



自動光學檢測技術應用於廢棄太陽光電板之關鍵參數分析

The Application of Automatic Optical Inspection for Critical Parameters of End-of-Life PV Panels

胡振嘉 J. J. Hu¹、陳俊賢 C. H. Chen²、張奕威 Y. W. Chang¹、
葉佳良 C. L. Yeh³、王浩偉 H. W. Wang⁴

工研院(ITRI) 量測技術發展中心 ¹技術經理、²經理、³工程師、⁴正工程師/副組長

摘要/Abstract

由於廢棄後的太陽光電板可能包含有用的模組和材料，需要根據檢測結果進行適當的分類以便後續回收再利用，減少對環境的衝擊影響。本研究目的為運用自動光學檢測技術應用於回收太陽晶片之關鍵參數，包含矽晶片厚度、翹曲量測與玻璃的失透率檢測。太陽光電板的矽晶片總厚度變化和翹曲的識別，是讓矽晶片被評估可以再利用的重要步驟，且此階段的檢測很大程度是取決於梯次利用的策略；失透光譜用於識別缺陷是否讓玻璃成為廢品，且失透檢測方式需適用於具有圖案結構的太陽能玻璃板。基於上述的需求，開發更有效的量測系統與方法，且能適用於太陽光電板的回收再利用處理廠。

Due to end-of-life (EoL) photovoltaic panels (PVs) contain useful parts and materials, environmental impacts can be reduced by designing a proper classification including recycle and reuse based on their inspecting result. The study aims to apply automatic optical inspection (AOI) methods for the critical parameters of EoL PVs including total thickness variation (TTV) and warpage (WARP) of silicon wafers and transmittance of glass. The TTV and WARP identification of the silicon wafer of PVs are fundamental to assess the next steps of the reusing process, which is significantly dependent on the echelon-use strategy. Transmittance spectroscopy, commonly used to identify the defects composing waste products, is certainly capable of adapting the pattern structure of the glass of EoL PVs. For the above requirements, we develop more efficient measurement system and methodologies so as to be adopted in pre-treatments PV recycle and reuse plants.

關鍵字/Keywords

太陽能板/太陽光電板(Photovoltaic Panels; PVs)、廢棄/產品生命結束(End-of-Life; EoL)、回收再利用(Recycle and Reuse)、自動光學檢測(Automatic Optical Inspection; AOI)、矽晶片(Silicon Wafer)、玻璃板(Glass)



太陽光電模組回收動機說明

台灣太陽能裝置量正逐年提升，依據經濟部能源局資料，從2009年開始至今，歷經10年太陽能發電量每年平均成長89.6%，並於2019年10月，太陽能成為目前綠電供應主力之一，僅次於水力發電。政府正如火如荼地廣布太陽能發電廠，推動2025年20 GW政策，同時藉由模組的汰舊換新提升發電效率，故未來20年內將持續產生大量的廢棄(End-of-Life; EoL)太陽能模組，當這些廢棄太陽能模組使用易拆解設計技術，將能夠從廢棄端找出回收價值。太陽能模組回收拆解後的組件，其比例約為65~75%的玻璃、10~15%的鋁框、10%的塑膠、3~5%的矽晶、以及鋅、銀、銅等金屬，當上述這些組件能夠回收再利用(Recycle and Reuse)，回收資源化效益可達到12億元⁽¹⁾。由於易拆解技術，使得回收過程可以完整提取出高純度的銀、完整的矽晶片(Silicon Wafer)與玻璃板(Glass)，故有別於傳統破碎後分選與純化提煉的循環再造(Recycle)，易拆解模組技術能有效提升太陽能零組件的循環利用價值，達到物盡其用(Reuse)。

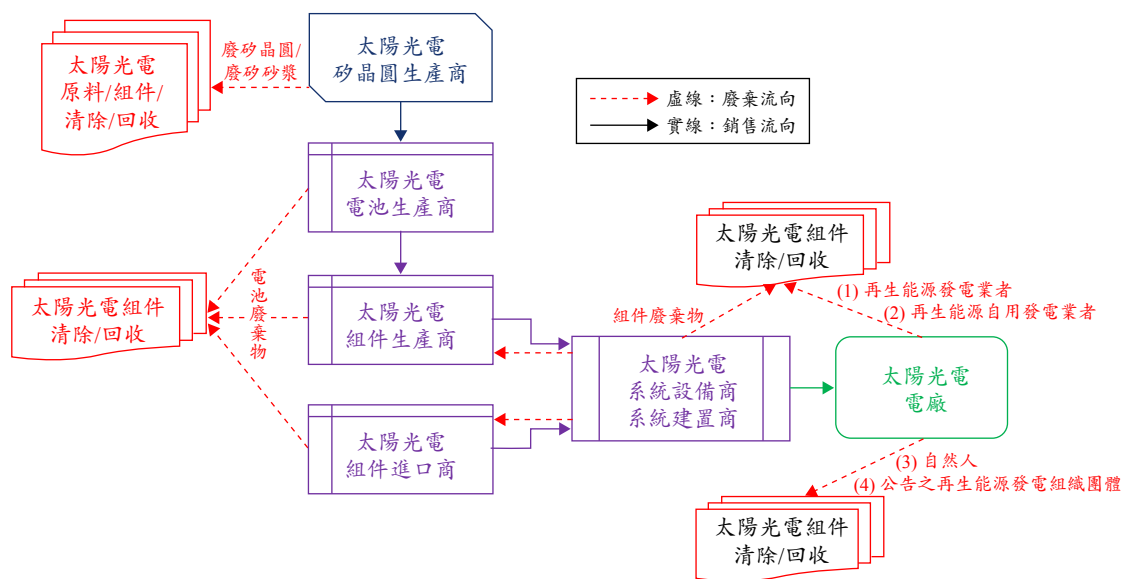
太陽光電模組回收相關議題

全球綠能產業中發展最快速的再生能源為太陽光電產業，全球累積安裝量於2019年已突破600 GW，各國也開始思考如何處理大量太陽能模組廢棄物的問題，而工研院產業科技國際策略發展所更預估，2050年全球累積太陽能板(Photovoltaic Panels; PVs)廢棄物將高達到6,000~7,800萬噸。台

灣設定2025年非核家園目標，積極推動太陽光電發電設置，2019年底達到3.89 GW之安裝量，預估2031年將產生超過1萬噸的年增廢棄量⁽²⁾。為使太陽光電板其組件運用能夠永續，歐美各國已將太陽能模組廢棄物納入管制，擬定技術發展策略並建立相關回收機制。因此台灣如何以整個產業價值鏈進行系統性的循環思考，將是下一階段太陽光電永續發展的關鍵議題，若能在太陽光電回收法規與政策驅動下，利用循環經濟的概念，從原料、製造、使用到回收整個產品生命週期中，透過營運模式的改變或是技術的發展，將建立太陽光電產業的循環經濟商業模式，取代傳統的線性經濟。

1. 回收義務對象界定

按照現行台灣制度，可知廢棄物的定義有兩類，若將太陽光電組件視為一般廢棄物，無法對其責任主體課以回收義務，對終端使用者(設置者)，也無法要求必須進行回收；若以事業廢棄物認定時，限定公告事業範疇—電力供應業，才可將太陽光電組件認定為事業廢棄物。不論從一般廢棄物或事業廢棄物的定義，現階段台灣對太陽光電組件廢棄物，尚未有公告並明確定義廢棄物屬性，故回收處理之問題仍需要後續法規研議。由廢棄物處理義務對象去區分，可分為電力供應業和非電力供應業，所謂的電力供應業指的是取得電業執照之再生能源發電業者，而營運過程所產生之廢棄物視為事業廢棄物，故太陽能組件歸納為事業廢棄物；而非電力供應業指的是取得經濟部公告之經營再生能源發



▲圖一 太陽光電組件銷售與廢棄流程圖及回收責任廠商⁽¹²⁾ (彩圖請見材料世界網)

電組織團體類別，而營運過程所產生之廢棄物恐無法視為事業廢棄物，因此處理義務對象亦需法規增修。

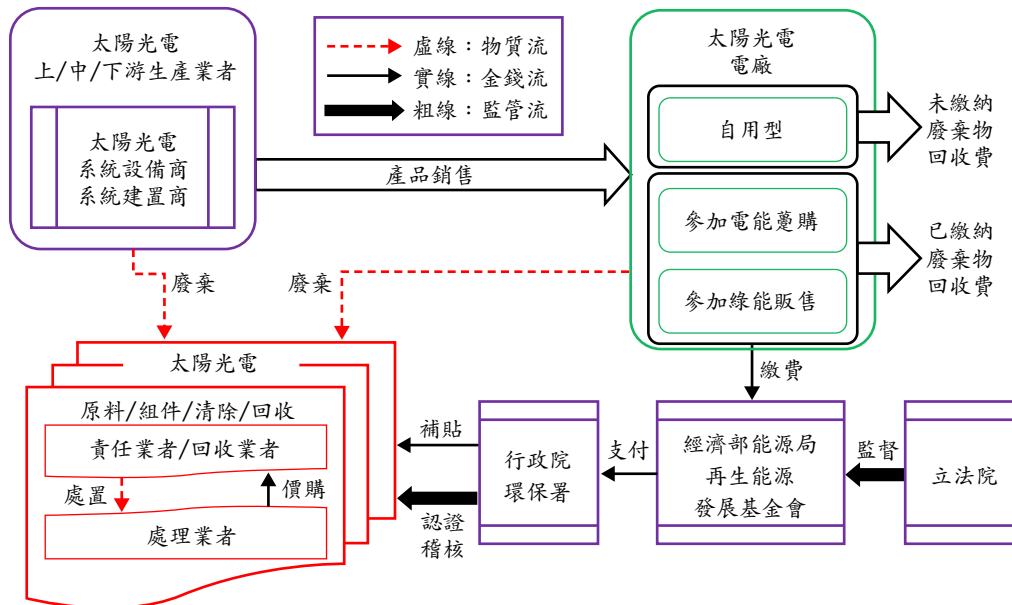
2. 回收責任與再利用辦法

(1) 回收責任與分工

若用產品生命週期界定其產品延伸責任，應由製造商、供應商（或銷售商）、使用者、產品處置者等四者共同承擔，因此廢棄物的處理不僅生產者需要負擔其處理義務，終端或中介的產品參與者對太陽能模組之廢棄處理都有其責任與義務。如圖一所示，實線為太陽光電組件產品銷售流向，虛線為太陽光電原料及組件廢棄流向，說明四者都須承擔回收責任並建置相對應的回收處理技術。

目前太陽光電組件其廢棄物處理與分

工有經濟部能源局和行政院環保署兩個主管機關。能源局⁽⁴⁾收取太陽光電發電系統設置者（或所有者）費用，費用繳納到再生能源發展基金會，支付日後處理業者之認證稽核與廢棄組件處理之補貼費用；環保署⁽⁵⁾則建立太陽光電廢棄組件處理業者之認證並稽核，由合格處理業者進行太陽光電廢棄組件之處理。廢棄組件處理責任與分工如圖二所示，虛線為物質流、實線為金錢流、粗線為監督管理。由綠色方塊的上游可知，當業者具備再生能源設備認定之太陽光電系統案場，會完成繳納太陽光電組件廢棄物回收費用於能源局，但當業者僅完成再生能源設備設置，無再生能源設備認定時，並未繳納太陽光電組件廢棄物回收費，故此階段溯源到太陽光電組件生產商、太陽光電組件輸入商、太陽光電系統



▲圖二 目前太陽光電組件廢棄物處理責任與分工系統方塊圖⁽¹³⁾ (彩圖請見材料世界網)

設備商/系統建置商、以及自用品太陽光電電廠，都無法對其有效課徵到太陽光電組件廢棄物回收費用，未來將影響回收技術的建置與開發。太陽光電模組使用平均壽命約20~25年，模組在生產到使用到廢棄不同階段，在不同事業主體都會發生組件廢棄。若以歐盟為例，由太陽光電生產商、進口商、經銷商等三者繳納太陽光電廢棄物處理費用，再委請通路商或回收機構進行廢棄物回收，此方式與台灣的廢清法之應回收項目具有相似的經驗；若以日本為例，則要求設置者繳納太陽光電廢棄處理費用，並於太陽光電板廢棄時交由專門之處理業者，處理費用由繳納之太陽光電廢棄處理費支出，故此方式與台灣修法中的再生能源發電設備設置管理辦法相似。比較再生能源發電設備設置管理辦法草案與

廢棄物清理法，可知台灣目前尚未明確是由生產端（輸入端）負擔回收責任或者是由使用端（設置端）負擔回收責任。

(2) 再利用辦法

太陽光電組件回收再利用的材料可區分為矽晶材料（太陽能電池）、玻璃材料、金屬框材料、導電銀線或銅線等，藉由易拆解技術的開發，使得太陽能模組回收可拆解成不同組件。各項組件經由檢測分析，驗證其再利用(Reuse)之價值，例如矽晶片檢測其厚度與翹曲等關鍵參數後，符合模組規格即可重新組裝為新的太陽能模組用晶片，若不符合回用規格，亦可檢測其電阻值和摻雜濃度等，進行純矽的提煉或者運用到煉鋼時的添加材料；另外例如玻璃檢測其缺陷位置與其穿透率等關鍵參數後，符合模組規格即可重新組裝為新



的太陽能模組用玻璃，若不符合回用規格，亦可檢測其金屬雜質殘留和脫色劑成分等，運用到裝潢玻璃或者磁磚及地磚的添加材料。由於廢棄物回收再利用有五個限制，若能進一步獲得解決，則對太陽能循環經濟產業產生助益，其中一個限制即為檢測驗證技術，以確認再利用是否符合規格，簡述太陽光電組件再利用的五個限制，分別為①未公告再利用項目，由於再利用之廢棄物須經過事業目的主管機關公告，方得進行相關再利用之行為；②再利用機構資格，因太陽光電組件組成複雜，需要多項專門技術，其再利用機構處理資格未有明確定義；③分屬不同事業主管機關，依據廢清法第39條規定，事業廢棄物再利用，應依照中心目的事業主管機關規定辦理；④缺乏再利用誘因，現階段廢棄量不足以形成產業規模，且再利用處理成本較高，若缺乏再利用機構之政府補助計畫並協同學校與法人等機構輔導，將難建立回收技術一條龍；⑤缺乏組件相關參數檢測技術，拆解後未破損即可Reuse，若破損即可Recycle，但所需的檢測需求不同，建立的檢測技術相距甚遠，如何制定相關回用規格與應量測之關鍵參數，並根據歐盟RoHS指令管理限制太陽能模組中的危害性物質，因為該危害物質若不當處理將造成嚴重的環境汙染，產生更大的環境成本，因此還需要標檢局或工業局等相關單位制訂國家標準或產業標準，供業者作為技術研發依據⁽⁶⁾。接下來將就檢測現況與發展趨勢進行說明，並介紹關鍵參數與檢測技術研發現況，隨後進行測試驗證的結果

分享並提出結論。

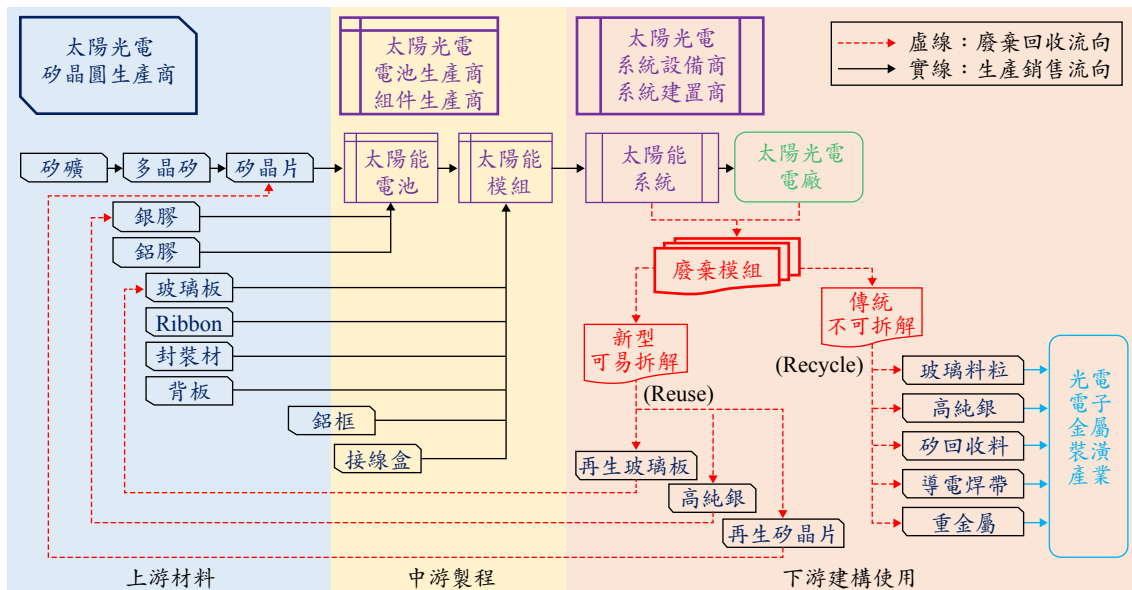
太陽能電池回收技術 發展現況與需求

1. 歐盟的廢棄電器及電子設備指令

歐盟現況參閱Solar Waste網站資料⁽⁷⁾，可知歐盟為免因太陽能電池廢棄造成環境危害，於2012年重新修定了歐盟廢棄電器及電子設備指令(WEEE Directive 2012/19/EU)，於附錄I-10大類電器電子設備之管控產品範圍的第4類納入了太陽能光電板產品，要求於歐盟境內銷售太陽能光電板的生產商、經銷商、安裝商須遵守WEEE之規定，負擔太陽能光電板廢棄回收的費用（需負擔太陽能光電板廢棄物蒐集、運輸及回收處理的費用）、每月/每年定期回報太陽能光電板銷售數量與回收數量、於銷售太陽能光電產品上揭露WEEE指令的標章。另外WEEE也要求歐盟國家，應將前述指令轉為國內法，且其規範標準不得低於WEEE指令，並針對壽命到期之太陽能電模組制定了回收的時間表與規定，於2018年8月起，要求歐盟境內之太陽能電模組回收率要達85%，回收再利用率達80%。

2. 台灣的高效能易拆解太陽光電模組 新設計與資源高值循環技術開發計畫

台灣的太陽能產業如圖三所示，於上游製造出矽晶片後，由中游的電池廠商來進行太陽能電池的製作，再交由模組廠商封裝成為太陽能模組板，本技術開發計畫



▲圖三 台灣太陽能製作產業鏈與本技術開發計畫之關聯⁽¹⁴⁾ (彩圖請見材料世界網)

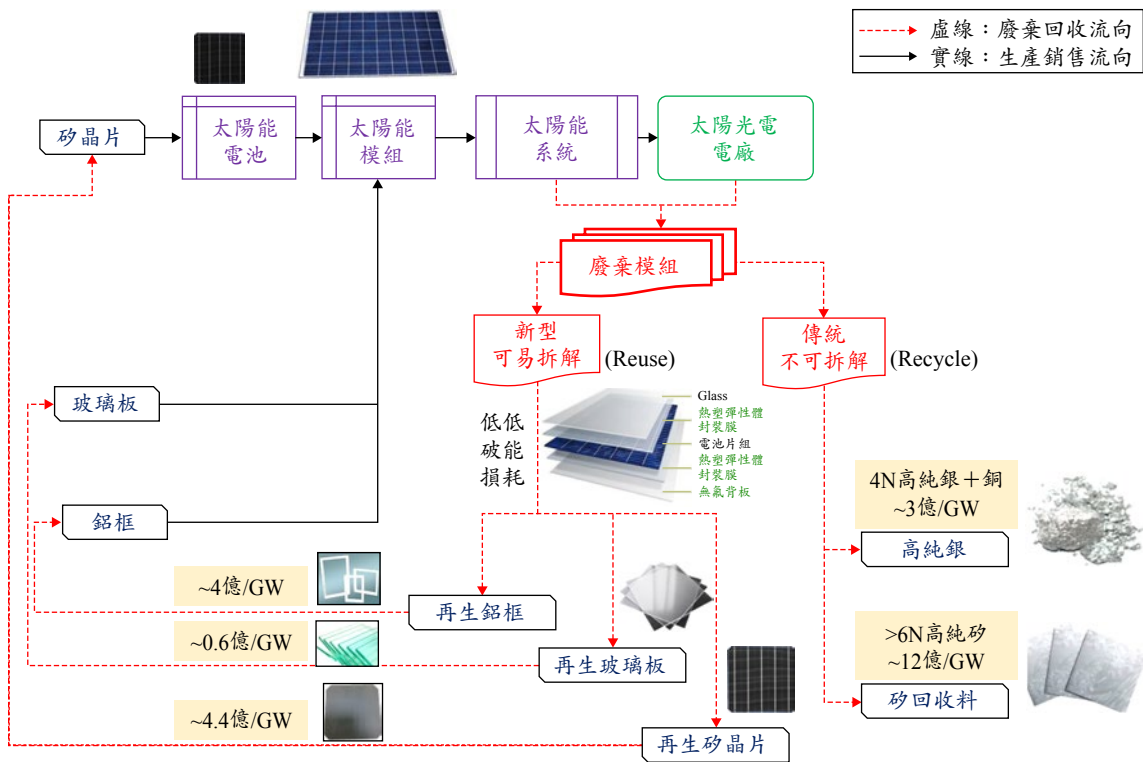
在不更動現有產業鏈與生產程序下，導入綠色新模組材料，使易拆解新模組汰役後進行廢棄處理，可保持玻璃蓋板與電池晶片之完整性，並經本計畫研發的檢測技術，晶片與玻璃可再次回用太陽能產業或其他高值應用，達到循環經濟的最終目標。

矽晶片與玻璃檢測關鍵參數與檢測需求

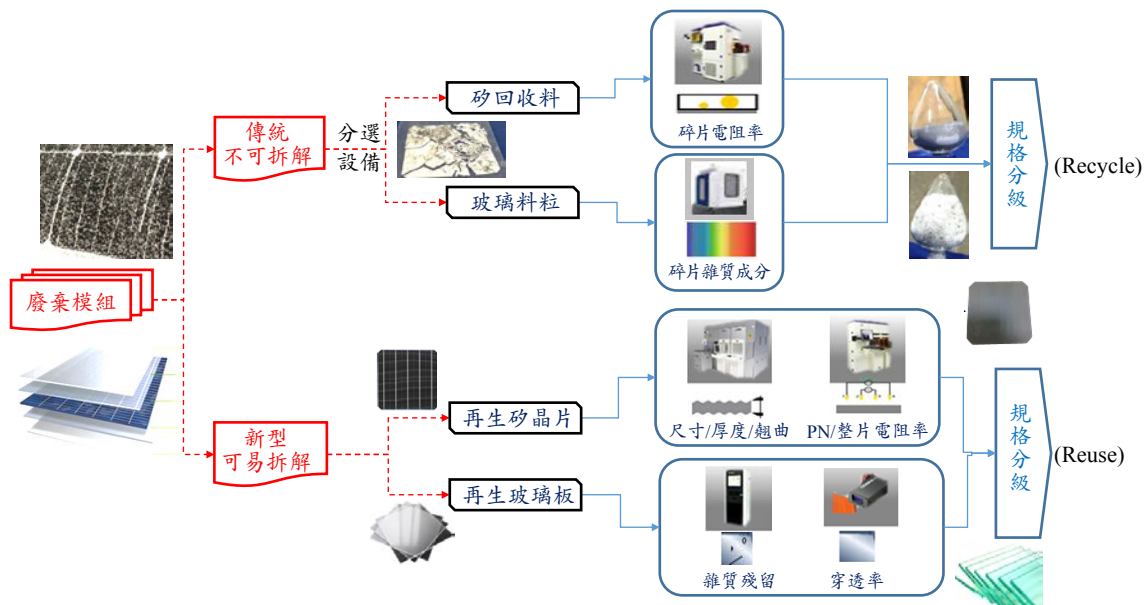
綠色模組拆解技術是針對此計畫所開發之易拆解模組，如圖四所示，藉由開發低破損的拆解技術，使得易拆解的太陽能電池片與玻璃板可以維持完整無破損，再經過晶片再生技術使電池片回復成原始矽晶片，得到6N純度等級的高純矽晶片，以回到原產業使用，又或進入更高值的產業來做利用。玻璃板則是經過再生清潔程序

後，成為高潔淨玻璃板，後續再進入高值玻璃產業來做應用。將綠色易拆解模組中之矽晶片成為自主循環標的，綠色易拆解模組回收取得之電池晶片，經提取有價金屬與剝除各結構層後，成為再生高純矽晶片原材，或將依照其厚度特性製作成薄型晶片，最後研發為利基型超薄電池。

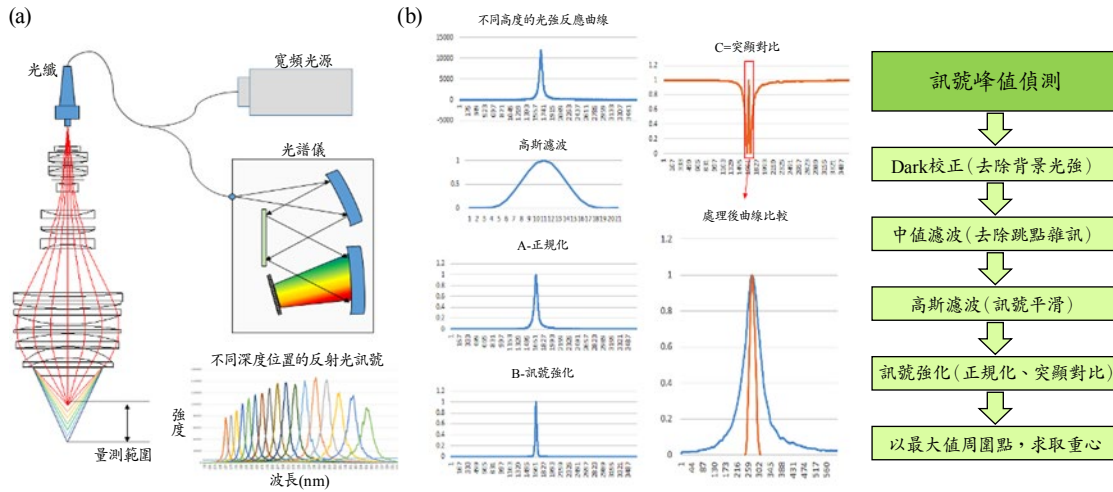
發展新型易拆解模組所需的檢測技術如圖五，各檢測系統含括主要關鍵檢測系統開發，分別為整片矽晶片的尺寸/厚度/翹曲檢測系統、整片矽晶片的PN類型/電阻率檢測系統、整片玻璃板的雜質殘留檢測系統、整片玻璃板的穿透率檢測系統、碎片矽晶片的電阻率檢測系統、碎片玻璃的雜質成分檢測系統。檢測系統與國內設備商合作，串聯終端使用客戶，在測試過程中優化系統以符合使用者製程需求，最終導



▲圖四 新型可易拆解之高效循環模組結構與回收程序（彩圖請見材料世界網）



▲圖五 新型易拆解模組所需檢測技術



▲圖六 再生矽晶片檢測技術，(a)大收光角多波長共焦量測模組；(b)訊號強化演算流程

入客戶端實際場域驗證。以下分別就整片再生矽晶片的厚度/翹曲檢測技術及整片玻璃的雜質殘留/穿透率檢測技術進行介紹。

1. 再生矽晶片檢測技術

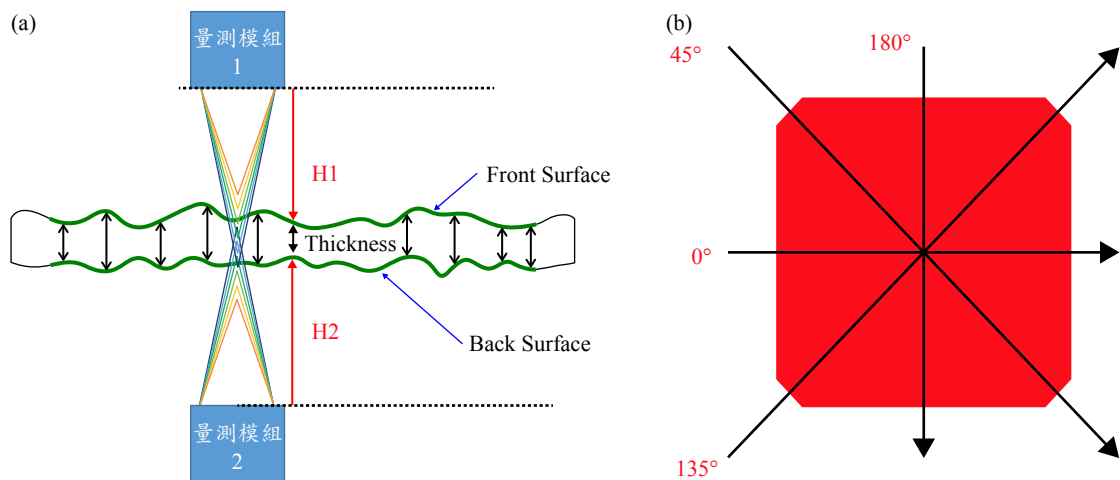
再生矽晶片因回收製程中的蝕刻清洗等，會出現金字塔等不規格粗糙表面，而粗糙表面造成反射光漫射問題，導致回光量減少而放大量測誤差。工研院量測技術發展中心開發的檢測技術，已發展大收光角多波長共焦量測技術⁽⁸⁾，此技術是利用多波長共焦物鏡的多組複合鏡片群特殊設計，使同時具備長景深及大收光角度(NA)的光學效果，且因不同波長光可聚焦在不同深度，光譜儀上各波長代表樣品表面不同高度資訊，故不用掃描元件即可進行深度量測，量測速度更快，如圖六(a)所示。再搭配光譜訊號差分演算與訊號濾除來強化訊號對比，流程如圖六(b)所示，使得

量測訊號峰值更為穩定。故大收光角多波長共焦量測模組將具有①大收光效果(NA > 0.5)；②次微米級高度解析度(0.1 mm)；③長景深範圍(mm)④高速量測(kHz取樣)四個優點⁽⁹⁾。

為了同時檢測到再生矽晶片的翹曲與厚度，多波長共焦量測模組將以晶片雙面同光軸設計形成檢測系統，如圖七(a)，上下兩個量測模組透過校正對焦到樣品上相同的位置，雙模組相對距離減去各自量測距離晶片表面的距離，可計算出晶片本體的厚度及翹曲值資訊。檢測系統再搭配自動化XY平移台，則可進行再生矽晶片快速掃描，如圖七(b)米字路徑，計算出矽晶片各區域的翹曲與厚度數值，滿足綠色新模組製程速度1,200片/小時。

2. 再生玻璃板檢測技術

再生玻璃板因案場使用汙染，回收



▲圖七 再生太陽能矽晶片的厚度與翹曲檢測架構示意，(a)上下探頭與厚度計算示意圖；(b)米字形掃描路徑

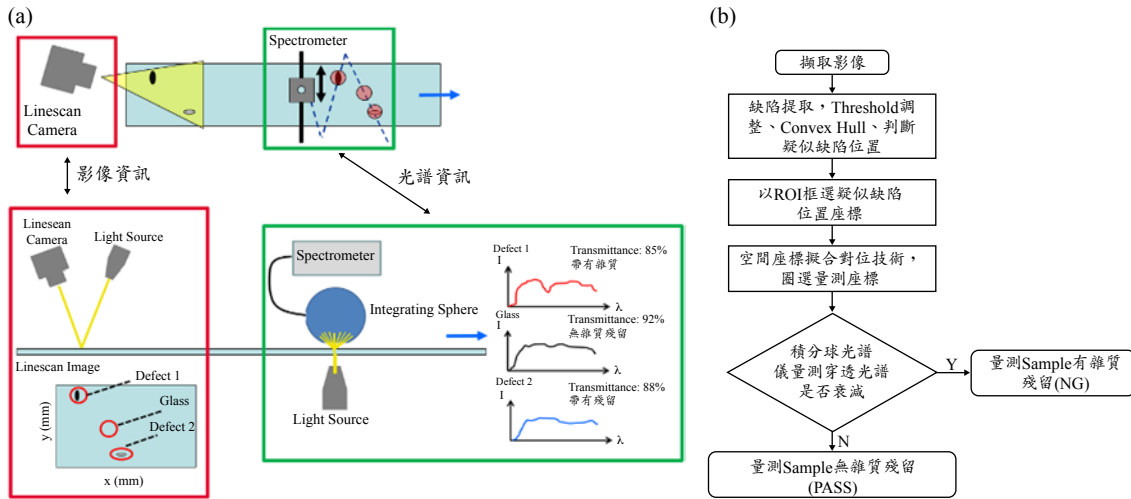
後有失透現象，失透來源主要有五個，包含金屬汙染、內部質地改變、局部結晶、殘膠、碳化。金屬汙染包含銅（藍色）、錫（霧化）、銀（黃色）；內部質地改變如 FeO_2 轉化為 Fe_2O_3 （黃綠色），除了造成穿透率的變化，也會影響其外觀顏色；而局部結晶、殘膠也會造成穿透率改變。上述任何一種失透源都將降低太陽能模組發電效率，需於再生製程後進行檢測以確保再使用的規格。為監控不同波長下的穿透度，以缺陷位置的檢測模組先進行多探頭的線掃描，接著以具備多探頭擴充的積分球光譜，開發漫射光譜量測系統設計來達成失透量測。因使用線掃描影像式系統設計，檢測速度遠快於傳統單點式量測系統，且可保持高空間解析度。篩檢出回收後產生的疑似缺陷，再針對缺陷位置座標轉換後，以積分球光譜分析技術，選用波長400 nm到800 nm範圍，可快速分析不同光譜下

的值，得到大片再生玻璃的可見光光譜穿透率，如圖八的光譜分析架構與光譜分析流程。

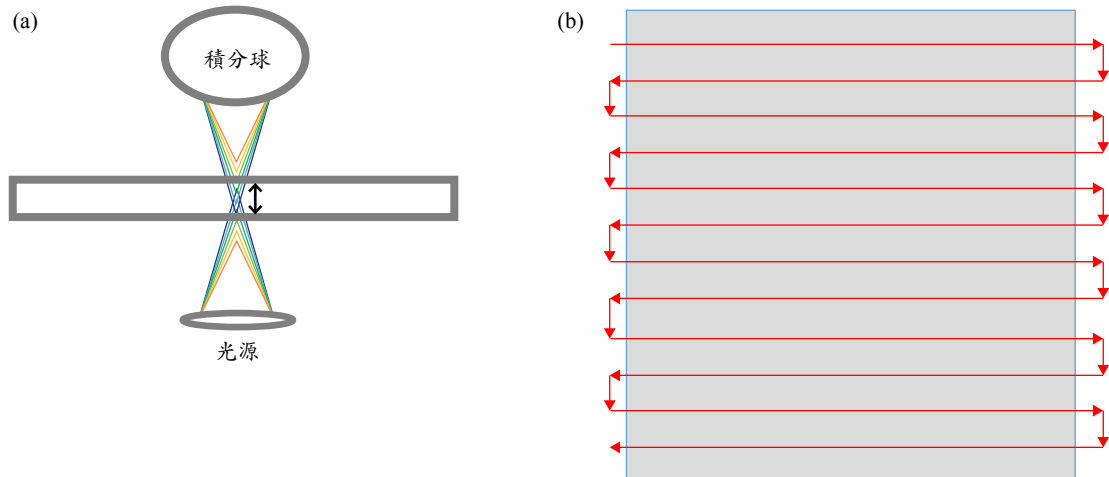
為了容許積分球探頭在再生太陽能玻璃矽晶片的穿透率能夠實現，投光光源與收光積分球量測模組將以玻璃上下同光軸設計形成檢測系統，如圖九(a)。上下一套量測模組透過校正對焦到樣品上同軸的位置，光源的各波段投射波長到積分球收光的量測光譜儀，可計算出玻璃本體的穿透率資訊⁽¹⁰⁾。檢測系統再搭配自動化XY平移台，則可進行再生太陽能玻璃快速掃描，如圖九(b)的掃描路徑，計算出玻璃各區域的穿透數值與整體的穿透率平均值，並滿足綠色新模組製程速度20片/小時。

太陽能回收晶片與玻璃檢測結果

矽晶片厚度與翹曲是依據國際半導體材料暨設備協會(Semiconductor Equipment



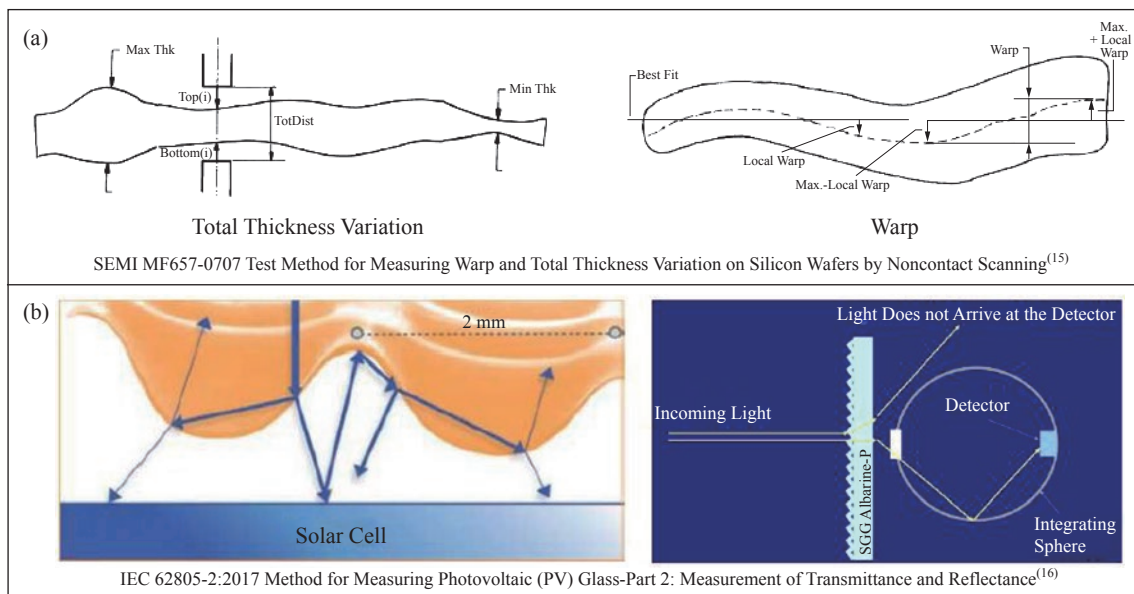
▲圖八 再生玻璃板檢測技術，(a)缺陷提取與失透量測模組；(b)提取與對位演算流程



▲圖九 再生太陽能玻璃板的雜質與失透檢測架構示意，(a)上下探頭與失透計算示意圖；(b)一字形掃描路徑

and Materials International; SEMI)所制定的MF657-0707標準，該標準定義晶片粗糙度(Micro Roughness)、厚度(Thickness)、厚度變異數(TTV)、翹曲度(Warp)，如圖十(a)所示，其性質都有詳盡規定。檢測

過程由目前所架構好的設備，配合上述的SEMI協會標準，發展出一套量測分析的流程，來檢驗晶片的品質。玻璃板失透是依據國際電工委員會(International Electrotechnical Commission; IEC)所制定的IEC

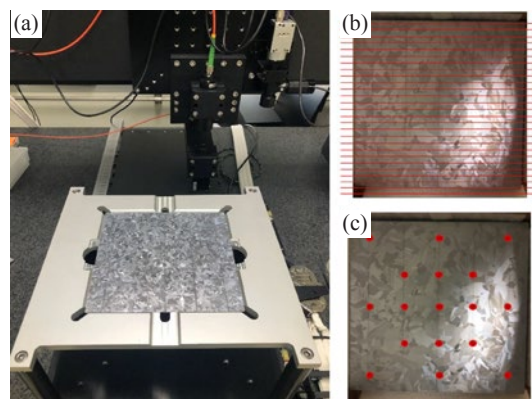


▲圖十 再生太陽能(a)矽晶片與(b)玻璃板的檢測標準

62805-2:2017標準，有關於測量太陽模組中所使用的玻璃之穿透率(Transmittance)和反射率(Reflectance)，如圖十(b)所示，其適用的太陽能玻璃包含超透明圖案玻璃(Ultra-Clear Patterned)、防反射塗層玻璃(Anti-Reflective Coated; AR)、透明導電氧化物塗層玻璃(Transparent Conductive Oxide Coated; TCO)、太陽能組件中其他類型的玻璃，標準中所述的測試方法所獲得的數據，可用來比較不同實驗室之間或同個實驗室在不同的時間測量下所得的結果，以進行測試驗證。

1. 再生太陽能矽晶片檢測結果

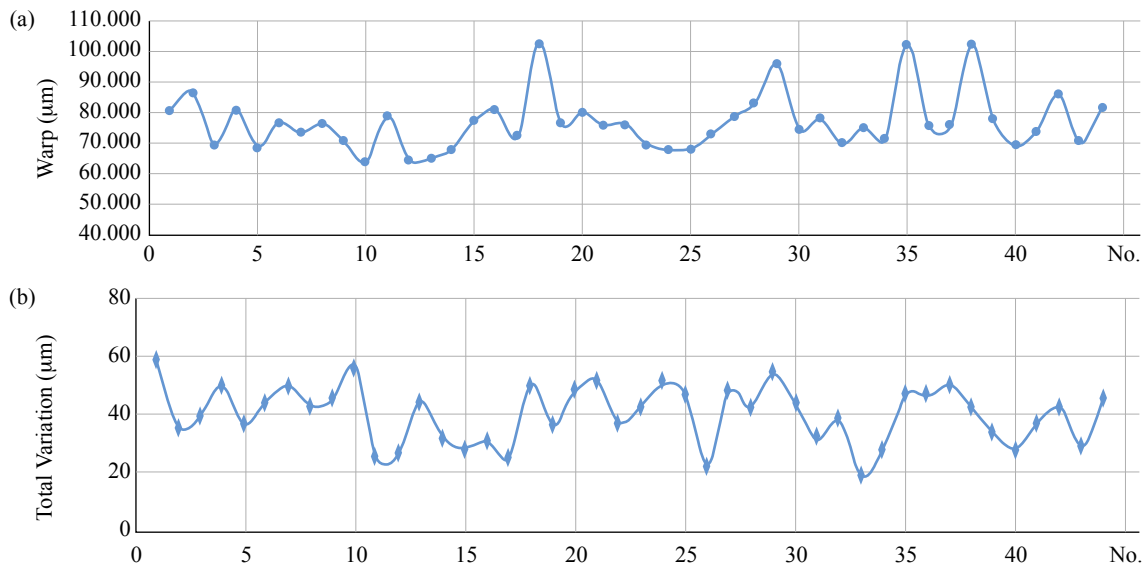
檢測平台完成如圖十一(a)，圖的上方安裝量測探頭，圖的下方則為晶片暫置架。對於實際的翹曲和厚度量測，如圖



▲圖十一 再生太陽能晶片檢測平台，(a)量測探頭與晶片暫置架；(b)翹曲(Warpage)量測路徑；(c)厚度(TTV)量測位置

十一(b)使用左右橫移連續掃描路徑進行翹曲量測，圖十一(c)使用座標位置點停進行厚度量測。

取得44片實際回收再生半成品的多晶

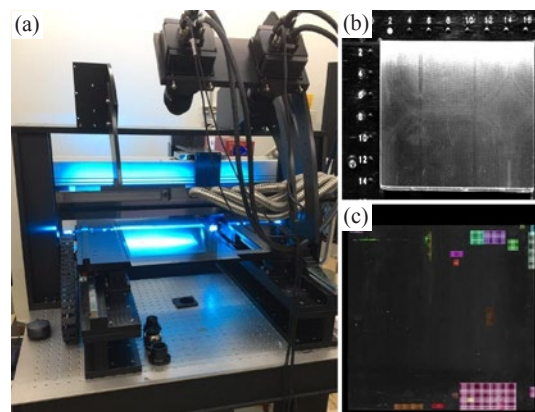


▲圖十二 44片再生太陽能矽晶片的量測結果，(a)翹曲量測；(b)總厚度變化量測

片進行翹曲和總厚度變化的量測，結果如圖十二。圖十二(a)為翹曲量測結果，同一批多晶片的最小翹曲量為63.56 μm，最大翹曲量為102.741 μm，平均值為76.682 μm。圖十二(b)為總厚度變化量測結果，同一批晶片的最小總厚度變化量為18.81 μm，最大總厚度變化量為57.411 μm，平均值為39.631 μm。由於半成品的多晶片其背面尚有金屬層，故圖十二的量測值高於一般業界要求，也就是總厚度變化量(TTV)需小於10 μm且翹曲量(Warp)小於50 μm。未來再生單晶片製程完備後，本檢測平台可立即對應實際量測需求。

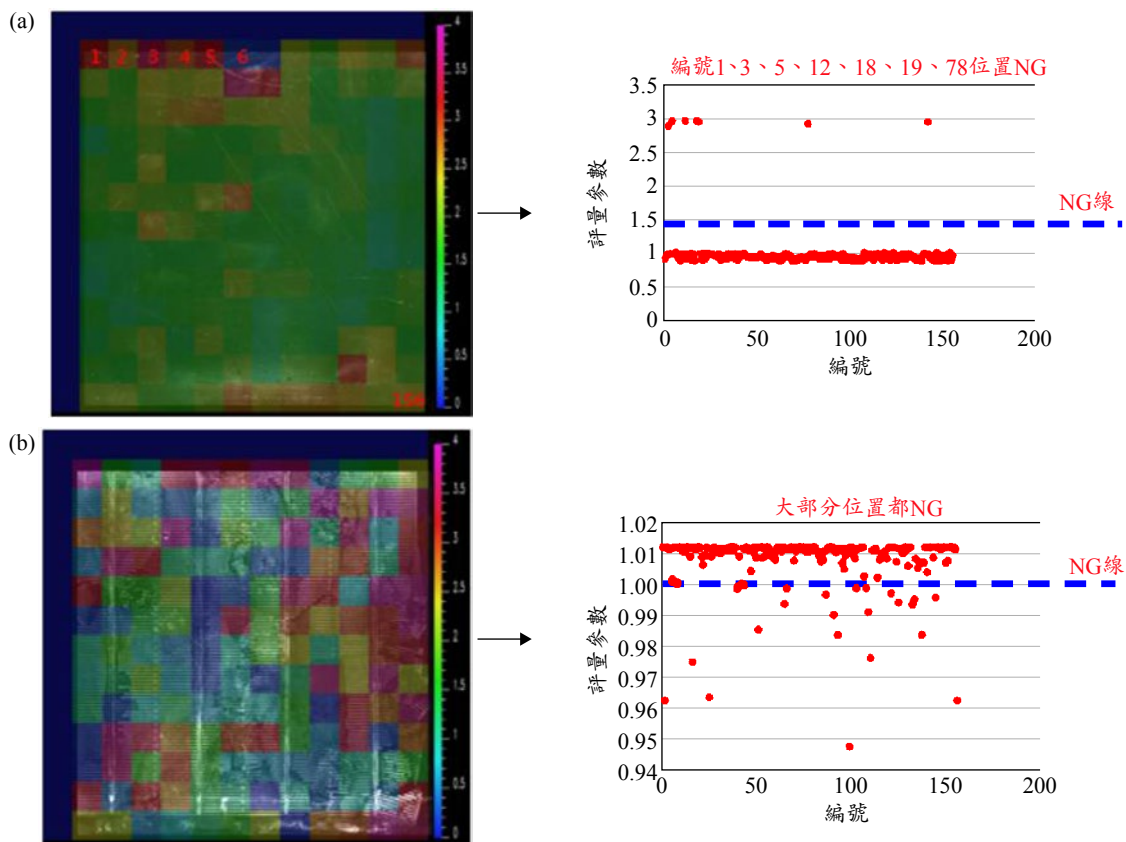
2. 再生玻璃板檢測結果

檢測平台完成如圖十三(a)，圖的上方安裝量測探頭，圖的下方則為玻璃板暫置



▲圖十三 再生太陽能玻璃板檢測平台，(a)量測探頭與晶片暫置架；(b) Line Scan量測；(c)量測路徑規劃

架。對於實際的缺陷位置掃描和位置路徑規劃，如圖十三(b)使用線掃描預掃後，進行二值化(Threshold)處理可發現缺陷位置，圖十三(c)進行Convex Hull演算法後，可將



▲圖十四 2片再生太陽能玻璃板的量測結果，(a)樣品1的缺陷評價參數統計；(b)樣品2的缺陷評價參數統計（彩圖請見材料世界網）

缺陷位置進行框選，利用量測路徑(Scan Path)規劃演算法，可加速後續的積分球光譜量測。

以2片具代表性的實際回收再生太陽能玻璃板進行驗證，軟體程序包含灰階處理、JND評價參數處理、光穿透率計算、即時光譜儀等四個階段，運用Color Map方式呈現量測結果，結果如圖十四。圖十四(a)在編號1、3、5、12、18、19、78的位置，其量測結果為NG。圖十四(b)在大部分的編號位置，其量測結果為NG。

結 論

本技術開發使用自動光學檢測(Automatic Optical Inspection; AOI)於生命週期終止的太陽光電模組，以快速且具有回收再使用效益的方式，進行拆解後的矽晶片和玻璃板之檢測，成果包含矽晶片的翹曲和厚度檢測技術，以及玻璃板的缺陷和失透檢測技術。展望未來，太陽能場域的實際回收品若為破碎模組⁽¹¹⁾，則需要進行矽晶片的電阻率量測和玻璃板的脫色劑量測，



若矽晶碎片以電阻率分類進行化學製程，則至少需要分成 $0.5\sim 1\ \Omega\cdot\text{cm}$ 、 $1\sim 2\ \Omega\cdot\text{cm}$ 、 $2\sim 3\ \Omega\cdot\text{cm}$ 等三類，若玻璃碎板以脫色劑分類進行化學製程，則至少需要辨識主成分包含 SiO_2 、 R_2O 、 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 等。本研究團隊將持續開發與研究，提供循環體系所需檢測技術，當回收機制上路後，能立即滿足回收量能。☒

誌謝

感謝工研院材料與化工研究所提供太陽能相關領域回收、分解、重新設計之專業知識，並且提供寶貴的太陽能晶片與玻璃樣本測試，讓此論文更臻完善。

參考文獻

1. Daisy Chuang, 科技新報, 工研院推出太陽能模組資源化技術, 2019年12月3日。https://technews.tw/2019/12/03/itri-solar-recycling/
2. 工研院產業科技國際策略發展所, 太陽能電永續循環之趨勢與挑戰—太陽能產品環境友善化趨勢探討, IEK產業情報網產業研討會, 2020年6月11日。https://iekweb2.iek.org.tw/IEKConf/Client/confinfo.aspx?mode=confinfo&conf_no=315850854
3. 周承志, 台灣太陽能組件廢棄物回收政策之研究, 工研院綠能所, 2019年3月6日。https://www.slideshare.net/DoEnergy/20190306-135536416
4. 經濟部能源局。https://www.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/home/Home.aspx
5. 行政院環保署。https://www.epa.gov.tw/
6. 張御萱、陳家榮, 廢棄太陽能板資源化策略評析。能源資訊平台—能源簡析。2018年12月。https://eip.iner.gov.tw/msn.aspx?datatype=YW5hbHlzaXM=&id=MTY4
7. 歐盟Solar Waste網站。http://www.solarwaste.eu/
8. 胡振嘉、張奕威、葉佳良、陳俊賢、王浩偉, 基於循環經濟的太陽能電池組件回收檢測方法: 以晶片和玻璃為例。AOI Forum & Show, 2020年10月29日。
9. 張奕威、Abraham Mario Tapilouw, 微型彩色共焦探頭模組設計。AOI Forum & Show, 2014年10月15日。
10. 葉佳良、羅竣威, 強化玻璃表面應力量測。AOI Forum & Show, 2014年10月15日。
11. 張御萱, 台灣太陽能板廢棄量與回收機制探討。國立成功大學環境工程學系, 碩士論文。2018年8月。
12. 陳家豪, 太陽光電板回收機制探討。工研院產科國際所, 2018年12月。能源知識庫https://km.twenergy.org.tw/
13. 陳文姿, 太陽光電板回收機制2019將上路, 最快2月底開始收費。環境資訊中心, 2019年1月。https://e-info.org.tw/node/216026
14. 賴秋助, 高效能易拆解太陽能電模組新設計與資源高值循環技術開發計畫, 工研院材化所經濟部科技研究發展專案, 2020年1月。GRB政府研究資訊系統https://www.grb.gov.tw/search/planDetail?id=13351729
15. SEMI Standards, “SEMI MF657-Test Method for Measuring Warp and Total Thickness Variation on Silicon Wafers by Noncontact Scanning,” Silicon Materials & Process Control, April 2007. https://store-us.semi.org/products/mf065700-semi-mf657-test-method-for-measuring-warp-and-total-thickness-variation-on-silicon-wafers-by-noncontact-scanning
16. IEC Standards, “IEC 62805-2:2017 Method for Measuring Photovoltaic (PV) Glass-Part 2: Measurement of Transmittance and Reflectance,” Solar Photovoltaic Energy Systems, Aug 2017. https://webstore.iec.ch/publication/27138