

積極布局 瞄準下世代儲能市場

十年磨一劍 研發石墨烯超級電容器

現有鋰電池的壽命有限，這給了超級電容器逆勢崛起的絕大機會；其中，石墨烯對於超級電容器能量密度提昇的助益，更給了超級電容器有朝一日取代鋰電池的無限希望。臺灣的佳榮能源科技借助工研院的石墨烯研發能量，積極布局超級電容器市場。

整理／陳玉鳳 攝影／李庭歡 圖片提供／楊文財

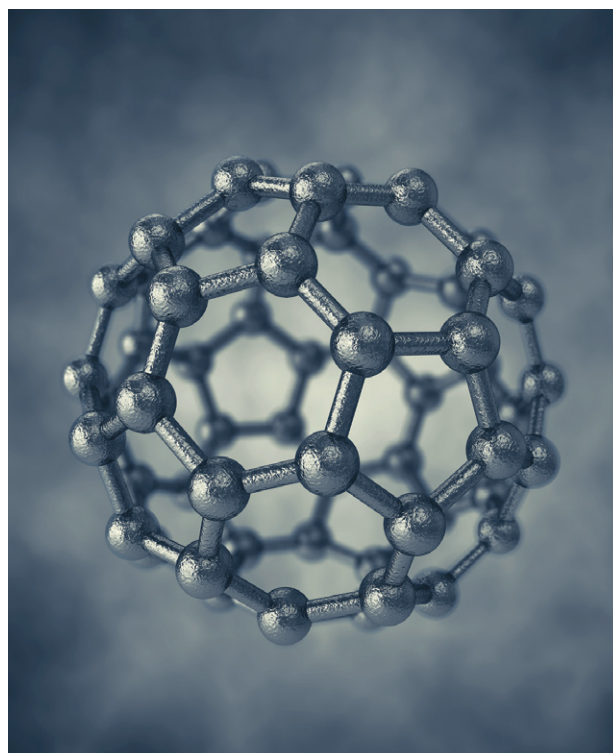
電動車裡的純電池整體性能與續航力，深受電池的化學特性、使用方式及壽命的影響，例如，鋰電池充放電速度過慢的特性，就足以讓消費大眾卻步，畢竟誰希望在急著用車時，還得耐心等待汽車充飽電呢？

美國政府於 2016 年 7 月提出，未來的電動車需在 10 分鐘內充電完成的目標；針對此訴求，超級電容器充放電快速的特性也就相當值得稱頌，更不用說超級電容器所具有的高效率、循環壽命長、高電壓、耐高溫、耐高壓且安全性高等特性，足以解決電動車為人所詬病的種種缺點。

超級電容器是一種介於靜電電容器和充電電池之間的儲能裝置，它的基本原理和其他種類的雙電層電容器一樣，都是利用活性碳多孔電極和電解質組成的雙電層結構獲得大容量，它具有比靜電電容器更高的能量密度，以及比電池更大的功率密度。基於超級電容器的各種優勢，市場研究機構 IDTechEx 甚至大膽預估，超級電容器的全球市場產值將在 2024 年達到 65 億美元。

提高能量密度 超級電容器的當務之急

在儲能領域長期耕耘的佳榮能源科技總經理黃泳勝指出，「目前超級電容器多是作為鋰電池的輔助應用，不過，如果能進一步提高超級電容器的能量密度，超級



想要提升超級電容器的儲存能量密度，最受寄望的方式，就是將石墨烯（graphene）應用於超級電容器。

電容器就可能全面取代鋰電池。」佳榮能源科技為能源儲存元件製造商，成立於 2003 年，該公司已開發完成的元件包括氮化鋁（AlN）薄膜散熱基板、超級電容器、

目前超級電容器多是作為鋰電池的輔助應用，不過，如果能進一步提高超級電容器的能量密度，超級電容器就可能全面取代鋰電池。

佳榮能源科技總經理 黃泳勝



奈米電極板等，針對新世代環保電動車輛的需求，並積極投入新一代固態超級電容器的開發。

關於超級電容器於電動車輛上的應用，高雄輕軌捷運是最佳範例。黃泳勝指出，超級電容器的功率可以瞬間拉高、充放電快速，加上充放電次數高達數萬次，所以非常適合用於每站間隔不長的大眾運輸交通工具。

高雄捷運環狀輕軌列車為動力分散式的電聯車，採用超級電容器電池供給動力的方式推進，在這種「無架空線系統」中，列車的電力是來自於進站停靠時利用車站上方設置的「剛性架空線」進行充電。這是亞洲首個採用「電聯車無架空線系統」的捷運電聯車。在上述的應用中，超級電容器的快速充放電特性是最關鍵的，據了解，機電大廠 ABB 甚至已經開發出可在 15 秒內閃充的超級電容器。

加入石墨烯材料 突破瓶頸

超級電容器因為快速的充放電性能備受矚目，然而目前的超級電容器仍因為儲存的能量密度不及鋰離子電池，因此超級電容器的應用受到重重限制，全球超級電容器廠商紛紛急於提升超級電容器的儲存能量密度，而其中最受寄望的方式，就是將石墨烯（graphene）應用於超級電容器。據了解，相較於活性碳超級電容器，石墨烯／活性碳複合電極超級電容器的

能量更大，壽命更長。

「為了要提高超級電容器的能量密度，我們其實和許多石墨烯業者討論過，但是結果都不太理想，直到我們透過台電綜合研究所的介紹，認識了工研院機械與機電系統研究所的黃昆平經理，才讓超級電容器的開發真正走向新的進度。」黃泳勝說。

黃泳勝進一步表示，石墨烯這種新材料的開發並非一蹴可幾，需要有人才及相關資源的持續投入，這並非佳榮能源科技所能長期負擔，「我們很高興能和工研院合作，經過五年多的努力，現在似乎已經看到了曙光。」

一直對超級電容器懷抱期待的黃泳勝，過去這些年洽談合作過的廠商、研發單位不計其數，黃泳勝觀察，投



超級電容器非常適合用於每站間隔不長的大眾運輸交通工具，例如高雄捷運環狀輕軌列車是分散式的電聯車，採用超級電容器電池供給動力的方式推進。



目前一般獲取石墨烯的方式，是將石墨透過強酸拆解、再氧化等過程得到，但工研院是直接將氣體分子合成為石墨烯，不僅能得到更純的石墨烯粉末，因為缺少雜質影響，石墨烯的物理特性可以發揮得更好。

工研院機械與機電系統研究所經理 黃昆平

入石墨烯生產的廠家雖多，但其中技術的優劣差距也非常大；工研院機械所黃昆平說明，「目前一般獲取石墨烯的方式，是將石墨透過強酸拆解、再氧化等過程得到，但工研院是直接將氣體分子合成為石墨烯，不僅能得到更純的石墨烯粉末，因為缺少雜質影響，石墨烯的物理特性可以發揮得更好。」

曾經是國內半導體大廠的主任工程師，擁有交大材料科學與工程學博士光環的黃昆平，選擇在 2008 年加入工研院，致力於石墨烯的研發。回想當初之所以選擇工研院，黃昆平說：「一開始我在工研院主要是研發太陽能設備及製程，只是沒想到，太陽能產業景氣在隔年瞬間急凍，讓我不得不重新思考研究方向，那時候就覺得石墨烯的優異特性非常值得投入研發，而出乎意料的是，英國曼徹斯特大學石墨烯物理學家蓋姆（Andre Geim）與諾伏西羅夫（Konstantin Novoselov）在 2010 年獲得諾貝爾獎，這使得石墨烯聲勢看漲。」

從 2010 年投入至今，黃昆平及其領導的團隊始終專注於石墨烯的研究，除了持續在石墨烯儲能領域進行開發外，亦將準備投入石墨烯生醫領域的研究開發。

靈光一閃 用創新技術讓石墨烯「直接生長」

「在合作開發石墨烯超級電容器的過程中，我們一度

出現石墨烯粉末效果不佳的問題，」黃泳勝娓娓道來與工研院合作的起伏，「經過各種製造程序後，石墨特性會消失，與活性碳並無不同，所以我就異想天開，提出將 IBM 的『奈米碳管』技術用於石墨烯生長方法。」

根據 IBM 科學家的研究，此技術是採用化學「誘騙」的方法讓奈米碳管自行組裝成所需結構，此一過程更像是晶體的生長過程，而由單層原子構成的石墨烯則像是攤平的奈米碳管，將其捲成筒狀就是奈米碳管，因此黃泳勝認為或可走出一條有別於其他石墨烯粉末業者的路。

黃昆平興奮地表示，「當時乍聽黃總經理提出的構想，腦中的確閃過一絲懷疑，但工研院團隊非常喜歡挑戰新事物，於是就大膽放手一試。經過無數個日子的努力，竟然真的讓我們做出了領先世界的成果！」黃昆平領導團隊成功開發出高工作電壓石墨烯超級電容器，可達到模組工作電壓四伏特、能量密度 16 Wh/kg 以及功率密度 2k W/kg，此技術已申請專利，實驗結果同時發表於國際期刊 Nano Letters (IF:13.779)，研發成果極具應用潛力。

不同於一般的石墨烯粉末，工研院研發的奈米石墨烯壁（Graphene Nanowall）可直接成長於金屬片的電極上，相較於傳統儲能元件的製作方法，就可省略混漿分散、漿料塗佈、極片烘烤以及極片碾壓這四個步驟。

「這是非常創新的儲能電極製作方法，可以有效提高超級電容器的能量密度，」黃昆平進一步說明此技術原理，「我們透過電漿技術直接成長電極，不需要黏著劑，且導電性良好，也不用額外添加不具電容性的助導劑，這使得活性物質總量可以增加，單元儲能量得以提升。」就目前的研發果來看，在工作電壓為四伏特時，工研院的石墨烯超級電容器的能源密度可達到 16 Wh/kg。

發展此技術還須具備一項關鍵設備—微波電漿火炬機台，也是由黃昆平團隊自行研發，「工研院擁有相當優秀的設備人才，可以自行設計設備，這對降低設備成本有很大幫助，且自行開發設備也有助於建立競爭門檻。」工研院自行設計製作的石墨烯相關設備，已與清大及台科大合作，有助於石墨烯相關技術能量的擴散。

工作電壓達到四伏特 超級電容器應用範圍擴大

值得一提的是，由於工研院所研發的石墨烯電極材料沒有官能基及不純物，因此不易與電解液起反應，如此

可有較高的工作電壓。黃昆平強調，「我們將工作電壓提高至四伏特，這是非常重要的進展，因為工作電壓與鋰離子電池相同，能與鋰離子電池直接並聯，整合成高功率儲能元件，這樣的儲能元件就能同時兼具高功率、高儲能密度等優點。」例如應用在電動腳踏車、穿戴裝置等。未來可應用於電車、電動汽車、太陽能板及風力發電等相關產品。

持續合作 鎖定下世代儲能元件市場

「我們的下一個挑戰是要將石墨烯面積由 5cm x 5cm 增加至 10cm x 10cm，進一步提高此技術的商業價值。」要達到這個目標，黃昆平團隊必須採用不同以往的方式，「以前的石墨烯是水平生長，接下來得垂直生長，我們得開發新的設備。」

佳榮能源科技與工研院的長期合作，奠基於雙方都了解新材料的研發，原本是一條寂寞又漫長的路。同樣擁有技術研究開發背景，黃泳勝很能了解黃昆平付出的心血之多，「我很感謝黃博士在聽到我的構想時，沒有一口回絕，他總是願意試看看，而且也真的做出了不錯的成果，讓我們的超級電容器產品可以取得競爭優勢。」同樣的，黃昆平也認為，「黃總經理總是能提出一些新想法，讓我們有機會突破瓶頸，我們之間的相輔相成，造就了今天的創新成果。」

工研院與佳榮能源科技將持續投入石墨烯超級電容器的合作，透過高品質石墨烯成長設備、同步成長與異質元素摻雜的技術，讓臺灣能以石墨烯超級電容器，在下世代高功率儲能元件產業中，奪得一席之地。 ■



佳榮能源科技借助工研院的石墨烯研發能量，積極布局超級電容器市場。