

出國報告(出國類別：其他(參加國際會議及參訪))

參加 2010 年光學奈米結構材料研討會 及參訪 Bühler 公司出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院
姓名職稱：聘用技正 方友清、聘用技正 徐 立
派赴國家：德國
報告日期：99.7.20
出國時間：99.6.20~27

國防部軍備局中山科學研究院出國報告建議事項			
報告名稱	參加 2010 年光學奈米結構材料研討會及參訪 Bühler 公司出國報告		
出國單位	國防部軍備局 中山科學研究院	出國人員級職/姓名	聘用技正/方友清 聘用技正/徐立
公差地點	德國	出/返國日期	<u>99.6.20</u> / <u>99.6.27</u>
建議事項	一、將奈米粉體應用於各類材料及元件上以產生新穎特性及創造價值，在奈米科技的推陳出新佔有舉足輕重地位，如何將微粒細化成奈米尺度，並達成良好的分散為各界共同的研究課題，建議本院應加強研析粉體細化及改質的技術，以凸顯其應用價值。 二、本次參加的研討會中，諸多太陽電池的研究皆指向在元件上製造規則結構圖案，以增加太陽電池的轉換效率，建議本院應將此方面的研究納入相關計畫中。 三、研究奈米科技是目前科技界公認為將來最具發展潛力及前瞻性的研究領域，也是未來科技和產業發展最主要的驅動力。未來本院應在已俱備之國防能量為基礎下，順應潮流發展具利基、可實用化之奈米技術與產品。 四、本院應積極規劃資源投入奈米科技發展，結合國防經費共同投資，以建構長期研發能量。本院自參與奈米國家型科技計畫迄今，已陸續完成多項奈米技術的建置，初步達成「協助產業技術升級與創新，落實軍民通用科技研發」的目標，其中多項技		

	術並已落實應用於國防領域，未來仍需努力開拓國防方面的應用，以達成「發達國家經濟」、「強化自主國防」的雙效價值。
處理意見	一、本院五所設有奈米粉末分散研磨實驗室，並提供產業界相關技術服務，藉此機制可增加接觸不同領域需求機會，對於累積以機械力與化學力提升研磨分散效果，以及粉體表面改質技術，具有顯著成效，並已將相關技術應用於科專計畫中。 二、在元件上成長規則結構圖案目前已運用於奈米計畫的 LED 出光效率提升，本院相關太陽能電池研究計畫未來亦將考量此一設計，研提相關計畫。 三、除持續加強與國內產學研各界建立良好的合作關係外，並在已具備之國防能量基礎下，積極開發符合環保、安全、綠能等特性之具利基、可實用化的奈米技術與產品，以協助產業界透過技術升級及創新應用而提高其競爭力。 四、本院已針對第二期奈米國家型計畫進行長期的研發與應用規劃，未來若能結合國防經費的挹注，將可落實藉由奈米科技來提升國防武器系統性能的願景。本院自民國 92 年起，在極有限的人力和資源下，積極拓展奈米科技的運用領域，目前計畫正致力於奈米精碳材料及應用技術、奈米結構及功能材料技術等兩大領域，未來仍將持續努力，開拓國防方面的應用。

國防部軍備局中山科學研究院
九十九年 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	聘用技正/方友清 聘用技正/徐 立
單 位	審 查 意 見		簽 章
一級單位			
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

科技的進程與材料技術的發展有密不可分的關係，材料技術實為開發新產品最重要的關鍵技術，其中，材料及元件的微小化已經成為必然的趨勢，無論在光電機械或醫學偵測各種技術上，其趨勢都是朝向微小化技術發展，例如微電路、微機械或微偵測器等，可預期在二十一世紀時，我們日常生活中將充滿著無數微小化的器件，奈米科技的研究，即順應此潮流而發展出來，而在所有微小化的元件中，奈米材料則將扮演不可或缺之關鍵角色。為執行經濟部科專計畫及提昇本單位的材料檢測技術能力，特派方、徐二員赴德國參加 2010 年光學奈米結構材料研討會及參訪 Bühler 公司，以瞭解材料科技之最新發展趨勢與奈米材料技術之進程，並與國外學者專家進行交流，吸取先進國家在材料科技開發之經驗，以利我國奈米科技日後之研究與拓展。方、徐二員確能掌握重點，除了對材料科技相關的專業知識有極大的增進與收穫外，更與多位國外專家建立了良好的友誼，提供日後良好的諮詢與溝通管道，本次出國任務確實達成目標。

出國報告審核表

出國報告名稱：參加 2010 年光學奈米結構材料研討會及參訪 Bühler 公司出國報告			
出國人姓名（2 人以上，以 1 人為代表）		職稱	服務單位
方友清		聘用技正	國防部軍備局中山科學研究院
出國類別	☐ 考察 ☐ 進修 ☐ 研究 ☐ 實習 ☒ 其他 <u>參加國際會議及參訪</u> （例如國際會議、國際比賽、業務接洽等）		
出國期間：99 年 6 月 20 日至 99 年 6 月 27 日		報告繳交日期：99 年 7 月 26 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 ☒ 3.無抄襲相關出國報告 ☐ 4.內容充實完備 ☐ 5.建議具參考價值 ☐ 6.送本機關參考或研辦 ☐ 7.送上級機關參考 ☐ 8.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 ☐ 內容空洞簡略或未涵蓋規定要項 ☐ 抄襲相關出國報告之全部或部分內容 ☐ 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 ☐ 9.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 ☐ 其他_____敬會：保防官 ☐ 10.其他處理意見及方式：		
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-99Z-D0002	2.出國類別： 參加國際會議及 參訪	3.完成日期： 99.7.20	4.總頁數： 46
5.報告名稱：參加 2010 年光學奈米結構材料研討會及參訪 Bühler 公司出國報告			
6.核准 文號	人令文號 部令文號	99.4.30 國人管理字第 0990006494 號 99.4.23 國備科產字第 0990006032 號	
7.經 費		新台幣：199,663 元	
8.出(返)國日期		99 年 6 月 20 日至 99 年 6 月 27 日	
9.公 差 地 點		德國	
10.公 差 機 構		德國卡爾斯魯厄市、德國 Bühler 公司	
11.附 記			

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 2010 年光學奈米結構材料研討會及參訪 Bühler 公司出國報告

頁數 46 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/徐立/03-4712201#357266

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

方友清/國防部軍備局中山科學研究院/聘用技正/03-4712201#357059

徐 立/國防部軍備局中山科學研究院/聘用技正/03-4712201#357266

出國類別：☐1 考察☐2 進修☐3 研究☐4 實習☒5 其他：參加國際會議及參訪

出國期間：99.6.20 至 99.6.27 出國地區：德國

報告日期：99.7.20

分類號/目

關鍵詞：

光學奈米結構材料、太陽電池、分散研磨技術、奈米粉體材料。

內容摘要：(二百至三百字)

本次任務係赴德國參加 2010 年光學奈米結構材料研討會及參訪 Bühler 公司，以瞭解材料科技之最新發展趨勢與進程。研討主題涵蓋能源科技發展趨勢、太陽電池技術、奈米抗反射鍍膜、電漿光子學應用技術及奈米材料研磨分散技術等。除收集材料及元件製程最新資料外，並了解先進國家在材料領域最新發展趨勢，且透過與國外專家及學者直接交換研究心得及進行實務問題討論，對相關專業知識有極大的增進與收穫，亦藉此認識多位國外長期從事相關材料研究及奈米技術的專家，不僅得到不少寶貴的意見與幫助，更建立了良好的友誼，提供日後諮詢的對象與管道。本次參訪順利進行且成果豐碩，具體提昇本院在相關議題的研究能力，並為跨足材料領域的產學研界提供堅實後盾。

目 次

壹、目的.....	10
貳、過程.....	10
參、心得.....	14
3.1 能源科技發展趨勢.....	14
3.2 太陽能電池技術.....	15
3.3 矽晶太陽電池.....	17
3.4 薄膜太陽電池.....	21
3.5 染料敏化太陽電池.....	26
3.6 電漿光子學應用技術.....	30
3.7 奈米粉體研磨分散技術.....	34
3.8 結語.....	44
肆、建議事項.....	46
附 件.....	46

參加 2010 年光學奈米結構材料研討會及參訪 Bühler 公司出國報告

壹、目的

為執行經濟部科專「奈米材料及製程技術發展計畫」及「工業服務計畫」，派員至德國參加 2010 年光學奈米結構材料研討會，並參訪 Bühler 公司，以瞭解奈米材料、奈米尺度結構及特性、奈米技術產業化，以及材料檢測技術、材料特質評估技術之最新發展趨勢，並藉由參與國際會議之機會，與國外學者專家進行交流，吸取先進國家在奈米材料科技及材料檢測與評估技術之研發經驗，使本院材料科技之研究與開發持續獲得突破。參加本次研討會獲得之效益包括：（1）瞭解先進國家在各維度奈米材料製程、特性與結構設計之最新發展資訊，提供本院奈米計畫執行團隊參考，以協助我國建立自主奈米關鍵技術。（2）透過與國外專家學者交換研究心得及進行實務問題討論，瞭解各國在奈米科技產業化、商品化之推展現況及運作模式，戮力發展市場亟需、軍民通用之奈米技術與產品。（3）掌握先進國家在材料檢測技術之發展及最新材料特質評估技術，將有助於建構完整的材料與零組件檢測與評估技術，提昇本院在評估製程適當性及研提改善方案的能力。（4）配合本院既有之材料關鍵技術能量及獲得之先進材料特性資訊，可增進對材料及零組件特性的掌控，減少研發過程的試誤，提昇材料及零組件開發的時效。（5）擴大材料檢測服務網絡，將國家級實驗室所建立之檢測技術分享與推廣於產學研各界，以加速產業升級，並促成先進材料技術的建立，強化我國產業的競爭力與優勢。

貳、過程

本次公差主要是參加於德國麻巴符州卡爾斯魯厄市舉行之 2010 年光學奈米結構材料研討會，以及赴薩爾州薩爾布魯根市參訪 Bühler 公司。其中，2010 年光學奈米結構材料研討會係全球最具水準的國際研討會議之一，會議地點為卡爾斯魯厄國際會議中心（如圖 1）。會中除邀請諾貝爾獎得主擔任演講者外，且匯集全球各地頂尖的學者專家共同參與盛會，分享在奈米結構材料領域之研發成果與經驗，共計吸引德國、美國、日本、英國、奧地利、加

拿大、法國、義大利、韓國、瑞典、土耳其、荷蘭、西班牙等 20 餘國，逾 10 個參展攤位，200 餘位學者專家共同來參與此盛會，其中有相當多位係來自全球各地的頂尖學者專家，分享其一年來在材料科學領域之研發成果與經驗，會中共計有 30 餘篇論文發表，主題涵蓋能源科技發展趨勢、太陽電池技術、矽晶太陽電池、奈米抗反射鍍膜、薄膜太陽電池、染料敏化太陽電池、電漿光子學應用技術等，均與本單位目前所執行的奈米計畫及工服計畫有密切的關係。另一方面，位於德國的 Bühler 公司（如圖 2），在奈米粉體材料分散研磨技術方面經驗豐富，多項技術均居世界領先地位，所開發之製程設備銷售世界各地，在國際上具極高的占有率，本次公差任務除觀摩該公司現有之奈米粉體材料分散研磨技術，研討分散效果與材料之種類、尺寸的關連性等相關議題外，並與該公司研發部門主管洽談技術引進及共同合作等相關事宜，以配合本院相關計畫推動之需要。



圖 1 本次會議地點：卡爾斯魯厄國際會議中心



圖 2 參訪德國 Bühler 公司照片

藉由此次參與國際會議之機會，收集材料及元件製程最新資料，並了解各先進國家在材料領域最新發展趨勢，且透過與國外專家及學者直接交換研究心得及進行實務問題討論，有效提昇本院在相關議題的研究能力，有利協助產業界突破現有技術瓶頸，並為跨足材料領域的產學研界提供堅實後盾。

本次公差任務行程表如表一。

表一、公差任務行程表

日 期	星 期	公差地點	工 作 項 目
99.6.20	日		去程
99.6.21	一	德國 巴符州 卡爾斯魯厄	下午抵達會場辦理註冊報到手續，晚上參加 2010 光學奈米結構材料研討會之海報論文發表議程。
99.6.22	二	德國 巴符州 卡爾斯魯厄	參加 2010 光學奈米結構材料研討會： 1. 研討奈米結構太陽電池之最新發展。 2. 研討抗反射鍍膜等奈米材料發展趨勢。

99.6.23	三	德國 巴符州 卡爾斯魯厄	參加 2010 光學奈米結構材料研討會： 1. 研討染料敏化薄膜太陽電池及其物理、 化學及光電特性。 2. 研討奈米尺度材料表面及微區檢測技術 發展。
99.6.24	四	德國 巴符州 卡爾斯魯厄	參加 2010 光學奈米結構材料研討會： 1. 研討奈米有機薄膜材料及奈米結構材料 應用技術。 2. 參加光學奈米結構材料產品展示會。
99.6.25	五	德國 薩爾州 薩爾布魯根	參訪 Bühler 公司，觀摩該公司現有奈米粉 體材料分散研磨技術，並研討分散效果與 材料之種類、尺寸的關連性等相關議題。 同時與該公司研發部門主管進行會議，研 討奈米粉體分散技術之發展趨勢及技術瓶 頸。
99.6.26	六	德國 薩爾州 薩爾布魯根	回程。
99.6.27	日		回程。

參、心得

科技的進程與材料技術的發展有密不可分的關係，材料技術實為開發新產品最重要的關鍵技術，唯有建構自主的材料製造與檢測分析技術，才能使產業界的創意構想獲得立即的驗證，快速擴散核心技術於高科技產業，並推動國內傳統產業進行轉型。最近幾年來，國際上普遍認為奈米科技為現今最重要的研究領域，奈米科技更是我國未來產業發展之重點領域及方向，亦為促進經濟持續成長應掌握之核心關鍵技術，並具有提升傳統產業水準，邁向高價值策略性產業之指標意義，而其中材料奈米技術及其所需之製程技術為發展前瞻材料與化學品技術不可或缺的一環。中山科學研究院第二期奈米計畫內容，即以發展奈米材料及製程技術為重點，在已俱備之國防能量基礎下，開發具利基之奈米技術及奈米產品，以縮短開發時間，達成與先進國家同步，成為奈米科技新產品之製造國及技術擁有者，符合我國科技發展之政策目標。本次公差任務係參加 2010 年光學奈米結構材料研討會，以及赴薩爾州薩爾布魯根市參訪 Bühler 公司，主要探討主題涵蓋能源科技發展趨勢、太陽電池技術、矽晶太陽電池、奈米抗反射鍍膜、薄膜太陽電池、染料敏化太陽電池、電漿光子學應用技術、奈米粉體材料分散研磨技術等前瞻研究。茲將本次任務所獲取之資訊依規劃執行之相關議題概述如下：

3.1 能源科技發展趨勢

由於石化能源短缺、溫室效應、以及能源自主性低，使得綠色替代能源成為眾所矚目的發展重點、未來是一個重視能源與環保的世界，多元的潔淨能源(太陽能、風能、生質能等)將形成一個互補的全時服務電網，並透過長效的儲能電池達到穩定的供電品質，而交通、住商及到處存在的資訊產品，也仰賴節能與更高效率的電能材料與元件。奈米技術可強化並操控材料的電、聲、光、熱、能等特性，同時可結合有機無機混成及生物(bio)的技術。透過奈米技術與奈米技術產品，可使整個產品生命周期中的原料與能源更有效地被利用，降低排放與能源消耗。

下一個世代是一個重視能源與環保的世代，也是一個到處存在網路的環境，大量的資訊流通與服務需藉助可攜式電子產品來完成(如智慧型手機、PDA、機器人等)，可攜式電子產品勢必大量生產，未來在邁向以服務為導向的科技研發時，藉由奈米科技所發展的可攜式能

源及可回收電子材料，可提供一個不斷電、全時服務的電源及環保的產業鏈，也將是市場必然的趨勢。

未來城市的空氣污染與節能設計是城市生活品質的指標，思考能源成本及環境永續問題，新世代太陽光電之開發是重要的議題，如有機無機固態太陽電池、半導體型太陽電池或是化合物薄膜太陽電池，均具有低成本及高效率的特性，其發電成本有機會與傳統尖峰發電成本競爭，亦可做為可攜摺疊式的光伏產品，而普遍化的再生能源，也需要低成本的大型儲電系統來做為穩定電源的調節與充電站。

下世代的能源與生活品質將決定國家的競爭性，透過奈米節能材料(紫外線、紅外線的隔熱、防曬、溫濕調控材料、LED)達到 20%以上的省能效益，並大幅減少二氧化碳的排放。另外，熱電廢熱發電技術可使廢熱量減少，有助於二氧化碳減量，同時將廢熱轉為電力，將具有雙重的效益。

近年來地球平均溫度節節升高，使用石化燃料所排放之二氧化碳一直被視為造成地球暖化和全球氣候快速變遷的主要原因。再加上原油價格不斷攀升，而且長期看來沒有大幅下降的趨勢，使得可降低對原油的依賴，且減少全球二氧化碳持續增加的太陽能發電相當受到重視。太陽每年照射到地球的輻射能量，約為地球每年消耗能源的九萬倍，在過去數十億年間太陽的能量僅損耗 2%，因此太陽能可視為取之不盡、用之不竭的能源，且太陽能沒有環境污染問題，不像石油及煤炭總有被用完的一天，且發電時會產生大量的二氧化碳，造成溫室效應。因此太陽能發電未來深具潛力，世界上的主要的工業國如美國、日本、歐洲等都投入鉅資建立國家科學研究中心和相關研發組織，全力爭取在太陽能開發利用上的有利地位。反觀我國仍然極度依賴化石能源，需大量依賴中東進口原油，如遇到戰爭等國際社會動盪不安因素時，將直接威脅到我國能源供應的穩定性，而影響到人民的日常生活和國家的安全。因此，開發新且可持續的能源對國家長治久安至關重要。其中，太陽能不僅具有重大的戰略意義，更具有龐大的經濟價值，近年來太陽能的發展不但成為各國國家發展的重要政策，也成了炙手可熱的明星產業，更造就目前全球大量資金不斷湧入太陽能開發研究的情勢。

3.2 太陽能電池技術

典型的太陽電池本質上是一個大面積半導體二極體，它利用光伏效應把太陽輻射能轉

換成電能，當太陽光照射到太陽電池上並且被吸收時，其中能量大於禁帶寬度的光子能把價帶中的電子激發到導帶上去形成自由電子，而在價帶中留下帶正電的自由電洞（即電子電洞對），通常稱它們為光生載流子，自由電子和電洞在不停的運動中擴散到 PN 接面的空乏電荷區，被該區的內建電場分離，電子被掃到電池的 N 型一側，電洞被掃到電池的 P 型一側，從而在電池上下兩面（兩極）分別形成了正負電荷累積，而產生「光生電壓」，即「光伏效應」。若在電池兩側引出電極並接上負載，負載中就有「光生電流」透過，得到可利用的電能，這就是太陽電池。在太陽電池的整個發展歷程中，已先後開發出各種不同結構的電池，如蕭特基電池、MIS 電池、MINP 電池、異質結電池等，其中同質 PN 接面電池自始至終佔著主導的地位，而其他結構的電池對太陽電池的發展也產生了重要的影響。另外，在太陽電池的材料發展方面，結晶矽電池、非晶矽薄膜電池、銅銦鎳硒（CIGS）薄膜電池、碲化鎘薄膜電池、砷化鎵薄膜電池等，由於薄膜電池被認為是未來大幅度降低成本的根本出路，因此成為太陽電池研發的重點方向和主流，在技術上取得快速的發展，並逐步朝向商業化生產邁進。

由於太陽電池技術逐漸受到國際重視，使得太陽電池技術進入了蓬勃發展的時期，因而開發出許多新型電池及技術，例如：

- （1）背表面場電池：在電池背面接觸區引入同型重摻雜區，使電池的開路電壓、短路電流和填充因數得到改善，提高了電池效率。
- （2）紫外光電池：這種電池最早是為通訊衛星而開發的，因其設計為淺PN接面、密柵、抗反射層而獲得高效率。
- （3）表面織構化電池：也稱絨面電池，最早也是為通信衛星開發的，電池效率 $\geq 18\%$ ，這種技術後來被高效電池和工業化電池普遍採用。
- （4）異質結太陽電池：即不同半導體材料形成的太陽電池，如 SnO_2/Si 、 $\text{In}_2\text{O}_3/\text{Si}$ 、 ITO/Si 電池等，由於 SnO_2 、 In_2O_3 、ITO等帶隙寬、透光性好、製作流程簡單，曾引起許多研究者的興趣，目前這類電池因其效率不高等問題投入研究的不多，但 SnO_2 、 In_2O_3 、ITO是許多薄膜電池的重要構成，用作收集電流和視窗材料。
- （5）MIS電池：是蕭特基（Schottky）MS電池的改型，即在金屬（M）和半導體（S）之間加入一絕緣層（I），使蕭特基電池由多數載流子支配暗電流變成少數載流子隧穿支配暗電流，其中絕緣層可減少表面複合的作用，這種電池的優點是製作簡單，惟其薄層阻

值太高。

- (6) MINP電池：此類電池可看做是MIS電池和PN接面的結合，其中氧化層對表面和晶界複合可產生抑制作用，藉以提升電池效率。
- (7) 聚光電池：聚光電池的特點為利用聚焦透鏡，在高強光的照射下，利用不同能帶寬的半導體，設計成多層PN接面結構，以吸收不同波長範圍的太陽光，提升電池效率。圖3為三層PN接面太陽電池結構示意圖，圖4則為電池效率與PN接面層數的關係圖，顯示PN接面層數愈多，電池效率愈高。聚光電池的另一特點為可大幅減少電池的尺寸，達到降低材料成本的目的。

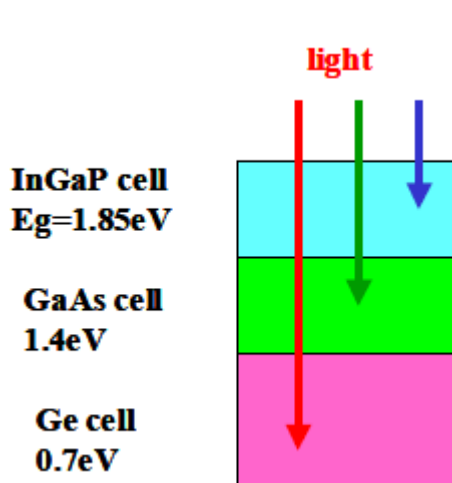


圖3 三層PN接面太陽電池結構示意圖

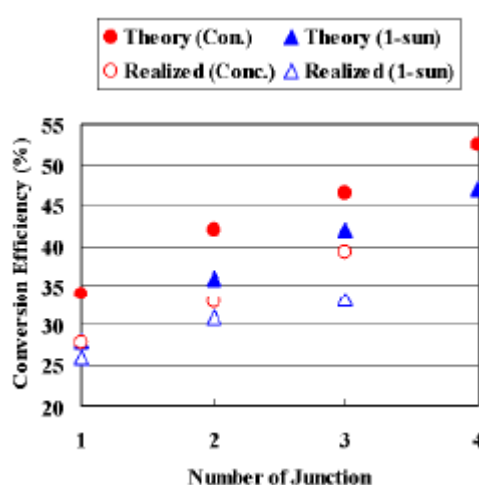


圖4 電池效率與PN接面層數關係

3.3 矽晶太陽電池

單晶矽太陽電池在過去 20 年裏已有了很大的進展，由於許多新技術的採用和引入，使太陽電池的效率大大地提高。在矽電池的研究中，人們開發出各式各樣的電池結構和技術來改進電池性能，如背表面場、淺 PN 接合、絨面（表面纖構化）、鈍化層、抗反射層等，高效電池即是在這些實驗和經驗基礎上所發展起來的，其中表面纖構化技術及抗反射膜技術的提高，是高效結晶矽電池能持續受矚目的主要原因。雖然單晶矽太陽電池的缺陷少、轉化率高（理論值 25%；實作最高可達 21%）、穩定性亦高，但相對其成本也較高。矽晶片是單晶矽太陽電池成本結構中的主要部分，製造成本高和切片損耗大是矽晶片成本高的主要原因，早期的矽晶片通常是用內圓鋸切割，厚度約 $500\mu\text{m}$ 左右，且切片的損耗率高，由於線切割技術

不斷改進，不但矽晶片厚度減薄，而且切片損耗率大幅降低，目前矽晶片的一般厚度可以達到 150-180 μm ，未來目標則為在 100 μm 以下，如此將可大幅降低成本。另枝蔓蹼狀帶矽技術係在表面張力的作用下，插在熔矽中的兩條枝蔓晶的中間會同時長出一層如蹼狀的薄片，所以稱為蹼狀帶晶，切去兩邊的枝晶後，即可用中間的片狀晶製作太陽電池。蹼狀晶為各種矽帶中品質最好的，但其生長速度相對來說較慢，但可大幅降低晶片邊緣的切片損耗。

由於空氣與基材的折射係數差異較大，光線通過空氣/基材界面時會有明顯的光反射現象，其反射率會高達 30%，如此會使進入太陽電池的光線減弱，導致太陽電池效率變差。太陽電池外表鍍抗反射層的功能，主要在減低光線通過空氣/基材界面的反射，目前在商業生產的太陽電池，採用矽晶片表面纖構化 (texture) 及鍍抗反射層來降低光的反射，以提升太陽電池效率。圖 5 為利用化學蝕刻方式來形成矽晶太陽電池表面纖構化。圖 6 為化學蝕刻後矽晶太陽電池表面纖構化的 SEM 照片，均呈現週期性結構。圖 7 為比較表面微觀結構對光反射率之影響，結果顯示具週期性結構試樣呈現較佳之抗反射性，特別是週期性尺寸愈小者愈佳。

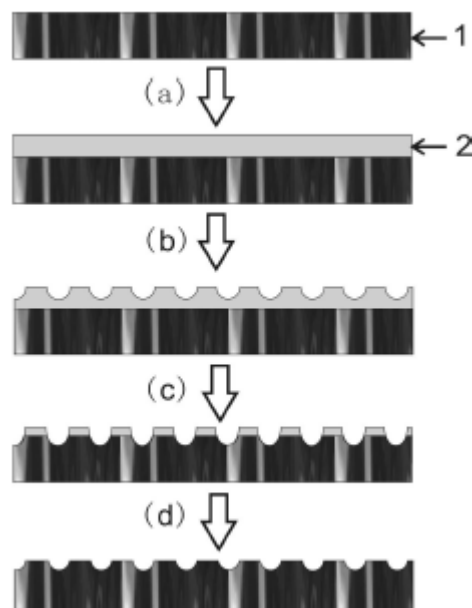
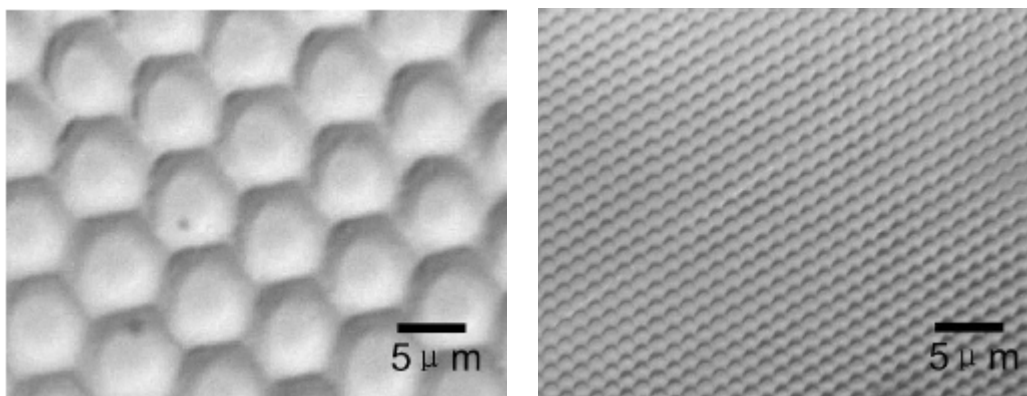


圖 5 利用化學蝕刻方式來形成矽晶太陽電池表面纖構化 (a) 上光阻 (b) 曝光顯影 (c) 化學蝕刻 (d) 去光阻 (1. 矽晶片 2. 光阻)



(a) 試樣編號 S2

(b) 試樣編號 S3

圖 6 化學蝕刻後矽晶太陽電池表面纖構化的 SEM 照片

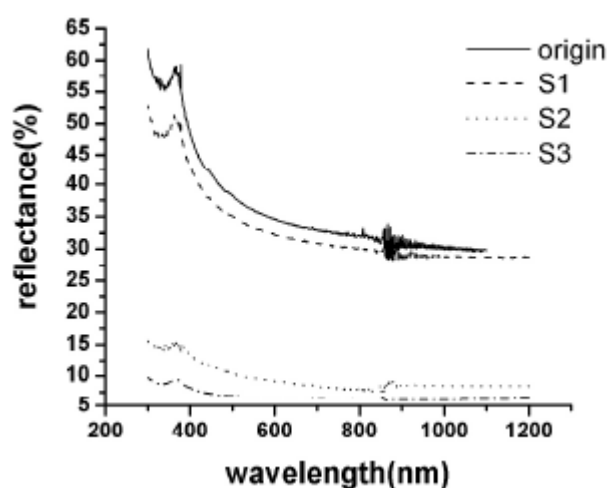


圖 7 比較表面微觀結構對光反射率之影響，其中 origin 為未蝕刻試樣，S1 為一般蝕刻後表面粗糙試樣（無週期性），S2 為編號 S2 試樣，S3 為編號 S3 試樣

通常抗反射層的厚度 d 與折射率 n 的要求需滿足 $nd=1/4\lambda$ ，鍍膜的材料則要求必須透光性高，不會吸收光線，且物理及化學穩定性較佳。目前較常使用的材料為氮化矽 SiN_x ，也有採用 SiO_2 及 SiN_x 雙層結構，甚至多層膜結構，其鍍膜技術則採用 PECVD 或反應式濺鍍。圖 8 為 $\text{InGaP}/\text{InGaAs}/\text{Ge}$ 太陽電池表面鍍 $\text{SiO}_2/\text{TiO}_2/\text{Ta}_2\text{O}_5$ 三層抗反射層之光反射效率圖譜，其結果顯示鍍抗反射層後具有良好的穿透率，因此具有較高的光電轉換效率，如圖 9 所示。

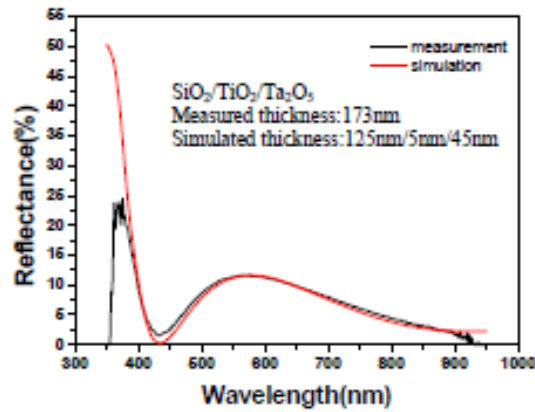


圖 8 InGaP/InGaAs/Ge 太陽電池表面鍍 SiO₂/TiO₂/Ta₂O₅ 三層抗反射層之光反射效率圖譜

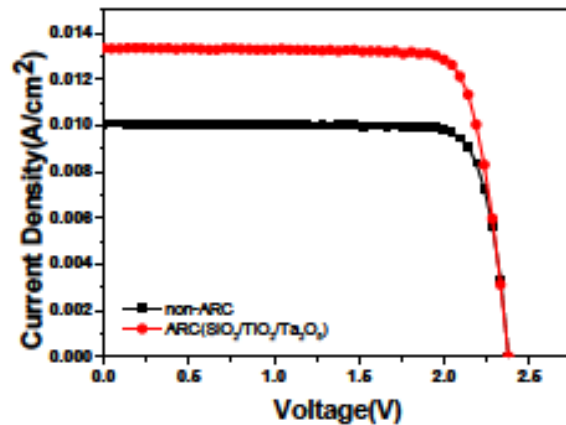


圖 9 比較太陽電池表面有及無鍍 SiO₂/TiO₂/Ta₂O₅ 三層抗反射層之光電轉換效率

近些年來由於多晶矽材料的製造成本低於單晶矽材料，同時能直接製備出適於規模化生產的大尺寸方型矽錠，且設備簡單，製造過程簡單、省電、節省矽材料，因此比單晶矽太陽電池更具降低成本的潛力。多晶矽太陽電池受晶界影響，效率一般比單晶矽為低（理論值 20%；最高可達 17%），因此，提高效率的相關研究受到普遍重視。最初單晶矽電池占世界光伏生產的主導地位，其次是多晶矽電池，但從十年前起，多晶矽電池開始超過單晶矽躍居第一，目前單晶矽太陽電池加上多晶矽太陽電池約佔全球太陽電池產業的 85%，且預估未來十年仍將會以結晶矽太陽電池佔最高比例。

3.4 薄膜太陽電池

薄膜太陽電池由於具有低價、可大面積化的特點，所以一直在太陽電池發展上佔有舉足輕重地位，以下為目前開發之薄膜太陽電池

3.4.1 非晶矽薄膜太陽電池

非晶矽是矽和氫的一種合金，非晶矽的若干特性使它成為一種非常吸引人的薄膜太陽電池材料，雖然缺陷多，電池轉化率低，但成本也低：（1）矽是一種資源豐富和環境安全的材料；（2）非晶矽對陽光的吸收係數高，太陽電池活性層只需要 $0.5\mu\text{m}$ 厚，大大降低材料的需求量；（3）沉積溫度低，可以直接沉積在廉價低成本襯底上，如玻璃、不銹鋼和塑膠膜上等，便於工業化大面積製造，有大幅度降低成本的潛力。非晶矽與結晶矽電池不同，典型非晶矽電池為 PIN 結構，其中 P 層和 N 層非常薄，只有幾十奈米，為了有效收集非平衡載流子，必須建立完整內電場和減少 PN 介面複合，因此在 P 和 N 之間加一本質層（intrinsic）。早期非晶矽電池的不穩定性限制了它做為室外大功率能源的應用，雖然由於材料科學和非晶矽元件製造技術的發展促進非晶矽電池效率和穩定性不斷提高，但其電池效率僅 12%（理論值 15%），對於大功率應用來說依然太低，主要市場仍著重於室內弱光或消費產品上應用。非晶矽的電池效率受光誘導衰減而隨時間降低，研究工作主要係集中在提高效率 and 穩定性方面，包括：（1）通過有不同帶隙的多層結構來提高電池效率和穩定性；（2）降低表面光反射；（3）改進電池結構；（4）使用更薄的本質層，以增強內電場，降低光誘導衰減。開發奈米結構非晶矽薄膜太陽電池恰可滿足以上需求，圖 10 為奈米結構非晶矽薄膜太陽電池結構示意圖及其 SEM 微觀結構照片，其中水平週期性尺寸約為 500 奈米，縱深為 2 微米，此週期性圖案設計可有效降低表面的光反射。

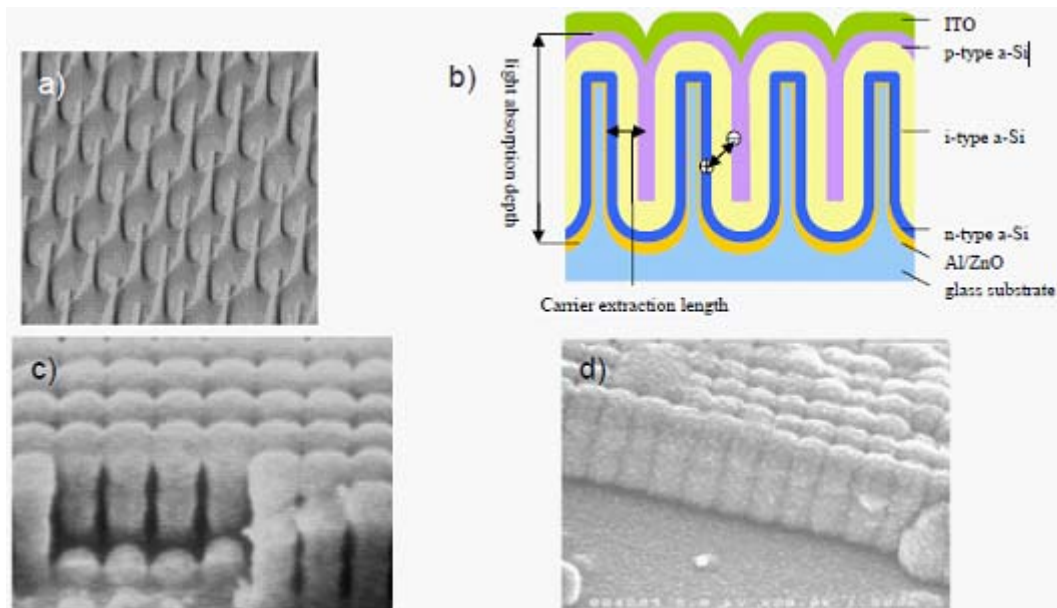


圖10 奈米結構非晶矽薄膜太陽電池結構示意圖及其SEM微觀結構照片，其中水平週期性尺寸約為500奈米，縱深為2微米。

圖 11 為將奈米結構非晶矽薄膜太陽電池設計成週期性圖案的另一案例，圖 12 為比較非晶矽薄膜太陽電池表面有週期性圖案及無週期性圖案之光吸收效率，可發現有週期性圖案之光吸收效率顯著地提升。

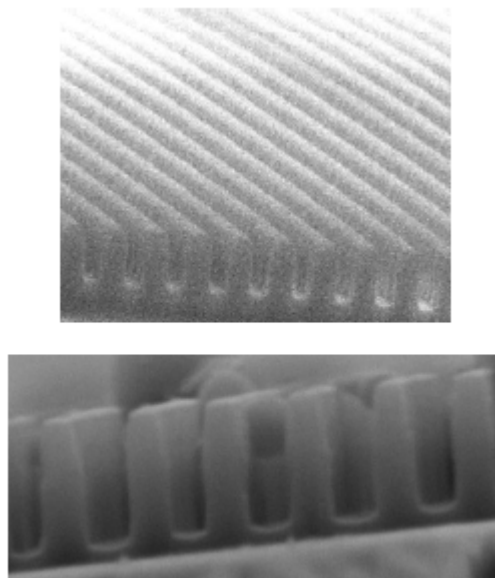


圖11 非晶矽薄膜太陽電池表面SEM微觀結構照片，其中週期性圖案深度約為100奈米。

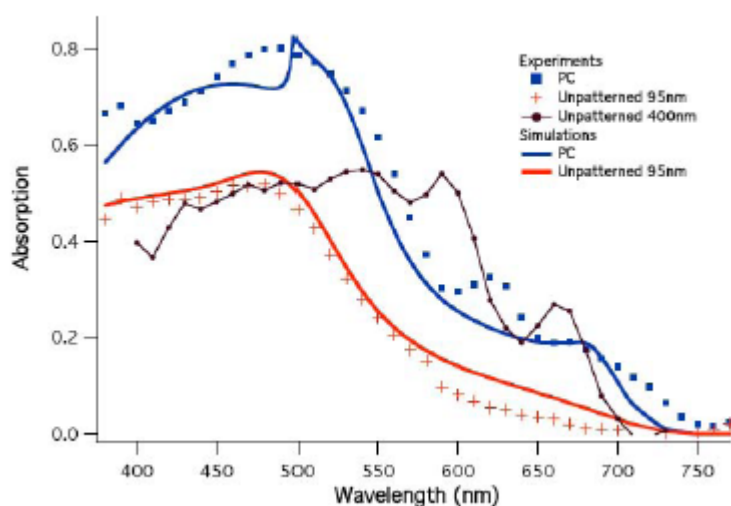


圖12 比較非晶矽薄膜太陽電池表面有週期性圖案及無週期性圖案之光吸收效率

3.4.2 多晶矽薄膜電池

多晶矽薄膜電池既具有結晶矽電池的高效、穩定、無毒和資源豐富的優勢，又具有薄膜電池節省材料、大幅度降低成本的優點，因此多晶矽薄膜電池成為國際上近幾年研究開發的熱門題目，多晶矽薄膜及電池利用各種化學氣相沉積技術，如 PECVD（電漿強化 CVD），RTCVD（快速熱 CVD），Hot-wire（熱線 CVD）等，被用來生長多晶矽薄膜，有些技術已獲得了重要的實驗結果，其電池效率可達到 12%。圖 13 為多晶矽薄膜太陽電池結構示意圖，其中最外表面鍍抗反射層（AR coating），矽晶表面有奈米結構氧化矽（silica）圖案設計，底部鍍銀金屬反射層。圖 14 為此太陽電池光電能譜圖，其結果顯示鍍抗反射層且有奈米結構氧化矽圖案設計者，電池效率愈高。

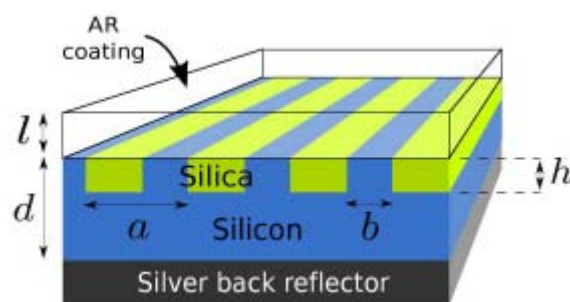


圖13 多晶矽薄膜太陽電池結構示意圖，其中最外表面鍍抗反射層，矽晶表面有奈米結構氧化矽圖案設計，底部鍍銀金屬反射層。

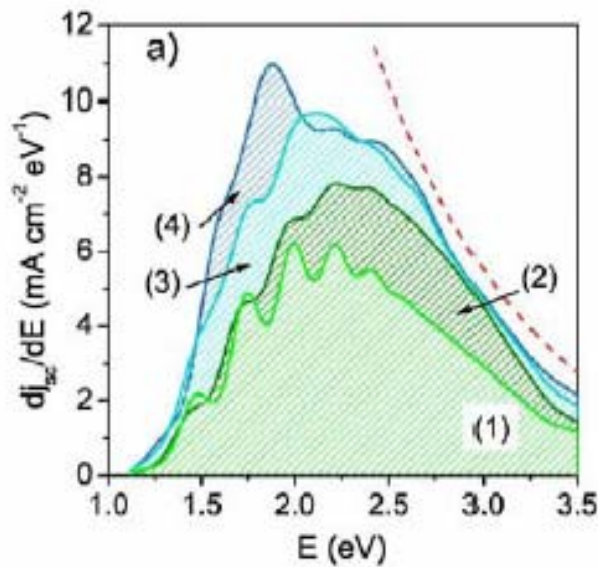


圖14 太陽電池光電能譜圖 (1) 未鍍抗反射層 (2) 鍍抗反射層但無氧化矽圖案 (3) 鍍抗反射層且有氧化矽圖案，厚度為80奈米 (4) 鍍抗反射層且有氧化矽圖案，厚度為300奈米

此外在多晶矽薄膜太陽電池表面，利用低壓化學沉積法鍍一層具有粗糙度的氧化鋅散射層，亦具有提升電池效率之功效。圖 15 為以 AFM 分析結晶矽薄膜太陽電池表面氧化鋅散射層粗糙度，其中電漿處理 20 分鐘粗糙度 150 奈米的氧化鋅散射層具有較高量子效率，如圖 16 所示。

(a)

(b)

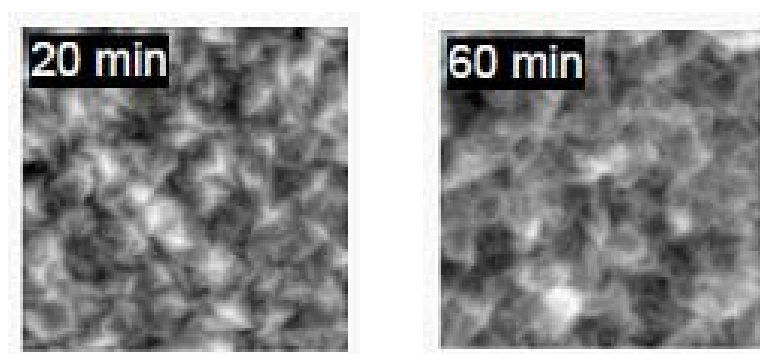


圖 15 以AFM分析結晶矽薄膜太陽電池表面氧化鋅散射層的粗糙度，影像範圍 $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ 。(a) 電漿處理20分鐘，粗糙度150奈米 (b) 電漿處理60分鐘，粗糙度120奈米

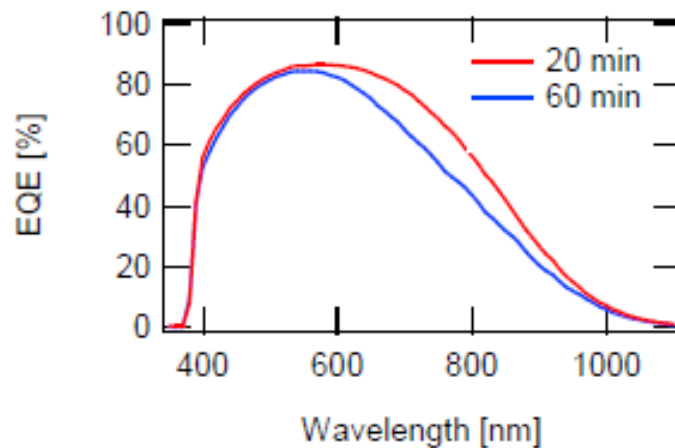


圖16 比較圖15兩件試樣之外部量子效率 (external quantum efficiency)，其中電漿處理20分鐘，粗糙度150奈米者具有較高效率。

3.4.3 CdTe薄膜電池

CdTe 為 II-VI 族化合物，能帶隙 1.5eV，與太陽光譜非常匹配，具有較佳吸收係數，性能很穩定，一直被光伏界看重，是技術上發展較快的一種薄膜電池，已經開發出製備 CdTe 多晶薄膜的技術，如近空間昇華、電沉積、網版印刷、濺射、真空蒸發等，不過其實驗室的電池效率雖不斷攀升，但市場發展仍顯得緩慢，主要是由於材料成本過高、轉化率較低（理論值 17%；最高僅可達 13%）、Te 蘊藏量有限及 Cd 有毒性等。

3.4.4 GaAs薄膜太陽電池

在化合物半導體中以 III-V 族 GaAs 的理論轉化率最高（35%），最高可達 30%，但因基材、材料及製造成本較高，只適用於太空領域及特殊用途。

3.4.5 銅銦硒CuInSe₂ (CIS) 薄膜太陽電池

CIS 是 II-VI 族三元化合物半導體，帶隙 1.04eV，雖然具有較佳的光吸收係數，但由於環保及生產不易等問題，一直無法商業化。

3.4.6 銅銦鎳硒 (CIGS) 薄膜太陽電池

CIGS 是四元化合物半導體，其特點為光電轉化層厚度可達數 μm 以下，如此可大幅降低材料成本，另一特點為 CIGS 屬直接遷移能階，具有良好的光吸收特性，理論電池轉化率可達到 30%，較單晶矽 25%高出許多，這是因為利用組成的變化，可以讓吸收波長的範圍變寬，

自然可提高太陽電池的轉化率，此外 CIGS 在太陽光照射後較不易劣化，因此產品壽命較長，更能滿足太空需求。但由於 CIGS 電池在生產過程中，比較難控制其化學劑量比，大面積均勻性和重複性均較差，故仍有較大努力空間。

薄膜太陽光電因只有一層塗層，材料成本較低，但電池轉化率較低，需較大接收面積，其未來開發重點如下：

- 可撓式 (flexible) 太陽電池：將所開發的主動層材料與奈米結構特性以可印刷 (printable) 方式表現出來，具有成本低與產能 (high throughput) 的優勢。本技術發展重點在提昇光吸收與元件中載子傳導的技術瓶頸，以降低結構缺陷 (defects) 及阻絕破壞因子的方式，提昇元件整體的表現。
- 可印刷 (printable) CIGS 太陽電池：開發奈米晶體與溶液分散技術、奈米漿料成膜晶相控制技術及 CIGS 連續捲式 (roll to roll) 薄膜製程技術，達成大面積、低成本的目標。
- 化合物半導體太陽電池：建立奈米薄膜穿隧式接面製作技術及 InGaAsN、GaAsSbN 系列等電池材料及磊晶技術，以求增進聚光倍率及提升太陽電池效率 (由 31% 精進至 55% 以上)
- 量子點太陽電池：矽量子點太陽電池元件之開發，在使用最少量的矽材料下，合成矽量子點、奈米線等材料與控制其尺寸大小，使其吸收光譜能涵蓋 FIR-UV 等範圍；並利用量子點能階量子化，產生多激子 (電子-電洞對) 機制，或多重光吸收機制等現象，使其產生大於 100% 之內部量子效率，獲得一最高效率之太陽電池元件。

3.5 染料敏化太陽電池

染料敏化太陽電池實際上是一種光電化學電池，它的製作方法簡單，成本低（約為單晶矽太陽電池的 1/5~1/10），目前最高光電轉換效率超過了 10%，這一轉換效率可以和非晶矽太陽能電池相比，也是目前唯一可以和非晶矽電池競爭的候選者。這種基於奈米半導體晶體材料 (TiO₂ 等) 的新型電池因具有進一步提高效率和降低成本的潛在優勢，一直獲得高度的重視，染料敏化奈米晶薄膜太陽電池已成為太陽電池研究領域的一個熱門方向。此外，染料敏化太陽電池具有可透視特性，若運用於玻璃帷幕大樓，將具有節能與省能的雙重功效。

染料敏化太陽電池主要由以下幾個單元所組成：透明導電玻璃 (TCO)、奈米 (TiO₂) 多孔半導體薄膜、染料光敏化劑、電解質和背電極等，其結構示意圖如圖 17 所示。在太陽電

池中，光電轉換過程通常可分為光激發產生電子電洞對、電子電洞對的分離、向外電路的輸出等三個過程，和傳統的 PN 接面太陽電池不同，在染料敏化奈米晶太陽電池中，光的捕獲和電荷的傳輸是分開進行的，光的捕獲是由染料分子完成的，染料分子吸收光子後，處在激發態的染料分子產生了激發電子，再使配位基的電荷產生遷移，電子先通過配位基後注入到二氧化鈦的導帶，再通過多孔的二氧化鈦薄膜傳輸到陽極，從外電路傳輸到背面電極，同時染料分子被電解質中的負離子還原，實現了電荷的分離，電解質中的氧化還原離子對 I^-/I_3^- 將電洞傳輸到背面電極，並與電子複合，始完成一個循環。由於奈米晶半導體內不存在空泛電荷層，染料電池中的電荷高效分離不是靠空泛電荷層實現的，而必須依靠控制各反應的速度常數來實現，故要使電子注入速度及染料還原反應速度遠大於複合反應速度。

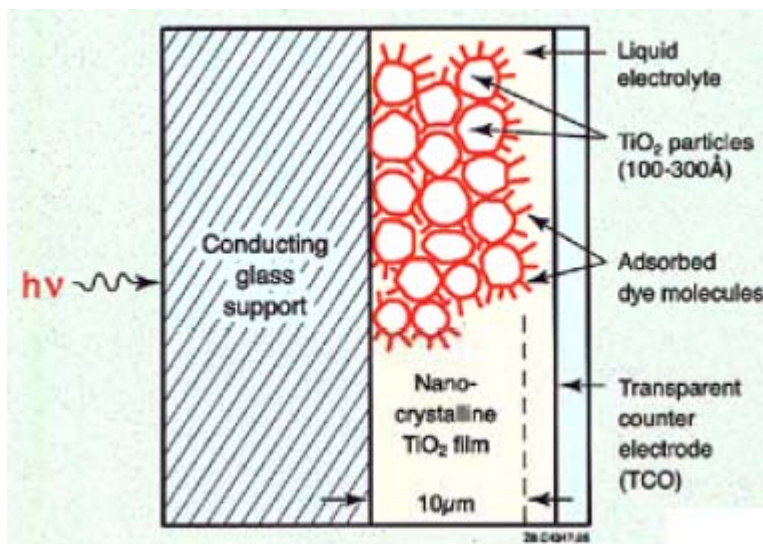


圖17 染料敏化太陽電池示意圖

因此染料敏化太陽電池可視為是一種動力學平衡的過程，即激發、輸運和複合，在這一過程中，離子在奈米晶多孔膜中的高效傳輸是關鍵因素，而優化奈米晶多孔膜的微觀結構，如奈米晶多孔膜的孔徑大小、孔徑分佈及孔徑的連通性等，是非常重要的。在一些固體電解質體系中，離子的擴散係數小於液體，因此複合損失較大，導帶中的電子可能被電解質中的氧化成分捕獲，這一過程就形成損失反應，這一過程是染料敏化太陽電池中電子損失的主要途徑，為了減少電子複合損失，要在奈米晶和電解液之間加入絕緣覆蓋層，而染料分子層本身即是絕緣隔離層，實現染料分子的單層完全覆蓋奈米晶多孔膜表面，是減小導帶中的電子被電解質中的氧化成分捕獲機率的有效途徑。此外，用 Al_2O_3 等絕緣材料修飾 TiO_2 奈米晶也是

減小複合的重要方法。另外，染料分子的光譜響應範圍和高量子產率是影響染料敏化太陽電池的光子俘獲量的關鍵因素。

染料敏化太陽電池目前研究的重點和進展主要如下：

(1) 新型高效敏化劑的合成

開發新染料的主要目的是使染料能在全可見光譜範圍和近紅外光譜區內吸收光子能量，並具有高的量子產率。對於釕（Ru）染料，擴展吸收光譜主要通過增加釕染料分子的最高佔據分子軌道的能階或降低釕染料的最低非佔據軌道的能階，這樣就達到減小釕染料分子的前線軌道能階差的目的，進而擴展了染料分子的吸收光譜。增加高佔據分子軌道是通過改變釕上單體的陰電性來實現，而降低最低非佔據軌道則是靠增大聯吡啶分子的共軛性來實現。總之，設計高效、廉價的染料是組裝高效率低成本的敏化太陽電池的關鍵因素，也是奈米晶染料敏化太陽電池研究領域的一個熱門課題。

(2) 奈米晶多孔膜的製備

奈米晶多孔膜是染料敏化太陽電池的骨架部分，它不僅是染料分子的支撐和吸附載體，同時也是電子的傳輸載體。奈米晶多孔膜的最大特點是它具有很大的總表面積，如厚度為 $100\ \mu\text{m}$ 的奈米晶多孔膜的總表面積比其幾何面積大了約一千倍。另外多孔膜中的孔的連通性也是多孔膜結構的一個重要指標，這關係到電解質中氧化還原電對的有效傳輸。目前，實驗室中廣泛使用的製膜方法有刮塗法、旋塗法和逐層沉積法等，若考量大規模工業化生產，網版印刷法則是最好的選擇，可進一步優化奈米晶薄膜的孔率、孔徑、比表面積、厚度等相應參數，實現奈米晶多孔膜的微觀結構的可控性，使之適合各種類型電解質的填充，是一個極具挑戰性的課題。同時，對奈米晶多孔膜的進一步頸縮（necking）化處理，使之增大電導率和多孔膜的內表面粗糙度等也是多孔膜製備的重點研究方向。決定轉化效率的重要因素之一，是電子在復合（recombination）之前能多快被轉移離開二氧化鈦層，並迅速進入相鄰的導電玻璃電極中。當在二氧化鈦層中添加 ITO（Indium-Tin-Oxide）或 FTO（Fluorine-Tin-Oxide）奈米顆粒，可以增加二氧化鈦層的電流密度，以降低電子電洞對的復合率，提升太陽能電池的轉化效率。圖 18 為二氧化鈦層 SEM 照片，圖 19 為染料敏化太陽電池在照光下的電流密度測試結果。

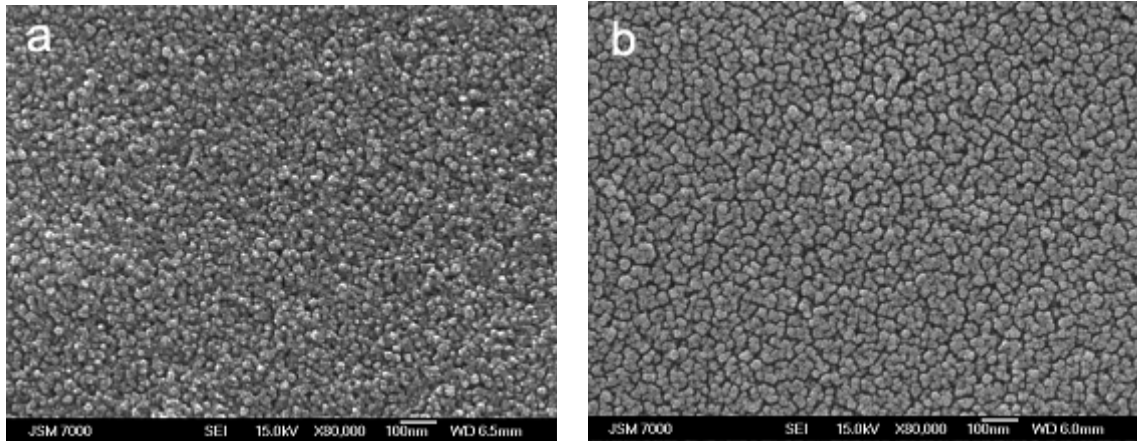


圖18 二氧化鈦層SEM照片 (a) 純二氧化鈦層 (b) 添加ITO奈米顆粒

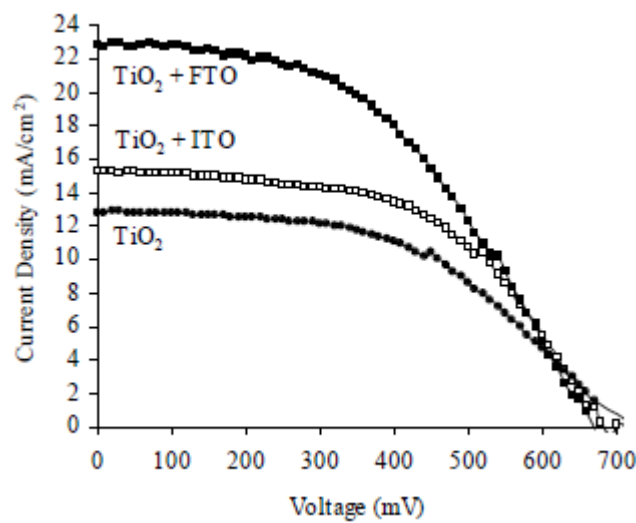


圖19 染料敏化太陽電池在照光下的電流密度測試結果

(3) 電解質

電解質體系的主要功能除了復原染料和傳輸電荷外，還能改變二氧化鈦、染料及氧化還原電對的能階，改變系統的熱力學和動力學特性，對光電壓影響很大。為提高電池的光電性能，人們在電解質系統中進行了很多的研究工作，得出了不少有意義的結果，例如：電解質的陽離子對系統的性能有影響，陽離子體積小者（如鋰離子、氫離子），則光電流大，光電壓小，體積大者則相反；溶液中加入鹼性組成（如氨），會增加光電壓；另外有機電解質系統的電導率通常較小，加入高電導率的組成（如離子液體）能提高電導率，增加填充因數。目前，液體電解質中廣泛使用的氧化還原離子對是 I^-/I_3^- ，碘離子對的主要問題是與染料的能階匹配特性不佳，使得電池的電壓損失較大，光電壓偏低，但其他材料的反應動力學特性更不好，二氧化鈦上的電子向溶液的回傳速度太快，轉換效率比碘離子對還要低，故如何製備

出電導率和離子傳導率高，電極電位與染料能階匹配，與二氧化鈦奈米晶以及對電極介面結合性能良好的高分子固體電解質或固態電解質，是目前研究的重點課題之一。由於液態電解質含有易揮發的有機溶劑，對電池的長期穩定性有很不利的影響，解決的方法是使用不揮發、穩定、電導率高的離子液體，或者加入高分子凝膠劑，形成固態的凝膠高分子，這既保持了液體系統的高導電性和高轉換效率，也降低了溶劑的揮發和滲漏，因此提高了壽命。

如果固態染料敏化太陽電池的效率能進一步地提高，達到 12% 的水準，或者能夠解決液體染料敏化太陽電池的封裝問題，則由於其成本的優勢，將具有廣闊的應用前景，如從小型之遠端的獨立應用系統到大功率的供電系統等，隨著人們的環保意識的增強和太陽電池的性能價格比不斷地提高，太陽光伏電池的總裝機功率必將快速增長。目前世界許多國家的政府都非常鼓勵使用這種環保的發電方式，儘管光伏電池的總裝機容量和一般的發電相比還只是占了很小一部分，但它的發展前景是非常值得期待的。

3.6 電漿光子學應用技術

表面電漿波(surface plasmon)是金屬表面的自由電子與光波之電磁場產生耦合作用所引發之集體振盪(collective oscillation)電荷密度波，在金屬表面被光波激發之表面電漿波會沿著導體表面傳播。最近新興的表面電漿光子學(plasmonics)係利用表面電漿波具有次波長(subwavelength)傳播的特色，可克服傳統光學的繞射極限(diffraction limit)，實現次波長積體光學(subwavelength integrated optics)的目標，將光子應用推進到類似於積體電子(integrated electronics)的境界。最近表面電漿光子學相關的新現象及效應不斷被發現，促使科學家努力探討及研究其物理機制及相關的實驗技術，且認為表面電漿子科學未來可為各種次波長光學技術提供許多新契機，其中包括表面電漿子晶片(plasmonic chips)、次波長尺度的光子元件及回路、電漿子增強式(plasmon-enhanced)半導體發光元件及太陽能電池、電漿子奈米微影(plasmonic nanolithography)、利用奈米透鏡(super lens)的超分辨性光學成像系統(可突破光學繞射極限)、次波長光學儲存系統等等，其用途不勝枚舉。在奈米材料方面，貴金屬奈米粒子受光激發時所發生的侷限性電漿共振(localized plasmon resonance、LPR)現象即與表面電漿波息息相關。貴金屬奈米粒子的 LPR 波段與其組成、形狀和介電環境皆有極強的關聯性。奈米粒子的 LPR 效應現在已被廣泛用為生化檢測

的靈敏工具，如果能將貴金屬奈米粒子組成爲長程有序的奈米粒子超晶格，將可爲人造電漿子超晶格的應用帶來突破性的機會。例如，我們可以藉由改變超晶格之晶格常數(奈米粒子的間距)，調整奈米粒子間 LPR 的電磁耦合之強度及機制(近場耦合或遠場電雙極耦合)，以產生整體性電漿共振(collective plasmon resonance, CPR)的方式達成人造設計電漿子超晶格的光學性質。其次，電漿波奈米波導由於金屬電阻會引起歐姆損耗，使得電漿波的傳播距離受到限制。採用金屬奈米顆粒組裝的共振結構做爲電漿波之波導，由於波導體積的縮小，也可大幅降低其歐姆損耗。

奈米科技帶來光與電作用的新學門，表面電漿光子學在光電轉換上扮演重要角色，因爲奈米金屬的表面電漿子的波長在 500-600 nm，也是太陽光最強的區段，如何利用電漿子成爲重要議題，透過表面電漿共振可以將光波轉換成可收集的能量。其中電漿共振視爲一種觸媒，利用新的 plasmonic 光電轉換途徑，可開發低成本、高效率的太陽電池。此外將開發表面 plasmon 相關的光解水材料，結合表面 plasmon 與光解水的科技還可提升太陽光解水的效率，甚至可以輔助光觸媒除污，這種以 plasmon 輔助的新觸媒預測將會引發許多的研究。

隨著奈米科技的進展，利用電漿子之電場放大效應也可以使得太陽電池之效率放大許多，圖 20 爲表面具有金屬奈米顆粒之非晶矽薄膜太陽電池結構示意圖，圖 21 係根據圖 20 模擬非晶矽薄膜太陽電池表面不同金屬奈米顆粒之光吸收效率，其結果顯示鍍有金屬奈米顆粒之光吸收效率有明顯的增加。圖 22 爲模擬薄膜太陽電池表面金屬奈米顆粒在不同粒徑及間距下之光吸收效率，顯示金屬奈米顆粒在小粒徑及大間距下具有較佳的光吸收效率。

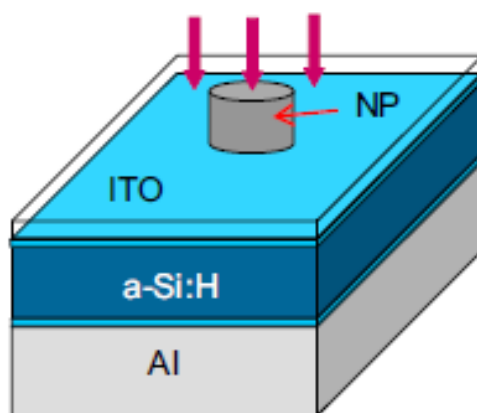


圖20 表面具有金屬奈米顆粒之非晶矽薄膜太陽電池結構示意圖

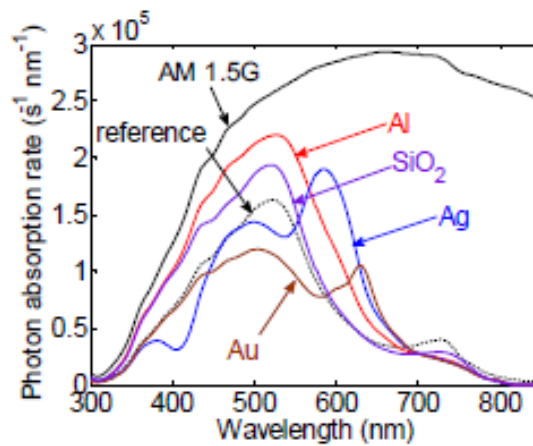


圖 21 根據圖20模擬非晶矽薄膜太陽電池表面不同金屬奈米顆粒之光吸收效率

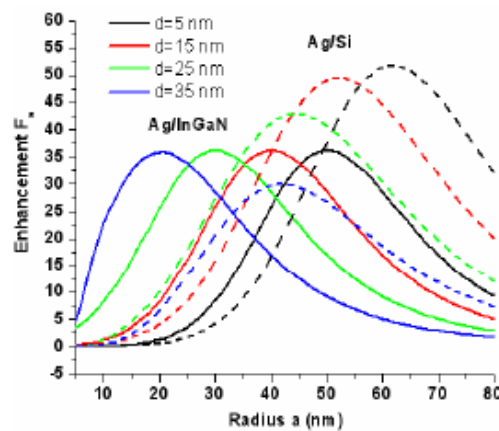


圖 22 模擬薄膜太陽電池表面金屬奈米顆粒在不同粒徑及間距下之光吸收效率

圖 23 為利用表面電漿光子學開發出太陽電池的結構設計示意圖，圖 24 為銀奈米顆粒沉積在 AlGaAs 視窗層的 SEM 照片，圖 25 為銀或鋁奈米顆粒沉積在 AlGaAs 視窗層的可見光穿透試驗結果，顯示在波長 600 nm 以上有良好的穿透率。

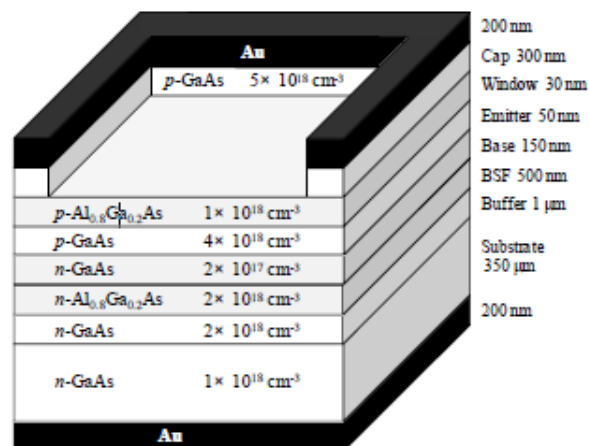


圖 23 利用表面電漿光子學開發出太陽電池結構的設計示意圖

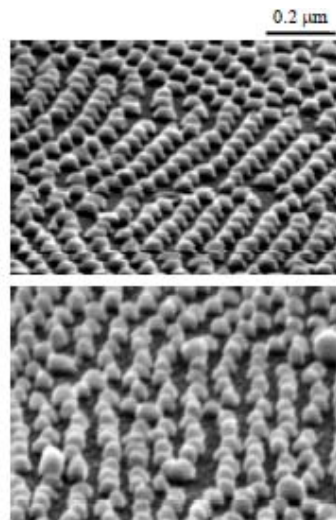


圖 24 銀奈米顆粒沉積在 AlGaAs 視窗層的 SEM 照片示意圖（上）熱處理前（下）熱處理後

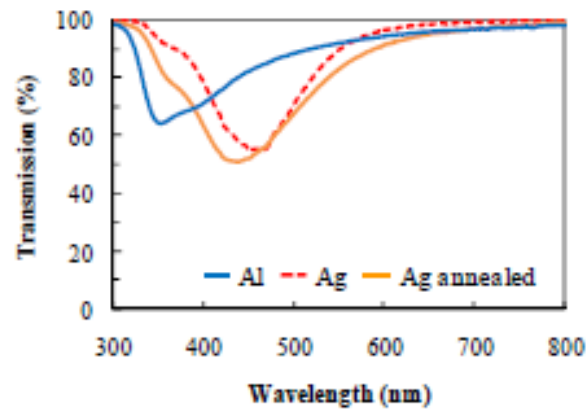


圖25 銀或鋁奈米顆粒沉積在AlGaAs視窗層的可見光穿透試驗結果

此外也有其他學者發表有機太陽電池表面鍍奈米孔洞銀，也可明顯降低光反射率來提升電池效率，圖 26 為有機太陽電池表面鍍奈米孔洞銀之 SEM 微觀結構照片，其中奈米孔洞銀直徑約為 500 奈米，深度約為 250 奈米。圖 27 為比較有機太陽電池表面有及無鍍奈米孔洞銀之光反射率，有鍍奈米孔洞銀之光反射率明顯較低。

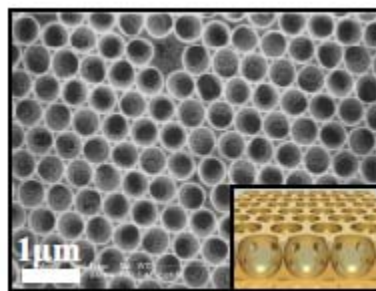


圖26 P3HT/PCBM有機太陽電池表面鍍奈米孔洞銀之SEM微觀結構照片，其中奈米孔洞銀直徑約為500奈米，深度約為250奈米。

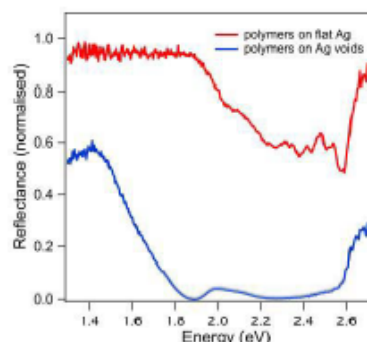


圖27 比較3HT/PCBM有機太陽電池表面有及無鍍奈米孔洞銀之光反射率

另也有其他學者發表有機太陽電池表面成長 ZnO 奈米線，其 SEM 照片如圖 28 所示，亦可藉由提升有機太陽電池之光散射，來增加電池效率。

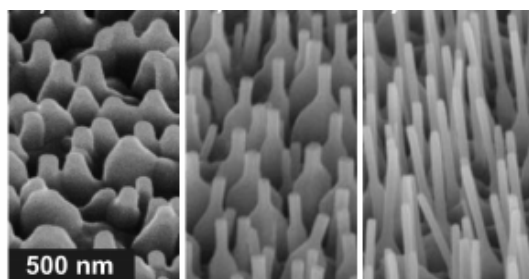


圖28 P3HT/PCBM有機太陽電池表面成長ZnO奈米線之SEM微觀結構照片

3.7 奈米粉體研磨分散技術

奈米材料是未來最具發展潛力的產品，其中奈米粉體材料更是應用最廣泛的奈米商品，其應用領域遍及電子產業、光電產業、醫藥生化產業、化纖產業、建材產業、金屬產業等，例如薄膜型液晶顯示器（TFT LCD）所需之彩色光阻（color resist）、印表機所需之噴墨（jetinks）、半導體晶片研磨所需之 CMP 研磨液、奈米級醫藥粉末、食品添加劑、塑膠填料等，因此如何將粉體材料製作成奈米尺度，已成為當下極重要之課題。本次參訪之 Bühler 公司為世界知名的專業分散研磨技術廠家，在此領域已累積逾一百多年的經驗，同時也是印刷油墨加工設備領域的領導廠商。其分散研磨技術廣泛地被應用於工業塗料、印刷油墨、電子、醫藥、化妝品、精細化學品、陶瓷、礦物加工業、造紙工業和奈米科技等領域，特別在各種攪拌、分散和研磨的全套高性能生產設備及技術上領先全球，產品從手動操作盤到無人化自動控制的全套控制系統都全然具備，並且不同機台間還能組合搭配使用。

將材料分散研磨到微米或次微米級很容易，但卻很難達到奈米的尺度，不管再怎麼分

散研磨，粒徑總是降不下來，其主要原因為材料一旦接近奈米的尺度後，此時粉體之比表面積將急遽增加，使凡得瓦爾力效應及布朗運動轉為明顯，粉體因而容易再度凝聚在一起，顯然奈米粉體的產品開發並不如想像中的簡單，奈米粉體的分散是首先要面對的關鍵問題，若無法突破，則奈米粉體將團聚成塊而無法發揮奈米特性。就熱力學觀點，當粉體分散成粒徑更小粒子，甚至小至奈米尺度時，粉體整體表面積會增加，導致過剩自由能增加，因此粉體傾向再聚集以減少表面積而減少過剩自由能。由粒子/分子間的作用力觀點，粒子間存在凡得瓦爾力，當粉體分散粒徑減少，粒子間的距離也會隨之減少，凡得瓦爾力也相對增加，會使粒子受到凡得瓦爾力作用而再度聚集。

一般製造奈米粉體材料有二個方法，一個為化學方法，即由下而上之製造方法 (bottom up)，如化學沈澱法，溶膠凝膠法(sol-gel)等；另一種方法則為物理方法，將粉體粒子由大變小(top down)，如機械球磨法等。到目前為止，以化學法製造奈米粉體的方法大部分在學術界被多方研究，且已有豐碩的成果，可以由此得到數奈米之粉體。唯其產量不易放大(scale up)，導致製造成本相當高，且所得到之粒徑分佈亦較大，因此產業界仍以物理機械研磨之方法來製作奈米級粉體材料。物理機械研磨法較易得到粒徑分佈較小之奈米粉體，同時生產成本相對較低，參數較易控制，較易將研發之實驗機台所得到的參數放大(scale up)到量產機台，惟由大變小(top down) 之方法目前只能研磨到 30 nm，但已能滿足業界之需求。

對奈米粉體製造廠而言，當然希望以乾式研磨方法來得到最終之奈米分體。但若以機械研磨方式研磨粉體時，於研磨過程中，粉體溫度將因大量能量導入而急速上升，且當顆粒微細化後，如何避免塵爆問題產生則是機台難以掌控的問題。所以一般而言，乾式研磨的粒徑只能研磨到 $8\mu\text{m}$ 。如果要得到 $8\mu\text{m}$ 以下之粒徑，就必須使用濕式研磨。所謂濕式研磨即先將粉體與適當之溶劑混和，調製成適當材料。為了避免於研磨過程中發生粉體凝聚之現象，所以需加入適當之分散劑或助劑當助磨劑。若最後奈米級成品為粉體而非漿料，則需考量到如何先將漿料中之大顆粒粒子過濾及如何將過濾後之漿料乾燥以得到奈米級之粉體。所以，當以濕式研磨方式得到奈米級粉體時，如何選擇適當的溶劑、分散劑、過濾方法及乾燥方法等，成為是否能成功地得到奈米級粉體的關鍵。

在奈米粉體材料製造過程中，包含兩項重要程序，即研磨與分散。研磨係利用剪切力 (shear force)、摩擦力或衝力 (impact force) 將粉體由大顆粒研磨成小顆粒；分散係添加分

散劑將奈米粉體粒子包覆(coating)住，以便達到顆粒完全被分離 (separating)、潤濕(wetting)、分佈(distributing)均勻及穩定(stabilization)之目的，如此才能充分發揮奈米粉體特性。在奈米粉體研磨分散過程中，當粉體尺度由大變小時，凡得瓦爾力及布朗運動現象將逐漸明顯且變得重要，使粉體處於非常不穩定且容易再凝聚之狀態，即使聚集之粉體被磨球打開來了，也非常容易再凝聚回來。爲了防止奈米粉體粒子受到凡得瓦爾力作用而再度聚集，繼續降到一次粒徑之大小，如何選擇適當之分散劑以避免粉體再次凝聚，以及如何選擇適當的研磨機來控制研磨漿料溫度以降低或避免布朗運動之影響，將成爲濕式研磨分散方法能否成功地得到奈米級粉體之關鍵技術。

在選擇適當之分散劑方面，藉由形成複雜交互作用力，如靜電排斥力、立體排斥力及體積排除作用力等於固體或液體界面，使其成穩定狀態，可避免粉體再凝聚之產生，其中最簡單的方法爲藉由 PH 值的調整，來讓奈米粉體表面帶電荷，使粉體與粉體間產生電斥力 (electric repulsion)，然而，奈米粉體因受限於其最終產品應用及配方之限制，適用此方法之應用並不多；第二種常用的方法爲藉由立體排斥作用力來形成固體與固體，固體與液體間的穩定狀態，此方法最常選用具高分子量之高分子或單體來當分散劑，當漿料之粒徑要求爲微米或次微米時，此方法效果相當好；但當所欲分散或研磨之漿料的粒徑要求小於 100 nm 時，若仍選用具高分子量之高分子或單體來當分散劑，則當粉體被奈米化時，漿料內之大部分體積已被高分子量之高分子或單體所形成之障礙物所佔據，此時漿料容易遭遇下列問題：

- (1) 固成分 (solid content) 大幅降低，一般爲 35 % wt 以下。
- (2) 漿料之黏滯性因而提高，不利研磨機內小磨球之運動，導致最後之粒徑降不下來。
- (3) 粉體容易產生再凝聚之現象，導致奈米特性無法發揮。

爲了避免上述問題之產生，將選用較低分子量之分散劑來當界面改質劑。根據溶液化學 (solution chemistry)的概念，較小分子量之化學鍵所形成之官能基，將較易被接到奈米粉體的表面上。

原則上，所選用之分散劑同時具有下列兩個官能基：一個官能基被設計來接到奈米粉體表面，使奈米粉體表面產生一個穩定相，以避免粉體之再凝聚；另一個官能基之設計乃根據日後該奈米粉體所計畫被添加之界面(Matrix) 而定，以避免不相容之現象發生。因爲本界

面改質製程所採用之工具為濕式分散研磨設備，所以所選用的界面改質劑需能與所使用之溶劑相容。儘管所選用之界面改質劑之分子量很小，但仍可在奈米粒子表面產生 2 ~ 5 nm 厚度之薄膜，足夠產生一個立體障礙並支撐奈米粒子之穩定性，相信根據上述原理所量身打造之界面改質劑，可以滿足下列之要求：

- (1) 固成分可以大大提高到 35 ~ 45 % 以上。
- (2) 粒徑可以降到粉體一次粒徑之大小(例如10 nm 左右)。
- (3) 漿料之黏滯性不再受粒子粒徑下降之影響而急速上升。
- (4) 粉體將不易產生再凝聚之現象，即使添加到後段之製程仍為奈米粒子。

在選擇適當的研磨機方面，高速攪拌球磨機(high speed agitated beads mill)具有強力分散能力和量產能力，適用於奈米粉體研磨分散製程，其為一密閉系統，係利用機械力帶動高硬度及耐磨耗研磨介質，使研磨介質形成不同形式的相對運動，對粉體產生高能量密度的撞擊及剪切力，最終將粉體微細化或是將其團聚分散。分散的粉體顆粒散佈於溶液之中並受到分散劑作用而使粉體不聚集，因此製作出奈米尺度的粉體分散液。經由循環式或批量式的研磨分散加工後，再使用小於研磨介質粒徑的間隙或篩網分離研磨介質與粉體，收集粉體成品。

珠磨裝置的能量輸入加工過程中，可以將能量加工模式細分為兩類，一種是粉體在研磨腔體中受到研磨介質施加應力的次數，另一種是粉體受到研磨介質施加應力的強度。當珠磨裝置對粉體的加工目的是將團聚成塊狀的粉體打散時，研磨介質間必須要有足夠的剪切力作用，所以碰撞機會和研磨介質的表面積相關，和研磨介質直徑的平方成正比。當粉體材質為結晶狀態，珠磨裝置對粉體的加工形式主要是粉碎微細化，因此碰撞機會和研磨介質間的體積相關，和研磨介質的直徑成正比。一部可進行奈米粉體生產的珠磨裝置依照功能分為四個系統，分別為研磨系統、冷卻系統、原料儲存及輸送系統、以及控制系統，分別說明如下：

(1) 研磨系統

研磨系統主要負責粉體加工，必須要具備高能量密度，而且有足夠粉體微細化和解團聚的應力強度。因此，研磨系統的設計包含：

- a. 攪拌器：攪拌器設計可提高設備能量密度，由於攪拌器在研磨槽內同時形成層流及紊流區域，研磨介質的相互運動複雜且激烈，對粉體同時進行撞擊及剪切作用。

- b. 研磨室：設計良好之研磨室可減少研磨介質受到重力影響而產生分布不均勻的現象、減少研磨介質磨耗、提高研磨介質填充比率(70%~90%)，以及減少啓動能量，研磨介質填充比率越高則粉體加工效率越佳。所有與漿料接觸部分之材質需適當地選擇以避免污染問題產生，且研磨室需有大面積之熱夾套層設計，以利將熱量帶走及控制良好之研磨漿料溫度。
- c. 高轉速主軸：主軸轉速關係攪拌器帶動研磨介質的運動速度，攪拌器切線速度和應力強度相關，當粉體粒徑越小，則需要更高的應力強度才能進行微細化和解團聚加工作用，如需進行奈米級粉體分散作業，攪拌器最高切線速度需達15m/s 以上。
- d. 離心輔助分離裝置：離心輔助分離裝置可使用更小的研磨介質(例如0.1mm釹安定氧化鋯研磨介質)，越小的研磨介質可有更好的加工效率。其中離心輔助分離裝置可產生離心力作用，將研磨介質帶離分離裝置區域，減少分離裝置阻塞現象。另濾網之間隙需能依不同之磨球大小而任意調整，最好於更換濾網間隙時，不需卸下磨球及打開研磨機即可完成。同時，濾網面積越大則研磨機所能使用之流量將越大，更能滿足大流量小磨球之法則。

(2) 冷卻系統

珠磨裝置利用高能量研磨系統進行粉體加工，加工過程中會有很多的熱量釋放，因而造成粉體分散液溫度的上升，一般分散液所使用的分散劑有適用的溫度範圍，當溶液溫度高於此溫度範圍時，會造成分散劑失效，粉體再度發生凝聚成團的現象。冷卻系統設計可以減緩溫度上升趨勢，並維持穩定，而增加軸心冷卻的設計在測試中更顯示其能更提昇裝置的冷卻效率，更適用於熱敏感材料的加工製程。

(3) 原料儲存和輸送系統

粉體分散裝置可簡單分為批量式和連續式，但量產時由於連續式生產模式可以大幅減少研磨介質的使用，提升產品品質，因此量產生產線多半考慮連續式生產模式。採用連續生產模式，需將粉體原料、分散劑和溶液預先混合於料桶，料桶配有冷卻水套，並裝置於具備腳輪的鋼架上，方便機台移動。存放物料、半成品和完成品都需利用低轉速(1000rpm)的攪拌機攪拌分散。輸送物料應採用進料幫浦，但由於實驗室測試的物料種類眾多，最好搭配清理容易和低壓力脈衝效應的蠕動幫浦。

(4) 控制系統控制系統主要操作介面為觸碰式螢幕，主要量測訊號包括：出料處溫度、進料處壓力，主軸馬達轉速及功率、蠕動幫浦進料流量。控制訊號包括：主軸馬達轉速、蠕動幫

浦進料速度等。控制器功能包含a.轉速/流量控制(多段)；b.壓力/溫度/主軸功率監控；c.資料輸出；d.製程資料儲存；e.安全設定；f.故障訊息說明；g.遠端連線等。

此外，要得到良好分散效果之奈米級粉體，尚需注意以下程序：

(1) 漿料之前處理及預攪拌(Pre-mixing)

要達到研磨或分散目的，主要靠研磨介質（即磨球）之大小及材質之選擇是否得當。所選擇之磨球需為 0.3-0.4 mm 或以下。同時，為了讓那麼小的磨球能夠在研磨過程中不受漿料於 X 軸方向移動之推力影響而向前堵在濾網附近，導致研磨室因壓力太高因而停機，其攪拌葉片之切線速度需超過 10 m/sec 以上。同時，漿料之黏滯性需調整到 100 cps 以下，以便讓磨球之運動不受漿料黏度的影響。同時，漿料之固成分(solid content by weight)亦需控制在 35%以下，以防研磨過程中因粉體比表面積之增加而導致黏度上升，無法繼續使用小磨球。當然，為了避免 0.3-0.4mm 磨球經由濾網流出研磨室或塞在濾網上，所以濾網間隙需調整到 0.1 mm。故於前處理或預攪拌時，需依下列法則準備研磨前之漿料，整理如下：

- a. 先決定所欲研磨之最後粒徑需求(target fineness)。
- b. 將漿料之黏度(viscosity)、固成分、研磨前之粒徑大小(start fineness)依需求做準備。
- c. 預攪拌或前處理系統攪拌葉片之轉速需為High speed 設計。切線速度最好為2-6 m/sec 以避免漿料沈澱或不均勻問題產生。

(2) 研磨機部分

為了快速達到研磨粒徑要求且使研磨機可以正常地運轉，所需控制之法則及參數如下：

- a. 依所需之粒徑要求選擇適當的磨球。例如，若需達到奈米級之要求且避免磨球損耗，需選擇釔安定之氧化鋯磨球，莫氏硬度越大越好，磨球表面需為真圓，沒有孔隙，磨球之大小為0.3-0.4 mm。磨球選擇適當與否將會決定能否成功地研磨到所欲達到之粒徑要求。
- b. 依據磨球大小及漿料黏滯性調整適當的攪拌葉片轉速。一般奈米級研磨，轉速需達10 m/sec 以上。
- c. 控制研磨漿料溫度。影響漿料溫度之主要參數為控制葉片之轉速、磨球充填率、研磨室熱交換面積大小、冷卻水條件及流量等，一般奈米級漿料之研磨溫度需控制在40℃以下，因溫度太高時，溶劑將易於揮發而使漿料黏度大大升高，不僅使腔體發熱而造成危險，且乾涸之漿料亦會阻塞、黏滯於腔體，造成清理上的極大困難。

- d. 依據磨球大小調整適當之濾網間隙。一般濾網間隙為磨球直徑之1/2~1/3。
- e. 調整幫浦轉速。在研磨室可以接受之壓力範圍內，幫浦之轉速越大越好。如此，可以於同一研磨時間內增加漿料經過研磨機之研磨次數，以得到較窄之粒徑分佈。
- f. 記錄研磨機所需消耗之電力kW值。
- g. 於取樣時，記錄每個樣品之比能量(specific energy)值，並於分析該粒徑大小後，將比能量與平均粒徑之關係做出，以利將來量產用。
- h. 於達到所需之比能量值時即可停機。此時，原則上已達到所需研磨分散之平均粒徑要求了。
- i. 當原始粉末之粒徑比目標粉末之粒徑大很多時，通常不宜企圖以一次的研磨（不更換磨球尺寸）的方式來達成，如此可能耗費極長的時間亦無法達到。通常以分兩階段研磨較為適當。

(3) 循環桶槽部分

一般欲得到奈米級粉體，均需利用研磨機研磨數十次，甚至上百次才可以達到奈米級粉體。為了節省人力及有利於自動化、無人化操作，可使用循環式操作模式(recirculation operation mode)做奈米級粉體研磨。其主要之考慮重點如下：

- a. 循環桶槽之大小不宜太大，一般若研磨機對大流量為3000 l/hr 時，則桶槽最大容量為500 L。一般循環桶槽大小為研磨機最大容許流量之1/5~1/10 為宜，越小越好。如此可以增加循環桶槽內漿料於同一時間經研磨機研磨，以得到較好之粒徑分佈。
- b. 循環桶槽需有攪拌葉片設計，攪拌之速度不宜太快，以0-3 m/sec 為宜，以避免氣泡問題產生。
- c. 循環桶槽需有熱夾套層之設計以增加研磨效率。若欲有效率地達到奈米級粉體之分散研磨，上述之前處理、研磨機及循環桶槽等各要素均需具備，缺一不可。

(4) 決定平均粒徑之方法

若漿料配方固定，研磨機操作條件亦固定下，平均粒徑將決定於比能量(specific energy)值，比能量E 值之定義如下：

$$E = (P - P_0) / m' \cdot C_m$$

E：比能量，單位為kWh/t

P：消耗電力，單位為kW

P₀：無效的消耗電力，即尚未加入磨球時，啟動研磨機之消耗電力，單位為kW

m' : 流量, 單位為ton/hr

C_m : 固成分, 單位為%

由上可知, 比能量之物理意義為每噸粉體每小時所消耗的電力, 只要控制相同的比能量值, 即可得到相同的平均粒徑值。

(5) 磨球大小對研磨結果之影響

不同磨球大小將影響所需之比能量值, 一般而言磨球越小, 則研磨效果越好, 所需之比能量值越小。

(6) 決定粒徑分佈(particle size distribution)

粒徑分佈決定於Peclet number 之大小, Peclet number 越大, 則粒徑分佈越大, Peclet 之定義如下:

$$Pe = V \cdot L / D$$

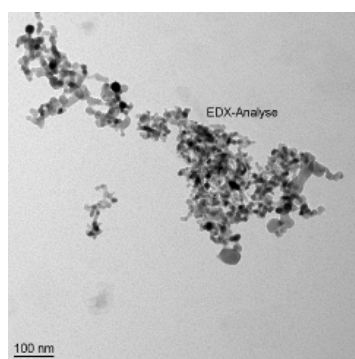
Pe : peclet number

V : 軸向運動速度

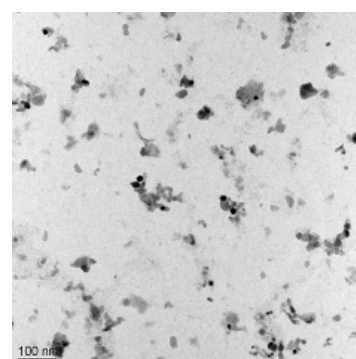
L : 研磨室長度

D : 擴散係數

所以當漿料被幫浦打入研磨室後, 當軸向的運動速度越快, 軸向之分力越大, 且當研磨室內漿料之擴散係數越小時, 則 Peclet 值將越大, 如此可得到較窄之粒徑分佈。若在研磨室之壓力允許範圍內, 儘量增加流量, 如此可以提高 Peclet number 值, 以便得到較窄之粒徑分佈。圖 29 為 Bühler 公司提供之氧化鋯奈米粉體 TEM 照片。其中分散處理前有凝聚現象, 分散處理後已無凝聚現象。



分散處理前



分散處理後

圖29 Bühler公司提供之氧化鋯奈米粉體TEM照片。

在本次赴 Bühler 公司參訪及研討的過程中, 對於該公司與客戶間的合作模式亦得到新

的啓發。首先，Bühler 公司除了有設備上的極大優勢及研發人力外，對於客戶刻正開發之產品的分散研磨技術亦提供實質的協助，不僅協助客戶針對特定粉末微小化技術的需求，提供實驗室級條件的優化，包含在機械上（磨球種類、尺寸及含量、轉速、固含量等）、化學上（分散劑、改質劑、溶劑之種類及添加量、pH 值調控等）的條件開發，同時亦針對所得粉末提供相關的檢測，並設計專屬客製化的量產設備，亦即從研發以至於量產，提供完整的服務，為客戶提供最佳解決方案。另一方面，該公司所生產的奈米分散研磨機台雖然所費不貲，但卻是一套極耐操的設備，在正確的使用及維護下，其使用壽命極長。Bühler 公司提供客戶一項優惠，那就是以新機台價格的 70~75% 的價格將就機台維修再造。起初我們不太能接受這樣的想法，以大部分台灣人的觀點，與其以如此高的價格重整舊機台，不如買一部新機台好了。事實不然，根據 Bühler 公司表示，由於舊機台經整頓後，完全煥然一新，幾乎與新機台無異，如圖 30 所示，故在歐洲的許多老客戶都寧可捨棄購買新機台而委託進行舊機台的重整翻新，且口碑良好。此外，德國人做事果然一板一眼，從廠房參觀中，可觀察到他們在人員動線上、工作安全上的考慮周詳，所有研發及維修所需之材料、工具皆進行極佳的整頓及管制，如圖 31 及圖 32 所示，藉此可大幅提高工作效率，減少無謂的打掃、尋找、確認所浪費的工時，這是我們仍須學習的地方。



圖 30 客戶送回 Bühler 公司進行重整的舊機台，經約三個月的整修後，仿如新機台



圖 31 Bühler 公司之實驗室具良好的通風管線佈置及寬敞明亮的研究環境



圖 32 Bühler 公司在物料、工具的分類及貯放極為嚴謹，藉此提高工作效率，
減少無謂的打掃、尋找及確認所浪費的工時

3.8 結語

奈米結構材料研發包括奈米粒子、奈米管、薄膜、奈米多孔材料與奈米複合材料，由於這些材料具有獨特功能性如高表面積、奈米大小與量子侷限效應、有序多孔性及高吸附與偵測能力等，使得奈米結構材料成為太陽電池、場發射元件、被動元件、醫藥、吸附劑、觸媒、感測器等最理想的材料，例如利用奈米自組裝技術操控導電高分子之聚合速率，可成功開發高導電率之導電性高分子材料，使導電高分子以 1000 倍的導電率，取代原有的液態電解質電容器，成為下世代新興之被動元件。由於奈米材料的突破，使導電高分子固態電容器能承受 IC 運算速度的提升所造成之熱能及高漣波電流，並能匹配攜裝尺寸的縮小，解決可攜式電子產品因 CPU 功率提昇之散熱及運算可靠度問題。奈米材料在全球各研發領域上已被視為最前瞻的材料(advanced material)，為新材料和新光電磁元件的建構基石(building block)。奈米材料的研發除可提昇產業的技術層次與競爭力外，也可創造高附加價值的新興產業，帶動聲、光、電、磁、熱、力、生化等關聯產業的發展，因此材料科技朝奈米級尺度發展已成為必然趨勢，未來所有高科技產業都將需要新的奈米材料來配合，這是今日科技發展中極關鍵的一環。奈米材料技術乃是一個具有高度實用性，且相當熱門的尖端研究領域，未來必定會對整個產業經濟、國防工業和民生結構產生極大的影響。

參加本次於德國舉行之 2010 年光學奈米結構材料研討會，以及參訪 Bühler 公司受益良多，綜合心得重點整理如下：

- (1) 瞭解先進國家在光學奈米結構材料製程、特性、結構設計，以及奈米粉末研磨、分散之最新發展資訊，提供本院奈米計畫執行團隊未來建案之重要參考，以協助我國建立自主奈米關鍵技術。
- (2) 透過與國外專家學者交換研究心得及進行實務問題討論，瞭解各國在奈米綠能產業之推展現況及運作模式，戮力發展市場亟需、軍民通用之奈米技術與產品，以協助產業界透過技術升級及創新應用而提高其競爭力。
- (3) 掌握先進國家在光學奈米結構材料及奈米粉末研磨分散技術之發展趨勢及最新材料特質評估技術，有助於建構完整的材料與零組件檢測與評估技術，提昇本院在評估製程適當性及研提改善方案的能力。

- (4) 配合本院既有之材料關鍵技術能量及獲得之先進材料特性資訊，可增進對材料及零組件特性的掌控，減少研發過程的試誤，提昇材料及零組件開發的時效。
- (5) 擴大材料服務網絡，將國家級實驗室所建立之材料開發及檢測技術分享與推廣於產學研各界，以加速產業升級，促成先進材料技術的建立，強化我國產業的競爭力與優勢。

肆、建議事項

- 一、將奈米粉體應用於各類材料及元件上以產生新穎特性及創造價值，在奈米科技的推陳出新佔有舉足輕重地位，如何將微粒細化成奈米尺度，並達成良好的分散為各界共同的研究課題，建議本院應加強研析粉體細化及改質的技術，以凸顯其應用價值。
- 二、本次參加的研討會中，諸多太陽電池的研究皆指向在元件上製造規則結構圖案，以增加太陽電池的轉換效率，建議本院應將此方面的研究納入相關計畫中。
- 三、研究奈米科技是目前科技界公認為將來最具發展潛力及前瞻性的研究領域，也是未來科技和產業發展最主要的驅動力。未來本院應在已俱備之國防能量為基礎下，順應潮流發展具利基、可實用化之奈米技術與產品。
- 四、本院應積極規劃資源投入奈米科技發展，結合國防經費共同投資，以建構長期研發能量。本院自參與奈米國家型科技計畫迄今，已陸續完成多項奈米技術的建置，初步達成「協助產業技術升級與創新，落實軍民通用科技研發」的目標，其中多項技術並已落實應用於國防領域，未來仍需努力開拓國防方面的應用，以達成「發達國家經濟」、「強化自主國防」的雙效價值。

附件：無