

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※

※

※ K-頻段無線收發關鍵元組件之研究(2/3)-總計畫 ※

※ Key Devices and Components for K-band Wireless Transceiver ※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 88-2219-E-002-017

執行期間：88年8月1日至89年7月31日

計畫主持人：王暉

共同主持人：許博文

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立台灣大學電信所

中華民國 89 年 9 月 28 日

行政院國家科學委員會電信國家型科技研究計畫成果報告

K-頻段無線收發關鍵元組件之研究(2/3)-總計畫

Key Devices and Components for K-band Wireless Transceiver

計畫編號：NSC 88-2219-E-002-017

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

計畫主持人：王暉教授 國立台灣大學電信工程學研究所

一、中文摘要

為配合國科會「電信國家型科技研究計畫」中之無線通訊發展重點：即「高頻元件、電路模組以及天線設計」的推展，本計畫提出「K-頻段無線收發關鍵元組件之研究」，以整合國內相關研究，期能建立國人自行研發各項電路及關鍵元組件之能力。

本跨校性整合型計畫含一項總計畫及八項子計畫，分由台大電機學院教授（七位）、及中興大學電機系教授（一位）主持，主要研究內容涵蓋K-頻段（21-26 GHz）無線收發模組中之各項關鍵元組件。本報告略述第一，二年各子計畫之研究成果，包括：(1) K-頻段雙頻印刷天線，(2) 共面波導雙工器，(3) 升降頻器之研製，(4) 頻率倍頻器之研製，(5) 砷化銦鎵 HFET MMIC 製程，(6) 單面轉接器，(7) 應用於微波系統頻率合成器晶片之研製，(8) 半導體元件模型及功率放大器。

關鍵詞：K-頻段，無線通訊，收發機

英文摘要

The purpose of this group research proposal is to integrate the related research effort in order to develop the technologies

for all the key components of a K-band (20-26 GHz) wireless transceiver module in correspondence to the recent growth of the applications for high frequency wireless communication systems. This group research project consists of one main project and eight subprojects, which covers all the key component development and the related necessary techniques for analysis, design and fabrication. The members of this research team include eight professors from two universities. This report summarizes research results from the eight subprojects in the first and second years.

Keywords: K-band, Wireless Communication, Transceiver Module

二、計畫緣由與目的

為提升第三代無線行動通訊技術，「電信國家型計畫」中，已將無線通訊重點技術：「高頻元件、電路模組及天線設計」，歸類為學術研究重點之一。其中之頻段包括 2 GHz, 2.5 GHz, 5.7 GHz 及 20-30 GHz (K-Ka 頻段)。K-Ka 頻段相較於其他低微波頻段 (2-5.7 GHz)，有下列優點：頻帶較寬，可增大通訊容量，故可提供高解析度，大容量的通訊

系統；又因波長較短，元組件及系統之尺寸較小，相同孔徑天線之增益，亦相對增大，而且波束較窄。故此頻段在無線通訊及小型收發系統上，相較於 2-5.7 GHz，有較高的應用潛力。因此本計畫提出「K-頻段（21-26 GHz）無線收發關鍵元組件」之整合型研究計畫，以配合此電信國家型計畫之推行。

為降低製造成本，增加電路之可靠性與重複性，系統精巧化以達成電路之高度積體化及多功能化，遂有單晶微波及毫米波積體電路（Microwave and Millimeter-Wave Monolithic Integrated Circuit）之發展[1]、[2]。隨著電路積體化以及頻率之提高，技術上的困難度亦隨之提高。如電路之微調不易，半導體元件功能之待提升，測試難度增加，電磁耦合複雜化，材質及製作精確度之待提高等。為突破設計及製作的困難，乃有電路積體化、組件平面化以及電腦輔助設計構想的產生[2]-[4]。在本計畫中之 K-頻段關鍵元組件，可粗分為半導體元件相關電路（包括升降頻器、功率放大器、信號源與倍頻器等），以及其他非半導體之被動平面組件（包括天線、轉接器、濾波器、雙工器等）。因此對各元組件的設計、開發，及整合應用，乃成為本計畫之研究重點。

本計畫所提出之 K-頻段無線收發機，主要應用於微波無線通訊機（Microwave Radio）。此無線通訊機早年為長途電話之幹線，但近年因行動電話及個人通訊系統具大量基地台之需求，而使此基地台間無線連接之市場大幅升高。所預估之接收及發射機之市場在 2000 年總

值可達 3.3 億美元[5]。此外，另有所謂「本地多點分散服務系統」（Local Multipoint Distribution System, LMDS），在歐美及東南亞均有新興的廣大市場，所應用頻段為 28-30GHz[6]-[7]，恰與本計畫所預定研製之頻率相近，故本計畫之研發成果，將對此應用助益極大，而更可顯出本研究計畫之重要性。

本計畫中半導體元件及電路之部分，將致力於單晶微波電路（MMIC）之設計與元件之模型分析技術。過去在國內已有一些較低頻段 (<5GHz) 之 MMIC 之研發成果[8]-[10]，但在此一頻段 (20-30 GHz) 則尚未有所嘗試。本計畫將以砷化鎵高速電子場效電晶體（GaAs HEMT）之 MMIC 製程，來設計大部分半導體射頻電路。並利用國科會晶片實現中心(CIC)所提供之 $0.2\ \mu m$ 的 HEMT MMIC(法國菲力浦公司)及 $0.15-\mu m$ HEMT MMIC(美國 TRW 公司)代工製程。部分電路將由台大電機所固態組之 InGaP HFET 製程，嘗試某些較簡單之電路，以提升國內之 MMIC 製作技術。此外為建立半導體元件的模式及驗證設計之理念，吾人亦將製作一些混成微波電路（hybrid MIC），其實驗結果將可迅速提供單晶積體電路之模式及設計之必要資訊。至於本地振盪（LO）所需之低雜訊頻率合成器晶片，將以 BiCMOS 製程設計製作。

而在非半導體被動電路方面，將以電磁模擬分析及各組件之設計、分析為重點。理論與實驗並重，研發並整合此 K-頻段之高性能、低成本各項組件，諸如濾波器、雙工器、轉接器及天線等，以作為將來開發整合微波通訊機系統之

主要依據。

本整合型計畫著重於 K-頻段無線關鍵元組件之探討、研發與整合，並可與其他單位及業界相配合，相輔相成，因此於提升國內無線通訊技術之大目標上，本計畫亦兼具學術與實用的重要性。以下略述各子計畫之第一、二年研究成果。

三、研究方法及成果

子計畫一：K-頻段雙頻印刷天線

第一年已以動差法完成在 K-頻段 (21-23 GHz 及 25-26 GHz 兩段) 之微帶天線設計，亦完成初步實驗驗證，但頻寬及阻抗匹配問題仍有待進一步改善。第二年中進行一連串實驗發現分析與實驗結果有些差異，但經由設計參數微調可得出合理結果。目標為在下一年度完成符合規格之設計。

子計畫二：共面波導雙工器

本研究計畫第一年的重點，在於微機電窄通共面濾波器之分析與製作。我們列出一套有系統的設計流程，並將此應用到傳統的共面波導窄通濾波器上，得到不錯的結果；進而我們將此方法應用到微機電窄通共面濾波器上。在第二年中，已完成微積電共面波導雙工器的濾波器及 T 型轉接，並於濾波器的第一接和最後一階使用邊緣耦合線，作為 T 型轉接之輸出。數值模擬方法則採用準靜態數值方法及 Sonnet 模擬軟體來擷取參數。我們暫且先不考慮影響力較小的薄膜及斜邊效應，如欲得更精確的結果，可將此兩因素列入考量。

子計畫三：升降頻器之研製

本計畫預備研究及設計 K-頻段之降頻器與升頻器元組件。該元組件係應用於

微波電信機之傳送接收器。製作此微波電路晶片，將使用國外之砷化鎵單晶微波電路之代工 (0.15 或 0.2 微米) 之高速場效電晶體製程。此升降頻器中之電路將包含低雜訊放大器、混波器及中頻放大器。第一年計畫中，已完成製作第一循環單一功能電路之晶片，並完成部分電路測試。本年度除繼續進行電路量測工作外，並利用 0.15 微米高速場效電晶體 (HEMT) 及異質接面雙極電晶體 (HBT) 的製程，進一步設計各項單一及多功能晶片。

子計畫四：頻率倍頻器之研製

本計畫旨在建立 K-頻段無線收發關鍵元組件中之頻率倍頻器，包含其相關之理論分析、模擬、製作與實驗量測，頻率倍頻器之研製係使用混成 (hybrid) 電路以及單晶微波積體電路 (MMIC)。第一年之研究成果，包括：HEMT MMIC 頻率倍頻器之模擬與設計結果，以及雙閘級 MESFET 非線性等效電路之建立。本年度則完成 3 至 18GHz 六倍倍頻器晶片組之設計、模擬及量測。

子計畫五：砷化銦鎵 HFET MMIC 製程

為了要使電晶體有更高的增益與電流密度，縮小閘極長度並同時降低閘極電阻是必要的。因此，T 型（或蘑菇型）次微米閘極元件的製作勢在必行。本年度的研究目標就是在探討次微米 T 型閘極的製作方法。我們利用光組加熱流動的特性以及三層光阻的結構，設計了一套次微米 T 型閘極的製程步驟，並且以實驗驗證其可行性。本年度之研究目標則為應用第一年份之成果，至實際之元件製作。結果顯示，在不需要昂貴的電子束曝光機的條件之下，我們利用傳統的 UV 光阻亦可做出具有深次微米線寬之 T 型閘極之元件。

子計畫六：單面轉接器

本（第一）年度計畫重點為：開發兩種「小型化共面波導至槽線轉接結構」，即「雙螺旋型轉接器」及「集總型轉接器」。首先，藉修改四分之一波長轉換器的結構，本研究提出一種新的「雙螺旋型轉接結構」，以達到縮小尺寸的目的，並完成一頻寬比為 $2.55:1$ ，尺寸為傳統轉接之三分之一的雙螺旋型轉接器。第二年研究設計出新的「集總型轉接結構」，並完成T型及環型的集總型轉接器。為簡化設計步驟，本研究特提出整合傳輸線理論與全波模擬之「混合等效電路模型」，以作為設計及模擬分析的工具，再輔以實驗量測方式，可進行數種「小型化共面波導至槽線轉接結構」的設計、研製、及詳盡模擬分析工作。

子計畫七：應用於微波系統頻率合成器晶片之研製

此計畫中，我們欲實現GHz之頻率合成器，以使用於其中頻電路。我們先將就鎖相迴路之理論進行研究，設計二個高頻低雜訊的頻率合成器，其輸出頻率為 $2.4/2.5\text{GHz}$ 和 $3.6/3.8\text{GHz}$ 的信號，作為K-頻段無線收發機之本地震盪信號。除了VCO及迴路濾波器為外接，其他的電路均將它積體化，以BiCMOS/CMOS製程製成單晶片。本年度已完成前一年度中之高頻前置分頻器，相位偵測器及其他控制電路，以及頻率合成系統之全晶片佈局，並完成 $2.4-2.5\text{GHz}$ 本地振盪晶片之製作與測試。

子計畫八：半導體元件模型及功率放大器

第一年中，我們以二維元件模擬器對砷化鎵場效電晶體分析，閘極通道長度對於電晶體的截止頻率及輸入電容有很大的影響，然而為研究其小訊號的電路參數

與閘極長度的相關性，我們針對四種不同的閘極長度來分析其小訊號，研究結果顯示閘極長度與小訊號參數 C_{gs} 及 R_i 有密切關係。在第二年中，因金半場效電晶體之膝電壓，挾止電壓，崩潰電壓和最大汲極電流會影響I-V特性之挾止效應並降低功率，我們進一步用平均射頻之間極和波極電流研究金屬半導體場效電晶體之增益壓縮機制。

以上僅略述各子計畫之成果，詳細成果請參見各子計畫第二年之研究報告。

四、結論與討論

縱觀以上各子計畫之前二年研究成果，本計畫均能朝既定目標進行，且部份計畫進度已超前，相信在未來兩年時間內定能開發完成本計畫所列各項重要之K-頻段無線收發關鍵元組件。

五、重要參考文獻

- [1] J. Frey and K. Bhasin (ed.), *Microwave Integrated Circuits*, Artech House, Dedham(MA), 1985.
- [2] R. A. Pucel (ed.), *Monolithic Microwave Integrated Circuits*, IEEE Press, New York, 1985.
- [3] K. C. Gupta, R. Garg, and R. Chadha, *Computer-Aided Design of Microwave Circuits*, Artech House, Dedham (MA), 1981.
- [4] E. D. Cohen, MMIC from the department of defense perspective, *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-38, no. 9, pp. 1171-1174, Sept. 1990.
- [5] 1996 Strategies Unlimited Market Report.
- [6] J. L. Langston, "Local multipoint distribution Services (LMDS) system concepts and implementation," *Proceedings of the 1997 IEEE MTT-S International Topical Symp. on*

Technologies for Wireless Applications, pp. 12-15,
Vancouver, BC, Can, Fed. 23-26, 1997.

[7] D. H. Graues, "Detailed analysis of MMDS and
LMDS," *Proceedings of the 1997 IEEE MTT-S
International Topical Symp. on Technologies for
Wireless Applications*, pp. 7-10 Vancouver, BC,
Can, Fed. 23-26, 1997.

[8] T. H. Hsieh, H. Wang, Tahui Wang, T. H. Chen, Y.
C. Chiang, S. T. Tseng, Andy Chen, and Y. E.
Chang, "An ultra low cost and miniature 950-
2050 MHz GaAs MMIC downconverter-I: design
approach and simulation," *J. Chinese Institute of
Engineers*, vol. 81, no.3, pp. 437-444, 1995.

[9] H. K. Chiou and H. H. Lin, "A miniature MMIC
double doubly balanced mixer using lumped dual
balun for high dynamic receiver application,
"IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 7, no.
8, pp. 227-229, Aug. 1997.

[10] H. K. Chiou, H. H. Lin, and C. Y. Chang,
"Lumped-element compensated high/low-pass
balun design for MMIC double-balanced mixer,
"IEEE Microwave Guided Wave Lett., vol. 7, no.
8, pp. 248-250, Aug. 1997.