

出國報告(出國類別：其他(訪問))

國防專技計畫-奈米雙波段紅外線偵檢器 關鍵技術出國報告

服務機關：國防部軍備局中山科學研究院

姓名職稱：湯相峰 中校技正

派赴國家：德國

報告日期：民國 101 年 07 月 31 日

出國時間：民國 101 年 06 月 24 日至 7 月 01 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	國防專技計畫-奈米雙波段紅外線偵檢器關鍵技術出國報告		
出國單位	第五研究所	出國人員級職/姓名	中校技正 / 湯相峰
公差地點	德國	出/返國日期	<u>101.6.24</u> / <u>101.7.1</u>
建議事項	<p>本院國防武器與軍民通用技術發展，因應未來組織調整，國防武器與軍民通用技術發展需採取更具前瞻及彈性策略與作法。尤其在國防專技熱像關鍵技術與製程整合開發上，更需要瞭解世界上重要科技強國對熱像系統發展經驗與能量當作參考與借鏡，以滿足研製未來國軍武器更現代化、輕量化與高質化之需求。</p> <p>本次參訪 JENOPTIK 紅外線影像模組暨系統製造與 Roth and Rau 微系統公司兩家公司過程中，有以下建議：</p> <p>一、深刻瞭解在紅外線影像器整合製造方面：需要進行客戶需求的前導調查與規劃，然後具體轉化成熱像系統功能架構，最後應用該公司在熱像介面整合核心技術如：熱影像雜訊抑制與防震能力、自動化影像功能測試與高品質紅外線光學鏡頭模組自製能量，製造出符合客戶需求甚至超乎客戶要求之品質；</p> <p>二、在光電半導體製程設備製造方面：使我瞭解到關鍵性的組件如 RF 電漿產生器組件，高均勻度電漿分佈腔體控制模組都是 Roth and Rau 微系統公司的核心能量，其餘次要零組件，乃運用強大資料庫管理與庫存監控方式，找出全世界最有效率與最符合本系統設備所需可即時提供需求的廠商供應非關鍵組件，公司再進行半導體製造設備系統製造組裝，兼顧品質與效率之功，這是全球組件供應鏈管理的實現，當然善用研發單位與學界的資源導入產品研發與製造，也是德國公司值得我們學習與借鏡之處。</p>		
處理意見	<p>一、後續本計畫計畫目標達成，藉由本次德國參訪經驗，善用中科院引以自豪的化合物半導體、紅外線偵檢材料與光電系統整合能力，再充分結合國內產業界如翔合化合物半導體 MBE 磊晶代工優勢、與學術界如國防大學理工學院、交通大學、暨南大學等元件製程理論支援與設計能量，必能增加執行計畫中雙波段紅外線影像製程技術到位精準度與提升高品質研發效能。</p> <p>二、藉由國際參訪經驗，即時掌握國際間熱像系統規格與研發趨勢，作為後續國防專技計畫執行之參考借鏡，使我國國防武器關鍵組件與系統研發能持續維持自主技術優勢，符合現代化建軍需求。</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	中校技正/湯相峰
單 位	審 查 意 見		簽 章
一級單位	一、出國報告內容詳實，對現階段國防專技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

此行派遣湯員至德國東部參訪 Roth and Rau 微系統公司與 JENOPTIK 紅外線影像模組與系統製造兩家公司，實地了解德國在紅外線影像系統開發、元件製程整合與系統整合測試最新技術，對紅外線偵檢元件陣列製程整合設備使用經驗及熱像系統整合測試規劃，均與相關負責專家廣泛研討，作為計畫雙波段紅外線焦平面陣列 FPA (Focal Plane Array) 模組製程設計參考，對本計畫執行有莫大的助益。

尤其報告中所提到 JENOPTIK 公司是昔日東德蔡司光學公司，除室溫熱像系統技術已能媲美低溫熱影像系統品質外，中波長 15 μm 間距之紅外線銻化銦影像器性能與光學鏡頭設計均為歐洲佼佼者，本次參訪經驗，對後續國防專技專案執行在影像陣列模組所需之光學鏡頭設計、光機構裝整合與場景應用具有重要啓示作為，未來本所核心技術提升與規劃未來熱像系統應用，可將該公司技術發展經驗，作為本案研製熱影像光機介面與系統整合參考。



出國報告審核表

出國報告名稱：國防專技計畫-奈米雙波段紅外線偵檢器關鍵技術出國報告		
出國人姓名(2人以上,以1人為代表)	職稱	服務單位
湯相峰	中校技正	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 (訪問) (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：101年6月24日至101年7月1日		報告繳交日期：101年 07月 31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 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 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 本報告已於7月26日辦理知識分享 <input checked="" 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 保防官及保防督導官	
	保防官	保防督導官
審核人	出國人員	初審
		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-101Z-H0002	2.出國類別： 其他(訪問)	3.完成日期： 101.7.31	4.總頁數： 34
5.報告名稱：國防專技計畫-奈米雙波段紅外線偵檢器關鍵技術出國報告			
6.核准 文號	人令文號 部令文號	100.06.04 國人管理字第 1010007147 號 101.05.31 國備科產字第 1010008148 號	
7.經 費		新台幣：112,177 元	
8.出(返)國日期		100.06.24 至 101.07.01	
9.公差地點		德國	
10.公差機構		Roth and Rau 微系統公司與 JENOPTIK 紅外線影像模組與系統製造公司	
11.附 記			

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：國防專技計畫-奈米雙波段紅外線偵檢器關鍵技術出國報告

頁數 34 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/湯相峰/357106

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

湯相峰/國防部軍備局中山科學研究院/第五研究所/中校技正/357106

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他(訪問)

出國期間： 出國地區：

101 年 6 月 24 日至 101 年 7 月 1 日 德國

報告日期：

101 年 7 月 31 日

分類號/目

關鍵詞：

焦平面陣列(FPA)、熱像模組、砷化銦鎘/砷化鎘、砷化銦/銻化鎘材料。

內容摘要：(二百至三百字)

此行至德國東部參訪 Roth and Rau 微系統公司與 JENOPTIK 紅外線影像模組與系統製造兩家公司，實地了解德國在紅外線影像系統開發、元件製程整合與系統整合測試最新技術。在 Roth and Rau 微系統公司時，與相關負責專家對熱像模組背面蝕刻高均勻度控制與電漿密度強弱對驅動電流間的關係進行深入研討與親自操作其蝕刻機台；在 JENOPTIK 紅外線影像模組與系統製造公司，針對室溫熱像與 15 μ m 間距低溫 640x512 畫素 InSb 紅外線熱像系統整合測試規劃流程方面聽取其建議，該公司也展示全世界最先進百萬畫素室溫長波長手持式熱像系統，作為計畫雙波段紅外線 FPA 模組製程設計參考，對本計畫後續執行有莫大的助益。

目 次

壹、目的.....	(9)
貳、過程.....	(9)
參、心得.....	(32)
肆、建議事項.....	(34)

國防專技計畫-奈米雙波段紅外線偵檢器關鍵技術出國 報告

壹、目的

本次參訪德國光電半導體製程設備商 Roth and Rau 微系統公司與 JENOPTIK 紅外線影像模組與系統製造公司，評估高精度晶圓乾式蝕刻系統 ICP-RIE 性能，希望導入雙波段紅外線陣列製程與熱像模組與系統測試程序，進行技術評估與討論，確保本院國防專技計畫-奈米雙波段紅外線偵檢器關鍵技術研發方向正確。因時間有限，因此將參加與計畫執行有相關之議題。因此，本次公差主要目標可歸納成以下兩點：

1.參訪 Roth and Rau 微系統公司，針對雙波段 QWIP FPA 製程 ICP-RIE 設備系統與機構操作與功能進行性能瞭解與評估，希望在最短時間內能將類似機台導入本計畫焦平面陣列製程內，提升熱像系統性能。

2.參訪 JENOPTIK 紅外線影像模組與系統製造公司，對紅外線焦平面陣列模組組裝測試議題進行技術研討。

貳、過程

在八天公差期間，主要是參訪兩家德國東部紅外線模組與系統整合公司 JENOPTIK、與半導體製程設備商 Roth and Rau 微系統公司。表一為本計畫公差工作計畫表，以下遂依照本表所列之工作項目技術研討，就針對此次參訪兩家公司每天研討內容逐一進行陳述：

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			
101.06.24	日	桃園				夜宿機上。
101.06.25	一		耶拿	德國 圖林根州 耶拿	拜訪 Jenoptik 公司紅外線影像技術部門經理，瞭解該公司熱像系統開發現況。	夜宿耶拿。
101.06.26	二			德國 圖林根州 耶拿	1. 討論中長波長紅外線焦平面影像系統整合介面開發與實際應用。 2. 中長波長紅外線影像模組在搜索與追蹤 (IRST)系統應用下，焦平面陣列研發時需考量因素與不同熱像場景下的優劣度研討。	夜宿耶拿。
101.06.27	三	耶拿	Hoh.-Ern	德國 薩克森自由州 Hohenstein-Ernstthal	1. 到達 Roth and Rau 微系統公司，拜會產品經理。 2. 聽取 ICP-RIE 感應耦合電漿反應離子乾式蝕刻系統功能簡報。	夜宿 Hohenstein-Ernstthal。
101.06.28	四			德國 薩克森自由州 Hohenstein-Ernstthal	1. 原廠工程師針對 ICP-RIE 感應耦合電漿反應離子乾式蝕刻系統操作程序，進行細部說明與展示。 2. 實際了解腐蝕性晶圓蝕刻氣體在設備內監控方式與意外時緊急操作程序運作模式。	夜宿 Hohenstein-Ernstthal。
101.06.29	五	Hoh.-Ern	德勒斯登	德國 薩克森自由州 Hohenstein-Ernstthal	1. ICP-RIE 感應耦合電漿反應離子乾式蝕刻系統對於大面積晶圓背蝕 (backside-etching) 高均勻度 (high surface uniformity) 控制技術了解與討論。 2. ICP-RIE 感應耦合電漿反應離子乾式蝕刻系統對於光柵 (optical grating) 深度與型態控制機制技術研討。	夜宿德勒斯登。
101.06.30	六	德勒斯登			回程。	夜宿機上。

101.07.01	日	桃園	回程。
-----------	---	----	-----

由台北經法蘭克福轉機，於德國時間 101.06.25 上午 11:00 到達德東萊比錫機場，機場內直接可搭乘 DB 德鐵，於下午 15:00 到達耶拿(JENA)，又搭乘市區電車到達住宿飯店，check-in 並稍做休息後，由 Jenoptik 公司熱像系統國際銷售海克-瑞奇特(Heiko Richter)經理陪同到公司拜訪紅外線影像系統部門技術長史蒂芬-施密特 Steffen Schmidt 先生。我告訴他代表中科院至該公司，進行技術研討與尋求增進未來雙方技術交流之可行性，他非常熱情歡迎我的到來，告知希望在未來一天的議程內，除展現出該公司熱像技術能量外，公司熱像部門也針對我的拜訪，研擬出以下討論內容綱要，如圖一(a)與(b)所示。

OPTICAL SYSTEMS | LASERS & MATERIAL PROCESSING | INDUSTRIAL METROLOGY | TRAFFIC SOLUTIONS | DEFENSE & CIVIL SYSTEMS

Infrared camera activities & competences Cooperation potential



Chung-Shan Institute of Science & Technology - Mr Shiang-Feng Tang, CSIST

Jenoptik | Defence & Civil Systems, Sensor Systems, ESW GmbH (Jena, Germany)
 Dr Frank Reichel – Head of Business Development Sensor Systems
 Mr Steffen Schmidt – Director Infrared Technology
 Mr Heiko Richter – Head of International Sales Infrared Technology

圖一(a)

- (1) Welcome
- (2) Introduction of CSIST & delegation
- (3) Introduction of Jenoptik & infrared activities
- (4) Applications of VarioTHERM & microbolometer cameras
- (5) Research activities of CSIST & future projects
- (6) MWIR detector developments in Taiwan
- (7) Cooperation possibilities for Longwave QWIP FPA modules
- (8) Research cooperation in dual-band or broadband QWIP FPA module based on type-I InGaAs/GaAs or type-II InAs/GaSb material
- (9) Development projects for optronic instruments in Taiwan

圖一(b)

依照圖一(b)議程內容，依序分成以下 9 個主題：

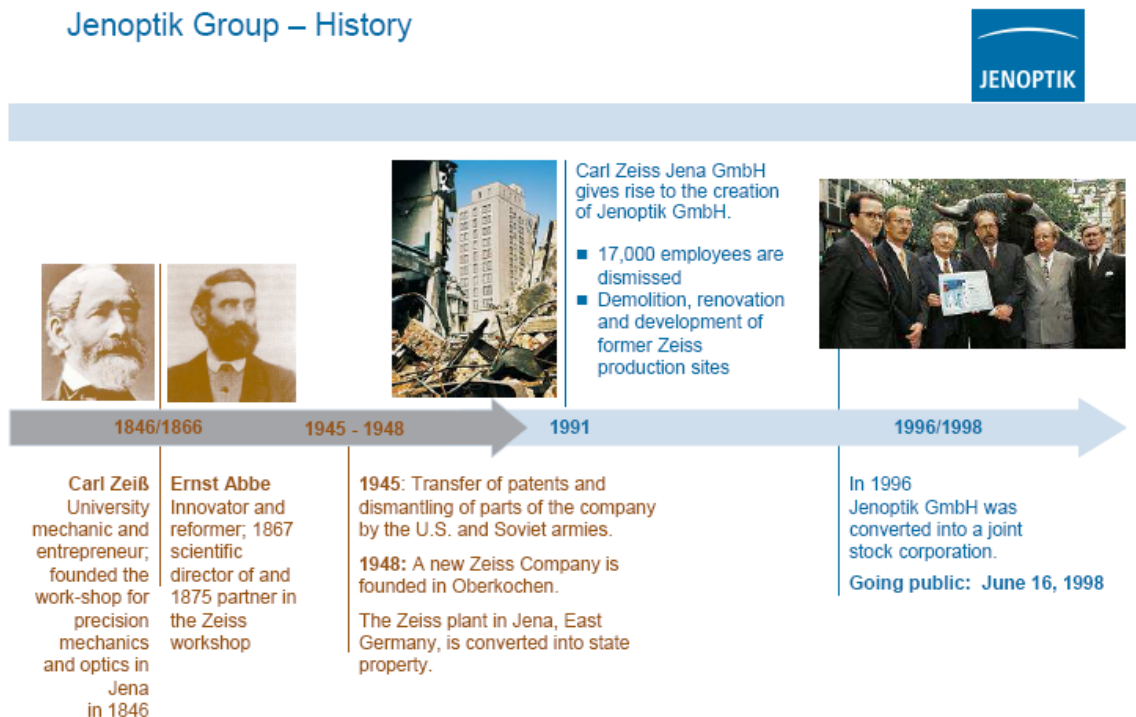
1. Jenoptik 公司技術長歡迎致詞。
2. 中科院組織簡介。
3. Jenoptik 公司熱像技術能量
4. 全世界最高畫素之室溫熱像機技術規格介紹與應用
5. 中科院熱像研發概述與未來研發計畫
6. 台灣中波段偵檢器發展現況
7. 長波長量子井紅外線焦平面模組合作可行性
8. 以 Type-I 和 Type-II 砷化銦鎘/砷化鎘與砷化銦/銻化鎘材料製造之雙波段與寬波段紅外線焦平面陣列模組未來研究合作
9. 台灣光電設備發展計畫與展望

訂好雙方研討主題架構後，時間已接近下午 6 點，遂結束今天拜會行程。

101.06.26 早上 08:30 依照前一日所訂的研討議題逐項進行討論

一、 紅外線模組與系統整合公司 JENOPTIK 研討議題重點闡述：

耶拿光學技術公司(Jenoptik)創立於 1846 年至今已近 170 年歷史，比台灣任何一家高科技公司之壽命都長得多，也是歐洲有名的百年光電元件模組與系統公司。在 1875 年與蔡司整合後，公司名稱改成蔡司光學技術公司，到 1945 年第二次世界大戰後，分成東德與西德兩國，西德新蔡司公司在符騰堡 Oberkochen 成立，原來蔡司公司在東德耶拿收歸國營，專門從事光電武器系統開發，一直到 1991 冷戰結束，兩德統一後，爲了與原西德新蔡司公司有別，東德卡爾蔡司公司改立耶拿光學技術公司，遣散國營 17,000 員工，進行新公司重組與改革，經過 15 年後，到 1996 年成爲股票上櫃公司，歷經兩年至 1998 年，正式在法蘭克福掛牌成爲一般股票公開發行公司。經過海克-瑞奇特經理詳細說明該公司歷史沿革(如圖二)，還真的是經過戰爭區隔的特殊經驗，這很像大陸交通與清華大學和台灣清交大學一樣，雖然名稱與性質類似，但分屬不同地區，這點對身處台灣的我來說十分能體會。



圖二

技術長史蒂芬-施密特正式展開本次議題討論，他告知耶拿光學技術公司共分成五大事業群，共有約 3100 多位員工，年產值近 6 億歐元，平均每人每年產值近 20 萬歐元。分別為雷射與材料、光學系統、工業光學檢測、交通光學、國防與民生系統事業群，而紅外線影像系統組是隸屬於國防與民生系統事業群內之感測器系統部內，核心技術在光機與感測器系統整合，架構詳如圖三所示。



圖三

五大事業群除了總公司業務大廈、產學創新中心與合作研究辦公室位於市中心外，大部分集中在耶拿郊區，開車約 30 分車程，而耶拿人口約 10 萬人，超過 2 萬名大學生，就讀超過 500 年歷史的 Friedrich Schiller University of Jena 大學，是世界上歷史最悠久的大學之一，是個典型大學城。享譽國際的德國光子技術研究院(Institute of Photonic Technology)與弗勞恩霍夫應用光學與精密工程研究院(Fraunhofer Institute for Applied Optics and Precision Engineering)均位於本地，Jena 幾乎一半以上的居民均跟以上所提到的學術與產業界有關。史蒂芬-施密特先生也直接了當的說，德國光學歷史悠久與技術精良，除長期高等教育注重理論傳授與實作驗證外，也是密切與學術界及研究單位積極合作的成果呈現，將學術界的成果與實作能力落實在光電產業界，產業界部分獲利，轉成學術界與研究單位之研發經費，真正達到相輔相成之效。

接著我也大致口頭介紹中科院的組織架構與人員組成，針對本所的能量以簡要的

方式介紹給公司，史蒂芬-施密特先生對台灣僅在報導中瞭解，也沒到過台灣，對台灣有超過 40 年的中科院科研單位，且具有多樣性的軍民通用研發能力感到十分新奇。由於時間與細節也無被授權等因素，無進一步說明闡述。

之後，史蒂芬-施密特先生開始針對隸屬於國防與民生系統事業群(分成四部門：能源系統、感測器系統、地面車輛系統與航空系統，如圖四)內感測器系統紅外線影像系統組開始詳述其技術能量。



圖四

當然，根據國防與民生系統事業群文意得知，該事業群產品涵蓋武器系統與民生工業與環境監控等產業，但以核心技術整合出的系統產品有熱像業視監控、雷射觀瞄系統、遙測生化噴霧與光譜影像監控系統與工業熱像與溫度監控等系統，如圖五所示，有關雷射部分乃由雷射與材料事業群提供技術能量，由國防與民生系統事業群進行光機系統整合及測試評估。

Optical Sensor Systems



Defense & Security

- Observation platforms
- Laser rangefinder and rangefinder modules
- Laser Sensors for live combat simulation and laser training
- Thermal imager for night vision
- Infrared camera modules for security applications

Environmental Sensors & Meteorology

- LIDAR based ceilometers for aerosol profiling
- Snow depths sensors
- Remote detection of bioaerosols, biological and chemical warfare agents (Bio-Aerosol LIDAR)

Sensors for Industrial Automation

- Thermographic cameras and stationary camera modules
- Infrared camera modules
- Laser Distance Meter / Rangefinder

圖五

在雷測感測系統部分，大都用於武器系統，該雷射是以 Erbium 摻雜二極體激發波長 1.54 μm 之脈衝雷射，量測距離從 200 公尺至 40 公里遠，目前已服役整合在海軍輕機砲系統中，實體與主要規格如圖六所示。

Business unit Sensor Systems
Laser Sensors.

Laser rangefinder for air defence systems
with high repetition rate

ELEM-dp-10k diode pumped Erbium:Glass Laser

- Wavelength 1.54 μm
- Measuring range 200m up to 40,000m
> 10km on standard target
- Pulse repetition rate 10 Hz; Burst 20Hz /7s
- Size in mm³ 222 x 123,5 x 60mm³
- Weight 1.6 kg
- Operating temperature -35°C to +70°C
- Multi-target measuring

References (selection):
MLG27 Light Naval Gun system



圖六

另外脈衝式二極體人眼安全雷射測距系統，在不大幅降低測距距離性能外，也朝向輕量化與可攜式發展，偵測距離與重量如圖七所示。

Eyesafe laser rangefinder modules for handguns & observation systems DLEM1k, DLEM2k, DLEM4k

JENOPTIK

Technology: Laser diodes 1.55 μm , Pulse accumulation

- Measurement range: 10 m to 5200 m
- Accuracy: $< \pm 1\text{m}$

	DLEM1k	DLEM2k	DLEM4k
Typ. operating distance (STANAG) :	> 1500 m	> 2500 m	> 4000 m
Extremely small and lightweight:	95 g	120g	170g

DLEM4k DLEM2k DLEM1k



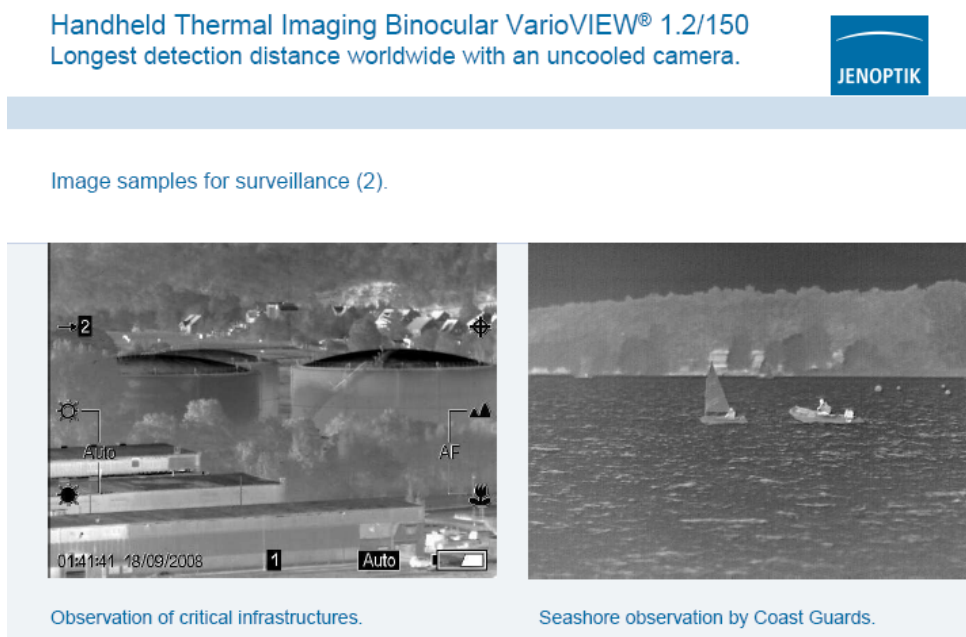
Application: Video sight Soldier-of-the-future (IdZ) Thermal imaging binocular VarioVIEW®



圖七

之後，開始集中在紅外線影像技術能量之介紹，由於介紹份量相當多，在此將集中在本次參訪的重點紅外線影像模組之整合與系統測試等領域來說明。如同前述所提，紅外線核心技術是圍繞在軍民通用科技應用範疇，其實開發的產品有些與本院一樣，但是由於該公司畢竟為民間公司，在室溫熱像商用產品也著墨甚深。從早期發展線性掃描式汞鎘銻熱像機產品(1980~2007 止)、256x256 致冷式 PtSi 熱像機(1998~2008 止)，2003 年以後開發出第一台微阻式 320x240 室溫熱像系統，在 2006 年開發出當時世界第一台 640x480 畫素室溫熱像系統，同年開始進行百萬畫素超高解析度熱像系統研發，接著 2007 年由於室溫熱像技術成熟，開始進行 160x120、384x288、640x480 OEM 小批量量產，同時超高解析度之室溫熱像模組開發也積極進行中，終於分別在 2012 今年三月初開發出世界第一台 1024x768 近百萬畫素熱像機；五月底利用光機影像強化 (RE)技術，將 1024x768 畫素品質提升至相當於 300 萬畫素之畫質手持式室溫熱像系統，這兩型都是當今世界最高畫質之室溫熱像系統，同時當場動態展示該熱像產品，由於室溫熱像系統內微阻式感測器對環境溫度背景極為敏感，實務上需要不定時間週期內進行 300 ms 時間間格之畫面均勻度與線性度校正，易造成動態影像停頓，對於高

速移動目標鎖定有系統上的缺陷，但是在畫面更新率 $< 60\text{Hz}$ 時，本產品可將校正間格縮短至 15 ms ，克服影像停頓缺點，可將局部應用於軍用低空低速動態目標追瞄上，同時搭配 $12\times$ 光學變焦可遠距離監控動態移動目標，且不會降低其空間解析度 (SMRDT)，如圖八所示，在左圖中，本系統具有定點自動聚焦與手動聚焦功能，右圖中 4Km 外的有人在一艘帆船上與另一人在快艇上接近帆船之目標影像十分清晰，也是當今世界上可偵測影像距離最遠的手持式高解析度室溫熱像系統。



圖八

詳細技術演進路程大事記如圖九所示。

History of Jenoptik's Infrared Technology Business

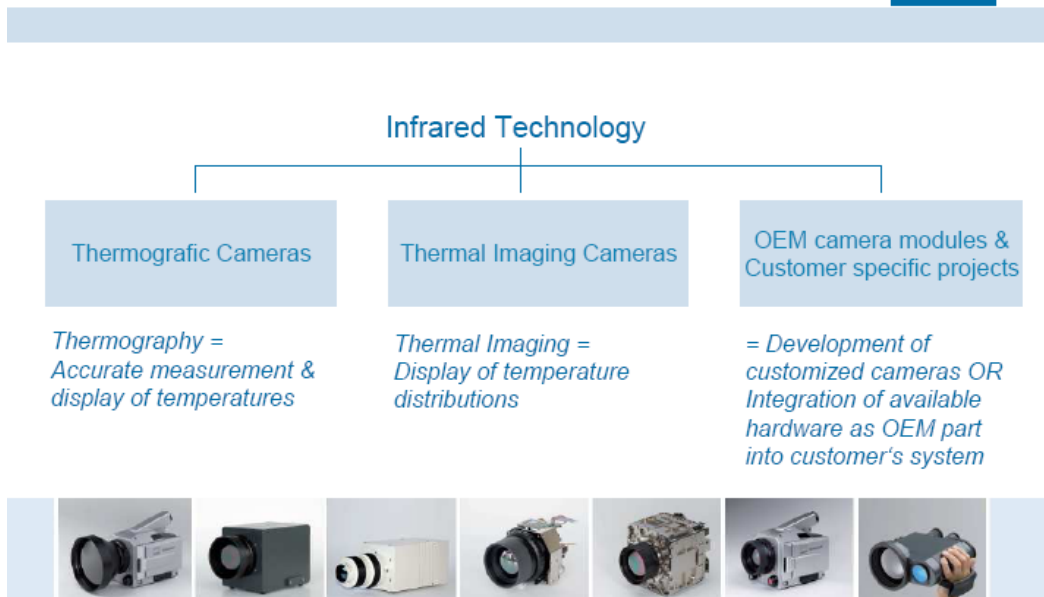


1970 - today	Development & production of IR optics & metrology for industry & military.	
1980 - 2007	Development & production of a scanning, radiometric MCT cameras.	
1998 - 2008	VarioTHERM PtSi – cooled FPA camera with 256x256 PtSi detector.	
1999	ISO 9001:2000 certification received & kept until today.	
2003	VarioCAM® – uncooled 320x240 pixel microbolometer cameras.	
2006	IR-TCM 640 – <u>worldwide first 640x480 uncooled</u> , radiometric camera	
2006	VarioCAM® HiRes research – handheld, uncooled camera with up to 1.2 megapixel resolution	
2007	Development of 160x120, 384x288 & 640x480 pixel OEM camera	
2008	Development & production of thermal imaging camera VarioVIEW™	
2010	VarioTHERM InSb – cooled FPA camera with 640 x 512 InSb detector	
2011	Start of volume production of uncooled OEM cameras	
2012	IR-TCM HD – <u>worldwide first 1024x768 uncooled</u> , radiometric camera	
2012	VarioCAM® HD – worldwide first handheld camera with 3.1 Megapixel	

圖九

針對熱像系統客製化部分與系統整合部分也在紅外線技術組主要特用計畫內，如圖十所示。因此非常希望與全世界有能力製造熱像焦平面陣列之廠商或研究單位合作，開發特用與有利基之熱像產品。

Business Unit Sensor Systems - Infrared Technology Overview




圖十

在 2010 後，該公司也開發畫素間距 $15\mu\text{m}$ 之致冷型銻化銦 640×512 熱像系統，詳細規格如圖十一所示，其溫度解析度 $<0.02\text{K}$ ，數位動態範圍 16 bits，除軍用系統應用外，可作為極精密高溫腔體、引擎啟動、大尺寸 LCD 玻璃融溶時溫度梯度與分佈分析，作為遙測高溫材料製程下與高溫系統運作時品質監控應用，大幅增加產品量率與降低工安風險。

Cooled thermographic camera
for special applications

JENOPTIK

VarioTHERM® InSb



Specifications:

- Spectral range: 2 - 5 μm
- Image format: 640 x 512 pixel
- Pixel pitch: 15 μm
- Thermal Resolution: $<20\text{ mK}$
- Measurement accuracy: $\pm 1.5\text{K}$ (0 ... 100°C)
- Image rate: 50 Hz PAL, 60 Hz NTSC
- Dynamic range: 16 Bit
- Spectral filtering: Integrated filter wheel (option)
- Interfaces: FireWire, RS-232, C-/S-Video, Gigabit-Ethernet (on request)
- Fields of use: Glass research, material science, Vacuum & reactor technology

圖十一

結合該公司開發的長波長薄化型無像變鏡頭，搭配 1024×768 畫素與結合光機影像強化技術，夜視取像品質已達到高畫質相片品質，連超過 2Km 外的建築物窗格都能清楚解析，如圖十二所示。

1024 x 768 pixel thermogram recorded with IR-TCM HD → Photo Quality!



圖十二

在本院熱像研發計畫方面，僅概略介紹雙波段紅外線元件設計的理論與需克服的技術門檻；在中波長偵檢器現況方面，清楚告知由於本人未授權進行規格及性能討論，僅就該公司展現武器系統文獻中所刊出之台灣紅外線發展現況內容大致說明，無討論到技術規格與性能。而在討論以 Type-I 和 Type-II 砷化銮鎵/砷化鎵與砷化銮/銻化鎵材料製造之雙波段與寬波段紅外線影像系統議題時，史蒂芬-施密特先生懇切告知本人低溫熱像技術發展的確是從 Type-I 走向 Type-II 材料，但是真正要掌握砷化銮/銻化鎵材料之成長與製程關鍵參數，是要花一段艱辛的技術突破陣痛期，世界上無論是紅外線最先進的美國或歐洲(包含德國)，一定是將本感測元件結構磊晶與陣列製程當作核心技術，就算該公司具有世界最佳熱像系統技術整合能力，當與前端焦平面陣列模組製造公司進行 OEM 合作計畫時也是非常謹慎。最後討論到台灣光電設備發展計畫與展望，由於本人對於高速光學視覺檢測與辨識的領域不太瞭解，且因台灣光學零組件量產能力遠優於光學設備製造能力，不過本人僅就台灣幾家光電設備整合公司與工研院及中研院開發研製白光干涉儀與原子力顯微鏡，具即時量測奈米級縱向粗糙度功能的成果進行簡略商討。

最後在海克-瑞奇特(Heiko Richter)經理時間提醒下結束了本次 JENOPTIK 紅外線

影像模組與系統製造公司參訪任務。

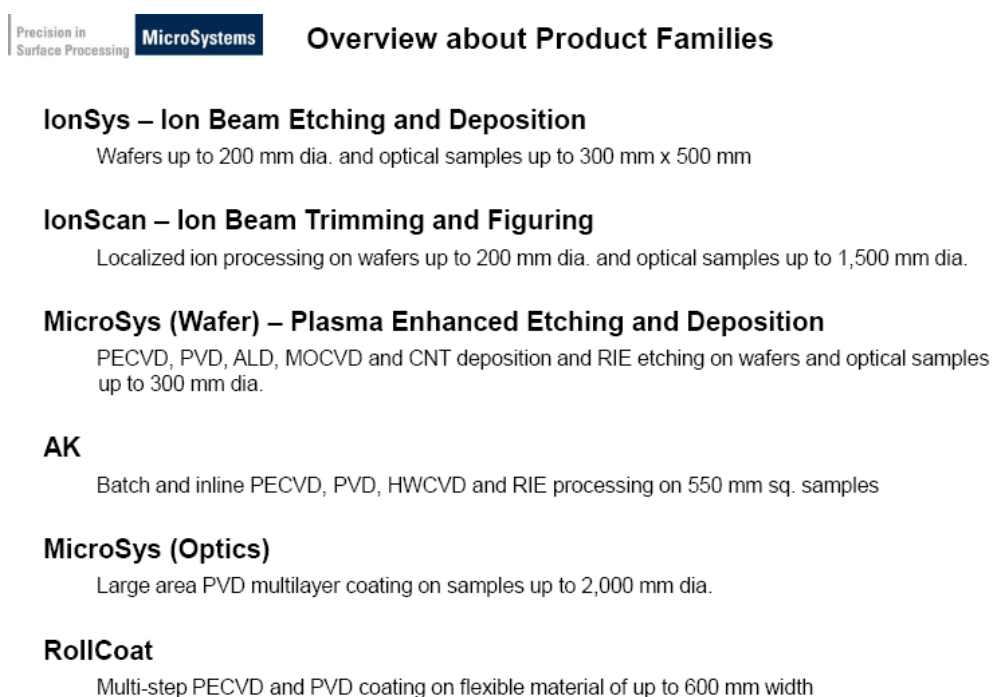
二、Roth and Rau 微系統公司研討議題重點闡述：

6/27 早上搭乘德鐵往 Roth and Rau 微系統公司所在地出發，地點在 Chemnitz 城附近的小鎮 Hohenstein-Ernstthal，約 2.5 小時到達 Hohenstein-Ernstthal 車站，之前聯繫之該公司國際銷售經理馬理安-漢夫 Marian Hanf 已在車站接我到飯店 check-in，十分鐘車程隨即到達該公司。馬理安-漢夫經理首先向我表達熱烈的歡迎，之後開始三天電漿耦合反應離子晶圓乾式蝕刻設備 ICP-RIE 技術研討。首先馬理安-漢夫介紹該公司的核心技術在半導體真空製程設備開發與奈米製程技術用於光電與微機電產業，人員共 45 人，年產值約 2000 萬歐元，每人年產值約 45 萬歐元。在高階電漿源與離子源設備佔有率在歐洲佔有舉足輕重角色，但是在太陽能製程設備部門，將於今年九月份併入瑞士裔 Meyer Burger Technology AG 公司。公司也是積極與當地著名的研究機構如：Fraunhofer IWS (Dresden), ENAS (Chemnitz), FEP (Dresden), Holst Centre (Eindhoven) 進行產學合作，同時目前公司內有 8 至 10 位大學以上產學合作學生或研究生由主任工程師帶領，進行產學計畫或特定研究專案。圖十三為機台組裝後驗證暨教學訓練實驗室一隅，與產學合作學生與工程師現場工作狀況。



圖十三

在上述所提之核心技術下，所開發之利基設備列表，如圖十四所示。諸如半導體製程常用之離子束蝕刻與沈積系統、電漿化學沈積系統、光化學沈積系統、原子層沈積系統、金屬有機化學沈積系統、反應式離子蝕刻系統等，主要為 8 吋(20 公分)機台，若為光學鍍膜與太空望遠鏡頭光學鏡片修整鍍膜或 **trimming** 機台真空反應腔體直徑甚至大到 150 至 200 公分，當然設備價格也所費不貲。



Precision in Surface Processing **MicroSystems** **Overview about Product Families**

IonSys – Ion Beam Etching and Deposition
Wafers up to 200 mm dia. and optical samples up to 300 mm x 500 mm

IonScan – Ion Beam Trimming and Figuring
Localized ion processing on wafers up to 200 mm dia. and optical samples up to 1,500 mm dia.

MicroSys (Wafer) – Plasma Enhanced Etching and Deposition
PECVD, PVD, ALD, MOCVD and CNT deposition and RIE etching on wafers and optical samples up to 300 mm dia.

AK
Batch and inline PECVD, PVD, HWCVD and RIE processing on 550 mm sq. samples

MicroSys (Optics)
Large area PVD multilayer coating on samples up to 2,000 mm dia.

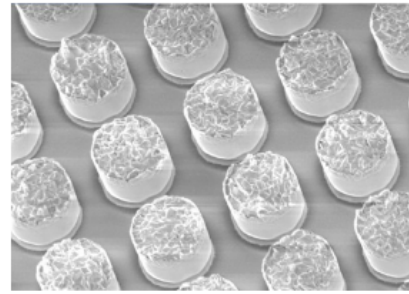
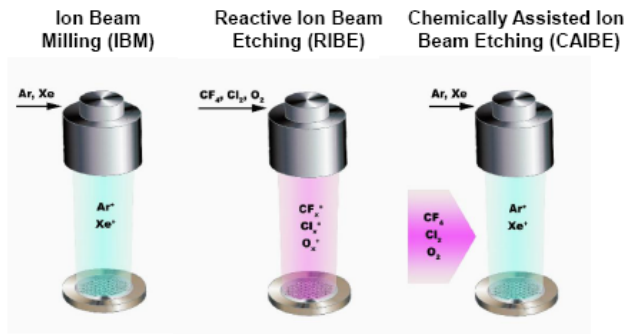
RollCoat
Multi-step PECVD and PVD coating on flexible material of up to 600 mm width

圖十四

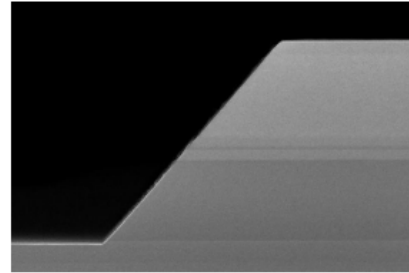
圖十五利用化學離子束蝕刻系統能將三五族四元磷化銻鋁鎵平台蝕刻成與法線夾 45 度，也能根據蝕刻配方調整蝕刻後邊角，使其容易導入入射光與提高蒸鍍披覆層覆蓋率，可提升製作完成之感測元件吸光效能與降低表面漏電流。

Applications

- Ion beam milling of metal films in MEMS industry (Ta, Ti, Au, Pd, Ru, Cr, Mo, NiFe, Co ...)
- Ion beam milling of multilayer stacks of magneto-resistive sensors (GMR, TMR)
- (Reactive) ion beam milling of compound semiconductors
- Exact adjustment of sidewall angles and etch selectivities by ion incident angle



Ion Beam milled microstructure of Sn/Cu/TiW/Si₃N₄ multilayer (IMS Duisburg)



Exact 45° sidewall angle generated by Cl-based CAIBE in AlGaInP

圖十五

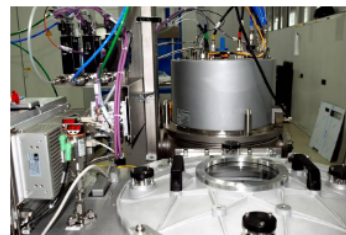
在 PVD 光強化沈積系統可進行單層甚至多層氧化膜沈積，能進行絕緣保護層或防反射層甚至週期性面光導層沈積，極適合用於光學元件或表面聲波元件製程上，圖十六中，沈積直徑大小八吋 LED 晶圓上 50 週期共 5.6 μ m 厚的藍光 LED Al_2O_3/SiO_2 多層膜濾波層設計與實際沈積製程後穿透率比較十分吻合，足見 PVD 優異品質。

Applications

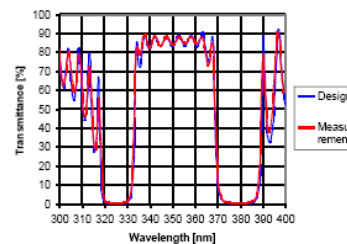
- Deposition of oxide multilayers for optics applications
- Deposition of films for acousto-electric devices (SiO_2 , AlN, Al_2O_3)
- Deposition of insulation and passivation films

System Features

- Carrier and wafer based deposition of up to 200 mm dia. samples
- Automatic cassette loading with vacuum handling robot and pre-aligner in cluster tool layout standard
- Sample stage with continuous rotation, RF bias and He backside heat contact
- Magnetron sources alternatively:
 - 400 mm double ring magnetron with uni- or bipolar sputter mode (Cooperation with FEP Dresden)
 - Confocal arrangement of up to 3 magnetrons of 50 mm



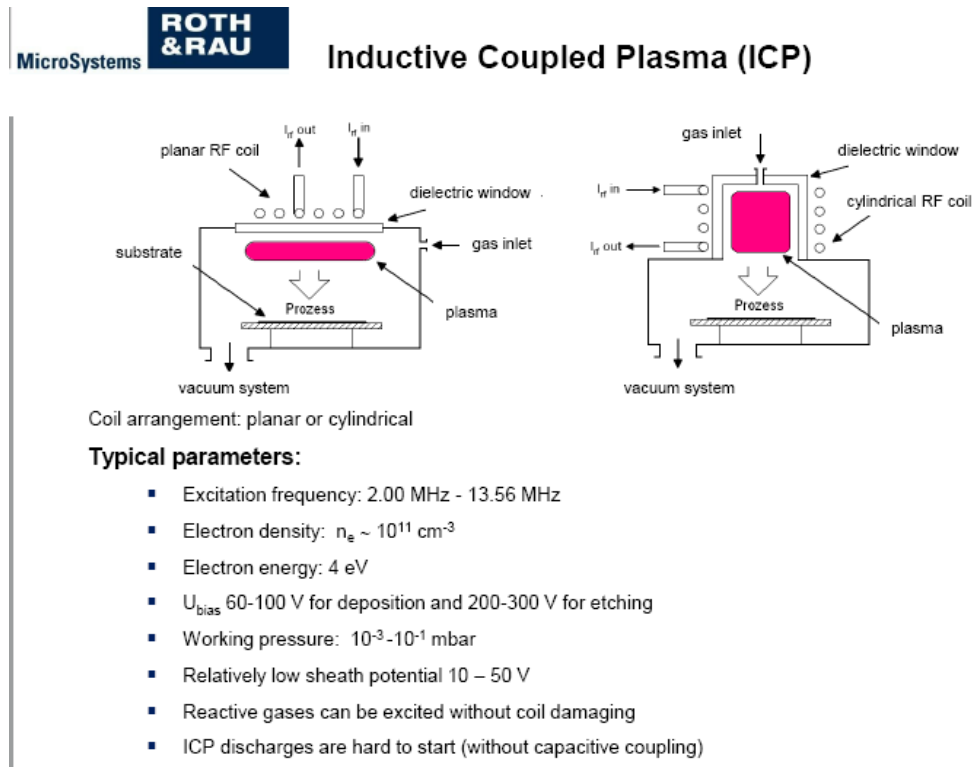
MicroCluster system with 2 chambers of 400 mm double ring magnetrons



*Al₂O₃ / SiO₂
81 layers band pass filter of 5.6 μ m*

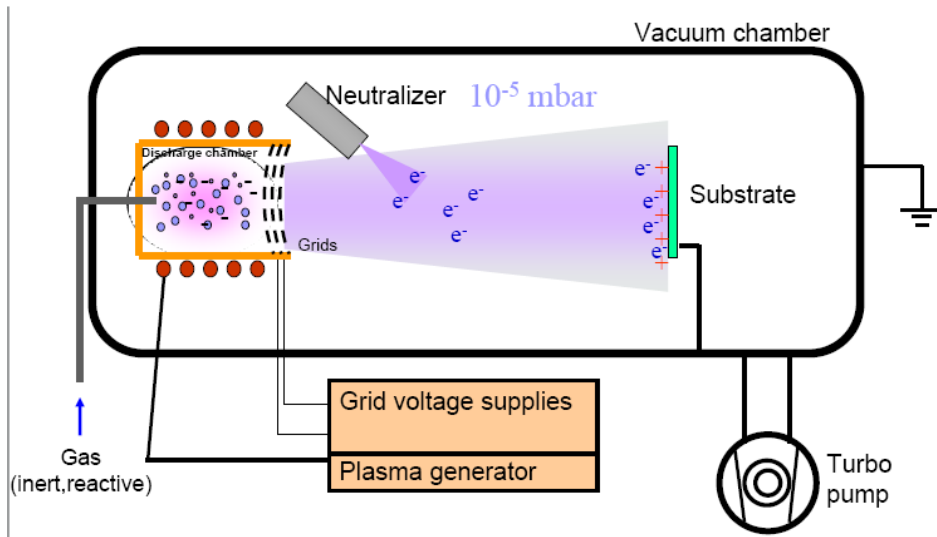
圖十六

圖十七為感應耦合是電漿在蝕刻腔體內示意圖，RF 線圈分成平面與圓柱型兩類，端看不同類型磊晶片蝕刻之應用，本系統設置考慮到當反應氣體在受激態不致影響 RF 線圈運作，運作偏壓可隨蝕速率與反應氣體以軟體設定來調制，人機介面十分友善。

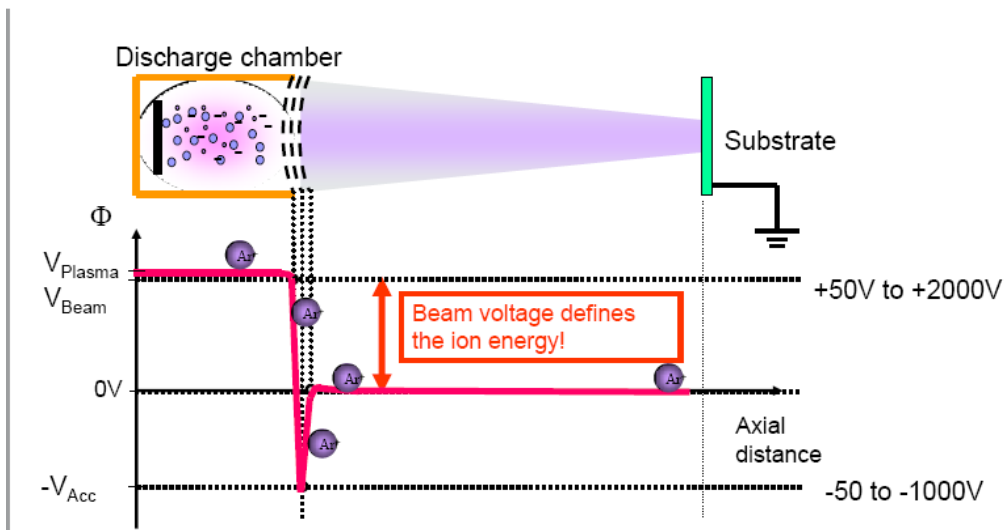


圖十七

圖十八為 Roth and Rau 微系統公司所設計 ICP-RIE 系統運作原理，(a) 為 ICP-RIE 系統主要模組配置圖：分成反應真空腔體、氣體注入管路、電漿 RF 產生器、加速電壓模組、真空幫浦、多餘離子中性反應器等。(b)為運作原理陳述：當反應氣體受高壓解離持電漿態後，離子束受高電場加速對晶圓進行高均勻度高效率蝕刻製程，加速電壓介於-50~-1000V 之間，氣體解離其電漿態電壓介於+50~2000V 之間。



(a)



圖十八(b)

圖十九為 Microsystems 200 型 ICP-RIE 系統實體外觀照片，將晶片至入 loadlock 腔體內，便可用電腦自動化傳送到主要蝕刻腔體內，在依照所設計規劃之蝕刻配方程式流程進行蝕刻製程，幾乎可視為全自動蝕刻製程，大幅降低因人為因素導致製程變異。



圖十九

圖二十為該系統內的氣體閥門，均有單獨電子式氣體流速控制器 MFC 來精確控制流量，當然全由人機電腦來監控與命令。



圖二十

圖二十一(a)為機台連結到二次配管前之介面氣體控制模組與管路，圖二十一(b)更清楚觀察反應殘留氣體會連結到廢氣燃燒水解鋼槽中。



圖二十一(a)

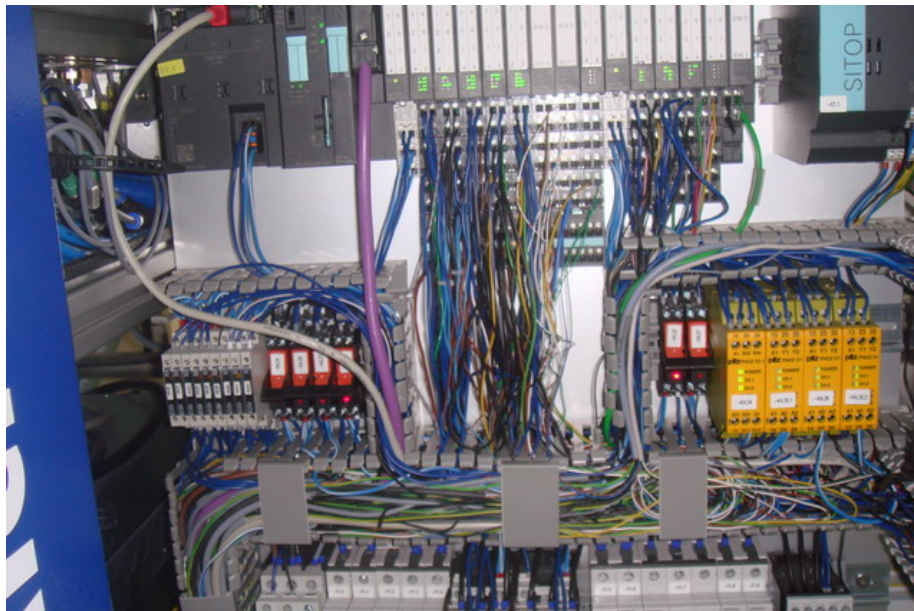


圖二十一(b)

而渦輪式高真空幫浦系統配置如圖二十二所示，除了主腔體外，右側有電子式控制模組精確控制幫浦運作狀態。整個系統最複雜之控制模組中樞(含電子閥門繼電器)在圖二十三內清楚呈現。



圖二十二



圖二十三

系統封蓋組裝後的整體外觀(含主控人機螢幕介面)如圖二十四所示，外觀十分簡潔扼要，與一般公司相類似機台比較所佔空間極小，圖二十五顯示人機操作介面採圖像與輸入並行，可用液晶面板觸控，且系統全部正常或異常狀態使用顏色管理，十分人性化。

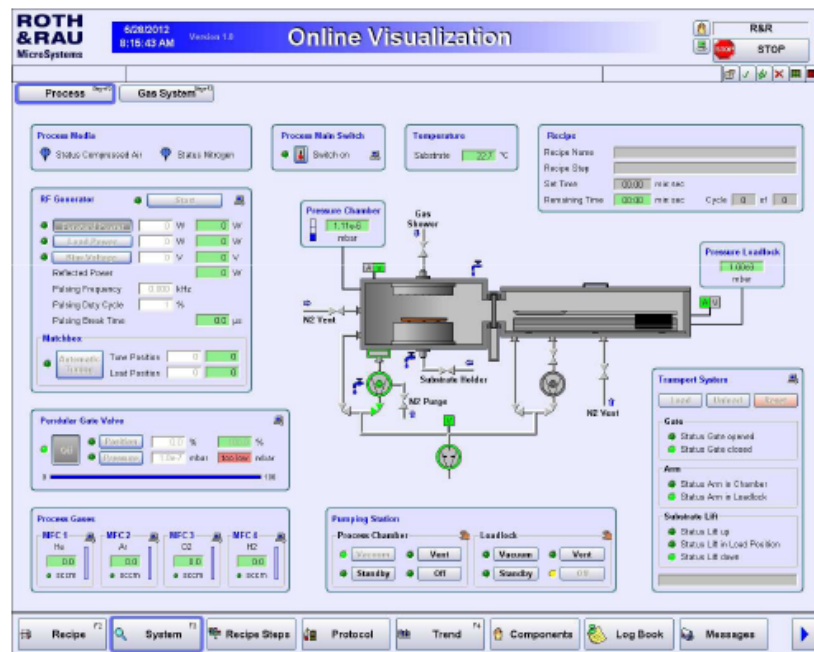


圖二十四



Training MS 200,
Status CONFIDENTIAL

Software – Main Window

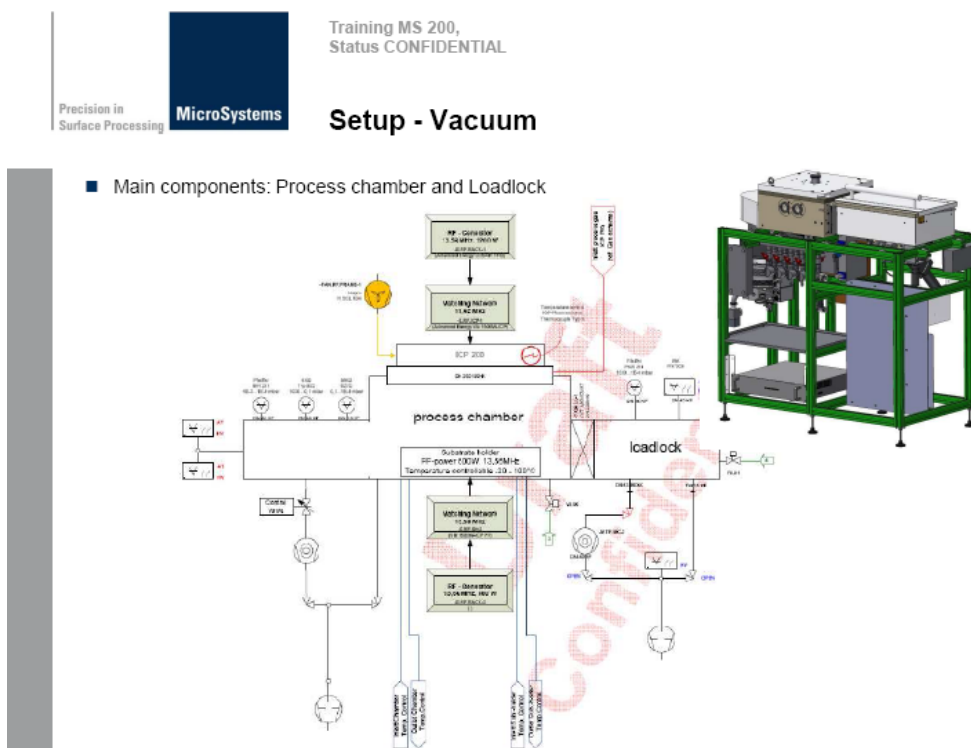


圖二十五

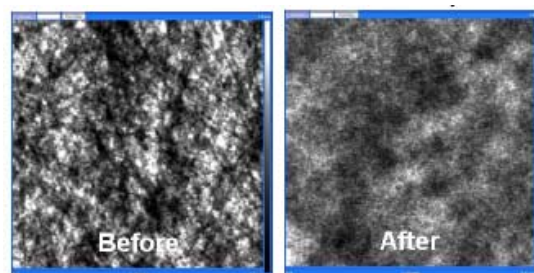
在三天研討中，原廠工程師丹尼爾-豪司坦先生 Daniel Haustein 帶著我，針對

ICP-RIE 感應耦合電漿反應離子乾式蝕刻系統整體操作程序，依照此系統主腔體與 loadlock 安裝配置圖(圖二十六)搭配實作程序仔細說明及操作，讓我可經由設備操作瞭解到全機模組運作功用，更能掌握機台性能。

而在 ICP-RIE 感應耦合電漿反應離子乾式蝕刻系統對於大面積晶圓背蝕 (backside-etching)高均勻度(high surface uniformity)控制技術討論時，他展示一個矽晶圓表面 SEM 照片從 CMP 完成後之表面粗糙度變異之均方根值從 0.18nm 降至 0.11nm，均勻度提升至近 40%，如圖二十七所示。



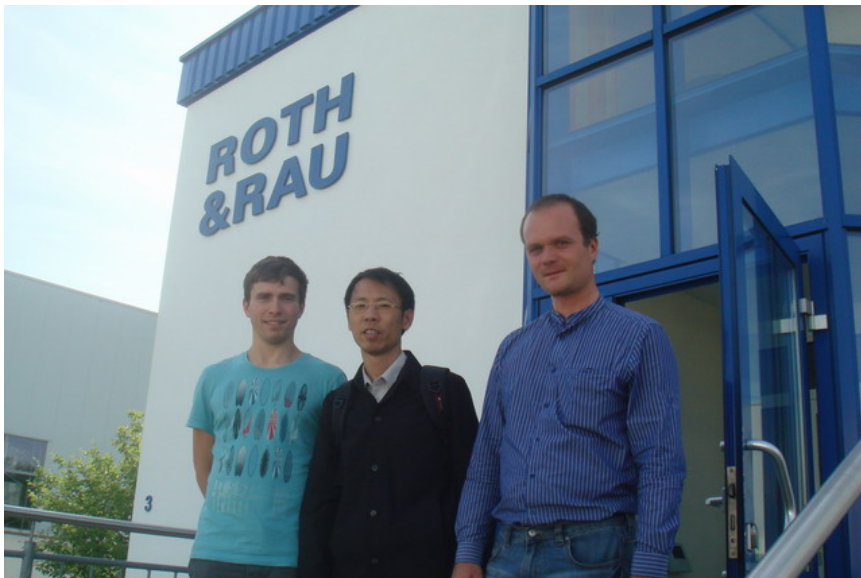
圖二十六



Ion Beam Smoothing of Si sample by assist source reducing RMS from 0.18 nm to 0.11 nm (IWS Dresden)

圖二十七

最後，他實際示範腐蝕性晶圓蝕刻氣體在設備內監控方式與意外時緊急操作程序運作方法，機台緊急中止按鈕可完全滿足因應臨時停電、地震或氣體外漏的第一線處置模式，經詢問因台灣處於環太平洋地震帶，丹尼爾明確告知，本機台本身可承受芮氏地震強度 8 級以內的耐震規格，不過若萬一遭此級數地震後需要原廠工程師進行 RF 線圈模組與 RF matching box 調校確認後，才可重新運作為宜。最後在 6/29 日下午 17:50 分左右公司最後一班人員下班時劃下此次參訪公司的句點，也在公司門口前拍了離別照(圖二十八)。



圖二十八

參、心得

由本次到德國參訪 JENOPTIK 紅外線影像模組與系統製造公司，與 Roth and Rau 微系統兩家公司，雖然一家為紅外線影像系統整合公司，另外一家為半導體設備製造公司，公司產品及策略都不一樣，但是有幾項是共通的，歸納如下：

一、德國工程師對工作的認同感與專注度：

從兩家公司人員，不論從經理級或產品工程師等級，每個人言談中對於公司交付自己的工作或專案，都能自信且清楚表達，且對於公司所開發產品之規格非常精確展現其產品性能優勢，在短時間內總能讓人對該公司技術印象深刻；並且德國工程師對產品之思考相對於其他國產品注重成本與外觀亮麗設計，首重品質與耐用

度，產品與製程設計程序與流程均文件化與量化，對產品的穩定度及可靠度有時讓我感到近於苛刻，舉例來說，進入無塵室進行 ICP-RIE 操作訓練時，發現設備內管線與訊號線整理有清楚脈絡可尋及置入重要測試點，一方面偵錯與測試發生問題，可即時找到線路位置使用探針測試，另一方面設備內部看不到不易維護之線路與訊號端子，工程師告知均使用耐腐蝕與耐溫之訊號及電源線材質，每一產品關鍵組件均以汽車電子等級 10 年惡劣環境溫度規範為標準，正常使用下穩定度及可靠度都與滿足運作規範，當然至於無塵室恆濕恆溫環境，那應該更不是問題了，足見一般德國設備的耐用度無庸置疑；而對於熱像產品來說，技術長史蒂芬-施密特甚至希望我直接將手上拿著的高解析度手持式熱像機從 30 公分的高度往下摔，他保證操作性能完全不會有問題，頂多外觀掉漆罷了，他瞬時從我手上取回，在不關機下自由落體往桌上丟，確認後性能真得沒問題，內部避震要求實在超乎想像，實在不可置信，屆時讓我深覺 **Made in Germany** 的品質保證。

二、德國產學研合作落實於產品開發：

兩家公司都有與當地著名研究單位與大學緊密合作，與研究單位合作方面採取技術承接與實務討論的方式進行，不拘泥於理論；與學界合作方面，公司提供助學津貼與產學合作研究費在學校成立基金帳戶，學校派遣大學以上學生至公司實際參與熱像產品設計與製造，以師徒制方式跟班與產線上討論方式，一同導入產品研發與偵錯，學校教授則提供理論支援，使學生一畢業即可與產業界鏈結，大幅降低初期就業的不適應率，使公司與學校能達到雙贏。這點比台灣做得更落實更實務，使得高階研發人才不止有學術上的理論基礎更有實務上的研發經驗，不過德國大學幾乎是公立大學，許多學校在學位獲得前都要求學生有實際業界實務經驗，且學生較無後顧之憂，可在大學或研究所(研究學程與博士學程)最後一年落實產學交流。

三、德國工程師討論問題之態度與高產能：

經過這八天德國參訪，真正發現討論技術問題時，德國人對討論綱要會再三確認主題是否是後續要研討的，確認後便依照之前確認之程序進行，對我提出問題的精確度會琢磨再三，然後在許可範圍內非常仔細回覆對方。在耶拿光學技術公司，我要求是否可進入 FPA 測試廠房現場瞭解，經過被授權同意後帶我進入組裝測試部門後，從模組與光學鏡頭對準、測試模組定位與測試程式運作到軌道型自動化影像品質測試讓我一次看得夠，由於測試產線產品類型不一，還告知我他們已研發彈性化交錯產品測試模式，不會因產品不同影響到測試上機時機，一切以產品需求交期優先度為考量，讓我見到德國人對自動化產品測試的能力，這些機台大都是公司與

德國自動化廠商縝密討論後，客製化提供熱影像品質測試所需；另一方面因善用自動化、目標管理及平行化製程能力，參訪這兩家公司，每位工程師平均年產能介於 20~45 萬歐元，如此高產能，讓人嘆為觀止。

肆、建議事項

本院國防武器與軍民通用技術發展，因應未來組織調整，國防武器與軍民通用技術發展需採取更具前瞻及彈性策略與作法。尤其在國防專技熱像關鍵技術與製程整合開發上，更需要瞭解世界上重要科技強國對熱像系統發展經驗與能量當作參考與借鏡，以滿足研製未來國軍武器更現代化、輕量化與高質化之需求。

本次參訪 JENOPTIK 紅外線影像模組暨系統製造與 Roth and Rau 微系統公司兩家公司過程中，讓我深刻瞭解在紅外線影像器整合製造方面，需要進行客戶需求的前導調查與規劃，然後具體轉化成熱像系統功能架構，最後應用該公司在熱像介面整合核心技術如：熱影像雜訊抑制與防震能力、自動化影像功能測試與高品質紅外線光學鏡頭模組自製能量，製造出符合客戶需求甚至超乎客戶要求之品質；在光電半導體製程設備製造方面，使我瞭解到關鍵性的組件如 RF 電漿產生器組件，高均勻度電漿分佈腔體控制模組都是 Roth and Rau 微系統公司的核心能量，其餘次要零組件，乃運用強大資料庫管理與庫存監控方式，找出全世界最有效率與最符合本系統設備所需可即時提供需求的廠商供應非關鍵組件，公司再進行半導體製造設備系統製造組裝，兼顧品質與效率之功，這是全球組件供應鏈管理的實現，當然善用研發單位與學界的資源導入產品研發與製造，也是德國公司值得我們學習與借鏡之處。