

萌發中的潛力股

有機電子產業的回顧與展望

王維漢

有機電子近日受到高度重視，相關產業在台灣起步甚早，其中OLED/PLED更是國外技術尚未量產前即已技術轉移至國內的例證。從新創的角度來看，有機電子非常有潛力成為一個極具經濟規模的產業，本文將簡述有機電子之發展，以及國內業界應如何掌握機會，以在全球相關發展中取得關鍵地位。

2009年7月下旬筆者連續參加工研院產經中心主辦的導電性高分子論壇，以及清華大學材料工程系周卓輝教授所主辦的有機電子研討會，對產業研究深感敬佩，獲益良多！另得知周卓輝教授欲倡導成立台灣的有機電子谷(OE Valley)，筆者在此先預祝該企劃成功！其實台灣產學界對有機電子並不陌生，從早期的OLED/PLED、中期的OTFT與logic、到近期的OPV與organic diode，國內學界、工研院等研究單位與產業界均投入相當多的人力參與。筆者援自身經驗，由外商產業界的角度來觀察此產業，並闡述其結果與未來展望。

早期DuPont的複合式導電高分子材料

1999年本人服務於DuPont工程塑膠部(engineering polymers)時，美國DuPont 便

將碳纖維與尼龍混練，欲取代PC+導電漆噴塗，使用於NBPC機殼的抗靜電防護(EMI shielding)，IBM筆記型電腦ThinkPad 760E便是相關產品。碳黑亦被大量使用於高分子厚膜產業(polymer thick film; PTF)中，作為熱固性樹脂的絕緣體。然而銀漿、碳黑等均是高分子厚膜產業中所謂的被動元件，直到導電性高分子被發現之後，主動元件始成為可能，這也是有機電子學或印刷電子學的濫觴。

DuPont的PLED

2001年中DuPont買下Alan J. Heeger的Uniax，並成立DuPont Display事業部，Heeger則成為DuPont的科技長。DuPont Display事業部主要從事PLED的研發，此有別於Kodak的OLED。當時世界上接受DuPont 授權並從

事PLED量產的廠商至少有荷蘭Philips、德國OSRAM，以及台灣的銖寶與翰立光電等四家企業，另外英國的CDT亦從事PLED技術的發展。相對於無機材料，有機材料效率不足、電子遷移率不高，再加上信賴度低，在PLED發展數年後，廠商紛紛退出。Philips將產線捐給研究機構，檳城OSRAM改做OLED lighting，銖寶與翰立分別被清算，而CDT也被Sumitomo合併！當初主張併購Uniax的DuPont Display的高層紛紛求去，而DuPont Display仍然存在，但已轉向從事可溶性(soluable) OLED的製程開發。此外，由於美國並沒有TFT LCD工業，DuPont Display必須在台日韓三國中尋找製造的合作夥伴，因此便入主銖寶8.5%的股份，同時 Alan J. Heeger 也成為銖寶的董事。但由於東西文化與理念的差異，造成雙方配合困難，即使DuPont Display在銖寶設有一位駐廠協調溝通人員(technical liason officer)，並且透過顧問事業部的協助，導入專案管理概念，然而最終雙方仍是無法繼續合作。行筆至此，筆者認為雙方應不拘小節羈絆(指共同專利的歸屬)，以達成技術量產為最終目的。

有機顯示器(organic display)的潛力強大，但其潛在市場競爭者卻是台灣最強烈的TFT LCD產業，由於TFT LCD產業供應鏈完整、廠商投資大、技術成熟，在此情況下，有機顯示器業者的觀念經過多年轉換，乃從TFT LCD的取代品轉變成互補性產品。雖然OLED較PLED量產性佳，但也由於類似原因，台灣OLED廠商亦紛紛結束生產。

針對OLED/PLED產業，雖然台灣業者大部份已經放棄，生產線機台也都被清算，但筆者建議政府成立專責單位，將這些生產線

機台收購整理並作為研究用途，以免徒然浪費當初所投入的人力物力與時間。

有機電子學中期發展

工研院是國內對有機電子最熟悉的單位之一，包括2005年成立的電光所軟性電子系統組，與材化所光電有機材料及應用組。其中電光所擁有價值數億元的生產設備，初期以OTFT與logic為目標，目前以有機sensor與電子紙的背板diode為主。材化所光電有機材料組則是自行開發有機太陽能技術，並與國際知名學校合作，進行技術轉移或引進。

針對引進美國學界新技術的作法，鄰近的日本與新加坡已經行之多年，結果尚待觀察。但並非每個大學都願意配合技術移轉，更重要的是國家級或軍方實驗室之技術，或技術較成熟的新創技術公司，則不可能開放或引進外界資源，這就是台灣必須成立國家級有機電子實驗室的原因。配合學界，由國家級有機電子實驗室持續提供有機電子相關的技術與人才，是中游工研院與下游業界能夠茁壯成功的源頭。但由於國內資源有限，必須注重某些特定領域與利基的應用與開發，相信學界領袖均已有共識。

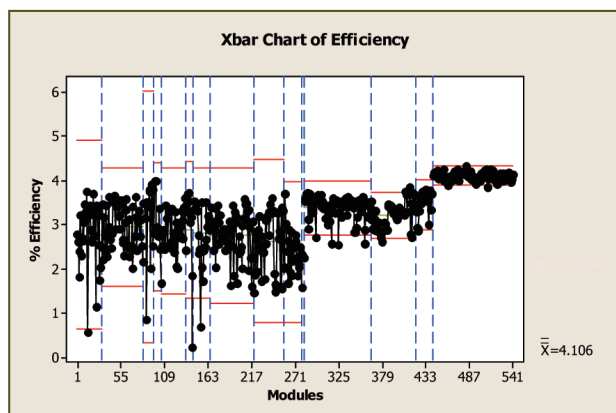
此時在國外，尤其是歐洲地區，已陸續成立有機電子協會或聯盟。最有名的當屬歐洲的OE-A，另外許多公司如Plastic Logic、NanoIndent等亦紛紛成立。但有機記憶體與有機邏輯電路，仍受限於導電性高分子遷移率低的問題。美國有機電子學的發展除以UCSB的Alan Heeger教授團隊為主外，另有許多紙業公司成立以印刷製程為主的RFID新創公司。由於傳統的印刷業銷售逐漸下滑，故紛紛轉向印刷電子領域，例如凸版印刷與

E-Ink、Toppan Form與Sipix的配合等。另外由於OLED/PLED製程發展不順利，許多公司乃轉往OLED lighting發展，這是因為OLED lighting為面光源，與傳統的無機LED點光源可以相輔相成。

有機太陽能的发展

Konarka公司是全球有機太陽能領域的佼佼者，從2001年成立迄今所拿到的 funding 總額超過1億美金，是美國政府重點培植的業者。早期Konarka從事染料敏化太陽電池(DSSC)的開發與製作，於2007年技轉給英國的G24i後，便轉向高分子系有機太陽能(OPV or OSC)的開發與製作。Konarka技轉的DSSC技術保證模組效率3.5%，如圖一所示。

DSSC的技術瓶頸在於(1)使用液態電解質，封裝不易；(2)高溫燒結(sintering)必須使用Ti metal foil，無法降低成本。若使用固態電解質，則效率與高分子系有機太陽能相仿，但高分子系有機太陽能卻是低溫製程，可以使用塑膠基材。目前OPV cell效率為6.5%，而roll-to-roll量產模組效率為2~3%。OPV加工使用的是大面積印刷製程，其技術員工主要是來自當初Polaroid製作底片的



▲圖一 隨時間演進的DSSC模組效率誤差

班底，再加上當地印刷天線業的技術員工。雖然效率不高，但相較於第一、二代，第三代有機太陽能可以吸收太陽能的範圍廣泛許多，並不限於正午與室外。目前Konarka已經推出某些產品，唯價格尚高。

筆者於2006年中開始受僱於Konarka，初期任務是與銻寶談合作。Konarka是 Alan Heeger成立的第二個公司，由於初期沒有量產設備，在 Alan Heeger的建議下，原先打算利用銻寶PLED生產線做量產準備。但PLED使用的是黃光製程，並用旋轉塗佈 (spin coating)設備，而有機太陽能使用的則是傳統的電子印刷製程，因為製程的差異性而使此合作案作罷，2008年年初Konarka買下Polaroid的工廠，並決定自行量產產品。圖二為2007年3月美國能源部長Samuel Bodman(左)訪問Konarka，同時宣佈Konarka為小布希總統能源法案(Solar American Initiatives)之獲獎者。右立者為2000年Nobel獎得主Alan J. Heeger教授，他幾乎主導整個美國有機電子產業。

電子紙的發展

全球電子紙技術的領導廠商有四家，包括MIT spin-off的E-Ink、Polaroid spin-off的Sipix、Xero PARC spin-off的Gyricon，以及日本的Bridgestone。其中Gyricon已經倒閉，其它三家仍正常營運。電子紙技術的規格要求不像OLED/PLED那麼嚴格，例如其抗水氣、氧氣的要求，電子紙為 10^{-2} ，而OLED/PLED卻是 10^{-6} 。

由於Amazon的Kindle電子書熱銷，目前電子紙似乎是有機電子業最成功的一支，也是台灣業者最能掌握技術來源的一個

segment。羅淦科技(Sipix)目前主攻smart card與無線標籤(RFID label)，並且最近友達入主投資。而E-Ink則主攻電子書，且最近被元太科技買下；Bridgestone 在台灣與台達電合作。目前電子書似乎已成為一個平台，許多的數位內容業者均躍躍欲試。

E-Ink的前段front end panel是由日本凸版印刷(Toppan Printing)所製造，而目前back end使用TFT LCD，模組交由台灣元太PVI所組裝出貨。目前back end使用軟性電子的部份，已由Alan Heeger所成立的第三家公司CBRITE在測試供應中。嚴格而言，電子紙因為不使用導電性高分子，而是使用電泳的粒子(particle technology)，並不全然屬於有機電子業，但也正因如此，少了導電性高分子低效率的牽絆，因而得以快速發展。

回顧有機電子產業發展

一、研發人員心態改變

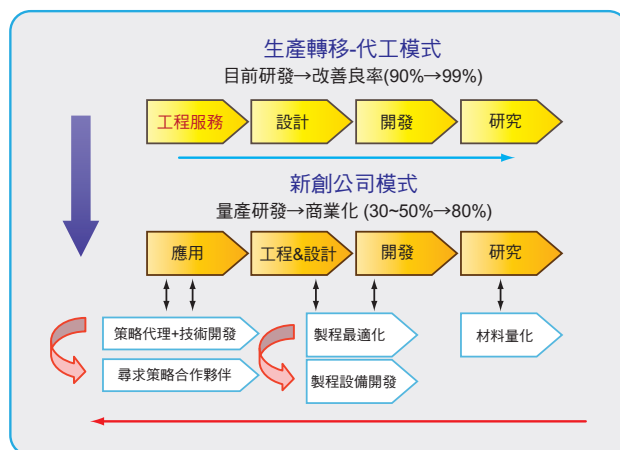
OLED/PLED是歐美日各國尚未量產便技術移轉到台灣來的唯一的工業，不過已是事過境遷。回頭重新審視此產業，有鑑於全球產業分工日趨細密，當初美國的新創技術公司只有實驗室製程，並沒有量產製程，於是紛紛尋找亞洲的製程合作夥伴。但是台灣製造業習慣的是製程改善與良率提升，並不熟悉全新製程的研發與量產。圖三顯示台灣若欲發展全新的有機電子業，研發人員必需改變生產代工的舊思維，以嶄新的心態全心投入技術的研究發展與量產。

二、老闆代工思維的改變

由於台灣電子業分工精細，台灣業者習



▲圖二 美國前任能源部長Samuel Bodman(左)聆聽Konarka Technologies的製造副總裁Eitan Zeira的解說,而科技長(Chief Scientific Officer) Alan Heeger(右)在旁邊注視著



▲圖三 高分子新創公司流程

慣以製造為主要生計，以歐美為主的品牌廠商，據此特性乃實施全球代工策略。由於外商材料供應商間彼此競爭激烈，台灣的電子加工業者輕易地便可知國外寶貴的實地經驗(field practice)。上述作法對跨國性材料供應商可行，但並非常態，遇到美國新創技術公司時即會碰上鐵板。台灣業者必需改變心態，因為天下沒有白吃的午餐。觀察本土電

子加工業，仍是以老闆為中心，另以業務人員參展拿訂單為主，反之香港業者許多早已是以第二代華裔為主，策略有所不同。另應注意歐美的電子加工趨勢，例如軟性電子的動態，將使整個供應鏈完全不同。

有機電子學以印刷塗佈為主，與傳統的射出加工不同，產業供應鏈亦完全不同。當美國從生產經濟的思維轉向知識經濟的作法時，台灣加工業者也必須隨之調整心態(圖四)。因應知識經濟，許多美國新創技術公司的興起並對美國經濟做出貢獻，創造許多就業機會與產值。知識經濟的興起，與生產經濟最主要的不同，在於智慧財產權概念的興起與商業模式的改變。傳統的電子產品供應鏈上其材料、加工、產品、各個公司皆獨立互不相干，但以有機電子為主的許多美國新創技術公司的材料、加工、產品則是在同一公司內完成。

台灣有機電子學發展的契機

一、有機材料

1. 基材

有機電子需要軟性基材，通常是PET，其它基材不泛用且價格昂貴。此指的PET基材是所謂光學級PET，並非一般的食品級PET。台灣目前有四家食品級PET薄片供應商，建議可以升級成光學級PET的供應商。世界上光學級PET的領導供應商是Tejin DuPont Film。

2. Barrier Coating

一般光學級PET並不具備抗氧氣與水氣的能力，而必須塗上阻氣層barrier coating，如SiO_x層，這方面Vitex公司是世

界的領先者。新加坡並沒有PET產業鏈，但其ASTAR計劃卻非常著重於此部份。新加坡在美國的學者如C.W. Tang、T.S. Chung、Beng, S. Ong等學者，在有機電子與LCP等領域均國際知名。

3. 電極

一般常用的電極是ITO，但ITO是用PVD法濺鍍或蒸鍍上去，並不具有柔軟性。PEDOT:PSS則是由Bayer與Agfa所提供的透明導電高分子，相較於功能性導電高分子，電極用透明導電高分子發展較成熟，但導電性仍略遜ITO。這幾年台灣因觸控面板與太陽能工業的興起，相對造成ITO電極業的發達。

4. 功能型導電性高分子

PPV適用於OLED/PLED的發光高分子，雖然LED與PV均擁有光電機制，但一個是電生光，另一則是光生電。由圖五可知PPV並不適用於有機太陽能，因PPV吸收能量僅占太陽能連續光譜之一小部份。因此有機太陽能業者必須發展適合自己的功能型導電性高分子，這便是吸光型導電性高分子Polythiophene的由來。市售P3HT主要供應商有：Merck、Rieke Metal、Plextronics、American Dye



▲圖四 產業轉型的三部曲

Source等，為了提升有機太陽能效率，Konarka也自己合成Polythiophene衍生物。

二、有機加工製程

有機電子的加工製程以印刷塗佈為主，與傳統的射出加工不同。台灣目前的TFT LCD或color filter製程均是以黃光製程並使用die coating設備為主，並非有機電子加工製程所使用，有機電子採用的乃是傳統電子印刷製程，如網版或凹凸版印刷或塗佈。台灣的高分子塗佈或印刷加工主力在膠帶產業及TFT LCD產業，另外紡織業的塗佈加工技術相仿，但層次較低。相對而言高分子塗佈或印刷加工人材不足，此方面清大與工研院有著墨。

工研院的軟電實驗室初期規劃是要走向logic或OTFT方向，但受限於殺手級應用未出現，並未找到合作廠商，目前則以感測器與有機背板為主。有機電子要成功量產並降低

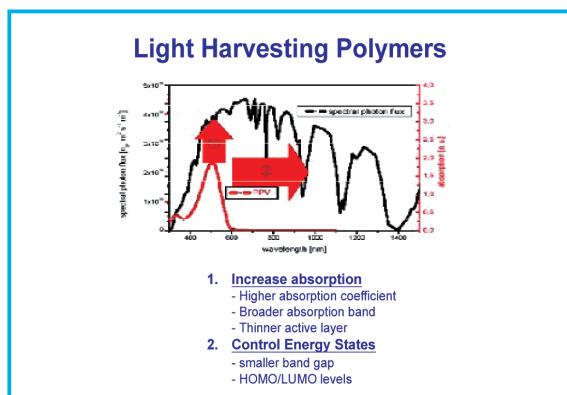
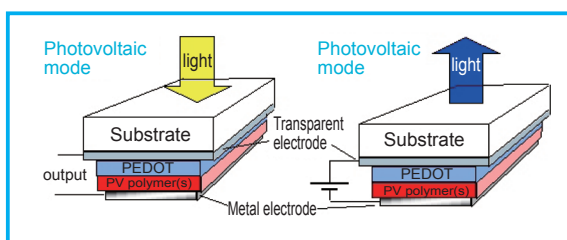
成本，roll-to-roll 連續式印刷或塗佈製程為必定要進行的方向。

三、有機電子產品

有機電子受限於效率不足，再加上還未看到殺手級應用，造成產品單價過高，只有少數的產品如RFID、有機電池、電子書能被量化生產。仔細觀察這些產品並非全是純有機電子產品，而是使用高分子塗佈或印刷加工的無機或有機/無機混成的功能性產品。在營收為導向的產品公司中，為了滿足股東短期獲利的要求，這實乃不得不為之的折衷作法。

對台灣有機電子產業之建言

綜上所述，筆者提出對國內發展有機電子產業的建言如下：(1)行政院科技顧問組或國科會單獨設立有機電子學門的專責委員；(2)經濟部工業局與技術處主導業界資源配置與國外相關技術引進；(3)鼓勵學界向國外知名大學合作並爭取資源；(4)鼓勵學生出國留學並於當地就業；(5)產業界可從材料端著手；(6)結合產學界由工研院主導加工量產的研發；(7)成立國家級有機電子實驗室；(8)配合國家產業政策成立有機電子谷；(9)鼓勵外商既有材料供應業者在台設立研發中心。



▲圖五 有機太陽能與有機發光顯示器工作機制不同

作者 / 王維漢

美國密蘇里大學高分子化學博士

曾任職於Allied Signal與DuPont。在DuPont負責生物可分解塑膠Biomax在亞洲銷售，同時亦在台商Kenly Precision負責LED部門的盈虧。其後在Alan Heagen之Konarka Technology負責第三代太陽能技轉。目前成立「維興科技」，從事美國新創公司的技術代理與開發業務。