

染料敏化電池在物聯網的應用與未來

The Applications and Future of Dye-sensitized Cell in Internet of Things

童永樑 Y. L. Tung¹、吳曜杉 Y. S. Wu²、盧明德 M. D. Lu¹
工研院綠能所(GEL/ITRI) ¹資深研究員、²研究員

染敏電池可應用在多種環境中，由於其弱光發電的特性，很適合搭配小電力產品的使用，例如感測器等；而隨著物聯網的興起，感測器將會被大幅使用，如何使感測器能最方便被使用，有效利用環境能源採集技術將會是一個很重要的課題，而光的再利用就是一個便捷的方式，利用染敏電池結合產品，設計一個自足自給的商品，做到真正的無線新生活。

Dye-sensitized cells can be applied to a variety of environments, due to its low-light power characteristics, is suitable for low power products, such as sensors and the like; and with advances of the Internet of Things, sensors will be substantial use, how to do that the sensor can be used most convenient and efficient, the environmental energy harvesting technology will be a very important issue. The light reuse is a convenient way to combine the use of dye-sensitized cell, design a self-power of goods, so that is really wireless new life.

關鍵詞/Key Words

染敏電池(Dye-sensitized Solar Cell; DSC)、物聯網(Internet of Things; IoT)、感測器(Sensor)

前言

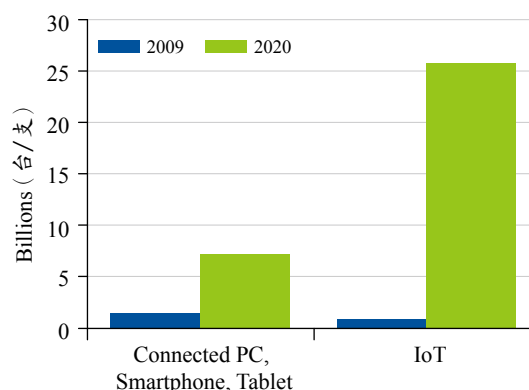
物聯網(Internet of Things; IoT)，最早由國際電信聯盟(International Telecommunication Union; ITU)於2005年所發布的報告「The Internet of Things」中提出，主要內容為：在網路化的時代下，人與人之間可以透過網路相互聯繫，或是人透過網路取得物件的資訊，物件與物件之間可以互通的網路環境⁽¹⁾。網際網路(Internet)是資訊網路，實體物件的互聯網就簡稱為物聯網，整體而言，物聯網時代代表著未來資訊技術，會趨向運算與溝通上的演進，而這樣

的演進過程中將會使各種不同的技術一起整合與參與，為科技創新與生活便利而努力，在不同地區定義上有些微差異，歐盟CASAGRAS專案計畫定義：物聯網是一個『物』(Things)能自動對電腦通信，物件本身也能彼此互通的世界，它以人類利益為服務要件。中國物聯網定義：物聯網就是「物物相連的互聯網」，因此物聯網技術範圍可以由極微小的奈米科技、跨大到生產工廠監控與維運，或是整合到城市無線網路的佈建，其影響範圍相當廣泛。

物聯網從技術架構下有七項主要特性⁽¹⁾：①連結(Linking)物理與虛擬物件；

②物件識別(Identification)；③自主的資料擷取(Data Capture)與感應；④資料傳輸(Communication)；⑤網路聯通性(Network Connectivity)；⑥聯盟化服務(Federation)；⑦全球網路基礎設施(Global Network Infrastructure)。形成物聯網後主要呈現整體性的相互連接、自動處理，進而改善流程，凡是參與者都在其中形成閉環環境，這其中有一項基本的要件就是環境資訊的取得，需要大量的感測器對周遭環境進行探取，因此大量以及多樣的感測器會被大幅使用，作為基礎資訊收集元件以及應變單元，這些感測器以往都由市電以接線方式供電，進而轉向以電池供電方式獲取裝設的便利性，但是數以千計的感測器都要進行人工替換電池，造成額外的花費，以及更換時的安全顧慮，因此如何延長操作使用時間，減少換電池的次數，讓感測器的使用更為普及與方便。一般使用的方式有兩種，一是減少偵測頻率，使耗電量降低；另一種是開發更省能的設計。現在隨著環境能源回收技術的進步，還有一種選擇可十分有效的結合，即利用環境中可獲得的能量將之導入感測器中，太陽能或是光能就是一種十分便捷的方式，而染料電池(Dye-sensitized Solar Cell; DSC)由於發電特性與製程整合容易，將會是一個很好的電力提供者。

物聯網的市場，依據國際研究暨顧問機構Gartner預測，不包含PC、平板及智慧型手機在內的物聯網裝置使用者數，估計將於2020年成長至260億台/支，較2009年的9億台/支成長近30倍（圖一）。意即感測器的使用量可能超過這個數值，IDTechEX更預測屆時市場產值將達260億美元，Gartner預



資料來源：Gartner (November 2013)

▲圖一 Gartner預測物聯網裝置使用者數2020年將達260億台/支

測物聯網產品與服務供應商將創造逾3,000億美元的邊際收益，且絕大部分在服務領域，其各類終端市場的銷售業績將帶來1.9兆美元的全球經濟附加價值。在眾多感測器中，若有10%使用染料電池，以100 cm² (0.3~0.5W@1 sun)模組為例，相當於0.8~1.3 GW的模組使用量，而這些電池模組因為使用情境大多非在大太陽下，反而是在各種光強度下都有可能，因此計價方式，也非電廠發電式的以瓦計算，反而著重在於使用狀態下的整合效能，這樣的方式或許可使染料電池獲得更好的市場價值。

在物聯網時代，很多商品是「少量、多樣」的生產方式，目前業者還在摸索商機，可能一次只做一百個或一千個，但台灣是大量生產的模式，將忽略很多小業者的需求，進而可能錯失布局良機，甚至未來的成熟期，一樣還是多元化市場，若是以一般矽晶太陽電池製程，很難去符合這樣的要求，反而是以網印式染料電池可以因應客戶端的不同需求，進行客製化的改變，以符合每一個產品不同的規格。

環境能源採集技術簡介

物聯網的應用可分為工業用與民生用兩種範圍，工業用講求效能的提升以及製程的掌控與預判；民生用所追求的不外乎是方便性與成本考量，但這兩項需求都需要大量感測器來收集，若是能妥善利用環境能源採集技術，使感測器可以做到「自足自給」的地步，如此才能使眾多的感測點變成「無感」，而不會變成另一項負擔或是影響生活的便捷性。

「能量採集是什麼？」能量採集(Energy Harvesting)簡言之，就是「將光、振動、熱和無線電波等日常生活中的細微能量轉變為電力並加以利用的技術」(圖二)，其主要是希望減少電子設備的維護時間、提供更長久的使用壽命，以及減少對電池的依賴，當然，最終目的是希望能成為綠色能

源而減少對發電廠的需求。

能量採集的來源主要來自光、振動、熱和無線電波，而根據環境位置的不同，有不同的採集功率和考慮因素，如表一所示。其中採集光能量一般是使用太陽電池，振動能是通過電磁或壓電方式採集，而無線電波則是使用定向方式較為有效，使用現實環境下的電波並無法採集到太多有用的功率。

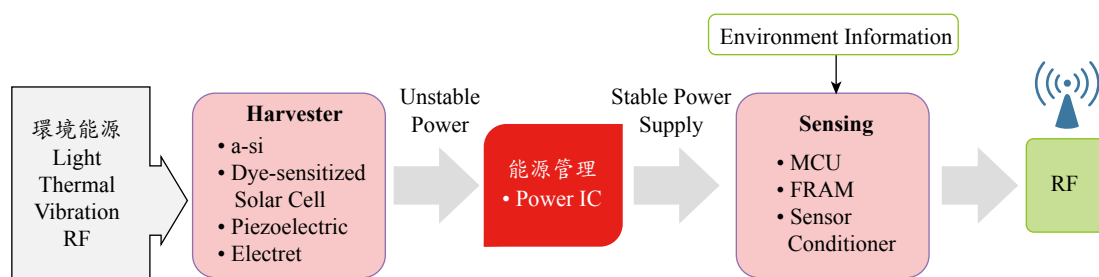
典型的能量採集配置或系統如圖三所示，通常包括將一種不穩定環境能源，例如使用太陽電池，由太陽電池將太陽光能量轉換為電能。該電能隨後可由一個能量採集電路進行轉換，變更為一種可用且穩定的形式，用於後端電路供電。這些後端電子線路通常包括某種類型的感測器、類比數位轉換器(ADC)和一個超低功率微處理器(MCU)。上述元件可以由能量採集系統所產



▲圖二 能量採集無所不在⁽²⁾

▼表一 一般能量採集器的輸出功率⁽³⁾

能量採集源	環境位置	採集功率	採集器考慮因素	電路考慮因素
光	室內	10 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	光照強度與波長	低功耗、MPPT、單節電池工作
	戶外	10 mW/cm^2		
機械振動壓電	人	4 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	振動大小與諧振頻率	AC/DC轉換、阻抗匹配
	機器	250 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$		
機械振動電磁	人	50 $\mu\text{W}/\text{cm}^3$		
	機器	2 mW/cm^3		
熱	人	25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	熱梯度，熱通量	低壓啓動、亞200 mV輸入高效率
	機器	10 mW/cm^2		
無線電波	背景	0.1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$	到發射源距離和天線諧振	高效率低壓整流
	定向	1 mW/cm^2		



資料來源：iTers News

▲圖三 能量採集與感測系統應用架構

生的電能驅動，並喚醒一個感測器，以獲得一個讀數或測量結果，然後使該資料可透過一個超低功率無線收發器進行傳輸。

能量採集技術目前應用範疇有第三世界國家、軍事、外太空、海洋、建物、工業、汽車、鐵路以及消費性電子產品等，主要是因為電力取得不易，而其中最大宗的應用在於消費性電子產品，例如「太陽能手錶」、「手搖發電的燈、收音機」等，甚至也有結合兩種能量採集技術的產品，例如結合太陽能和電動力學應用在筆電、收音機、手機充電、落石監測以及汽車和道路設備等。

而另一個能量採集技術在未來極具潛力的應用領域為無線感測器網路，基於目前已有許多待機電流低於1 μA 的無線模

組、MCU和記憶體等產品，而且實際運用時，驅動感測器發送數據的間隔只要延長幾分鐘到幾小時，或是一天一次即可，這樣只要搭配儲電池或電容，就可以解決能量採集器發電微弱的問題。

無線感測器網路主要用於環境監控，舉凡工廠、辦公室、溫室、建物等，都可以搭配不同的感測器來運用，例如在辦公室，透過溫濕度和二氧化碳感測器，可隨時監控空氣品質，並在適當的時候調整通風系統的強弱；在工廠可使用氣體感測器來監控是否有毒氣體產生；在建築物和道路、橋樑等基礎設施上的應用，主要是使用檢測位移的應變感測器，檢測腐蝕程度的腐蝕感測器，以及檢測破損的

AE(Acoustic Emission)感測器等⁽⁴⁾。

而支持無線感測器網路最常見的能量採集技術為光能和振動能，其中光能即是使用太陽電池，而在太陽電池的技術領域中，目前還是以矽晶太陽電池為主流，但矽晶太陽電池因為其天生限制，在非直射光以及微弱光和漫射光的狀態下是不會發電的，而矽薄膜和染敏電池(DSC)是最適合應用這些狀態下的技術。

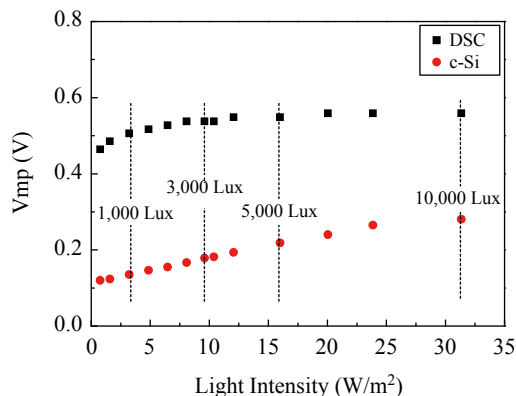
物聯網架構中， 太陽電池的切入點在哪裡？

運用光能和振動能為無線感測器網路底端電力來源最常見的能量採集技術，其中光能即使用太陽電池，而在太陽電池的技術領域中，目前還是以矽晶太陽電池為主流，但矽晶太陽電池因其半導體電池特性的關係，在極弱光源和漫射光的狀態下，電壓壓降極大（圖四），導致幾乎無電力輸出，而矽薄膜和染敏電池，因為光譜響應範圍為可見光區塊，且同屬薄膜太陽電池，為最適合應用在室內環境中的技術。

但矽薄膜太陽電池由於設備投資成本較高、回收期較高，幾乎已淡出市場，且

其除了在大型電廠市場是DSC目前無法取代外，而在商品面的市場應用環境是與DSC重疊的，但其不易隨產品端進行製程變化，DSC利用不需高真空設備、容易客製化、較不受入射光角度影響與低照度下可發電特性等優勢，甚至多彩多樣化，搭配電路整合，可將太陽電池導入產品設計，在不影響整體產品外觀下，提供居家與工廠環境監測的新選擇，適時地回饋反應，使環境安全更容易被控制與瞭解，這樣的設計，不僅在日常生活可以廣泛應用，對於有毒或是有害環境的監控也是十分的有利，例如偵測CO的濃度並即時警告、門窗防盜壓力感測、有毒氣體的偵測等，將這些使用於系統化，結合無線傳輸，應用於物聯網觀念，將可增加使用的方便，使得產品增加競爭性，因為使用太陽光作為電力來源，更可以降低市電的使用，兼顧環保。特別是在大規模的無線感測器節點應用中，電池成本高且替換麻煩，同時它在極端溫度的條件下也較不穩定。通常無線感測器節點使用電池供電是因為它們的放置點無法或不便由主電源供電，透過可採集型能量方案可消除更換電池的麻煩，簡化應用的設計，同時也減少廢電池的回收或填埋處理。

綜合上述，太陽電池的結合，將成就更方便的獨立能源，而選用染敏電池，利用該技術特性，保有最靈活的使用彈性與設計空間。在非豔陽和日照不足的狀態下也能充電，使用情境廣泛，以目前技術能力出發，一步步將太陽電池技術帶進終端應用產品，為將來商機龐大的IoT市場做準備，並使得太陽電池能以產品形式獲取更大的利益，擴張太陽電池應用領域，使其只要有光就可提供電力，並不一定要仰賴

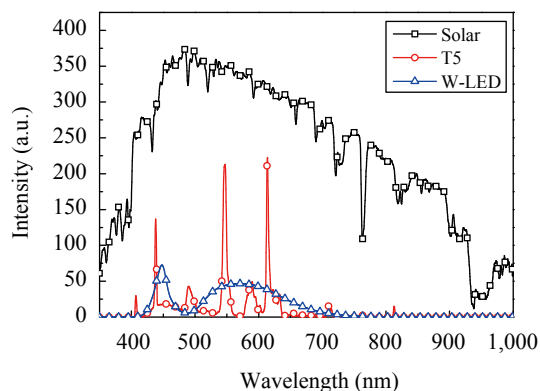


▲圖四 染敏電池與矽晶太陽電池電壓比較

太陽，提升產業效益。

然而染敏電池究竟可以提供多少電力，而其可應用的範圍又在哪裡？依期刊報導其小電池最佳效率可達12%⁽⁵⁾，而次模組可達9%，但這都只是高效模組或電池，因應實際使用環境所開發的模組在100 cm²左右的次模組，目前國內技術可達7%，但這為過去大家對於太陽電池的思維下的成果，即One sun(1,000 W/m²)或0.5 sun進行設計，對於低光度(1~10 W/m²)設計著墨甚少，而太陽能與室內常用的LED及T5燈管，其光譜也相差甚遠(圖五)，太陽光分布從紫外光到紅外光區，而室內光源分布則在400~750 nm之間，能量低且光譜分布窄，如何將有限的能量，得到最佳的利用，就相當重要，但好處是染敏電池與LED及T5燈管放光圖譜範圍相近。

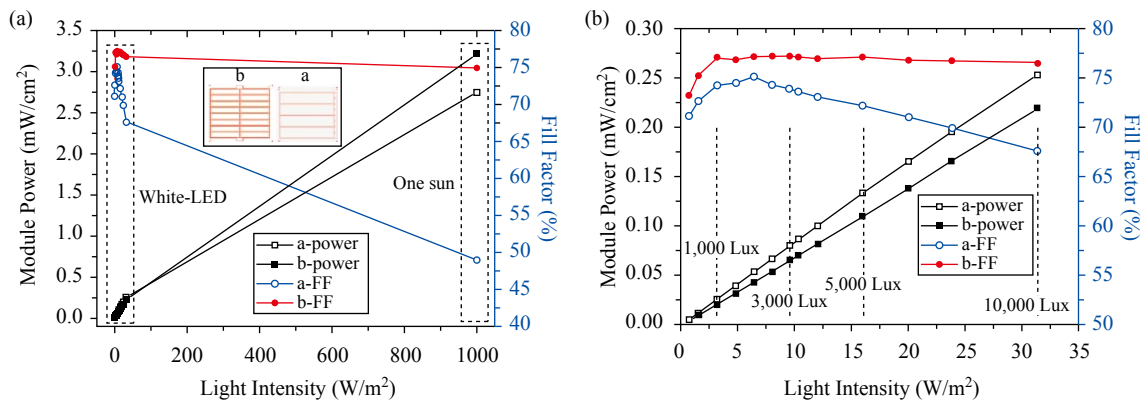
因此，如何使得DSC對於室內光源的能源回收率提高就相當重要，因為當DSC走入產品端，進入物聯網系統，其所處的環境，與人的活動空間息息相關，有80%以上是在室內的，所以如何針對室內光源的運用就相當重要，也左右著產業的成敗。而DSC擁有低光強度下電壓的優勢，在效率為



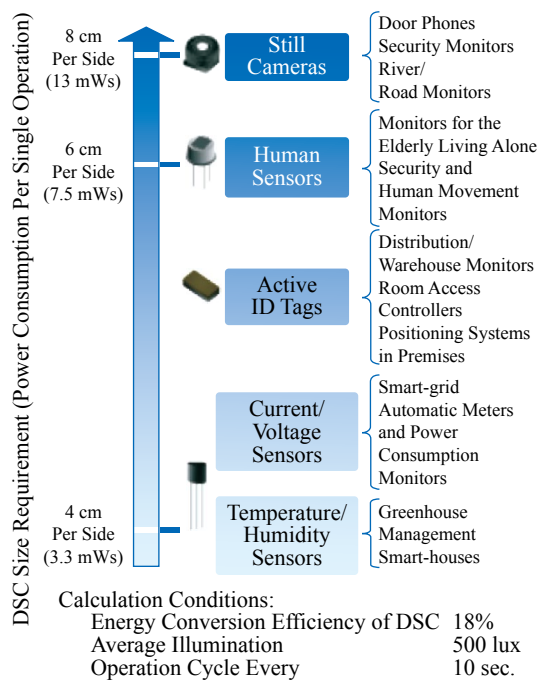
▲圖五 太陽光、W-LED及T5燈管光譜比較

6%的染敏電池與效率為17.2%矽晶太陽電池於白光LED下200~5,000 Lux光電壓輸出比較(圖四)，可以發現DSC即使在極低光度200 Lux仍維持0.4V以上的電壓輸出，而矽晶太陽電池雖有微弱電壓，但經實測後並無法進行功率輸出。但DSC因仍維持0.4V以上的電壓輸出，對於後續產品端應用時，足以及在電池不串聯的條件下，提供升壓晶片進行能量採集，接下來就是如何在有限面積下提升光電流，而其手段不外乎提升發電面積及增加光吸收能力。過去所有太陽電池於一個太陽光系統均追求高短路電流(Jsc)、高開路電壓(Voc)及高填充因子(FF)，但在室內光源下光強度差異極大，因此DSC在低光強度的設計下，有機會將原本的電流收集線區塊省略，使其轉換成可發電面積，間接的也減少了封裝損失，提升整體的發電量，如圖六(a)所示傳統高光強度設計模組b，其於一個太陽光系統時單位模組面積發電量及填充因子均優於低光強度設計模組a；但將其測試環境改至白光LED時，可以明顯的看到低光強度設計模組a，其填充因子立即由49%上升至67~75%，使得其低光模組發電量逆轉勝於模組b(圖六(b))。然後續在模組設計及材料組成調整尚有許多空間，若能於極低光源如200 Lux下，將單位面積模組發電量提升至10 μW/cm²以上，相信在應用產品端的利用將更廣。

過去由Fujikura在2013年的估算中(圖七)，如果DSC在低光強度500 Lux下效率可達18%，僅需16~64 cm²的模組，即提供低耗電的溫溼度到較高耗電的安全系統偵測器，亦可用於人體感測器及ID標籤，平均每10秒運作一次。另將0.1 sun效率8.5%的900~2,500 cm²模組置於戶外環境0.1~0.03



▲圖六 100 cm² DSC (a)高低光度；(b)低光度設計模組發電量及填充因子隨光強度變化圖



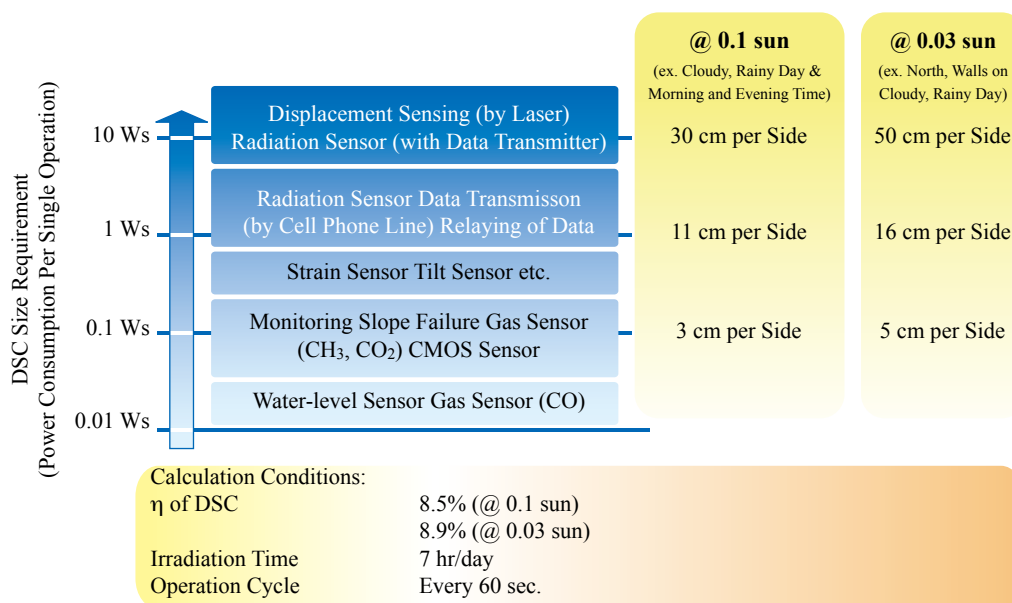
▲圖七 以500 Lux下效率18%估算各種偵測元件所需的DSC面積⁽⁶⁾

sun下，平均每天發電7小時，則可於每分鐘運作一次耗電量10W的偵測器，但若其僅用低耗電的氣體偵測器，則所需模組面積就只需要9~25 cm²，大幅的提升其應用價值（圖八）。工研院於2014年亦完成DSC自供

電無線溫濕度偵測器開發（圖九），其使用5 × 10 cm²的軟性DSC次模組，經由TI的晶片進行DC/DC升壓，對二次電池（鹼充電池/鋰電池）充電，使其不間斷供應無線溫濕度的偵測及無線傳輸電力，經實測於500 Lux下，每7分鐘偵測及發送一次訊號可達全自主供電狀態。

結語

物聯網涵蓋的範圍很廣，隨著物聯網技術的進步，將會開啓全新家庭智慧生活，這其中還需要很多環節的跨領域合作，不只是大家所熟悉的應用程式(APP)而已，還需要硬體方面的全面升級，在工業上將會與工業4.0鏈接，在民生則可以說是無線新生活，這些都需要廣大的資訊收集點，或許有人會說那接市電就好，但當量大時，龐大而複雜的佈線費用便會造成諸多不便；也有人會說那接電池就好了，同樣地當量大到一定程度，換電池勢必會變成一項負擔，甚至因廢棄電池造成另一項污染，這在電費便宜且方便的台灣或許很難去體會，但若將1度電力換成使用3號電池



▲圖八 估算DSC使用於高耗電型態所需面積⁽⁶⁾



▲圖九 工研院開發DSC自供電無線溫濕度測節點

(AA電池)來計算，相當於耗掉360顆，如此巨大的差異將會是一個成本與效能的競賽，而染敏電池的導入，就是希望可以延長替換電池的時間，進而省下人力成本與電池的使用量，加上染敏電池的製程與發電特性，非常適合在物聯網中的感測器使用，因此預測染敏電池將會隨著物聯網的興起而興盛。☞

誌謝

本研究工作承蒙能源局資助(104-D0304)及工業技術研究院綠能與環境研究所支持，謹此致謝。

參考文獻

- (1) DIGITIMES中文網 原文網址：物聯網概述：
http://www.digitimes.com.tw/tw/iot/shwnws.asp?cnlid=15&cat=&packageid=4012&id=0000210621_WYO5SS4S3S128U0UW8NA8#ixzz3fBj5VWr0;
- (2)物聯網簡介：http://www.rcg.tv/zh_tw/industry-technology/iot.html
2. Wonderful Engineering網站<http://wonderfulengineering.com/german-engineer-makes-a-free-energy-harvesting-device/>
3. 電子工程世界網站http://www.eeworld.com.cn/dygl/2012/0718/article_13235.html
4. 日經技術在線網站<http://big5.nikkeibp.com.cn/news/health/65784.html?limitstart=0>
5. A. Yella, H. W. Lee, H. N. Tsao, C. Yi, A. K. Chandiran, M. Nazeeruddin, E. W. Diau, C. Y. Yeh, S. M. Zakeeruddin, M. Grätzel, 334, 629, 2011, Science.
6. Nobuo Tanabe, Fujikura Technical Review, 109-113, 2013