

國 立 交 通 大 學

電信工程學系碩士班

碩士論文

全球定位系統圓極化微帶天線設計



Design of the Circularly Polarized Microstrip Antennas for  
Global Positioning System

研究生：蔡林翰

( Lin-Han Tsai )

指導教授：林育德 博士

( Dr. Yu-De Lin )

中 華 民 國 九 十 五 年 八 月

# 全球定位系統圓極化微帶天線設計

## Design of the Circularly Polarized Microstrip Antennas for Global Positioning System

研究生：蔡林翰

Student : Lin-Han Tsai

指導教授：林育德博士

Advisor : Dr. Yu-De Lin



A Thesis

Submitted to Department of Communication Engineering  
College of Electrical Engineering and Computer Science

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of  
Master of Science

In

Communication Engineering

August 2006

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十五年八月

# 全球定位系統圓極化微帶天線設計

研究生：蔡林翰

指導教授：林育德 博士

國立交通大學 電信工程學系

## 摘要

基於現階段全球定位系統整合於消費性電子產品大增，對於消費性電子產品而言，產品體積的輕、薄、短、小為一重要因素。因此如何將全球定位系統應用於電子產品上，同時可以兼顧到電子產品體積的縮小化，變為一個重要課題。

所以在本論文中即著重於此，設計一適用於全球定位系統的天線，要使其符合具有右圓極化的輻射場型，並且能將其體積盡量的縮小。因此本論文將利用微帶天線來產生圓極化的輻射場型，同時也使用高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 的陶瓷材料做為基板，以達到縮小體積的需求。

本論文是使用美商 Ansoft 公司所出版的 HFSS (High Frequency Structure Simulator) 來模擬與設計各種天線架構。

# Design of the Circularly Polarized Microstrip Antennas for Global Positioning System

Student : Lin-Han Tsai

Advisor : Dr. Yu-De Lin

Department of Communication Engineering  
National Chiao Tung University



## Abstract

The number of consumer electronic products integrated with Global Positioning System (GPS) is largely increasing. The size of product has become an important factor, especially for consumer electronics. It was an significant issue about the GPS integration and the size minimizations.

This thesis is focusing on the minimization of GPS antennas, which have right-handed circular polarization for GPS. We use microstrip patch antennas to implement, with a high-permittivity ( $\epsilon_r = 37$ ) ceramic material.

In this thesis, Ansoft HFSS is used to simulate and design every kind of antenna structure.

## 謝誌

這本論文能夠順利的完成，首先我要感謝我的指導教授 林育德博士，在我這兩年的研究生求學過程中，給我正確的研究方法與學習態度，並且在專業領域上提供給我許多的指導。

另外我要感謝洪萬鑄學長，雖然已經畢業並且在國立彰化師範大學任職，可是在這一年中，每星期不辭辛勞的往返新竹、彰化。在我研究遇到困難時，提供很多想法讓我去思考、去嘗試。因此在這裡我要特別的謝謝洪萬鑄博士。

當然，不可以遺漏的，我還要謝謝實驗室裡的同學，博士班的林烈全，碩二的李沈鵬、盧約廷、薛向均、何宗遠。讓我在唸碩士班的兩年中充滿了許多回憶，在這兩年的研究生活中，彼此鼓勵、打氣，同時分享日常生活中的點點滴滴。還要謝謝碩一的學弟們，彭士彥、郭宏德、曾智聰、呂旻翰，雖然只相處了短短的一年，可是也帶給了我不少愉快的回憶，真的很謝謝實驗室的大家。

最後我要感謝我的家人，辛辛苦苦的栽培我，讓我專心於學習上，無後顧之憂，同時在我過去這二十多年來，不時地給予鼓勵與打氣，才讓我有這一點點的小成就，真的很謝謝我的家人，你們辛苦了。也很感激我的女朋友雅君這六年多來的陪伴，讓我在求學的路上有個知心的好伴侶，過去如此，現在依然，未來不變。也很謝謝雅君家人的支持，常常鼓勵我、關心我，在我遇到挫折時，依然支持著我，真的很謝謝大家的陪伴與支持。

# 目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
謝誌.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	IX
第一章 導論.....	1
1.1 工程背景與動機.....	1
1.2 章節內容簡介.....	2
第二章 圓極化微帶天線設計原理.....	3
2.1 微帶天線.....	3
2.1.1 設計考量.....	3
2.1.2 探針饋入.....	3
2.2 雙饋入圓極化微帶天線.....	5
2.3 單饋入圓極化微帶天線.....	5
2.4 圓極化天線增益.....	7
第三章 全球定位系統圓極化微帶天線設計.....	8
3.1 矩形單饋入圓極化微帶天線.....	8
3.1.1 基板為 FR4 之矩形單饋入圓極化微帶天線.....	10
3.1.2 基板為高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 之陶瓷材料.....	15
3.2 圓形單饋入圓極化微帶天線.....	17
3.2.1 基板為 FR4 之圓形單饋入圓極化微帶天線.....	18
3.2.2 基板為高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 之陶瓷材料.....	23
3.3 環形單饋入圓極化微帶天線.....	25

3.3.1	基板為 FR4 之環形單饋入圓極化微帶天線.....	26
3.3.2	基板為高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 之陶瓷材料.....	31
第四章	結論.....	32
4.1	微帶天線基板使用 FR4 與陶瓷材料的比較.....	35
4.2	結論.....	36
	參考文獻.....	37



## 圖目錄

圖 2-1、同軸探針饋入微帶天線說明.....	4
(a) 結構圖.....	4
(b) 等效電路圖.....	4
圖 2-2、在微帶天線上不同位置以探針饋入對天線輸入阻抗的比較.....	4
(a) 微帶天線在不同位置饋入.....	4
(b) 天線阻抗變化情形.....	4
圖 2-3、雙饋入圓極化微帶天線激發方式.....	5
(a) 方形微帶天線.....	5
(b) 圓形微帶天線.....	5
圖 2-4、常見單饋入圓極化天線.....	6
(a) 矩形.....	6
(b) 正方形.....	6
(c) 圓形.....	6
圖 2-5、單饋入圓極化天線兩正交模態的振幅與相位隨頻率變化情形.....	6
圖 2-6、圓極化天線輻射場型說明.....	7
圖 3-1、單饋入矩形微帶天線示意圖.....	9
(a) 一般的微帶天線.....	9
(b) 單饋入矩形圓極化微帶天線.....	9
圖 3-2、饋入點位置與左右圓極化的關係圖.....	9
(a) 右圓極化.....	9
(b) 左圓極化.....	9
圖 3-3、矩形單饋入圓極化微帶天線結構圖與各項參數.....	10
圖 3-4、基板為 FR4 之矩形微帶天線實作圖.....	11
(a) 正面俯視圖.....	11
(b) 背面俯視圖.....	11
圖 3-5、基板為 FR4 之矩形微帶天線的 S 參數模擬與量測比較圖.....	11
圖 3-6、基板為 FR4 之矩形微帶天線的 Smith Chart 模擬與量測比較圖.....	12
圖 3-7、基板為 FR4 之矩形微帶天線的軸比模擬與量測比較圖.....	12
圖 3-8、基板為 FR4 之矩形微帶天線的場型 (pattern) 模擬圖.....	13
圖 3-9、基板為 FR4 之矩形微帶天線的場型 (pattern) 量測圖.....	13
圖 3-10、YZ 切面輻射場型量測圖.....	14
(a) 1570MHz.....	14
(b) 1585MHz.....	14
(c) 1595MHz.....	14

(d)1605MHz.....	14
圖 3-11、XZ 切面輻射場型量測圖.....	14
(a)1570MHz.....	14
(b)1585MHz.....	14
(c)1595MHz.....	14
(d)1605MHz.....	14
圖 3-12、基板為陶瓷材料之矩形微帶天線的 S 參數模擬圖.....	15
圖 3-13、基板為陶瓷材料之矩形微帶天線的 Smith Chart 模擬圖.....	16
圖 3-14、基板為陶瓷材料之矩形微帶天線的軸比模擬圖.....	16
圖 3-15、基板為陶瓷材料之矩形微帶天線的場型 (pattern) 模擬圖.....	17
圖 3-16、圓形單饋入圓極化微帶天線分類圖.....	17
(a) Type 1.....	17
(b) Type 2.....	17
圖 3-17、圓形單饋入圓極化微帶天線結構圖與各項參數.....	18
圖 3-18、基板為 FR4 之圓形微帶天線實作圖.....	19
(a) 正面俯視圖.....	19
(b) 背面俯視圖.....	19
圖 3-19、基板為 FR4 之圓形微帶天線的 S 參數模擬與量測比較圖.....	19
圖 3-20、基板為 FR4 之圓形微帶天線的 Smith Chart 模擬與量測比較圖.....	20
圖 3-21、基板為 FR4 之圓形微帶天線的軸比模擬與量測比較圖.....	20
圖 3-22、基板為 FR4 之圓形微帶天線的場型 (pattern) 模擬圖.....	21
圖 3-23、基板為 FR4 之圓形微帶天線的場型 (pattern) 量測圖.....	21
圖 3-24、YZ 切面輻射場型量測圖.....	22
(a)1530MHz.....	22
(b)1550MHz.....	22
(c)1570MHz.....	22
(d)1590MHz.....	22
圖 3-25、XZ 切面輻射場型量測圖.....	22
(a)1530MHz.....	22
(b)1550MHz.....	22
(c)1570MHz.....	22
(d)1590MHz.....	22
圖 3-26、基板為陶瓷材料之圓形微帶天線的 S 參數模擬圖.....	23
圖 3-27、基板為陶瓷材料之圓形微帶天線的 Smith Chart 模擬圖.....	24
圖 3-28、基板為陶瓷材料之圓形微帶天線的軸比模擬圖.....	24
圖 3-29、基板為陶瓷材料之圓形微帶天線的場型 (pattern) 模擬圖.....	25
圖 3-30、利用環形微帶天線產生圓極化輻射場型.....	26
圖 3-31、環形單饋入圓極化微帶天線結構圖與各項參數.....	26

圖 3-32、基板為 FR4 之環形微帶天線實作圖.....	27
(a) 正面俯視圖.....	27
(b) 背面俯視圖.....	27
圖 3-33、基板為 FR4 之環形微帶天線的 S 參數模擬與量測比較圖.....	28
圖 3-34、基板為 FR4 之環形微帶天線的 Smith Chart 模擬與量測比較圖.....	28
圖 3-35、基板為 FR4 之圓形微帶天線的軸比模擬與量測比較圖.....	29
圖 3-36、基板為 FR4 之環形微帶天線的場型 (pattern) 模擬圖.....	29
圖 3-37、基板為 FR4 之環形微帶天線的場型 (pattern) 量測圖.....	30
圖 3-38、YZ 切面輻射場型量測圖.....	30
(a) 1540MHz.....	30
(b) 1560MHz.....	30
(c) 1580MHz.....	30
(d) 1600MHz.....	30
圖 3-39、XZ 切面輻射場型量測圖.....	31
(a) 1540MHz.....	31
(b) 1560MHz.....	31
(c) 1580MHz.....	31
(d) 1600MHz.....	31
圖 3-40、陶瓷材料環形單饋入圓極化微帶天線結構圖與各項參數.....	32
圖 3-41、基板為陶瓷材料之環形微帶天線的 S 參數模擬圖.....	33
圖 3-42、基板為陶瓷材料之環形微帶天線的 Smith Chart 模擬圖.....	33
圖 3-43、基板為陶瓷材料之環形微帶天線的軸比模擬圖.....	34
圖 3-44、基板為陶瓷材料之環形微帶天線的場型 (pattern) 模擬圖.....	34

## 表目錄

表 3-1、基板為 FR4 所設計之矩形單饋入圓極化微帶天線的參數值.....	10
表 3-2、基板為陶瓷材料所設計之矩形單饋入圓極化微帶天線的參數值.....	15
表 3-3、基板為 FR4 所設計之圓形單饋入圓極化微帶天線的參數值.....	18
表 3-4、基板為陶瓷材料所設計之圓形單饋入圓極化微帶天線的參數值.....	23
表 3-5、基板為 FR4 所設計之矩形單饋入圓極化微帶天線的參數值.....	27
表 3-6、基板為陶瓷材料所設計之環形單饋入圓極化微帶天線的參數值.....	32
表 4-1、矩形微帶天線使用 FR4 與陶瓷材料當基板時的比較.....	35
表 4-2、圓形微帶天線使用 FR4 與陶瓷材料當基板時的比較.....	35
表 4-3、環形微帶天線使用 FR4 與陶瓷材料當基板時的比較.....	35



# 第一章 導論

## (Introduction)

### 1.1 工程背景與動機

全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 原先是由美國軍方發展出來的，美國國防部於 1973 年開始這項計畫，1978 年起開始向太空發射定位衛星，整套系統歷時二十年，於 1993 年建置完成。GPS 的開發最初是為了如洲際飛彈的導引等用途而發展的。在美蘇雙方停止冷戰、結束敵對狀態後，美國政府便開放免費供民間使用，提供了全世界人類在交通、航海及航空等領域上許多更方便的應用。

GPS 的應用範圍很廣泛，舉凡一般測量工程、測量規劃、數值製圖、車輛導航與派遣、資源調查等等…，都是 GPS 的相關應用。結合全球定位系統 (GPS)、個人數位助理 (Personal Digital Assistant, PDA)、地理資訊系統 (Geographic Information System, GIS) 及軟體開發程式 (ArcPad Software) 來進行各項技術之研發及應用。例如將 GPS 定位系統功能加入或是融入通信手機之中，提高通信手機應用功能，使通信手機也具有定位功能。又例如應用現有地理資料庫結合先進地理資訊科技進行圖籍、資料之更新、整合、查詢等功能，及應用 GIS、GPS 及 PDA 建立巡護查報管理系統，達到地理資訊空間圖形與屬性資料之管理，提升管理成效及維護之目的。

由於 GPS 系統屬於衛星通訊上的應用，因此使用於 GPS 系統的天線必須為圓極化天線。這個原因有兩點，其中之一在於因為圓極化天線具有一般線性極化天線的優點，並且對於電磁波的傳遞與接收的要求上比較沒有限制。例如以線性極化天線作為說明，如果入射波的極化方向與接收天線的極化方向互相垂直，則會產生訊號無法被接收的情形。另一個原因則在於線性極化波在穿透大氣電離層時會因為法拉第旋轉效應而造成極化方向的改變。基於上述的兩個理由，應用於衛星通訊的 GPS 系統天線必須為右圓極化天線。

同時基於現階段 GPS 系統整合於消費性電子產品大增，對於消費性電子產品而言，產品體積的輕、薄、短、小為一重要因素。因此如何將 GPS 系統應用於電子產品上，同時可以兼顧到電子產品體積的縮小化，變成為一個重要課題。所以在本論文中即著重於此，設計一適用於 GPS 系統的天線，同時將其體積儘可能的縮小。

## 1.2 章節內容簡介

本論文共分為四章，第二章先簡單的說明圓極化微帶天線的原理與設計考量。第三章則介紹全球定位系統圓極化微帶天線設計流程與模擬結果。第四章則對此 GPS 天線在設計化遇到的困難以及未來可以改善的方向與方法做個總結。



## 第二章 圓極化微帶天線設計原理 (Design Theory of Circularly Polarized Microstrip Antennas)

### 2.1 微帶天線

#### 2.1.1 設計考量

一般來說，微帶天線屬於共振形式 (resonator-type) 的天線，因此天線的大小與操作頻率所對應的波長相關。操作頻率越低，所對應的微帶天線尺寸就越大。GPS 系統需求的操作頻率為 1.57542GHz，這個頻率所對應的波長約為 190 mm，因此如果使用一般基板來設計 GPS 天線，會造成尺寸過大，不便整合於一般電子產品。

因此要利用微帶天線來設計 GPS 天線，又欲將其天線尺寸縮小並不容易。最直接的方式就是提高微帶天線基板的介電常數  $\epsilon_r$  (substrate dielectric constant)，降低作頻率所對應的等效波長，進而達到縮小天線尺寸的要求。可是這樣做會產生頻寬縮小的缺點。

所幸 GPS 系統對於天線頻寬的要求並不高，大約 5 至 10MHz 即可。因此上述方式可以採用，在本論文中所設計 GPS 微帶天線的基板，則是利用介電常數  $\epsilon_r$  為 37 的陶瓷材料，來達成縮小天線體積的要求。

#### 2.1.2 探針饋入

一般在天線的設計過程中，不可避免的問題就是阻抗匹配。對微帶天線而言，最常使用傳輸線來作阻抗匹配，也就是所謂的直接饋入，但是這樣會造成天線整體的體積變大，如此就喪失了利用高介電常數之陶瓷材料設計天線的優點

了。因此在本論文中則是採用探針饋入來達到天線的阻抗匹配，同時可以兼顧到維持天線體積的小型化。

如圖 2-1 (a)，利用同軸探針饋入 (coaxial probe feeding) 的方式來激發微帶天線。將能量饋入天線的過程中，由於同軸電纜與探針在物理結構上的不連續性 (discontinuity) 會使得部分能量儲存在接合處 (junction) 附近，造成額外的電抗效應。圖 2-1 (b) 為其等效電路[1]。

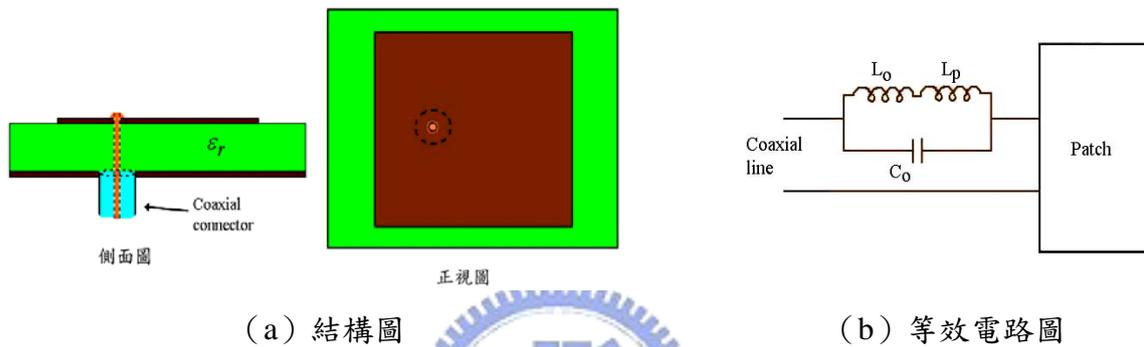


圖 2-1、同軸探針饋入微帶天線說明

同時探針饋入可以藉由調整探針在天線上的饋入點位置不同，則天線的輸入阻抗也會隨著改變，而達到阻抗匹配，使天線的設計獲得簡化。圖 2-2 所示即為天線輸入阻抗隨著探針饋入點位置不同的變化情形。從圖 2-2 可知，探針饋入點的位置離天線的中心點越遠，則所對應的天線阻抗會越高。

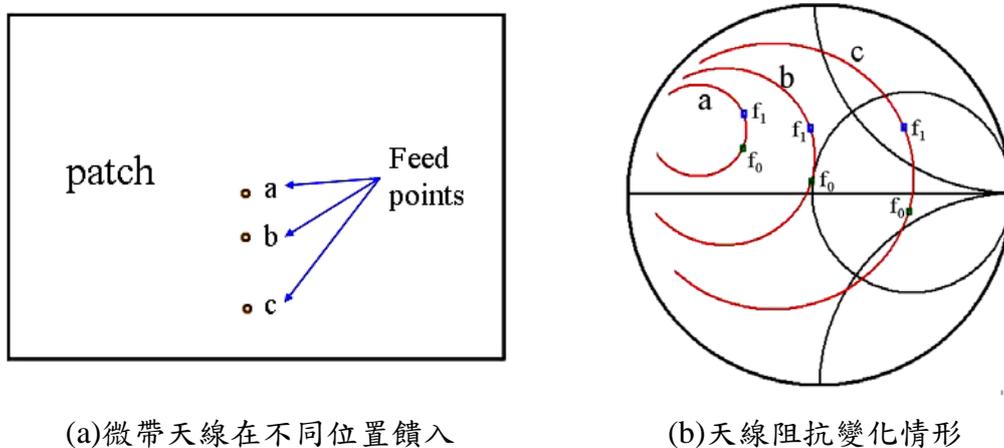


圖 2-2、在微帶天線上不同位置以探針饋入對天線輸入阻抗的比較

## 2.2 雙饋入圓極化微帶天線

單一天線要產生圓極化的輻射場型，最簡單的方式即為在天線上同時激發兩個正交的天線模態（orthogonal path modes），這兩個正交模態強度相同（equal amplitude）、相位角差 90 度（90° out of phase）。許多形狀的微帶天線都可以用來設計成圓極化天線，例如：矩形、圓形、環形、五邊形、正三角形等…，其中最常見的是正方形與圓形微帶天線。圖 2-3 所示為這兩種形狀的雙饋入圓極化微帶天線的激發方式，若是能夠設計良好的功率分配器（power divider circuit），使得兩個正交饋入的訊號強度相同並且相位角相差 90 度，則圓極化的輻射場型就能夠產生出來。例如使用支幹耦合器（branch-line coupler）來提供兩個正交的饋入訊號。

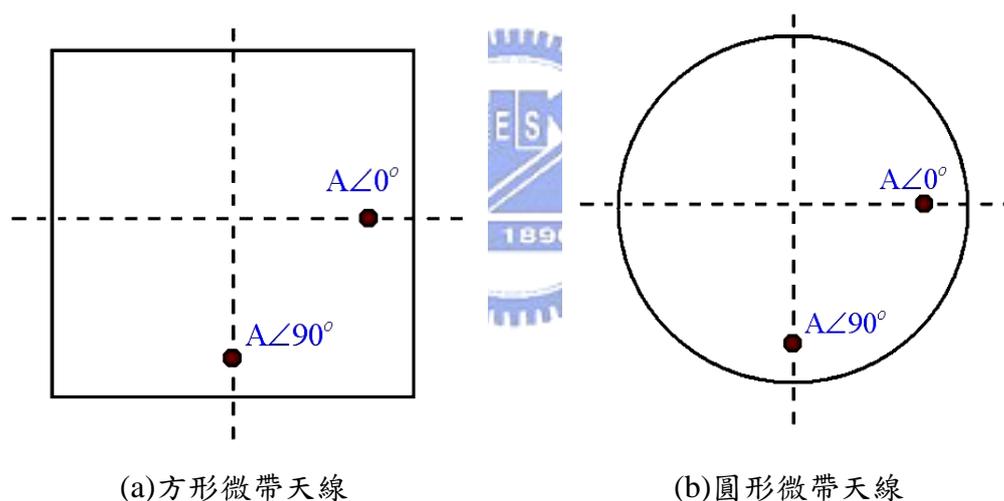


圖 2-3、雙饋入圓極化微帶天線激發方式

## 2.3 單饋入圓極化微帶天線

一般而言，以單一饋入方式所激發的微帶天線，其輻射場型為線性極化（linear polarization）。因此為了能夠產生圓極化的輻射場型，必須藉由如圖 2-4 所示改變天線的形狀與饋入點的位置，讓天線能夠產生兩種共振模態。藉由適當的調整天線形狀與饋入點位置，如圖 2-5 所示可以在中心頻率  $f_0$  產生兩個強度相同且相位角差 90 度的共振模態，以滿足產生圓極化輻射場型的條件。並且隨著

頻率偏移中心頻率  $f_0$  後，原本激發出之兩個正交模態的強度與相位角會同時偏離圓極化輻射場型產生的條件，軸比 (axial ratio) 也會快速的衰減，使得 3dB 軸比的頻寬較差。

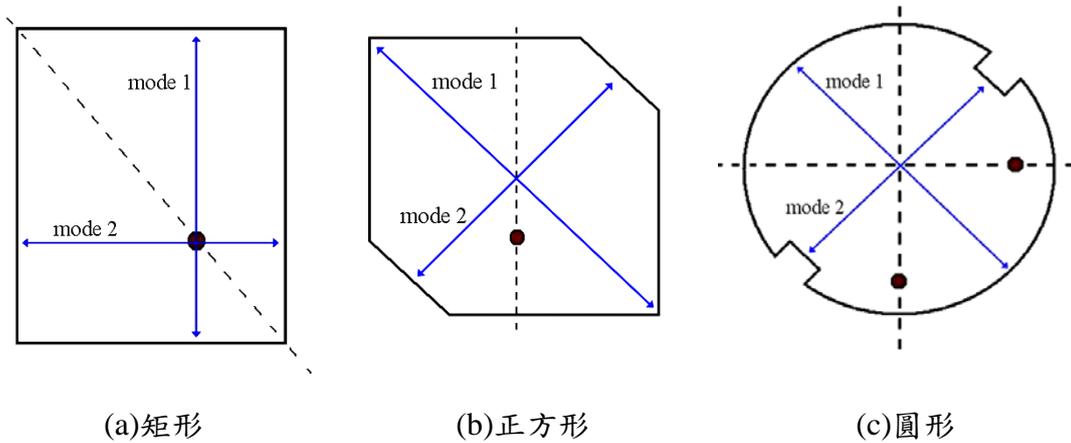


圖 2-4、常見單饋入圓極化天線

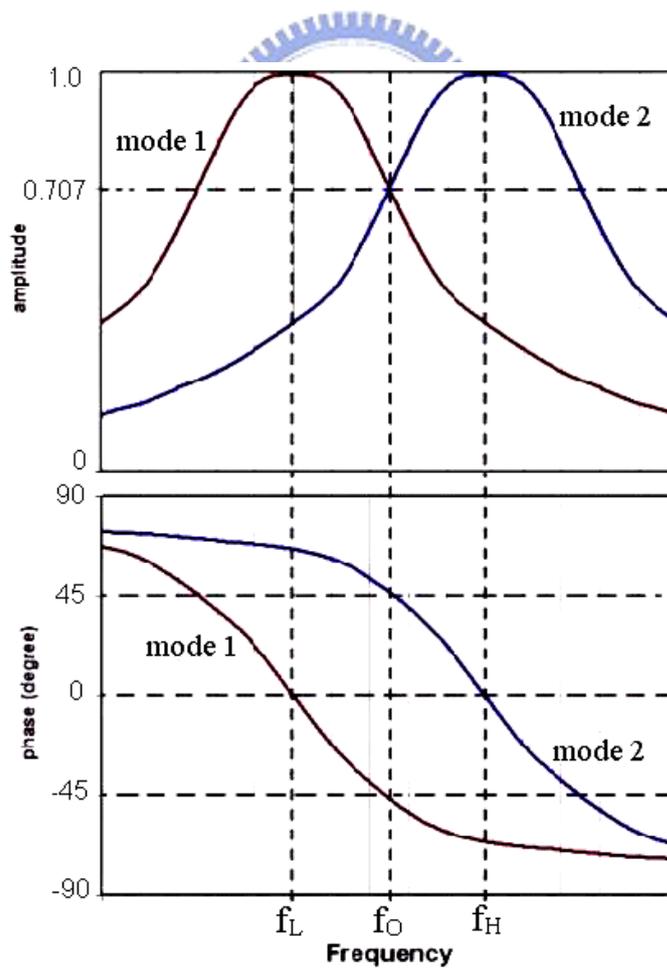


圖 2-5、單饋入圓極化天線兩正交模態的振幅與相位隨頻率變化情形

## 2.4 圓極化天線增益

利用旋轉線性方法 (spinning linear method) 量測圓極化天線時，會將線性極化訊號發射天線旋轉，使得待測天線量得的輻射場型如圖 2-6 所示。其中關於圓極化輻射場型的軸比可由圖中估計獲得。可是若要使用圖 2-6 來定義圓極化天線的增益卻會有爭議。以圖 2-6 來作說明，不論將最大值 6.1dBi 或是將最小值 4.7dBi 是為圓極化天線的增益都不合理。因此必須藉由引進一修正因子  $G_c$

(correction factor) 來定義圓極化天線的增益值[2]。

$$G_c(dB) = 20 \log_{10} \left[ 0.5 \left( 1 + 10^{-AR/20} \right) \right]$$

其中軸比 (AR) 可以藉由圖 2-6 估計獲得。將所量測到最大的天線增益值以  $G_o(dBi)$  表示，單位中的  $l$  表示此天線增益值是以等方向線性極化天線 (isotropic linear antenna) 作為基準。最後得到圓極化天線增益  $G_{CP}$  的定義為

$$G_{CP}(dBi) = G_o + G_c + 3$$

單位中的  $c$  表示此天線增益是以等方向線性極化天線 (isotropic linear antenna) 作為基準。

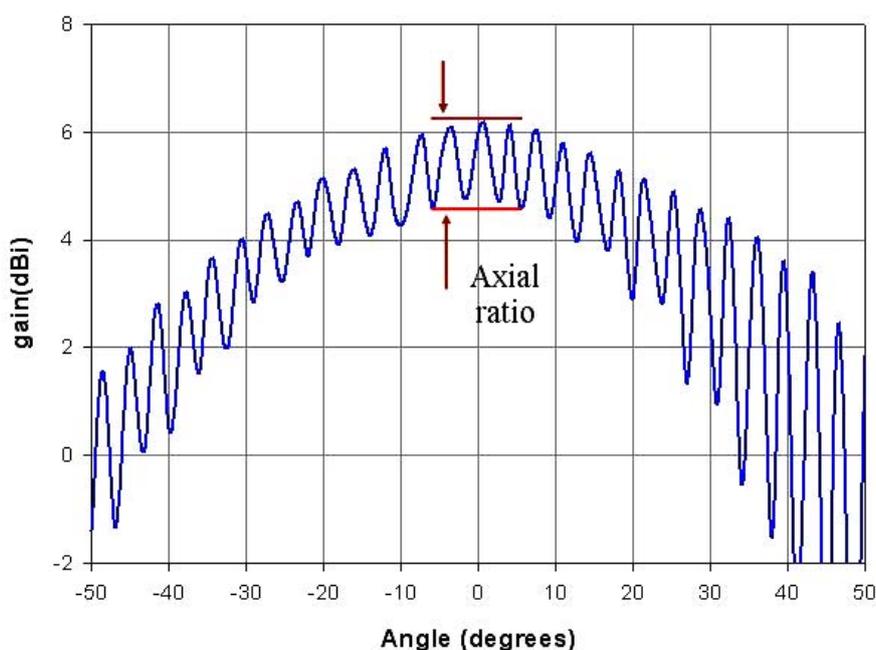


圖 2-6、圓極化天線輻射場型說明

### 第三章 全球定位系統圓極化微帶天線設計

## (Design of the Circularly Polarized Microstrip Antennas for GPS)

本章所要討論的全球定位系統圓極化微帶天線，是利用第二章所敘述的圓極化微帶天線架構，將其應用到全球定位系統圓極化微帶天線所設計的結果。

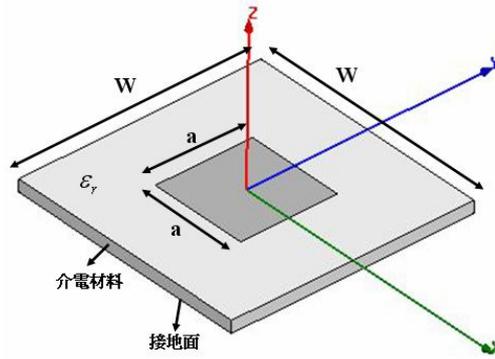
#### 3.1 矩形單饋入圓極化微帶天線

一般來說，微帶天線依照形狀可大致分為兩類，矩形微帶天線與圓形微帶天線。而其中以矩形微帶天線被視為產生圓極化輻射場型的最基本天線，這其中原因在於矩形微帶天線較容易分析、理解，因此一般關於微帶天線的應用，大部分都是從矩形微帶天線出發的。

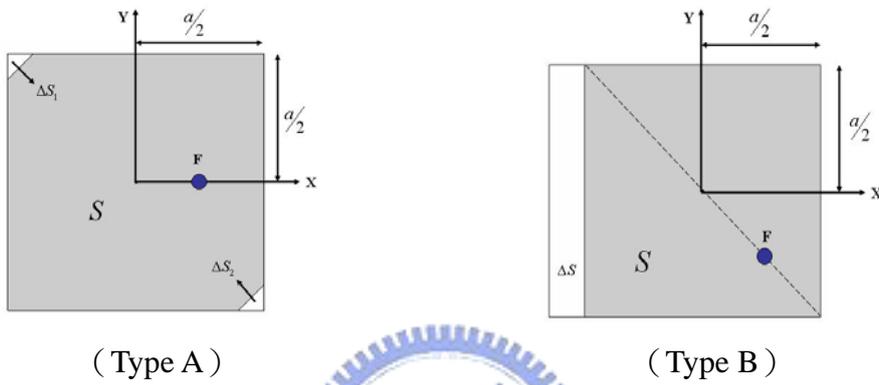
如圖 3-1，依照饋入點位置的不同，可以將矩形單饋入圓極化微帶天線分為兩類[3]。一種為其饋入點在 X 軸或 Y 軸上，稱之為形式 A，其它則歸類為形式 B。

不論為形式 A 或形式 B 的天線，其  $\Delta S$  均盡可能的設置於可以使天線激發出圓極化輻射場型的位置。同時如圖 3-2，依照饋入點位置的不同，可以激發出右圓極化或左圓極化之輻射場型。因此圓極化輻射場型的右圓極化左圓極化是可以受到饋入點位置的不同控制的。

同時在本論文中，所設計的矩形單饋入圓極化微帶天線即為形式 A 的天線。

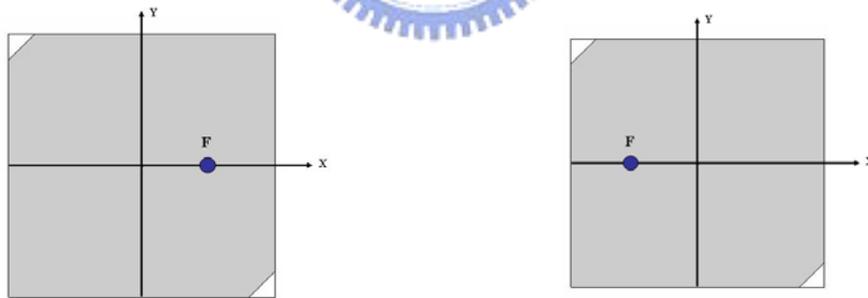


(a) 一般的微帶天線

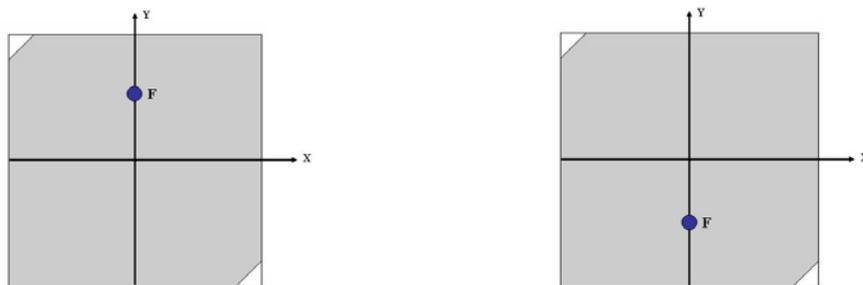


(b) 單饋入矩形圓極化微帶天線

圖 3-1、單饋入矩形微帶天線示意圖



(a) 右圓極化



(b) 左圓極化

圖 3-2、饋入點位置與左右圓極化的關係圖

### 3.1.1 基板為 FR4 之矩形單饋入圓極化微帶天線

圖 3-3 所示為矩形單饋入圓極化微帶天線的結構圖與設計時所需使用的各項參數。同時，表 3-1 為使用 FR4 當做基板時，設計矩形單饋入圓極化天線之參數值。

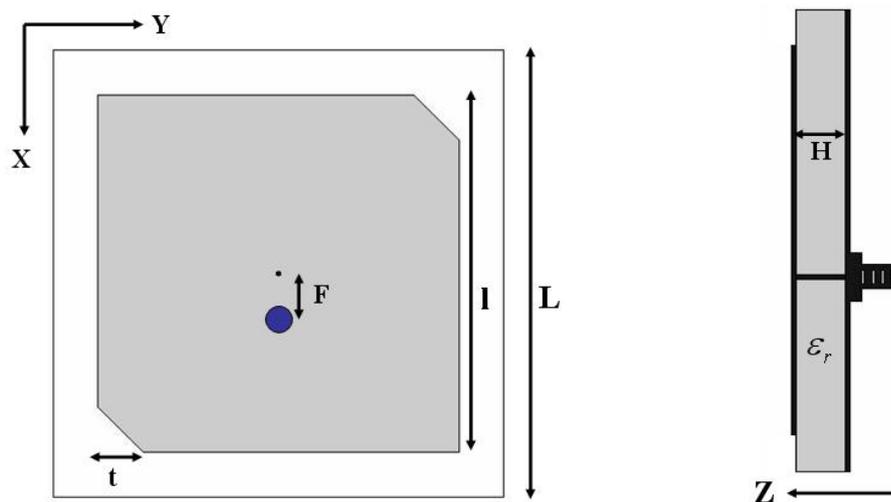
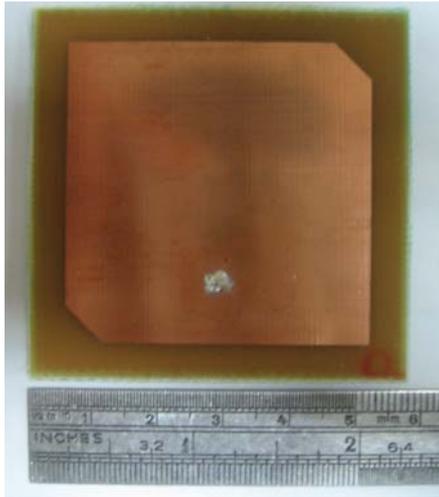


圖 3-3、矩形單饋入圓極化微帶天線結構圖與各項參數

參數名稱	尺寸大小 (mm)
L	55
H	1.6
l	44.5
F	13
t	5.5
介電常數 ( $\epsilon_r$ )	4.4
損耗正切 (loss tangent)	0.02

表 3-1、基板為 FR4 所設計之矩形單饋入圓極化微帶天線的參數值



(a) 正面俯視圖



(b) 背面俯視圖

圖 3-4、基板為 FR4 之矩形微帶天線實作圖

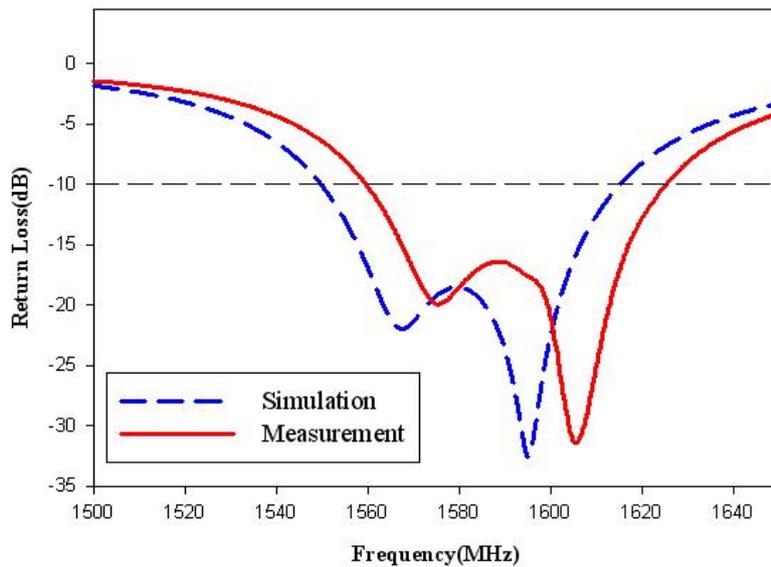


圖 3-5、基板為 FR4 之矩形微帶天線的 S 參數模擬與量測比較圖

由圖 3-5 可知，矩形微帶天線在實作上會有往高頻移動的頻飄現象，大約 10MHz 左右，但是仍然包含了 1.57542GHz 的頻率點，還是符合 GPS 天線的操作頻率要求。同時觀察圖 3-6，發現實作的矩形微帶天線在 1.576GHz 附近有圓極化現象產生，符合設計的要求。模擬時 S 參數頻寬約為 1550MHz ~ 1615MHz，實作量測時 S 參數頻寬約為 1560MHz~1625MHz。

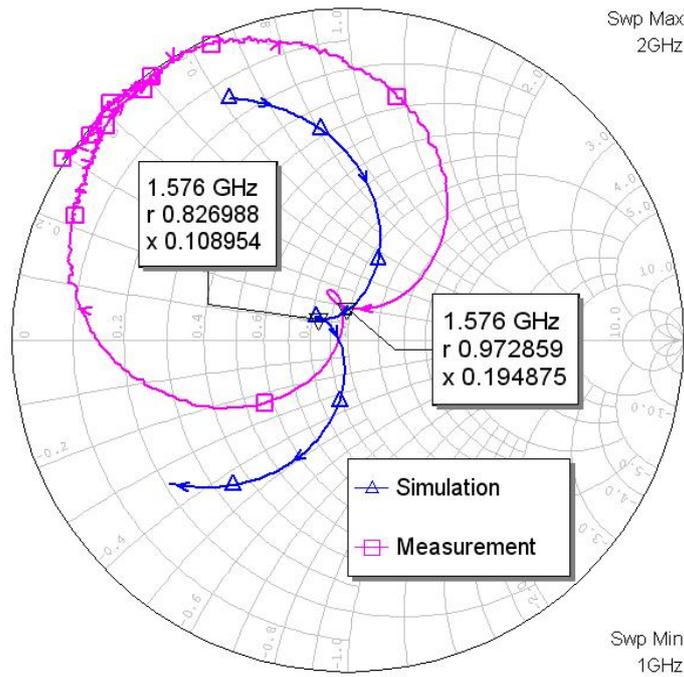


圖 3-6、基板為 FR4 之矩形微帶天線的 Smith Chart 模擬與量測比較圖

從圖 3-7 可知，模擬時軸比 (axial ratio) 在 3dB 以下的頻寬大約為 1556MHz ~ 1604MHz。而實作天線量測軸比(axial ratio)在 3dB 以下的頻寬大約為 1565MHz ~ 1605MHz，一樣有往高頻頻飄的現象，不過仍然符合 GPS 天線操作頻率的要求。

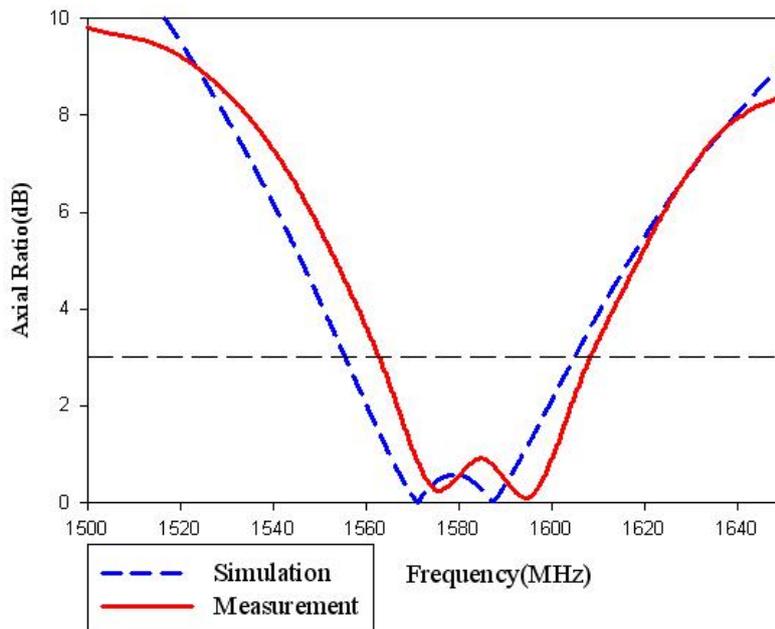


圖 3-7、基板為 FR4 之矩形微帶天線的軸比 (axial ratio) 模擬與量測比較圖

由圖 3-8 與圖 3-9 的輻射場型比較，發現天線兩垂直方向的增益值大小的確很接近，有圓極化的現象產生，並且模擬與實作量測的輻射場型圖趨勢很接近。但是模擬時，在主波束（main beam）方向兩個垂直方向的增益大小為-3.02dBi 與-3.51dBi，而實作量測時，在主波束（main beam）方向兩個垂直方向的增益大小為-6dBi 左右，比模擬值掉了大約 3dBi 左右。

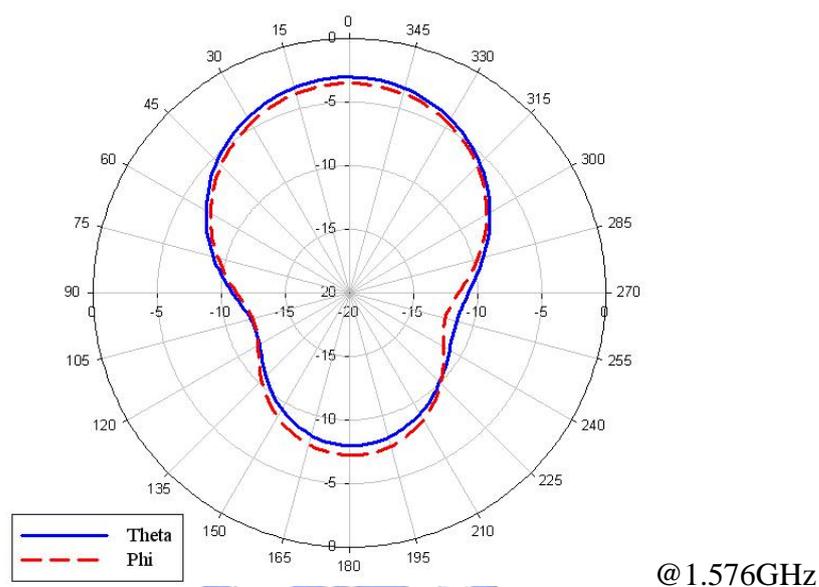


圖 3-8、基板為 FR4 之矩形微帶天線的場型（pattern）模擬圖

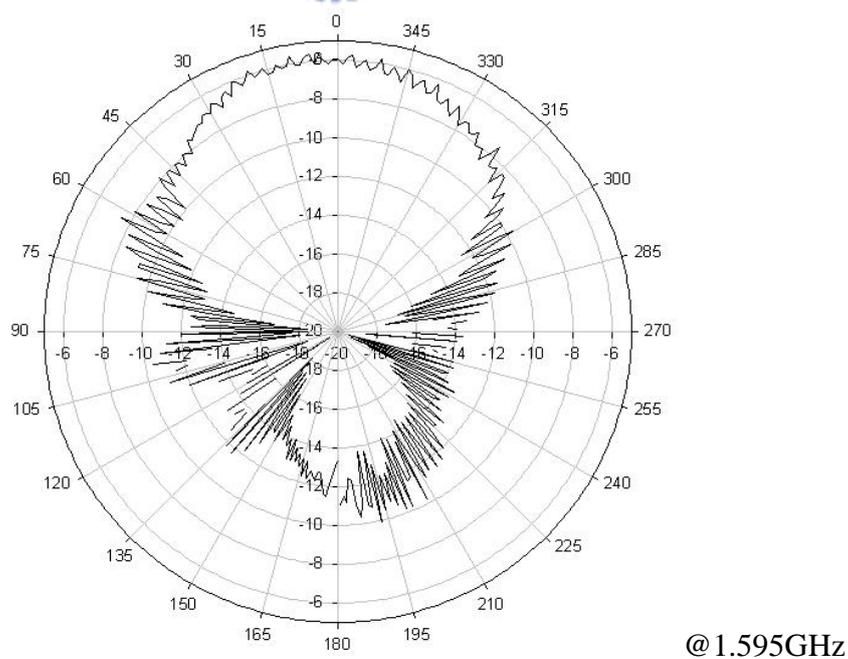
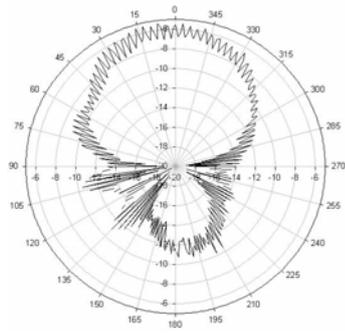
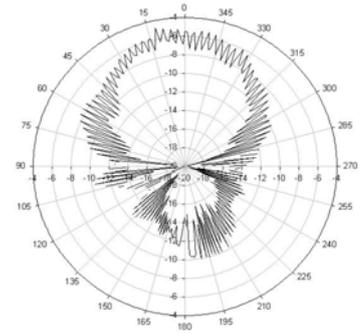


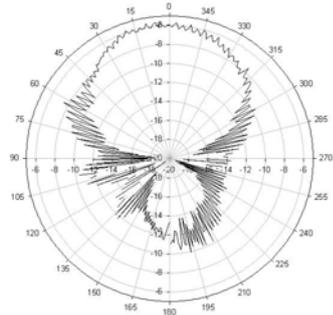
圖 3-9、基板為 FR4 之矩形微帶天線的場型（pattern）量測圖



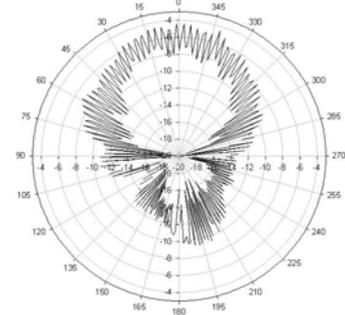
(a) 1570MHz (dBi)



(b) 1585MHz (dBi)

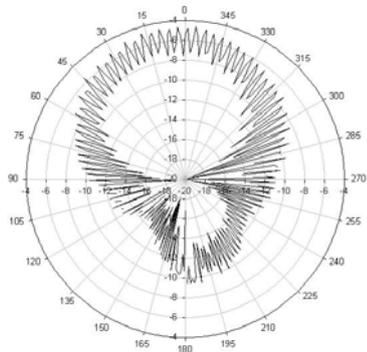


(c) 1595MHz (dBi)

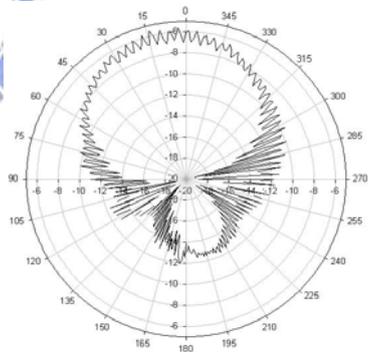


(d) 1605MHz (dBi)

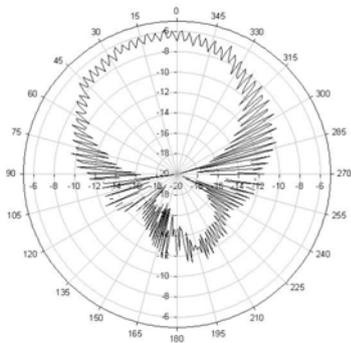
圖 3-10、YZ 切面輻射場型量測圖



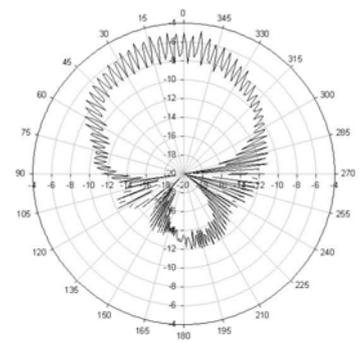
(a) 1570MHz (dBi)



(b) 1585MHz (dBi)



(c) 1595MHz (dBi)



(d) 1605MHz (dBi)

圖 3-11、XZ 切面輻射場型量測圖

### 3.1.2 基板為高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 之陶瓷材料

表 3-2 為使用高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 陶瓷材料當做基板時，設計矩形單饋入圓極化天線之參數值。

參數名稱	尺寸大小 (mm)
L	18
H	4
l	14.85
F	1.05
t	0.87
介電常數 ( $\epsilon_r$ )	37
損耗正切 (loss tangent)	0.0018

表 3-2、基板為陶瓷材料所設計之矩形單饋入圓極化微帶天線的參數值

由圖 3-12 可知，矩形微帶天線模擬的 S 參數頻寬約為 1567MHz ~ 1578MHz。

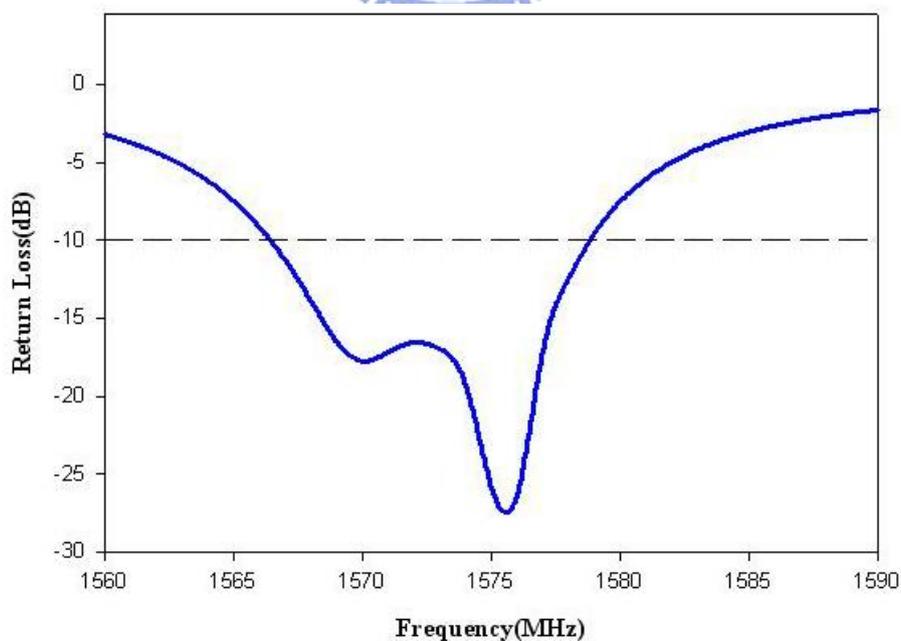


圖 3-12、基板為陶瓷材料之矩形微帶天線的 S 參數模擬圖

由圖 3-13，矩形微帶天線在 1.5754GHz 附近有圓極化的現象產生，達到 GPS 操作頻率的要求。同時觀察圖 3-14 模擬的軸比（axial ratio）圖，符合 3dB 以下的頻寬約為 1568MHz ~ 1579MHz，一樣達到 GPS 天線操作頻率的要求，但是在 1573MHz 頻率點時，軸比值為 2.8dB，較標準僅低 0.2dB。

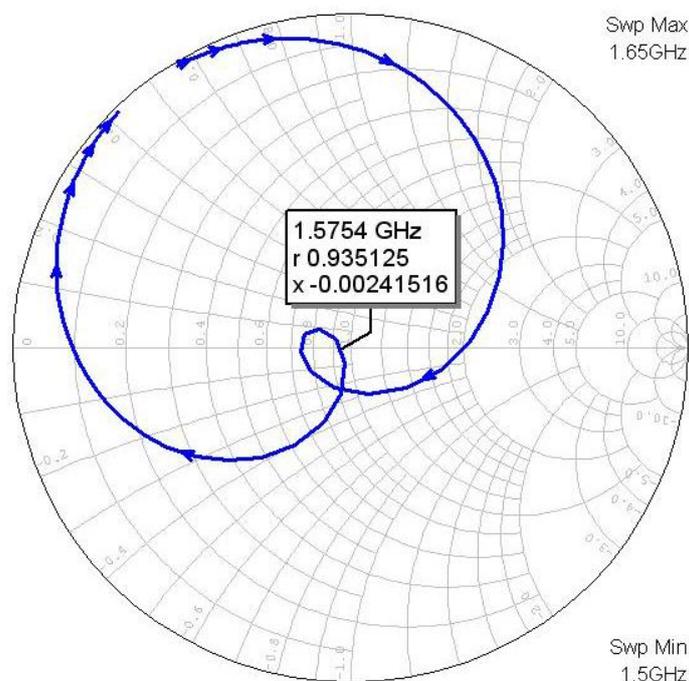


圖 3-13、基板為陶瓷材料之矩形微帶天線的 Smith Chart 模擬圖

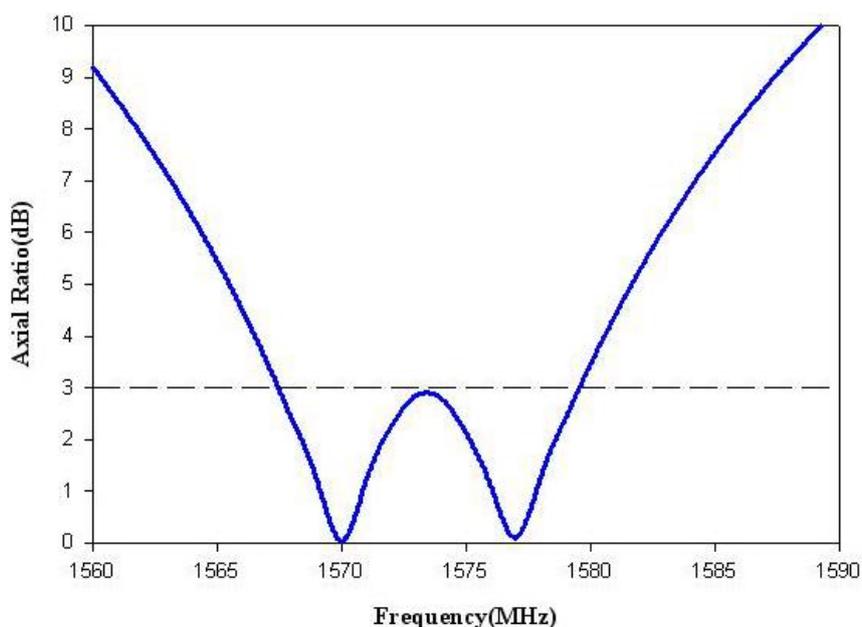


圖 3-14、基板為陶瓷材料之矩形微帶天線的軸比（axial ratio）模擬圖

由圖 3-15 模擬之輻射場型圖知，在 1.576GHz 時主波束 (main beam) 方向的兩個垂直增益值為-3.6dBi 與-4.7dBi。

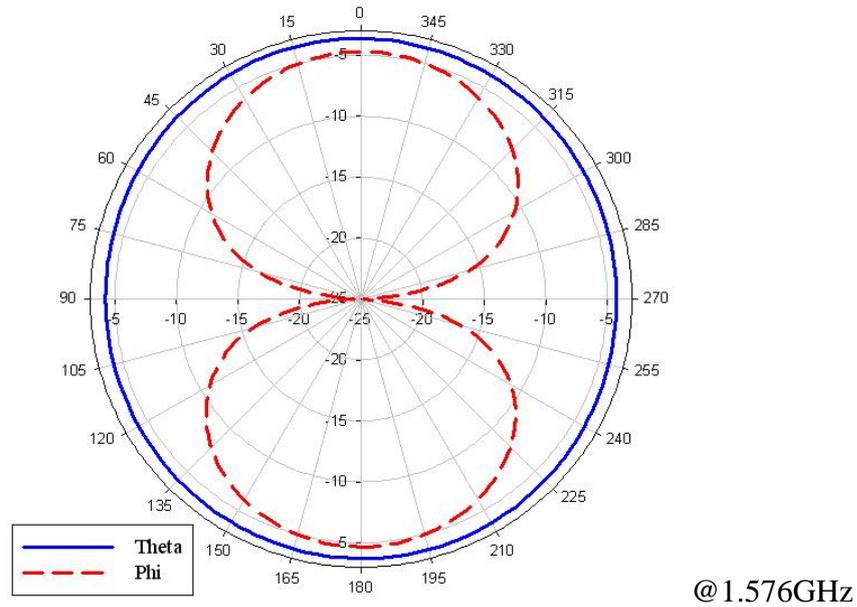


圖 3-15、基板為陶瓷材料之矩形微帶天線的場型 (pattern) 模擬圖

### 3.2 圓形單饋入圓極化微帶天線

如圖 3-16，圓形單饋入圓極化微帶天線依照其外型可分為兩類。分別為利用一對狹縫 (slit) 或一對殘段 (stub) 來產生圓極化的輻射場型，其工作原理與前述的矩形微帶天線相同，一樣為激發兩個正交模態來產生圓極化的輻射場型。

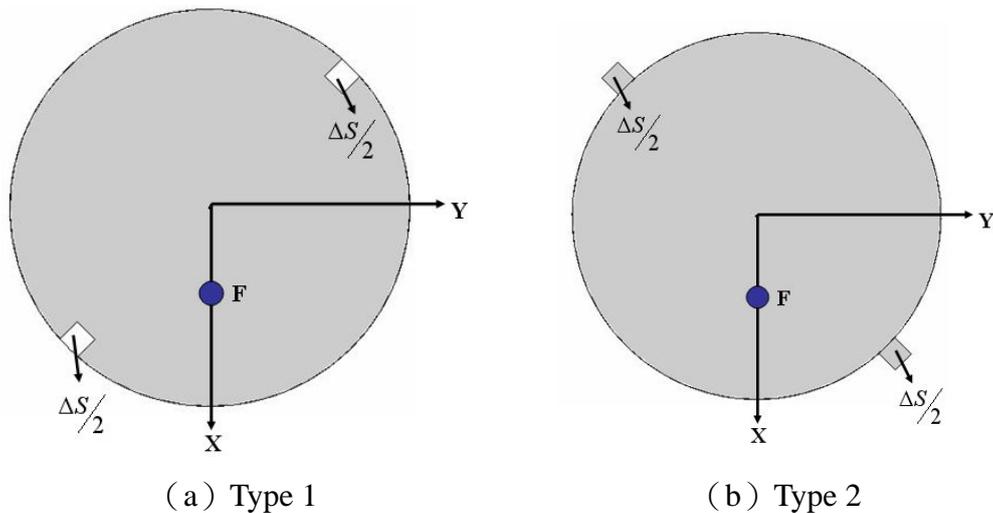


圖 3-16、圓形單饋入圓極化微帶天線分類圖

在本論文中所設計的圓形單饋入圓極化微帶天線即為形式 1 之天線。與矩形微帶天線一樣，利用  $\Delta S$  所設立的位置與大小來產生圓極化的輻射場型，同時配合饋入點的位置決定右圓極化或左圓極化輻射場型。如圖 3-16，為產生右圓極化輻射場型的圓形單饋入圓極化微帶天線。

### 3.2.1 基板為 FR4 之圓形單饋入圓極化微帶天線

圖 3-17 所示為圓形單饋入圓極化微帶天線的結構圖與設計時所需使用的各項參數。同時，表 3-3 為使用 FR4 當做基板時，設計圓形單饋入圓極化天線之參數值。

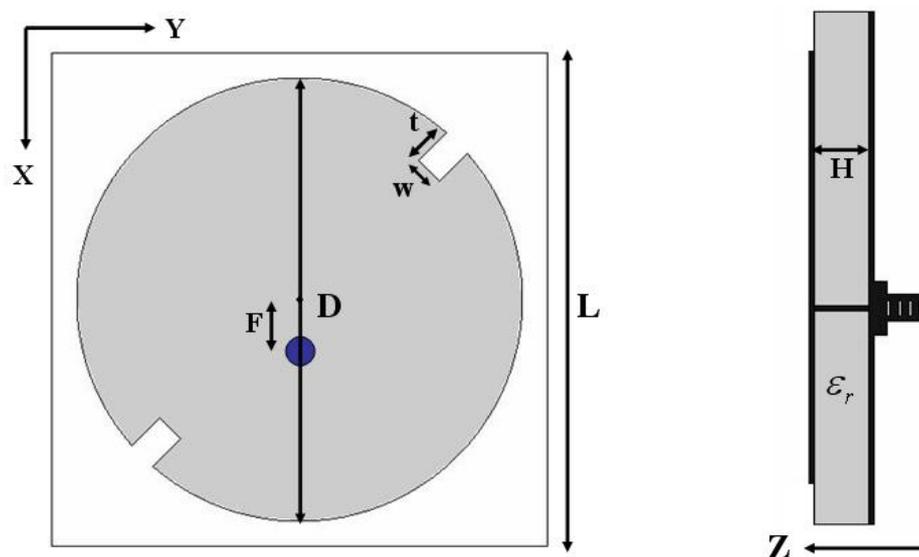
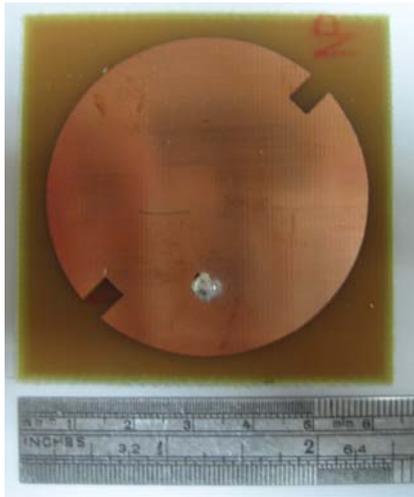


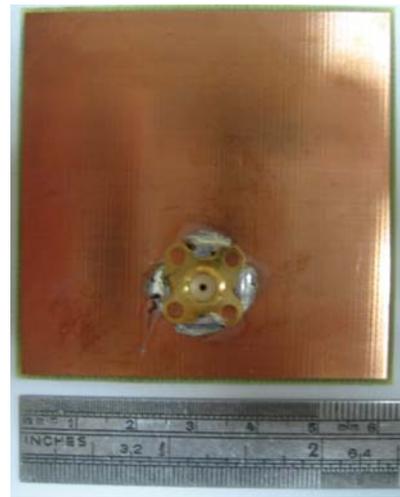
圖 3-17、圓形單饋入圓極化微帶天線結構圖與各項參數

參數名稱	尺寸大小 (mm)
L	60
H	1.6
D	52.4
F	14.7
t	5.4
w	4.5

表 3-3、基板為 FR4 所設計之圓形單饋入圓極化微帶天線的參數值



(a) 正面俯視圖



(b) 背面俯視圖

圖 3-18、基板為 FR4 之圓形微帶天線實作圖

由圖 3-19 知，圓形微帶天線的 S 參數，在實作量測時兩個共振點頻率較模擬時較為分開，雖然頻寬會較寬，但是或許會影響到圓極化好壞的程度。在模擬時，S 參數的頻寬約為 1540MHz ~ 1609MHz。在量測時，S 參數頻寬約為 1528MHz ~ 1614MHz。

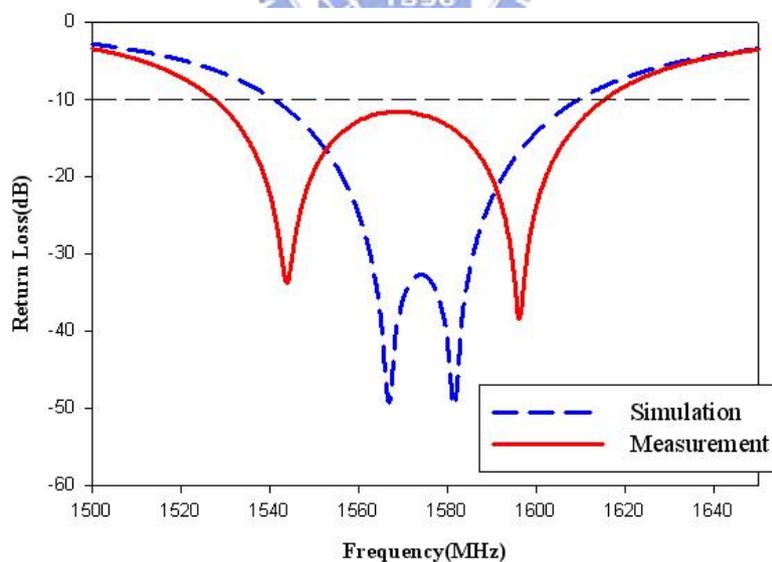


圖 3-19、基板為 FR4 之圓形微帶天線的 S 參數模擬與量測比較圖

由圖 3-20 可以看出來不論模擬或者實作量測，在 1.576GHz 均有圓極化的現象產生，達到設計的需求。從圖 3-21 知，模擬時軸比的頻寬約為 1547MHz ~ 1601MHz，而量測時軸比的頻寬約為 1530MHz ~ 1600MHz。

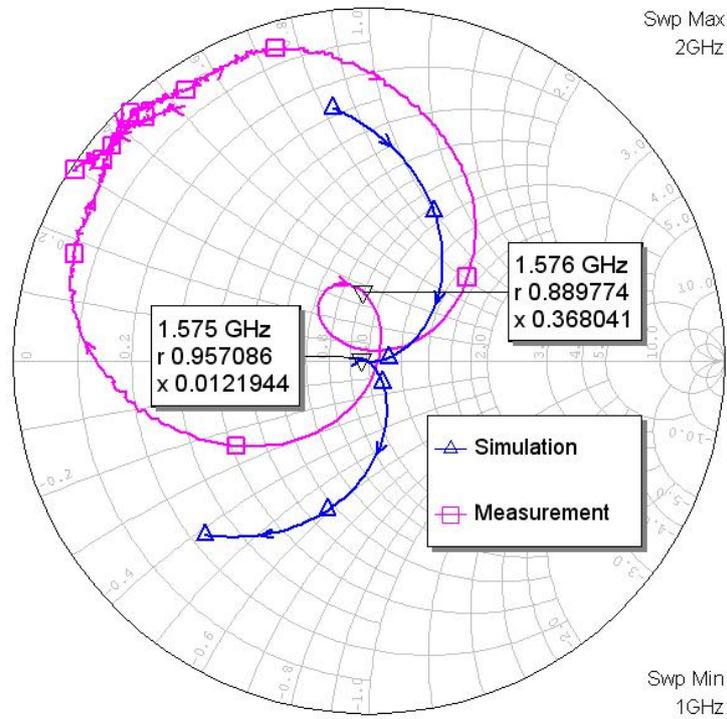


圖 3-20、基板為 FR4 之圓形微帶天線的 Smith Chart 模擬與量測比較圖

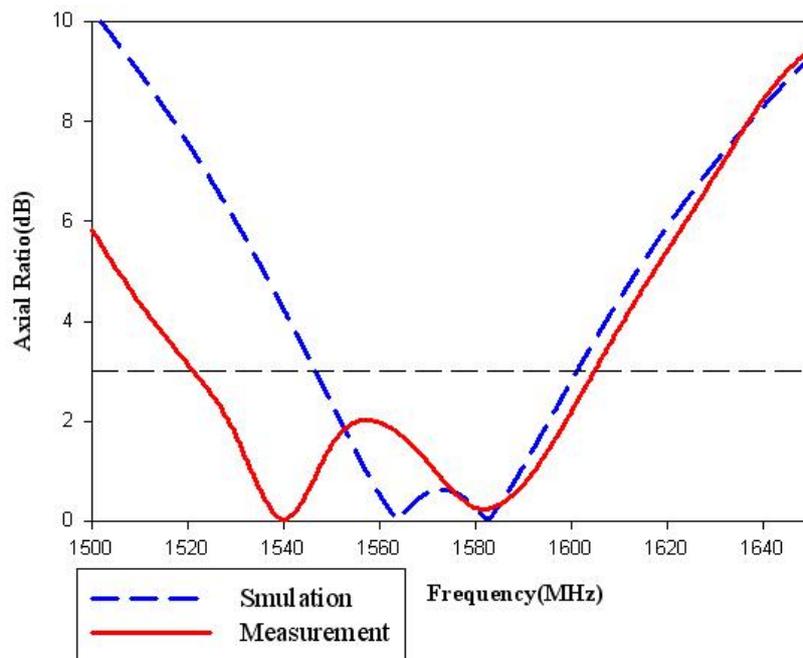


圖 3-21、基板為 FR4 之圓形微帶天線的軸比 (axial ratio) 模擬與量測比較圖

由圖 3-22 與圖 3-23，發現模擬時天線在主波束（main beam）方向兩垂直方向的增益值大小為-1.86dBi 與-2.42dBi，並且模擬與實作量測的輻射場型圖趨勢很接近。而實作量測時，在主波束（main beam）方向兩個垂直方向的增益大小為-4.4dBi 左右，比模擬值掉了大約 2dBi 左右。

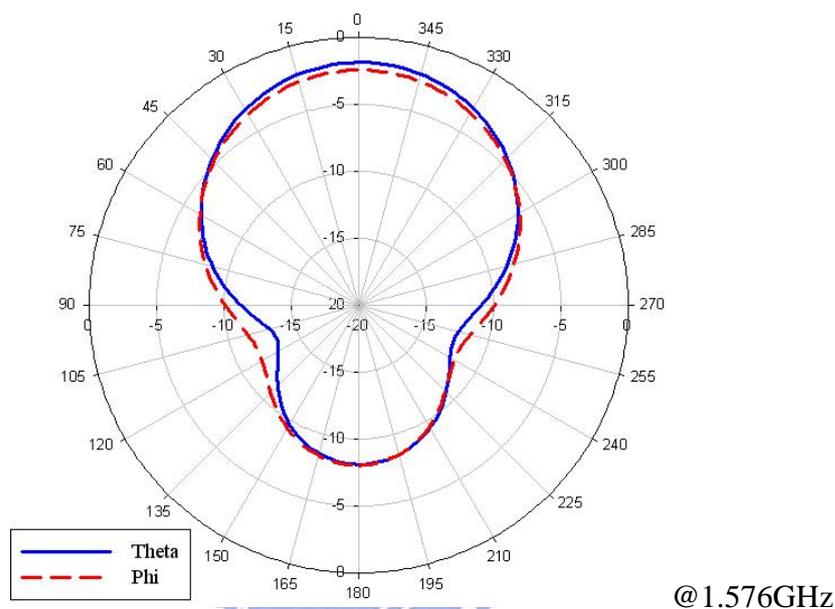


圖 3-22、基板為 FR4 之圓形微帶天線的場型（pattern）模擬圖

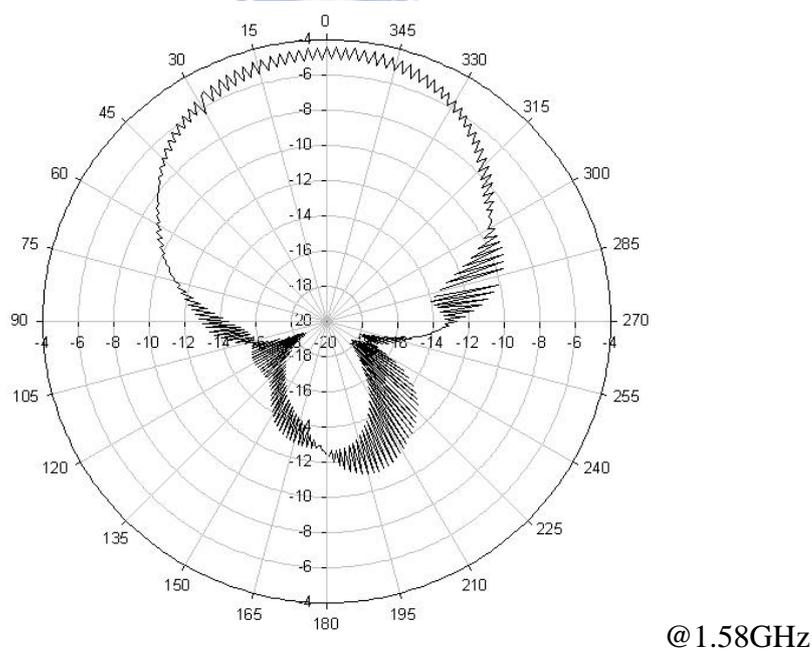
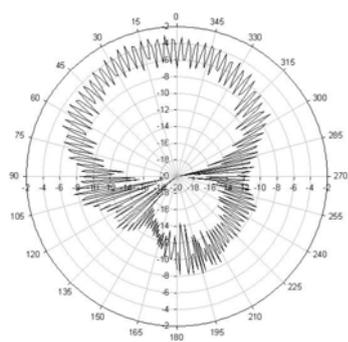
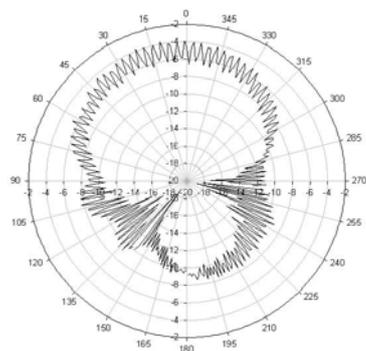


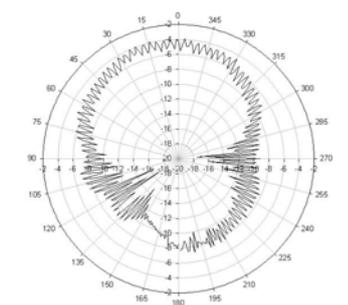
圖 3-23、基板為 FR4 之圓形微帶天線的場型（pattern）量測圖



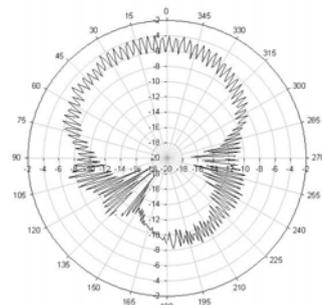
(a) 1530MHz (dBi)



(b) 1550MHz (dBi)

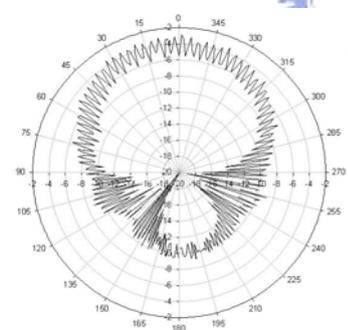


(c) 1570MHz (dBi)

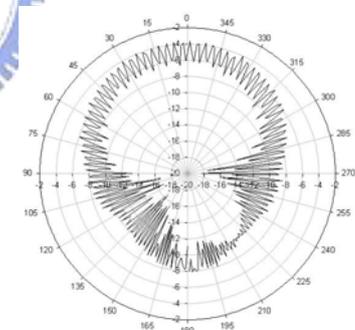


(d) 1590MHz (dBi)

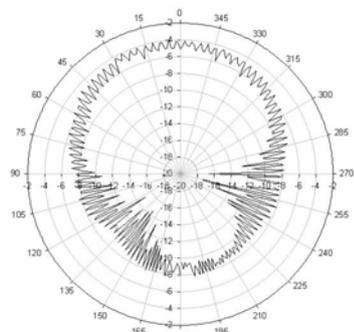
圖 3-24、YZ 切面輻射場型量測圖



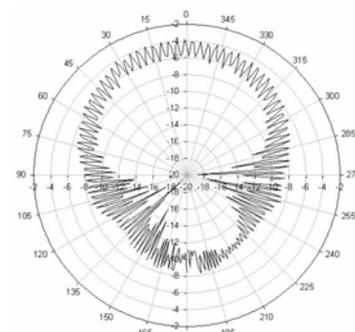
(a) 1530MHz (dBi)



(b) 1550MHz (dBi)



(c) 1570MHz (dBi)



(d) 1590MHz (dBi)

圖 3-25、XZ 切面輻射場型量測圖

### 3.2.2 基板為高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 之陶瓷材料

表 3-4 為使用高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 陶瓷材料當做基板時，設計圓形單饋入圓極化天線之參數值。

參數名稱	尺寸大小 (mm)
L	19
H	4
D	17.4
F	1.2
t	1.6
w	0.8
介電常數 ( $\epsilon_r$ )	37
損耗正切 (loss tangent)	0.0018

表 3-4、基板為陶瓷材料所設計之圓形單饋入圓極化微帶天線的參數值

由圖 3-26 可知，圓形微帶天線模擬之 S 參數頻寬約為 1570MHz ~ 1578MHz，達到設計所需之操作頻率。

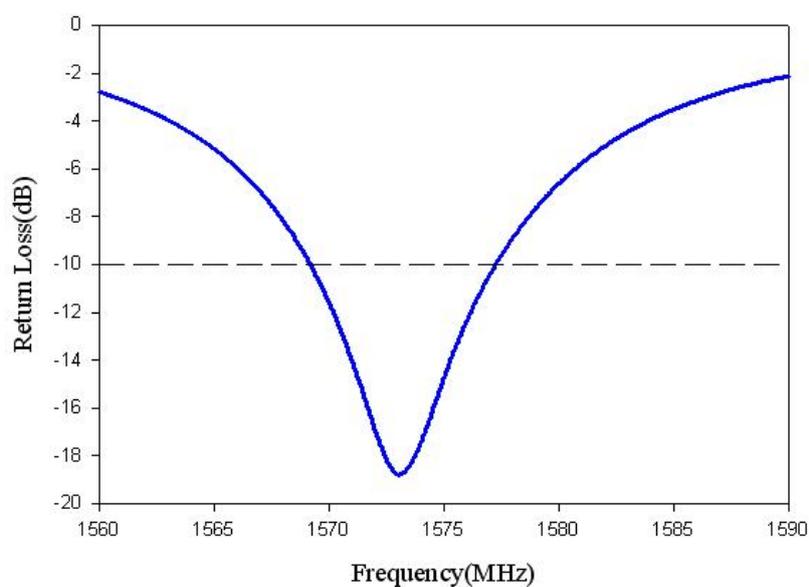


圖 3-26、基板為陶瓷材料之圓形微帶天線的 S 參數模擬圖

由圖 3-27 模擬圖可以知道圓形微帶天線在 1.57542GHz 附近有圓極化輻射場型現象產生，並且由圖 3-28 模擬圖知道圓形微帶天線軸比 (axial ratio) 在 3dB 以下頻寬約為 1568 MHz ~ 1578MHz。

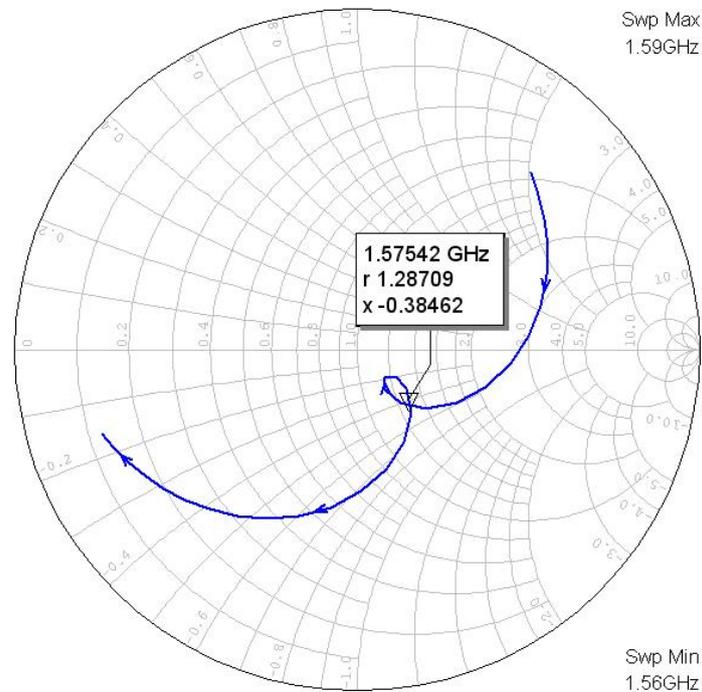


圖 3-27、基板為陶瓷材料之圓形微帶天線的 Smith Chart 模擬圖

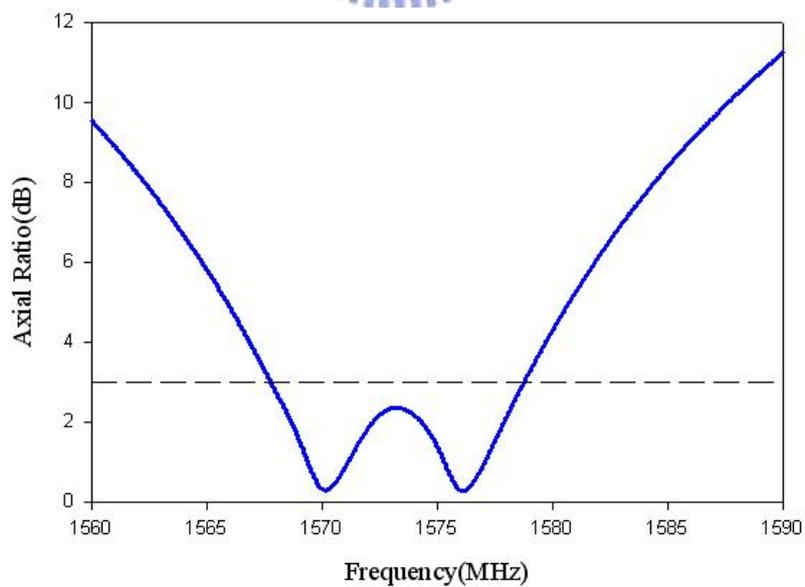


圖 3-28、基板為陶瓷材料之圓形微帶天線的軸比 (axial ratio) 模擬圖

圖 3-29 為圓形微帶天線模擬之輻射場型圖，可以發現在天線主波束（main beam）方向之兩垂直方向增益大小很接近，有圓極化的現象產生。這兩個垂直方向增益約為-3.98dBi 與-4.27dBi。

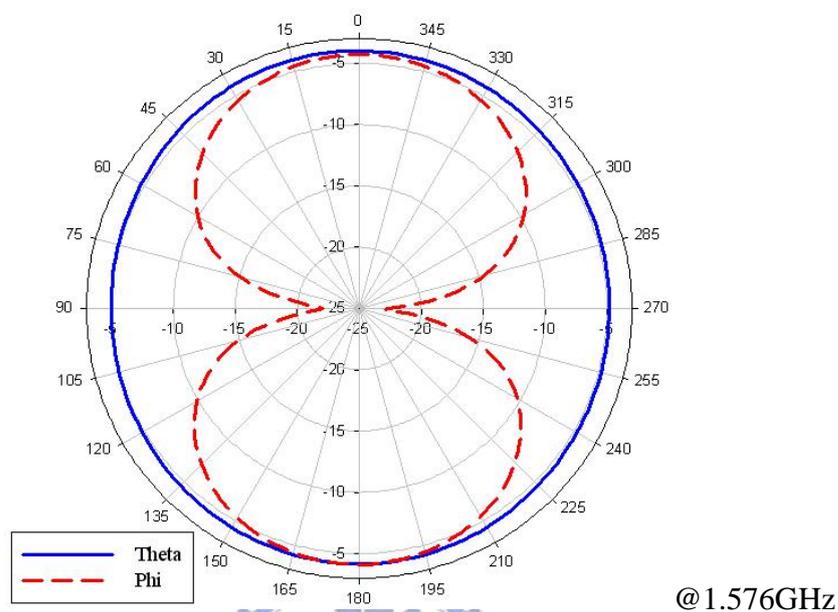


圖 3-29、基板為陶瓷材料之圓形微帶天線的場型（pattern）模擬圖

### 3.3 環形單饋入圓極化微帶天線

一般來說，欲使用環形微帶天線來產生圓極化輻射場型時，最直接的方式就是如圖 3-30，使用一對狹縫（slit）或一對殘段（stub）來產生圓極化輻射場型 [4][5]。但是使用這種架構設計天線，必須額外增加一段四分之一波長轉換器（quarter-wave transformer）來做阻抗匹配，並無法直接使用前述的探針饋入做匹配。而造成天線整體尺寸必須加大。這是由於將天線內部作挖槽的動作，會使天線整體阻抗提升，因此無法在天線內找到 50 歐姆（ $\Omega$ ）匹配點 [5]。

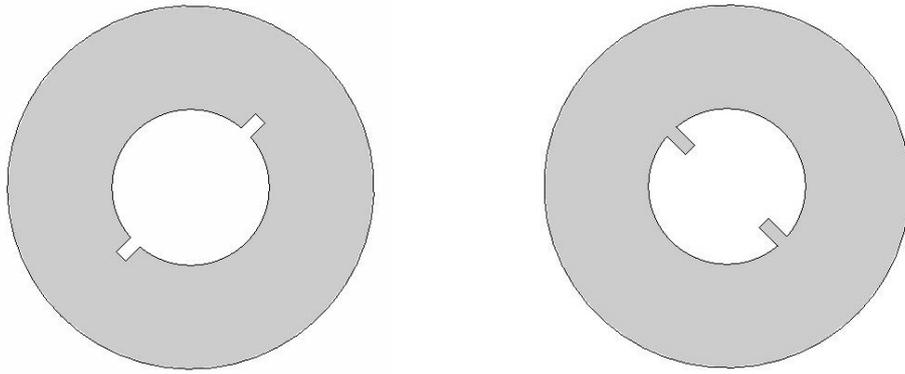


圖 3-30、利用環形微帶天線產生圓極化輻射場型

### 3.3.1 基板為 FR4 之環形單饋入圓極化微帶天線

為了改善阻抗匹配的問題，本論文將採用將內圓環短路的方式，降低天線內部的阻抗[6]，使得天線可以直接利用探針饋入做匹配，而避免大幅增加天線整體的尺寸。同時配合使用橢圓形的微帶天線來產生圓極化的輻射場型[7]，設計出適用於 GPS 系統的圓極化天線。

圖 3-31 所示為環形單饋入圓極化微帶天線的結構圖與設計時所需使用的各項參數。同時，表 3-5 為使用 FR4 當做基板時，設計環形單饋入圓極化天線之參數值。

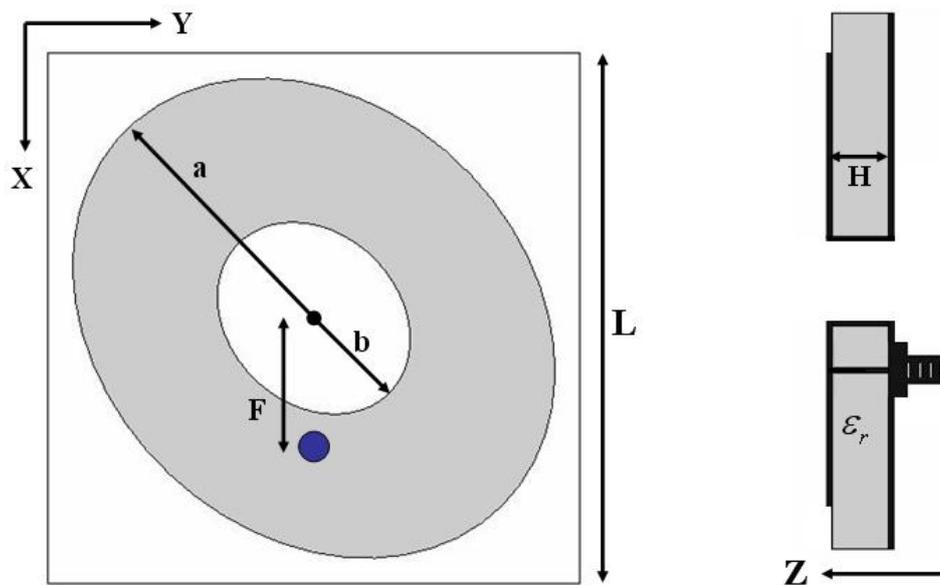
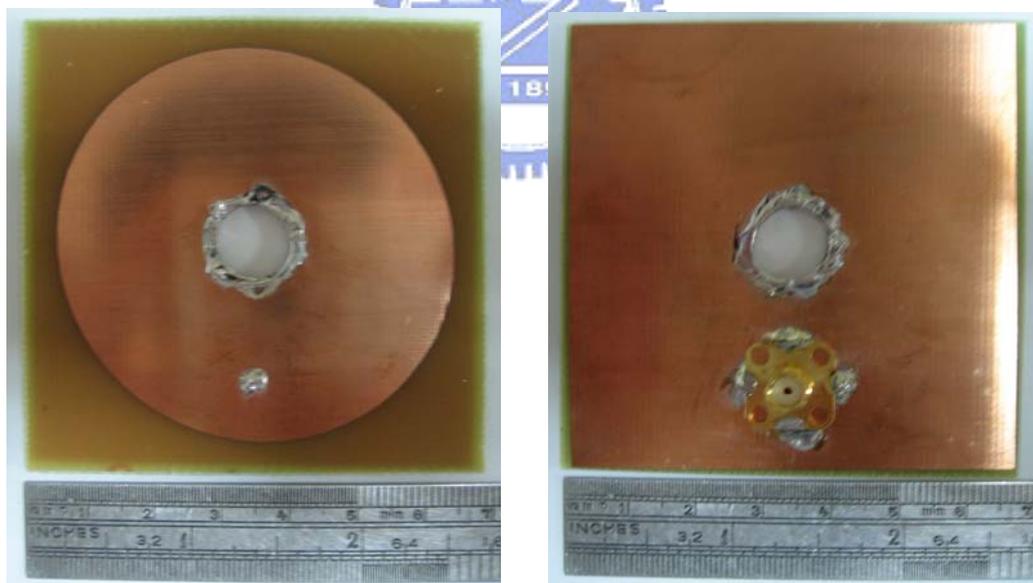


圖 3-31、環形單饋入圓極化微帶天線結構圖與各項參數

參數名稱	尺寸大小 (mm)
L	65
H	1.6
a	29.2
b	6
F	20
ratio	0.95
介電常數 ( $\epsilon_r$ )	4.4
損耗正切 (loss tangent)	0.02

表 3-5、基板為 FR4 所設計之矩形單饋入圓極化微帶天線的參數值

其中 a 與 b 分別為外橢圓與內橢圓的長軸半徑，而且長軸與饋入點對圓心的連線呈  $45^\circ$  角。ratio 為橢圓的短軸長度與長軸長度的比值，內外橢圓的比值均相同。



(a) 正面俯視圖

(b) 背面俯視圖

圖 3-32、基板為 FR4 之環形微帶天線實作圖

由圖 3-33，環形微帶天線 S 參數實作有往低頻頻飄的現象，模擬時的頻寬約為 1555MHz ~ 1639MHz，而實作量測 S 參數的頻寬約為 1535MHz ~ 1620MHz，一樣有達到設計需求的操作頻率。從圖中可以發現，實作時的兩個共振頻率分開得更遠了，所以可能會影響到圓極化的優劣。同時觀察圖 3-30，不論模擬或實作量測，均在 1.576GHz 有圓極化的現象產生。

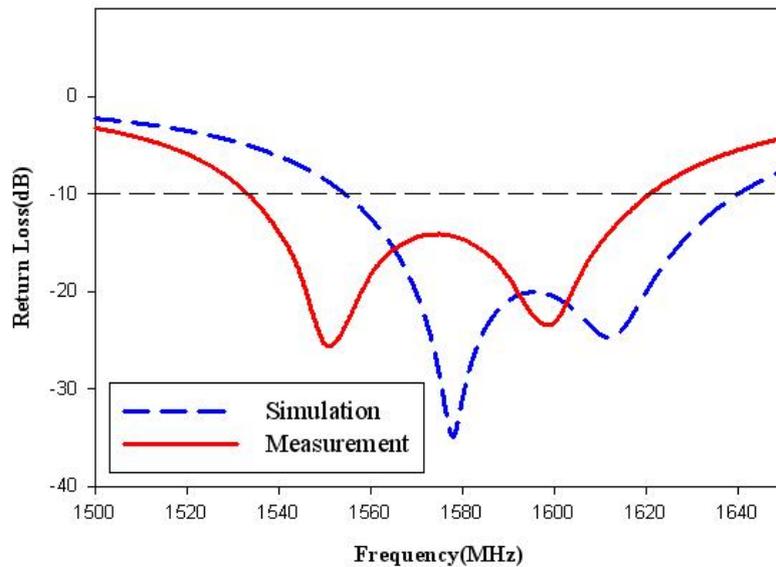


圖 3-33、基板為 FR4 之環形微帶天線的 S 參數模擬與量測比較圖

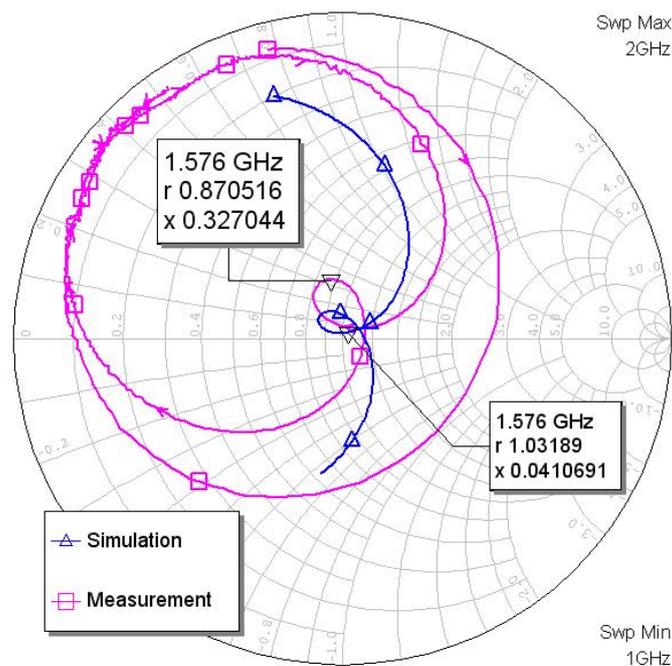


圖 3-34、基板為 FR4 之環形微帶天線的 Smith Chart 模擬與量測比較圖

從圖 3-35 知，環形微帶天線的軸比 (axial ratio) 在實作上與 S 參數同樣有往低頻頻飄的現象，模擬時 3dB 的頻寬約為 1557MHz ~ 1633MHz，而實作量測頻寬約為 1535MHz ~ 1615MHz。

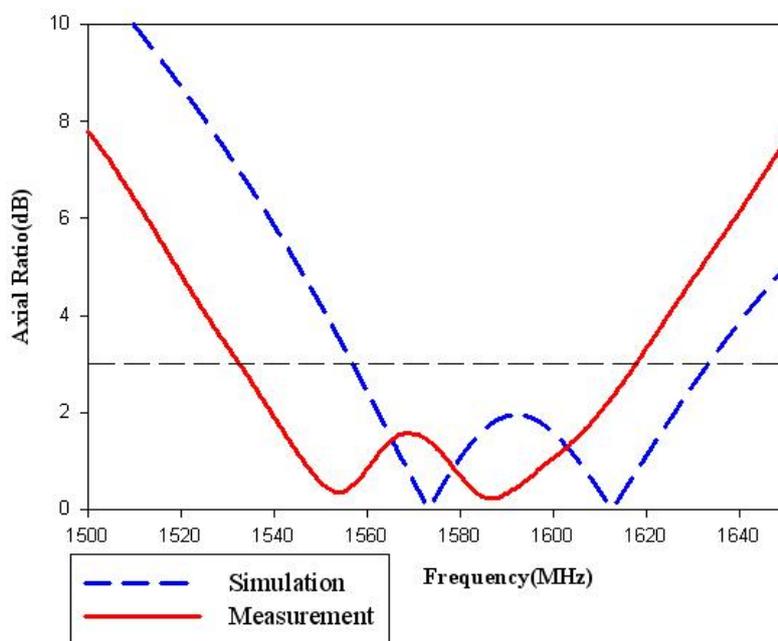


圖 3-35、基板為 FR4 之圓形微帶天線的軸比 (axial ratio) 模擬與量測比較圖

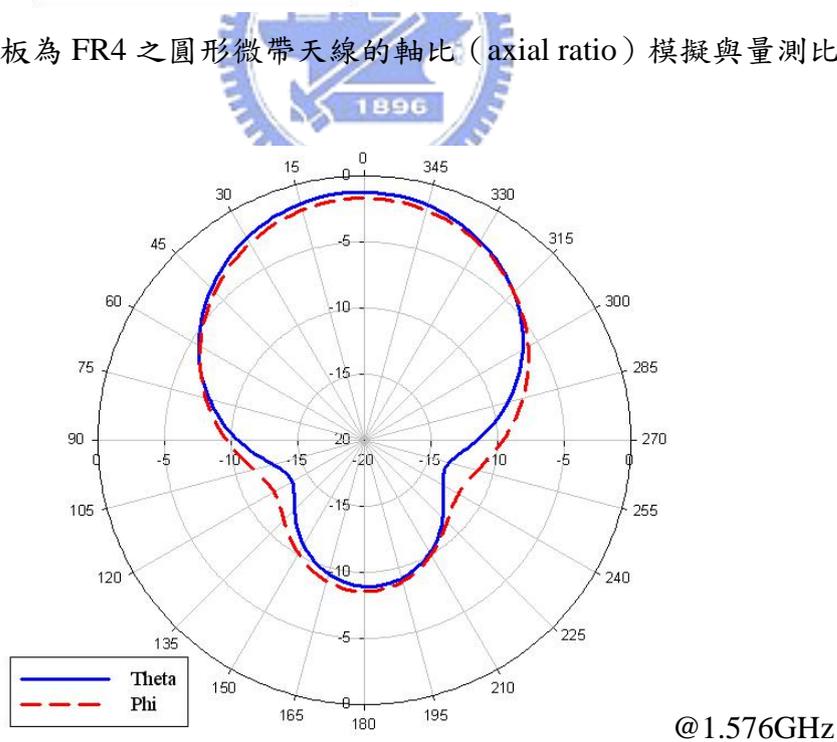
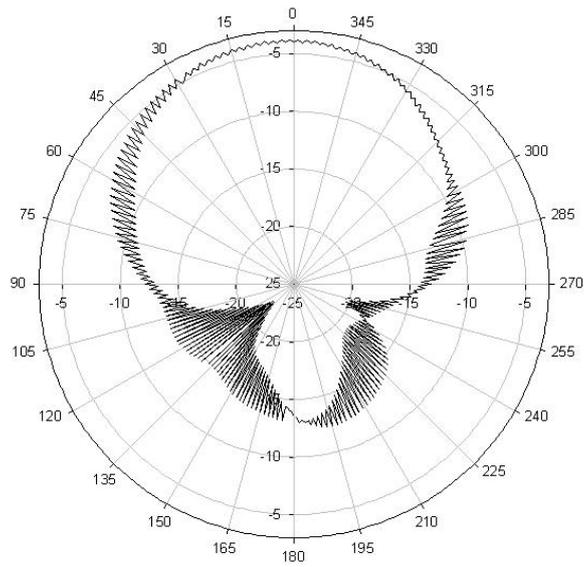


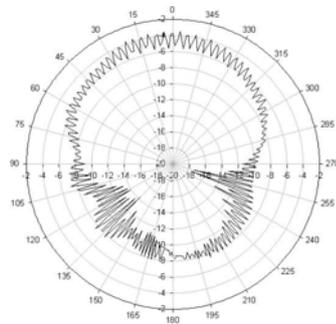
圖 3-36、基板為 FR4 之環形微帶天線的場型 (pattern) 模擬圖



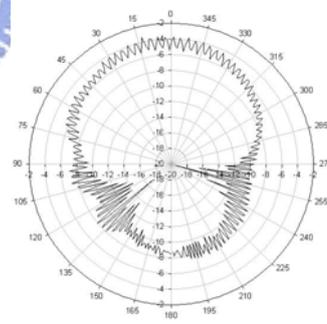
@1.585GHz

圖 3-37、基板為 FR4 之環形微帶天線的場型 (pattern) 量測圖

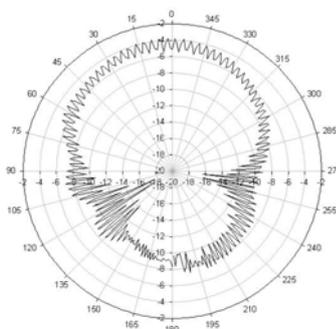
由圖 3-36 與 3-37，模擬時在天線主波束 (main beam) 方向的兩個垂直增益分別為-1.21dBi 與 -1.68dBi，而實作量測時在天線主波束 (main beam) 方向的兩個垂直增益約為-4.03dBi，大約比模擬掉了 3dBi 左右。



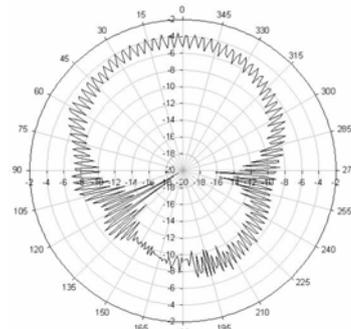
(a) 1540MHz (dBi)



(b) 1560MHz (dBi)

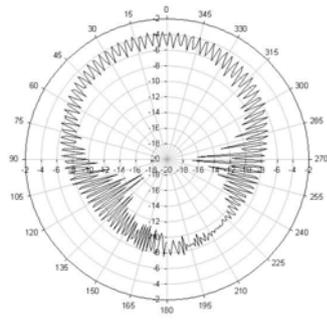


(c) 1580MHz (dBi)

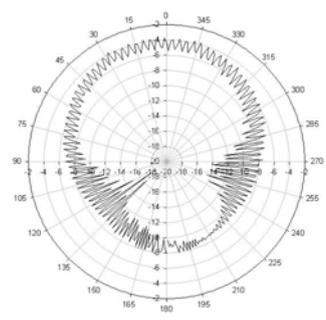


(d) 1600MHz (dBi)

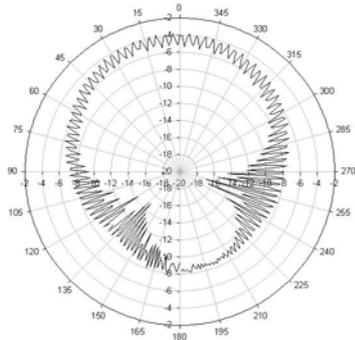
圖 3-38、YZ 切面輻射場型量測圖



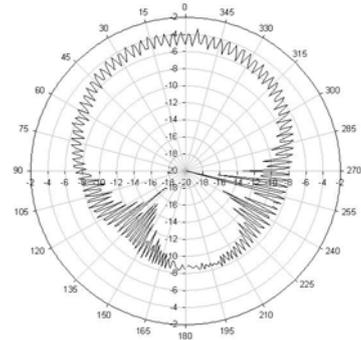
(a) 1540MHz (dBi)



(b) 1560MHz (dBi)



(c) 1580MHz (dBi)



(d) 1600MHz (dBi)

圖 3-39、XZ 切面輻射場型量測圖

### 3.2.2 基板為高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 之陶瓷材料

接下來要介紹的環形微帶天線為利用陶瓷材料設計而成的，不過此時將基板也設計成環狀，讓整個天線外形看起來就是一個環形。理論基礎皆與前述的一樣，只是將基板大小縮小，使環形微帶天線整個外形就是環形的天線。

圖 3-40 為陶瓷材料環形微帶天線整體架構圖與設計時所需的各項參數。同時，表 3-6 為使用高介電質 ( $\epsilon_r = 37$ ) 陶瓷材料當做基板時，設計環形單饋入圓極化天線之參數值。

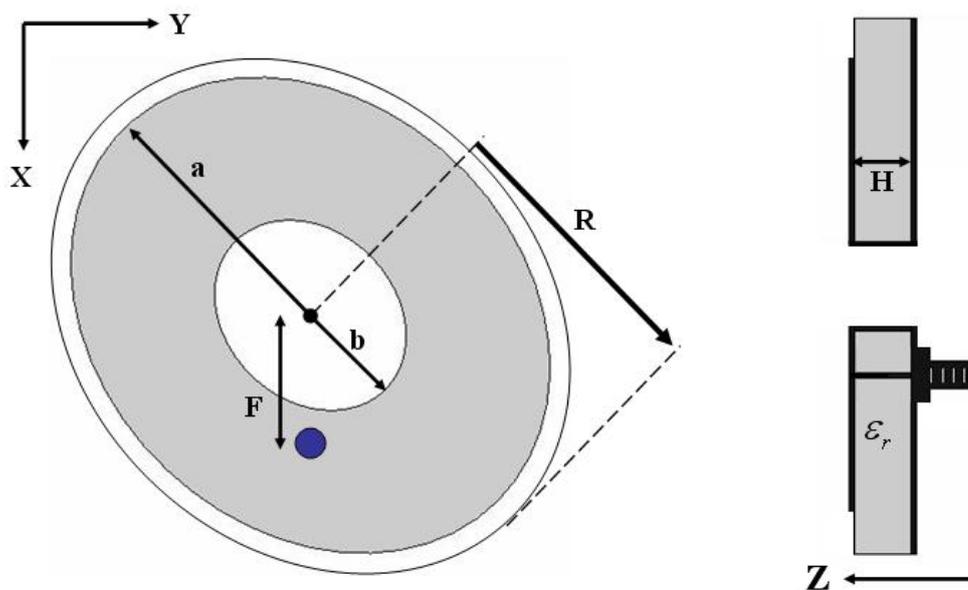


圖 3-40、陶瓷材料環形單饋入圓極化微帶天線結構圖與各項參數

參數名稱	尺寸大小 (mm)
R	10.55
H	4
a	10.05
b	2
F	2.7
ratio	0.996
介電常數 ( $\epsilon_r$ )	37
損耗正切 (loss tangent)	0.0018

表 3-6、基板為陶瓷材料所設計之環形單饋入圓極化微帶天線的參數值

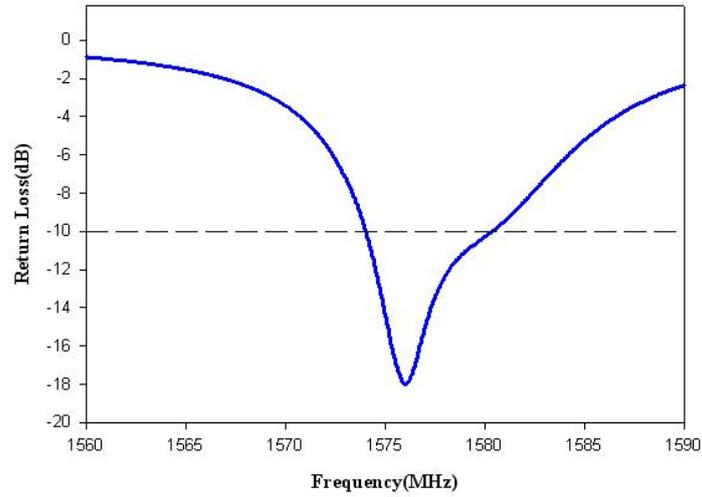


圖 3-41、基板為陶瓷材料之環形微帶天線的 S 參數模擬圖

由圖 3-41 知，環形微帶天線模擬的 S 參數頻寬約為 1574MHz ~ 1580MHz。並且由圖 3-42 可知，環形微帶天線模擬的軸比 (axial ratio) 的頻寬約為 1574MHz ~ 1582MHz。

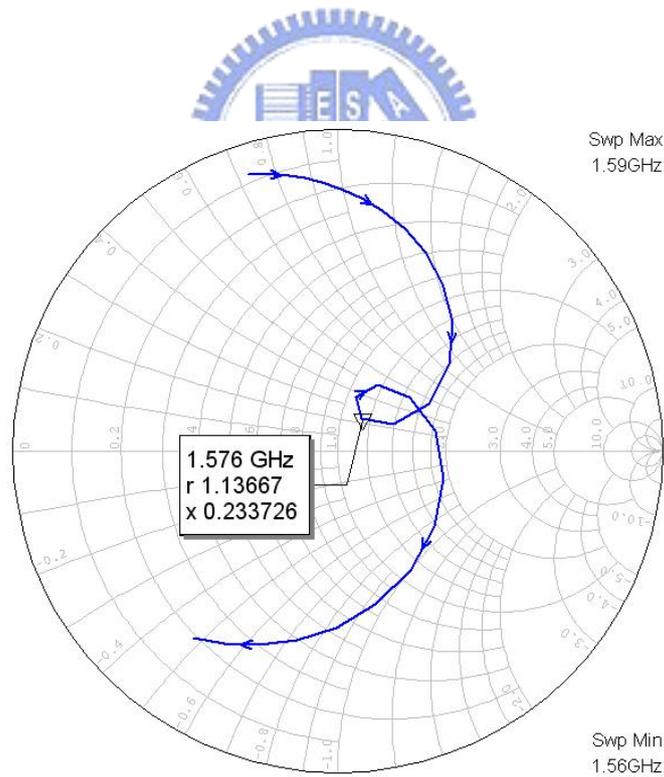


圖 3-42、基板為陶瓷材料之環形微帶天線的 Smith Chart 模擬圖

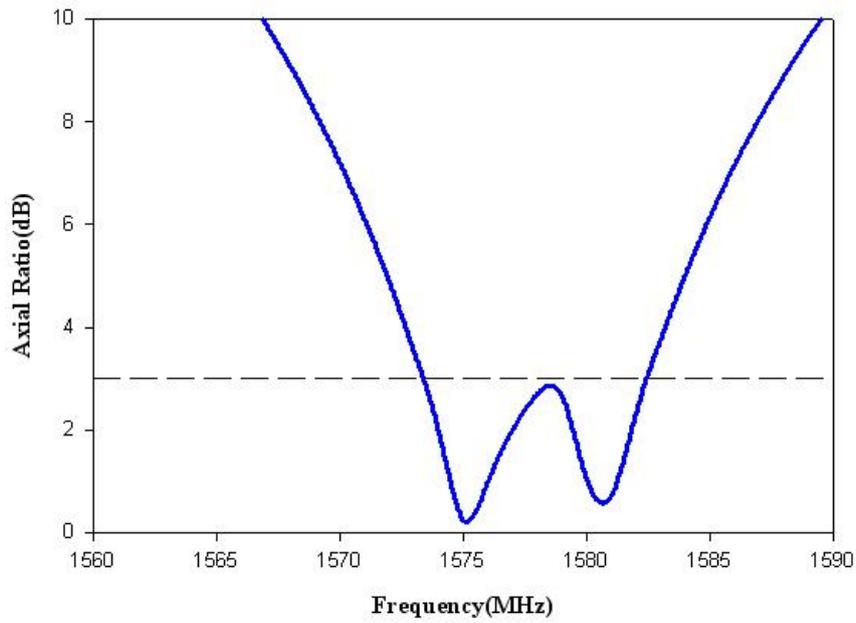


圖 3-43、基板為陶瓷材料之環形微帶天線的軸比 (axial ratio) 模擬圖

由圖 3-44 知，環形微帶天線模擬之輻射場型模擬圖在天線主波束 (main beam) 方向的兩個垂直增益大小約為  $-1.38\text{dBi}$  與  $-2.95\text{dBi}$ 。

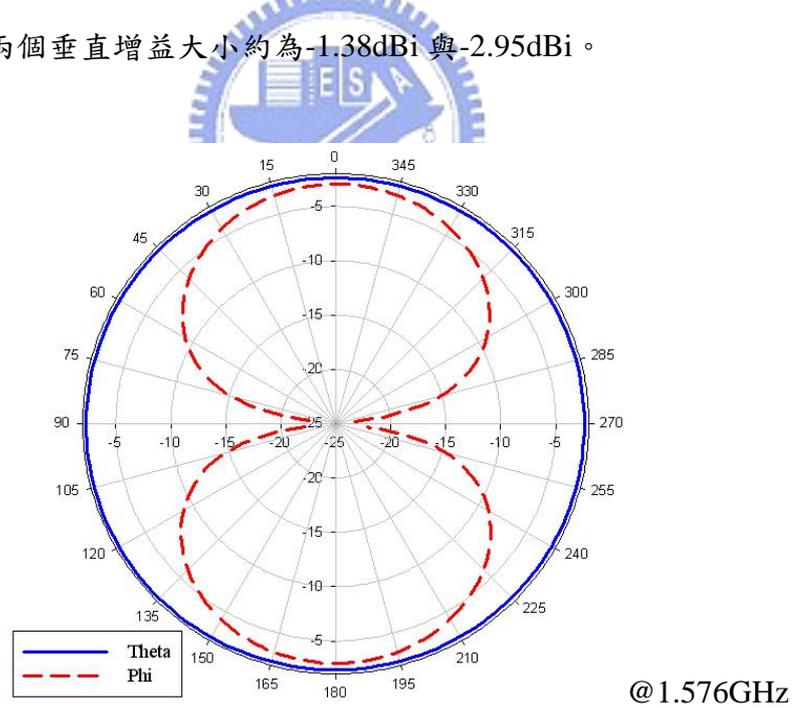


圖 3-44、基板為陶瓷材料之環形微帶天線的場型 (pattern) 模擬圖

## 第四章 結論

### ( Conclusion )

#### 4.1 微帶天線基板使用 FR4 與陶瓷材料的比較

表 4-1 ~ 表 4-3 為上一章所述的三種單饋入圓極化微帶天線使用不同基板材料時的效能比較。其中  $f_c$  為圓極化的中心頻率，面積為微帶天線本身的上表面積，並不考慮高度差異，因為在使用陶瓷材料時，為了避免陶瓷材料易碎，因此使用陶瓷材料設計的微帶天線高度均設定為 4mm。並且計算每種微帶圓極化天線在使用陶瓷材料後，面積縮小為原來使用 FR4 基板時的百分率。

天線效能	$f_c$ (MHz)	S11 BW (MHz)	AR BW (MHz)	面積 ( $mm^2$ ; %)
FR4	1585	65	40	3025
陶瓷材料	1573.5	11	11	324 ; 10.7%

表 4-1、矩形微帶天線使用 FR4 與陶瓷材料當基板時的比較

天線效能	$f_c$ (MHz)	S11 BW (MHz)	AR BW (MHz)	面積 ( $mm^2$ ; %)
FR4	1565	86	70	3600
陶瓷材料	1573	8	10	361 ; 10%

表 4-2、圓形微帶天線使用 FR4 與陶瓷材料當基板時的比較

天線效能	$f_c$ (MHz)	S11 BW (MHz)	AR BW (MHz)	面積 ( $mm^2$ ; %)
FR4	1575	85	80	4225
陶瓷材料	1578	6	8	348.27 ; 8.24%

表 4-3、環形微帶天線使用 FR4 與陶瓷材料當基板時的比較

## 4.2 結論

觀察表 4-1 ~ 表 4-3，發現到使用高介電常數 ( $\epsilon_r = 37$ ) 時，GPS 微帶圓極化天線尺寸的確可以大幅的縮小，但是頻寬也大幅的降低，降低至大概 8MHz ~ 11MHz。

由於使用 FR4 作為板材時，損耗正切 (loss tangent) 為 0.02，屬於高損耗材質。而使用陶瓷材料時，由於陶瓷材料本身基本特性很好，損耗不大，其損耗正切 (loss tangent) 頂多為 0.002，為 FR4 材料的十分之一。因此雖然理論上來說，使用介電常數越高的材料，其能量越不容易輻射，天線輻射場型增益值會降低，可是由於陶瓷材料的特性，使得微帶天線使用高介電常數陶瓷材料後，其天線增益值並不會要比使用 FR4 材料來的低。

也基於 GPS 天線本身操作的頻率不如其它一般天線要有頻寬，因此使用陶瓷材料雖然會降低天線的頻寬，但是只要頻寬有包含 GPS 天線所需的操作頻率，那麼這 GPS 天線就是可以使用的，並不會影響其使用的效果。只是在製作過程中要相當的精準，避免尺寸的些微差異而影響到工作的頻率範圍，而偏移至 GPS 天線應操作的頻率外。

## 參考文獻

- [1] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 2005.
- [2] B. M. Toh, R. Cahill, and V. F. Fusco, “Understanding and measuring circular polarization,” *IEEE Transactions on Education*, Volume 46, Issue 3, Aug. 2003, pp. 313 – 318
- [3] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, London, U. K.: Peter Peregrinus, 1989
- [4] S. A. Bokhari, J. F. Zurcher, J. R. Mosig, and F. E. Gardiol, “A small microstrip patch antenna with a convenient tuning option,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Volume 44, Issue 11, Nov. 1996, pp. 1521 – 1528
- [5] H. M. Chen and K. L. Wong, “On the circular polarization operation of annular-ring microstrip antennas,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Volume 47, Issue 8, Aug. 1999, pp. 1289 – 1292
- [6] Y. Lin and L. Shafai, “Characteristics of concentrically shorted circular patch microstrip antennas,” *IEE Proceedings*, Volume 137, Issue 1, Feb. 1990, pp.18 –24
- [7] L. Shen, “The elliptical microstrip antenna with circular polarization,” *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Volume 29, Issue 1, Jan 1981, pp. 90 – 94