

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

室溫兆赫波物理、元件與技術(I) 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 98-2221-E-009-179-
執行期間：98年08月01日至99年10月31日
執行單位：國立交通大學電子工程學系及電子研究所

計畫主持人：顏順通

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：謝泓文
碩士班研究生-兼任助理人員：孫仲村
碩士班研究生-兼任助理人員：蕭晉勛
碩士班研究生-兼任助理人員：張皓宇
碩士班研究生-兼任助理人員：林芳如
碩士班研究生-兼任助理人員：洪唯倫
碩士班研究生-兼任助理人員：廖宏韋
博士班研究生-兼任助理人員：王德賢
博士班研究生-兼任助理人員：鐘佩鋼
博士班研究生-兼任助理人員：李冠成

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 100 年 01 月 28 日

室溫兆赫波物理、元件與技術

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 98 - 2221 - E - 009 - 179 -

執行期間：98 年 8 月 1 日至 99 年 10 月 31 日

執行機構及系所：國立交通大學電子工程系及電子所

計畫主持人：顏順通

共同主持人：

計畫參與人員：王德賢、鐘佩鋼、李冠成、孫仲村、張皓宇、蕭晉勛、廖宏韋、
謝泓文、洪唯倫、林芳如

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本計畫除繳交成果報告外，另須繳交以下出國心得報告：

赴國外出差或研習心得報告

赴大陸地區出差或研習心得報告

出席國際學術會議心得報告

國際合作研究計畫國外研究報告

處理方式：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中 華 民 國 100 年 1 月 28 日

一、中文摘要

本計畫研究 Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor (PHEMT) 於兆赫波段的光電特性。我們於晶片系統中心下線製作閘極長度為 $0.15\ \mu\text{m}$ 之 PHEMT。我們發現此電晶體於高外加偏壓下可以有約 2-20 THz 的寬頻輻射訊號，遠高過任何電晶體可震盪的頻率範圍。目前猜測此輻射訊號來自於量子阱中的自由載子於不同次能帶之間躍遷，而外加電場功用在於提升載子動能，使載子足以散射至高能量之次能帶。此機制的正確性尚須進一步實驗驗證。此外，本計畫亦自行製作兆赫波段光學元件，我們於矽基板上利用黃光製程製作兆赫波段偏極片，量測之穿透頻譜可與理論計算獲得定性上一致的結果。

關鍵詞：高電子遷移率電晶體、兆赫波輻射、量子阱、次能帶、偏極片。

二、英文摘要

The project investigates electrical and optical characteristics of Pseudomorphic High Electron Mobility Transistors (PHEMTs). The devices obtained from National Chip Implementation Center have the same gate length of $0.15\ \mu\text{m}$. The high-field biased PHEMTs emit terahertz radiation with frequencies ranging from about 2-20 THz, which are higher than any solid-state electronic oscillators. We suggest that the radiation may come from intersubband radiative transitions of hot carriers inside a quantum well. More experimental data are needed to confirm the proposed mechanism. We also fabricate terahertz polarizers on silicon wafers through lithographical, aluminum thermal evaporating, and wet etching processes. Experimental transmission spectra of the polarizers agree qualitatively well with our calculated results.

keywords : high mobility electron transistor, terahertz radiation, quantum well, intersubband transition, polarizer.

三、計畫的緣由與目的

近年來兆赫波領域的研究蓬勃發展，與兆赫波的相關技術已被大量地研究與應用於許多不同領域，諸如：生醫顯像、半導體製程檢測、太空遙測、國安防恐、食物品管等。種種應用都急需兆赫波輻射源及相關被動元件的開發。目前有許多兆赫波輻射的產生方式，例如黑體輻射、同步輻射、自由電子雷射、氣體或半導體雷射、利用快速雷射激發半導體材料所產生的脈衝輻射源、以及電子震盪輻射等。然而尚未實現出集合便宜、輕便、高功率、可調頻且操作於室溫的兆赫波輻射源。本計畫由固態電子高頻元件出發，利用穩懋半導體(WIN semiconductor)之 $0.15\ \mu\text{m}$ PHEMT 做為樣品，量測室溫操作下樣品於兆赫波段之輻射特性，包含輻射強度與輻射頻譜，對 PHEMT 元件做系統性量測，研究元件電性與輻射特性間之影響，提出物理模型以解釋輻射機制。除了光源以外，發展兆赫波段光學元件也十分重要。我們研究並製作兆赫波段的偏極片，量測偏極片的穿透特性，以便將來應用於兆赫波段光學量測。

四、研究方法

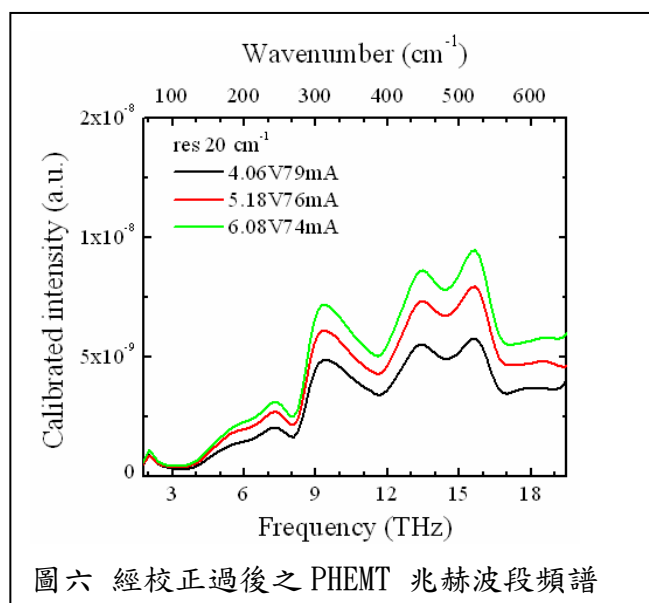
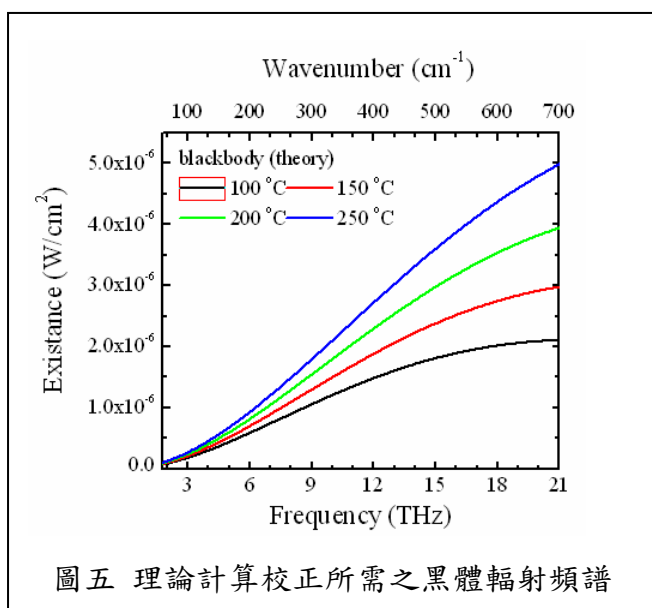
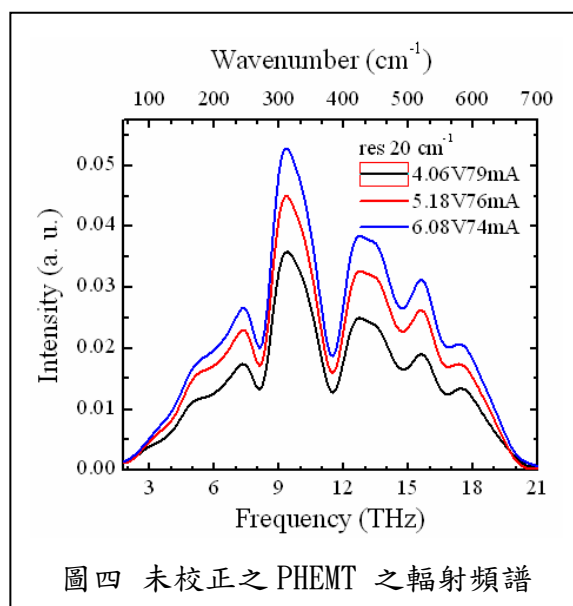
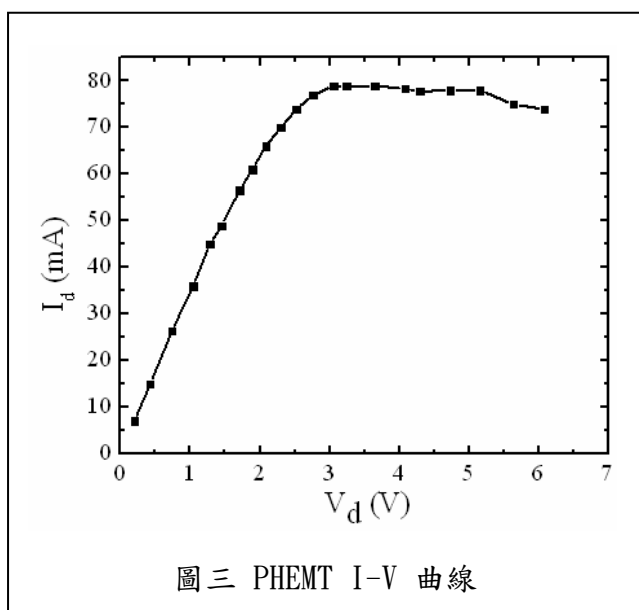
兆赫波輻射源

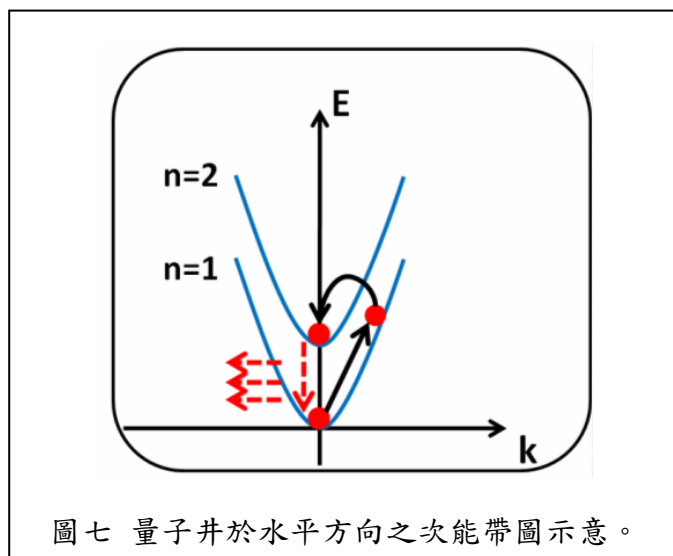
我們利用傅氏紅外光譜儀量測頻譜介於 1.5 THz~20 THz 的輻射訊號，儀器架設如圖一所示。Keithley 2602 用於供給元件直流偏壓，HP 8116A pulse generator 用於給予元件調變偏壓，經調變的元件

五、結果與討論

兆赫波輻射源

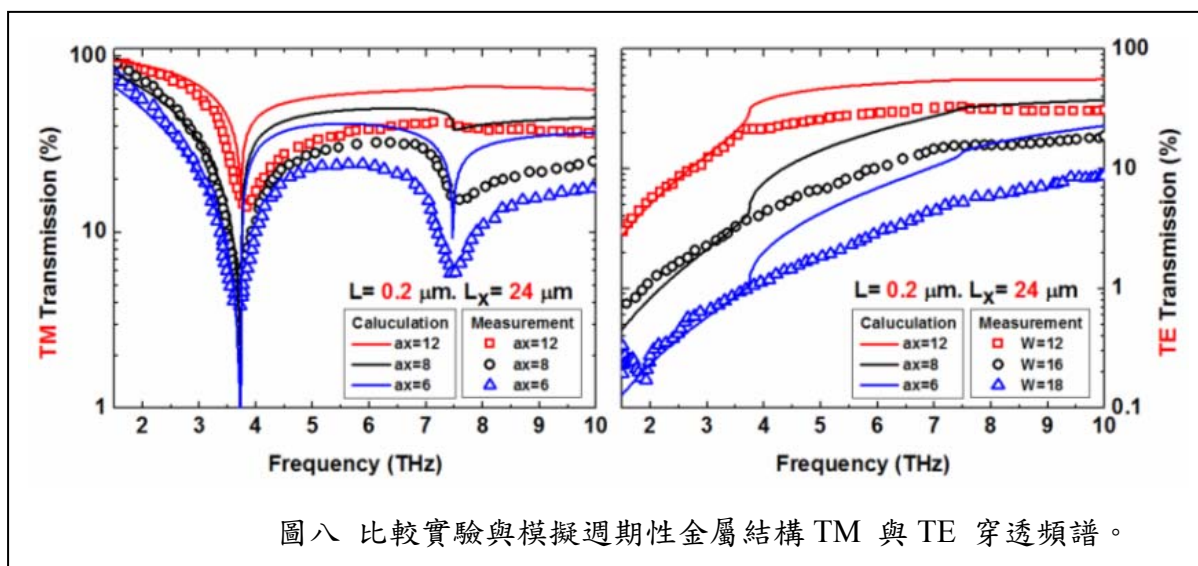
圖三顯示 PHEMT 元件典型的電壓電流(I-V)特性。Vd > 3 V 可見微分負阻的 I-V 曲線，此現象一般解釋為受電場加速之高能量自由載子與晶格碰撞釋放聲子，即產生熱，所導致。此熱效應造成載子遷移率下降，因可觀察到微分負阻的現象。我們量測不同偏壓下的輻射頻譜，如圖四所示。PHEMT 元件輻射頻譜的範圍涵蓋約 2–20 THz，此輻射頻譜包含光路響應，所以我們必須量測數個不同溫度的黑體輻射來做校正，理論算出的黑體輻射頻譜如圖五所示。利用 eq.(1) and eq.(2)，可先算出系統響應 R(k)與背景輻射 G(k)，進一步便能換算出元件實際輻射頻譜，如圖六所示。元件輻射頻譜可見數個峰值區域，約落在 6 THz、10 THz 與 15 THz。此輻射頻段遠超越一般電路元件所能震盪的頻率範圍，我們初步猜測此輻射可能來自於載子於量子阱次能帶間的躍遷。電場加速下的自由載子可獲得足夠的動能，使載子能夠有低次能帶透過與聲子散射等機制進入較高次能帶，而處於較高次能帶的載子可透過躍遷至低次能帶產生光子(如圖七所示)。此次能帶間距可有數 meV 至數十 meV，即位於兆赫波段區。此猜測尚須更有系統性的量測與分析。





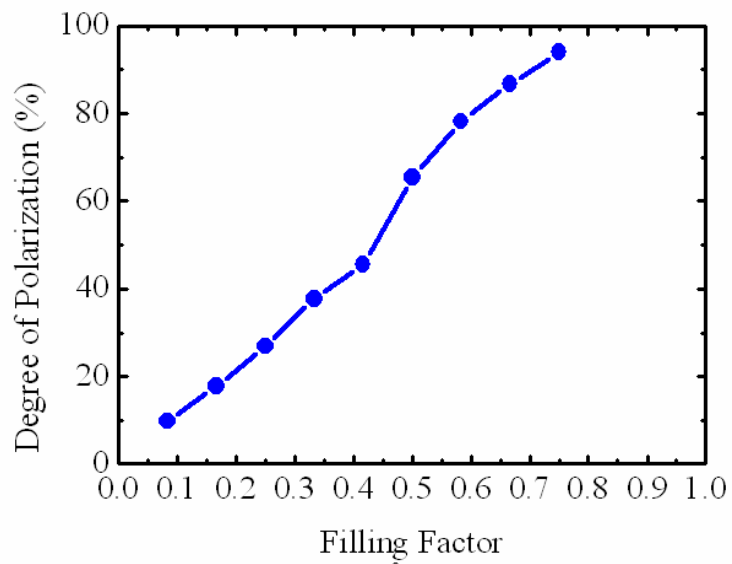
光學元件

不同金屬填滿率會對不同入射偏極有不同的穿透響應，圖八 symbol 顯示理論模擬光源正向入射偏極片之 TM 與 TE 兩種偏極方向正交的穿透頻譜。實線為與理論計算相同結構的實驗結果，可見到頻譜谷值與峰值均與計算結果穩合。高於 4 THz 實驗結果比理論稍低，原因為實際量測會包括非正向出射光(高階散射光)的接收。我們可對偏極片定義其偏振度，如 eq. (3)。\$T_{TM}\$ 與 \$T_{TE}\$ 分別代表 TM 與 TE 兩種偏極方向的穿透頻譜。將偏振度與金屬填滿率作圖(圖九)，可發現當填滿率增加，偏極片的偏振度亦隨之增加。這代表要實現一個好的偏振片需要提高其金屬填滿率。



$$P = \frac{T_{TM} - T_{TE}}{T_{TM} + T_{TE}} \times 100\%$$

eq. (3)



圖九 偏振度隨金屬填滿率增加而上升

國科會補助專題研究計畫項下出席國際學術會議心得報告

日期：99年10月30日

計畫編號	NSC 98 — 2221 — E — 009 — 179 —		
計畫名稱	室溫兆赫波物理、元件與技術		
出國人員姓名	顏順通	服務機構及職稱	交通大學電子工程學系教授
會議時間	2010年9月22日至2010年9月24日	會議地點	日本東京
會議名稱	(中文)2010 固態元件與材料國際研討會 (英文)2010 International Conference on Solid State Devices and Materials		
發表論文題目	(中文)矽基板上金屬圖樣共振濾波器於兆赫波段之強化穿透 (英文)Transmission enhancement of metal-patterned resonant filters on silicon substrate in terahertz frequencies		

一、參加會議經過

九月21日搭全日空(和長榮航聯營)赴日本成田機場。搭電聯車到日暮里，找家拉麵店用晚餐，然後步行到西日暮里搭地鐵到御茶之水飯店投宿。

九月22日早上搭地鐵從飯店到東京大學會場報到。隨即參加大會開幕典禮及兩場plenary talks(主講人分別為M. Nakamura及S. Deleonibus)。午後全程參與 session F-1:Graphene structure and transport (13:30-14:15)及 session F-2:Novel structures (14:45-16:00)。會後從東京大學會場步行約20分鐘至東京巨蛋飯店，參加special plenary session。大會安排兩位德高望重的主講人，分別為90歲的K. Shimoda(講題為50 years of the laser)及85歲的L. Esaki(講題為In half a century of research career, what did I explore?)。聽講完，參加大會接待晚宴。接近21:00坐地鐵回飯店。

九月 23 日一早由飯店搭地鐵至東京大學會場參加 session I-3:III-V Device technologies (9:00-10:30)。會後與 invited speaker 東京理工學院 S. Suzuki 討論兆赫波輻射源，並索取演講的 powerpoint 檔。隨後進行 short presentation for poster (10:12:15)。下午進入 poster 會場。隨後參與 session J-4:Graphene's electrical properties (15:10-16:25)及 session J-5: Graphene devices (16:50-18:05)。

九月 24 日搭京成特快車到成田機場，搭全日空回台灣。

二、與會心得

聽了兩天 graphene (石墨烯)的相關研究，獲益良多。今年諾貝爾物理獎頒發給這個新領域的兩位開創者。在這次研討會，我沒看到國內關於 graphene 研究發表。國內學者發表的研究成果都屬成熟領域，難見開創性的研究。

我還遇到比較遺憾的事。在我參加的 short presentation for poster，有四篇該到場報告卻缺席，他們都來自台灣。主持人唱名不到，現場氣氛很不好，這四篇當中有三篇來自同一個實驗室。

另外，我發現好幾個學生(台日韓都有)聽不懂或無法回答發問者的問題，學術交流效果大打折扣。

三、考察參觀活動(無是項活動者略)

略

四、建議

有義務到研討會報告的學者務必出席。國內某些實驗室常有惡意缺席研討會的習慣，傷及台灣學術聲譽。

很多人把這種研討會當作是訓練學生的機會。我認同這種作法，但前提是須顧到發表和交流的效果，而不只是形式上把稿子背完就好了。我發現好幾個學生(台日韓都有)聽不懂或無法回答發問者的問題，加上主持人沒適時排解造成尷尬場面。這樣反而沒訓練到學生，也沒達到良性的交流效果。我認為如果學生因語言或學識上無法應付應答，最好指導教授能在場協助回答。

另外，我認為要把握機會和其他與會者交流。如果不想在會議進行中發問，也可私底下和你想要談的人講話。詢問一些深入的細節，甚至可以索取演講的檔案。

五、攜回資料名稱及內容

含大會論文摘要電子檔之隨身碟。大會議程。

六、其他

無研發成果推廣資料

98 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：顏順通		計畫編號：98-2221-E-009-179-					
計畫名稱：室溫兆赫波物理、元件與技術(I)							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	2	2	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (本國籍)	碩士生	6	0	100%	人次	
		博士生	3	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	2	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	無
--	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

兆赫輻射有著低能量(長波長)與靈敏感測水份多寡與的特性，我們得以用兆赫波來分析生物體內細胞或組織水份分佈的異常情況而不會對生物體造成傷害，使其成為替代 X-ray 用於醫療顯像的首選。兆赫輻射能分析不同種類的化學物質與分辨金屬材質的特性可應用於機場與郵政之安檢。而作為通訊的載波更可大幅提昇資料傳輸頻寬。兆赫波相關技術還有許多領域的應用，諸如天文遙測、環境保護、醫療診斷、氣象觀測、水資源規劃、短距離保密通訊、小型區域網路、衛星通訊等。