

超級電池超級能耐

■ 鄧名傑、陳錦明

在未來的世界中，電池不僅可取代石油燃料應用於交通工具，紙與衣服也會成為新式輕型能源儲存媒介，可用來充電或結合太陽能技術蓄電。

隨著科技日新月異、生活水準提升所帶來的化石燃料即將枯竭和日益嚴重的環境汙染問題，各國無不重視發展來自太陽、風力等可再生且具永續性的潔淨能源。然而，對這些具有間歇性的可再生潔淨能源而言，良好的儲能系統與裝置相當重要。基於能夠大量生產且具備環保與綠色概念，新一代的儲能裝置必須同時符合製程低成本、材料低汙染並可回收、裝置操作安全，且使用壽命長等的要求。

超級電容器

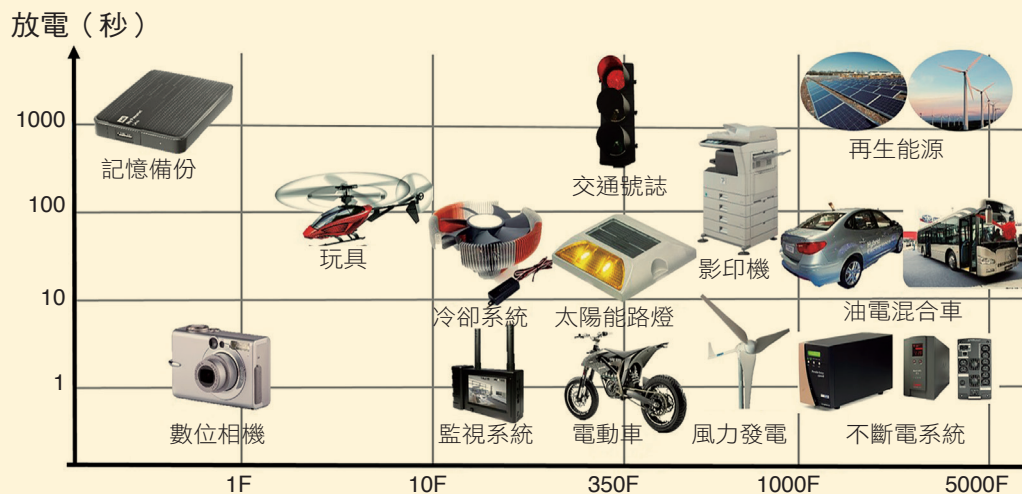
超級電容器又稱為電化學電容器，是一種重要且極具潛力的儲能裝置，因為它比大部分電池能更快速地充放電且使用壽命較長，同時擁有優於傳統電容器的續航力。因此，超級電容器在近十年非常受到重視。根據儲能機制的不同，超級電容器可分為 3 大類：電雙層電容器、擬電容器及混合式超級電容器電池或稱為超級電池。

電雙層電容器是利用電極與電解液界面間庫侖靜電力造成電荷分離的現象來儲能，常以各種高表面積、高孔隙度活性碳或奈米碳管等做為電極材料。

擬電容器則利用電極活性材料在電解液中發生氧化還原電化學反應以儲能。因為牽涉到整體活性物質的法拉第電荷轉移，單位電極面積電容值遠高於電雙層電容器，而電極活性物質須在一定的操作電位範圍內進行大量、快速、連續且可逆的電化學反應，因此具備多種可變換化合狀態或價數是電極材料的基本需求。

超級電池則是較新式的儲能裝置，結合部分擬電容器特性的法拉第電荷轉移做為能量來源，與部分電雙層電容器特性的庫侖靜電力做為功率來源。

對具有間歇性的可再生潔淨能源而言，良好的儲能系統與裝置相當重要。

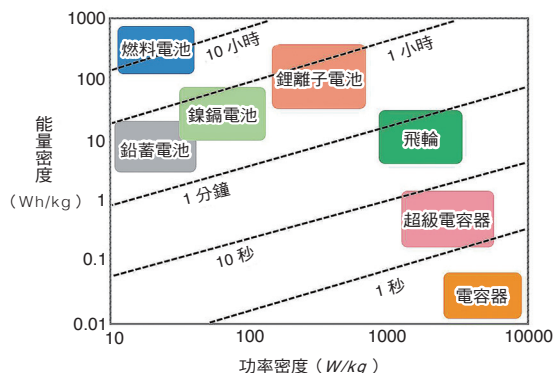


超級電容器在市場上的應用產品

超級電容器的應用範圍相當廣泛，包括在電動車上與電池組成複合電源系統，以彌補電池功率不足的缺點；做為 3 C 或醫療產品的高功率電源系統；做為備用電力的儲存系統；做為記憶保護裝置；做為可穿戴式電子裝置等。

過渡金屬氧化物電極材料如氧化錳、氧化銅、氧化鈆、氧化鎳等，除了可應用於鋰離子電池電極材料且兼具優良的儲能特性外，還可以延伸應用到電容器電極材料，不但使電容器價格更便宜，性能也大幅提升，更重要的是較環保。

2009 年，全球超級電容器市場已超過 2.75 億美元，這幾年更以每年平均 21.4% 的成長率持續增加。近年來，為了滿足人



不同儲能技術的比較

們對攜帶式或穿戴式電子產品的需求，超級電容器的應用快速增長，如應用於手機、可穿戴電子設備、可撓式顯示器等。

為了滿足人們對攜帶式或穿戴式電子產品的需求，超級電容器的應用快速增長，如應用於手機、可穿戴電子設備、可撓式顯示器等。

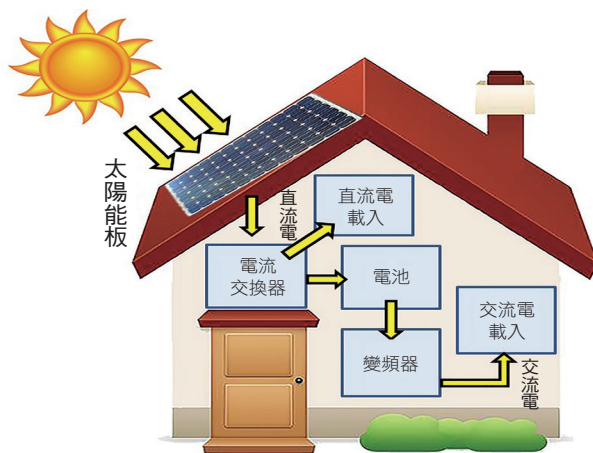
超級電池新突破

美國范德堡大學品特（Cary Pint）教授的研究團隊最近設計出一種新的混合材料，結合了電容器和電池的優點，十分適合做成手機這類 3C 產品或行動裝置的外殼，同時是一種超級電池（混合式電容器電池）。它的表現就像電容器一樣，能夠保持超長的充放電生命週期，還能儲存以及提供相當於目前鋰離子電池的能量。雖然能量密度仍低於鋰離子電池，不過設計更大尺寸的外殼足以彌補能量的不足，更重要的是這設計還能省去傳統電池所需占用的空間，有利於產品輕薄化。

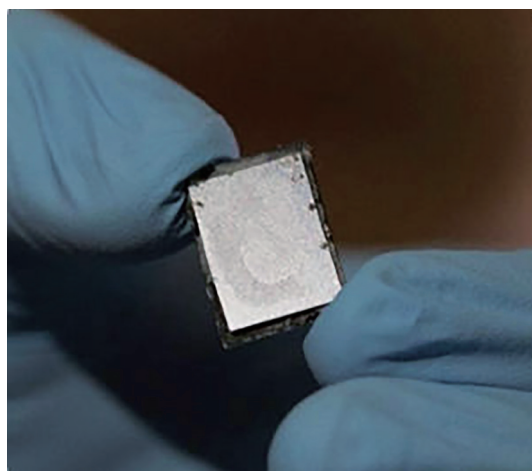
此外，品特教授期望這種超級電池材料可應用於各種類型的建築結構中，如房屋的外牆和側（內）牆、飛機與汽車的底盤等。把這種電池材料變成結構材料，具有與傳統結構材料相同承載耐用性的儲能裝置，這儲能系統的使用壽命也超過傳統建築材料。研究這種技術的主要目的是希望開發出能夠整合於房屋中的儲能材料，從而提高屋頂太陽能電池的經濟價值，並實現分布式電網系統。

雖然品特教授的研究團隊所開發的超級電池目前能夠儲存的能量只約鋰離子電池的 1/10，但可利用它們做為結構材料的數量與尺寸來彌補，更重要的是它們的壽命比電池長 1,000 倍，非常適合應用於行動裝置、汽車、飛機與房屋結構等。

雖然儲存能量應該是最受重視的一個衡量指標，但儲存能量少 10 倍，而使用次數多 1,000 倍，意味著在這系統使用壽命內可儲存的能量多 100 倍。因此，這些超級電池更適合結構性的應用。如果每隔幾年便因儲能材料失效而需更換，開發這材料來蓋房屋、製造汽車或飛機就失去意義了。

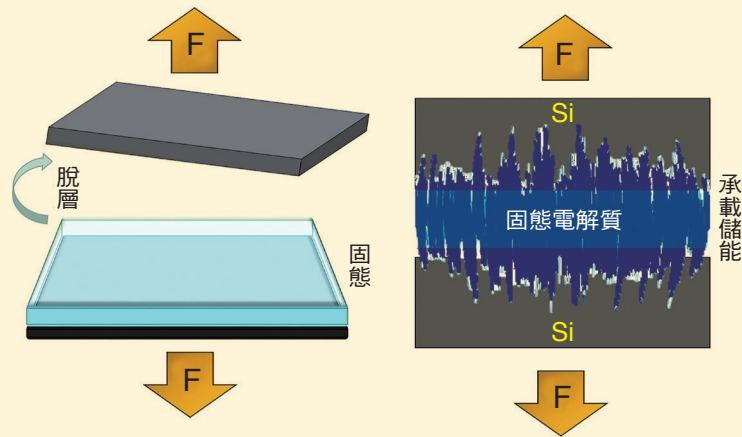


家庭智能電網系統圖



圖中的結構材料是一種能在 3C 產品外殼中儲存能量的超級電池，不需額外的電池。（圖片來源：范德堡大學）

美國史丹福大學崔屹教授的研究團隊也結合了超級電容器與鋰電池技術，研發出衣電池、紙電池。衣服成為輕型的新能源儲存媒介，可以充電或結合太陽能技術蓄電，有如把蓄電裝置穿在身上，紙電池的出現則可望成為輕薄、高效能的能源儲存裝置。崔教授表示，他的研究團隊一直在設計如何把奈米技術應用於生活中，而衣電池、紙電池就是奈米技術的簡單生活應用。



傳統的固態電容器（左）很容易脫層，但范德堡大學研究團隊研發的超級電池（右）內部非常結實，能夠保持結構的完整性。

衣電池的原理是把衣服布料（纖維）浸泡在含有奈米碳管的墨水中，奈米碳管便會附著在衣服纖維上，而它具有儲存電荷的能力。這種技術也可以應用在其他棉製或高分子纖維的衣物上，讓衣服具有儲存電荷的能力。同時，這設計可以結合的應用非常多元，如衣服上可以裝設電子顯示器或利用衣服替手機等電子產品充電。這種衣電池與傳統電池在儲能和充電壽命上的表現差不多。

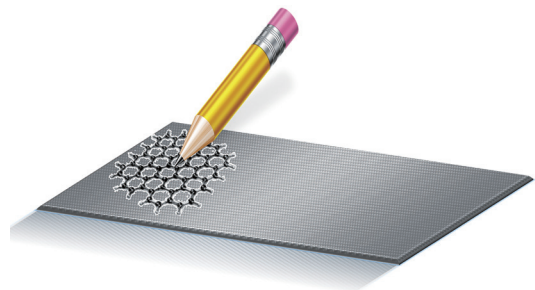
崔教授的研究團隊目前也著手開發具備太陽能充電功能的衣電池。他認為，由於衣電池的應用技術不難，材料與成本並不太高，在幾年內應該就可商業化。

而衣電池穿在身上是否有汙染或安全性等問題？他表示，衣電池會有特別組合包裝，對於使用者的身體不會有危險。

至於紙電池，是可重複充電的二次電池，不同於目前以色列、芬蘭所推出的紙電池屬於一次電池。崔教授表示，其團隊開發的紙電池除了可以應用於行動電子設備和可穿戴式電子裝置外，還可以用於各種需要即時大容量電力的電器設備。而根據



衣電池的示意圖



崔屹教授的研究團隊用其特製的墨水塗布在一般紙張上，製造出紙電池。

要探討充電電池放電過程的儲能反應與機制，往往需要搭配電解液做臨場測試，國家同步輻射研究中心的幾項研究設備都符合條件。

研究團隊的測試，這種紙電池能重複充放電達 4 萬次，是傳統鋰離子電池的 10 倍。

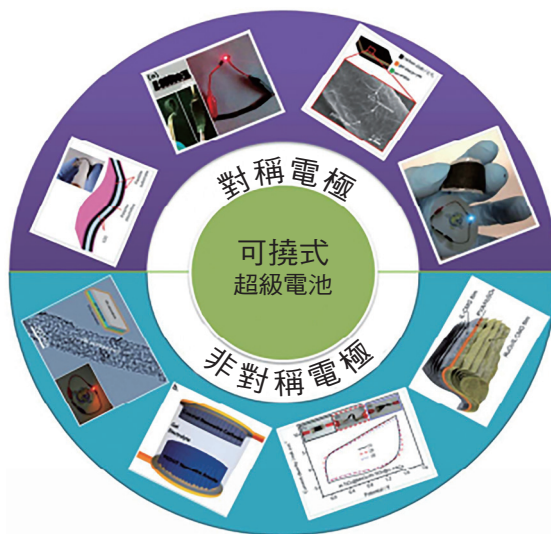
紙電池的原理是把一種內含碳奈米管與銀奈米線的特製墨水溶液當成塗料塗布在紙張上，這塗料會形成一維結構的薄膜黏附在纖維狀的紙張表面，塗布過後的紙張則會變成高導電性的儲電元件，可以把能導電的紙張分別做為集電器和電極，組裝成為低成本、輕盈且具高效能的紙電池。

現在社會非常需要低成本、高效能的能源儲存設備，如現有的電池和電容器。然而，在發展電動車與電動卡車的市場方面一直都有很大的障礙，因為電池的重量過重、壽命太短。如今有了輕薄的紙電池，不僅可以用在電動車或油電混合車上，也能讓電子產品的重量更輕、使用壽命更長，未來甚至可進一步開發出紙製電子產品。因為紙電池成本非常低，也很適合用於電網能源儲存裝置。

近年來，紙類印刷品因電子郵件、電子書等網路電子媒體的問世而節節敗退，幾乎快要面臨消失的命運，如今紙電池的發明有機會將其用於供應各種電子裝置電力，可望讓紙張扳回一城。

同步輻射技術的應用

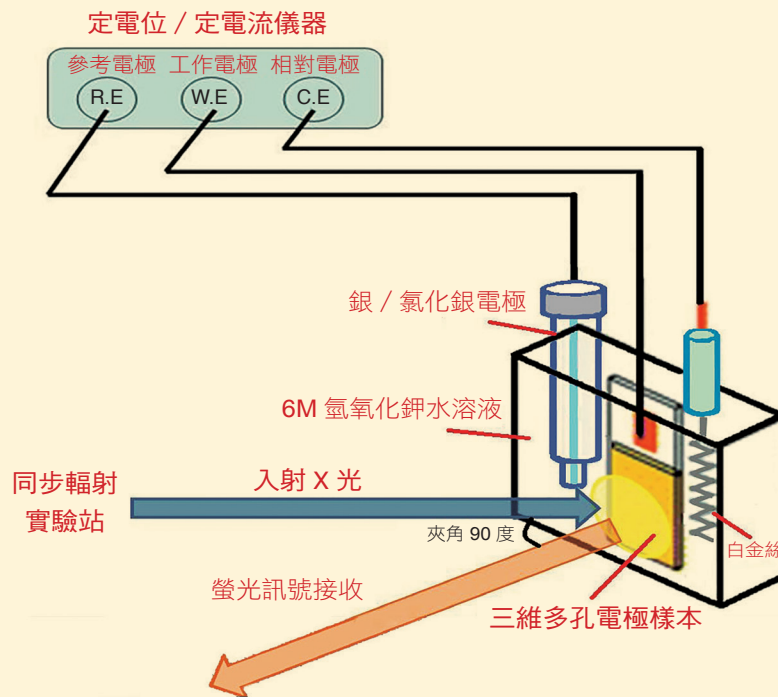
隨著能源問題日益受到熱烈關注，不斷研究與開發出各種儲能電池材料。研究重點普遍在其奈米結構的設計與改良方面，較缺乏真實充放電過程中電池電極與電解液之間所牽涉到的儲能機制的探討，特別是超級電池方面，目前僅有少數氧化錳與



不同儲能材料所製成的可撓式電池（圖片來源：*Energy Environ. Sci.*, 7, 2160-2181, 2014）

氧化銅相關材料在水溶液與非水溶液等電解液中的探討。只有充分了解充放電過程中的儲能機制，才有機會找出儲能電極與電解液材料最合適的搭配，達到電池的最佳效能。

要探討充放電過程的儲能反應與機制，往往需要搭配電解液做臨場測試，國家同步輻射研究中心的幾項研究設備都符合這條條件。穿透式 X 光顯微鏡可用來即時觀察充放電過程中儲能電極材料是否有明顯的膨脹反應，充放電過程中過度的膨脹容易造成儲能材料的脆裂與脫落，影響電池的性能與使用壽命。X 光繞射則可用來了解充放電過程中材料的晶相變化，協助了解這些材料是否具可逆性。



同步輻射即時觀測充放電過程的實驗模組示意圖

此外，利用同步輻射 X 光吸收光譜技術搭配自行建立的實驗模組，可用來即時觀測儲能電極材料在充放電過程中的電荷轉移與價態變化。從實驗過程中可以發現，當材料的價態變化或電荷轉移越明顯時，這材料的儲能效能越佳。這個發現可協助選出最適合當作儲能材料的氧化物價態與金屬氧化物，並可以推導出合理的儲能（電荷轉移）機制。同時，可利用這模組了解材料的穩定性，甚至建立一套可以預測電池使用壽命的程式，用來推算各種材料連續充放電下的壽命，並有效排除瑕疵品。

在全球能源逐漸耗竭的情況下，開發高效率的儲能電池是解決的方法之一。隨著材料工程和技術的快速發展，也許在未來幾年，各式電池與紙電池就可成為日常生活中隨處可見的超級電池了。

鄧名傑、陳錦明
國家同步輻射研究中心