

中華民國第 55 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高中組 生活與應用科學科

第一名

040813

神奇的太陽光熱分離之旅!

學校名稱：高雄市立高雄女子高級中學

作者： 高一 王育涵 高一 王子洋	指導老師： 林思宏 高瑞賢
-------------------------	---------------------

關鍵詞：空氣膠、熱轉電、聚光型太陽電池

得獎感言

神奇的太陽光熱分離之旅！

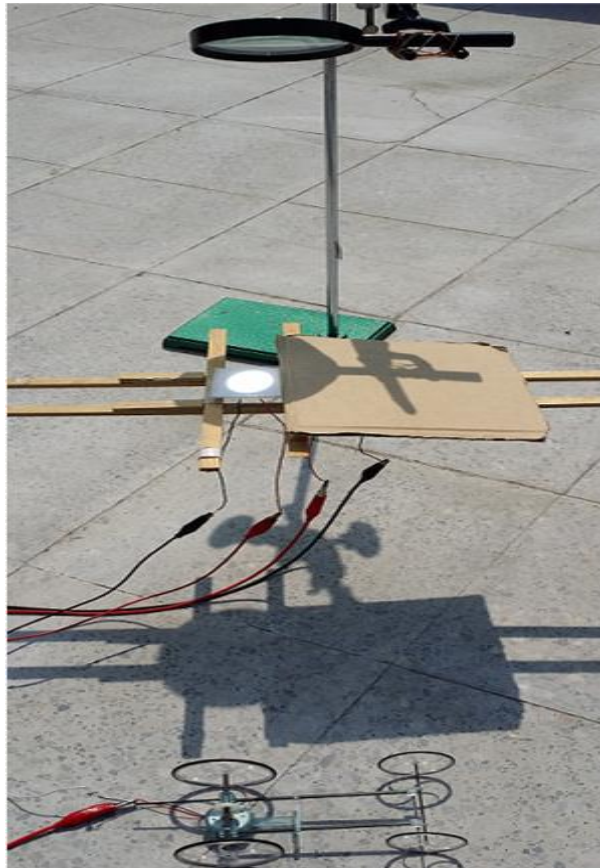
本作品經過我們二人的通力合作，全程約 10 個月的時間(103 年 9 月~104 年 7 月)，其過程可謂是歷經諸多挫折與辛苦。此作品包括：資料的搜集與閱讀、題目的擬定、材料的購置、實驗架構的設計、實驗步驟的安排、工作的分配、實驗的進度掌控與數據整理、實驗的結果與分析、應用例影片的實際拍攝、以及與指導老師的充分討論與經驗分享等，箇中的酸甜苦辣也著實讓我們學習到許多前所未有的體驗。本作品最重要的創意突破乃是我們創新地應用空氣膠的高透光與高隔熱特性，先讓聚焦的太陽能透過空氣膠玻璃進行光熱分離後，再分別將太陽光透過太陽電池模組作光轉電，以及讓太陽熱經由熱電晶片模組作熱轉電，成功地改變傳統利用太陽能源的方式，附圖 2 是本作品在室內以鹵素燈模擬太陽能的整體裝置實際照片圖。本作品將太陽能進行光與熱分離，不但可以讓聚光型太陽電池吸收較多的太陽光而提高其光電轉換效率，同時也可避免因吸收過多的太陽熱而導致溫度過高或散熱不良，進而可以增加其使用壽命，這是一般太陽電池所做不到的。此外，當看到太陽能透過我們所製作的空氣膠玻璃而光熱分離後，再分別經由光轉電與熱轉電而產生再生電能，進而可以被我們所設計的複合式微小電力儲能裝置滴水成涓般地儲能起來，進而在戶外實際應用在迷你玩具車等的驅動(見附圖 3)，心中真是感動不已！相信本作品絕對有助於減緩地球的溫室效應，我們也誠摯地希望未來能更進一步地研發出：“結合太陽光熱分離器的智慧節能窗”，其創新的意義是這種未來節能窗將『兼具光轉電、熱轉電、以及室內照明』的特色，它將和傳統節能窗只是把大部份的太陽熱阻擋在室外而讓地球必須承受更多的廢熱之作法迥然不同，且讓我們善盡地球公民一份子的責任吧！



本作品榮獲 2015 年中華民國第 55 屆中小學科展高中組生活與應用科學科第一名暨台灣 IBM 智慧科技創新獎的照片。



本作品在室內以鹵素燈模擬太陽能的整體裝置照片圖。



本作品在戶外實際驅動迷你玩具車等的應用例照片。

摘要

太陽能源的善用一直是全人類積極努力的目標。本作品創新地利用空氣膠研製出太陽光熱分離器，分離後的太陽光與太陽熱再分別透過太陽電池作光轉電，以及熱電晶片作熱轉電。經由完整的實驗得到：(1)室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能結合空氣膠玻璃(最淡濃度：1.25wt.%、最薄厚度：0.05mm)、太陽電池模組、與雙邊熱電晶片模組之最佳發電結構可產出 48.75mW 的複合式再生電能、(2)戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃、太陽電池模組、與單邊熱電晶片模組之最佳發電結構除了可產出 174.5mW 的複合式再生電能外，又可阻隔太陽熱約 12°C，有效協助太陽電池作散熱降溫。此外，本作品已成功地應用在日常生活中，包括實現：微小電力充電儲能、風扇轉動、以及玩具車與機器人行走等。

壹、研究動機：

從高一物理課本第七章有關能量的各種形式與轉換以及網路資訊搜尋，我們可以得知在眾多的能量種類當中，包括核能、化學能、動能、位能、電能及機械能等，就以電能最容易儲存及輸送，也可以輕易的產生各種功能，包括照明、傳播、保溫、運輸、與動作等。但不幸的是以任何其他能源轉換成電能往往都會遭遇到困難，而且會造成環境的污染。因應而起的是各種再生能源(如：太陽能、風能、生物質能、燃料電池、氫能、海洋能、地熱、以及聲能等)【文獻 1】廣泛地被提倡，而這其中又以太陽能源可謂是永不耗竭且無所不在的最佳綠色能源。

也誠如大家所熟知，目前要讓太陽能源轉換成電能一般都是透過太陽電池將太陽的可見光能轉換成電能；但太陽能源中另有一重要且不可見的熱能卻無法透過太陽電池將之轉換成電能，這正是一種能源的浪費。因此我們想：平常在學校老師都會教導我們如何節省能源的辦法以及做好各項資源的分類回收，那麼我們何不嘗試著先將太陽的光能與熱能作分離，再分別透過太陽光轉電以及太陽熱轉電技術轉換成可再利用的電能呢？這不就是可以充分善用太陽的能源了嗎？於是就展開了我們這次如何先將太陽能的光與熱分離後，再分別轉成電能的研究之旅。

貳、研究目的：

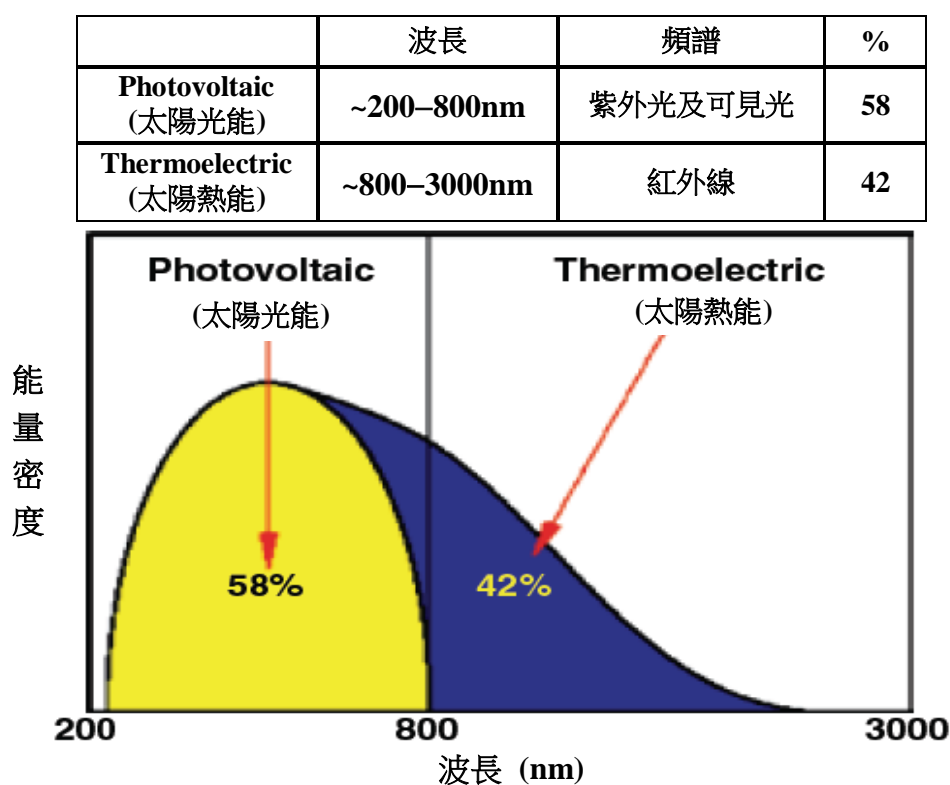
我們的研究目的主要有三個：

- (1)、研究如何利用空氣膠製作出頗具效益的太陽光熱分離器。
- (2)、讓分離後的太陽光與太陽熱分別透過太陽電池模組作光轉電，以及透過熱電晶片模組作熱轉電，除了可以更有創意地產出複合式再生能源外，又可協助聚光型太陽電池作散熱降溫，增加其光電轉換效率與使用壽命。
- (3)、將此一創新的太陽光熱分離器所產生的再生能源，搭配複合式微小電力儲能裝置的使用，實際應用在日常生活中並進行各項節能應用的展示包括：電池充電儲能、風扇轉動、以及玩具車與迷你機器人行走等，真正落實再生能源的善用以及科展推廣生活與應用科學的目的。

參、研究設備及器材：

一、文獻探討：

太陽能一直是我們地球所有人們想要利用的能源，而其中可見光與紫外光的部分大約占了 58%，紅外光部分則約占 42% [文獻 2](如圖一所示)，若能有效的利用太陽能那麼對現今能源短缺的問題將會有很大的幫助，這正是目前各先進國家急欲發展的焦點所在。此外，為了提高太陽能的轉換效率，通常多會採用聚光型太陽電池技術，但聚集太陽光的同時也會聚集太陽熱，而所聚集的太陽熱則會使太陽電池裝置溫度過高進而造成轉換效率變差。所以，為了有效地利用太陽能源，如何將太陽光與太陽熱先進行分離後，再分別吸收再利用，無疑地是一項極具前瞻與挑戰的課題。因此我們將使用一項嶄新技術作為我們將太陽能的光能與熱能分離的工具，此一嶄新技術乃是使用空氣膠(或稱氣凝膠、Aerogel) [文獻 3]，它是一種世界上密度最低的人造發泡物質，其內部 97% 為空氣，只有約 3% 的固體成份，因此擁有極低導熱係數而可將紅外線阻隔並只讓可見光穿透的特性，所以被稱為改變未來的十大科技之一，我們深信利用此一特性將可以製造出極具創意的太陽光熱分離裝置。表一所示是有關空氣膠之文獻資料蒐集與整理。



圖一、太陽能源中光能與熱能的比例。

表一、空氣膠之相關研究發展背景

年代	空氣膠發展事蹟	發明人	參考文獻
1931	加拿大太平洋大學學者契史特勒 (Steven S. Kistler) 使用溶膠－凝膠法，在催化劑的催化下，使矽酸鹽類經過水解縮合後製造出全球第一塊空氣膠。	Steven Samuel Kistler	[文獻3]
1970's	法國里昂第一大學Stanislaus Teichner教授在二氧化矽空氣膠製備中，使用四甲氧基矽烷(TMOS)取代矽酸鈉作為製備二氧化矽空氣膠之新方法。	Stanislaus Teichner	[文獻4]
1983	Arlon Hunt 跟他的微結構材料部門的伙伴在美國柏克萊大學實驗室發現更便宜的正矽酸乙酯(TEOS)，可用來取代有毒的四甲氧基矽烷(TMOS)而製備空氣膠。	Arlon Hunt and the Materials Group	[文獻4]
1985	特瓦利(Tewari)、韓特(Hunt)、及羅夫特斯(Lofftus)提出新的超臨界乾燥方式，使用超臨界二氧化碳進行空氣膠的萃取乾燥。	Tewari, Hunt, and Lofftus	[文獻5]
1999	美國NASA為星塵號的太空探測船製造出充滿空氣膠的手套來收集彗星的尾巴星塵。	NASA	[文獻6]
2001~ 2002	美國亞士朋空氣膠公司在2001年以獨特專利生產工法，首先研製成功具有柔軟彈性奈米級的超級空氣膠保溫纖維毯。隨即在2002年產出一種耐受性和柔韌性更強的空氣膠，它現在正被美國NASA用來製作太空服的隔熱保溫裏襯。	Aspen Aerogels	[文獻7]
2012	美國NASA研發出最新的空氣膠材料其強度比傳統二氧化矽空氣膠強韌500倍。	NASA	[文獻8]

至於本作品使用到熱電轉電及太陽熱發電之相關文獻資料的蒐集與整理如表二所示。

表二、熱電轉電及太陽熱發電之相關研究發展背景

年代	熱電轉電及太陽熱發電之發展事蹟	發明人	資料來源
1821	德國物理學家席貝克(T. J. Seebeck)發現當兩個不同材料所構成的迴路中兩接點的溫度不同時，會產生熱能轉電能的現象，稱為席貝克效應(Seebeck effect)。	Thomas Johann Seebeck	【文獻9】
1834	法國科學家帕爾帖(J. C. Peltier)發現兩種不同金屬所構成的迴路中，當有直流電通過時兩接點之間將產生溫差，稱為帕爾帖效應(Peltier effect)。	Jean-Charles Peltier	【文獻9】
1851	科學家湯姆森(L.K. Thomson)發現當單一導體或半導體在兩端有溫差及有電流通過時，會在此導體或半導體上產生吸放熱的現象，他進一步將Seebeck係數與Peltier係數之關係連結起來，建立熱電現象的理論基礎，稱之為湯姆森效應(Thomson effect)。	Lord Kelvin Thomson	【文獻9】
1955	美國SNAP(Systems for Nuclear Auxiliary Power)計劃，開發出以核能做為熱源的熱電發電器。	USA	【文獻10】
2004	報告有關太陽能熱能發電系統，乃是將太陽的熱能，經過拋物型、平面型或碟型集熱器，聚焦升溫，驅動發電設備而產生電力；是一種太陽熱能轉換為機械能，再產生電能之系統設備。	潘俊煌	【文獻11】

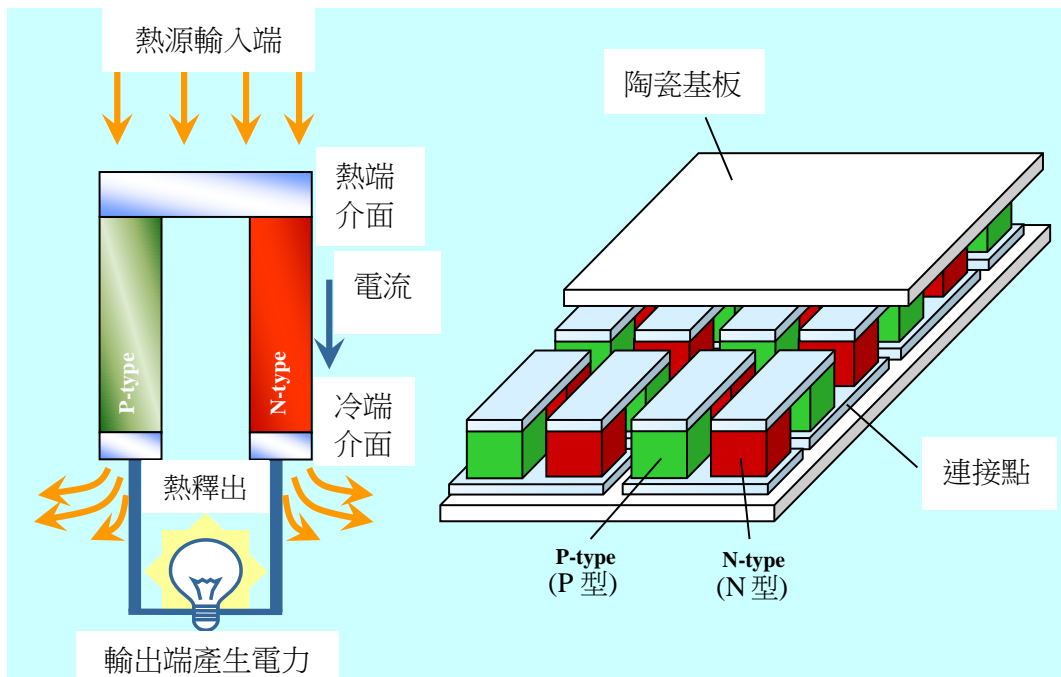
2007	美國猶他大學Orest Symko教授的研究團隊開發出的「熱-聲發電管」，主要是利用加熱使發電管內產生聲音駐波（ Standing Waves ），之後將熱能產生的聲響轉換成電能。	Orest Symko 教授	【文獻12】
2011	PS20 太陽能發電塔是一座西班牙太陽能商業發電廠，2011 年為止是全世界最大的聚光式高溫太陽能發電廠(CSP)，它的發電塔有 20MW 的發電力。能量來源全靠定日追蹤反射鏡反射的陽光熱能。PS20 反射區共有 1,255 面定日反射鏡，所有日光反射集中到 165 公尺高的發電塔接受器，將蒸氣加熱後送入渦輪機組。	Ciemat公司	【文獻13】
現在	經過跨世紀的研究與努力，熱電轉電以及太陽熱發電技術也正逐步走進人們的生活中。		

此外，由於太陽熱能所造成熱電晶片的冷熱端溫差通常不會很大也不會很穩定，導致靠太陽熱能轉電能所產生的再生電力就不會太大而很難被儲存；因此對於好不容易透過太陽熱能轉電能所產生的微小電力究竟要如何妥善儲能與應用，也是另外一項挑戰。在本作品中，我們將採用微小電力儲能充電裝置【文獻14】，利用它超低功耗及可收集各種微小能量的特性，來實現將太陽熱能轉電能所產生的微小電力作有效的儲能與應用。

至於在太陽光轉電方面，自從 1893 年法國物理學家 Alexandre Edmond Becquerel 觀察到光伏效應之後，科學家們對此一新的能源科技從此展開嶄新的研究領域，也因而發展出單晶矽、多晶矽、非晶矽以及各類有機無機半導體所製成的各種太陽電池[文獻 15]。

二、熱電轉電之原理探究：

熱電元件的構造，可以從基本的熱電偶機制來著手。基本的熱電偶是由 P 型與 N 型半導體所組成，再加上具電性隔離、熱傳導率高的基板形成一閉迴路系統。一個熱電偶包含有兩個熱單元，分別為 P 型和 N 型半導體，而若有多組 P 型和 N 型半導體相串聯，此時則稱為熱電堆，基本熱電晶片結構如圖二所示。



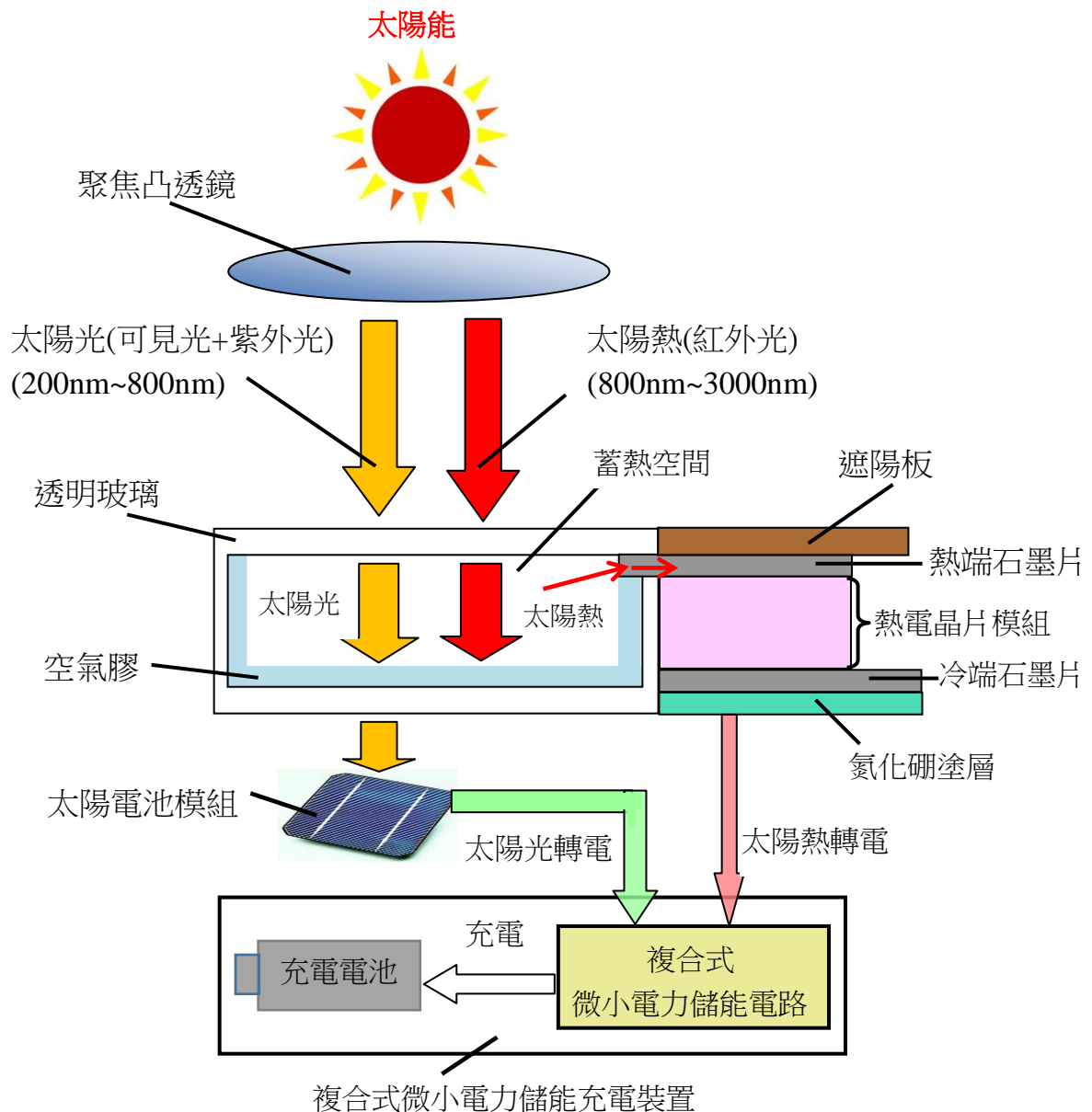
圖二、熱電晶片結構及作用示意圖。

熱電元件的工作原理可用單一組 P 型和 N 型材料上的現象來說明(如圖二)：因為 P 型半導體的多數載子為帶正電的電洞，N 型半導體的多數載子為帶負電的電子，其中半導體的載子會成為傳熱的媒介，且經由熱端(Hot junction)吸收熱能後使得載子向冷端(Cold junction)移動，致使載子因濃度分佈不均所造成電動勢而有電能的產生。所以在每個熱電單元上，若能在熱端接面的基板上給予熱量，而造成冷熱端兩側有溫度差，就會因為熱電的 Seebeck 效應【文獻 9】而產生電力，這就是熱電轉電的基本原理【文獻 16】。一般而言，冷熱端的溫度差越大其所產生熱電轉電的電能也就越大；因此如何設計並製作出能夠形成高冷熱端溫差的太陽熱轉電，也是本組首要積極努力的目標。

三、研究設備與實驗器材說明：

(一)、實驗裝置

本作品所設計太陽能經凸透鏡聚焦後，透過空氣膠所製作的太陽光熱分離裝置並結合太陽光轉電與太陽熱轉電模組以及複合式微小電力儲能充電裝置之實驗架構示意圖如圖三所示：



圖三：本組所設計太陽能經聚焦後，透過太陽光熱分離裝置結合光轉電與熱轉電模組以及複合式微小電力儲能充電裝置之實驗架構示意圖。

(二) 實驗器材說明：

1. 空氣膠：

由空氣膠粉末所製作的空氣膠玻璃可提供本作品將太陽能作光熱分離之用。

2. 透明玻璃：

除了可作為空氣膠玻璃的承載用之外，更可放置在空氣膠玻璃之上方，用來固定本裝置以及可以使太陽熱不會因為風吹而散逸。

3. 聚焦凸透鏡：

在戶外實驗時，須放置在空氣膠玻璃之上方適當距離處，用來讓太陽能匯聚成約 3 公分直徑的光圈，達到匯聚太陽光熱之用。

4. 熱電晶片模組：

提供本作品之太陽熱轉電模組用，本模組使用熱電晶片作為基本元件，熱電晶片的熱端貼有熱端石墨片，熱端石墨片上端再覆蓋遮陽板。熱電晶片的冷端貼有冷端石墨片，冷端石墨片下面則塗有氮化硼。

5. 熱端石墨片：

貼附在熱電晶片的熱端接面處，作為太陽熱之熱源進入熱電晶片的熱端所須熱傳導之用。

6. 冷端石墨片：

貼附在熱電晶片的冷端接面處，作為部份太陽熱之熱源進入熱電晶片後再到達冷端處所須快速熱傳導之用。

7. 氮化硼塗層：

用以協助降低熱電晶片冷端之溫度，使熱電晶片有更大的冷熱端溫度差，增加太陽熱轉電的發電電力。

8. 遮陽板：

本作品為了降低熱電晶片冷端的溫度而增加冷端石墨片的面積，但所增加的面積會超出熱電晶片的範圍，因此為了讓所增加冷端石墨片的面積

避免被太陽熱直射到，須加裝遮陽板用來擋住太陽熱的直射。

9. **太陽電池模組**：

太陽能經由空氣膠玻璃所分離出來的太陽光可透過本太陽電池模組進行光轉電而產生再生電能。

10. **複合式微小電力儲能充電裝置**：

其功能是将太陽光轉電與太陽熱轉電所產生微小電力作有效的儲能，該裝置包括有兩個單元即：(i)複合式微小電力儲能電路、與(ii)充電電池。

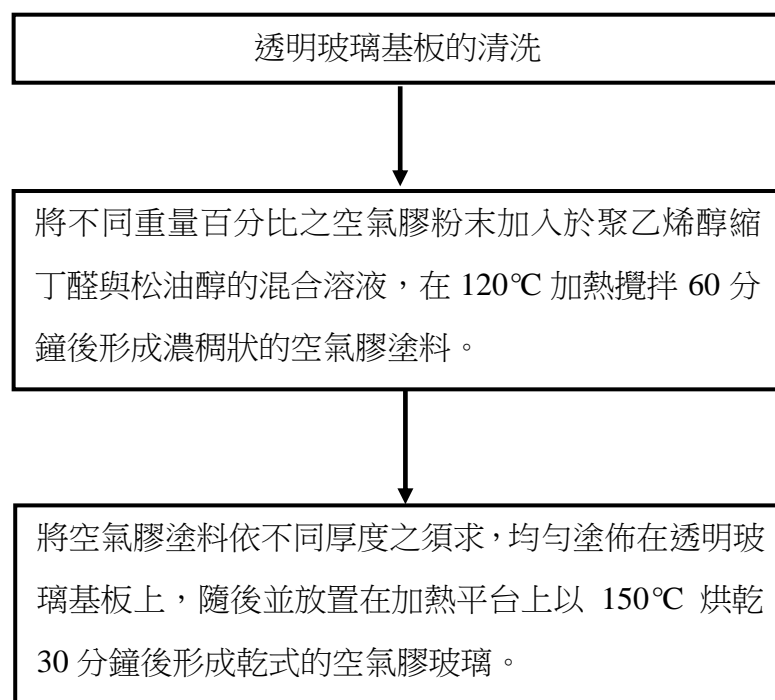
肆、研究過程或方法：

本作品的研究過程共分三個階段來進行，其詳細的實驗步驟規劃如下：

《階段一》：在室內完成以 150W 鹵素燈模擬太陽能進行結合空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構的設計與製作。

- **【實驗一】**：首先製作出不同濃度與不同厚度之空氣膠玻璃及其相關特性量測。

首先將空氣膠粉末(平均粒徑：20~40 μm)依不同重量百分比(實驗規劃的空氣膠濃度有：1.25%、2.5%、5.0%)加入於聚乙烯醇縮丁醛(PVB、作增塑劑用途)以及松油醇(Terpineol、作分散劑之溶劑用途)的混合溶液後，在 120°C 加熱攪拌 60 分鐘讓該空氣膠混合溶液形成均勻濃稠狀的空氣膠塗料。緊接著，使用載玻片作為刮刀，將空氣膠塗料依不同厚度之須求(實驗規劃的厚度有：0.05mm、0.1mm、0.4mm)均勻塗佈在清洗乾淨後的透明玻璃基板上(5cm×5cm)，隨後並放置在加熱平台上，以 150°C 烘乾 30 分鐘後形成乾式的空氣膠薄膜玻璃。**【實驗一】**的步驟流程如圖四所示。



圖四、**【實驗一】**的簡單步驟流程示意圖。

- **【實驗二】**：進行室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與**單邊**熱電晶片模組之發電量測試與特性分析。

將**【實驗一】**所製作不同濃度不同厚度之空氣膠玻璃，除了量測其空氣膠薄膜之均勻度特性外，更將所製作各種空氣膠玻璃搭配太陽電池模組、與**單邊**熱電晶片模組，在室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能，進行各項發電量測試與特性分析。

- **【實驗三】**：進行室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與**雙邊**熱電晶片模組之發電量測試與特性分析；並完成室內結合空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構設計與製作。

將**【實驗一】**所製作不同濃度不同厚度之空氣膠玻璃，除了量測其空氣膠薄膜之均勻度特性外，更將所製作各種空氣膠玻璃搭配太陽電池模組、與**雙邊**熱電晶片模組，在室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能，進行各項發電量測試與特性分析；同時從**【實驗二】**與**【實驗三】**找出室內結合空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構設計與製作。

《階段二》：將室內所完成結合空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構，進行最佳複合式微小電力儲能裝置之設計與製作並評估其儲能效益。

- **【實驗四】**：針對室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構裝置所產生的微小再生電能，設計並製作出所須最佳複合式微小電力儲能充電裝置並評估其儲能效益。

從**【實驗三】**已得到室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構裝置後，緊接著本組將進行最佳複合式微小電力儲能充電裝置的電路設計與製作並評估其儲能效益。

《階段三》：在戶外完成利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構的設計與製作，並將本作品實際應用在日常生活中。

- **【實驗五】**：進行戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構的量測與分析。

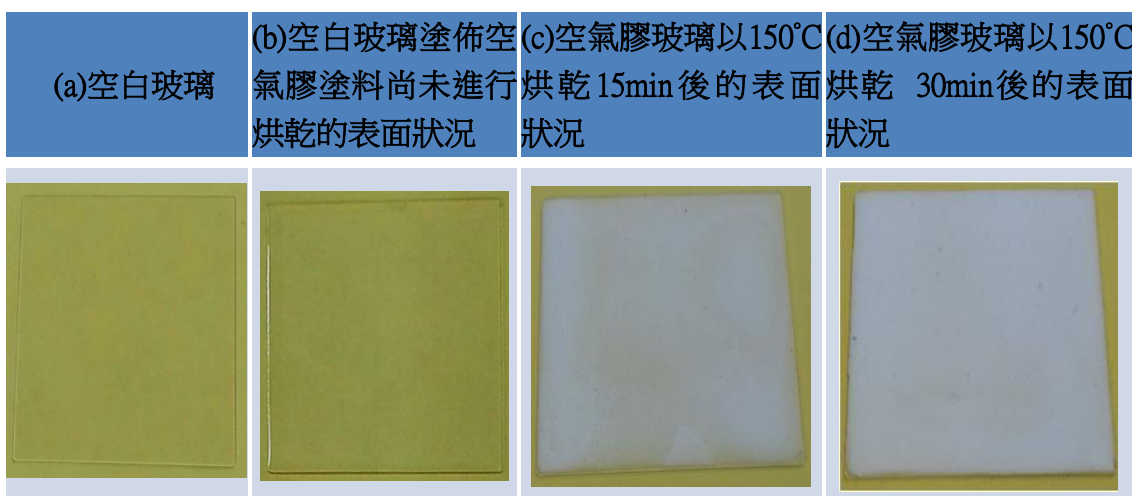
本組緊接著在戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃(最淡濃度：1.25wt.%、最薄厚度：0.05mm)、太陽光轉電模組，分別針對**單邊**與**雙邊**太陽熱轉電模組進行最佳發電結構的測試與分析。

- **【實驗六】**：將戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及**單邊**太陽熱轉電模組之最佳發電結構所產生的再生能源，實際應用在日常生活中並進行各項應用例展示，包括：讓小風扇轉動、讓玩具車行駛、以及讓機器人行走等，真正落實科展推廣生活與應用科學的目的。

伍、研究結果：

<結果一>、空氣膠玻璃的製作結果：

本作品所製作空氣膠玻璃所含空氣膠重量百分比濃度計有：1.25%、2.5%、5.0%等三種，而空氣膠薄膜的厚度也有：0.05mm、0.1mm、0.4mm 等三種。圖五所示是本組以空氣膠重量百分比濃度為 5.0%(濃度最濃)，空氣膠薄膜厚度為 0.4mm(厚度最厚)作示範例，展示其如何從空白玻璃、空白玻璃塗佈空氣膠塗料、以及空氣膠玻璃在不同烘乾時間的表面觀察情形。

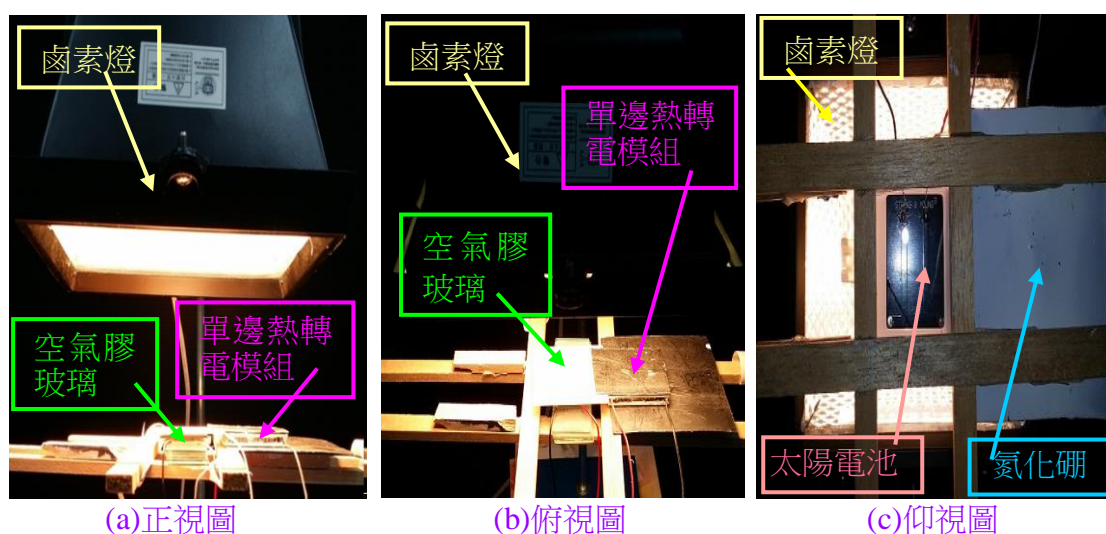


圖五、本組以空氣膠重量百分比濃度為 5.0%(濃度最濃)，空氣膠薄膜厚度為 0.4mm(厚度最厚)作示範例，展示如何從空白玻璃、空白玻璃塗佈空氣膠塗料、以及空氣膠玻璃在不同烘乾時間的表面觀察情形。

<結果二>、室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與單邊熱電晶片模組之發電量測試與特性分析之結果：

本組所建構室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與單邊熱電晶片模組之發電架構如圖六所示，而經由不同濃度與不同厚度之空氣膠玻璃所產生光轉電與熱轉電之再生電力量測及其相關特性分析，則如表三所示。由表三的實驗結果顯示在室內以 150W 鹵素燈模擬太陽光，其光線穿透空氣膠玻璃後的光轉電之電力會隨著空氣膠薄膜的濃度與厚度之遞減而增大；相反地，鹵素燈所模擬太陽熱透過空氣膠玻璃後的熱轉電之電力則是會隨著空氣膠薄膜的濃度與厚度之遞增而增大；但不管空氣膠薄膜的濃度與厚度為何，鹵素燈的

光與熱穿透空氣膠玻璃後之光轉電電力皆明顯大於熱轉電電力。此外，表三的量測結果也顯示當空氣膠薄膜的濃度最淡(1.25%)與厚度最薄(0.05mm)時，鹵素燈模擬太陽能有最大的光轉電電能(60.07mW=0.92V×65.3mA)與最小的熱轉電電能(0.94mW=0.15V×6.24mA)，此時透過太陽電池模組的光轉電串聯單邊熱電晶片模組的熱轉電所產生複合式再生電能也最大(42.29mW=1.07V×39.52mA)。相反地，當空氣膠薄膜的濃度最濃(5.0%)與厚度最厚(0.4mm)時，鹵素燈模擬太陽能則有最小的光轉電電能(31.28mW=0.75V×41.7mA)與最大的熱轉電電能(1.52mW=0.20V×7.58mA)，此時透過太陽電池模組的光轉電串聯單邊熱電晶片模組的熱轉電所產生複合式再生電能則為最小(20.02mW=0.95V×21.08mA)。為了要深入了解上述發電量測試結果的原因，本組同時就各種空氣膠薄膜的表面均勻度、空氣膠玻璃的光穿透率與熱阻隔度等相關特性作進一步的量測與分析，相關量測結果如表四所示。從表四的量測結果，本組推測當空氣膠薄膜的濃度最淡(1.25%)以及厚度最薄(0.05mm)時，空氣膠薄膜的表面比較會出現不均勻的現象，進而導致有較大的光穿透率(82.3%)與較小的熱阻隔度(12.1°C)。也因此，此時的光轉電電能(60.07mW=0.92V×65.3mA)除了比熱轉電電能(0.94mW=0.15V×6.24mA)大很多之外，其所建構光轉電串聯單邊熱電晶片模組的熱轉電所產生複合式再生電能也都明顯高過其他不同濃度與不同厚度之空氣膠玻璃的樣品所產生的光轉電、熱轉電、與複合式光轉電串聯熱轉電之再生電能。

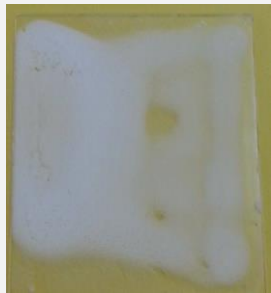










圖六、本作品所建構室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與單邊熱電晶片模組的發電結構之實際拍照圖。

表三、室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與單邊熱電晶片模組經由不同濃度與厚度之空氣膠玻璃所產生光轉電、熱轉電、以及光轉電串聯熱轉電(簡稱光熱串能)之複合式再生電能的量測結果。

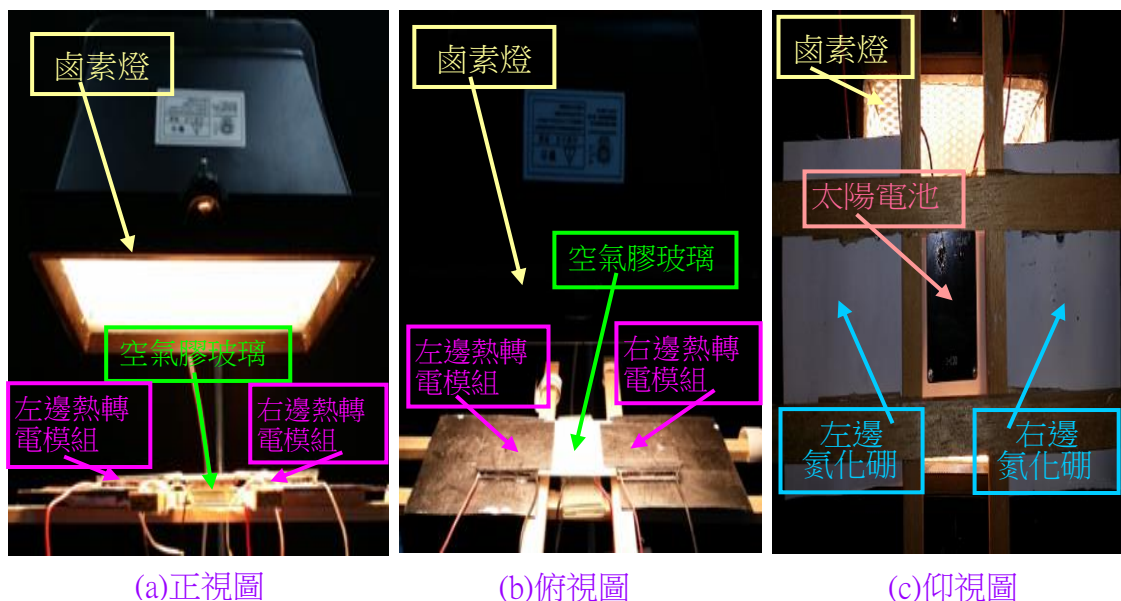
空氣膠 膜厚 (mm)	空氣膠 濃度 (wt.%)		1.25	2.5	5.0
	0.05	鹵素燈光轉電能:60.07mW (=0.92V×65.3mA) 鹵素燈熱轉電能:0.94mW (=0.15V×6.24mA) 鹵素燈光熱串能:42.29mW (=1.07V×39.52mA)	鹵素燈光轉電能:46.70mW (=0.84V×55.6mA) 鹵素燈熱轉電能:1.07mW (=0.16V×6.70mA) 鹵素燈光熱串能:31.38mW (=1.00V×31.38mA)	鹵素燈光轉電能:39.68mW (=0.80V×49.6mA) 鹵素燈熱轉電能:1.27mW (=0.18V×7.08mA) 鹵素燈光熱串能:27.02mW (=0.98V×27.58mA)	
0.1	鹵素燈光轉電能:52.10mW (=0.88V×59.2mA) 鹵素燈熱轉電能:1.03mW (=0.16V×6.48mA) 鹵素燈光熱串能:34.80mW (=1.04V×33.47mA)	鹵素燈光轉電能:44.52mW (=0.82V×54.3mA) 鹵素燈熱轉電能:1.15mW (=0.17V×6.78mA) 鹵素燈光熱串能:30.23mW (=0.99V×30.54mA)	鹵素燈光轉電能:34.24mW (=0.78V×43.9mA) 鹵素燈熱轉電能:1.37mW (=0.19V×7.25mA) 鹵素燈光熱串能:22.18mW (=0.97V×22.87mA)		
0.4	鹵素燈光轉電能:50.05mW (=0.86V×58.2mA) 鹵素燈熱轉電能:1.05mW (=0.16V×6.59mA) 鹵素燈光熱串能:33.34mW (=1.02V×32.69mA)	鹵素燈光轉電能:41.31mW (=0.81V×51.0mA) 鹵素燈熱轉電能:1.18mW (=0.17V×6.95mA) 鹵素燈光熱串能:27.90mW (=0.98V×28.47mA)	鹵素燈光轉電能:31.28mW (=0.75V×41.7mA) 鹵素燈熱轉電能:1.52mW (=0.20V×7.58mA) 鹵素燈光熱串能:20.02mW (=0.95V×21.08mA)		

表四、不同濃度與不同厚度之空氣膠玻璃的薄膜表面均勻度、光穿透率、與熱阻隔度的量測。【註 1：光穿透率(%)定義為在空氣膠玻璃之表面，透出光強度(L2)與入射光強度(L1)的比值，即 $L2/L1$ 】。【註 2：熱阻隔度(°C)定義為在空氣膠玻璃之表面，熱入射溫度(H1)與熱透出溫度(H2)的差值，即 $H1-H2$ 】。【註 3：本作品所使用空白玻璃的光穿透率約為 96.5%、熱阻隔度約為 2.1°C】。

空氣膠 膜厚 (mm)	空氣膠 濃度 (wt.%)		
	1.25	2.5	5.0
0.05	 光穿透率:82.3% 熱阻隔度:12.1°C	 光穿透率:73.2% 熱阻隔度:13.3°C	 光穿透率:64.7% 熱阻隔度:14.8°C
0.1	 光穿透率:77.1% 熱阻隔度:12.6°C	 光穿透率:70.1% 熱阻隔度:13.8°C	 光穿透率:59.5% 熱阻隔度:15.6°C
0.4	 光穿透率:74.4% 熱阻隔度:13.0°C	 光穿透率:66.3% 熱阻隔度:14.5°C	 光穿透率:57.3% 熱阻隔度:16.1°C

<結果三>、室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與雙邊熱電晶片模組之發電量測試與特性分析之結果：

為了產生更多的光轉電與熱轉電之再生電能，本組乃進一步建構出室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與雙邊熱電晶片模組之發電架構如圖七所示。而經由不同濃度與不同厚度之空氣膠玻璃所產生光轉電與熱轉電的再生電力之量測及其相關特性分析，則如表五所示。由表五的實驗結果顯示，在室內以鹵素燈模擬太陽能結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與雙邊熱電晶片模組，不論空氣膠玻璃的濃度與厚度為何，其所產生光轉電電能幾乎和表三所示結合單邊熱電晶片模組的所產生光轉電電能非常一致性地接近，明顯有差別的是表五所示結合雙邊熱電晶片模組所產生熱轉電電能(左邊熱轉電+右邊熱轉電)幾乎是表三所示結合單邊熱電晶片模組的所產生熱轉電電能的 2 倍。推測其原因乃是鹵素燈的光線透過空氣膠玻璃到達太陽電池模組所產生光轉電電能幾乎不受熱電晶片模組組數增倍的影響；相反地，鹵素燈所幅射的熱到達空氣膠薄膜表面約有 75°C，這樣的高溫可以提供足夠的熱給雙邊熱電晶片模組進行左邊及右邊的熱轉電，而不影響鹵素燈所幅射到達空氣膠薄膜表面有約 75°C 的穩定高熱。此外，表五的量測結果也顯示當空氣膠薄膜的濃度最淡(1.25%)與厚度最薄(0.05mm)時，其所建構光轉電串聯雙邊熱電晶片模組的熱轉電所產生複合式再生電能也都明顯高過其他不同濃度與不同厚度之空氣膠玻璃的樣品所產生的光轉電、熱轉電、與複合式光轉電串聯熱轉電之再生電能。因此，就《階段一》：在室內完成以 150W 鹵素燈模擬太陽能進行結合空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構的設計與製作而言，本組一致推薦當空氣膠薄膜的濃度最淡(1.25%)與厚度最薄(0.05mm)，而且是結合雙邊熱電晶片模組的架構乃為最佳的發電結構設計，因為此時其所建構光轉電串聯雙邊熱電晶片模組的熱轉電所產生複合式再生電能是最大的，達到 48.75mW(=1.22V×39.96mA)。



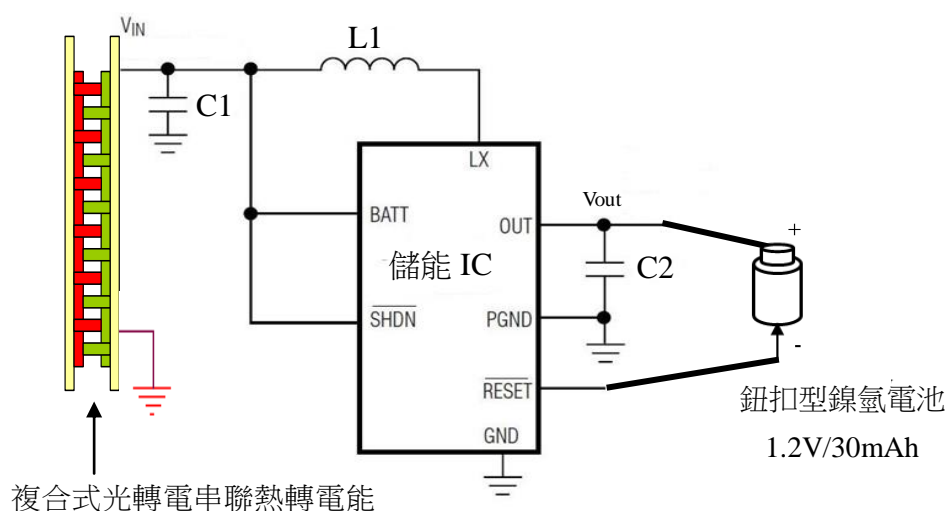
圖七、本作品所建構室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與雙邊熱電晶片模組的發電結構之實際拍照圖。

表五、室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與雙邊熱電晶片模組經由不同濃度與不同厚度之空氣膠玻璃所產生光轉電、熱轉電、以及複合式光轉電串聯熱轉電之再生電力的量測結果。

空氣膠濃度 (wt.%) 空氣膠膜厚 (mm)	1.25		2.5		5.0	
	0.05	鹵素燈光轉電能:59.80mW (=0.92V×65.0mA) 鹵素燈左邊熱轉電:0.92mW (=0.15V×6.19mA) 鹵素燈右邊熱轉電:0.94mW (=0.15V×6.24mA) 鹵素燈雙邊光熱串能: 48.75mW(=1.22V×39.96mA)	鹵素燈光轉電能:46.45mW (=0.84V×55.3mA) 鹵素燈左邊熱轉電:1.06mW (=0.16V×6.66mA) 鹵素燈右邊熱轉電:1.07mW (=0.16V×6.70mA) 鹵素燈雙邊光熱串能: 37.21mW(=1.16V×32.08mA)	鹵素燈光轉電能:38.79mW (=0.79V×49.1mA) 鹵素燈左邊熱轉電:1.19mW (=0.17V×7.01mA) 鹵素燈右邊熱轉電:1.27mW (=0.18V×7.08mA) 鹵素燈雙邊光熱串能: 31.86mW(=1.14V×27.95mA)		
0.1	鹵素燈光轉電能:51.83mW (=0.88V×58.9mA) 鹵素燈左邊熱轉電:0.96mW (=0.15V×6.41mA) 鹵素燈右邊熱轉電:1.03mW (=0.16V×6.48mA) 鹵素燈雙邊光熱串能: 40.90mw(=1.19V×34.37mA)	鹵素燈光轉電能:44.28mW (=0.82V×54.0mA) 鹵素燈左邊熱轉電:1.08mW (=0.16V×6.74mA) 鹵素燈右邊熱轉電:1.15mW (=0.17V×6.78mA) 鹵素燈雙邊光熱串能: 35.70mW(=1.15V×31.05mA)	鹵素燈光轉電能:33.50mW (=0.77V×43.5mA) 鹵素燈左邊熱轉電:1.28mW (=0.18V×7.13mA) 鹵素燈右邊熱轉電:1.37mW (=0.19V×7.25mA) 鹵素燈雙邊光熱串能: 26.24mW(=1.14V×23.02mA)			
0.4	鹵素燈光轉電能:49.79mW (=0.86V×57.9mA) 鹵素燈左邊熱轉電:1.04mW (=0.16V×6.53mA) 鹵素燈右邊熱轉電:1.05mW (=0.16V×6.59mA) 鹵素燈雙邊光熱串能: 39.34mW(=1.18V×33.34mA)	鹵素燈光轉電能:40.98mW (=0.81V×50.6mA) 鹵素燈左邊熱轉電:1.16mW (=0.17V×6.84mA) 鹵素燈右邊熱轉電:1.18mW (=0.17V×6.95mA) 鹵素燈雙邊光熱串能: 33.08mW(=1.15V×28.77mA)	鹵素燈光轉電能:30.49mW (=0.74V×41.2mA) 鹵素燈左邊熱轉電:1.36mW (=0.19V×7.18mA) 鹵素燈右邊熱轉電:1.52mW (=0.20V×7.58mA) 鹵素燈雙邊光熱串能: 24.12mW(=1.13V×21.35mA)			

<結果四>、針對室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能之結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、與雙邊熱電晶片模組之最佳發電結構，設計並製作出最佳複合式微小電力儲能充電裝置並評估其儲能效益之測試結果：

由於一般市售充電電池的最小電壓規格是 1.2V，因此任何電力要對 1.2V 的空電池直接充電的話，其充電電壓至少須大於 1.2V 以上才行。雖然本組在《階段一》有得到在室內以 150W 鹵素燈模擬太陽能結合空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及雙邊熱電晶片模組的最佳發電結構設計，而且當空氣膠薄膜的濃度最淡(1.25%)與厚度最薄(0.05mm)時，其所建構光轉電串聯雙邊熱電晶片模組所產生最大的複合式再生電能為 48.75mW(=1.22V×39.96mA)，其電壓 1.22V 雖然勉強可以直接對規格 1.2V 的空電池充電；但就表五中其它空氣膠薄膜的濃度不是最淡或厚度不是最薄的樣品時，則研發出一款充電電壓小於 1.2V 也能適用的微小電力儲能充電裝置無疑是必要的。圖八是本組所設計最佳複合式微小電力儲能充電裝置的電路示意圖，其中充電電池是使用鈕扣型鎳氫電池(1.2V/30mAh)，儲能 IC 是使用 MAX1947，它可將任何輸入的充電電壓介於 0.9V~1.2V 的微小電力轉換成為 2.53V 的輸出電壓；而儲能電路中 C1 電容、C2 電容、及 L1 電感之最佳值取得，是本組成員依據表六(A)→表六(B)→表六(C)的實驗順序並從測試結果作判斷，最後證實 C1 最佳值為 2.2μF、C2 最佳值為 10μF、及 L1 最佳值為 22μH。圖九是所完成最佳複合式微小電力儲能充電裝置的實際照片圖。圖十(a)及圖十(b)分別是表五中當空氣膠薄膜的濃度最淡(1.25%)與厚度最薄(0.05mm)時的最佳發電結構，直接充電以及透過最佳微小電力儲能充電裝置充電的實際照片圖。



圖八、本組所設計微小電力儲能充電裝置的電路設計示意圖。

表六(A)、先固定廠商所提供 C1 為 2.2 μ F、C2 為 10 μ F，找出 L1 最佳值為 22 μ H。

L1 電感 (μ H)	輸出電壓 (V)	輸出電流 (mA)	輸出功率 (mW)	實驗過程說明
2	2.53	1.92	4.86	(1)先固定廠商所提供 C1 為 2.2 μ F、C2 為 10 μ F； (2)其次，改變 L1 值從 2 μ H~34 μ H 作變化，找出有最大輸出功率的條件； (3)確認 L1 的最佳值為 22 μ H。
4.7 (原始廠商所提供)	2.53	2.18	5.52	
10	2.53	3.18	8.04	
22	2.53	8.02	20.29	
34	2.53	4.68	11.84	



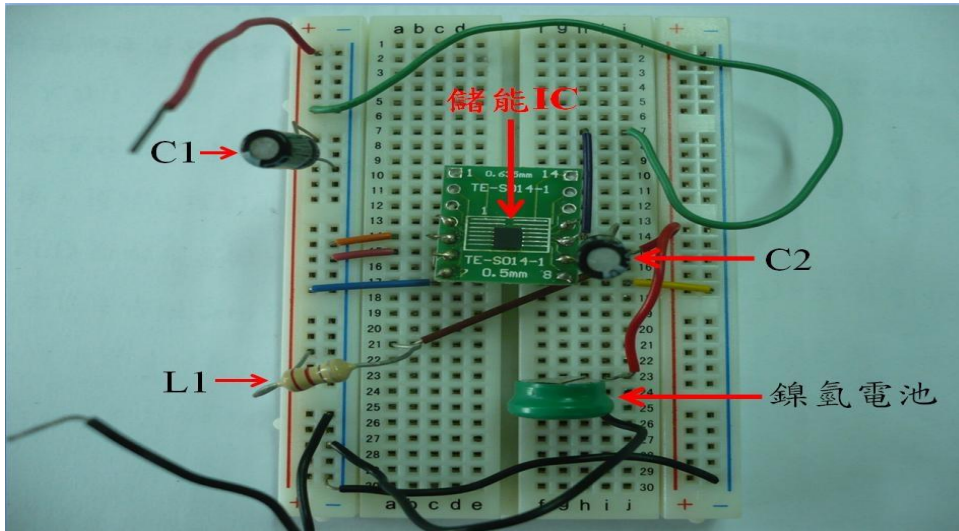
表六(B)、其次固定 C1 為 2.2 μ F、L1 為 22 μ H，找出 C2 最佳值為 10 μ F。

C2 電容 (μ F)	輸出電壓 (V)	輸出電流 (mA)	輸出功率 (mW)	實驗過程說明
2	2.53	7.24	18.32	(1)先固定廠商所提供 C1 為 2.2 μ F、L1 已得之最佳值 22 μ H； (2)其次，改變 C2 值從 2 μ F~44 μ F 作變化，找出有最大輸出功率的條件； (3)確認 C2 的最佳值為 10 μ F。
4.7	2.53	7.31	18.49	
10 (原始廠商所提供)	2.53	8.02	20.29	
22	2.53	7.20	18.21	
44	2.53	7.06	17.86	

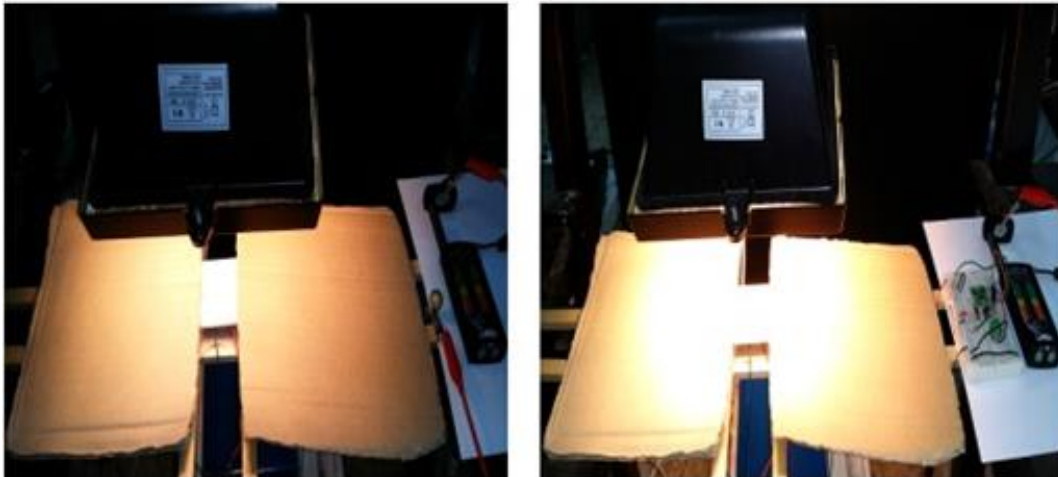


表六(C)、最後固定最佳值 L1 為 22 μ H、C2 為 10 μ F，找出 C1 最佳值為 2.2 μ F。

C1 電容 (μ F)	輸出電壓 (V)	輸出電流 (mA)	輸出功率 (mW)	實驗過程說明
1	2.53	2.98	7.54	(1)先固定已得之 C2 的最佳值為 10 μ F、L1 的最佳值為 22 μ H； (2)其次，改變 C1 值從 1 μ F~9.4 μ F 作變化，找出有最大輸出功率的條件； (3)確認 C1 的最佳值為 2.2 μ F。
2.2 (原始廠商所提供)	2.53	8.02	20.29	
4.7	2.53	7.36	18.62	
9.4	2.53	5.50	13.91	



圖九、本組所完成最佳複合式微小電力儲能充電裝置的實際照片圖。



(a)直接充電的情形

(b)透過最佳微小電力儲能充電的情形

圖十、就表五中當空氣膠薄膜的濃度最淡(1.25%)與厚度最薄(0.05mm)時的最佳發電結構進行：(a)圖是直接充電、(b)圖是透過最佳複合式微小電力儲能充電裝置充電的實際照片圖。【註】表五中當空氣膠薄膜的濃度最淡(1.25%)與厚度最薄(0.05mm)時，其所建構光轉電串聯雙邊熱電晶片模組的熱轉電所產生複合式再生電能為 $48.75\text{mw}(=1.22\text{V}\times 39.96\text{mA})$ ，若直接對鎳氫電池(1.2V/30mAh)充電則約須 45 分鐘充滿電；若透過最佳複合式微小電力儲能充電裝置充電則約須 3 小時又 45 分鐘充滿電，因為經過儲能 IC 轉換後的充電電能為 $20.29\text{mW}=2.53\text{V}\times 8.02\text{mA}$ (詳見表六(A)~表六(C))。因此，所完成最佳複合式微小電力儲能充電裝置的轉換效率經計算為 41.6% $[(2.53\text{V}\times 8.02\text{mA})/(1.22\text{V}\times 39.96\text{mA})]$ 。

<結果五>、戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及太陽熱轉電模組之最佳發電結構的測試報告與分析結果：

圖十一是本組在戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃(最淡濃度：1.25wt.%、最薄厚度：0.05mm)、太陽光轉電模組、以及單雙邊太陽熱轉電模組進行最佳發電結構測試的實際拍照圖，其中圖十一(a)為單邊太陽熱轉電模組，圖十一(b)為雙邊太陽熱轉電模組。另外，表七則詳列出戶外利用太陽能結合不同模組架構發電的測試報告。由表七的實驗數據得知，戶外的單邊太陽熱轉電模組其發電量(0.14mW)是明顯優於雙邊太陽熱轉電模組的發電量之總合($0.11\text{mW}=0.05\text{mW}+0.06\text{mW}$)，推測其原因應該是本作品使用聚焦凸透鏡只是讓太陽光在空氣膠玻璃上聚成一個直徑約 3cm 的光圈而非聚焦在一個微小光點上，因此在空氣膠薄膜的熱度經本組量測大約只有 52°C ，而如此的溫度並不能提供足夠的熱能給雙邊熱電晶片模組作有效的太陽熱轉電之故。又，戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及單邊太陽熱轉電模組應該是最優發電結構，因為它能產生最大的複合式太陽光轉電串聯太陽熱轉電之電能($174.5\text{mW}=1.26\text{V}\times 138.5\text{mA}$)。此外，由表七的量測結果可以得知，空氣膠玻璃明顯也發揮不錯的隔熱效果，因為它讓聚光在空氣膠玻璃表面溫度的 52°C 在透過空氣膠玻璃而到達太陽電池表面時只剩下 39.9°C ，幾乎約有 12°C 的隔熱效果。這樣的隔熱效果對於聚光型太陽電池而言，不但有效地協助聚光型太陽電池作降溫散熱而提升其光電轉換效率外，更可增加其使用壽命。



(a)：單邊太陽熱轉電模組



(b)：雙邊太陽熱轉電模組

圖十一、本組在戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及單雙邊太陽熱轉電模組進行最佳發電結構測試的實際拍照圖。

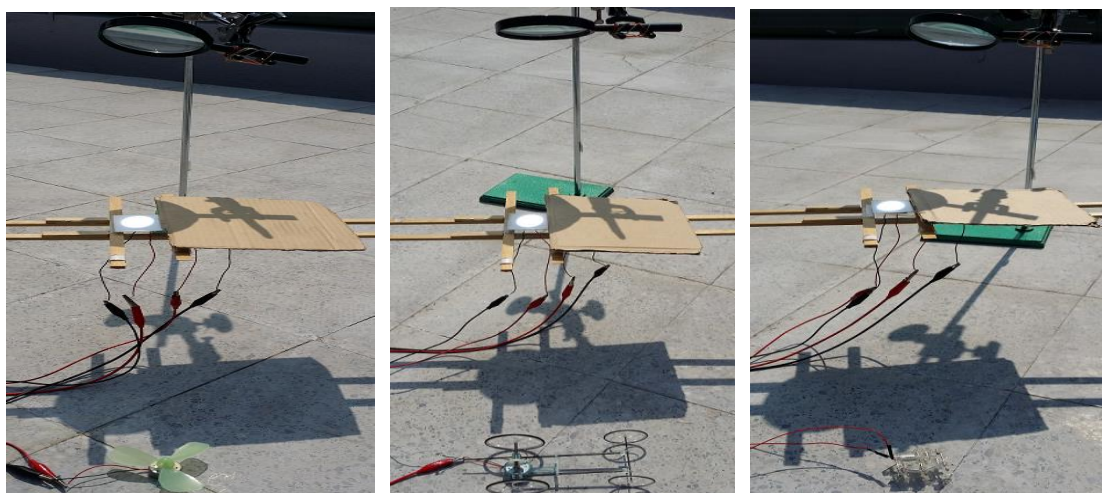
表七、戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃(最淡濃度：1.25wt.%、最薄厚度：0.05mm)、太陽光轉電模組、以及單雙邊太陽熱轉電模組進行最佳發電結構之測試報告。

戶外太陽熱轉電模組結構	空氣膠薄膜溫度(°C)	太陽電池表面溫度(°C)	熱電晶片冷熱端溫度差(°C)	太陽光轉電電能(mW)	太陽熱轉電電能(mW)	複合式太陽光轉電串聯太陽熱轉電電能(mW)
(1)單邊太陽熱轉電模組	52.0	39.9	6.2	183.5mW (=1.16V×158.2mA)	0.14mW (=0.10V×1.42mA)	174.5mW (=1.26V×138.5mA)
(2)雙邊太陽熱轉電模組	52.1	40.1	左邊：4.4 右邊：4.5	157.4mW (=1.12V×140.6mA)	左邊：0.05mW (=0.06V×0.83mA) 右邊：0.06mW (=0.07V×0.85mA)	149.0mW (=1.25V×119.2mA)

(註)：測試時，戶外環境溫度為 30.8°C

<結果六>、將戶外利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃、太陽光轉電模組、以及單邊太陽熱轉電模組之最佳發電結構所產生的再生能源，實際應用在日常生活中並進行各項應用例展示之測試結果：

圖十二(a)~(c)分別是本創作之戶外最佳發電結構直接驅動迷你小風扇轉動(功耗約 60mW)、直接驅動迷你玩具車行駛(功耗約 58mW)、以及直接驅動迷你機器人行走(功耗約 59mW)的實際應用例照片。



(a)迷你小風扇轉動

(b)迷你玩具車行駛

(c)迷你機器人行走

圖十二、本創作之戶外最佳發電結構直接驅動：(a)迷你小風扇轉動、(b)迷你玩具車行駛、以及(c)迷你機器人行走的實際應用例照片。

陸、討論：

一、太陽能光熱分離的創新意義探索：

(一)、本作品為何要將太陽能的光與熱分離呢？

本作品創新地使用空氣膠讓太陽能的光與熱分離，其積極意義有兩項：(1)因為太陽光轉電是產生再生電能的主力，被分離出來的太陽光不但可以讓聚光型太陽電池提升其光電轉換效率，更可加強太陽電池使用壽命。(2)被分離出來的太陽熱經熱電晶片的熱轉電後，不但可協助太陽電池降溫散熱，又可減少溫室效應，極具節能減碳的新意。

(二)、如何得知本作品的空氣膠玻璃明確且有效地達到隔熱透光之功效？

不論是室內鹵素燈或戶外太陽能，經光譜分析儀的檢測可得知波長 $> 800\text{nm}$ 的紅外線明顯會被空氣膠玻璃所阻隔；至於波長 $< 800\text{nm}$ 的可見光則大部份可以穿透。因此空氣膠玻璃明確具有隔熱透光之功效。

二、複合式微小電力儲能充電裝置的創意探索：

(一)、本作品所展示太陽熱轉電模組產生的電力較小，對它儲能有意義嗎？

許多再生電能往往都很微小而無法直接使用，因此常被迫放棄。本作品讓太陽熱轉電的微小電力能以積沙成塔的方式作儲能，頗富創意。

(二)、用何種方法可以增強熱電晶片模組的熱轉電之功效？

使用導熱性更佳的類鑽碳薄膜(導熱係數： 617 W/mK)取代熱端石墨片(導熱係數： 450 W/mK)，可讓更多被空氣膠玻璃所阻隔的熱導引到熱電晶片熱端，進而提升熱電晶片的冷熱端溫度差，增強熱轉電之功效。

三、室內與戶外利用太陽能結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、以及熱電晶片模組的最佳發電結構探索：

(一)、本作品所展示室內與戶外的最佳發電結構為何不同？

(1)、本作品室內最佳發電結構為：利用鹵素燈模擬太陽能結合空氣膠玻璃、太陽電池模組、以及**雙邊**熱電晶片模組，乃因為室內鹵素燈提供的熱能足夠讓**雙邊**熱電晶片模組進行熱轉電之故。

(2)、本作品戶外最佳發電結構為：利用太陽能結合聚焦凸透鏡、空氣膠玻璃、太陽電池模組、以及**單邊**熱電晶片模組，乃因為所聚焦的太陽熱能不足以讓**雙邊**熱電晶片模組進行有效熱轉電。

柒、結論：

綜合以上完整的實驗量測結果與討論，本組所獲致的具體結論如下：

結論一：本作品之室內最佳發電結構及特性為：

- (1)利用 150W 鹵素燈模擬太陽能；
- (2)結合空氣膠玻璃(最淡濃度：1.25wt.%、最薄厚度：0.05mm)進行光熱分離；
- (3)結合太陽電池模組進行光轉電；
- (4)結合**雙邊**熱電晶片模組進行熱轉電；
- (5)所建構最佳光轉電串聯**雙邊**熱電晶片模組的熱轉電所產生複合式再生電能為 48.75mW(=1.22V×39.96mA)。

結論二：本作品之複合式微小電力儲能充電裝置具有以下特性表現：

- (1)任何微小電力有達到 0.9V 以上，都可由本組所設計的最佳儲能充電裝置轉換成輸出電壓為 2.53V 左右的電能；本作品之最佳複合式微小電力儲能充電裝置的轉換效率可達 41.6%。
- (2)利用室內所建構最佳光轉電串聯**雙邊**熱電晶片模組的熱轉電所產生複合式再生電能 48.75mw(=1.22V×39.96mA)，若直接對鎳氫電池 (1.2V/30mAh)充電則約須 45 分鐘充滿電；若透過最佳複合式微小電力儲能充電裝置充電則約須 3 小時又 45 分鐘充滿電。

結論三：本作品之戶外最佳發電結構及特性為：

- (1)利用聚焦凸透鏡將太陽光在空氣膠玻璃上匯聚成一個直徑約 3cm 的光圈；
- (2)結合空氣膠玻璃(最淡濃度：1.25wt.%、最薄厚度：0.05mm)進行光熱分離；
- (3)結合太陽電池模組進行光轉電；
- (4)結合**單邊**熱電晶片模組進行熱轉電；
- (5)所建構最佳光轉電串聯**單邊**熱電晶片模組的熱轉電所產生複合式再生電能為 174.5mW(=1.26V×138.5mA)，經戶外實際測試可直接驅動小風扇轉動、迷你玩具車行駛、以及迷你機器人行走等。
- (6)空氣膠玻璃可阻隔太陽熱約 12°C，能有效協助太陽電池降溫散熱。

捌、未來展望與省思：

本組成員由衷地感謝指導老師們的教導與打氣，也非常感謝父母親們不斷地鼓勵與支持，而得以完成此一作品。

本研究可謂歷經諸多挫折與辛苦，其中最主要的創意突破乃是本組成員應用網路所搜集到的資訊，並綜合課本所教的學理與知識，創新地應用空氣膠的高熱阻隔特性，先讓聚焦的太陽能透過空氣膠玻璃進行光熱分離後，再分別將太陽光透過太陽電池模組作光轉電，以及讓太陽熱經由熱電晶片模組作熱轉電，成功地改變傳統利用太陽能源的方式。本作品將太陽能進行光與熱分離，不但可以讓聚光型太陽電池吸收較多的太陽光而提高其光電轉換效率，同時也避免因吸收過多的太陽熱而導致溫度過高或散熱不良而造成光電轉換效率的衰減，進而可以增加其使用壽命。此外，當看到太陽能透過我們所製作的空氣膠玻璃而光熱分離後，再分別經由光轉電與熱轉電而產生再生電能，進而可以被本組所設計的複合式微小電力儲能裝置滴水成涓般地儲能起來，心中真是感動不已，相信它絕對有助於減緩地球溫室效應。誠摯地希望未來這種透過空氣膠將太陽能進行光熱分離再分別透過光轉電與熱轉電而產生再生電力的創新技術能大量地被開發，進而發展出新式的太陽能源應用方式，且讓我們善盡地球公民一份子的責任吧！

玖、參考資料及其他：

1. 華健、吳怡萱編著，「再生能源概論」，五南出版社（2008年8月初版、ISBN:978-957-11-5246-2）。
2. T.M. Tritt, H. Bottner, and L. Chen, “Thermoelectrics: Direct Solar Thermal Energy Conversion”, MRS BULLETIN, Vol.33, pp.366-368 (2008).
3. S.S. Kistler, “Coherent expanded aerogels and jellies”, Nature, Vol.127, No.3211, p.741 (1931).
4. <http://energy.lbl.gov/ecs/aerogels/sa-home.html> (Silica Aerogels- Energy Tech.)
5. P.H. Tewari, A.J. Hunt, and K.D. Lofftus, “Ambient-temperature supercritical drying of transparent silica aerogels”, Materials Letters, Vol. 3, No. 9-10, pp. 363–367 (1985).
6. T. Phillips, “Leonids Sample Return Payload Recovered”, NASA Scientists Will Describe Initial Results from A Program to Catch Meteoroids in Flight at the NASA/AMES Leonids Workshop, April 12-15 (1999).
7. <http://green-life-technology.blogspot.tw/2009/11/aspen-aerogels-notebooklaptop-desk.html> (綠生活科技)
8. M.A. Meador, and F. Miranda, “Design and Development of Aerogel-Based Antennas for Aerospace Applications”, NASA Aeronautics Mission Directorate FY11 Seedling Phase I Technical Seminar, June 7 (2012).
9. <http://web.nchu.edu.tw/~lschang/Thermoelectric.htm> (熱電材料介紹)
10. <http://zh.wikipedia.org/wiki/GPHS-RTG> (通用熱源熱電機-維基百科)
11. Sandia National Laboratories News Center News-Releases, Nov. 9, (2004).
12. 吳國光、張育誠、焦鴻文，「行動發電廠-淺談振動能源利用」，能源新知，14期，(2010年)。
13. <http://zh.wikipedia.org/zh-mo/PS20%E5%A4%AA%E9%99%BD%E8%83%BD>

[%E7%99%BC%E9%9B%BB%E5%A1%94](#) (太陽能發電塔-維基百科)

14. <http://www.eettaiwan.com/SEARCH/ART/%AF%E0%B6q%B1%C4%B6%B0.H>

[TM](#) (能量採集-電子工程專輯)

15. 沈輝、曾祖勤 主編/馬振基 校訂，「太陽能光電技術」，五南出版社 (2008 年 2 月初版、ISBN:978-957-11-5078-9)。

16. 朱旭山，「熱電材料與元件之發展與應用」，工業材料雜誌，220 期，pp.93-103, (2005 年)。

【評語】 040813

1. 將太陽能光熱分離之太陽電池實驗頗為創新，尤其更能將熱轉為電能的熱電系統設計，在科展中表現出來實屬首創。
2. 思慮周詳，分析詳實，堪稱好作品。