

國防科技學術合作協調小組研究計畫成果報告

微波及射頻電路模組研製

計畫編號：NSC 90-2623-7-009-008

執行期間：2001 年 01 月 01 日至 2001 年 12 月 31 日

需求單位計畫主持人：中科院系製中心一製組 陳志強技士

執行單位計畫主持人：國立交通大學電信系 莊晴光 教授

處理方式：可立即對外提供參考

一年後可對外提供參考

兩年後可對外提供參考

〈必要時，本會得延展發表時限〉

中華民國 90 年 12 月 31 日

壹、前言

本案自 87 年 7 月 1 日開始執行，即以 X 頻段微波射頻電路模組為研究目標。於八十九年度完成 X-Band 天線總成之研製及量測，符合需求規格；另有關微波射頻電路模組部份，亦完成系統電路架構之驗證及電路次總成之設計與其整合模擬。

由於實用之感測器須將“天線總成”與“微波射頻電路模組”緊密且有效的結合，才可獲致最適化(Optimum Design)的性能，此則有賴進一步的“縮裝技術”與有效的“能量轉換結構”(transition structure)才可達成！此項技術是本年度研發的關鍵要項。

在九十年上半年度完成縮小化X-Band天線總成之模擬、設計，符合需求規格；另有關縮小化X-Band”天線總成“與“微波射頻電路模組”緊密且有效結合之“縮裝能量轉換結構”(transition structure)亦完成評估，一併納入天線總成設計中！

後續在九十年下半年度完成有關縮小化 X-Band 天線總成(含縮裝能量轉換結構)、微波射頻前端電路模組之試製、量測及其整合驗證評估。

貳、本文

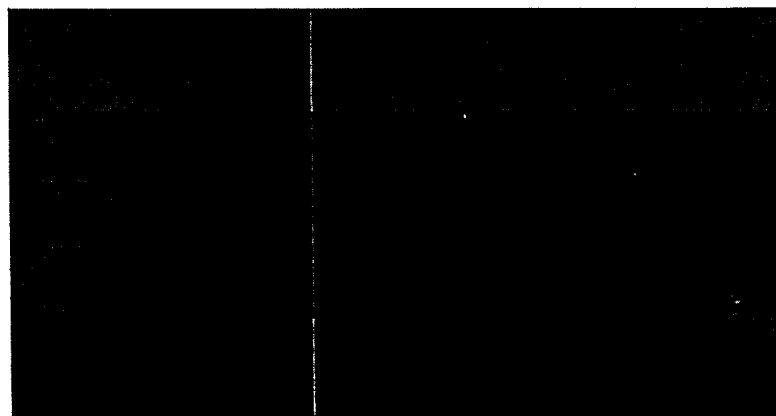
一、需求規格及電路架構說明：

(一) 有關 X - Band 天線的需求規格及選擇部份：

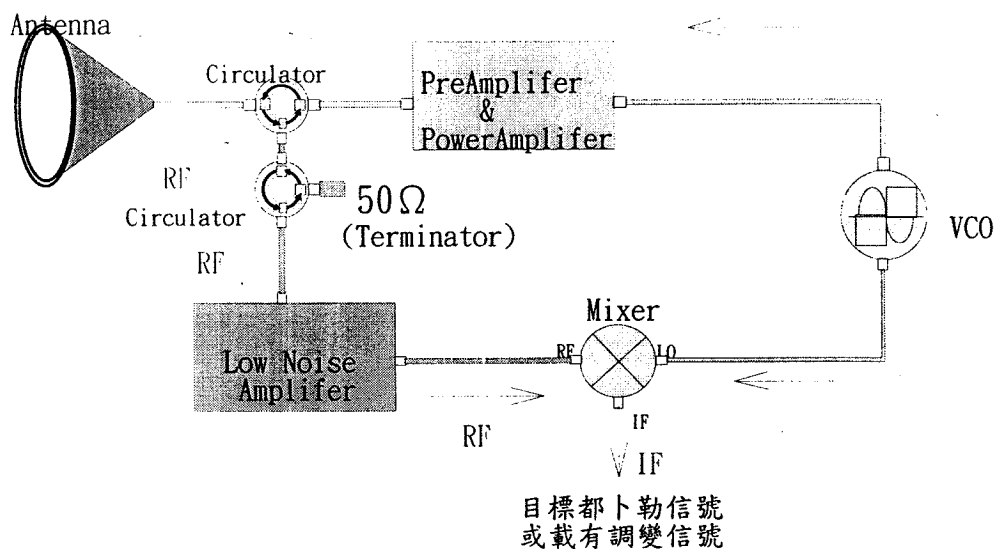
1. 操作頻率落於 X 頻段內：8 GHz ~ 12 GHz。
2. 天線設計在 3 公分直徑以內。
3. 輻射主波束調整在 30° ~ 70° 之間。
4. 莊晴光教授建議採用短洩漏模天線的設計方式來改善。相關參考文獻如下：

1.: J.-M. Lin, C.-K.C. Tzuang, G.-J.Chou and S. Su: 'Short leaky-wave antennas of sum and difference patterns'. IEE Electronics Letters., 4th July 1996 Vol.32 No.14 pp.1247-1249

5. 相關天線總成係由功率分配器, 180° 相位偏移器, 阻抗匹配器及短洩漏模天線幅射本體所構成。相關電路都可藉由平面式微帶 (Micro-strip) 結構來設計、完成, 達於輕、薄、短、小的目標, 如下圖示。



(二) 有關係統電路架構示意圖部份：



本系統係採用都卜勒雷達的測試架構，為精簡化的目的，先期設計僅選用振盪器(OSC)、3-dB 岔路器(Hybrid)、混波器(Mixer)及縮小型天線等。圖中 PA(Power Amplifier & Preamplifier) and LNA(Low Noise Amplifier)為降低成本，暫不予採用，並以 3-dB Hybrid 取代昂貴的迴旋器(Circulator)。

相關工作原理概述如下：由 OSC 振盪器輸出頻率 LO 微波信號，經 3-dB Hybrid 至縮小型天線，以特定的指向角幅射出去，當遭遇移動目標物時，其反射電磁波的頻率將產生都卜勒頻移(Doppler Shift: f_d)變成 $RF(=LO+f_d)$ ，相關能量由縮小型天線截收後，送至 Mixer 混波器

而解調出 IF (f_d)信號。

二、天線總成、能量轉換結構與電路模組(微帶線)之整合規劃與設計

- (一) 規劃多層結構(Multi-Layer)：至少兩種PCB板、三層線路圖案，須含括具有幅射功能的天線總成、以微帶線為設計基礎的各電路功能模組(OSC、Mixer、3dB-Hybrid)及共同參考地等。
- (二) 規劃能量轉換結構(Transition Structure)：可緊密且有效轉移“天線總成”及“微波電路模組微帶線”間能量的結構。
- (三) 設計三層線路板--頂層“天線總成線路”、底層“電路模組微帶線路”與中間層“共同參考地”，可作緊密的組合，達到面積及體積皆縮小化的目的。
- (四) 設計“能量轉換結構”(Transition Structure)--穿孔路由(Via-Hole)，不僅要考慮阻抗特性，亦須考慮幅射特性，須整體考量，才可獲致最理想的結果。

三、工作要項及執行成果

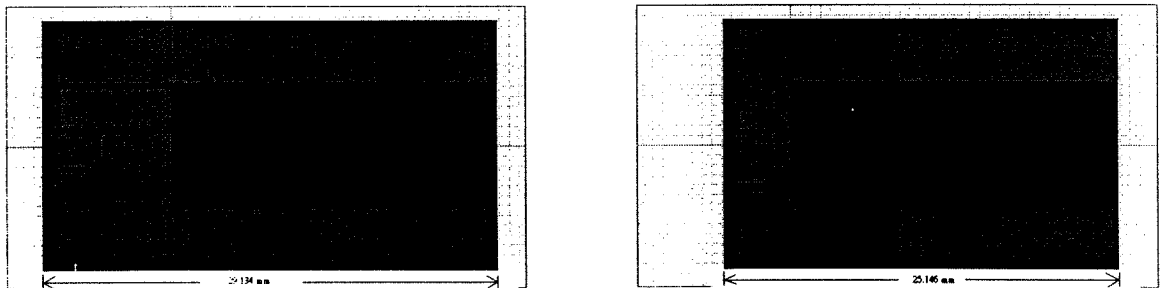
- (一) 天線總成縮小化的評估、設計。
- (二) 縮小化能量轉換結構的評估、設計。
- (三) 縮小化天線總成、能量轉換結構與微波射頻電路模組微帶線(75Ω)之整合性、最適化設計(optimum design)。
- (四) 縮小化X-Band天線總成、縮裝能量轉換結構及電路模組微帶線整合之多層板的試製、量測驗證。
- (五) 微波射頻電路模組之試製及其靜態模擬量測驗證。
- (六) 縮小化X-Band天線總成(含縮裝能量轉換結構)與微波射頻前端電路模組整合之靜態模擬量測驗證評估。

計分以下六大部份，內容說明如後。

(一) 天線總成縮小化的評估、設計

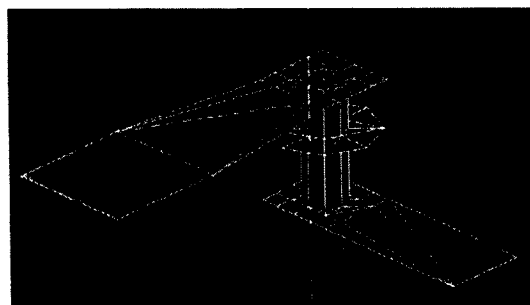
1. 為確保天線導波模的正常運作，降低天線幅射圖案的變異性，相關天線幅射本體(Radiator)之尺寸規格保持不變(W=8mm，L=20.8mm，...)。
2. 為達成更進一步的縮小化，擬採用慢波(Slow-Wave)結構，如城堡型傳輸線(Meander Line)，來設計取代原180°相位移器(Phase-Shifter)及阻抗匹配器(Impedance Matching Network)。
3. 天線總成縮小化執行成果部份：在需求規格要求

下，經過多次嘗試修改設計，獲致以下更縮小精簡化的天線結構(如下圖右示)，寬度不變下，長度至少縮短13.7%。



(二) 縮小化能量轉換結構的評估、設計

1. 為利於後續與其它電路模組縮裝整合，乃先行設計縮小精簡化能量轉換結構(Compact Transition Structure) -- not co-linear and difference reference impedance (50 ohm to 75 ohm) Via-Hole Transition Structure。
2. 縮小化能量轉換結構執行成果部份：經評估、設計結果，如下圖示，需求面積僅3mm×3mm，在選定的操作頻率(10.6 GHz)，且考量傳導、介質、幅射及轉換損耗條件下獲致 $|S_{11}|=-8.85$ dB， $|S_{21}|=-0.92$ dB and $RPA=(1-|S_{11}|^2-|S_{21}|^2) * 100\% = 6\%$ (included 2% conductor -dielectric loss)。(RPA：relative power absorbed)



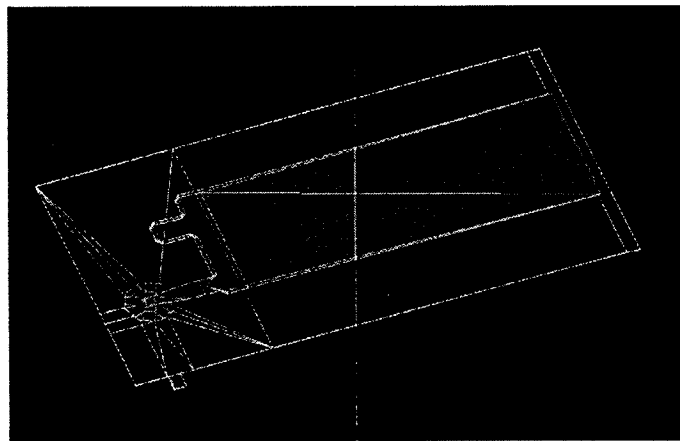
(三) 天線總成、能量轉換結構與電路模組微帶線之整合性、最適化設計

1. 設計三層線路板—頂層“天線總成線路”、底層“電路模組微帶線路”與中間層“共同參考地”，可作緊密的組合。
2. 然頂層“天線總成線路”與底層“電路模組微帶線路”間，能量有效傳遞之關鍵在“能量轉換結構”(Transition Structure)之設計，在此不僅要考慮阻抗特性，亦須考慮幅射特性，須整體考量，才可獲致最理想的結果。
3. 整合性、最適化設計部份：亦即將上述之縮小化天線總成、能量轉換結構與微波射頻電路模組微帶線結合在一起，作整體的考量、設計，不僅要考慮阻抗特性 ($|S_{11}|$ & Frequency)，亦須考慮幅射特性 (Radiation pattern & Frequency)，皆需滿足規格需求，以獲致最理想的結果。
4. 結合設計時發生的現象：同時滿足兩者需求之頻寬過窄 ($f_0=10.6\text{GHz}$ ， $BW\sim 150\text{MHz}$)，特別是頻寬外的操作頻率，易發生多重波柱 (Multi-Beam) 且較大的傾斜背向波柱 (Tilted Back-lobe)。
5. 經以電磁場論三維 (3D) 積分方程，來求解並觀察各層電流分佈情形，
 - (1) 觀察後判斷可能原因為：參考接地平面層感應電流大且複雜，主要分佈於天線幅射體開路端 (Open End) 下及穿孔路由 (Via-Hole) 的週圍！
 - (2) 採取的對策如下：原切齊之“天線幅射體開路端”與“參考接地平面層右邊緣”，錯開距離 0.762mm ；此外

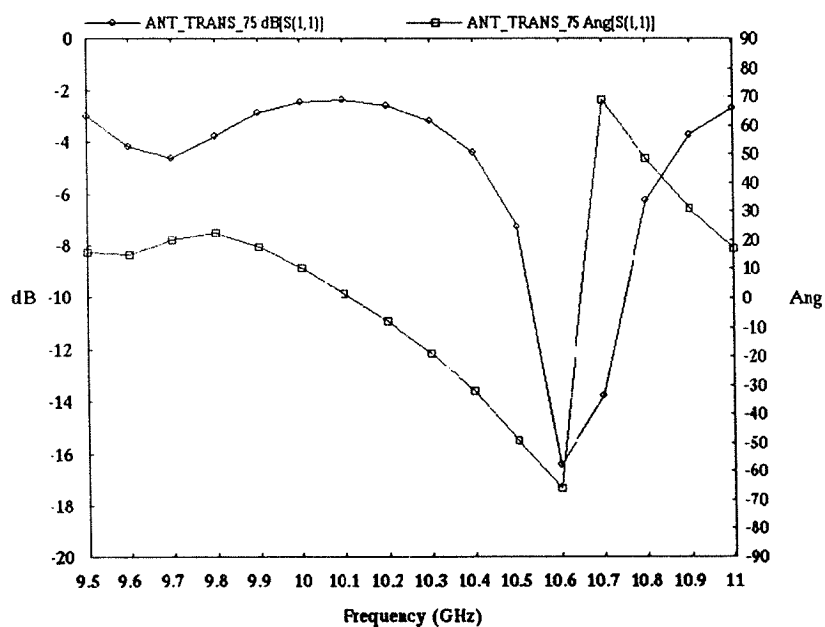
於“穿孔路由”週圍設計電氣隔離牆(Electrical Shielding Wall)，以降低電磁耦合干擾，純化電磁能量轉換的模式！

6. 整合性、最適化設計執行成果部份：

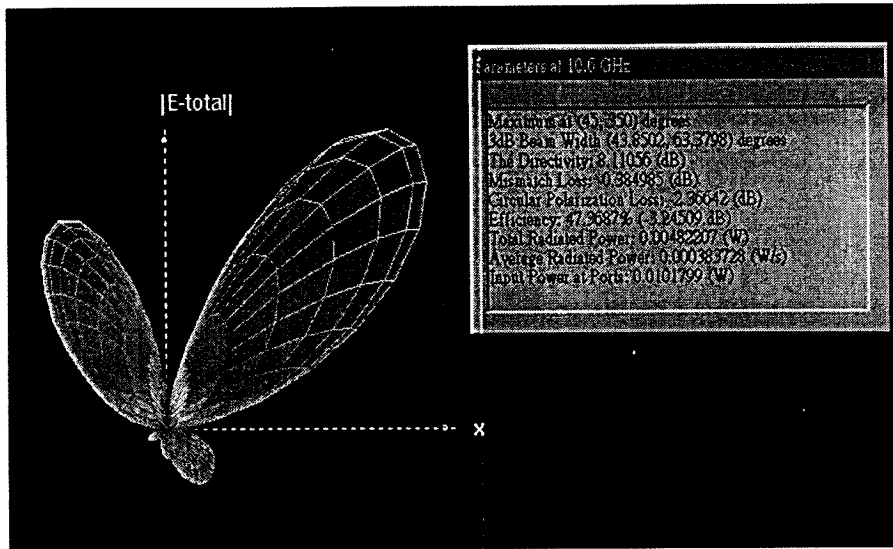
(1) 相關設計結構如下圖所示，需求面積僅 $29.72\text{mm} \times 16\text{mm}$ 。



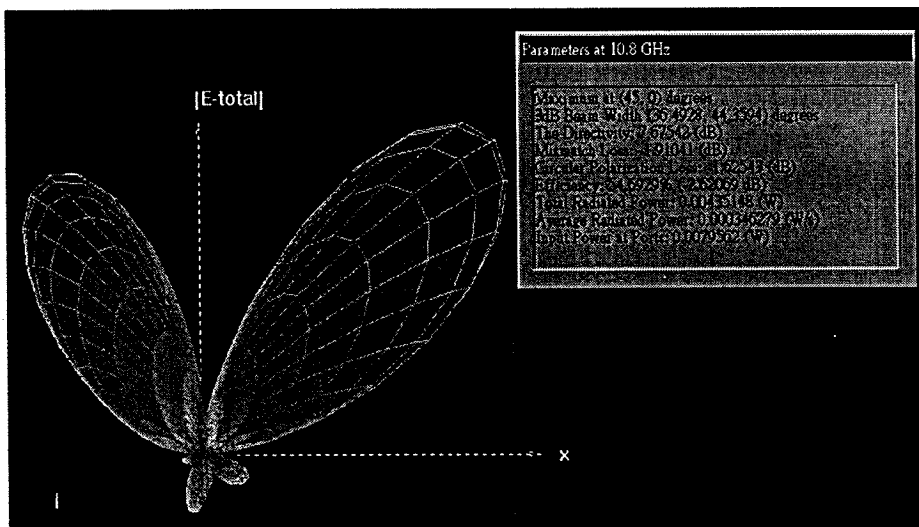
(2) 相關電路輸入阻抗特性：輸入端的反射損耗 $|S_{11}|(\text{dB})$ 及相位 $\angle S_{11}(\text{Deg.})$ ，如下圖示



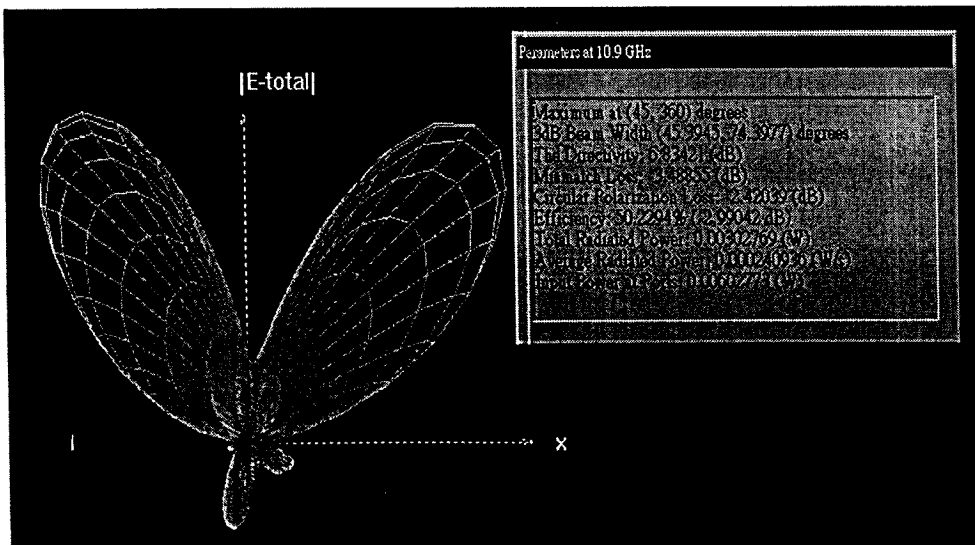
(3) 相關電路的幅射特性 at $f_0=10.6\text{GHz}$: 如下圖示 ,



● 幅射特性 at $f_0=10.8\text{GHz}$: 如下圖示 ,



● 幅射特性 at $f_0=10.9\text{GHz}$: 如下圖示 ,

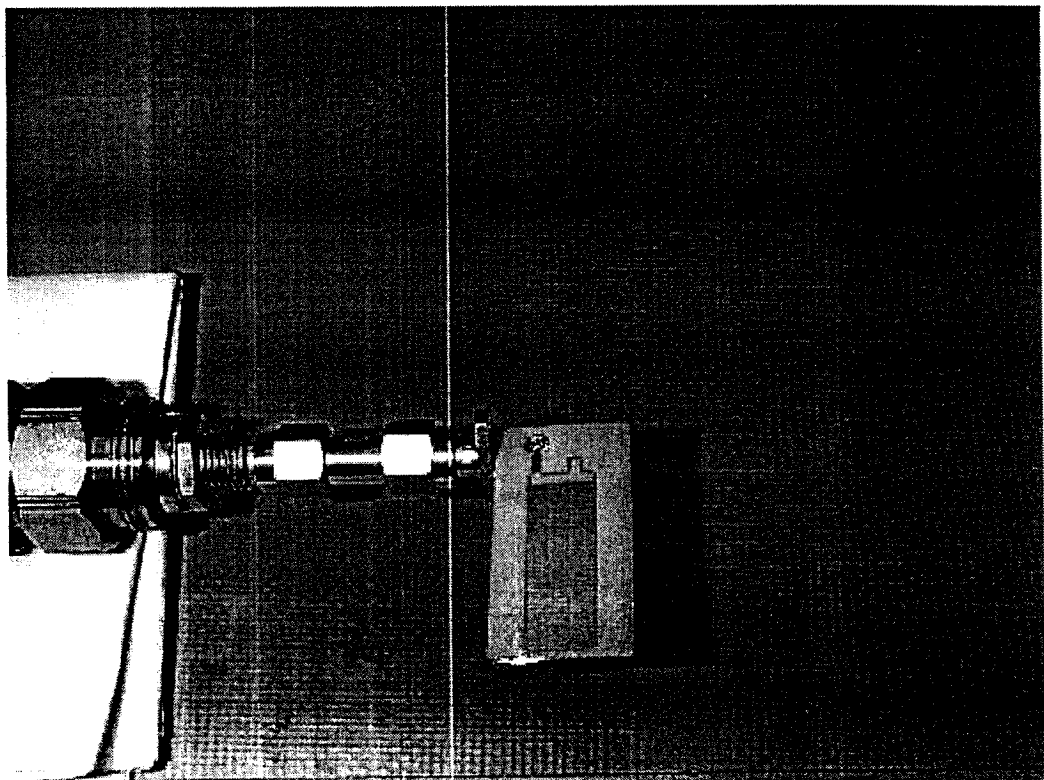


7. 模擬結果：

- (1) 由整合性、最適化設計結構之輸入阻抗特性及幅射特性分析結果得知，相關的對策確實降低了電磁耦合干擾及傾斜背向波柱(Tilted Back-lobe)功率位準。
- (2) 由分析結果得知，在滿足各項需求規格條件下，具有至少 300MHz 頻寬 (at $f_0=10.6\text{GHz}\sim 10.9\text{GHz}$ ， $|S_{11}|<-4\text{dB}$ ，主波柱傾斜角 $=45^\circ$)。

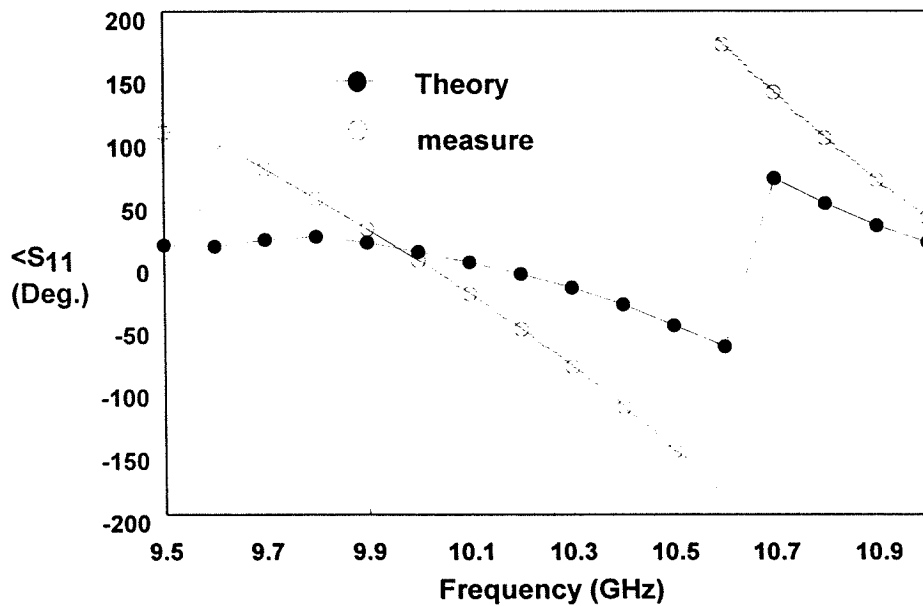
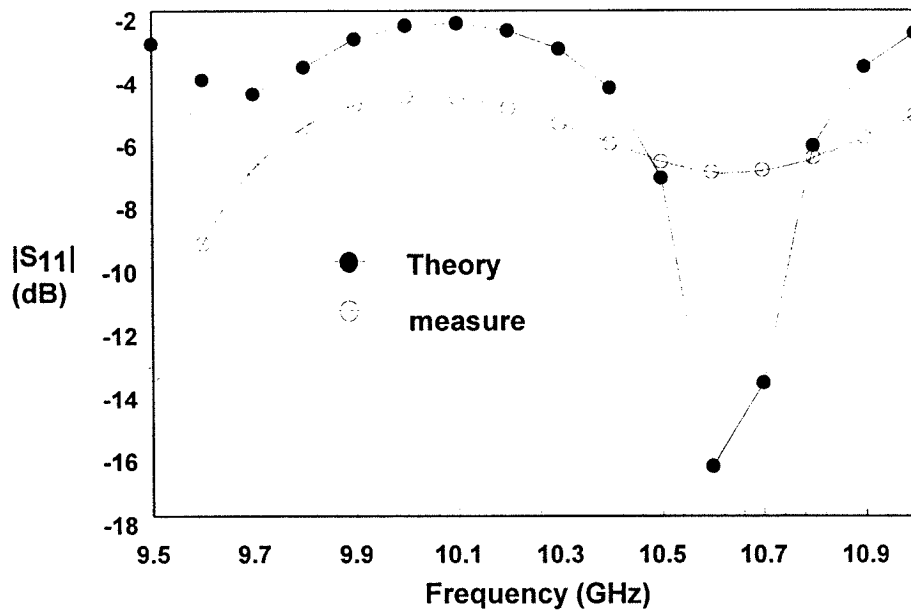
(四) 縮小化X-Band天線總成、縮裝能量轉換結構及電路模組微帶線整合之多層板的試製、量測驗證

1. 為了量測的目的，微波射頻前端模組之微帶饋入線特性阻抗設計成50ohm。另電氣遮蔽牆(Electrical Shielding Walls)改以穿孔短路銀線焊接取代，製作完成之實體，如下圖所示。

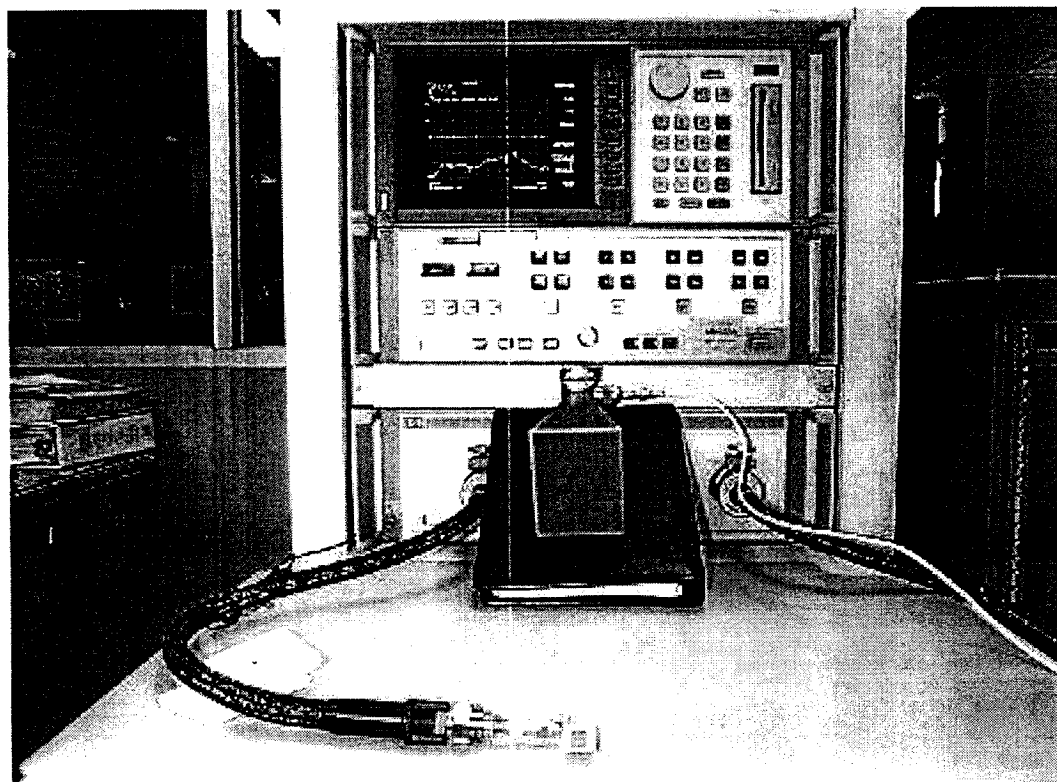


2. 網路S參數量測部份，係採用HP8510C網路分析儀及3.5mm SMA S_{11} one-port單埠校準的方式。

3. S參數量測結果：有關網路S參數(振幅 $|S_{11}|$ (dB)及相位 $\angle S_{11}$ (Deg.))量測結果與理論模擬分析比較如下二圖所示，結果顯示趨勢吻合。

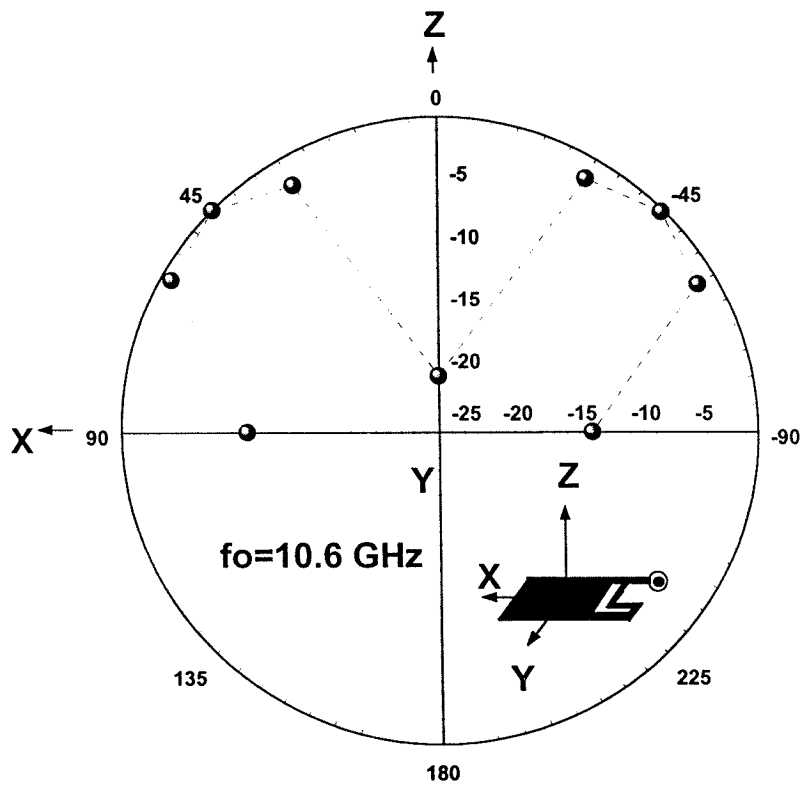
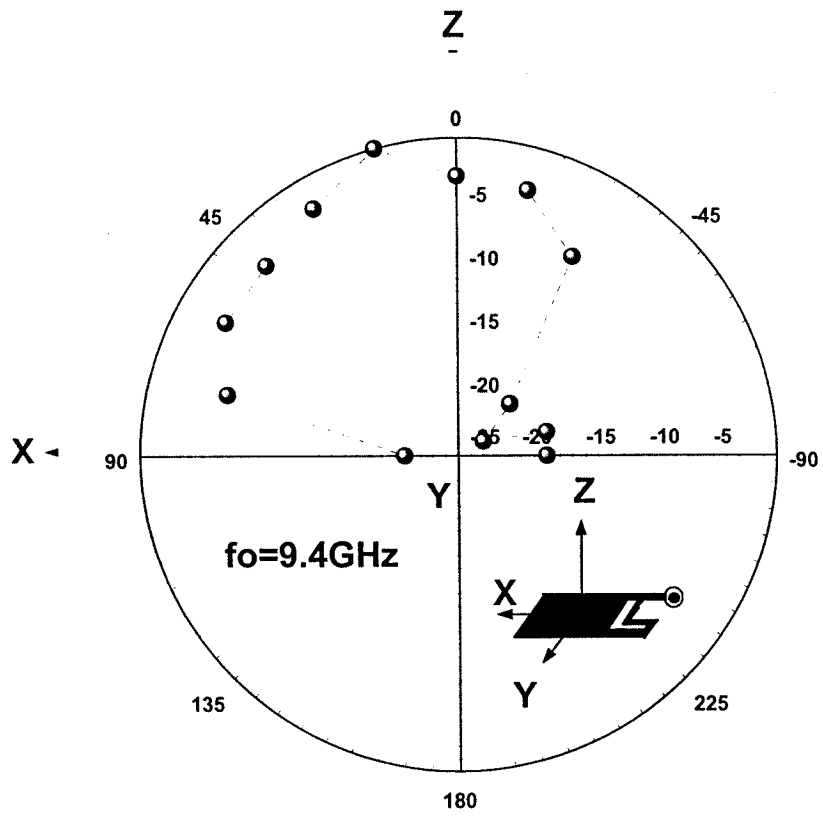


4. 有關天線幅射特性量測部份，相關幅射主波柱指向角及幅射圖案的初估量測架構圖，如下圖所示。



此測試架構係利用無線通信電磁波傳播的原理，並利用HP8510C網路分析儀充當微波收發機，配合量測 S_{21} 性能，就可發展來作為待測X-band縮小型天線(DUT)場型初估量測的運用。

5. 相關天線總成幅射圖案初估量測的結果，如下圖所示。



6. 量測結果：

- (1) 由此縮小化X頻天線總成結構之輸入阻抗特性及幅射特性量測結果得知，在滿足各項需求規格條件下，具有至少 300MHz 頻寬 (at $f_0 = 10.6\text{GHz} \sim 10.9\text{GHz}$ ， $|S_{11}| < -6\text{dB}$ ，主波柱傾斜角 $\sim 45^\circ$)。
- (2) 另操作頻率在 $f_0 = 9.4\text{GHz}$ 附近，亦可獲致 $|S_{11}| \sim -16\text{dB}$ ，且主波柱傾斜角 $\sim 15^\circ$ 的阻抗及幅射特性，應可作為其它類型電子引信的應用。
- (3) 有關天線幅射特性量測部份，若能配合固定夾持對正(Alignment)及精密地轉動測試治具，應可進一步改善量測品質。

(五)微波射頻電路模組之試製及量測驗證部份

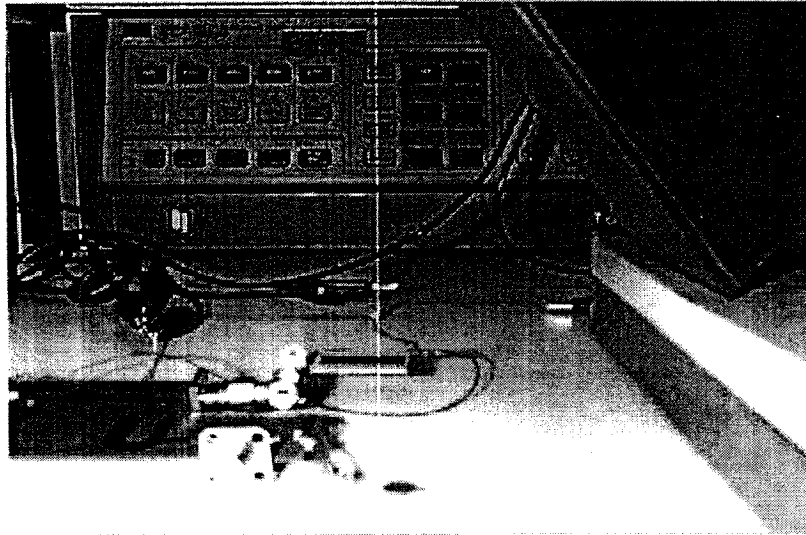
1. 天線總成部份，須先以模擬物件取代之，其功能須具有時間延遲、能量衰減及描述都卜勒頻移(Doppler frequency-shift)的效果。
2. 執行總成測試前，請先確定各次總成電路模組功能正常，如：天線總成模擬物件、3-dB 枝幹耦合器(Branch Coupler)、混波器(Mixer)及振盪器(OSC) / 壓控振盪器(VCO)等，再逐一整合測試，以利發現及區隔問題。
3. 現階段已完成天線總成模擬物件、3-dB 枝幹耦合器(Branch Coupler)、混波器(Mixer)及振盪器(OSC)總成電路模組之試製件兩片，量測驗證結果如下：
 - (1) 次總成模組部份：振盪器(OSC) 可以振盪輸出，但振盪頻率與設計需求相差甚大，且具有近5~10MHz的漂移量，原設計需求10.6 GHz~10.9 GHz，量測結果卻下降至9.0~9.1 GHz；
 - (2) 另混波器(Mixer)最佳操作頻率亦有很大的偏移，其它模組則功能正常；總成電路模組部份，先隔離(切去)振盪器(OSC)電路部份，改以綜頻信號產生器取代之，以執行總成模組功能測試(Tx：載波 $Lo \rightarrow$ 都卜勒頻移調變 $RF=Lo+fd \rightarrow Rx$ ：RF \rightarrow 混波解調 \rightarrow 都卜勒頻移信號 fd)結果正常；

4. 微波射頻電路模組靜態模擬量測結果之檢討

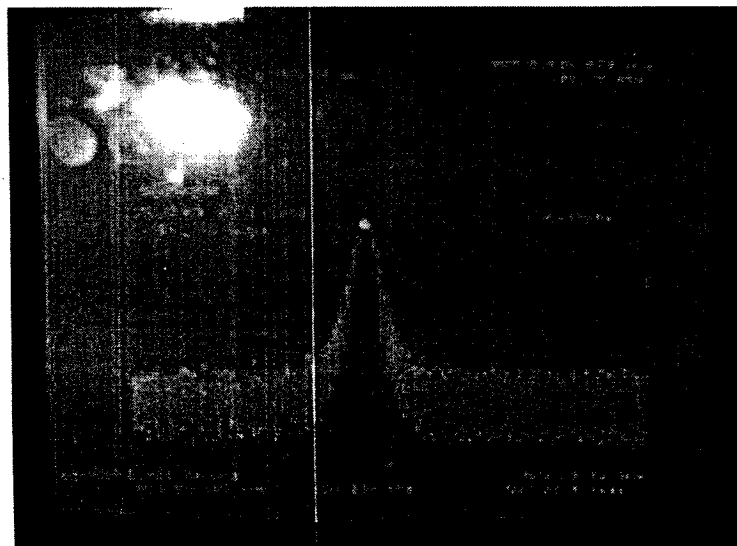
- (1) 振盪器(OSC) 振盪頻率與設計需求相差甚大，且具有近5~10MHz的漂移量及混波器(Mixer)最佳操作頻率亦產生很大偏移的原因，分析如下：
- 振盪或操作頻率偏差甚大部份：除了製作尺寸、加工誤差外，最主要應為代用之微波晶體(NE32584)與原設計模擬之元件(NE42484)等效模型差異較大所致。
 - 另振盪漂移較大部份：最主要則應係受系統相位雜訊干擾所致。
 - 相關結果，亦將影響後續微波射頻電路模組與縮小化X-band天線總成整合靜態模擬量測的結果。

(六) 縮小化X-Band天線總成(含縮裝能量轉換結構)與微波射頻前端電路模組整合之靜態模擬量測驗證評估

1. 靜態量測架構部份：下圖將顯示天線總成與微波射頻前端電路模組整合之振盪頻率及天線幅射的一種靜態量測架構。



2. 量測結果部份：由 HP8566B 頻譜分析儀量測結果，如下圖，顯示其振盪的頻率，約在9.01~9.11GHz範圍內。



3. 整合靜態模擬量測結果之檢討及未來努力方向

- (1)在各模組(OSC, Mixer)與天線總成間操作頻率相差甚大的現況下，再加上振盪頻率不夠穩(最少有5~10 MHz的漂移量)、有著較大的相位雜訊(約-105 dBc/Hz)且模組整體輸出功率過低(天線輸入端僅約-27dBm)，造成後續模擬量測回波射頻(RF=LO+IF)功率及本地(LO)饋入功率皆過低，無法滿足射頻前端電路混波器解調驅動所需的功率值，是造成整合失效的主要原因。
- (2)針對微波射頻混波器(Mixer)單一模組的設計及性能規格量測分析，相關的作業及經驗仍嫌不足，導致在模擬系統分析失效時，對問題點無法有效掌握及確認。
- (3)另穩定的微波射頻振盪源(OSC)之研究，亦是我們必須去面對的，相關的課題包括穩定的直流(DC)電壓源、高品質因子(Quality Factor)的諧振器及金屬封裝設計等。
- (4)依此次整合模擬量測的經驗，原微波射頻電路模組的電路架構應重新檢討修訂，如 OSC之輸出端應植入功率放大器(PA)、帶通濾波器(BPF)的設計，另解調 Mixer輸出端亦應加入低通濾波器(LPF)，以抑制諧波及雜波效應。
- (5)此外，有關現行微波射頻電路模組之需求總面積=80mm *50mm：其中 OSC(=44mm*40mm)、3-dB Branch Coupler (=14mm*15mm)、Mixer (= 40mm * 23mm)，未來仍須執行縮小化設計，可嘗試最新型縮裝電路設計，並配合MIC製程及先進的包裝技術或更

新的電路設計架構，應能達於量產實用規格要求，同時在量大時，達於降低生產成本的目標。

- (6) 未來為達成產品實用規格及降低生產成本的目標，縮小化設計、製造及量測技術之研究，亦是我們未來需努力的方向。

參、結論

- 一、振盪器(OSC)、混波器(Mixer)之振盪、操作頻率偏差甚大部份：除了製作尺寸、加工誤差外，最主要應為代用之微波晶體等效模型參數誤差較大所致，因而針對微波晶體S參數量測及大信號模型等效參數萃取的技術，是我們必須要努力學習的。
- 二、有關振盪器(OSC)頻率漂移現象，對此應用架構的調變、解調作業，應不致產生太大影響，惟輸出功率過低，致混波器(Mixer)無法驅動、正常工作，是整合功能測試失效的主要原因之一，可考量植入功率放大器於OSC輸出端，如此可提高輸出功率、提高隔離度、降低OSC的負載效應，穩定振盪頻率。
- 三、此外模組性能之硬體調整(tuning)技術、OSC之封裝設計及未來產品應用的縮小化設計，亦是我們必須要面對及處理的。
- 四、針對未來都卜勒產品的應用，諸如倒車、防撞雷達等，若能整合後級信號處理段的積體化(ASIC)，應有不錯的發展空間。
- 五、有關縮小型X頻電路設計、製造及量測技術，仍應持續累積、精進，並以『產品』為導向去開發、研究及應用。