

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

總計畫：38-GHz 無線收發系統關鍵元組件技術(3/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2219-E-002-001-

執行期間：92 年 08 月 01 日至 93 年 10 月 31 日

執行單位：國立臺灣大學電信工程學研究所

計畫主持人：王暉

共同主持人：陳俊雄，劉深淵，呂學士，許博文，吳瑞北，瞿大雄，孟慶宗

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 2 月 1 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

「38-GHz 無線收發系統關鍵元組件技術」總計畫

(1/3) (2/3) (3/3)

計畫類別：☐個別型計畫 ☒整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2219-E-002-001

NSC 91-2219-E-002-014

NSC 92-2219-E-002-001

執行期間：90 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：王 暉

共同主持人：

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：

中 華 民 國 93 年 10 月 1 日

「38-GHz 無線收發系統關鍵元組件技術」總計畫 (1/3)(2/3)(3/3)

Research and Development of 38-GHz Wireless Key Component (1/3)(2/3)(3/3)

計畫編號: NSC 90-2219-E-002-001

NSC 91-2219-E-002-014

NSC 92-2219-E-002-001

執行期限: 90 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主 持 人: 王 暉 國立台灣大學電信所教授

E-mail : hueiwang@ew.ee.ntu.edu.tw

計畫參與人員:

一. 中文摘要 (關鍵詞: 單晶微波積體電路、降頻器、升頻器、收發模組。)

本計畫執行時間為三年, 在計畫執行期間, 元件模型、電路設計及佈局、晶片製作、測試與收發模組均已完成。在計畫執行三年中, 使用現有的單晶微波積體電路和高頻電路板設計組裝單一的模組, 如天線、轉接器、升頻器、降頻器、本地振盪器與中頻訊號處理電路。每各單一模組之間使用高頻同軸線或Q頻段導波管相互連接, 以達成收發模組的功能, 同時並以類比NTSC視訊和音頻訊號傳送測試, 以驗證每個單一模組之設計規格是否滿足38-GHz無線收發模組之要求。

Abstract (Keywords : MMIC, Downconverter, Upconverter, Transceiver module.)

In this three-year project, device modeling, circuit design, layout, chip fabrication, testing and transceiver module have been completed. In the three years, we developed the key components, including the antenna, transition, up converter, down converter, local oscillator, and IF circuits, for the 38-GHz wireless transceiver applications. Some Coaxial lines and Q-band waveguides are used to connect the modules to complete a transceiver module, and the

transceiver module is tested by transmitting the analog NTSC video and audio signal to prove the specifications of the each unit module for a 38-GHz wireless transceiver module.

二. 計畫緣由與目的

無線收發電路在無線通訊系統扮演很重要的角色, 其主要功能為射頻訊號與基頻訊號的轉換器, 其應用範圍可為通訊、雷達和遠端控制[1]-[3]。本計畫預備研究及設計製作38-GHz之無線收發模組及關鍵元組件技術。主要關鍵元組件技術包含有共面波導印刷電路二維天線陣列、濾波器、共面波導轉接器、本地振盪器之研製、升降頻電路之研製、射頻頻率合成器與放大晶片設計和 HBT 中頻積體電路及後製程研究等相關技術。

三. 研究方法與結果

總計畫

本計畫成功設計製作 38-GHz 相關的元組件, 項目包括有天線、轉接器、濾波器和升降頻相關晶片, 以及本地振盪器和中頻訊號處理電路。同時利用自行開發的晶片及商業用晶片, 製作完成 38-GHz 之無線收發模組, 其照片如圖一及二所示。收發模組之操作頻率範圍在 38 GHz 至 39 GHz 間, 發射機傳送功率大於 10 dBm 以上, 接收機靈敏度小於 -80 dBm 以

下。另一方面，實際使用類比視訊和音頻訊號進行無線傳送測試，其實際傳送距離大於 30 米以上。並於九十三年一月在台北國際會議中心，所舉辦電信國家型計畫成果展中成功展示。發射端如圖三所示，發射天線其方向為正上方「天花板」；接收則如圖四所示，天線方向亦是朝正上方，接收來自天花板的反射訊號。展現了傳輸多頻道影像聲音訊號的能力，其傳送距離約為 50 公尺。

各子計畫的研究成果分述於下：

子計畫一

共面波導印刷電路二維天線陣列主要採 T 形共面波導轉槽線饋入之城垛形開槽陣列天線，其特點為：可依應用之不同而設計成一維或二維之天線陣列，設計上相當具有彈性。但隨著城垛形開槽陣列天線中輻射單元數目的增加，其輸入阻抗亦隨之增加，造成輸入阻抗不匹配。對於輻射單元數不多的城垛形開槽陣列天線，我們可藉由調整其槽線寬來達到輸入阻抗匹配的目的。若其輻射單元數過多，光靠縮小槽線寬已無法達成阻抗匹配，於是我們加入一簡單的輸入阻抗之匹配電路。該匹配電路在不影響天線效能的前提下，成功地將陣列天線的高輸入阻抗轉換至饋入共面波導的特徵阻抗。為驗證城垛形開槽陣列天線之工作頻率對於天線特性與匹配電路效能的影響，在實際製作 38 GHz 陣列天線之前，我們先嚐試性地設計一個 10 GHz 的 12×4 及一個 60 GHz 的 12×2 之二維陣列天線及其輸入阻抗之匹配電路，並實作完成。由實驗與模擬之比較結果顯示城垛形開槽陣列天線及匹配電路之實用性與可行性，且天線特性與匹配情形不因工作頻率而有所改變[4]-[7]。

子計畫二

為配合發展毫米波無線通訊收發系統，本研究特研發數種低通及帶通單面濾波器，以建立相關收發系統之關鍵元組件技術。本研究特在共

面波導之信號線與接地線上，蝕刻而形成開路截線與短路截線，以產生所需之電感值與電容值，並適當組合上述截線，設計出低通與高通之共面波導濾波器，最後再將低通與高通結構串接起來，進而完成串接型共面波導帶通濾波器[8]-[11]。

子計畫四

本研究計畫的重點共分為兩部分，第一部份在於共面波導至矩形波導的模向轉接，第二部分則是有關共面波導的覆晶轉接。首先，在共面波導至矩形波導的轉接方面，我們設計並製作 Q 頻段的轉接，得到吻合度不錯的模擬和量測結果，其反射損耗在 15dB 以下的頻寬約有 40% 左右，可謂相當的寬頻；除此之外，我們也嘗試在 V 頻段設計此轉接，其反射損耗在 15dB 以下的頻寬約有 16% 左右，所得頻寬並不如前者優異，此乃受限於高介電係數的板材之緣故。其次，在改良式共面波導的覆晶轉接方面，我們設計並製作 DC 至 Ka 頻段的轉接，反射損耗在 20dB 以下的頻寬，可從 DC 延伸至 35GHz，也可謂相當不錯[12]-[13]。

子計畫五

本計畫旨在建立本地振盪器相關之理論分析、模擬、製作與實驗量測。兩年之研究成果，主要包含三項，一為研製適用於 38GHz 無線收發系統之本地振盪器，輸入信號 2.25GHz，經適當之倍頻及放大，輸出信號 36GHz 及 10dBm，二為建立 N-推式耦合振盪器陣列之理論推導、分析公式、電路研製及實驗量測，其振盪器陣列架構，係以耦合振盪器理論為基礎，藉由調整不同的相位關係與適當的導通時間，將其產生的 N 階諧波成分，因同相而加成，以得到倍頻之振盪輸出信號。三為使用二維的耦合振盪器陣列，研製方向掃描與極化調整天線陣列，利用二維平面上的相位分佈，其中一個維度的相位變化做方向掃描，另一維度

的相位變化對應到極化的改變，則可同時達成方向掃描與極化調整的功能[14]-[18]。

子計畫六

升降頻電路晶片，主要是利用國家晶片製作中心所提供的半導體製程來進行設計，其電路包括有升降頻混波器、低雜訊放大器、功率放大器和單刀雙擲開關，每一電路包括有微帶線和共面波導版本。每個電路的中心操作頻率以 38 GHz 為準，頻寬則皆於 3 GHz 以上，每一輸出及輸入埠，其反射損耗大於 10 dB。經實晶圓測試，低雜訊放大器其增益大於 12 dB 以上，雜訊指數小於 4 dB 以下；功率放大器其小訊號增益大於 15 dB 以上，飽和功率則大於 20 dBm 以上；混波器其轉換損耗小於 12 dB 以下，隔離度大於 20 dB 以上；單刀雙擲開關其插入損耗小於 2 dB 以下，隔離度大於 30 dB 以上。同時亦將所設計製作的晶片組裝至 Rogers 4003 電路板，經實際量測，可滿足收發模組之要求。另一方面，使用現有之模式進行單一功能電路之初步設計，同時設計測試電路、而後製作第一循環之晶片[19]-[23]。

子計畫七

射頻頻率合成器負責提供收發器一 2.25GHz 的本地振盪訊號，此次實現方法共分 2 種。一為自行研發，其中電路包含相位 / 頻率偵測器 (Phase/Frequency Detector)、電荷泵、迴路濾波器、壓控振盪器和迴授除頻器，委託國家晶片製作中心所提供的 CMOS 0.25um 1P4M 半導體製程實現，之後加以利用打線技巧，將製作晶片組裝至印刷電路板上進行高頻量測，射頻頻率合成器晶片消耗功率只須 65mW，操作電壓 2.5 伏，佈局面積 0.75mm^2 ，輸出震盪訊號在偏移 100 kHz 和 500 kHz 的相位雜訊各為 -80 dBc/Hz 和 -98dBc/Hz；另一為整合 Silicon Lab's PLL 晶片 (Si4126)，8051 晶片(MCS-51)，與 16 MHz

石英震盪器，射頻頻率合成器晶片消耗功率須 75mW，操作電壓 3 伏，輸出震盪訊號功率 -7.5 dBm，偏移 100kHz 的相位雜訊為 -102 dBc/Hz [23]-[30]。

子計畫八

中頻電路晶片，分為矽基電路及砷化鎵電路。子計畫七負責矽基電路，子計畫八負責砷化鎵電路，二者均是利用國家晶片製作中心所提供的半導體製程來進行設計。子計畫八電路包括有寬頻放大器、振盪器及升降頻混波器。實驗結果發現，此電路具有 16dB 的小訊號增益及 11.6GHz 的 3dB 頻寬，且在該頻寬之內，輸入和輸出返回損失皆小於 -10dB，這些結果和我們用公式推導出的電壓增益，轉導增益，頻寬及輸出入阻抗都很吻合，並且也符合此計畫所要求的規格；振盪器採改變迴路增益之方式來改變振盪頻率，實驗結果顯示，振盪頻率可調範圍為 5.4 GHz 至 5.9GHz，輸出功率 -13dBm，相位雜音為 -96 dBc/Hz @ 100kHz from 5.7 GHz，與模擬結果相當接近。以上兩實驗晶片之成果已分別刊載於 IEEE Journal of Solid State Circuits 及 IEEE Microwave and Wireless Component Letters [31]-[51]。

子計畫九

本子計畫成功的實現了一個頻段由 DC 到 8GHz 的寬頻異質接面電晶體微波混頻器。當輸入一小本地振盪功率 -2dBm 的訊號時，此混頻器擁有 11dB 之單端輸出轉換增益和 8GHz 的 -3dB 頻寬。量測結果顯示 $P_{1dB} = -5\text{dBm}$ 和 $OIP3 = 5\text{dBm}$ ，混頻器供應電壓為 5V。而在吉伯微波混頻器中之單端轉雙端輸入級能提供良好的頻率響應並消除共模排斥之需要。另外，應變晶格高移動度電晶體的平均閘極電流和汲極電流可以用來預估應變晶格高移動度電晶體的不同增益壓縮機制。其中包括：膝電壓、夾止電壓、崩潰電壓、和最大電流輸出所造成的不同增益

壓縮機制。在這裡，我們找到了不同的增益壓縮機制各有其獨特的平均閘極電流和汲極電流特徵。如此一來，有利於我們找出固態微波元件中的應變晶格高移動度電晶體的增益壓縮機制電路模型[52]-[57]。

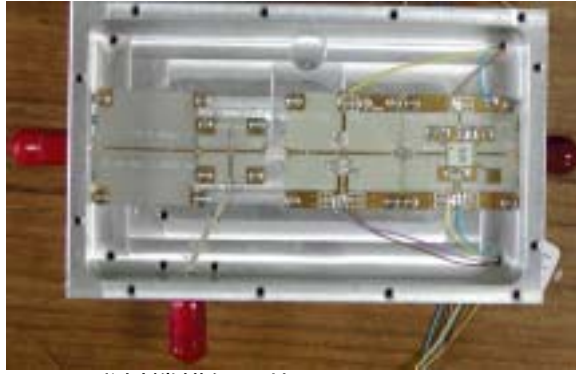
四. 參考文獻

- [1] G. Hayashibara, H. Wang, T. N. Ton, K. L. Tan, G. S. Dow, T. H. Chen, K. W. Chang, J. Berenz, B. Allen, P. Liu, D. Streit, and L. C. T. Liu, "An ultra low noise W-band monolithic downconverter for smart munitions," *1992 Government Microcircuit Applications Conference (GOMAC) Digest*, pp. 601-604, Las Vegas, NV, Nov., 1992.
- [2] K. W. Chang, H. Wang, G. Shreve, J. Harrison, M. Core, A. Paxton, M. Yu, C. H. Chen, and G. S. Dow, "Forward looking automotive radar using a W-band single-chip transceiver," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 43, no. 7, part 2, pp. 1659-1668, July, 1995
- [3] Edward C. Niehenke, Pete Stenger, Tom McCormick, and Chris Schwerdt, "A planar 94-GHz transceiver with switchable polarization," *1993 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp.167-170.
- [4] K. F. Lee and W. Chen, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, New York: Wiley-Interscience, 1997.
- [5] Shih-Yuan Chen and Powen Hsu, "Rampart slot array fed by coplanar waveguide," *Proceedings of 2002 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2002)*, Kyoto, Japan, pp. 1286-1287, Nov. 19-22, 2002.
- [6] Shih-Yuan Chen and Powen Hsu, "A modified quasi-yagi antenna fed by a microstrip line," *Proceedings of 2003 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2003)*, Seoul, Korea, pp. - , Nov. 4-7, 2003.
- [7] K. Hettak, N. Dib, A.-F. Sheta, and S. Toutain, "A class of novel uniplanar series resonators and their implementation in original applications," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 46, pp.1270-1276, Sept. 1998.
- [8] K. Hettak, N. Dib, A. Omar, G.-Y. Delisle, M. Stubbs, and S. Toutain, "A useful new class of miniature CPW shunt stubs and its impact on millimeter-wave integrated circuits," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 47, pp.2340-2349, Dec. 1999.
- [9] F.-L. Lin, C.-W. Chiu, and R.-B. Wu, "Coplanar waveguide bandpass filter - a ribbon-of-brick-wall design," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol.43 pp.1589-1596, July 1995.
- [10] Y.-K. Kuo, C.-H. Wang, and C.H. Chen, "Novel reduced-size coplanar-waveguide bandpass filters," *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, vol. 11, pp.65-67, Feb. 2001.
- [11] T. H. Lin and R. B. Wu, "A Broadband Microstrip-to-Waveguide Transition with Tapered Slotline Probe," submitted to *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*
- [12] T. H. Lin and R. B. Wu, "CPW to

- waveguide transition with tapered slotline probe," *IEEE Microwave and Wireless Components Lett.*, vol. 11, pp. 314-316, July 2001.
- [13] C. L. Wang, and R. B. Wu, "A locally matching technique for broadband flip-chip transition design," *IEEE MTT-Symp. Dig.*, 2002, pp.1397 –1400
- [14] F. X. Sinnesbichler, H. Geltinger, and G. R. Olbrich, "A 38-GHz push-push oscillator based on 25-GHz f_t BJTs," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 9, pp. 151-153, April 1999.
- [15] Y. L. Tang, and H. Wang, "Triple-push oscillator approach: theory and experiments," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 26, no. 10, October 2001.
- [16] S. A. Maas, *Nonlinear Microwave Circuits*, Norwood: Artech House, 1988.
- [17] F. X. Sinnesbichler, H. Geltinger, and G. R. Olbrich, "A Si/SiGe HBT dielectric resonator push-push oscillator at 58 GHz," *IEEE Microwave Guided Wave Lett.*, vol. 10, pp. 145-147, April 2000.
- [18] R. A. York and T. Itoh, "Injection- and phase-locking techniques for beam control", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-46, no. 11, pp. 1920-1929, November 1998.
- [19] S. Raman, F. Rucky, and G. M. Rebeiz, "A high-performance W-band uniplanar subharmonic mixer", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 45, pp. 955-962, June 1997.
- [20] T. Saito et al., "HEMT-based MMIC single-balanced mixers for 60 GHz indoor communication system", *IEEE GaAs IC Symp. Tech. Dig.*, San Jose, CA, pp. 57-60, Oct. 1993.
- [21] T. H. Chen, P.D. Chow, K. L. Tan, J. A. Lester, G. Zell and M. Huang, "One watt Q-band class A pseudomorphic HEMT MMIC amplifier," *IEEE MTT-s International Microwave Symposium Digest*, pp. 805-808, June 1994.
- [22] J. C. L. Chi, J. A. Lester, Y. Hwang, P. D. Chow and M. Y. Huang, "A 1-W high-efficiency Q-band MMIC power amplifier," *IEEE Microwave and Guided Wave Letter*, vol. 5, pp. 21-23, Jan. 1995.
- [23] Y. J. Wang, K. Y. Lin, D. C. Niu, and H. Wang, "A V-band MMIC SPDT passive HEMT switch using impedance transformation networks," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, Vol. 1, 2001, pp 253 – 256.
- [24] W. B. Kuhn, A. Elshabini-Riad, F. W. Stephenson, "Sentr-tappwd spiral inductors for monolithic bandpass filters", *Electronics Letters*, vol. 31, no. 8, pp. 625-626, Apr. 1995.
- [25] M. Danesh, J. R. Long, R. A. Hadaway, D. L. Harame, "A Q-factor enhancement technique for MMIC inductors", in *IEEE Symp. MTT-S Dig. Tech. Papers*, 1998, pp. 183-186.
- [26] A M. Niknejad, J. L. Tham, and R. G. Meyer, "Fully-integrated low phase noise bipolar differential VCOs at 2.9 and 4.4 GHz," *Proceedings of the 25th European Solid-State Circuits Conference*, pp. 198-201, 1999.
- [27] J.J.Zhou and D. J. Allstot, "Monolithic transformers and their application in a differential CMOS RF low-noise amplifier", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 33, no. 12,

- pp. 2020-2027, Dec. 1998.
- [28] B. Razavi, *RF Microelectronics*, Prentice Hall, Inc. 1998.
- [29] F. Svelto, S. Deantoni and R. Castello, "A 1.3 GHz low-phase noise fully tunable CMOS LC VCO", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 35, no. 3, pp. 356-361, Mar. 2000.
- [30] J. Craninckx, M. Steyaert, *Wireless CMOS Frequency Synthesizer Design*, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [31] H. O. Johansson, "A simple precharged CMOS phase frequency detector", *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 33, no. 2, pp. 295-299, Feb. 1998.
- [32] R. G. Meyer and R. A. Blauschild, "A 4-terminal wide-band monolithic amplifier, " *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. sc-16, pp.634-638, Dec. 1981.
- [33] C. D. Hull and G. B. Meyer, "Principles of monolithic wideband feedback amplifier design, " *Int. J. High Speed Electronics*, vol.3, pp.53-93, Feb.1992.
- [34] I. Kipnis, J. K. Kukiela, J. Wholey, and C. P. Snapp, "Silicon bipolar fixed and variable gain amplifier MMICs for microwave and lightwave applications up to 6 GHz, " *Microwave Symposium Digest, 1989, IEEE MTT-S International*, vol.1, pp.109-112, June. 1989.
- [35] K. W. Kobayashi and A. K. Oki, "A DC-10 GHz high gain-low noise GaAs HBT direct-coupled amplifier, " *IEEE Microwave and Guided Wave Lett.*, vol.5, pp.308-310, Sept. 1995.
- [36] K. W. Kobayashi, L. T. Tran, J. Cowls, T. R. Block, a. K. Oki , and D. C. Streit, "Low dc power high gain-bandwidth product InAlAs/InGaAs-InP HBT direct-coupled amplifiers, " proceeding of *IEEE GaAs IC Symp.*, pp.141-144, Nov. 1996.
- [37] T. Lester, M. Svilans, P. Maritan, and H. Postolek, "A manufacturable process for HBT circuits," *Inst. Phys. Conf. Ser.*, no.136, pp.449-451, 1993.
- [38] S. S. Lu and C. C. Huang, "High-current-gain $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}/\text{GaAs}$ heterojunction bipolar transistor grown by gas-source molecular beam epitaxy, " *IEEE Electronic Device Lett.*, Vol.13, pp.214-216, April 1992.
- [39] Y. S. Lin, T. P. Sun, and S. S. Lu, " $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}/\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{As}/\text{GaAs}$ pseudomorphic doped-channel FET with high-current density and high-breakdown voltage, " *IEEE Electronic Device Lett.*, Vol.18, pp.150-153, April 1997.
- [40] Y. S. Lin, S. S. Lu, and Y. J. Wang, "High-performance $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}/\text{GaAs}$ airbridge gate MISFETs grown by gas-source MBE," *IEEE Trans. on Electronic Device*, Vol.44, pp.921-929, June. 1997.
- [41] H. Willemsen and D. Nicholson, "GaAs ICs in commercial OC-192 equipment," proceeding of *IEEE GaAs IC Symp.*, Vol.1, pp10-13, Nov. 1996.
- [42] F.T. Chien and Y. J. Chan, "Bandwidth enhancement of transimpedance amplifier by a capacitive-peaking design, " *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol.34, pp.1167-1170, Aug. 1999.
- [43] A. S. Sedra and K. C. Smith, *Microelectronic Circuits*, 4th Edith, New York, Oxford University Press, Inc., 1998.
- [44] S. S. Lu, C. C. Meng, T. W. Chen, and H. C. Chen, "A novel interpretation of transistor

- S-parameters by poles and zeros for RF IC circuit design,” *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol.49, pp.406-409, Feb. 2001.
- [45] B. Pereiaslavets, K.H. Bachem, J. Braunstein, L. F. Eastman, “GaInP/InGaAs/GaAs graded barrier MODFET grown by OMVPE: design, fabrication, and device results,” *IEEE Transistors Electron Devices*, Vol.43-10, pp.1341-1348, 1996.
- [46] H.-M. Rein, “Si and SiGe bipolar Ics for 10 to 40 Gb/s optical-fiber TDM links,” in *High-Speed Circuits for Lightwave Communications*, K.-C. Wang, Ed. Singapore: World Scientific Publishing, 1999, p.368.
- [47] J. T. Wu, “A bipolar 1-GHz multi-decade monolithic variable-frequency oscillator,” in *ISSCC Dig. Tech. Papers*, Feb. 1990, pp. 106-107.
- [48] K. M. Ware, H. S. Lee, and C. G. Sodini, “A 200-MHz CMOS phase-locked loop with dual phase detectors,” *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 24, no. 6, pp. 1560-1568, Dec. 1989.
- [49] B. Parzen, *Design of Crystal and Other Harmonic Oscillators*, New York: Wiley, 1983.
- [50] N. M. Nguyen and R. G. Meyer, “A 1.8-GHz Monolithic LC Voltage-Controlled Oscillator,” *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 27, no. 3, pp. 444-450, Mar. 1992.
- [51] B. Razavi, “RF Microelectronics”, New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [52] Barrie Gilbert, “The MICROMIXER: A highly linear variant of the Gilbert mixer using a bisymmetric Class-AB input stage,” *IEEE Journal of Solid State Circuit*, Vol. 32, pp. 1412~1423, Sept. 1997.
- [53] Jeff Durec and Eric Main, “A linear class AB single-ended to differential transconverter suitable for RF circuits,” *IEEE MTT-S Digest*, pp. 1071~1074, 1996.
- [54] Leonard A. MacEachern and Tajinder Manku, “A charge-injection method for Gilbert cell biasing,” *Electrical and Computer Engineering*, 1998. *IEEE Canadian Conference*, pp. 365 ~ 368, May 1998.
- [55] C. C. Meng, J. W. Chen, C. H. Chang, L. P. Chen, H. Y. Lee and J. F. Kuan, “Using average RF gate and drain currents to determine gain compression mechanisms for narrow-recessed and wide-recessed MESFETs,” *European Gallium Arsenide and other semiconductors application symposium (GAAS 2000)*, p.338-341, Oct 2000
- [56] C. C. Meng, C. H. Chang, J. F. Kuan and G. W. Huang, “Direct Observation of Loadlines in MESFET by Using Average RF Gate and Drain Currents”, 2002 IEEE international microwave symposium MTT-S, pp.2161-2164
- [57] S.C. Cripps, *RF power amplifiers for wireless communications*, Boston, London: Artech House, 1999.



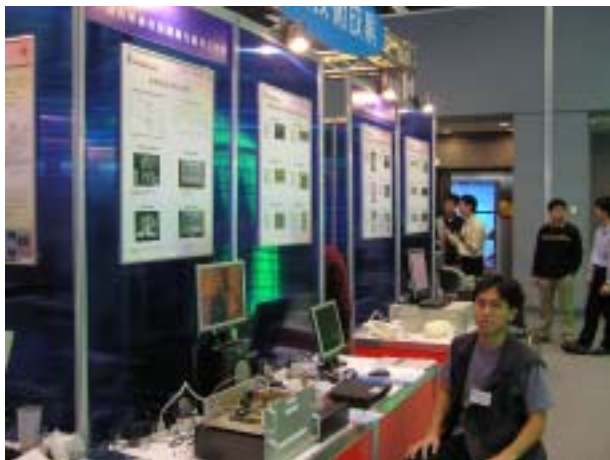
圖一，發射機模組照片



圖二，接收機模組照片



圖四，接收端照片



圖三，發射端照片