



太陽能系統的戶外非破壞性檢測技術

Non-destructive Displaying Defects Technology for Photovoltaic Module in Outdoor Solar System

彭成渝 C. Y. Peng¹、溫尚燁 S. Y. Wen²、黃兆平 C. P. Huang²、
盧政穎 C. Y. Lu³、詹麒璋 C. C. Chan⁴、徐春明 C. M. Shu⁵、
張貴維 K. W. Chang⁶、林福銘 F. M. Lin⁷
工研院綠能所(GEL/ITRI) ¹資深研究員、²副研究員、³研究助理、
⁴資深工程師、⁵工程師、⁶助理工程師、⁷組長

太陽能系統檢測認證相關規範，在認知上為符合要求的最低限度，並非全然當作是安全無虞，仍需要配合戶外非破壞性的串列模組檢測方法，檢測依序為熱影像儀、模組串列IV、模組串列EL、單片模組IV。戶外電致發光檢測技術發展對系統品質提升，影響範圍可擴展至模組出廠、工地運送、安裝施工、竣工驗收、維護營運、天災鑑定等，可做為太陽光電系統的品質監控方法。

The certification of photovoltaic system is the minimum requirement for safety and performance. It still needs non-destructive displaying defects technology for ensuring photovoltaic module in outdoor solar system, and the procedure follows thermal image, IV of series modules, EL of series modules and IV of single module. It's a method for quality monitoring and control of outdoor solar system for improving module fabrication, module shipping, system installation, management & operation, distinction for natural disaster condition.

關鍵詞/Key Words

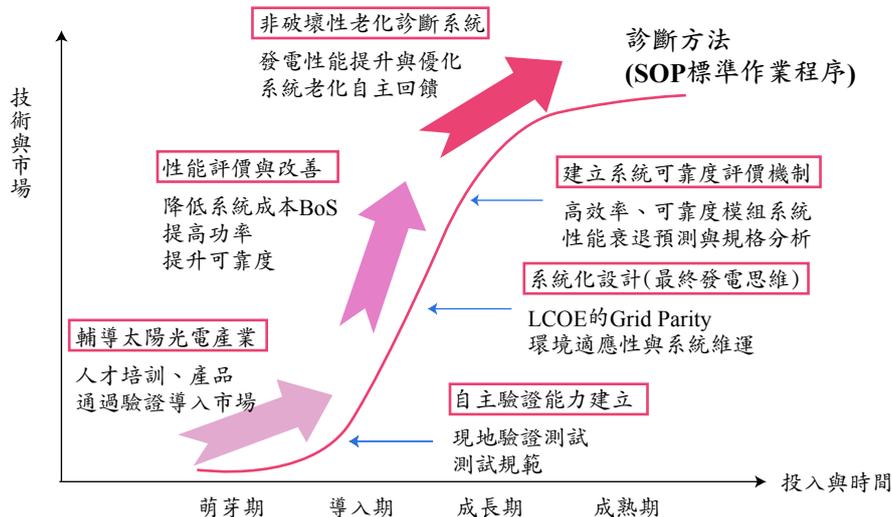
太陽光電(Photovoltaic)、模組(Module)、系統(System)

前言

政府規劃能源藍圖以達到非核家園，未來將以綠色能源方案逐步取代約400多億度之核能電力供給，而太陽光電將成為發電與創能產業發展重點之一。2025年太陽光電目標設置量需達20 GW，2016年起每年平均設置量需達2 GW，以國內需求帶

動產業發展，如擴大國內太陽光電建設，提升產品技術，著力於太陽能發電的電力安全與穩定度，未來進軍國際市場成為下一個明星產業。

隨著國內太陽能系統的大量設置，安全性與長期發電性能是最為重要，因此針對太陽能系統的模組與組件，需要建立可靠度評價機制，如圖一所示為太陽能系統



▲圖一 太陽能系統的技術發展簡介

的技術發展簡介。過去產業在萌芽期與導入期，以輔導太陽光電產業相關人才、產品與市場驗證為主，接續在成長期建立現地測試的驗證實績，以獲得太陽能電廠的國際信賴性，取得融資、保險與進行電廠買賣。在產業進入系統應用成熟階段所需的技術，包含提升系統性能、提升維運可靠度及降低模組(PV Module)與系統成本(Balance of System; BoS)，而目前需要建立可靠度評價機制，其中以非破壞性檢測方法達到診斷關鍵模組元件，能提供系統老化回饋依據⁽¹⁻²⁾。

太陽能發電系統組件的國際規範說明

目前太陽光電系統設置模組使用壽命須達25年，依未來國際發展趨勢裝設須使用30年；2025年裝設須使用35年，即在2000年後裝設的系統，都會影響到2020年再生能源的電力供應。為確保太陽光電系統的安全性，再生能源的穩定電力供應，

▼表一 太陽能系統檢測認證相關規範

項次	太陽能發電系統組件	相關標準規範
1	太陽光電模組	IEC 61215、IEC 61646、IEC 61730-1、IEC 61730-2
2	變流器	IEC 62109-1、IEC 62109-2
3	匯流箱	IEC 62109-1、IEC 62109-4、IEC 61439-1、IEC 61439-2
4	電纜	IEC 60228、IEC 60287、IEC 60332-1-2、UL 4703
5	啓斷開關	IEC 60947-1、IEC 60947-2、IEC 60947-3、IEC 60898-2
6	保險絲	IEC 60269-6
7	連接器	EN 50521
8	系統相關	IEC 61836、IEC 62548、IEC 60364、IEC 60364-6、IEC 60364-7-712、IEC 62446、IEC 61724、IEC 61727、IEC 62305-2、IEC 62305-3

需仰賴太陽能系統的長期可靠度，避免系統不定時故障，因此需要關注如發電衰退模式、系統組件可靠度提升、故障檢測與性能改善、定期安全性維護。

太陽能系統檢測認證相關規範如表一



▼表二 太陽光電模組與組件認證相關規範

項次	太陽光電模組與組件	相關標準規範
1	太陽光電模組型式	IEC 61215 (矽晶)、IEC 61646 (薄膜)、IEC 61730-1 (矽晶/薄膜-安全)、IEC 61730-2 (矽晶/薄膜)、IEC 62108 (聚光)、IEC 62688 (聚光-安全)、PPP 59027A & 59028A (智慧型)
2	加值型太陽光電模組	IEC 61701 (鹽霧)、IEC 62804 (系統電壓極化)、IEC 62716 (氨氣)、IEC 60068-2-68 (沙塵)、ISO 6988 (二氧化硫)、IEC 62782 (動態機械)
3	太陽光電模組組件	EVA材料：PPP 58066A 背板材料：IEC 60664-1(PD)、IEC 60216-5(RTI)、ASTM E 162-02a(FSI)、ISO 4892-2(UV) 前板(高分子)材料：IEC 60664-1(PD)、IEC 60216-5(RTI)、ASTM E 162-02a(FSI)、ISO 4892-2(UV) 接線盒材料：EN 50548 電線：DN VDE AK 411.2.3 連接器：EN 50521

所示，系統包含太陽光電模組及其相關組件，太陽模組依結構性能須符合IEC 61215/IEC 61646、安全規範依照IEC 61730-1與IEC 61730-2，國內符合此規範的太陽光電模組，已由業者申請並登錄於網站，提供民衆查詢；變流器符合IEC 62109-1、IEC 62109-2的國內變流器，亦經業者申請後登錄於網站供民衆查詢；依據國際認證單位(TÜV SÜD、TÜV Rheinland)的整理，發電電站相關組件需要認證規範，包含匯流箱、電纜、啓斷開關、保險絲、連接器與系統相關等。

太陽光電模組與組件認證相關規範如表二所示，太陽光電模組的型式如矽晶、薄膜、聚光型模組、智慧型模組，而加值型太陽光電模組包含鹽霧(Salt Mist Corrosion Testing)、系統電壓極化衰退(Potential Induced Degradation; PID)、氨氣(Ammonia Corrosion Testing)、沙塵(Dust and Sand Testing)、二氧化硫(Acid Resistance Testing)、IEC 62782(Dynamic Mechanical Load Testing)等標準；太陽光電模組組件結構為：玻璃/EVA/電池/EVA/背板，EVA材料符合

PPP 58066A，而背板材料須符合四項測試：IEC 60664-1(Partial Discharge; PD)，IEC 60216-5(Relative Thermal Index; RTI)，ASTM E 162-02a(Flame Spread Index; FSI)，ISO 4892-2(UV Light Exposure)。近年許多新模組設計主要以高分子有機聚合物(Polymer)替代表面層玻璃，測試方法將同於背板四項測試；其餘組件材料規範如接線盒材料(EN 50548)、電線(DN VDE AK 411.2.3)、連接器(EN 50521)等。

太陽能系統檢測認證規範在認知上是符合要求的最低限度，並非全然當作是安全無虞，因此，仍需配合國內太陽光電系統結構的安全檢核規範，及營運與維護單位各司其職、盡其權責，才能確保太陽能系統的安全與長期可靠度。

國內太陽光電系統結構的安全檢核規範

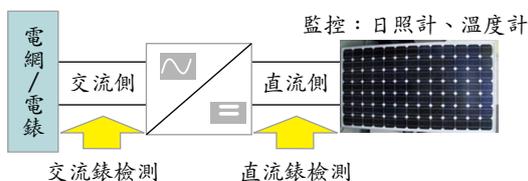
政府單位考量國內太陽光電系統及模組組件的結構安全檢核問題，已於民國104年1月1日施行屋內屋外供電線路裝置規則，新增章節及架構的主要內容為修訂屋



內線路裝置規則。太陽光電系統制定太陽能專章，增加系統安全、提升系統品質及長期可靠度，讓民衆、業主、金融業者更具信心。勞動部勞動力發展署技能檢定中心對應規劃太陽光電職類，於民國105年開辦技術士技能檢定乙級太陽光電設置職類證照，工作範圍以從事太陽光電發電系統及線路、安裝與維修工作，規範如下。

- ①工程識圖；②電工、太陽光電發電系統之儀表及工具使用；③導線及管槽之配置及施工；④配電線路工程之安裝及維修；⑤太陽光電組列工程之安裝與維修；⑥直流接線箱 / 交流接線箱之安裝及維修；⑦變流器工程安裝及維護；⑧變壓器工程安裝及維護；⑨太陽光電發電系統及線路之檢查與故障排除；⑩避雷器及突波吸收器工程安裝及維護；⑪配電盤、儀表、開關及保護設備之安裝及維護；⑫接地系統工程之安裝及維修；⑬落實工作安全；⑭再生能源相關法規之認識與運用。

依據太陽光電系統從業人員所需的工作重點，如支撐架安裝、模組組裝、直流接線箱配管、配線、故障排除、功能檢測等列入檢定範圍，另實務檢測包含太陽光電發電系統的配管功能、配線功能、故障排除、發電功能檢測、性能量測與計算，最終完成太陽能系統的併聯送電。如圖二所示，為太陽能系統的證照考核檢測，通



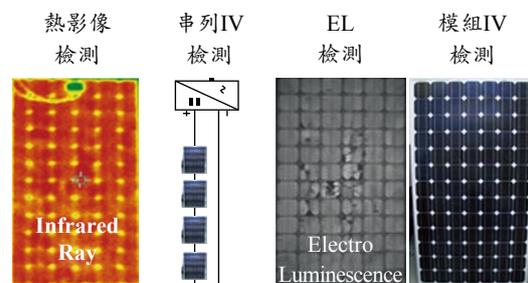
▲圖二 太陽能系統的證照考核檢測

常會以交流錶或直流錶進行功能檢測與故障排除，直流側以串接模組數量配合日照計與溫度計，測量電壓值與電流值並相對於標準測試條件(Standard Testing Condition; STC)的性能量測與計算，交流側以輸出的交流電壓、頻率與電壓變動率為主。

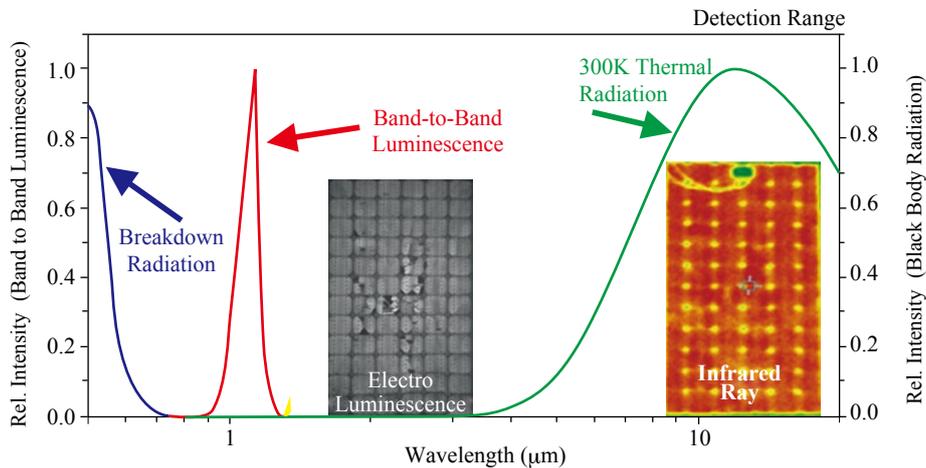
太陽能系統的模組檢測方法

太陽能系統皆以整個系統發電量換算系統發電效能的PR值(Performance Ratio)，以此評斷系統效能與作為長期維護的依據，但近年電廠發電考量的安全與性能，如圖三所示，若系統PR值低落，將先以熱影像檢測確認是否存在異常發熱的太陽光電模組，接續以串列IV（電壓—電流）檢測，得知哪一串列為最差的發電性能，再將此串列模組解聯後拆回，進行實驗室STC環境檢測，在此情況通常無法初步判斷模組損壞情況，因此有愈來愈多系統的模組串列檢測會以戶外電致發光影像(Electroluminescence Image; EL)進行檢測。

戶外電致發光影像檢測是延續室內實驗室與模組產品出廠履歷的一種技術，以矽晶太陽電池能隙約1.11eV（波長約1.15微米），如圖四顯示矽晶太陽電池的螢光光譜特性，矽半導體能階螢光(Band-to-Band Lu-



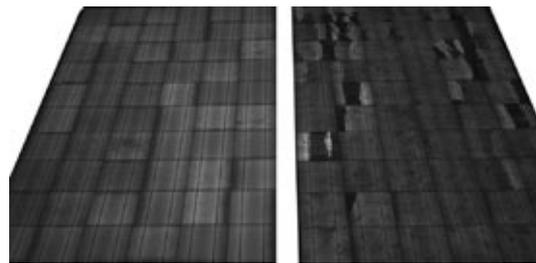
▲圖三 太陽能系統的模組檢測方法



▲圖四 矽晶太陽電池的螢光光譜特性

minescence; B2B)波長範圍約1.1~1.2微米，電致發光的螢光影像光譜範圍為900~1,700奈米，可採用砷化銦鎵(InGaAs)或矽(Si)材料偵測。而熱輻射偵測可利用銻化銦(InSb)或碲鎘汞(HgCdTe)材料，室溫之黑體輻射(Black Body Radiation)主要為熱輻射範圍。矽基太陽電池的缺陷檢測與分析可由半導體元件與物理特性深入探討⁽³⁻⁷⁾，以電致發光的光譜影像檢測，如同半導體發光二極體(Light-Emitting Diode; LED)，矽晶太陽電池因缺陷發出不同的近紅外光螢光光譜，其半導體特性包含晶格錯位缺陷、擴散長度、載子生命週期、接面崩潰、片電阻、接面電容、串聯電阻、並聯電阻、區域效率、熱斑效應等。

戶外檢測以不同電致發光操作方法可得到串列模組特性，分別檢測出太陽光電模組之網印缺陷、電極缺陷、隱裂與破裂缺陷及傳導不良缺陷等。如圖五所示，串列模組之電致發光缺陷檢測，這種簡易、高靈敏度、快速與大面積方法，可應用於太陽能電廠的模組發電品質與長期電力可靠度管控。



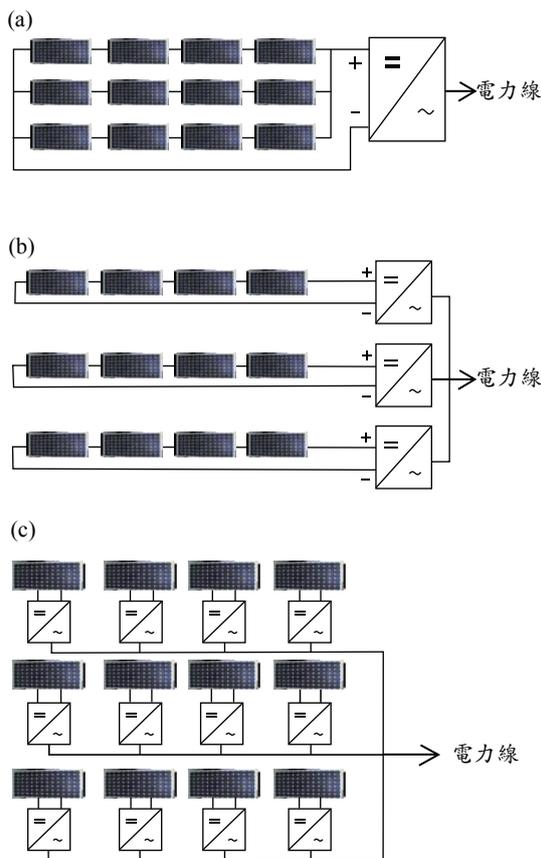
▲圖五 串列模組之電致發光缺陷檢測

戶外非破壞性的串列模組檢測方法

針對PR值低落的太陽能系統，首要任務是找出最劣的太陽光電模組將之替換。執行方法採用熱影像儀快速將全系統的異常發熱模組篩選出來，接著輸出功率IV量測決定最差的模組串列，並將最差的模組串列解聯後，分別對每片模組量測輸出功率，這種方法會相當費時。因此，如圖六所示，串列模組之檢測條件，以電致發光方法取代戶外非破壞性的串列模組檢測，即白天日照強度大於700 W/m²時，採用熱

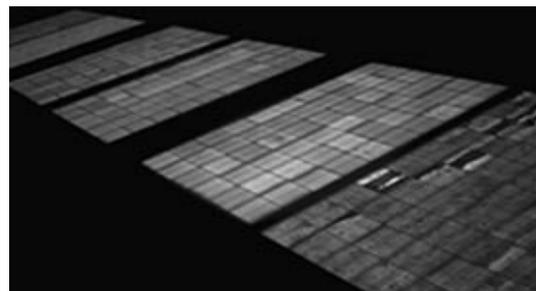


▲圖六 串列模組之電致發光檢測條件



▲圖七 串列模組之電致發光檢測條件

影像儀快速將全系統的異常發熱模組篩選出來，接著輸出功率IV量測決定出最差的模組串列，並於日照約200 W/m²以下條件，以電源供應器推動串列模組，使串列模組能分別產生電致發光影像，達到鑑別模組缺陷目的。

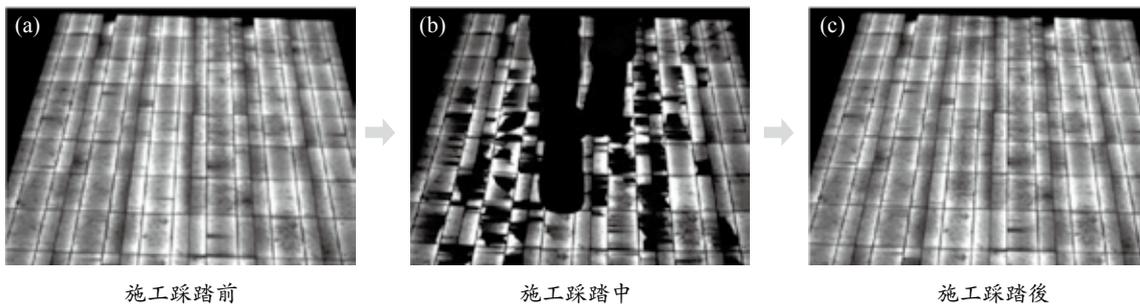


▲圖八 串列模組之電致發光影像

如圖七(a)，若系統架構為中央集中式，需要在串列模組的直流側以大電壓(>380V)與大電流(>30A)推動電致發光影像。如圖七(b)，若系統架構為線串聯式，需要在串列模組的直流側以小電壓(<380V)與大電流(>30A)推動電致發光影像。如圖七(c)，若系統架構為單模組式，需要在串列模組的直流側以小電壓(<380V)與小電流(<30A)推動電致發光影像。僅需在直流接線箱的串列模組接點做直流電壓與直流電流推動，依照模組串聯電壓相加、模組併聯電流相加，即可快速獲得大面積串列模組的電致發光影像，如圖八所示。

戶外電致發光技術發展 對系統品質的影響

串列模組經施工踩踏之電致發光影像如圖九所示，圖中顯示施工踩踏前與施工踩踏後的電致發光影像差異不大，主要是



▲圖九 串列模組經施工踩踏之電致發光影像



▲圖十 戶外電致發光技術發展對系統品質的影響範圍

施工踩踏造成太陽電池的微裂縫，當踩踏力量移除後，太陽電池的微裂縫仍可被接合導電，而系統經施工踩踏的微裂縫在短期不會明顯減少發電量，但太陽光電模組的微裂縫處將產生溫度升高狀況，隨著長期發電會使微裂縫發展劇烈，甚至微裂縫會有熔斷、熱斑、高溫阻抗、蝸牛紋(Snail Trail)等情況。

戶外電致發光技術發展對系統品質的影響範圍，如圖十所示，目前模組製造出廠/入庫時，皆會有電致發光影像檢測模組品質。出貨運送至工地倉儲存放時，可能會有模組堆疊包裝的重量承載，造成底部區域的模組破裂；或是運輸過程振動造成模組破裂，可使用戶外電致發光技術檢測出貨運送品質。系統與模組安裝施工時，常因模組設計排列密集，施工工人不易有支撐點，直接踩踏在模組邊框或中間區域，可使用戶外電致發光技術檢測安裝施工品質；業主與施工廠商可利用戶外電致發光技術檢測釐清竣工與驗收權責，維護

雙方應有的權利與義務。當系統發電營運時，可利用戶外電致發光技術對系統做定期檢測，進行失效與衰退率分析，提供維護參考；因台灣為海島國家，有颱風及地震等天然災害，戶外電致發光技術針對天災過後，可檢測太陽光電模組是否安全無虞或需要進一步處置。

結 論

本文說明太陽能系統檢測認證相關規範，但在認知上是符合要求的最低限度，並非全然當作是安全無虞，仍需要配合國內太陽光電職類的技術士安全檢核規範，讓營運與維護單位各司其職、盡其權責，才能確保太陽能系統的安全與長期可靠度。建立戶外非破壞性的串列模組檢測方法，檢測依序為熱影像儀、模組串列IV、模組串列EL、單片模組IV，戶外電致發光技術發展對系統品質提升，影響範圍可擴展至模組出廠、工地運送、安裝施工、竣工驗收、維護營運、天災鑑定等，針對



太陽能系統耐用壽命檢測，可判斷模組出廠、安裝、運轉品質，作為太陽光電系統的品質監控及日後模組真實使用狀況之失效判斷檢測之用，以確保未來模組20至30年的發電穩定度。最後，亟須建立戶外發電模組與影像失效關聯的判別法則，如何訂立優劣篩選法則(Defect Criterion)是重要的課題，將此戶外電致發光技術作為系統品質管控、模組產品與組片參數回饋的有利檢測工具。🔍

誌謝

本研究工作承蒙經濟部能源局資助，謹此致謝。

參考文獻

1. C. Y. Peng, F. M. Lin, S. Y. Wen and Y. T. Kuo, Displaying Defects for Silicon-Based Solar Cell and Module, Industrial Materials, 20100505, 281, p. 130-136.
2. C. Y. Peng, F. M. Lin, S. Y. Wen and Y. T. Kuo, A comprehensive overview over the non-destructive technology of luminescence imaging for silicon-based solar cell characterization, Instruments Today, 20091201, 3, p. 35-42.
3. Isenberg, J., S. Riepe, S.W. Glunz, and W. Warta, Imaging method for laterally resolved measurement of minority carrier densities and lifetimes: Measurement principle and first applications, Journal of Applied Physics, 2003, 93(7), p. 4268-4275.
4. Bail, M., J. Kentsch, R. Brendel, and M.A. Schulz, Lifetime mapping of Si wafers by an infrared camera [for solar cell production], in Photovoltaic Specialists Conference, 2000. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE. 2000, p. 99-103.
5. Würfel, P., T. Trupke, T. Puzzer, E. Schaffer, W. Warta, and S.W. Glunz, Diffusion lengths of silicon solar cells from luminescence images, Journal of Applied Physics, 2007, 101(12): p. 123110.
6. Trupke, T., Influence of photon reabsorption on quasi-steady-state photoluminescence measurements on crystalline silicon, Journal of Applied Physics, 2006, 100(6): p. 063531.
7. Giesecke, J., M. Kasemann, M.C. Schubert, B. Michl, M. The, W. Warta, and P. Würfel, Determination of Minority Carrier Diffusion Lengths in Silicon Solar Cells from Photoluminescence Images, in Proceedings of the 23rd European Photovoltaic Solar Energy Conference. 2008, Valencia, Spain.

太陽光電系統/電廠第三方檢測評估服務

Third-party Photovoltaic Systems Yesting and Assessment Services

工研院綠能所 太陽光電技術組

◎ PV系統生命週期第三方認證服務

PV系統規劃、設計、施工階段之文件審查與評估
PV系統施工現場檢查與測試
PV系統現場竣工檢查與測試

◎ 已完工系統定期檢測評估服務

PV系統相關文件審查
PV系統現場檢查與測試

◎ 系統檢測服務實績

合計國內超過30MW、海外50MW之系統檢測服務實績
提供系統/電廠保險、驗收、買賣或定期性能確認參考

連絡窗口

詹麒璋

TEL : 03-5915246

E-mail: Arcadia@itri.org.tw