

2022 年臺灣國際科學展覽會 優勝作品專輯

作品編號 100010

參展科別 工程學

作品名稱 仿生科技應用於提高太陽能板發電效率之研究

得獎獎項

就讀學校 苗栗縣立照南國民中學

指導教師 張家淇

作者姓名 翁勝筌、翁聖宏

關鍵詞 複眼、太陽電池、發電效率

作者簡介



我們從小就喜歡數理方面的知識與實驗，每每遇到問題，就會上網找資料或請問老師及家人。對於三角幾何與數學、物理、應用科學方面新知都頗有興趣。每當有些想法，我們兄弟倆會互相討論，甚至找時間親自動手做實驗，雖然做實驗需花費許多時間，可是看到有點實驗成果時我們倆都好高興，希望可以在本次國際科展得到不錯的名次。

中文摘要

本作品自行開發組立氣體輔助彈性氣膜球實驗系統，並研製可調控之類複眼陣列結構母模系列實驗設備，藉以複製出類昆蟲複眼之陣列微結構，同時複合石墨烯(graphene)並將其裝設於太陽能板上進行系統化實驗，探討類昆蟲複眼之陣列微結構對太陽能板發電效率之影響。實驗結果顯示，類複眼陣列透鏡結構，其單一特徵形狀愈小、密度愈高(週期愈小)，其發電效率愈佳，本實驗條件下，發電效率最高可提升達 7.86%，此外，本研究在光捕捉上再為仿生類透鏡穿上自然界的類透明外衣複合石墨烯情況下，其發電效率更佳，透鏡面噴塗石墨烯複合薄層 1 μ m 厚度，發電效率短時間提升最佳為 14.21%，但隨著光照時間的增加(24 小時)後，發電效率提升最佳為 12.45%，本研究同時增能探討調控菲涅爾透鏡(Fresnells)聚焦方式，並獲得經最佳聚焦位置的獲得，將有助於對太陽能板發電效率提升。

英文摘要

In this study, a gas-assisted system for uniformly replicating compound eye array structures was proposed, and a reusable compound eye mother mold with controllable periodic complementary array structure was developed. A series of experiments were carried out to explore the effects of compound-eye-like structures on solar panel power generation efficiencies. In the process, the effects of different experimental parameters on the replication molding of compound-eye-like array lenses were investigated, the effects of different compound-eye-like array lenses on solar panel power generation efficiencies were explored, and the effects of the adjustable focusing mode of Fresnel lenses on solar panel power generation efficiencies were preliminarily discussed. Moreover, optical tests and applications were preliminarily carried out. According to the experimental results, in this process, good large-area array structures could be formed, and microstructures could improve solar panel power generation efficiencies.

一、 研究動機

109 年暑假至南部參觀太陽能展，透過參訪過程中，得知目前太陽能板的最高發電效率僅達 12%，原因之一是太陽能板的光接收面上無法完全吸收太陽光線(因部分微弱光線散射、折射而無法全面接收...等因素)。另一部分的太陽光線，會因太陽能板之粗糙面導致反射或折射的損失。另曾參觀臺灣科學教育館於 109 年間舉辦之仿生特展，在介紹昆蟲複眼結構的攤位上，展出複眼上微奈米的突起結構，具有將微弱光線完全吸收的特性，並且不產生反射等狀況影響光線的行進路線。因此，在我們試想這種複眼結構的特性可能有機會解決目前太陽能板在發電效率上的問題。

綜上原因，本研究團隊開始著手並思考，若能妥適將類複眼結構裝置在太陽能板面上，那就有機會可以增加太陽能板的發電功率。本團隊試想，製作可重複利用的母模具來進行拉伸調控，找出不同複眼結構的大小或最佳排列的的類複眼結構透鏡，另外考慮到 50~200 μm 約略是自然界複眼昆蟲的單一顆 lens 的大小範圍，而 150 μm 是目前具複眼昆蟲的平均大小(陣列 lens 的單一顆大小)，因本研究主要以仿生最為基礎進行研究，因此即鎖定在這個尺度，並結合複製系統來進行成形。此外，在蒐集資料的過程中，得知大透鏡經由曲面區段曲線擷取後，可將之設計為平面以達到相同功能之菲涅爾透鏡的資料。因此，研究預計試著利用以上兩種結構，以具重複利用性的母模具來進行初步實驗，並經由自行開發的複製系統，複製後結合於太陽能板上方，並進行太陽能發電效率之實驗測試，經由實驗對照組比對有無陣列複眼結構之發電效率異同，探討類複眼陣列透鏡對提高太陽能板發電效率之影響，同時複合石墨烯薄層於類複眼陣列透鏡對提高太陽能板發電效率之影響，以及不同菲涅爾透鏡結構的聚焦情況等相關數據，並期待本研究之部分實驗成果，能有機會對再生能源有所貢獻。

二、 研究目的

- (1). 預計將研製一可經由氣體輔助均勻複印出複眼陣列結構之系統。
- (2). 預計研製一可以調控互補結構陣列週期之具重複利用性複眼母模具。
- (3). 仿生創意：探討不等拉伸長度對調控類複眼陣列透鏡及菲涅爾透鏡互補結構之影響。
- (4). 仿生科技：探討不同實驗參數複製類複眼陣列透鏡成形性之影響。
 - (一) 不等氣體壓力充填下對類複眼陣列透鏡成形性之影響。
 - (二) 不等持續壓印時間下對類複眼陣列透鏡成形性之影響。
- (5). 光捕捉：不同類複眼陣列透鏡對提高太陽能板發電效率之影響
- (6). 光捕捉：複合石墨烯薄層於類複眼陣列透鏡對提高太陽能板發電效率之影響探討
 - (一) 石墨烯厚度對發電效率的影響

(二) 照光時間與溫升效應對發電效率的影響

- (7). 增能探討：可調控之菲涅爾透鏡聚焦方式與可能對提高太陽能板發電效率之初步影響探討。

三、 研究設備及器材

(一) 設備與器材

本研究設備系統所需用到的器具以及其所對應到在實驗研究中的用途，如表 3.1 所羅列。另外部分系統零組件較難以施工製作部分，本團隊則採用三維列印進行設計印製。

表 3.1 研究設備與器材(零件)名稱與主要用途

序號	設備與器材(零件)名稱	本研究自行研製系統上之主要用途
1.	小型打氣機	本研究中彈性氣膜球充氣來源
2.	電源供應器	UV 燈的電力來源
3.	游標卡尺	測量鋁擠型
4.	電線	連接 UV 燈與 UV 燈變壓器
5.	六角扳手	裝配設備各部分零件之工具
6.	槌子	1. 固定外牙接頭 2. 矯正鋁擠型
7.	鉗子	矯正鋁擠型與外牙接頭
8.	手持式自動螺絲機	裝配設備各部分零件之工具
9.	螺絲起子	裝配設備各部分零件之工具
10.	電鑽	裝配設備各部分零件之工具
11.	太陽能板	測試成品之發電效率
12.	模板	壓印複眼結構軟型模具之模板
13.	三用電表	測量太陽能板輸出電量
14.	捲尺	量測尺寸長度
15.	泡棉膠	固定 UV 燈
16.	氣壓閥&氣壓流量控制器	連接打氣機與氣瓶及控制輸出氣壓
17.	電工膠帶	纏繞於電線交接處
18.	UV 燈	將可紫外線光固化阻劑材料固化
19.	直角鐵片&外牙接頭	固定模具與彈性氣膜球
20.	定位分厘卡	調整軟型模具上之複眼結構
21.	雙通閥	空置氣體流量方向
22.	鋁擠型	支撐整個設備
23.	UV 燈變壓器	改變提供給 UV 燈的電壓
24.	桌上型鑽孔機	在壓克力上鑽孔
25.	氣壓計	顯示目前氣體充氣壓力

(二) 氣體輔助壓印複製系統設計與製作

本研究經由學校生活科技教室所提供的實驗設備進行製作，首先與指導老師討論設計繪出整個系統的概況(圖 3.1)。經由徒手手繪與部分繪圖軟體繪製出外型輪廓形貌，並進行尺寸標註與設計定稿的過程，製作過程中經過多次修改與調校後，獲得最終本研究自行開發的系統設備設計圖，其中包括幾個重要的系統部分：壓力錶氣壓閥部分、紫外光(此部分委由指導老師代為拿到外面給廠商加工陣列 UV-LED 燈)部分、氣體供氣部分、壓印平台與彈性氣膜球部分、重複利用性複眼母模具與定位分厘卡部分，共五個重要部分組成本實驗系統，如圖 3.2 所示。

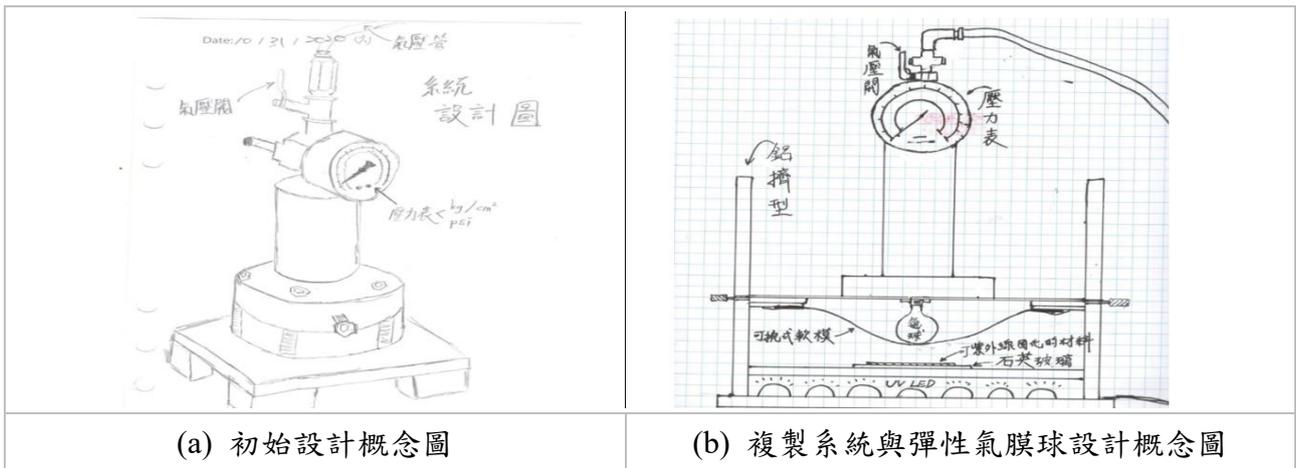


圖 3.1 與指導老師討論設計繪出整個系統的概況

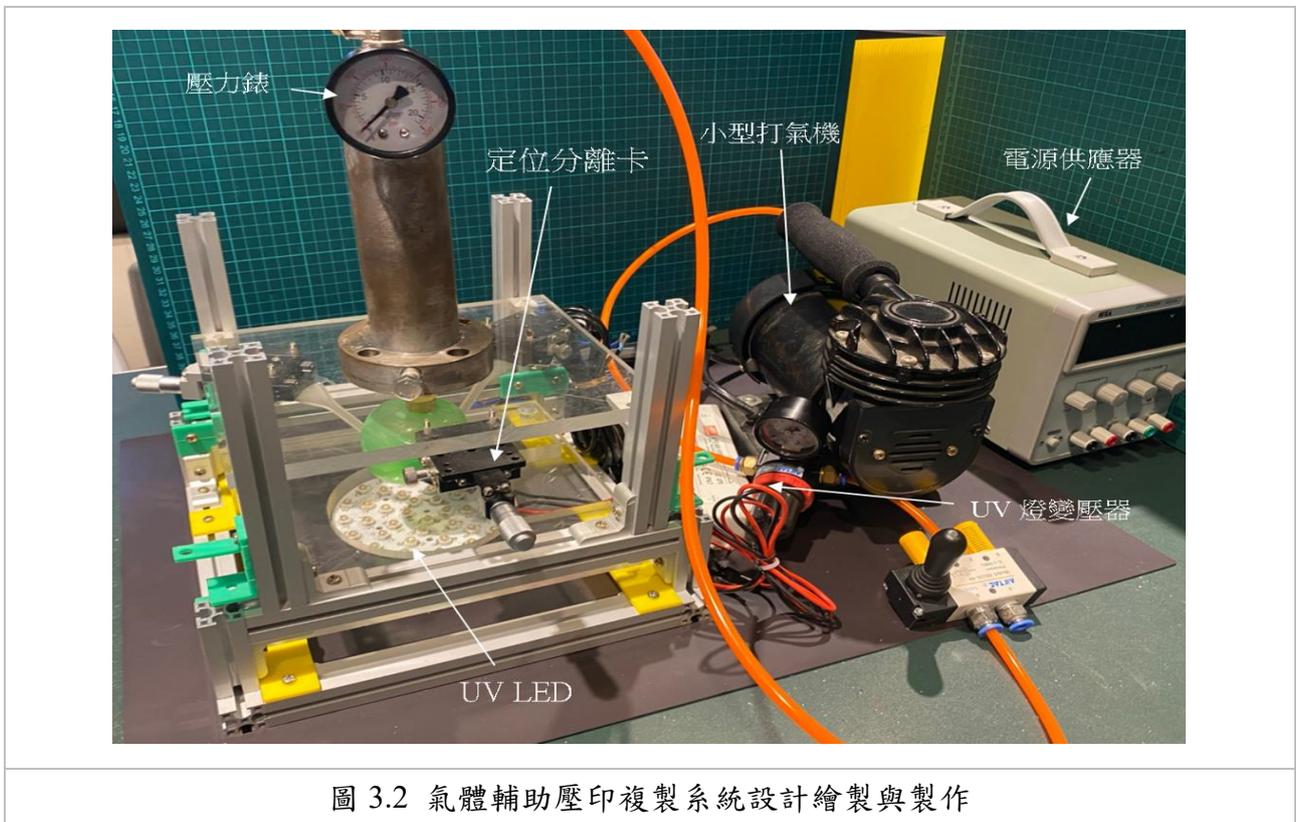
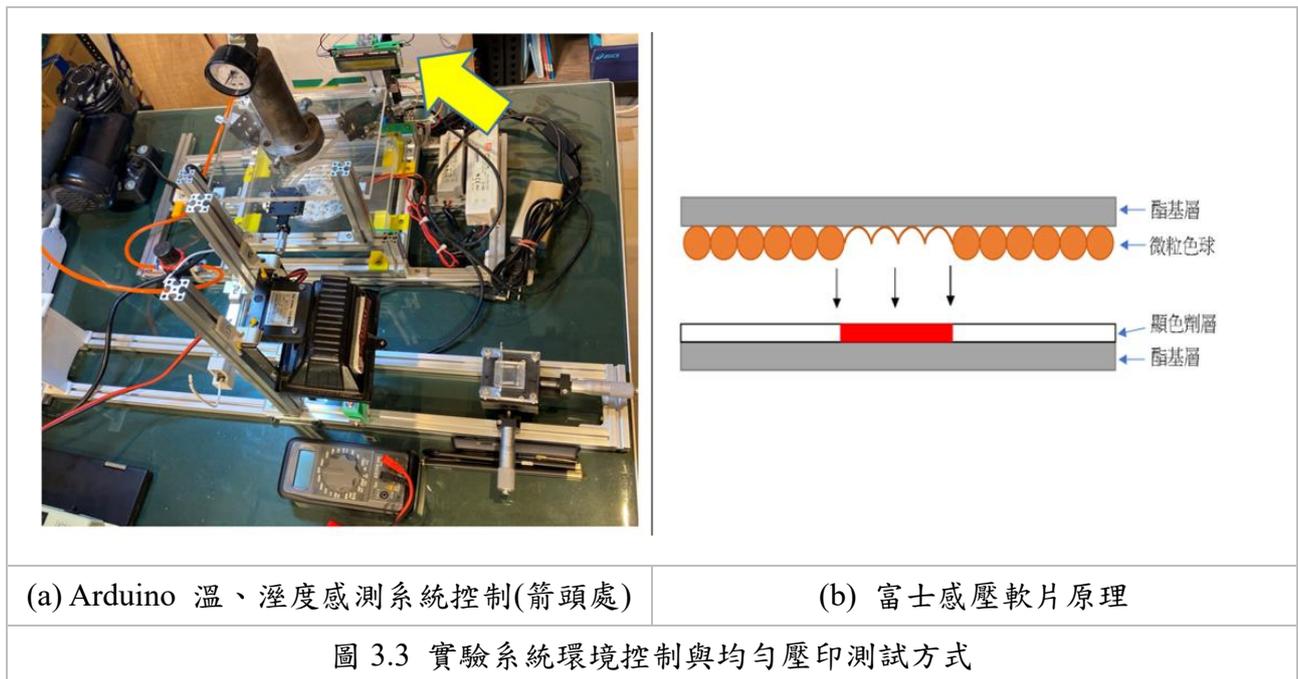


圖 3.2 氣體輔助壓印複製系統設計繪製與製作

另外，本團隊依據 GB/T4857.2-2005 規定的標準進行環境監控：以 Arduino 溫、溼度感測系統控制在室溫 21°C-25°C 度與濕度 45%-55% 進行所有實驗(圖 3.3(a))，同時為了確認彈性氣膜球是否可以使模具均勻施壓，壓印前我們利用富士感壓軟片(圖 3.3(b))放置於壓印平台上，同時充氣模球以不同的氣體壓力利用無結構的三軸模具施壓於富士感壓軟片上，洩氣離壓後，軟片顯示出均勻的顏色，確定之，本研究使用步驟分別是：1. 將感壓薄膜剪裁成所需形狀大小。2. 將感壓薄膜置入待測區。3. 依其顏色可觀察壓力分佈情況。因為彈性氣膜球中的氣體會對氣膜球產生均勻的壓力(氣膜球內的氣體具有等壓等向的特點)，而彈性氣膜球將會施壓於模具上，使紫外線光照光使得光阻劑固化材料(受光後產生交鏈，光是一種能量能使得高分子材料產生交鏈 cross-link, 進而固化)受到均勻的施壓。



(三) 互補結構陣列週期之具重複利用性類複眼母模製備與調控方式

1. 互補結構陣列週期之具重複利用性類複眼母模製備

本部分利用薄鋁材料經由雷射加工孔徑約為 50 μ m~200 μ m(0.05mm~0.2mm)模仿蛾眼互補性結構之陣列孔洞(凹形)，預計經由以聚碳酸酯材料(此材料無色透明且具有高透光性，英語：Polycarbonate, 又稱為 PC)作為底材，經由小型熱壓機先熱壓出類蛾眼陣列結構的模具(凸形)。其中熱壓機的操作流程依序為：擺置試片雷射加工模仿蛾眼互補性結構之陣列孔洞與上方，下方擺 PC 材料、設定溫度、達到預定壓力、開始計時、啟動水冷降至室溫即可拿取。接著，隨後經由桌上型加工機經由繪圖後，加工製作重複利用性複眼母模製之澆鑄模穴，並將熱壓機熱壓加工出類蛾眼陣列結構的凸形模具製於中央部位，隨後澆鑄具有光學透明且有彈性的可撓性聚二甲基矽氧烷之黏稠液體(AB 劑混合比例 10:1)，本團隊使用的模具材料亦稱為有機聚合物材料，這種材料無毒且非易燃性並具有高彈性，待其固化後可以獲得互補結構陣列週

期之具重複利用性複眼母模具，如圖 3.4 所示。

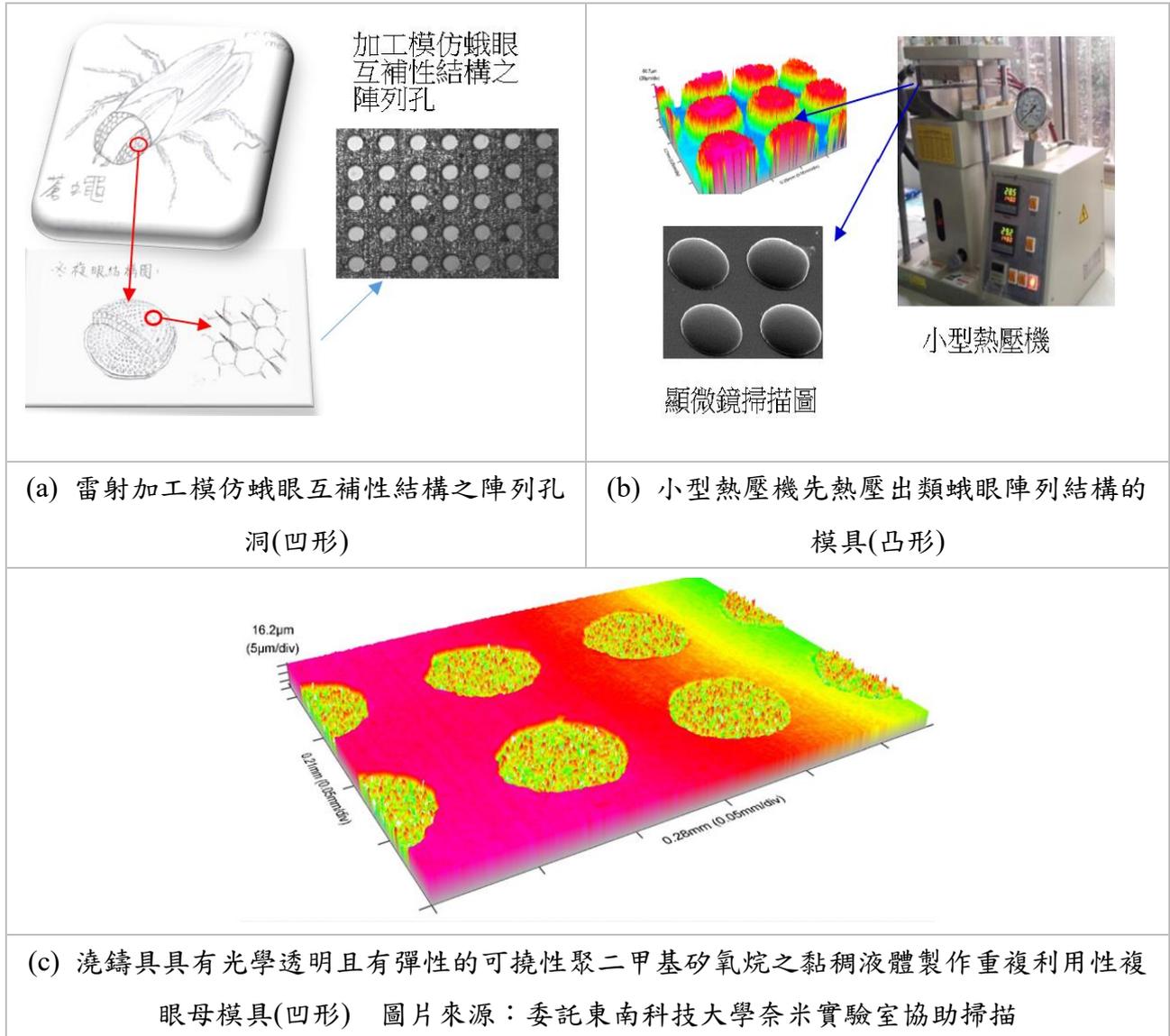


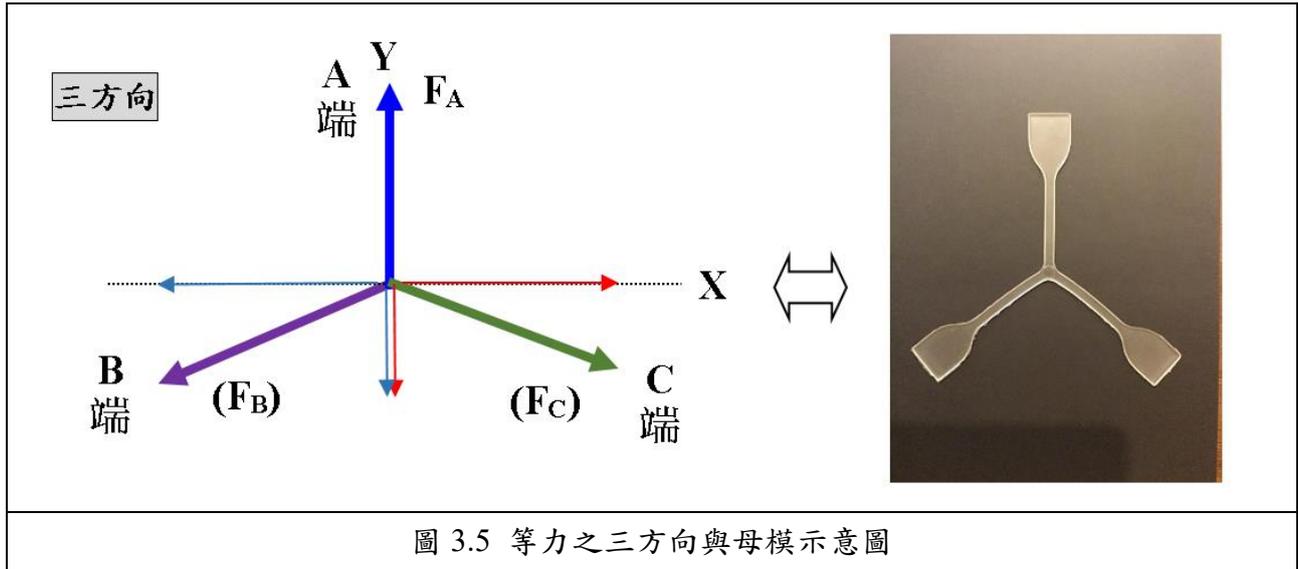
圖 3.4 互補結構陣列週期之具重複利用性複眼母模具

2. 重複利用性類複眼母模具調控方式

本實驗利用部分有彈性的可撓性聚二甲基矽氧烷最為模具材料，主要是其具有可撓性的特性，在實驗或實際應用上可以重複的使用，並且可以經由研究自行開發的設備系統上的分厘卡作為調控方式，可以任意變化拉伸位置而改變中央區段的互補性類蛾眼陣列結構之週期排列情況，藉以多次不等調控實驗，取得在實驗設計範圍內的最佳類蛾眼陣列結構之選用參考，以提升太陽能板的發電效率。

首先，模具調控採用三方向同時作用的方式(圖 3.5)，經由各互相夾角度 120 度，利用分厘卡放固定墊片固定各別軸，向外調整使得模具被拉伸，並帶動中央互補形狀的類蛾眼結構，等到調至所需位置後，進行固定，然後利用氣體充氣輔助系統，進行類蛾眼陣列結構的複製

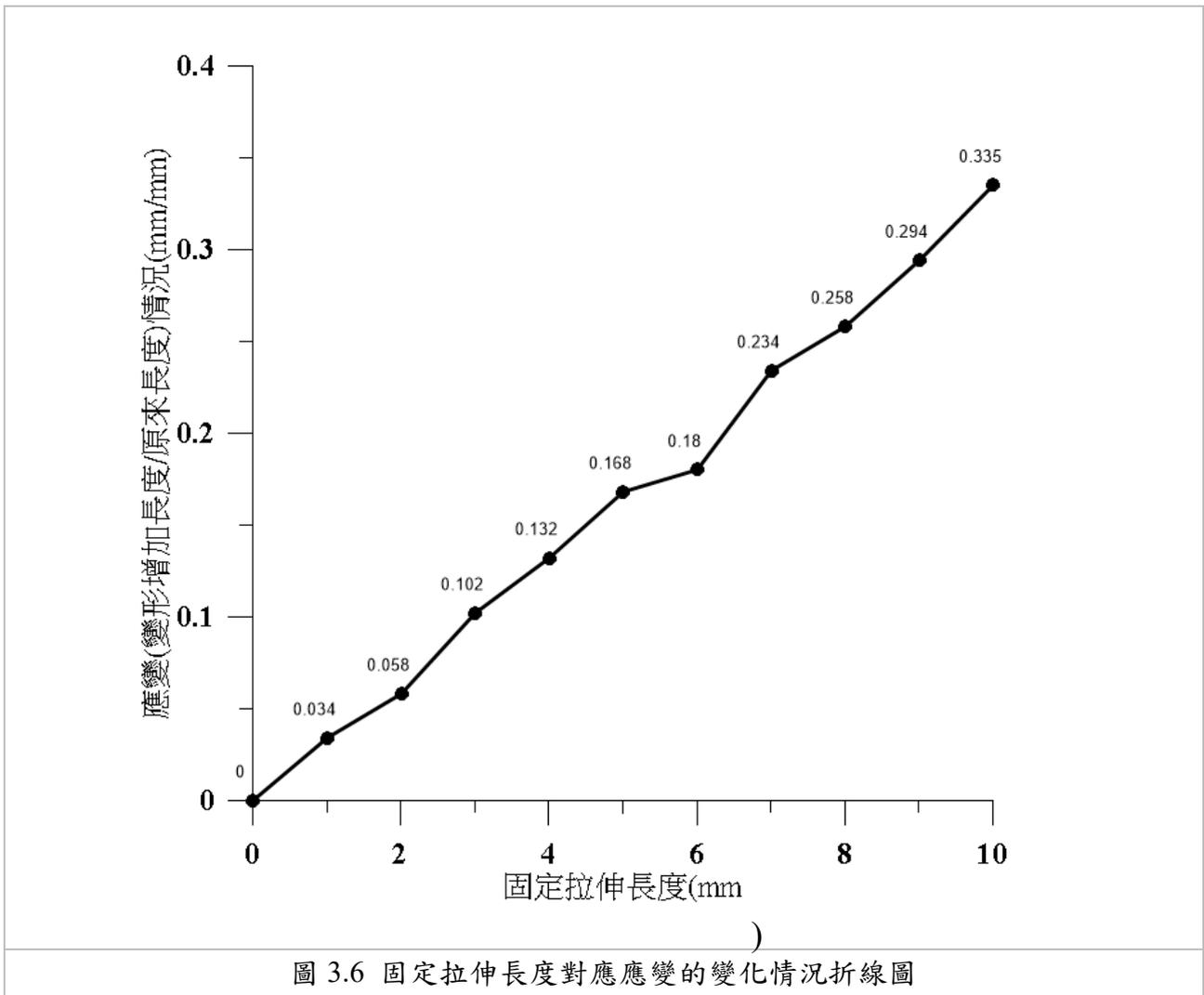
程序。



同時經由實驗初步測試，固定拉伸長度對應應變的變化情況如下表 3.2 及圖 3.6 所示：

表 3.2 固定拉伸長度對應應變的變化情況

固定拉伸長度(mm)	應變(變形增加長度/原來長度)情況(mm/mm)
0.0	0.000
1.0	0.034
2.0	0.058
3.0	0.102
4.0	0.132
5.0	0.168
6.0	0.180
7.0	0.234
8.0	0.258
9.0	0.294
10.0	0.335



此外，本研究同時驗證在施壓部分採用彈性氣膜球，其主要原因是理想氣體方程式的理論概念在彈性氣膜球各個區域均有相等的壓力可以提供均勻施壓，並經由彈性氣膜球施壓於具重複利用性複眼母模具上，可以達到相當完整的均勻性作為考量。

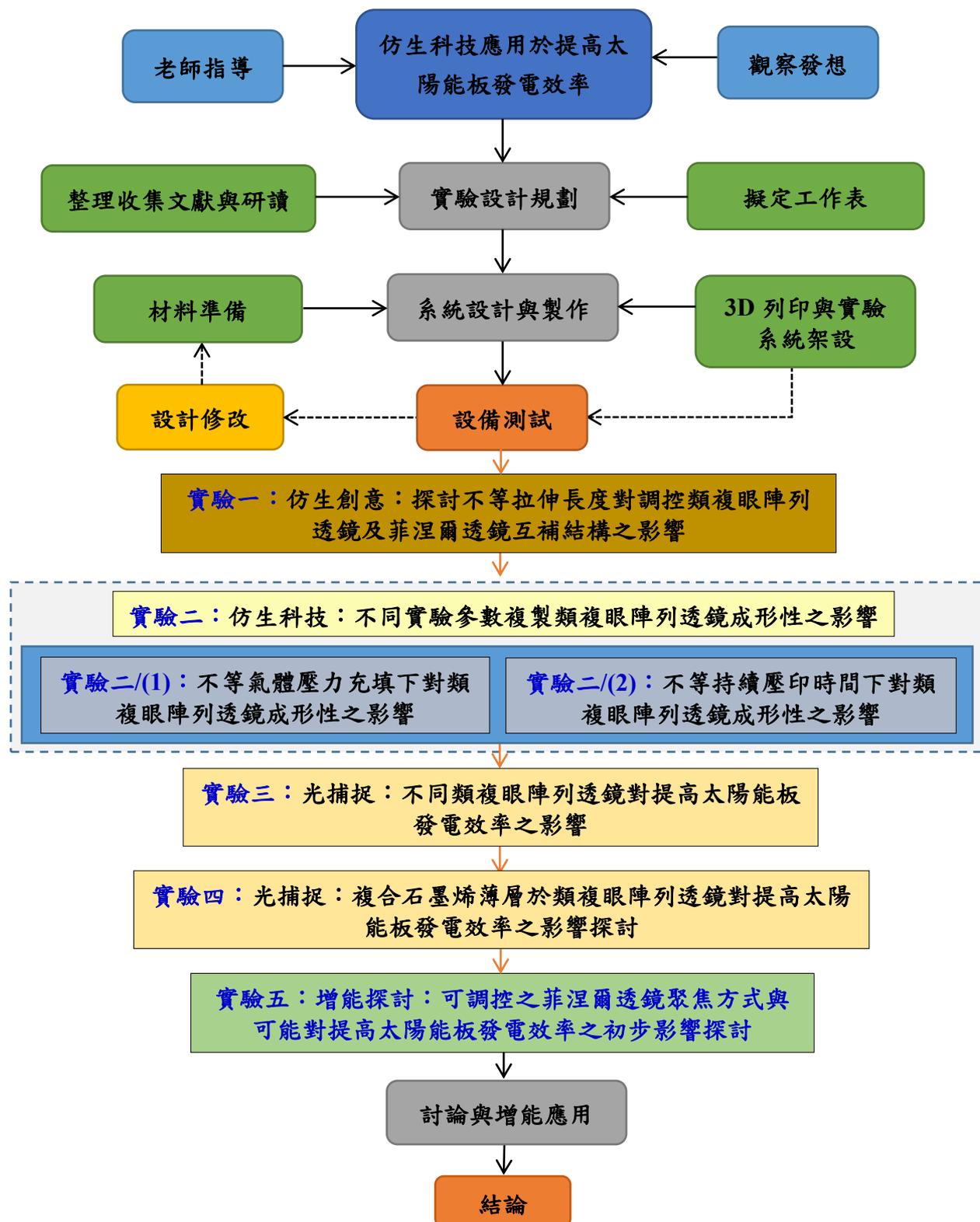
3. 類透明外衣：複合石墨烯薄層材料製備

石墨烯是近年新興材料，期具有優秀的導電特性(電子遷移率高於奈米碳管)以及良好的機械強度(接近鑽石)，同時具有極佳的熱傳導效率和透光性，目前在在業界有販售的部分，其製備上有多種方式可以獲得，大部分以還原法、液相剝離法、電化學方式以及化學氣相沉積等四種方式為最常見，同時各有其優缺點，此材料為目前世界上發現最薄的材料。本研究在光捕捉上將再為仿生類透鏡穿上自然界的類透明外衣，進一步探討此類透明外衣(石墨烯)在光捕捉以及對於太陽能板發電效率提升的機會。本研究將使用台灣安炬公司所生產的液態石墨烯產品，做為本研究用的主要石墨烯薄層材料製備原料。

四、研究過程或方法

(一) 實驗流程圖。

圖 4.1 是本實驗之實驗流程圖。



(二) 實驗系統操作步驟

配合實驗架設的機台，經由計算充氣口到壓印平台間的距離，作為氣模球充氣直徑選用依據，並搭配較大與較小的氣模球作為選擇，經初步壓印測試後，以充氣口到壓印平台間的距離之氣模球充氣直徑為最適宜，同時適當的選用氣模球的大小，將有助於均勻施壓的特點。

本研究建立並組裝氣體輔助壓印複製系統，本實驗系統複製操作步驟(圖 4.2)，依序如下：

- (1). 裝置至於水平桌面上。
- (2). 彈性氣膜球固定於上方氣孔。
- (3). 模具固定於三邊的固定點(固定後仍可調整)。
- (4). 將可紫外線光固化材料均勻塗抹於透明玻璃板上，並置於紫外線燈上方的平台。
- (5). 彈性氣膜球充氣將模具均勻地推至可紫外線光固化水性材料的上方進行氣體壓印。
- (6). 壓印完畢後開啟紫外線燈光，將已完成壓印的可紫外線光材料固化，獲得複眼型凸透鏡結構，隨後關閉紫外光，將彈性氣膜球洩氣離模獲得成品。

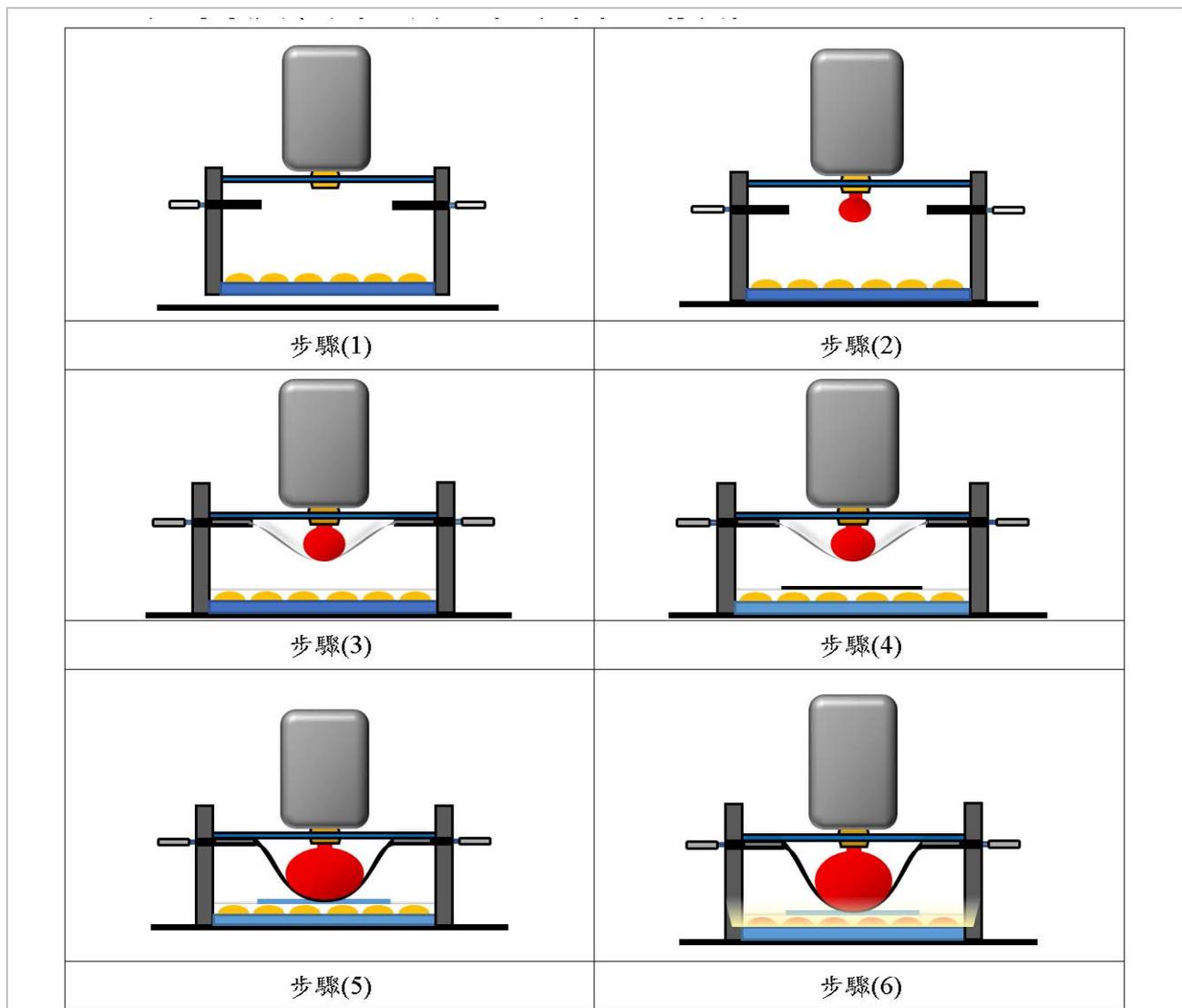
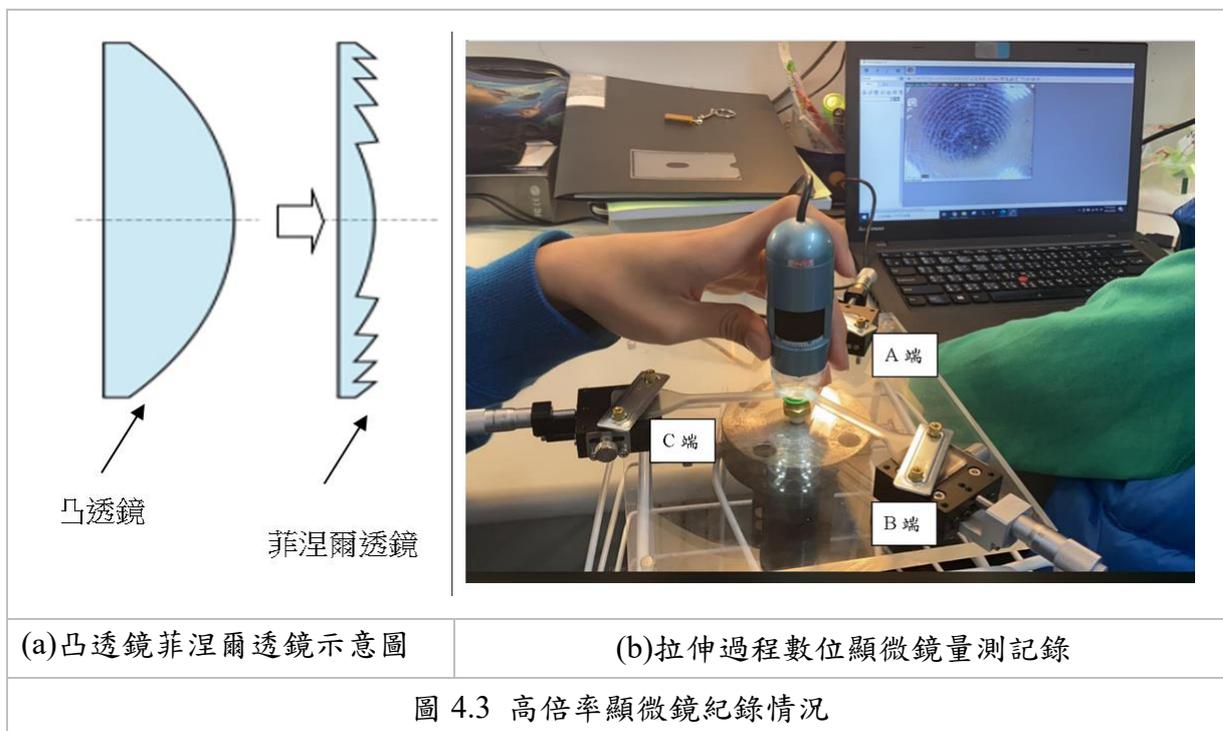


圖 4.2 實驗系統操作步驟示意圖

(三) 實驗部分觀察使用的方法

本實驗利用多種實驗觀察方式，其中以經常利用到 Dino-Lite 的數位顯微鏡(Digital Microscope)觀察作為代表，在實驗過程中本團隊會利用數位顯微鏡，例如觀察三軸向裝置妥適的重複利用性複眼母模具以及菲涅爾透鏡時，使用 Dino-Lite 的數位顯微鏡經由高倍率顯微鏡紀錄下來，如圖 4.3 所示。



五、 研究結果與討論

(一) 仿生創意：探討不等拉伸長度對調控類複眼陣列透鏡及菲涅爾透鏡互補結構之影響

本部分利用重複利用性複眼母模具以及菲涅爾透鏡，以分厘卡向後旋轉移動帶動母模具拉伸，以獲得需要的互補凹型複眼孔洞，以及菲涅爾透鏡其中一圈直徑結構之尺度變化情況，並經由高倍率顯微鏡紀錄下來。經實驗顯示，隨三方向拉伸過程中，可以使得母模具互補凹型複眼孔洞隨之增加。同時，孔洞與孔洞之間的間距亦隨之有比例的被延伸，並形成多種不等孔洞間距，以及孔洞大小的陣列式互補凹型複眼孔洞，如表 5.1、圖 5.1 所示。

表 5.1 不等拉伸長度對微結構直徑與週期之影響

調控 \ 序號	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A 端(mm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B 端(mm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C 端(mm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
結構 \ 序號	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
類複眼陣列透鏡微結構直徑(μm)	150	158	164	168	173	175	178	182	185	188	192
菲涅爾透鏡其中一圈之尺度變化情況(mm)	0.989	0.994	1.002	1.008	1.012	1.018	1.023	N	N	N	N

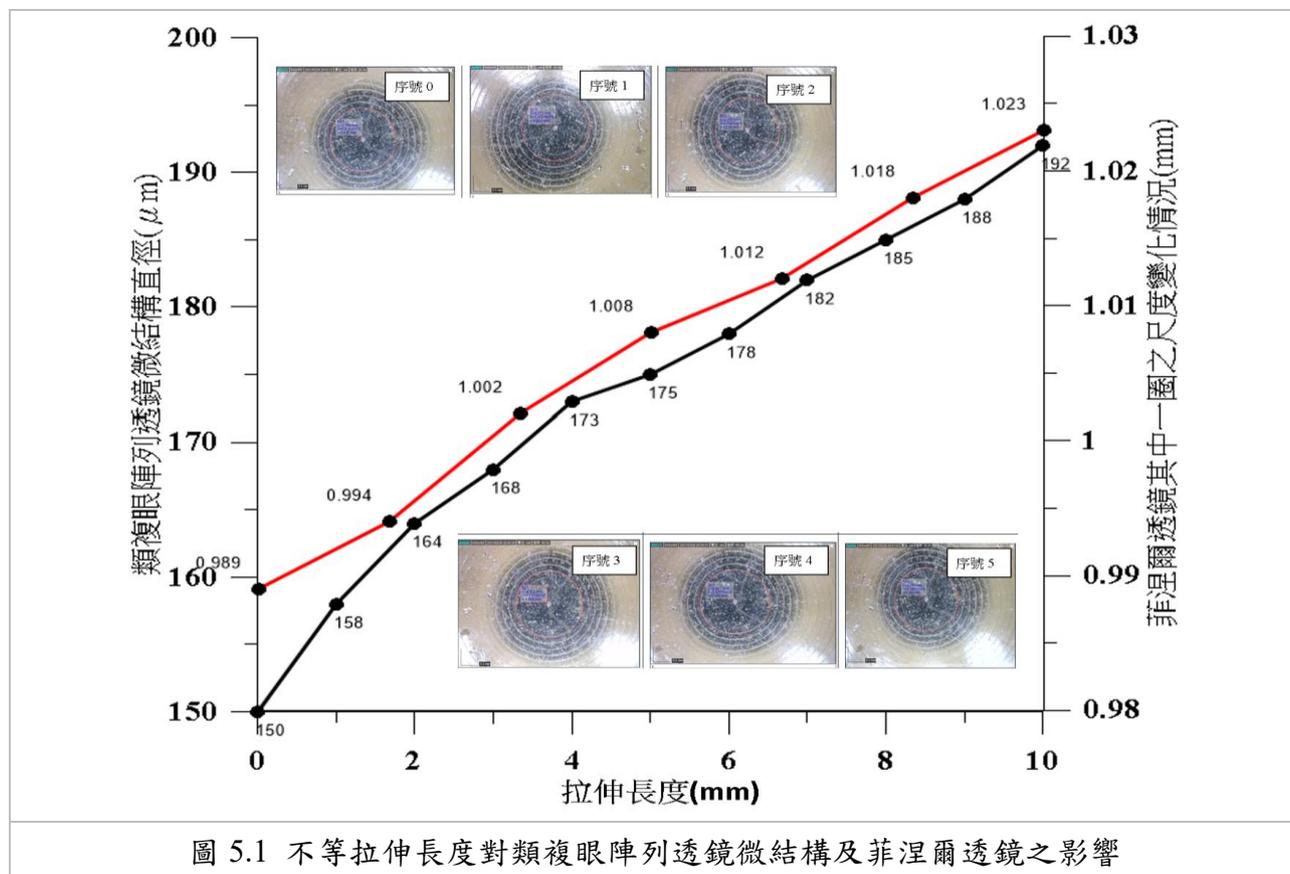


圖 5.1 不等拉伸長度對類複眼陣列透鏡微結構及菲涅爾透鏡之影響

經由曲線圖發現，拉伸長度對調控類複眼陣列透鏡及菲涅爾透鏡都有近似線性的表現，並獲得以下線性公式。

(1).類複眼陣列透鏡似線性公式

$$Y = 3.87 * X + 154.54$$

其中，Y：表示類複眼陣列透鏡微結構直徑(μm)；X：表示拉伸長度(mm)

(2).菲涅爾透鏡近似線性公式

$$Y = 0.0057 * X + 0.99$$

其中，Y：表示菲涅爾透鏡其中一圈之尺度變化情況(mm)；X：表示拉伸長度(mm)

(二) 仿生科技：不同實驗參數複製類複眼陣列透鏡成形性之影響

1. 不等氣體壓力充填下對類複眼陣列透鏡成形性之影響

本部分經由調控不等壓力情況下，探討對類複眼陣列透鏡成形性之情況，實驗結果顯示，當氣體充填彈性氣膜球的錶壓力值愈高，將對類複眼母模具有更大的力量表現，氣體充氣錶壓力值與彈性氣膜球直徑將隨之成近似線性之趨勢，經由軟體分析後，可以獲得以近似線性公式進行估算。如式 5.1、表 5.2 及圖 5.2 所示；

$$Y=0.42X+6.6 \quad (\text{式 } 5.1)$$

其中，Y 代表填彈性氣膜球直徑(cm)，X 代表充氣氣壓錶壓力值(kgf/cm²)，可以經由此公式，快速調控實驗過程中所需之彈性氣膜球直徑和充氣氣體壓力值。

表 5.2 氣體充氣錶壓力值與彈性氣膜球直徑之實驗

錶壓力值(kgf/cm ²)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
填彈性氣膜球直徑(cm)	6.68	7.106	7.29	7.436	7.574	7.987	8.018	8.19	8.499

0.5kg/cm ² 6.68cm 	1kg/cm ² 7.106cm 	1.5kg/cm ² 7.29cm 
2.5.0kg/cm ² 7.574cm 	3.0kg/cm ² 	3.5kg/cm ² 8.018cm 

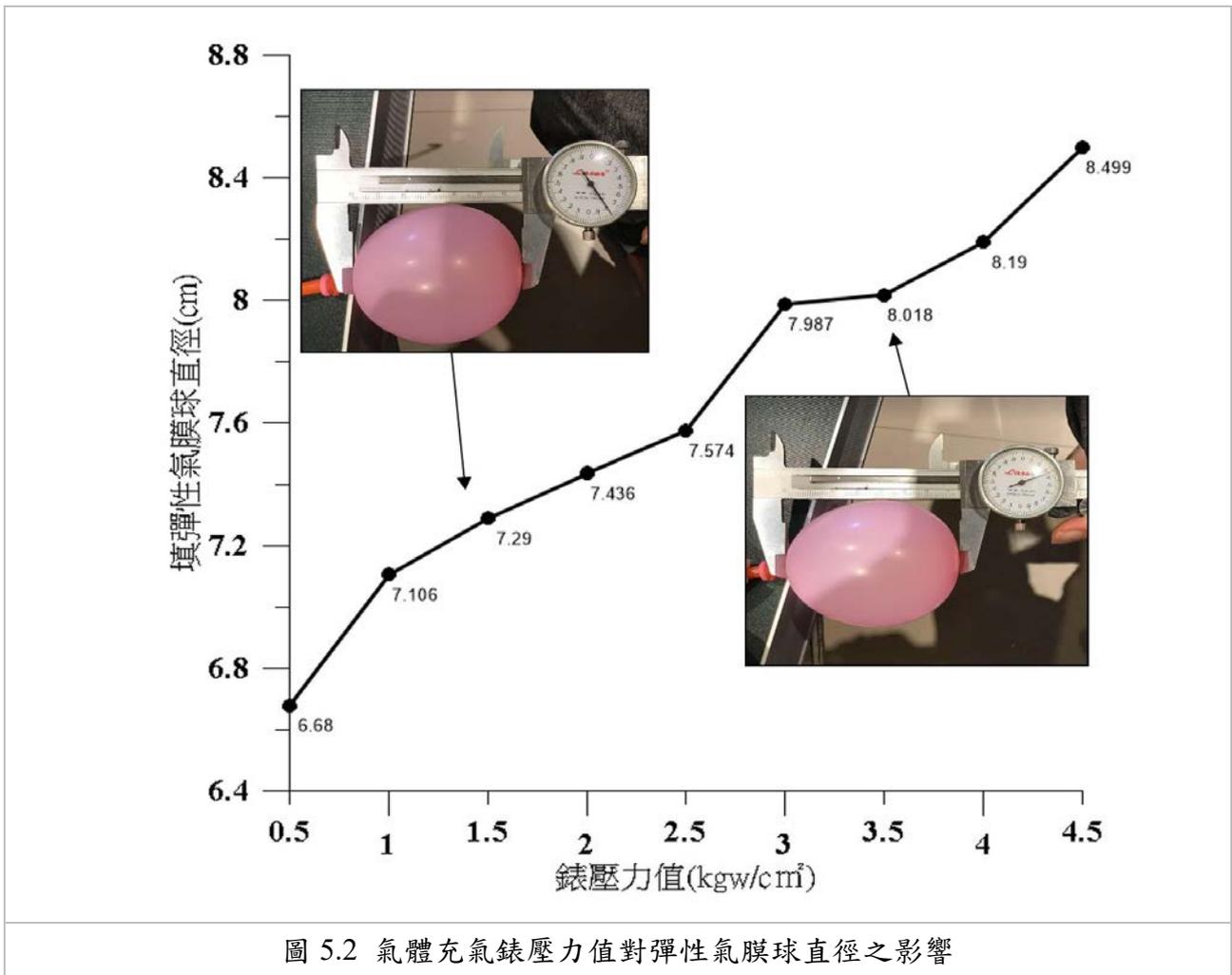


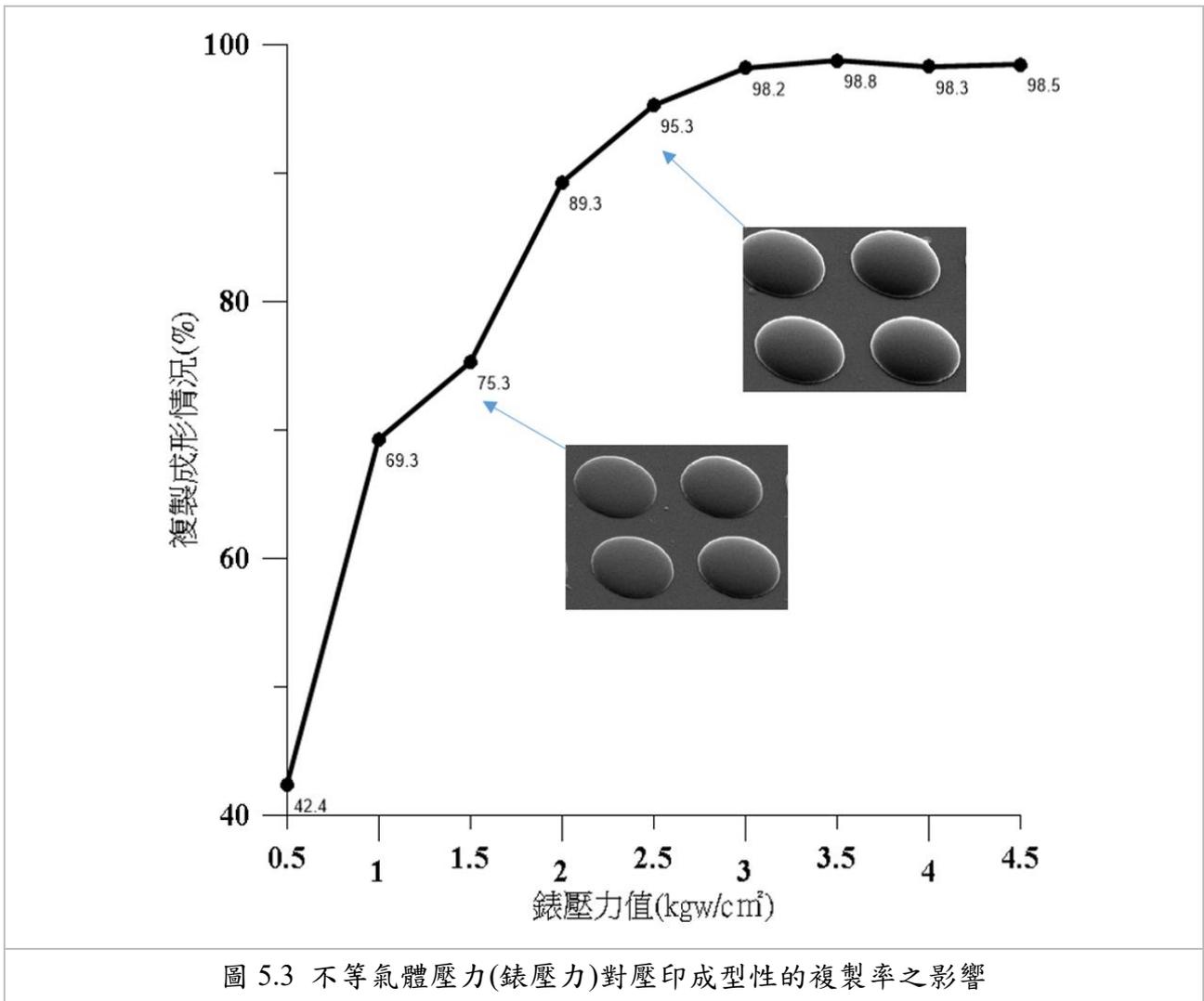
圖 5.2 氣體充氣錶壓力值對彈性氣膜球直徑之影響

壓印後，利用顯微鏡(白光顯微鏡等、SEM 掃描式電子顯微鏡等)進行壓印成型性的檢測，並經由比對 PDMS 的結構尺寸(深度)以及光阻劑(SU8)成形後的外型輪廓(高度等)進行比對，獲知氣體壓力增加對壓印成型性的複製率，

實驗同時進一步經由調控不等壓力情況下進行壓印孔洞直徑 150 μ m 的模具之複製實驗，實驗結果顯示，隨著氣體壓力(錶壓力)的提高對壓印成型性的完整複製率將隨之提高，並獲得不同的曲率透鏡的成形表現。另外，在本實驗中約到錶壓力 3(kgf/cm²)所提供的氣體之彈性氣膜球壓印複製下可以達到 98.2%以上之複製率，並隨之在提高彈性氣膜球氣體壓力仍維持在 98.2%~98.8%範圍內，如表 5.3、圖 5.3 所示。

表 5.3 不等氣體壓力(錶壓力)對壓印成形性的複製率情況

錶壓力值(kgf/cm ²)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5
複製成形情況(%)	42.4	69.3	75.3	89.3	95.3	98.2	98.8	98.3	98.5



2. 不等持續壓印時間下對類複眼陣列透鏡成形性之影響

本部分設定固定充填氣壓並足以形成 150 微米(μm)可形成半圓球透鏡的固定錶壓力下，充氣彈性氣膜球作為介質，進行施壓於類複眼母模具並開始計時(表 5.4)，比較條件相對應的複製類複眼陣列透鏡的成形表現。

表 5.4 不等持續壓印時間下對類複眼陣列透鏡複製成形情況

持壓時間(秒)	5	10	15	20	25	30	35
複製成形情況(%)	72.5	76.8	88.6	95.6	98.7	97.6	98.3

將類複眼陣列透鏡成品架設在此量測裝置的右方，以光學檢測其成形均勻性，以雷射筆照射其成品的各個位置，使其聚焦成像於左方的成像布幕。經由電腦進行色階分析後可以發現，成形均勻性都相當均勻，如圖 5.4。

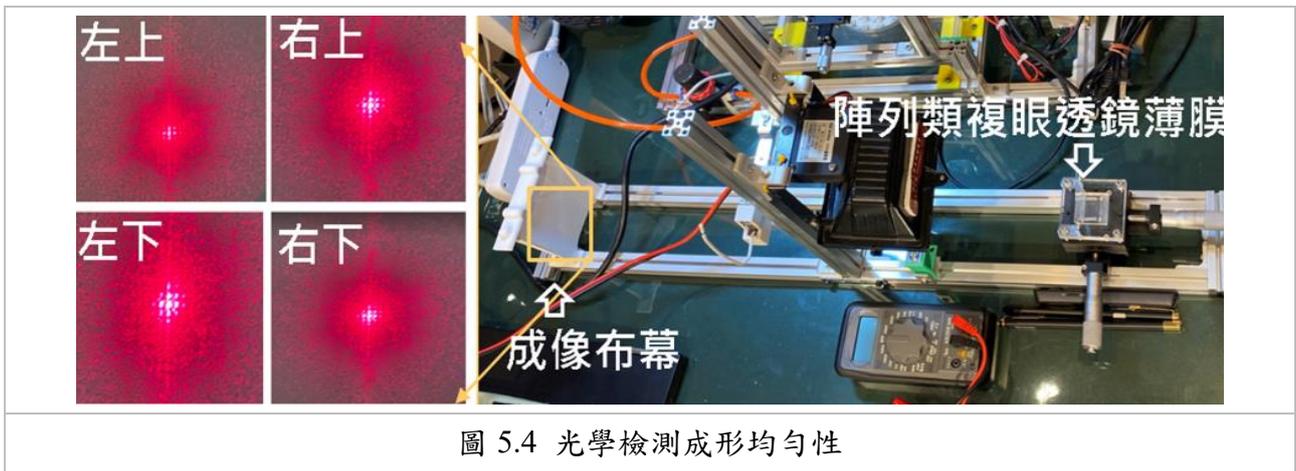


圖 5.4 光學檢測成形均勻性

實驗結果顯示，隨著持壓時間愈久，其成形性將隨著提高，同時在本部分實驗條件下，約到 25 秒的穩定成形極限時間，其複製成形已趨於穩定，然隨著時間增加將不會有更明顯或更高的成形效果，在這七組實驗過程中，最好的複製成形情況是 98.7%，如圖 5.5 所示。

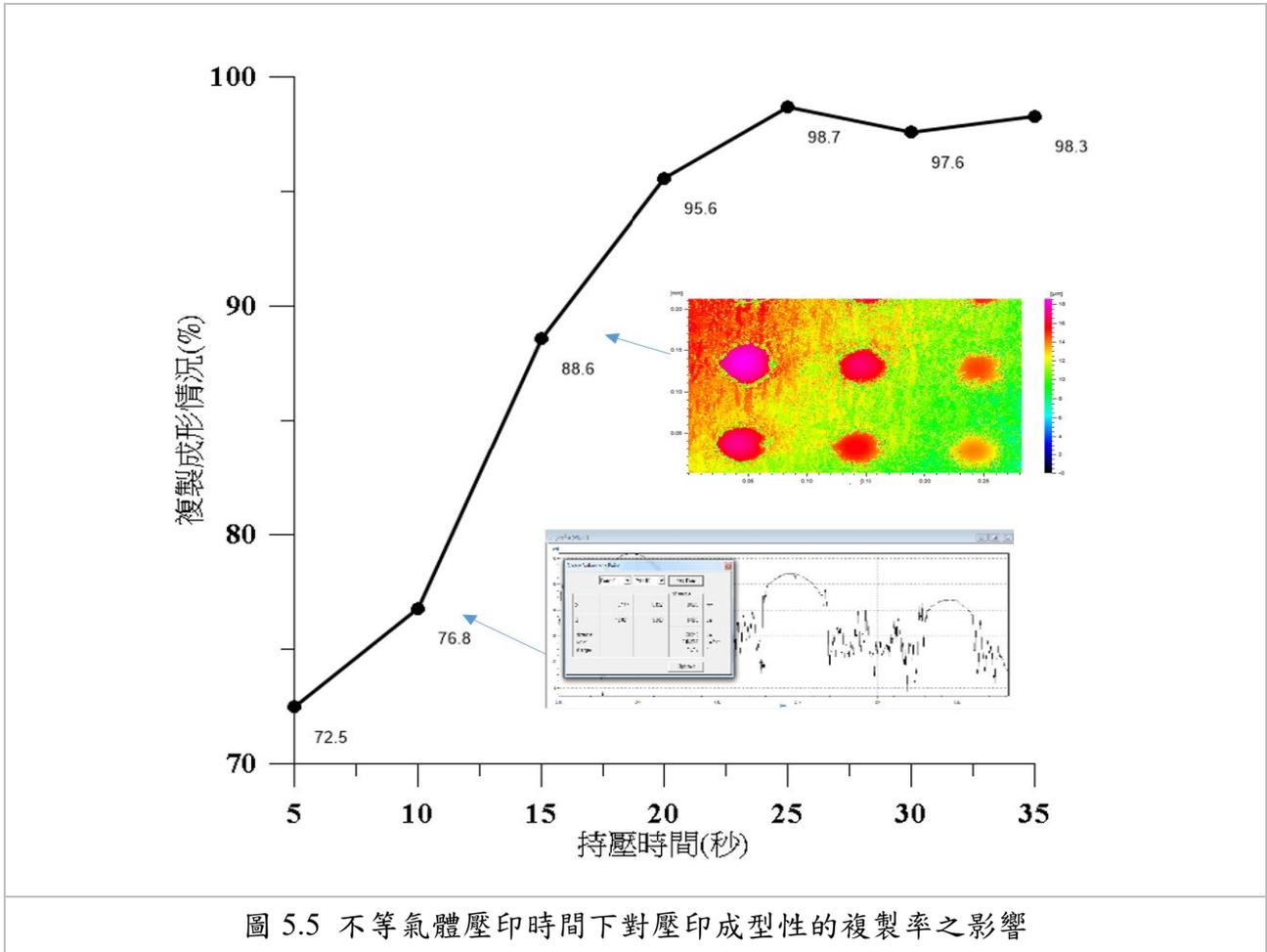


圖 5.5 不等氣體壓印時間下對壓印成型性的複製率之影響

(三) 光捕捉：不同類複眼陣列透鏡對提高太陽能板發電效率之影響

在三方向重複利用性類複眼母模具實驗中，經由三方向的拉伸後，隨著拉伸長度愈大，會使得重複利用性類複眼母模具，在固定面積下的類複眼陣列數目愈少。經由取用 0、2、4、

6、8、10mm 之拉伸測試之情況，進行複製壓印實驗並將其置於太陽能板上方，以 150W 鹵素燈管在相同高度下，進行照光發電效率測試，實驗結果顯示，其發電效率分別提升(式 5.3)的數值為之遞減，如表 5.5 所示，

計算方式：發電效率(瓦)=電流(安培)*電壓(伏特) (式 5.2)

發電效率提升(%) =

$$\frac{(\text{有類複眼陣列透鏡薄膜/石墨烯塗佈層之太陽能板發電效率}-\text{太陽能板之發電效率})}{\text{太陽能板之發電效率}} \quad (\text{式 5.3})$$

經實驗得知，固定照光範圍與固定類複眼陣列透鏡薄膜高度下，密度愈高類複眼陣列透鏡結構愈小，發電效率提升愈高，反之陣列密度愈低、類複眼陣列透鏡結構愈大，發電效率提升較小，如圖 5.5 所示。照光發電效率測試檢測鋪設後提升 7.86%效率；在固定電流下，進行 24 小時、48 小時的長時間照光實驗量測電壓，以太陽能電池接於蓄電池進行充電測試電量變化，發電效率接近 7.86%，等同於短時間照射檢測結果，如圖 5.6 所示。

表 5.5 不等類複眼陣列透鏡密度(拉伸長度)對發電效率提升之情況

三方向拉伸長度(mm)	0	2	4	6	8	10
發電效率提升(%)	7.86	7.32	6.85	6.55	6.38	5.63

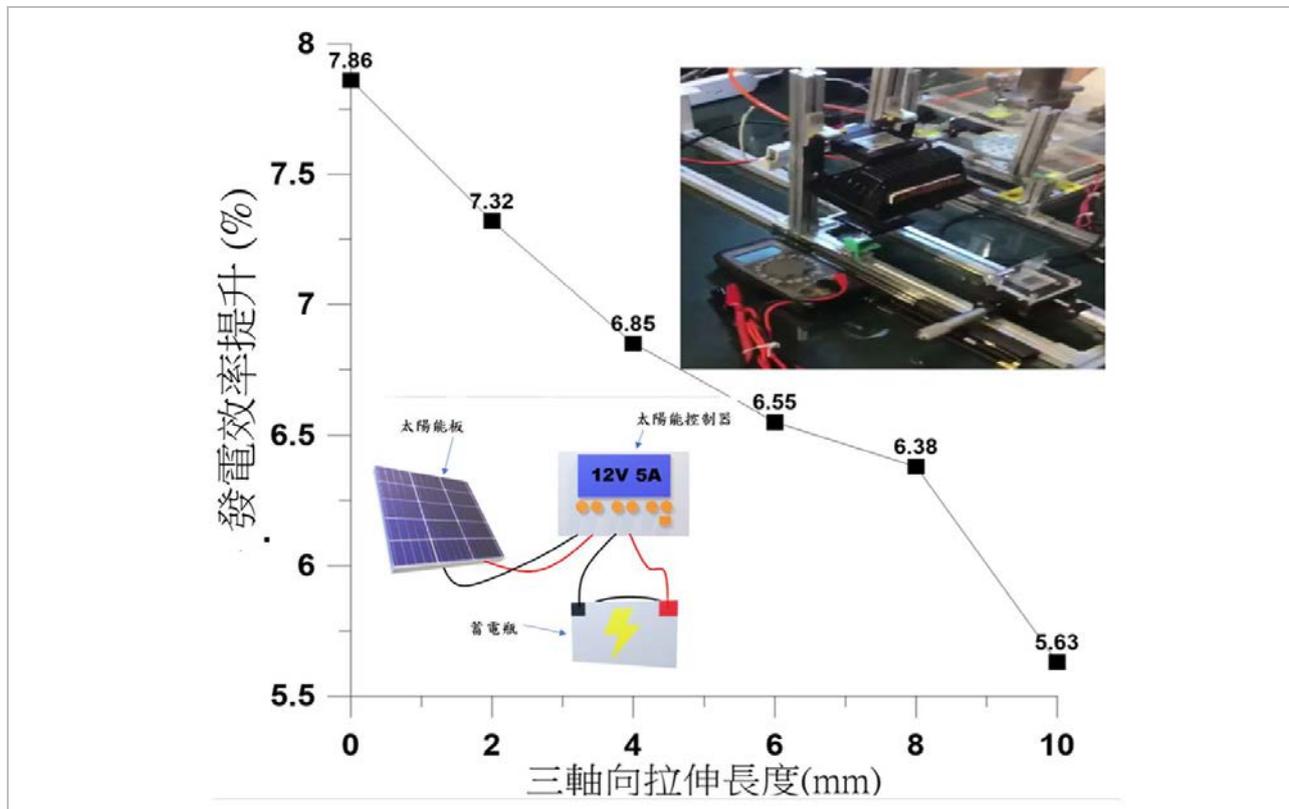


圖 5.6 不等類複眼陣列透鏡密度(拉伸長度)對發電效率提升之影響

(四) 光捕捉：複合石墨烯薄層於類複眼陣列透鏡對提高太陽能板發電效率之影響探討

本部分實驗持續上節討論，並致力於複合石墨烯於類複眼陣列透鏡膜上，進行太陽能板發電效率之影響探討，本團隊為了讓石墨烯能均勻分布於類複眼陣列透鏡膜，本團隊於石墨烯厚度製備部分，皆會預先將石墨烯溶液經由超音波震盪 10 分鐘(圖 5.7(a))，使得石墨烯破層脫層並於液態中分散更為均勻，同時團隊自行組裝一簡易型可控轉速之旋轉塗佈機器((圖 5.7(b))以及一噴塗石墨烯系統(圖 5.7(c))，並結合利用已經完成的類複眼陣列透鏡膜，將其置於塗佈平台上並固定進行石墨烯複合層製備。

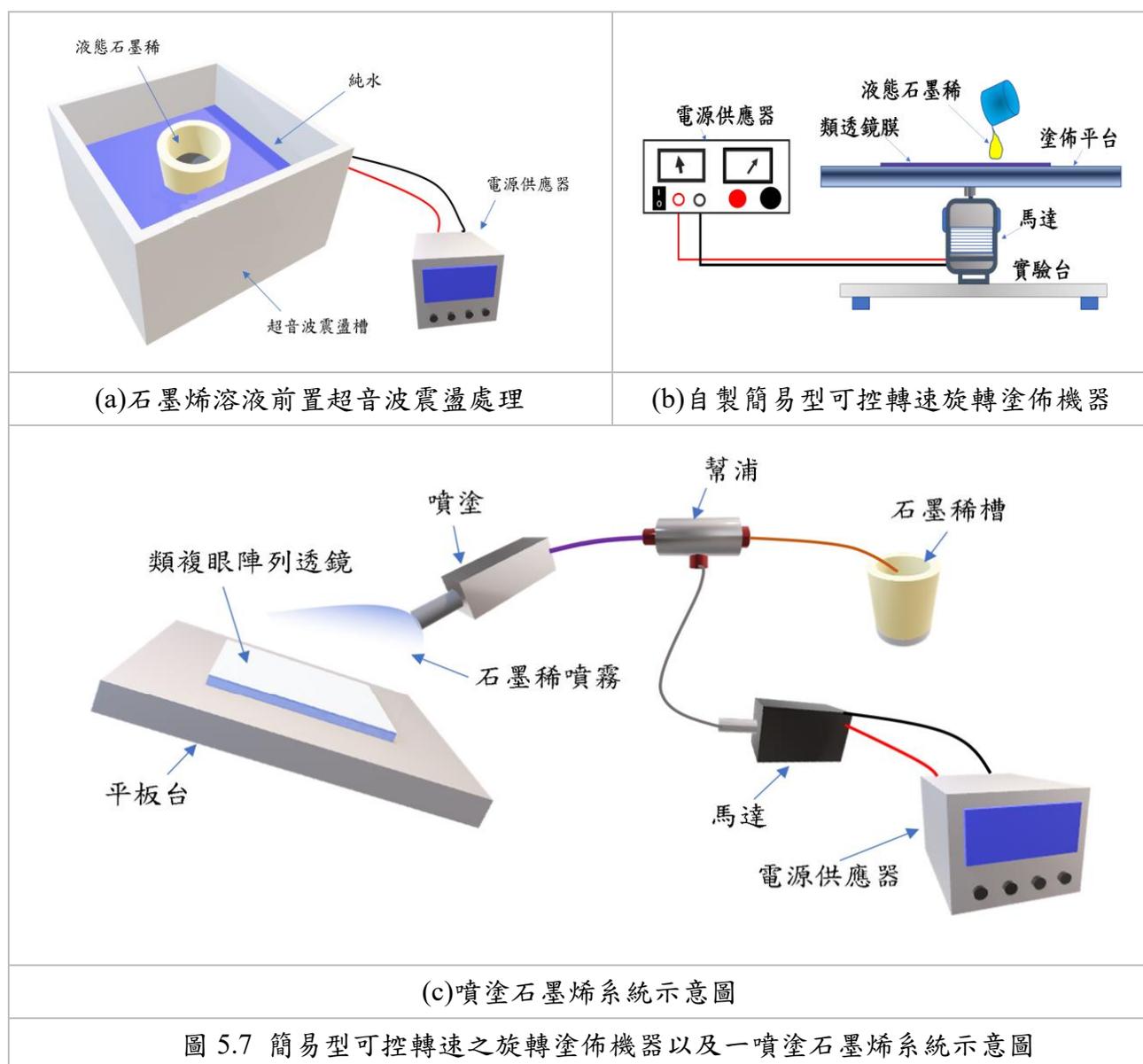


圖 5.7 簡易型可控轉速之旋轉塗佈機器以及一噴塗石墨烯系統示意圖

自製簡易型可控轉速之旋轉塗佈機製備石墨烯複合薄膜部分：首先經由本團隊於業界(台灣安炬公司)購得的液態石墨烯產品，經取用適量的液態石墨烯澆滴於複眼陣列透鏡(直徑 150 μ m 類透鏡陣列)膜上，並利用電源供應器調控電壓大小，以控制旋轉塗佈轉速，同時隨著

旋轉速度提高對石墨烯厚度隨之薄化，獲得石墨烯薄膜層，同時將獲得複合石墨烯薄層於類複眼陣列透鏡後，將其置於烘箱設定在 125~130 度溫度範圍，實驗設定約 1.5 小時，並靜置一天，可以獲得完整複合具石墨烯薄層於類複眼陣列透鏡膜，以作為本部分實驗樣本。

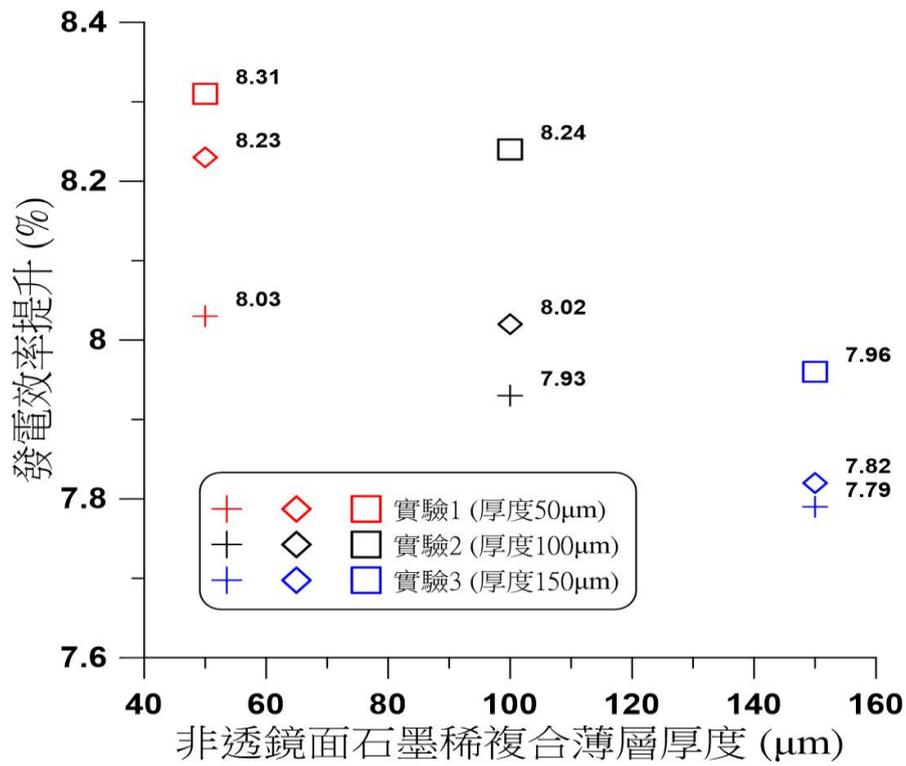
噴塗石墨烯系統製備石墨烯複合薄膜部分：其作法是利用噴塗系統可以獲得更薄的石墨烯薄膜。本部分利用固定的噴塗氣壓，並設定不等移動速率與重複噴塗次數作為噴塗調控參數，經由不等噴塗速率與噴塗次數後，可以獲得不等厚度的石墨烯噴塗薄層。

1. 石墨烯厚度對發電效率的影響

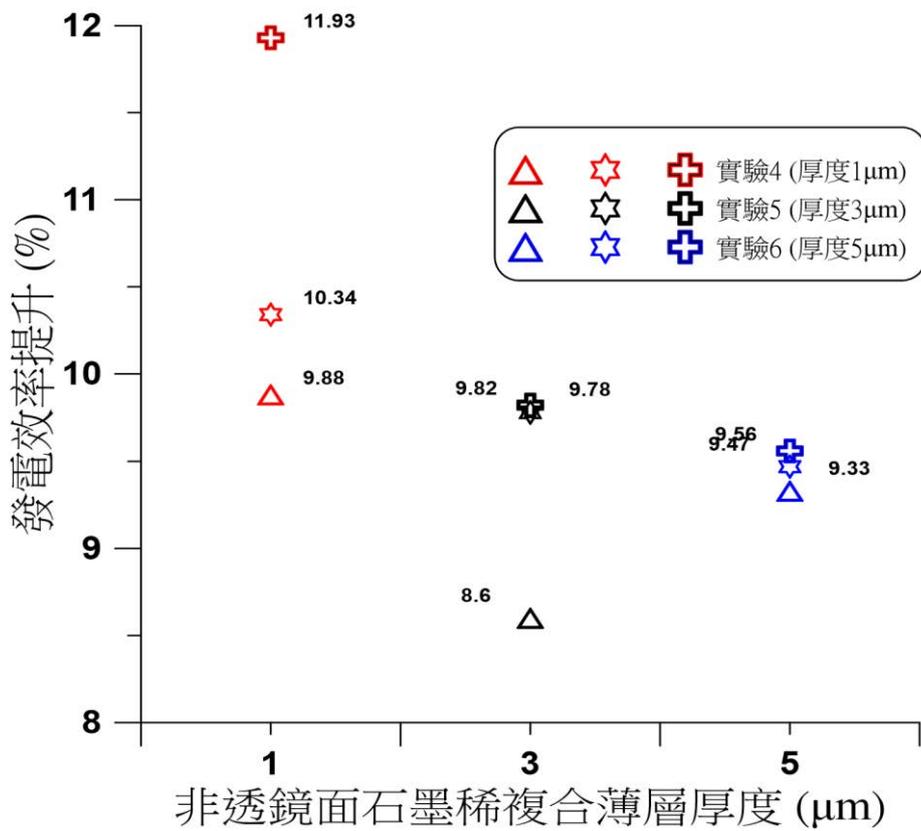
本部分實驗分別針對類複眼陣列透鏡膜的非透鏡面以及透鏡面，作為石墨烯薄層製作面，並進行主要評估。

非透鏡面部分，分別使用自製的簡易型旋轉塗佈機，以及噴塗石墨烯系統進行液態石墨烯的均勻塗佈這兩種方式或可以獲得從薄到較厚的石墨烯薄層，本團隊於石墨烯厚度製備部分，先利用旋轉塗佈機製備，預先將石墨烯溶液經由超音波震盪 10 分鐘，以期石墨烯碳層脫層，並膠滴於非透鏡面，並控制不等轉速獲得三種不等厚度(50 μm 、100 μm 、150 μm)，以及經噴塗石墨烯系統獲得三種厚度(1 μm 、3 μm 、5 μm)作為本部分評估厚度。

經研究原先設計相同的發電效率測試步驟，進行上列六種不等石墨烯厚度對發電效率影響之實驗，經實驗結果顯示，非透鏡面石墨烯薄層有提高發電效率的結果，經照光發電效率提升測試檢測，都相較於原本 7.86%效率更加提高，在本實驗中自製簡易型旋轉塗佈 50 μm 厚最佳照光發電效率提升 8.23%；另噴塗石墨烯在 1 μm 厚度下發電效率提升最佳為 11.93%；實驗得知，隨著厚度愈厚，其發電效率並無法有效提高，反而降低；此外，在本實驗中石墨烯厚度愈薄，其發電效率增加效果較為顯著，如圖 5.8 所示。



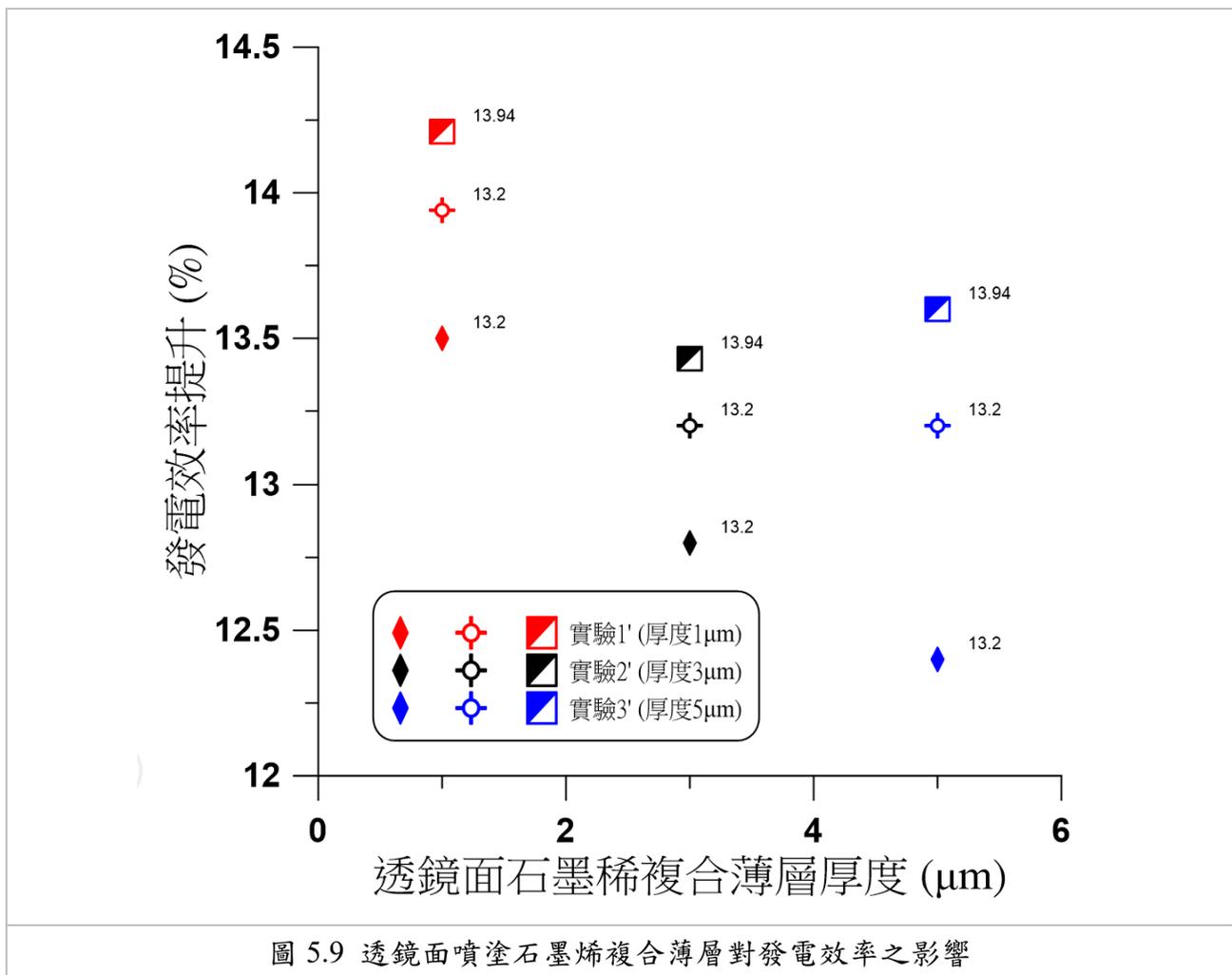
(a) 自製簡易型旋轉塗佈不等厚度對提升發電效率之影響



(b) 噴塗石墨烯不等厚度對提升發電效率之影響

圖 5.8 非透鏡面石墨烯複合薄層對提升發電效率之影響

透鏡面部分，因有類透鏡微結構具高低起伏，因此無法使用旋轉塗佈的方式進行石墨烯薄層製作，因此在此部分本團隊以噴塗石墨烯系統製備石墨烯複合薄膜，並於製備後，本團隊利用相同實驗程序進行發電效率的實驗。實驗結果顯示，透鏡面部分噴塗石墨烯有較明顯提高發電效率的程度，透鏡面噴塗石墨烯複合薄層 $1\mu\text{m}$ 厚度下，發電效率提升最佳為 14.21% ，隨著噴塗厚度增加，反而有反向的效應，也就是有一瓶頸區，在本實驗中愈薄的噴塗厚度，有較高的發電效率提升，如圖 5.9 所示。綜整本節之小結論，即是石墨烯複合薄層對發電效率有著較有效的光捕捉的效果，然而較厚的噴塗厚度，對光捕捉現象較差，探討其主要原因，可能因石墨烯團聚因素較嚴重，無法有效展現其材料特性，近而影響其光捕捉效果。



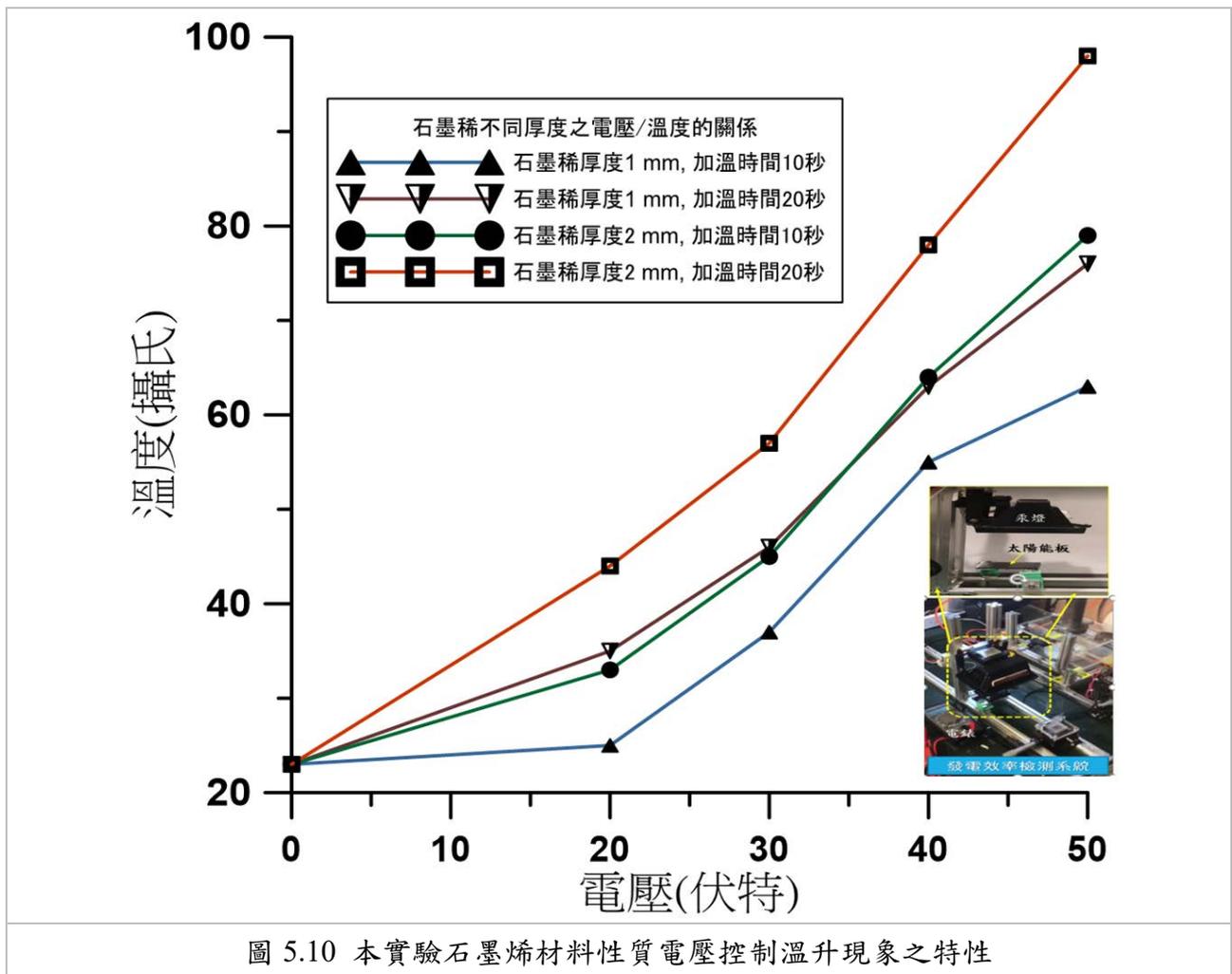
2. 照光時間與溫升效應對發電效率的影響

實驗過程中，團隊成員發現隨著光照時間增加，對石墨烯的薄層溫度有提高現象，因此本部分持續針對試著對石墨烯的薄層進行較進一步的實驗，以及對石墨烯溫升效應與發電效率進行探討。首先進行無結構面，利用均勻塗佈石墨烯並在兩邊埋置導電材料以及利用電器絕緣的聚酯膠帶貼附熱電偶進行量測過程中的溫度擷取，並利用電源供應器施予電壓，藉以

探討本實驗石墨烯材料基本溫升現象與條件，實驗結果顯示，隨著電壓調控過程中，溫升現象明顯而且相當快速，如表 5.6、圖 5.10 所示。另一角度來看，也可以說明，本實驗材料在不等薄層厚度上，具有穩定分布的石墨烯材料。

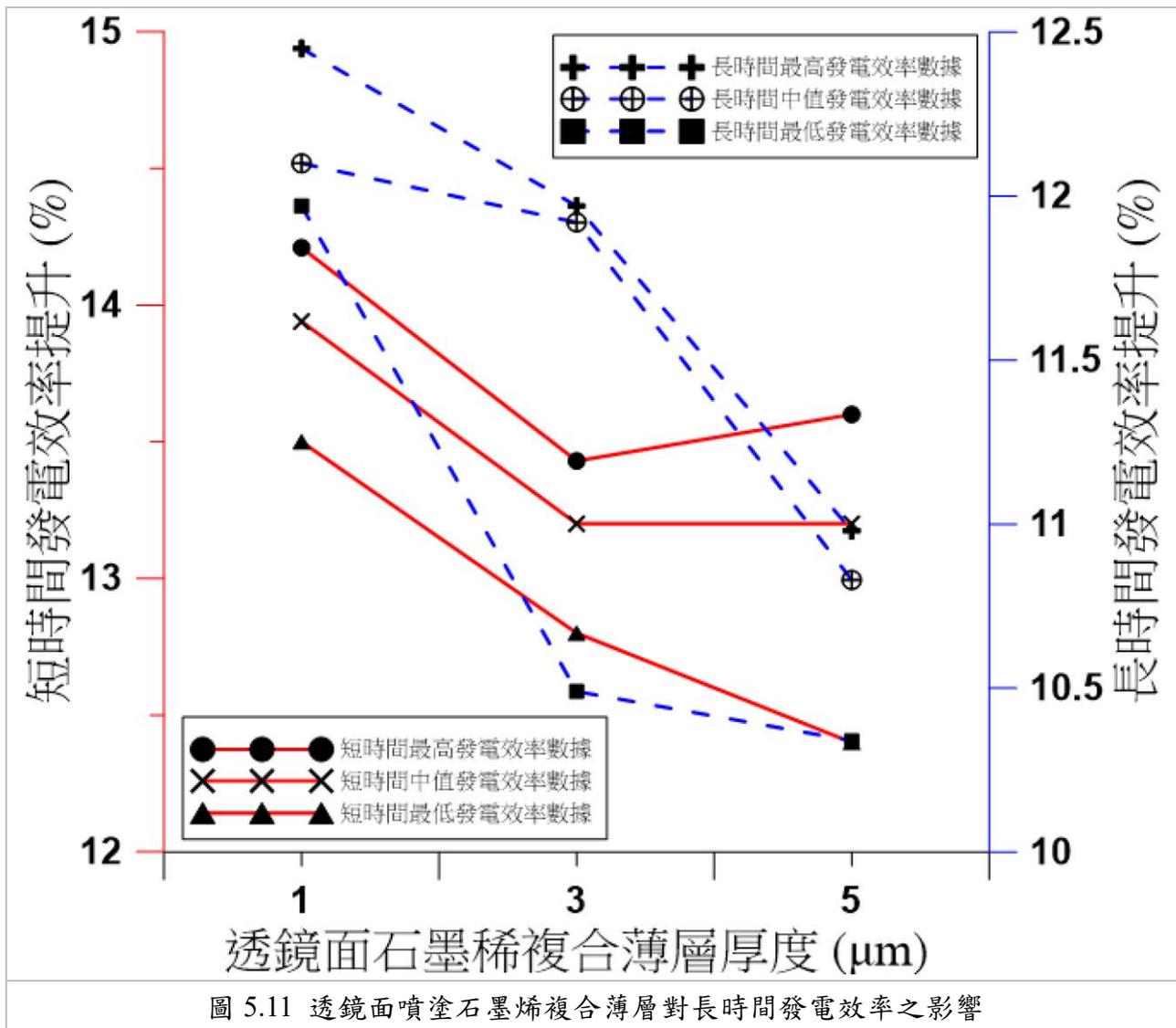
表 5.6 電壓調控與石墨烯薄膜溫升情況

		加溫時間(秒)									
		10					20				
石墨烯厚度 1 mm	電壓(伏特)	0	20	30	40	50	0	20	30	40	50
	溫度(攝氏)	23	25	37	55	63	23	35	46	63	76
石墨烯厚度 2 mm	電壓(伏特)	0	20	30	40	50	0	20	30	40	50
	溫度(攝氏)	23	33	45	64	79	23	44	57	78	98



接著，本實驗經由利用透鏡面噴塗石墨烯複合薄層的方式，經由多組實驗組別與不等複合厚度與光照時間進行實驗。實驗結果顯示，透鏡面噴塗石墨烯複合薄層 1 μ m 厚度，發電效率(3 分鐘)提升最佳為 14.21%，但隨著光照時間的增加(24 小時)後，發電效率提升最佳為 12.45%，同時經量測後其溫度亦高於短時間的發電效率測試情況，也因此原因，石墨烯薄層溫升隨之提高，在太陽能板發電效率部分，溫度對於發電效率是有影響的，因此隨著溫度持

續累增後，達到本實驗之極限值後，發電效率隨之下降明顯，此部分亦可說明圖表的發電效率數據順降表現(圖 5.11)。



總整本部分，照光時間將會有機會提高石墨烯薄層溫升表現，同時有機會間/直接影響到發電效率，因團隊的自製設備精度限制，無法均勻獲得更為薄層的石墨烯層，或許更有機會可以獲得更好的成果，因此如何在光捕捉、溫升以及發電效率取得最佳值，預估將是未來本團隊將來在克服自製設備精度技術問題後，可以持續研究的議題。

(五) 增能探討：可調控之菲涅爾透鏡聚焦方式與可能對提高太陽能板發電效率初步影響探討

本部分實驗經由自行開發的三方向重複利用性母模具實驗中，經由將中間模具澆鑄複製成為菲涅爾透鏡作為初步探討。經由取用不等之拉伸測試之情況，可以發現隨著拉伸長度增加，菲涅爾透鏡的結構亦隨加大，並進行調整適當高度，找出不等拉伸長度之菲涅爾透鏡焦

距。經實驗結果顯示，隨著拉伸距離增加，焦距高度亦隨之提高，此部分說明了研究研製的系統設備，經由拉伸調控菲涅爾透鏡模具方式，能快速獲得隨著拉伸距離改變的菲涅爾透鏡焦距，提供未來進一步獲得以菲涅爾透鏡來提高太陽能板發電效率之可行性，如表 5.7、圖 5.12 所示。

表 5.7 不等菲涅爾透鏡拉伸長度對焦距之影響

三方向拉伸長度(mm)	0	1	2	3	4	5	6
焦距(cm)	7.23	7.28	7.34	7.57	7.73	7.85	8.02

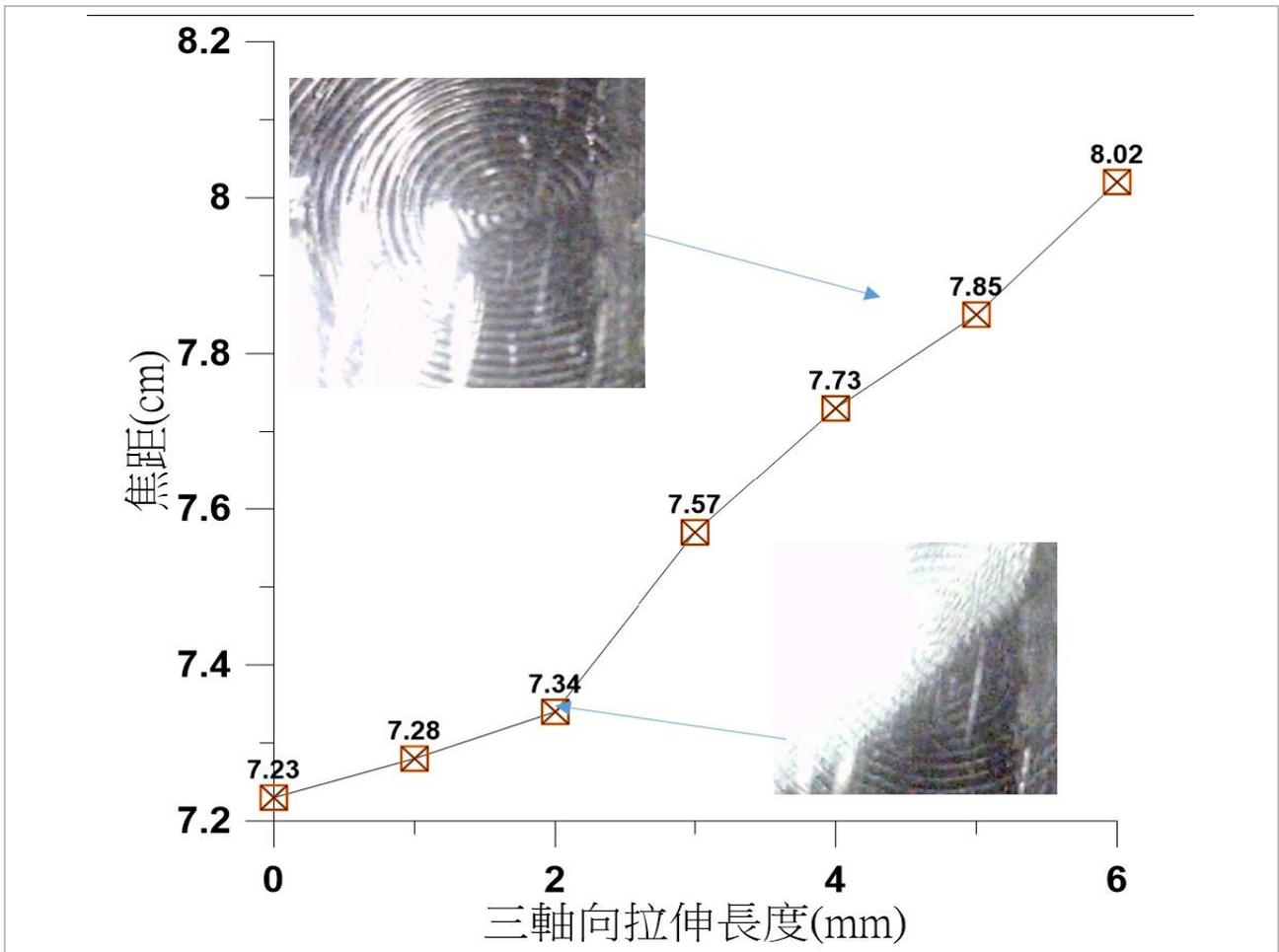


圖 5.12 不等菲涅爾透鏡拉伸長度對焦距之影響

六、 結論

本團隊首先自行研製一可經由氣體輔助均勻複印出複眼陣列結構之系統，同時製作一可以調控互補結構陣列週期之具重複利用性複眼母模具，經由一系列的實驗後，歸納出以下結論：

- 1、 經由仿生創意：探討不等拉伸長度對調控類複眼陣列透鏡及菲涅爾透鏡互補結構之影響上發現，拉伸長度對調控類複眼陣列透鏡及菲涅爾透鏡都有近似線性的表現。
- 2、 複製類複眼陣列透鏡成形性實驗中，當氣體充填彈性氣膜球的錶壓力值愈高，將對類複眼母模具有更大的力量表現。在隨著氣體壓力(錶壓力)的提高對壓印成型性的完整複製率將隨之提高，並獲得不同的曲率透鏡的成形表現，本實驗中約到錶壓力 $3(\text{kgf}/\text{cm}^2)$ 所提供的氣體之彈性氣膜球壓印複製下可以達到 98.2% 以上之複製率。
- 3、 本部分實驗條件下，約到 25 秒的穩定成形極限時間，其複製成形已趨於穩定，然隨著時間增加將不會有更明顯或更高的成形效果。
- 4、 在固定照光範圍與固定類複眼陣列透鏡薄膜高度下，密度愈高、類複眼陣列透鏡結構愈小，發電效率提升愈高，反之陣列密度愈低、類複眼陣列透鏡結構愈大，其發電效率提升較小，發電效率提升 7.86%。
- 5、 非透鏡面石墨烯複合薄層，以自製簡易型旋轉塗佈 $50\mu\text{m}$ 厚，最佳照光發電效率提升 8.23%；另噴塗石墨烯在 $1\mu\text{m}$ 厚度，發電效率提升最佳為 11.93%。
- 6、 透鏡面噴塗石墨烯複合薄層 $1\mu\text{m}$ 厚度，發電效率提升最佳為 14.21%，但隨著光照時間的增加(24 小時)後，發電效率提升最佳為 12.45%，顯示溫度對於發電效率是有影響。
- 7、 可調控之菲涅爾透鏡聚焦方式，提供未來進一步獲得以菲涅爾透鏡來提高太陽能板發電效率之可行性。

七、 未來展望

本團隊進行 0、2、4.....10 mm 不等拉伸長度的實驗，發現密度越高，擁有較高的發電效率，未來如果有機會繼續加深研究，將進一步進行不同孔徑以及不等週期的研究的類複眼結構，研究探討目前筆電液晶螢幕(Liquid-crystal display, LCD) 其背光模組，即是有使用到高分子材料製作的陣列透鏡，主要在於提升透反式液晶顯示器之光效率，同時目前市面上發展的可撓式 LCD，軟性液晶螢幕，在發光均勻性上隨著曲度不一樣，陣列透鏡也扮演著重要角色(可經由調整整個區域陣列透鏡的大小不同，設計出不同曲面(曲率)但有相同的光效率產出)。

八、參考文獻資料及其他

1. 翁長志. (2020). 吳明益《複眼人》中的科幻書寫與生態議題. 台灣文學與跨國文化研究所, 1-43.
2. 蔡任圃. (2001). 單眼與複眼在蟑螂運動行為上的調控功能. 臺灣師範大學生物學系學位論文, 1-148.
3. 丑宛茹. (2013). 向自然學習的仿生設計. 實踐設計學報, (7), 114-127.
4. 林木壹. (2014). 蚊子結構的啟發與仿生應用. 虎尾科技大學生物科技研究所學位論文, 1-71.
5. 國中自然課程。
6. 國中生活科科技課程。

【評語】 100010

本作品採用複眼非涅爾透鏡陣列並結合石磨烯來提升太陽板發電效率，構想創新，研究結果亦有嚴謹的討論與分析，值得鼓勵，惟在其中石墨烯的用途與效果仍需更明確的定量分析，在發電效率之評估部分，較缺乏最適負載條件下之功率估算，且較缺乏與文獻中類似研究的結果比較，勉勵作者再接再厲，持續精進，讓作品更完整。