

動力鋰電池與材料技術分析

Components of Power Lithium Battery and Materials Used

陳金銘

工研院材化所(MCL/ITRI) 副組長、正研究員

電動車主要包括純電池電動車(BEV)、混插電式電動車(PHEV)、混成電動車(HEV)、燃料電池電動車(FCEV)四種。電動車的三大關鍵零組件包括：動力鋰電池、電源模組管理與控制系統(BMS)、電動馬達。動力鋰電池的關鍵材料主要包括：高功率正極材料、快速充電負極材料、低價高安全動力鋰電池隔離膜與機能性電解液等。

There are four types of Electric Vehicles (EVs): Battery EV, Plug-In EV, Hybrid EV and Fuel Cell EV. The three key components of EV (electric vehicle) are power battery, electric motor, battery pack management and control system. The key materials used in the power lithium battery are high-power cathode material, high-rate charge anode material, low cost/safe separator for power cell and functional electrolyte.

關鍵字/Key Words

電池電動車(Battery EV : BEV)、混插電式電動車(Plug-In EV : PHEV)、
混成電動車(Hybrid EV : HEV)、燃料電池電動車(Fuel Cell EV : FCEV)

一、前言

電動車雖不是一個嶄新的名詞，但隨著電動車的關鍵核心零組件－動力鋰電池在最近持續蓬勃發展，由電動車帶動人類的另一波工業革命，也將提早來臨。電動車與傳統汽油車比較，將帶動下列幾項汽車產業變革：(1)能量轉換系統的變革；(2)傳動系統的變革；(3)汽車零部件的變革；(4)汽車加速度變革；(5)汽車智慧化的變革。近年來日益惡化的全球暖化現象及石油危機，迫使人類尋求節能、環保的替代能源，現階段發展高功率鋰電池，以應用於電動車輛，是現今環保及節能領域中最重要的一環。

遭受金融海嘯的衝擊，全球汽車產業受傷慘重，促使汽車製造商加速研發更節能環保的車款，特別是瀕臨倒閉危機的美國三大車廠。其中Ford車廠在2009年正式宣佈，將於未來的4年內，加速推出純電池動力、新世代油電混合及插電式油電混合動力車。在一片環保與節能的聲浪中，電動車已成為人們購車的熱門選擇，美國積極推動插電式電動車(PHEV)，日本主要推動混成電動車(HEV)，台灣與大陸則以純電動車(EV)為主。面對電動車可能帶動人類另一波工業革命之際，台灣又是美國IT產品零組件的供應者，面對電動車的產業革命機會，如何能夠掌握先機，佈局電動車的關鍵核心－動力鋰電池與材料，將是國內電動車與電動機車產業發展的重點。

二、全球電動車產業發展現況

美國基於維持全球汽車工業的霸主地位與能源安全的考量，需要掌握動力鋰電池技術。美國總統歐巴馬於2009年3月19日啟動24億美

元(台幣808億元)研發下一代插電式電動車計畫，由美國國會通過7,870億美元的經濟振興方案中，撥出24億投入推動插電式電動車，其中15億用於製造先進高效能電池(4年計畫補助廠商，廠商另外自籌50%經費)；5億用於馬達機電系統之相關研究；4億美元用於PHEV的基礎建設與測試研究上，包括設置充電站和訓練專業維修人員。設定目標於2015年，生產100萬輛PHEV。對購買混合動力等環保汽車的消費者則提供稅收優惠，單車稅收少7,000美元。福特汽車從能源部獲得59億美元貸款，用於伊利諾、肯塔基、密西根、密蘇里和俄亥俄州工廠的設備更新換代，以生產13款節能型汽車，包括從2011年開始年產5,000~10,000輛電動汽車。日產汽車也已從美國能源部獲得16億美元的貸款，該公司計劃在2013年前用這筆貸款，在田納西州建立年產量達15萬輛的全電動五人座轎車生產基地；美國A123與Valence則開發應用於電動車的磷酸鋰鐵電池。

日本豐田、本田、日產與三菱等汽車廠也大舉投入電動車的開發與生產，並與日本鋰電池廠策略聯盟，採用共同合資方式成立電動車動力鋰電池廠。日本結合鋰電池與汽車產業的兩大優勢，正積極迎戰美國電動車產業的競爭。今年三菱已推出Mitsubishi iMiEV電動車，iMiEV的動力鋰電池模組，主要由日本鋰電能株式會社(lithium energy Japan)提供，而日本鋰電能株式會社是由GS Yuasa持股51%、三菱商事持股34%與三菱自動車持股15%所設立，將專責車用高效能鋰電池組的研發、量產製造與販售，2009年初可先行生產LEV50(50Ah)鋰電池，一年總計產能為20萬組(約40MWh)，可提供給2,000輛Mitsubishi iMiEV所使用。日產在神奈川縣刈濱工廠生產

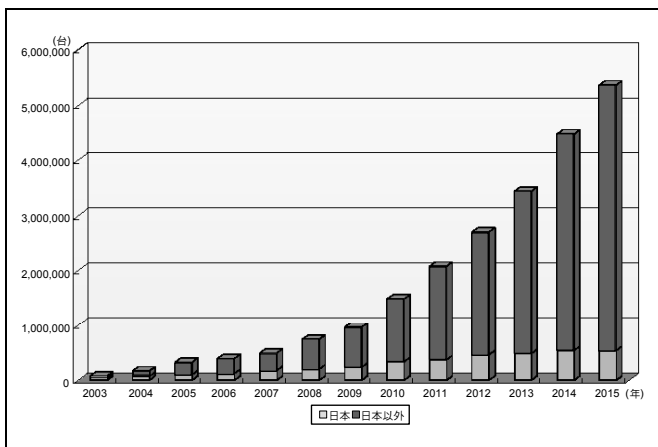
電動汽車(EV)，並從2010年秋季開始投產，預定規模為每年5萬輛，馬達由橫濱工廠生產，逆變器由座間事業所生產，採用層壓結構的鋰離子充電電池，由該公司與NEC的合資公司Automotive Energy Supply生產。

2009年大陸已超越美國，成為世界第一大汽車市場，動力鋰電池在大陸已被宣布為策略性產業，目前推動「十三城千輛」計畫，預計2010年有1萬輛，2013年達3萬輛各型包括巴士、計程車、公務、郵政等之電動車。2010年全部13個城市就會有共1.3萬輛新能源車輛上路，而到2012年則會有超過3萬輛新能源車成功示範運行，而3萬輛新能源汽車的總補助額也僅34億元人民幣。2012年100萬輛中國新能源車的推廣使用將投入200億人民幣，HEV每輛補貼5萬人民幣，EV每輛補貼6萬人民幣，FCEV每輛補貼25萬人民幣，城市公共客車補貼42~50萬人民幣。包括北汽福田、一汽、上汽、萬向、奇瑞、比亞迪、東風、哈飛、吉利、中信國安、長城、力帆、海馬等超過10家的電動車廠商目前在中國逐鹿市場。

台灣裕隆汽車也發表Luxgen7 MPV電動車，預計2010~2011年開始量產，Luxgen7 MPV電動車具有180kW馬達輸出功率、240匹與265牛頓米最大輸出動力、極速145km/h、0~100km/h加速8.6秒、40kWh電池容量與350km最大續航力(40km/h巡航速度)，裕隆(華創)是目前國內主要的汽車與電動車製造廠。

三、全球電動車與動力鋰電池市場

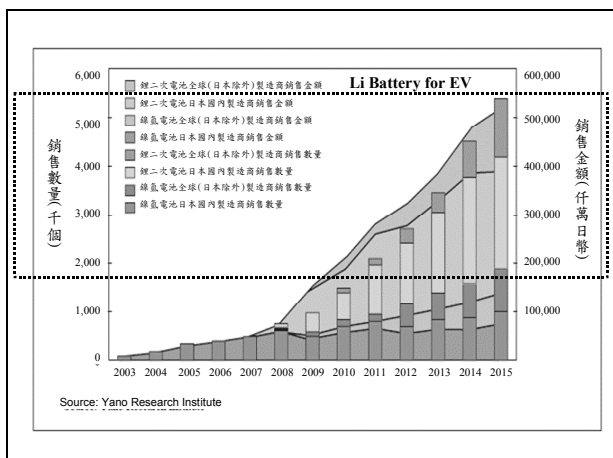
根據日本矢野經濟研究所調查結果顯示，全球混成電動車的銷售量可從2005年的32萬輛，大幅成長至2015年的530萬輛，且從小型車發展擴大至RV、SUV、大型車及高級車領域。矢野經濟研究所預測，配備鋰電池的混成電動車，最慢於2010年將全面上市。到了2015年，約2/3的混成電動車將採用鋰電池為其動力來源，應用在電動車的鋰電池產值高達4,000億日圓。圖一為全球HEV混成電動車的生產量預測，圖二為全球電動車電池(鋰電池與鎳氫電池)產量與產值預測。



來源：Yano Research Institute, 2007Q1

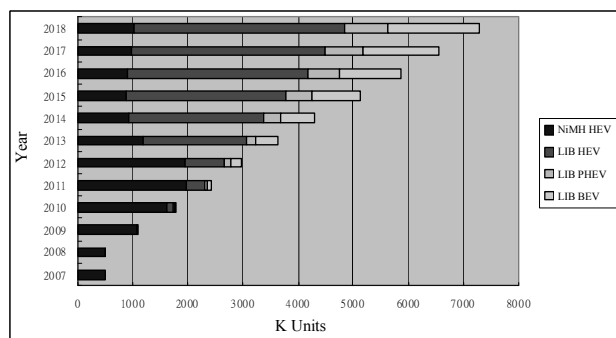
▲圖一 全球HEV混成電動車的生產量預測圖

根據日本IIT(日本資訊技術綜合研究所)在2009年Q1的調查報告指出，全球電動車(BEV、PHEV、HEV)的銷售量在2018年將大幅成長至729萬輛，其中高達85.9%為使用鋰電池作為動力電源，約有626萬輛鋰電池電動車。圖三為全世界電動車電池(鋰電池與鎳氫電池)銷售量預測。根據IIT在2009年Q1的調查報告指出，全世界電動車鋰電池的市場需求(電池電容量)達214MWh；預估2018年全世界電動車鋰電池的市場需求(電池電容量)將高達



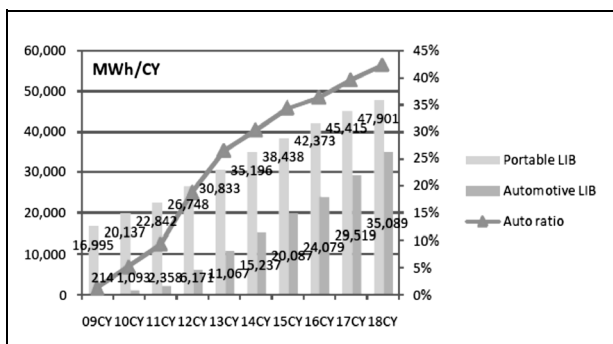
來源：Yano Research Institute, 2007Q1

▲圖二 全球電動車電池(鋰電池與鎳氫電池)產量與產值預測圖



來源：IIT, 2009Q1

▲圖三 全球電動車電池(鋰電池與鎳氫電池)銷售量預測



來源：IIT, 2009Q1

▲圖四 全球鋰電池(包括3C可攜式產品與電動車)電池電容量需求預測

35,089MWh，應用在電動車上的鋰電池產值高達新台幣6,000億元。

另一方面，根據IIT在2009年Q1的調查報告指出，全球3C(portable device)二次鋰電池的市場需求量在2009年時達30.5億顆，電池電容量需求達16,995MWh；預估2018年全球3C(portable device)二次鋰電池的市場需求量將達85億顆以上，在2018年全球3C(portable device)二次鋰電池的電池電容量需求將高達47,901MWh，應用在3C可攜式產品與電動車上的鋰電池產值高達新台幣1.5兆元(3C可攜式產品產值新台幣9,000億元、電動車產值新台幣6,000億元)。圖四為全球鋰電池(包括3C可攜式產品與電動車)電池電容量需求預測。

四、動力鋰電池材料技術趨勢

電動車的三大關鍵零組件，包括動力鋰電池、電源模組管理與控制系統(BMS)、電動馬達。動力鋰電池與利用動力鋰電池模組與電源管理系統的結合，所形成的電源模組管理與控制系統的開發，解決了電動車的關鍵核心，因此電動車將帶動人類另一波的工業革命。大部份的鋰電池廠，把動力鋰電池視為未來新的應用產品，且積極投入開發，除了應用於電動工具、電動自行車、電動機車、EV、PHEV、HEV等應用外，也積極投入儲電系統方面的應用。動力鋰電池的關鍵材料，主要包括高功率磷酸鋰鐵正極材料、快速充電負極材料、低價高功率隔離膜與機能性電解液等。

鋰電池隨著新材料與新電池製程技術的開發，也衍生出不同的新應用，未來鋰電池發展趨勢將以動力鋰電池為主，關鍵材料與應用產品發展項目如表一所示。

(一)高功率磷酸鋰鐵正極材料

這兩年才開始蓬勃發展的動力鋰電池，主要拜新電池材料的開發，特別是磷酸鋰鐵正極材料，此正極材料具有安全性佳、價格低、高功率及壽命佳等優點，使用此正極材料的磷酸鋰鐵電池，更是當今最熱門的儲能元件。相較於傳統鋰鈷電池，新型磷酸鋰鐵電池具有安全性佳、價格低、高功率及壽命佳等優點，並且可快速充電(3C)、大電流放電(30C)、壽命長(傳統鋰鈷電池3~4倍)、耐過充電與短路等安全性佳等優點，是未來電動車輛的重要電源動力來源。磷酸鋰鐵正極材料的材料價格，預估在未來大量使用時，將是鋰鈷氧化物的1/3(每公斤15~18美元)。目前鋰電池業界正期盼著磷酸鋰鐵正極材料被大量生產出來，以帶動全球需要高功率電源才能驅動的系統產品。磷酸鋰鐵正極材料的關鍵點包括：(1)大量商品化的品質掌控不易；(2)高溫壽命差等問題。LiFePO₄高溫壽命差的原因，主要為Fe²⁺離子的溶出，在負極碳粉材料表面上形成反應物，造成極板表面阻抗大幅增加，影響電池的高溫循環壽命。解決的方法為(a)藉由LiFePO₄/C複合材料技術，以獲得高功率與高溫循環壽命佳等特

性；(b)使用新鋰鹽來取代傳統鋰鹽(LiPF₆)，以避免HF直接攻擊Fe；(c)減少正負極極板與電解液含水量。但目前新鹽類尚未商品化，且需考慮電池的其它特性下，從改善磷酸鋰鐵材料與減少正負極極板與電解液含水量方面較可行。

微細磷酸鋰鐵材料雖具有高功率特性，但不利電池生產製程(漿料混合、極板塗佈、極板輾壓與裁切加工)。另一方面，材料表面複合碳與電極板導電碳多，雖有利於高功率特性，但不利於電池生產製造(脹氣與高溫循環壽命)，電池自放電太高。磷酸鋰鐵電池設計也不能夠為追求高功率特性(較薄極板)，而降低電池體積能量密度。針對磷酸鋰鐵材料的材料碳含量、表面積與電化學(克電容量、大電流放電率、高溫55℃循環壽命)特性如何平衡，是此材料的研究重點。此外，判斷磷酸鋰鐵電池之性能，須評估其高功率、高溫55℃循環壽命、體積能量密度、安全性等。因此，生產磷酸鋰鐵材料與電池表面並不難，但要掌握具大量生產、品質穩定及價格便宜的材料製造技術，以配合高功率/長循環壽命/高安全/低價格(相較於鋰鈷材料)磷酸鋰鐵電池的使用，則是磷酸鋰鐵材料的第一項重點。

目前國內投入生產磷酸鋰鐵正極材料的廠商，包括：台塑長園、宏瀨、尚志精密化學、立凱等四家；其中台塑長園目前具20公噸/月

▼表一 鋰電池關鍵材料與應用產品發展項目

電池技術	電池特性	關鍵材料	主要應用產品
• 動力鋰電池	• 高功率/快速充電/ 長壽命/高安全	• 磷酸鋰鐵正極材料 • 快速充電負極材料 • 低價高功率隔離膜 • 機能性電解液	• 電動車(EV)、混成電動車(HEV)、插電式動車(PHEV) • 電動手工具、電動機車、電動自行車、電動代步車、 電動堆高機、電動高爾夫球車、燃油汽車啟動電瓶 • 機器人、UPS 不斷電系統、再生能源儲電系統、LED 路燈、電動刮鬍刀、電動清潔機

的生產線，目前已供應給台灣、大陸電池廠商，三年內預計投資5.4億元，年產達2,400公噸；宏瀨目前具30公噸/月的生產線，目前已積極送樣給台灣、大陸及日本電池廠商驗證，三年內預計投資7億元，年產達3,600公噸；立凱2009年在大陸已銷售，採低價策略，先攻占市場為主，尚志精密化學2009年也開始積極對台灣、大陸電池廠商供應或送樣。

(二)快速充電負極材料

除了高功率正極材料，具備快速充電之鋰電池負極材料，也是未來負極材料發展之重點，包括美國EnerDel公司與Toshiba也陸續開發完成具快速充放電鋰電池。快速充放電鋰電池的特點是：具有快速充電、循環壽命長、安全性佳等優點。其負極材料採用鋰鈦氧化物($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)，並配合使用難燃性電解液及耐熱性隔離膜，以解決在內部短路時也不易發生熱失控、破裂及著火等安全性問題。該電池循環壽命在快速充放電條件下(25°C ， $10\text{C}@42\text{A}$ 充電， 15A 放電)，即使反覆充放電約3,000次，容量也只降低不到10%，因此電池可反覆使用10年以上。此外，在50A的大電流進行快速充電，電池及電池模組可在5分鐘充飽90%以上。電池電容量為4.2Ah，工作電壓為2.4V，外形尺寸約為 $62 \times 95 \times 13\text{mm}^3$ ，重量約為150g，電池能量密度約67Wh/Kg (131.6Wh/L)。此鋰鈦氧化物負極材料相對於石墨負極材料，具有如此優越特性的原因，是因為 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 氧化物除了不會與電解液的界面形成SEI膜(solid electrolyte interface)，其不可逆容量較石墨低外，負極材料的內阻抗也較不會上升，並且 $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 氧化物的鋰離子嵌入時的反應電位很高，該電池系統在快速充電過程

中，不會發生樹枝狀鋰結晶(lithium dendrite)，大幅提升電池安全性。然而，大自然是公平的，在材料領域也是如此， $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ 氧化物並非十全十美，雖具有快速充電、循環壽命長、安全性佳等功能，但其搭配現有正極材料，其電池平均工作電壓只有1.9(LiFePO_4)~2.4V (LiMn_2O_4)，且材料克電容量達155~160mAh/g，因此整體電池重量能量密度只有傳統石墨負極(320~360mAh/g)鋰電池的1/3~1/2。基於這一點，目前鋰鈦氧化物負極材料的電池系統，較適合應用於混成電動車(HEV)、插電式電動車(PHEV)。目前國內投入生產負極材料的廠商，主要以中碳為主，中碳以生產介穩相球狀碳(MCMB)所需的瀝青為主，負極材料為輔。國內並沒有廠商生產快速充電負極材料，因此未來應發展高容量快充負極材料，搭配高安全/高能量快速充電電池與模組技術，並解決快速充電技術，以利快充充電站建置，來強化電動車基礎環境建構。

(三)低價高功率隔離膜

對電動自行車、電動機車、電動車鋰電池除了需高功率電極材料外，也需要有低價高功率隔離膜，對電動車輛應用的隔離膜要求包括：

- (1)高功率(high power)：隔離膜需要高孔隙度(porosity)與離子滲透率(permeability)；
- (2)高安全性(safety)：隔離膜需要較佳的熱阻斷性(thermal shutdown)、熱收縮性(heat shrinkage)、熔融完整性(melt integrity)；
- (3)機械強度佳(mechanical property)：抗拉強度(tensile strength)、刺穿強度(puncture strength)；

(4)價格低：現有3C應用的隔離膜並不能同時符合上述的要求，Tonen使用濕式法開發電動車輛應用的隔離膜，已開發出雛型產品，其高功率隔離膜的優勢，是在相同的厚度下隔離膜保有高機械強度，並具有均勻的微孔結構(uniform pore size and free of pin-holes)，孔隙度從36%提高至47%，具有高鋰離子穿透力，以達到高功率隔離膜的要求。電動車輛應用的隔離膜價格需求要低，最好是每平方公尺低於2美元。

(四)機能性電解液

電解液材料佔動力鋰電池材料成本達15%，且材料特性的優劣直接影響電池性能及安全性。目前國內鋰電池廠所使用的電解液主要從日本、韓國進口，但電解液價格太高，影響競爭性。另一方面，隨著3C鋰電池電容量提高，與應用於電動車的高功率鋰電池需求，需要高安全、低成本的機能性鋰電池電解液。機能性鋰電池電解液具高離子導電度、低不可逆、耐低溫、耐高溫等特性，依各個電池廠需求進行客製化產品提供為目標，來符合3C鋰電池與動力鋰電池的規格需求。機能性鋰電池電解液技術，包括：鋰鹽製造技術、溶劑純化技術、機能性電解液調配與添加劑技術，以建立高安全、低成本的機能性鋰電池電解液。目前國內台塑公司已積極佈局，將跨入此動力鋰電池電解液材料產業，未來目標為建立起全國第一家鋰電池電解液生產廠商，達到機能性鋰電池電解液的國產化，提升國內動力鋰電池廠商，增加儲電產業競爭力，未來將可帶動國內電動機車與電動車產業發展。

五、結論

台灣儲電產業從材料、電池製作與電池組之上中下游產業已具相當規模，台達電及新普為世界最大的power supply及3C鋰電池模組公司，有機會成為世界電動車零組件之大廠；能元、有量(台達電)、必翔等提供BMW、Ford、Tesla、Fisker及法國電動車鋰電池已有實績。相較於美國、日本、大陸等國家在電動車動力鋰電池的研發經費投入，台灣的研發經費投入真是鳳毛麟角。面對這一波全球電動車的產業革命機會，台灣能否利用已建立13年的3C鋰電池與材料產業基礎，再經由政府的加碼投資(法人科專計畫經費與民間業科計畫經費)，來轉型跨入電動車動力鋰電池與材料產業，將是一大關鍵。唯有如此，才能有足夠資源來開發下世代電動車動力鋰電池、模組與材料技術，協助國內電動車、動力鋰電池、模組與材料產業，增加其競爭力，成為國際電動車動力鋰電池、模組與材料的主要基地。工研院材化所配合政府「下世代儲電元件與系統技術開發」科專旗艦計畫，正積極發展大型高安全動力鋰電池與材料(鋰鎳錳正極材料、高容量快速充電負極材料、高電壓尖晶石正極材料、高電壓電解液、低價高功率隔離膜、高安全添加劑等材料)、智慧型高功率大型鋰電池模組與熱管理技術，以解決電動車儲電系統發展瓶頸。在此希望業界能參與工研院的旗艦計畫，一起攜手合作開發下世代儲電元件與系統，以建構國內完整的上中下游產業鏈。

參考文獻

1. 日本IIT鋰電池調查報告(2009Q1)
2. 日本Yano Research Institute調查報告(2007Q1)
3. RICH MASTER CO. 陳翊中簡報資料
4. Toshiba電池公司網頁資料