

整合光柵結構與電晶體的室溫兆赫波輻射源之研究

學生：沈庭宇

指導教授：顏順通 博士

國立交通大學電子工程學系電子研究所 碩士班

摘要

本論文研究電激發下的 InGaAs/GaAs multi-finger pHEMT 在兆赫波段的輻射特性與其背後物理機制。藉由改變結構參數，如元件尺寸、finger 數目、電極的金屬覆蓋率以及散熱空間存在與否，量測並探討比較其輻射強度、輻射場型、偏振特性及頻譜的變化。我們發現元件操作於飽和區會有較高的輻射功率轉換效率。元件的輻射強度會因散熱空間的存在而降低。當元件尺寸變小時，其輻射場型大角度的成份會增加。此外，輻射訊號的偏振度與元件尺寸及金屬覆蓋率成正相關變化，且其偏振度會隨偏壓而改變。透過觀察上述現象與輻射頻譜，我們推論兆赫輻射來自於聲子，並且輻射特性與聲子激發的效率、聲子的數目及聲子的穿播方向息息相關。

Research on integrating grating-like electrodes with field-effect transistors as room-temperature terahertz radiation sources

Student : Ting-Yu Shen

Advisor : Dr. Shun-Tung Yen

Department of Electronics Engineering and Institute of Electronics

National Chiao Tung University

Abstract

This paper investigates the characteristics and the underlying physics of radiation from electrically excited InGaAs/GaAs multi-finger pHEMTs at terahertz frequencies. We measured the radiation intensity, radiation pattern, the degree of polarization of the radiation, and the radiation spectra of pHEMTs as functions of structural parameters, such as device sizes, number of fingers, the filling factor of grating-like electrodes and the presence of a heat sink. Experimental results show that a pHEMT has higher radiation power conversion efficiency while operating in saturation region. A pHEMT has lower radiation intensity with the presence of a heat sink. The radiation pattern shows enhanced large-angle components while reducing the size of a pHEMT. The degree of polarization is directly proportional to the size of a pHEMT and the filling factor; it also varies with biases. By observing radiation spectra along with the above results, we infer that the terahertz radiation comes from phonons. Furthermore, radiation characteristics depend strongly on the excitation efficiency, the number, and the propagation direction of phonons.

誌謝

學生的身分總算在這結束了，作為碩士生的這段時間，於研究專業上及校園以外的收穫頗豐，感謝在此階段給予我幫助的所有人。

最感謝的便是我的家人，沒有你們全力支持，我也不會續念研究所，讓我毫無顧慮完成碩士學業。謝謝顏順通老師在這段時間給予的指導，老師於研究上的堅持與求真求實的態度，實為學者的楷模。鐘佩鋼學長，在清晨天初亮以及冷風颼颼的夜晚，仍然不離不棄的在實驗量測上長時間的陪伴與幫忙，萬言難述其感謝，希望學長不久也可以結束學生的身分。冠成學長及泓文大師，謝謝你們在製程上及理論上的幫忙與開釋。同屆的佳帆、廷誠、芳如，感謝你們的陪伴，讓這段時間不這麼苦悶。也謝謝李建平老師實驗室的諸位學長及同學在製程上的幫忙。還在實驗室內的學弟，希望你們也能順利畢業。再會囉！

交通大學！

目錄

中文摘要-----	i
英文摘要-----	ii
誌謝-----	iii
目錄-----	iv
圖目錄-----	vi
第一章 緒論-----	1
1.1 前言-----	1
1.2 文獻探討-----	4
1.3 pHEMT 元件兆赫波輻射機制-----	6
1.4 研究動機-----	7
第二章 製程及參數設定-----	8
2.1 磊晶結構介紹-----	8
2.2 元件製作流程及參數說明-----	10
第三章 pHEMT 室溫輻射強度及場型量測-----	17
3.1 實驗架設-----	17
3.2 pHEMT 正向輻射強度與輻射功率轉換效率比較-----	21
3.2.1 不同 finger 數元件輻射效率之影響-----	21
3.2.2 散熱區域對輻射功率轉換效率之影響-----	26

3.3 輻射場型量測-----	27
3.3.1 無散熱區域元件之輻射場型-----	28
3.3.2 散熱區域對輻射場型之影響-----	32
3.3.3 不同偏壓點之輻射場型-----	34
第四章 pHEMT 室溫輻射偏振特性-----	37
4.1 量測方式-----	37
4.2 輻射訊號偏振特性量測-----	38
第五章 pHEMT 室溫輻射頻譜-----	46
5.1 量測方式-----	46
5.2 傅立葉轉換紅外光頻譜分析儀-----	48
5.3 黑體輻射頻譜量測與光路較正-----	50
5.4 輻射頻譜量測結果-----	54
5.4.1 無散熱區域元件各向輻射頻譜-----	54
5.4.2 有散熱區域元件各向輻射頻譜-----	58
5.4.3 不同偏壓點之輻射頻譜其偏振特性-----	62
第六章 結論-----	64
參考文獻-----	67

圖目錄

圖 1.1 電磁波頻譜。	2
圖 1.2 兆赫波樹葉顯像圖，可偵測出樹葉水分含量。	3
圖 1.3(a) 雙層異質塑膠標的物。(b) 兆赫波顯像結果，可判斷內外層不同材質。	3
圖 1.4(a) GaAs 兆赫波段吸收頻譜。(b) InGaAs/GaAs pHEMT 與 GaN/Si HEMT 兆赫波段輻射頻譜。	6
圖 2.1 InGaAs/GaAs pHEMT 元件磊晶結構。	9
圖 2.2 製程流程圖。	10
圖 2.3(a) 顯微鏡下 40 finger pHEMT。	15
圖 2.3(b) 顯微鏡下 10 finger pHEMT。	15
圖 2.4 multi-fingerpHEMT 元件示意圖。	16
圖 3.1 直流電性量測示意圖。	17
圖 3.2 場型量測架設。	19
圖 3.3 旋轉台及轉動角度定義示意圖。	20
圖 3.4 元件轉動角度示意圖。	20
圖 3.5 20 finger、40 finger 元件直流及脈衝電性。	22
圖 3.6 20 finger、40 finger 元件電壓與輻射強度關係。	22
圖 3.7 20 finger 元件電性與輻射強度比較。	23

圖 3.8	40 finger 元件電性與輻射強度比較。	23
圖 3.9	20 finger 及 40 finger 元件輻射功率轉換效率比較圖。	25
圖 3.10	20 finger 與 40 finger 元件的平均輻射強度與電壓關係。	25
圖 3.11	散熱區域對輻射功率轉換效率的影響。	26
圖 3.12	不同元件之脈衝電性。	27
圖 3.13	$W = 50\mu\text{m}$ 、40 finger 無散熱區域元件不同角度輻射場型。	29
圖 3.14	不同通道寬度元件輻射場型($\phi = 0^\circ$)。	30
圖 3.15	不同通道寬度元件輻射場型($\phi = 90^\circ$)。	30
圖 3.16	不同 finger 數元件輻射場型($\phi = 0^\circ$)。	31
圖 3.17	不同通道寬度元件輻射場型($\phi = 90^\circ$)。	31
圖 3.18	$W = 50\mu\text{m}$ 、40 finger 大晶片尺寸元件不同角度輻射場型。	33
圖 3.19	散熱區域對輻射場型($\phi = 0^\circ$)影響比較圖。	33
圖 3.20	大尺寸晶片元件不同偏壓之輻射場型。	35
圖 3.21	大尺寸晶片元件不同偏壓之輻射場型歸一化後結果。	35
圖 3.22	無散熱區域元件不同偏壓之輻射場型。	36
圖 3.23	無散熱區域元件不同偏壓之輻射場型歸一化後結果。	36
圖 4.1	偏振片與元件電極相對角度關係。	38
圖 4.2	不同通道寬度元件輻射訊號的偏振特性圖。	40
圖 4.3	不同通道寬度元件輻射訊號的偏振特性歸一化後結果。	40

圖 4.4 不同 finger 數元件輻射訊號的偏振特性圖。	-----41
圖 4.5 不同 finger 數元件輻射訊號的偏振特性歸一化後結果。	-----41
圖 4.6 不同金屬覆蓋率元件輻射訊號偏振度隨電壓作圖。	-----42
圖 4.7 不同通道寬度元件輻射訊號偏振度隨電壓作圖。	-----43
圖 4.8 $W = 50\mu\text{m}$ 、40 finger 元件偏振度與電性比較。	-----43
圖 4.9 不同能量的電子於二維能帶中加速與釋放縱向光學聲子的可能路徑。	-----45
圖 5.1 量測光路示意圖。	-----47
圖 5.2 Bruker IFS 66v/S FTIR。	-----49
圖 5.3 麥克森干涉儀示意圖。	-----49
圖 5.4 理論計算隻黑體輻射頻譜。	-----53
圖 5.5 實際量得黑體輻射頻譜。	-----53
圖 5.6 無散熱區域元件各角度輻射頻譜($\phi = 0^\circ$)。	-----56
圖 5.7 無散熱區域元件各角度輻射頻譜歸一後結果($\phi = 0^\circ$)。	-----56
圖 5.8 無散熱區域元件各角度輻射頻譜($\phi = 90^\circ$)。	-----57
圖 5.9 無散熱區域元件各角度輻射頻譜歸一後結果($\phi = 90^\circ$)。	-----57
圖 5.10 大尺寸晶片元件各角度輻射頻譜($\phi = 0^\circ$)。	-----60
圖 5.11 大尺寸晶片元件各角度輻射頻譜歸一後結果($\phi = 0^\circ$)。	-----60
圖 5.12 大尺寸晶片元件各角度輻射頻譜 ($\phi = 90^\circ$)。	-----61

圖 5.13 大尺寸晶片元件各角度輻射頻譜歸一後結果($\phi = 90^\circ$)。----61

圖 5.14 不同偏振方向輻射頻譜($V_{DS} = 0.9\text{ V}$)。-----63

圖 5.15 不同偏振方向輻射頻譜($V_{DS} = 1.29\text{ V}$)。-----63

圖 5.16 不同偏振方向輻射頻譜($V_{DS} = 4.08\text{ V}$)。-----63

