

行政院所屬各機關出國報告
(出國類別：實習、開會)

「實習超合金葉片之先進硬鋸鋸修
技術研究及參加第 24 屆 EU
PVSEC 國際研討會」出國報告

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：周儷芬、研究專員

出國地點：德國－漢堡、德勒斯登

出國期間：98年9月19日至10月1日

報告日期：98 年 11 月 30 日

出國報告審核表

出國報告名稱：實習超合金葉片之先進硬銲銲修技術研究及參加第 24 屆 EU PVSEC 國際研討會		
出國人姓名	職稱	服務單位
周儷芬	研究專員	台灣電力公司
出國期間：98 年 9 月 19 日至 98 年 10 月 1 日		報告繳交日期：98 年 11 月 30 日
計畫主辦機關審核意見	☐ 1.依限繳交出國報告 ☐ 2.格式完整（本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」、「建議事項」） ☐ 3.內容充實完備 ☐ 4.建議具參考價值 ☐ 5.送本機關參考或研辦 ☐ 6.送上級機關參考 ☐ 7.退回補正，原因： ☐ 不符原核定出國計畫 ☐ 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 ☐ 內容空洞簡略 ☐ 電子檔案未依格式辦理 ☐ 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 ☐ 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： ☐ 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 ☐ 於本機關業務會報提出報告 ☐ 9.其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	☐ 1.同意主辦機關審核意見 ☐ 全部 ☐ 部分_____（填寫審核意見編號） ☐ 2.退回補正，原因：_____ ☐ 3.其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「出國報告資訊網」為原則。

單 位	主管處	總 經 理
報告人：	：	：
主 管	主 管	副總經理

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：實習超合金葉片之先進硬鋸修技術研究及參加第24屆EU PVSEC
國際研討會

頁數 33 含附件：☐是☒否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電人事處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

周儷芬/台灣電力公司/綜合研究所/研究專員/(02) 8078-2286

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☒4 實習☒5 其他（開會）

出國期間：98 年 9 月 19 日至 10 月 1 日 出國地區：德國

報告日期：98 年 11 月 30 日

分類號/目

關鍵詞：太陽光電、薄膜太陽電池、即時X射線檢測，鍍膜技術

內容摘要：(二百至三百字)

本次出國主要任務是參加「第24屆歐洲太陽光電研討與展覽會(EU PVSEC)」，該研討會議為每年一度太陽光電領域的盛事，有來自全球各地先進太陽能研發機構及知名製造廠等專家學者參與發表最新研究成果，藉此可以了解太陽電池產業最新發展及其關鍵材料之研發趨勢，而展覽會是全球最有影響力的太陽能光電工業展覽會，其專業權威、規模盛大和優秀的展示效果吸引著全球的太陽光電企業，為供應端及需求雙方提供最佳的展示交流平台。除參加會議外，並赴GES&I公司實習線上即時X射線檢測最新技術，並就其在超合金材料及超厚葉片的關鍵檢測技術進行研討。另赴Fraunhofer FEP研究所參訪，針對電子束及電漿輔助提升沉積速率的先進表面鍍膜技術進行交流研討，該機構的核心技術與本所材料表面塗層製程技術息息相關，可引入該機構關鍵技術概念，提供未來鍍膜技術升級的改善參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目 錄

出國報告書審核表.....	I
出國報告書提要.....	II
目錄.....	III
一、出國緣由、行程及主要任務.....	1
二、參加第 24 屆 EU PVSEC 國際研討會.....	3
三、超合金葉片之銲修檢測技術實習（GE S & I Technology.....	19
四、表面鍍膜技術實習（Fraunhofer FEP）.....	26
五、感想與建議.....	32

一、 出國緣由、行程及主要任務

出國緣由：

近年來本所正進行氣渦輪機動靜葉片等組件之先進維修、再生與新製研發工作。因此，利用數位化 X 射線即時影像檢測技術應用於動靜葉片材料缺陷的檢測及結構偵測是一項可靠的應用工具，希望經由本實習計畫了解國外先進數位化即時 X 射線影像檢測技術之發展，藉以管控本所葉片鉚修品質及提昇相關研製技術。

由於近年來太陽光電發電系統應用在各國政府的補助政策下呈現快速的成長，而我國的《再生能源發展條例》在今年 6 月三讀通過，這項能源發展利用政策的重大變革，對於未來電力產業包括太陽能等再生能源的經營者，都可以獲得政府的保證收購、獲利及成本回收。而本公司目前也正在執行「太陽光電第一期計畫」，預計於民國 97~100 年完成總發電容量 10MW 之太陽光電系統設置，因此藉由參加第 24 屆歐洲太陽光電研討會議，以了解各類太陽光電技術之發展現況與未來趨勢，特別是在薄膜太陽電池應用領域，隨著矽原料短缺而成為各界關注的焦點。目前國外研究單位積極進行各類薄膜製程技術的設備研發，為了解國外機構的研究現況和成果，於參加第 24 屆歐洲太陽光電研討會議之後，並赴 Fraunhofer FEP 機構研習表面鍍膜製程相關技術，期能經由赴國外機構實習相關技術現況，除可有利於研究計畫的推動亦可提供相關業務上的參考，精進本所在各類應用材料的表面處理技術。

本次出國案件係應用 98 年度出國計劃第 63 號，出國核定書為 EE98097 號，電人字第 09809006751 號函。

出國行程及主要任務：

本次出國期間自 98 年 9 月 19 日至 10 月 1 日，主要的任務為參加「第 24 屆歐洲太陽光電研討與展覽會(EU PVSEC)」，並赴 GE S&I 公司研討超合金葉片線上即時 X 射線檢測技術及赴 Fraunhofer FEP 研討材料表面鍍膜技術，行程及工作內容概要說明於下表：

項次	起始日	迄止日	地點	前往機構	工作內容概況
1	980919	980920			往程(台北→法蘭克福→漢堡)
2	980920	980923	德國 漢堡	第 24 屆歐洲太陽光電研討與展覽會	參加「第 24 屆歐洲太陽光電研討與展覽會(24 th EU PVSEC)」
3	980924	980925	德國 漢堡	GE S&I 公司	赴 GE S&I 公司進行氣機超合金葉片檢測能力測試，並與該公司技術人員研討即時 X 射線檢測應用於超合金材料技術現況
4	980926	980929	德國 德勒斯登	Fraunhofer FEP	1.漢堡→德勒斯登 2.赴 Fraunhofer FEP 觀摩表面鍍膜技術現況並與該機構研究人員研討表面鍍膜技術在 PV、葉片材料應用
5	980930	981001			返程(德勒斯登→法蘭克福→台北)

二、參加第 24 屆 EU PVSEC 國際研討會概況

第 24 屆歐洲太陽光電研討與展覽會由 WIP 主辦，會議場地選擇在德國漢堡 Congress Center Hamburg 舉辦，會議期間為 2009 年 9 月 21 日至 25 日。整個會議區分為：大會主題論文宣讀、分組論文宣讀及海報展示等三個部份。本屆歐洲太陽光電研討會與會人員來自世界各地計有 4295 位，來自於 73 個國家（圖 1）實為盛況空前，是相當大型的國際會議，而在漢堡國際展覽中心（International Fair）也同時舉辦太陽光電展覽會，共有來自 34 個國家的 943 個廠商參展，參觀人員來自全球 100 個國家超出 40000 人（圖 2），由此可感受到太陽能產業及應用目前在歐洲甚至全球各地備受矚目的程度。

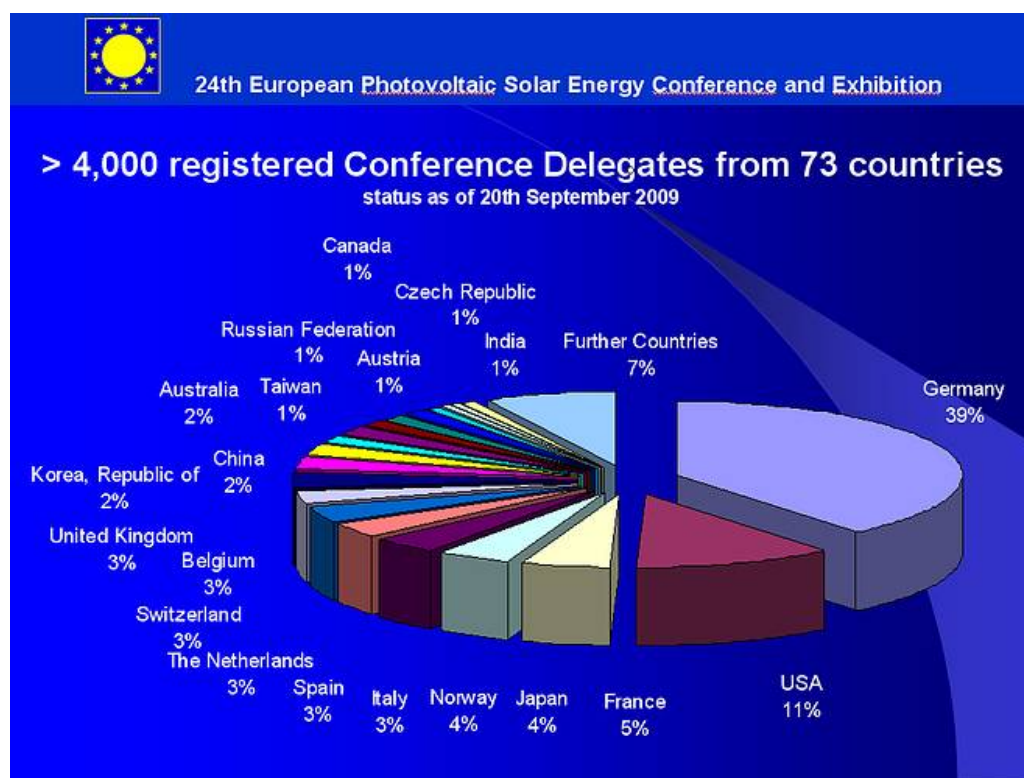


圖 1 研討會參加人員及與會國家分佈情形

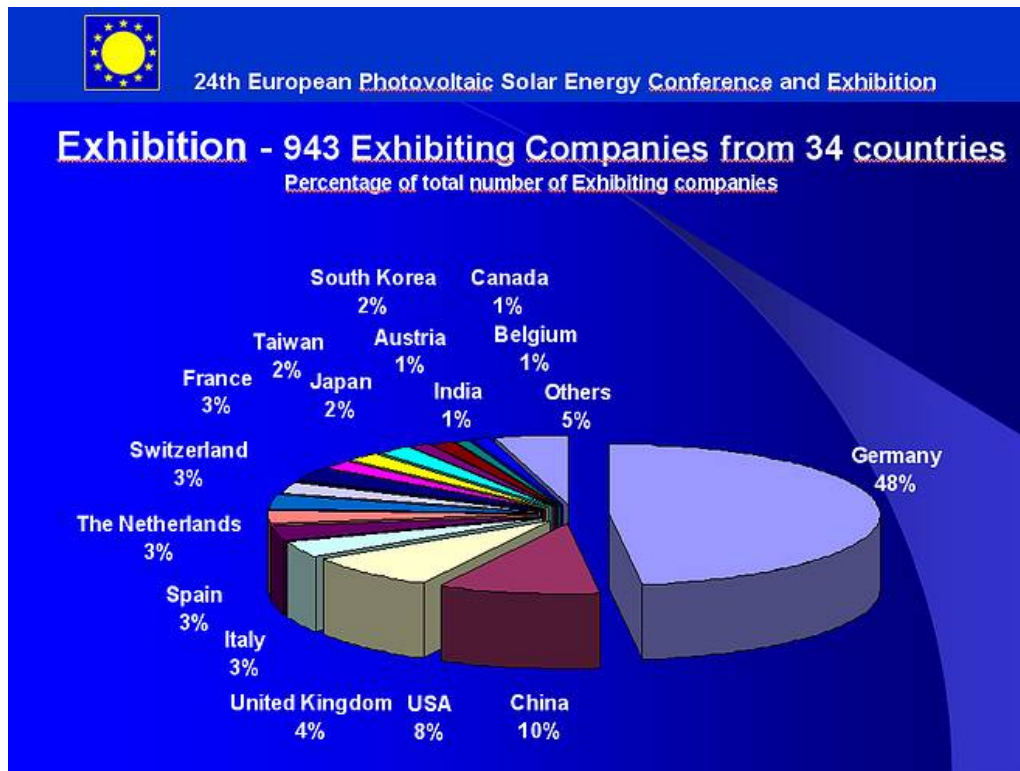


圖 2 展覽會各國參展單位分佈情形

在五天的研討會議中，劃分六大議題分組進行論文宣讀及交流，內容涵蓋：

1. 先進太陽光電元件(Advanced Photovoltaics)、
2. 矽晶太陽電池與材料科技(Wafer-Based Silicon Solar Cells and Materials Technology)、
3. 薄膜太陽光電(Thin Films)、
4. 太陽光電系統組件(Components for PV Systems)、
5. 太陽光電系統(PV Systems)、
6. 太陽光電發電設置及市場(PV Market and Deployment)

此次會議中共發表了 1583 篇相關技術最新的研究成果論文，各議題論文發表數目分佈如圖 3，其中在薄膜太陽能電池領域佔 319 篇（總篇數之 20%），可見薄膜太陽能電池在未來發展的重要性。而在所發表的論文中各國論文數目佔比如圖 4，其中 20% 來自德國，7% 來自美國，25% 來自歐洲其他各國（西班牙 5%、法國 5%、義大利 5%、荷蘭 4%、瑞士 3%、英國 3%），日本 4%，澳洲 3%，台灣 3%，韓國 2%，中國 2%，德國由於長期推動太陽能產業是全

球太陽電池最大生產國，同時擁有世界 65% 的發電產能，使其在太陽光電應用及研究發展領域佔領先地位，而除美國之外，歐洲各國發展數量仍佔最大比例，台灣在此次會議中也有相當數量的論文發表。而本所電力室同仁曹昭陽先生目前正於澳洲新南威爾斯大學攻讀博士學位，本次研討會亦有一篇海報論文發表，論文題目為「Structural and Electrical Properties of Hydrogenated Polycrystalline Germanium Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering for Thin-Film Photovoltaics」

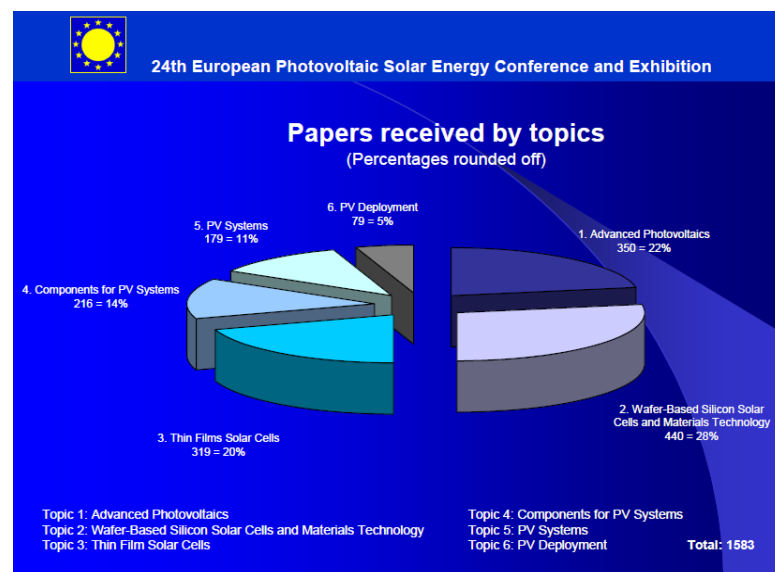


圖 3 各議題論文發表數量分佈情形

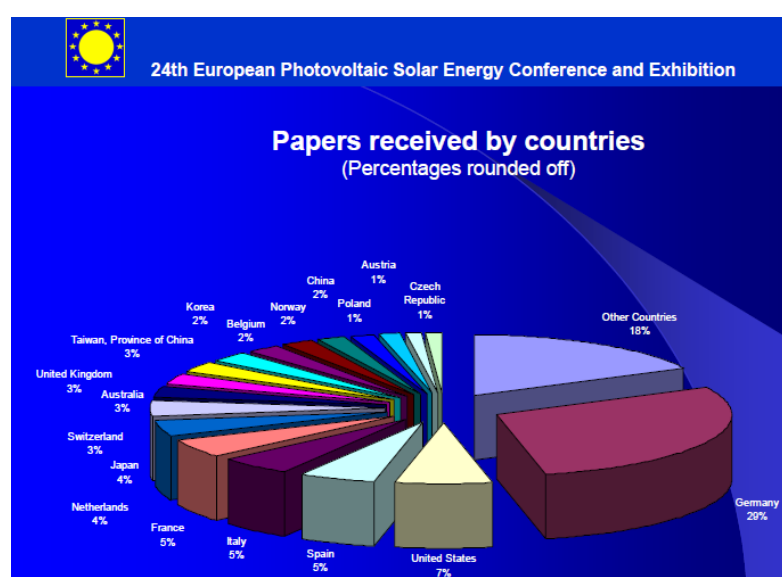


圖 4 各國論文論文發表數量佔比分佈情形

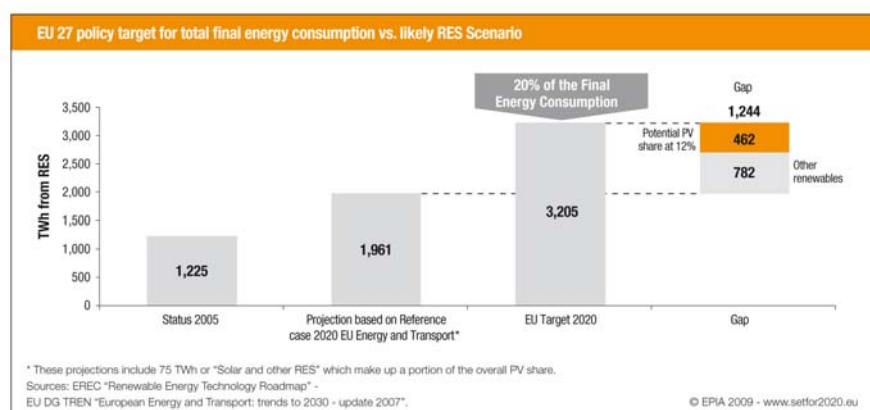
研討會開幕式並邀請英國建築設計師 David Nelson 發表專題演說‘Sustainability and the Future of the City’，介紹這座蓋在阿布達比的未來城市，“Masdar”為世界第一個完全依靠太陽能、風能等可再生能源的生態城，“Masdar 專案的環境目標十分遠大—零碳和零廢棄物，這在世界上來說是第一個將對設計帶來的極大挑戰。但 Masdar 專案可以為未來的可持續性城市設計設定新的基準。

EPIA 並與大會同時在 9 月 23 日舉辦 6th European PV Industry Forum，討論主題為“Solar Photovoltaic Electricity: A mainstream power source in Europe by 2020”此乃歐盟關於”SET FOR 2020”政策的深入討論，SET FOR 2020 的 Roadmap 是要在 2020 年分別達成

- i) 降低溫室氣體排放量比 1990 的排放水平低 20%.



- ii) 再生能源的使用比例佔總能源使用的 20%，這意味這 PV 將佔掉 35%的電力市場，而其中有 12%希望由薄膜 PV 供給。



- iii) 減低 20%總能源的使用量。

關於各組議題、議程及發表論文數如表1。

表 1、會議中所發表論文內容及數量分析

議題	宣讀論文內容分類
Advanced Photovoltaics (59)	Advanced Characterisation Tools and Methods
	Novel Insights in Advanced Materials and Cell Design
	Organic-Based PV – Materials and Stability
	Space and Concentrator PV Technology
	Organic-Based PV – Processing and Production
	Concentrator Systems and Technology
	Novel Solar Cells
	Theory and Techology for Novel Concepts
	Advanced Photonics
Wafer-Based Silicon Solar Cells and Materials Technology (82)	Characterization and Modeling
	Advanced Devices
	Defects
	Metallization
	Silicon Feedstock Production and Analysis
	Impurities in c-Si and Wafer Technology
	Surface Passivation
	Emitters
	Efficient Manufacturing of Crystalline Silicon PV
	Surface Preparation and Heterojunctions
	Novel Materials and Advanced Processing
	Industrial Type Solar Cells
Thin Film Solar Cells (59)	TCO and Light Scattering
	Deposition Technologies
	Thin Film Crystalline Silicon Solar Cells
	Wafer-Equivalent Solar Cells
	Amorphous and Microcrystalline Silicon Solar Cells and Modules (1)
	Amorphous and Microcrystalline Silicon Solar Cells and Modules (2)
	Advanced CIGS Devices
	Modeling and Characterization for Multinary Thin Film Solar Cells
	Industrial Approach for CIGS Manufacturing

表 1、會議中所發表論文內容及數量分析（續一）

議題	宣讀論文內容分類
Components for PV Systems (41)	Engineering and System Integration (1)
	Engineering and System Integration (2)
	PV Module Performance and Energy Yield
	Manufacturing, Technology and Reliability of PV Modules (1)
	Manufacturing, Technology and Reliability of PV Modules (2)
	Balance of System Components
PV Systems (41)	PV Power Plants – Grid Integration Issues
	PV Power Plants – Operation and Performance
	PV and Architecture
	Off-grid Applications and Rural Electrification
	PV Technology for Developing Countries
	Europe – Developing Countries Cooperation
PV Deployment (17)	Markets for PV Systems
	Enablers for PV Deployment and Benefits of PV

本次會議中有相當多的國際知名機構及學者均與會發表最新的研究成果。從表 1 會議中所發表之論文內容及數量分析可知，目前全球各企業及研究機構在能源效率與成本的考量下，仍以主流矽晶型太陽電池的技術發展為優先，但在薄膜及其他先進技術的研究總論文數量已超出傳統矽晶太陽電池，此乃因當多晶矽材料短缺使整體 PV 產業價格上揚影響了太陽光電系統的設置與產業發展，於是越來越多研究單位和企業將注意力轉移尋找一個更低成本、更大面積、產出速度更快、且對上游原料依存度較低的新一代太陽能電池進行開發研究。

職主要工作領域及任務在材料應用開發，因此集中注意在以薄膜太陽電池為主題的相關議程。會議過程中討論相當熱烈，不論是論文宣讀或海報展示，與會人員均熱切地與論文發表者進行深入的討論與交流，可以看出大家對於被喻為下世紀太陽能技術的矽薄膜太陽能電池的研究發展都有熱切的期待。以下謹就研討會各議題主要研究成果紀錄摘述如下（由於大會並未提供書面論文集，約在 12 月時將由大會統一寄發全文論文集 CD），另針對矽晶太陽電池與薄膜太陽電池發展趨勢詳述如後：

1. 先進太陽光電元件(Advanced Photovoltaics)

- New Triple Junction Concentrator cell record 41.1% @ 450×, (Fraunhofer ISE, DE)、Spectrolab 41.6% (Last Conference: 40.8%)

- Tandem Cells Using Quantum Dots All QD-Devices Mostly SiO₂, but also Si₃N₄, SiC (Green/ UNSW, AU)
- Strain-balanced Quantum-Well cells InGaAs, but also Si with 28% (Imperial College, QuantoSol UK)
- 34.1%, 4 sub-cells with spectrum splitting (Fraunhofer ISE, DE)
- Optimising cells for site-specific spectra can increase energy yield by 10% (Fraunhofer ISE, DE)
- 20% AC energy efficiency with Flatcon Modules (Concentrix, DE)
- MW installations (ISFOC, ES)
- Organic Cells TPT Based Polymers (Thiophene-Phenylene), eta around 6% (Uni Chung-Yuan, TW)
- Commercialisation & start-ups for DSSC (Konarka, US, 3GSolar, IL, Dyesol, AU)
- 7%, 7-yr life targeted by 2011 (3GSolar, AU)
- Still test standards urgently needed, organic cell tandems in particular

2. 矽晶太陽電池與材料科技(Wafer-Based Silicon Solar Cells and Materials Technology)

- Selective Emitter in mass production, 17.2% avg. in production, module 16.5% (Suntech, CN)
- 96% waste water recovery (SAITA, IT)
- Continued Improvements of Materials, processing, costs, efficiency
- Honeycomb textured mc-Si cells, nanoimprint lithography (FhG-ISE, DE)
- Rear-contact amorphous/crystalline (HHZ, DE),
- Upgraded-MG Solar Cells 16% (CaliSolar, US)

矽基太陽電池發展趨勢

I. 薄矽晶圓太陽電池(減少材料以降低成本)

— 薄矽晶圓製造技術

- Kerf-free c-Si wafer for Thin PV Manufacturing
- 當晶圓厚度變薄後，太陽電池製程也必須配合調整
- 德國 ISE 正在測試以 120 μm C-Si wafer 製作的太陽電池性能

II. N型吸收層太陽電池

- 以 N 型半導體為基板結構的結晶矽太陽能電池與以 P 型半導體為基板的結構相比，N 型半導體對雜質的抵抗性更大，也就是 N 型矽基材具有較長的少數載子壽命，因此許多高

效率太陽電池都使用 N 型矽基材進行製程研究，在理論上更易提高能量轉換效率。但傳統量產型矽太陽電池以 p 型基板為吸收層，主要原因是在較厚的 P 型半導體上能夠形成非常薄的 N 型半導體層。另一原因在於封裝層材料的限制，由於傳統製程採用的 SiO_2 和 SiN_x 對於 P 型半導體無法充分發揮出其封裝功能。因此，主流矽晶太陽能電池採用以 P 型半導體為基板，然後在其上面形成的 N 型半導體薄膜再堆層疊 SiO_2 或 SiN_x ARC 結構。

- 但在本次議程中，德國 Fraunhofer ISE 研發 N 型基板為吸收層的太陽電池，能量轉換效率達到 23.4%，太陽能電池單元面積為 2cm^2 。Fraunhofer ISE 採取的對策是選擇以氧化鋁作為太陽光照射面的封裝層材料，由此解決了封裝特性的問題，因此可順利採用 N 型半導體為基板的結構。Fraunhofer ISE 表示有可能量產該款電池，並與三洋電機公司 (SANYO) 所推出的異質結高效率矽晶太陽能電池 (HIT solar cell) 競爭。

III. Life time imaging 檢測技術

- 對太陽電池而言，少數載子的生命週期指的是電子電洞對 (受到照光激發)，自產生到復合所需要的時間。生命週期主要由材料缺陷決定，直接影響到太陽電池的 Voc 特性，生命週期越長 Voc 越高。
- 傳統測量 life time 的影像技術為 μ -PCD (Microwave Photo-Conductance Decay) 測量所需時間 500s。
- 新技術包含：
 - Carema-Based Photo luminescence (PL)
德國 Fraunhofer ISE 正在研發的新技術，測量所需時間 $<1\text{s}$ ，可以直接藉由影像測量結果推算材料製成電池後的 Voc 值，可望應用在製程線上即時檢測分析。
 - Dynamic Infrared Ray
德國 ISFH (Institut für Solarenergieforschung , Hameln/Emmerthal) 正在研發的新技術，測量所需時間 $<5\text{s}$ 。

3. 薄膜太陽光電 (Thin Films)

- 15.7% on 30×30 CIS module. Plans for expansion up to 1GW (Showa Shell, JP)
- 12.3% CIGS in Production, 0.75m^2 (Solibro, DE)

- Electron-beam deposited CSG minimodule with 7.8% (CSG, AU-DE)
- Very large (5.7 m²) a-Si/ μ -Si 8.24% efficient (Sontor, DE), 8.75% (Sunfilm)
- Single Junction a-Si Records, 10.09% and 10.06% depending on 2 different types of ZnO LPCVD, 1 cm² (Oerlikon, CH)
- 9% by fast PECVD (UNSW, AU)
- Tandem a-Si/ μ -Si up to 12% (Sanyo, JP)
- Epitaxial TF concepts for up to 16.8% (IMEC, BE)

薄膜太陽電池發展趨勢

I. Micromorph (a-Si/ μ -Si) Si thin film solar cells

電池結構由a-Si top cell/intermediate reflector/ μ -Si bottom cell所組成(圖5)，此一結構是於1994年由IMT研究團隊所提出，模組(10×10 cm² module)的穩定效率達到8~10%，相對於非晶矽模組效率5~6%有更高的元件穩定度與效率，製程技術也可以相容於非晶矽的機台，開啟了高效率矽薄膜太陽能電池的研究契機，是矽薄膜太陽能電池近代發展中最重要的一項突破。日本Kaneka公司也以同樣的概念製作“hybrid” thin film solar cell，並宣佈將在近期提供面積1.22m²、125Wp的電池模組。

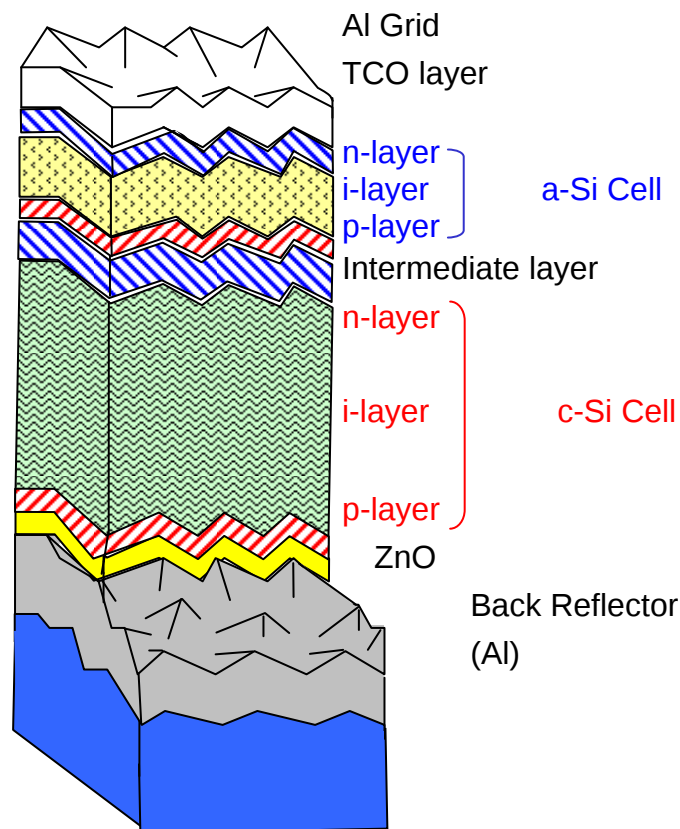


圖5 Micromorph 太陽電池結構

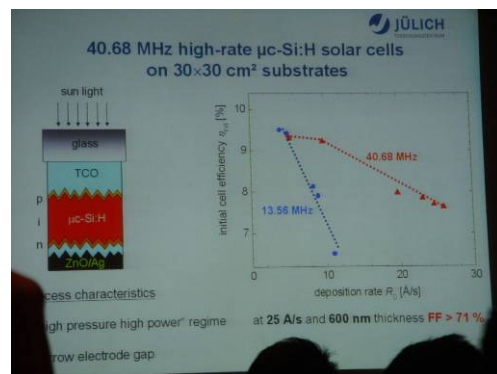
但Kaneka製程技術中有2項關鍵弱點仍有待克服： i)需有良好織質(texture)結構之透明導電薄膜及 ii)為得到 $\sim 2\text{ }\mu\text{m}$ 厚度的 $\mu\text{c-Si:H}$ 下電池，微晶矽的沈積技術需進一步突破，同時提升沉積速率也是一項必須努力的方向，以提升產能降低成本。因此，在本次議程中各研究機構及企業多朝向製程設備的開發以提高沉積速率為考量降低成本，或是朝向改變疊層電池各子層結構的開發以提高轉換效率來降低成本。

- 沉積速率的提升

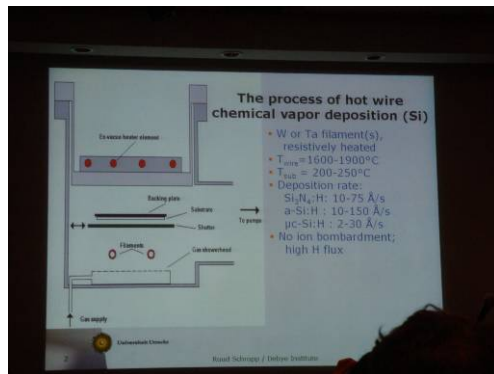
Micromorph (a-Si/ $\mu\text{c-Si}$) Si thin film solar cells的沉積係採用PECVD製程設備，Plasma的產生頻率是13.56 MHz，以RF PECVD方法沉積鍍膜，由於電漿密度不高($\sim 10^8\text{ cm}^{-3}$)，要提升微晶矽的鍍膜速率，最直接的方式便是提高單位面積的電漿功率，但此將造成薄膜被大量離子轟擊(Ion Bombardment)產生缺陷而影響太陽電池的電性。因此有研究提出以ECR或MW-PECVD等高密度電漿($10^{11} \sim 10^{12}\text{ cm}^{-3}$)方法來增加氣相中解離率(Ionization Rate)提高鍍膜速率，且這兩種方法屬於Removed Plasma薄膜不會受大量離子轟擊產生缺陷。另一高密度電漿鍍膜方式就是以VHF-PECVD方法來進行鍍膜，VHF-PECVD系統使用40MHz的電源產生器來替代傳統13.56MHz電源產生器，此系統比RF-PECVD有較高的解離率，系統內的電子能量較高且由於離子能量低所以離子轟擊情形可減緩，可在低溫下快速鍍膜。而熱燈絲化學氣相沉積法(HWCVD)由於設備簡單且具有成本低及高沉積速率，對於反應氣體的解離率極高並可在低的基板溫度下進行薄膜沉積等優點，因此也被應用於微晶矽薄膜太陽電池的製作。

本次議程中，各研究團隊採用的沉積製程技術方向有以下幾種：

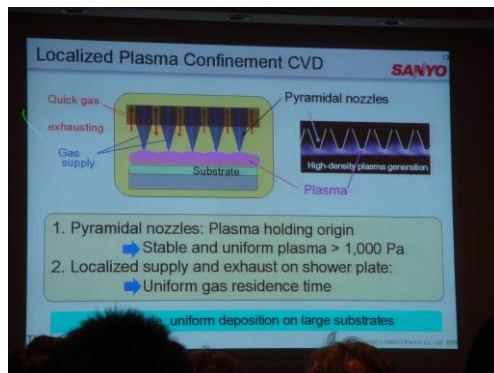
VHF-CVD—Jülich、EPV Solar，



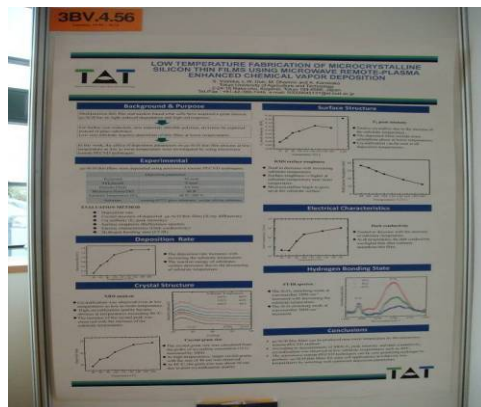
Hot Wire-CVD – Utrecht ,



LPC-CVD – SANYO



MW-CVD – TAT



ECR-CVD – InESS

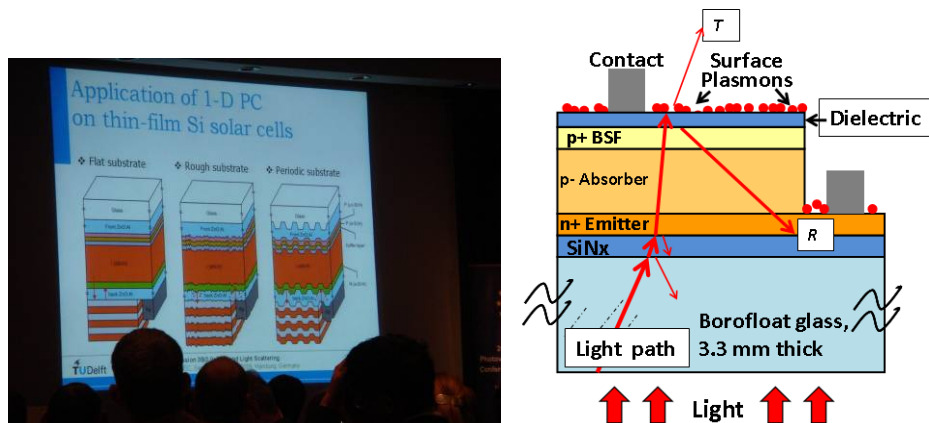
另需特別提出討論的是除高密度電漿鍍膜技術之外，也有利用電子束（FEP, Fraunhofer）沉積薄膜技術在會議中發表，其沉積數率高達70 nm/s遠遠超出電漿沉積速率，即使如SANYO公司所開發的LPC-CVD（Localize Plasma

Confinement CVD) 製程之沉積速率為傳統PECVD的10倍，其速率也僅達 $< 3 \text{ nm/s}$ 。因此電子束沉積技術，雖仍處於材料開發階段，太陽電池元件特性良否仍未實際進行測試，但在各個領域的專業技術開始也投入太陽電池材料領域的開發，相信在不久的將來薄膜沉積技術可獲得突破性的改善。

- 陷光結構/背向反射

由於微晶矽為間接能隙材料，光吸收係數較非晶矽材料低，因此微晶矽薄膜厚度至少需 $1\text{-}2\mu\text{m}$ 才能有效吸收太陽光，因此除提升鍍膜速率達到所需吸光層之外，將透明導電層(TCO)表面予以粗糙化，增加入射的太陽光產生散射增加光學路徑，在底電極同時製作背向反射層，提高矽薄膜對太陽光的吸收，藉此可減少薄膜太陽電池中微晶矽及非晶矽層所需之厚度，增加電流密度。

在本次會議中有許多研究提出利用次微米級週期性結構進行表面陷光特性的改善及在電池背面利用表面電漿子特性來達到提升光電流的響應。



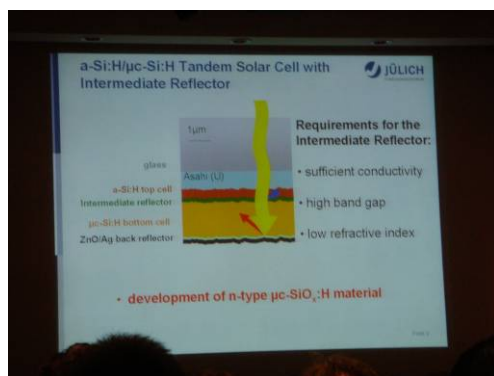
- 介面層結構

由於a-Si的光照衰退效應因此上電池厚度越小越好，但考量上下電池電流匹配問題以免太陽電池可產生之電流量受到產生最小電流量的子電池所牽制，因此在上下電池間導入介面層，增加光在i層的吸收率以降低a-Si的厚度，也可提高穩定效率卻又能達到足夠的光吸收。

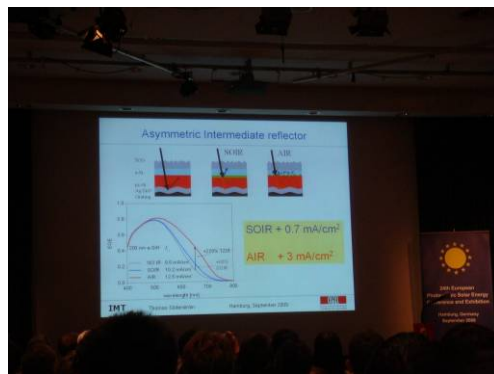
採用多接面電池的結構可以擴展太陽電池光譜響應的範圍，但過多的接面對電池的特性及穩定性卻有不利的影響，如p/i界面的缺陷態將影響電池的開路電壓和填充因子。而在 $p_1i_1n_1/p_2i_2n_2$ 疊層電池結構中， n_1/p_2 接面相對於組

件為反向內建電場，任何的寄生障壁都會使電池的I-V特性變差，因此使用穿隧二極體(tunnel diode)將不同能隙的子電池聯結起來提供一個性能優異的 n_1/p_2 tunnel junction。在 n_1/p_2 接合處使具有高的摻雜濃度和寬的能隙，以增加到達下電池的透光率及減少串聯電阻。

在Julich的研究團隊導入高導電、高能隙及低折射係數之 $\mu\text{c-SiO}_2\text{:H} <n>$ 介面層反射結構材料的應用，成功地降低了a-Si上電池的厚度而仍能與下電池的電流匹配值提高。而在IMT的研究團隊利用導入對稱性及非對稱性的薄介面層結構研究，將a-Si上電池的電流密度分別提升了 $0.7\text{mA}/\text{cm}^2$ 及 $3\text{mA}/\text{cm}^2$ 。



Julich $\mu\text{c-SiO}_2\text{:H} <n>$ 介面層反射結構



IMT 對稱性及非對稱性的薄介面層結構

II. 多晶矽薄膜太陽電池

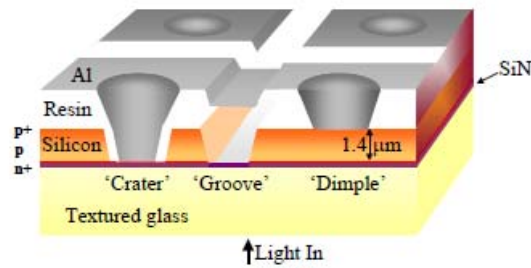
多晶矽薄膜太陽電池最早的構想是由SANYO公司在1990s提出，其在金屬基板上沉積非晶矽薄膜並於 600°C 下進行SPC (Solid Phase Crystallisation)，結果獲得9.2%的效率，儘管獲得不錯的成果但SANYO後來並沒有持續進行該項技術的研發。在1995年，UNSW開始發展多晶矽薄膜太陽電池，其主要概念：

- 多晶矽材料品質較接近晶圓，無非晶矽會有光致衰退的問題。
- 多晶矽材料導電度高，可以直接連接金屬材料電極，不需使用TCO結構。
- 太陽電池設計類似矽晶圓太陽電池技術。
- 具有薄膜太陽電池大面積製造的優點。

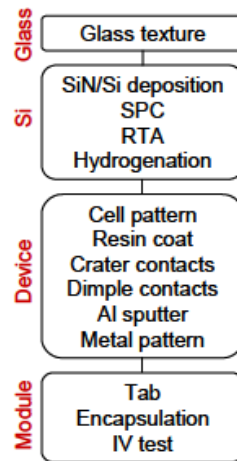
然而多晶矽雖然具有高導電度和照光穩定的特性，但是相較於a-Si高吸光係數poly-Si的吸光係數較差，為產生足夠的照光電流電池厚度必須要足夠厚，但是這將導致成本的提高。解決辦法是將玻璃表面做texture(織質化)產生light trapping(光捕捉)的效果以便產生足夠的光照電流，如此一來poly-Si材料的厚度就可大幅降低。

製備多晶矽薄膜主要2種製程方法：一是利用PECVD沉積技術在特定基板材料上直接製作多晶薄膜；另一方法是先製作非晶矽薄膜再經由固相結晶化技術將非晶矽薄膜晶化成多晶矽材料。目前全球僅有一家公司（CSG，由UNSW技術轉移）生產多晶矽薄膜太陽電池模組，在2007年公佈的mini-module(94 cm^2)效率已經達到10.4%。然而因製程技術較傳統製程繁瑣成本較高，且與Micromorph 矽薄膜太陽電池同樣採用PECVD沉積技術，而多晶矽薄膜電池的厚度顯然要比Micromorph電池厚，因此對沉積速率要求更高，否則在傳統矽晶太陽電池和非晶矽太陽電池中無法找到其生存的利基。在這次會議中CSG公司發表目前針對提升沉積速率的對策：

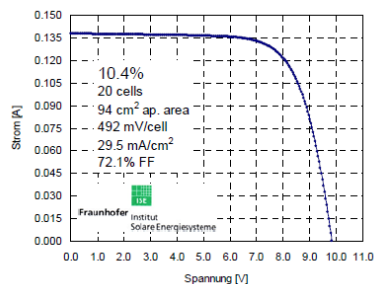
- 將Plasma的產生功率和 SiH_4 的流率提高，可以提升沉積速率達七倍
- 改採的E-beam evaporation沉積技術以提高沉積速率。目前沉積速率可以達到PECVD的十倍，但由於textured玻璃應用在E-beam evaporation會造成後續SPC或RTP熱製程時玻璃容易龜裂.因此該項技術仍繼續在改善中。
- 本次研討會中CSG公佈的最新研究成果—
 - 效率7.8% mini-module (22.63 cm^2 , on planar glass)
 - 效率10.4% mini-module (94 cm^2 , on textured glass)



CSG元件結構



CSG模組製程程序



CSG mini-module的I-V測值

在今年的研討會中已有專門議程在探討多晶矽薄膜太陽電池的議題，可見該技術的應用已逐漸受到重視，根據估計這種多晶矽薄膜太陽電池的單層結構理論效率便可達到16.5%。高沉積速率並簡化後處理製程將是該領域未來研發重點。

4. 太陽光電系統組件(Components for PV Systems)

- Solutions for smart PV energy management are coming, smart Energy Management, better integration of PV (INES et al , FR)
- European Standard EN 50530 for Inverters !!
- Finally a good comparison of outdoor performance of thin-film vs

crystalline technologies for different European Sites (DG JRC, EU)

- CrystalClear: Novel module design good for 16% (EU)
- Li-Ion Batteries Arrive! Higher η than PB – (Conergy, DE)
- Performance of LEDs for Small Lanterns – (ISE Freiburg, DE)
- The large European “Performance” Project Results maybe next year?

5. 太陽光電系統(PV Systems)

- Ever increasing number of LED-PV combinations, many application fields, including developing countries but also street lighting
- Li-Ion technology ready to surpass Lead-Acid? (Hokkaido Electric, JP)
- Practical results in Guadeloupe (SAFT, FR)
- Quality assurance for rural electrification addressed by some presentations
- We have good guidelines for PV System Performance Monitoring, Project Performance (many, EU)

6. 太陽光電發電設置及市場(PV Market and Deployment)

- The EU directive: shining or casting shadows on PV? • 2.5% - 4% - 6% or 12% by 2020?
- 9 months to go to get PV into the National Renewable Energy Action Plans! A lot depends on DE, IT, ES and FR:
- Italy: total today 650 MW, end of the year 750MW
- France: strong growth expected with the new FIT

由於太陽能發電市場及產業發展，除了化石能源枯竭及氣候變遷因素引起全球重視之外，各國政府對太陽能產業的補助政策，對促進太陽光電產業的蓬勃發展並使太陽能源與生活能緊密的結合有著極重要的影響。然而在經歷全球金融風暴之後，未來太陽光電產業的發展將會有受到許多因素的影響：金融危機何時能結束、德國新政府的政策方向、美國政府的態度、聯合國12月將在丹麥哥本哈根召開的「聯合國氣候變遷會議」第15次締約國大會及電力收購制度等等政策都將深深影響未來幾年太陽光電產業及設置容量的發展。

三、超合金葉片銲修檢測技術實習—GE S&I Technology

即時 X 射線檢測技術應用現況

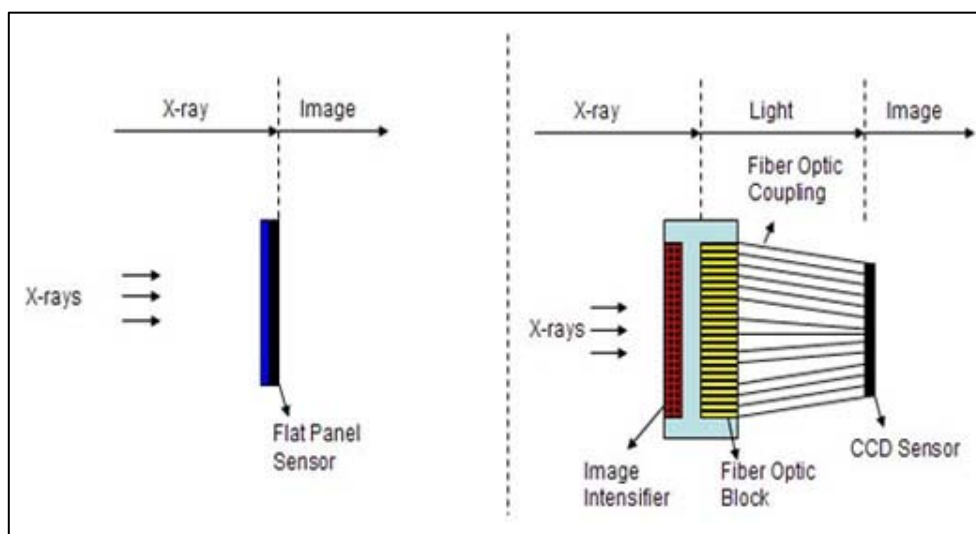
本所近年來正進行氣渦輪機動靜葉片組件之先進銲修、再生與新製等研發工作，這些製程需要利用到大量的非破壞檢測技術，尤其當電廠對於營運績效和運轉安全的考量越來越重視時，公司每年將會有大量的運轉設備，特別當是高溫氣機組件檢修數量日增之際，更需要應用數位化即時影像檢測系統於氣機組件之動靜葉片材料缺陷的檢測及其結構偵測，以管控本所葉片銲修品質及提昇相關研製技術。

近幾年，X 射線非破壞檢測技術發展朝向提升檢測精度、速度及自動化程度需求發展。尤其在生產線上即時檢測待測物件時，要求檢測速度（效率）高，且需能透過電腦自動界定缺陷位置或自動剔除不合格產品，而針對葉片運轉安全考量也要求高檢測精度，因此具備高解析能力的數位式即時 X 射線檢測系統成為製程管控的重要分析工具。以下先簡述數位式 X 射線檢測（Digital Radiography，DR）的發展過程：

- 將 X 射線照相底片經掃描轉為數位影像（FDR）
- 採用成像板（IP 板）的模擬數位照相成像（Computed Radiography，CR）
- 以影像倍增器為基礎的 X 射線即時成像（Image Intensifier, II + CCD）
- 採用電子成像技術的直接數位化 X 射線成像（Direct Digit Radiography，DR）

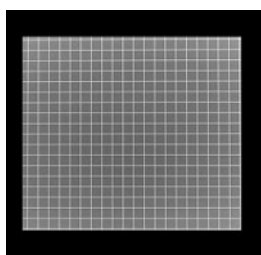
數位式 X 射線檢測要達到即時成像性能必須同時具備影像處理器及 CCD 檢測器，將 X 射線轉換屏幕上的可見光轉換成數位影像。因此具備即時成像系統的檢測器系統有 2 類：早期發展的 II + CCD 系統和近期開發的 Direct Digit Radiography-Flat Pannel 系統。Flat Panel 偵測器的基本工作原理是：把針狀結構的摻鉍碘化銫（CsI）晶體置於光電二極體矩陣上，每個光電管就是一個圖素，由薄膜氫化非晶矽製成。當 X 光入射到閃爍晶體層時被轉換為可見光，由光電二極體矩陣轉換成電子信號，在光電二極體自身的電容上形成儲存電荷，電荷量與入射 X 射線強度成正比，通過薄膜電晶體（TFT）檢測陣列，再經類比/數位

轉換處理，最後獲得數位化圖像在顯示器上顯示。Flat Panel 偵測器外形類似 X 光膠片暗盒呈平板狀，是一種半導體探測器。2 種偵測器的工作原理比較如下圖，

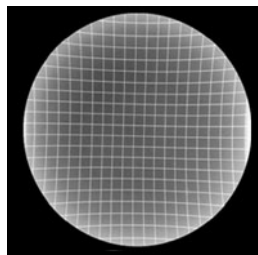


新發展的 Flat Panel 相對於 “II+CCD” 有下述幾項優勢：

- **空間解析度 (Spatial Resolution)：**能分辨清楚的最大分辨率，即一單位距離內所包含的最多空間周期 (LP: line pairs)，Flat Panel 由於呈平板狀，故各點解析度一致幾何失真小，空間解析度高 ($> 3\text{LP/mm}$)。II + CCD 的輸入屏幕呈球形，各點曲率不一致，中心部分較邊緣解析度高；另由於影像倍增器電子透鏡、縮小增益以及 CCD 的透鏡、光導纖維等光耦合裝置的存在，影像的幾何失真完全無法避免。



FP



II

- **Flat Panel 動態範圍大**

Flat Panel 的動態範圍達 12 Bit, 4096 灰階 (14bit-16384, 16bit-65536)。II + CCD 偵測器的動態範圍僅為 8 Bit、256 灰階。由於密度解析度提高，對微小的密度變化更加靈敏，有助於微小缺陷的發現，平板偵測器成像對比度較高影像清晰。而 II + CCD 偵測器的作業中，受到 X 射線

照射，影像倍增器輸入屏幕的螢光體層產生螢光，由於光散射及散射的電子使輸出屏出現背景灰霧，加上 CCD 自身的熱雜訊，均使對比度下降，影像品質受到不良影響

- **信噪比 SNR** -提高信噪比可提高影像品質

提高信噪比的方法：i.提高影像動態範圍，即提高影像像素的灰階值。ii.降低噪聲信號。

X 射線平板檢測器 (Flat Panel) 以其易於安裝，方便操作，高影像品質等特點，近年來在高解析要求的檢測系統中已逐漸取代圖像倍增器檢測系統，以獲得更精細及清晰的影像偵測品質。

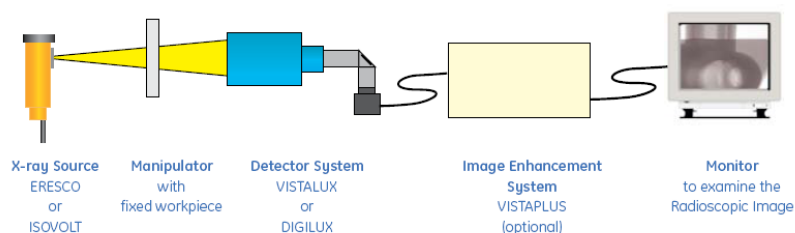
GE S&I 研討超合金葉片 X 射線檢測技術

GE Sensing & Inspection Technologies 公司是美商 GE 公司的子公司，該公司主要是發展非破壞檢測技術及設備以支援 GE 公司其他事業體系的關鍵檢測需求。近年來 GE 公司更是併購了全球知名的檢測機構包括 Agfa NDT, Everest VIT, Hocking NDT, Krautkramer, phoenix|x-ray and Seifert 等，以拓展其在非破壞檢測領域的領先地位。

本次參訪 GE S&I Technologies 的主要任務是由於本所目前使用的 X 射線檢測設備，在進行氣機葉片檢測分析時，系統無法完整的呈現葉面及葉根的影像（葉根厚度較厚約 20-30 mm），因此希望藉由此次參訪與 GE S&I Technologies 技術人員討論，針對獲取完整清晰的葉片影像，X 射線檢測系統的配置該如何調整與改善才能取得最佳影像分析結果。為能得到實際測試成效，在出國前已先寄出 2 只動葉片至 GE S&I 公司，並預訂該公司的應用測試實驗室於 9 月 24 日到達該公司時進行葉片實體檢測。

GE S&I 公司的 X 射線即時影像檢測架構－

Typical Components of a Radioscopic Inspection System



GE S&I 公司應用實驗室的 X 射線即時影像檢測系統－



GE 動葉片 X 射線即時影像檢測需求－

本次進行實體檢測的葉片為 GE 公司所生產的實心葉片，一級動葉片及二級動葉片各 1 只。希望能進行葉根及葉面完整 NDT 檢測，葉片缺陷狀況如下說明：

一級動葉片：本身已有 cooling hole 存在,在 leading edge 處有 crack 至少 3 處,在 cooling hole 處也可能會有 crack。

二級動葉片：本所已先自行放電加工鑽洞 4-5 個，其中 3 個洞在根部時穿出,另 1 為完整的洞。

GE 動葉片 X 射線即時影像檢測結果－

- GE 葉片：一級動葉片（Blade 01）、二級動葉片（Blade 02）



- 檢測系統條件：配合本所現有設備的規格，要求 GE S&I 公司儘量採取本所的設備規格參數進行測試，偵測器部分除以圖像倍增器（II+CCD）分析之外，另請 GE S&I 公司以先進的

Flat Panel 偵測器同時進行比較分析。

檢測系統參數：

Application system：DP489

X-ray generator：ISOVOLT Titan 225kV

X-ray tube：ISOVOLT 225MM2 HP

Detector：Vistalux 9S HR (II+CCD)、DXR 250RT-E (FP)

X-ray parameter：max. 225kV, 8mA

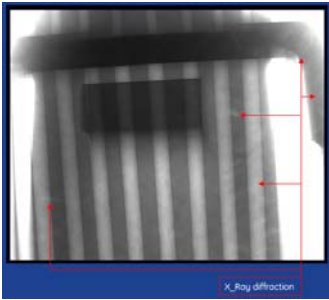
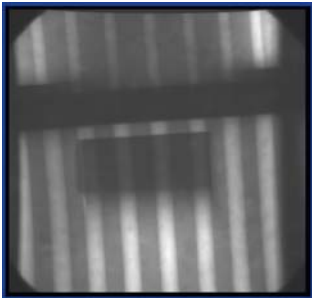
FDD：1000 mm M：1.5-3.5

Focus：1.0 mm/0.4 mm (EN12543)

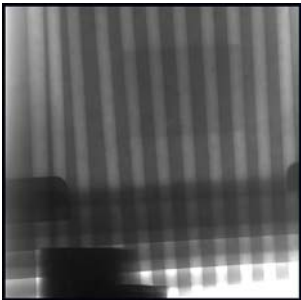
Prefilter：up to 0.9 mm Brass

• GE 動葉片 X 射線即時影像檢測結果：

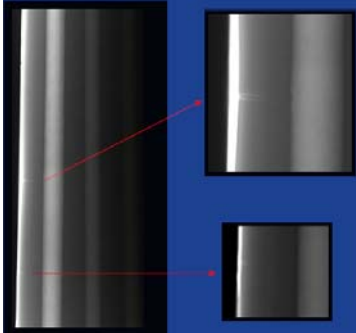
Blade01-1

Detector： DXR 250RT-E	225kV 6mA 64Integration	Detector： Vistalux 9SHR	225kV 6mA 64Integration
			

Blade01-2

Detector： DXR 250RT-E	225kV 6mA 64Integration	Detector： Vistalux 9SHR	225kV 6mA 64Integration
			

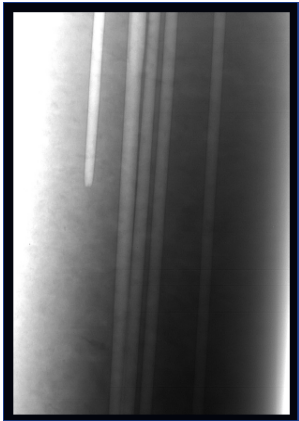
Blade01-3

Detector : DXR 250RT-E	225kV 6mA 64Integration	Detector : Vistalux 9SHR	
			

Blade02-1

Detector : DXR 250RT-E	225kV 8mA 64Integration	Detector : Vistalux 9SHR	165kV 6mA 64Integration
			

Blade02-1

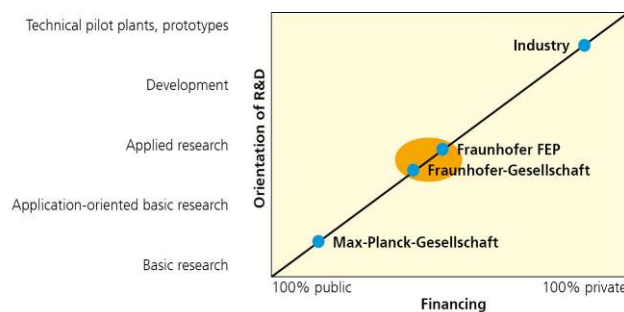
Detector : DXR 250RT-E	185kV 6mA 64Integration	Detector : Vistalux 9SHR	175kV 6mA 64Integration
			

左側影像檢測是採用 FP 偵測器，右側為 II+CCD 分析結果。

由上述結果可以看出採用 FP 偵測器得到的影像清晰、銳利且對比清楚，在 Blade01-3 的缺陷也可以檢測出來，但右側採用 II+CCD 偵測器則無法獲取缺陷的影像結果。另在左側其他由 FP 偵測器所檢測的圖像都可以將葉面及葉根清晰的呈現出來。然而觀察所使用的操作電壓最大僅為 225KV，與本所現有設備最大操作電壓相同，也可獲得清晰影像。因此，本所目前所使用的 II+CCD 偵測器無法取得清晰的影像，問題應該是偵測器的性能無法達到更微細的缺陷及更厚工件的檢測，而非 X 射線產生器的功率極限所致。因此未來在進行 X 射線即時影像檢測系統更新時，可以有多種更新方案可供選擇，而不一定需要將整個檢測系統更換。

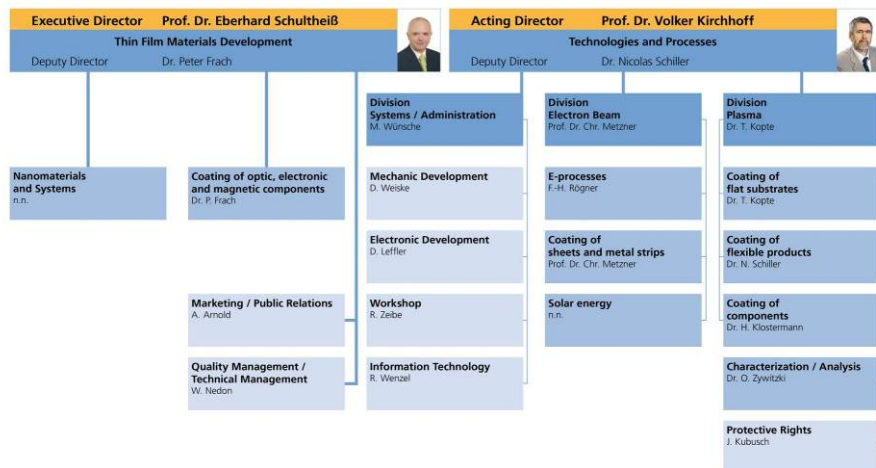
四、表面鍍膜技術實習－Fraunhofer FEP 機構參訪

Fraunhofer 協會是德國也是歐洲最大的應用科學研究機構，成立於 1949 年 3 月 26 日。Fraunhofer協會下設 58 個研究所，年經費 10 億歐元，員工人數超過 15000 人遍佈整個德國，總部位於慕尼黑。Fraunhofer 協會與德國科學基金會（DFG）和馬克斯-普朗克學會並列為德國三大研究組織之一。1965 年起，FhG 被確定為一個應用研究的支援機構。FhG協會制定了一種融資模式，使該協會與自身的商業成果緊密相連，也就是預算來源除由公部門公共計畫的投入之外，部份是來自對工業界服務的技術發展資金，其角色功能與台灣的工研院相似，這一模式便是後來著名的「Fraunhofer模式」（如下圖），Fraunhofer協會下的每個研究所均具有自有的基礎技術研究，每個研究所在市場上都是獨立運作。



本次參訪的機構是Fraunhofer FEP（Fraunhofer Institute for Electron Beam and Plasma Technology），位於德東大城DRESDEN，該機構成立於 1991 年，目前員工 114 人，2008 年年度總預算為 11.6Mio€，其中約 50%來自工業界的技術服務。在DRESDEN研究院區除FEP研究所外尚有IWS（Material and Beam Technology）、IKTS（Ceramic Technologies and Systems）、IFAM（Manufacturing Engineering and Applied Materials Research）3 個研究單位，為Fraunhofer協會之下第 2 大的研究中心。

Fraunhofer FEP 的主要研究領域為電子束及電漿技術在工業製程的發展應用，該研究所的組織架構為技術製程部門及薄膜材料應用部門，也就是在技術部門將電子束及電漿製程技術開發出來之後，薄膜材料部門則進行該技術的應用開發，就好像是綜研所各研究室開發出專業技術再藉由育成中心予以推廣應用。



Fraunhofer FEP 在電子束及電漿技術領域擁有 3 項核心技術，分別為電子束技術 Electron beam technology、脈衝式磁濺鍍技術 Pulse magnetron sputtering (PMS) 及電漿輔助快速沉積技術 Plasma-activated high rate deposition。

- 電子束技術：

電子束是一種非常彈性的工具，可以應用在材料製程處理的各階段程序中，譬如在焊接、調質、表面殺菌及塑料的改質。FEP 的電子槍設計有點、線 2 種激發型式。

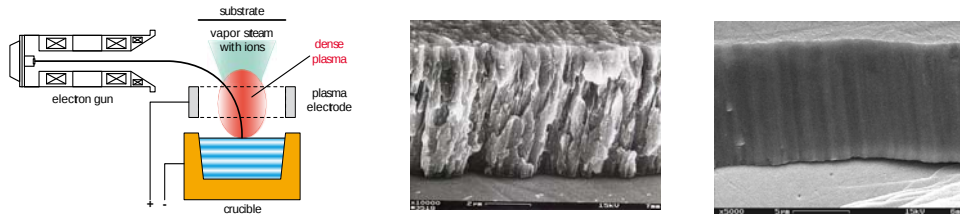
- 脈衝式磁濺鍍技術

脈衝式磁濺鍍技術是涵蓋真空鍍膜技術的開發及應用的一項專業技術。利用 10-100kHz 的脈波頻率變化產生磁控式氣體放電的技術，具有單極及雙極磁濺鍍 2 種系統，這項技術可以應用於快速沉積新的薄膜結構。

- 電漿輔助快速沉積技術

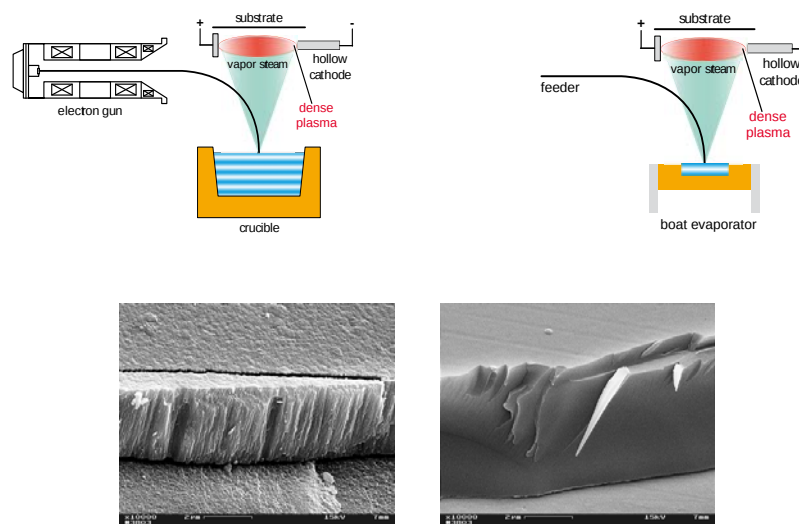
FEP 已開發出 3 種利用不同電弧放電供給源的電漿輔助快速沉積製程。藉由電漿輔助技術的導入，除可大幅提高沉積速率之外，鍍膜的品質緻密、缺陷少可得到優異的材料特性，因此這項技術也特別適合應用於大面積的鍍膜製程需求。3 種電弧源敘述如下：

— **spotless arc activated deposition (SAD process)**

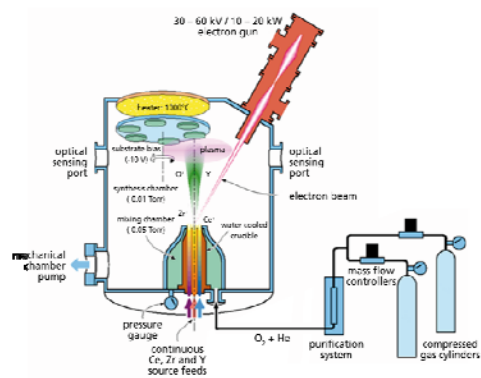


— **hollow cathode arc activated deposition (HAD process) :**

Electron beam evaporator/boat evaporator



— **directed vapor deposition (DVD)**

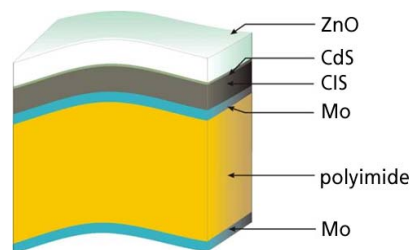


Fraunhofer FEP 的核心技術由 6 大事業單位進行發展應用，6 大事業單位分別為 Coating of flat substrates with optical layers and layer systems、Coating of flexible products、Coating of sheets and metals strips、Surface modification and treatment with electron beam、Coating of machine parts and tools、Coating of optic, electronic and magnetic components。其應用領域涵蓋利用電子束進行表面改質及處理、機械元件及工具的鍍層應用、金屬板材的鍍膜、軟性基板的鍍膜及光學、光電磁元件等鍍膜的應用。

FEP 的鍍膜技術與本室業務相關的主題有以下幾項：

● Photovoltaic

Thin film based photovoltaics : plasma molybdenum back contact by plasma activated EB-evaporation (CIGS-cells) / inorganic insulation layers by plasma activated EB-evaporation / deposition of a-Si on large areas by EB-evaporation / melting and solidification of Si-layers with crystalline structure (zone melting re-crystallisation)



Wafer based photovoltaics : rear side Al contact by high-rate deposition

Development on multi-layer stacks as transparent electrodes

● Hard coatings

Hard coatings (TiC / WC) : deposited with plasma activated high-rate deposition / SAD or HAD process onto large areas.

material	max. hardness in GPa	deposition rate in nm/s
amorphous carbon	14	20 (HAD)
Al ₂ O ₃	33 (γ nano crystalline)	50 (HAD)
CrN	20	10 (HAD)
CrZrN	35	30 (SAD)
SiOX	15 (with nano crystalline Si)	150 (HAD)
Ti – C (a-C:H:Ti)	33	100 (SAD)
TiN	40	40 (SAD)
W – C (a-C:H:W)	30	200 (SAD)

● “Superhard” coatings

1.7 μm **TiAlN** layer on 100Cr6 steel—

Hardness : 38 GPa/Young’s modulus: 436 GPa

Application : wear resistance of tools and parts

4.9 μm **ZrNbN** layer on 100Cr6 steel :

Hardness : 41 GPa/Young’s modulus: 445 GPa

Application : scratch resistance and anti-adhesion function at high temperature

● Welding

Product properties

- narrow weld seam without pollution and capillary
- no component distortion
- near net shape components
- pure material joining
- reliable and pure joining of material combinations
- precise weld seam
- reproducible quality

corrugated tubes



exhaust flanges
turbo charger shaft



pipe segment
copper—high grade steel



五、感想與建議

1. 歐洲太陽光電研討會為一年一度全歐洲也是全世界最大的太陽光電展，研討內容涵蓋各種新型太陽電池、材料與製程技術、太陽光電系統及各國太陽光電設置情形等議題，從研討會裏可以了解到歐洲乃至全球太陽能的最新技術及市場發展趨勢，由於資訊相當豐富，因此在資料的蒐集及議程的參與，以個人參加如此盛會易有遺漏重要訊息之慮，未來參與大型國際會議時建議公司可指派相關業務同仁一同參與議程，以收最大研習效益。
2. 歐洲太陽光電研討會每年在歐洲各國城市巡迴舉辦，其會議的研究議題或專題演講內容豐富，涵蓋solar cell基礎研究及PV系統的應用開發，對於後續在太陽能電池領域的工作及研究方向有相當多的啟發與鼓勵。而且許多為大會所接受的論文都有相當大的機會刊登於期刊上，因此研究所未來也可朝此方向提出論文發表，相信對研究水準的提昇相當有幫助。
3. 赴GE S&I Technologies進行超合金葉片X 射線即時影像檢測，以新一代Flat Panel偵測器可在適當的X光射源操作電壓下獲得完整的葉面及葉根影像，並可清楚定義出微缺陷發生位置及大小，因此未來在進行X 射線即時影像檢測設備更新時，單一偵測器系統的升級策略也可以是一個考量選項。
4. Fraunhofer FEP發展的電子束及電漿核心技術已廣泛應用在材料、軟性薄膜、光電、農業等領域並有相當不錯的成果。這次在參訪該機構期間獲得許多鍍膜新技術的概念及相關參考資料，在回國後與本所渦輪材料組研究同仁討論，認為其電漿輔助的設計以提高沉積鍍率的技術可以提供給本所製程研究開發的思考方向，因此該機構的核心技術藉由本次的交流參訪就可以被研究所拿來應用，未來可以在國內嘗試自行設計電漿源來改善鍍膜製程，而不需向國外購買專利設備，那麼這類參訪的效益就相當值得推薦。
5. 本次出國主要任務在參加24th EU PVSEC及GE S&I公司研討X射線即時影像檢測系統。不過在之前由文獻知道位於德國DRESDEN的IWS及FET機構在表面鍍膜技術皆有相當的研究

成果，因此希望趁此次赴德國機會順道參訪該機構。但由於無任何資源可以和該單位取得聯繫，在得知德國經濟辦事處可以協助台德雙方的互訪及交流後，便立即聯繫德國經濟辦事處承辦人員的幫忙，由於參訪目的及任務明確，因此承辦人員也主動協助安排相關機構參訪事宜，過程中也讓我感受到德國人處理事務明確又認真的態度。雖然參訪行程直到出發前2天才確定，不過一切程序皆在事前評估的情況下完成。即使到了參訪機構FEP，也因事前詳細的聯繫工作及明確的任務目的需求，完成了這次的出國行程。因此建議未來的出國行程，尤其是沒有交流合作的研究機構參訪，可以透過各國駐台辦事處協助聯絡事宜，也所得到相當成功的合作經驗。