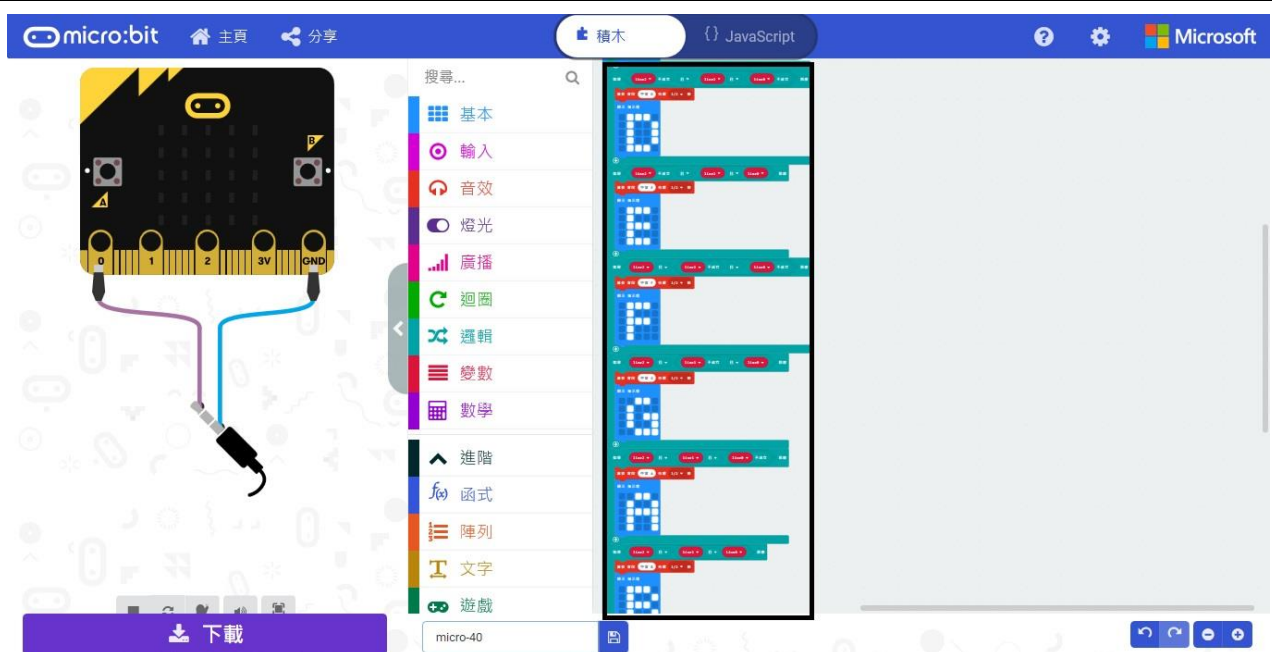
Step16：點選『變數』→分別加入「line2」、「line1」、「line0」。

（此為依照琴鍵編碼表，如：C 為 001，則 line2 不成立且 line1 不成立且 line0）

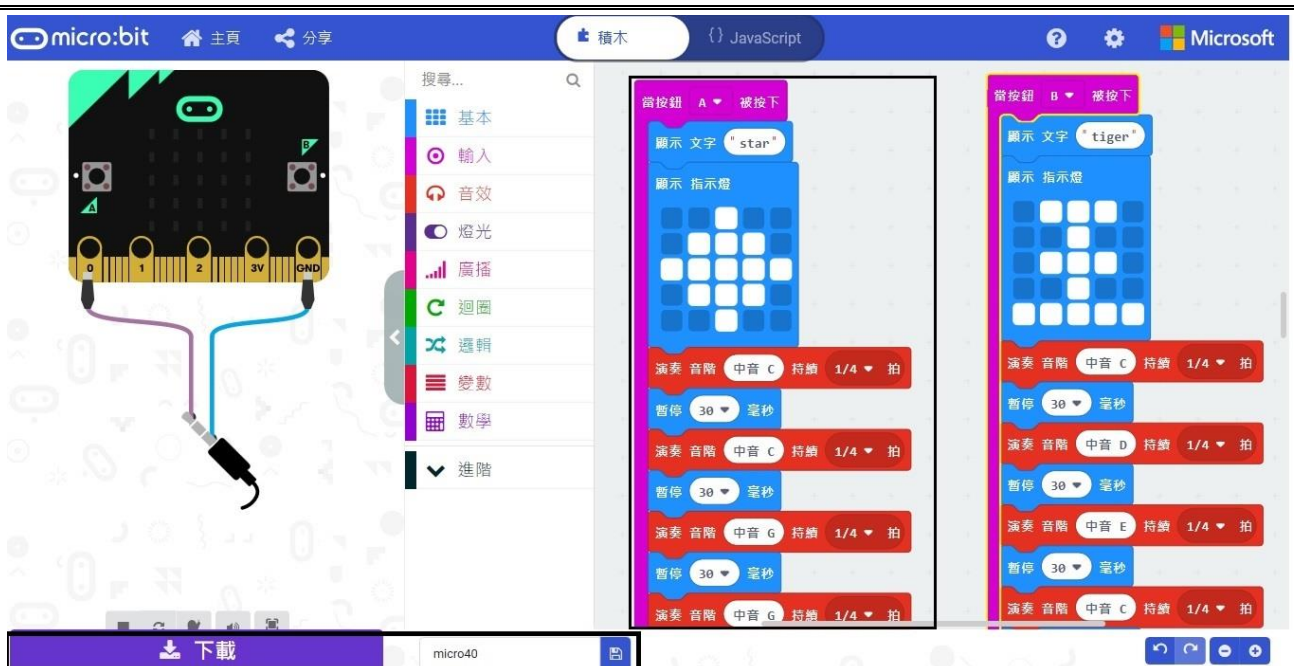
Step17：點選『音效』→將「演奏音階…持續…拍」拖曳至「如果…那麼」內層→選擇中音 C，

1/2 拍。

Step18：點選『基本』→將「顯示指示燈」拖曳至「如果…那麼」內層→點繪出「C」。



重複 Step13~18，依照琴鍵編碼表，設計出 7 個音階 C、D、E、F、G、A、B。



Step19：點選『輸入』→將「當按鈕 A 被按下」拖曳至程式編輯區。

Step20：點選『基本』→將「顯示文字」、「顯示指示燈」拖曳至「當按鈕 A 被按下」內層。

Step21：點選『音效』→將「演奏音階…持續…拍」拖曳至「當按鈕 A 被按下」內層→開始編輯一首歌曲。

重複 Step19~21，「當按鈕 B 被按下」亦可演奏出一首歌曲。

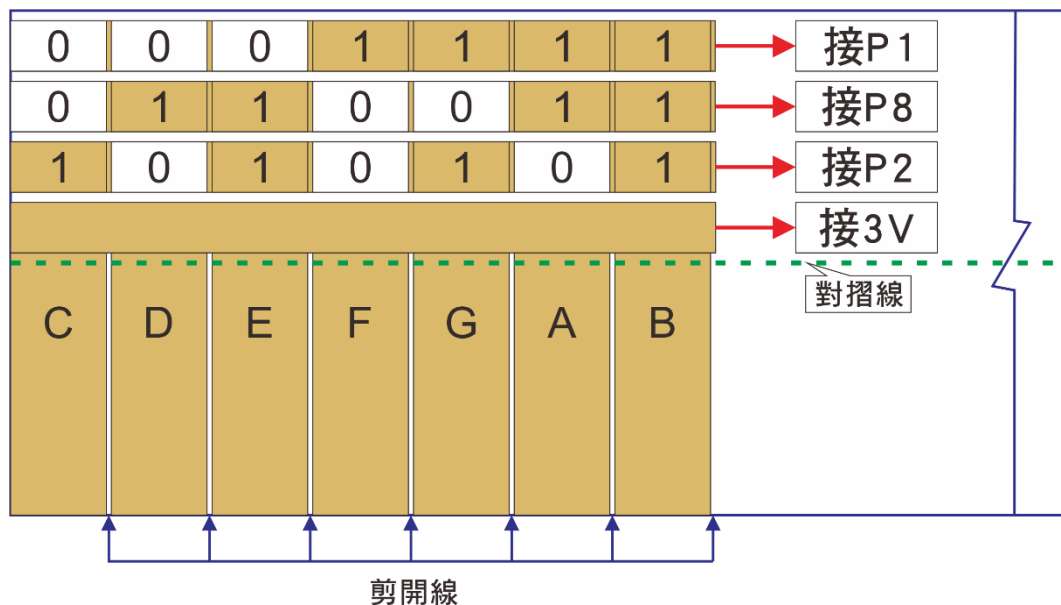
Step22：設計好的程式可以先在 micro:bit 模擬器測試，確認是否可執行。

Step23：命名專案名稱→儲存→下載，再透過 USB 傳輸線下載到 micro:bit 上去運作。

【實驗三】：西卡紙與導電材質（鋁箔紙）結合

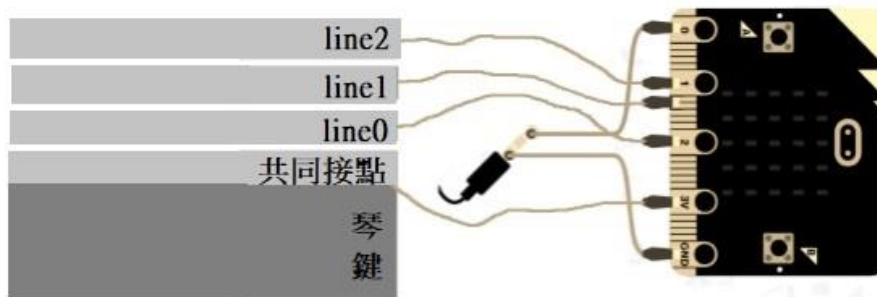
(一) 實驗步驟：

1. 先將西卡紙裁切成長 36.8cm 寬 10cm 的對開長方形。
2. 再將西卡紙內部以口紅膠黏貼上鋁箔紙製作出“琴鍵編碼導電卡”，如下圖所示。



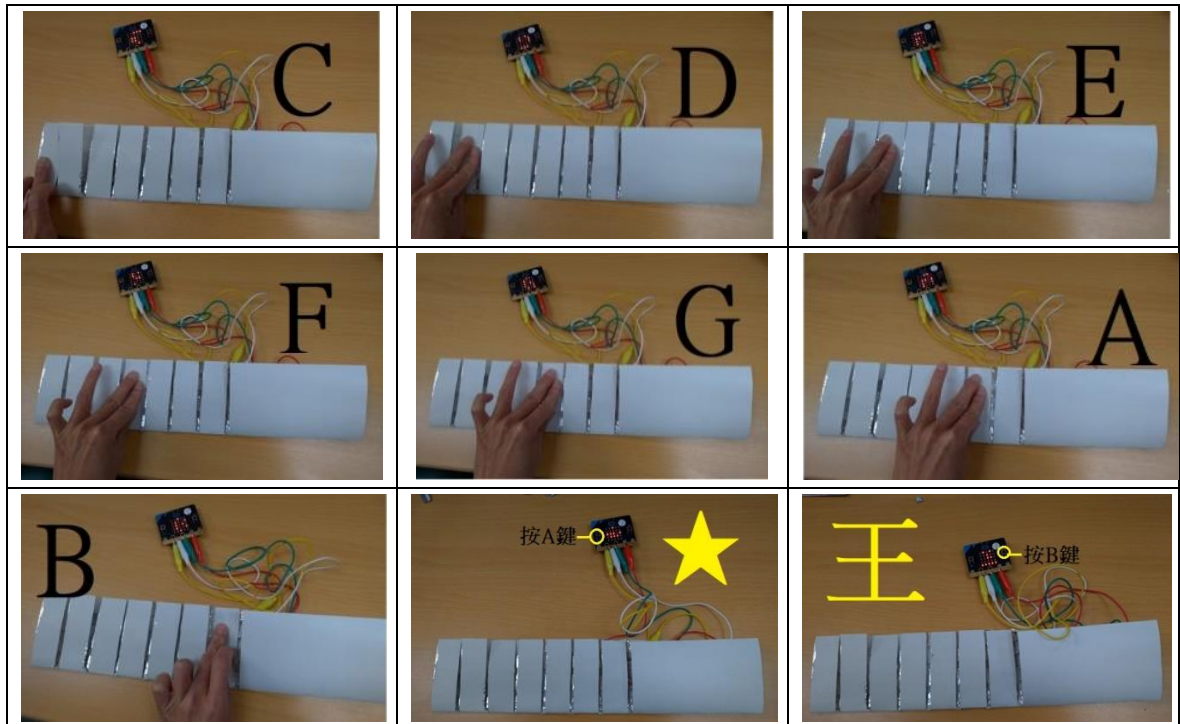
【圖 12】西卡紙與導電材質結合

3. 用鱷魚夾分別將“琴鍵編碼導電卡”接上已下載「micro piano-1」之 micro:bit 板，依序 line0 接 P2，line1 接 P8，line2 接 P1，3V 接共同接點，如【圖 13】所示。
4. 可用手按壓西卡紙琴鍵，依序發出 C、D、E、F、G、A、B 等 7 個音階；按壓 A 或 B 鍵即可自動彈出「小星星」或「兩隻老虎」。



【圖 13】琴鍵編碼導電卡與 micro:bit 腳位接法示意圖

(二) 實驗結果：



(三) 實驗發現：

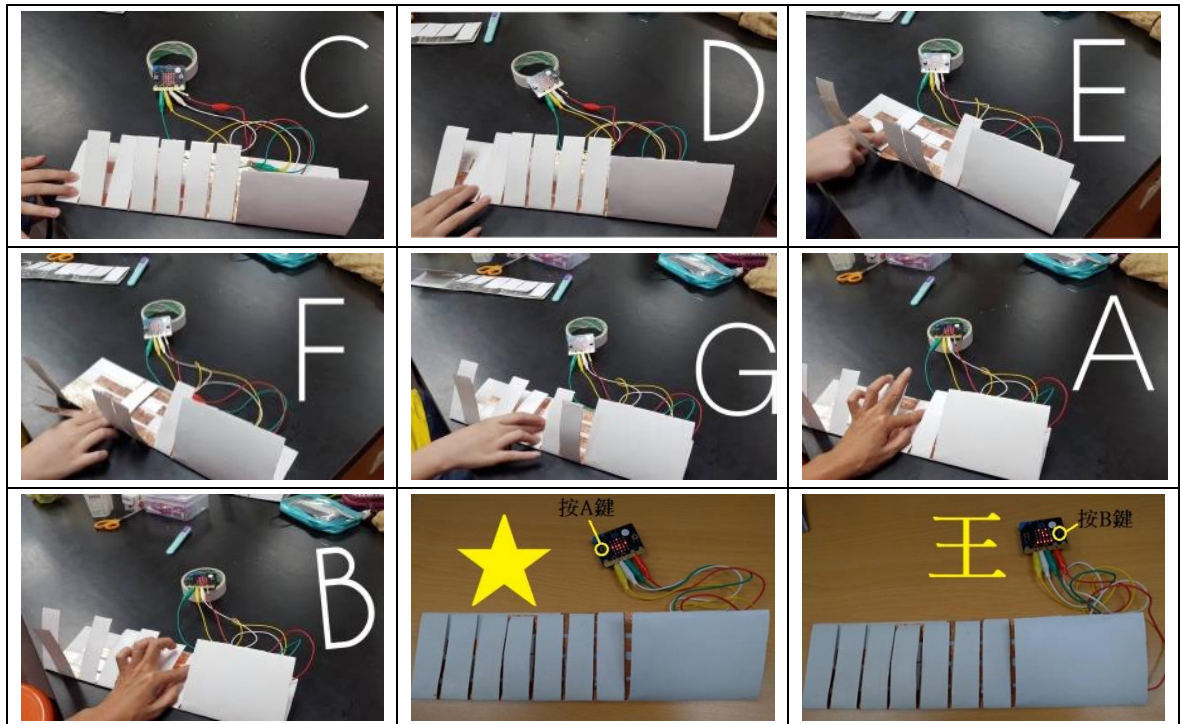
- 1.在測試過程中我們發現，當鋁箔琴鍵按下時，有時因為紙的回彈力不足，造成觸控不良，會使 micro:bit 的顯示燈號斷斷續續；因此在按壓琴鍵時，必須按好按滿，還要注意紙張回彈的情形。
- 2.micro:bit 的鱷魚夾在與“琴鍵編碼導電卡”相接時，鋁箔紙末端是以皺折堆疊，比較脆弱，但常因為移動造成破損，也會導致觸控不良。

【實驗四】：西卡紙與導電材質（單導銅箔膠帶）結合

(一) 實驗步驟：

- 1.先將西卡紙裁切成長 36.8cm 寬 10cm 的對開長方形。
- 2.再將西卡紙內部貼上單導銅箔膠帶製作出“琴鍵編碼導電卡”，如上圖 12 所示。
- 3.用鱷魚夾分別將“琴鍵編碼導電卡”接上已下載「micro piano-1」之 micro:bit 板，依序 line0 接 P2，line1 接 P8，line2 接 P1，3V 接共同接點，如上圖 13 所示。
- 4.可用手按壓西卡紙琴鍵，依序發出 C、D、E、F、G、A、B 等 7 個音階；按壓 A 或 B 鍵即可自動彈出「小星星」或「兩隻老虎」。

(二) 實驗結果：



(三) 實驗發現：

- 1.在測試過程中我們發現，當銅箔琴鍵按下時，一樣會因為紙的回彈力不足，造成觸控不良，而使 micro:bit 的顯示燈號斷斷續續，但此情況相較於鋁箔紙好一點。
- 2.主要原因應該是銅箔膠帶沒有使用口紅膠黏貼，讓琴鍵較為堅固；且銅箔膠帶末端是以反折黏貼，反覆利用鱷魚夾相接，也不容易破損。

【實驗五】：塑膠琴鍵與導電材質結合—利用電線連接

(一) 實驗步驟：

- 1.先將口風琴裁切成 8 個琴鍵一組，共兩組。
- 2.選擇適合的填充材料：在口風琴琴鍵後的凹槽一組放入泡棉，另一組放入珍珠板，並貼上單導銅箔膠帶，測試琴鍵按壓後的平整性，如下圖 14 所示。

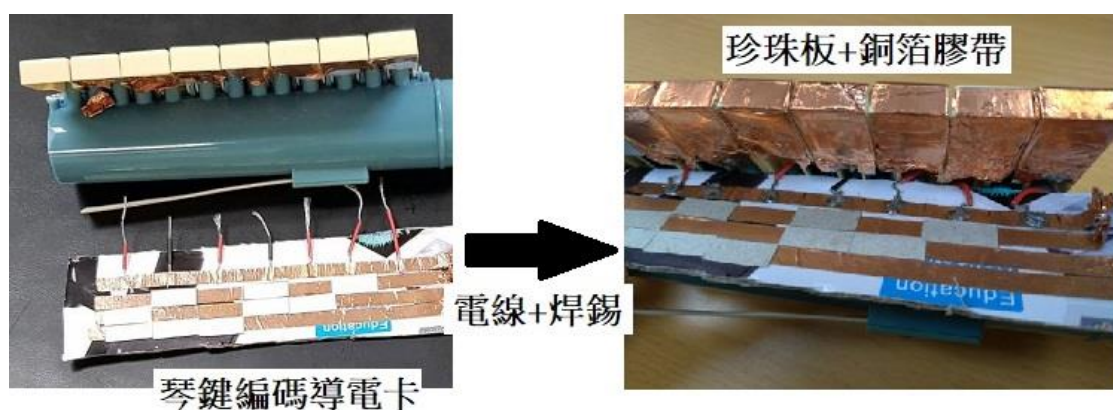


【圖 14】塑膠琴鍵選擇適合填充材料

- 3.裁切適合大小紙板，配合塑膠琴鍵寬度，貼上單導銅箔膠帶製作出“琴鍵編碼導電卡”。
- 4.利用電線將塑膠琴鍵上的單導銅箔膠帶與“琴鍵編碼導電卡”的共同接點相連接，並用焊錫加強固定，如圖 15 所示。
- 5.用鱷魚夾分別將“琴鍵編碼導電卡”接上已下載「micro piano-2」之 micro:bit 板，即可用手按壓塑膠琴鍵。

(二) 實驗結果

- 1.放入泡棉的口風琴再貼上銅箔膠帶會皺皺的且易脫落，推測可能會觸控不良；放入珍珠板的口風琴再貼上銅箔膠帶接觸面較平滑，所以我們選擇珍珠板作為塑膠琴鍵凹槽的填充材料。
- 2.利用電線與焊錫皆有厚度，導致只能按出 2 到 3 個音階，如：C 或 A 或 B。



【圖 15】塑膠琴鍵與導電材質結合—利用電線連接

(三) 實驗發現：

- 1.塑膠琴鍵最接近鋼琴琴鍵原型，所以回彈力很好；但塑膠琴鍵貼上銅箔膠帶時，要避免相鄰琴鍵的銅箔碰觸，導致按壓時會卡住。
- 2.另外發現要把“琴鍵編碼導電卡”與塑膠琴鍵上的銅箔膠帶連接非常困難，因為作業空間狹小，約只有 15°的間隔，所以用焊錫加強固定電線。
- 3.最後發現塑膠琴鍵與“琴鍵編碼導電卡”的夾角內側容易造成懸空，再加上電線焊錫，增加厚度，甚至只能發出幾個音階。

【實驗六】：塑膠琴鍵與導電材質結合—利用銅箔連接

(一) 實驗步驟：

- 1.根據【實驗五】實驗結果，將珍珠板填入塑膠琴鍵凹槽並貼上單導銅箔膠帶，每個琴鍵先預留較長的單導銅箔膠帶。
- 2.裁切紙盒將口風琴放入，配合塑膠琴鍵寬度，在紙盒貼上單導銅箔膠帶製作出“琴鍵編碼導電卡”，並將單導銅箔膠帶末端與 micro:bit 接線處，藏於紙盒背面，如圖 16 所示。
- 3.將塑膠琴鍵上的預留的單導銅箔膠帶與紙盒上的“琴鍵編碼導電卡”共同接點相連接，但不可以全部蓋住。
- 4.最後利用熱熔膠將口風琴固定在紙盒裡，並用鱷魚夾分別將“琴鍵編碼導電卡”接上已下載「micro piano-2」之 micro:bit 板。
- 5.可用手按壓塑膠琴鍵，依序發出 C、D、E、F、G、A、B 等 7 個音階；按壓 A 或 B 鍵即可自動彈出「小星星」或「兩隻老虎」。



【圖 16】塑膠琴鍵與導電材質結合—利用銅箔連接

(二) 實驗結果：



(三) 實驗發現：

- 1.為了解決相鄰琴鍵會卡住的問題，將銅箔膠帶兩邊內縮貼在珍珠板上，也可達到不錯的導電效果。
- 2.另外塑膠琴鍵與“琴鍵編碼導電卡”的夾角內側容易造成懸空，可將共同接點的銅箔加厚墊高改善，另外“琴鍵編碼導電卡”有貼銅箔的地方也需要墊高，改善觸控不良的問題。
- 3.最後在紙盒裡面加強固化，讓琴鍵按壓時不至於塌陷，增加支撐力，如下圖 17 所示。

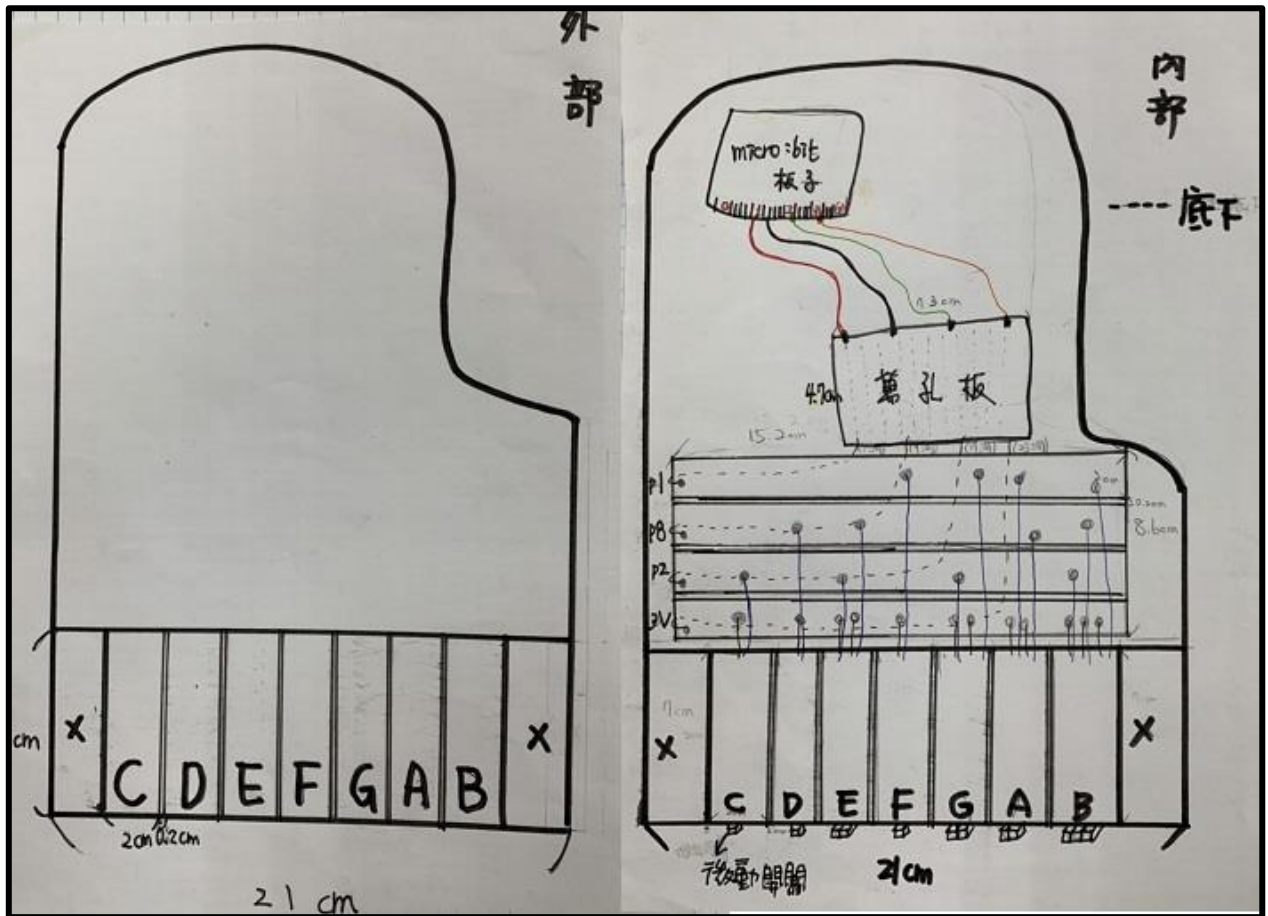


【圖 17】 塑膠琴鍵與導電材質結合一利用銅箔連接之內部構造




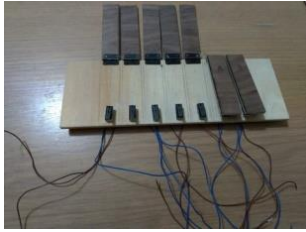
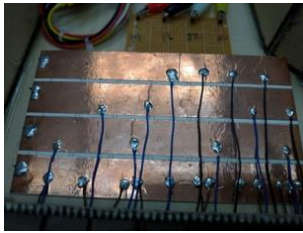
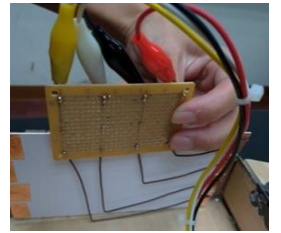


【實驗七】：木片與導電材質結合

(一) 實驗步驟：

- 1.根據演奏式鋼琴繪製「木片與導電材質結合」的設計圖，如圖 18。
- 2.先利用雷雕機將下列木板裁切成所需尺寸及數量：檀木合板琴鍵（2*7 cm）七片、琴身周圍的木板（2.5 cm 三片、3 cm 四片、5 cm 一片、7 cm 二片、19 cm 一片、19.5 cm 一片，高皆為 5 cm），並在琴鍵上刻出 7 個音階。
- 3.再利用木工裁切桌及打磨機將下列木板裁切成所需尺寸：琴鍵底部木板（21*7 cm）一片、琴身上蓋（20.5*23 cm）一片、琴身底部（20.5*30cm）一片。
- 4.將裁好的琴鍵利用小合頁間隔固定在底部木板，因為螺絲較長改用熱熔膠黏合。
- 5.將微動開關用 AB 膠固定在底部木板，並鑽洞讓 pin 腳伸出木板底部與電線相接（咖啡色線接共同接點，藍色/黑色線接貼有銅箔的地方）。
- 6.裁切適合大小紙板，配合琴鍵寬度，貼上單導銅箔膠帶製作出“琴鍵編碼導電卡”。
- 7.將微動開關電線與“琴鍵編碼導電卡”相接並用焊錫加強固定。
- 8.因為琴箱的空間狹小，因此利用萬孔板將“琴鍵編碼導電卡”的 line0 接 P2，line1 接 P8，line2 接 P1，3V 接共同接點，再用鱷魚夾夾在萬孔板的 pin 腳上，最後接上已下載「micro piano-3」之 micro:bit 板。
- 9.當琴鍵按壓微動開關簧片時，就可接通依序發出 C、D、E、F、G、A、B 等 7 個音階；按壓 A 或 B 鍵即可自動彈出「小星星」或「兩隻老虎」。
- 10.最後再將琴身周圍的木板用熱熔膠與 AB 膠黏合，利用大合頁固定琴蓋，木頭鋼琴的外觀就大致完成，如圖 19 步驟所示。



【圖 18】木片與導電材質結合之設計圖

Step2~3：裁切所需木板尺寸及數量		Step4~5：微動開關	
			
Step6~7：琴鍵編碼導電卡	Step8：萬孔板配置圖	Step9~10：木頭鋼琴外部及內部	
			

【圖 19】木片與導電材質結合之詳細步驟圖

(二) 實驗結果



(三) 實驗發現：

- 1.微動開關是具有微小接點間隔和快動機構，當簧片被按壓時，末端的動觸點與定觸點會快速接通或斷開，當作琴鍵的回彈力，且本來在內側 15°夾角的狹小空間，移至最外端，達到很好的導通效果，觸控成功率 100%。
- 2.另外我們發現“琴鍵編碼導電卡”的每個「1」接點皆為獨立，需與共同接點導通，因此，例如：B 為 (1, 1, 1) 就需要 3 個微動開關，以此類推。
- 3.利用萬孔板也可改善鱷魚夾會損壞銅箔膠帶的接點，最後導致破裂而觸控不良。

【實驗八】：增加木鋼琴彈奏的音域

原始設計七個琴鍵彈奏七個中音的音階，對於音域較廣的樂曲（跨越低音或高音音階）便無法彈奏，為了增加彈奏的音域，我們將【實驗二】及【實驗七】做了部份修正。

(一) 實驗步驟：

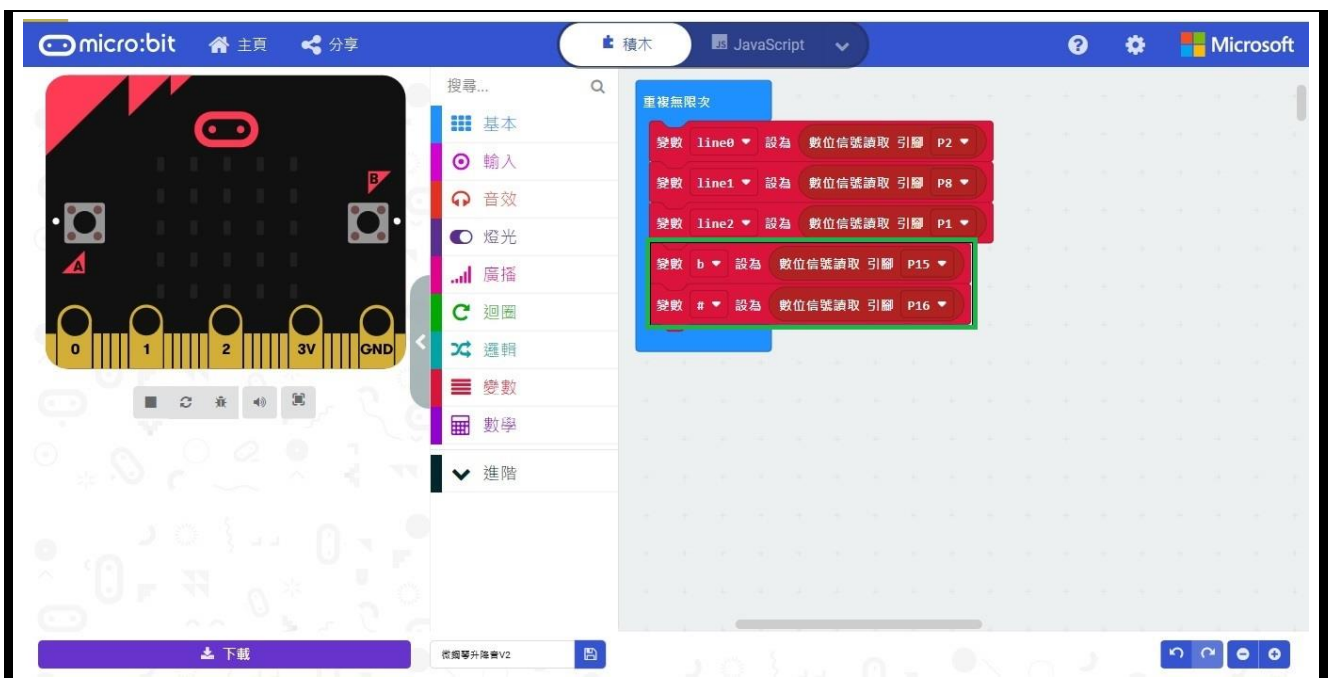
- 1.將【實驗二】中圖 10 的琴鍵編碼表擴大成「可升降琴鍵編碼表」，我們一樣利用每個腳位都有 1 (ON) 及 0 (OFF) 2 種狀態，只要再連接 2 個腳位，便可擴大對應由

低音、中音及高音 C 到 B 的音階【如圖 20】，例如：C(001)，當 b 為 ON 時表示低音；當#為 ON 時表示高音；當 b 與#皆 OFF 時表示中音，其中 b 定義為降音，#定義為升音。

0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	接P1
0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	接P8
1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	接P2
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	接P15(b)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	接P16(#)
低音							中音							高音							音階
.C	.D	.E	.F	.G	.A	.B	C	D	E	F	G	A	B	˘C	˘D	˘E	˘F	˘G	˘A	˘B	符號

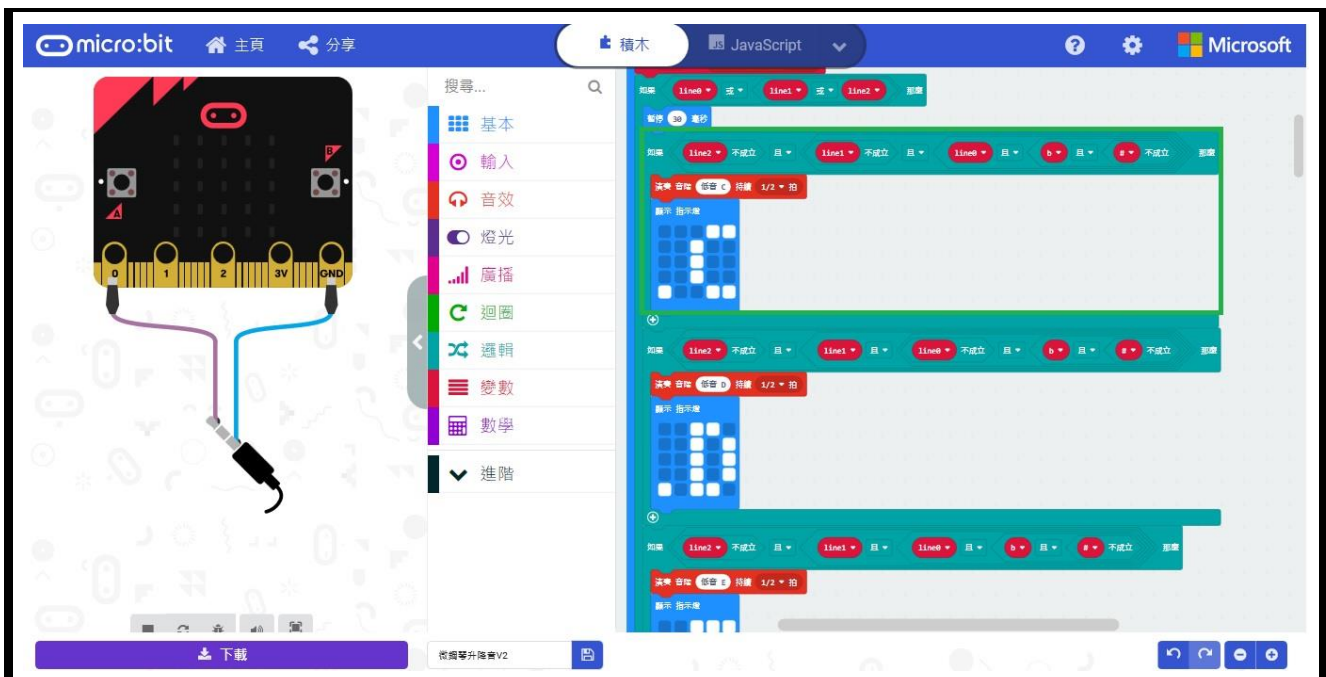
【圖 20】可升降琴鍵編碼表之設計圖

2. 修改【實驗二】程式設計：



Step1：點選『變數』→點選「建立一個變數」→新增「b」、「#」→再將「變數」拖曳至「重複無限次」內層。

Step2：點選『進階』→點選『引腳』→將「數位信號讀取引腳」拖曳至「變數」內層，定義出 **b 接 P15**，**# 接 P16**。

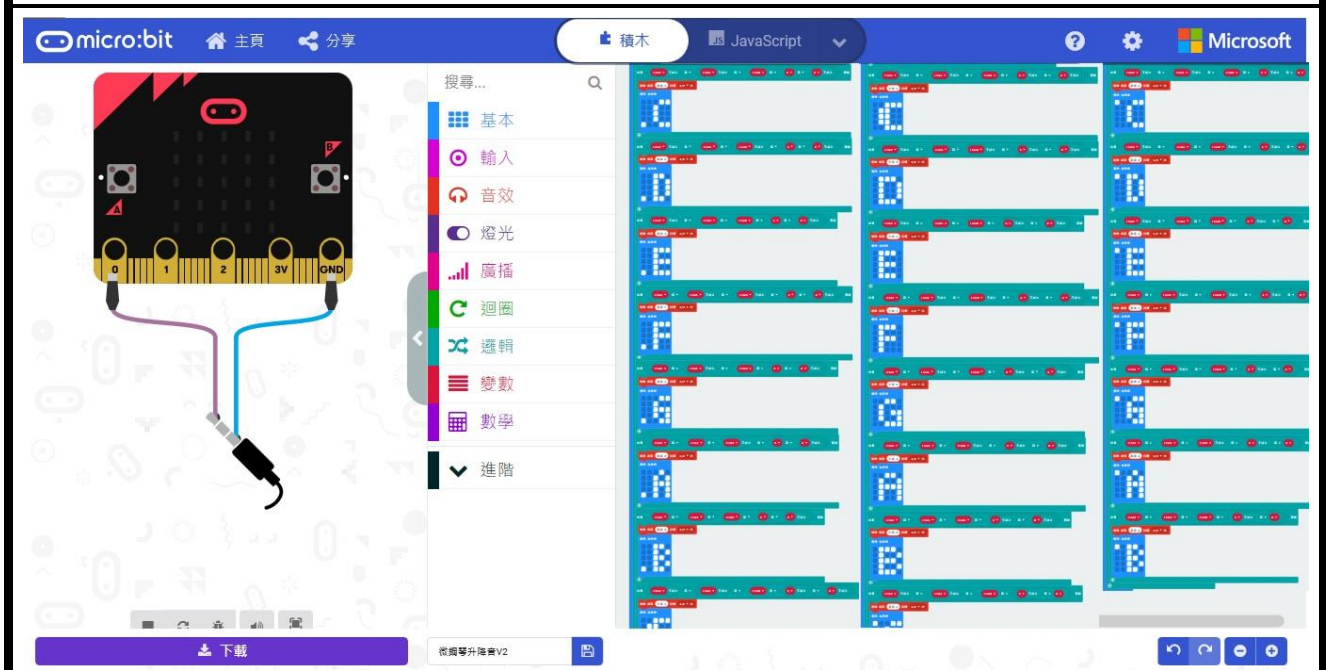


Step3：點選『變數』→新增「b」、「#」。

（此為依照「可升降琴鍵編碼表」，如：C(001)，低音表示 b 為 ON，則 line2 不成立且 line1 不成立且 line0 且 b 且 #不成立）

Step4：點選『音效』→將「演奏音階…持續…拍」拖曳至「如果…那麼」內層→選擇低音 C，1/2 拍。



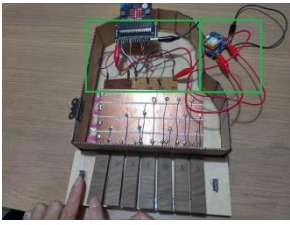
Step5：點選『基本』→將「顯示指示燈」拖曳至「如果…那麼」內層→點繪出「.C」。



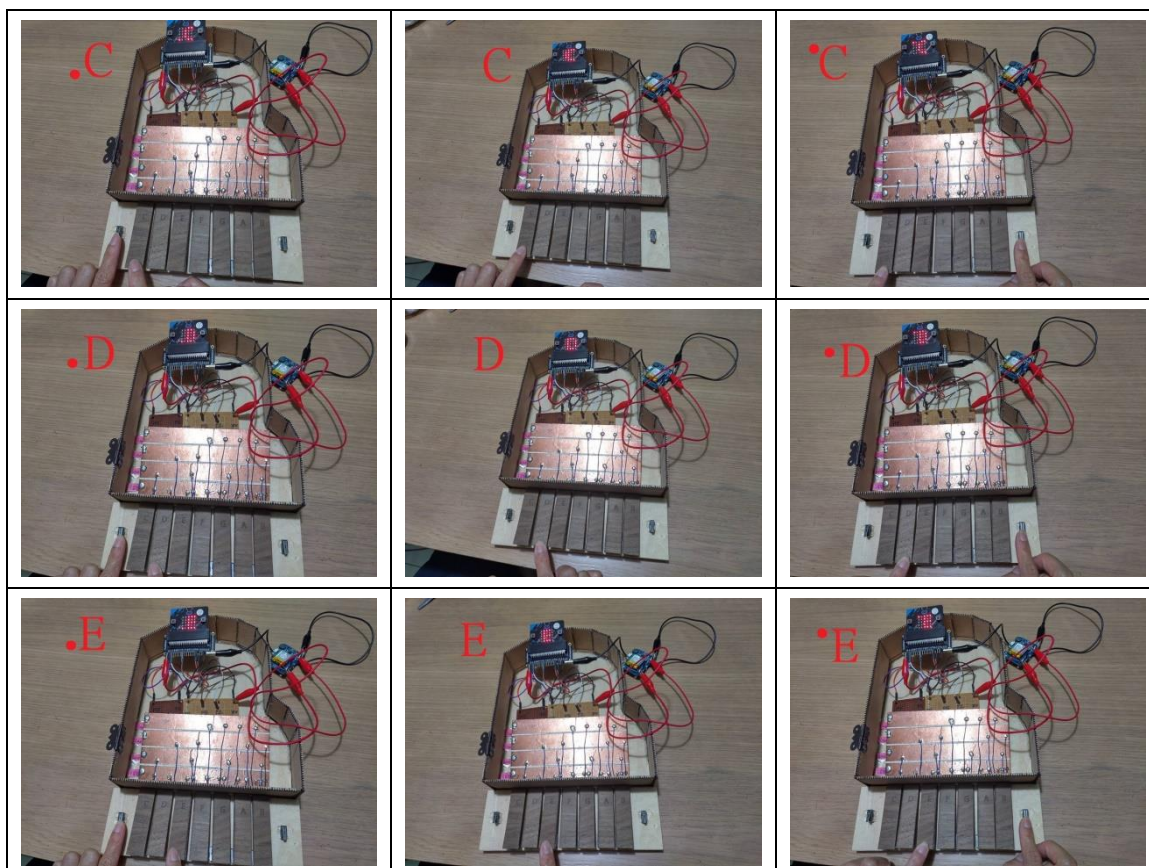
重複 Step3~5，依照「可升降琴鍵編碼表」，設計出低音、中音和高音 C 到 B 共 21 個音階。

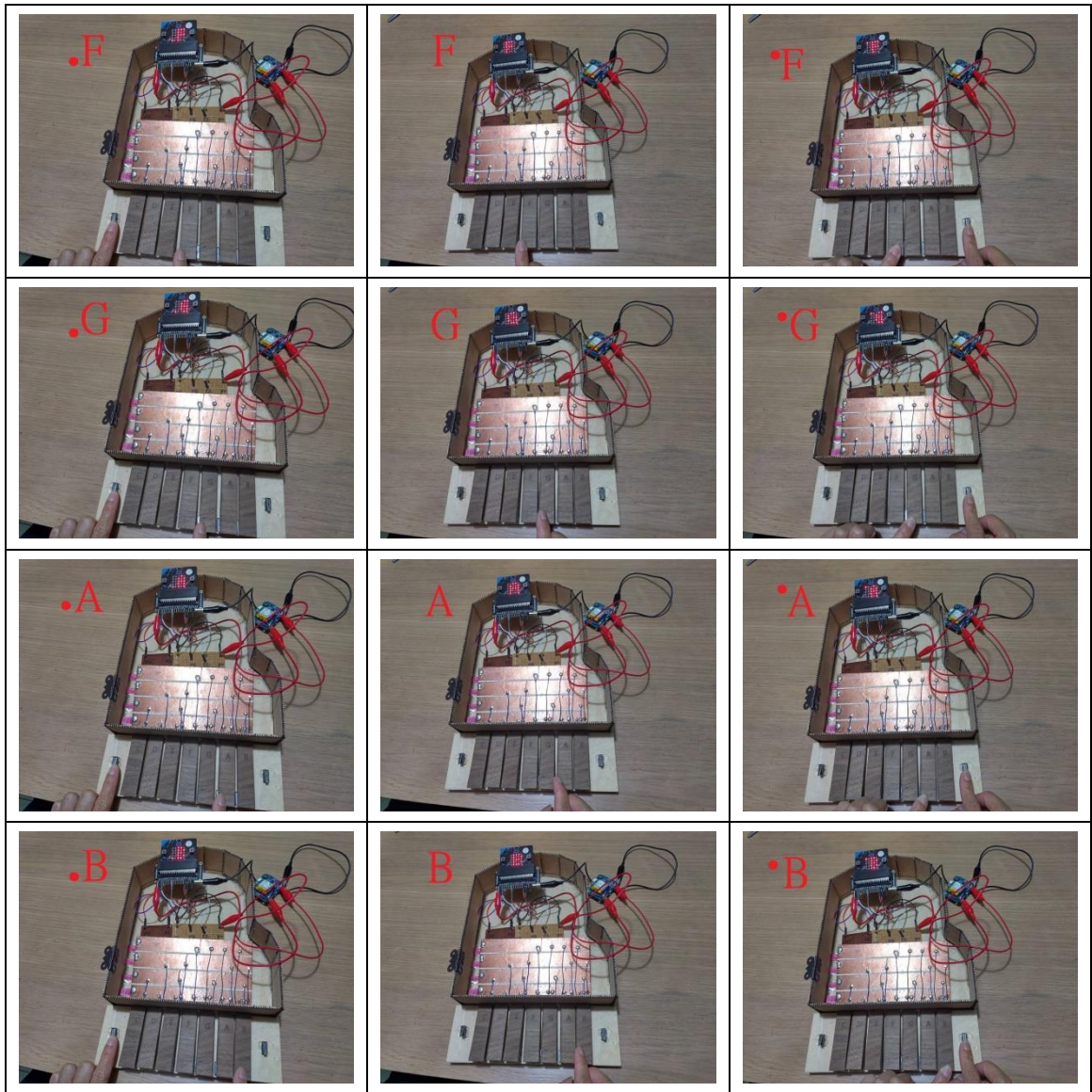
3.修改【實驗七】木鋼琴設計：

- (1) 將琴鍵底部木板兩側打洞，預留 2 個微動開關位置（左側代表 b 降音，右側代表 # 升音）。
- (2) 將微動開關 pin 腳伸出木板底部，共同接點連接至 3V，常開接點連接至 micro:bit P15 及 P16。
- (3) 將已下載「micro piano-4」之 micro:bit 板連結 micro:bit 專用鋰電池擴充板(KSB40) 及 micro:bit Breakout 轉接擴展板，並藉由杜邦線連接“琴鍵編碼導電卡”及升降音控制的相對應接點。
- (4) 最後利用雷射機刻出「b」、「#」代表降音及升音鍵。

Step1：琴鍵底部木板預留 2 個微動開關	Step2：微動開關接線	Step3：各元件連接
		

(二) 實驗結果：



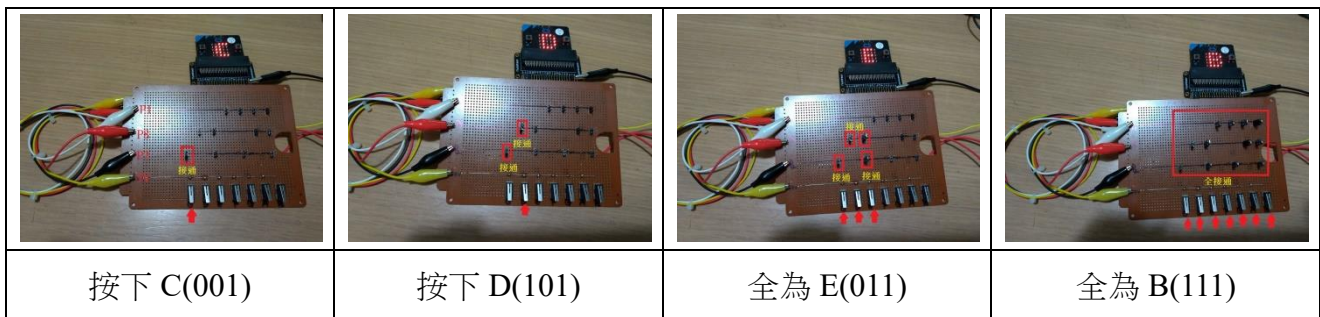


(三) 實驗發現：

- 1.增設升音、降音鍵一樣利用微動開關，可達到較準確的按壓方式。
- 2.由於多使用了 micro:bit 的 2 個腳位 (P15、P16)，導致原先使用的鱷魚夾已無法準確夾住腳位，因此增加了 micro:bit Breakout 轉接擴展板及杜邦線，使其可準確連接。
- 3.在不增加「琴鍵數量」及「琴鍵編碼導電卡的導電條」下，利用 micro:bit 的程式設計，增加木鋼琴彈奏的音域。

伍、討論

- 一、在【實驗二】的程式設計中，我們一開始只使用 P1、P2 (P0/GND 為喇叭接點)，發現若要呈現出 7 個音階，需要用到更多的 micro:bit 板上的腳位 (如同一般音樂演奏用到 7 個腳位，而水果鋼琴用到 5 個腳位)，後來我們發現，只要再使用 micro:bit 板上的 P8 腳位，配合我們的「琴鍵編碼表」，製作成「琴鍵編碼導電卡」即可發出 7 個音階了。
- 二、在【實驗三、四】製作紙鋼琴時，我們覺得開口應朝向自己，如同一般鋼琴一樣才對，但實際操作按壓後，發現開口朝自己常會按不到“共同接點”所以無法導通，後來改為開口朝外，這樣就可以按到共同接點，使琴鍵導通，按出所有的音 (C 到 B)。
- 三、在實驗過程中，我們使用了『單導銅箔膠帶』，但發現在【實驗五、六】的塑膠鋼琴上導電不佳且黏貼較麻煩，因此可以改用『雙導銅箔膠帶』，避免背膠無法導通。
- 四、初始電路設計構想一個琴鍵只需一個微動開關，經實際操作發現琴鍵編碼導電卡之導電條，當遇到觸發兩個以上的導電條時，會使兩個導電條導通，最終導致三個導電條形成迴路，保持 line0、line1、line2 皆為 1 的狀態。例如：當按下琴鍵 C，訊號應為 001，但實際卻發出 B(111)的音，如圖 21 所示。



【圖 21】導通測試版：一個微動開關

- 五、在【實驗七、八】製作木鋼琴上，連接 micro:bit 的 P1、P2、P8、P15 及 P16 時，因為 P8、P15、P16 的腳位寬度較窄，鱷魚夾在連接這些腳位時容易誤觸其他腳位，引發不正確的作動，包括聲音及顯示文字符號。因此我們利用了 micro:bit Breakout 轉接擴展板及杜邦線，使其可準確連接，避免誤觸。
- 六、除了我們做的紙、塑膠和木片的「微」鋼琴三部曲之外，其實還有很多材料也可以變身，像是換成 3D 列印鋼琴，可以自己決定的大小和形狀；或是將廢棄的玩具鋼琴加入多個 micro:bit 讓它起死回生。

陸、結論

- 一、關於科技鋼琴的實驗中，以【實驗三、四】的紙鋼琴，取得材料最簡單且價格便宜，攜帶也很方便，尺寸長 36.8cm 寬 10cm 的對開長方形，也可縮小尺寸，增加按鍵觸控的成功率；但紙鋼琴的回彈力不足，常發生導電不良的問題，所以我們才會想用其他材質來代替紙張，解決回彈力不夠的問題。
- 二、我們將小時候的口風琴廢物利用，變身成科技鋼琴，其塑膠琴鍵的觸控及回彈力跟真的鋼琴一樣，且放置在 20*12*5 的紙盒中就可攜帶出門，很方便；但變身過程中，琴鍵與“琴鍵編碼導電卡”共同接點的連接導通很困難，主要是由於『單導銅箔膠帶』的背膠無法導通，因此共同接點不能貼滿，但可用『雙導銅箔膠帶』來克服這個問題。
- 三、我們還想做一個兼具外觀且觸鍵感覺更好的木頭鋼琴，因此加入了微動開關增加琴鍵的回彈力，利用電線焊錫增強與“琴鍵編碼導電卡”的連接，最後再用萬孔板將 micro:bit 的 pin 腳結合；整體外觀也運用了木工裁切、打磨機、雷雕機，這些都是第一次接觸的工具，相對的實驗步驟也較麻煩及複雜。
- 四、原始設計七個琴鍵彈奏七個中音的音階，對於音域較廣的樂曲便無法彈奏，為了增加彈奏的音域，我們將【實驗二】及【實驗七】做了部份修正，在不增加「琴鍵數量」及「琴鍵編碼導電卡的導電條」下，利用 micro:bit 的程式設計，透過 P15、P16 及 2 個微動開關擴大了木鋼琴彈奏的音域。
- 五、在科技鋼琴的實驗中，我們最常用的就是銅箔和鋁箔，但是導電材質有很多，考慮要具備可裁切、可彎折、可貼合且有連續性，自然五下有提到「電鍍」，也可使用電鍍銀來進行著整個實驗，說不定這些導電物質還比銅箔、鋁箔更好呢。

柒、參考資料及其他

一、書面資料

(一) 中華民國第 57 屆中小學科學展覽會國小組生活與應用科學科，真“水”鋼琴。

(二) 劉正吉 (2018)，micro:bit 簡單玩 程式設計好簡單，科學研習，No.57-05。

二、網路搜集資料

(一) 簡良諭，Micro:bit 創客設計，<http://163.32.161.36/course/microbit/>

(二) Fülöp Tamás (2017)，Microbit paper piano

<https://drive.google.com/file/d/1dgUUIEMWrP4NXYAxSSu5Rrd2ygb8OVcj/view>

<https://makecode.microbit.org/v0/03107-69090-41198-50535>

(三) 阿玉 Micro:bit 研究區 (2018)，25 水果樂器

<https://sites.google.com/site/wenyumaker2/02micro-bit-yan-jiu/25shang-yin-le-ke-le>

三、影片資料

(一) Fülöp Tamás (2017)，Microbit paper piano，https://www.youtube.com/watch?v=6a_rykLIN3k

(二) Nordic Semiconductor Student Projects (2017)，Episode 8 - Piano med micro:bit!，

https://www.youtube.com/watch?v=ulKq5To9dmA&feature=youtu.be&fbclid=IwAR3Dkcm888wtP2hN8U-OJj1SvALLsuCUJbQi-qAamD_bmufwyTdl-NxkPIo

【評語】 082807

以不同材質為琴鍵與導電材質結合，並利用 micro：bit 進行程式設計，經由編碼，產生代表不同音階的信號組合，製作出可攜帶的微鋼琴三部曲，值得鼓勵。作品的功能在以琴鍵接通信號，若能增加創意的部分，及和弦彈奏實驗的探討，可增加作品的趣味與應用價值。

摘要

我們的研究以**micro:bit**作為程式設計，先探究生活中物品的導電性，再以這些可導電的物品加上micro:bit的程式設計，運用「**琴鍵編碼表**」的邏輯概念，以最少的接線，設計出三種可攜帶的科技鋼琴：(1)**西卡紙**與導電材質結合；(2)**塑膠琴鍵**與導電材質結合；(3)**木片**與導電材質結合。只要輕輕的按琴鍵，就可以彈出一首優美的簡單樂曲。為了突破微鋼琴的琴鍵數量限制，我們增設**降8度及升8度鍵**，可增加彈奏的音域。

壹、研究動機

有一次跟家人去高雄科工館時，看到了一個很特別的樂器，一張薄薄的西卡紙內貼著鋁箔，連接了電路板和喇叭，用手輕輕的按西卡紙，因電線連接到電路板發出了優美的音樂。剛好學校五年級下學期自然課教到「**聲音與樂器**」這個單元，老師請同學們自製一個樂器，我們馬上聯想到可以以這種「紙鋼琴」當作樂器，且在五上電腦課也上過「Scratch」學習如何寫程式，之後接觸到科展，我們就以之前的經驗進階學習「**micro:bit**」程式設計，運用「**琴鍵編碼表**」的邏輯概念，並在琴鍵上做一些改變，想做一個可攜帶的「微鋼琴」。

貳、研究目的

- 一、測試日常生活中常見物品的導電性（實驗一）
- 二、以micro:bit進行程式設計（實驗二）
- 三、探討以不同的材質作為琴鍵
 - （一）西卡紙與導電材質結合（實驗三、四）
 - （二）塑膠琴鍵與導電材質結合（實驗五、六）
 - （三）木片與導電材質結合（實驗七）
 - （四）增加木鋼琴彈奏的音域（實驗八）

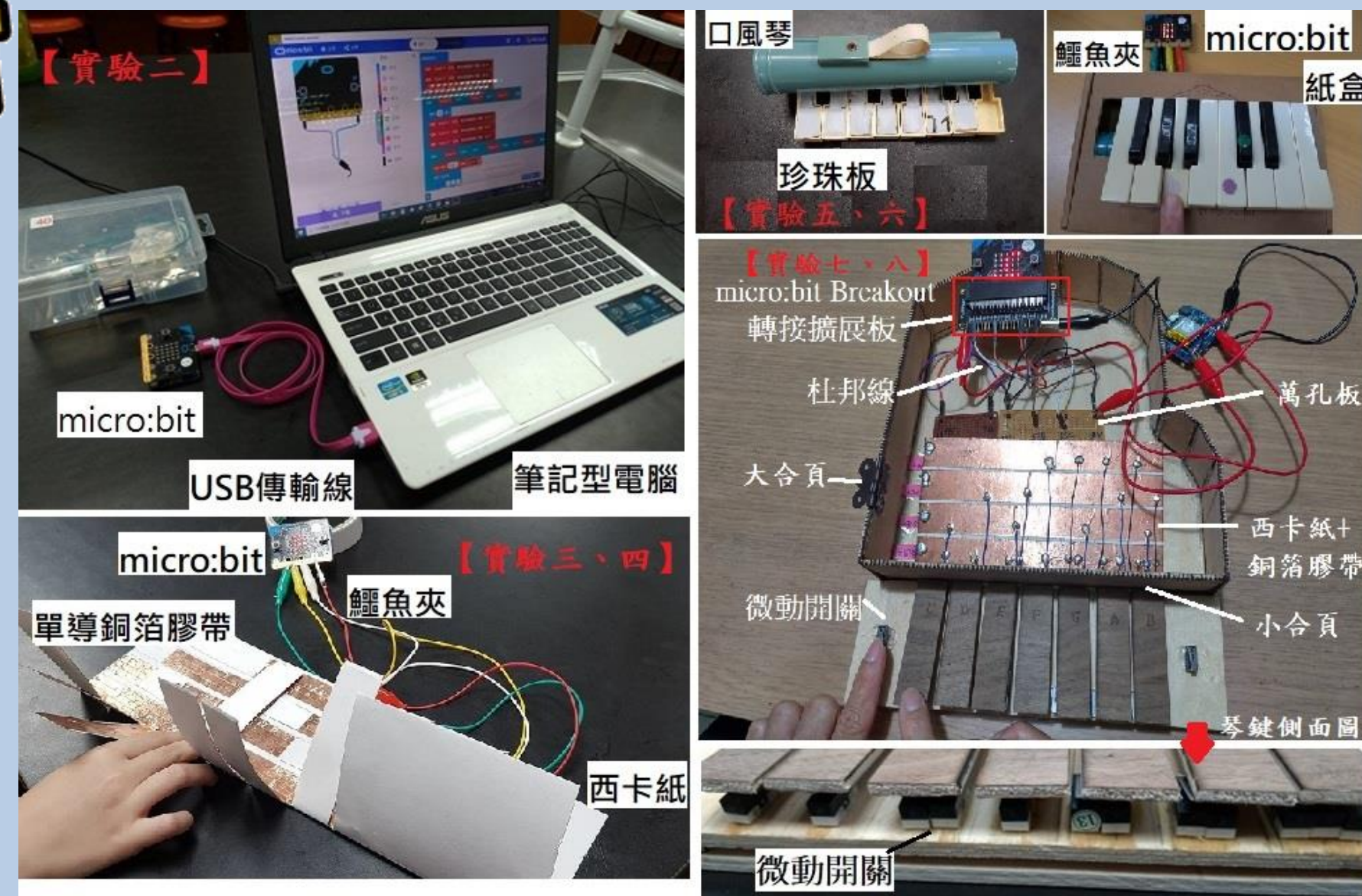
參、研究設備及器材

【實驗二】：筆記型電腦、micro: bit、USB傳輸線

【實驗三、四】：西卡紙、單導銅箔膠帶、鋁箔紙、鱷魚夾

【實驗五、六】：口風琴、珍珠板、焊錫機（JBC CD-1BD）、熱熔膠槍、紙盒

【實驗七、八】：檀木合板、木板、雷雕機、木工裁切桌、打磨機、大/小合頁、微動開關、AB膠、電線、萬孔板、竹筷、micro:bit Breakout轉接擴展板、杜邦線



肆、研究過程

微鋼琴三部曲

西卡紙與導電材質 (鋁箔紙/銅箔膠帶) 結合

先將西卡紙裁切成長36.8cm寬10cm的對開長方形

再將西卡紙內部貼上鋁箔紙/銅箔膠帶製作出“琴鍵編碼導電卡”

用鱷魚夾將“琴鍵編碼導電卡”接上micro:bit板，line0接P2，line1接P8，line2接P1，3V接共同接點

塑膠琴鍵與導電材質 結合—利用銅箔連接

根據【實驗五】結果將珍珠板填入塑膠琴鍵凹槽並貼上單導銅箔膠帶，每個琴鍵先預留較長的單導銅箔膠帶

裁切紙盒將口風琴放入，配合塑膠琴鍵寬度，在紙盒貼上單導銅箔膠帶製作出“琴鍵編碼導電卡”，並將單導銅箔膠帶末端與micro:bit接線處，藏於紙盒背面

將塑膠琴鍵上的預留的單導銅箔膠帶與紙盒上的“琴鍵編碼導電卡”共同接點相連接，但不可以全部蓋住

將口風琴固定在紙盒裡，並用鱷魚夾分別將“琴鍵編碼導電卡”接上micro:bit板

木片與導電材質結合

用雷雕機將木板裁切成所需尺寸及數量，並在琴鍵上刻出7個音階

用木工裁切桌及打磨機將木板裁成所需尺寸

將裁好的琴鍵利用小合頁間隔固定在底部木板

將微動開關固定在底部木板，並鑽洞讓pin腳伸出木板底部與電線相接（咖啡色線接共同接點，藍色/黑色線接貼有銅箔的地方）

裁切紙板配合琴鍵寬度，貼上單導銅箔膠帶製作出“琴鍵編碼導電卡”

將微動開關電線與“琴鍵編碼導電卡”相接並用焊錫加強固定

用鱷魚夾夾在萬孔板的pin腳上，最後接上micro:bit板

「微」鋼琴三部曲



伍、研究結果

【實驗一】測試日常生活中常見物品的導電性

- (一) 在測試過程中我們發現，大多數能導電的物質，除了**石墨與導電黏土**之外，都是**金屬**材質。
- (二) 因為導電材質需與不同材質（紙、塑膠、木片）做結合，要具備**可裁切、可彎折、可貼合且有連續性**，因此我們先選用**鋁箔紙及單導銅箔膠帶**來進行實驗。

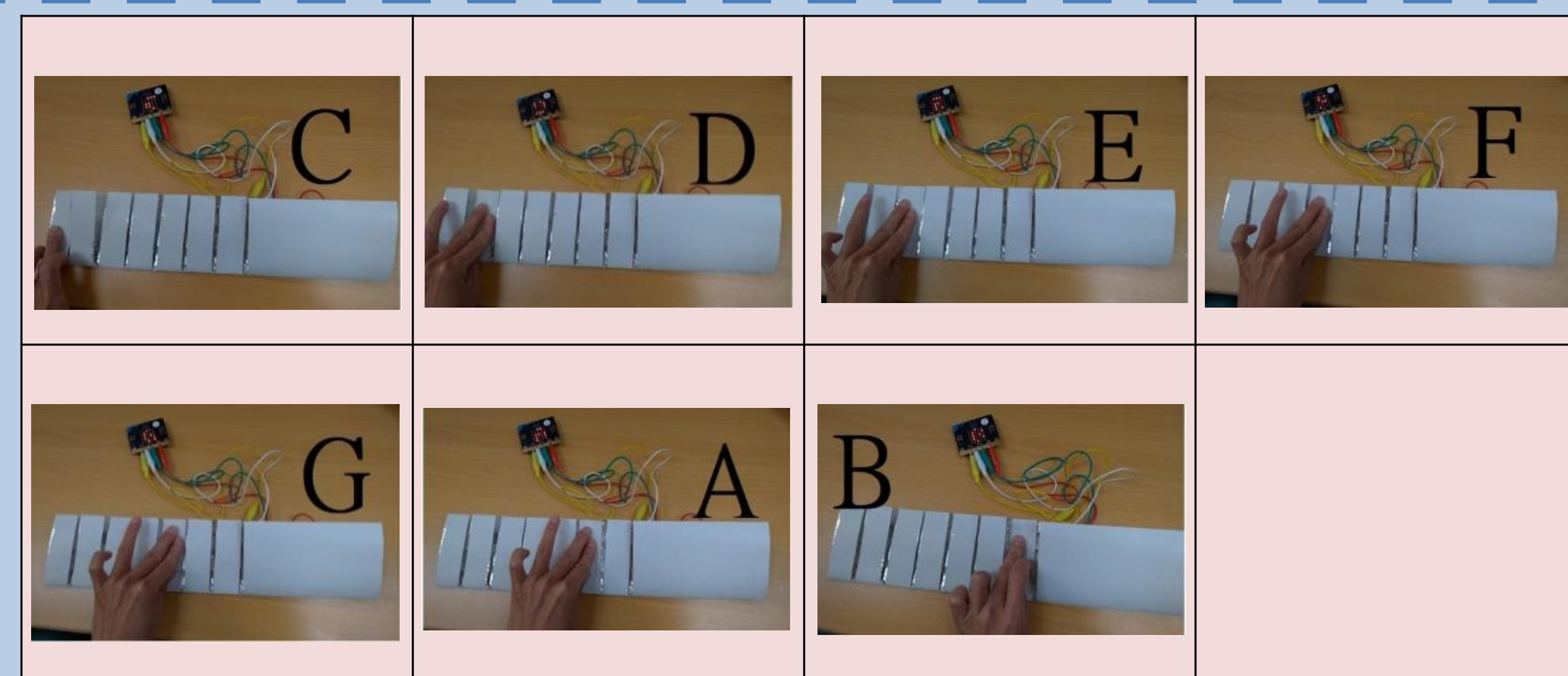
【實驗二】以 micro:bit 進程式設計

- (一) **琴鍵編碼表**：利用每個腳位都有1(ON)及0(OFF) 2種狀態，只要連接3個腳位，便有7種組合，可分別對應由C到B的音階。
- (二) **琴鍵編碼導電卡**：利用導電材質，貼製成4條導電條，再以鱷魚夾分別連接 micro:bit 的P1、P8、P2及3V的腳位。0表示導電條上方貼上絕緣紙；1表示保留原有的導電材質；而最下層為共同接點(3V)。

0	0	0	1	1	1	1	→ 接P1
0	1	1	0	0	1	1	→ 接P8
1	0	1	0	1	0	1	→ 接P2
							→ 接3V
C	D	E	F	G	A	B	

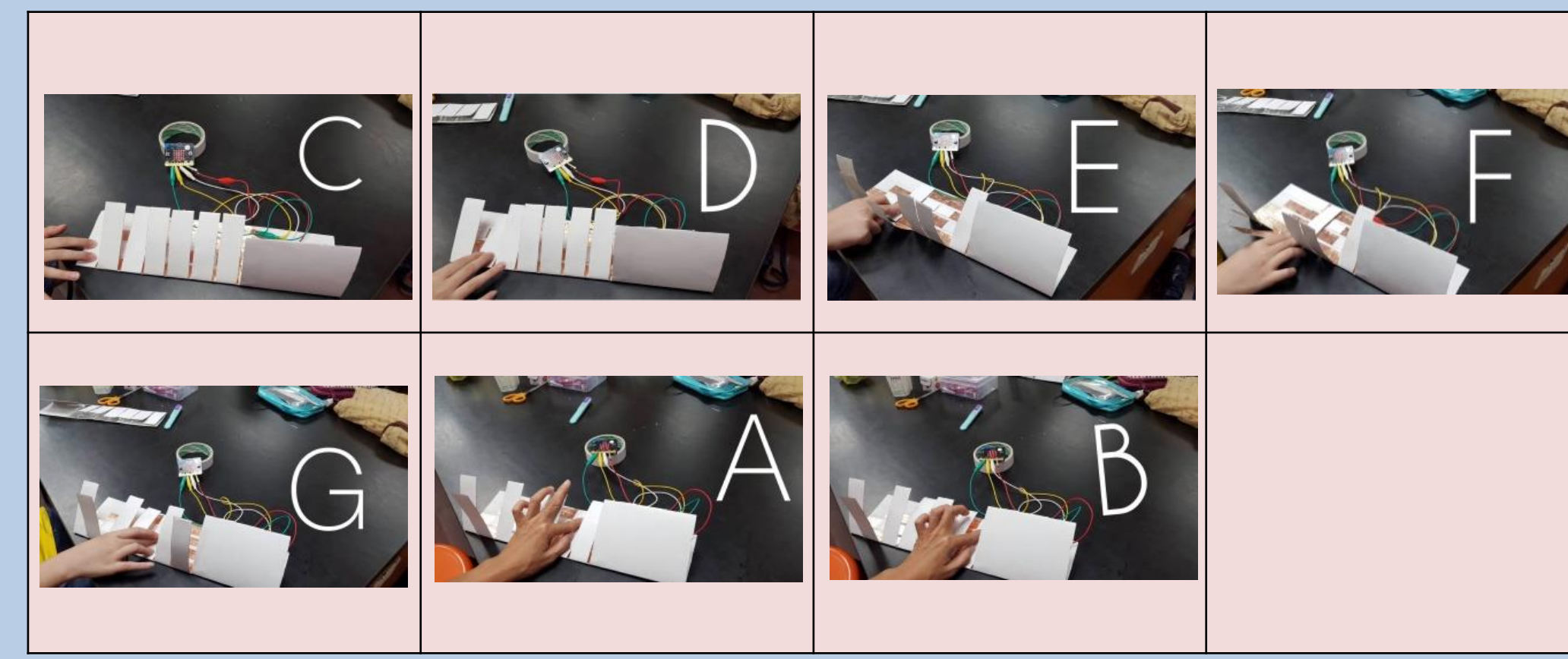
【實驗三】西卡紙與導電材質結合—鋁箔紙

- (一) 在測試過程中我們發現，當鋁箔琴鍵按下時，有時因為**紙的回彈力不足**，造成觸控不良，會使micro:bit的顯示燈號斷斷續續；因此在按壓琴鍵時，必須按好按滿，還要注意紙張回彈的情形。
- (二) micro:bit的鱷魚夾在與“琴鍵編碼導電卡”相接時，鋁箔紙末端是以**皺折堆疊**，比較脆弱，但常因為移動造成破損，也會導致觸控不良。



【實驗四】西卡紙與導電材質座結合—單導銅箔膠帶

- (一) 在測試過程中我們發現，當銅箔琴鍵按下時，一樣會因為**紙的回彈力不足**，造成觸控不良，而使micro:bit的顯示燈號斷斷續續，但此情況**相較於鋁箔紙好一點**。
- (二) 主要原因應該是銅箔膠帶沒有使用**口紅膠黏貼**，讓琴鍵較為堅固；且銅箔膠帶末端是以**反折黏貼**，反覆利用鱷魚夾相接，也不容易破損。



【實驗五】塑膠鍵盤與導電材質結合—利用電線連接

- (一) 放入**泡棉**的口風琴再貼上銅箔膠帶會**皺皺的且易脫落**，推測可能會觸控不良；放入**珍珠板**的口風琴再貼上銅箔膠帶接觸面較平滑，所以選擇珍珠板作為塑膠琴鍵凹槽的填充材料。
- (二) 利用電線與焊錫皆有**厚度**，導致只能按出2到3個音階，如：C或A或B。

【實驗六】塑膠鍵盤與導電材質結合—利用銅箔連接

- (一) 為了解決相鄰琴鍵會卡住的問題，將銅箔膠帶兩邊**內縮**貼在珍珠板上，也可達到不錯的導電效果。
- (二) 另外塑膠琴鍵與“琴鍵編碼導電卡”的夾角內側容易造成懸空，可將共同接點的銅箔**加厚墊高**改善，另外“琴鍵編碼導電卡”有貼銅箔的地方也需要墊高，改善觸控不良的問題。

【實驗七】木片與導電材質結合

- (一) **微動開關**是具有微小接點間隔和快動機構，當簧片被按壓時，末端的動觸點與定觸點會快速接通或斷開，當作琴鍵的**回彈力**，且本來在內側15°夾角的狹小空間，移至最外端，達到很好的導通效果，觸控成功率100%。
- (二) 另外我們發現“琴鍵編碼導電卡”的每個「1」接點皆為獨立，需與共同接點導通，因此例如：B為(1, 1, 1)就需要3個微動開關，以此類推。
- (三) 利用**萬孔板**也可改善鱷魚夾會損壞銅箔膠帶的接點。



【實驗八】增加木鋼琴彈奏的音域

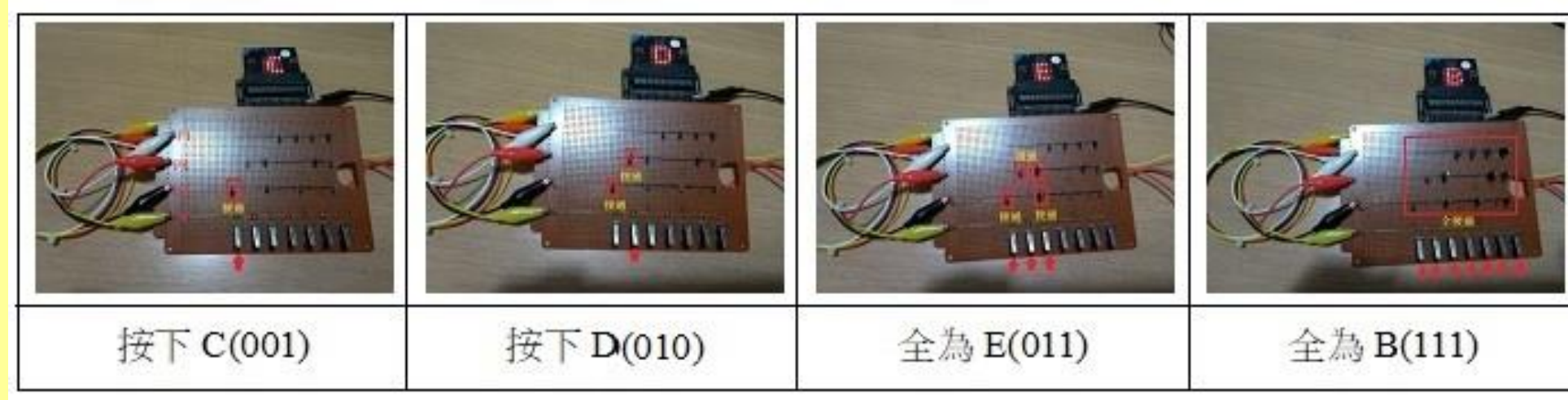
- (一) **可升降琴鍵編碼導電卡**：我們一樣利用每個腳位都有1及0，只要再連接2個腳位，便可擴大對應由低音、中音及高音C到B的音階。例如：C(001)，當b為ON時表示低音；當#為ON時表示高音；當b與#皆OFF時表示中音，其中**b定義為降音，#定義為升音**。
- (二) 增設升音、降音鍵一樣利用微動開關，可達到較準確的按壓方式。
- (三) 由於多使用了micro:bit的2個腳位(P15、P16)，導致原先使用的鱷魚夾已無法準確夾住腳位，因此增加了**micro:bit Breakout轉接擴展板及杜邦線**，使其可準確連接。
- (四) 在不增加「琴鍵數量」及「琴鍵編碼導電卡的導電條」下，利用micro:bit的程式設計，增加木鋼琴彈奏的音域。

0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	接P1
0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	接P8
1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	接P2
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	接P15(b)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	接P16(#)
			低音			中音			高音					
.C	.D	.E	.F	.G	.A	.B	C	D	E	F	G	A	B	音階
			符號			符號			符號					



陸、討論、心得與展望

- 一、在【實驗二】的程式設計中，我們一開始只使用P1、P2（P0/GND為喇叭接點），發現若要呈現出7個音階，需要再使用micro:bit板上的P8腳位，配合我們的「**琴鍵編碼表**」，製作成「**琴鍵編碼導電卡**」即可發出7個音階了。
- 二、在【實驗三、四】製作紙鋼琴時，我們覺得開口應朝向自己，如同一般鋼琴一樣才對，但實際操作按壓後，發現**開口朝自己常會按不到“共同接點”所以無法導通**，後來改為**開口朝外**，這樣就可以按到共同接點，使琴鍵導通，按出所有的音（C到B）。
- 三、在實驗過程中，我們使用了『**單導銅箔膠帶**』，但發現在【實驗五、六】的塑膠鋼琴上導電不佳且黏貼較麻煩，因此可以改用『**雙導銅箔膠帶**』，**避免背膠無法導通**。
- 四、初始電路設計構想**一個琴鍵只需一個微動開關**，經實際操作發現琴鍵編碼導電卡之導電條，當遇到觸發兩個以上的導電條時，會使兩個導電條導通，最終導致**三個導電條形成迴路**，保持line0、line1、line2皆為1的狀態。
例如：當按下琴鍵C，訊號應為001，但實際卻發出B(111)的音。
- 五、在【實驗七、八】製作木鋼琴上，連接micro:bit的P1、P2、P8、P15及P16時，因為P8、P15、P16的腳位寬度較窄，鱷魚夾在連接這些腳位時容易誤觸其他腳位，引發不正確的作動，包括聲音及顯示文字符號。因此我們利用了**micro:bit Breakout轉接擴展板**及**杜邦線**，使其可準確連接。
- 六、在MakeCode程式積木中預設就有演奏音樂「音名」的功能，但我們發現它預設演奏「音名」的音階比標準鋼琴的音階來得低八度，因此可在編寫完程式積木後，切換至**JavaScript頁面**修改成**符合的頻率**。



柒、結論

- 一、關於科技鋼琴的實驗中，以【實驗三、四】的**紙鋼琴**，取得材料最簡單且價格便宜，攜帶也很方便，尺寸長36.8cm*寬10cm的對開長方形，也可縮小尺寸，增加按鍵觸控的成功率；但紙鋼琴的**回彈力不足，常發生導電不良的問題**，所以我們才會想用其他材質來代替紙張，解決回彈力不夠的問題。
- 二、我們將小時候的口風琴廢物利用，變身成科技鋼琴，其塑膠琴鍵的觸控及**回彈力**跟真的鋼琴一樣，且放置在20*12*5的紙盒中就可**攜帶出門，很方便**；但變身過程中，琴鍵與“琴鍵編碼導電卡”共同接點的連接導通很困難，主要是由於『**單導銅箔膠帶**』的**背膠無法導通**，因此共同接點不能貼滿，但可用『**雙導銅箔膠帶**』來克服這個問題。
- 三、我們還想做一個兼具外觀且觸鍵感覺更好的木頭鋼琴，因此加入了**微動開關增加琴鍵的回彈力**，利用電線焊錫增強與“琴鍵編碼導電卡”的連接，最後再用**萬孔板將micro:bit的pin腳結合**；整體外觀也運用了木工裁切、打磨機、雷雕機，這些都是第一次接觸的工具，相對的實驗步驟也較麻煩及複雜。
- 四、原始設計七個琴鍵彈奏七個中音的音階，對於音域較廣的樂曲便無法彈奏，為了增加彈奏的音域，我們將【實驗二】及【實驗七】做了部份修正，在**不增加「琴鍵數量」及「琴鍵編碼導電卡的導電條」**下，利用micro:bit的程式設計，透過**P15、P16及2個微動開關**擴大了木鋼琴彈奏的音域。

捌、參考資料

一、書面資料

- （一）中華民國第57屆中小學科學展覽會國小組生活與應用科學科，真“水”鋼琴。
- （二）劉正吉（2018），micro: bit簡單玩 程式設計好簡單，科學研習，No. 57-05。

二、網路搜集資料

- （一）簡良諭，[Micro:bit創客設計](http://163.32.161.36/course/microbit/)，<http://163.32.161.36/course/microbit/>
- （二）Fülöp Tamás（2017），Microbit paper piano
<https://drive.google.com/file/d/ldGUUIEMWrP4NXYAxSSu5Rrd2ygb80Vcj/view>
<https://makecode.microbit.org/v0/03107-69090-41198-50535>
- （三）阿玉Micro:bit研究區（2018），25水果樂器
<https://sites.google.com/site/wenyumaker2/02micro-bit-yan-jiu/25shang-yin-le-ke-le>

三、影片資料

- （一）Fülöp Tamás（2017），Microbit paper piano，https://www.youtube.com/watch?v=6a_rykL1N3k
- （二）Nordic Semiconductor Student Projects（2017），Episode 8 - Piano med micro:bit!
https://www.youtube.com/watch?v=u1Kq5To9dmA&feature=youtu.be&fbclid=IwAR3Dkem888wtP2hN8U-OJj1SvALLsuCUJbQi-qAamD_bmufwyTdI-NxkPIo