

出國報告（出國類別：其他）

赴德國太陽能系統研究所參與參考電池模組比對討論會議並觀摩太陽電池模組戶外追蹤測試平台與量測系統

服務機關：核能研究所

姓名職稱：林聰得

派赴國家：德國弗萊堡

出國期間：98年2月22日~98年2月28日

報告日期：98年3月23日

摘要

本次公差主要目的係赴德國太陽能系統研究所(Fraunhofer-ISE) 討論 97 年 7 月核研所送聚光模組至該研究所進行比對測試結果，並觀摩其太陽電池模組戶外追蹤測試平台與量測系統架設。Fraunhofer-ISE 係歐洲發展高聚光太陽光發電(High Concentration Photovoltaic, HCPV)的先驅，這次的 CPV 模組比對測試討論重點在於了解 Fraunhofer-ISE 的戶外電性量測設備、量測技術及其校正方式，並藉此國際交流活動，吸取最新資訊與經驗。此外，關於太陽電池的反應特性是太陽電池模組發展的基礎研究，如何精確獲得多接面太陽能電池的光譜響應資料，是了解太陽電池模組重要設計參數，此行程亦了解多接面太陽能電池量測實機操作，以協助核研所建置太陽電池特性量測系統，並規劃其後續發展。

目 次

摘 要

(頁碼)

一、目 的	1
二、過 程	2
三、心 得	3
1.德國 Fraunhofer-ISE 參考電池模組比對討論	3
2.太陽電池特性(Spectrum Response)量測	10
四、建 議 事 項	16

一、目的

本次公差主要目的係赴德國太陽能系統研究所(Fraunhofer-ISE) 討論 97 年 7 月核研所送 CPV 模組至該研究所進行比對測試結果，並觀摩其太陽電池模組戶外追蹤測試平台與量測系統架設，並藉此國際交流活動，吸取 Fraunhofer-ISE 戶外電性量測設備建置、量測技術及其校正方式等相關資訊及其經驗，此行程亦執行多接面太陽能電池量測實機操作，以協助核研所太陽電池模組驗證實驗室將建置之太陽電池特性量測系統架設及規劃其後續發展。

二、過 程

- 02/22 ~ 02/23

去程：台北至德國, Freiburg

- 02/24 ~ 02/26

工作：德國, Freiburg：參考電池模組比對討論會議，及多接面太陽能電池量測實機操作，並觀摩太陽電池模組戶外追蹤測試平台與量測系統。

- 02/27 ~ 02/28

回程：德國, Freiburg 至台北

三、心得

1. 德國 Fraunhofer-ISE 參考電池模組比對討論：

德國 Fraunhofer ISE(圖 1)共有 58 個研究機構，分佈於德國的 40 多個城市，年度預算近 10 億歐元，其中 10~15%是來自政府補助。Fraunhofer ISE 太陽能研究室有 550 人，共有 7 個技術部門，包括 Electrical Energy System, Energy Technology, Material Research and Applied Optics, Silicon Solar Cells, Thermal System and Building, PV Production Technology and Quality Assurance, 和 Materials Solar Cells and Technologies 等，其中 Materials Solar Cells and Technologies 是由曾來台灣參加核研所 2005 年太陽能研討會的 Dr. A.W. Bett 負責，該實驗室位於德國的弗萊堡(Freiburg)，地理位置約為東經 7.8 度，北緯 48.0 度，海平面高度 270 公尺。



圖 1、位於德國 Freiburg 的 Fraunhofer-ISE

本行程有關參考太陽電池模組比對測試資料討論，Materials Solar Cells and Technologies 部門資深工程師 Mr. Gerald Siefer 全程參與，敘述 Solar Cell 量測與校正，並介紹戶外自動追蹤量測平台(圖 2)。內容主要是針對參考電池模組比對測試進行討論，涵蓋核能研究所太陽電池模組驗證實驗室之戶外電性量測實驗室間比對分析測試資料，以作為本驗證實驗室參考太陽電池模組戶外電性量測比對依據。



圖 2、德國太陽能系統研究所(ISE)戶外測試平台架設實體圖

對於聚光太陽電池模組方面，Fraunhofer-ISE 係歐洲發展聚光太陽電池模組的先驅，其研發的全玻璃式 FLATCON 模組(圖 3)已技術移轉授權廠商生產。聚光太陽電池模組需要更多的時間來展示其穩定性，尤其是環境因素對 CPV 模組性能測試影響等諸多問題，應該考量在不同的地點進行相關比對測試，經由實驗室間比對測試，亦可建立實驗室量測穩定性與可靠性評估分析。

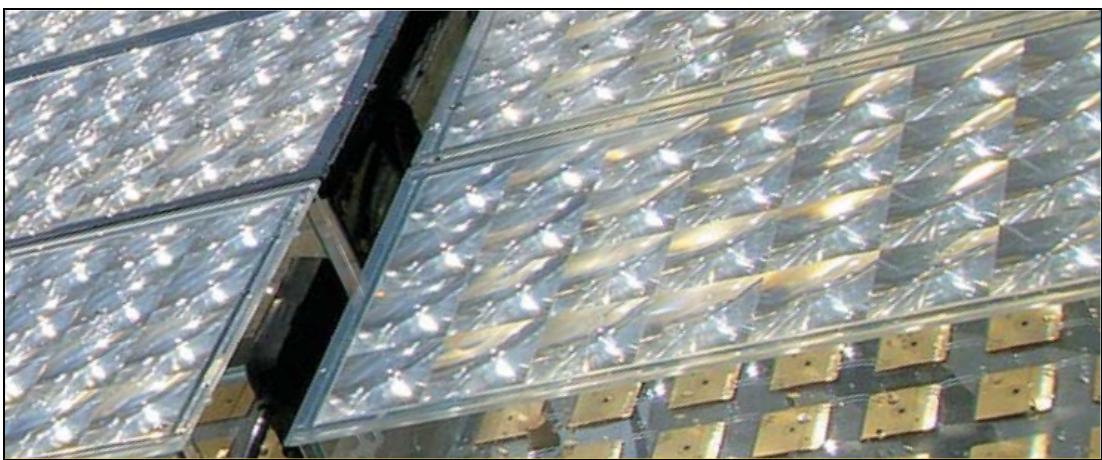


圖 3、FLATCON 聚光太陽電池模組

Mr. Gerald Siefer 認為執行聚光太陽電池模組電性 IV 曲線量測，週期須間隔數分鐘，且須同步量測並紀錄日照強度、環境溫度、風速、溼度及大氣壓力等參數。在執行核研所提供之比對太陽電池模組戶外電性量測時，戶外天候陽光充足，僅有些許雲層分佈，戶外電性 IV 曲線量測擷取期間之直射日照強度(採用 Epply 公司生產之直射日照計，其日照計開孔擴角為 2.9 度)及環境天候參數變化很小，Fraunhofer ISE 認為比對模組戶外電性量測結果是可信賴的。

在德國太陽能系統研究所(Fraunhofer ISE)進行比對測試模組(P1179)的有效照射面積為 0.576m²(40 片 12×12cm² 之菲涅爾透鏡組成)，戶外電性量測實驗之直射日照強度約為 827 W/m²，其中經由直射日照強度(DNI)與最大輸出功率(Pmax)，可計算評估出受測電池模組輸出效率(Eff)約為 21.94%(圖 4)，而該模組於 98 年 1 月 14 日，核研所於台灣桃園龍潭，直射日照強度(DNI=829W/m²)進行戶外量測，計算評估出之輸出效率(Eff)約為 21.39%。一般而言，來自於戶外日照頻譜，地理位置分佈與環境溫、溼度條件等變化，可能讓相同受測電池模組發電效率約有 2%左右差異之影響。綜合 Fraunhofer ISE 與核研所實驗室在直射日照強度約為 827 及 829 W/m² 之間，該受測模組發電效率分別為 21.94%與 21.39%，其相互之間的差異已足夠接近，證實核研所太陽電池模組戶外量測系統與技術之可信度與穩定性。

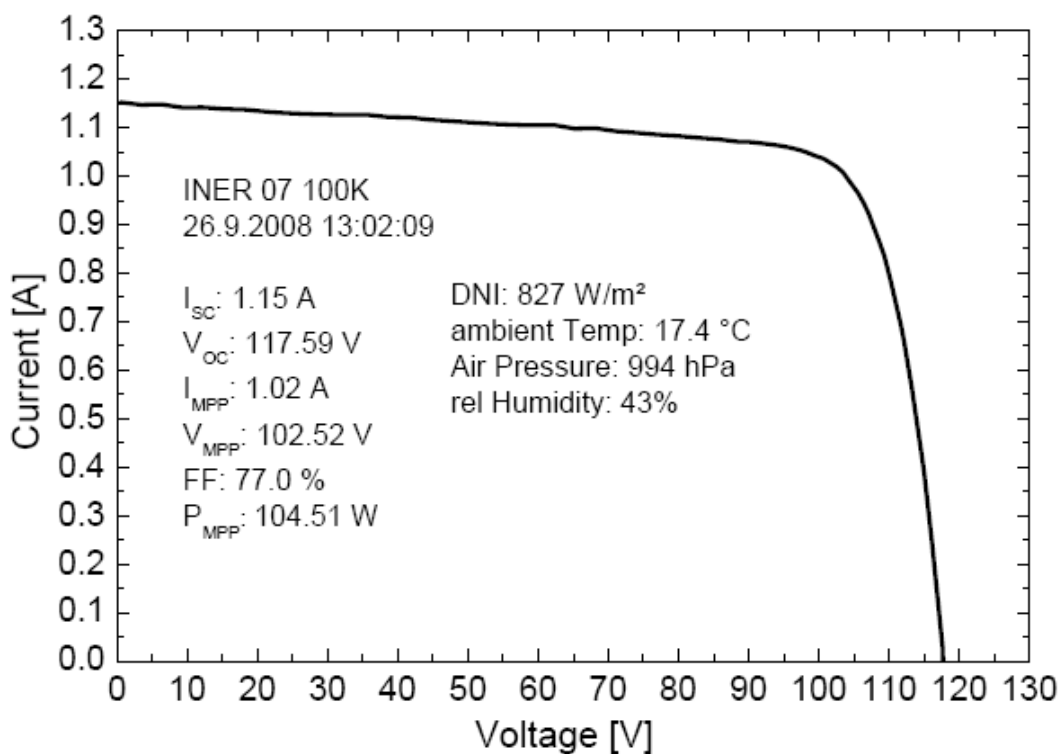


圖 4、Fraunhofer ISE 執行之比對測試模組戶外電量 IV 曲線圖

Fraunhofer ISE 也利用其研發架設之大型室內模擬光源系統，進行比對模組(P1179)室內電性量測。該單位目前所技轉授權生產的 CPV 模組，外觀尺寸僅為 0.85m×0.45m，該模組架設於其室內模擬測試平台，光源系統架設於反射鏡片組件正中央位置(圖 5)，可一次進行兩組 FLATCON 生產之 CPV 模組測試。由於核研所送往該單位進行測試之 CPV 電池模組外觀尺寸偏大(約為 1.34m×0.56m)，所以 Fraunhofer ISE 將該室內模擬測試平台光源系統相對位置向下調整，以方便進行較大尺寸之比對測試模組(P1179)室內模擬電性量測分析，其量測相關數據如圖 6 所示。受測電池模組(P1179)電性量測輸出效率，經評估計算約為 23.50%。較其戶外電性量測結果稍高，經由與核研所內進行的室內外電性量測數據比對分析，我們發現在相同的太陽光直射日照前度狀態下，相同 CPV 模組的電性輸出會有 2%左右之差異，這可能與三接面 III-V 族太陽電池受到紫外線強弱不均照射，而產生限電流效應影響，由於室內模擬測試平台所使用的氙燈光源，可充分反映出 AM1.5 太陽光頻譜中，短波場的紫外光頻譜強度，可降低 CPV 電池模組產生限電流效應產生，這種室內、外模組電性量測造成的電性效率偏移現象，在所內亦有相同情況發生。為了更進一步確立太陽光源中的紫外光波段對 CPV 模組效益的影響程度，在討論過程中已向 Mr. Gerald Siefer 索取比對測試模組(P1179)於戶外量測試研過程中，當時戶外紫外光照射強度記錄資料，盼能有助於完成相同模組在兩地實驗室之性能測試比對分析。

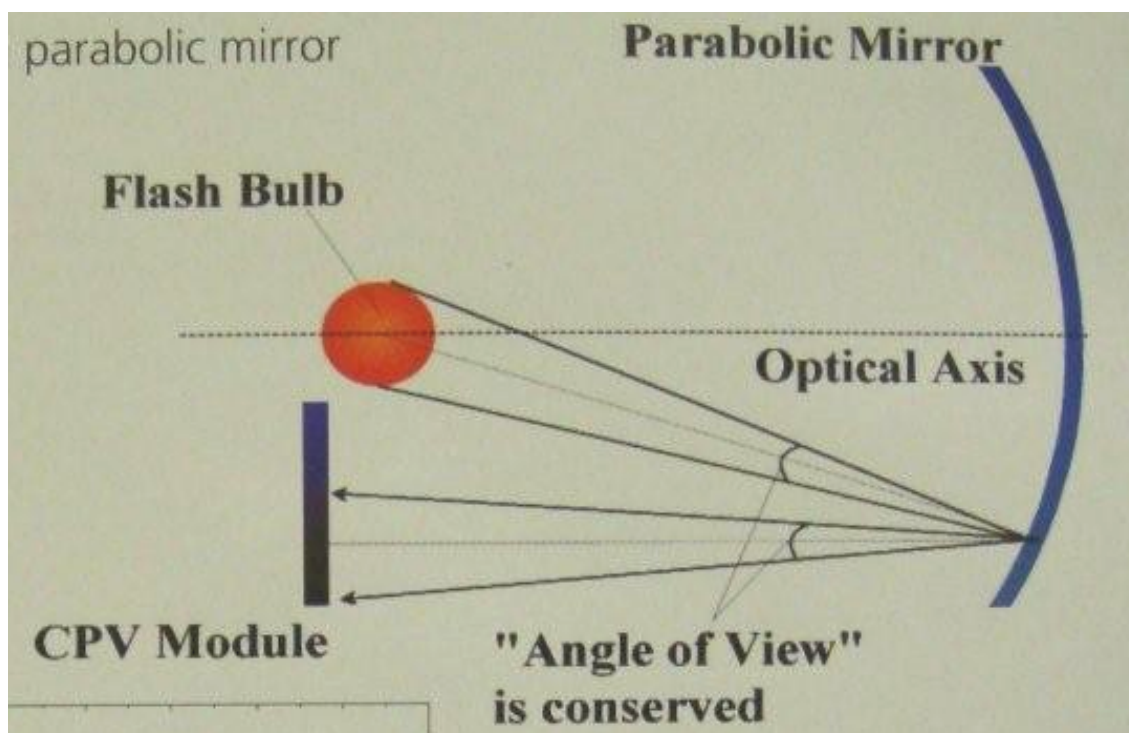


圖 5、Fraunhofer ISE 室內模擬測試平台架設示意圖

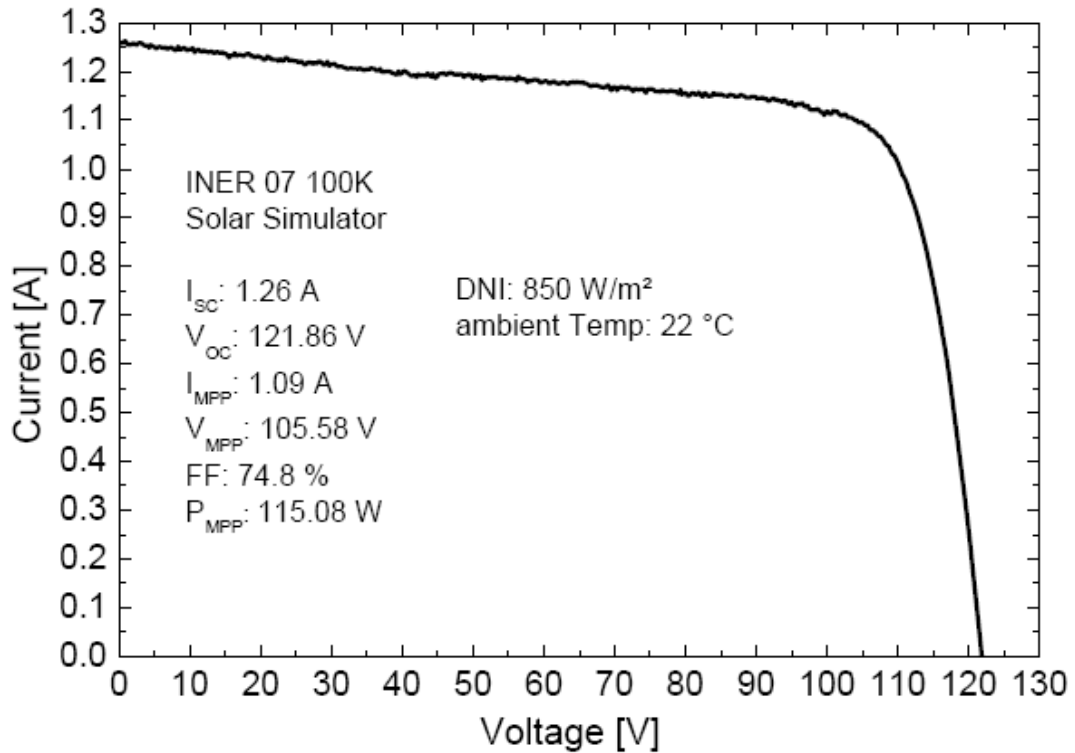


圖 6、Fraunhofer ISE 室內模擬測試平台之比對測試模組電量 IV 曲線圖

Fraunhofer ISE 實驗室目前於戶外架設之聚光太陽電池模組追蹤測試平台計有兩種型式，分別為雙滑軌式(圖 7)追蹤器與核研所系統相似之單支撐桿(圖 8)雙軸齒輪帶動的 HCPV 示範系統，其中雙滑軌式追蹤器較適用於小型 CPV 測試系統，具有頗佳之穩定性，而單支撐桿雙軸齒輪帶動則適用於較大型的 HCPV 示範系統，現階段被廣泛應用於 CPV 電池模組架設，目前核研所主要應用該型式追蹤器，極力發展高追蹤精度與更大承載荷重之油壓帶動控制式大型追蹤定位系統，以提升聚光太陽電池競爭力。

在德國弗萊堡 Fraunhofer ISE 實驗室會談中，發現該實驗室對於德國本土戶外太陽日照強度累積量分佈有完整的紀錄分析，圖 9 完整的呈現由 1981 年到 2008 年德國境內太陽日照年度累積照度分佈，該資料可提供太陽能架設有利地理位置，獲取有效之太陽能源應用，而核研所於 2007 年，亦於台灣本島陸續架設七個戶外日照氣象監測平台，除北部的核研所桃園龍潭區域，亦涵蓋南投、嘉義、屏東內埔、花蓮、台東及墾丁，並預計於今年 6 月在核研所高科驗證中心架設第八個日照量監測站，期望能如 Fraunhofer ISE 般分析整合台灣本島境內太陽日照累積分佈圖，以提供有利於發展太陽能源應用之地理位置。



圖 7、雙滑軌式追蹤器平台



圖 8、單支撐桿式雙軸齒輪帶動追蹤器平台

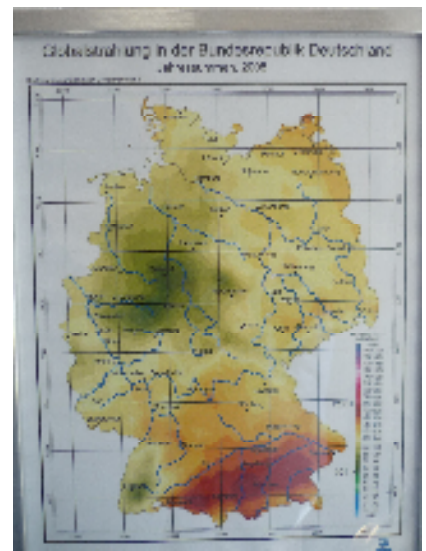
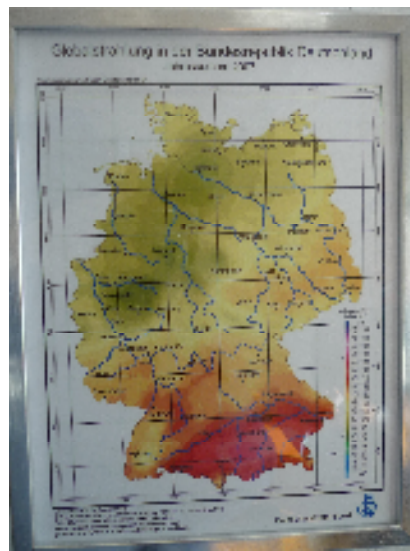
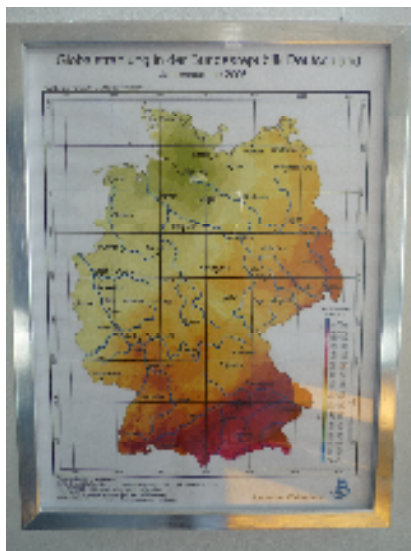
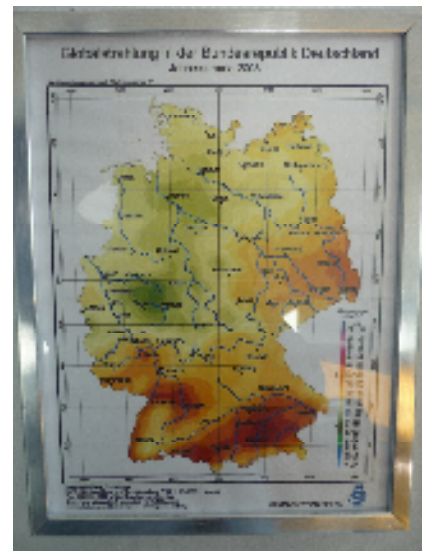
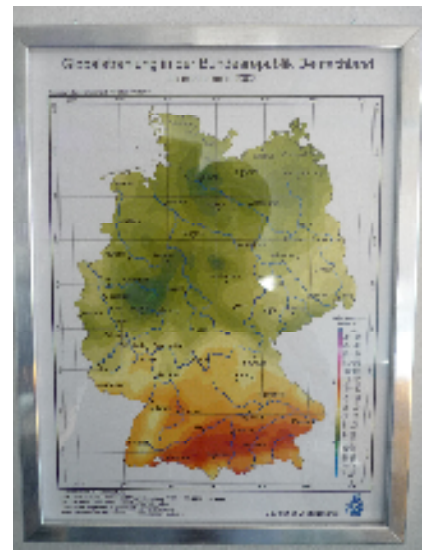


圖 9、德國本土戶外太陽日照強度年度累積量分佈

2. 太陽電池特性(Spectrum Response)量測

在 Solar Cell 量測與校正方面，AESCUSOFT 的 Daniel 簡報了 Fraunhofer ISE 技轉授權生產之 Spectrum Response 測試設備(圖 10)，包含系統主要功能，以及過去的測試經驗及心得。同時引領我們實地參訪實驗室，以了解其設備建置與運作情形，看到光譜反應量測用的 Grating Monochromator 等 Solar Cell 量測與校正用的重要儀器。ISE 的實驗室存放了許多 Reference Cell，用來執行每三個月一次的校正比對工作，而 Reference Cell 本身則需輪流送校，以確保 ISE 的實驗室隨時保有已校正的 Reference Cell，ISE 亦對外提供 Solar Cell 的校正服務，會談中已承諾幫核研所太陽電池模組驗證實驗室提供之單接面 III-V 族 Solar Cell(InGaP/InGaAs/Ge) 進行校正服務，並出具參考 Solar Cell 校驗報告。

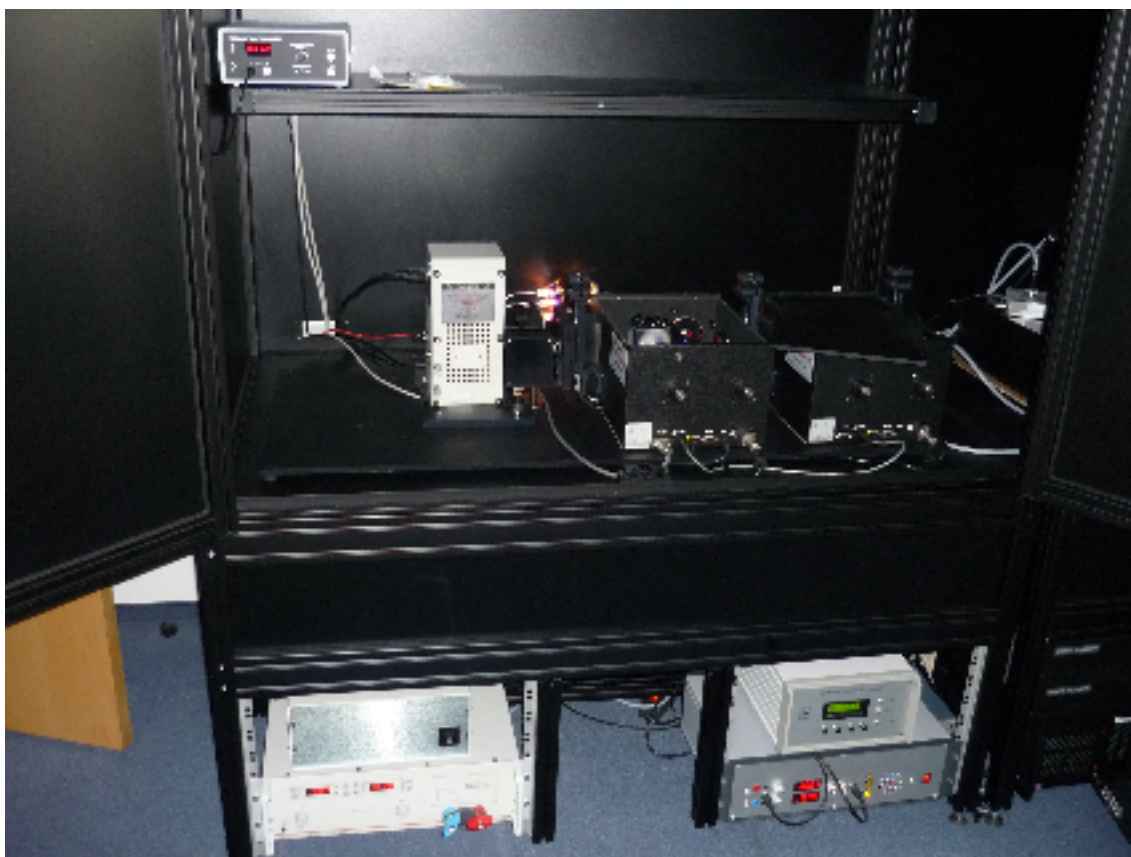


圖 10、太陽電池特性量測系統(Spectrum Response)

太陽電池光譜響應量測系統由下列構件組成，分別為白光光源、單色光、偏壓光、量測系統、系統暗房配置及系統控制軟件及訊號整合處理系統，適合量測單接面(Single Junction)，雙接面(Double Junction)及三接面(Triple Junction)太陽電池的光譜響應。

白光光源：波長涵蓋 280-1850nm 範圍，使用 1000W 短弧放電氙燈(圖 11)，具備電容式高穩定度電源供應及主動式散熱 (Active Cooling)功能。



圖 11、Spectrum Response 使用之短弧氙燈光源系統

平行光瞄準儀(Collimator)鏡片組提供氙燈(Xe)光源以平行光路，經斬波器(Chopper)對單色光進行調度(圖 12)，調變頻率(200kHz 以下)，再導引進入兩組單光儀(Monochromator)，圖 13 為第一組單光調整儀內部構件圖，並經由兩根石英光纖分別導引至待測太陽電池片及監測片(Monitor Cell)。

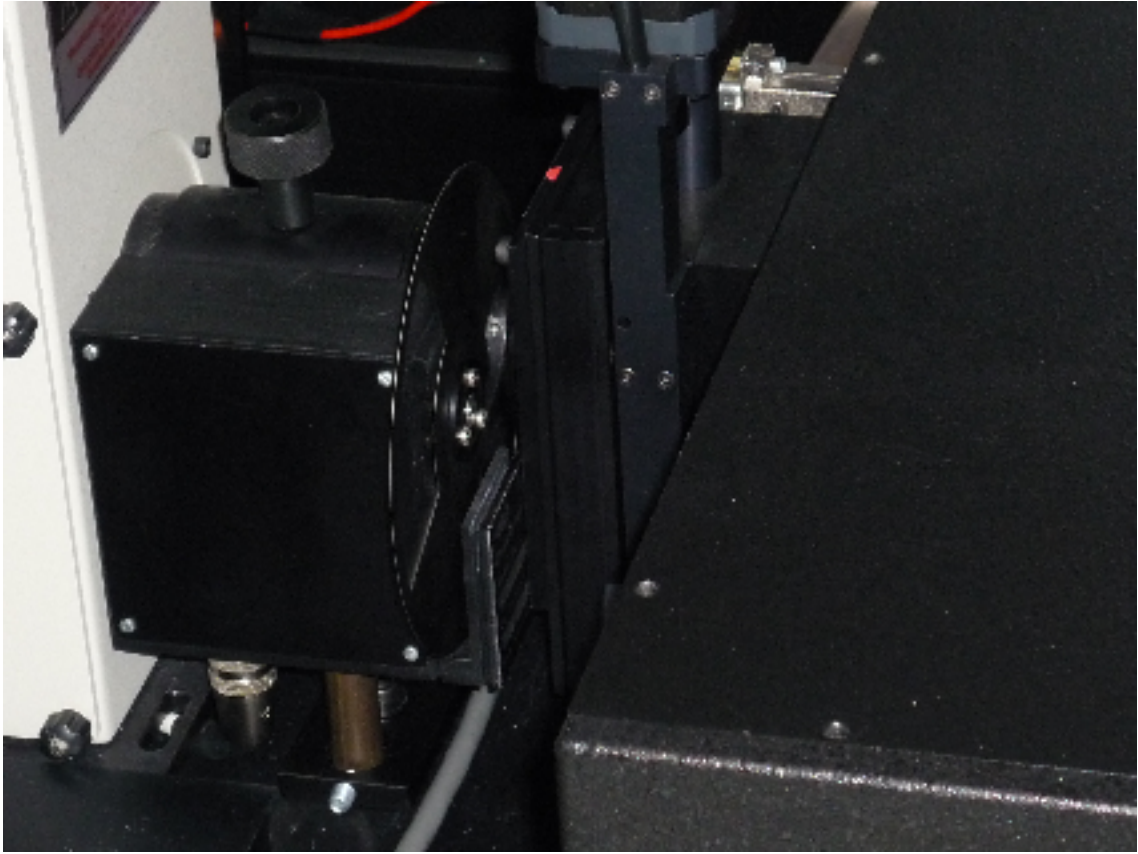


圖 12、截波器 (Chopper)



圖、13 單色光分光組件(Monochromator)

偏壓光源：使用鎢燈光源(圖 14)，配合獨立紅(Red)/綠(Green)/藍(Blue)濾鏡片配合高穩定性電源，可以自動切換，經由石英光纖導引對三接面太陽電池各個界面進行測試，三組不同波長帶寬光源濾鏡片(圖 15)，濾光鏡片(Order Sorting Filter)可抑制單色光以外之離散光(Stray Light)，由訊號整合處理系統控制驅動，可配核研所研制之三接面(Triple Junction)太陽電池的各層界面光譜範圍。

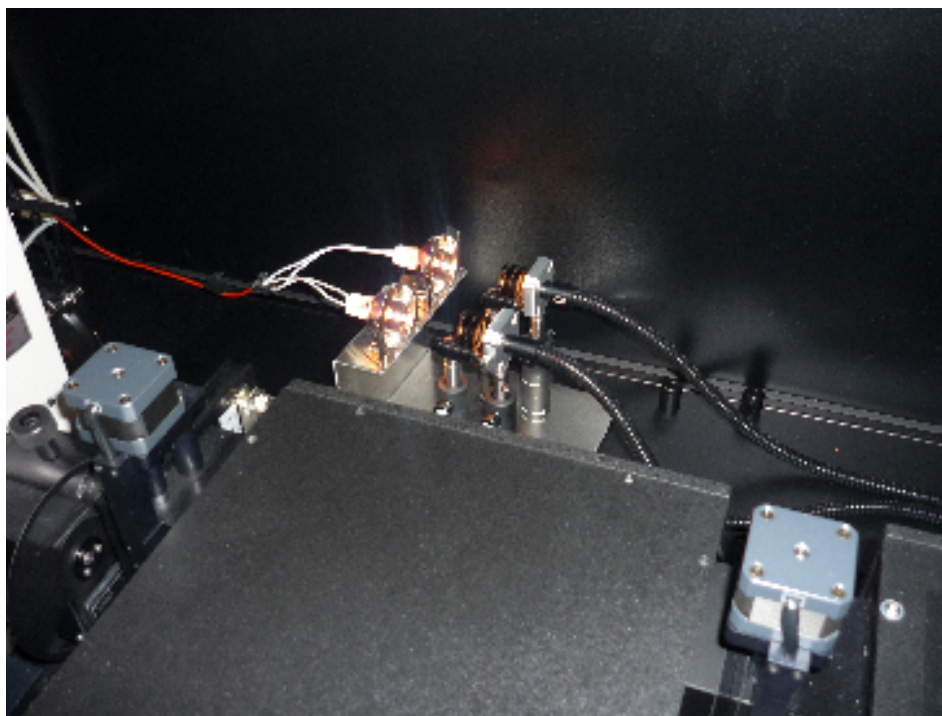


圖 14、鎢燈光源系統

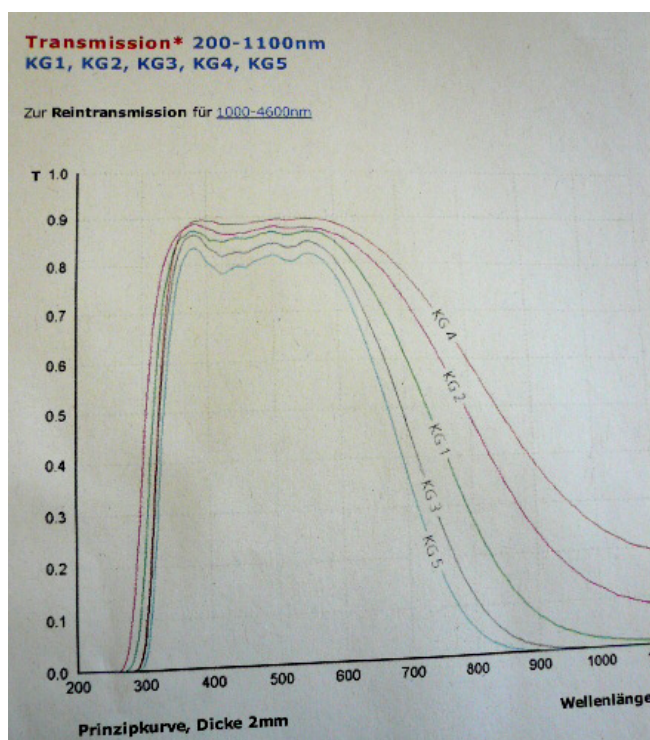


圖 15、系統偏壓光源濾鏡片特性

太陽電池樣品量測室應採用 Temperature Controlled Sample Stage (STD) 方式進行真空吸盤，具溫度控制功能及良好接觸特性，以便進行正確量測，如圖 16 上方之測試平台。



圖 16、雙相鎖向放大器

Spectrum Response 系統具備兩組雙相鎖相放大器 (Dual phase, Lock-in Amplifier)，如圖 16 下方，對檢出訊號進行鎖相迴路線性放大，輸入電壓範圍：10nV to 1000mV，輸入電流範圍：100fA to 100uA，配合截波器 (Chopper) 進行調變頻率(200kHz 以下)，具備單色入射光輻照監測片所得到電流／電壓轉換後，進行鎖相放大功能，及針對待測片(Measurement Cell)的光譜響應短路電流，經過電流／電壓轉換後，進行鎖相放大功能。

太陽電池光譜響應量測使用 National Instruments LabView 程式執行，以自動控制模式具備量測 Solar Cell 各階層界面光譜響應(Spectrum Response)，可即時顯示光譜響應(Spectral Response)曲線及量子效率(Quantum Efficiency)曲線，圖 17 為利用 Solar Cell 進行測試前，Fraunhofer ISE 參考電池進行系統監測片電池校正量測光譜響應曲線，校正範圍為 300~1200nm，由於當下僅於該頻譜範圍進行校正，故採用核研所提供之比對電池進行現場實

測，受限於太陽電池特性量測系統尚未完整架設並調校完備，現階段僅獲得 1200nm 以下範圍之 Solar Cell 量子效率(如圖 18 所示)，但 Daniel 承諾將利用核研所提供之 III-V 族單介面 Solar Cell 送至 Fraunhofer ISE 進行校驗測試，並出具校驗報告，以作為實驗室參考太陽電池片，另外亦將針對核研所提供之三接面(InGaP/InGaAs/Ge)太陽電池，進行光譜響應(Spectral Response)及量子效率特性量測，作為太陽電池特性量測系統出廠參考電池片，協助核研所太陽電池模組驗證實驗室建立 III-V 族 Solar Cell 量測與校正能力。

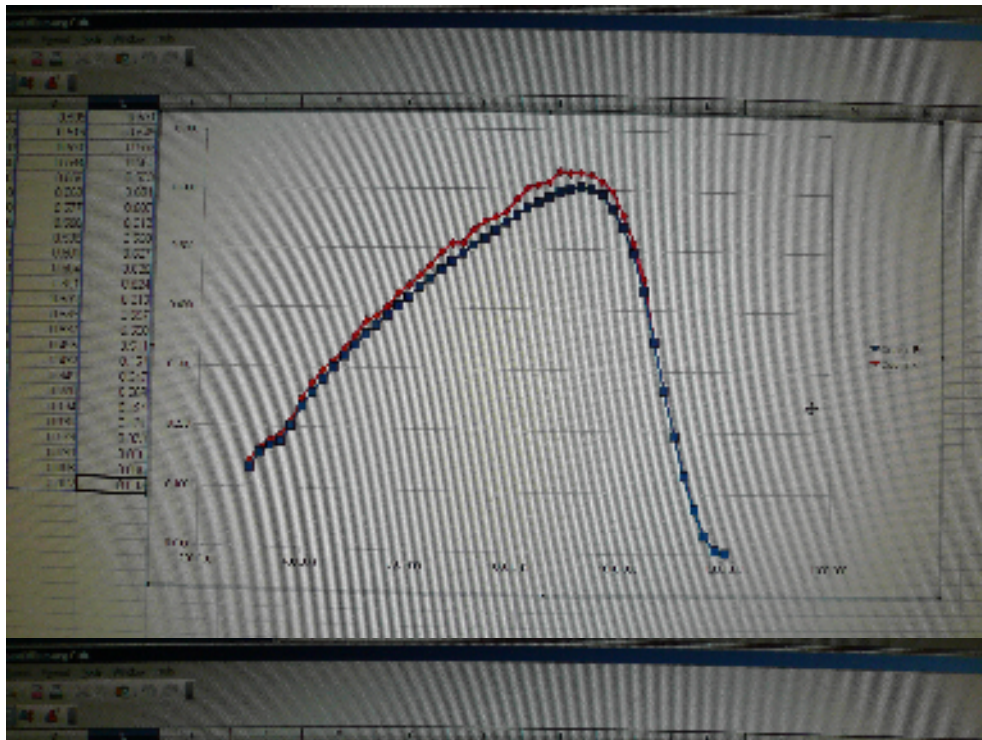


圖 17、監測片電池校正量測光譜響應曲線

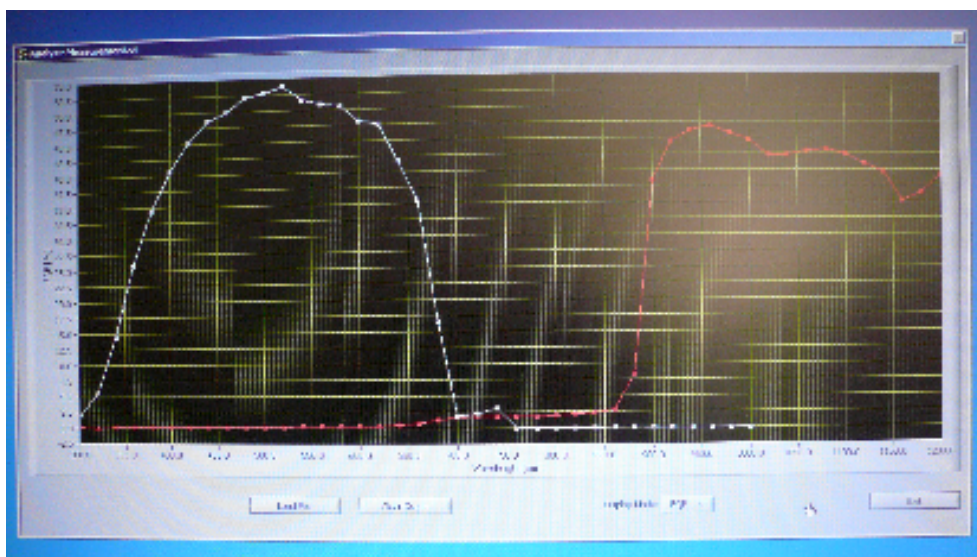


圖 18、III-V 族 Solar Cell SR 量子效率曲線

四、建議事項

1. 建議持續定期與 Fraunhofer ISE 進行太陽電池模組比對測試，透過參考太陽電池模組電性量測比對測試，加強與德國 Fraunhofer ISE 的合作關係，對核研所太陽電池模組測試與校正能力，有非常大的助益，可提升我國在全球太陽能電池產業發展競爭力，為加強雙方合作關係。
2. 建議除再積極聯繫與美國國家再生能源實驗室(NREL)進行太陽電池模組測試比對外，亦須加強與其他國際間知名太陽電池驗證實驗室進行量測技術交流合作，可擴展所內太陽能模組驗證測試能力。