

出國報告(出國類別：其他(開會))

CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫— 國際分子束磊晶會議出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：莊豪偉 聘用技士

派赴國家：日本

出國時間：民國 101 年 9 月 23 日至 9 月 28 日

報告日期：民國 101 年 10 月 26 日

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	CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫－國際分子束磊晶會議出國報告		
出國單位	第五研究所	出國人員級職/姓名	聘用技士 / 莊豪偉
公差地點	日本奈良	出/返國日期	<u>101.9.23</u> / <u>101.9.28</u>
建議事項	<p>在本次會議中，有不少 CIGS 相關論文的發表，其中 Keisuke Furumi 研究團隊使用分子束磊晶機台，於玻璃基板上完成 CIGS 太陽電池元件的製作，並得到 16.9% 的轉換效率，本計畫過去於玻璃基板上製作 CIGS 元件最佳的轉換效率約為 12.3%，目前計畫為使用軟性的不鏽鋼箔為基板，以共蒸鍍製程可得到 12.4% 的轉換效率，若能利用 MBE 成膜的高品質與膜厚、成份容易控制的優勢，在可撓式不鏽鋼基板上進行元件的開發，可望有效精進元件的特性。此外，A. Kawaharazuka 等學者為了避免鎘元素的增加造成 CIGS 元件效率不佳，提出 CIS/CGS 超晶格的概念，並由其晶格不匹配常數設計各膜層的厚度，進行光學模擬，得到的光子吸收效率比原本 CIGS 合金高約 28%，但尚未進行實驗驗證，建議經濟部或國科會等政府單位，能提撥部分經費支援有技術能量的學校，使用分子束磊晶系統，成長 CIS/CGS 短週期重覆性超晶格結構，進行 SEM、XRD 與光子吸收效率的檢驗，進而製作高品質的 CIGS 太陽電池元件。</p>		
處理意見	<p>使用分子束磊晶系統進行 CIGS 或 CIS/CGS 超晶格結構之成長，進一步量測元件的轉換效率，本所若有足夠經費的支持，可以進行相關的開發工作，一旦有好的研發成果，下一步便是與廠商溝通討論，設法降低製程成本與改善大面積均勻性，期望最終能落實技術產品化的目標，為本院創造更大的價值。</p>		

國防部軍備局中山科學研究院
101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	聘用技士/莊豪偉
單 位	審 查 意 見		簽 章
一級單位	一、出國報告內容詳實，對現階段科專計畫執行以及建案規劃具有參考價值。 二、報告內容未涉及本院研發機密。		
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

此行派遣莊員前往日本參加第 17 屆國際分子束磊晶會議，會議分爲論文發表與廠商展覽會兩大部分，藉由參加論文發表會，搜集了國際上分子束磊晶的最新研究成果：在 CIGS 太陽電池的部分，包括 MBE 磊晶 CIGS 膜薄的效率量測和以 CIS/CIGS 超晶格結構提高光子吸收效率，都與本所執行的計畫息息相關；在三五族材料的部分，則有氮化鎵電子元件與 InGaN/GaN 量子點藍綠光雷射等先進議題；在氧化物的部分，ZnO 緩衝層的研究與氧化鎵材料的開發等題目，則契合本所材料、光電的研發主軸。參加廠商覽會，瞭解各家廠商的產品主軸與未來走向，參觀各式量產與研發用設備、關鍵零組件、源材料及相關產品，並與廠商洽談卷對卷設備的可行性與 CIGS 的應用，皆對計畫有實質的幫助。以國際研討會爲平台，參考並學習他人的經驗，甚至尋求與學界、業界有更多的合作機會，就提昇本院本院技術水平，乃至於計畫未來的技術移轉與後續的建案規劃，均有顯著的效益。



出國報告審核表

出國報告名稱：CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫－國際分子束磊晶會議出國報告			
出國人姓名	職稱	服務單位	
莊豪偉	聘用技士	國防部軍備局中山科學研究院	
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input type="checkbox"/> 實習 <input checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>開會</u> (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)		
出國期間：101 年 9 月 23 日至 101 年 9 月 28 日		報告繳交日期：101 年 10 月 26 日	
計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 計管組： <input type="checkbox"/> 2.格式完整 <input checked="" 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 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 checked="" type="checkbox"/> 其他 <u>已於 101 年 10 月 12 日辦理組內知識分享</u> <input type="checkbox"/> 10.其他處理意見及方式： <u>報告內容不涉機敏，資訊可公開。</u> 敬會：保防官及保防督導官 		
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：	2.出國類別：	3.完成日期：	4.總頁數：
CSIPW-101Z-H0005	其他(開會)	101.10.26	40
5.報告名稱：CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫－國際分子束磊晶會議 出國報告			
6.核准	人令文號	101.08.28 國人管理字第 1010011652 號	
文號	部令文號	101.08.23 國備科產字第 1010012770 號	
7.經 費		新台幣：64,251 元	
8.出(返)國日期		101.09.23 至 101.09.28	
9.公 差 地 點		日本奈良市	
10.公 差 機 構		日本應用物理協會 (The Japan Society of Applied Physics)	
11.附 記			

目 次

壹、目的.....	9
貳、過程.....	10
參、心得.....	28
肆、建議事項.....	29
附 件.....	31

CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫一

國際分子束磊晶會議出國報告

壹、目的

本次參加第 17 屆國際分子束磊晶會議(The 17th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, MBE2012)，係執行經濟部科技專案「CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫」，赴國外收集最新研究趨勢以及參展廠商市場脈動資訊，可作為本計畫後續應用規劃。

分子束磊晶(molecular beam epitaxy, MBE)的原理是源材料以真空蒸鍍的方式進行沈積，蒸發的分子以極高的熱速率，直線前進到達磊晶基板之上，以快門阻隔的方式，控制蒸發分子束，獲得超陡介面。MBE 的成長過程中，有反射高能量電子繞射(reflection high-energy electron diffraction, RHEED)振盪現象，使其具有在磊晶成長時監控磊晶層成長厚度的能力，其控制的精確度，可以達到單原子層，因此能輕易地成長超晶格結構。

MBE 最早的發展是由 20 世紀中的 J.R Arthur 和 A.Y. Cho 首先開發出一種歸類於物理氣相沈積的磊晶方式，其優點為磊晶的過程中厚度與成份比例的控制較為精確，但缺點是均勻度較難掌握，此外，MBE 系統對真空度的要求極高，通常背景真空維持在小於 10^{-10} ~ 10^{-11} torr，因此機台成本與產能都限制了 MBE 於產業界的應用，但近年來許多設備商都發展出量產型的分子束磊晶系統以符合市場需求。目前採用 MBE 生產磊晶的地區以北美為主，其次是日本與歐洲，故每兩年舉辦一次的國際分子束磊晶會議是由北美、歐洲與亞洲輪流舉辦，今年度是在日本奈良市新公會堂舉辦，共有約三百篇論文發表，吸引二十餘家廠商前來參展，其中 Veeco 與 Riber 公司各舉行一場使用者會議。

本科技專案「CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫」之其中一項工作內容為進行 CIGS 太陽電池元件之開發，CIGS 是一種由銅、銮、鎵以及硒所組成的三五族化合物半導體化合物，因此簡稱 CIGS，由於 CIGS 材料的高吸收係數(約為單晶矽的 100 倍)與高轉換效率(約可達 20%)，可使用低成本基板以及其高穩定性等特性，愈來愈多廠商與研究機構投入 CIGS 太陽電池元件的開發。

一般 CIGS 太陽電池之基本結構最底層為基板，通常使用的材料為玻璃或是具有可撓

性的金屬箔（如不銹鋼箔、銅箔、鋁合金箔）或一些高分子如 Polyimide (PI)，而基板上會濺鍍一層約 $0.5\sim 1.0\ \mu\text{m}$ 之 Mo 背電極以利於電洞傳導，往上則是 CIGS 光吸收層，此層約為 $1.5\sim 2.0\ \mu\text{m}$ ，接著是約 $0.05\ \mu\text{m}$ 厚的 n-type 半導體 CdS，此層也兼具緩衝層的功能，幫助電子有效傳導，再往上有一層約 $0.1\ \mu\text{m}$ 厚的 n-type i-ZnO 層，防止 CIGS 太陽能電池在進行發電過程中，因 Shunting 的問題導致元件效能下降，此時再濺鍍上 AZnO 作為透明導電層窗口，此窗口層除了作為上電極之外，尚須讓陽光順利通過此層到達 CIGS 光吸收層；最後鍍上金屬鉛導線約 $0.05\ \mu\text{m}$ ，即構成一個銅銦鎵硒薄膜太陽能電池。

目前 CIGS 層的製備方法可分為真空和非真空製程。最常見的真空製程，是用共蒸鍍 (co-evaporates) 或濺鍍 (co-sputter) 的方式將銅、鎵以及銦製成薄膜，再將此薄膜以硒蒸氣進行退火，即完成 CIGS 結構；另外一種方法是直接共蒸鍍銅、鎵、銦以及硒至一個加熱過的基板上。非真空製程係將先驅物的奈米粒子沈積於基板上，接著以燒結方式形成 CIGS 結構，具有低設備成本的優勢，部分業者亦從電鍍法或奈米印刷方面研究量產的可能。

本計畫參加第 17 屆國際分子束磊晶會議的其中一個目的就是瞭解國際上分子束磊晶的最新發展，並與專家學者討論分子束磊晶用於 CIGS 太陽電池之研究情形，利用 MBE 厚度與成份能精確控制的優勢，以期提昇元件之轉換效率，進一步達成低成本、高產量與產業化的目標。此外，目前國際上分子束磊晶的研究內容包羅萬象，包含雷射、氮化物、III-V 族材料、氧化物、光電元件與高速電子元件等，藉由此行亦可搜集學校與廠商的最新研究內容，作為本院後續建案規劃與製程能量建立的參考。

貳、過程

第 17 屆國際分子束磊晶會議在 2012/9/23 至 2012/9/28 於日本奈良市新公會堂舉行，除了第 1 天的歡迎茶會外，第 2 至 6 天的議程，共有數位受邀貴賓、學者報告 MBE 發展趨勢、最新研究成果與最新消息等，在 24 場技術研討會中，研討領域包括 MBE 原理、自旋材料、氮化物、三五族化合物、電子元件、氧化物與光伏與四族材料等，礙於時間有限，此行僅參加與本計畫及本院研究領域相關的議題。在廠商參展的部分，共有 Veeco、Riber、EpiQuest、Omicron、R-DEC、MBE-Homponenten、CREATEC、Wafer Technology... 等約 27 家廠商展示了最新 MBE 系統、零組件與晶圓量測等相關產品，其中 MBE 系統大廠 Veeco 與 Riber 公司各舉行

一場使用者會議，由於本院的分子束磊晶是使用 Riber 系統，此行也參加了 Riber 的使用者會議，以下將就本次研討會所獲得的相關訊息進行報告。

一、大會資訊

國際分子束磊晶會議為目前國際上最大、最專業的的分子束磊晶相關論壇，第一屆國際分子束磊晶會議在 1978 年於法國巴黎舉行，隨後第 2 屆會議在 1982 年於日本東京舉辦，本會議目前為每兩年舉辦一次，地點依續為北美洲、歐洲與亞洲，每六年一個循環，前兩屆分別在加拿大溫哥華與德國漢堡舉行，第十七屆國際分子束磊晶會議的場地則是在日本奈良縣奈良市的新公會堂。

奈良市地處日本關西地區，位於大阪東方約 25 公里處，為日本第一個固定首都，因此城市內保留許多古蹟與世界遺產，是一座歷史悠久並具有地方特色的古都，本屆的會議地點奈良市新公會堂於 1987 年建立完成，座落於知名的奈良公園內，備有四間主要的會議廳，總席位約 500 席，舉辦本研討展覽會適切得宜。此外主辦單位特地準備了接駁巴士往返飯店與會場之間，確保所有與會貴賓與訪客能安全便利地到達會議地點，由此可見日本人做事的細心是值得我們學習的。



圖 1 奈良市新公會堂所有與會者合影



圖 2 會場入口

本會議為研討關於分子束磊晶重大事件發展的主要國際論壇，例如分子束磊晶本身技術的發展，新型材料，新型結構的形成，新物理特性與功能的探索與發展，新功能元件的發展，以及元件的量產等，議題包含了基本與應用方面的研究；在展覽的部分更是吸引全球二十餘家分子束磊晶設備商、相關零組件廠商、量測儀器商與晶圓供應商前來參展，堪稱全世界 MBE 兩年一度最重要的盛會，以下為本次出國公差的工作計畫表。

國防部軍備局中山科學研究院出國人員工作計畫表						
日期	星期	行程		公差地點	工 作 項 目	備 考
		出發	抵達			
101.09.23	日	桃園	奈良	日本 本州 奈良	1.去程。 2.辦理註冊報到。 3.研討「線上即時監控與量產」相關議題，可作為即時監控分子束磊晶成膜品質與量產之參考。	夜宿 奈良

101.09.24	一			日本 本州 奈良	1.研討「分子束磊晶成長原理」相關議題，有助於分子束磊晶成長 CIGS 太陽電池技術之開發。 2.參觀參展廠商展示之分子束磊晶系統設備，作為本院相關設備升級之參考。	夜宿 奈良
101.09.25	二			日本 本州 奈良	1.研討「新型材料與結構」相關議題，有助於分子束磊晶系統成長 CIGS 薄膜與 ZnS 緩衝層之開發。 2.參觀展示之分子束磊晶源，作為應用於 CIGS 太陽電池材料之參考。	夜宿 奈良
101.09.26	三			日本 本州 奈良	1.研討「氧化物成長技術」相關議題，作為以 MBE 成長 ZnO/AZO 光窗層的參考。 2.參觀展示之分子束磊晶零組件，增加本院 MBE 零組件採購的選擇性。	夜宿 奈良
101.09.27	四			日本 本州 奈良	研討「光電元件」相關議題，有助於瞭解以分子束磊晶系統製作太陽電池的資訊，作為本計畫成長 CIGS 太陽電池的參考。	夜宿 奈良
101.09.28	五	奈良	桃園		1.研討「成長動力學」相關議題，有助於提升 CIGS 元件薄膜之品質。 2.參觀參展廠商產品展覽並蒐集分子束磊晶系統及其週邊設備的最新產品資料，瞭解國外廠商的發展趨勢，作為後續相關計畫建案規劃的參考。 3.回程。	

二、研討會議題

第 17 屆國際分子束磊晶會議的一大重頭戲為學術研討會，本屆會議共有 14 位受邀專家學者發表最新研究成果以及 308 篇高品質的口頭或海報論文，內容包含了 MBE 原理、自旋材料、氮化物、三五族化合物、電子元件、氧化物與光伏與四族材料等，舉凡能以 MBE 成長的材料皆有發表，有些題目是本院(所)目前正在進行中的，他人的成果與經驗可供本院(所)參考；同時有更多題目是本院(所)沒有涉獵的，若能配合產業需求，本院選定幾個具有前瞻性、有市場的題目進行更深入的研究，未來有機會為本院創造更大的經濟效益，以下為這次研討會中個人認為對院及本計畫較有幫助的論文之彙整：



圖 3 研討會會場

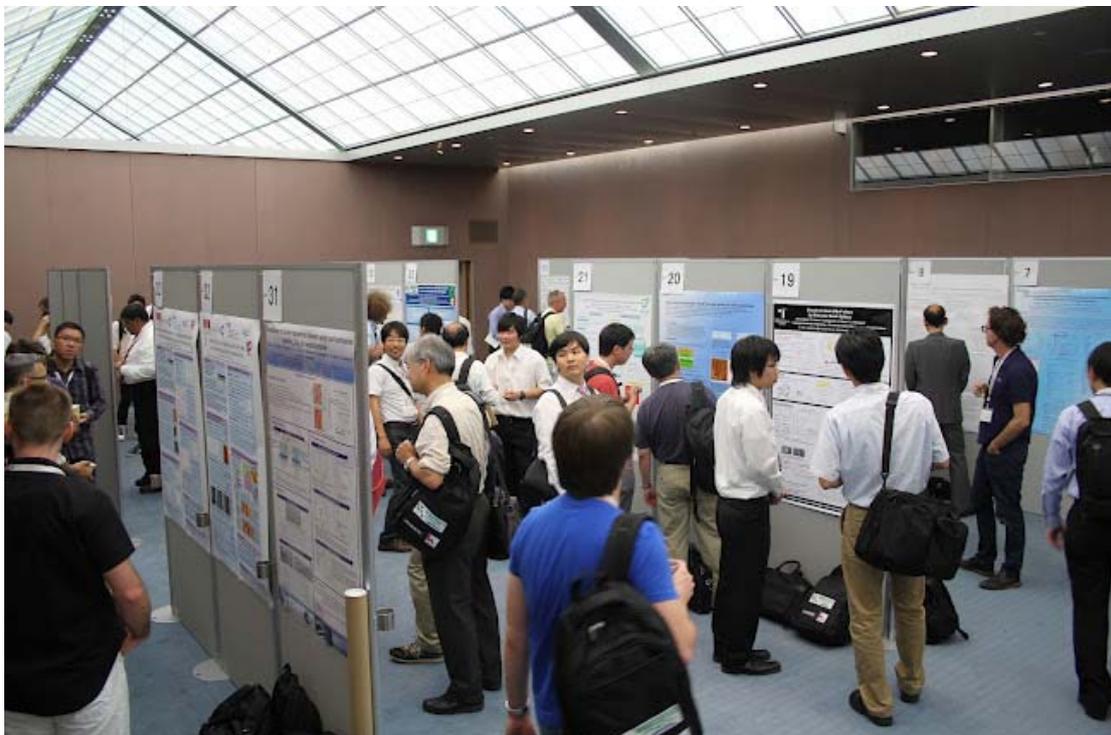


圖 4 壁報展示區

1. CIGS 太陽電池相關

太陽能電池技術演進可分為三個世代，第一代太陽能電池為矽晶太陽能電池，其技術發展較為成熟，目前市場占有率將近八成。第二代太陽能電池為薄膜太陽能電池，包括矽薄膜技術（非晶矽（a-Si, Amorphous Silicon）、微晶矽（ $\mu\text{c-Si}$, Micro-crystalline Silicon）及薄膜多晶矽）、化合物半導體薄膜技術（銅銦鎵硒型（CIGS, CuInGaSe_2 ）、III-V 族及碲化鎘（CdTe, Cadmium Tellurid））以及新興材料技術（如染料敏化、奈米技術等），目前市場占有率將近二成。第三代太陽能電池為利用奈米結構、結合有機或高分子材料，開發出來的先進太陽能電池，仍以實驗室發展中為主，距離商品化有一段差距。目前太陽電池市場雖仍以矽晶為主，但由於薄膜太陽電池的材料成本較低、製程相對簡單、能源消耗較少，藉著太陽電池轉換效率技術的不斷提升，其製造成本有降至每瓦 1 美元以下的潛力，已具備市場的實用性與競爭力。

在薄膜太陽能電池中，銅銦鎵硒太陽能電池具有低成本與高效率的潛力，國外實驗室亦有達 20% 轉換效率之成果，但實際大面積量產技術仍有待突破，包括以各種低廉價格、不同材質如玻璃、不鏽鋼、高分子薄膜等作為基板之光電吸收層材料，採用真空與非真空製程，真空製程如共蒸鍍技術、濺鍍硒化技術；非真空製程如電鍍硒化、熱裂解硒化、塗布硒化，甚而配合卷對卷方式生產之製程與設備等，如何提昇良率，降低生產成本、提升轉換率（CIGS 成份的黃金比率及最佳化厚度）、大尺寸塗布及硒化的均勻性，均已成為當前各國研發技術重點。由於 CIGS 為一化合物，化合物之形成須經化合程序，非元素型態，因此，化合物半導體材料之成份與結構的控制比較複雜，特別是以薄膜方式進行化合時則更為複雜，而分子束磊晶方式提供了良好的成份比例與厚度的控制，又具備即時監控功能，相當適合進行 CIGS 薄膜之成長。

日本的 Keisuke Furumi 等學者於玻璃基板上濺鍍鉬電極，接著利用分子束磊晶方式成長 CIGS 薄膜，首先以 350°C 的溫度成長 $0.2\mu\text{m}$ 的 CuGaSe_2 ，隨後改變磊晶源的材料與成長溫度，形成厚度約 $2\text{-}2.5\mu\text{m}$ 之 CIGS 薄膜，再以硫酸鋅與氨水的混合溶液利用化學浴沉積法 (Chemical Bath Deposition, CBD) 進行能隙 3.84eV 硫化鋅緩衝層的製備，最後濺鍍 $0.6\mu\text{m}$ 的 ZnO 透明導電層、 $0.1\mu\text{m}$ 的 MgF_2 抗反射層與鋁電極，完成了 CIGS 元件的製作，實際進行元件特性的量測，得到的開路電壓 0.647V ，短路電流 $35.2\text{mA}/\text{cm}^2$ ， $\text{FF}=0.746$ ，元件效率為 16.9%，此結果比本計

畫目前最佳的 12.4%還要好，圖 5 和圖 6 分別為元件的結構圖與元件的電壓-電流曲線。

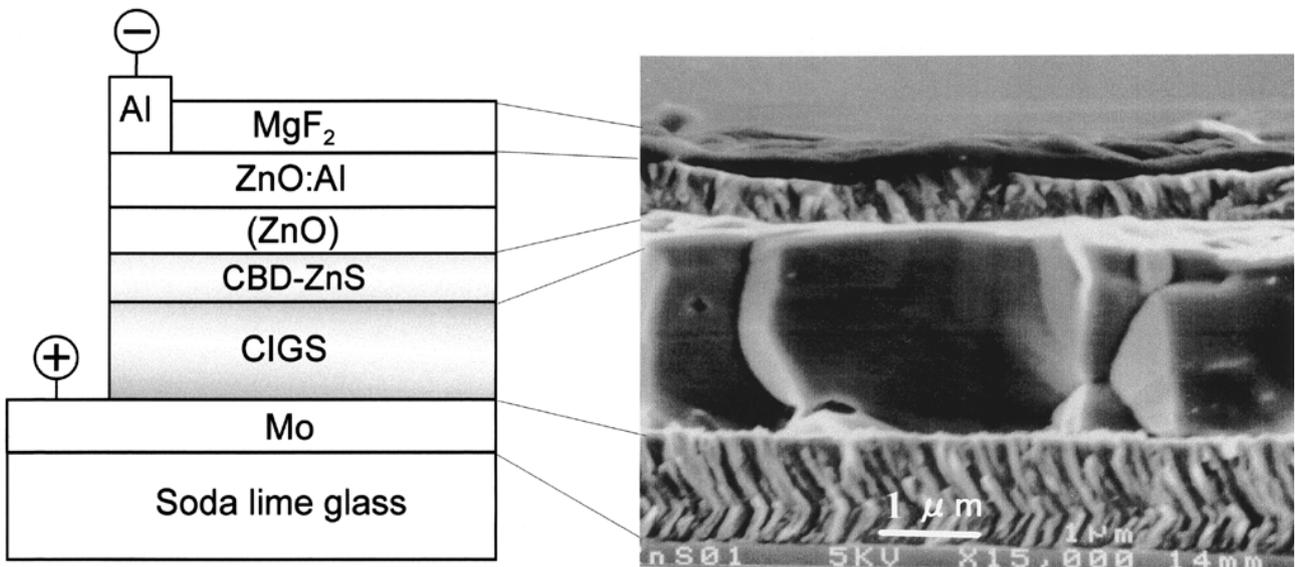


圖 5 CIGS 結構示意圖與剖面圖

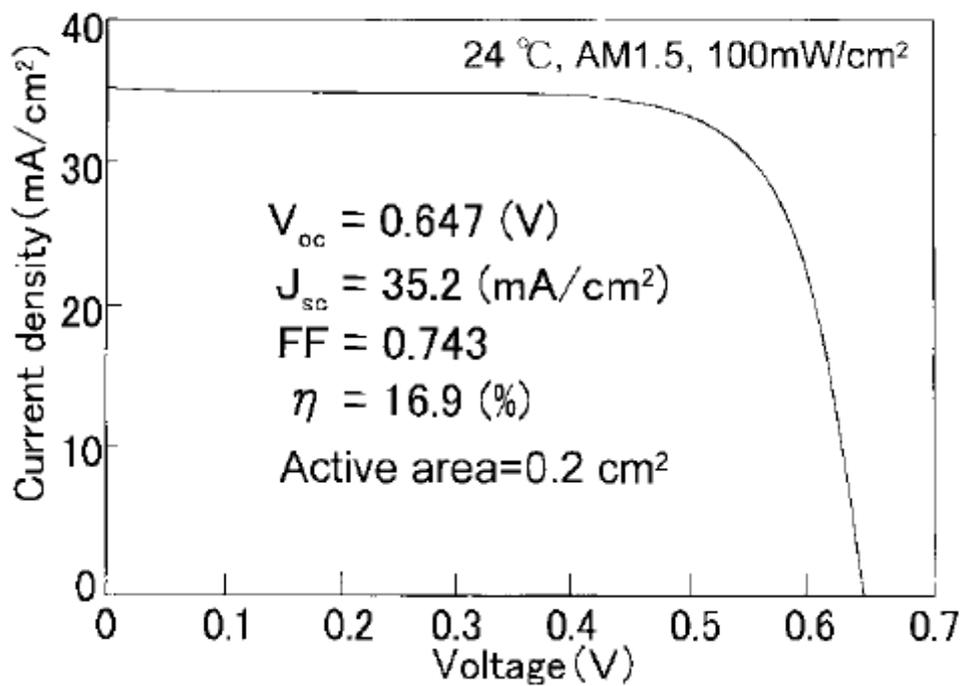


圖 6 CIGS 元件電壓-電流曲線圖

CIGS 材料近年來之所以愈來愈多人研究的原因之一是其近乎完美的能隙與極佳的光子吸收能力，但吾人爲了得到更寬的能隙而增加鎳元素的比例，會使 CIGS 元件的效率隨之降低，應爲合金生成過程中晶格缺陷所造成的，因此如何提昇結晶與界面的品質成爲非常重要

的課題，A. Kawaharazuka 等學者便以採用分子束磊晶的方式，在砷化鎵基板上進行短週期重覆性超晶格磊晶，取代原本均勻的合金結構，研究團隊是採用 CuInSe₂(CIS)/CuCaSe₂(CGS)應力互補的特性完成短週期超晶格磊晶並進行光子吸收特性的模擬，由於砷化鎵基板對於 CIS 與 CGS 的晶格不匹配常數分別為-2.3%(壓應變)與+0.7%(張應變)，因此其設計 CIS-1nm/CGS-3nm 的應變補償超晶格結構，進一步模擬光學特性，所得到的光子吸收效率比原本 CIGS 合金高約 28%。但這則報告只有提到理論分析與模擬，本人對其提出是否有進行結晶品質，如 XRD 的檢驗，甚至實際導入 CIGS 元件製程量測效率等疑問，報告者回答因為這是新的構想，尚未開始實驗的驗證，若此方法真能提高光子吸收效率，未來 CIGS 的元件效率或許能邁向另一個里程碑。

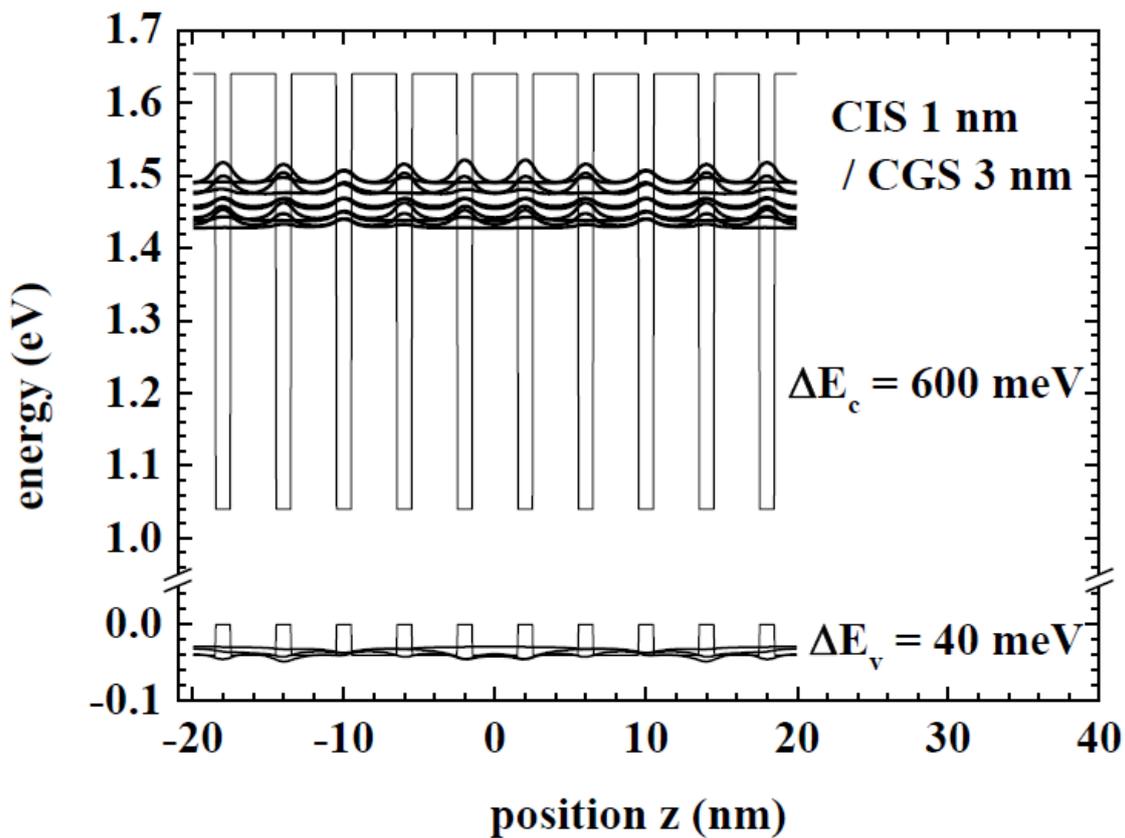


圖 7 CIS-1nm/CIG-3nm 之超晶格結構能帶圖

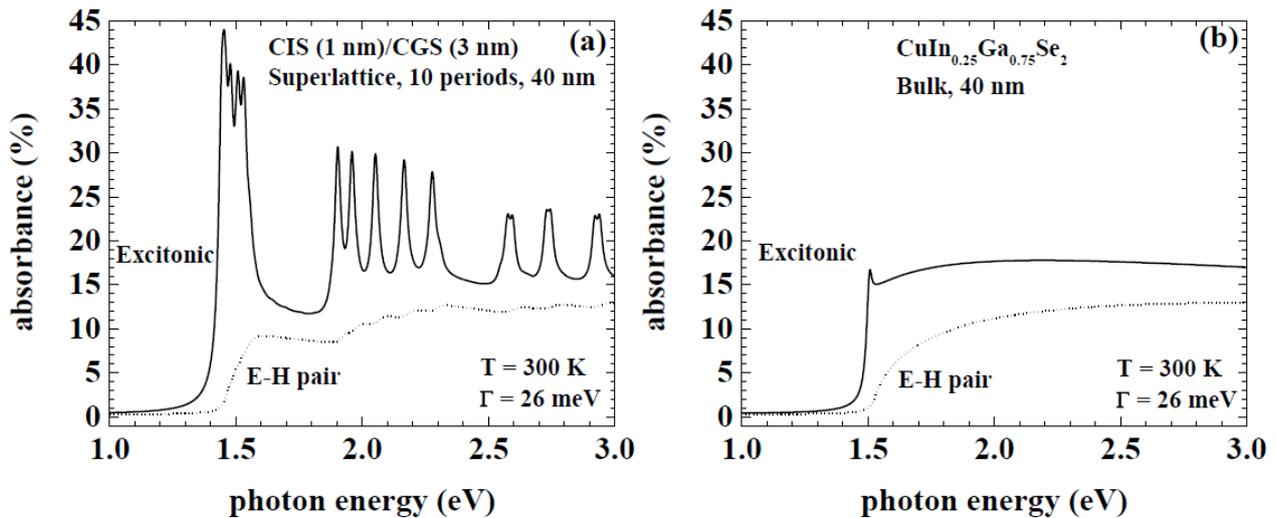


圖 8 (a)CIS/CGS 超晶格與(b)CIGS 合金在相同 In 成份比例之下之吸收效率圖

在會場中，有一位大同大學的助理教授楊祝壽博士發表論文時，提到該實驗室幾年前也有以 MBE 系統成長 CIGS 太陽電池的經驗，雖然最後元件的轉換效率不好，仍繼續進行實驗中，基於好奇心的驅使，在會後便去找他閒聊，才知道原來他念博士班時曾經在本院做過實驗，也使用過本組的 MBE 機台，能在其他國家遇到在本院做過研究的教授是一種奇特的經驗，也顯示中科院是國家培育科技人才的搖籃。楊教授的專長為分子束磊晶術與半導體光電材料分析，據他表示，他在大同大學建立 MBE 設備時，由於國科會經費不足，只好自己用精簡的預算來建置設備，磊晶的品質也不會太差，可見其科技基礎之深厚，他也曾研究過與本計畫相關的不鏽鋼箔 CIGS 太陽能電池的特性，建議本計畫未來可以與其合作，進行產學研分包委託研究，以滿足查核點與 KPI 的要求。

2. 三五族材料

分子束磊晶的另一項應用為三五族材料之成長，包括 GaN、GaAs、InP、InSb 等，有鑑於三五族半導體優良的發光特性及快速的電子傳導特性，因此在光電產業及通訊電子方面佔有非常重要的地位，本組亦長期投入三五族半導體的研發與生產，以下就部分三五族相關的論文進行介紹。

雖然目前金屬有機氣相磊晶法(MOVPE)在以氮化鎵為基底的電子元件中仍為主流，但 MBE 卻是改善元件特性的方法之一，來自美國的 R. Aidam 等學者便以此發表了使用電漿輔助分子束磊晶系統建立氮化鎵電子元件標準製程的論文，研究團隊使用 MBE 的理由有二，其一

為在不同材料的異質接面上, MBE 能提供較佳的介面特性, 其二為 MBE 的磊晶溫度較 MOVPE 低, 在成長熱膨脹係數差異很大的材料時, 使用 MBE 將比 MOVPE 有較少的熱應變, 進一步可提高結晶品質, 該團隊並以此標準於碳化矽基板上製作 HEMT 元件, 得到的最大電流密度為 2.3A/mm, 非本質轉導為 675mS/mm, 製作 100nm 閘極得到的最大頻率為 130GHz, 截止頻率為 11.1GHz, 操作在 10GHz 之 PAE 為 47%, 輸出功率密度為 5.6W/mm。

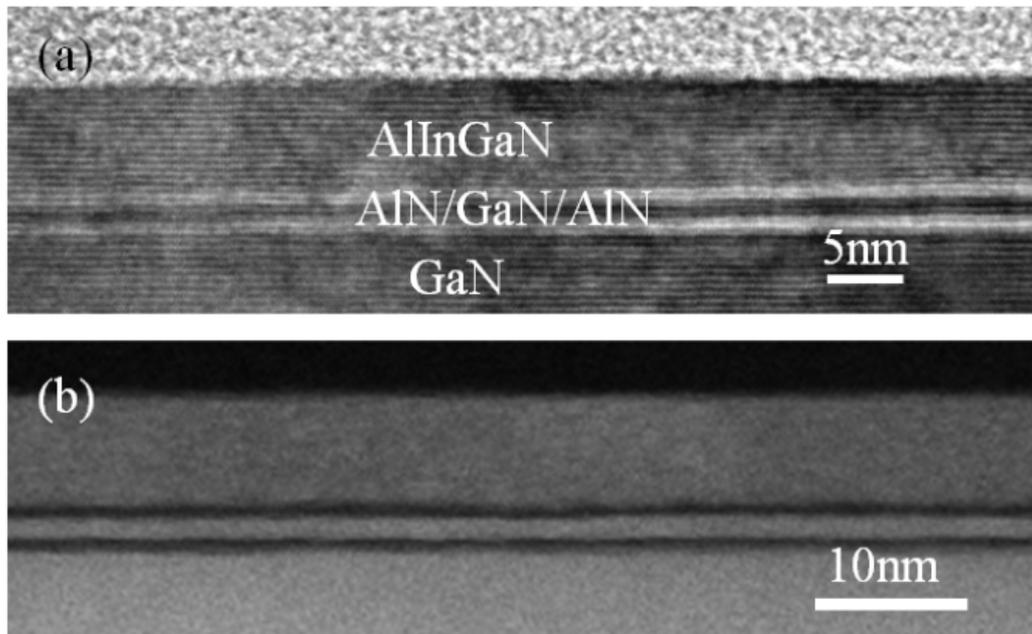


圖 9 HEMT 之(a)TEM(b)STEM 磊晶品質優異的剖面圖

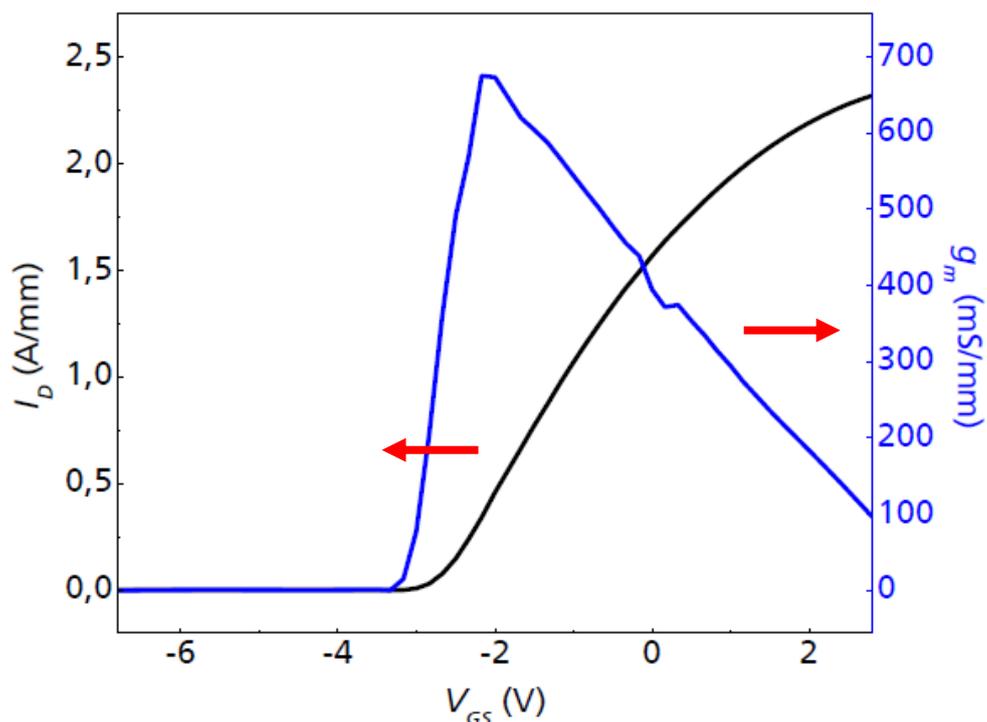
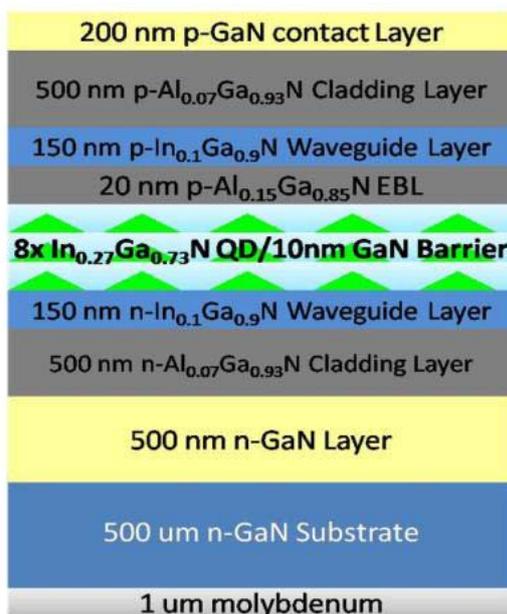
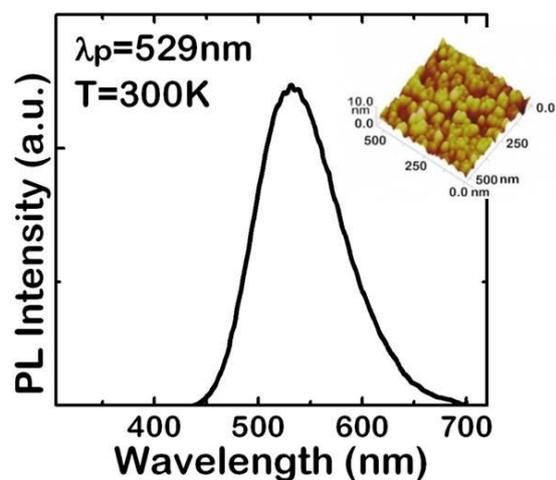


圖 10 $V_{DS}=5V$ 之偏壓之轉導圖, 最大密流密度 2.3A/mm, 轉導為 675mS/mm

目前藍光和綠光的可見光雷射是使用多層量子井的方式成長 InGaN/GaN，使用此方式的缺點為量子井的極化電場較大，造成較小的輸出功率與較高的起始電流，由極化電場產生的能帶彎曲也會引發不均勻的電荷注入；反之，量子點則可具有以下優勢：(1)較佳電子電洞波函數的重疊(2)較小的壓電場與量子侷限史塔克效應(Quantum Confined Stark Effect, QCSE)，因此 Pallab Bhattacharya 等人使用 MBE 設備，成長 InGaN/GaN 量子點藍綠光雷射，並進行光電特性的量測。圖 11 為量子點雷射的異質結構磊晶圖、室溫 PL 與 AFM 圖，量子點的高度約為 2~3nm，波長約為 529nm，此結構設計之極化電場預估為 90kV/cm，同樣是 2nm 量子井之極化電場則為 2MV/cm，兩者差異甚大，實際量測光-電流的特性可得到起始電流為 $1.2\text{kA}/\text{cm}^2$ ，同樣比量子井小了許多，光-電壓-電流圖、電激發光譜與電流-波長相對關係圖如圖 12 所示。



(a)



(b)

圖 11 (a)MBE 成長 InGaN/GaN 量子點異質結構磊晶圖

(b)室溫 PL 與 500nmX500nm 大小之 AFM 圖

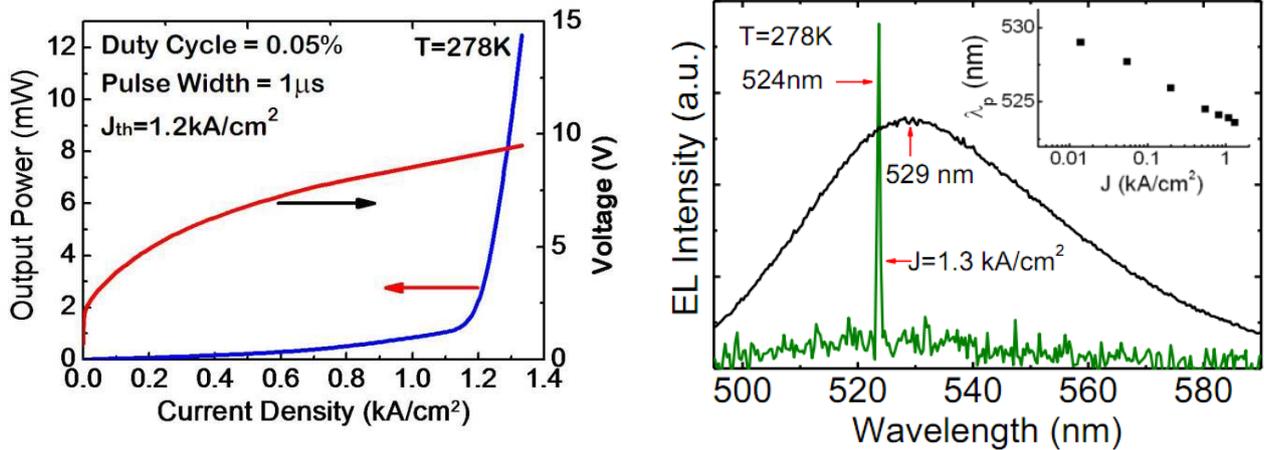


圖 12 (a) $\text{In}_{0.27}\text{Ga}_{0.73}\text{N}/\text{GaN}$ 量子點雷射之光-電流-電壓量測特性圖
(b) 電激發光譜圖與電流-波長相對關係圖

3. 氧化物

氧化物在半導體元件中具有多重功能，在 CMOS 元件中，閘極氧化層可作為源極與汲極間的介電質；在功率元件中，氧化物鈍化層可減少漏電流並提高熱穩定性；甚至在 CIGS 太陽電池元件中，可作為透明導電薄膜，因此以分子束磊晶成長高品質的氧化物，在本次研討會中也是一項重要的議題。

氧化鋅薄膜(Zinc oxide thin films, ZnO)為一 N 型 II-VI 族半導體，晶格組成為纖鋅礦結構(Wurtzite hexagonal structure)，屬六方最密堆積，能隙約為 3.37V，在可見光區具有高穿透性，且在近紫外光區具有陡降的穿透率，電阻相當高，若加上鋁、鎵或銮的摻雜，可大幅提昇其導電性。

來自中山大學的 Cheng-Ying J, Lu 等人使用電漿輔助分子束磊晶系統(PAMBE)在(100)氧化鎂基板上成長氧化鋅，並進行緩衝層的實驗，實驗組條件為先成長 $\text{Mg}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{O}$ 緩衝層再進行 ZnO 磊晶，對照組條件則沒有緩衝層直接成長 ZnO 薄膜，藉由緩衝層的插入，使 ZnO 與 MgO 的晶格不匹配常數由原本的 4.3% 降到 2.7%，實際量測 PL 可發現插入緩衝層的 ZnO 薄膜，在 3.29eV 的近帶隙發光(near band-edge emission, NBE)強度約為沒有緩衝層的 5 倍之多，如圖 13 所示，可見晶格品質對光電特性的影響。以此結果為基礎，該研究團隊進一步進行不同成份比例緩衝層的實驗，分別使用 $\text{Zn}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{O}$ 與 $\text{Zn}_{0.83}\text{Mg}_{0.17}\text{O}$ 作為緩衝層在 MgO 上成長約 120nm 的 ZnO 薄膜，並量測光的吸收特性，由 X-ray 的 $\omega/2\theta$ 圖可發現，除了一個很強的 MgO(200) 波峰外，兩試片位於 $42.2^\circ \sim 42.4^\circ$ 處皆有一個 $\text{Zn}_x\text{Mg}_{1-x}\text{O}(200)$ 的波峰，光吸收係數與能隙的關係如圖 14(b)所示 $\text{Zn}_{0.5}\text{Mg}_{0.5}\text{O}$ 與 $\text{Zn}_{0.83}\text{Mg}_{0.17}\text{O}$ 的能隙分別為 5.33eV 與 4.73eV，經詢問過該學生後，

更詳細的微結構與光學特性尚在進行中。

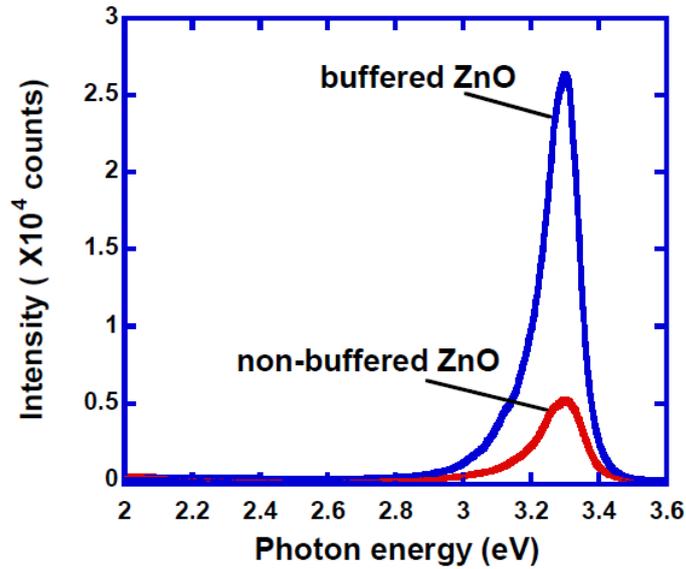


圖 13 插入 $Mg_{0.6}Zn_{0.4}O$ 緩衝層與沒有緩衝層之氧化鋅薄膜 PL 光譜圖

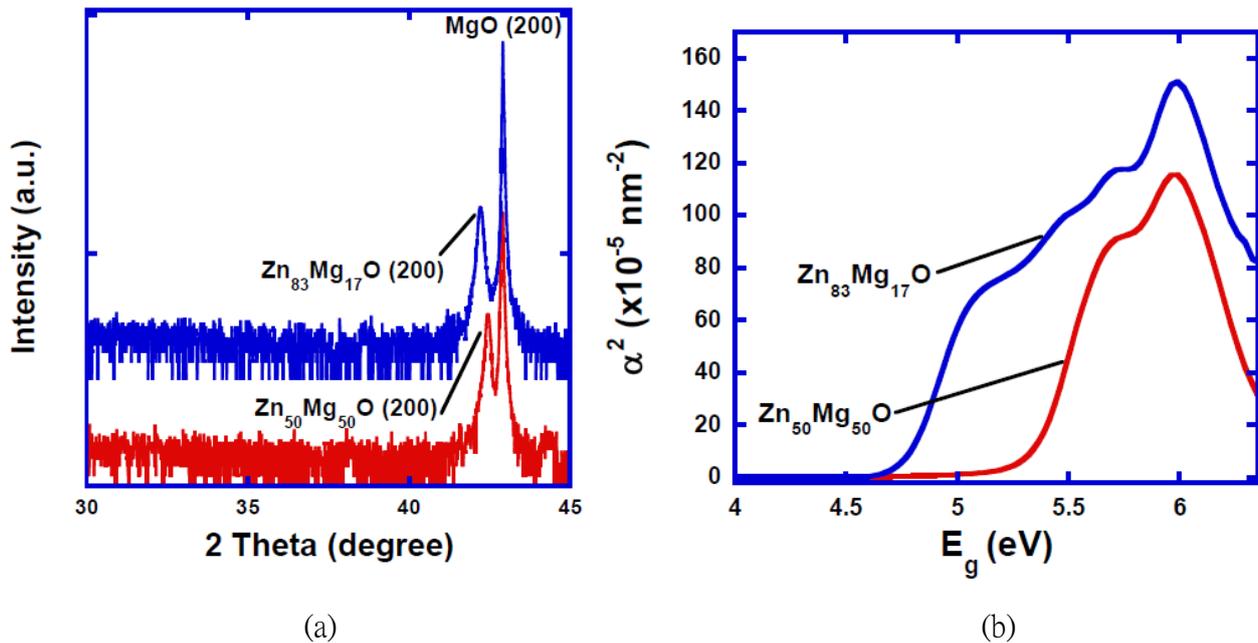


圖 14 以 $Zn_{0.5}Mg_{0.5}O$ 與 $Zn_{0.83}Mg_{0.17}O$ 為緩衝層之(a) X-ray 的 $\omega/2\theta$ 圖(b)光吸收係數與能隙關係圖

β -氧化鋁(β - Ga_2O_3)為一種新開發半導體材料，除了其 4.8-4.9eV 的寬能隙，比目前的 GaN 的 3.4eV 大許多外，現有單晶成長大面積 β - Ga_2O_3 的技術，可使用與藍寶石相同的浮區熔煉法(floating zone, FZ)與定邊膜餵法(Edge-defined film-fed, EFG,亦稱導膜法)成長 2 吋晶圓，成本不高且容易量產，因此適用於功率元件的開發，但以往使用 MBE 系統成長氧化鋁薄膜會遇

到的問題為低沈積速率(每小時約成長十幾奈米)與 n-type 的導電性不易控制等瓶頸。為改善此問題使氧化鎵功率元件儘速導入量產，Kohei Sasaki 等研究團隊改變了氧化鎵成長的晶格面，由原本的(100)改為(010)後，沈積速率提昇十幾倍，在高沈積速率下成長之薄膜其表面平坦度依舊維持在原子等級，並可藉由改變 SnO₂ K-cell 的溫度調整載子濃度，進而控制 n-type 氧化鎵之導電性，最後研究團隊以此氧化鎵磊晶片製作蕭特基二極體(SBD)與金半場效電晶體(MESFET)，並進行直流特性的量測，得到的崩潰電壓分別為 125V 與 250V 左右，並且具有低漏電流等良好的元件特性。

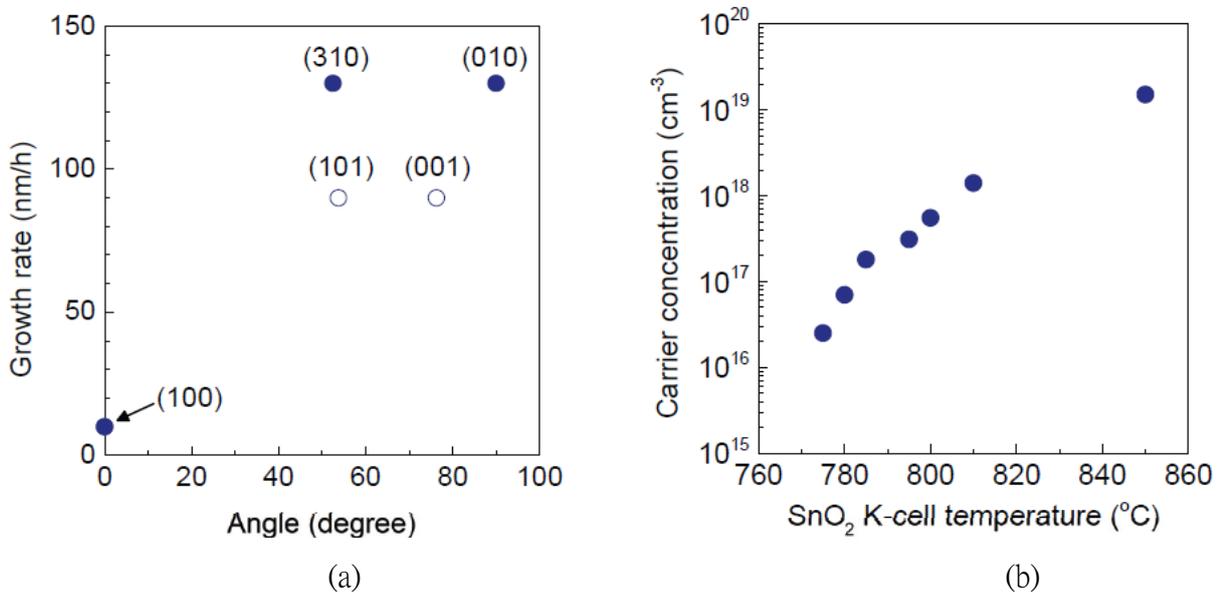


圖 15 (a)氧化鎵晶格面與成長速率關係圖(b)SnO₂ 與載子濃度關係圖

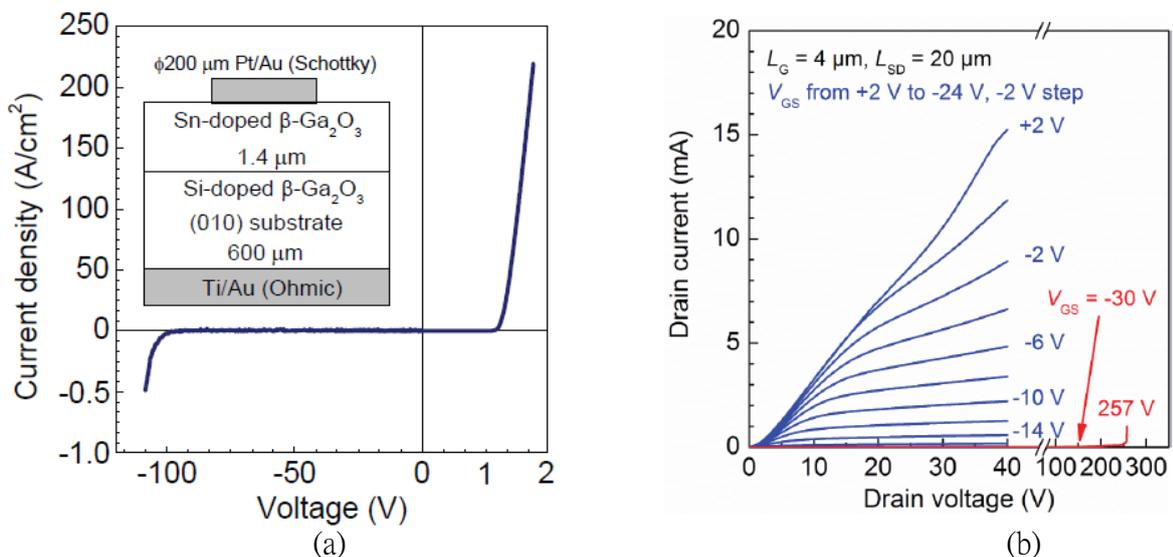


圖 16 (a)氧化鎵 SBD 之 I-V 曲線與結構示意圖(b)氧化鎵 MESFET 之 DC 特性圖

三、廠商展覽會

本屆的廠商展覽會，共吸引約二十餘家分子束磊晶設備商、相關零組件廠商、量測儀器商與晶圓供應商前來參展，在參觀過程中，除了瞭解各家廠商的最新產品外，與廠商討論目前計畫所遭遇的難題，尋求解決之道，也是此行的目的之一，以下為這次廠商展覽會所獲得資訊的介紹。



圖 17 廠商展覽會場

1. 複合式(Cluster)設備為目前主流

傳統的分束磊晶設備為單一腔體設計，在晶圓表面清潔、磊晶、量測與後續 PVD 製程都要經過抽真空與破真空程序，加上 MBE 所要求的高真空度，進行一個實驗往往需要耗費不少時間，且試片來回拿取會造成製程條件的不穩定與破片風險提高。

為解決此問題以加速研發進度及效率，這次在會場就看到許多廠商展示其複合式(Cluster)分子束磊晶機台，以下為不同公司複合式設備的介紹——

A. Veeco MBE Cluster Tool System :

Veeco 公司為最早投入 Cluster 開發的 MBE 設備商，約十年前便仿效半導體技術，為整合多道次製程、降低設備成本、達成最大產能與提高可靠度等目的，進行複合式 MBE 的研發，目前該公司機台的主體分為五個部分：試片載入模組、晶圓準備模組、超高真空儲存模組、

超高真空傳送模組與垂直生長模組，依腔體及載盤大小可分為 GEN10、GEN20、GEN200 Edge 與 GEN2000Edge 等機型，以提供產業界量產之機台為主。

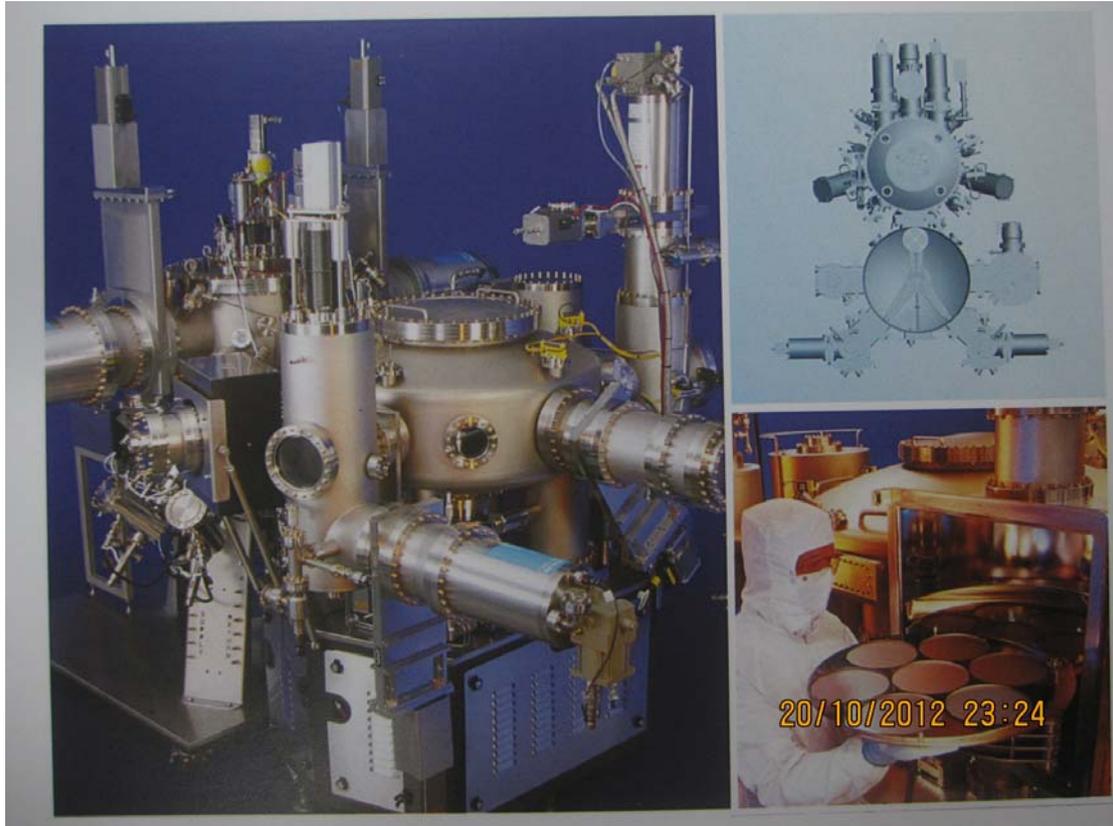


圖 18 Veeco MBE Cluster Tool System 照片

B. Riber Multi Module Cluster Tool :

本設備基本上是由四個部分組成，分別為試片放置區、試片製程區、試片準備區與試片分析區，其中試片放置區包含機械手臂、試片載入室(Load Lock)與儲存區等；試片製程區則為 MBE 系統與濺鍍或原子層沈積等 PVD 腔體；試片準備區可建置試片表面清潔(電漿清潔)與加熱腔體功能；試片分析區則可結合 X 射線光子能譜(XPS)、歐傑(Auger)電子分析儀或掃描穿隧電子顯微鏡(STM)等量測與分析系統進行試片品質之確認，除此之外，Riber 公司尚有提供客製化服務，依客戶要求安裝不同功能模組，滿足各產業所需。

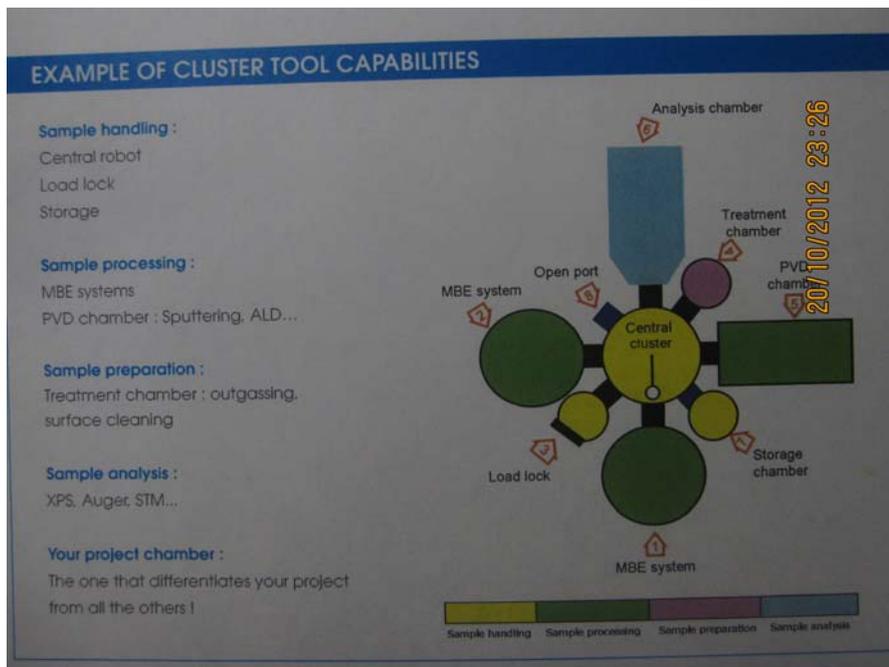


圖 19 Riber Multi Module Cluster Tool 系統配置圖

C. Epiquest SH2001+RC2100M :

Epiquest 公司發表的 SH2001+RC2100M 為結合 MBE 與 MOCVD 於一身的產品，可依使用者需求自行選擇使用 MBE 或 MOCVD 磊晶，目前日本的豐橋科技大學有一台該型號的機器，其 MBE 系統可成長 Si 與 InGaPN，而 MOCVD 則是成長 InGaPN，另有 STM 進行試片表面型態的監控。

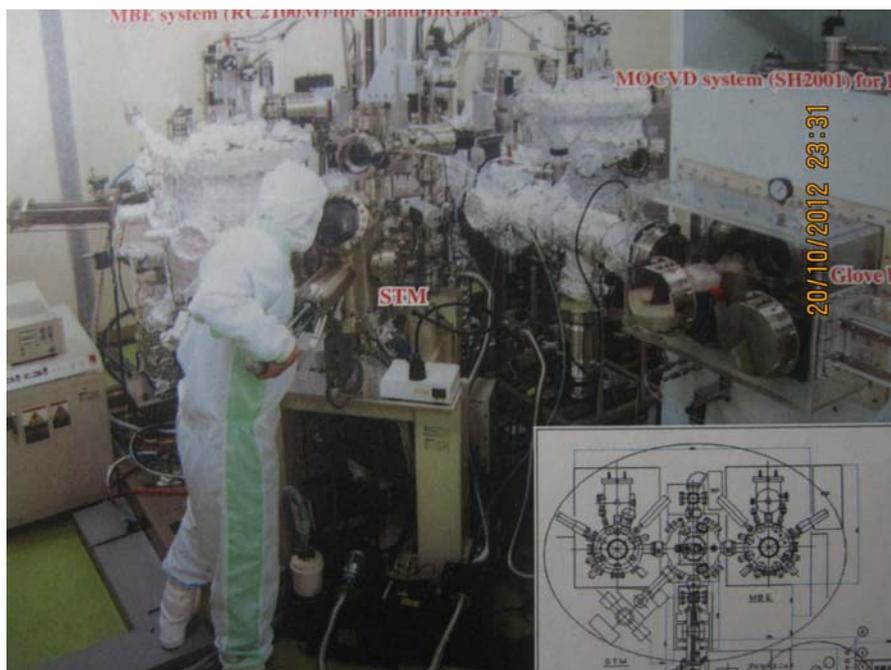


圖 20 Epiquest SH2001+RC2100M 照片

2. 卷對卷式 MBE 目前技術尚未成熟

由於以分子束磊晶方法可以得到厚度精準與成份比例容易控制的薄膜，再加上有相關研究團隊發表以 MBE 成長 CIGS 太陽電池元件，得到高轉換效率的相關論文，因此在參觀的過程特別留意可以進行 CIGS 磊晶的相關機型，事實上目前機台大部分都可以安裝 4 個以上的分子束磊晶源，只要放置適當材料進行參數的測試即可進行製程，但今年度的「CIGS 太陽電池關鍵技術開發計畫」以開發卷對卷製程整線為目標，在會場中無法找到類似機台，便向廠商詢問 R2R 的可行性，在與 Veeco 公司業務人員的訪談中，才知道原來該公司兩年前便曾經為 CIGS 開發過卷對卷分子束磊晶機台，最後無法成功便停止研發，目前該公司並無卷對卷型式的設備開發，業務人員有提到該公司現有產品最大載盤面積可放置 3 片 7 英吋的晶圓，現階段只能以大面積，批次式的方法進行量產，他也強調若未來市場有需求，該公司也有可能重新考慮卷對卷的研發。

3. Riber 使用者會議

由於本院現有的分子束磊晶是 Riber 的系統，因此有幸於 101/9/24 晚上參加該公司舉辦的使用者會議，聽取該公司的簡報，瞭解公司的歷史沿革、產品定位與未來走向，尋找未來合作的可能性，以下為 Riber 公司的簡介。

Riber 公司在 1964 年成立於法國，早期是以提供研究實驗室與大學超高真空幫浦及零組件為主，由於該公司在真空領域的豐富經驗，使其成為全世界分子束磊晶的領導者，在 1978 年，Riber 生產第一台高品質具有監控系統的 MBE，在此之後的二十餘年間，Riber 生產大部分 MBE 相關零組件與系統，例如基板載入機構、基板旋轉機構、氣體流量計、各種蒸鍍源、超高真空零組件、超高真空化學氣相沈積反應器與自動化多晶圓生產工具等，在最近五年間，Riber 公司更擴充其業務範圍於特定應用端，投入大量資金於 OLED 平板顯示器與銅銦鎵碲太陽電池的生產線設備研發，現今該公司已成為全球半導體、氧化物、新型材料、氮化物、太陽電池與 OLED 方面前段製程的主要設備供應商，本計畫未來可以考慮與其合作，尋求穩定性更高的 CIGS 製程設備，以滿足計畫目標，進一步將技術產品化，產品商業化，為本院創造更大的利潤。



圖 21 Riber 公司舉辦之使用者會議

參、心得

此行參加第 17 屆國際分子束磊晶會議，除了參加研討會與廠商展覽會外，尚與學界及產業界專家學者進行技術上的交流，在會議中不但吸收科技與產業新知，並藉由與廠商及學者的訪談中，提出計畫所面臨的難處，也獲得相關回應，無論是正面或負面的答案，對計畫未來走向都具有相當程度的價值。

目前全世界分子束磊晶使用者的分佈，以北美、歐洲和亞洲國家為主，本次研討會因主辦國為日本，日本的學校與研究機構所發表的論文篇數最多，其次為德國、法國與美國，在亞洲其他國家的部分，我國應該是僅次於日本的亞洲國家，曾經有一場研討會 9 篇論文發表當中，就有 5 篇台灣的論文，分別是來自台大、清大、中央、中山與大同大學等校，中國大陸與韓國則比較沒有論文的發表，可見我國各大專院校在 MBE 方面的學術成就，在世界上應屬箇中翹楚，我國應善用此優勢，將研發成果應用至產業界，甚至進行專利佈局，提高台灣在國際上的競爭力。

本組的分子束磊晶系統，在 99 年度執行的經濟部科技專案「新世代能源關鍵技術開發

計畫」中，採購並安裝原子層沈積系統(Atomic Layer Deposition, ALD)，目的為成長新型元件結構，以分子束磊晶成長後直接進入原子層氣相沈積系統內成長高阻值之絕緣層，此設備亦為一複合式機台，在 MBE 造價昂貴與本院研究方面的固定資產不易申請的情況下，在原有的設備上增加新功能，進行設備的升級，為提昇研發能量的可行途徑。

在 CIGS 太陽電池的部分，製造 CIGS 太陽電池的技術與方法眾多，但是截至目前為止，市場上仍然沒有任何製程能同時滿足成本效益以及高效率的要求，主要的瓶頸在於穩定的大面積製程技術仍未成熟，現階段在市場上小面積電池的效率與大面積模組效率的落差約在 3-4%。主要是因為當製程由小面積的實驗型技術放大至大面積量產技術時，各段製程放大之後的均勻性是否可以滿足電池串並聯特性的需求，CIGS 太陽電池是由七至八層元件疊加而成，當任何一層的元件出現一小面積的缺陷，將致使成膜均勻度不佳而造成效率衰減，所以如何掌握製程放大時各層元件參數及最佳化之調整是目前產業急需面對的課題。

以 MBE 成長 CIGS 太陽能電池，在理論上是可行的，也有學者發表過成功的研究成果，但設備成本與生產效率等因素卻限制其發展，在市場上太陽能電池的報價日益下滑與各國電價補助金額刪減的因素下，如何降低生產成本與提高產能成為太陽能電池廠商生存與否的一大關鍵，因此廠商不願意投資高單價的 MBE 來製作低利潤的元件，即便其成膜品質良好。本院若要持續開發太陽能電池，除了目前與工研院、精密機械中心及金屬工業中心等法人正在進行的卷對卷製程整線外，開發新材料並爭取建案機會，以提昇元件的性能，也許是突破目前困境的方法之一。

肆、建議事項

在本次會議中，有不少 CIGS 相關論文的發表，其中 Keisuke Furumi 研究團隊使用分子束磊晶機台，於玻璃基板上完成 CIGS 太陽電池元件的製作，並得到 16.9%的轉換效率，本計畫過去於玻璃基板上製作 CIGS 元件最佳的轉換效率約為 12.3%，目前計畫為使用軟性的不鏽鋼箔為基板，以共蒸鍍製程可得到 12.4%的轉換效率，若能利用 MBE 成膜的高品質與膜厚、成份容易控制的優勢，在可撓式不鏽鋼基板上進行元件的開發，可望有效精進元件的特性。

此外，A. Kawaharazuka 等學者為了避免銻元素的增加造成 CIGS 元件效率不佳，提出 CIS/CGS 超晶格的概念，並由其晶格不匹配常數設計各膜層的厚度，進行光學模擬，得到的

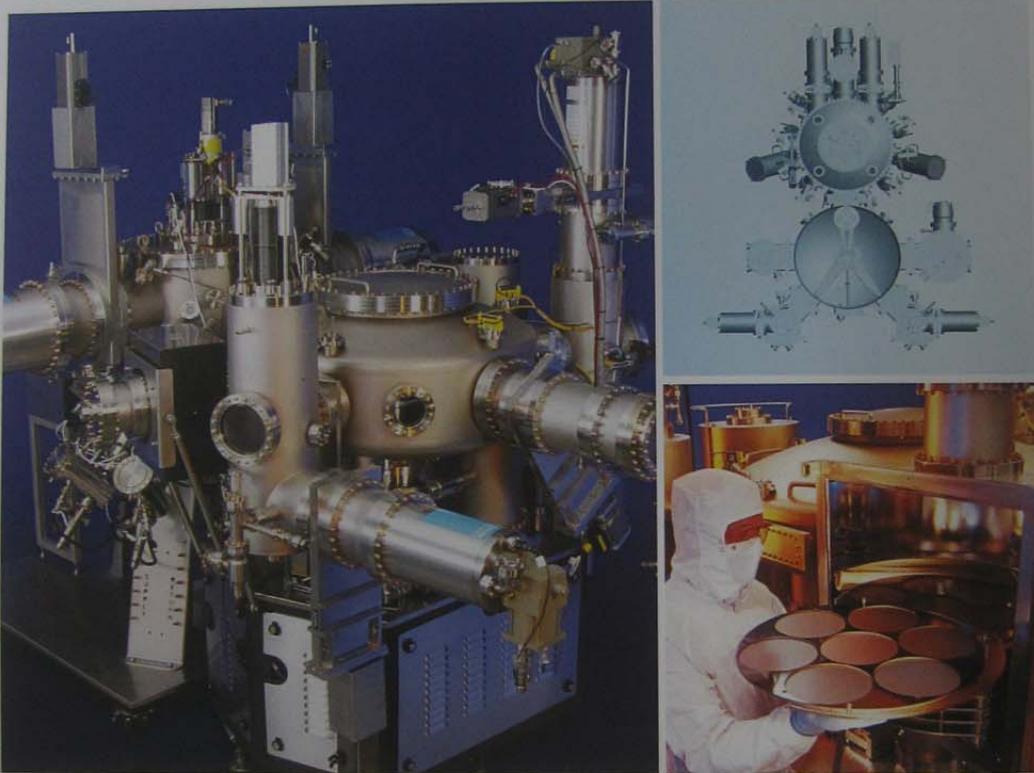
光子吸收效率比原本 CIGS 合金高約 28%，但尚未進行實驗驗證，建議經濟部或國科會等政府單位，能提撥部分經費支援有技術能量的學校，使用分子束磊晶系統，成長 CIS/CGS 短週期重覆性超晶格結構，進行 SEM、XRD 與光子吸收效率的檢驗，進而製作高品質的 CIGS 太陽電池元件。

附 件

附件一 Veeco 公司產品型錄.....	32
附件二 Riber 公司產品型錄.....	34
附件三 Epiquest 公司產品型錄.....	36
附件四 R-DEC 公司產品型錄.....	37
附件五 LVC 公司產品型錄.....	39

MBE Cluster Tool Systems

Systems Designed for Production and Emerging Device Development



- Lowest cost of ownership
- Simple, reliable design
- Efficient processing

20/10/2012 23:23

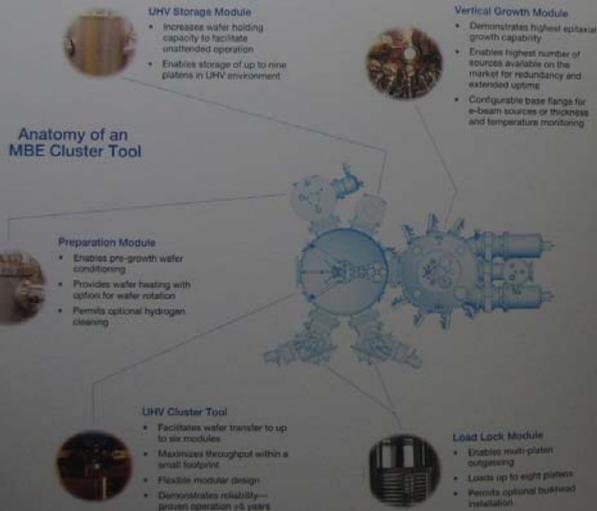


MBE Done Silicon-Style

When silicon semiconductor manufacturers sought to maximize production, they adopted cluster tools to integrate multiple processes, increase reliability and to improve cost of ownership. Veeco uses this same proven concept to bring maximum throughput, superior yield and the lowest cost of ownership to compound semiconductor manufacturing.

Veeco is the first to integrate the proven cluster tool sample handling architecture for MBE systems, nearly ten years ago. The simple design enables platen transfer between load lock, prep, storage and growth modules in a circular format and efficient sequence. It also permits multi-chamber processing capabilities, allowing up to two or three growth modules depending upon the model system, to accommodate incompatible materials or improve throughput.

Veeco's cluster tool platform is proving to be the superior choice, because of its simple and reliable design. It has proven to be reliable in 24x7 manufacturing environments in growth campaigns lasting up to 25% longer, resulting in maintenance costs up to ten times less than other comparable systems, approximately 5 years in an R&D environment. Overall, the cluster tool architecture provides for the smallest footprint and the lowest cost of ownership available on the market today.



the first to incorporate proven cluster tool handling for MBE systems, enabling the smallest footprint and lowest cost of ownership.

Total Process Equipment Solutions

Veeco integrates this proven platform into our MBE cluster tool water-handling systems. This includes the GEN10, our most advanced 4" R&D system, the GEN20A™, through our Edge™ throughput GEN2000™ Edge 7x5" system.

Veeco's cluster tool minimizes the time and risk transferring from R&D to production by providing a common platform architecture, encompassing both system hardware and software.

The cluster module routes the servo-motor controlled sample handler. The sample handler moves platens between modules by rotating and extending/retracting into each module to facilitate epitaxial growth, improving process control and cycle time. Working in conjunction, Veeco's Moly™ Growth Control Software and Lot Manager™ Scheduling Software automate the movement of platens through the system by a user defined process flow thereby improving efficiency and enabling 24x7 operation.

The cluster module allows the integration of up to six process modules. The modular design provides a simple and cost effective platform for adding new or upgrading modules as these process needs change, enabling system optimization for a wide range of applications. For example, a preparation module can be attached to the cluster module to provide pre-growth conditioning, such as removing water from GaAs wafers or for removing the oxide layer from silicon.

The efficiency and reliability of the Veeco cluster tool systems is unbeatable, with many features contributing to the superior cost of ownership value of our systems. The modular design enables the highest throughput, reduces maintenance and replacement parts, lowers cost per wafer and maximizes uptime within the smallest footprint. Additional cost savings are realized through rapid tool installation and proven and reliable platen transport throughout the campaign.

All our systems integrate Veeco's comprehensive components, including the largest capacity SUMO™ sources, valved crackers and plasma sources. These sources enable the highest quality, longest campaigns for the lowest cost production of such devices as pHEMTs, MESFETs, HBTs and laser diodes—a testament to why Veeco's sources are used on over 75% of the MBE systems operational today.

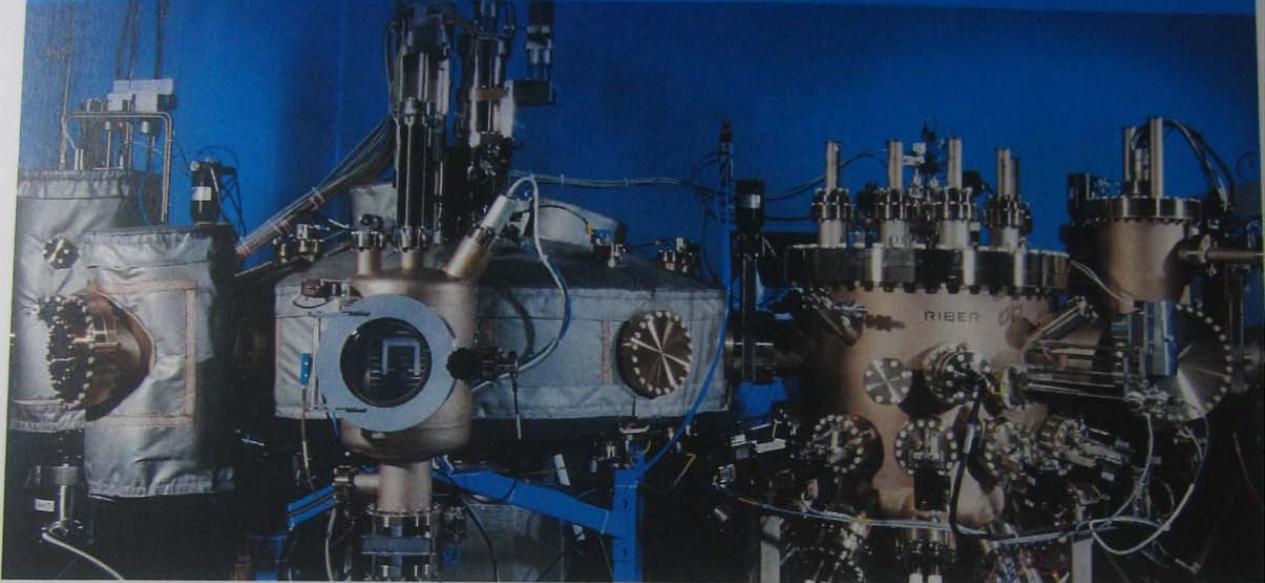
	Wafers	Applications	Typical Utilization
GEN10	Up to 1x3"		Efficient emerging materials R&D on a flexible, proven automated platform permits easy expansion to accommodate multiple users and complex processes.
GEN20	1x3" 1x4" 3x2"	III-V, II-VI, nitrides, oxides	Emerging materials R&D, device qualification and scale up for lab-to-fab migration. Manual or automated models available.
GEN200 Edge	1x8" 1x6" 4x4" 7x3" 14x2"	What's next?	High-volume production of optoelectronic and electronic devices.
GEN2000 Edge	3x8" 7x6" 14x4" 23x3" 54x2"		Highest-volume production of wireless devices.

20/10/2012 23:38

	Wafers	Applications	Typical Utilization
GEN10	Up to 1x3"		Efficient emerging materials R&D on a flexible, proven automated platform permits easy expansion to accommodate multiple users and complex processes.
GEN20	1x3" 1x4" 3x2"	III-V, II-VI, nitrides, oxides	Emerging materials R&D, device qualification and scale up for lab-to-fab migration. Manual or automated models available.
GEN200 Edge	1x8" 1x6" 4x4" 7x3" 14x2"	What's next?	High-volume production of optoelectronic and electronic devices.
GEN2000 Edge	3x8" 7x6" 14x4" 23x3" 54x2"		Highest-volume production of wireless devices.

20/10/2012 23:39

MULTI MODULE CLUSTER TOOL



HMI Control Panel

20/10/2012 23:25

Riber cluster tool allows you to expand your MBE system towards new capabilities such as PVD modules, analysis tools, sample cleaning / chamber treatment, offering multiple opportunities to develop your research activity.

Riber cluster tool provides a complete UHV ($< 5.10^{-10}$ torr) platform avoiding sample contamination from air exposure between process steps. A graphical user interface provides access to the status of each connected chamber and to the programmable transfer sequences. Riber cluster tool is compatible with all our product line, from 2" to 6" samples.

INNOVATIVE SOLUTIONS FOR SEMICONDUCTOR INDUSTRY

RIBER

RIBER ADDON VG SEMICON

EXAMPLE OF CLUSTER TOOL CAPABILITIES

Sample handling :

Central robot
Load lock
Storage

Sample processing :

MBE systems
PVD chamber : Sputtering, ALD...

Sample preparation :

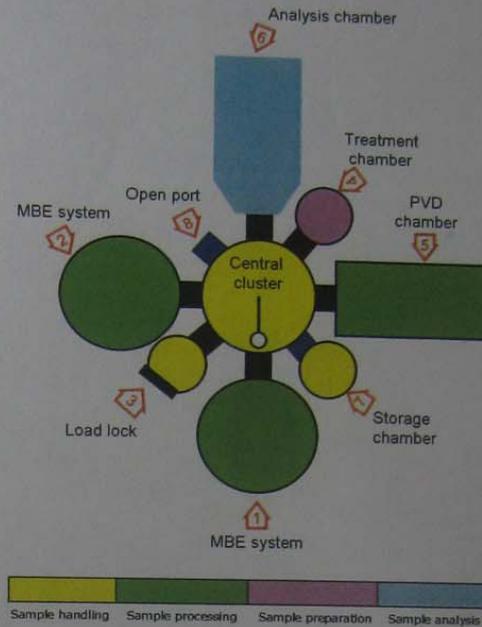
Treatment chamber : outgassing,
surface cleaning

Sample analysis :

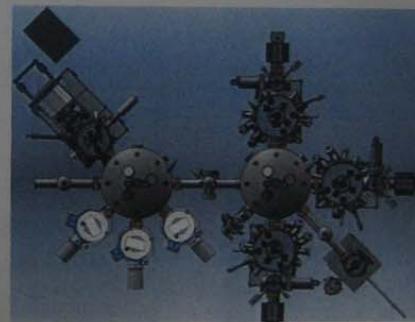
XPS, Auger, STM...

Your project chamber :

The one that differentiates your project
from all the others !



4" DUAL CLUSTER PLATFORM PROJECTS INTEGRATING SPUTTERING AND ALD SYSTEMS



CEA LETI CLUSTER TOOL



SOME REFERENCES FOR MULTI MODULE SYSTEMS :

CEA LETI - France
Chalmers university - Sweden
LAAS Toulouse - France
IMEC - Belgium
TRUMPF - USA
ORION - Russia

20/10/2012 23:26

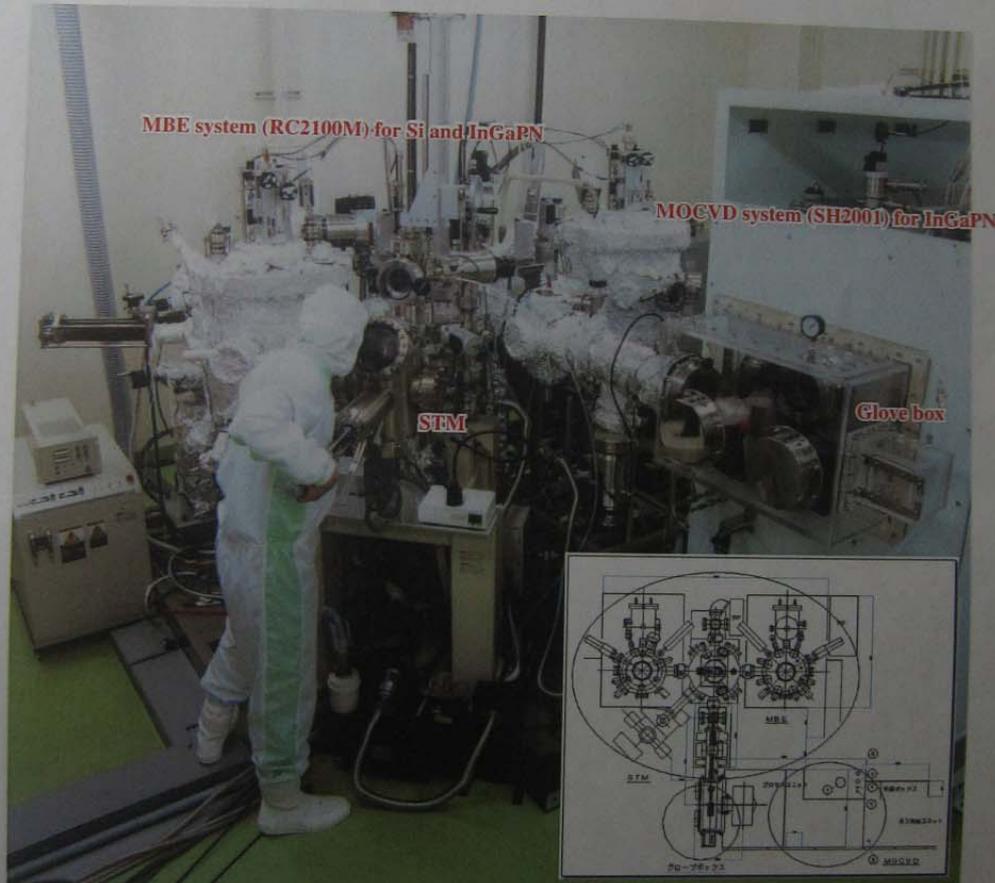


MOCVD system + MBE system with STM (Type:SH2001 + RC2100M)

Specifications

- Substrate Size: 1 × 2" Wafer (SH2001)
1 × 2" Wafer (RC2100M)

View



Supplied to Toyohashi University of Technology

20/10/2012 23:31

www.epiquest.co.jp Epiquest, Inc.

研究開発用

MBE 装置・MBE コンポーネンツ

アールデックでは研究開発用 MBE 装置関連の BEST なご提案をさせていただきます。

研究開発用小型 MBE 装置



【仕様】

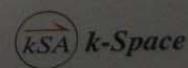
成膜室（極高真空対応脱ガス処理）

蒸着源ポート	8ポート
基板サイズ	～φ4インチ（基板回転機構付き） ※基板加熱・冷却はオプション
成膜室到達真空度	10 ⁻⁹ Pa 台
成膜室排気系	IP/TSP 付 ※オプションで LN ₂ シュラウド搭載可能

ロードロック室（省スペース角形チャンパー）

基板搬送	超高真空トランスファー機構
ロードロック室排気系	300L/s 磁気浮上型 TM 5000

20/10/2012 23:29



< SUMO セル >

Ga・In 用ホットリップ
200g、300g、400g

Veeco のベストセラー SUMO セル。トックリ型のユニークなリップにより、シリンダー型の利点である材料を多く蒸着できること及びユニカル型の利点である均一性が良いことの高方の機能を兼ね備えています。デュアルフィラメント構造でリップ付近の温度を高め設定することで温度差をつけることにより、コンタミの原因となる付着物を防ぐことができます。



Al 用コールドリップ

200g、300g、400g

セルでの取り回しが難しいアルミ用です。デュアルフィラメント構造により、リップ付近を低めに温度設定することで、吹き出しを弱くすることができます。もし吹き出しがあった場合でも、幅の広いリップによりセルへのダメージを少なくすることができます。

(注) 実際の売場量につきましては、別途ご相談ください。



< バルブドクラッカーセル >

As 用

500cc、5000cc

全世界で800台以上の実績があるベストセラー品。MarkIV シャワーノズルを採用したこと以前の MarkIV に比べて使用時間的4倍になりました。



Sb 用

200cc、2000cc

Sb等の取り回しが難しい反応性蒸着材料用です。

※ 5e 用、P 用もあります。



< 高温セル >

6cc、10cc、24cc、26cc

新製法により、操作温度 MAX2000℃も実現。Fe、Co、Ni 等反応性材料に最適。使用する材料により、リップとライナーの材質を変更することができます。



※ 蒸着源は物理・オーバーホールも受け付けておりますのでお問い合わせ下さい。

< N₂ プラズマソース >

イオン発生が僅かなのでターゲットが非常に少ないソースです。GaN 等窒化化合物の成膜に最適です。

※ O₂ プラズマソースもあります。



< シングルフィラメント >

1cc

シングルフィラメントでありながらホットリップ仕様やコールドリップ仕様にも対応が可能です。

操作温度：750~1300℃

(注) ホットリップ仕様 6cc 以上

コールドリップ仕様 16cc 以上



その場観察

RHEED (高速反射電子回折装置)

高い耐久性と安定性があり、ビームスポットが明るいのが特長です。

加速電圧：30keV



kSA400 (RHEED 解析システム)

結晶格子間隔、ひずみ変化、薄層成長レート等 RHEED の解析が容易に行えます。



BandiT (リアルタイムウェハ表面温度モニター)

非接触・リアルタイムで基板表面温度を安定かつ高精度で測定できます。

N 用モデル (GaAs、Si 等)

VIS 用モデル (GaN、SiC 等)



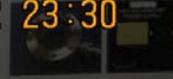
MOS (リアルタイムウェハひずみ・応力・膜厚モニター)

二次元平行配列レーザービームをサンプルに照射して CCD カメラによる各ビームスポット位置検出により、ビームスポット間距離の変化を測定し、弾性ひずみ・応力・反射率・成長率・膜厚・光学的定数 (n,k) をリアルタイムで高精度に測定ができます。



加熱ビューポート 20/10/2012 23:30

最高加熱温度 450℃。成膜中の As 等の付着も防ぎ、大気側から温度モニター等による監視が可能。取付フランジ：KCF70 または KCT14





MBE System for R&D

Characteristics

Our MBE system is suitable for growing semi conductor thin films for various research purposes such as high quality solar cells or High Brightness LEDs. The MBE system is equipped with a 10kW EB guns with two 40 cc crucibles, which makes it possible to grow thin films efficiently due to a stable flux rate. The EIES co-deposition controller helps monitoring of multiple fluxes and allows feedback control of each source precisely. A various deposition sources and controllers can be selected for multi-layer films or co-deposition growth.

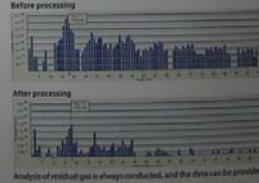


1. Ultra High Vacuum Chamber

Our original high vacuum degassing process would actualize the 10^{-6} Pa order in the growth chamber, and the thin films can be crystallized at 10^{-6} Pa order. The vacuum pressure level required by an MBE system will be easily achieved.



High Vacuum Degassing Process (Residual gas data)



2. Substrate Heater

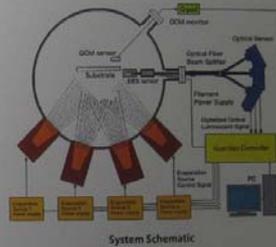
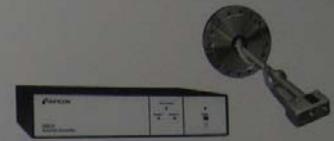


The system is equipped with a P8N/PG substrate heater which emits very little amount of gasses. The heater would not interfere with rotation of the 3-inch substrate. The substrate temperature can be controlled stably from room temperature to 1000 °C. The load lock chamber retains high vacuum environment of the growth chamber when the substrate is transferred.



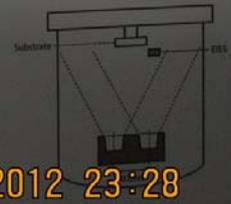
3. Co-Evaporation Rate Control

INFICON's EIES (electron impact emission spectroscopy) Guardian is incorporated for co-evaporation rate control. The user can monitor evaporation fluxes of multiple materials. The flux data can be utilized for precise control of each source.



4. Stable and Compact "ALL-IN ONE" EB Evaporation Sources

The Thermionics-made evaporation source (Twin HM³ e-Gun) consists of two 10kW/40cc EB guns, and these are mounted on one flange. Despite the fact that the crucibles are large in size (40cc) for the stable flux rate, they are compactly arranged with Thermionics' HM³ modular magnet design. So the distance between two crucibles (center to center) is only 102mm. Each e-Gun allows beam sweep control and emission current adjustment independently. The electrical feed throughs, water cooling feed throughs, sweep coils, and source shutters are all mounted on one flange (ALL-IN-ONE). The flange is also equipped with a



20/10/2012 23:28