



中碳公司：從循環經濟做起，推出綠能與半導體領域的關鍵特種碳材

中鋼碳素化學股份有限公司研究員 / 陳柏欽
中鋼碳素化學股份有限公司主辦工程師 / 陳昱良
中鋼碳素化學股份有限公司主辦工程師 / 李協聰

關鍵字：循環經濟、煤化學、石墨負極材料、超電容活性碳、高純碳粉、等方性石墨塊材

摘要

中碳從循環經濟著手，協助母公司中鋼將副產品循環利用。煤礦在中鋼經煉焦後用於煉鐵，副產物煤焦油及輕油則由中碳進行第二次利用，從中以提取及純化之化學品進行銷售，而此煤焦油蒸餾的產物瀝青則繼續由中碳進行第三次利用，以此為原料開發高值化碳材料，推出：鋰離子電池用負極石墨粉、超級電容器用活性碳、化合物半導體用高純碳粉及等方性石墨塊材等碳材產品。不僅填補國內能源產業及半導體產業的供應鏈缺口，強化國內產業之供應鏈安全，也為公司創造獲利來源，真正落實「循環」與「經濟」並重的永續發展模式。

一、前言

中碳公司隸屬於中鋼集團工業材料事業群，為集團下的重要子公司，同時也是台灣唯一一家專注於煤化學產品製造的企業。

近年來，循環經濟逐漸受到廣泛關注，然而，中碳公司在其成立於民國78年的初期即致力於循環經濟的實踐。循環經濟的核心概念包括「循環」和「經濟」，兩者缺一不可。實際上，具備了以「經濟」為支撐的循環技術，方能實現真正的永續發展，因為企業需要獲利以維持運作，若僅談及循環而忽略經濟層面，則僅停留在理念階段而已。

中碳公司向來務實、穩健，在兼顧循環與經濟的情況下，不但協助中鋼處理煉焦副



產物的再利用，同時創造了可觀的商業價值，成功讓中碳公司運作至今。

胚，其中煉鐵的副產品主要來自於處理煤礦的煉焦工廠。

二、中碳循環經濟技術介紹

(一) 煉鐵副產品由來

中鋼煉鐵廠主要以高爐進行煉鐵，須添加鐵礦及煤礦，藉由煤礦在高溫下將鐵礦還原得到鐵水，進而再經過多道製程得到鋼

中鋼為一貫化鋼廠，使用高爐法將鐵礦藉由焦碳還原為鐵水，進而產出各項民生工業所需之鋼材。中鋼集團擁有六套新式連續多爐室煉焦爐，經由高溫乾餾製程將冶金煤轉變成固態的焦碳、細焦碳粉粒以及氣態的高溫揮發氣體。煤經煉焦後之成份圖如圖1所示，其中主要產物焦碳為煉鐵原料，部分不

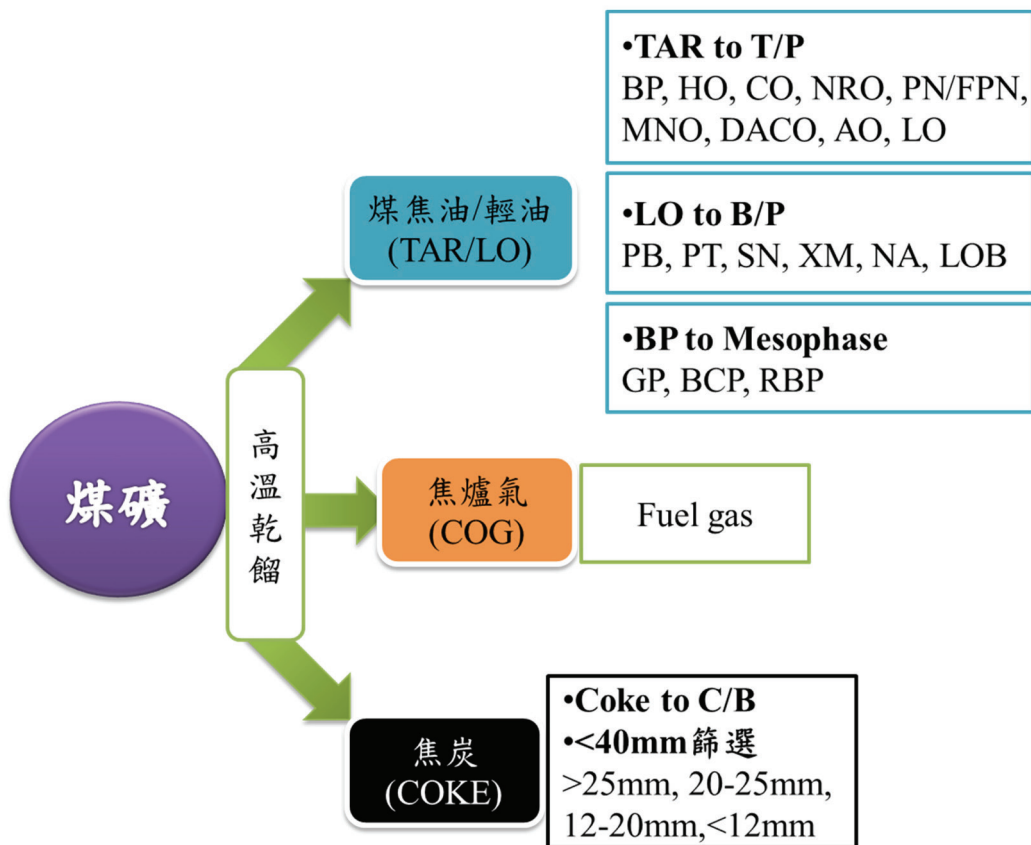


圖 1 煤經煉焦後之成份圖



適合高爐煉鐵用的細焦碳，就由中碳公司所投資建置之細焦碳工廠進行除水篩分，供給國內電爐煉鋼業使用。而高溫揮發氣體(富含水、CO₂、CO、石蠟烴類、芳烴類和各種雜環化合物等)經過噴氨冷卻、氣液分離、萃取分層處理之後，可得到液態的煤焦油、輕油及氣態的焦爐氣，煤焦油、粗輕油、焦爐氣以及細焦碳即為煉鐵的副產品。氣態的焦爐氣可作為產生動力的燃料，或將含碳氣體轉化成C1或C2化學品，進行鋼化聯產的循環減碳利用。目前於中鋼煉鐵製程所衍生之副產品之細焦碳、煤焦油、粗輕油由中碳公司所投資建置之煤化學生產工廠進行循環利用，

生產出各項重要化工油品及原料，提供下游產業使用，副產品循環利用如圖2。

中碳公司主要由煤化學工廠處理煉焦廠所產生的油品，近幾年已拓展增設碳材料生產工廠。煤化學工廠主要將煤焦油及粗輕油經由多道蒸餾塔分餾及純化出各油品成份，進而得到多種利基產品。碳材料生產工廠則將煤化學工廠中的軟瀝青產品再利用，主要用來生產鋰電池二次電池負極材料、超電容活性碳及等方性石墨塊材，最終達到煉鐵副產品循環再利用的目的。

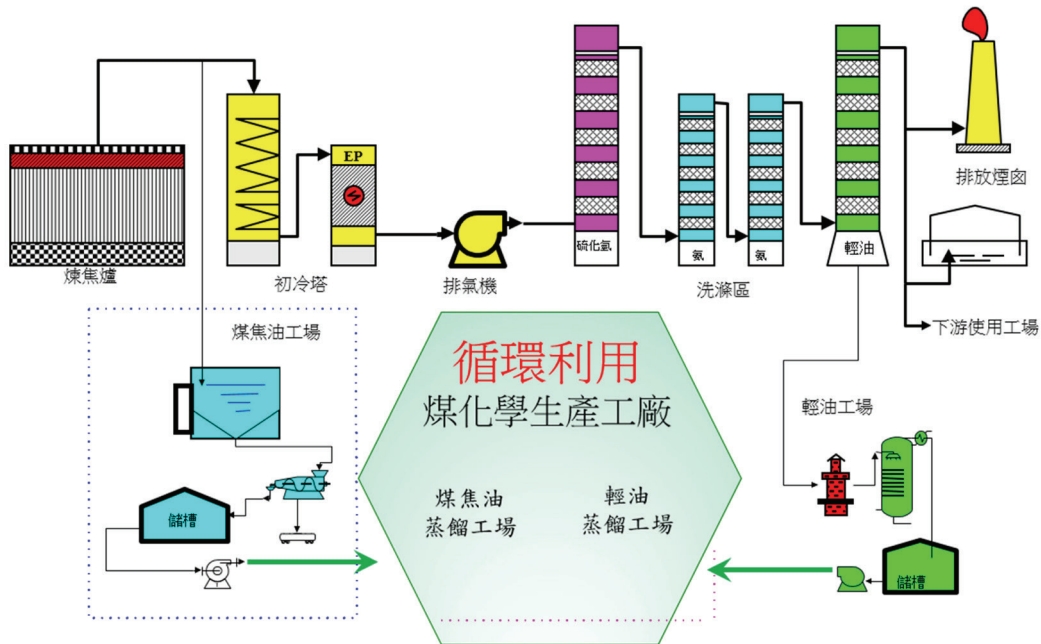


圖 2 副產品循環利用

以下進行各副產品再利用之製程介紹：

(二) 細焦碳處理工廠製程簡介

細焦碳產品循環利用包含電爐煉鋼增碳劑、耐火材添加劑、石灰業燃料。中鋼煉焦

爐所生產的焦炭依粒徑分為大焦小焦，小焦由中碳的細焦碳處理工廠進行篩選分級與乾燥，篩選後>25mm的焦炭回到中鋼自用，其餘依據產品尺寸各有不同用途，例如15mm以下的細焦炭經由乾燥後至含水量1%可作為煉鐵增碳劑。

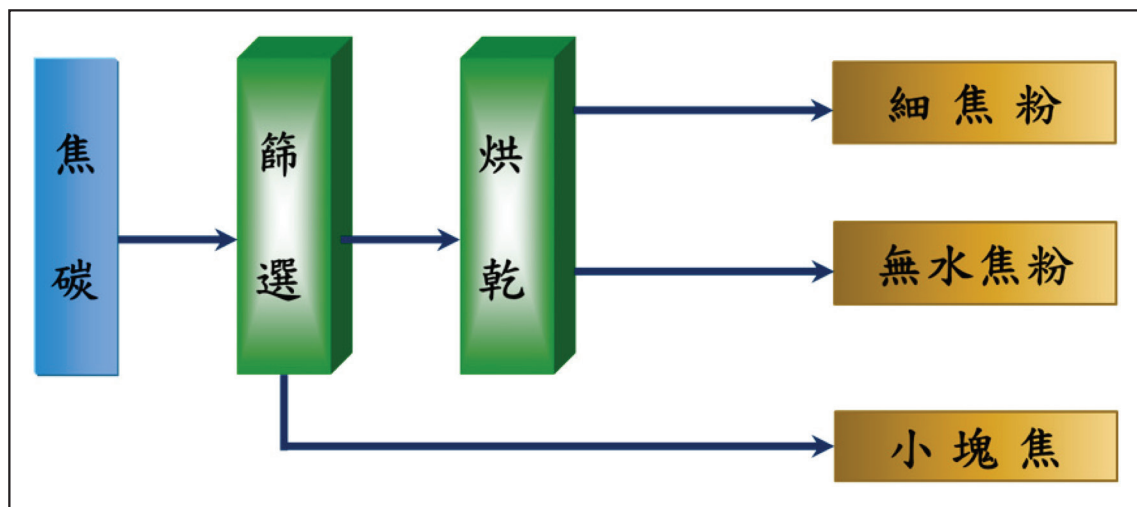


圖 3 細焦碳處理工廠製程流程圖

(三) 煤焦油蒸餾工廠製程簡介

煤焦油蒸餾工廠製程主要使用的純化分離方式為蒸餾單元。蒸餾單元將煤焦油中高經濟價值物提純分離，分離出的產品有軟瀝青、雜酚油、碳黑進料油、萘油、洗油及循環油等。軟瀝青產品至下游產業可生產硬瀝青、防水及防蝕材料，另外的最大用途為介相瀝青碳微球工廠的原料，可生產不同粒徑之介相碳微球，作為鋰電池二次電池負極材料之原料。雜酚油及碳黑進料油產品則可供碳黑廠商或製藥業生產多種型號碳黑及特殊

碳黑、木材防腐油、藥品及特用化學品。萘油產品經由純化後得到化學級精萘及萘丸級精萘產品，至下游產業可生產環保染料、水泥減水劑及驅蟲萘丸等製品。洗油產品則可再提供給中鋼煤化學工廠冷卻萃取吸收其煉焦爐產出的高溫揮發性氣體，轉化成煤焦油，再供中碳使用。循環油產品可用於中碳煤焦油蒸餾工廠之熱煤油循環系統，進行製程熱能整合，達到熱循環經濟之利用。整體來說，以煤焦油為原料，經蒸餾分離處理的產品利用率相當高。

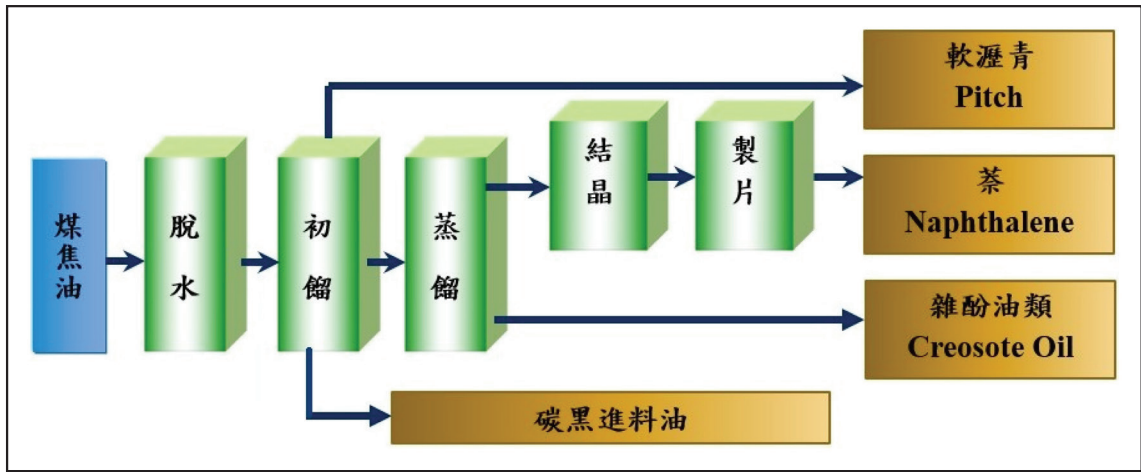


圖 4 煤焦油蒸餾工廠製程流程圖

(四) 輕油蒸餾工廠製程簡介

中碳輕油蒸餾工廠可將粗輕油藉由多道蒸餾塔分離純化後得到高純度及高品質之化學品，達到副產品完全處理再使用。主要製程包含將中鋼之粗輕油(含苯、甲苯等輕質油品混合物)經蒸餾、加氫高壓反應、萃取

蒸餾等作業後產出相關產品。粗輕油依成分沸點之不同可分離出苯(PB)、甲苯(PT)、非芳香烴油(NA)、溶劑油(SN)、二甲苯混合物(XM)、塔底油(LOB)等產品。苯產品可至下游產業生產苯乙烯及烷基苯等產品。甲苯則可當許多化學物質之溶劑使用。

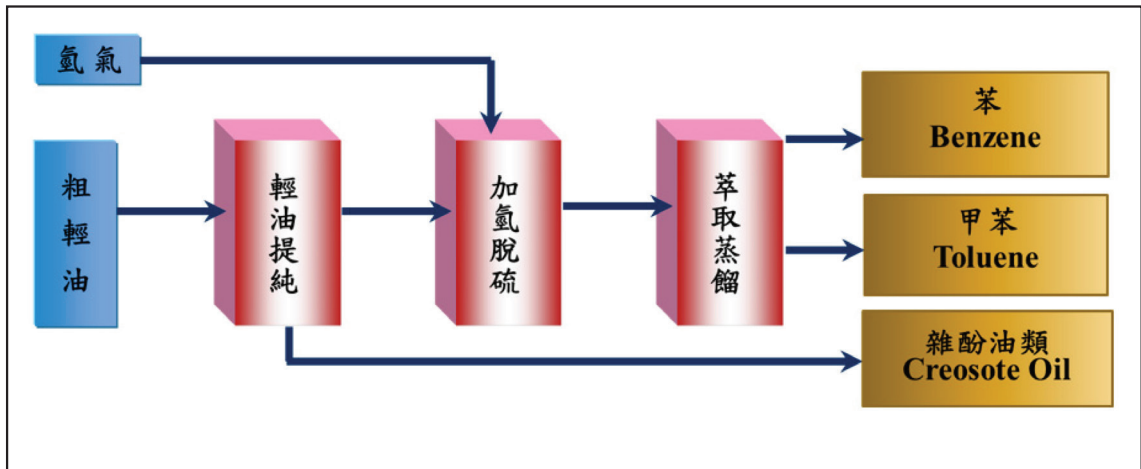


圖 5 輕油蒸餾工廠製程單元流程圖

(五) 碳材料簡介

介相碳微球工廠製程主要用到熱反應、萃取過濾、乾燥分離單元；原料來自於煤焦油蒸餾產出的軟瀝青。軟瀝青經過高溫熱反應後可產生介相碳微球產品，依照不同的製程參數可生產不同粒徑大小的介相碳微球，作為鋰電池二次電池負極材料之原料。介相碳微球工廠使用的萃取溶劑也來自於煤焦油蒸餾工廠所產出的洗油以及輕油蒸餾工廠所產出的甲苯溶劑，而溶劑經萃取使用後，再藉由溶劑回收單元回收利用，把產品的循環再利用發揮到淋漓盡致。而溶劑回收所得到的副產品精製瀝青可至下游產業製成石墨電極棒及等方性石墨塊材等高價值用品。

三、中碳碳材料技術

除了介相碳微球，中碳還開發了從煤焦油瀝青產出其他碳材料產品的技術，例如：超電容器用的活性碳，以及等方性石墨塊材等相關技術，並已成功商品化。其中介相碳微球及活性碳主要用於儲能領域，而等方性石墨塊材可用於半導體領域及模具等應用。

中碳一直在不斷推進相關技術，運用煤焦油和輕油等原料，精心製造高附加價值的煤化學和精碳材料。中碳的碳材料產品為綠色產品，完全符合中碳公司ESG永續經營策略，並已發展成為公司當前積極推進的主力事業。目前，這些產品主要應用於鋰離子

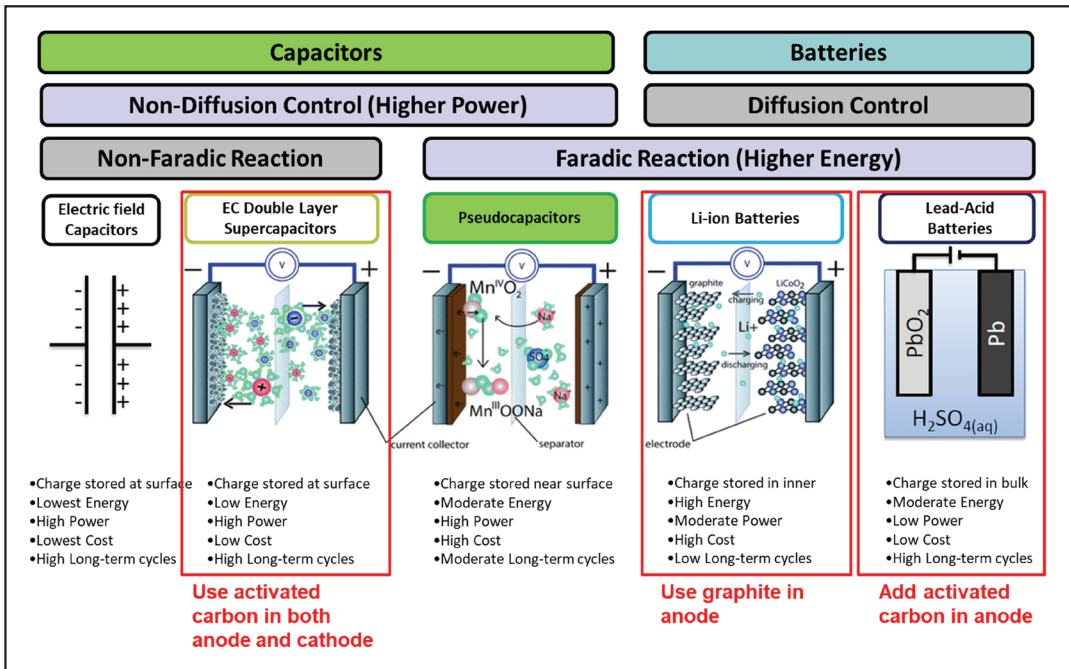


圖 6 各式電化學儲能系統應用 [1]



金屬連鑄

- 與金屬不發生濕潤與反應
- 低孔隙度
- 耐高溫與化學腐蝕
- 高熱傳導
- 抗融蝕

模具(放電加工..)

- 結構緻密、組織均勻
- 機械强度高
- 加工性良好
- 損耗低
- 電性穩定

3D玻璃熱彎模具

- 高純度
- 高密度
- 同玻璃熱膨脹係數
- 細顆粒結構
- 加工性良好

半導體長晶

- 高純度
- 耐溫度變化與化學腐蝕

圖 7 等方性石墨塊材應用 [2]

二次電池的負極材料，成為電動車電池及儲能電池產業不可或缺的關鍵材料，同時也受到政府積極推動之循環經濟計畫的重視。此外，中碳公司擁有優良的瀝青粉生產技術，應用瀝青粉所成功開發之儲能用活性碳粉已成功提升10倍價值，當中ACS系列活性碳可用於超電容產品和鉛酸電池產品，已穩定銷售予國內外廠商，並持續研發提升產品性能，多方對於儲能應用市場進行推廣，將可有效拓展精碳材料應用範疇，提高公司獲利。

為填補國內半導體供應鏈缺口，中碳公司積極投入高純碳材產品的研發，包括高純碳粉和高純等方性石墨塊材，並於民國112年成功建置全國第一座鹵素純化爐，所生產的產品純度均可達到5N以上(≥99.999%)，可滿

足半導體產業對高純度的嚴格要求。未來，中碳公司將積極參與半導體產業，以進一步提升公司整體的競爭實力。

以下將介紹「鋰離子電池快充型負極材料」、「超電容儲能活性碳」及「化合物半導體用高純碳粉與等方性石墨塊材」：

(一) 鋰離子電池快充型負極材料

在未來的十年中，預計全球鋰電池市場將呈現驚人的5-10倍成長，其應用範疇廣泛，包括電動車、固定式電網儲能系統、航空業和國防等多個領域，突顯鋰電池在現代科技和能源領域的關鍵地位。這主要是因為鋰電池是目前能量密度最具優勢且最成熟的電池技術。其儲能機制主要來自於鋰離子在



充放電時，於正、負極間移動過程中伴隨著電子的流動而形成法拉第電流。因此鋰離子電池的正、負極必須選用可以儲鋰的材料，其中，最常見的負極材料就是碳材料，尤其是石墨。充電時，鋰離子透過嵌入的方式被

儲存在石墨晶格的層間距內；放電時，鋰離子再從石墨層中嵌出。

目前，全球70%以上的鋰電池產能主要集中在中國大陸、日本和韓國，且因地緣政

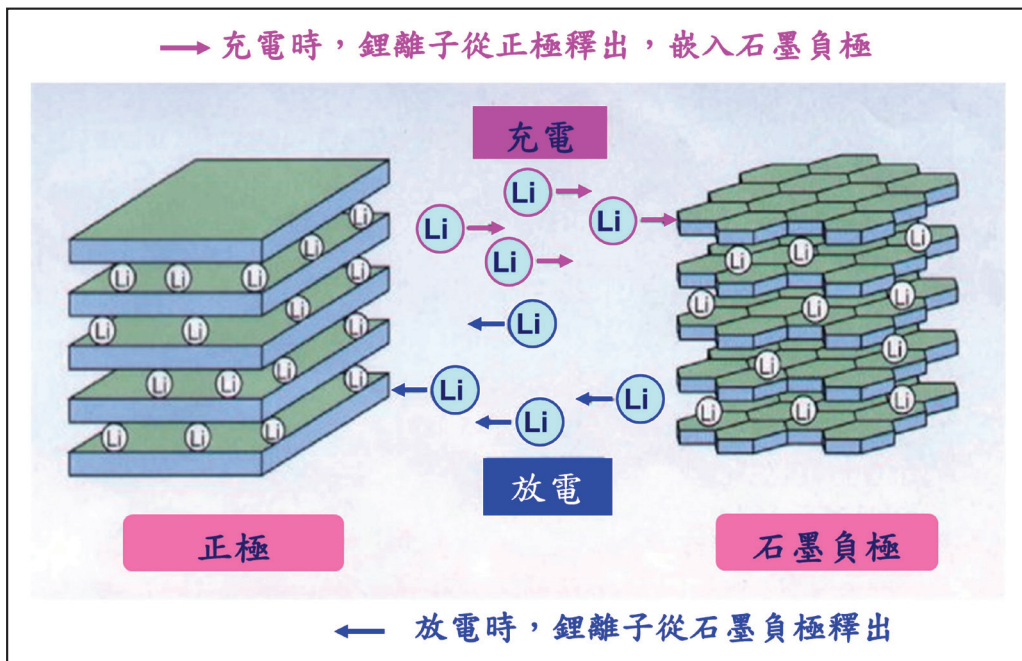


圖8 鋰離子電池充放電原理 [3]

治日趨緊張，因此引起歐美政府對供應鏈安全的極大擔憂，紛紛實施相對應的政策以確保產業的自主化。

為了實現台灣負極石墨粉技術自主化，中碳在母公司中鋼的支持下，於民國107年完成了國內第一座石墨化廠建設並開始量產。這不僅為中碳的碳材料技術開發奠定堅實基礎，也推動了國內碳材料產業的技術提升。

石墨化是人造石墨不可或缺的技术環節，藉由高溫石墨化的過程，可使特定碳材原料從原先的無定型碳，因高溫而使碳原子逐漸呈現規律的週期排列，形成石墨結構，並在此過程中逐步排除原料中的不純物，最後得到結晶性高、石墨結構發達的人造石墨。

自民國111年開始，中碳為配合政府2030年公車全面電動化政策目標，以及從戰略資



源的角度思考國內電池芯自主生產的重要性，在經濟部產發署的產創計畫支持下，成功地使用「介相碳微球製程技術」、「微細化技術」、「石墨化技術」和「表面改質技術」等四項技術，開發了電動巴士電池所需

的快充型高倍率負極材料。這使得電動巴士的充電時間大幅縮短，從原來的約1~2小時縮短至20分鐘內即可充飽。透過該計畫的執行，中碳有效地連結了電池產業的中、下游廠商，使國內電池產業鏈更加健全。

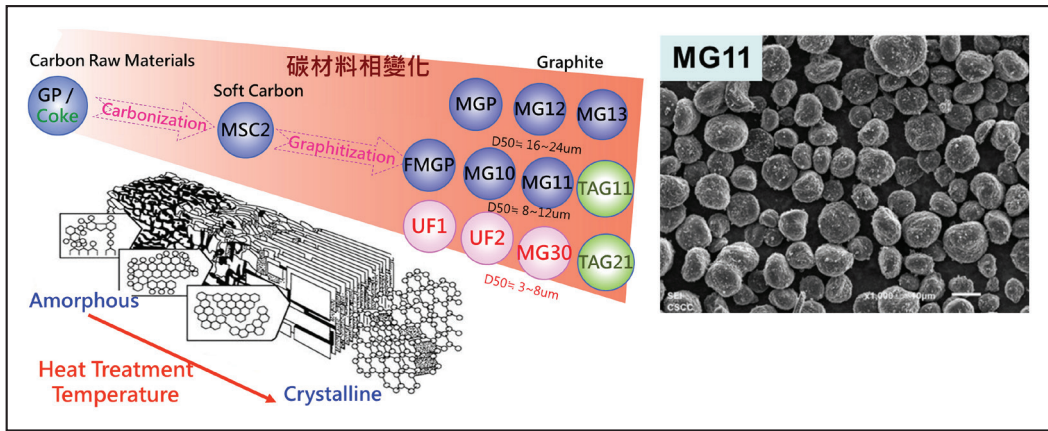


圖 9 碳材料相變化及中碳石墨負極產品 SEM 影像 [4]

(二) 超電容儲能活性碳

相對於鋰離子電池，超級電容器的特色在於其超高功率性能。雖然能量密度比鋰電池低，但其功率密度優於鋰電池，這主要是

因為儲能機制的不同。一般市售的超級電容器又稱電雙層電容，因儲能過程中不牽涉到化學反應，僅靠電荷物理吸附於正、負極材料的表面，形成電容效應，故正、負極材料的比表面積越大，可儲存能量就越多。

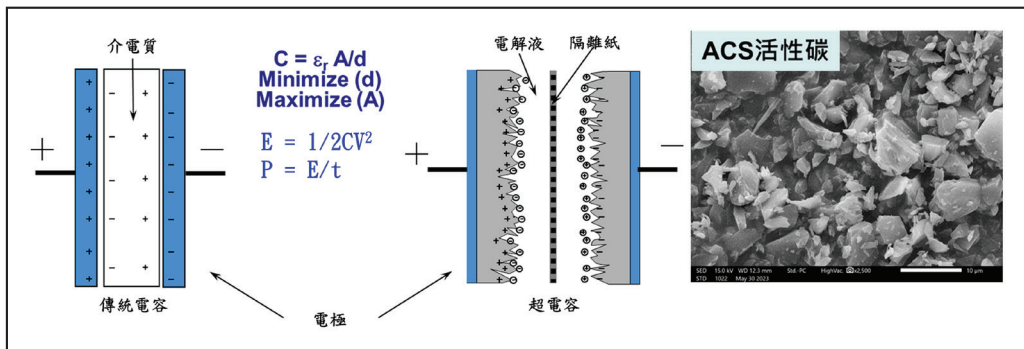


圖 10 超級電容器儲能原理 [5] 及中碳 ACS 活性碳產品 SEM 影像

隨著超級電容市場競爭激烈，其製造廠對於碳材料的需求日益增加，期以達到成本降低、品質提升和性能增強的目標。中碳公司秉持著符合市場需求、奠定技術根基以及達到永續經營的原則，致力於發展四項核心製程技術，包括活化、清洗、研磨和表面特性處理，旨在提升產品性能和性質。此番努力有助於在超級電容領域保持競爭優勢，同時拓展至其他潛在的應用領域，例如作為鋰電池和鉛酸電池的添加碳，使中碳公司成為超級電容碳材料市場的領導者。

近期，我國國家綠能科技產業推動方案以太陽能系統、風力發電系統和智慧電表為主要焦點。政府的能源轉型政策目標是在2025年實現再生能源占比達到20%，為因應大規模再生能源（如風電、太陽能發電等）併網，並解決電網系統的瓶頸，政府積極推動智慧電網硬體和資通訊（ICT）等基礎建設。行政院早在2012年就已核定「智慧電網總體規劃方案」，包括發、輸、配、用、產業和環境等多個方面，正式啟動我國智慧電網建設。在能源轉型的需求下，智慧電網建設涵蓋輸配電自動化、智慧電表系統基礎建設、微電網技術發展等多項計劃，旨在解決大規模再生能源併網所帶來的問題，實現再生能源的長期發展目標。在這個過程中，超級電容作為不可或缺的元件，扮演著至關重要的角色。

為因應政府推動的綠能國產、國造政策，中碳公司作為該產業的重要上游材料製

造商，積極開發超級電容用碳材料的製造技術，力求達到能夠與國際大廠競爭的水平。

（三）化合物半導體用高純碳粉與等方性石墨塊材

隨著電動車需求的增長，全球第三類半導體SiC功率元件市場持續擴大，從而推動了SiC長晶用高純度碳粉和等方性石墨塊材的需求快速增長。經濟部在盤點國內化合物半導體產業鏈後發現，缺乏「高純碳粉」和「高純等方性塊材」這兩種關鍵材料，因此積極協助國內廠商填補這兩個缺口。

近年來，SiC長晶領域迎來越來越多廠商的投入。SiC長晶製程對於SiC粉的高純度要求十分嚴格，需要高純度的矽粉和碳粉。考慮到每家廠商在長晶參數上的獨特需求，包括熱場、SiC粉的粒徑、型態、晶相等規格都將對最終的長晶結果產生影響。由於長晶參數具有高度機密性，成為各家廠商的專利技術，因此許多SiC長晶業者積極探求SiC粉的製作技術，希望能夠自主掌握此關鍵製程。

中碳成功研發的高純碳粉對於國內SiC長晶業者和SiC粉體供應商而言是一大助益。由於中碳在國內生產，能夠大幅縮短交期，同時提供客製化的規格調整，協助國內SiC業者充分發揮自身技術優勢，不再受制於進口的限制。這對於SiC產業的發展，將帶來更多可能性和競爭優勢。



另外，長晶所需的另一關鍵材料就是高純等方性石墨塊材。由於目前的等方性石墨塊材技術主要由美國、日本和德國掌握，國內完全仰賴進口，不僅交期長，而且較大尺寸的等方性石墨塊材還受到軍工和核能用途的限制，使得國內廠商能夠採購的等方性石墨塊材規格相對有限。因此，如果國內有能力自行生產，將有助於半導體產業的研發不再受到關鍵材料的限制。

中碳自民國107年建置了全國首座石墨化廠後，已經能夠將碳粉純度通過石墨化製程提升至4N以上(≥99.99%)，具有提煉碳粉的技術基礎。此外，中碳還參與了中科院技轉的等方性石墨塊材科專計畫，並在中鋼的技術支援下，不斷精進介相碳微球自燒結性粉

體技術，透過一次成型、碳化焙燒、石墨化製得高強高密等方性石墨塊材。與傳統的等方性石墨塊材製程相比，中碳的自燒結(Self-Sintered)等方性石墨塊材技術既省時又節能。

在政府產創計畫的支持下，中碳建立了國內首座鹵素純化設備，再次為國內碳材料產業開啟了新的技術篇章。鹵素純化是利用鹵素氣體把金屬氧化物轉變成金屬鹵化物，藉此大幅降低不純物的沸點，使不純物較容易被移除。透過此技術所開發的5N高純度碳粉可供應國內碳化矽半導體長晶用原料，建立完整的國內自主產業鏈。而開發的工業級等方性石墨塊材純度也達到5N，可供應國內各領域的需求。基於這一基礎，中碳進一步開發了化合物半導體長晶用石墨坩堝。

The Mechanism of Halogen Purification

Impurities that are difficult to vaporize, such as Al, B, V, Ti, Mo, Si, etc., are removed through halogenation.

$$M_xO_y + xCl_2 + yC \xrightarrow{\Delta} xMCl_2 \uparrow + yCO \uparrow$$

Halogen Purification

Impurities	Al	Fe	Si	Mg	Ca
Oxide Vaporization temperature (°C)	Al ₂ O ₃ (2980)	FeO (3400)	SiO ₂ (2230)	MgO (3500)	CaO (2850)
halide Vaporization temperature (°C)	AlCl ₃ (178)	FeCl ₃ (315)	SiCl ₄ (56)	MgCl ₂ (1412)	CaCl ₂ (1600)

圖 11 鹵素純化技術 [6]



本計畫開發的SiC半導體長晶的高純碳粉和等方性石墨塊材原料，可替代國外進口，避免關鍵原材料來源受到限制，建立我國SiC

完整自主產業供應鏈。特別是等方性石墨塊材，不僅適用於化合物半導體，未來還能因應其他相關產業對石墨的需求。



圖 12 中碳 5N 高純碳粉與等方性石墨塊材

四、總結

「千里之行，邁步生芳；水滴成川，砂石凝塔。」中碳秉持著集團的經營理念，在所有同仁的共同努力下，多年來累積的技術

實力終於在近年逐漸展現成果。不僅持續穩健經營煤焦油化學產品，在深化精碳材料之開發上更是不遺餘力，透過循環技術將中鋼的副產品進行再利用並且實現了高值化，成功開發出符合綠能政策的產品：「鋰離子電



池負極石墨粉」、「超級電容器用活性碳」和「半導體用高純碳材(包含高純碳粉與高純等方性石墨塊材)」，綠能產品在中碳的營收占比也將逐步提升，扮演綠能產業和半導體產業中不可或缺的關鍵角色。

展望未來，中碳將持續致力於提供卓越品質的碳材料。透過持續的創新和技術飛躍，中碳不僅為中鋼集團在綠能產業的發展願景付出不懈努力，更為台灣產業的繁榮和供應鏈的穩固貢獻所能。中碳深信，這將推動台灣在全球科技和綠能領域的嶄新發展，為未來開創更加美好的前程。

參考文獻

1. Q. Z. Zhang, et. al., "Research Progress in MnO₂-Carbon Based Supercapacitor Electrode Materials", *small*, Vol. 14, 1702883, 2018,
2. CHEManager, 18. Jahrgang · 27. August – 9. september 2009, available on web: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.chemanager-online.com/restricted-files/173363>.
3. J. Garche, et. al., *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*. Ulm:Elsevier B.V, 2009.
4. H. Marsh, *Introduction to Carbon Science*. London: Butterworths; pp. 7-8, 1989.
5. W. Roth, "Super and Ultracapacitors Thousands of Farads Thanks to Double Layer Technology", May 28, 2019, available on web: <https://eepower.com/technical-articles/super-and-ultracapacitors-thousands-of-farads-thanks-to-double-layer-technology/>
6. C. J. Im, et. al., "Halogen treatment of char for the removal of sulfur and mineral matter", *Fuel Processing Technology*, Vol. 33, pp. 49-60, 1993.