

出國報告(出國類別：其他(參加國際會議))

## 參加 2010 SPIE 光電與光子技術研討會 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：美國

出國時間：99年07月31日至99年08月06日

報告日期：99年08月31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	參加 2010 SPIE 光電與光子技術研討會出國報告		
出國單位	國防部軍備局 中山科學研究院 第五研究所	出國人員級職/姓名	中校技正/湯相峰
公差地點	美國	出/返國日期	99.07.31/99.08.06
建議事項	<p>1. 此次出國參加會議之目的，為提升本所已具備 320×256 焦平面陣列研發自製能量，含陣列製程整合、混成研磨製程、讀取電路晶片設計委製、高真空致冷封裝與成像電路設計製造與影像測試等，除此，對新型材料(如 MCT、QWIP 與 type II 材料系列)、高畫素、雙波段紅外線陣列研發趨勢較少涉獵，參加本會議確能誘發克服國防專案計畫中技術障礙之靈感，如進行 FPA 製程整合與光學設計組裝時，需要系統整合分析與關鍵參數量化考量，才能減低影像低均勻度與操作率等問題，使後續第二期國防專技計畫能順遂執行。</p> <p>2. 一種技術的成型與成熟發展非一蹴可幾的，需要靠研發團隊長期不斷研發修正，擷取失敗經驗，無論從驗證中獲得或藉由多單位合作共同克服，這是本次赴美參與會議獲得最大啓示，綜合言之，高品質熱像技術能量建立是需要多管道、多方合作研發或利用技術轉移方式來達成。美國是 QWIP 研發之重鎮，此次收穫之一，是與執 QWIP 熱像技術之牛耳之公司研發暨應用副總建立溝通管道，雖然美方技術控管嚴密，但建議未來執行有關計畫時，不放棄仍可考量雙方合作或參與驗證之可行性。</p> <p>3. 美國對於紅外線影像應用技術之公司管制十分嚴格，但對於研發紅外線影像科技中新一代未成熟實驗室技術，美方十分希望全世界類似由其主導的國際會議下共同討論研議，企圖窮究全世界專家智慧結晶，開發出更高階品質下一代紅外線影像產品，在了解相關技術困難之際，我國也可效法美國，藉由學術暨報告討論平台，獲取第一手技術資料，能作為本院相關專案計畫之技術指標，提升研發素質。</p>		
處理意見	<p>1. 參加國際會議確可及時了解最新技術趨勢與指標，未來將持續支持。</p> <p>2. 政策許可下，可專案考量。</p> <p>3. 未來在政策與經費許可下，可評估效法實施可行性。</p>		

# 報 告 資 料 頁

1. 報告編號： CSIPW-99Z-H0003	2. 出國類別： 出國報告	3. 完成日期： 99.08.31	4. 總頁數： 37 頁
5. 報告名稱：參加 2010 SPIE 光電與光子技術研討會出國報告			
6. 核准 文號	人令文號	人令文號：99.7.27 國人管理字第 0990011037 號	
	部令文號	部令文號：99.7.22 國備獲管字第 0990010909 號	
7. 經 費		新台幣：126,090 元	
8. 出(返)國日期		99 年 07 月 31 日至 99 年 08 月 06 日	
9. 公差地點		美國	
10. 公差機構		SPIE 光電與光子技術研討會	
11. 附 記			

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 2010 SPIE 光電與光子技術研討會

頁數 37 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/國防部中山科學研究院/五所固態元件組/中校技正/357106

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)

出國期間：99 年 07 月 31 日至 99 出國地區：

年 08 月 06 日 美國

報告日期：99 年 08 月 31 日

分類號/目

關鍵詞：SPIE、雙波段紅外線、焦平面影像器。

內容摘要：(二百至三百字)  
(細明體 12 號，1.5 倍行高)

1. 參加 SPIE 光電與光子技術研討會子項次議題如：紅外線遙測與測試設施、中紅外線焦平面偵檢器發展、偵檢技術與材料特性、汞基紅外線影像先進紅外線元件與儀器架構、紅外線偵檢器與紅外線偵檢器採用讀取積體電路、陣列架構、紅外線偵檢器品質特性、紅外線偵檢器應用(I)、紅外線偵檢器品質與特性、紅外線偵檢器應用(II)、紅外線偵檢器基板與材料特性、紅外線元件(I)與系統、紅外線偵檢器偵檢元件(II)與光電子影像器，蒐集相關先進紅外線偵檢元件技術與資訊。
2. 參加 SPIE 光電設備展示會，針對中長波長雙波段紅外線陣列偵檢元件製程與影像量測設備最新進展進行了解。

# 目 次

壹、目的.....	(09)
貳、過程.....	(09)
參、心得.....	(35)
肆、建議事項.....	(36)

## 報告名稱（參加 2010 SPIE 光電與光子技術研討會）

### 壹、目的

執行 99 年度國防專技計畫-動能攔截器紅外線尋標器之冷卻偵檢總成及顯像電路關鍵技術，為提升未來自製紅外線熱影像偵檢器製程技術水平，希望藉由參加美國 SPIE 光電與光子技術研討會，蒐集先進紅外線影像陣列元件關鍵技術與製程整合技術及近程資訊，俾供後續國防專技雙波段紅外線影像陣列製程關鍵技術研製開發參考。

參加 SPIE 光電與光子技術研討會子項次議題如：紅外線遙測與測試設施、中紅外線焦平面偵檢器發展、偵檢技術與材料特性、汞基紅外線影像先進紅外線元件與儀器架構、紅外線偵檢器與紅外線偵檢器採用讀取積體電路、陣列架構、紅外線偵檢器品質特性、紅外線偵檢器應用(I)、紅外線偵檢器品質與特性、紅外線偵檢器應用(II)、紅外線偵檢器基板與材料特性、紅外線元件(I)與系統、紅外線偵檢器偵檢元件(II)與光電子影像器，蒐集相關先進紅外線偵檢元件技術與資訊。

同時也參觀 SPIE 光電設備展示會，針對中長波長雙波段紅外線陣列偵檢元件影像量測設備進展進行了解。

### 貳、過程

本次公差參加研討會計畫乃根據，原先規劃國防部軍備局中山科學研究院出國人員工作計畫表進行，以下將詳述本次公差任務流程。

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			
99.07.31	六	桃園	聖地牙哥		去程	夜宿聖地牙哥

99.08.01	日			美國 加州 聖地牙哥	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. SPIE 大會報到完成註冊程序。</li> <li>2. 研討紅外線焦平面偵檢器發展(I)，蒐集焦平面陣列製程整合資料。</li> <li>3. 研討紅外線焦平面偵檢器發展(II)研討會，蒐集焦平面陣列影像測試資料。</li> <li>4. 研討偵檢技術與材料特性分項研討會，蒐集焦平面陣列元件中材料退化時光電特性之影響資料。</li> </ol>	夜宿聖地牙哥
99.08.02	一			美國 加州 聖地牙哥	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研討汞基紅外線影像技術，了解歐洲熱影像技術技術進程。</li> <li>2. 研討先進紅外線元件與儀器架構，作為熱像機影像模組驗測之參考。</li> </ol>	夜宿聖地牙哥
99.08.03	二			美國 加州 聖地牙哥	參觀光電元件製程量測設備展示會，了解目前國際間紅外線製程整合時需要製程機台精度，作為後續關鍵技術開發之參考。	夜宿聖地牙哥
99.08.04	三			美國 加州 聖地牙哥	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研討紅外線偵檢器，讀取積體電路，與陣列架構，作為制定計畫內紅外線影像規格之參考。</li> <li>2. 研討紅外線偵檢器品質與特性，了解先進紅外線影像器測試環境規範。</li> <li>3. 研討紅外線偵檢器應用特性，了解先進紅外線影像器戰場與民生應用現況。</li> </ol>	夜宿聖地牙哥
99.08.05	四	聖地牙哥		美國 加州 聖地牙哥	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研討紅外線偵檢器偵檢元件與光電子影像器內紅外線元件與系統與紅外線偵檢器與影像器技術，了解世界上熱影像系統最新研發趨勢。</li> <li>2. 中午會議結束，搭機回國。</li> </ol>	夜宿機上
99.08.06	五		桃園		回程	

99.07.31 晚 19:00 於桃園國際機場搭乘長榮 BR12 出發飛往美國洛杉磯，歷經 10 多個小時飛行於當地 99.07.31 下午 15:30 到洛杉磯國際機場，步行至旁邊國內機場，等待約 3 小時後搭美國航空公司至聖地牙哥機場。在機場搭上往聖地牙哥城公共汽車，前往離會議中心約 1.5 哩之住宿旅館辦理 check-in 手續，晚上準備明日註冊文件與紙筆

資料。

99.08.01 早 09:00 以步行方式到聖地牙哥國際會議中心 1 樓會場，註冊程序幾乎以電腦輸入方式進行，僅以人工進行個人資料確認與收款事宜，約 4000 人參加北美西部最大之國際光電會議，整個註冊程序每人平均不到 5 分鐘，同時整個會場動線標明十分明確，並且有專人指引，完全不怕走錯會場，並可及時到達需要聆聽場次與得到瞬時訊息，整個會議中心正好在聖地牙哥觀光遊艇碼頭附近，週邊緊鄰聖地牙哥市區，交通十分便捷。

接著開始參加連續兩日的紅外線遙測與測試設施議程，由議場主席: Marija Strojnik 博士 Conference 7808 2010.08.01 10:30~18:30 與 08.02 08:30~18:10): 次議程主席: David A. Cardimona 博士(美國空軍實驗室)主持議程。

(1) 2010.08.01 Section I 10:30~12:30 紅外線焦平面偵檢器發展(I)

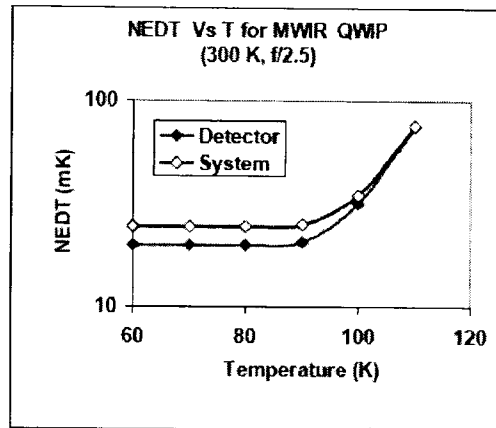
噴射推進實驗室(JPL)在紅外線之研究

首先由實驗室負責人: Sarath D. Gunapala 博士進行近 3 年 JPL 熱影像系統實驗室研究成果，主要是以 QWIP 熱影像系統相關技術為主軸進行探討，茲將簡報內重點摘述如下: 在圖一為高畫素(1024 pixelsx1024 pixels)高品質(雜訊等效溫度差 NEDT= 19 mK)之人體影像，對比度與溫度解析度之高，連手臂血管流受脈搏跳動之擴張與收縮幾乎都能鑑別，令人驚呼。



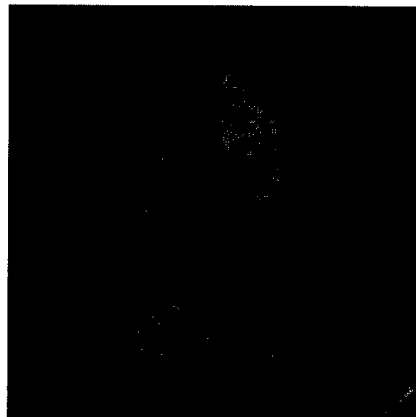
圖一 1024x1024 QWIP FPA 熱影像





圖二與 QWIP 元件及系統 NEDT 之差別

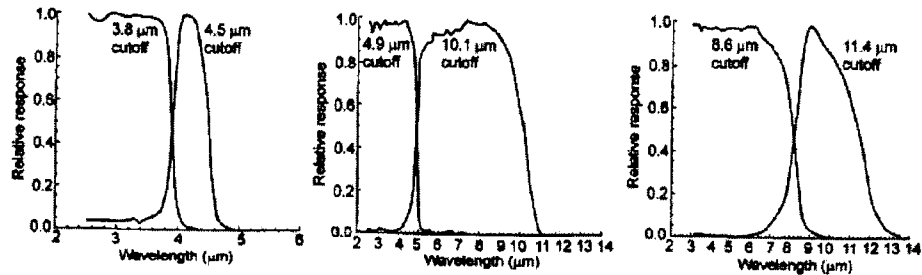
其中中波長 QWIP 陣列元件本身(含光學)與組成後熱像機系統在 100 K 下差異度不大，FPA 非均勻度與操作率分別為 0.03% 以下與 99.90% (>90 mK 視為 fail)以上。而長波長 QWIP 更能將操作率提升至 99.98%以上，熱影像成像如圖三所示，在簡報中動態檔連呼吸氣息的變化均能清楚觀察。會後還聽到土耳其中東科技大學學者，希望邀請 Sarath D. Gunapala 博士至該校紅外線影像發展中心進行學術交流，同時土國學者還宣稱多年前在伊利諾州西北大學攻讀博士時與 Sarath D. Gunapala 博士團隊成員有合作開發 QWIP 陣列元件模型模擬。足見 JPL 熱像實驗室在世界上 QWIP 技術知名及卓越程度。



圖三 操作率= 99.98%之長波長 QWIP 1024x1024 人體影像圖

被動式長波長與超長波長汞鎘銻紅外線偵檢器

EPIR 技術公司 Silviu Velicu 博士介紹該公司近一年開發汞鎘銻系列材料，利用 MBE 成長系統，研發出寬頻雙波段紅外線元件，甚至截止波長能達到 11.4  $\mu\text{m}$  以上。



圖四 以不同汞鎘莫耳比所開發出的雙波段紅外線元件

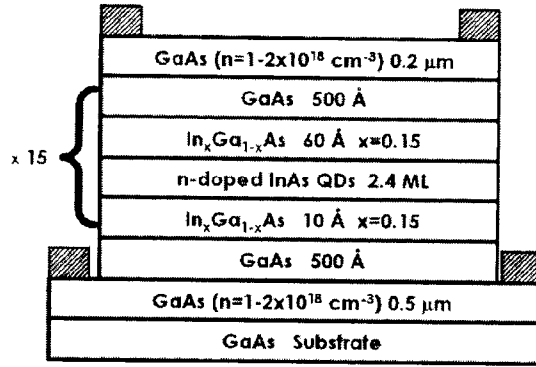
但其公司主要產品還是在一般 10  $\mu\text{m}$  以內雙波段陣列元件從 256x256 到 640x512 畫質格式的產品。如表一所示。

表一 中長波長雙波段 MCT 主要操作參數

Material	MCT				
	256 x 256		384 x 288		640 x 512
Spectral range [ $\mu\text{m}$ ]	3-5	8-10	3-5	8-9	3-5
Pitch [ $\mu\text{m}$ ]	40		24		24
NETD @ 50% well [mK]	< 10	< 20	< 15	< 25	< 15
Outputs analog	8		2		2/8
Readout mode	Stare while scan		Stare then scan and rolling frame		
Max. frame rate [Hz]	880		120		120/200
Max. pixel rate [Mhz]	80		20		80

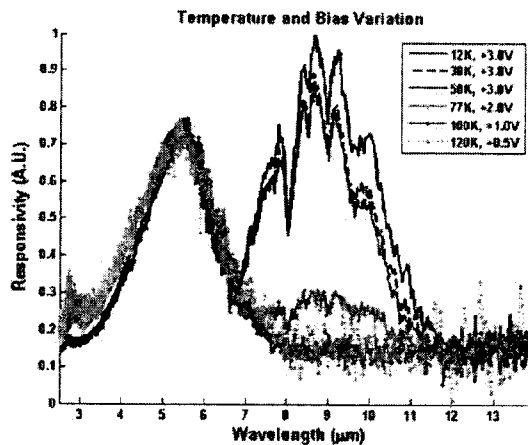
☑ 使用能障工程量子點在量子井在型態超晶格架構之熱與多重波段偵檢器

美國海軍研究實驗室 J. R. Andrews 與新墨西哥大學 Sanjay Krishna 等人開發量子點埋於量子井內超晶格重波段焦平面偵檢器詳細結構如圖五所示，其主動層是由 15 週期所組成，結構為 Dot-in-the Well 架構，元件結構是以固態源 MBE 高真空度成長，詳細磊晶過程在簡報中沒有詳述，此計畫研究成果是美國海軍研究經費提供，由海軍研究實驗室、新墨西哥大學與 QmagiQ 與 SEIR 公司一起共同研發，是跨領域式整合成果。



圖五 InAs 量子點埋於 InGaAs 量子井內超晶格重波段焦平面偵檢器結構示意圖

紅外線波段能量躍遷採用 bound-to-bound 與 bound-to-quasi-bound 模式，因此有兩波段，中間波段仍有 1~2 $\mu\text{m}$  耦合區間，這是量子點均勻度所造成之影響，而偏壓與操作溫度改變也會直接影響到中與長波長強度之比例，如圖六所示。



圖六 兩波段紅外線能量躍遷採用 bound-to-bound 與 bound-to-quasi-bound 模式

☑ 以 nBn 設計法則下之砷化銻銻紅外線偵檢器之品質

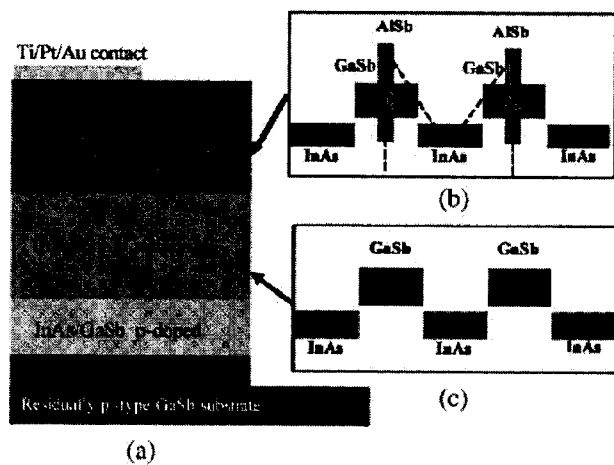
由新墨西哥大學與雷神公司熱影像團隊共同開發出 640x512 畫素架構中波段第二型躍遷的人體熱影像，其對比度與清晰度均優於傳統第一型 QWIP，如圖七所示，但研發此熱像模組主要的問題，為 InAs/GaSb/AlSb 元件架構所操作之 MBE 系統成長程序十

分關鍵，且相對於 AlGaAs/GaAs/InGaAs 之 QWIP 架構，製程複雜度高也是需要克服的問題，圖八所示為元件能帶示意圖。



Fig. 7. Image taken with the 640 x 512 MWIR BIRD FPAs.

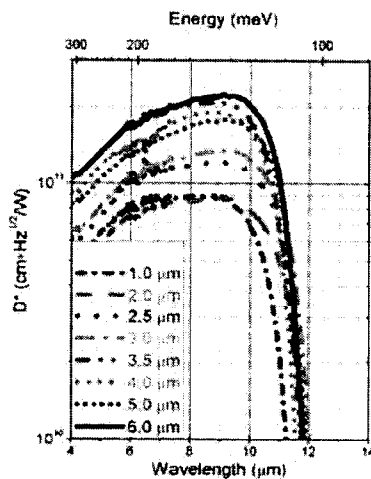
圖七 640x512 畫素架構中波段第二型躍遷的人體熱影像



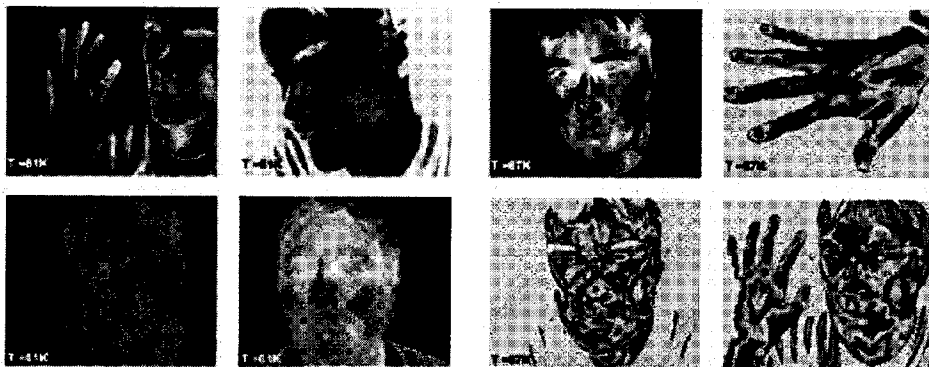
圖八 InAs/GaSb/AlSb 元件架構與能帶式意圖

超晶格材料砷化銻/銻化鎵用在中長波長紅外線偵檢器磊晶與最佳化

美國空軍研究實驗室學者Heather 提出砷化銦/銻化鎵超晶格P-M-( $\pi$ )SL-N架構，並調整( $\pi$ )SL的厚度使吸光主動層厚度變大，可有效提升內部量子效率，致使元件D\*值提升至  $8 \times 10^{11} \text{cm-Hz}^{1/2}/\text{W}$  如圖九(a)所示，此FPA所操作之溫度在 81K光學F/2 下，NEDT = 26 mK，在溫度在 81K光學F/2 下，NEDT = 26 mK，在 67 K操作溫度條件，NEDT 甚至低至 19 mK。不同兩種溫度之影像圖九(b)所示。



圖九 (a) 不同( $\pi$ )SL 厚度之 D\*頻譜圖



圖九 (b)不同溫度(81 與 67K)之人體熱影像圖

下午 Section2 14:00~15:30 紅外線焦平面偵檢器發展(II) 由次議程主席: Cardimona Marija Strojnik 博士(墨西哥光電調查公司)所主持

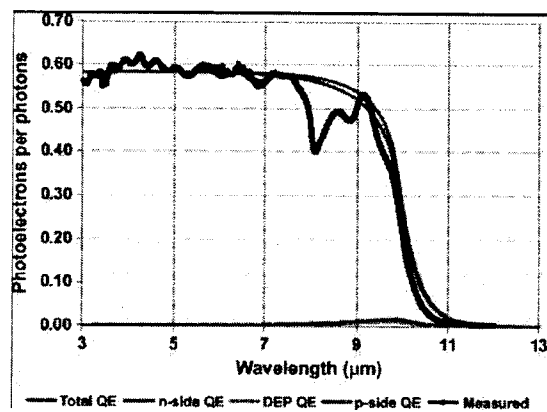
紅外線偵檢器用於空用型雷射接收系統

由 NASA JPL 學者 Michael A. Krainak 博士進行口頭報告，由於是受邀演講題目，全程以動態影片方式，大部分是介紹 MCT 熱影像模組設計與元件參數如何優化之經驗談。

Section3 16:00~18:30 偵檢技術與材料特性，是由次議程主席: Sarath D. Gunapala 博士 (NASA-JPL)，此學者為 NASA JPL-Caltech 熱影像實驗室主持人，有發表超過 250 篇相關紅外線領域論文，為美國紅外線影像工程領域的領航者。

高響應度量子線紅外線光偵檢器

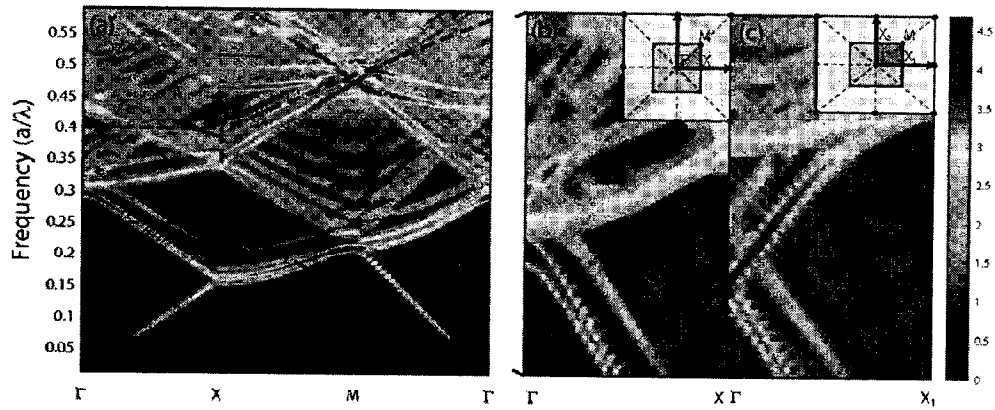
由加州大學聖地牙哥分校華裔學者 Yu-Hwa Lo 博士演講，是將 HgCdTe 量子線長於 CdSeTe 層在 Si 基板進行磊晶，其內部量子效率在作動區可高至 60%以上，如圖十所示，本篇演講著重於 II-VI 族量子線用於紅外線偵檢器的元件特性分析。



圖十 HgCdTe 長於 CdSeTe 層在 Si 基板進行磊晶

共振型量子線近紅外線光偵檢器

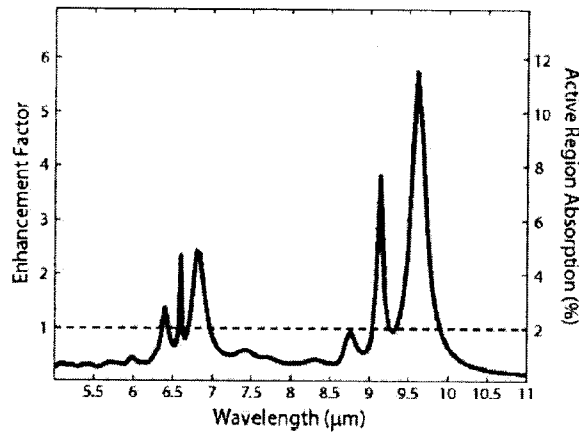
由史丹佛學者 Linyou Coa 所提出共振型量子線近紅外線光偵檢器的理論模型，利用不同週期性與幾何形狀之光子晶體，計算出光能帶圖，如圖十一所示，未來應用於 NIR 光偵檢器內可強化光吸收能力。



圖十一 光子晶格中光能帶圖

☑ 侷限耦合型極化電漿子奈米光子元件

由法國學者 Julie Delah 利用表面電漿子特性強化主動區吸收力，其增強因子在  $9.8 \mu\text{m}$  處甚至大於 6，而基準線 1 代表正常無強化吸收力之偵檢器，如圖十二所示，最後也希望應用於紅外線偵檢元件中強化光響應吸收強度。



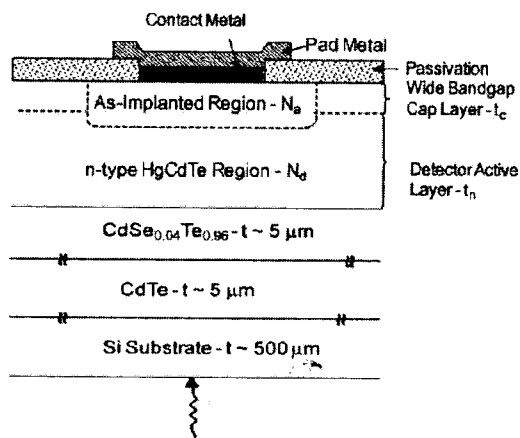
圖十二 表面電漿子特性強化主動區吸收力頻譜

(2) 2010.08.02

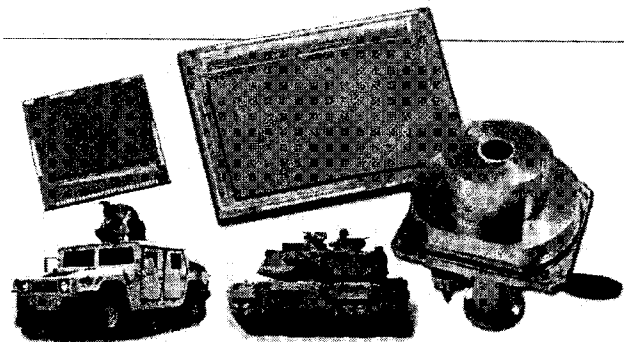
第二日 Section4 08:30~12:30 汞基紅外線影像由次議程主席: Gabriele E. Arnold 博士主持議程

☑ 汞基紅外線影像在中波長紅外線遙測技術之進展

首先由德國 Gabriele E. Arnold 博士設計以離子佈植 As 於汞鎘銻系列 PN 光二極體元件如圖十三所示，為最新一種汞基偵檢器架構，最重要是強調其矽基板易得與價位低特性。同時也與美國雷神公司及 FLIR 公司合作開發新一代汞基 640×512 紅外線偵檢模組及系統應用於國防監控與追瞄如圖十四所示，德國新型坦克最新一代熱像觀瞄系統也將採用此架構為基礎。



圖十三 汞鎘銻在矽基板以佈植 As 元素之 PN 光偵檢器



十四 新一代汞矽基紅外線偵檢模組及系統用於國防監控與追瞄上之軍用載具



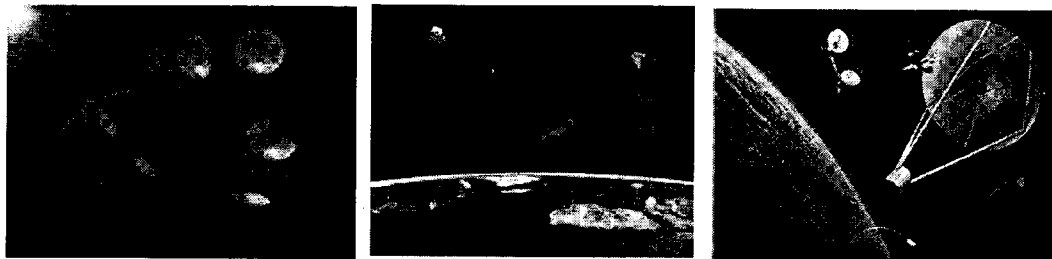


圖十五 汞基紅外線飛彈目標攫取系統

圖十五 由與德商 AIM 公司共同開發汞基紅外線地對空防空飛彈目標攫取系統，已經部署在德國陸軍野戰飛彈部隊進行飛彈觀瞄與鎖定。

使用汞基熱影像在太空中儀器設計規範

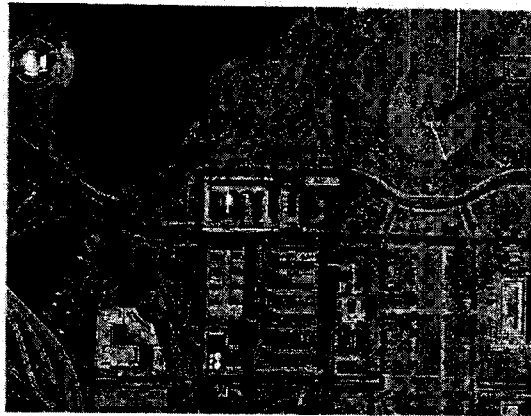
由德國科學家 Ingo Walter 提出汞基熱影像模組陣列元件需要符合太空輻射離子轟擊規範，如何置於衛星偵照地面區域之防止太陽直射之視角設計法則，作一廣泛性介紹，圖十六(a)為衛星紅外線光學與通訊系統示意圖。



圖十六(a) 衛星紅外線光學與通訊系統示意圖

無遮罩模式之背景訊號去除調查

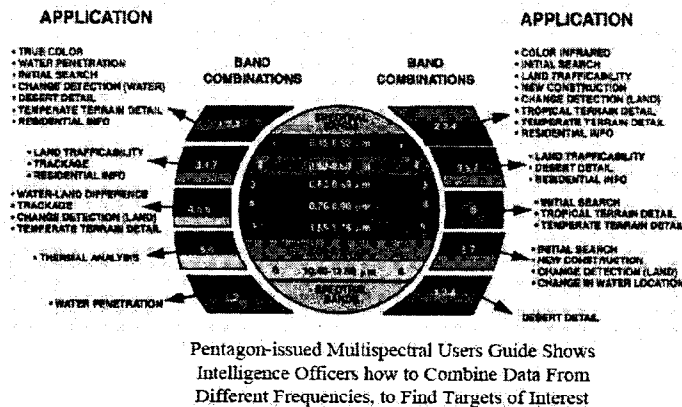
利用軟體模型計算，不需以背景遮罩平面進行溫度背景定時段校正之汞基熱影像模組，並結合可見光與近紅外光進行對位共軸成像方式，全天候及時將華盛頓 DC 地區衛星偵照影像清楚解析如圖十六(b)所示。



圖十六(b) 美國雷神公司拍攝華盛頓 DC 地區開發多波段紅外線成像頻譜圖

☑ 汞基熱影像系統原理與模擬

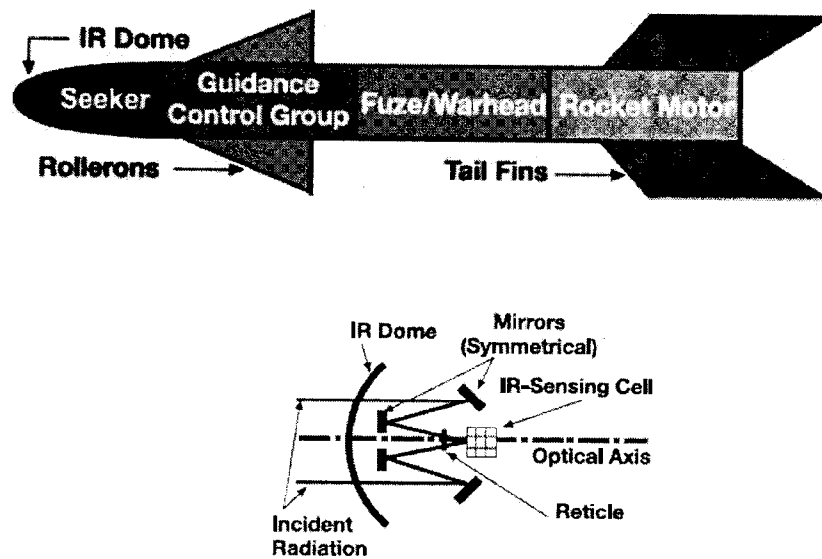
由德國 Tomas Zeh 博士以美國國防部歸納出汞基熱影像系統設計針對多重波段系統應用為例，進行系統分析，不同光學波段之應用如圖十七所示。



圖十七 不同光學波段之應用

☑ 汞基熱影像光學製造和驗證

同樣由德國 Fraunhofer-Institute für Angewandte 光學研究中心，針對汞基熱影像光學系統放置有限飛彈前端空間，進行優化設計並提出光學像差系統考慮因素，紅外線影像飛彈主要次系統 layout 圖示與整組光學架構如圖十八所示。

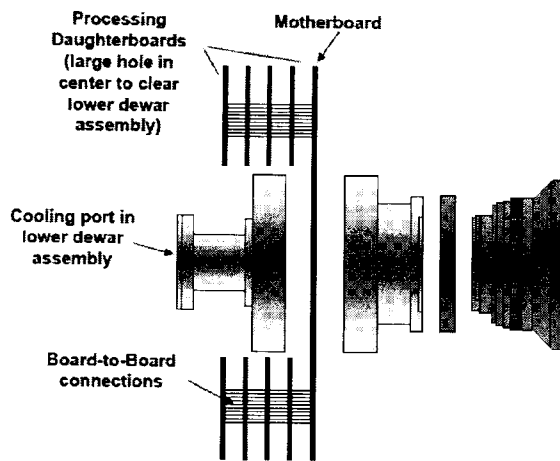


圖十八 紅外線影像飛彈主要次系統與熱像光學架構示意圖

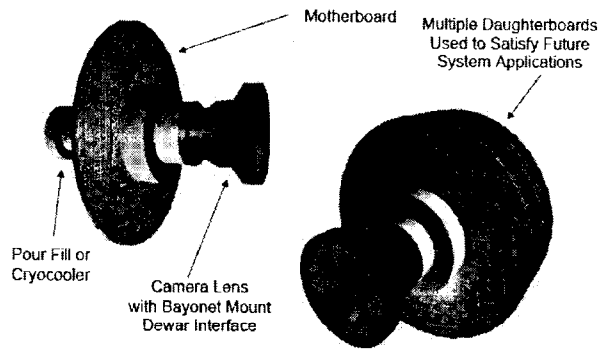
Section7 08:30~12:30 先進紅外線元件與儀器架構由次議程主席: Gonzalo Paez 博士主持，他是墨西哥光學研究中心首席研究員。

☑ 太空雷射轉換器在遙測之應用

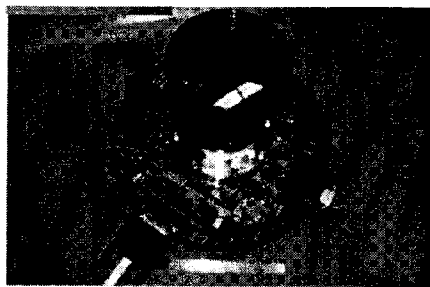
由 NASA Anthony W. Yu 報告太空雷射遙測系統內，非報告太空雷射轉換器之系統功能，而是介紹次系統熱像陣列模組電路單元與光學組裝之考量，主要的處理電路要縮短訊號連線距離，降低邊際電容效應，可滿足高速影像擷取時的訊號成像品質，另一方面可降低系統組裝空間，以符合太空中系統空間需求。如圖十九(a)至(c)所示。



(a)



(b)



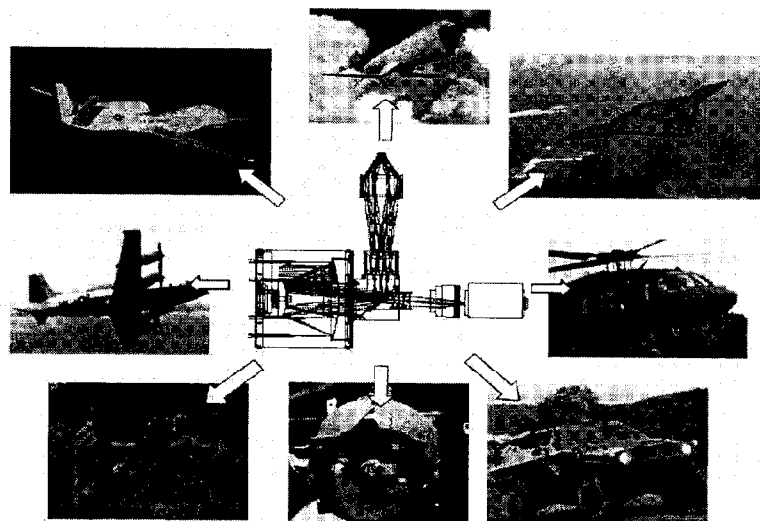
(c)

圖十九 (a) IDDCA 結合光學鏡頭及影像電路設計架構(b)機構設計模擬示意圖

(c)IDDCA 結合光學鏡頭及影像電路(含近接板與影像後處理板)實體圖

☑ 下世代之紅外線感測儀器在遙測與感測網路之應用

由普林斯頓大學 Stephen G. So 博士介紹第三代紅外線感測系統整合於各式載具(空中與地面)，在將載具上成像資訊透過超高速數據傳輸傳至指揮中樞，來進行戰術決策如圖二十所示。



圖二十 可鏈結於各式載具之應用

☑ 先進聲光感測器在環境應用之設計

本篇由義大利 CNR-IFN 大學團隊所報告但不知何因被 withdraw。

(3) 2010.08.03 第三日早上 09:30 從飯店也是以步行方式到達 1F 展示會會場，總共約 140 家各類光電廠商，其中較吸引我注意的是德商 AIM 公司，是一家熱像光電模組與系統整合公司，如圖二十一所示。由該公司業務經理得知，主要致冷型熱像產品輸出是以歐盟、英國與北美地區為主，亞洲地區僅有日本，其他地區需要嚴格輸出管制，他自豪的表示 AIM 公司 QWIP 與 MCT 熱影像器與系統是全世界品質最佳，價位也相對最高，此後約 3 個多小時該業務經理與模組應用工程師詳細介紹了 MCT 與 QWIP 熱像產品之模組架構功能與特點，如圖二十一(a)所示，並由該公司規格表了解，MCT 在中波長 NEDT 值甚至低至 15 mK 以下如圖二十一(b)。同時宣稱歐盟某型(未確認何型)次音速飛彈是採用 QWIP 架構，而 QWIP FPA 規格如二十二所示。而請教他多少

在光學系統可支援下，多少距離可辨識目標，保留告知需依照背景環境與實際需求評估後，才能做出系統建議。接著對方開始希望了解我方應用需求，我以不確認為由婉拒回答。



圖二十一 (a)AIM 公司介紹圖

MCT matrix arrays

Format	256 x 256		384 x 288		640 x 512
Spectral range [ $\mu\text{m}$ ]	3-5	8-10	3-5	8-9	3-5
Pixel pitch [ $\mu\text{m}$ ]	40		24		24
NETD@ 50% well [mK]	<15	<20	<15	<25	<15
Detector Outputs analog	8		2		8
Max. pixel rate [MHz]	80		20		80
Readout mode	Stare while scan		Stare then scan and rolling frame		
Max. frame rate [Hz]	880		120		200

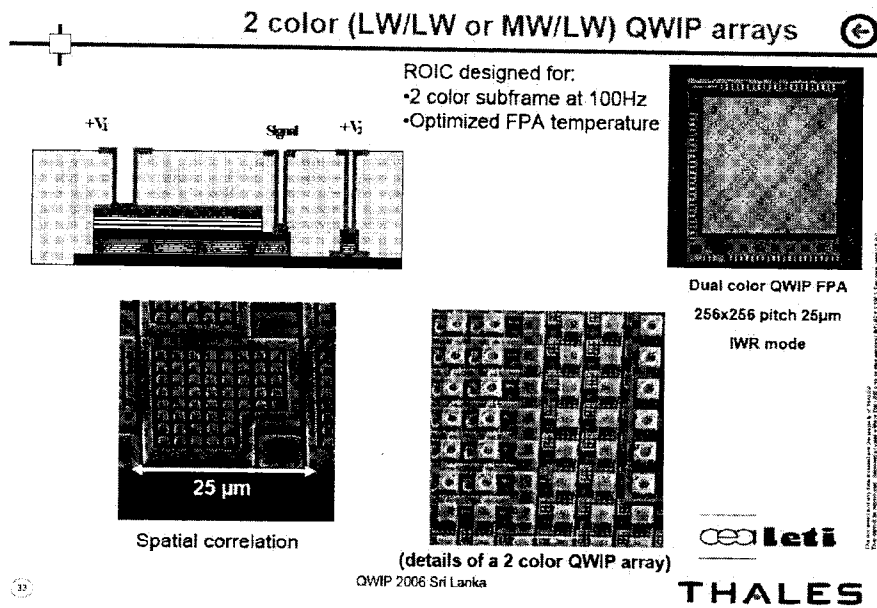
圖二十一 (b) MCT FPA 主要規格表

QWIP matrix arrays

Format	384 x 288		640 x 512		dual band 384 x 288 x 2
Spectral range [ $\mu\text{m}$ ] 1	8-10 (hqe)	8-10	8-10 (hqe)	8-10	4.8 $\mu\text{m}$ peak wavelength (pc hqe)
Spectral range [ $\mu\text{m}$ ] 2	n.a		n.a		8.0 $\mu\text{m}$ peak wavelength (pv)
Pixel pitch [ $\mu\text{m}$ ]	24		24		40
NETD@ 50% well [mK]	<35	<20	<35	<20	<20 (Color 1) / <25 (Color 2)
For Tint [ms] / F/#	1.5 / 2.0	30.0 / 2.0	1.5 / 2.0	30.0 / 2.0	13 / 2.0
Detector outputs analog	2		8		8
Max. pixel rate [MHz]	20				80
Readout mode	Stare then scan and rolling frame				Snapshot, stare then scan temporal coincidence
Max. frame rate [Hz]	120		200		100 (for Tint = 6.3 ms)

圖二十二 QWIP FPA 主要規格表

下午本來要至 FLIR 公司詳細參觀，但是該公司僅有海報介紹產品與較低階熱像儀展出，並無將其低溫致冷高階模組真正展示介紹，有些許失望。不過隔道剛好法國 THALES 公司展示出雙波段 QWIP 256x256 畫素產品，製造架構與美國 JPL 團隊截然不同，每個 Pixel 是兩端元件，共位點在第二組 QWIP 上端，如此 pitch 可降至 25  $\mu\text{m}$  優於 JPL 團隊為 40  $\mu\text{m}$  配合 Indigo ISC 0006 ROIC 成像解析，而 THALES 公司是使用法國 Sofradia 公司針對 QWIP FPA 幾何規格來設計製作之 ROIC 架構，因此能提升空間成像解析度。此型雙波段 QWIP 在 2006 年開發出來，2010 年開始小量生產，告知未來三年每年可生產約 200 顆 IDDCA，但是仍是看市場需求而定(仍以軍方需求為主)，詢問雙波段 QWIP 良率但未正面提供參考，僅告知良率持續提升中。相對德國廠商保守，法商顯得較積極主動，若有興趣甚至可安排至台灣展示說明，也詢問未來希望用於哪些領域，同樣告知僅作資料評估，目前尚無具體規劃。圖二十三為雙波段 QWIP 元件單元架構與 SEM 電子顯微鏡實體圖。



圖二十三 雙波段 QWIP 元件單元架構與 SEM 電子顯微鏡實體圖

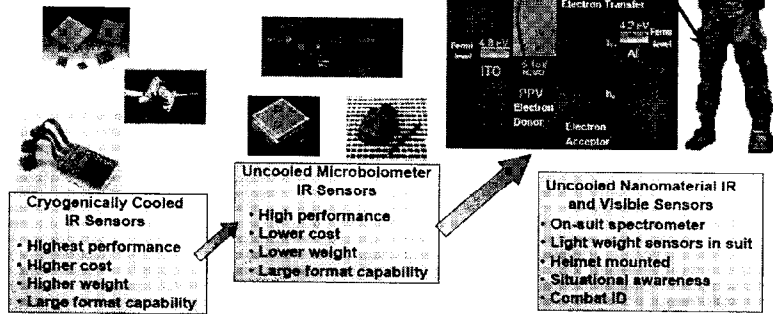
(4) 2010.08.04 本日上午兩場紅外線影像電路與系統論文發表，由光電元件應用大會  
 議程主席：美國國科會會士 Zakya H. Kafafi 博士 與 7780A 紅外線偵檢器與焦平面陣  
 列 XI-議程主席 Eustace L. Darniak 博士 及 Section I 紅外線偵檢器、讀取積體電路、與陣  
 列架構 11:00~12:00 次議程主席：Paul D. LeVan 博士(美國空軍研究室)聯合主持。美國  
 國科會會士 Zakya H. Kafafi 博士與紅外線偵檢器與焦平面陣列 XI-議程主席 Eustace L.  
 Darniak 博士爲了要讓與會者了解紅外線影像元件的國防陸軍應用與熱像系統評估及  
 演進將其分成三大階段，他舉了雷神公司與 MIT 教授 Vulovic 等人相關研究合作模式  
 之進展(從 2004 年至今)，如圖二十四所示。從致冷型最高品質最高單價、高品質低單  
 價到符合士兵需求之先進奈米量子點影像感測元件，之後 Eustace L. Darniak 博士介紹  
 影像系統開發 level 6.2 如何考量偵檢元件端與 ROIC 之 IC 設計端相關依屬架構，其  
 實需要系統工程鏈結進行介面與需求定義如圖二十五所示，三者之間隸屬與合作介面  
 需要清楚定義，才能將系統效率化與最佳化。



## Nanotechnology-Based Visible & IR Detection Systems

- Build photodetectors from Quantum Dot (QD) Multi-layers
- Collaborate w/ PIs: Profs. Bulovic, Bawendi, & Thomas
- Use FPA experience to transition organic detectors to detection & imaging systems

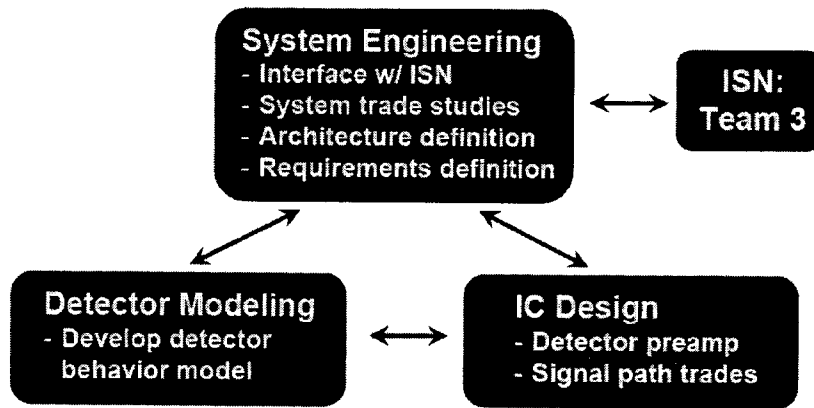
Raytheon



圖二十四 雷神公司與 MIT Bulovic, Bawendi 及 Thomas 教授研究團隊可見光與紅外線偵檢系統用奈米技術開發進程

## Systems Engineering Approach

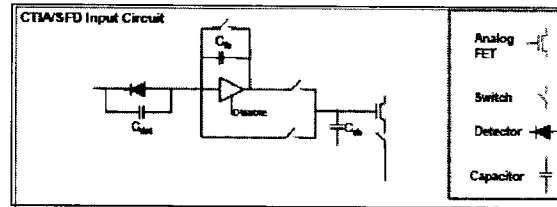
### 6.2 Transition Program to Develop Imaging & Detection Systems



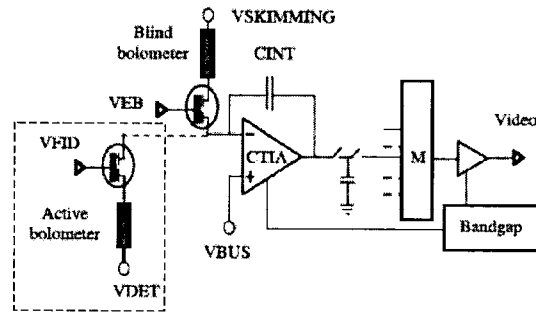
圖二十五 雷神公司可見光與紅外線偵檢發展之系統工程架構

☑ 熱堆輻射偵檢器直接讀取研究

由加州理工學院 Marc C. Foote 先生發表熱堆輻射偵檢器直接讀取架構如圖二十六(a)與(b)，(a)中為標準 CTIA 輸入架構，而(b)有加入扣除背景暗電流讀出電路，針對動態範圍與線性度有顯著提升，但佔用電路面積會限制其畫質解析度。



(a)



(b)

圖二十六(a)熱堆輻射偵檢器直接讀取架構與改良式具 Skimming 功能示意圖

☑ 高品質大面積格式參雜型光導器焦平面陣列天文應用

美國 DRS 公司與 NASA 團隊合作開發雙波段 QWIP 1024×1024 畫素之 FPA 模組，此 dual-band QWIP FPA 尺寸是當今世界最大尺寸格式，如圖二十七(a)所示。其中在 68 K 操作溫度下，中波長與長波長平均 NEDT 分別為 27 與 40 mK，其也是世界品質最佳 QWIP/ROIC FPA 模組之一 NEDT 均勻度高斯分布圖，如圖二十七(b)所示。

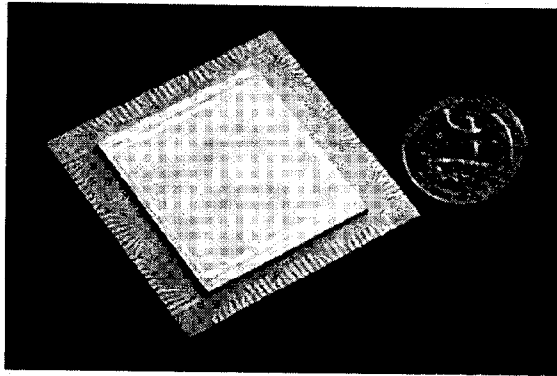
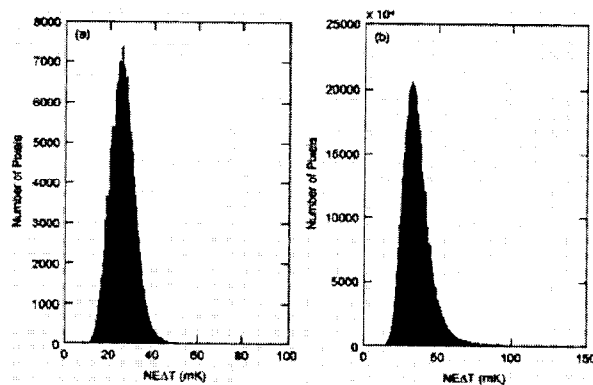


Fig. 8. Picture a  $1024 \times 1024$  pixel dual-band QWIP FPA mounted on a 124-pin lead less chip carrier.

圖二十七 (a) 124 pin LLCC 基座貼上  $1024 \times 1024$  雙波段 QWIP/ROIC FPA



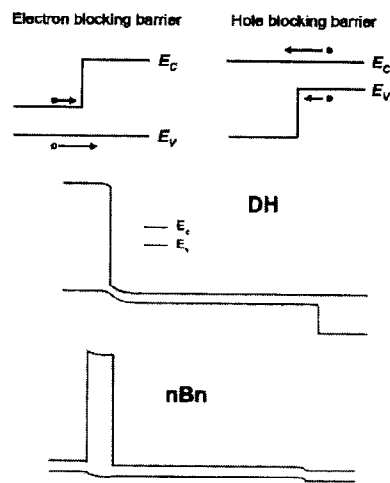
圖二十七 (b)  $1024 \times 1024$  雙波段 QWIP/ROIC FPA 之 NEΔT 均勻度高斯分布圖

## Section2 紅外線偵檢器品質與特性

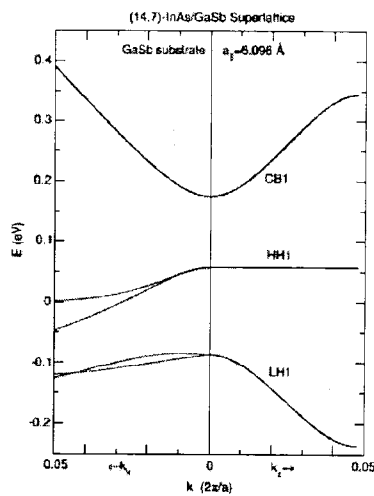
下午 14:00~1520 起由次議程主席: Arvind I. D'Souza 博士(美 DRS 公司)主持

### 砷化銮/銻化鎵 nBn 紅外線偵檢器電子與光學特性研究

由空軍研究實驗室 Vince Cowen 博士針對砷化銮/銻化鎵 nBn 紅外線偵檢器電子與光學特性分析與討論，圖二十八中介紹電子與電洞阻擋能障層，有雙異質阻擋層與電子阻擋層兩種類型，而通常砷化銮/銻化鎵系列元件結構常設計成 nBn 架構，能阻擋在吸收層附近之擴散電流，達到有效抑制暗電流之效，而能使操作溫度大幅提升。



圖二十八 電子與電洞阻擋能障層，有雙異質阻擋層與單電子阻擋層兩種類型  
其導帶與價帶 InAs/GaSb 在 Zone Center 附近之計算之能帶圖如圖二十九所示，而相對吸收峰值波長約為  $9.54 \mu\text{m}$ ，因有極高的電子能障擋掉因高溫操作時導致之熱助暗電流，有機會在  $80 \text{ K}$  附近操作，目前止於元件模擬階段，尚未有實際量測結果。

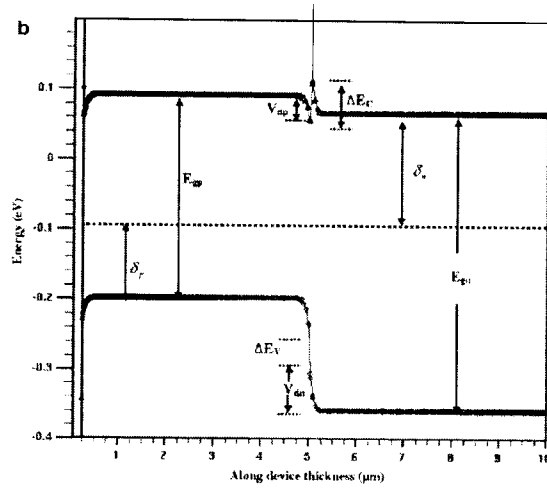


圖二十九 砷化銦/銻化鎵單電子阻擋層架構之能帶圖

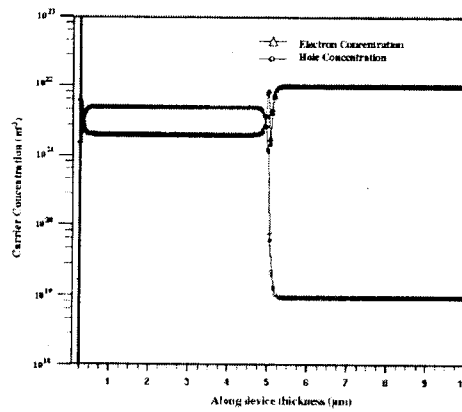
☑ 汞鎘銻中波長紅外線偵檢器電子與散射特性之研究

由摩洛哥 Ibn Zohr 大學 Abdelhakim Nafidi 博士針對電子在汞鎘銻中波長紅外線偵檢器與散射特性進行模擬分析，根據圖三十與三十一模型，汞鎘銻 P-N 介面附近能帶圖

模擬考慮電子在介面散射機制計算得知，在操作偏壓在-0.1~0.5V 間，元件面積  $100 \times 100 \mu\text{m}$ ，暗電流約為  $100 \sim 10 \text{ pA}$ 。



圖三十 汞鎘銻 P-N 介面附近能帶圖模擬

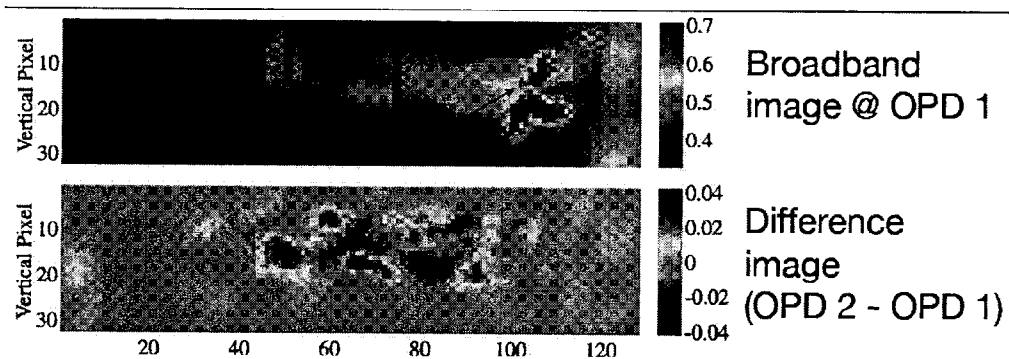
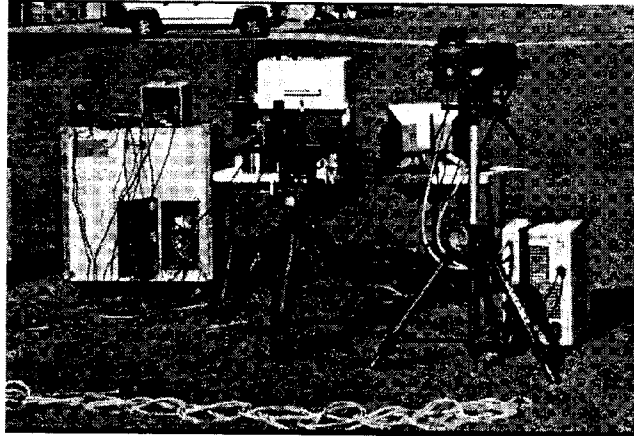


圖三十一 汞鎘銻 P-N 電子電洞濃度模擬

下午第二時段 Section3 紅外線偵檢器應用 15:50~16:30 是由次議程主席 Eustace L. Dereniak 博士(亞歷桑納大學光學學院)主持

☑ 多重波段影像之應用

由美國固態科學公司 James E. Murgula 報告多重波段之應用，主要是介紹能有效偵測有機氣體造成空氣污染範圍，進行影像識別監測，系統詳細圖為圖三十二所示。最重要的次系統為多光譜成像儀與成像與背景差值鑑別影像。



圖三十二 多重光譜成像系統架構與影像鑑別與強度及背景去除差異影像

17:30~19:30 兩小時為技術海報報告與展示，大部分參加人員經過整天參與技術議程後，再到壁報展示廳走走，邊走邊了解世界各國(主要為美國)今年度光學技術相關進展，對我來說實在是一大享受，我仍然是以紅外線影像技術相關壁報展出為我了解之

重點，此次有一大特色，會場與壁報論文不能隨意拍攝，雖有照相機但無用武之地。但非常幸運的看到一篇由美國陸軍熱像感測器主持人 Meimei Z. Tidrow 博士撰稿的技術海報，其團隊對未來美國紅外線發展提出之技術能量藍圖，重點在於為何美國軍方在世界紅外線技術為領導地位，從材料磊晶的克服與製程複雜度的簡化與創新，美國國防部針對 InSb、MCT、QWIP 的問題提出看法，而未來 type II strained layer superlattice 除了目前材料磊晶控制度與元件製程技術需克服，與基板十分昂貴之外，每年美國軍方與重點研發大學共投資約 3000 萬美金開發相關關鍵技術，宣稱可完全解決 InSb、MCT、QWIP 熱像所有之問題。

(5) 2010.08.05 一早 Section4 紅外線偵檢器基板與材料特性 08:20~10:00 是由次議程主席 John P. Hartke 博士(美國軍備學院)所主持

- 陶瓷焦電與介電特性之調查研究
- 從汽相碲擴散汞鎢銻長波長 p-on-n 光偵檢器
- 碲擴散汞鎢銻長波長平面型畫素陣列偵檢器 3D 數值分析
- 使用在感測積體化之薄化 PLZT 陶瓷基板

前四場議題雖與紅外線相關，汞鎢銻先前幾日已聆聽過數場，而探討陶瓷焦電技術與薄化 PLZT 技術，與本身專業技術差異頗大，與期望相差甚多，較無法引發興趣，因此便到會場展場內走走，發現名牌掛著 QWIPTECH 公司工程發展副總裁 Alexander Hong，便與之討論 QWIP 相關技術，他非常好奇我對 QWIP 相關技術均有涉略，但也明白告知美國對 QWIP 熱像相關技術輸出封鎖與關切。我禮貌邀請若有機會到台灣走走，若中科院長官許可授權下，可邀約至本院給個技術 review 專題，以他所能報告為限，他告知是早期台灣成大畢業之海外留學生，後來到美國攻讀學位後，在 Intel 前瞻技術中心研究 CPU 內光傳輸晶片開發 20 餘年，後來在 Intel 光子晶體傳導技術策略總工程師任內因與 Intel 保密部門有意見歧異，才離職轉到 QWIPtech 公司，Alexander 此番經歷讓我驚嘆不已。但由於 Alexander 已是美國籍，我也恪遵國軍保密規定，我們最後禮貌相互交換名片，互道再見。想不到執世界 QWIP FPA 技術牛耳公司最高技術負責人是個道道地地土生土長台灣人。

最後一個議程 7780B 紅外線偵檢器偵檢元件與光電子影像器議程主席 Randolph E. Longshore 博士(雷神飛彈系統公司) 與 Section5 紅外線元件與系統 10:30~11:50 次議程主席 Ashok K. Sood 博士(Magnolia 光學技術公司)共同主持

以參雜碳化矽鎵之中波長無線紅外線偵檢器之發展

德國紅外線與熱像技術-從 1945 年起

全像術補償光讀取技術用於微支架紅外線影像系統

8 月 5 日早上後三場原應於 10:30 議程開始，由於前場次 delay 造成 11:00 才開始，僅聆聽德國紅外線與熱像技術-從 1945 年起這一場，從第二次世界大戰末期，德國也開始研究紅外線技術，最早也是用在飛彈上，使用 Si: As doped 與 Pbs 材料開發，是用 LPE 與 sputtering 方式來成長元件膜層，大量整合材料與固態物理相關領域專家，成立 Fraunhofer Institute for Applied Solid State Physics (IAF)研究院，專門進行各類固態半導體雷射、感測器與微波通訊、雷達等領域領域之研究，而紅外線領域也是其中最重要的一環，AIM 公司為該單位技轉技術而成功專業的熱影像模組與系統公司，Fraunhofer Institute for Applied Solid State Physics (IAF)研究院儼然成為德國熱影像發展之歷史見證。

中午 12:00 回到旅館 check-out 便搭 14:30 美國航供國內線班機飛往洛杉磯，轉機飛回台灣。

## 參、心得

由本次公差出國參加會議讓我得到以下十分難得之經驗:

- 一、所參加之議程研討，均為本年度最先進且最前瞻的紅外線技術成果(詳如前述)，藉由研究者親自現場報告與生動肢體語言，彷彿自己就沉浸在整個研究團隊中，這是從研讀國際文獻中所無法得到的。
- 二、常在紅外線技術領域文獻中發表之重量級耆宿、技術專家與大學者，活生生在你面前述說自己團隊研究成果與未來需克服與追求之技術目標，更能激發人對前瞻技術相互競爭之慾望。
- 三、尤其與 QWIPtech 公司技術負責人討論 QWIP 相關技術，從技術面了解美國



研發 QWIP 是有計畫團隊投入，並有龐大研發資金作為後盾。尤其 Alexander Hong 說：『若他到了與美國無邦交國(含台灣)，便要交代其行蹤與遇到何人說些什麼?』，針對民間公司姑且如此，國防單位那一定更加嚴格，對美國關鍵技術輸出封鎖讓人驚駭與嘆為觀止。

四、在 7/31 當日到美國洛杉磯國際機場後，步行至旁邊國際轉機，在美國航空國內線飛機上，起飛 1 分鐘前，竟然有黑色服裝航勤人員從機門下上機確認本人是否確定搭乘本班機飛往聖地牙哥機場，真不知是例行抽查還是別有用意，這是我出差 首次發生的小插曲。

五、聖地牙哥的確是一個多種民族融合的觀光大城，也是美國西南海軍重要訓練基地，類似我國左營軍港，風景與人文呈現多樣性，但由於任務關係，絕大部分時間均待在國際會議中心內聆聽議程，僅在去程與回到飯店休息時，步行於聖地牙哥街頭，欣賞街景與會議中心旁的海景碼頭。

## 肆、建議事項

- 一、此次出國參加會議之目的，為提升本所已具備 320×256 焦平面陣列研發自製能量，含陣列製程整合、混成研磨製程、讀取電路晶片設計委製、高真空致冷封裝與成像電路設計製造與影像測試等，除此，對新型材料(如 MCT、QWIP 與 type II 材料系列)、高畫素、雙波段紅外線陣列研發趨勢較少涉獵，參加本會議確能誘發克服國防專案計畫中技術障礙之靈感，如進行 FPA 製程整合與光學設計組裝時，需要系統整合分析與關鍵參數量化考量，才能減低影像低均勻度與操作率等問題，使後續第二期國防專技計畫能順遂執行。
- 二、一種技術的成型與成熟發展非一蹴可幾的，需要靠研發團隊長期不斷研發修正，擷取失敗經驗，無論從驗證中獲得或藉由多單位合作共同克服，這是本次赴美參與會議獲得最大啓示，綜合言之，高品質熱像技術能量建立是需要多管道、多方合作研發或利用技術轉移方式來達成。美國是 QWIP 研發之重鎮，此次收穫之一，是與執 QWIP 熱像技術牛耳公司研發暨應用副總建立溝通管道，雖然美方技術控管嚴密，但建議未來執行有關計畫時，不放棄仍可

考量雙方合作或參與驗證之可行性。

三、美國對於紅外線影像應用技術之公司管制十分嚴格，但對於研發紅外線影像科技中新一代未成熟實驗室技術，美方十分希望全世界類似由其主導的國際會議下共同討論研議，企圖窮究全世界專家智慧結晶，開發出更高階品質下一代紅外線影像產品，在了解相關技術困難之際，我國也可效法美國，藉由學術暨報告討論平台，獲取第一手技術資料，能作為本院相關專案計畫之技術指標，提升研發素質。