

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

052319

「永不凍僵」—可控制保溫複合材料之製作與
應用

學校名稱：新北市立中和高級中學

作者： 高二 王亭方 高二 粘小葳 高二 林書緯	指導老師： 劉宗憲 王晞安
---	-----------------------------

關鍵詞：複合材料、焦耳定律、單晶片

摘要

本系統運用石墨添加聚矽氧聚合物製成導電薄膜，通電後電壓與電阻依據歐姆定律與焦耳定律產生熱能，製成輕薄且柔軟的加熱片或網狀。配合單晶片為核心的恆溫控制系統，通電後溫和穩定地加熱，輸入設定值當溫度達到 32 度 C 時會停止加熱，當溫度過低時會啟動系統開始加熱。藉由手機的 APP 連接 WIFI 用電晶片傳到基地臺，可以直接用手機看到整個系統的環境溫度狀況，藉由 APP 遠端遙控可以達成我們所想的節能目的，還能夠及時了解狀況，維持所需的溫度，讓溫度不會過高或過低。因此防止農作物失溫，增加農作物的存活率。

壹、研究動機

寒流是常見的天然災害，當寒流爆發時，導致的劇烈低溫及強風會造成農、漁、民生等災害，尤其是乾冷的天氣，對農作物傷害更是巨大。因為晚間幾乎沒有太陽的輻射，使溫度降溫讓植物細胞裡面的水結冰，破壞細胞膜結構。而日間氣溫因受太陽熱量影響快速上升，加上濕度低，使細胞內的水分迅速從破裂的細胞膜蒸發，造成植物死亡。目前農業已經使用多種防寒保溫措施，但目前對於溫度的變化只能消極地防禦，用導熱係數較低的材料防止熱量散失，例如：溫室、塑膠薄膜、…等等，消極地硬撐過去，無法改變溫度的現況，使農作物仍處於低溫，僅透過防止熱量的散失，降低農作物死亡的機率。針對此問題，我們想在面對環境溫度變化時，除了被動措施，藉由創意發想與實作，取得主動應變能力，試圖改變農作物所處的環境溫度，進而進行本研究，希望能造福人群。

貳、研究目的

- 一、製作適合的導電聚合物，並測試加溫數據。
- 二、應用此聚合物制作出省電的系統。
- 三、製作出在一定溫度範圍內，可自動偵測溫度，控制加熱電源的裝置。
- 四、結合保溫材料與控制裝置做成完整保溫系統。

參、研究設備及器材

本研究所運用的化學藥品、設備與器材，可分為下列三大類：

一、研究藥品：參閱表1所列

表1 研究藥品一覽表

研究設備	規 格	數 量
石墨微粒	1000目	1000ml
聚矽氧	試藥級	200g
滑石粉		300g
乳化劑		500ml
增稠劑		100g
凡尼斯		200g
硬化劑		10g
金屬粉末		各300g

二、研究設備：參閱表2所列

表2 研究設備一覽表

研究設備	規 格	數 量	備 註
攪拌機	小 型	1	

三、研究器材：參閱表3所列

表3 研究器材一覽表

研究器材	規 格	數 量
單晶片積體電路		1
LED燈		15
電路板		5
繼電器		10
熱敏電阻		10
紅外線溫度計		1
棉繩		1
容量瓶	500ml	2
溫度計		2
量 筒	50ml	1
量 筒	100ml	1
木 板	120×60cm	2
燒杯		3

肆、研究過程或方法

一、研究流程圖

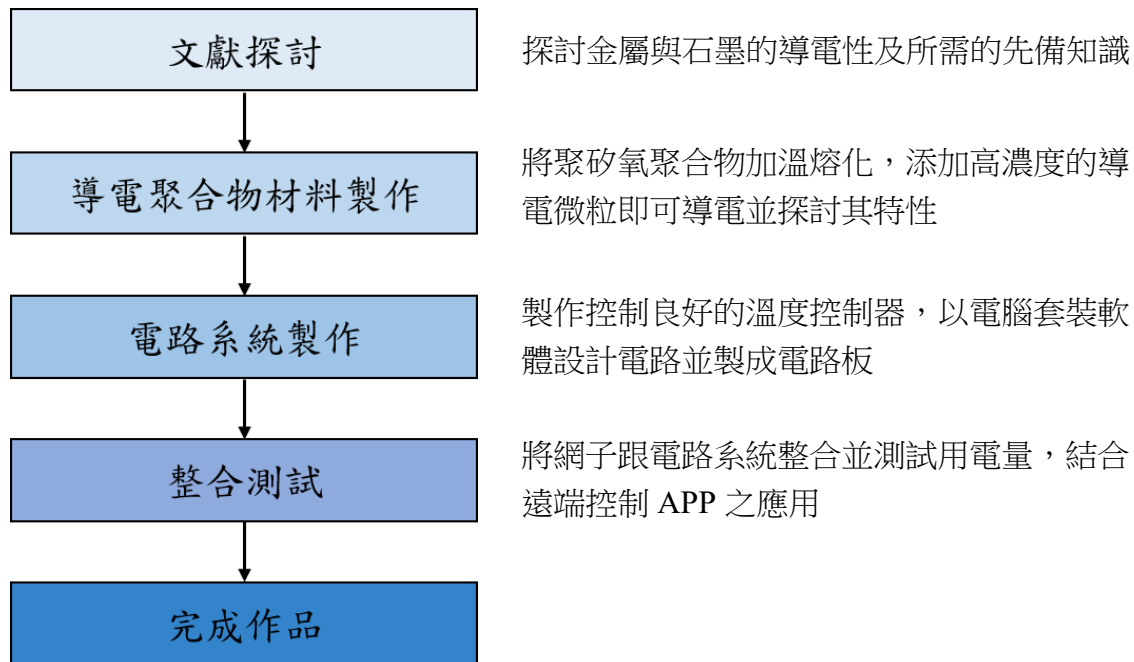


圖1 研究流程圖

二、文獻探討

(一)金屬導電性

金屬的導電原因是金屬的價電子不受金屬原子的束縛，所以價電子可以自由移動而導電。而金屬的排列對導電性的影響很大，金屬的電阻也受到它接近晶體結構的完善程度的影響而變化，不規則的晶體如合金則是相對的不良電子導體。而純銅和純銀是導電遠比合金為佳，為良好的導體。

(二)石墨導電性

石墨結構的碳原子的電子狀態為 $2s$ 跟 $2p_x$ 以及 $2p_y$ 跟 $2p_z$ 軌域，每層的原子由三個 sp^2 混成軌域跟其他碳原子以 σ 鍵結合。形成一種很強的共價鍵鍵結，各層之間垂直方向的聯結，則由許多未混成 p_z 軌域而形成的 π 鍵 (π bond)， π 鍵因共振的關係，很容易在 π 軌域中移動，所以石墨有良好的導電性。當有足夠的碳原子互相接近時，使價電帶的電子能在原子間移動，而共振電子無法區分是屬於那一個原子，稱為電子的共用。

(三)電阻特性

依據電學理論，材料在弱電場中的電阻特性以歐姆定律表示，即 $R = V / I$ ， I 為流過材料的電流，分為表面電流與內部（體積）電流兩部分，材料的電阻 R 因此也分為表面電阻（Surface resistance）與體積電阻（Volume resistance）兩部分，材料實際的電阻為表面電阻與體積電阻的並聯值：

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_v} \quad (1)$$

式1中， R_s 為材料的表面電阻， R_v 則是材料的體積電阻。材料的絕緣性能，採用與尺寸無關的體積電阻率與表面電阻率；表示材料的導電性能，則分別以表面電阻與體積電阻的倒數，即體積電導率與表面電導率。

$$\rho_v = R_v A / d \quad (2)$$

$$\rho_s = R_s l / b \quad (3)$$

式2中 R_v 為材料的體積電阻，式3中 R_s 為材料的表面電阻， A 為測量電極的面積， d 則為測試樣本的厚度， l 為測量電極的長度， b 為兩平行電極之間的距離。材料的絕緣性能通常採用體積電阻率 ρ_v 表示，此為介電材料最重要的性能之一。按照體積電阻率的大小，可以將固體材料分為超導體、導體、半導體與絕緣體四大類，如表1所示。

表1 各類材料的體積電阻率與電導率

材料類型	體積電阻率/(Ω / m)	體積電導率/(S / m)
超導體	$\leq 10^{-10}$	$\geq 10^{10}$
導 體	$10^{-10} \sim 10^{-7}$	$10^7 \sim 10^{10}$
半導體	$10^{-7} \sim 10^5$	$10^{-5} \sim 10^7$
絕緣體	$10^5 \sim 10^{16}$	$10^{-16} \sim 10^{-5}$

(四) 電阻

電荷 (Q) 移動形成電流，任何材料對電荷移動一定具有阻力，反抗電荷移動的阻力稱為電阻 (簡寫R)。電阻單位為歐姆 (Ohm)，簡稱 Ω 。決定電阻的因素如下：

以上關係可以用式4表示：

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (4)$$

式4中 ρ 為電阻係數，SI制單位為 $\Omega\cdot m$ ， l 的單位為公尺， A 的單位為平方公尺。

1. 材料種類：不同材料的電阻係數 (ρ) 不同，與電阻成正比。
2. 導體的長度 (l)：R值與 l 成正比。
3. 導體的截面積 (A)：R值與 A 成反比。

(五) 電功率

電能於單位時間所產生或消耗之能量，稱為電功率，如式5所示，符號為P，單位為瓦特 (W)。

$$P = \frac{W}{t} = \frac{VI}{t} = VI \quad (5)$$

(六) 焦耳定律

電流通過電阻產生電能，電能轉換成熱能的作用即為電流熱效應。電流熱效應的熱量與電流平方成正比，與電阻及通電時間 (t) 成正比，即為焦耳定律 (Joule's Law)。根據物理學定義，一公克水升高 1°C 所需熱量為1卡，必須輸入4.185焦耳的能量，所以電能轉換熱能 (H)，依式6計算：

$$H = \frac{I^2 R t}{4.185} = 0.24 I^2 R t \text{ 卡} \quad (5)$$

式6中： $I^2 R t$ = 電能，單位為瓦特-秒。

三、導電聚合物材料製作

塑膠性聚合物材料不具導電性，搜尋相關資料並反覆實驗，發現聚矽氧聚合物的吸附性很強，實驗將聚矽氧聚合物加溫熔化，添加高濃度的導電微粒即可導電。聚矽氧聚合物化學式為 $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，重複結構單元如圖2所示，為熱塑性塑膠（TPR，Thermoplastic Rubber）。

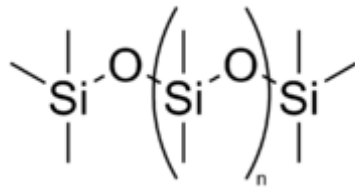


圖2 聚矽氧聚合物的重複結構單元

為了增加聚矽氧聚合物的延展性，首先將聚矽氧聚合物加熱，在加熱後添加熱融膠加熱至 80°C 。【熱融膠的主要成分為EVA（Ethylene-Vinyl Acetate）（乙烯-醋酸乙酯共聚物）】，攪拌配製成高分子複合材料，在加入少許乳化劑、增稠劑以及凡尼斯後再將此高分子複合材料加溫熔化，添加高濃度極細的導電微粒，灌入模型後取得實驗用軟片如圖3所示。最後將棉繩以及高分子複合材料如圖4所示混合，製作成我們的加熱網如圖5所示。



圖3 導電軟片



圖4 高分子複合材料



圖5 加熱網

(一) 導電複合材料物理特性分析

將聚矽氧聚合物加入一定比例的熱熔膠作為石墨微粒的溶劑，再添加6公克的石墨微粒，並使用加熱器加熱讓此複合材料均勻混合，製成導電微粒複合材料，為了確定此材料中的物質微粒並沒有發生化學變化，我們加熱20分鐘，使溫度達到120°C讓聚合物完全蒸發後，測石墨微粒重量，結果顯示石墨微粒重量並無變化，所以石墨微粒是以物理吸附的方式分佈於聚合物中。

此外我們使用紅外線吸收光譜儀，分析本研究所採用的複合材料的成分，結果是純度非常高的聚矽氧聚合物如圖6所示

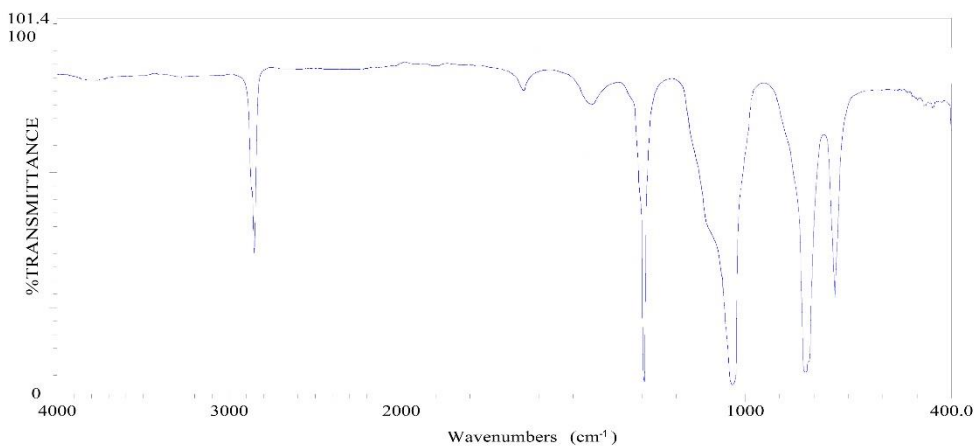


圖6 聚矽氧複合材料紅外線光譜分析

(二) 導電複合材料添加其他導電微粒電阻特性

1. 導電微粒相同濃度電阻值

將複合聚合材料添加6公克的石墨、31.7公克銅粉、28公克鐵粉、12.2公克鎂粉以及23.7公克鋁粉，將這些材料測試體積，約為10ml，而其中的微粒分子數均為0.5莫耳，所以濃度為50M，在20°C下測試電阻值差異表2。結果顯示在相同濃度下的電阻值以石墨最小。

表2 50M導電微粒電阻值

導電微粒	石墨	銅粉	鐵粉	鎂粉	鋁粉
電阻(歐姆)	1.5K	6.74K	652M	無法測出	無法測出

2.不同濃度電阻值

因為50M下鐵粉、鎂粉以及鋁粉的電阻值過大，所以我們使用石墨如圖7所示以及銅粉如圖8所示做濃度測試，結果顯示濃度越低電阻值越高，並不成正比關係，而是負相關。並且石墨複合材料濃度低於40M時無法測出電阻值，聚合物以及石墨微粒並沒有摻雜均勻，石墨微粒間的距離過大，故無法測出電阻值，濃度大於50M後聚合物會劣化降溫後無法成型。

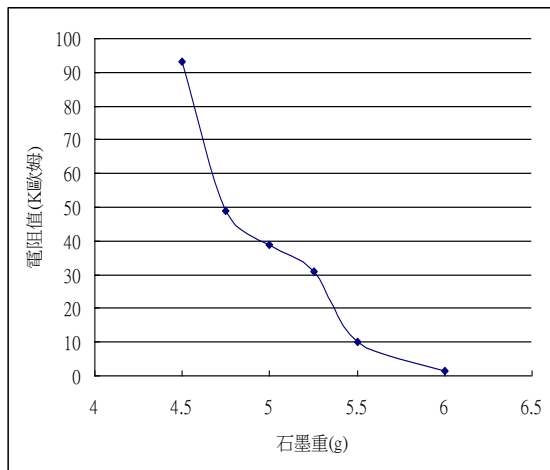


圖7 石墨不同濃度電阻值

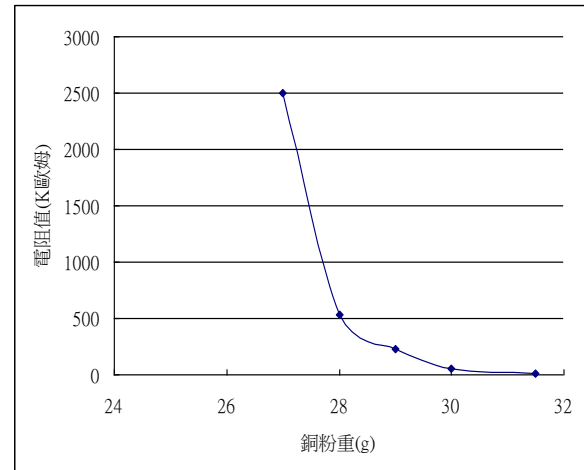


圖8 銅粉不同濃度電阻值

3.不同溫度石墨跟銅粉電阻值

石墨摻雜濃度至45M，導電性急遽增加，石墨摻雜濃度50M時，即進入導電的穩定狀態 (steady state)。摻雜濃度至60M，石墨的溶解飽和，聚合物的彈性開始劣化，所以試料的邊緣有微小的裂縫。此外銅粉也是摻雜濃度至60M，聚合物的彈性開始劣化。所以50M已經是此複合材料的飽和溶解度。

均取50M的石墨以及銅粉複合材料做電阻溫度測試如圖9、圖10所示，實驗結果顯示溫度對電阻值的影響是溫度越高電阻值越大，符合導體的特性。

物理吸附沒有進行化學反應，所以需要能量較小，容易進行反應，低溫就能快速反應。吸附是放熱反應，因此聚合物的物理吸附所產生的電阻與溫度成正比。物理吸附主要作用力為微弱的凡得瓦力 (van der Waals force)，容易受到溫度影響，因此電阻溫度係數變化很大。摻雜50M濃度石墨以及銅粉的聚矽氧塑膠，其電阻溫度特性如圖9、圖10所示，十分接近線性變化。但是由於銅粉電阻值過大，所以用石墨複合材料較適合研發成加溫材料。

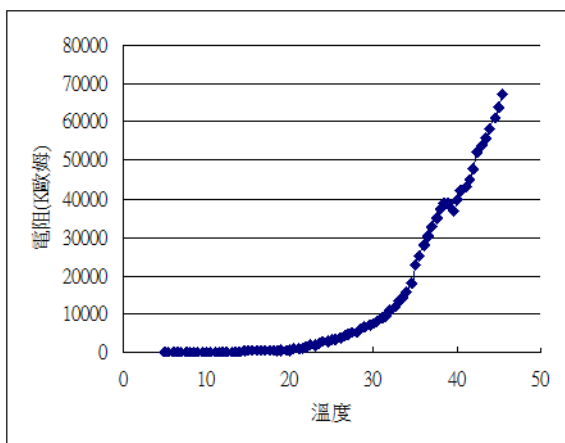


圖9 50M銅粉加溫電阻值

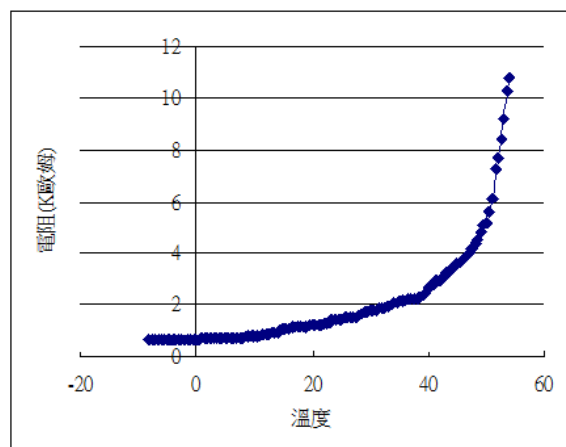


圖10 50M石墨加溫電阻值

4. 通電加熱溫度

利用我們製作的導電薄片約5cm*10cm，供應不同直流電壓，測試表面電流熱效應如圖11所示。經實驗得知110V通電8分鐘後，溫度就幾乎維持定溫。

藉由數據，110V大約20分鐘後可以上升約15°C並維持一定，當寒流來臨時，可以減少農田的損失，且不會因為加熱太快而造成耗電。

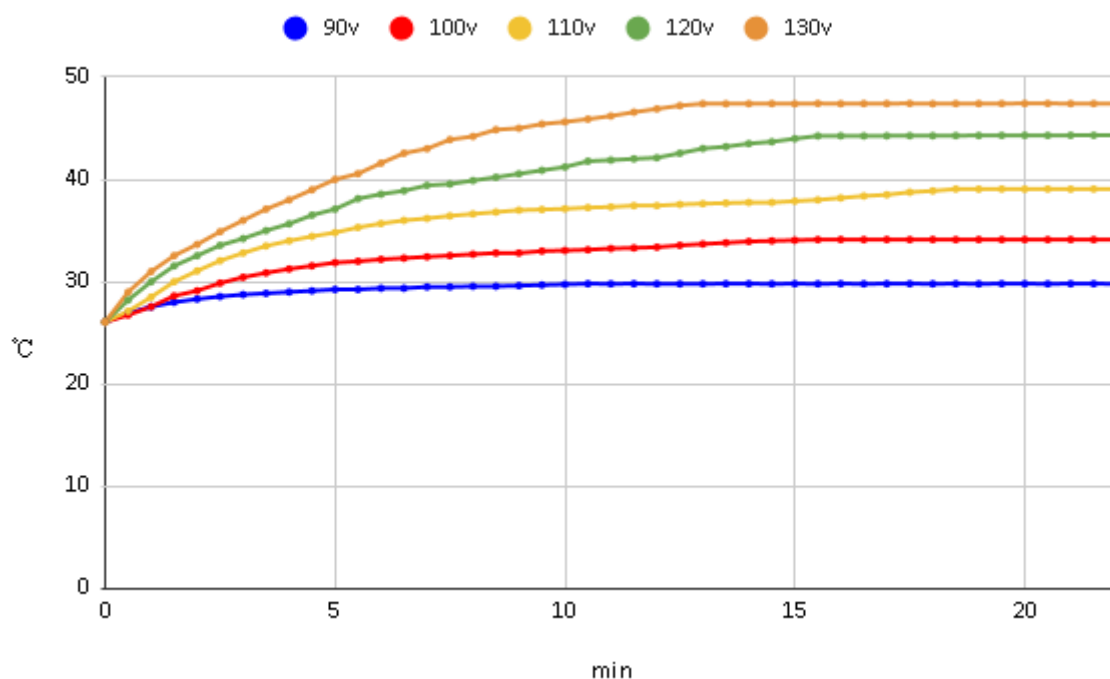


圖11 導電薄片加熱溫度曲線

四、電路系統製作

(一)溫度控制器的設計與製作

溫度控制原理如圖12所示，當溫度為 $r+a$ ，控制系統off，溫度為 $r-a$ ，控制系統on，如此循環運作。

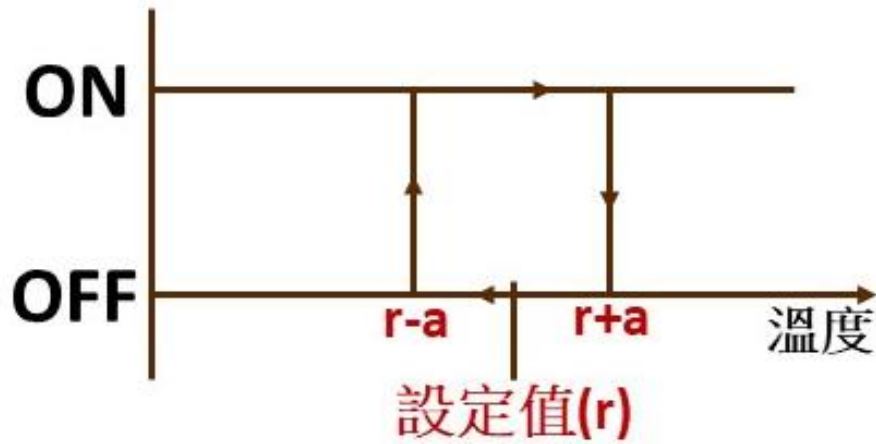


圖12 溫度控制原理

控制器系統運作原理如圖13所示，將設定值設定好並把誤差值當作一個指標，而誤差值為設定值減實際溫度，輸入控制器便會調節網子溫度，誤差值為正時通電升溫，誤差值為負時則斷電降溫。

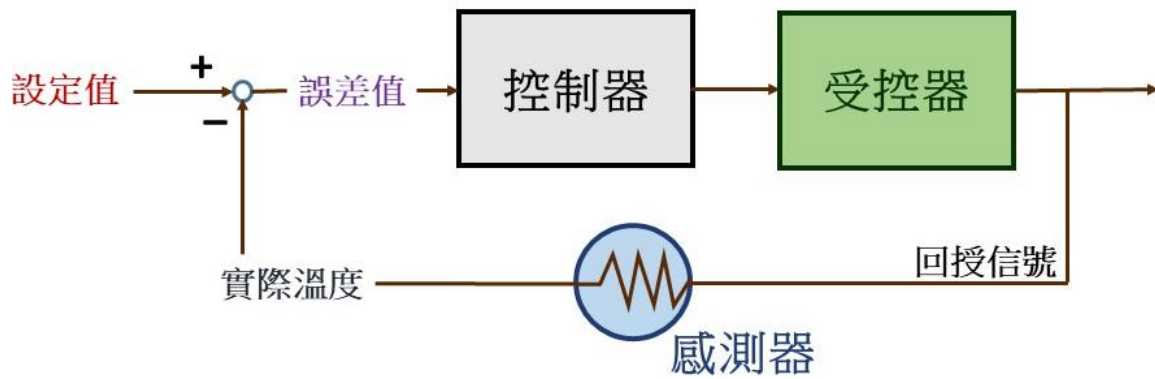


圖13 控制器系統運作原理

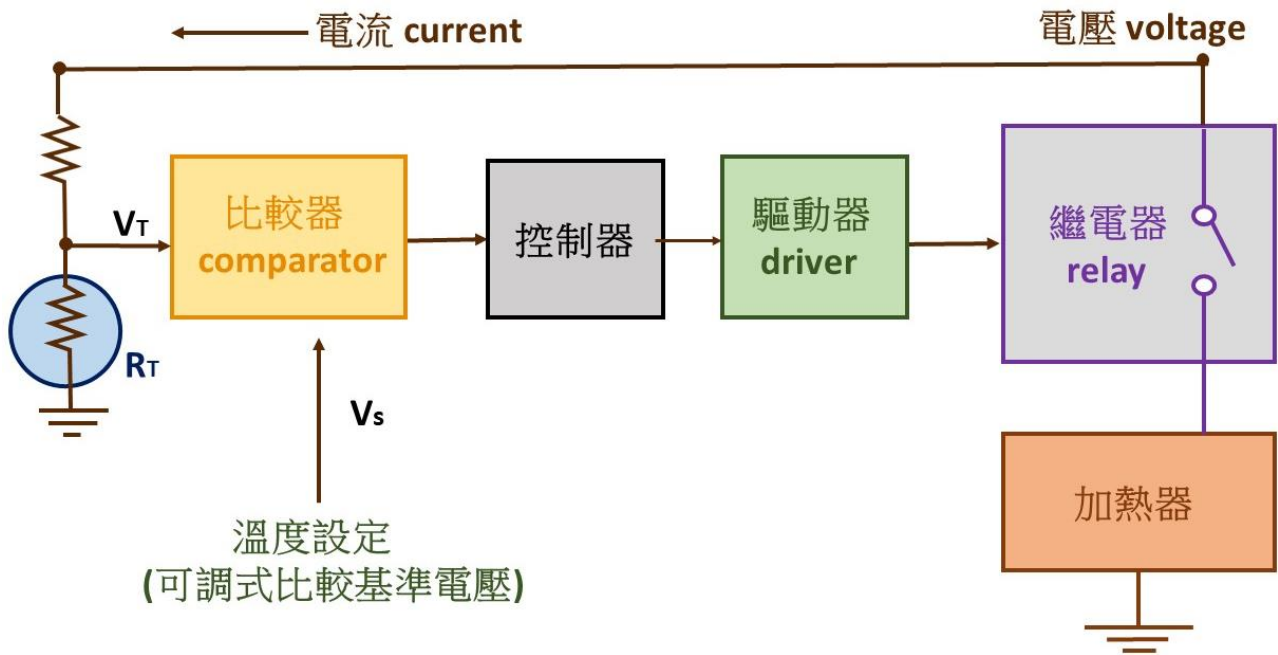


圖14 溫度控制系統方塊圖

我們設計出溫度控制系統的方塊圖如圖14所示。圖中 R_T 是熱敏電阻，我們用它做為溫度感測器。由於熱敏電阻的變化不是線性的，並須以電阻網路加以修正。再把正規化的電訊號輸入單晶片 ARDUINO，以C語言撰寫 ARDUINO 程式，做成比較器 (Comparator)，用個人電腦的整合環境寫好程式，設定控制溫度的閾值。再用USB介面，寫入 ARDUINO 內部的記憶體。當加熱軟片溫度過高，ARDUINO輸出電壓至雙接面電晶體 (BJT) 放大電流，以此構成的驅動器，能輸出較大的電流推動固態繼電器 (Relay) 斷電停止加熱。溫度下降 R_T 的電阻值變大，比較器輸出高電位，繼電器通電開始加熱。並且用不同顏色的LED顯示加熱狀況，讓使用者了解系統運作情形，並能排除故障。

(二) 熱敏電阻特性

熱敏電阻(Thermally Sensitive Resistance)為一種傳感器電阻，運用其對溫度的敏感性，透過電阻值的變化了解溫度變化。而我們用的熱敏電阻為負溫度特性，當溫度上升時，熱敏電阻之電阻值會隨之下降如圖 15 所示。

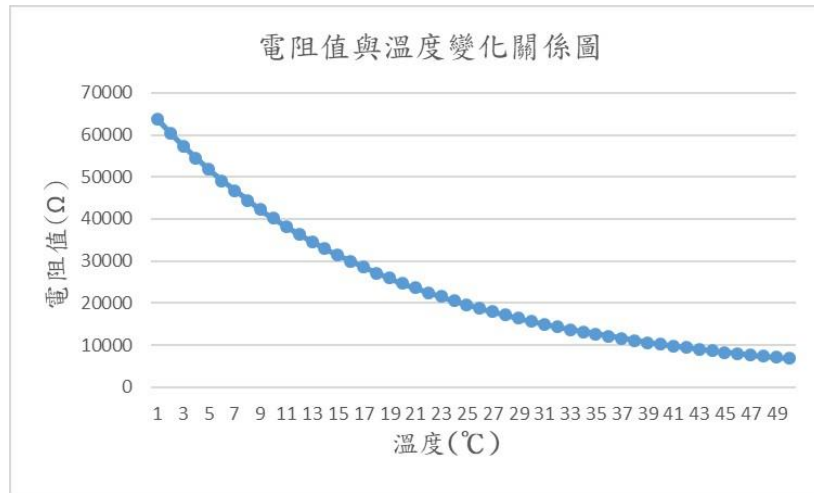


圖15 電阻值與溫度變化關係圖

(三) 溫度控制器的製作

為了研發溫度控制器，我們以電腦套裝軟體設計電路如圖16所示，原型機如圖17所示。

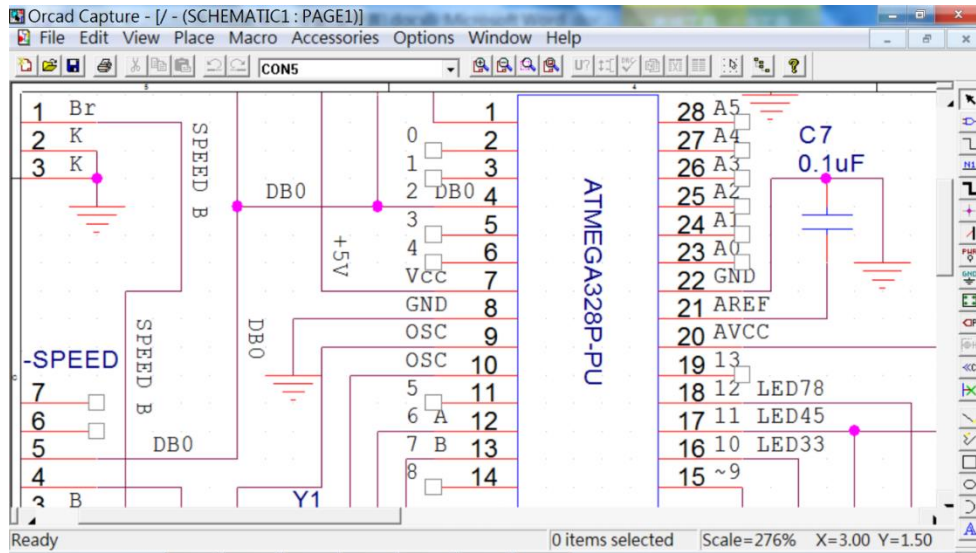


圖16 電腦套裝軟體設計電路

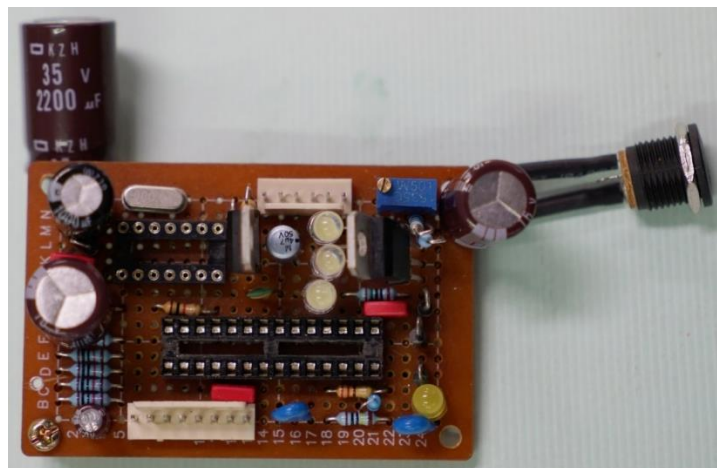


圖17 原型機

確定原型機能正常工作，再用電腦套裝軟體設計電路板如圖 18 所示，接著將設計好的檔案輸出至雕板機製作電路板如圖 19 所示。完成後焊接零件搭配加熱網運作，證實整個電路系統能夠順利運作，再請廠商製成印刷電路板如圖 20 所示。

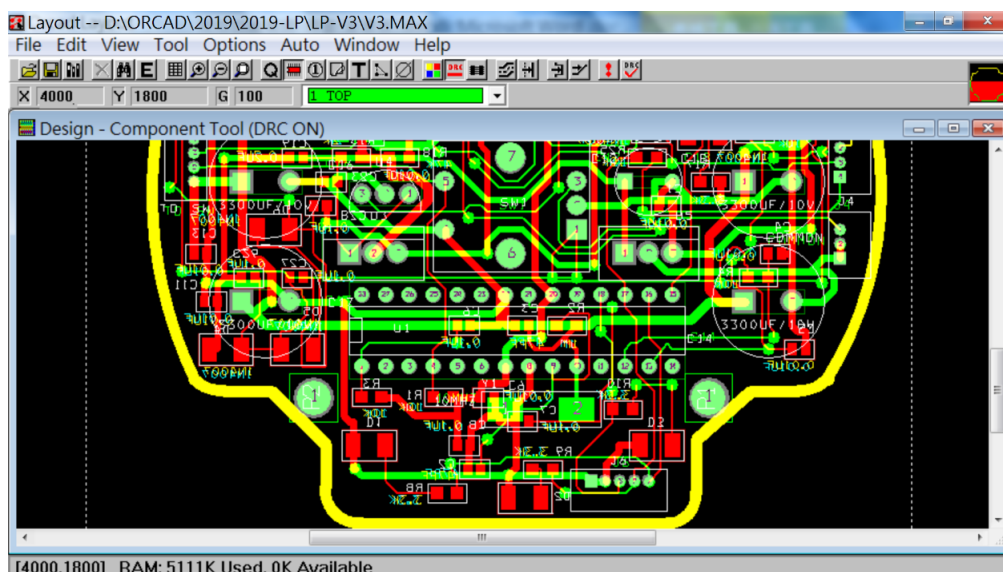


圖18 電腦套裝軟體設計電路板

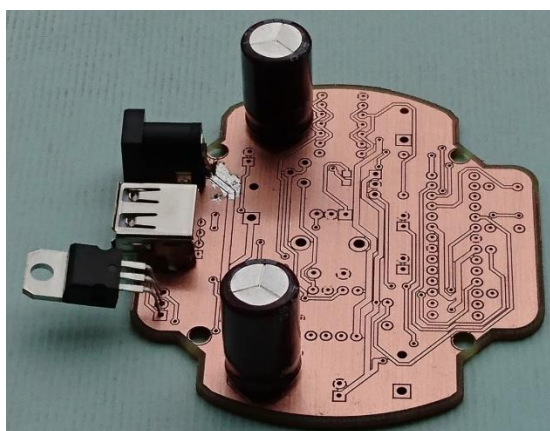


圖19 雕板機製作的溫度控制器電路板

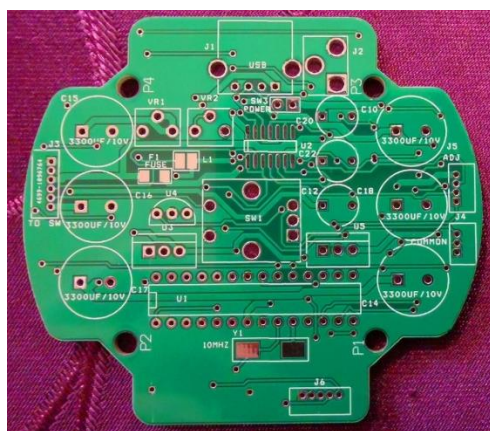


圖20 溫度控制器的印刷電路板

伍、研究結果

(一)系統組裝

本作品的系統結構圖如圖21所示，其中恆溫自動控制，用一顆單晶片積體電路ARDUINO，配合軟體控制。啟動電源後，ARDUINO便會讀取加熱網上感測器的電子訊號，進行分析，並轉換成數位訊號，以液晶顯示加熱網的實際溫度。當加熱網溫度到達設定值，立即驅動電晶體控制固態繼電器，停止供電至加熱軟片。並以LED燈號顯示；溫度低於設定值，則通電至加熱軟網。溫度自動控制器之電路板如圖22所示，其外觀如圖23所示。

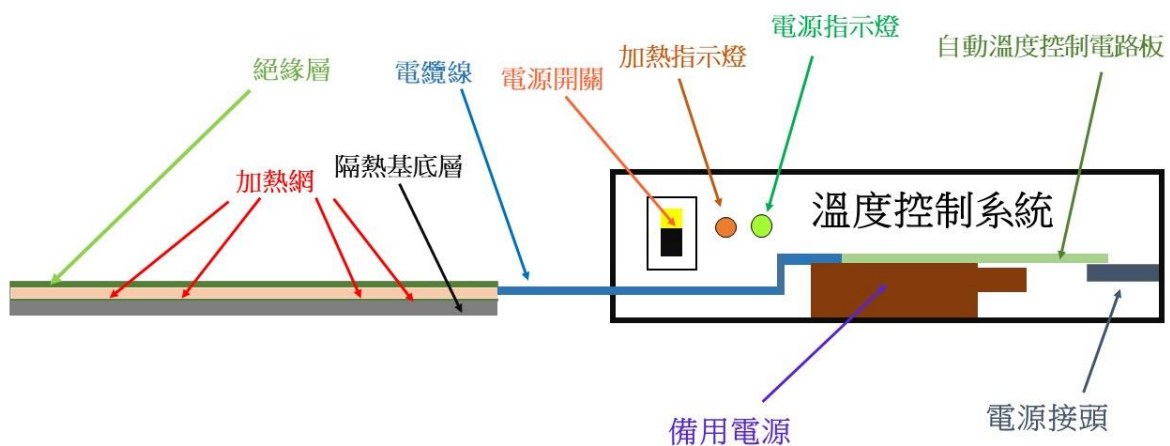


圖21 本發明系統結構圖

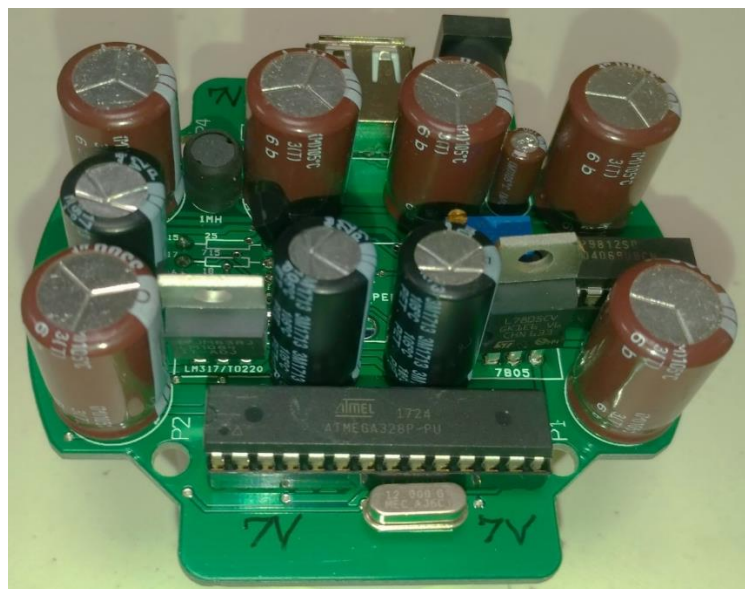


圖22 溫度控制系統電路板

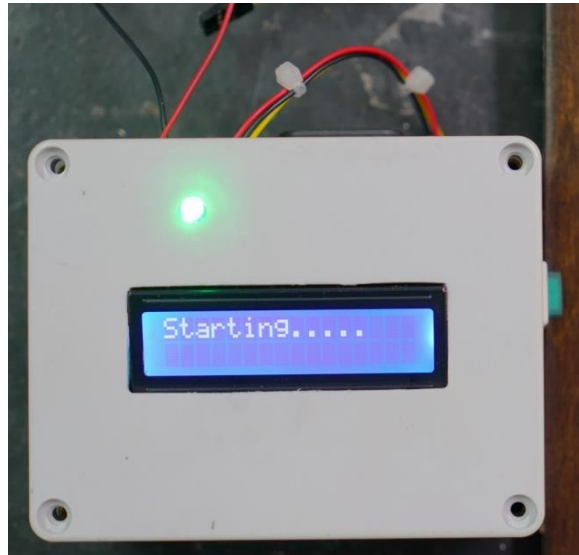


圖23 低功率溫度控制系統外觀

控制器的電路板用表面黏著技術的主動與被動零件，混搭傳統針腳零件。為了防止交流電源雜訊干擾溫度控制系統，我們用 $20000\ \mu\text{F}$ 的電容器濾波消除電源雜訊。

使用時，以按鈕連接系統，按下按鈕就能啟動系統或停止運作。此外，為了確保系統的安全性，我們用線徑比較粗的電線，以烙鐵焊接繼電器的開關接點如圖24所示，連接控制電源，再實際測試，彌補印刷電路板銅箔厚度不足的限制。

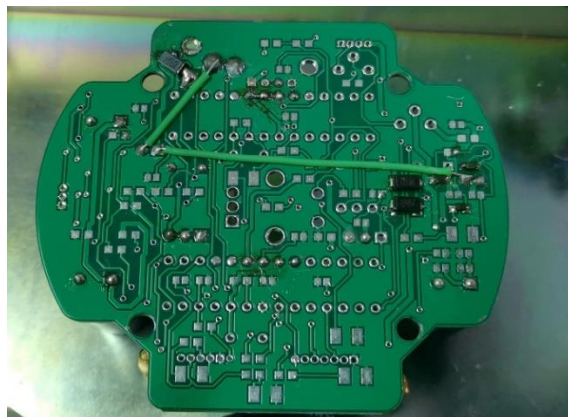


圖24 用較粗的電線焊接繼電器的開關接點

(二) 用電量測試

耗電量是整個裝置的重點，在完成整個系統後，通電測試增溫特性如圖25所示。再接上數位化的電子儀表，測試本作品的工作電流與消耗電功率如圖26所示。儀表顯示本作品使用9平方公尺的網子，全力運作時消耗的電功率為71瓦。



圖25 本系統增溫運作



圖26 本系統全力運作時的電功率

(三)不同電阻的電功率

本系統的電阻值能因應需求而增加或減少，導電聚合物塗越多，電阻越小，電功率也就越大如27所示，而我們系統目前電阻為 330Ω ，電功率大約為 $36.6W$ ，一個小時消耗約 0.0366 度電。

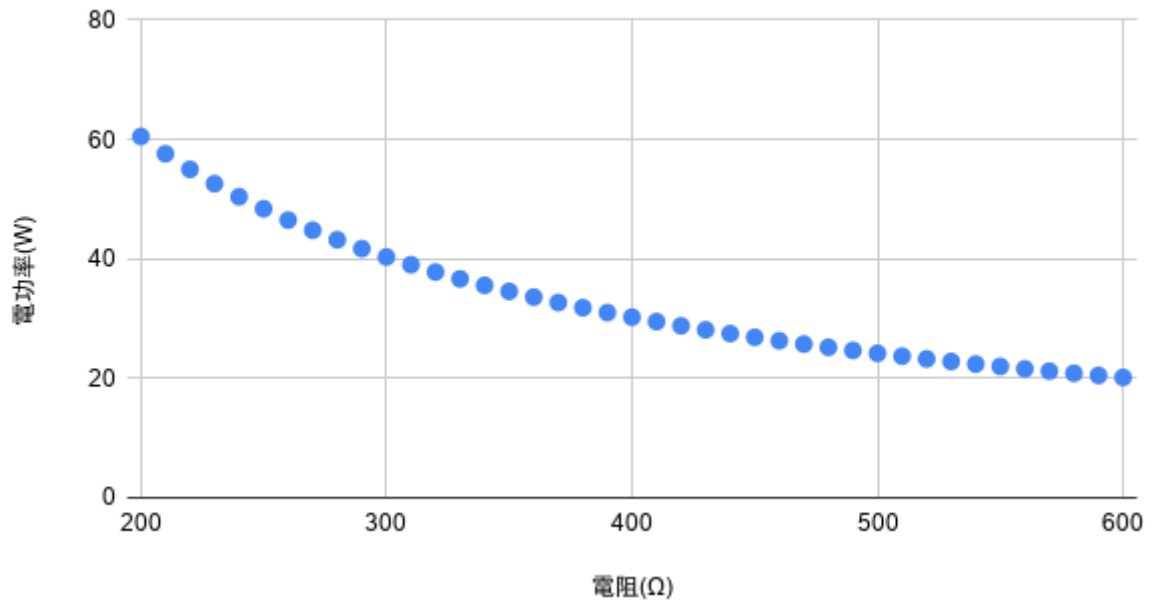


圖27 電阻與電功率的關係圖

(四) 遠端控制系統

1. 應用程式製作與設計

感測器是連接ESP8266的單晶片上面，單晶片裡的 CPU 本身有快閃記憶體可以儲存程式。使用python程式在電腦上完成撰寫，利用python的compiler(編輯器)把python的程式變成單晶片能夠懂的語言：0101的語法，就是機械語言。接下來，用USB傳到單晶片裡面的快閃記憶體存起來如圖28所示，單晶片會記憶溫度感測器的狀況以及連接控制開關。由網際網路連接到雲端，在雲端上有一個資料庫，記載我們的溫度狀況還有操作情形

用手機的Android軟體設計一個APP介面如圖29所示，有可控制加熱系統的開關並顯示當下的環境溫度，藉由手機APP呼叫雲端的資料庫顯示我們的環境溫度，進行控制以及對軟體下指令，開關可以讓我們控制單晶片的接角用高電壓或低電壓邏輯指示成1或0進而通電或斷電。

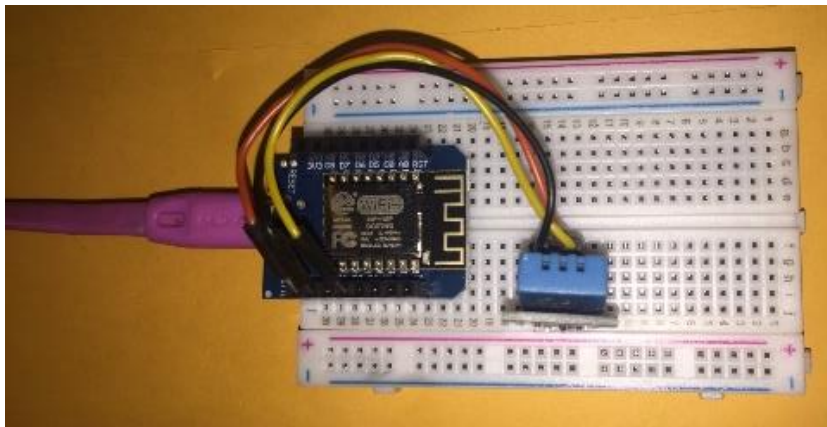


圖28 遠端控制器的麵包板



圖29 Android軟體介面(APP)



圖30 手機APP介面

2.系統結合與操作

我們進行智慧型手機遠端即時控制整個系統，首先將溫度感測器接到加熱裝置上面，藉由手機 APP 如圖 30 所示連接 WIFI 再用單晶片傳給基地台，所以手機在連接網路後可以看到整個系統環境的溫度狀況，在有網際網路的地方便能操作手機 APP，覺得溫度夠後可以用手機 APP 把加熱系統關掉，這樣能夠避免浪費能源、節能減碳，不用受到時間與空間的限制，配合當地環境溫度，達到遠端監控並隨時維持我們所需的溫度。

陸、討論

一、問題：為什麼是用石墨粉，而不是用銅粉呢？

討論：實驗結果顯示石墨的複合材料導電性比銅佳，所以我們推測石墨的未定域電子，能在大於共價鍵結距離發生共振移動，在相同濃度下石墨的電阻小於銅粉，結果顯示石墨的電子比銅粉的電子移動性更佳，可以移動更遠的距離並且導電。而金屬的自由電子會受到金屬原子核的束縛較不易移動。

二、問題：為什麼石墨粉和銅粉同時加入，導電性會降低？

討論：摻雜石墨以及銅粉的複合材料，其電阻值隨著溫度降低而減少，顯示此複合材料的導電性與金屬相同，為正溫度特性。此因複合材料因為溫度增加，原子的振動與轉動增加，共振的石墨價電子以及金屬自由電子通過變得較為困難，所以導電性隨之降低。

三、問題：為什麼不用和電熱毯一樣的裝置呢？

討論：電熱毯裡面為發熱銅線，銅線導熱性好，可快速加熱，但功率高，且農田並不像即熱性熱水器可保溫就算加熱快，熱量散失還是得持續加熱，那就不符合我們省電的目的了根據我們的測試及網上的資料得知，保溫網9平方公尺電功率為71瓦，而電熱毯1.8平方公尺電功率則為170瓦，因此電熱毯的裝置較耗電以及可能造成過熱的問題。

柒、結論

現在常常在新聞中看見許多農民或養殖漁業業者血本無歸，他們的心血在寒冬之下付諸東流，我們期望在耗電量較低的條件之下，利用我們的多功能保溫系統符合他們的需求，讓作物在寒流來襲之下或甚至在寒帶國家能發揮其作用，改變地理位置的限制。我們的系統：

一、達成研究目的

(一) 製作適合的導電聚合物

我們發現石墨粉比起銅粉更符合我們的需求，包括更省電以及導電較佳

(二) 製作在一定溫度範圍內，可自動偵測溫度的控制器

我們先設計出溫度控制系統的方塊圖，再以C語言撰寫ARDUINO程式，做成比較器(Comparator)，用電腦的整合環境寫好程式，設定控制溫度的閾值，利用熱敏電阻是負溫度特性，當加熱軟片溫度過高，則斷電停止加熱；溫度下降，則通電並開始加熱，並且用不同顏色的LED顯示加熱狀況，讓使用者了解系統運作情形，並能排除故障。而保溫網的溫度範圍為 $20^{\circ}\text{C}\sim 32^{\circ}\text{C}$ ，小於 20°C 則會自動加熱至 32°C 。

(三) 製作出耗電小的保溫系統

我們經由三用電表測出加熱網電阻值為 330Ω ，而電壓為 110V ，用歐姆定律 $V=IR$ 算出電流為 $1/3$ ，再用 $P=IV$ 算出電功率為 36.6W ，也就是用大約 27.3 小時才耗 1 度電

(四) 系統結合

結合我們自行製作出的導電聚合物結合自動控制器，完成多功能保溫系統

二、未來展望

現代社會對於環境保護更加重視，本裝置已經比電毯省電。如果使用太陽能發電融合電池運作，配合農田的大面積日照，能更節省能源。在APP方面，可以增加可調節溫度的功用。

捌、參考資料及其他

- [1] Ben G. Streetman, Sanjay Banerjee, Solid state electronic devices, **5/e**, Prentice Hall, 1999, p .58
- [2] Laidler & Meiser原著，郭冠麟、王榮英、陳寶祺合譯，物理化學，初版，臺北市，學富文化，p153，2006年
- [3]. Richard L. McCreery, Chem. Rev. 2008, 108, 2646 - 2687.
- [4] 曾國輝，化學，台北市，藝軒圖書出版社，2002年
- [5] 林敬二等編著，高中物質科學化學篇(下) ，臺北市，三民書局，2007年
- [6] 艾迪諾，Arduino全能微處理機實習，臺北市，全華圖書，2015年

【評語】 052319

本作品運用石墨添加聚矽氧聚合物製成導電薄膜，取代金屬降低成本，通電後電壓與電阻依據歐姆定律與焦耳定律產生熱能，製成輕薄且柔軟的加熱片網狀形式，可在一定的溫度範圍內自動偵測溫度，並進行保溫之控制，具創意性，未來可再深入分析可能應用之土壤或魚塭的加溫。

摘要

本系統運用石墨添加聚矽氧聚合物製成導電材料，再塗抹在網子上，製成可導電的網子。為了控制溫度，我們設計單晶片為核心的恆溫控制系統，此系統通電後能穩定地加熱，當溫度達到約 33°C~34°C 時，控制器會讓溫度維持在這個範圍內。我們還設計 APP 連接 WIFI 傳到基地臺，可以用手機看到整個系統的環境溫度狀況，藉由 APP 遠端遙控可以達成我們所想的節能目的，還能夠即時了解狀況，維持所需的溫度，讓溫度不會過高或過低。可以防止農作物失溫，增加農作物的存活率。

研究動機

寒流是常見的天然災害，當寒流爆發時，導致的低溫及強風造成農、漁、民生等災害，尤其乾冷的天氣，對農作物傷害更是巨大。目前農業已經使用多種防寒保溫措施，但對於溫度變化只能消極地防禦，用導熱係數較低的材料防止熱量散失，例如：溫室、塑膠薄膜、…等等，消極地硬撐過去，無法改變溫度的現況，使農作物仍處於低溫，僅透過防止熱量的散失，降低農作物死亡的機率。針對此問題，我們想在面對環境溫度變化時，除了被動措施，藉由創意發想與實作，取得主動應變能力，試圖改變農作物所處的環境溫度，進而進行本研究，希望能造福人群。

研究目的

- 一、製作適合的導電複合聚合物，並測試加溫數據。
- 二、製作出在一定溫度範圍內，可自動偵測溫度，控制加熱電源的裝置。
- 三、設計可遠端控制開關的APP。
- 四、結合保溫材料、自動控制器與手機APP做出完整保溫系統。

實驗結果

一、導電聚合物材料製作

為了增加聚矽氧聚合物的延展性，首先將聚矽氧聚合物加熱，再添加熱融膠加熱至 80°C，攪拌配製成高分子複合材料，加入少許乳化劑、增稠劑及凡尼斯後將此高分子複合材料加熱融化，添加高濃度極細導電微粒，灌入模型後取得實驗用軟片如圖1所示。最後將棉繩及導電複合材料如圖2所示混合，製作成我們的加熱網如圖3所示。



圖1 導電軟片



圖2 導電複合材料

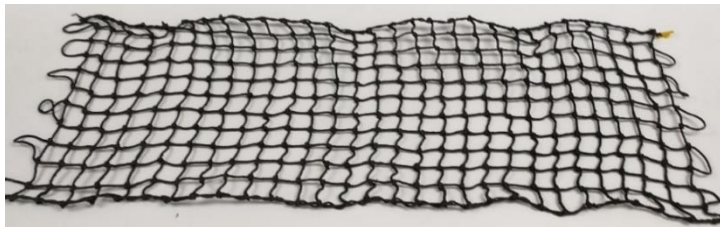


圖3 加熱網

(一)導電複合材料物理特性分析

為了確定材料中的物質微粒沒有發生化學變化，我們加熱聚矽氧聚合物使溫度達到 120°C 讓聚合物完全蒸發後，測石墨微粒重量無變化，所以石墨微粒是以物理吸附的方式分佈於聚合物中。

此外我們使用紅外線吸收光譜儀如圖4所示，分析本研究所採用的複合材料的成分，結果是純度非常高的聚矽氧聚合物。

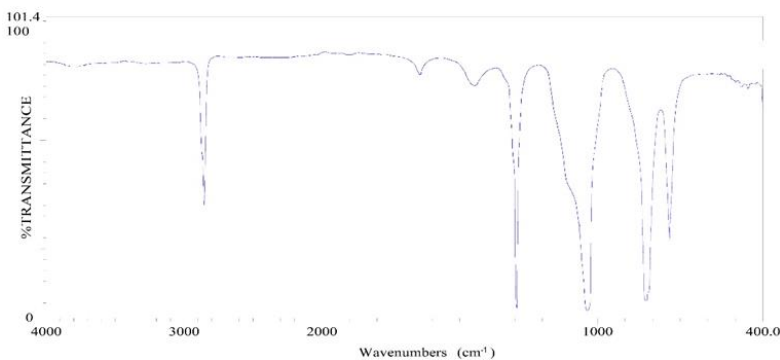


圖4 聚矽氧複合材料紅外線光譜分析

(二)導電複合材料添加其他導電微粒電阻特性

1. 導電微粒相同濃度電阻值

在 20°C 下測試電阻值差異結果顯示在相同濃度下的電阻值以石墨最小。

導電微粒	石墨	銅粉	鐵粉	鎂粉	鋁粉
電阻(歐姆)	1.5K	6.74K	652M	無法測出(電阻值過大)	

2. 不同濃度電阻值

我們使用石墨及銅粉做濃度測試如圖5、6所示，結果顯示濃度越低電阻值越高。石墨複合材料濃度小於 40M 時無法測出電阻值，是因為石墨微粒在聚合物中間距離會過大，故無法測出電阻值，而濃度大於 50M 時聚合物會劣化，降溫後會無法成型。

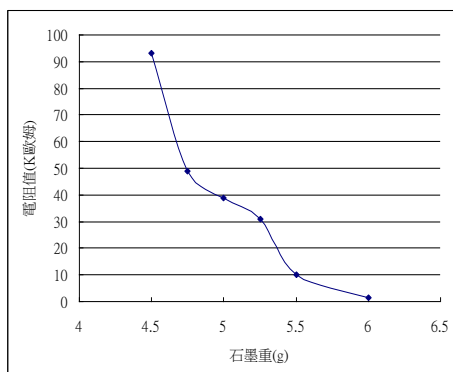


圖5 石墨不同濃度電阻

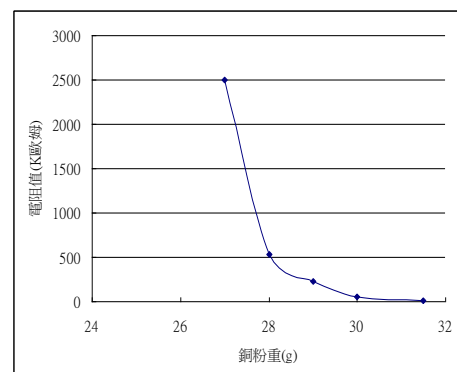


圖6 銅粉不同濃度電阻

3. 不同溫度石墨跟銅粉電阻值

實驗結果顯示石墨及銅粉電阻溫度特性如圖7、8所示，十分接近線性變化。由於銅粉電阻值過大，故石墨較適合研發成導電複合材料。

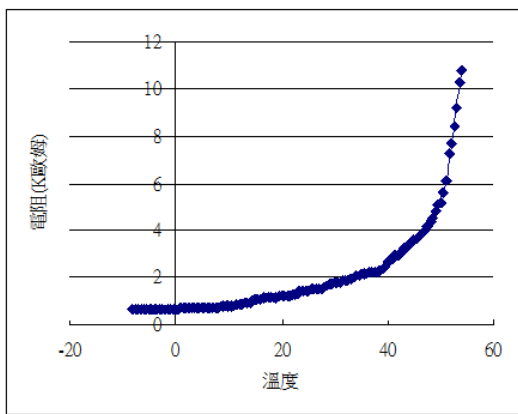


圖7 50M石墨加溫電阻值

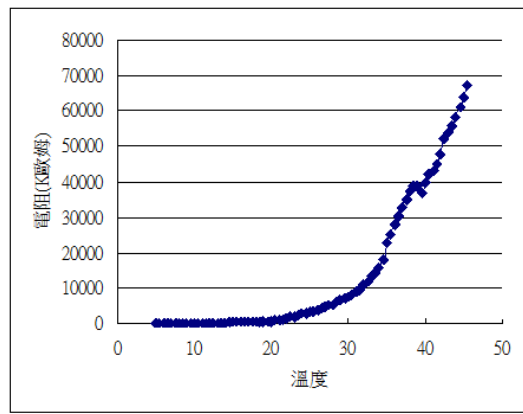


圖8 50M銅粉加溫電阻值

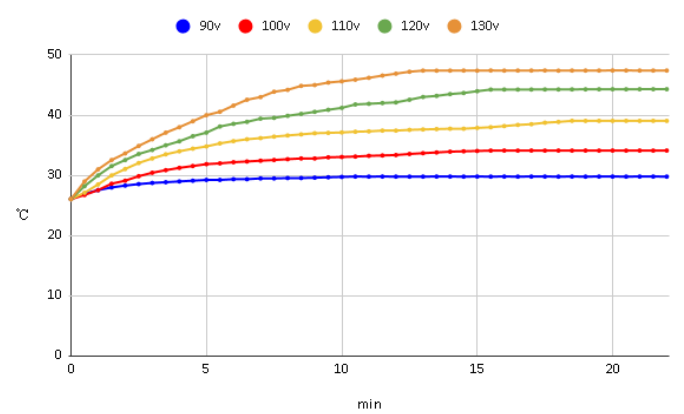


圖9 導電薄片加熱溫度曲線

4. 通電加熱溫度

通電約15鐘達最高溫度後，就幾乎維持定溫，如圖9。

5. 模擬農田實驗

我們模擬加熱網在農田裡的加熱情形如圖10所示，並測試距加熱網不同高度土壤的加熱數據如圖11所示，我們發現加熱距離可達上下2.5公分。

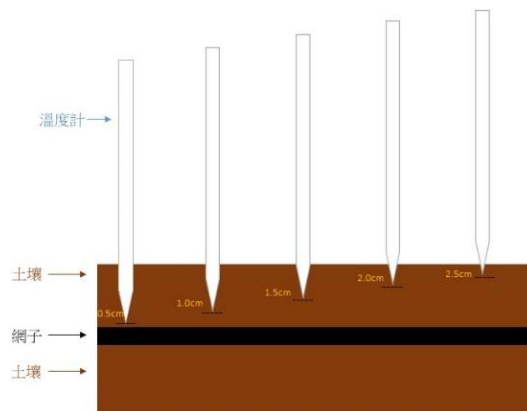


圖10 模擬農田實驗剖面圖

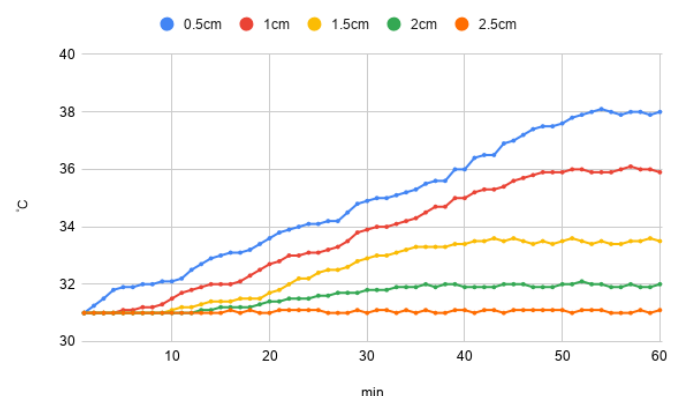


圖11 距網子不同高度土壤的溫度與時間關係圖

6. 模擬魚塭實驗

我們模擬加熱網在魚塭裡的加熱情形如圖12所示，將水裝在夾鏈袋裡模擬加熱網已塗上防水層，測試水的溫度與時間變化如圖13所示，並對照網子同時加熱的溫度與時間變化如圖14所示，我們發現水加熱24分鐘後，就達最高溫度40°C。



圖12 模擬魚塭加熱方式

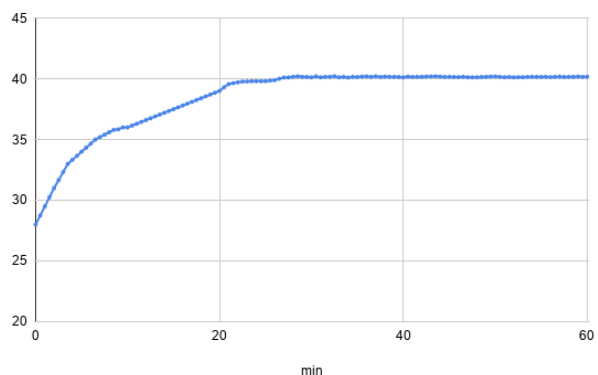


圖13 水的溫度與時間關係圖

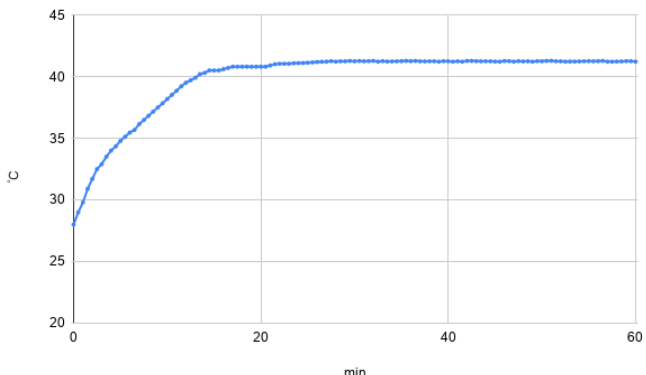


圖14 網子的溫度與時間關係圖

二、電路系統製作

(一) 溫度控制器

加熱網連接溫度控制器後，當溫度超過32°C控制器便會把溫度控制在34°C上下如圖15所示，如此便能達到恆溫的功用。溫度控制器電路板如圖16所示。

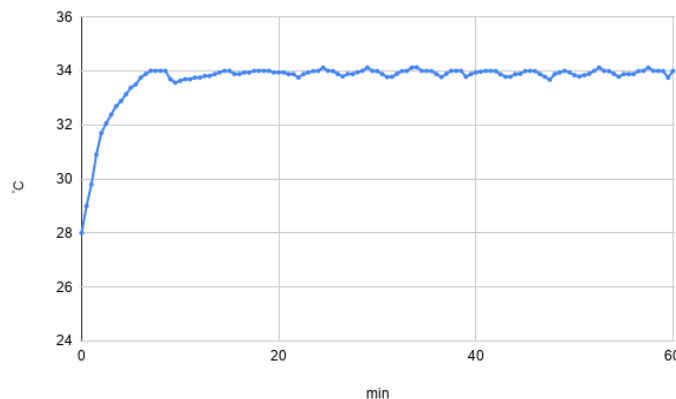


圖15 加熱網連接控制器後溫度與時間關係圖



圖16 溫度控制器電路板

(二) 熱敏電阻特性

熱敏電阻為一種傳感器電阻，運用其對溫度的敏感性，透過電阻值的變化了解溫度變化。而我們用的熱敏電阻為負溫度特性，當溫度上升時，熱敏電阻之電阻值會隨之下降如圖17所示。

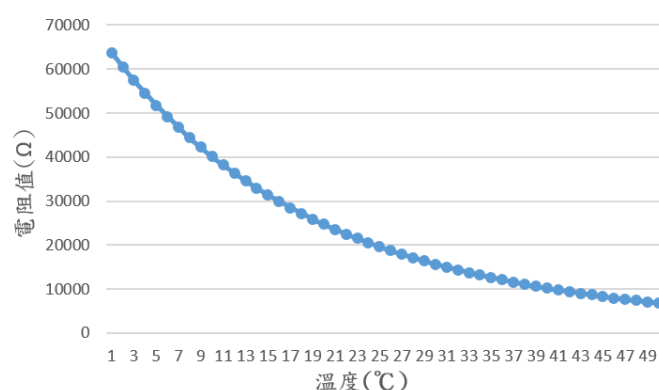


圖17 電阻值與溫度變化關係圖

(三) 遠端控制器

由於手機連接裝置需要WIFI功能，所以我們使用ESP8266的單晶片，有快閃記憶體可儲存程式，將單晶片裝在麵包板上做成遠端控制器如圖18所示，並藉由網際網路傳到APP並顯示在手機螢幕上，顯示當下溫度狀況。用Android軟體設計的手機APP如圖19所示，有可控制系統的開關和加熱網的實際溫度。

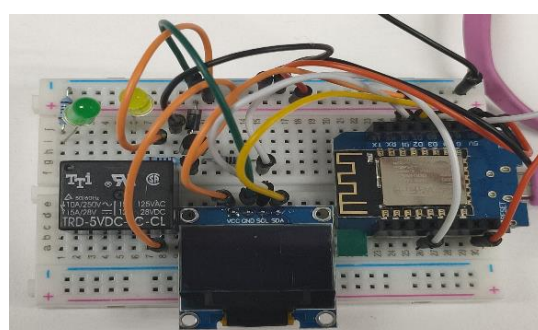


圖18 遠端控制器麵包板



圖19 手機的APP介面

三、系統結合

將製作好的加熱網如圖20所示、溫度控制器如圖21所示與遠端控制器如圖22所示結合在一起，便完成我們整個系統。

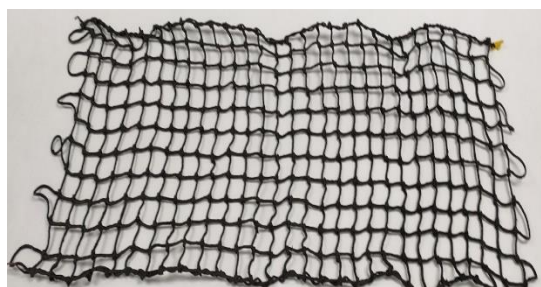


圖20 加熱網



圖21 溫度控制器



圖22 遠端控制器

(三)用電量測試

耗電量是整個裝置的重點，通電測試增溫特性如圖23所示。整體系統運作時的電流與電功率如圖24、圖25所示。



圖23 本系統增溫運作



圖24 本系統運作電功率



圖25 本系統運作電流

(二)不同電阻的電功率

本系統的電阻值能因應需求而增減，導電複合材料塗越多，電阻越小，電功率也就越大如圖26所示。

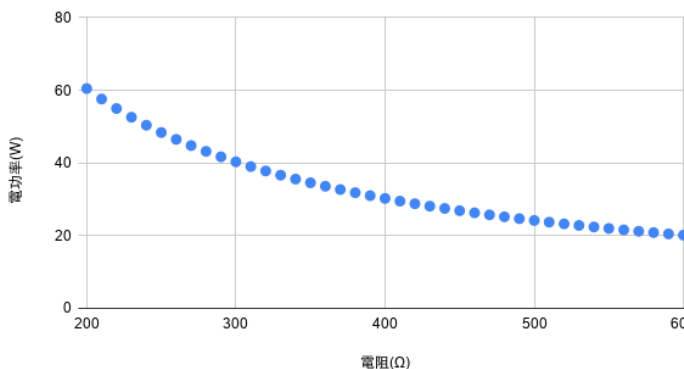


圖26 電阻與電功率的關係圖

結論

一、達成研究目的

(一) 製作適合的導電聚合物

我們發現石墨粉比起銅粉更符合我們的需求，包括更省電以及導電較佳。

(二) 製作在一定溫度範圍內，可自動偵測溫度的控制器

撰寫ARDUINO程式，做成比較器，並設定控制溫度的閾值，利用熱敏電阻是負溫度特性，當加熱網溫度達到33°C~34°C，讓網子維持在一定溫度範圍內；當溫度低於20°C時，網子會開始加熱，用不同顏色的LED顯示加熱狀況，讓使用者了解系統運作情形，能避免加熱系統故障。

(三) 設計可遠端控制開關的APP

手機遠端即時控制，將溫度感測器接到加熱裝置上，由手機APP連接WIFI再用單晶片傳給基地台，所以在連接網路後可看到系統環境的溫度狀況，覺得溫度夠後可以用手機APP把加熱系統關掉，這樣能夠避免浪費電且不用受到時間與空間的限制。

(四) 結合保溫材料、自動控制器與手機APP做出完整保溫系統

結合我們自行製作出的導電聚合物結合自動控制器，完成多功能保溫系統，並透過手機應用程式，得知環境溫度後，遠端遙控加熱系統的開關，這樣可以即時知道網子的加熱狀況，還能夠節能減碳。

二、系統功能

- 1.自動控制：熱敏電阻偵測網子的溫度連接到控制器，讓網子的溫度保持在一定溫度範圍內。
- 2.遠端遙控：藉由APP控制加熱系統的開關，讓農夫在寒流時可以不用出門也能夠確保農作物不被凍傷。
- 3.不需要安全機制：因為熱能會散失且損失和得到的熱能會達到平衡，所以溫度(40°C)幾乎維持不變。
- 4.省電：大約26.8小時才耗1度電，如果覺得溫度夠了還可以藉由APP關掉加熱系統，以節能減碳。
- 5.可調整溫度範圍：可依據農作物不同的需求而改變。
- 6.並聯系統：就算網子有一部分短路也不影響整體功能。
- 7.網子的大小可調整：網子的間距大小可因為不同的農作物作調整而不影響農作物生長。

三、未來展望

本系統還在實驗階段，希望在未來能夠大面積的使用在農田，並找到適合的防水層，讓網子在魚塭和下雨時能夠正常運作，還希望利用太陽能去發電，讓整個系統更省電。並測試環境濕度，分析濕度是否會影響加熱系統的功能並加以改善。另外希望以浸泡的方式，讓複合材料均勻塗抹在網子上。

參考資料

- [1] Ben G. Streetman, Sanjay Banerjee, Solid state electronic devices, 5/e, Prentice Hall, 1999, p. 58
- [2] Laidler & Meiser原著，郭冠麟、王榮英、陳寶祺合譯，物理化學，初版，臺北市，學富文化，p153，2006年
- [3] Richard L. McCreery, Chem. Rev. 2008, 108, 2646 - 2687.
- [4] 曾國輝，化學，台北市，藝軒圖書出版社，2002年
- [5] 林敬二等編著，高中物質科學化學篇(下)，臺北市，三民書局，2007年
- [6] 艾迪諾，Arduino全能微處理機實習，臺北市，全華圖書，2015年