

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 化學科

第一名

030204

『量』麗世界~探討自製可彎曲硫化銀量子點敏
化太陽電池製備條件之研究

學校名稱：苗栗縣立頭份國民中學

作者： 國一 陳可倪 國一 林禹辰 國一 林冠妘	指導老師： 李桂雲 張聖麒
---	-----------------------------

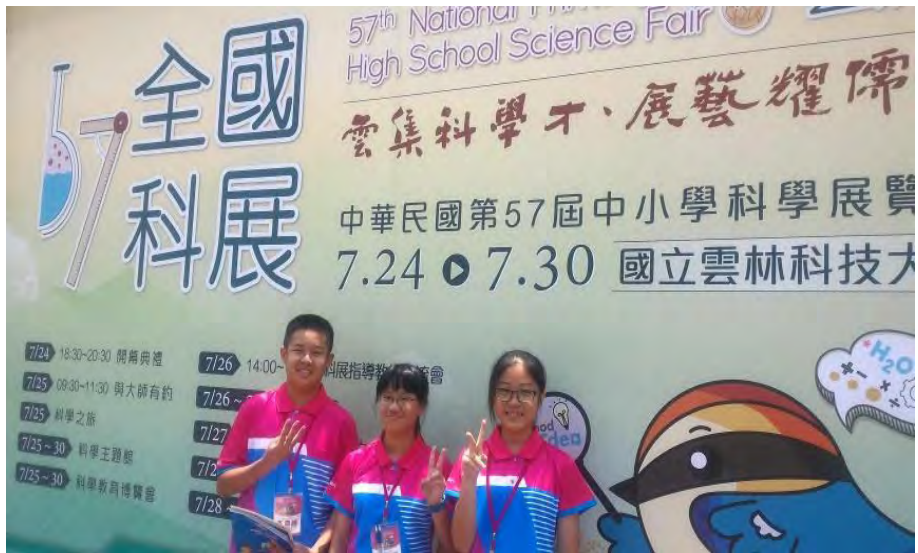
關鍵詞：可彎曲的、硫化銀量子點、糊狀電解質

得獎感言

科展，一個充滿想像、創意、挑戰的機會。猶記剛踏入雲林科大的禮堂，濃重的氣氛與肅穆，彷彿置身於科學世界的殿堂，尤其來自各地的菁英齊聚一堂，讓我們的視野開闊不少，慶幸有機會能代表苗栗縣參加全國科學展覽競賽的饗宴。頒獎前，看著每位參賽選手緊張的情緒，感同身受；在頒獎典禮的過程，逐一宣布得獎者的學校與姓名，隨著科別的排序，直到主持人：「國中組化學科第一名，得獎的是……」當下，我們的眼眶裡泛著淚水，其中一位已是淚流滿面，喜極而泣。希冀能繼續與夥伴們共同鑽研科學專題，因為好奇~探尋更多更深入的答案，讓科學夢不斷的持續萌芽…

在參與歷程學到許多科學知識與技能，更激發了我們對未知世界的探究潛力，於先備知識還在努力學習之際，仍堅持參與探索科學的機會，所堅持的信念就是「事情，既然做了，一定認真的把它做好」。我們以最認真的態度、堅持不放棄的心，來面對這次的挑戰歷程。過程中，學會蒐集及閱讀參考文獻，尋找前人所留下的成果，並且學習與夥伴們腦力激盪、集思廣益、討論問題、互助合作、克服萬難，體驗團隊精神的重要性，發揮 $1+1>2$ 的力量，同時，培養動手實作、解決問題的能力，讓實驗誤差降至最低，並發現自我的亮點。在實驗過程中，我們常笨手笨腳，在老師及學長耐心的指導與討論，不斷重複…已數不清的練習，實驗操作的能力，亦漸漸明顯提升！不僅如此，更開啟不同的思維模式、前瞻的視野，相信這對我們未來的成長，將是有很大助益！

在全國科展的競賽中，虛心地向來自於各縣市的優質高手學習，能在這次競賽作品中脫穎而出，更是倍感光榮與喜悅。感謝本校科學專題研究課程的指導老師及學長姐們，因為有您們這幾年的經驗指導與傳承、精采的成果分享與加持，讓我們有優異傑出的表現；感謝一路走來，支持我們的校長及老師、家長、同學們，給予滿滿的鼓勵以及經費的支援贊助，讓我們得以安心投入科展的研究，而無後顧之憂。回校後，定將刻苦銘心的心得和經驗，延續傳承下去，讓科學探究的夢想，在頭份國中持續的紮穩根基，進而開花結果。



▲參加第 57 屆全國科展



▲QDSC 團隊合照



▲參訪中央研究院

摘 要

以不同來源的銀材料，經化學沉積法沉積硫化銀於可彎曲材料，探討影響自製可彎曲硫化銀量子點敏化太陽能電池（以下簡稱 $\text{Ag}_2\text{S QDSC}$ ）。建議製備條件： $0.8\text{M AgNO}_3(\text{aq}) + 0.4\text{M Na}_2\text{S}(\text{aq})$ 製備沉積 4 層硫化銀量子點，搭配添加幾丁聚醣製成之糊狀電解質處理，正極材料使用少層奈米石墨稀，相較於其他處理組，具有較佳效能。使用銀線作為串聯之材料，可降低其中之電阻，增加其效能，串聯 2 組電壓為 1.02V ，可驅動數位時鐘，串聯 3 組電壓為 1.64V ，可驅動計時器。

壹、研究動機

在校內科學研究社團課程中，老師邀請教授到校指導我們製作染料敏化太陽能電池，讓我們深刻體會到再生能源-太陽電池的微弱效能與可貴。因此，我們開始討論，思考以提升太陽電池效能的製作為出發點，開發簡易的製程，同時改良他的耐摔性、增廣實用性，同時降低成本…等方向改進，透過集思廣益、創意發想、預備實驗與討論，再加上延伸資料的搜尋與閱讀，展開自製可彎曲硫化銀量子點敏化太陽能電池的探究之旅。

貳、研究目的

- 一、探討不同材料，觀察對自製可彎曲 $\text{Ag}_2\text{S QDSC}$ 製備條件的影響。
- 二、以不同濃度的硝酸銀、沉積不同層數，自製可彎曲 $\text{Ag}_2\text{S QDSC}$ 比較其差異。
- 三、比較不同來源的銀材料與硫化鈉，自製 $\text{Ag}_2\text{S QDSC}$ ，觀察比較結果差異。
- 四、使用不同的電解液，測量自製 $\text{Ag}_2\text{S QDSC}$ 之效能及光電轉換率之差異。
- 五、探討不同的串聯之材料及方式，測量其應用效能之比較。

參、研究器材

1.本實驗所使用之可彎曲基材(請見表一)：










(1)PI 薄膜：聚醯亞胺 (Polyimide；簡稱：PI)。

(2)PET 薄膜：聚對苯二甲酸乙二酯 (Polyethylene terephthalate；簡稱：PET)。

(3)PC 薄膜：聚碳酸酯 (Polycarbonate；簡稱：PC)。

2.實驗材料:

表一、實驗所使用之各項材料照片

材料名稱	PI 薄膜	PET	PC 薄膜	中空墊片
照片				
材料名稱	導電膠	石墨烯	多層奈米石墨烯	少層奈米石墨烯
照片				
材料名稱	奈米銀線	/		
照片				

3.藥品：粒徑 14nm TiO₂、碘化鉀、碘、乙二醇、甲醇、乙醇、稀醋酸、界面活性劑、絕對酒精、硝酸銀、硫化鈉、水溶性幾丁聚醣。

4.掃描式電子顯微鏡(Scanning electric microscope;簡稱 SEM)：感謝國立台灣大學高分子所，協助掃描式電子顯微鏡之拍攝。

5.其他器材：燒杯、滴管、玻棒、鑷子、黏著劑、隱形膠帶、夾子、漏斗、銀線(0.3mm)、粗銅線(2mm)、中銅線(1mm)、細銅線(0.5mm)、銅片(0.3mm)、鱷魚夾線(0.5mm)、三用電錶、平板加熱器、培養皿、光電轉換測定儀。

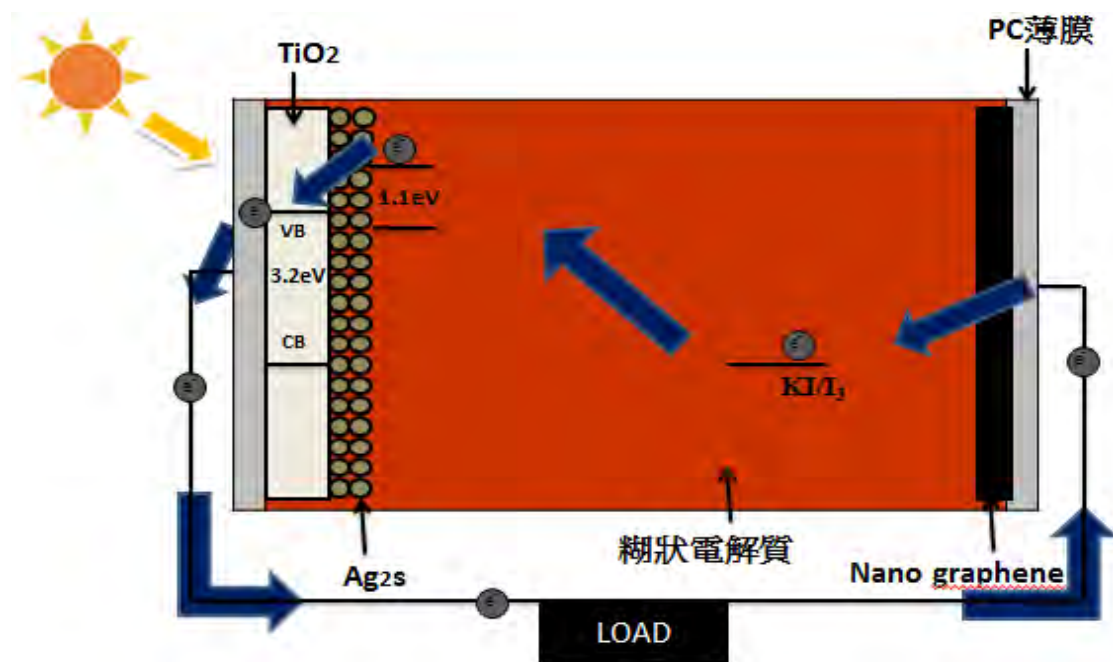
6.模擬光源：T5 燈管(56W)、鹵素燈(光電轉換測定儀用之模擬日光源)。

肆、文獻整理

量子點敏化太陽電池(Quantum Dots- sensitized Solar Cell;以下簡稱為：QDSC)是運用半導體的材料，是介於導體與絕緣體，利用能隙、能階的存在及量子侷限效應、衝擊離子化效應，使量子點材料能有快速傳導與提供高密度電流。

QDSC 乃源自於染料敏化太陽電池為基礎之構造。包括透明導電材料，光電極(電池之工作負極)，光敏劑，電解質，對電極(電池之工作正極)五個部分，如下圖所示。兩者的工作原理相似，只是前者選擇窄帶隙半導體量子點取代有機染料分子作為光敏劑，連接到寬帶隙半導體如奈米等級 TiO_2 等光電極材料上，使其達到敏化之效果。下圖是以本實驗製備硫化銀量子點敏化奈米二氧化鈦太陽電池為例之工作原理說明：

◎工作原理：

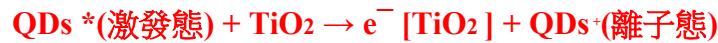


1.量子點吸收太陽光後，使量子點電子獲足夠能量，從基態(QDs⁺)躍遷成激發態(QDs*)。因激發態電子是較不穩定的，又 Ag₂S 為高能階之化合物，可注入到能階較低之 TiO₂，使 TiO₂獲得電子，此時，失去電子的 Ag₂S 量子點轉為帶正電(離子態)：

(1)照光後，量子點(TiO₂)吸收光能(light)，由基態(QDs⁺)躍遷為激發態(QDs*)。



(2)當量子點激發態(QDs*)的電子注入能階較低的半導體顆粒(TiO₂)中，而量子點自身則失去電子。



2.失去電子的量子點，會從電解質(I⁻/I₂)中獲取電子，使量子點回復;而電解質(I⁻/I₂)所失去的電子，會經由(正極)的少層奈米石墨烯導電層中補充。



3.進入 TiO₂ 導電的傳導電子，在微晶網絡中交互傳遞，電子經過外部迴路到達另一基板(正極)的少層奈米石墨烯導電層，再經太陽元件的迴路產生流通的電流。



4.經過上述之反應不斷循環，而持續產生電能。

以量子點作為太陽能電池敏化物質，為目前極具潛力之應用。作為太陽能電池敏化物質，有別於染料敏化型太陽能電池之有機染料分子，量子點之吸收波段可藉由改變製程變因(包括材料組成、粒子型態)的手段來訂做合適的光吸收材料。迄今，有機染料對外界環境包括光、熱始終存在高度的不穩定性，在太陽紫外線照射下，分子發生裂解現象而致使效率降低為目前公認分子染料最大的問題，而表面改為量子點則較為穩定。量子點較染料分子具更高的消光係數，可降低暗電流(dark current)產生，亦提升電池整體效率。此外，其具更快的電荷分離速率，甚至藉由撞擊式離子化技術可使量子點在每次的激發過程中產生激發電子，換言之，激發電子產生效率可達 200-300%，以上為量子點作為敏化物質優於染料分子之處。

伍、研究方法



一、探討不同可彎曲材料的性質，觀察對自製可彎曲 Ag_2S QDSC 製備條件的影響。

1.選用不同種類的可彎曲材料，觀察比較對自製可彎曲 Ag_2S QDSC 製備之影響。

比較及統整三種可彎曲材料，包括:PI 薄膜、PET 薄膜、PC 薄膜，針對會影響製備條件之相關性質，如:透光性、耐溶劑性、耐熱性、支撐性..等項目，選出較為合適之可彎曲基材，做為本研究之可彎曲材料。

2.使用不同的正極材料，比較對自製可彎曲 Ag_2S QDSC 製備條件之影響。

使用 PC/導電膜做為導電材料，負極塗佈 14nm TiO_2 ，正極材料分別使用:石墨烯、少層奈米石墨烯、多層奈米石墨烯，自製量子點硫化銀太陽電池，測量開路電壓、短路電流，觀察結果。

二、研究以不同濃度、沉積不同層數之 Ag_2S QDSC 效能比較。

1.以 1M 硝酸銀+0.5M 硫化鈉，製備不同層數的硫化銀量子點敏化太陽電池：

負極：PC /導電膠/14nm TiO_2 ，於二氧化鈦表面，以化學沉積法，施以 1~8 層的硫化銀(Ag_2S)量子點沉積之製備，反應式如下；



將材料浸泡在 1M $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ 1 分鐘，取出，用乙醇溶液沖洗掉未附著的離子，以 75°C 溫度乾燥，浸泡於 0.5M $\text{Na}_2\text{S}(\text{aq})$ 3 分鐘，取出，用甲醇溶液洗掉未附著的離子，以 75°C 溫度乾燥之，完成第 1 層作法、重複兩次為第 2 層...，以此類推，分別製作沉積 4 層硫化銀(Ag_2S)量子點，作為負極備用。為改善自製 Ag_2S QDSC 之耐摔、彎曲性及成本考量，選擇使用透光性佳、耐高溫的 PC 薄膜()，做為正、負極的軟性材料，不僅有效降低傳統做法的成本外，更使我們自製的電池具有可彎曲性。

正極：PC /導電膠/少層奈米石墨烯，電解液：KI+ I_2 /乙二醇，光源：T5 燈管；組成硫化銀量子點敏化太陽電池，測量不同層數處理組之效能差異。

2.硫化鈉之濃度設為充裕條件，改變硝酸銀之濃度，以製備硫化銀量子點：

以 1.5M 之硫化鈉，改變硝酸銀之濃度，分別使用 0.2M-1.2M，沉積製作 4 層硫化銀(Ag_2S)量子點(作法同前述)，作為負極備用。正極：PC /導電膠/少層奈米石墨烯，電解液：KI+ I_2 /乙二醇，光源：T5 燈管；組成硫化銀量子點敏化太陽電池，測量觀察不同濃度處理組之效能差異。

3.硝酸銀及硫化鈉之濃度固定比例製成硫化銀量子點：

依照前面敘述方法 1 之作法，將硝酸銀及硫化鈉之濃度設為 2:1 之比例，沉積製作 4 層之硫化銀量子點，並與方法 2 作比較，正極：PC /導電膠/少層奈米石墨烯，電解液：KI+ I_2 /乙二醇，光源：T5 燈管；組成硫化銀量子點敏化太陽電池。

三、比較以不同銀相關材料與硫化鈉製成硫化銀量子點，測量及觀察結果差異。

1.以奈米銀離子與硫化鈉製備 QDSC，並觀察其結果與差異：

以奈米銀離子及硫化鈉沉積製備 4 層之硫化銀量子點，製成硫化銀量子點敏化太陽電池。

2.以奈米銀線(2%)與硫化鈉製備 QDSC，測試及觀察結果之差異。

使用奈米銀線(2%)與硫化銀沉積製成 4 層之硫化銀量子點，製成硫化銀量子點敏化太陽電池，並與奈米銀離子比較結果差異。

四、使用不同的電解液，測量自製硫化銀量子點敏化太陽能電池之效能及光電轉換率。

製備液狀、糊狀與市售電解液，作為 Ag₂S QDSC 的電解液，測量、記錄不同電解液處理之間的差異，同時測量其光電轉換效率(η power)。

五、探討不同串聯之材料及方式，測量自製 Ag₂S QDSC 應用效能之比較。

1.以不同外徑的銀線(0.3mm)、銅線(2,1,0.5mm)、銅片(0.3mm)、鱷魚夾線(0.5mm)作為串聯媒介，觀察串聯後效能。

選擇效能較佳之處理組，製備數組硫化銀量子點敏化太陽電池，以不同金屬材料，作為串聯之導電媒介，分別串聯 2 組硫化銀量子點敏化太陽電池，分別測量並記錄其電壓、電流值。

2.串聯及應用

取用效能較佳之處理組，製備之硫化銀量子點敏化太陽電池數組，以銀線、鱷魚夾線串聯 2、3 組，觀察能否驅動電器，並且測量其電壓與電流。

陸、結果與討論

一、探討不同可彎曲基材的性質，觀察對自製可彎曲 Ag₂S QDSC 製備條件的影響。

1.選用不同種類的可彎曲基材，觀察比較對自製可彎曲 Ag₂S QDSC 製備之影響。

選用三種基材 PI、PET、PC 薄膜，為可彎曲的支撐模板，統整、比較相關性質，結果如下：

表二、三種可彎曲材料之相關性質比較統整表

材料名稱 相關性質	PI 薄膜	PET 薄膜	PC 薄膜
耐溶劑否	是	是	是
支撐性	過軟	可	可
顏色	淡金菊色	無色(透明)	無色(透明)
厚度 (mm)	0.100	0.100	0.100
透光率 (%)	85%	91 %	90 %
耐溫性 (°C)	250~300°C	60°C	120~130°C

因可彎曲材料並不影響導電，但攸關後續製程處理，因此，優先考量耐溶劑性、支撐性、透光率、耐溫性等性質，做為選用依據。因 PET 耐溫性不足，PI 支撐性不足，PC 的各項性質較合適，因此，選用 PC 薄膜做為可彎曲的材料。並於 PC 薄膜塗佈一層導電膠，接續後續實驗使用。

2.使用不同的正極材料，比較對自製可彎曲 Ag₂S QDSC 製備條件之影響。

使用 PC/導電膜做為導電材料，正極材料分別使用:石墨烯、少層奈米石墨烯、多層奈米石墨烯，自製量子點硫化銀太陽電池，測量開路電壓、短路電流，結果如下表，以少層奈米石墨烯之處理組結果較佳。

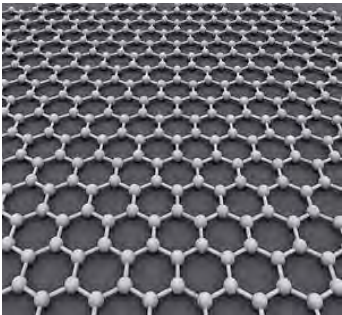
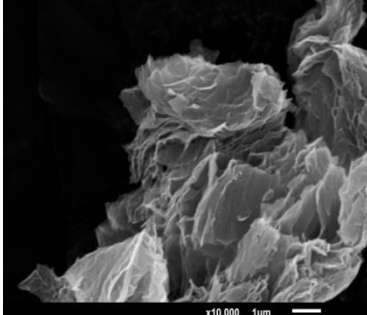
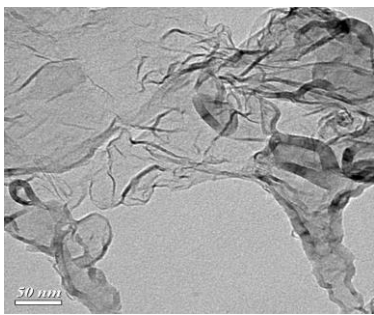
表三、負極 PC/導電膜/硫化銀量子點，搭配不同正極材料，對自製可彎曲硫化銀量子點太陽電池之影響

實驗次數 正極材料	開路電壓 V (閉路電流 μA)			
	1st	2nd	3rd	Average
石墨烯	0.18 (25)	0.16 (28)	0.16 (26)	0.17 (26)
少層奈米石墨烯	0.38 (50)	0.34 (50)	0.36 (52)	0.37 (51)
多層奈米石墨烯	0.27 (21)	0.24 (22)	0.26 (27)	0.26 (23)

(電解液：KI+I₂/乙二醇，光源：T5 燈管)

在表四中所示，左一為「石墨烯」(graphene)原子排列結構，單層碳原子緊密規則排列，碳原子間以 sp^2 軌域互相鍵結形成六角碳環，延伸形成如蜂巢似二維平面結構，稱為石墨烯(graphene)，是一平面多環芳香烴原子晶體，結構穩定，碳碳鍵僅為 1.42\AA ，內部的碳原子之間的連接很柔韌，當施加外力於石墨烯時，碳原子面會彎曲變形，使碳原子不必重新排列來適應外力，從而保持結構穩定。石墨烯(graphene)，亦是構成「碳」的同素異形體~包括:石墨、鑽石、石墨烯、碳奈米管和富勒烯(C_{60})等。之所以稱為「奈米石墨烯」，是因其厚度在 100nm 以下，由奈米科學網之文獻顯示，奈米石墨烯具有良好的導熱、導電性質，由上述實驗結果可驗證，少層奈米石墨烯之處理組結果較佳。因此，選用「少層奈米石墨烯」為正極導電材料，接續下面實驗。

表四、石墨烯結構與少層奈米石墨烯在 SEM 電子顯微鏡下照片

		
<p>石墨烯(graphene)</p>	<p>少層奈米石墨烯 (nano-graphene)</p>	<p>少層奈米石墨烯之厚度 (厚度平均約 3.5nm)</p>

二、研究以不同濃度，沉積不同層數之硫化銀量子點敏化太陽電池效能比較。

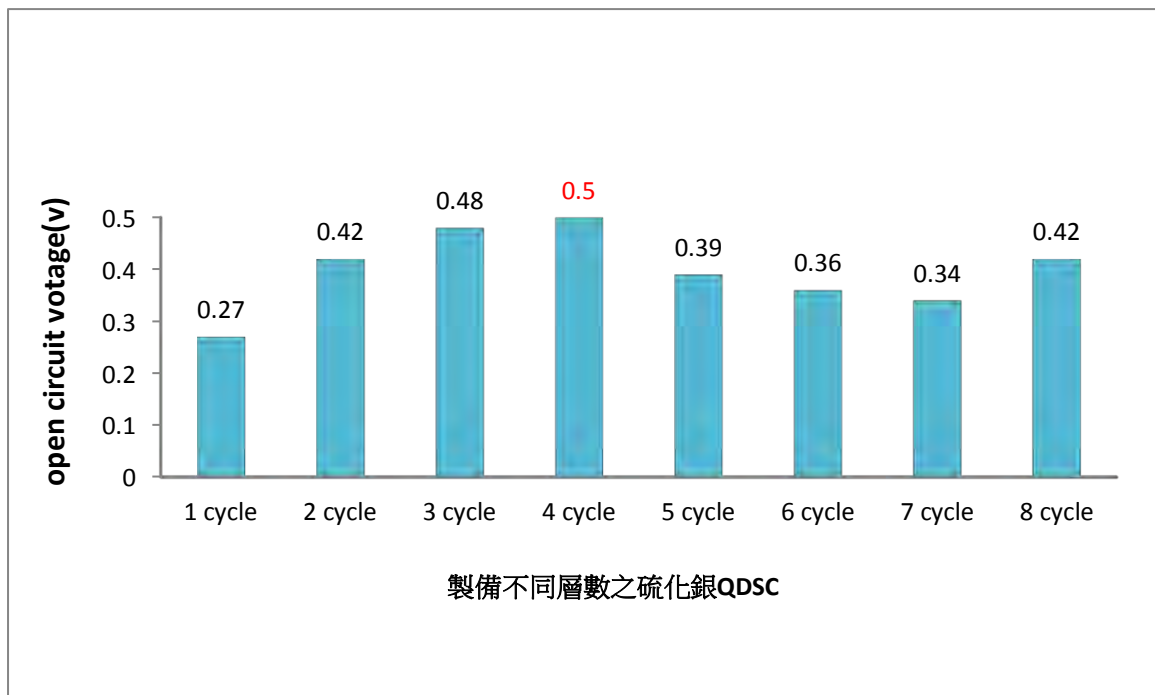
1.以 1M 硝酸銀+ 0.5M 硫化鈉，製備不同層數的硫化銀量子點敏化太陽電池：

依照化學反應方程式所示： $2\text{AgNO}_3 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{Ag}_2\text{S} + 2\text{NaNO}_3$

對應方程式的係數，使用 1M 硝酸銀溶液+ 0.5M 硫化鈉溶液，以化學沉積法製備 1~8 層的硫化銀量子點，觀察層數之不同，對製備量子點敏化太陽電池影響之結果，如下表圖所示。結果顯示，以製備 4 層硫化銀量子點，有較高的開路電壓。因此，以沉積 4 層硫化銀量子點的方式，接續下面實驗。

表五、以 1M 硝酸銀+0.5M 硫化鈉，沉積 1-8 層之量子點硫化銀 QDSC 之效能

次數	不同硫化銀量子點之層數							
	1 層	2 層	3 層	4 層	5 層	6 層	7 層	8 層
	開路電壓值 V (短路電流值 μA)							
1 st	0.21 (42)	0.50 (48)	0.52 (48)	0.54 (149)	0.43 (35)	0.35 (43)	0.40 (38)	0.43 (42)
2 nd	0.27 (39)	0.42 (54)	0.48 (36)	0.51 (144)	0.39 (30)	0.36 (43)	0.39 (37)	0.44 (34)
3 rd	0.33 (33)	0.34 (57)	0.44 (38)	0.45 (136)	0.35 (40)	0.37 (45)	0.38 (36)	0.39 (36)
Average	0.27 (38)	0.42 (53)	0.48 (41)	0.50 (143)	0.39 (35)	0.36 (44)	0.39 (37)	0.42 (38)



圖一、利用 1M 硝酸銀+0.5M 硫化鈉，沉積不同層數之硫化銀 (QDSC) 之效能比較

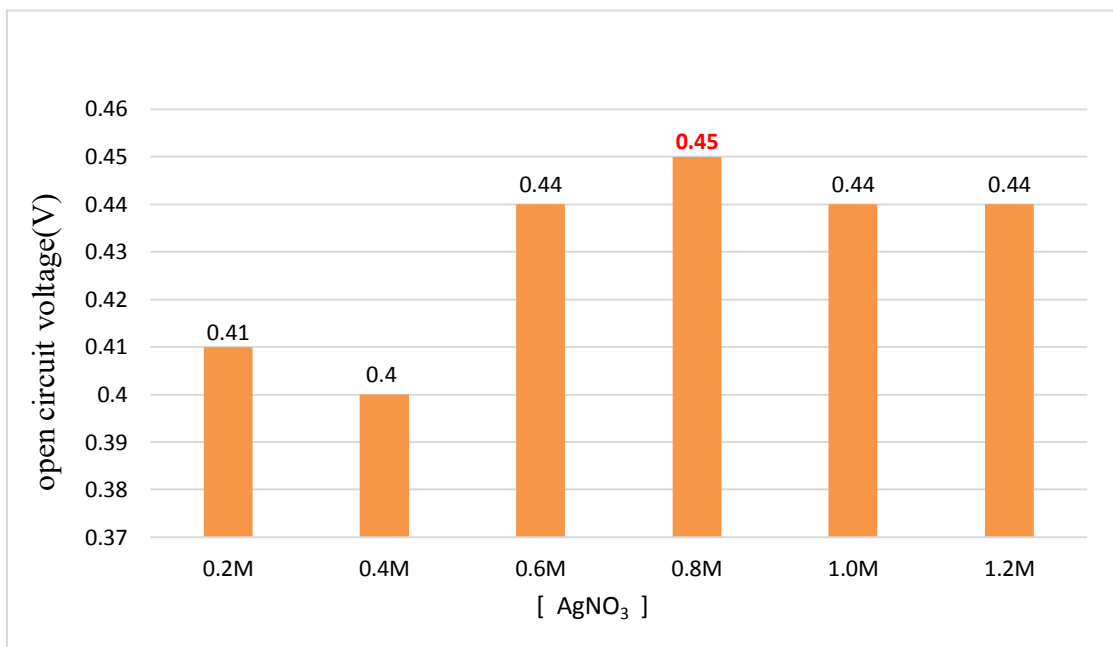
(電解液：KI+I₂/乙二醇光源：T5 燈管)

2. 硫化鈉之濃度設為充裕條件，改變硝酸銀之濃度，以製備硫化銀量子點：

以 1.5M 硫化鈉(充裕條件)搭配 0.2M-1.2M 之硝酸銀，製成硫化銀量子點敏化太陽電池，結果如下表、圖二所示，0.8M 硝酸銀搭配 1.5M 之硝酸銀有較佳之結果，因此使用此處理組與第 3 研究方法比較差異。

表六、不同的硝酸銀濃度搭配 1.5M 之硫化鈉製備硫化銀 QDSC 之效能比較

Na ₂ S _(aq) 濃度	AgNO _{3(aq)} 濃度					
	0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M	1.2M
	開路電壓值 V (短路電流值 μA)					
1.5M Na ₂ S (充裕條件)	0.39 (72)	0.43 (80)	0.47 (48)	0.46 (157)	0.43 (45)	0.40 (90)
	0.42 (71)	0.37v (72)	0.41 (37)	0.43 (90)	0.45 (40)	0.48 (80)
	0.41 (71)	0.40 (70)	0.44 (44)	0.46 (93)	0.44 (44)	0.43 (85)
Average	0.41 (72)	0.40 (75)	0.44 (43)	0.45 (113)	0.44 (43)	0.44 (85)



圖二、不同濃度硝酸銀搭配 1.5M 硫化鈉製備 4 層 Ag₂S QDSC 之開路電壓圖

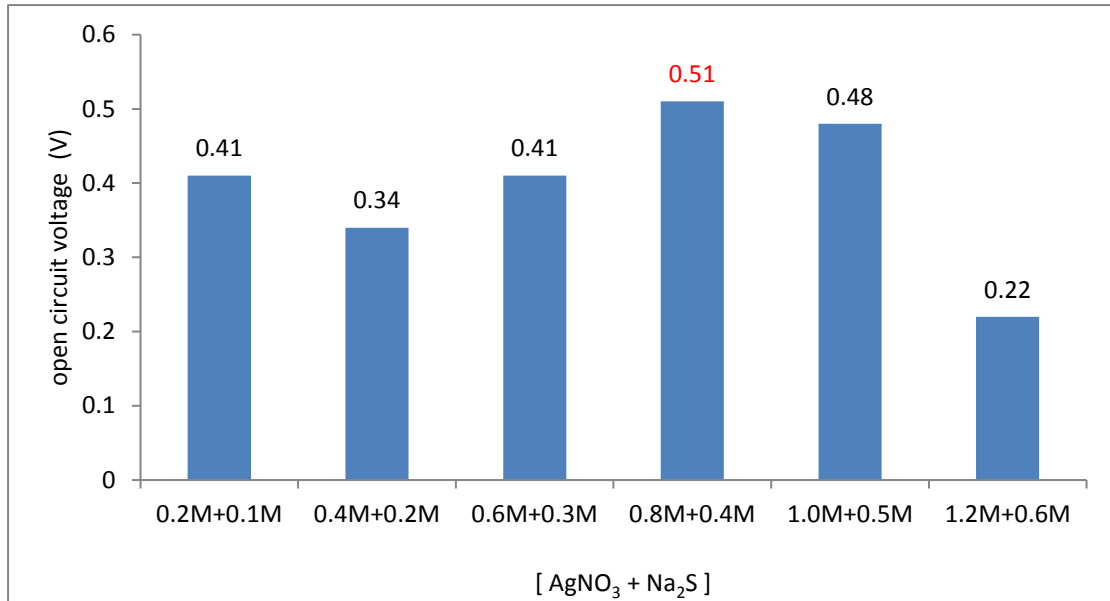
(電解液：KI+I₂/乙二醇光源：T5 燈管)

3.硝酸銀及硫化鈉之濃度固定比例製成硫化銀量子點：

依照前面敘述方法 1 之作法，將硝酸銀及硫化鈉濃度依化學反應方程式之平衡係數為 2:1 之比例，沉積製作 4 層之硫化銀量子點，並與方法 2 作比較，正極：PC /導電膠/少層奈米石墨烯，電解液：KI+I₂/乙二醇，光源：T5 燈管；組成硫化銀量子點敏化太陽電池，由下表及圖三可知 0.8M 硝酸銀搭配 0.4M 硫化鈉，有較佳的開路電壓值，與方法 2 比較發現，硫化鈉不論為充裕條件或剛好 2:1 結果類似，依據推論可能是在製作過程中的漂洗步驟，可把多餘的硫化鈉沖洗掉了，故兩者處理的開路電壓值較佳，短路電流以 0.8M AgNO₃ + 0.4MNa₂S 處理組有較佳短路電流，同時考慮材料成本因素，故以 0.8M AgNO₃ + 0.4MNa₂S 為 2:1 之濃度作接續比較。

表七、硝酸銀及硫化鈉以 2:1 之濃度製備硫化銀 QDSC 之效能比較

次 數	不同之[AgNO ₃] + [Na ₂ S] (濃度比=2:1)					
	0.2M+0.1M	0.4M+0.2M	0.6M+0.3M	0.8M+0.4M	1.0M+0.5M	1.2M+0.6M
	開路電壓值 V (短路電流值 μA)					
1 st	0.38 (50)	0.35 (91)	0.41 (99)	0.52 (256)	0.47 (125)	0.22 (26)
2 nd	0.41 (90)	0.34 (85)	0.42 (98)	0.51 (138)	0.46 (97)	0.22 (31)
3 rd	0.44v (130)	0.33 (79)	0.40 (99)	0.50 (176)	0.45 (69)	0.21 (36)
Average	0.41 (90)	0.34 (85)	0.41 (99)	0.51v (190)	0.46 (97)	0.22 (31)



圖三、硝酸銀及硫化鈉之濃度設為 2:1 製備 4 層 Ag₂S QDSC 之開路電壓圖

(電解液：KI+I₂/乙二醇光源：T5 燈管)

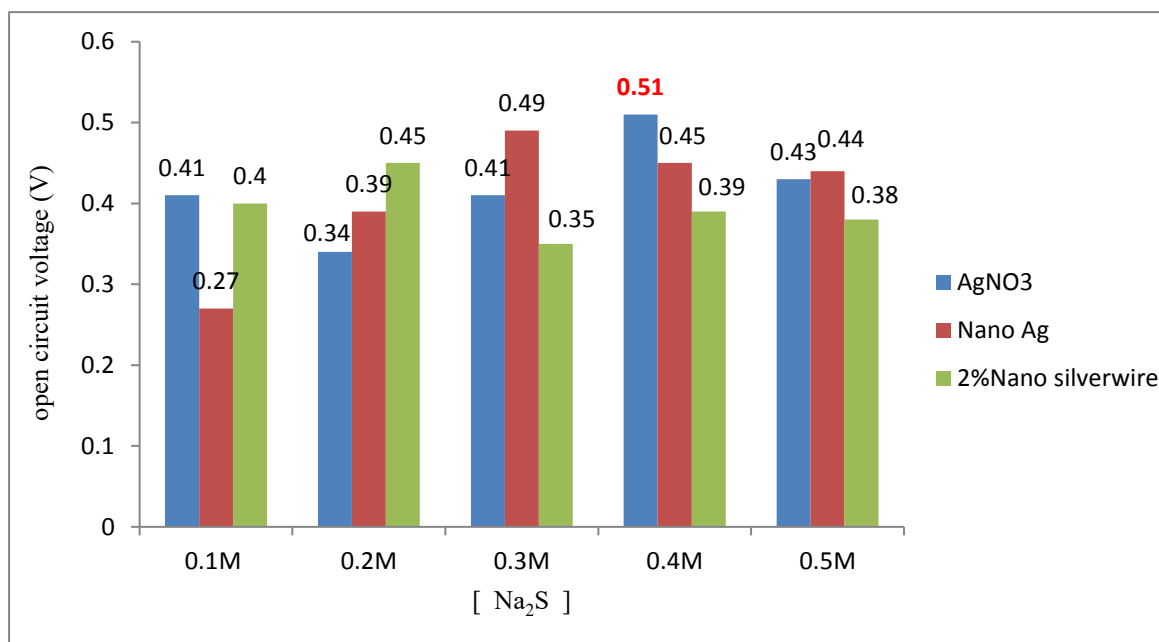
三、不同銀相關材料與硫化鈉製成 4 層 Ag₂S QDSC，並觀察效能之差異。

1. 以奈米銀粒子與硫化鈉製備 QDSC，並觀察其結果與差異：

以奈米銀粒子搭配不同濃度之硫化鈉沉積製作 4 層之 Ag₂S QDSC，並與硝酸銀作比較，結果如下表及圖四，0.8M AgNO₃ + 0.4M 硫化鈉可達 0.51V，為較佳的結果，其次為奈米銀離子處理組。

表八、不同來源的銀材料，製備 Ag₂S QDSC 之效能比較

[Na ₂ S]	AgNO ₃ (2:1 濃度比)	Nano Ag	2%Nano silverwire
	開路電壓平均值 V (短路電流平均值 μA)		
0.1M Na ₂ S	0.41V (90)	0.27V (35)	0.40V (37)
0.2M Na ₂ S	0.34V (85)	0.39V (41)	0.45V (77)
0.3M Na ₂ S	0.41V (99)	0.49 V (185)	0.35V (39)
0.4M Na ₂ S	0.51V (190)	0.45V (68)	0.39V (47)
0.5M Na ₂ S	0.43V (59)	0.44V (73)	0.38V (66)



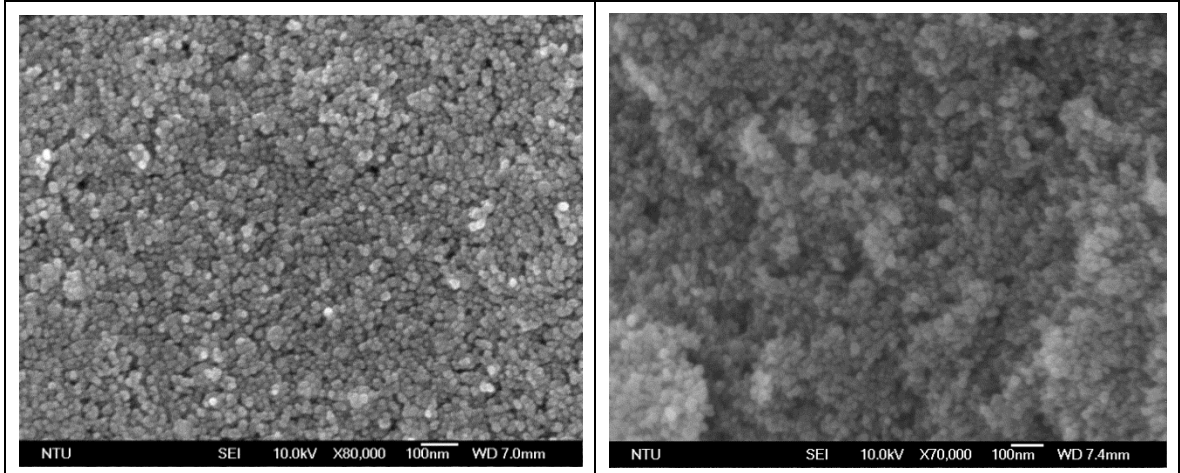
圖四、以不同來源的銀材料製備 Ag₂S QDSC，觀察其結果差異(電解液：KI+I₂/乙二醇光源：T5 燈管)

2.以奈米銀線(2%)與硫化鈉製備 QDSC，測試及觀察結果之差異。

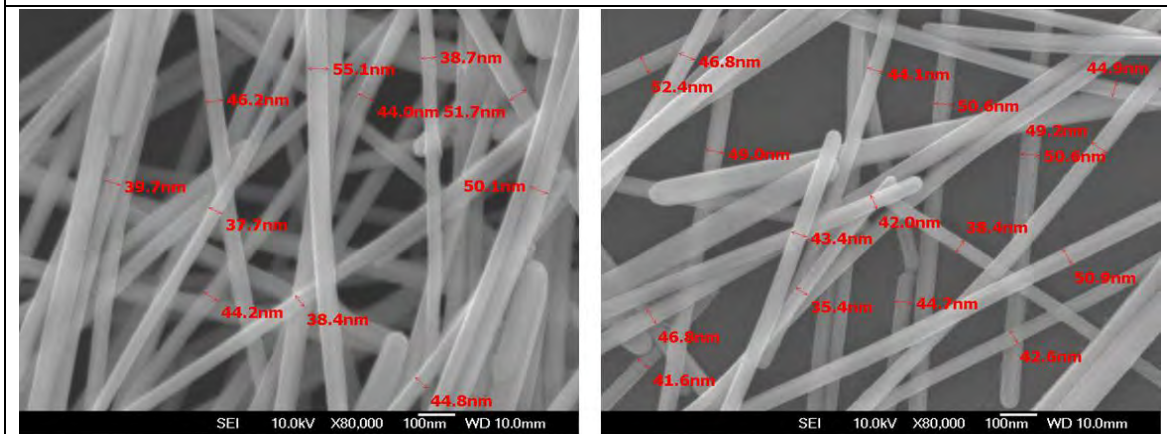
量子點是準零維的奈米材料，由少量的原子所構成。粗略地說，量子點三個維度的尺寸都在 100 奈米以下，外觀恰似一極小的點狀物，其內部電子在各方向上的運動都受到侷限，所以量子侷限效應(quantum confinement effect)特別顯著。由於量子侷限效應會導致類似原子的不連續電子能階結構，因此量子點又被稱為「人造原子」(artificial atom)，以量子點作為太陽能電池敏化物質，為目前極具潛力之應用。觀察圖五的粒子即為硫化銀，平均粒徑約為 5~8nm，其粒徑尺度是落在 100nm 以內，是為硫化銀量子點。圖六，奈米銀線為一優質導電材料，明顯降低內電阻，是以寬度 38~51nm、長度為 5~8 微米之 2%奈米銀線與硫化鈉反應生成之硫化銀生成物，如圖七，生成之硫化銀已蜷縮成為不規則狀(非圖六中奈米銀線之線狀)，而且硫化銀粒子三維尺寸非落於奈米等級，故不能稱「量子點」或「量子線」，可能為效能降低的原因。

綜合實驗結果，推論：製備硫化銀量子點敏化太陽電池，須製備尺度在 100nm 以內符合「量子點」尺寸之硫化銀，方能有較佳之效能。由文獻得知，硫化銀量

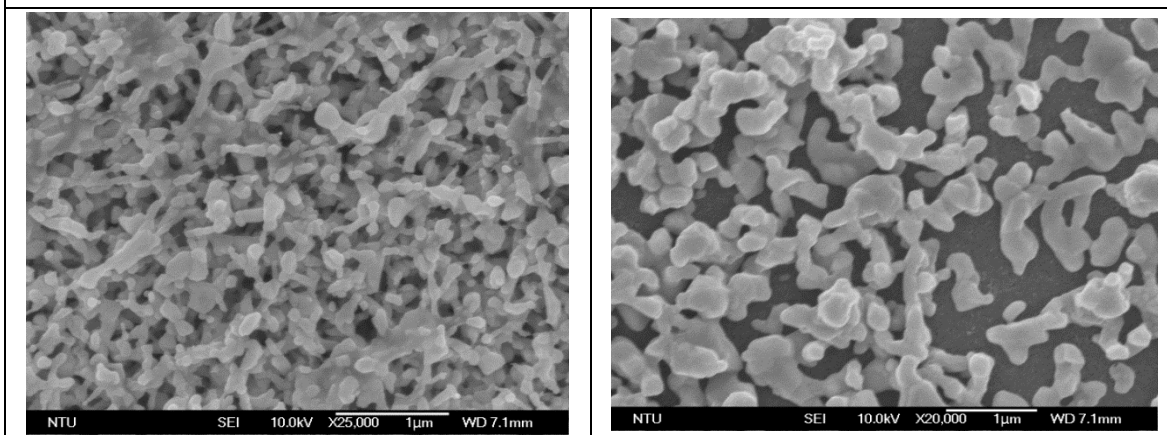
子點之吸收波長約為 400-1000nm，將 SEM 拍攝結果與研究目的的一的實驗結果相互對照可知，以 $0.8M\text{AgNO}_3 + 0.4M\text{Na}_2\text{S}$ 沉積 4 層所製出「量子點」，因此，較奈米銀線處理組效能佳。



▲圖五、左圖為硝酸銀+硫化鈉、右圖為奈米 Ag^+ +硫化鈉，在 SEM 顯微鏡下拍攝的圖片



▲圖六、奈米銀線在掃描式電子顯微鏡下顯示之結果。(紅字部分為奈米銀線之寬度)

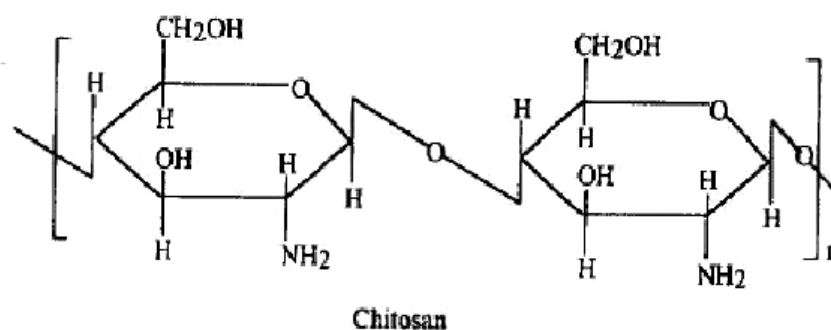


▲圖七、奈米銀線+硫化鈉製成硫化銀，在 SEM 顯微鏡下拍攝的圖片

四、使用不同的電解液，比較自製 Ag₂S QDSC 之效能差異。

使用硝酸銀、奈米銀離子、2%奈米銀線三種處理組，比較使用不同電解液對製備硫化銀 QDSC 效能之影響。液狀電解質即是本實驗配製之 KI+I₂/乙二醇，糊狀電解質是將本實驗配製之液狀電解質，再加上水溶性的幾丁聚醣，調配成糊狀流動性之電解質，測試添加較佳之條件比例為：3ml 電解液+0.9 克幾丁聚醣，使成糊狀電解質備用。比較結果得知，各處理組搭配使用糊狀電解質，於短路電流方面均有顯著的提升，如下圖，我們發現使用糊狀電解質製的 QDSC，於測量時，電壓及電流值跳動較為穩定。在開路電壓及光電轉換率的部分，以 0.8M AgNO₃+ 0.4M Na₂S, 4 層量子點處理組，搭配糊狀電解質有較佳的提升效果，如圖九。因此，**選用 0.8M AgNO₃+ 0.4M Na₂S, 4 層量子點處理組搭配糊狀電解質**，接續實驗。

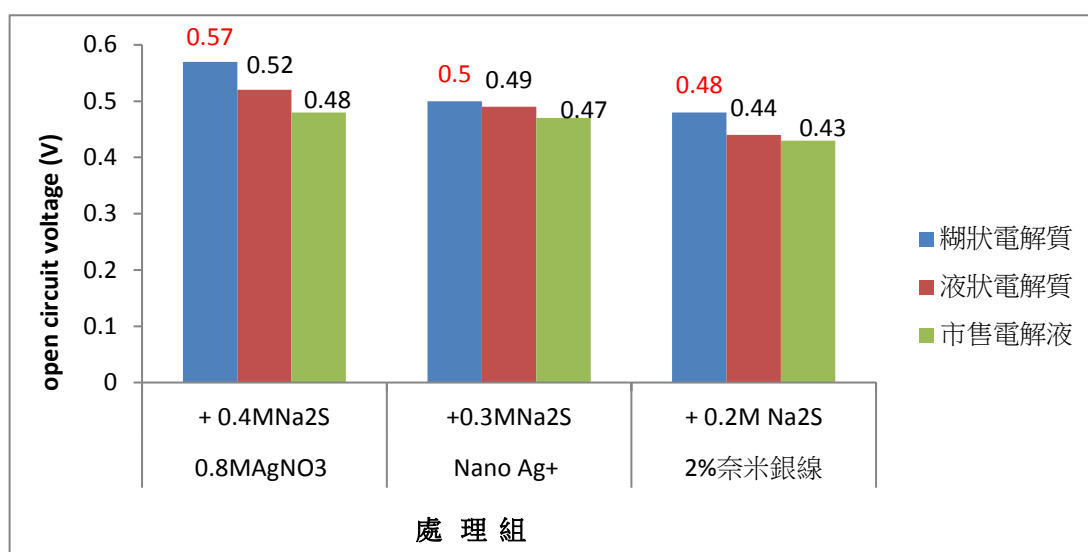
幾丁聚醣(chitosan)是幾丁質經過去乙醯化後的產物，具有游離的胺基，幾丁聚醣可以溶於酸性或弱酸性的有機酸及無機酸中（如醋酸、甲酸、檸檬酸），幾丁聚醣經酸性溶解後具有弱鹼性陽離子電解質特性，且具有胺基與氫氧基，利於化學改質，製備各種衍生化合物，其溶解度佳，通常可將其製成膠狀、纖維狀、珠狀、薄膜狀及海綿狀等，以提供各種應用。幾丁聚醣具特殊功能性質，被廣用於生化、醫學、食品及廢水處理等方面，都有顯著的效果，因具有較多的游離胺基，可視為多價陽離子電解質。幾丁聚醣的保水性佳，所以於本實驗我們運用幾丁聚醣調製成糊狀電解液。因此，不僅可解決液態電解液易滲出的問題外，亦可有效提升及穩定硫化銀 QDSC 之電壓、電流值。結構式如下圖所示：



圖八、幾丁聚醣(chitosan)之結構式

表九、以不同電解液，自製可彎曲 Ag₂S QDSC 之結果

電解質種類	0.8M AgNO ₃ + 0.4M Na ₂ S	Nano Ag ⁺ + 0.3M Na ₂ S	2% 奈米銀線 + 0.2M Na ₂ S
	開路電壓平均值 V(短路電流平均值 μA) 、 光電轉換率(%)		
糊狀電解質	0.57 (238) 、 7.8%	0.50 (160) 、 5.7%	0.48 (139) 、 3.4%
液狀電解質(對照組)	0.52 (95) 、 3.7%	0.49 (98) 、 3.6%	0.44 (97) 、 3.5%
市售電解液	0.48 (92) 、 3.5%	0.47 (95) 、 3.2%	0.43 (92) 、 3.3%



圖九、以不同電解液，自製可彎曲 Ag₂S QDSC 之開路電壓圖

五、探討不同串聯之材料及方式，測量其應用效能之比較。

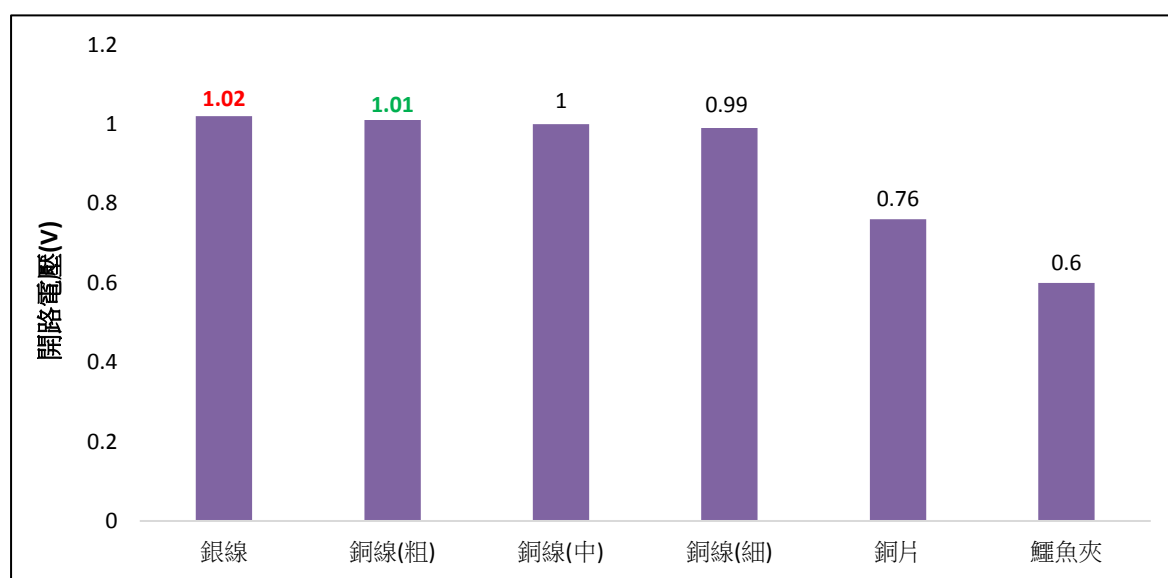
1. 以不同外徑的銀線(0.3mm)、銅線(2,1,0.5mm)、銅片(0.3mm)、鱈魚夾線(0.5mm) 作為串聯媒介，觀察串聯後效能差異：

選擇效能較佳之處理組，製備數組硫化銀量子點敏化太陽電池，以不同金屬材料，作為串聯之導電媒介，分別串聯 2 組硫化銀量子點敏化太陽電池，分別測量並記錄其電壓、電流值，結果如下表所示，以銀線、銅線作為導電媒介串連兩組硫化銀量子點敏化太陽電池可達 1.02V 及 1.01V。

表十、不同導電媒介串聯 2 組之 QDSC 之結論

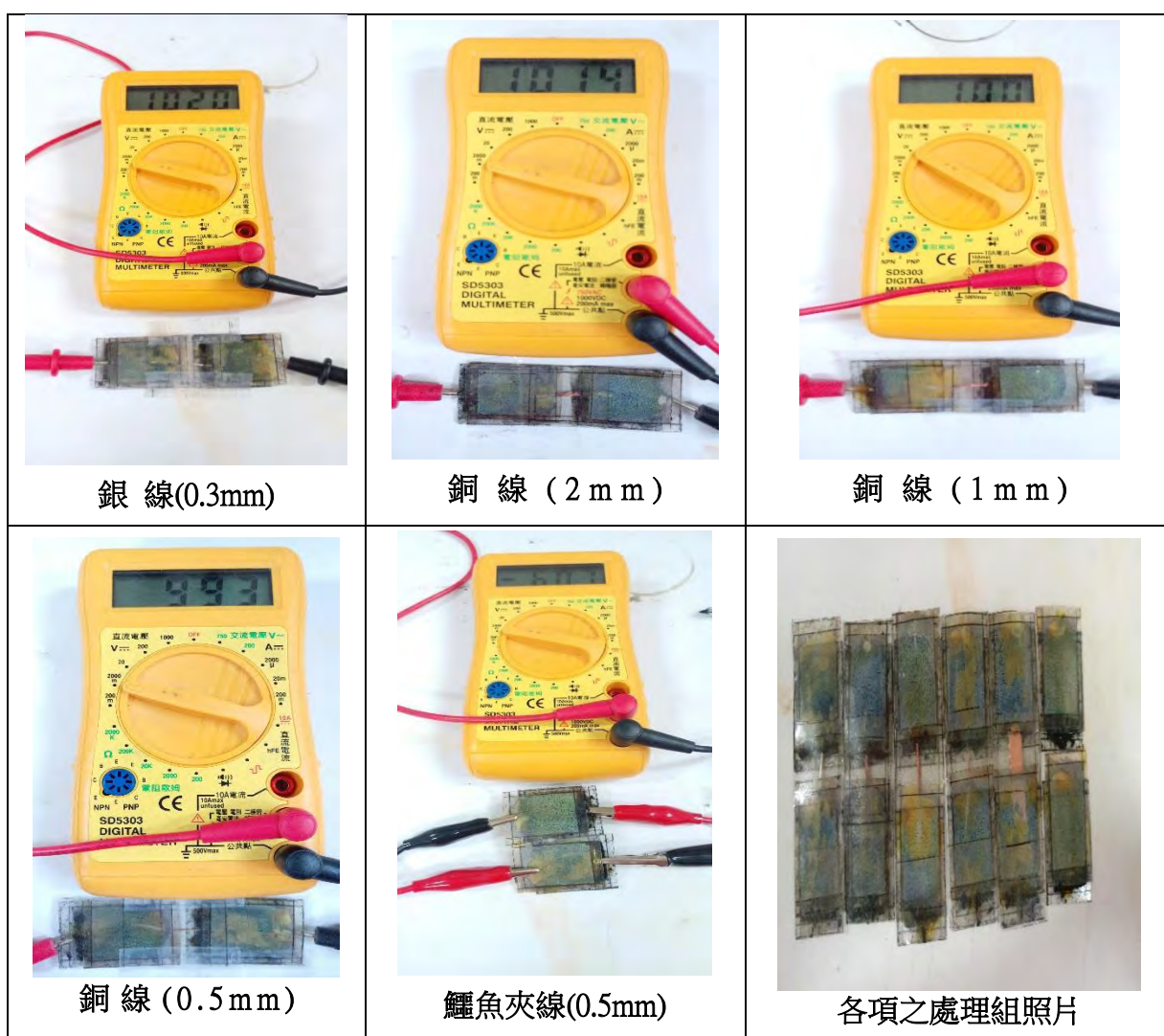
(電解液：糊狀電解質 光源：T5 燈管)

材料名稱	處理組 1	處理組 2	理論電壓值	串聯 2 組之實際開路電壓及短路電流值
銀線(0.3mm)	0.52V (169 μ A)	0.53V (139 μ A)	1.05V	1.02V (201 μ A)
銅線(2mm)	0.53V (204 μ A)	0.54V (189 μ A)	1.07V	1.01V (109 μ A)
銅線(1mm)	0.53V (221 μ A)	0.53V (147 μ A)	1.06V	1.00V (271 μ A)
銅線(0.5mm)	0.53V (188 μ A)	0.55V (273 μ A)	1.08V	0.99V (244 μ A)
銅片(0.3mm)	0.55V (487 μ A)	0.54V (185 μ A)	1.09V	0.76V (218 μ A)
鱷魚夾(0.5mm)	0.51V (163 μ A)	0.52V (308 μ A)	1.03V	0.60V (180 μ A)



圖十、使用不同材料為串聯導電媒介，串連 2 組之硫化銀量子點敏化太陽電池之開路電壓圖

表十一、以不同材料為導電媒介，串聯兩組，測量其開路電壓之照片



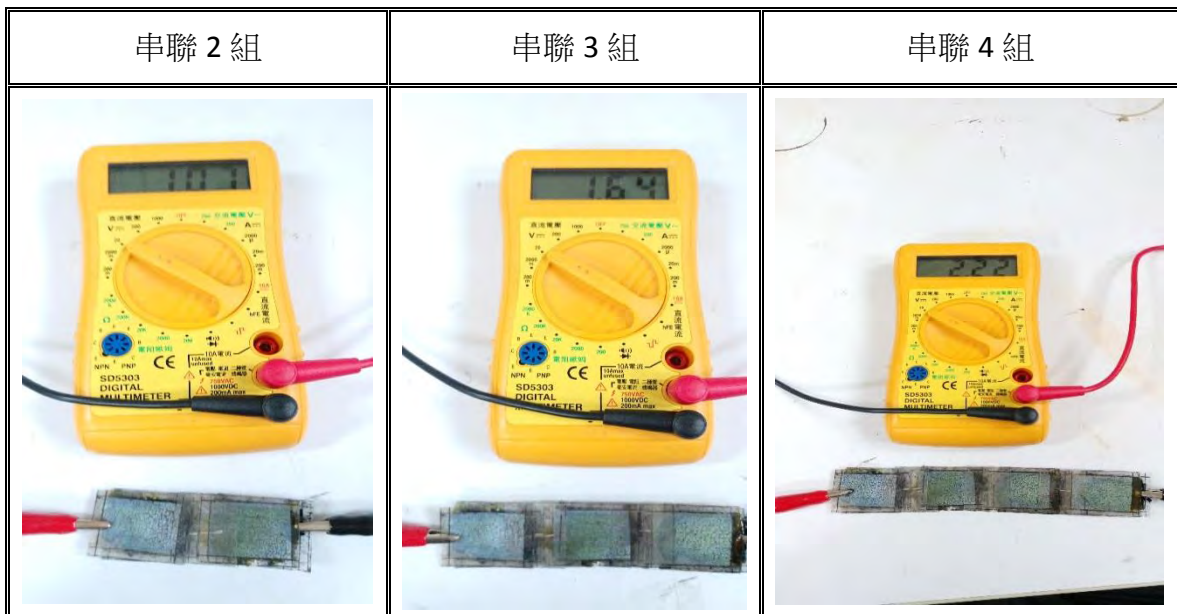
2.串聯及應用：

以銀線串聯硫化銀量子點敏化太陽電池 2、3、4 組，並測量其電壓與電流，結果如表八、九可知使用銀線作為導電媒介，其開路電壓串聯 2 組可達 1.07v、3 組達 1.64v、4 組更可達 2.22v，而短路電流串聯 2 組為 $152 \mu A$ 、3 組為 $180 \mu A$ 、4 組為 $184 \mu A$ ，顯示使用銀線作為串聯之材料，可降低其中之電阻，增加其效能，請見表十二、表十三。使用鱷魚夾線，串聯 2 組即可驅動數位時鐘、串聯 3 組可驅動計時器。與對照組(染敏太陽電池)效能比較:使用染敏太陽電池，須串聯 3 組，方能驅動數位時鐘；串聯 4 組，才能驅動計時器，由此可證，自製硫化銀量子點敏化太陽電池的效能，明顯比染敏太陽電池較佳(請見表十四、十五)。


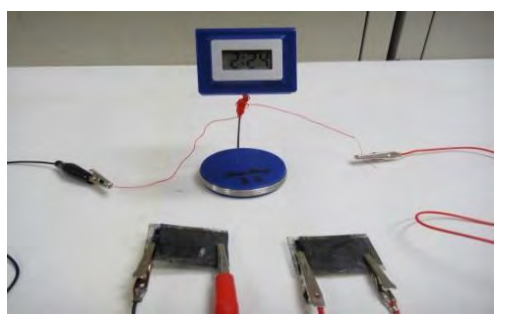
表十二、串聯 2.3.4 組之硫化銀量子點敏化太陽電池之結果

QDSC 的組數	開路電壓(v)	短路電流(μA)
1 組	0.52v	130 μA
串聯 2 組	1.07v	152 μA
串聯 3 組	1.64v	180 μA
串聯 4 組	2.22v	184 μA



表十三、串聯 2.3.4 組以銀線作為導電媒介之硫化銀量子點敏化太陽電池



表十四、自製可彎曲硫化銀量子點太陽電池應用與對照組之比較

電池	染敏太陽電池 (對照組)	自製硫化銀量子點敏化太陽電池
圖片		
應用	串聯 3 組，驅動數位時鐘	串聯 2 組，即可驅動數位時鐘
效能	自製硫化銀量子點敏化太陽電池 效能顯著提升 1/3	

表十五、自製可彎曲硫化銀量子點太陽電池的應用與對照組(染敏太陽電池)之效能比較

電池	染敏太陽電池 (對照組)	自製硫化銀量子點敏化太陽電池
圖片		
應用	串聯 4 組，驅動計時器	串聯 3 組，即可驅動計時器
效能	自製硫化銀量子點敏化太陽電池 效能顯著提升 1/4	

柒、結論

一、探討不同可彎曲材料的性質，觀察對自製可彎曲 Ag_2S QDSC 製備條件的影響。

1. 選用不同種類的可彎曲材料，觀察比較對自製可彎曲 Ag_2S QDSC 製備之影響。

針對相關性質，選用 PC 薄膜，為合適之可彎曲基材，做為本研究之可彎曲材料。

2. 使用不同的正極材料，比較對自製可彎曲 Ag_2S QDSC 製備條件之影響。

以少層奈米石墨烯處理組效能較佳，故選用少層奈米石墨烯為正極材料。

二、研究以不同濃度，沉積不同層數之硫化銀量子點敏化太陽電池效能比較。

1. 以 1M 硝酸銀+0.5M 硫化鈉，製備不同層數的硫化銀量子點敏化太陽電池：

1M 硝酸銀+0.5M 硫化鈉沉積 4 層之硫化銀量子點，製成硫化銀量子點敏化太陽電池有較佳之結果。

2. 硫化鈉之濃度設為充裕條件，改變硝酸銀之濃度，以製備硫化銀量子點：

將 0.8M 硝酸銀+1.5M 硫化鈉沉積 4 層之硫化銀量子點以製成硫化銀量子點敏化太陽電池有較佳之開路電壓及短路電流。

3. 硝酸銀及硫化鈉之濃度固定比例製成硫化銀量子點：

0.8M 硝酸銀+0.4M 硫化鈉沉積 4 層之硫化銀量子點，加正極之奈米石墨烯製成之硫化銀量子點敏化太陽電池，為較佳之結果，與上一方法比較，發現結果相近，考慮成本，使用 2:1 之濃度比接續實驗。

三、不同銀的相關材料與硫化鈉製成硫化銀量子點，並觀察其結果差異。

1. 將硫化銀之銀離子來源改變，並觀察其結果與差異：

以沉積 4 層 0.8M AgNO_3 + 0.4M 硫化鈉處理組之 Ag_2S QDSC 開路電壓達 0.51V，為較佳的結果，其次為奈米 Ag^+ 處理組。

2. 以奈米銀線(2%)與硫化鈉製備 QDSC，測試及觀察結果之差異。

製備硫化銀量子點敏化太陽電池，須製備「量子點」尺寸之硫化銀，方能有較佳之效能。

四、使用不同的電解液，比較自製 Ag_2S QDSC 之效能差異。

開路電壓及光電轉換率的部分，以 0.8M AgNO_3 + 0.4M Na_2S ，4 層量子點處理組，搭

配糊狀電解質有較佳的提升效果。糊狀電解質可解決液態電解液易滲出的問題外，亦可有效提升及穩定硫化銀 QDSC 之開路電壓、短路電流值。

五、探討不同串聯之材料及方式，測量其應用效能之比較。

1.以不同外徑的銀線(0.3mm)、銅線(2,1,0.5mm)、銅片(0.3mm)、鱷魚夾線(0.5mm)作為串聯媒介，觀察串聯後效能差異

銀線作為太陽電池與太陽電池之間之導電媒介，會有較高導電值與較低電阻值。

2.串聯及應用：

以銀線串聯 2 組開路電壓可達 1.07V、3 組達 1.64V、4 組達 2.22V，顯示使用銀線作為串聯之材料，可降低其中之電阻，增加其效能。使用鱷魚夾線，串聯 2 組即驅動數位時鐘、串聯 3 組即可驅動計時器，明顯比對照組(染敏太陽電池)之效能佳。

捌、參考文獻

- 1.電解質、電學、能源的開發與利用 2016 國中自然與生活科技教師手冊 康軒文教事業出版社
- 2.「次世代量子點太陽能電池」元智大學電子報：
http://web2.yzu.edu.tw/e_news/644/10_new01.html
- 3.科技部高瞻自然科學教育資源平台：<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/>
- 4.中興大學化學系 李明威教授 (QDSC) 演講資料
- 5.奈米科學網網站：http://nano.nchc.org.tw/v1/dictionary/quantum_dots.html
- 6.中華民國第 54 屆中小學科學展覽 國中組化學科作品 「銀」在起跑「線」~探討提升第二代自製可撓式染料敏化太陽電池效能之研究。
7. A. Tubtimtae, K. L. Wu, H. Y. Tung, M. W. Lee,* G. J. Wang, (2010) “Ag₂S Quantum Dot-Sensitized Solar Cells”, *Electrochemistry Communications*, 12, 1158.
8. The Synthesis of PBS Quantum dots and Application in Solar cell (2011) .

【評語】 030204

作品的內容與成果相當優異。量子點敏化太陽能電池在近年是繼染料敏化太陽能電池之後的熱門能源研究，其優點為量子點的螢光分率（quantum yield）遠大於一般的染料。但是使用量子點為材料所獲得的能量轉換率卻遠小於使用染料製成之太陽能電池。本作品須檢測的有二點：

1. 電解質換成糊狀電解質的效率變好，似乎須再檢測，與過去很多作品的報告有些違背。
2. 7%的能量轉換率太高，似乎有些問題，須再檢測。

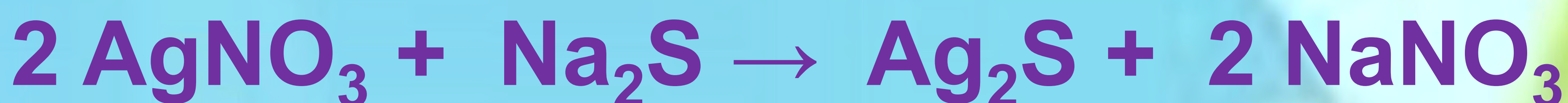
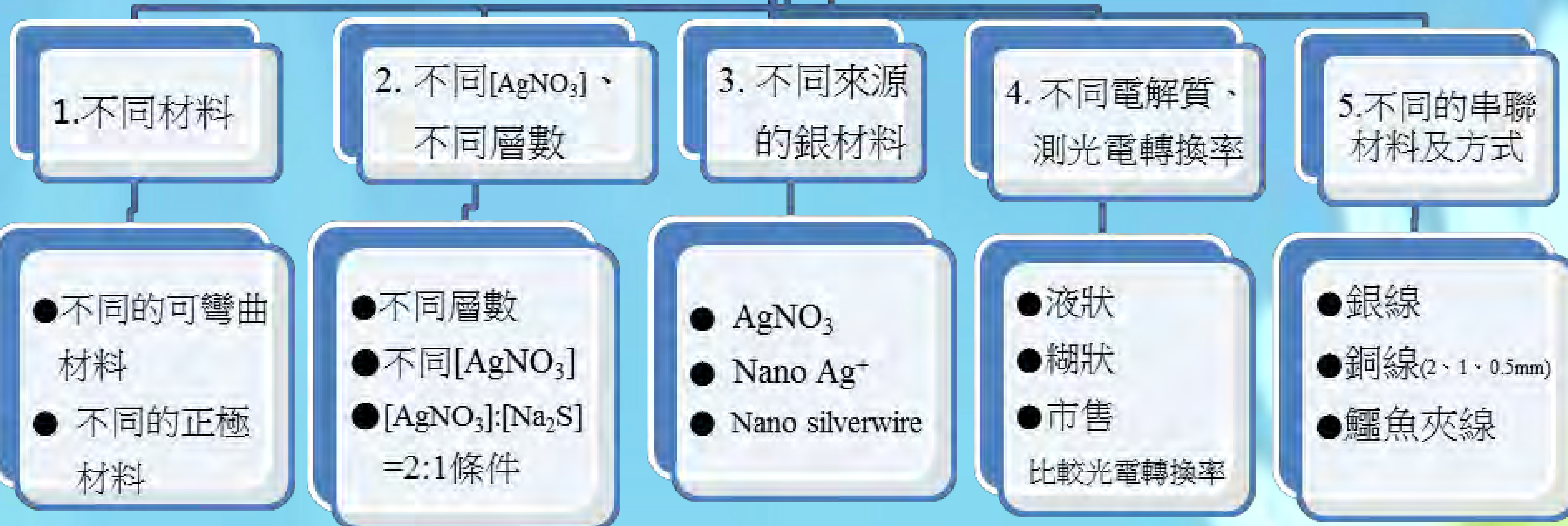
作品海報

◎研究動機

在校內科學研究社團課中，邀請教授指導我們製作染料敏化太陽電池，讓我們深刻體會到再生能源-太陽電池的微弱效能與可貴。因此，開始討論思考，探究~建立以簡易的方法、降低成本、改善耐摔性等製備條件，並能提升太陽電池之效能及生活中的應用性為目標邁進，透過集思廣益、蒐集文獻、著手預備實驗與討論，加上延伸資料的補充，展開了自製可撓式硫化銀量子點敏化太陽電池的探究之旅。

◎研究架構

探討影響自製可彎曲Ag₂S QDSC製備條之研究



◎結果與討論

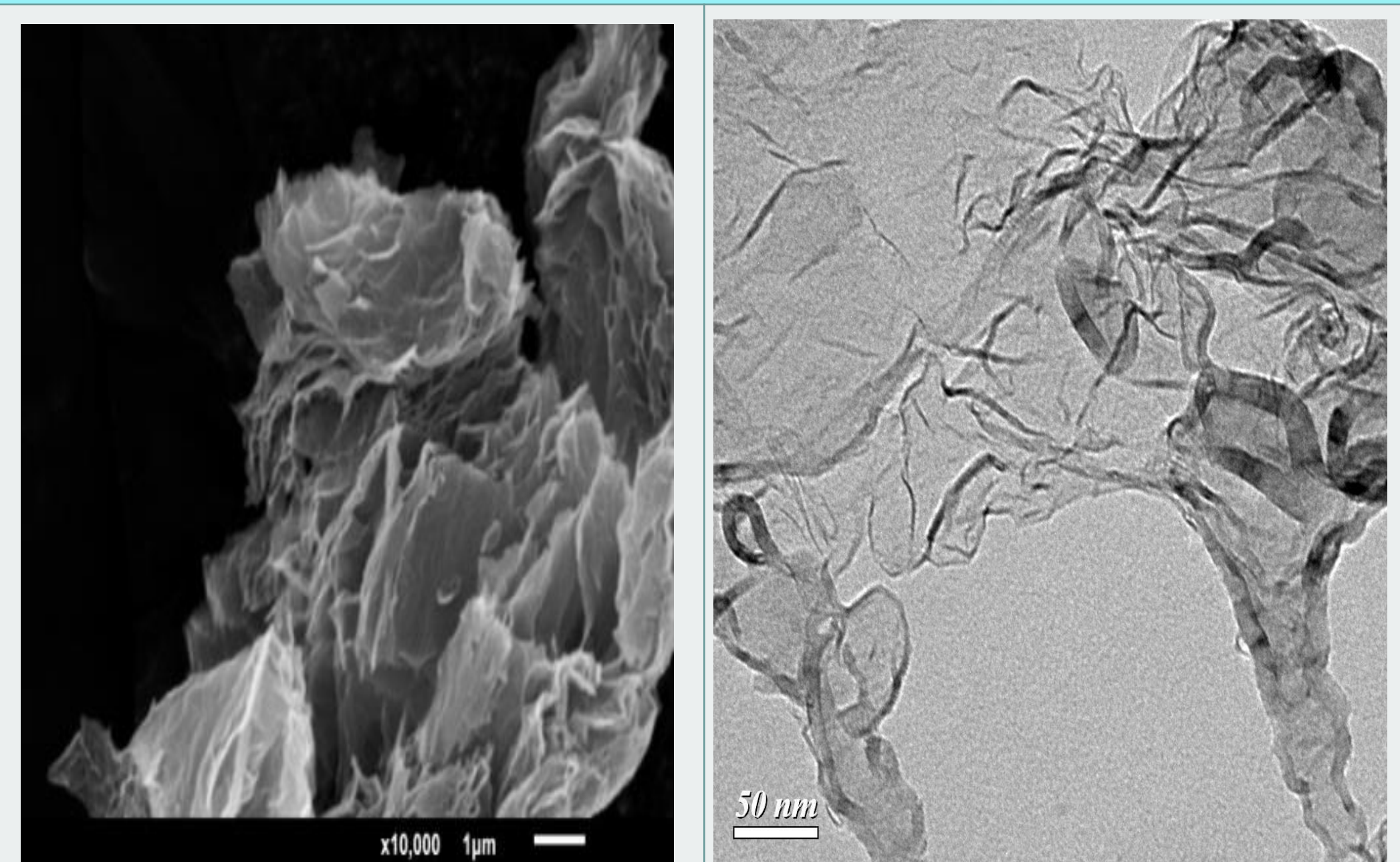
表一、三種可彎曲材料之相關性質比較統整表

材料名稱	PI薄膜	PET薄膜	PC薄膜
相關性質			
耐溶劑否	是	是	是
支撐性	過軟	可	可
顏色	淡金菊色	無色(透明)	無色(透明)
厚度 (mm)	0.100	0.100	0.100
透光率(%)	85%	91%	90%
耐溫性(°C)	250~300°C	60°C	120~130°C

表二、負極PC/導電膜/硫化銀量子點，搭配不同正極材料，對自製可彎曲硫化銀量子點太陽電池之影響

實驗次數	開路電壓V (短路電流 μA)			
	1st	2nd	3rd	Average
正極材料				
石墨烯	0.18 (25)	0.16 (28)	0.16 (26)	0.17 (26)
少層奈米石墨烯	0.38 (50)	0.34 (50)	0.36 (52)	0.37 (51)
多層奈米石墨烯	0.27 (21)	0.24 (22)	0.26 (27)	0.26 (23)

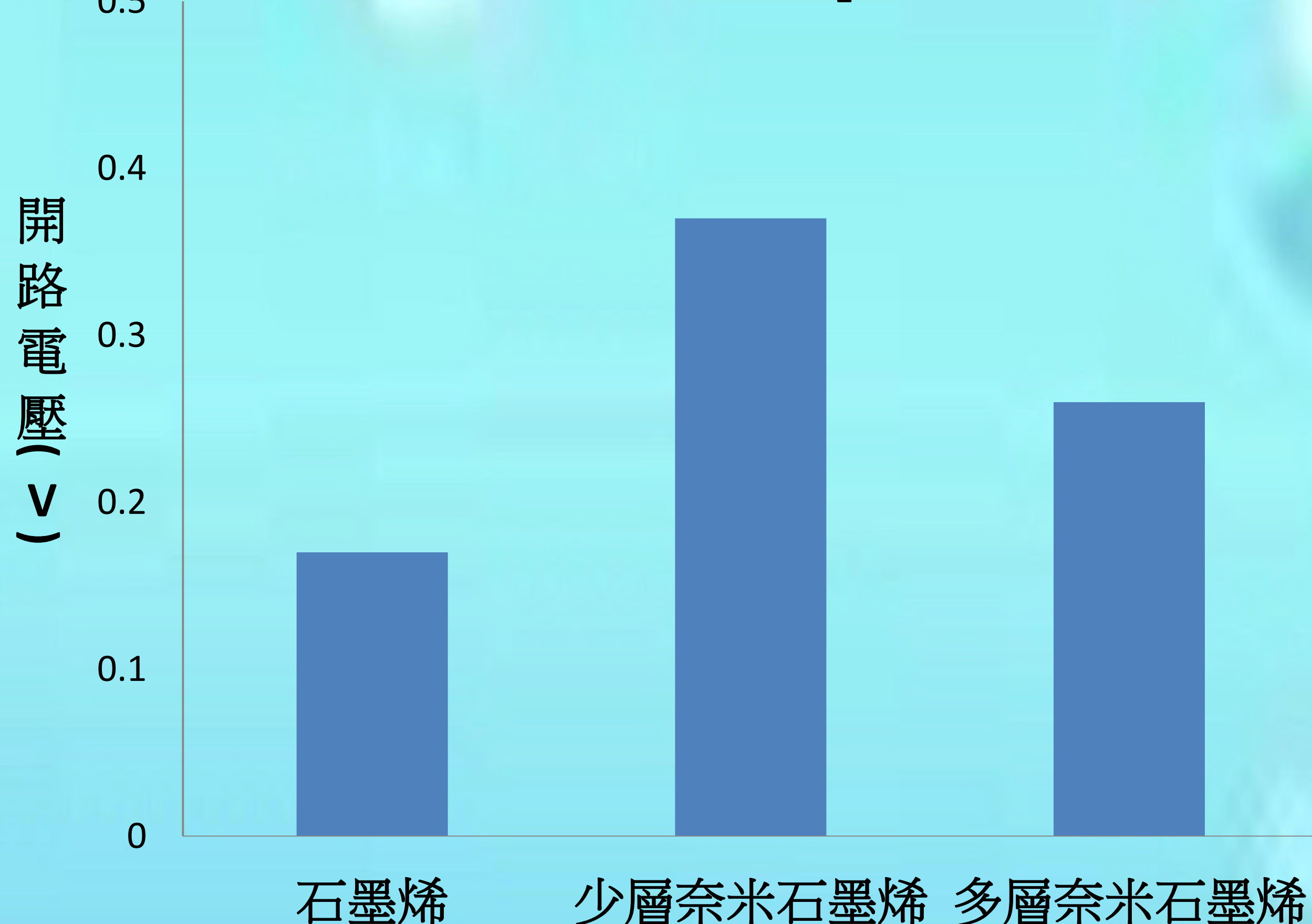
表三、少層奈米石墨烯在SEM電子顯微鏡下的照片



少層奈米石墨烯 (nano-graphene)

少層奈米石墨烯之厚度 (厚度平均約3.5nm)

使用不同正極材料製備 Ag₂S QDSC 之 開路電壓圖



表四、以1M硝酸銀+0.5M硫化鈉，沉積1-8層之量子點硫化銀QDSC之效能

次數	不同硫化銀量子點之層數							
	1層	2層	3層	4層	5層	6層	7層	8層
	開路電壓值V (短路電流值 μA)							
1 st	0.21 (42)	0.50 (48)	0.52 (48)	0.54 (149)	0.43 (35)	0.35 (43)	0.40 (38)	0.43 (42)
2 nd	0.27 (39)	0.42 (54)	0.48 (36)	0.51 (144)	0.39 (30)	0.36 (43)	0.39 (37)	0.44 (34)
3 rd	0.33 (33)	0.34 (57)	0.44 (38)	0.45 (136)	0.35 (40)	0.37 (45)	0.38 (36)	0.39 (36)
Average	0.27 (38)	0.42 (53)	0.48 (41)	0.50 (143)	0.39 (35)	0.36 (44)	0.39 (37)	0.42 (38)

表五、不同的硝酸銀濃度搭配1.5M之硫化鈉製備硫化銀QDSC之效能比較

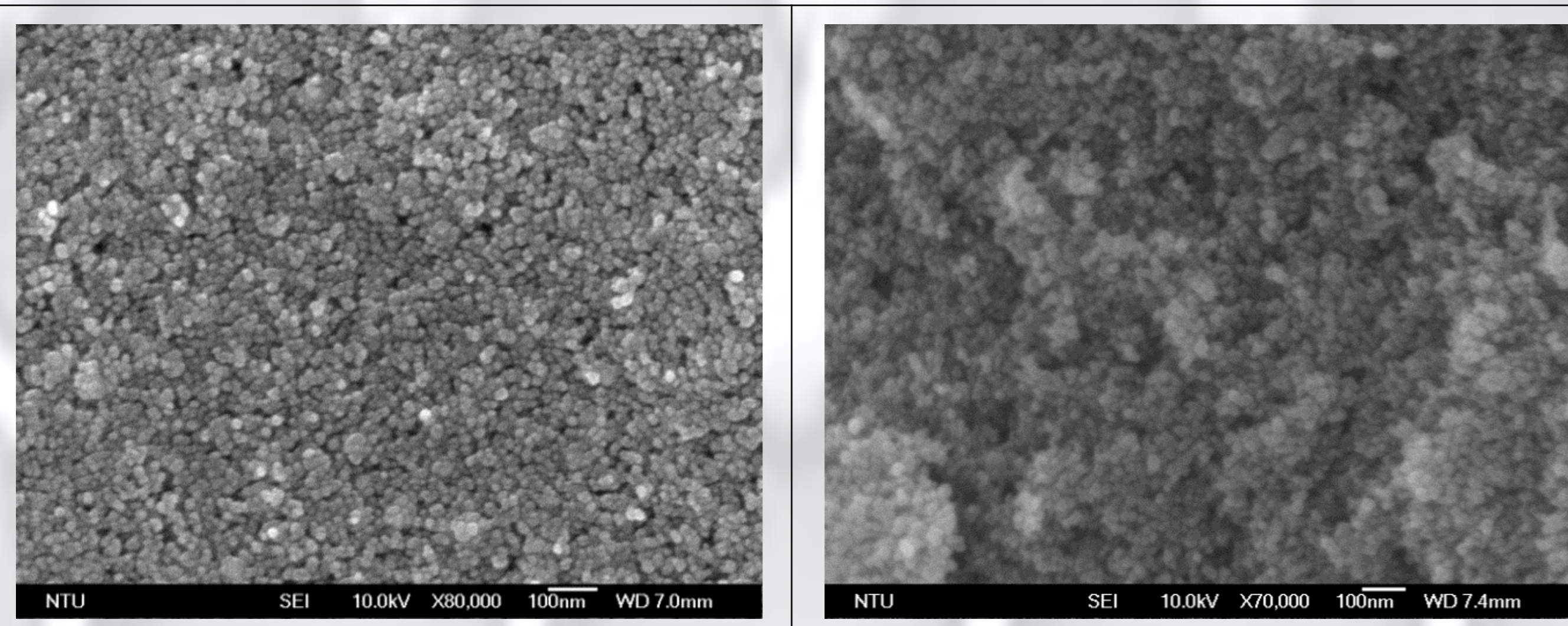
Na ₂ S _(aq) 濃度	AgNO _{3(aq)} 濃度					
	0.2M	0.4M	0.6M	0.8M	1.0M	1.2M
	開路電壓值V (短路電流值 μA)					
1.5M Na ₂ S (足量條件)	0.39 (72)	0.43 (80)	0.47 (48)	0.46 (157)	0.43 (45)	0.40 (90)
	0.42 (71)	0.37 (72)	0.41 (37)	0.43 (90)	0.45 (40)	0.48 (80)
	0.41 (71)	0.40 (70)	0.44 (44)	0.46 (93)	0.44 (44)	0.43 (85)
Average	0.41 (72)	0.40 (75)	0.44 (43)	0.45 (113)	0.44 (43)	0.44 (85)

表六、硝酸銀及硫化鈉以2:1之濃度製備硫化銀QDSC之效能比較

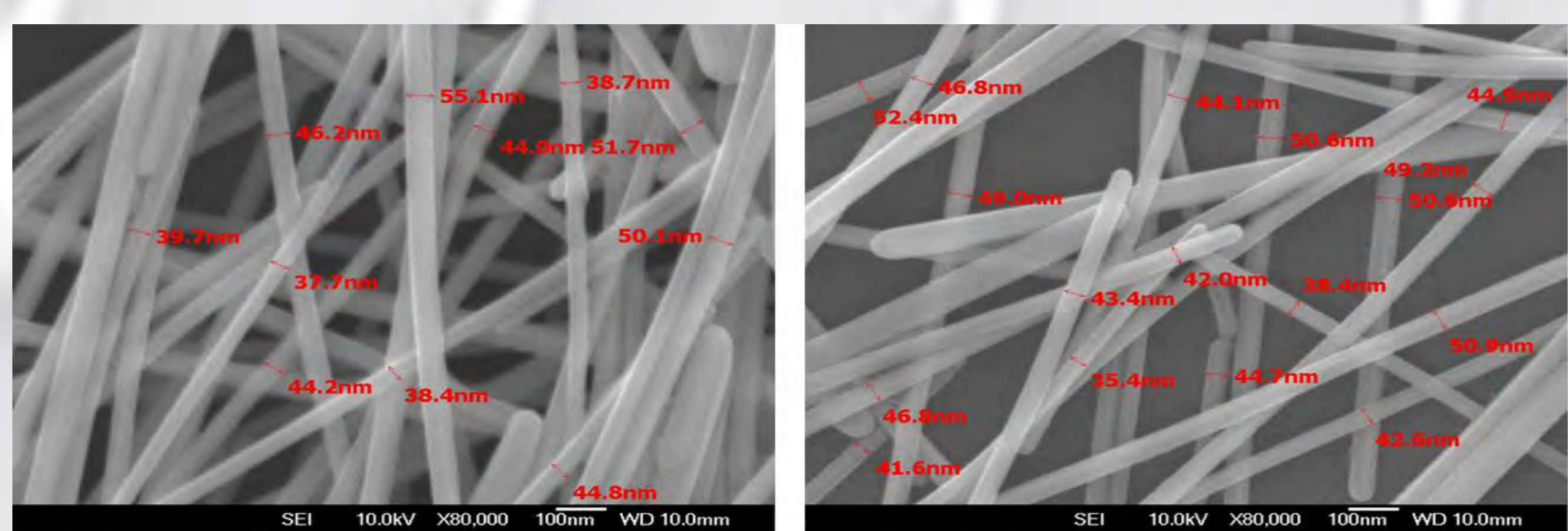
次數	不同之AgNO ₃ + Na ₂ S 之濃度					
	0.2M+0.1M	0.4M+0.2M	0.6M+0.3M	0.8M+0.4M	1.0M+0.5M	1.2M+0.6M
	開路電壓值V (短路電流值 μA)					
1 st	0.38 (50)	0.35 (91)	0.41 (99)	0.52 (256)	0.47 (125)	0.22 (26)
2 nd	0.41 (90)	0.34 (85)	0.42 (98)	0.51 (138)	0.46 (97)	0.22 (31)
3 rd	0.44 (130)	0.33 (79)	0.40 (99)	0.50 (176)	0.45 (69)	0.21 (36)
Average	0.41 (90)	0.34 (85)	0.41 (99)	0.51 (190)	0.46 (97)	0.22 (31)

表七、不同來源的銀材料，製備Ag₂S QDSC之效能比較

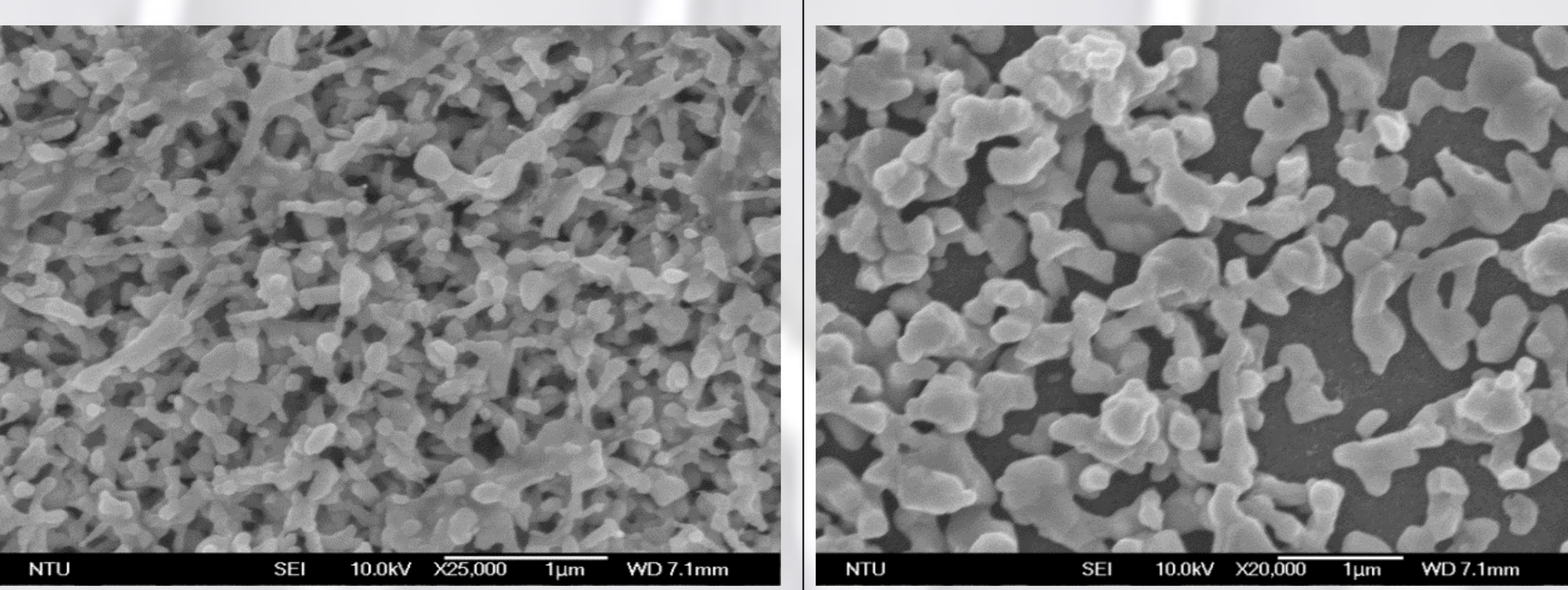
[Na ₂ S]	AgNO ₃ (2:1濃度比)	Nano Ag	2% Nano silverwire
		開路電壓平均值V (短路電流平均值 μA)	
0.1M Na ₂ S	0.41 (90)	0.27 (35)	0.40 (37)
0.2M Na ₂ S	0.34 (85)	0.39 (41)	0.45 (77)
0.3M Na ₂ S	0.41 (99)	0.49 (185)	0.35 (39)
0.4M Na ₂ S	0.51 (190)	0.45 (68)	0.39 (47)
0.5M Na ₂ S	0.43 (59)	0.44 (73)	0.38 (66)



▲圖六、左圖為硝酸銀+硫化鈉、右圖為奈米Ag⁺+硫化鈉，在SEM下拍攝照片



▲圖七、奈米銀線在掃描式電子顯微鏡下顯示之結果。(紅字部分為奈米銀線之寬度)



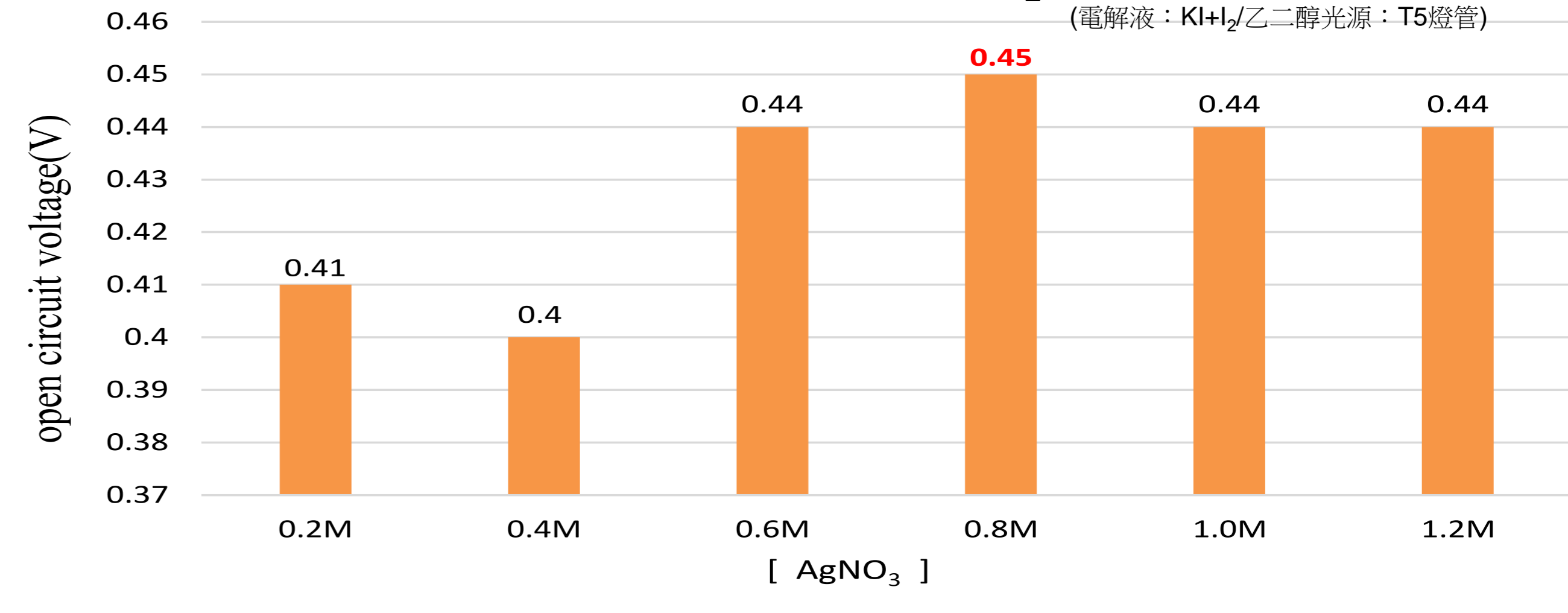
▲圖八、奈米銀線+硫化鈉製成硫化銀，在SEM顯微鏡下拍攝的圖片

圖二、1M硝酸銀+0.5M硫化鈉，沉積不同層數Ag₂S QDSC之開路電壓圖

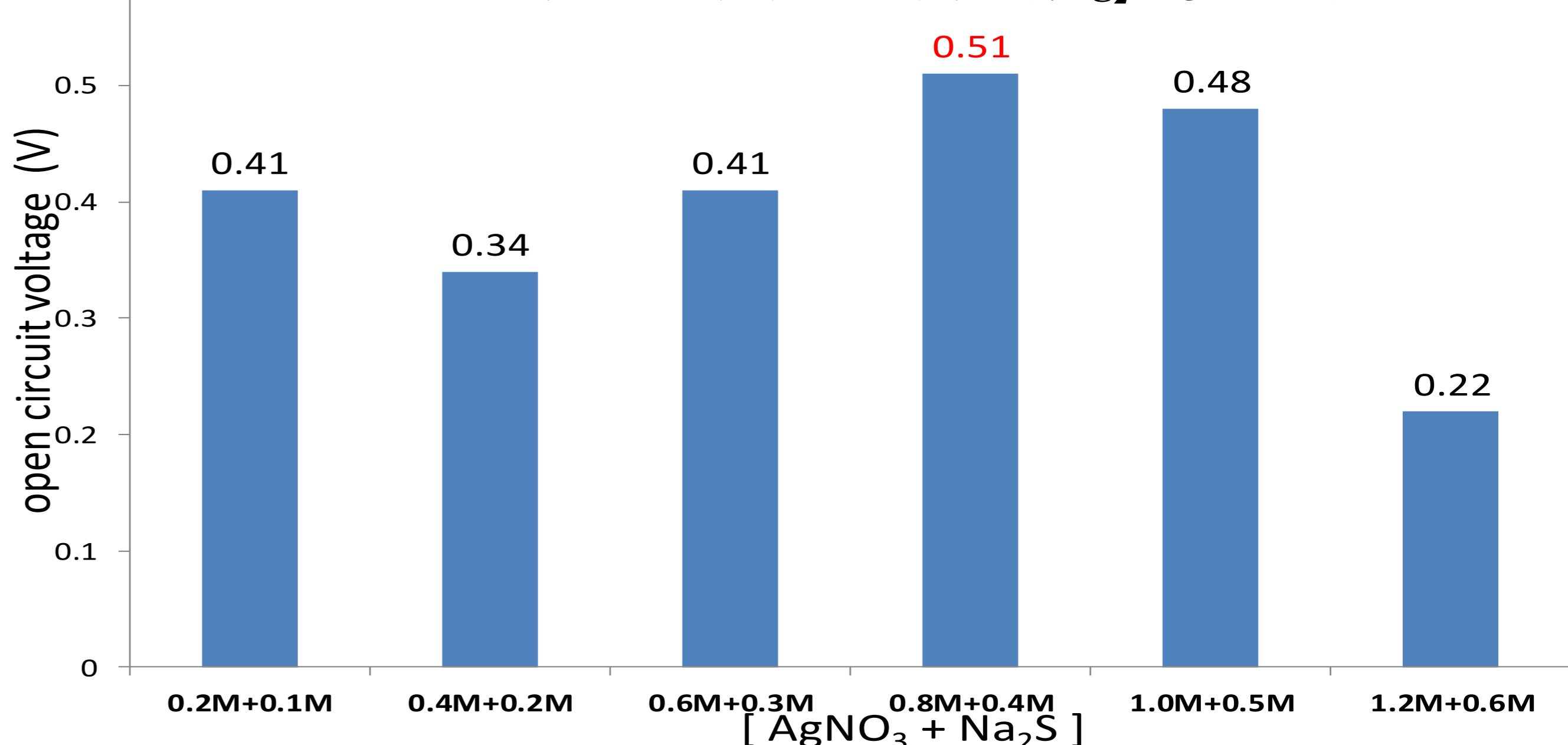


製備不同層數之硫化銀QDSC

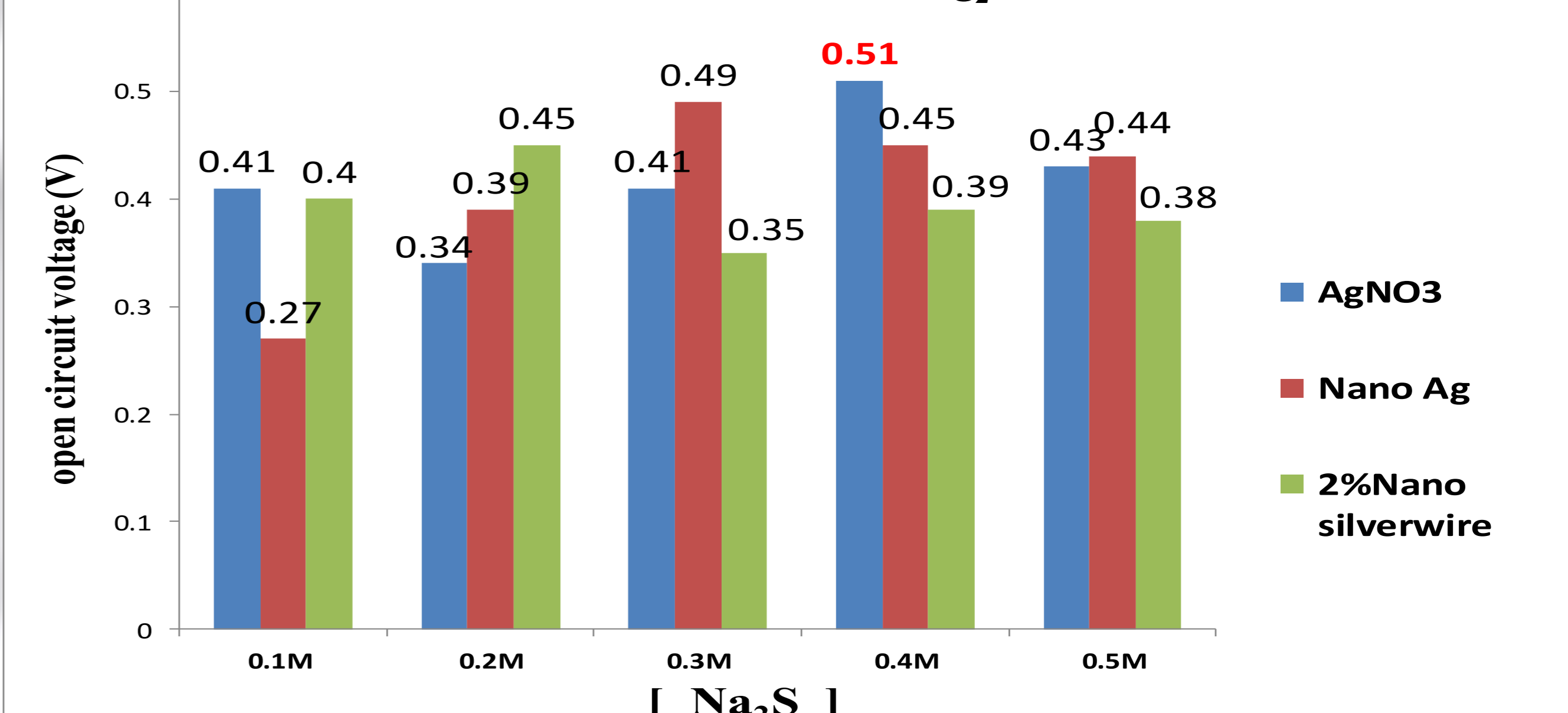
圖三、不同濃度硝酸銀搭配1.5M硫化鈉製備4層Ag₂S QDSC之開路電壓圖



圖四、硝酸銀及硫化鈉之濃度設為2:1製備4層Ag₂S QDSC之開路電壓



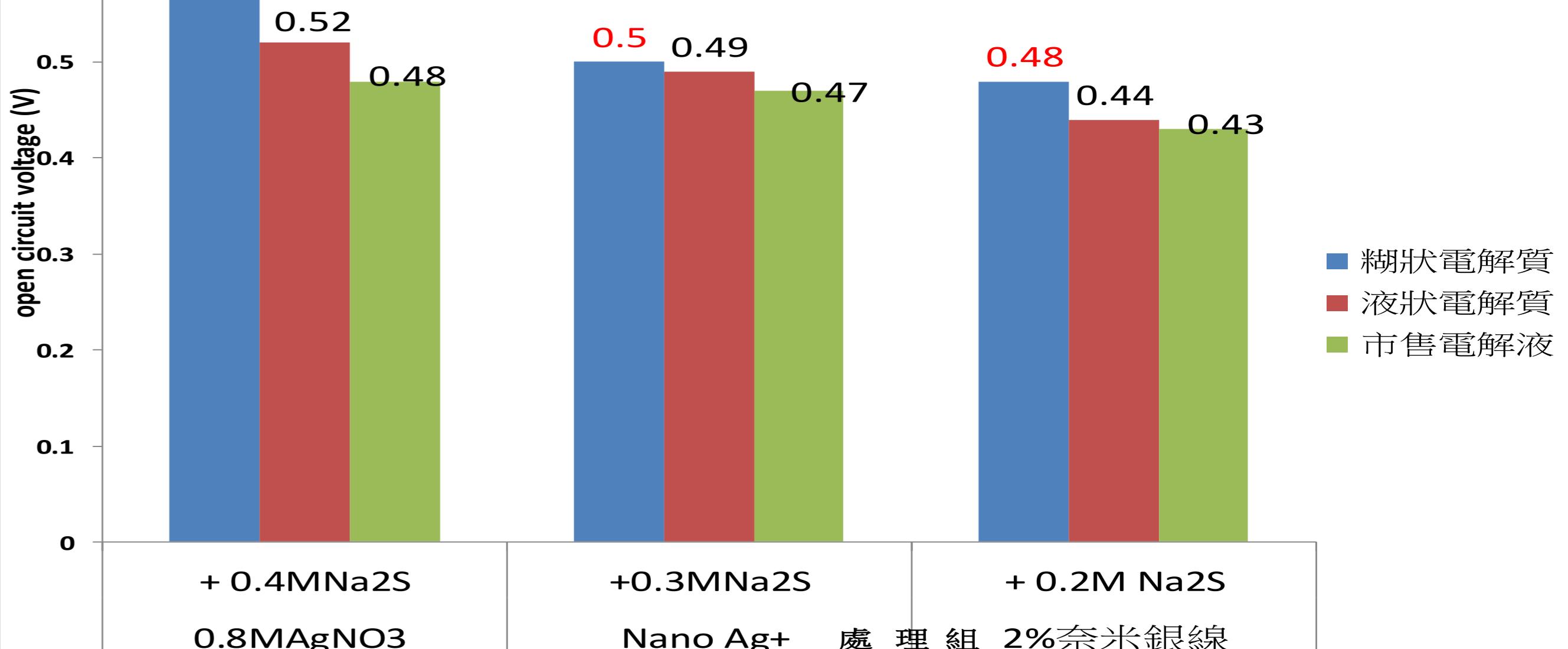
圖五、以不同來源的銀材料製備Ag₂S QDSC之開路電壓圖



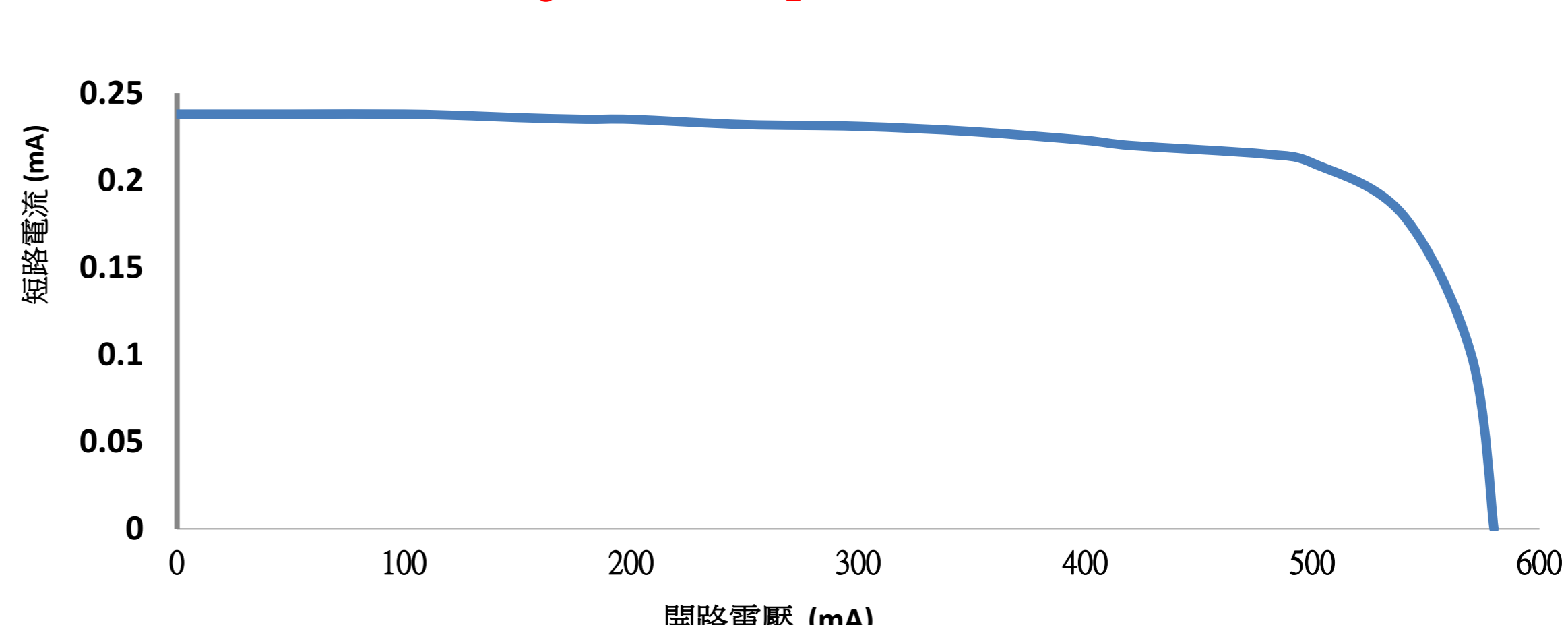
表八、以不同電解液，自製可彎曲Ag₂S QDSC之結果

電解質種類	0.8M AgNO ₃ + 0.4M Na ₂ S	Nano Ag ⁺ + 0.3M Na ₂ S	2% 奈米銀線 + 0.2M Na ₂ S
		開路電壓平均值V (短路電流平均值 μA)、光電轉換率(%)	
糊狀電解質	0.57 (238)、7.8%	0.50 (160)、5.7%	0.48 (139)、3.4%
液狀電解質(對照組)	0.52 (95)、3.7%	0.49 (98)、3.6%	0.44 (97)、3.5%
市售電解液	0.48 (92)、3.5%	0.47 (95)、3.2%	0.43 (92)、3.3%

圖九、以不同電解液，自製可彎曲Ag₂S QDSC之開路電壓圖



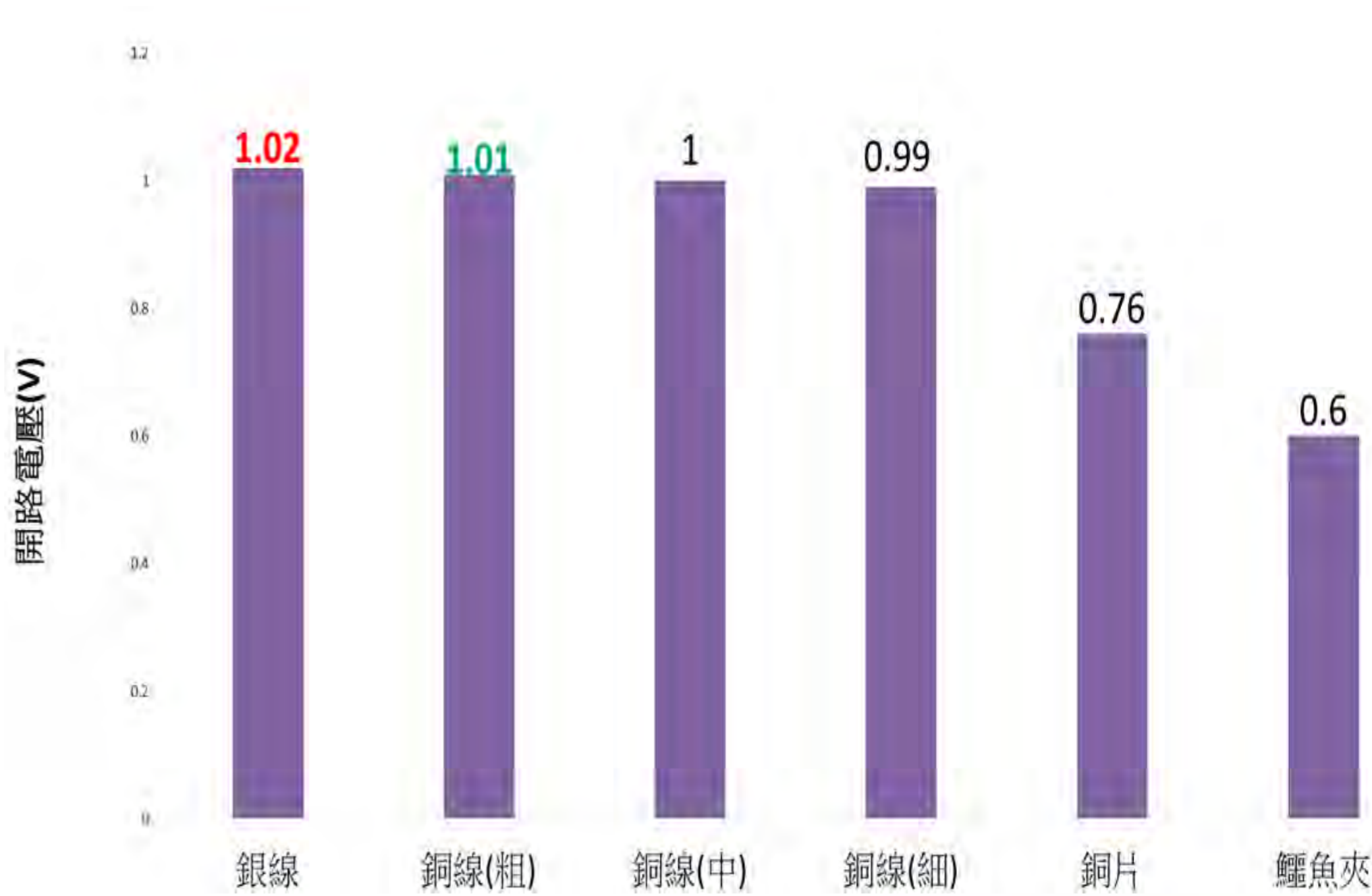
圖十 自製可彎曲硫化銀量子點敏化太陽電池 I-V 曲線圖 (0.8M AgNO₃ + 0.4M Na₂S, 糊狀電解質)



表十、以不同材料串聯2組之 Ag_2S QDSC 之結果

材料名稱	處理組1	處理組2	理論電壓值	串聯2組實際開路電壓及短路電流值
銀線(0.3mm)	0.52V (169 μ A)	0.53V (139 μ A)	1.05V	1.02V (201 μ A)
銅線(2.0mm)	0.53V (204 μ A)	0.54V (189 μ A)	1.07V	1.01V (109 μ A)
銅線(1.0mm)	0.53V (221 μ A)	0.53V (147 μ A)	1.06V	1.00V (271 μ A)
銅線(0.5mm)	0.53V (188 μ A)	0.55V (273 μ A)	1.08V	0.99V (244 μ A)
銅片(0.3mm)	0.55V (487 μ A)	0.54V (185 μ A)	1.09V	0.76V (218 μ A)
鱷魚夾(0.5mm)	0.51V (163 μ A)	0.52V (308 μ A)	1.03V	0.60V (180 μ A)

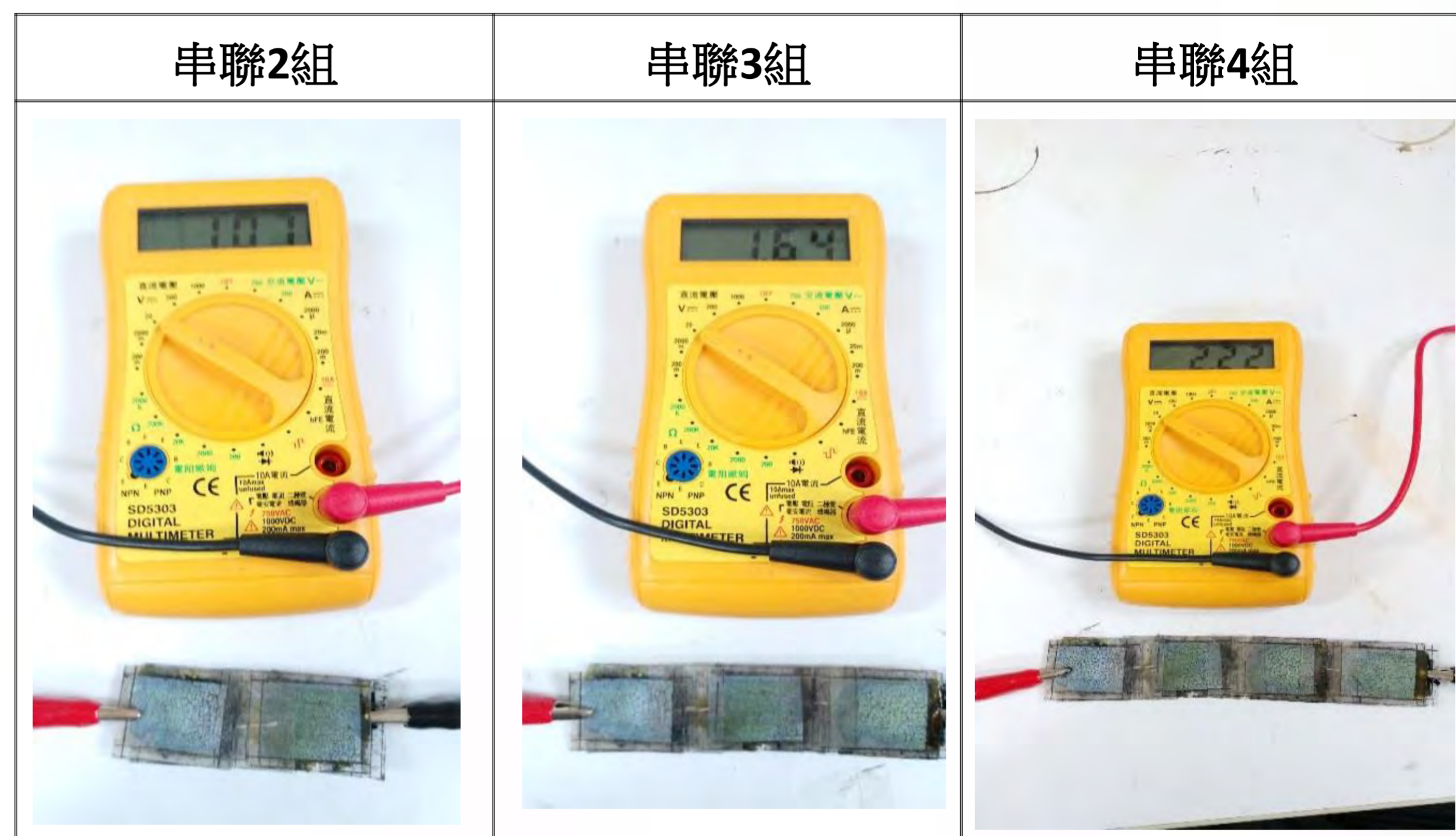
圖十一、使用不同串聯導電材料，串連2組 Ag_2S QDSC之開路電壓圖



表十一、串聯2.3.4組之硫化銀量子點敏化太陽電池之結果

Ag_2S QDSC的組數	串聯電壓(v)	短路電流(μ A)
1組	0.52v	130 μ A
串聯2組	1.07v	152 μ A
串聯3組	1.64v	180 μ A
串聯4組	2.22v	184 μ A

表十二、串聯2.3.4組之硫化銀量子點敏化太陽電池之電壓結果



表十三、自製可彎曲硫化銀量子點太陽電池應用與對照組之比較

電池	染敏太陽電池 (對照組)	自製硫化銀量子點敏化太陽電池
圖片		
應用	串聯3組，驅動數位時鐘	串聯2組，即可驅動數位時鐘
效能	自製硫化銀量子點敏化太陽電池 效能顯著提升1/3	

表十四、自製可彎曲硫化銀量子點太陽電池的應用與對照組之比較

電池	染敏太陽電池 (對照組)	自製硫化銀量子點敏化太陽電池
圖片		
應用	串聯4組，驅動計時器	串聯3組，即可驅動計時器
效能	自製硫化銀量子點敏化太陽電池 效能顯著提升1/4	

◎ 結論

一、探討不同可彎曲材料的性質，觀察對自製可彎曲 Ag_2S QDSC製備條件的影響。

- 選用不同種類之可彎曲材料，觀察比較對自製可彎曲 Ag_2S QDSC製備之影響。
針對相關性質，選用PC薄膜，為合適之可彎曲基材，做為本研究之可彎曲材料。
- 使用不同的正極材料，比較對自製可彎曲 Ag_2S QDSC製備條件之影響。

以少層奈米石墨烯處理組效能較佳，故選用少層奈米石墨烯為正極材料。

二、研究以不同濃度，沉積不同層數之硫化銀量子點敏化太陽電池效能比較。

- 以1M硝酸銀+0.5M硫化鈉，製備不同層數之硫化銀量子點敏化太陽電池：
1M硝酸銀+0.5M硫化鈉沉積4層之硫化銀量子點，製成硫化銀量子點敏化太陽電池有較佳之結果。
- 硫化鈉之濃度設為充裕條件，改變硝酸銀之濃度，以製備硫化銀量子點：
將0.8M硝酸銀+1.5M硫化鈉沉積4層之硫化銀量子點以製成 Ag_2S QDSC有較佳之開路電壓及短路電流。

3.硝酸銀及硫化鈉之濃度固定比例製成硫化銀量子點：

0.8M硝酸銀+0.4M硫化鈉沉積4層之硫化銀量子點，加正極之奈米石墨烯製成 Ag_2S QDSC，為較佳之結果，與上一方法比較，發現結果相近，考慮成本，使用2:1之濃度比接續實驗。

三、不同銀的相關材料與硫化鈉製成硫化銀量子點，並觀察其結果差異。

- 將硫化銀之銀離子來源改變，並觀察其結果與差異：
以沉積4層0.8M $AgNO_3$ + 0.4M硫化鈉處理組之 Ag_2S QDSC開路電壓達0.51V，為較佳結果，其次為奈米 Ag^+ 處理組。
- 以奈米銀線(2%)與硫化鈉製備QDSC，測試及觀察結果之差異。

製備硫化銀量子點敏化太陽電池，須製備「量子點」尺寸之硫化銀，方能有較佳之效能。

四、使用不同的電解液，比較自製 Ag_2S QDSC之效能差異。

開路電壓及光電轉換率的部分，以0.8M $AgNO_3$ + 0.4M Na_2S , 4層量子點處理組，搭配糊狀電解質有較佳的提升效果。糊狀電解質可解決液態電解液易滲出的問題外，亦可有效提升及穩定硫化銀QDSC之開路電壓、短路電流值。

五、探討不同串聯之材料及方式，測量其應用效能之比較。

- 以不同外徑的銀線(0.3mm)、銅線(2,1,0.5mm)、銅片(0.3mm)、鱷魚夾線(0.5mm)作為串聯媒介，觀察串聯後效能差異
銀線作為太陽電池與太陽電池之間之導電媒介，會有較高導電值與較低電阻值。
- 串聯及應用：

以銀線串聯2組開路電壓可達1.07V、3組達1.64V、4組達2.22V，顯示使用銀線作為串聯之材料，可降低其中之電阻，增其效能。使用鱷魚夾線，串聯2組即驅動數位時鐘、串聯3組即可驅動計時器，明顯比對照組(染敏太陽電池)之效能佳。