

# 中華民國第 56 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 工程學科(一)科

第一名

052315

紙電路印刷機研發及其運用於教學之可行性分析

學校名稱：高雄市私立中山高級工商職業學校

作者：  職三 張恩齊  職三 陳思哲  職二 葉家宇	指導老師：  楊鎮澤  宋由禮
---	-----------------------------

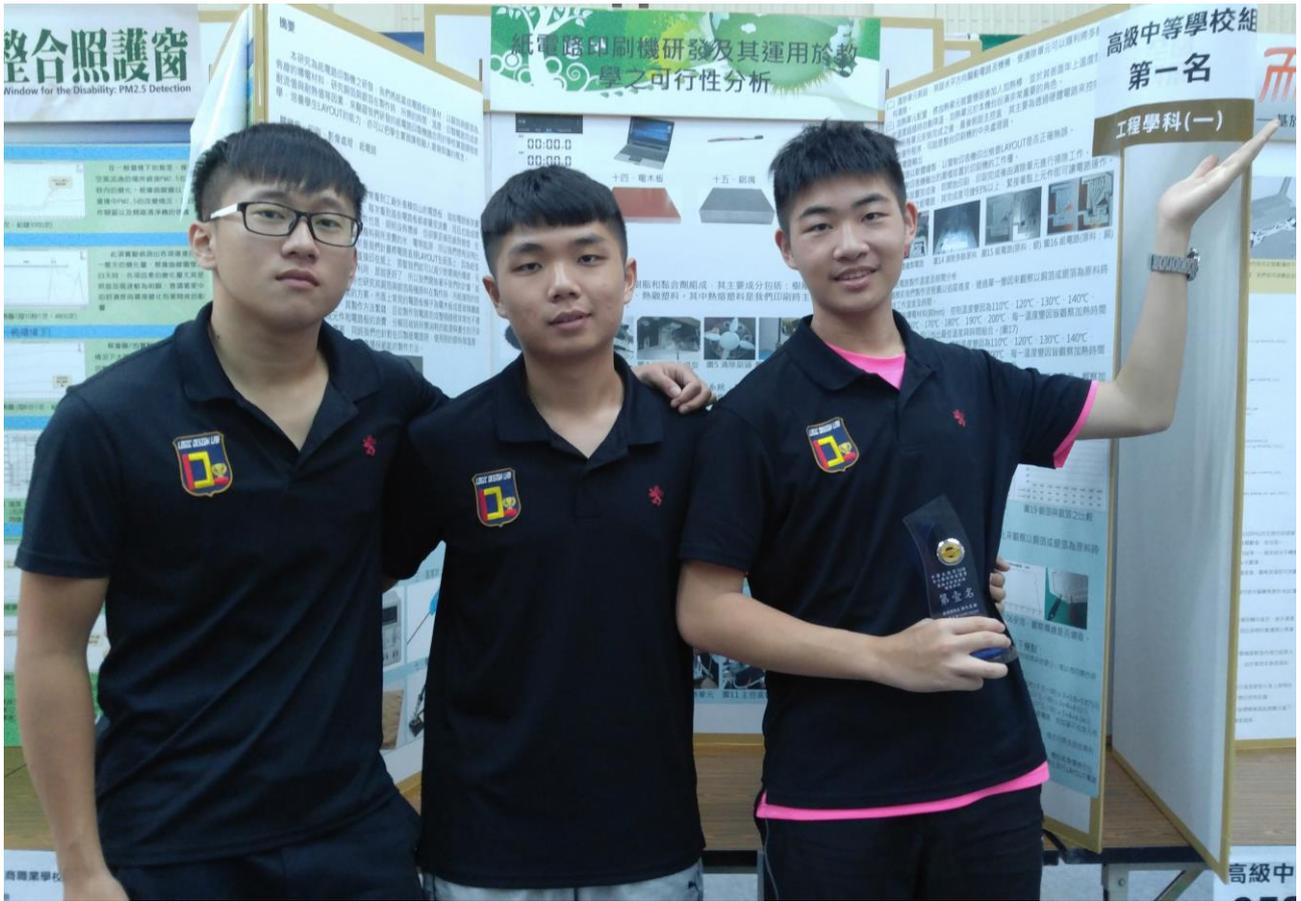
關鍵詞：印刷、影像處理、紙電路

## 得獎感言

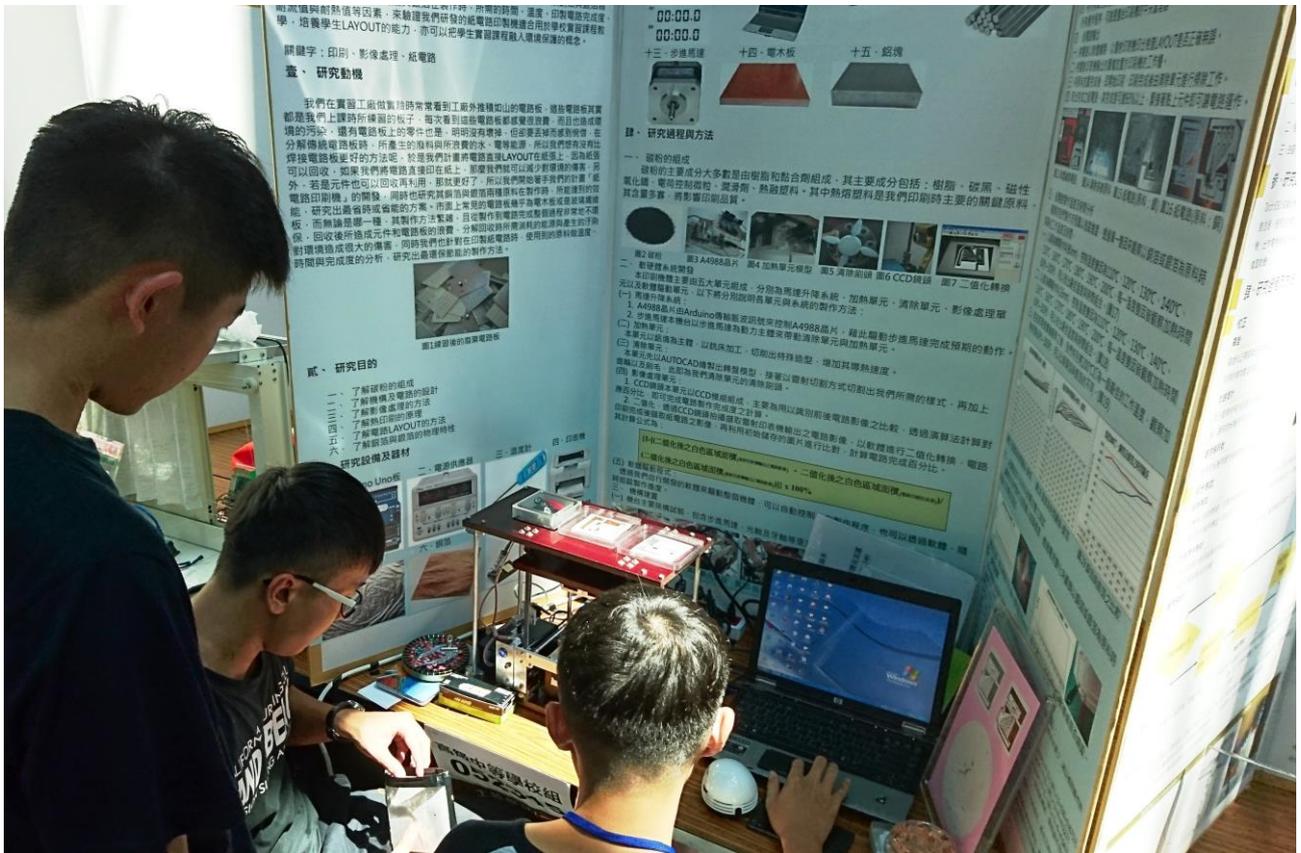
### 想要結果更好，所以過程更執著

為期八天的第 56 屆全國中小學科學展覽會，終於圓滿的結束了，我們很榮幸的在這次的科學展覽會中，拿下工程科學（一）組別的第一名，而我更幸運的，被學長及老師推選為國際科展的選手，得以繼續為我們的紙電路印刷機努力下去，並發現更多這個作品可以在其他領域的應用，我們在展覽期間，看到了許多創新的作品、超水準的實驗紀錄，聽過了各組選手精湛的報告技巧，瞭解了做科學，需要的不只是對它的熱忱，失敗後再爬起來的毅力，還有同等重要的溝通能力，如同賽後造訪中研院時，廖院長說得：「科學是一項團體的活動，而非一人閉門造車」，除此之外，我們這次的科展還發生一個小插曲，在比賽第二天到中央大學時，由於我的緊張與經驗不足，在準備入場之前，發現我竟然忘了把放在雲端硬碟的程式碼儲存到電腦！幸好在旁邊的組別見狀，好心借我們網路使用，否則我們的作品可能無法動作，雖然事後告知老師，老師只是叮嚀我下次務必反覆檢查，但對我來說，我是差點讓大家一起努力兩年的作品，前功盡棄，讓我非常內疚，也告訴自己，下次不管多肯定的事，都要再三檢查。

最後，我們想感謝我們的父母、指導老師、支持我們的長輩們，以及在最需要時，幫助我們的那一組同學，沒有這些人，我們絕對沒辦法順利得到這次的第一名。



科學展覽會場與展板合影



競賽前作品安裝及測試

## 摘要

本研究為紙電路印刷機之研發，我們將紙當成電路板的基材，以銅箔與銀箔為佈線的導電材料，研究銅箔與銀箔在製作時，所需的時間、溫度、印刷電路完成度、耐流值與耐熱值等因素，來驗證我們研發的紙電路印刷機適合用於學校實習課程教學，培養學生 LAYOUT 的能力，亦可以把學生實習課程融入環境保護的概念。

### 壹、 研究動機

我們在實習工廠做實驗時常常看到工廠外推積如山的電路板，這些電路板其實都是我們上課時所練習的板子，每次看到這些電路板都感覺很浪費，而且也造成環境的污染，還有電路板上的零件也是，明明沒有壞掉，但卻要丟掉而感到惋惜，在分解傳統電路板時，所產生的廢料與所浪費的水、電等能源，所以我們想有沒有比焊接電路板更好的方法呢，於是我們計畫將電路直接 LAYOUT 在紙張上，因為紙張可以回收，如果我們將電路直接印在紙上，那麼我們就可以減少對環境的傷害，另外，若是元件也可以回收再利用，那就更好了，所以我們開始著手我們的計畫「紙電路印刷機」的開發，同時也研究其銅箔與銀箔兩種原料在製作時，所能達到的效能，研究出最省時或省能的方案。

市面上常見的電路板幾乎為電木板或是玻璃纖維板，而無論是哪一種，其製作方法繁雜，且從製作到電路完成整個過程非常地不環保，回收後所造成元件和電路板的浪費，分解回收時所需消耗的能源與產生的汙染對環境造成很大的傷害，同時我們也針對在印刷紙電路時，使用到的原料做溫度、時間與完成度的分析，研究出最環保節能的製作方法。



圖 1 練習後的廢棄電路板

## 貳、 研究目的

- 一、 了解碳粉的組成
- 二、 了解機構及電路的設計
- 三、 了解影像處理的方法
- 四、 了解熱印刷的原理
- 五、 了解電路 LAYOUT 的方法
- 六、 了解銅箔與銀箔的物理特性

## 參、 研究設備及器材

- 一、 Arduino Uno 板



圖 2 Arduino Uno 板

- 二、 電源供應器



圖 3 電源供應器

- 三、 溫度計



圖 4 溫度計

- 四、 印表機



圖 5 印表機

五、 銀箔



圖 6 銀箔

六、 銅箔



圖 7 銅箔

七、 電烙鐵



圖 8 電烙鐵

八、 三用電錶



圖 9 三用電錶

九、 手機計時器



圖 10 手機計時器

十、 筆記型電腦



圖 11 筆記型電腦

十一、 牙刷



圖 12 牙刷

十二、 光軸與牙軸



圖 13 光軸、牙軸

十三、 步進馬達



圖 14 步進馬達

十四、 電木板



圖 15 電木板

十五、 鋁塊



圖 16 鋁塊

## 肆、 研究過程與方法

### 一、 碳粉的組成

碳粉的主要成分大多數是由樹脂和黏合劑組成，其主要成分包括：樹脂、碳黑、磁性氧化鐵、電荷控制微粒、潤滑劑、熱融塑料。其中熱融塑料是我們印刷時主要的關鍵原料，其含量多寡，將影響印刷品質。



圖 17 碳粉

### 二、 軟硬體系統開發

本印刷機體主要由五大單元組成，分別為馬達升降系統、加熱單元、清除單元、影像處理單元以及軟體驅動單元，以下將分別說明各單元與系統的製作方法：

#### (一) 馬達升降系統：

##### 1. A4988 晶片

由 Arduino 傳輸脈波訊號來控制 A4988 晶片，藉此驅動步進馬達完成預期的動作。

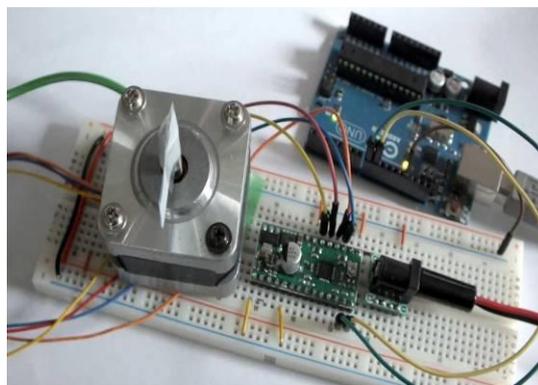


圖 18 A4988 晶片

##### 2. 步進馬達

本機台以步進馬達為動力主體來帶動清除單元與加熱單元。

(二) 加熱單元：

本單元以鋁塊為主體，以銑床加工，切削出特殊造型，增加其導熱速度。



圖 19 加熱單元模型

(三) 清除單元：

本單元先以 AUTOCAD 繪製出轉盤模型，接著以雷射切割方式切割出我們所需的樣式，再加上齒輪以及刷毛，此即為我們清除單元的清除刷頭。



圖 20 清除刷頭

(四) 影像處理單元：

1. CCD 鏡頭

本單元以 CCD 模組組成，主要為用以識別前後電路影像之比較，透過演算法計算對應百分比，即可完成電路製作完成度之計算。



圖 21 CCD 鏡頭

## 2. 二值化

透過 CCD 鏡頭拍攝擷取雷射印表機輸出之電路影像，以軟體進行二值化轉換，電路印刷完成後擷取紙電路之影像，再利用初始儲存的圖片進行比對，計算電路完成百分比。其計算公式為：

$$\{1 - \frac{\text{二值化後之白色區域面積(雷射印表機輸出之電路影像)} - \text{二值化後之白色區域面積(電路印刷完成後)}}{\text{二值化後之白色區域面積(雷射印表機輸出之電路影像)}}\} \times 100\%$$



圖 22 印刷前擷取畫面

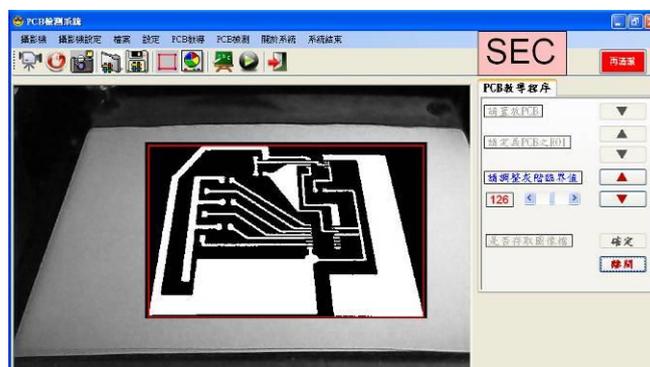


圖 23 二值化轉換

(五) 軟體驅動程式：透過我們自行開發的軟體來驅動整個機體，可以自動控制所有製作程序，也可以透過軟體，隨時追蹤製作進度。

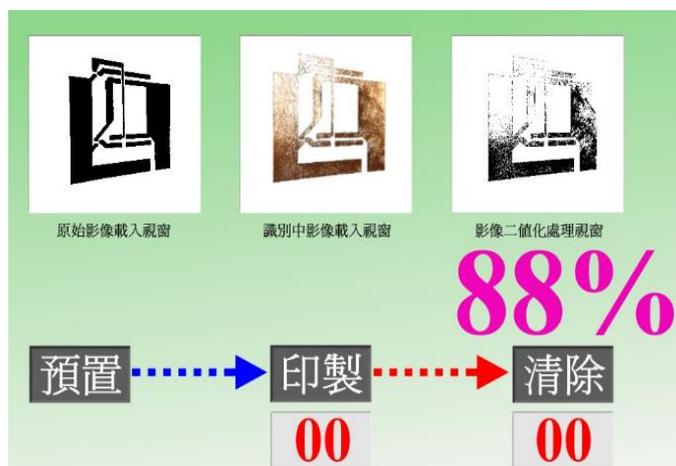


圖 24 軟體管控示意圖

### 三、 機構建置

(一) 機台主要架構試裝，包含步進馬達、光軸及牙軸等垂直及水平校正。

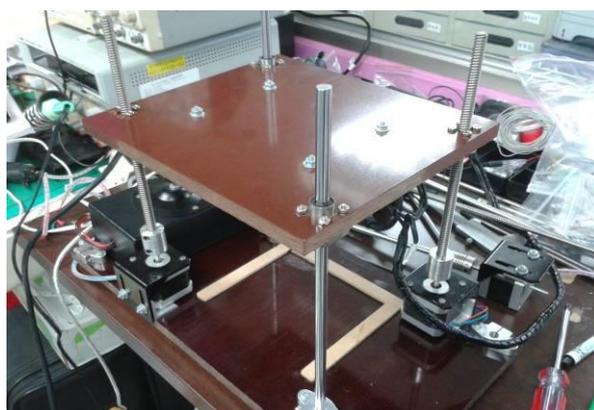


圖 25 機台試裝

(二) 清除單元裝設，架設水平方向驅動電路及機構，使清除單元可以順利將多餘的原料清除。



圖 26 清除單元裝設

(三) 加熱單元配置，將加熱單元裝置穩固後加入加熱棒，並於其表面年上溫度開關，於溫度超過時自動降溫，加熱單元於本機台扮演非常重要的角色。

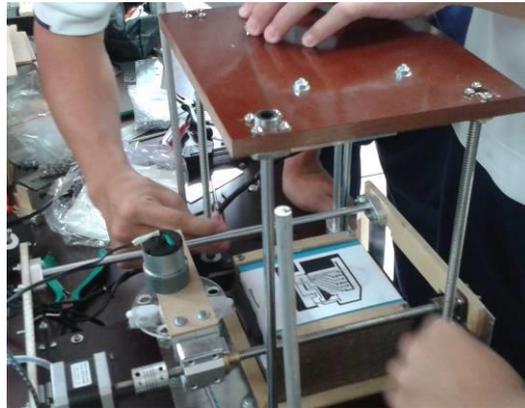


圖 27 裝設加熱單元

(四) 待所有單元安裝完成之後，最後裝設主控盒，其主要為透過硬體電路來控制機台所有運作程序，可說是整台印刷機的中央處理器。



圖 28 主控盒裝設

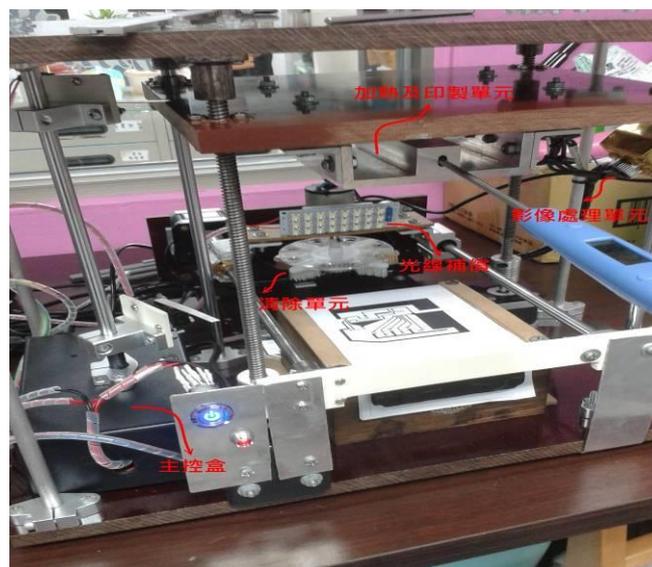


圖 29 紙電路印刷機成品

#### 四、 紙電路輸出

(一) 將電路以軟體繪製，以雷射印表機印出檢查 LAYOUT 是否正確無誤。

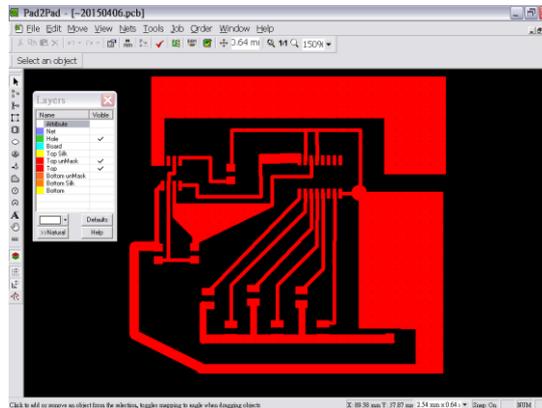


圖 30 軟體繪製電路

(二) 將雷射印表機輸出的圖檔放置於印刷機的工作檯。

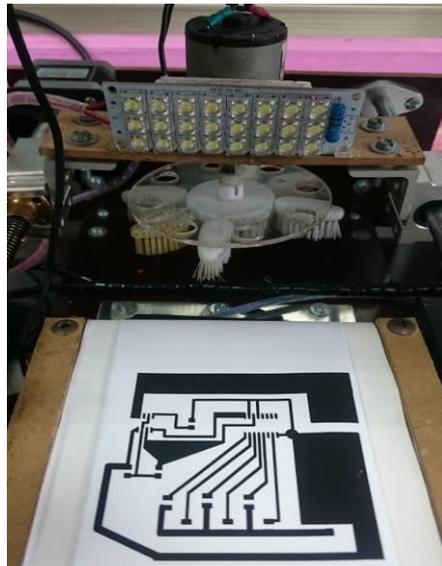


圖 31 影像固定於工作檯

(三) 待原料放置完成後，即開始印刷，印刷完成後由清除單元進行掃除工作。

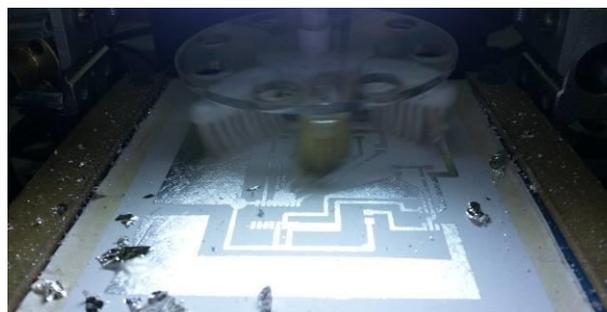


圖 32 清除多餘原料

(四) 取出完成之紙電路，其完成度可達 93% 以上，緊接著黏上元件即可讓電路運作。

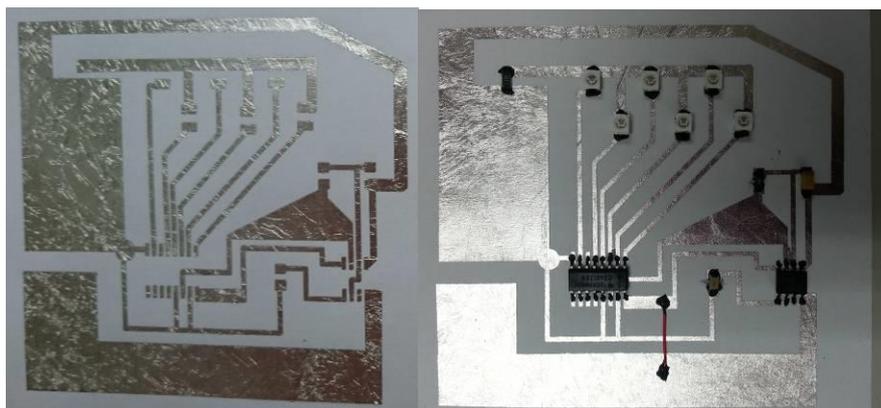


圖 33 紙電路完成圖(原料：銀)

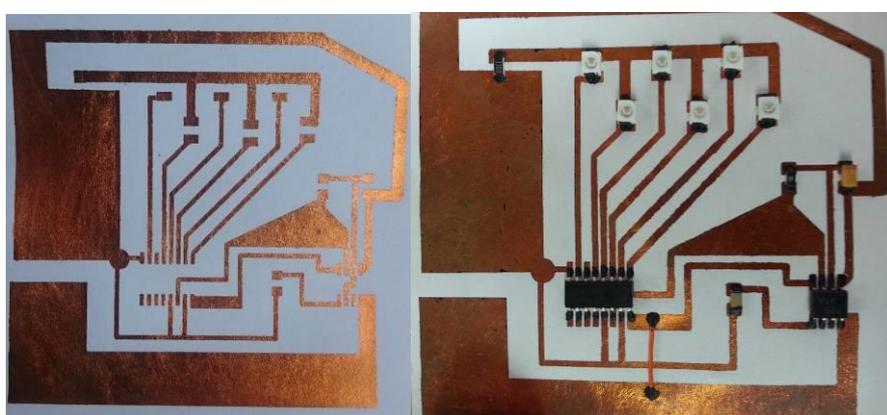


圖 34 紙電路完成圖(原料：銅)

### 五、 紙電路製作溫度及時間分析

觀察前我們製作流程圖以追蹤進度，透過單一變因來觀察以銅箔或銀箔為原料時其最佳工作溫度及時間。

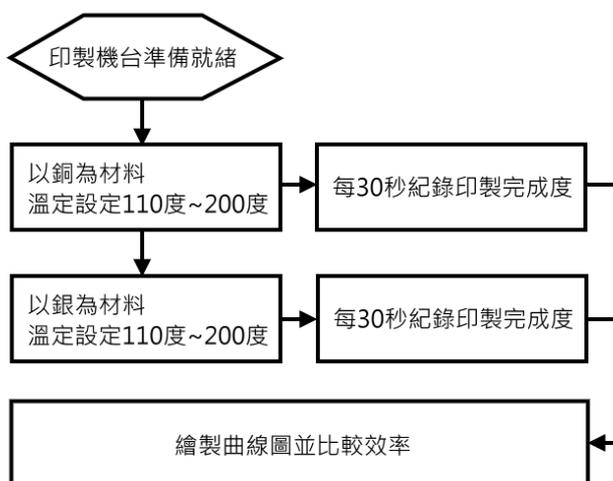


圖 35 實驗流程圖-溫度與時間

(一) 以銅為導電材料(80nm)，控制溫度變因為 110°C、120°C、130°C、140°C、150°C、160°C、170°C、180°C、190°C、200°C，每一溫度變因皆觀察加熱時間 60 秒~300 秒，用以找出最佳溫度與時間組合。

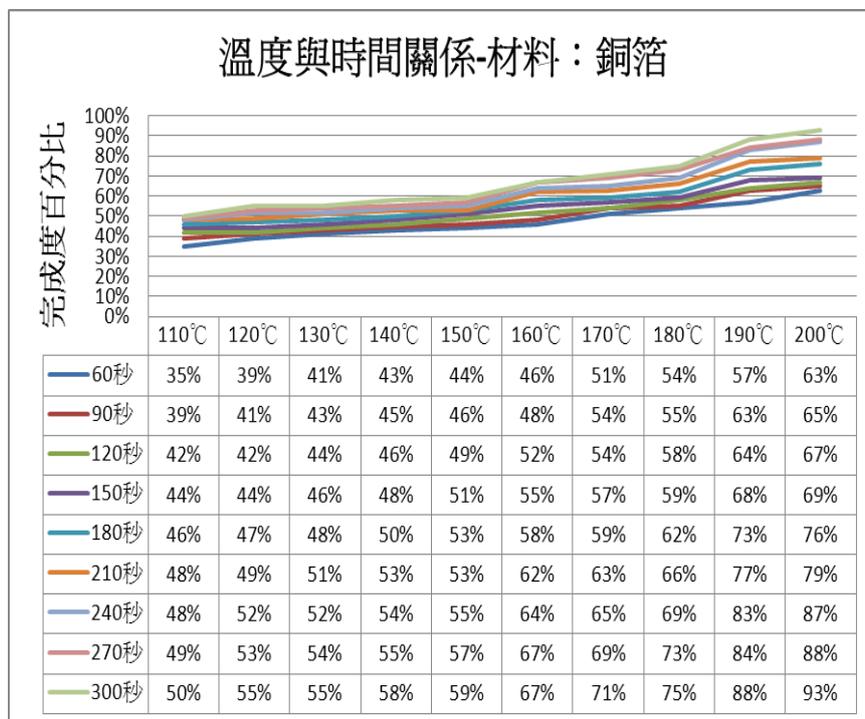


圖 36 溫度與時間關係-材料：銅箔

由圖 36 可知，以銅箔為材料時其最佳的工作溫度為 200°C，工作時間為 5 分鐘。

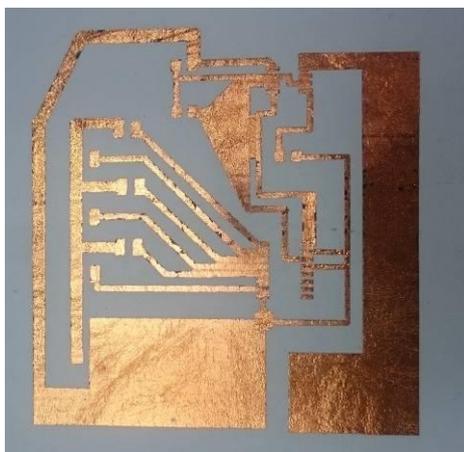


圖 37 180°C 加熱 5 分鐘之完成度

(二) 以銀為導電材料(26nm)，控制溫度變因為 110°C、120°C、130°C、140°C、150°C、160°C、170°C、180°C、190°C、200°C，每一溫度變因皆觀察加熱時間 60 秒~300 秒，用以找出最佳溫度與時間組合。

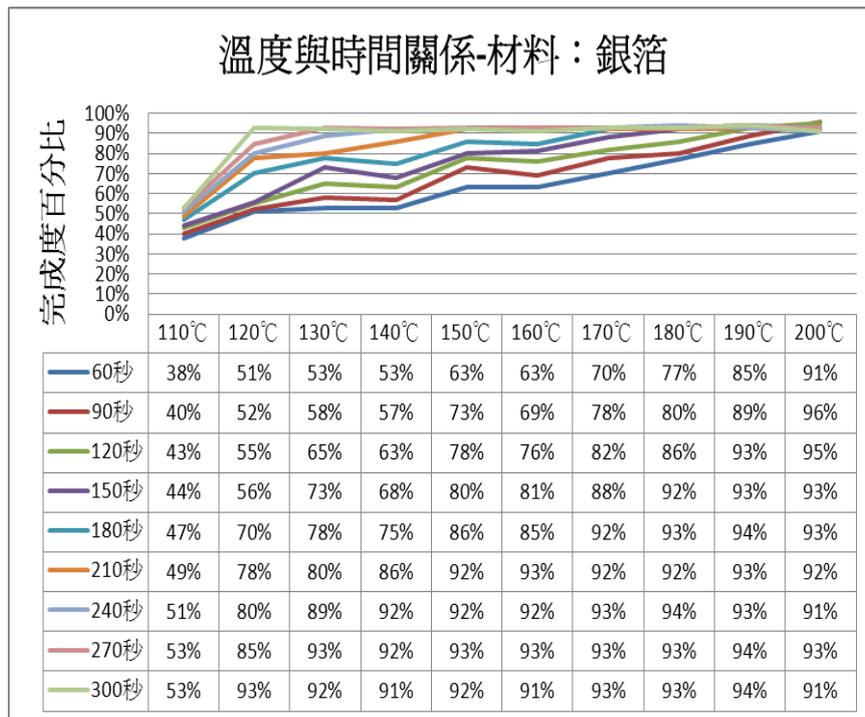


圖 38 溫度與時間關係-材料：銀箔

由圖 37 可知，以銀箔為材料時其最佳的工作溫度為 200°C，工作時間為 90 秒；另一較佳工作溫度為 120°C，工作時間為 300 秒。

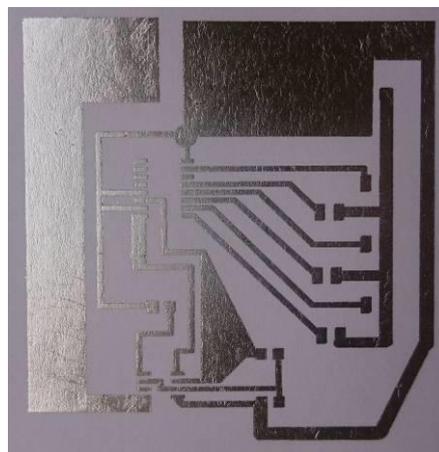


圖 39 120°C 加熱 300 秒之完成度

(三) 經由前兩個實驗觀察之後，我們特別將 200°C 訂為一個最佳的工作溫度，觀察加熱時間 60 秒~300 秒，用以比較銅箔與銀箔的不同。

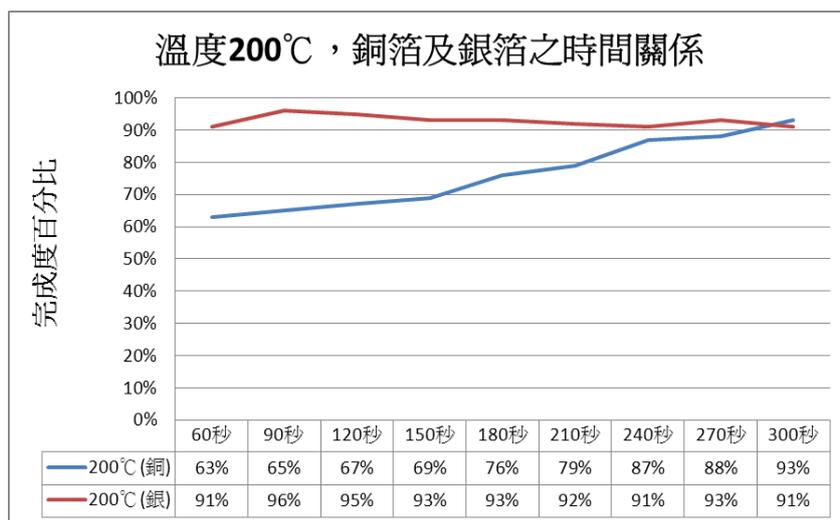


圖 40 銅箔與銀箔之比較

### 六、紙電路其不同材料耐電流壓力測試

觀察前我們製作流程圖以追蹤進度，透過電流變化來觀察以銅箔或銀箔為原料時其最大耐電流測試。

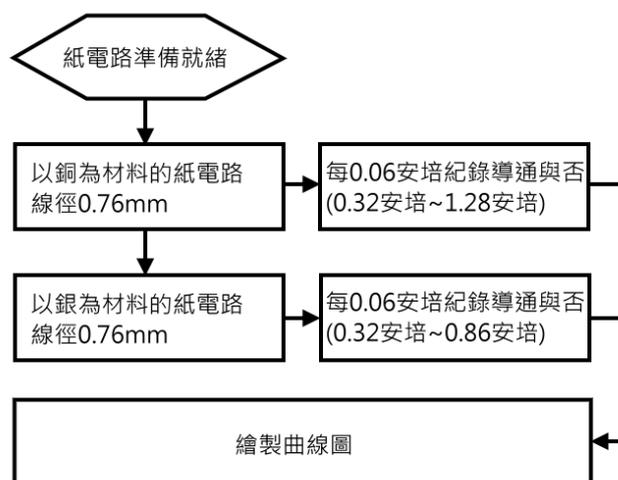


圖 41 實驗流程圖-電流測試

(一) 以銅為導電材料(最小線徑 0.76mm)，每次增加 0.06 安培，觀察導線是否燒毀。



圖 42 銅耐電流測試圖

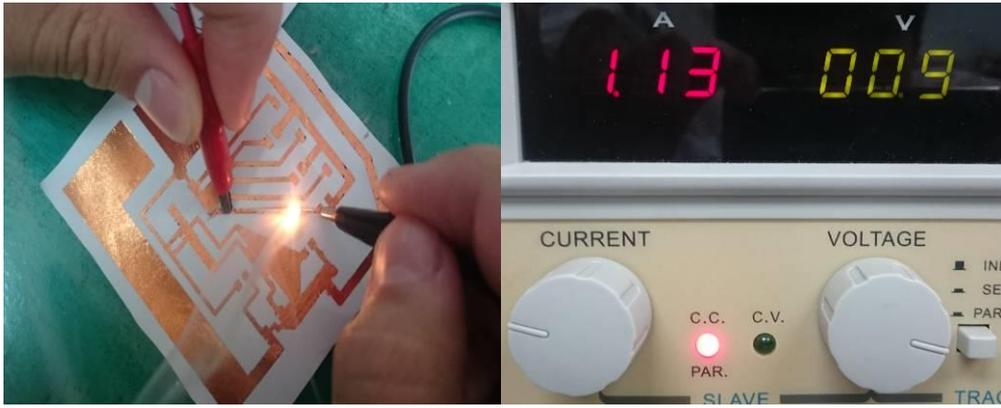


圖 43 銅耐電流測試示意圖

(二) 以銀為導電材料(最小線徑 0.76mm)，每次增加 0.06 安培，觀察導線是否燒毀。

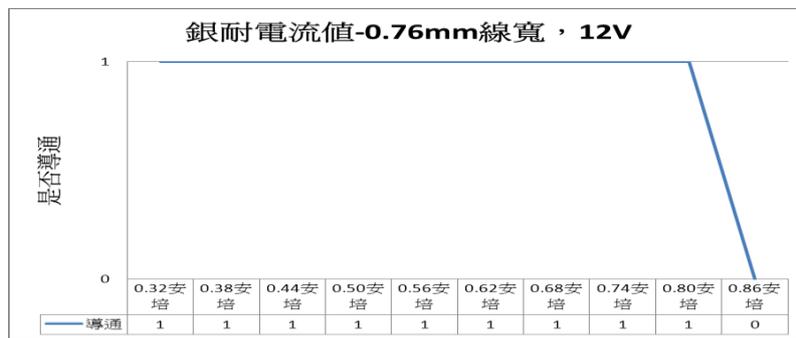


圖 44 銀耐電流測試圖

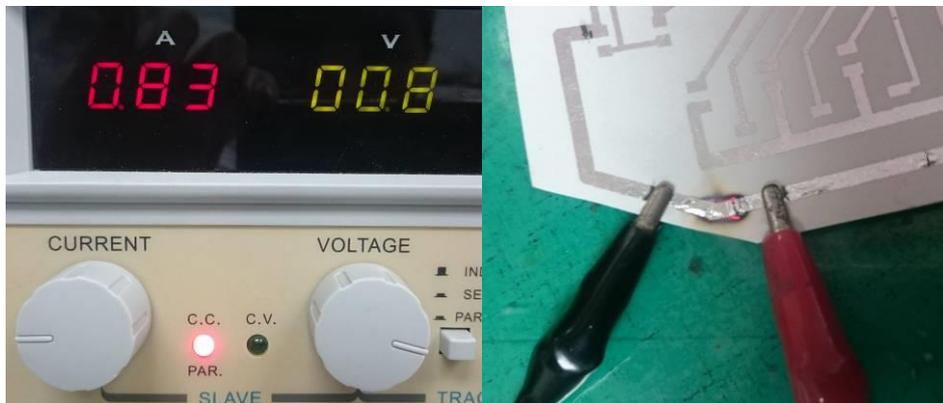


圖 45 銀耐電流測試示意圖

## 伍、 研究結果

本次實驗為期約 1 年時間，經由我們的觀察與研究發現以下幾點：

1. 由圖 36、圖 38 數據可見，在相同溫度的情況下，以銀為材料的電路比銅為材料的電路所需的製作時間來的更少；若以相同製作時間來說，銀為材料的電路所需要的工作溫度低於銅

為材料的電路。

2. 耐電流能力來說，同樣是 0.76mm 線徑的電路來說，銅材料的耐電流能力優於銀材料。

3. 以電力消耗成本計算，完成一張一銅為材料的電路需耗費：(以 200°C 計算)

$$(300\text{W} \times 300 \text{ 秒} / \text{千瓦小時}) \times 3 + 0.8 = 0.875 \text{ 元}$$

4. 以電力消耗成本計算，完成一張一銀為材料的電路需耗費：(以 200°C 計算)

$$(300\text{W} \times 90 \text{ 秒} / \text{千瓦小時}) \times 3 + 4 = 4.02 \text{ 元}$$

5. 以電力消耗成本計算，完成一張一銀為材料的電路需耗費：(以 120°C 計算)

$$(180\text{W} \times 300 \text{ 秒} / \text{千瓦小時}) \times 3 + 4 = 4.04 \text{ 元}$$

6. 以經濟方面來做考量，兩張相同的電路，一張為傳統電路板(蝕刻機或雕刻機製作)，一張為紙電路，假如皆不包含元件，傳統電路板一張成本約 60 元，然而紙電路一張約為 1 元。

7. 在製作過程，以紙作為基底，搭配導電膠水黏著元件，回收時，可直接將元件移除下次再使用，紙也可再生回收再利用，可說是相當環保。

8. 學校在教導學生製作電路時，使用這台紙電路印刷機，所需印刷時間比蝕刻機與雕刻機來的更短，機台本身價格也比蝕刻機與雕刻機來的便宜，且較符合環保概念，有助於減少教學時造成電路板的廢棄亦可以訓練學生自行 LAYOUT 電路能力。

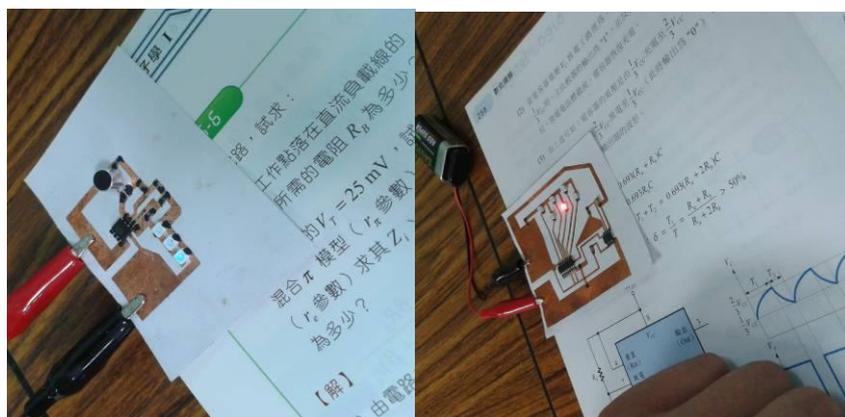


圖 46 紙電路融入課本教學

## 陸、 討論

(一) 使用紙電路印刷機教學上就無法學習焊接技術？

電路元件焊接能力是我們要學習的基本能力，因此我們需要花一些時間來練習，但除此外，電路識圖尤其重要，因此我們的紙電路主要教導學生在自行設計電路後，使用電

腦學習 LAYOUT 電路的能力，讓學生可以在最短的時間、最低的成本內可以實現自己所設計的電路，並可以在對環境 最佳的狀況下學習。

## (二) 紙電路可以取代傳統電路板？

我們製作的紙電路主要是用於教學，我們標榜快速以及環保，可以方便我們將電路印出，讓學生可以清楚了解電路的功能與特性，一方面可減少時間，另一方面也可減少資源浪費。

## (三) 回收時是否造成環境汙染？

紙電路在回收時，可將元件直接移除再利用，紙也可泡入水中分解出金屬與紙，分解出來的紙可造成再生紙，銅也可回收再利用，不像傳統電路板回收過程浪費大量的水及電力，且須請專門的人來統一集中處理。

## (四) 如何在電路完成後比較電路的完成度？

利用機台旁的 CCD 鏡頭先將紙電路擷取畫面，紙電路印刷完成後，再將紙電路和印製前擷取的電路相互比對，經過公式計算後就可知道電路完成的百分比。

## 柒、 結論

生活中存在著很多有趣的現象值得去探討，看待事情若能多點不一樣的角度的，那就可能會有更多的驚奇，就像我們這次的實驗，上實習課時發現電路板大量廢棄的狀況，再了解電路板製作與回收時的情況後，我們製作了這台紙電路印刷機，其中銀箔與銅箔是我們所關注的，因此在討論過後我們決定以銅箔與銀箔做實驗來驗證這台裝置的可行性，在實驗後透過數據分析與比較，我們發現紙電路印刷機是可行的，因此在教學方面若能夠以這台紙電路印刷機來代替蝕刻機與雕刻機，那麼相信在教學後電路板大量廢棄的狀況將會改善，且也可降低製作成本、印刷時間與對環境的傷害，如此有朝一日紙電路所帶來的效益，將足以讓老師在課堂上更方便的教學生製作電路，慢慢的紙電路教學將得以實現。

## 捌、 參考資料與其他

- (一) 劉震昌/審譯(2010)。數位影像處理。新北市：高立圖書。
- (二) 洪啟強(2015)。電子學。新北市：全華圖書。
- (三) 王歌是、陳依封(2001)。跨入 **Maker** 物聯網時代：誰都可以用 **Arduino**。通訊雜誌，36 期，43-44 頁。
- (四) 黃仲宇、梁正(2011)。基本電學 I。台北市：台科大圖書。
- (五) 謝進發、鄭錦鈞(2010)。基本電學實習 I。台北市：台科大圖書。
- (六) 潘皇玉(2014)。Visual Basic 2010 程式設計實例。台北市：上奇資訊股份有限公司。

## 【評語】 052315

本作品製作一台印刷機，可於紙板上列印電路，電路板上再插上電路元件（如電阻、電容、電晶體等）即完成電路板的製作。所用原理分兩階段：階段一是使用辦公室用雷射印表機列印電路線路於紙板上；第二階段是覆貼一張導電銅膜片再熱壓（使用平板）使得銅膜及電路融合，最後一階段是使用機械刷子將沒有電路的銅膜刷去剝離，即可獲得有銅線的電路板。

製作簡易很多，雖然銅線線寬受限於雷射印表機列印碳粉的能力，無法很細，但對教學實習用，已足夠可滿足教學的需求。