

出國報告(出國類別：考察)

新世代能源系統關鍵技術開發－滾筒式薄膜太陽光電池技術出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：中校技正 林瑤冷

派赴國家：美國

出國時間：100.09.17~100.09.24

報告日期：100.10.24

國防部軍備局中山科學研究院出國報告建議事項處理表

報告名稱	新世代能源系統關鍵技術開發－滾筒式薄膜太陽光電池技術出國報告		
出國單位	第五研究所	出國人員級職/姓名	中校技正 / 林瑤冷
公差地點	美國	出/返國日期	<u>100.09.17</u> / <u>100.09.24</u>
建議事項	<ol style="list-style-type: none"> 1. 逐年建置CIGS太陽能電池捲對捲真空製程設備，進行新製程技術的開發：太陽能電池為可再生能源中最重要的一角，儘管目前產業景氣下滑，陸續有廠商退出市場，但未來在成本及售價大幅降低下，市場將大幅成長而具有相當大的商機，因此本院應積極投入新製程技術的開發，逐年推動建置CIGS太陽能電池捲對捲真空製程設備，包括製備高導電率的背電極及透明導電膜的捲對捲濺鍍設備及捲對捲CIGS真空鍍膜設備，以應未來產業的技術需求。 2. 綠建築概念的推廣：可再生能源的開發為時代的潮流及趨勢，然在各種再生能源陸續開發過程中，節能的概念亦十分重要，建議未來本院新增建物能加入綠建築的概念，架設可再生能源發電系統及使用省電照明燈具，以使本院綠能技術推廣更具說服力。 3. 整合技術相關部門提升競爭力：上下游供應鏈的整併是企業中常見降低生產成本的利器，本院正值轉型時期，若能對於技術屬性相關的單位加以整合，當有利於技術研究發展，提升未來之競爭力。 		
處理意見	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前正向經濟部申請新一期能源科專建案即以發展捲對捲製程技術為目標，並將籌購具有未來發展潛力的關鍵技術設備及分析設備，以發展完整的製程及分析技術。 2. 在綠建築概念上，本院已進行現有建物省電照明燈具的更換，而在未來新建物亦將考慮納入綠建築的規劃設計，以符節能減碳之潮流。 3. 目前本院轉型在即，未來組織亦將考量推動相關技術能量的整合及加強上下游的合作關係，以提升本院未來競爭力。 		

**國防部軍備局中山科學研究院
100年度出國報告審查表**

出國單位	第五研究所	出國人員 級職姓名	中校技正 / 林瑤冷
單 位	審 查 意 見		簽 章
一級單位	<p>一、本院在未來計畫將納入捲對捲製程技術的開發，新製程設備籌購將逐年規劃進行。在綠建方面，針對現有建物的照明推動更換省電燈具，而在未來新建物將考慮綠建築的規劃設計，以符節能減碳之潮流；另隨著未來本院轉型，組織亦將考量推動相關技術能量的整合以提升未來競爭力。</p> <p>二、本報告為一般論述，未涉本院研發內容，無洩密之虞。</p>		
計 品 會			
保 防 安 全 處			
企 劃 處			
批 示			

國外公差人員出國報告主官（管）審查意見表

針對林員赴美參訪之建議事項，本院已在未來計畫當中納入捲對捲製程技術的開發，亦著手進行新製程設備籌購規劃，除能滿足計畫需求建立國內自主技術，亦以追上國外現今發展中的技術為目標。現今本院也規劃朝向綠能產業進行發展，因此，除已進行現有建物省電燈具的更換外，未來在新建物上考慮納入綠建築的設計也是推動方向之一。現今本院面臨轉型在即，對於組織內技術領域相關單位亦將適時推動整合及加強上下游合作關係，以提升本院未來競爭力。

出國報告審核表

出國報告名稱：新世代能源系統關鍵技術開發－滾筒式薄膜太陽光電池技術出國報告			
出國人姓名		職稱	服務單位
林瑤冷		中校技正	國防部軍備局中山科學研究院
出國類別	<input checked="" type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____		
出國期間：100年 9月17日至 100年 9月24日		報告繳交日期：100年 10月24日	
計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2.格式完整 <input type="checkbox"/> 3.無抄襲相關出國報告 <input type="checkbox"/> 4.內容充實完備 <input type="checkbox"/> 5.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 6.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 7.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 8.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/> 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input checked="" type="checkbox"/> 9.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input checked="" type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 其他 本報告已於 100年 10月 24日完成組內同仁知識分享。 <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式：報告內容不涉機敏，資訊可公開。 敬會：保防官		
審核人	出國人員	初審（業管主管）	機關首長或其授權人員

說明：

- 一、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。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 資 料 頁

1.報告編號： CSIPW-100Z-H0006	2.出國類別： 考察	3.完成日期： 100.10.24	4.總頁數： 25
5.報告名稱：新世代能源系統關鍵技術開發－滾筒式薄膜太陽光電池 技術出國報告			
6.核准 文號	人令文號 部令文號	100.08.18 國人管理字第 1000011292 號 100.08.10 國備科產字第1000011505號	
7.經 費		新台幣：123,733 元	
8.出(返)國日期		100.9.17 至 100.9.24	
9.公差地點		美國	
10.公差機構		VEECO 公司及 RETECH 2011 研討會	
11.附 記			

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：新世代能源系統關鍵技術開發－滾筒式薄膜太陽光電池技術出國報告

頁數 25 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

國防部軍備局中山科學研究院/林瑤冷 /357258

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

國防部軍備局中山科學研究院/林瑤冷 /357258

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：100.09.17~100.09.24 出國地區：美國

報告日期：100.10.24

分類號/目

關鍵詞：

銅銦鎵硒太陽電池、捲對捲可撻式製程、可再生能源、聚光型太陽熱電系統

內容摘要：(二百至三百字)

隨著石油價格高漲及地球暖化等議題持續發酵，國際間一直努力尋找乾淨、可再生的替代能源，太陽能是目前被積極開發的主角之一，本院執行科專計畫「新世代能源關鍵技術開發計畫」即以銅銦鎵硒薄膜太陽能電池為研究對象，並規劃派員赴美參訪 VEECO 公司，參觀該公司所開發的銅銦鎵硒太陽能電池製程設備、研討可撻式薄膜太陽電池製程技術及製程設備開發，以了解銅銦鎵硒薄膜太陽電池製程技術及設備發展趨勢；另藉由參加「可再生能源技術研討會」(Renewable Energy Technology Conference)，研討太陽能熱電技術、先進燃料技術及太陽能電池等可再生能源相關技術，以了解包含太陽熱電、太陽能電池等可再生能源技術未來發展趨勢，做為計畫後續建案規劃參考。

目 次

壹、目的.....	(9)
貳、過程.....	(9)
參、心得.....	(22)
肆、建議事項.....	(24)
附 件.....	(無)

新世代能源系統關鍵技術開發－滾筒式薄膜太陽光電池技術出國報告

壹、目的

近年來隨著石油價格高漲及地球暖化等議題持續發酵，國際間尋找乾淨、可再生的替代能源之聲不絕於耳，因此取之不盡用之不竭的太陽能理所當然成爲各國積極開發的主角。目前太陽能的研究主要有二大類，分別爲太陽能電池(Solar Photovoltaic Cells)及太陽熱能(Solar Thermal Energy)。其中太陽能電池依其型態可概分爲(1)矽晶太陽能電池，(2)薄膜太陽能電池，(3)染料敏化(Dye Sensitized Solar Cells; DSSC)太陽能電池等類。其中薄膜太陽能電池不僅生產耗費材料少、能源償付期(Energy Pay-back)短，且其轉換效率在近年亦快速提升，以銅銦鎵硒薄膜太陽能電池(copper indium gallium di-selenide, CIGS)爲例，小面積已可達20%，直追矽晶太陽能電池，而薄膜太陽能電池更可製備在諸如不銹鋼等可撓性基板上，不僅使其可攜性及應用性大幅提升，且可藉由捲對捲的生產方式大幅降低生產成本，故被視爲未來極具商業化生產之薄膜太陽能電池，此亦爲本院執行科專計畫「新世代能源關鍵技術開發計畫」之研究開發對象。爲利執行本計畫遂規劃本年度派員赴美參訪 VEECO 公司，參觀該公司所開發的銅銦鎵硒太陽能電池製程設備、研討可撓式薄膜太陽電池製程技術及製程設備開發，以了解銅銦鎵硒薄膜太陽電池製程技術及設備發展趨勢；另藉由參加「可再生能源技術研討會」(Renewable Energy Technology Conference)，研討太陽能熱電技術、先進燃料技術及太陽能電池等可再生能源相關技術，以了解包含太陽熱電、太陽能電池等可再生能源技術未來發展趨勢，做爲計畫後續建案規劃參考。

貳、過程

本次公差行程主要分爲二部份：一是參訪 VEECO 公司位於麻薩諸塞州洛威(LOWELL)的銅銦鎵硒薄膜太陽能電池設備部門，參觀所開發的可撓式銅銦鎵硒薄膜沉積系統(FastFlex CIGS Deposition System)，研討可撓式銅銦鎵硒薄膜太陽電池製程設備開發趨勢；其二是參加「可再生能源技術研討會」，研討太陽熱電技術、先進燃料技術及太陽能電池技術、先進材料及化學技術、能源效率及綠建築、再生能源及智慧電網技術等可再生能源技術發展趨勢。

首先是 VEECO 公司的參訪，由於洛威爲波士頓附近的小城鎮，並無機場，因此由國內

搭機先經洛杉磯入境美國後，轉美國國內班機至波士頓，再由波士頓機場搭車至北車站(North Station)轉車至洛威，由於是第一次單獨出國，心情倍感緊張，沿路小心謹慎，幸好美國道路標誌標示清楚，方不致迷途，但卻也無心欣賞沿途景觀。VEECO 公司為一國內外極富盛名的半導體薄膜設備製造廠，其產品諸如分子束磊晶系統(Molecular Beam Epitaxy System)、物理氣相沉積系統(Physical Vapor Deposition System)、離子束系統(Ion Beam System)及化學氣相沉積系統(Chemical Vapor Deposition System)等薄膜製程設備應用在半導體及發光二極體製程，近年來更看好太陽能市場，積極投入銅銦鎵硒(Copper, Indium, Gallium and diselenide; CIGS)薄膜太陽能電池的製程設備開發，此次行程即係參訪該公司銅銦鎵硒太陽能電池製程設備部門。在抵達該公司位在洛威的太陽能電池製程設備部門，經表明來意後公司人員告稱公司已宣佈結束 CIGS 設備業務，該部門將不再進行商業活動，僅由公司人員 Mr. Tu 說明現有技術能量後由其引導參觀 FastFlex CIGS 沉積系統。該公司認為在各種生產製程中以捲對捲(Roll to Roll)的生產模式，最具大幅降低成本的潛力，但也是最複雜困難的，FastFlex CIGS 沉積系統即針對捲對捲銅銦鎵硒薄膜太陽能電池製程所設計，系統所佔地板面積約為 8 公尺 x3.5 公尺，高度約為 3.5 公尺，若再考慮實際操作及維修的空間，則所需的地板面積約為 10 公尺 x6 公尺，高度至少需 4 公尺，如此在更換不銹鋼捲及維修時方能有足夠空間從容進行。CIGS 薄膜太陽能電池製程設備開發之困難在於 CIGS 薄膜太陽能電池所需的各結構層如阻障層、下電極層、吸收層、光窗層等，各層間的製程需求環境及條件不同，尤其吸收層的製程必須在高溫(550°C)且含高濃度的硒蒸氣下進行，由於硒蒸氣對於濺鍍靶材有毒化作用，因此系統設計時必須將上述膜層分歸在二不同製程腔，分別為濺鍍製程腔及蒸鍍製程腔，其中濺鍍製程腔是進行金屬及氧化物的濺鍍功能，將製作 CIGS 太陽能電池所需的阻障層(Barrier Layer)、下電極層(Back contact layer)、光窗層(Window Layer)等各種濺鍍製程整合在此濺鍍製程腔中，而為了避免各鍍層製程間的交互污染，鍍源之間的隔離是必需加以考慮的；其次是蒸鍍製程腔，進行銅、銦、鎵、硒四種元素的共蒸鍍製程功能，將製作 CIGS 太陽能電池所需的 CIGS 吸收層以共蒸鍍的方式進行製作。系統各部份的設計概念如下：

1. 系統真空設計：此為真空系統的基礎，因此在設計時須考量腔體大小、製程類別、抽氣速率及背景真空度等因素，在 FastFlex 系統中以二組冷凍幫浦(Cryo-Pump)搭配機械幫浦(Mechanical Pump)做為系統的背景真空之用，而在製程腔部份則以二組分子渦輪

幫浦(Molecular Turbine Pump)提供製程必需的真空度。

2. 不銹鋼箔捲送設計：在捲對捲製程設備中，所用的基板厚度一般在 100 微米以下，因此有相當的可撓性，而基板的長度則由數拾公尺至一千公尺，因此在連續製程中若不能平順的進行基板的捲送將造成基板的皺折及偏移，而使整個製程失效，不僅浪費材料甚且因需進行排除作業而影響產能，可知基板的捲送系統在製程中是極為重要的。FastFlex CIGS 沉積系統的不銹鋼箔捲送設計分為進料(Payout)及捲收(Take-up)二部份，二部份皆有一組張力控制器，可進行正反向的捲送。張力控制器的原理係藉由控制器的回饋訊號控制捲收馬達的轉速，以達到控制不銹鋼箔捲送過程的張力作用。若無此張力控制器控制當捲收馬達以固定轉速捲收時，鋼箔捲收的半徑將逐漸增大，造成捲收線速率的增大，將因而造成鍍膜厚度逐漸變薄而不均勻，且易因張力不一致而使捲收過程產生位置偏移，造成製程的失誤，可知張力控制實為捲對捲製程重要的一環。
3. 鍍源設計：在鍍源的部份計有濺鍍腔的金屬、氧化物的濺鍍源及蒸鍍腔的 CIGS 蒸鍍源二部份，分別說明如下：
 - (1) 背面保護層：利用二組直流濺鍍源進行背面鉬(Molybdenum; Mo)保護層的製作，此層雖非 CIGS 太陽能電池的工作層，但為可撓式 CIGS 太陽能元件製程所需，不僅用以做為不銹鋼箔背面的保護，避免不銹鋼箔在後續高溫的硒環境中產生反應影響品質，亦做為一基板應力平衡之用，所需厚度約為 150 奈米(nm)。
 - (2) 阻障層：利用一組直流濺鍍源進行鉻(Chrome; Cr)阻障層製作，此層除做為阻擋不銹鋼箔所含雜質在後續高溫製程中擴散影響後續膜層品質，亦因 Cr 的附著性佳，兼具有做為鉬電極與基板間的附著層之用，所需厚度約 150 奈米(nm)。
 - (3) 電極層：利用三組直流濺鍍源進行鉬(Molybdenum; Mo)電極層的製作，為可撓式 CIGS 太陽能元件之下電極層(Back Contact)，所需厚度約為 0.5~1.0 微米(um)。
 - (4) 光窗層：光窗層是由本質氧化鋅膜(Intrinsic Zinc Oxide; i-ZnO)及氧化鋅鋁(Aluminum Zinc Oxide; AZO)所構成，利用一組射頻濺鍍源進行 i-ZnO 膜層的製備，所需厚度約 40~80 奈米(nm)，並以三組直流濺鍍源進行 AZO 膜層的製備，所需厚度約為 0.3 ~1.0 微米(um)，此層不僅做為太陽光入射的窗口外，並做為 CIGS 太陽能電池的上電極

(Front contact)。

- (5) 銅銦鎵硒吸收層：係利用一組包含銅(Copper)、銦(Indium)、鎵(Gallium)及硒(Selenium)四種蒸鍍源所構成的共蒸鍍系統所進行，同時為提高鍍膜幅寬內膜層的均勻性，銅、銦、鎵鍍材均以二組鍍源來進行，而為使膜層硒化反應完全，因此硒鍍源更透過特殊設計的導流管路及噴氣口使鍍膜區的硒蒸氣分佈更均勻，從而提高 CIGS 膜層的品質。



圖一、 FastFlex 鍍膜系統

在參訪過程中 Mr.Tu 表示該公司最初看好 CIGS 薄膜太陽能電池，故在過去四年間陸續收購設備製造商 Mill Lane 公司及發展 CIGS 技術的 DayStar Tech. 公司，也因此開發出 CIGS 製程設備--FastFlex CIGS 沉積系統，惟因全球 CIGS 製程技術至今未規格化，且製程技術難度高，導致 CIGS 薄膜太陽能電池一直無法進入太陽能電池主流地位，目前在全球太陽能電池的市場僅佔約 2%，再者 CIGS 真空製程設備所需資本投資較矽晶太陽能電池製程設備高出許多倍，在太陽能電池價格持續走低下，亦不利 CIGS 真空製程設備的銷售，是以該部門成立來每年皆大幅虧損，因此該公司雖認為 CIGS 薄膜太陽能電池具有商業化潛力及利基，但以現今太陽能電池景氣及對 CIGS 技術的接受度， CIGS 薄膜太陽能電池在數年內恐仍無法進入主流地位，故在獲利考量下公司已宣佈退出 CIGS 設備市場，未來將專注在半導體設備、模組及所需耗材的開發及銷售，該部門人員已開始進行疏處作業，CIGS 設備產線亦已停止，故無緣參觀該公司 CIGS 設備組裝，殊為可惜。

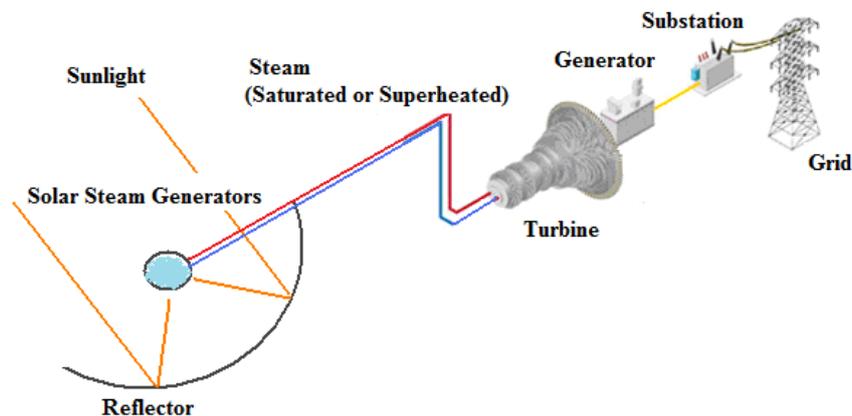
其後轉往華盛頓特區參加「可再生能源技術研討會」，研討太陽熱電技術、先進燃料技

術、太陽能電池、先進材料及化學技術、能源效率及綠建築、再生能源及智慧電網等技術。



圖二、可再生能源技術研討會場景

在太陽熱電技術(Solar Thermal Electric)主題，主要研討聚光型太陽功率系統(Concentrated Solar Power System)即一般所稱太陽熱能系統(Solar Thermal Energy System)，係利用太陽熱能產生高溫高壓蒸氣進而推動渦輪機進行發電的技術。邀請 eSolar 公司 Mr. John Van Scoter、AREVA Solar 公司 Mr. Jayesh Goyal、Abenqoa Solar 公司 Ms. Kate Maracas、Solar Reserve 公司 Mr. Tom Georgis 研討聚光型太陽功率系統的發展及展望。



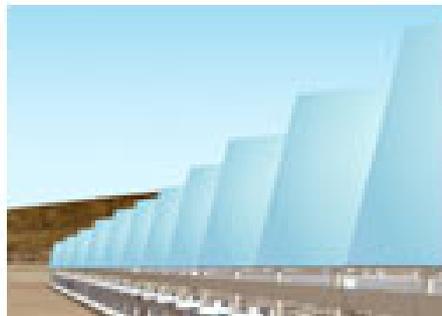
圖三、聚光型太陽功率系統原理圖

聚光型太陽功率系統中主要包含三大部份，分別為聚光鏡模組、受熱模組、渦輪發電機模組；聚光模組是由數千個至上萬個日光反射鏡(heliostat)聚集達數千至上萬個太陽的太陽光強度，照射在受光模組，使受光模組得以產生高溫，並產生高溫高壓的過熱蒸氣。而構成聚光模組的日光反射鏡各公司的設計略有不同，但一般都具有追日設計，因此可使聚光效果最佳化，並藉由模組化大量生產的日光反射鏡以達到組裝快速的優點，降低模組成本及組裝成本。如 eSolar 公司所建造的 Sierra SunTower 系統中，藉由 24,000 面模組化的追日反射鏡可反射達 20,000 個太陽的光強度至受熱模組，產生 440°C 及 60 大氣壓(bar)的蒸氣，再由一組 GE 所生產的蒸氣渦輪發電機進行發電。以此二組聚光型太陽功率模組可提供 5MW 的可再生

能源，供應南加州達 4000 戶家庭用電，每年約可減少 7,000 噸二氧化碳排放。

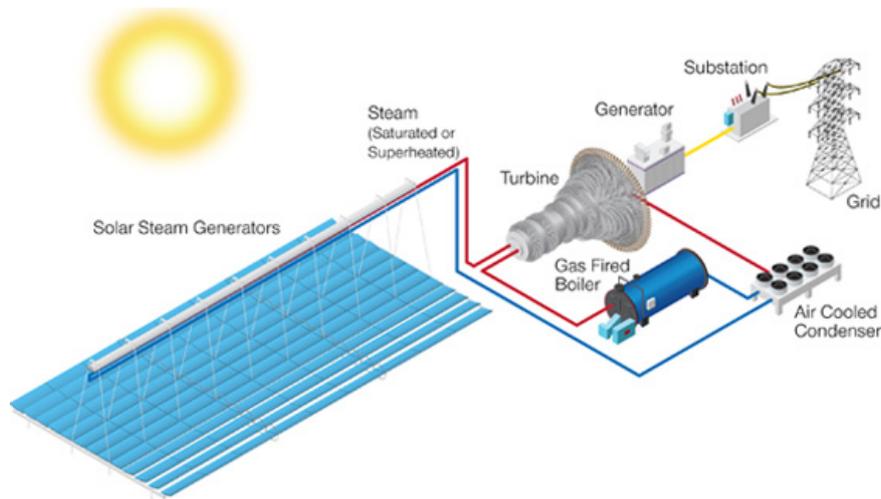


圖四、eSolar 公司在 Sierra SunTower 系統



圖五、eSolar 公司日光反射鏡(heliostat)設計

而在 AREVA Solar 公司則是透過 Compact Linear Fresnel Reflector (CLFR)的設計將太陽光聚集在線性受熱模組上。由於使用模組化的平面反射鏡來聚光，具有易組裝及成本效率高的功能。同時使用可兼用天然氣為燃料的複合式渦輪發電機，更可滿足太陽光照不足時的發電設計，以提供一穩定的電源。受熱模組內使用鈉鉀氮化物作為熱傳導媒介，將受熱模組所產生高溫帶至熱能儲槽中儲存，再穩定將熱能傳送至蒸氣機產生蒸氣，以推動渦輪發電機產生電力，此機制類似於一般的燃煤或天然氣火力電廠，除了它是以乾淨免費的太陽光的燃料。SolarReserve 公司甚至已可利用此系統提供與燃煤或天然氣發電相當的電價。



圖六、AREVA Solar 公司的聚光型太陽功率系統圖



圖七、AREVA Solar 公司的 Compact Linear Fresnel Reflector (CLFR)

在先進燃料(Advanced Fuels)主題，則邀請 Passmore 公司 Mr. Jeff Passmore、Amyris 公司 Mr. Kinkead、IF 公司 Mr. David Haberman、Michael Best & Friedrich 公司 Mr. Geoffrey Morgan、BP Biofuel 公司 Mr. Susan Ellerbush，就其所觀察在生質燃料--生質柴油、生質丁醇 (Biobutanol)及纖維素乙醇(Cellulosic Ethanol)等先進能源的發展趨勢進行研討。

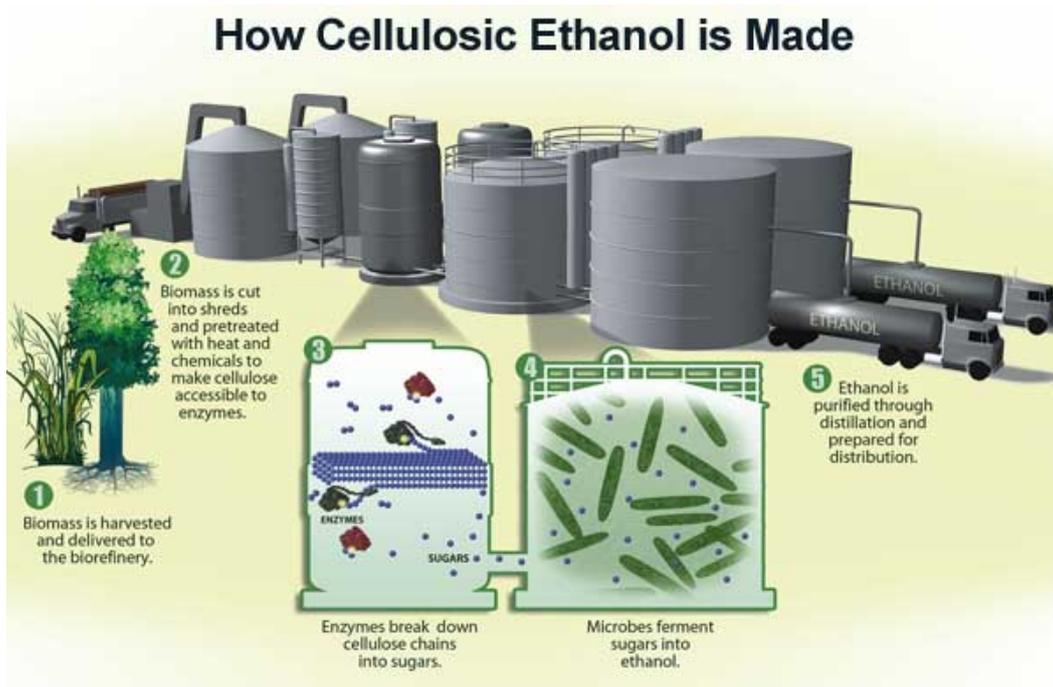
1. 生質柴油：利用種植含油量高的生質作物提煉油脂已行之有年，惟要獲得更經濟的效益，可選擇含油量高的生質作物進行推廣，而由表中所見海藻(Algae)具有很高的含油量，因此如何進行大規模的培植進行煉油是未來努力的重點。
2. 纖維素乙醇(Cellulosic Ethanol)：其製程步驟包括：(1)將農作的生質原料運送至生質精煉廠；(2) 將生質原料切成碎屑，並進行加熱及添加化學品以利纖維素進行發酵水解作用；(3)發酵作用將纖維素鍵結打斷形成糖類；(4)微生物將糖類發酵形成乙醇；(5)以蒸餾方式將乙醇進行純化精煉。纖維素乙醇的原料是利用農作廢棄物或其它能源作物的莖葉纖維

素，藉由加入觸媒可使其纖維素轉化為乙醇，其製程上有較佳的水循環效率且副產品可被回收做為肥料，最重要的是纖維素生質燃料降低溫室氣體的效果也比第一代的生質燃料好，藉由廢物再利用而獲得能源，且可避免與人爭食物，而是若能大規模進行，不僅有利降低石化燃料的需求，更能增加農民的收益。

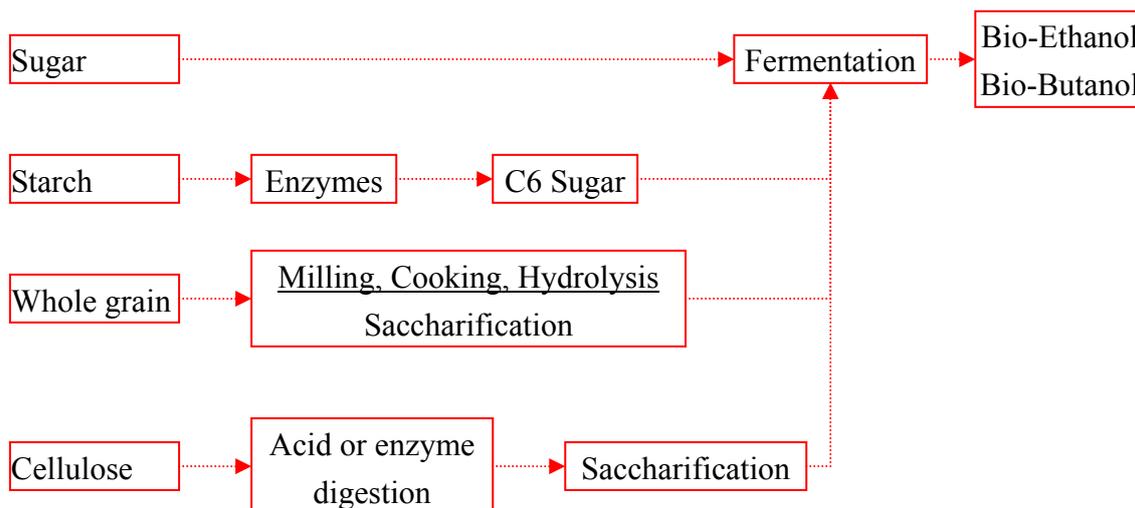
3. 生質丁醇(Biobutanol)：丁醇為一種含能比乙醇高的先進燃料，其製造方式可使用現有的生質原料，如甘蔗、小麥、玉米等，未來更將以可提供能量的草為原料。BP Biofuel 公司與 DuPont 公司合作在英國設立實驗工廠，以驗證可製造成本效率高的丁醇。丁醇可與汽油混合的比例更高於乙醇，且由於丁醇的性質與汽油相近，實驗證明可用於現有的汽油引擎而無需進行引擎的改裝，如此將可使生質燃料的引入更為有利且快速，因而被視為下一代的生質燃料。

表一、生質作物油產量比較

Crops	Oil Yield (Gallon/Acre)
Corn	18
Cotton	35
Soy Bean	48
Mustard Seed	61
Sun Flower	102
Rapeseed/ canold	127
Oil Palm	635
Algae (50g/m ²)	1000



圖八、纖維素乙醇製程概圖



圖九、生質燃料的製備途徑

在太陽能電池(Solar Photo Voltaic cells)主題，邀請 Q-cells 公司 Mr. Nick Chaset、Recurrent Energy 公司 Mr. Sheldon Kimber、BP Solar 公司 Mr. Danny Cunningham、First Energy Finance 公司 Mr. David Arfin、Oerlikon Solar 公司 Ms. Chris O'Brien、SunEdison 公司 Mr. Attila Toth 就目前太陽能電池的技術、市場等走勢進行研討。太陽能市場在各國推動再生能源的鼓勵政策中逐漸增大，但產能的增加速度卻更快，造成太陽能電池價格的持續走跌，現今太陽能電池(Solar Photo Voltaic cells)商品中仍以矽晶太陽能電池為主，而歐洲至今仍是世界上最大的太

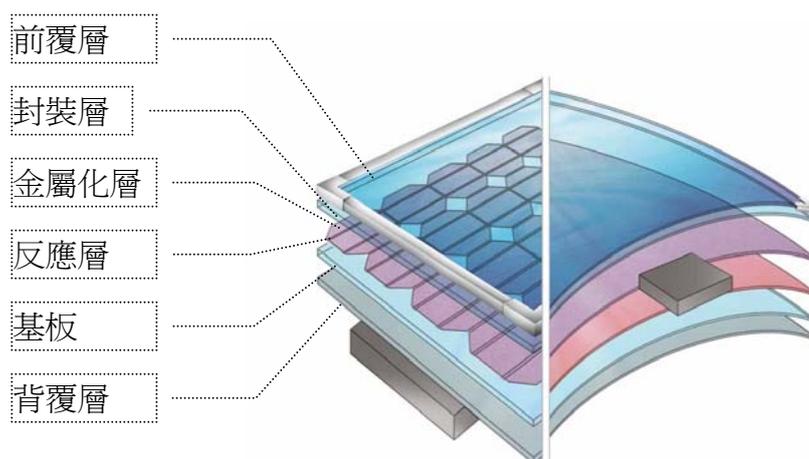
陽能電池市場，因此歐債危機造成歐洲各國財政上的問題，進而影響太陽能電池的補貼政策，造成今年下半年太陽能電池景氣慘淡情況。另一方面，隨著美國及新興國家政策鼓勵，歐洲市佔率已由去年的 80% 降至今年的 68%，預計至 2015 年美國將取代德國成為最大的太陽能電池單一市場。但因產能擴張速度太快，在各國補貼政策逐漸縮減下，因此銷售市場不佳，使得太陽能電池模組的價格急劇下挫，因此太陽能電池產業所要面對的是各廠商及與市電的價格競爭，生產成本的降低成為首要的目標。

太陽能電池產業面對太陽能電池模組的價格急劇下挫所造成的產業獲利警訊，首要因應之道便是降低製造成本，而其方法則在於：(1) 進行上下游整合以取得便宜穩定的原料。以矽晶太陽能電池看，太陽能矽晶片製造商 GCL-Poly 便於日前宣佈投資 7700 萬美元與其下游客戶 Canadia Solar 合資於中國蘇州設廠生產 Canadia Solar 所需的 600MW 多晶矽，未來更將擴充至 1.2GW; GCL-Poly 另與 Goldpoly 合資於廣州設立一 300MW 的多晶矽晶片生產工廠；而另一家太陽能元件製造商 JA Solar 則於日前宣佈 100% 收購矽晶片供應廠 Siliver Age Holding Limited，都是為了獲得穩定的低價料源。(2) 光轉換效率的提升。據估計光效率每提高 1%，約可增加利潤約 6%，因此藉由背接觸 (Back contact) 技術的開發，使受光面無金屬電極，估計約可提升元件的受光面積 7%，使模組得到更大的功率輸出；及採用疊層結構可大幅提升光轉換效率。(3) 提高生產良率。增加良品率為降低生產成本最重要的一環。(4) 提升生產效率。薄膜太陽能電池所需的原料少，且其基板無需使用矽晶片可降低原物料的成本，其缺點便是製程設備較貴，產線所需的資本投資較大，惟藉由捲對捲的連續生產方式，可提高薄膜太陽能電池的生產效率降低生產成本，依 NREL 的看法認為，若在製程成熟穩定條件下，每瓦可撓式太陽能模組生產成本較在玻璃硬板上的生產成本低 \$0.17 ~ \$0.94。(5) 使用適當材料增加模組的使用壽命。太陽能電池的使用成本決定於模組的成本及使用壽命，一般要求其壽命能由目前 20 提升至大於 25 年，則其發電成本便可降低，又由於全年的氣候條件差異極大，有風砂、雨淋、日曬、冰雪等各種不利的環境因素影響，因此在材料的選用上必須考慮材料的強健性、抗紫外光、溫度係數、耐腐蝕性、絕緣性、可靠度、耐用度及安全性等，以確保模組可長時間使用且不毒害環境。尤其在 CIGS 薄膜太陽能電池部份，易受水汽影響，使用高品質的封裝材料以確保電池的輸出並增加模組的使用壽命，對降低使用成本是極為重要的。

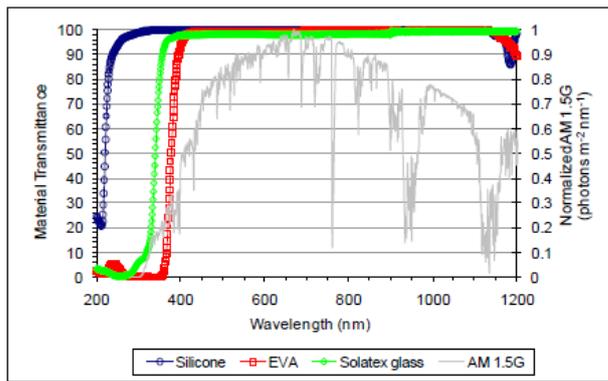
在先進材料及化學(Advanced Materials and Chemicals)主題，係研討使用先進的材料及化

學物在可再生能源的應用。邀請 DuPont 公司 Dr. Jeffberg、Applied Nanostructured Solution 公司 Mr. Tushar Shah、Novozymes A/S 公司 Mr. Thomas Schafer、Dow Corning 公司 Mr. Eric Peeters 進行研討。以太陽電池模組結構而言，所需使用的封裝用料及需求特性包括：

- (1) 前覆層材料(Frontsheet Materials)：應能具有比玻璃輕、不易碎且耐用有助於增加太陽能電池的功率輸出。
- (2) 光電池的封裝料(Photovoltaic Encapsulants)：封裝料可提供太陽能電池模組長期的保護，故必須考慮紫外光及溫度耐受度。
- (3) 光電池的金屬化層(Photovoltaic Metallizations)：做為光電流的傳導用，因此電阻率及成本是其考量要素，便宜且特性良好的金屬導線可提升模組的效率、降低使用成本。
- (4) 薄膜元件的承載基板(Thin Film Substrates and Superstrates)：要能承受非晶矽(a-Si)，銅銦鎵硒(CIGS) 及碲化鎘(CdTe)模組製程中的溫度，要具有低的熱膨脹係數，以降低膜層應力，提升產率。
- (5) 其它電路及結構元件用料：須考量系統架設在室外，要在紫外光及溫溼度變化的嚴苛環境能提供長期穩定的電性及結構性。
- (6) 背覆層材料(Backsheet Materials)：應能具有比玻璃輕、不易碎且耐用，可耐受紫外光及天氣的影響。



圖十、太陽能電池結構圖

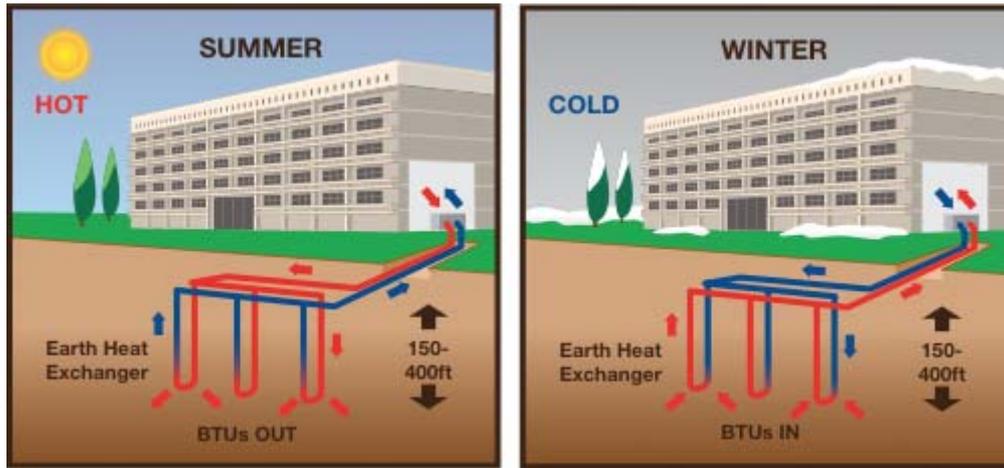


encapsulant	Jsc bare (mA/cm ²)	Jsc encap (mA/cm ²)	Relative Change Jsc encap/bare
IV			
Silicone	34.55	33.90	1.46
EVA	33.86	32.74	
SR			
Silicone		34.67	1.03
EVA		34.32	

圖十一、使用 Dow Corning 的封裝材料 EVA 及 Silicone 穿透光譜及對矽晶太陽能電池輸出影響

在 DuPont 公司的太陽電池方案中即包括使用該公司專利產品 Tedlar PVF 膜(polyvinyl fluoride film)做為太陽電池的背板，以 Elvax EVA 樹脂(ethylene vinyl acetate resins) 做為玻璃背板模組的封裝填料。

在能源效率及綠建築(Energy Efficiency and Green Buildings)主題，是討論在能源效率及綠建築技術的創新及技術的應用。邀請 Battery Ventures 公司 Mr.Jason Matlof、Skanska 公司 Mr. Christopher Storm、Enlink Geoenergy 公司 Mr. Mark Mizrahi、Energy Future Coalition 公司 Mr.John Jimison 進行研討。綠建築的基本觀念在於降低石化燃料的需求，以減少二氧化碳等溫室氣體的排放，其終極目標為零能量建築(Zero-energy building)，亦即建築物內所有的能量皆取之於可再生能源諸如藉由風力及太陽能進行發電而不使用石化燃料。而在建築物消耗的能源主要在照明及空調上，在照明部份使用省電的發光二極體燈源，而室內空調部份則藉由地熱幫浦(Geothermal Heat Pump; GHP)系統即一般所熟知的地熱交換系統進行室溫的調節。地熱幫浦系統的應用已經數超過半個世紀之久，目前超過一百萬套地熱幫浦系統已經安裝在美國商業、及傳統住宅大樓裡，地熱幫浦系統運轉過程無需使用冷卻器或鍋爐可顯著降低能源的使用和水電瓦斯費，且不產生污染的排放。地熱幫浦系統的原理是很簡單的，它是利用地表下恒溫的土壤做為冷卻時高效率的散熱源及加熱時的熱源，當夏天時溫度較高的循環水流經地表下溫度較低的土壤，而得到冷卻再流進建築物內進行室內冷卻循環；反之，在冬天時，由於地表下土壤的溫度，高於建築物內的溫度，因此低溫的循環水流經地表下的土壤會被加熱，使水溫提高，進而流進建築物內使室內溫度得以保持溫暖。



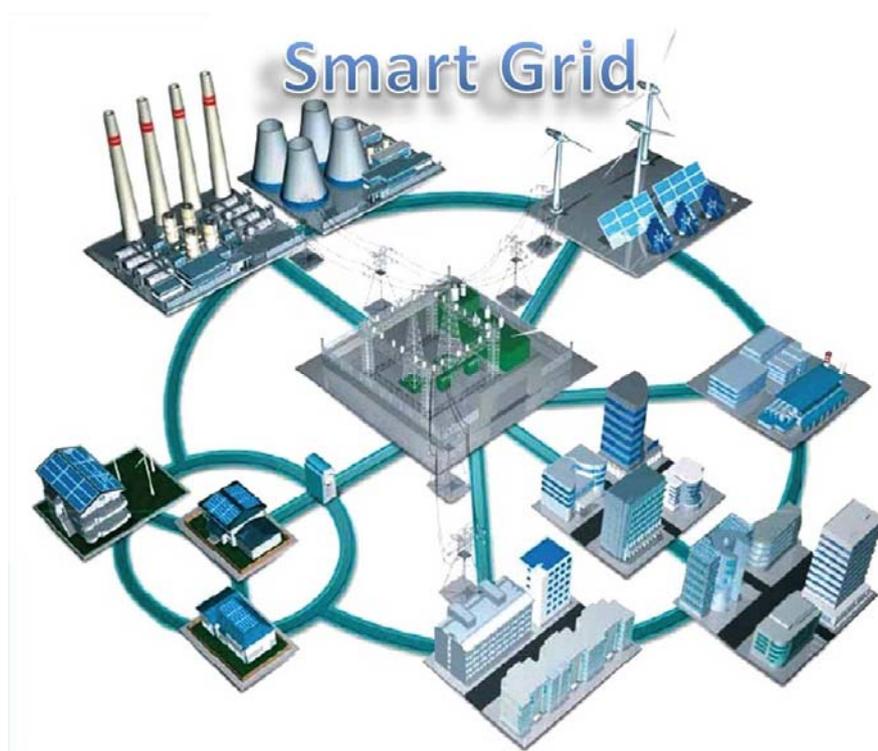
圖十二、地熱幫浦系統

在智慧電網及資訊技術(Smart Grid and information technology)主題，是討論包括智慧電網、電網安全及可再生能源與市電併聯的安全問題、客戶介面及切換技術、數據管理、儲存及分析。邀請 San Diego Gas & Electric 公司 Mr. Armando Infanzon、Cisco 公司 Mr. Taft、Novozymes、PJM Interconnection 公司 Mr. Chantal Hendrzak、Amplex 公司 Ms. Jens Horup Jensen 進行研討。在一般日常作息中尖峰及離峰所需電量相差可達數倍之多，若電廠為了滿足尖峰用電便需一再擴建電廠將發電量極大化，但在離峰時便造成發電量的浪費，因此若能了解用電戶的使用狀況，將離峰電力予以儲存以彌補尖峰用電的不足，同時藉由聯結整合各種可再生能源如太陽能發電、風力發電等當地發電系統，可減少長途電力傳輸的損耗，將可使電力投資效率最大化，亦可減少石化燃料發電的容量，使發電成本下降，同時達成節能減碳目的。

要確實了解各用戶的用電情形，必須要有綿密的電力資訊檢測、傳輸與資料分析系統，隨著近年網路資訊技術的發展，方能使此智慧電網的觀念得以實行，但智慧電網(Smart Grid)所要面臨的挑戰除了資料的收集(Data collecting)、資料的處理(Data processing)、資料的儲存(Data storing)、資料的保護(Data protecting)外，能源的儲存是最重要的一環。若無能源的儲存，則智慧電網無法達到提供可靠(reliability)、效率(efficiencies)、成本(costs)的潛能。以一般市電的要求：電源變動率應小於 $\pm 10\%$ ，但實際太陽能發電及風力發電的輸出卻會隨著環境日照及風力大小的變化而有大幅度的改變，無法提供穩定的發電量，因此需藉由儲能裝置以降低其瞬間輸出的變動率，故整合各種再生能源的智慧電網中，能源的儲存裝置是發揮功能的關鍵，靠著儲能裝置的充放電循環，得以提供穩定的電源。而一般儲能系統容量選用步驟

包括：

- (1) 模擬太陽能發電或風力等可再生能源發電全年的發電輸出分佈(production profile)。
- (2) 配合可再生能源發電的輸出變動決定儲能電池的循環分佈(cycling profile)。
- (3) 配合儲能電池的循環分佈並考量電池的最大及最小放電量，並決定儲能電池的理論容量及功率。
- (4) 考量安裝壽限以符合儲能電池的容量及循環分佈。
- (5) 最佳化儲能電池的容量、壽期及運作。儲能系統的最佳化是一反覆考量電池費用及壽期、系統設計及整合、系統成本及收益的程序。



圖十三、San Diego Gas & Electric 公司智慧電網架構圖

本次「可再生能源研討會」會場另有邀請數十家包括太陽能電池、風力發電、生質能等可再生能源相關業者進行小型展覽會，藉此機會向參展廠商 Andritz 公司詢問該公司不銹鋼捲規格現況，然由於 Andritz 公司本次係由其生質能事業部參展，故僅能概略告知該公司目前不銹鋼捲產品厚度可達 50 微米，長度則可依顧客需求由 30 公尺至 1000 公尺，而表面粗糙度在經過表面處理後可低於 50 奈米。或許由於推動可再生能源最有力的歐美國家陸續傳出財政及經濟問題，使得再生能源景氣快速冷卻，因此本次參展廠商多以書面看板配合解說方式參與展覽，僅少數太陽能電池業者展示多晶矽太陽能電池模組，而無新技術產品的發表展示，因

而會場略顯冷清，甚至往年均參展的美國再生能源實驗室(National Renewable Energy Laboratory; NREL)今年則未參展。



圖十四、可再生能源研討會展覽場場景

參、心得

追尋乾淨無污染、可再生的能源是能源發展趨勢，但在現實環境下仍不免受政府政策、市場經濟環境及公司財務狀況所影響。在參訪 VEECO 公司中，了解該公司投入半導體製程及檢測設備研究數十年，具有很強的製程及檢測設備研發技術能量，近年來積極投入發展薄膜太陽能電池製程設備，並且選擇最具發展潛力的 CIGS 薄膜太陽能電池捲對捲製程設備進行開發，最終雖完成 FastFlex CIGS 沉積系統，但目前在主流的矽晶太陽能電池因生產過剩，價格下滑嚴重下，而 CIGS 太陽能電池因製程未能規格化，且終端市場對 CIGS 太陽能電池的接受度未如預期，目前僅佔全球太陽能電池的市場不到 2%，因此該公司 CIGS 太陽能電池製程設備部門成立數年來每年皆呈嚴重虧損，VEECO 公司雖認為 CIGS 薄膜太陽能電池有商業化潛力及利基，但在短期內該部門仍將無法獲利，故考量公司獲利及營運下乃忍痛宣佈退出 CIGS 設備市場，未來將專注在半導體設備市場經營。對照該公司最初看好 CIGS 薄膜太陽能電池而在數年間陸續收購設備製造商 Mill Lane 公司及發展 CIGS 技術的 DayStar Tech. 公司的企圖心，令人感慨市場景氣變化的快速，再者，體認到製程設備開發必需建構在主流製程上，如此設備推出方能引起市場的共鳴而有好的銷售成績；反之，若製程未規格化，則開發設備的風險相對增加。

當前已經有包括太陽能、風力及生質能等多項可再生能源進行發展及應用，惟目前各種可再生能源的發電成本仍是高於石化燃料發電成本，因此依舊是仰賴各國政府的政策補貼始能維持，尤其以太陽能電池為例，在歐洲國家政策補貼的大力推動下，創造了太陽能電池產

業近年的榮景，各製造廠家更是卯足全力進行擴產，然隨著歐債問題逐漸擴大，各國財政陸續出現問題而難以維持補貼政策，只得逐步限縮補貼政策，如此使得用戶安裝意願降低，造成近日太陽能電池價格的崩跌，而出現眼前殘酷的淘汰賽，財務無法繼續支撐的廠家無不黯然退出市場，據統計從 8 月份至今，美國已有 SpectraWatt、EvergreenSolar、Solyndra 和 SES 等 4 家太陽能電池公司宣佈破產，而德國的 Q-Cell 和 Solon 公司也載沉載浮，宣佈尋求買主，可見市場環境之險峻，此點亦可由本次可再生能源展覽會場略顯冷清場面感覺到。現今欲恢復太陽能電池產業景氣，則在於擴大市場需求，因此除了各國政府應持續補貼政策外，另製造成本的降低，更是刺激需求最重要的一環，而薄膜太陽能電池具有降低生產成本的潛力，目前國內亦已有多家廠商如綠陽光電、新能光電等均已投入 CIGS 薄膜太陽能電池的生產，惟目前受生產良率問題而無法有效降低成本，因此未來應繼續投入經費進行製程技術開發以協助產業提升生產技術，同時積極發展捲對捲的生產技術，期能降低生產成本。

在生質能源方面，早期各國推動生質燃料係以農作物如玉米等糧食進行乙醇的生產，然此舉造成機器與人類搶食，使得國際間糧食不足問題更形嚴重，而導致農糧價格大漲，造成嚴重的經濟問題，而失去了推動生質燃料減低溫室氣體排放的美意，因此應積極開發以農業廢料進行纖維素乙醇、丁醇技術的開發，尤其丁醇較乙醇有更高的能量效率，更具有開發利基，應為國內未來投入之重點。目前各國都積極推動各種可再生能源的開發，其中太陽能電池部份國內已有許多廠商投入生產，而在生質燃料的投入則較少，然以台灣發達的農業，倘能配合所產生的農業廢料進行纖維素乙醇、丁醇技術的開發，除可產生可再生能源、減少溫室氣體的排放外，亦可增加農民收入。

而政府在未來能源的整體規劃上應加速智慧電網的建置，不僅可整合各種現有的能源，且可將離峰剩餘電力儲存以補尖峰用電的不足，如此可避免陷入持續興建新電廠的漩渦中。而在可再生能源與市電併聯上，智慧電網的運作除了包括用戶資料的收集(Data collecting)、資料的處理(Data processing)、資料的儲存(Data storing)、資料的保護 (Data protecting)、能源的儲存 (Energy Storage) 外，併聯系統的安全考量及防護機制都應注意，以免因瞬間系統跳脫造成全系統的大停電，如此方能達到提供可靠(reliability)、效率(efficiencies)、成本(costs)的能源。

可再生能源的推動，無法只依賴道德口號來維繫，必須要有完整的政策及配套措施，尤其產業的發展，除了要有雄厚的技術及財政支援，加上耐心的培養始能成功，然以國內中小

企業的特性，向以生產為強項而輕忽紮根的奠基技術，因此習慣以整線引進(Turnkey)進行代工生產模式，最終常陷於以量取勝及削價競爭的循環，如早期的光碟片及動態記憶體產業都在大量生產後引發價格崩跌，而國內廠商卻仍須付國外原廠大筆權利金而無利可圖，甚且陷於虧損；因此政府在面對此次太陽能電池價格的崩跌問題時，必須以長遠的政策規劃，不隨市場景氣起舞而左右政策，持續投入研究經費，支持技術生根發展，尤其對於降低生產成本的新技術如捲對捲生產技術的開發更應大力推動，如此當景氣轉換時方能有足夠的實力與競爭力進入市場。

肆、建議事項

此次赴美參訪 VEECO 公司及參加「可再生能源技術研討會」，有幾點可供院內作為未來精進之參考：

1. 逐年建置CIGS太陽能電池捲對捲真空製程設備，進行新製程技術的開發：太陽能電池為可再生能源中最重要的一角，儘管目前產業景氣下滑，陸續有廠商退出市場，但未來在成本及售價大幅降低下，市場將大幅成長而具有相當大的商機，因此本院應積極投入新製程技術的開發，逐年推動建置CIGS太陽能電池捲對捲真空製程設備，包括製備高導電率的背電極及透明導電膜的捲對捲濺鍍設備及捲對捲CIGS真空鍍膜設備，以應未來產業的技術需求。
2. 綠建築概念的推廣：可再生能源的開發為時代的潮流及趨勢，然在各種再生能源陸續開發過程中，節能的概念亦十分重要，建議未來本院新增建物能加入綠建築的概念，架設可再生能源發電系統及使用省電照明燈具，以使本院綠能技術推廣更具說服力。
3. 整合技術相關部門提升競爭力：上下游供應鏈的整併是企業中常見降低生產成本的利器，本院正值轉型時期，若能對於技術屬性相關的單位加以整合，當有利於技術研究發展，提升未來之競爭力。

附件：無。