

慧友電子產學合作計畫總結報



研究計畫主題

增進無線區域網路接收器靈敏度之主動式天線設計

計畫日期:2003/11/30~2004/11/30

計畫成員:

台灣大學電信工程研究所 助理教授 林怡成 博士

慧友電子股份有限公司 陳晨鐘 協理

台大電信工程研究所 李建樺 研究生

台大電信工程研究所 吳永智 研究生

一. 研究計劃簡介:

✚ 本計劃是由慧友電子股份有限公司與台灣大學電信所所合作的一個產學計畫，基本上此研究計畫的主要目的在於整合台大電信所與產業界的資源，共同研發出新產品與新技術並協助參與師生，藉由產學合作驗證理論，提昇應用研究水準，累積實務經驗，以達成培訓人才之目的，同時也能幫助產業界升級，以達到雙贏的結果。在這個前提之下，參與公司既可從研究成果中獲益，研究生又可在真實商業環境中得到實際研究經驗，在加上指導教授的催化及潤滑，一方面提供業界與學生研究的互動，同時又可以與產業界建立更密切的聯繫，從而更了解業界所面對的問題。

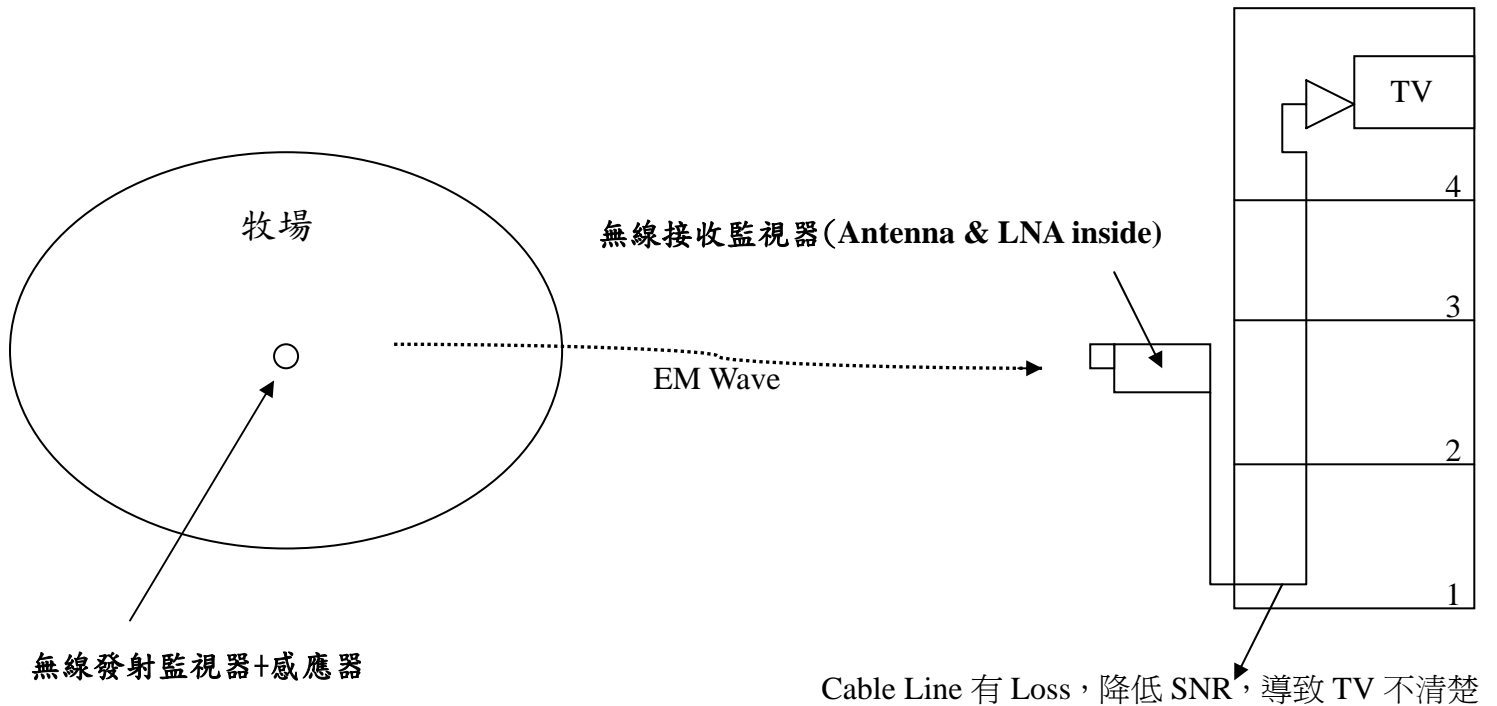
二. 研究計畫動機:

✚ 設計起源動機:

由於慧友電子股份有限公司的主力產品是關於監視器的研發，因此全力研發新一代的多功能監視器變成為公司的目標，故公司內有個想法想將監視器給無線化，一來增加產品的吸引力，二來配合無線區域網路的盛行，與未來城市區域網路化做連結。當然，無線網路的重要高頻元件之一就是天線，這一部分也是我們台大電信所電波組所致力研發的技術，所以互蒙其利，便誕生了此研究計畫。

應用環境:

結合無線與有線的應用，對一般監視系統(門禁系統、牧場監控管理 etc...) 都可以使用這種內嵌隱藏式天線的監視器，為了配合跟監視器外殼做結合，這裡考慮以平面式天線為設計架構，系統應用環境簡單闡述於下:



說明: 牧場中心有一感應器和監視器, 360° 偵測四周環境, 若有不明狀況發生則同時感測並經由監視器紀錄當時畫面, 以無線電波傳送到控制室大樓旁的接收監視器(同時也可以監控大樓保全), 再經由在建築物中的有線傳輸傳送畫面到四樓的控制室, 途中放大器表示一般將電路部份擺在 TV 端作訊號處理的作法, 但犧牲掉的是雜訊比, 故吾人將 Antenna 跟 LNA 整合成一模組減少 Cable 所降低的訊號品質。

三. 計劃預定目標:

初期目標

- 配合廠商可能需求上的應用，先針對主動天線模組的每個 Element 作細部完整的研究，基本上屬於資料收集時期，在這段期間內，研究成員們分別針對各個部份來進行研讀與探討，並在每禮拜的工作報告中互相討論，同時訂下未來工作事項。
- 工作時間為兩個月(2003/11/15~2004/1/15)。

中程目標

- 開始針對單一 Element 做設計與實作。主要工作項目是分別針對三大元件-射頻 Broadband 接收天線、高頻切換器、低雜訊放大器進行研究。

1. 射頻Broadband接收天線部份:

天線部分為此次計畫的核心，因此在模擬與實作的部分有較深的投入。一開始在選擇能適用之天線架構的過程中，模擬且實驗過兩種天線，一為 Microstrip-line fed patch antenna，另一個為 Step-type Microstrip line fed slot antenna。最後選擇了後者，其原因主要在於後者擁有的寬頻特性較前者為佳。

2. 高頻切換器部份:

此部分元件在天線系統組裝時提供了量測的方便性及其他可能運用，故在此針對 Microwave Switch 基本操作原理進行研究，並且實際 Layout 出 Test Boards，以便提供廠商 Samples 的量測。希望增加在系統整合時可能用到的觀念。

3. 低雜訊放大器部份:

這次研究計畫的另一個重要探討元件是接收系統中不可或缺之元件-低雜訊放大器(LNA)，會針對此元件作基本原理的探討。再來，會再針對 LNA 在整個接收系統所扮演的角色作深入研究，以建立此主動接收天線系統能在未來能順利整合的觀念。

- 工作時間為六個月(2004/1/15~2004/7/15)。

最終目標

- 設計研製出一個能操作於 IEEE802.11b(2.4GHz~2.4835GHz)的主動接收天線模組。[包含射頻 **Broadband** 天線、微波 Switch 以及低雜訊放大器(LNA)的設計、研製以及整合量測]
- 針對實驗結果進行討論與修改，並探討可以再加強進步的地方(優缺點的探討)，針對缺點部份再以模擬軟體模擬加強到較佳結果(Fine Tuning)。
- 工作時間為四個月(2004/7/15~2004/11/30)。

三. **研究方法與步驟**:

✚ 射頻 **Broadband** 接收天線(RF **Broadband** Antenna):

Step 1: 首先對於計畫所需頻段之天線(2.4GHz)和可適用於計畫所要求環境的天線架構作Papers Survey，並從中選擇可適用之天線架構(最後從Patch Antenna & Slot Antenna此兩種Planar Antenna擇一)。

Step 2: 為了考驗Paper天線架構的可靠性，先依樣畫葫蘆，即作Follow Paper的動作。簡單來說，就是將Paper中的整體尺寸、參數、材料、大小作完整Copy到天線模擬軟體中作模擬的研究，若模擬結果跟Paper中之結果相似，則在進一步改良Paper中的各個細部參數，以符合我們計畫的預定天線設計目標。

Step 3: 實際以FR4 電路板進行研製，將模擬出來的較佳的天線尺寸透過曝光、顯影、蝕刻等步驟後即可完成天線之實作，最後焊接上SMA-Female接頭後即可進行量測工作。

Step 4: 將量測結果與模擬結果比較，此步驟理念在於驗證理論值與實際值的不同，從中討論會影響天線各個Performance之參數，透過Trade-Off的取捨，找出天線Final Size，同時希望將量測誤差控制到最小的程度。

✚ 微波切換器(Microwave Switch):

Step 1: 熟悉高頻Switch的基本操作原理，並找尋適合計畫使用的Samples，同時多研究各家廠商的Data Sheets，比較其優缺點。

Step 2: Layout出以FR4 為基板的Test Board，並焊接上Switch Samples，以便量測Performance(Insertion Loss、Isolation、Return Loss)來提供往後應用的參考。

✚ 低雜訊放大器(Low Noise Amplifier):

Step 1: 研讀關於低雜訊放大器的基本操作原理和一些重要的阻抗匹配觀念，另外是關於DC bias和RF 饋入的Isolation觀念。

Step 2: Layout出以FR4 為基板的Test Board，並焊接上LNA Samples，以便量測其Performance(S-parameter、Noise Figure、P1dB) 來提供往後系統整合的參考數值。

四. 模擬與實作之研究分析:

◆ 以下分作四大方向分析:

1. 射頻 **Broadband** 天線的模擬與實作結果分析。
2. 微波切換器的 Data Sheets 與實際 Layout 量測結果比較。
3. 低雜訊放大器的 Data Sheets 與實際量測結果比較。
4. 系統整合後的理論預估值與實際量測結果比較。

✚ Broadband 天線部分

參考文獻

[A Novel Broadband Microstrip-Fed Wide Slot Antenna With Double Rejection Zeros]

(Lei Zhu, *Senior Member, IEEE*, Rong Fu, and Ke-Li Wu, *Senior Member, IEEE*)

參考文獻天線架構(Operate at 5GHz)

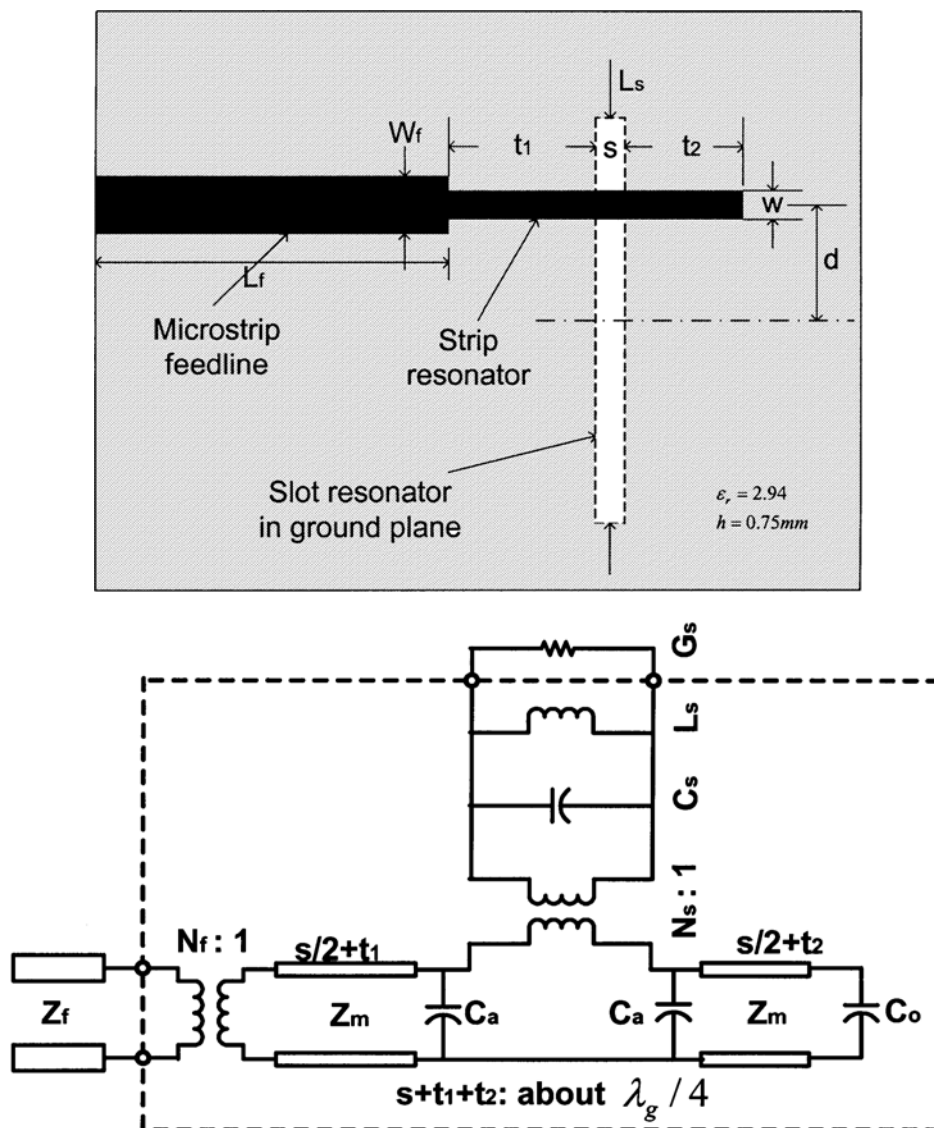


Fig. 1. Physical geometry and equivalent circuit topology of a novel broadband microstrip offset-fed slot antenna with double rejection zeros.

(a) Physical geometry. (b) Equivalent topology.

參考文獻天線基本操作原理

由 Fig. 1(b) 的等效電路模型知，輸入訊號功率由寬度為 W_f 、阻抗值為 Z_f 的傳輸線饋入，接下來經由 Step 形式的變化到寬度為 w 、阻抗值約為 $2Z_f$ 的傳輸線，此 Step 段的阻抗變化可以由 $N_f:1$ 的 Impedance Transformer 來等效。

接下來訊號由長度為 $s+t_2+t_1$ 、寬度為 w 、阻抗約為 $2Z_f$ 的 Strip Resonator 中心耦合到 Slot-Ground 的部份，此處的阻抗變化一樣以一個 Impedance Transformer 來等效

最後訊號在 Slot-Ground 共振 (LC 共振)，輻射能量到遠場，而遠場的 Radiation Resistance 為 $G_s(R_s)$ 。

另外，有三個對地的等效電容，其中兩個 C_a 為 Slot 中心點位置的對地等效電容，另一個 C_o 為 Strip Resonator 開路尾端的對地等效電容。

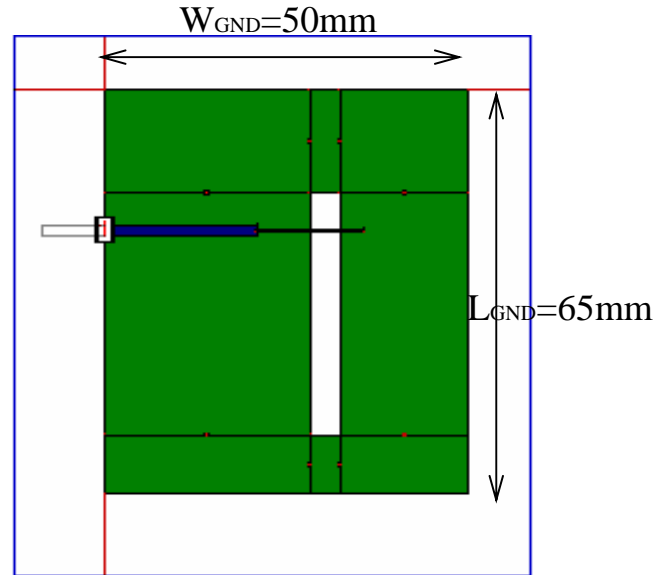
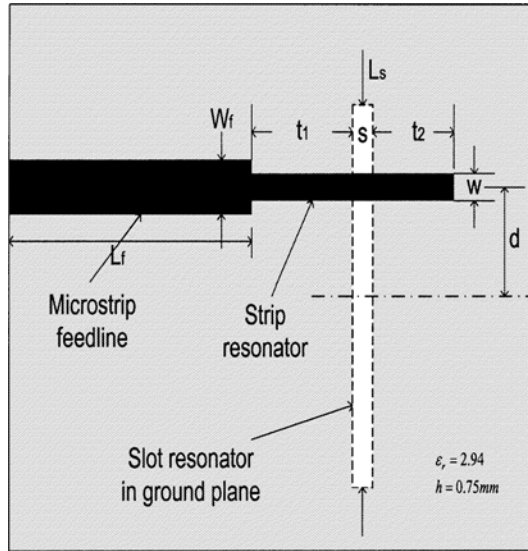
參考文獻天線尺寸設計

$$W_f=1.95\text{mm}(50\Omega)、s+t_1+t_2=\frac{1}{4}\lambda_g=9.8\text{mm}、L_s=\frac{1}{2}\lambda_g=24\text{mm}、s=5\text{mm}、w=0.5\text{mm}$$

[Tuning Parameters 為 d & t_2]

Follow Paper Simulation

天線架構說明：



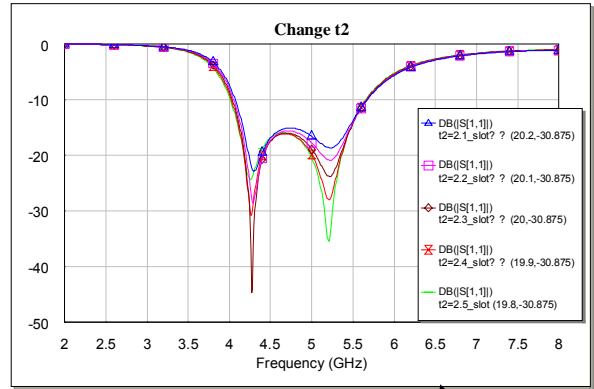
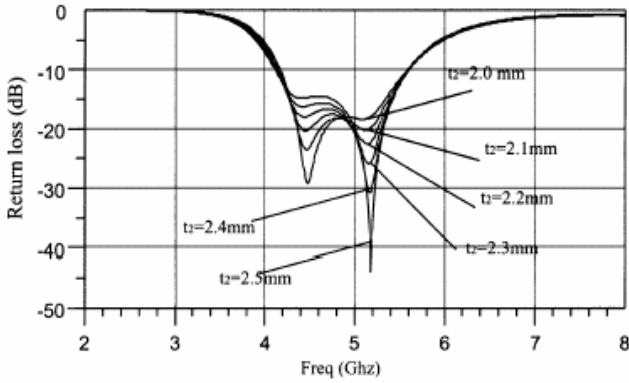
Simulation Tool : IE3D

模擬時的尺寸 設定(5GHz)	Wf=1.95mm	S=5mm	W _{GND} =50mm	t2+S+t2=9.8mm	w=0.5mm
	Lf=15mm	Ls=24mm	L _{GND} =65mm	t2=2~2.5(mm)	d=9.8~10.2(mm)

基板與參數設定:R06002($\epsilon_r=2.94$ 、 $\tan \delta=0.0012$ 、 $h=0.75\text{mm}$)

Follow Paper 的模擬結果

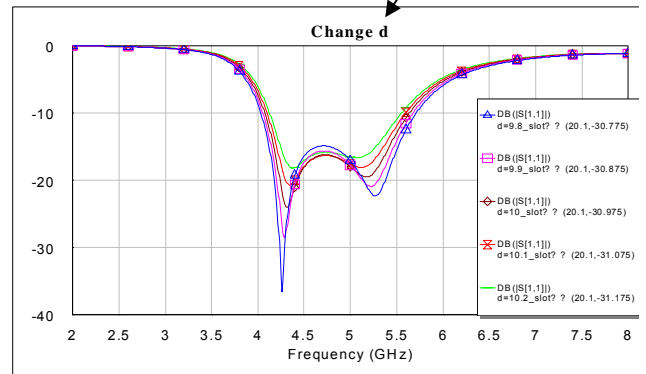
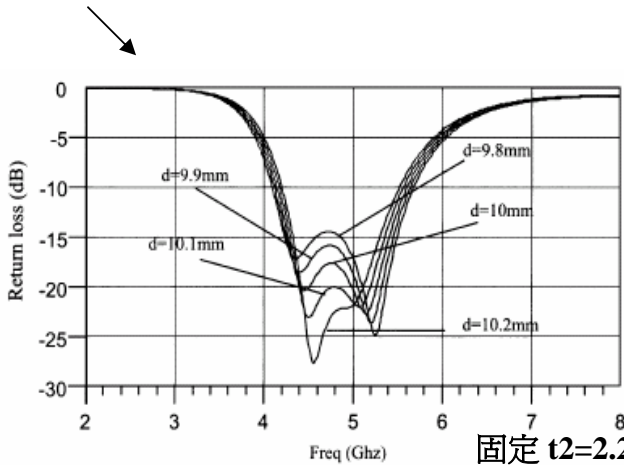
Return Loss 模擬結果



固定 $d=9.9(\sim \frac{1}{2}\lambda_g)$ ，tuning parameter t_2

Paper simulation(Agilent momentum)

My simulation(IE3D)

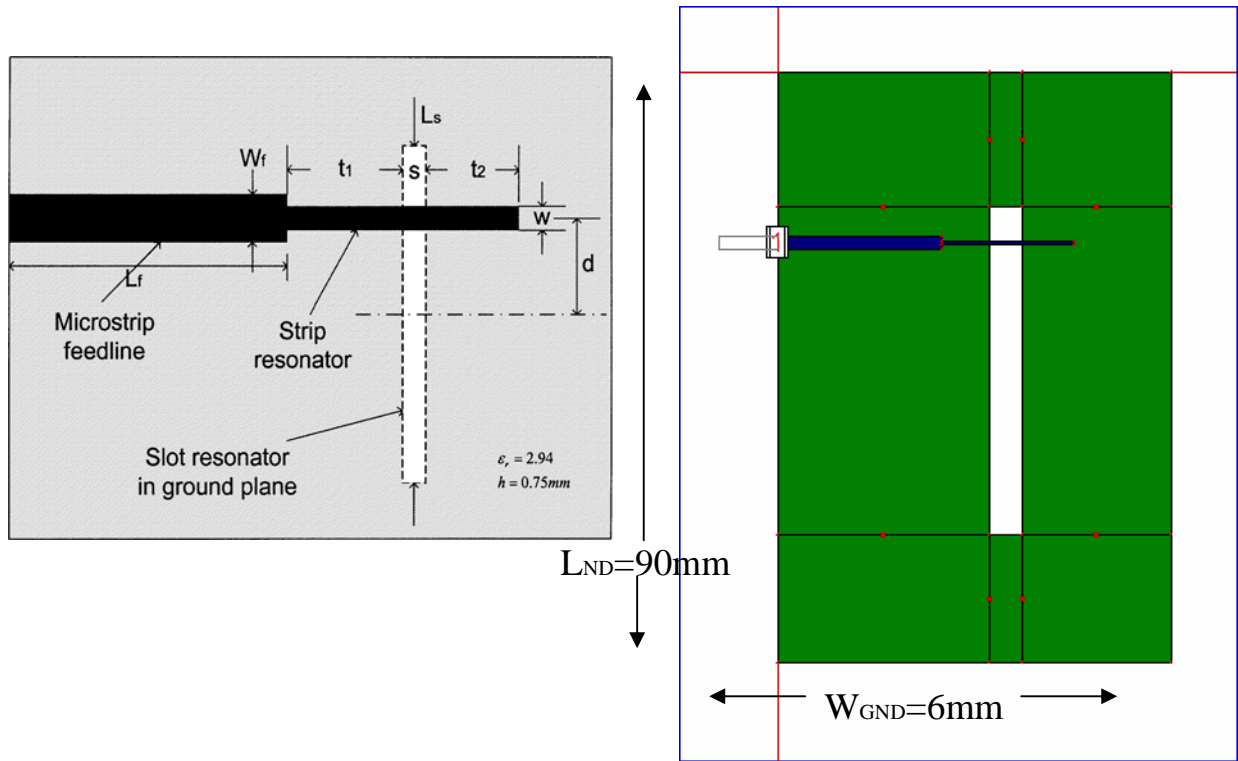


固定 $t_2=2.2$ ，tuning parameter d

結論

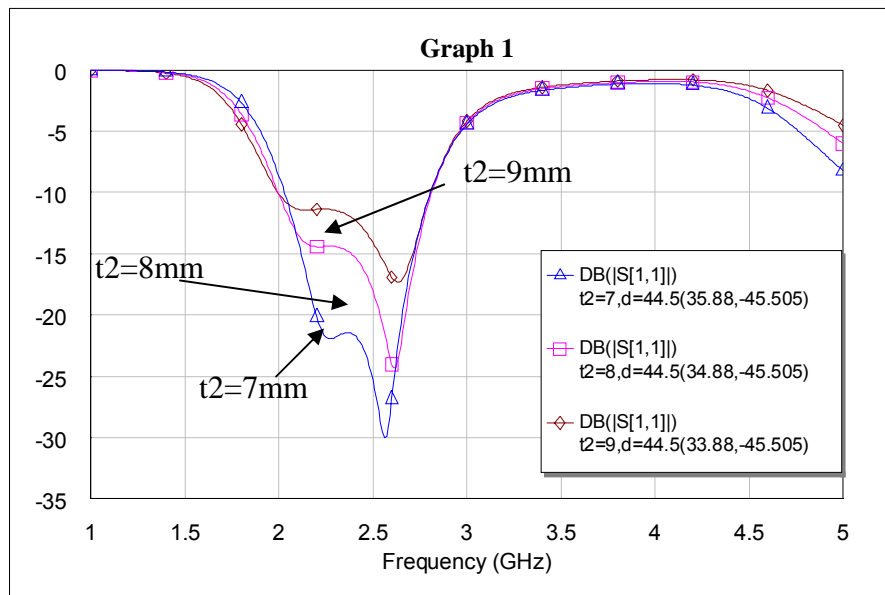
IE3D 模擬結果與 Paper 完全符合，10dB 頻寬也相等(寬頻)，故一方面相信此篇論文的天線架構適合我們使用，另一方面驗證 IE3D 的準確度也有一定的水準，以上結果頻率是操作在 5GHz 操作，為了適用計畫的應用，下一步會將頻率轉移至 2.4GHz 做模擬(所有基板_R06002 參數不變，只針對長度放大到 2.4GHz 所對應的波長作 Scale up)。

Scale up the size from 5GHz to 2.4GHz



模擬時的尺寸設定 (2.4GHz)	Wf=1.93mm	S=5mm	WGND= 60mm	T2+S+t2=20.38m	w=0.49mm
	Lf=25mm	Ls=49.92mm	LGND=90mm	t2=7~9(mm)	d=19.54mm

Return Loss 模擬結果

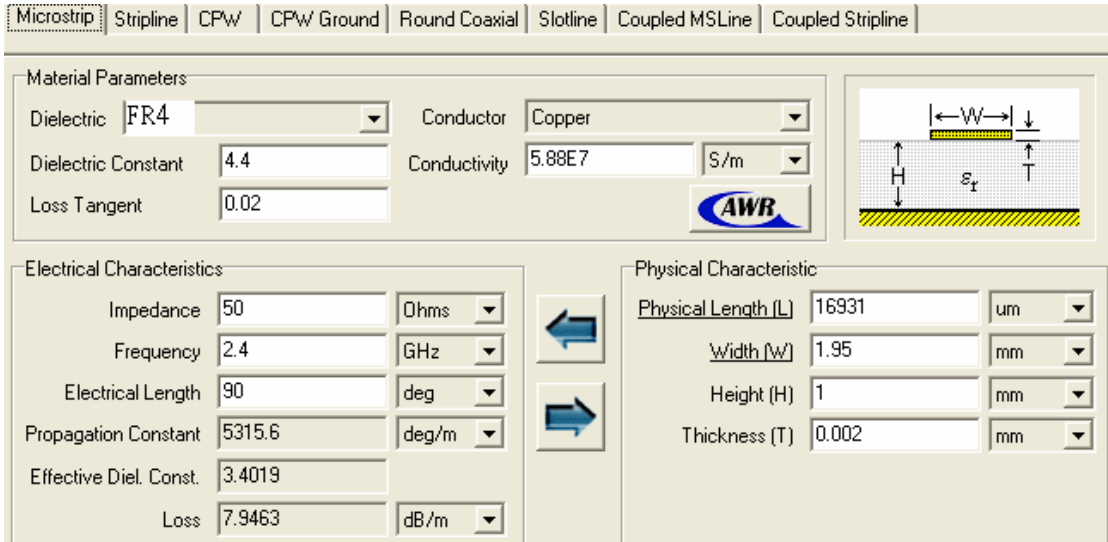


[Follow Paper 的 Scale to 2.4GHz 也有達到寬頻的效果]

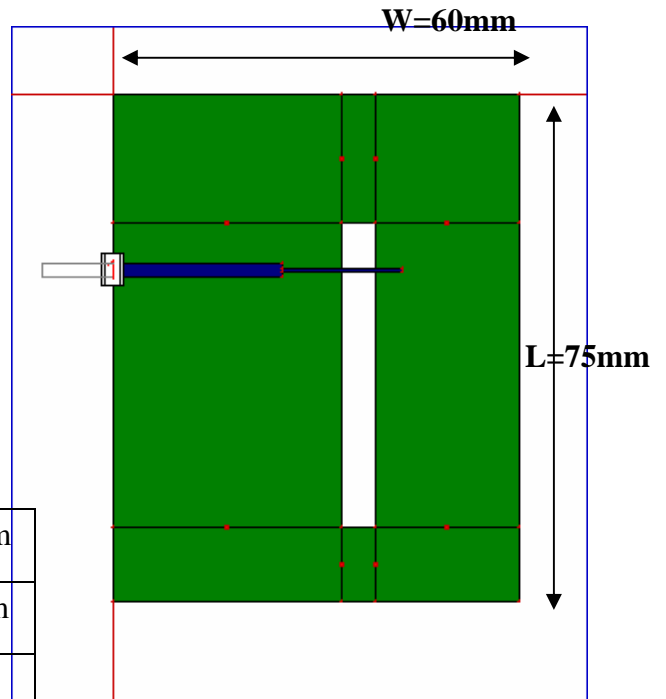
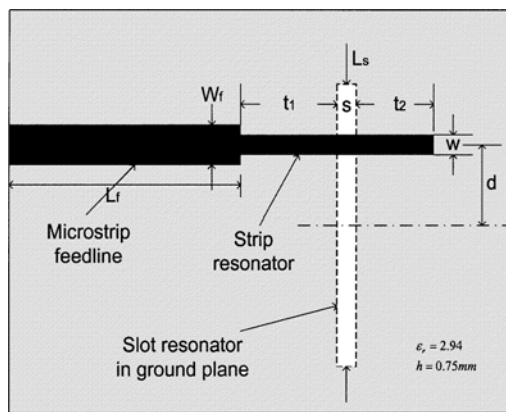
2. 4GHz Step-type MS-line fed Slot Antenna Simulation

(以 FR4 為基板設計-為了成本考量)

基板與參數設定: FR4 ($\epsilon_r=4.4$ 、 $\tan \delta=0.02$ 、 $h=1.0\text{mm}$)



IE3D 模擬架構圖形 (Slot 未對稱於 Ground 中心):



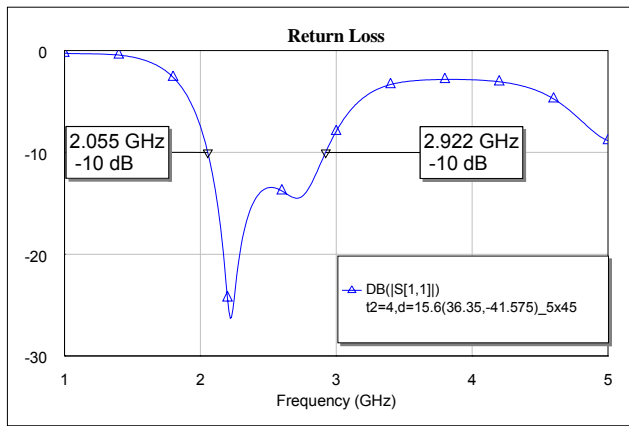
模擬時的尺寸設定 (2.4GHz)	$W_f = 1.95\text{mm}$	$S = 5\text{mm}$	$W_{\text{GND}} = 60\text{mm}$
	$L_f = 25\text{mm}$	$L_s = 45\text{mm}$	$L_{\text{GND}} = 75\text{mm}$
	$w = 0.42\text{mm}$	$d = 15.6\text{mm}$	$t_2 = 4\text{mm}$

Design Goal:

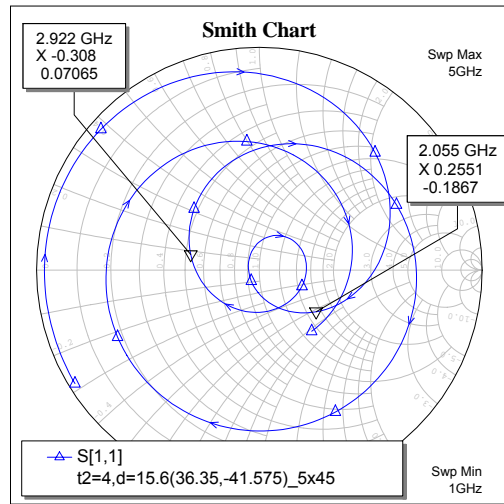
Siez < 60x60 mm ²	頻帶:2.4GHz~2.4835GHz
Peak Gain ≈ 4dBi	BW=30%(10dB 頻寬)

IE3D 模擬結果(Slot 未對稱於 Ground 中心)

Return Loss

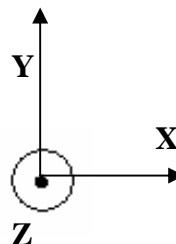
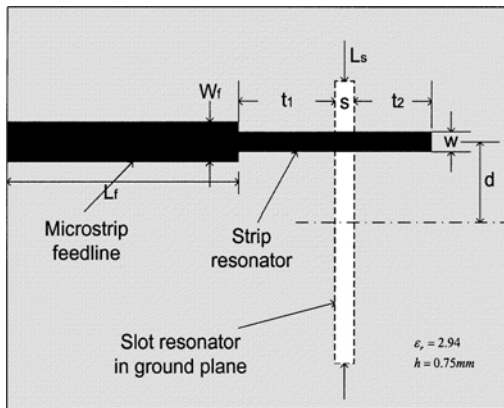


Smith Chart



10dB 頻寬:2.055GHz~2.922GHz=867MHz (BW=35%)

E-plane & H-plane 之定義平面說明:



E-plane=X-Z plane

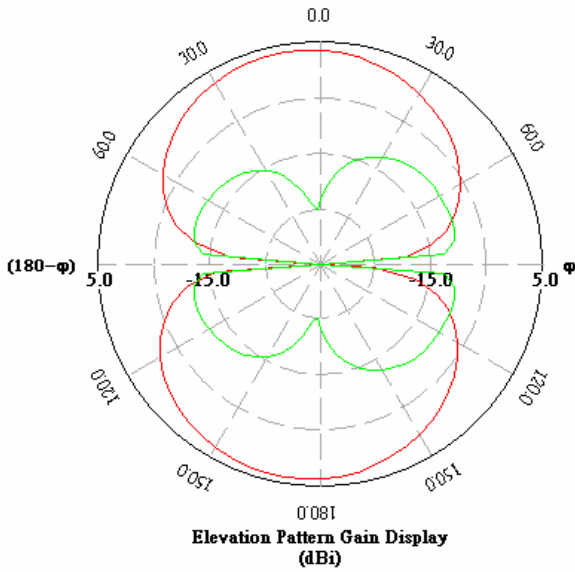
H-plane=Y-Z plane

(與 Dipole 相反，因為 Dipole 為電流效應，Slot 為等效磁流作用，彼此為 Duality 的關係)

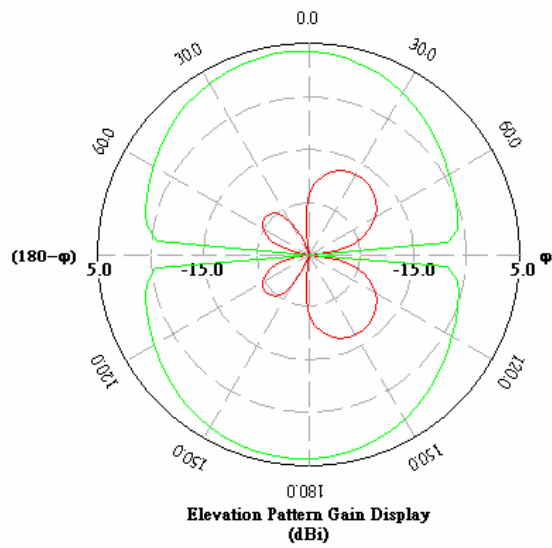
Radiation Pattern(Gain Pattern)

—●— f=2.4(GHz), E-theta, phi=0 (deg), PG=3.9963 dB, AG=0.370539 dB
—●— f=2.4(GHz), E-phi, phi=0 (deg), PG=10.1288 dB, AG=12.9327 dB

—●— f=2.4(GHz), E-theta, phi=90 (deg), PG=17.3249 dB, AG=22.0702 dB
—●— f=2.4(GHz), E-phi, phi=90 (deg), PG=3.82948 dB, AG=0.659024 dB



E-plane



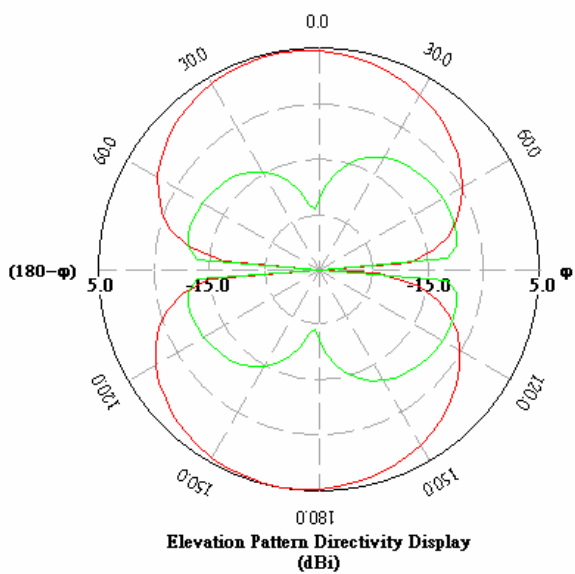
H-plane

Gain 數值為 4dBi 左右

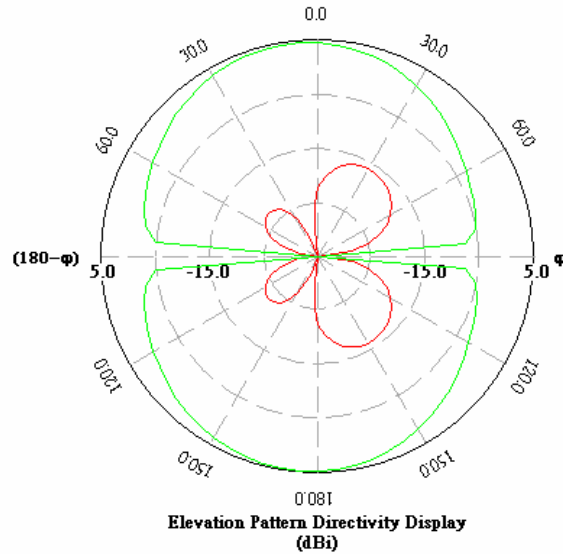
Radiation Pattern(Directivity Pattern)

—●— f=2.4(GHz), E-theta, phi=0 (deg), PG=5.02315 dB, AG=1.39739 dB
—●— f=2.4(GHz), E-phi, phi=0 (deg), PG=9.10196 dB, AG=11.9058 dB

—●— f=2.4(GHz), E-theta, phi=90 (deg), PG=16.298 dB, AG=21.0433 dB
—●— f=2.4(GHz), E-phi, phi=90 (deg), PG=4.85633 dB, AG=1.68587 dB



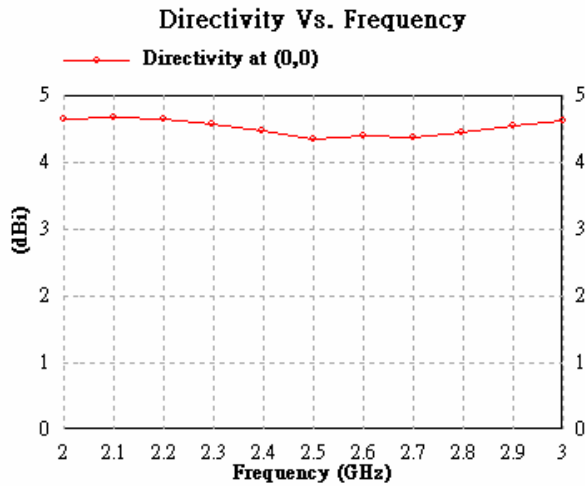
E-plane



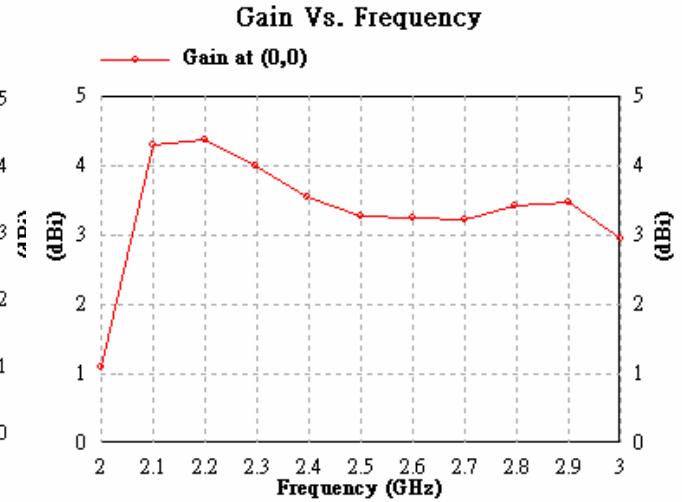
H-plane

Directivity 數值為 5dBi 左右

Directivity VS. Frequency



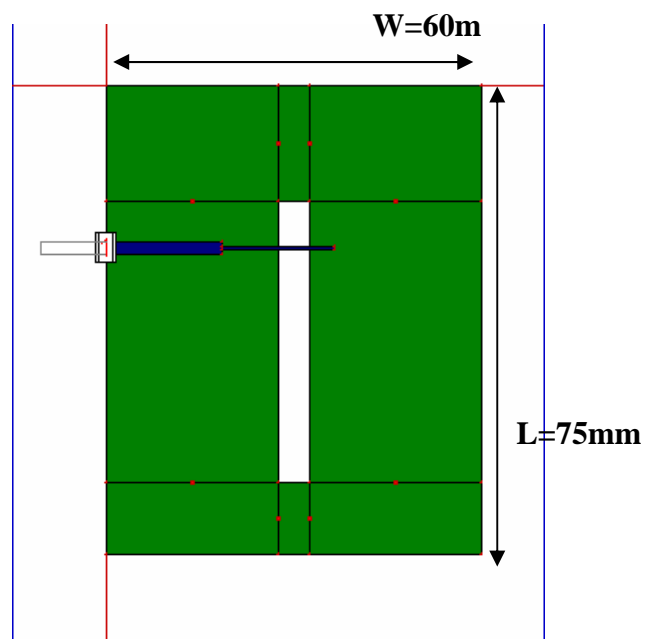
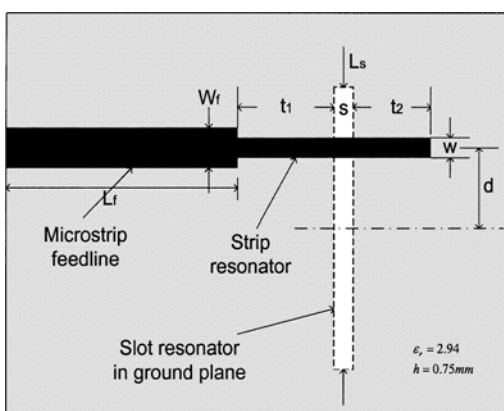
Gain VS. Frequency



IE3D 模擬結果之問題與討論(Slot 未對稱於 Ground 中心):

1. Return Loss 的阻抗匹配結果符合 IEEE802.11b 的操作頻段，且頻寬也達到 35% (867MHz)，此部份有達到寬頻的要求目標。
2. Radiation Pattern 的部份，場型分佈也有符合 Slot Antenna 的 pattern，前後都有輻射能量；Gain 的 Peak 值有 4dBi(Directivity 的 Peak 值有 5dBi)，也達到了設計目標。不過 Co-polarization 的大小過大，這部份有修改的空間。
3. Directivity VS. Frequency 沒有大問題，但 IE3D 的 Gain VS. Frequency 的模擬結果感覺上有點問題，此部份也會在後面做討論。

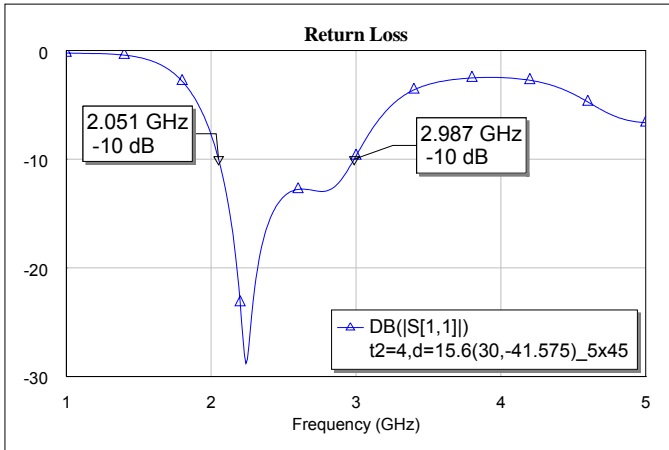
IE3D 模擬架構圖形(Slot 對稱於 Ground 中心):



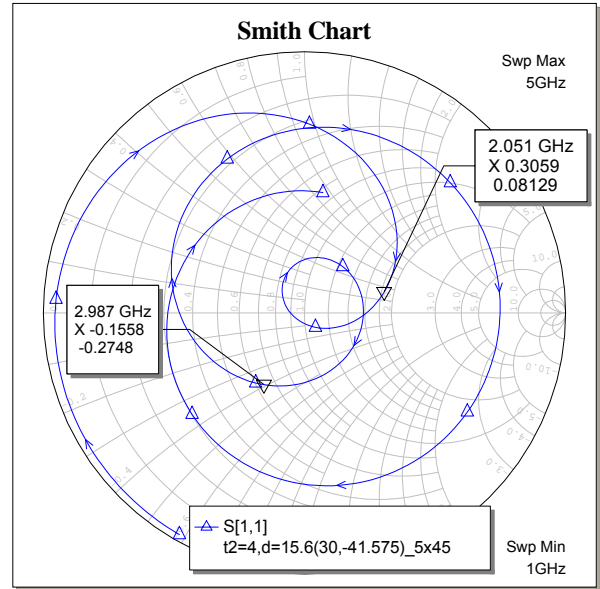
此部份模擬尺寸參數與上部分相同，唯一不同是 Slot 對稱在中心。

IE3D 模擬結果(Slot 對稱於 Ground 中心)

Return Loss



Smith Chart

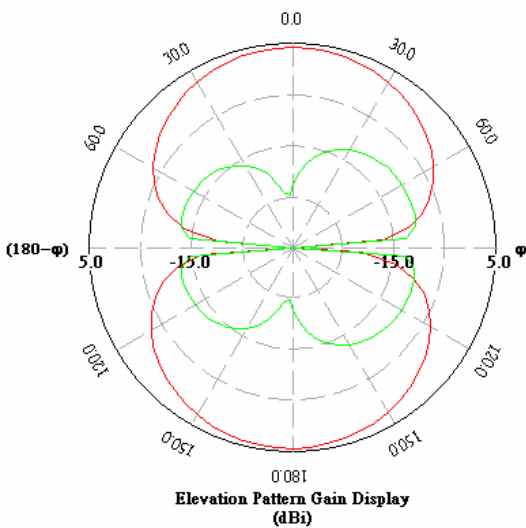


10dB 頻寬:2.051Hz~2.987z=936MHz (BW=37%)

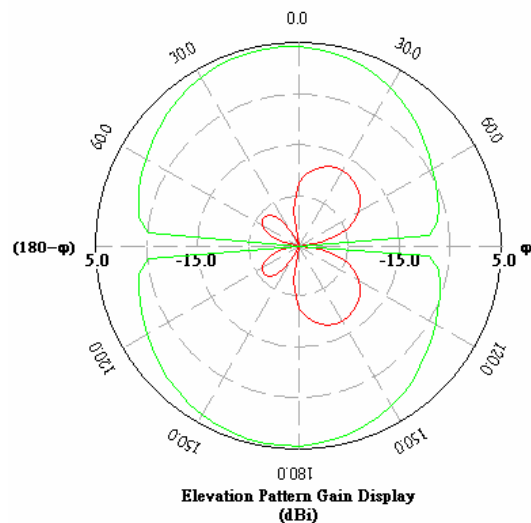
Radiation Pattern(Gain Pattern)

— f=2.4(GHz), E-theta, phi=0 (deg), PG=4.35094 dB, AG=0.955345 dB
— f=2.4(GHz), E-phi, phi=0 (deg), PG=10.1702 dB, AG=13.2915 dB

— f=2.4(GHz), E-theta, phi=90 (deg), PG=17.8638 dB, AG=22.7041 dB
— f=2.4(GHz), E-phi, phi=90 (deg), PG=4.45356 dB, AG=1.24613 dB



E-plane



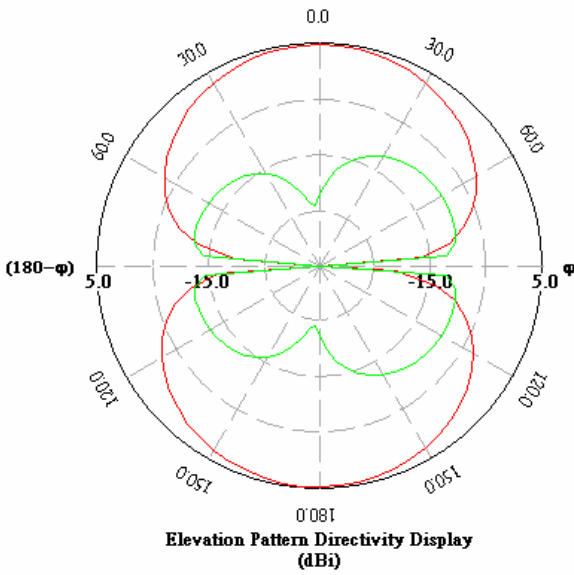
H-plane

Gain 數值為 4.4dBi 左右

Radiation Pattern(Directivity Pattern)

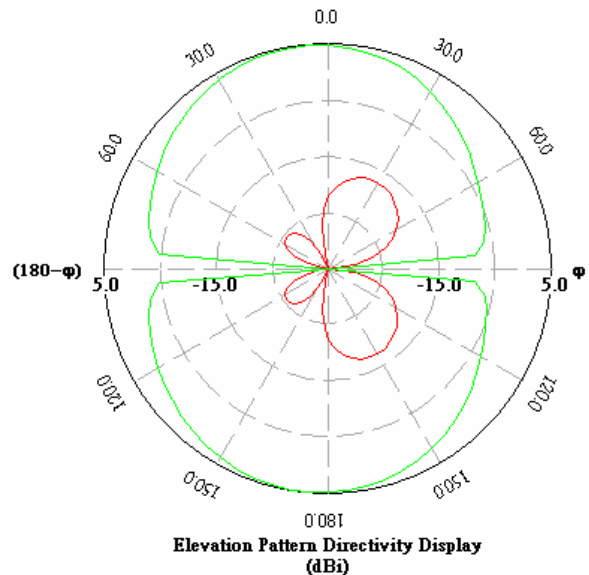
—●— f=2.4(GHz), E-theta, phi=0 (deg), PG=4.85557 dB, AG=1.45998 dB
—●— f=2.4(GHz), E-phi, phi=0 (deg), PG=9.66559 dB, AG=12.7869 dB

—●— f=2.4(GHz), E-theta, phi=90 (deg), PG=17.3592 dB, AG=22.1995 dB
—●— f=2.4(GHz), E-phi, phi=90 (deg), PG=4.9582 dB, AG=1.75076 dB



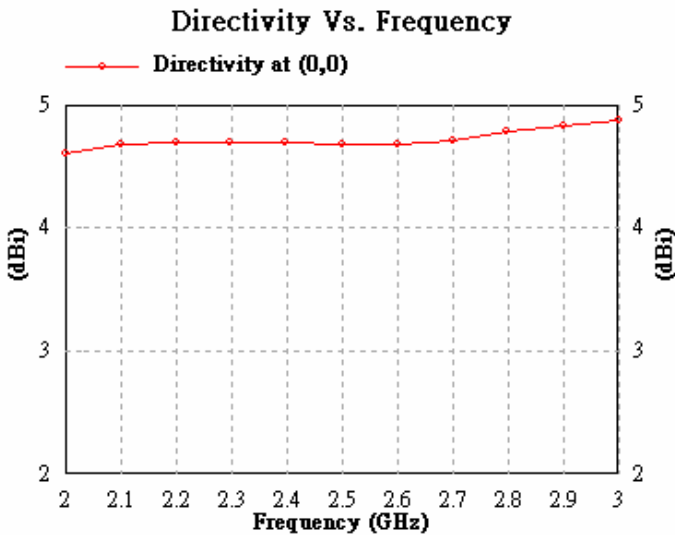
E-plane

Directivity 數值為 5dBi 左右

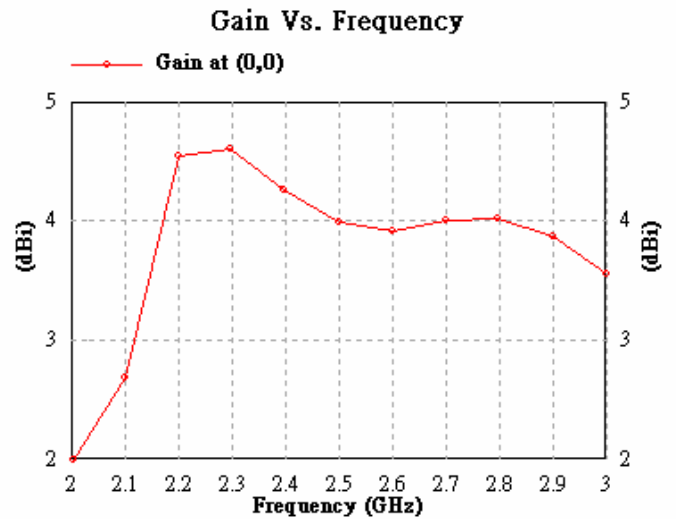


H-plane

Directivity VS. Frequency



Gain VS. Frequency



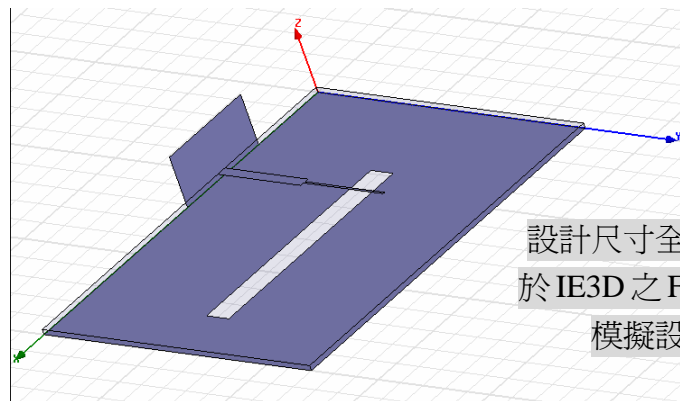
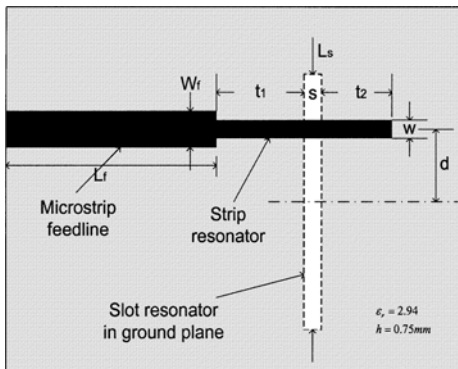
IE3D 模擬結果之問題與討論(Slot 對稱於 Ground 中心):

1. Return Loss 的阻抗匹配結果符合 IEEE802.11b 的操作頻段，且頻寬也達到 37% (936MHz)，此部份有達到寬頻的要求目標，與非對稱的模擬結果來比較，頻寬有變大一些(↑2%)。
2. Radiation Pattern 的部份，場型分佈也有符合 Slot Antenna 的 pattern，前後都有輻射能量

；Gain 的 Peak 值有 4.4dBi(比非對稱 Slot 大了 0.4dBi)，Directivity 的 Peak 值有 5dBi(與非對稱 Slot 差不多)。不過 Co-polarization 的大小跟非對稱 Slot 部份相同，也較大。

3. Directivity VS. Frequency 沒有大問題，但 IE3D 的 Gain VS. Frequency 的模擬結果感覺上有可以檢討的空間，此部份也會在後面做討論。
4. 為了再深入探討此架構天線，以下再以 HFSS 軟體模擬，與 IE3D 軟體互相認證，由於 Slot 改成對稱中心後，IE3D 顯示的 Performance 較好，HFSS 模擬將採用 Slot 對稱架構。

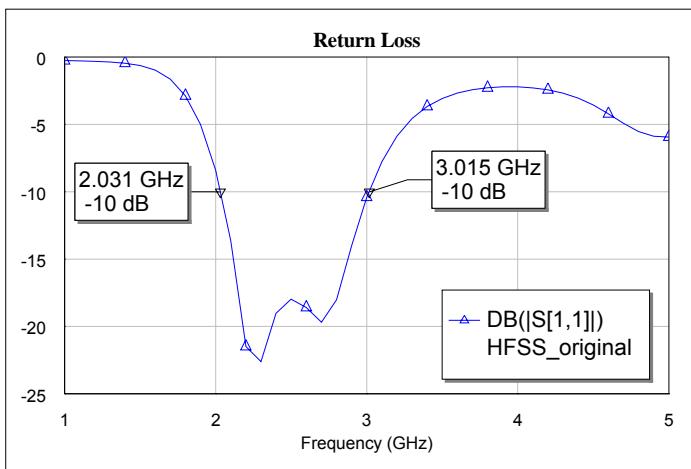
HFSS 模擬架構圖形：



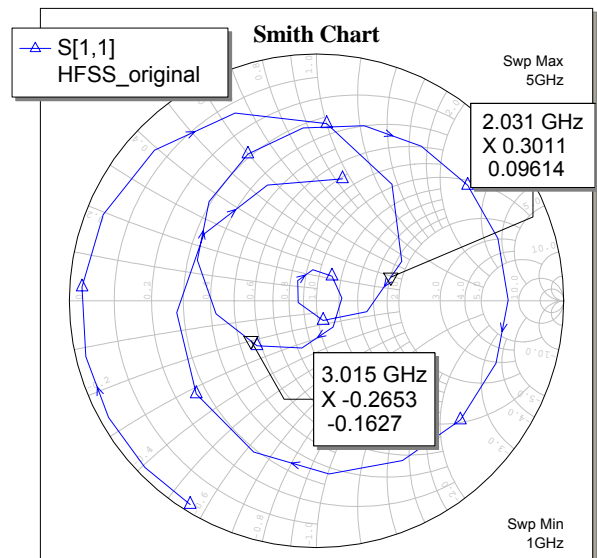
設計尺寸全部相同
於 IE3D 之 FR4 基板
模擬設定

HFSS 模擬結果

Return Loss

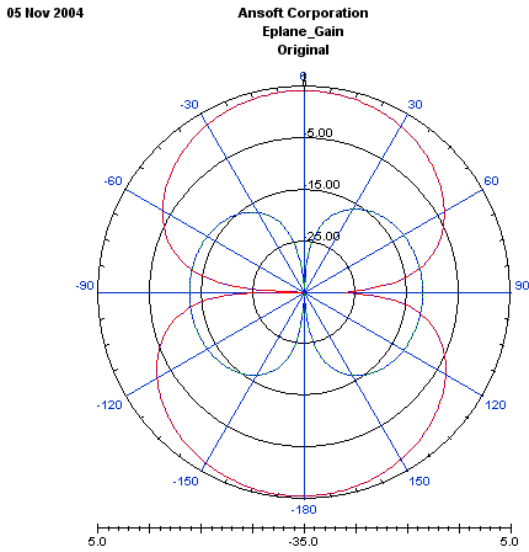


Smith Chart



10dB 頻寬:2.031Hz~3.015z=986MHz (BW=39%)

Radiation Pattern(Gain Pattern)

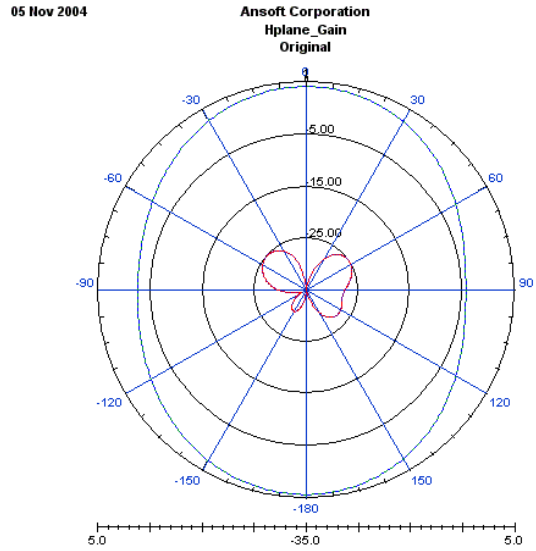


E-plane

05:45:30

M1= 4.130
P1= -0.000
360.000deg

Gain 數值為 4dBi 左右

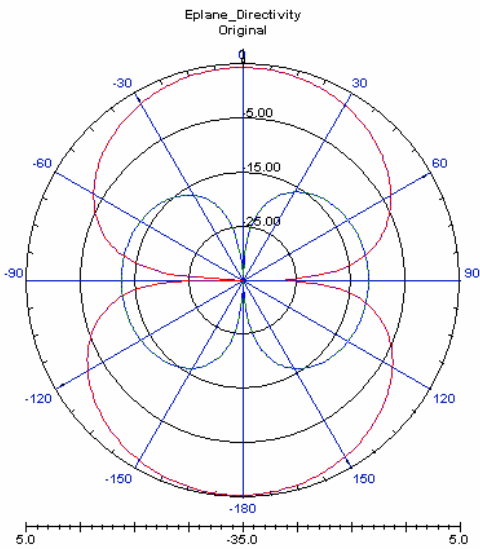


H-plane

05:47:37

M1= 4.048
P1= -0.000
0.000deg

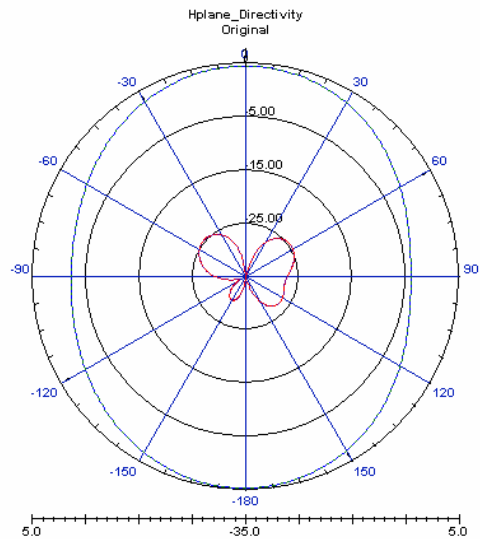
Radiation Pattern(Directivity Pattern)



E-plane

M1= 4.341
P1= -0.000
0.000deg

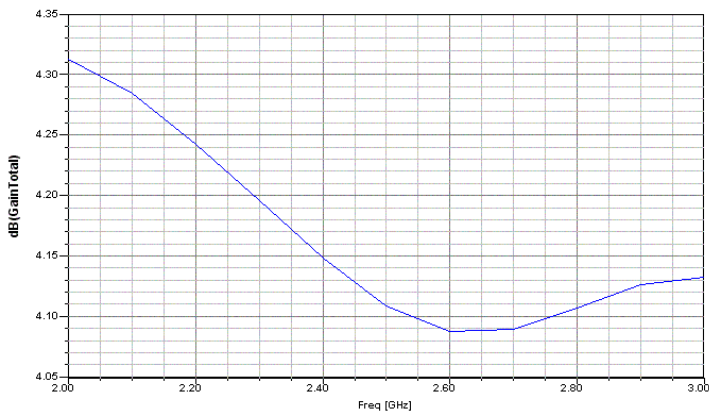
Directivity 數值為 4.4dBi 左



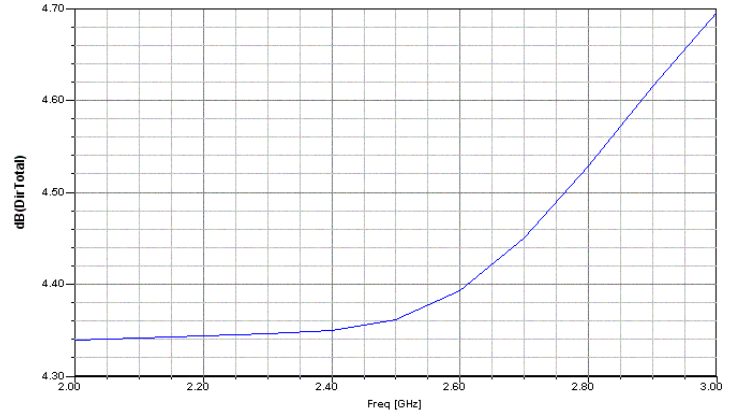
H-plane

M1= 4.436
P1= -0.000
0.000deg

Directivity VS. Frequency



Gain VS. Frequency

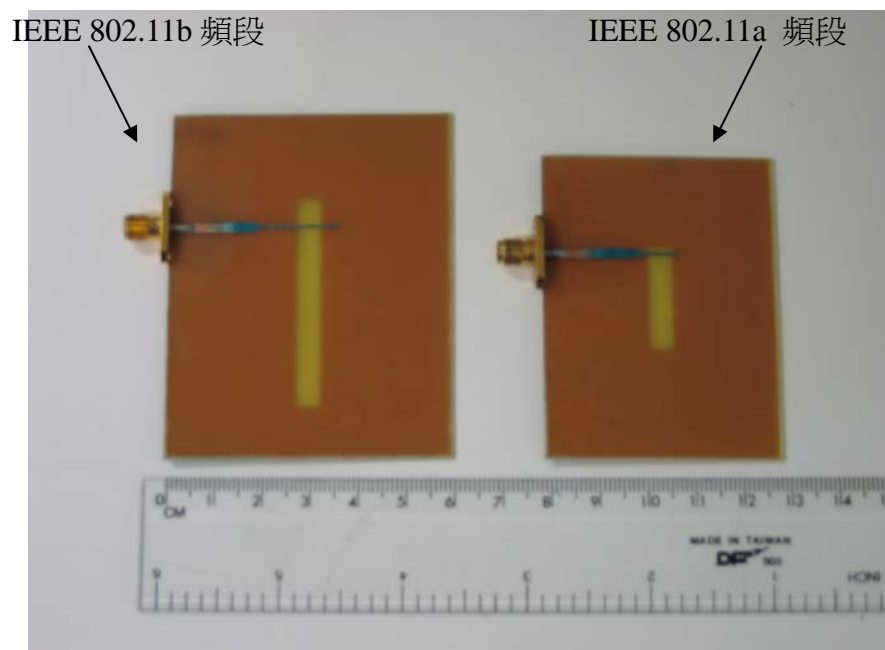


HFSS 模擬結果之問題與討論(Slot 對稱於 Ground 中心):

1. Return Loss 的阻抗匹配結果符合 IEEE802.11b 的操作頻段，且頻寬也達到 39% (986MHz)，此部份有達到寬頻的要求目標，與 IE3D 對稱 Slot 的模擬結果來比較，頻寬有變大一些(↑2%)。
2. Radiation Pattern 的部份，場型分佈也有符合 Slot Antenna 的 pattern，前後都有輻射能量；Gain 的 Peak 值有 4dB，Directivity 的 Peak 值有 4.4dBi。不過 Co-polarization 的大小跟 IE3D 對稱 Slot 的模擬結果相同，也較大。
3. Directivity VS. Frequency 沒有大問題(與 IE3D 差不多)，但 HFSS 的 Gain VS. Frequency 的模擬結果感覺上比 IE3D 軟體合理，此部份也會在後面做討論。

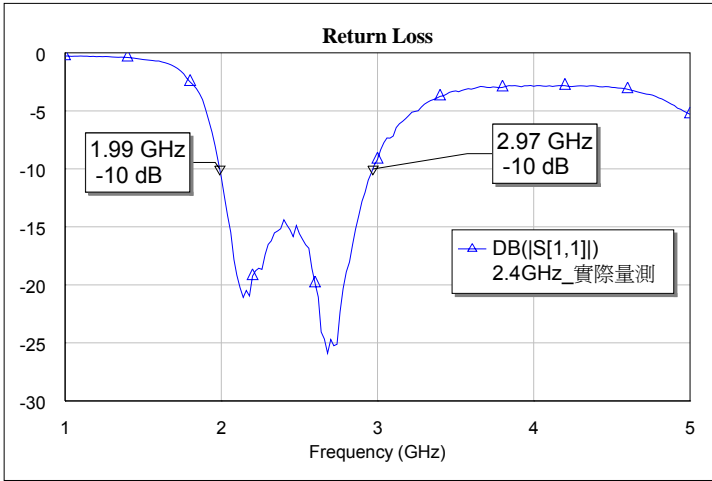
2.4GHz Step-type MS-line fed Slot Antenna Fabrication

實作圖形

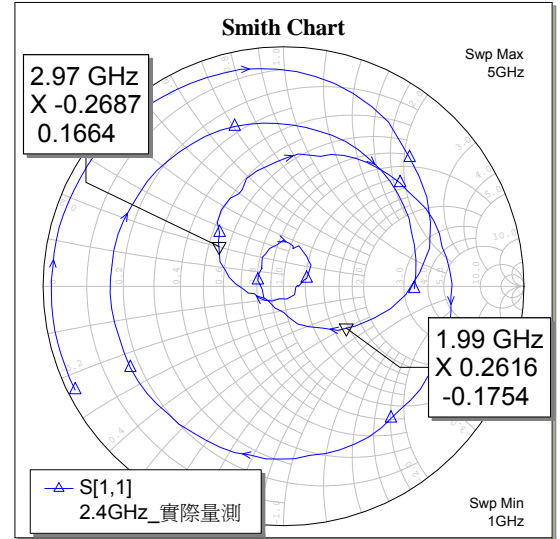


實作量測結果

Return Loss

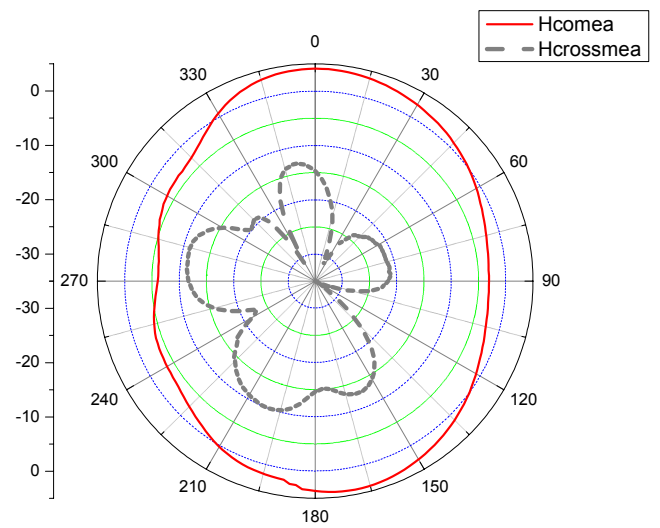
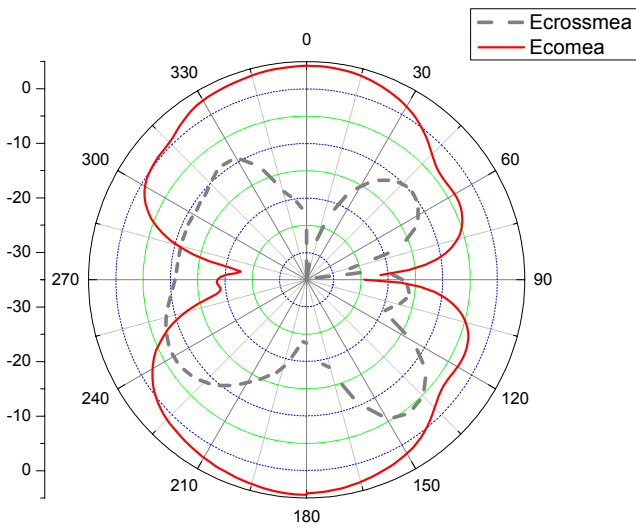


Smith Chart



10dB 頻寬 1.99GHz~2.97GHz=980MHz (BW=39.5%)

Radiation Pattern(Gain Pattern)



Gain 數值為 4.1dBi 左右

E-plane

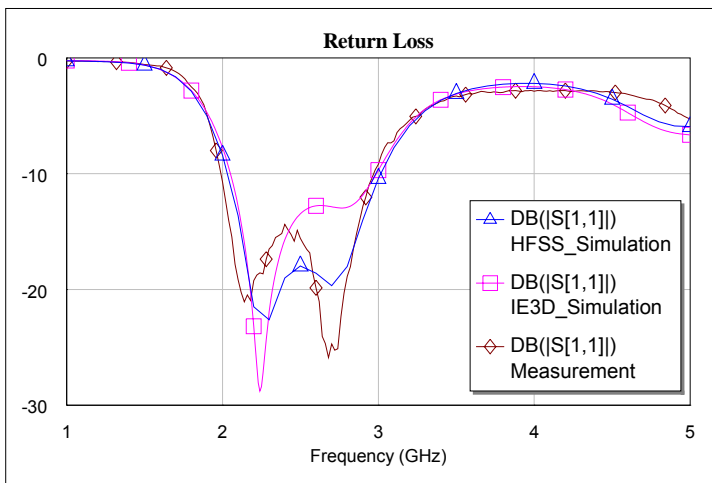
H-plane

實作量測結果之問題與討論(Slot 對稱於 Ground 中心):

1. Return Loss 的阻抗匹配結果符合 IEEE802.11b 的操作頻段，且頻寬也達到 39.5% (980MHz)，此部份有達到寬頻的要求目標，與 IE3D&HFSS 之對稱 Slot 的模擬結果來比較，實作頻有變大(↑0.5%~2%)。
2. Radiation Pattern 的部份，場型分佈也有符合 Slot Antenna 的 pattern，前後都有輻射能量；Gain 的 Peak 值有 4dB(Anechoic Chamber 中，只能算出 Gain 的 dBi 值)。不過 co-polarization 的量測大小跟 IE3D 對稱 Slot 的模擬結果相同，也較大。

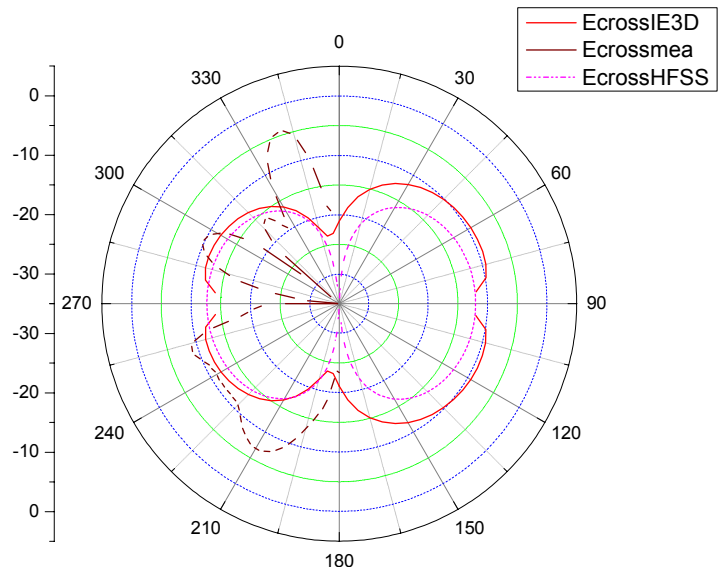
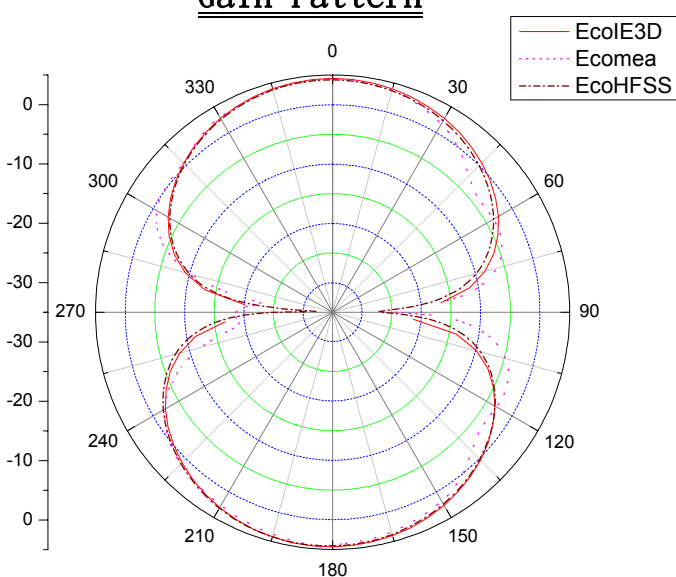
Simulation vs. Measurement (Slot對稱於Ground中心)

Return Loss

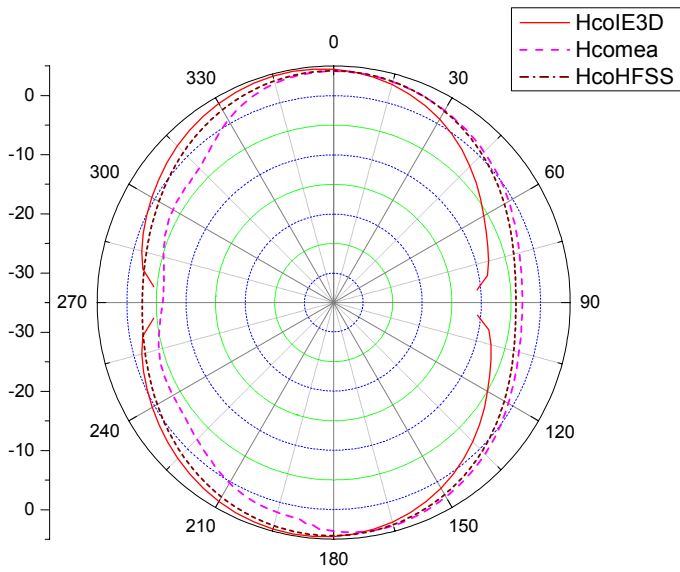


HFSS: 2.031GHz~3.015GHz (BW=39%)
IE3D: 2.055GHz~2.922GHz(BW=35%)
Measure: 1.99GHz~2.97GHz (BW=39.5%)

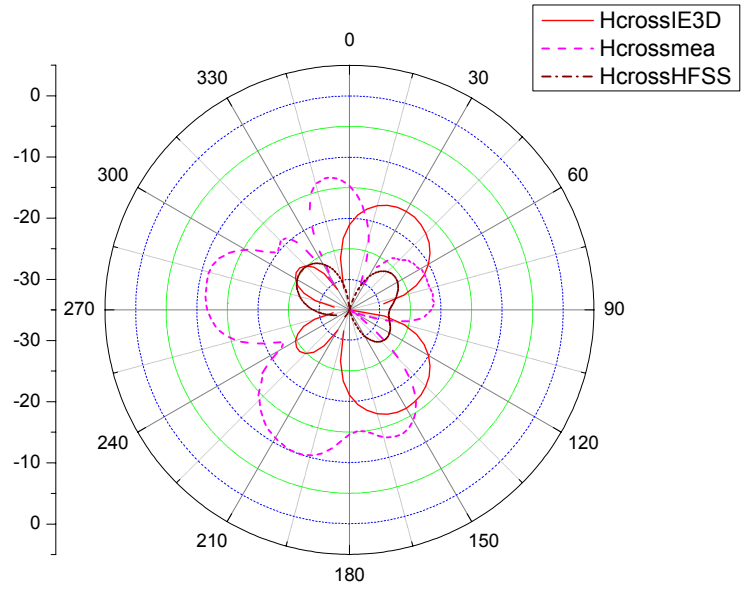
Gain Pattern



E-plane (co-polarization)



E-plane (cross-polarization)



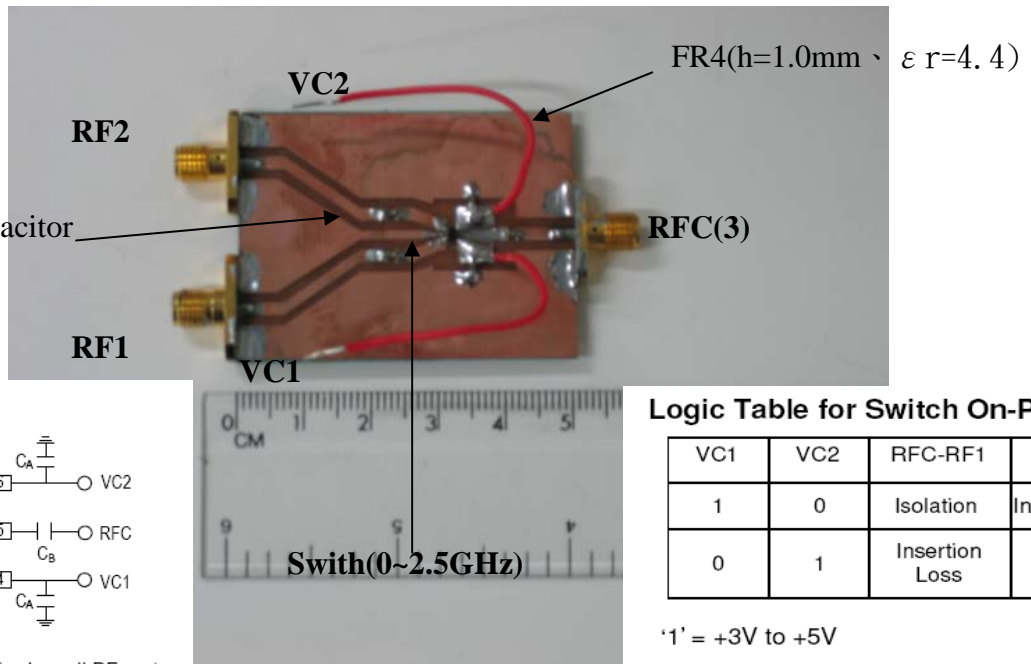
H-plane (co-polarization)

H-plane (co-polarization)

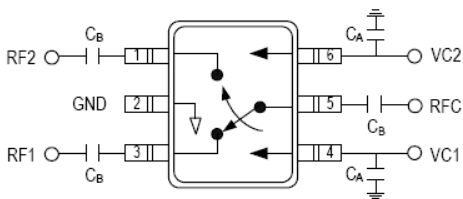
單一天線 Element 的量測模擬結果皆相當一致(Co-pol & X-pol 的差距也相當理想。

微波切換器部分

實作圖形(Test Board):



Pin Out (Top View)



DC blocking capacitors C_B are required on all RF ports. $C_B=C_A=51\text{pF}$ for operating frequency $> 500\text{MHz}$.

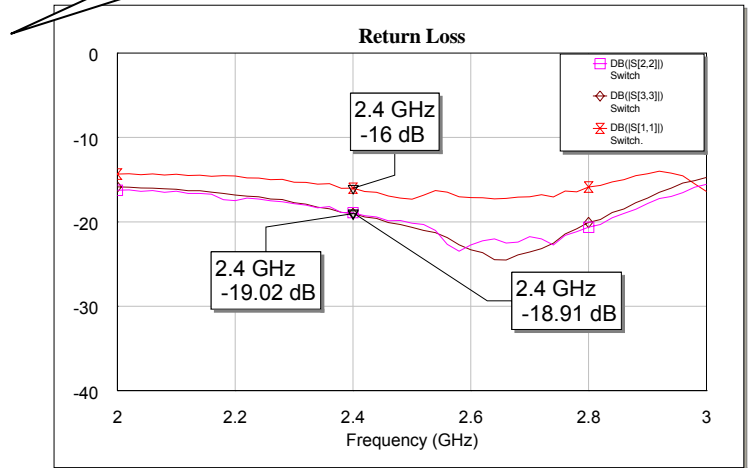
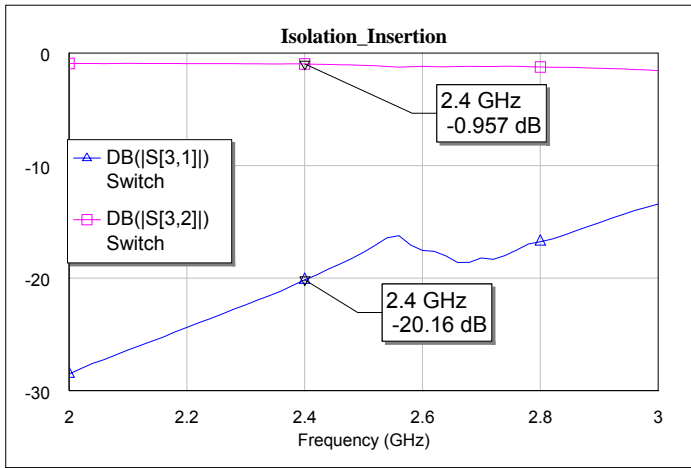
Logic Table for Switch On-Path

VC1	VC2	RFC-RF1	RFC-RF2
1	0	Isolation	Insertion Loss
0	1	Insertion Loss	Isolation

'1' = +3V to +5V

Measurement Result:

VC1=1 ; VC2=0 之量測結果

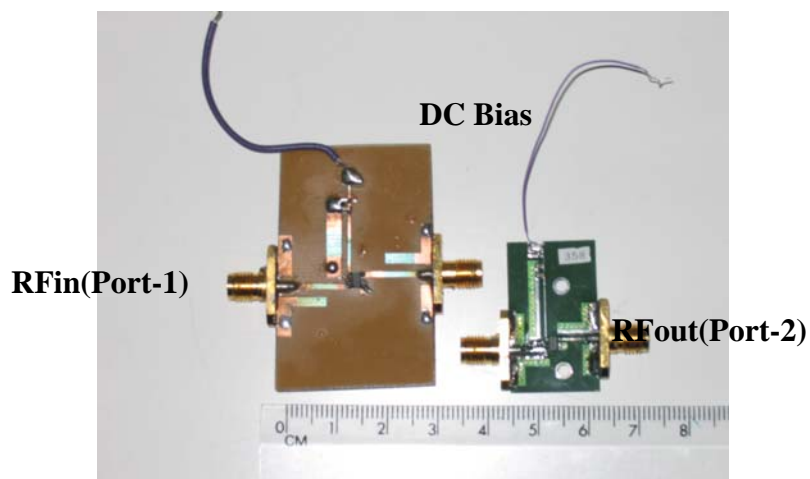


※當 VC1=0 ; VC2=1，Isolation Loss 和 Insertion Loss 對調即為操作圖形。

(由電路對稱性明顯得知)

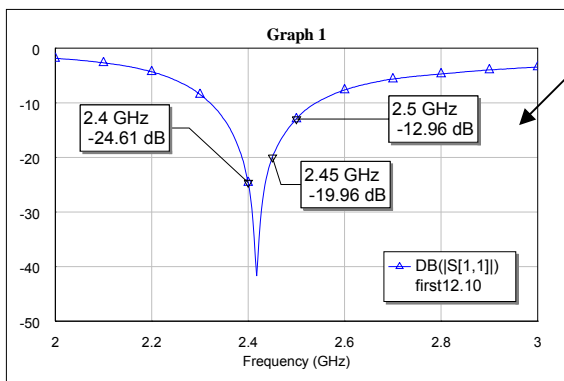
低雜訊放大器(LNA)部份

實作圖形(Test Board):

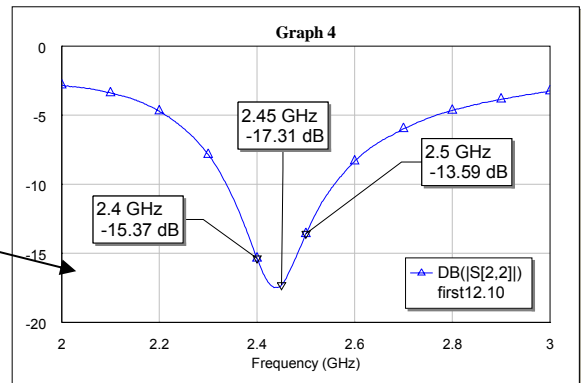


※左為 FR4 Test Board，右為 Murata 公司製作。

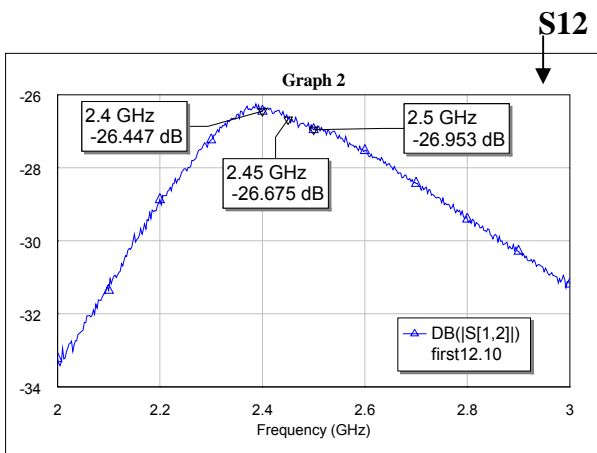
S-parameter量測結果:



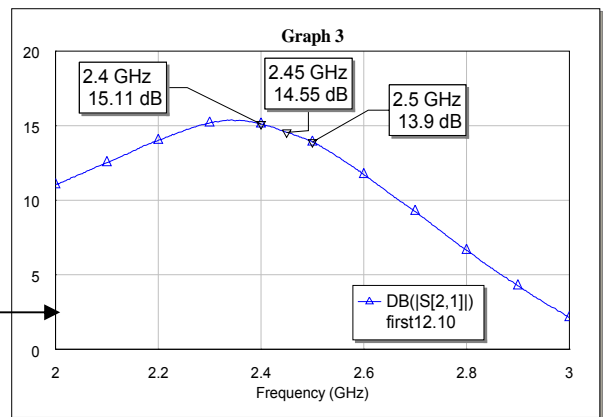
S11



S22



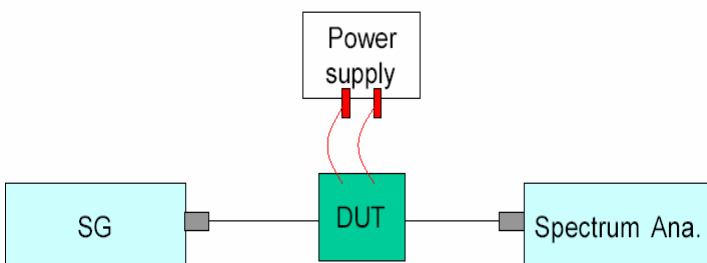
S12



S21

結果分析: S 參數(Two Port)量測結果顯示, Input & Output Return Loss 頻寬皆包含 IEEE802.11b 頻段, S21 也有 15dB 左右, Isolation 也相當理想。

P1dB Measurement Procedure of LNA

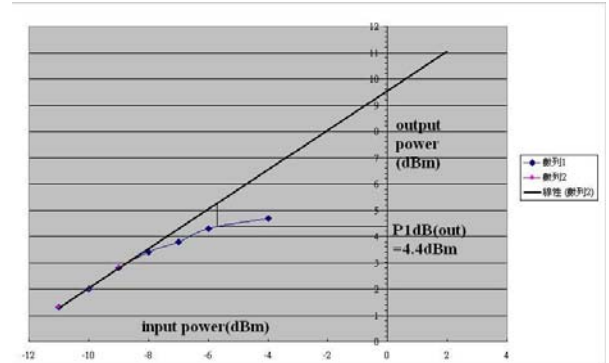
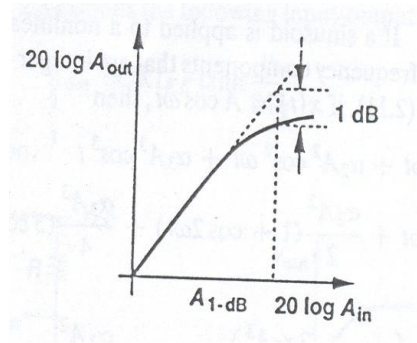
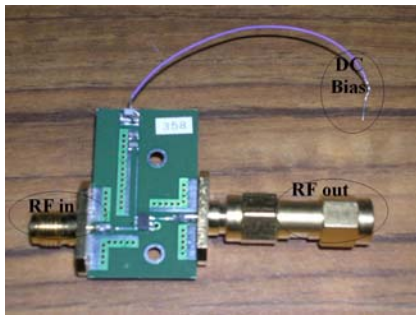


<法一> 所需器材 :

Signal Generator x 1 , LNA x 1 , Spectrum Analyzer x 1
power supply machine x 1 , cable line x N

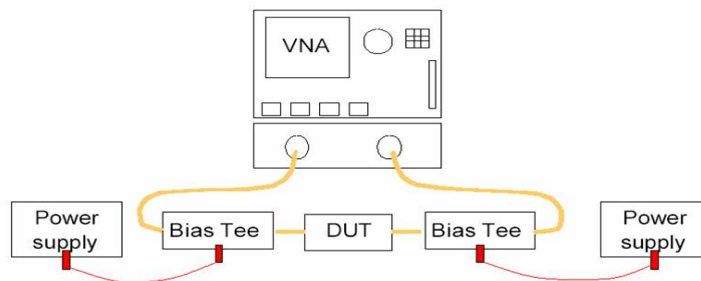
操作步驟：

1. 將吾人所要量的待測物(LNA)如上圖連接，給定足夠 DC Bias。
2. 由 SG 給予 RF signal(指定吾人所需之量測頻率)，並將 Spectrum Analyzer 的中心頻率定在待測頻率。
3. 依序增加 input power,並分別紀錄 spectrum analyzer 在待測頻率下每個 input power 所得之最大 output power.
4. 紀錄下每個 input power 所對應的 output power，繪出曲線圖，即可依觀念估計 P1dB。



operation frequency: 2.4GHz
P1dB(out) for data sheet=3.4dBm

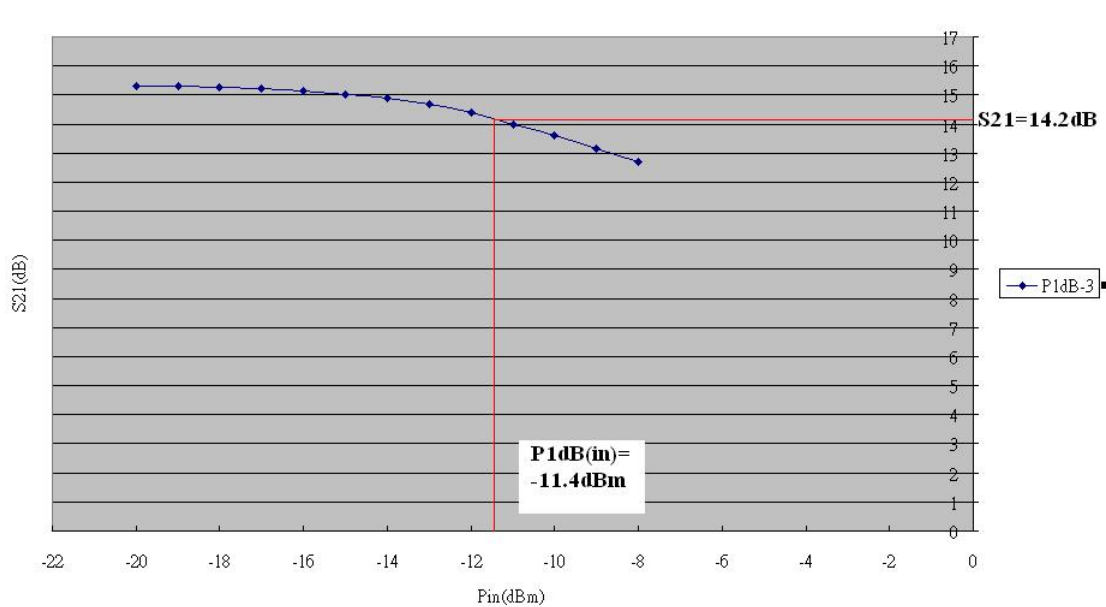
input power: -11dBm~-4dBm
P1dB(out) for measurement=4.4dBm



<法二> **所需器材** : vector network analyzer x 1, power supply machine x 1 ,
LNA x 1, cable line x N

操作步驟：

1. 依上圖連接，固定 VNA 之頻率，依序測量不同 input power 所量測到之 S21。
2. 紀錄下每個 input power 所對應的 S21，繪出曲線圖，即可依觀念估計 P1dB。



operation frequency: 2.4GHz

input power: -20dBm~-8dBm

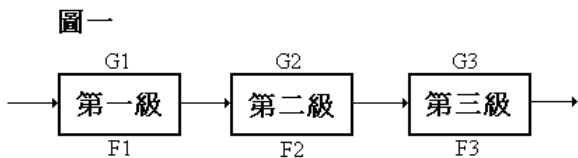
P1dB(out) for data sheet=3.4dBm

P1dB(out) for measurement=2.8dBm

P1dB(in) for measurement=-11.4dBm

主動天線接收系統

系統概念說明：

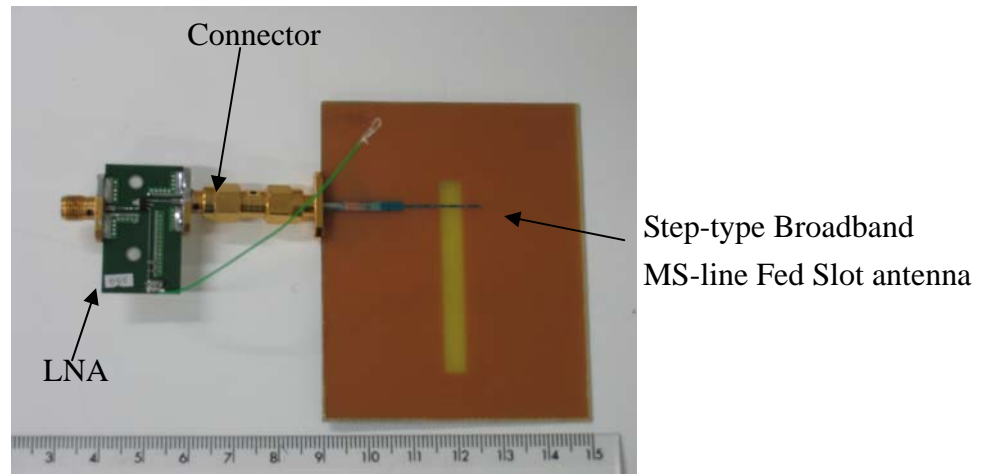


公式一：
$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots$$

Advantage:

Fabricate LNA & Antenna closer can reduce the noise figure in receiving system (Because LNA always the first stage in receiving system)

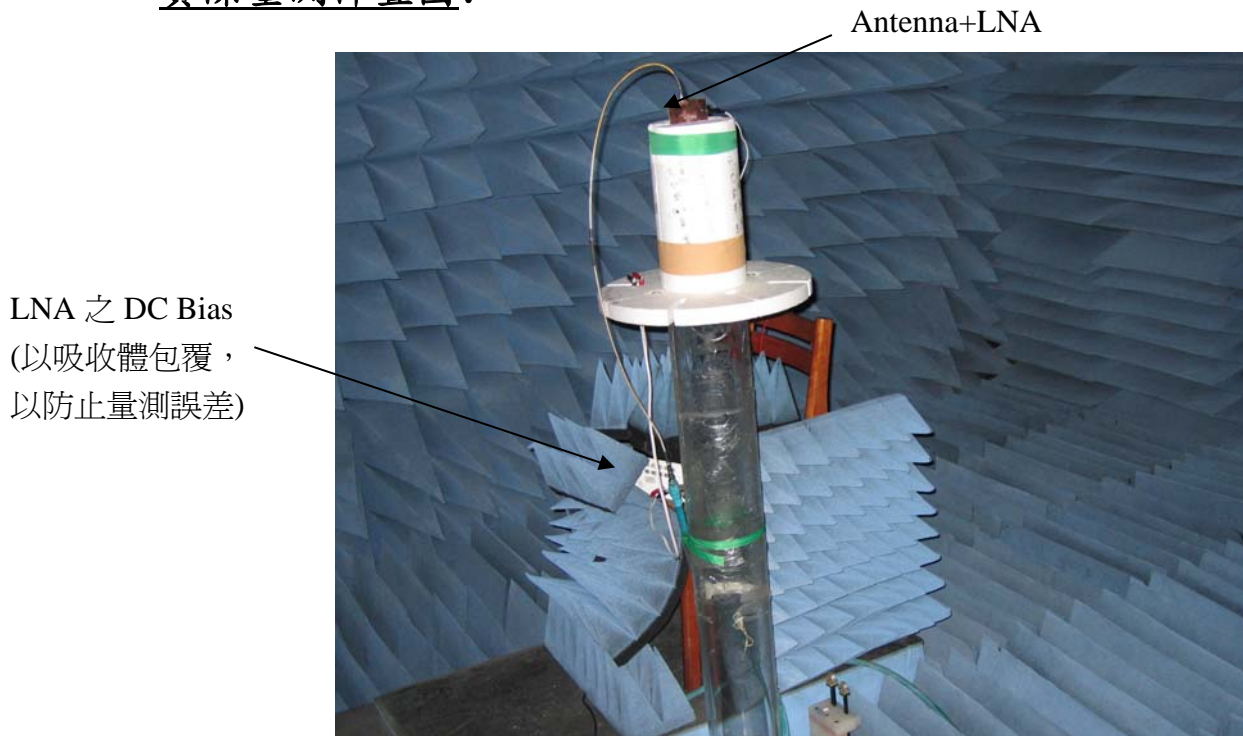
天線接收系統(Antenna+LNA):



量測操作原理說明:

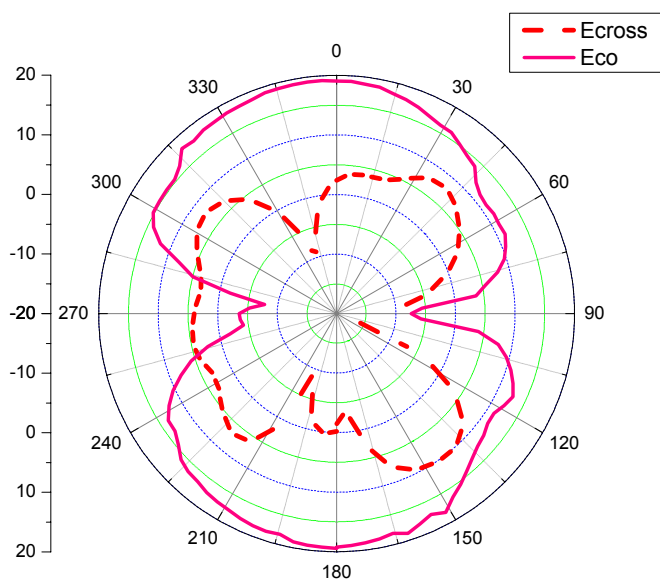
1. 系統架構如上圖所示，主要系統操作頻率在於 2.4GHz，因此 Antenna & LNA 皆操作於 IEEE802.11b 頻段，個別元件都已經在前文說明，這裡不再贅述。
2. 以網路分析儀+功率放大器所提供之功率發射到上圖待測系統天線，再由 LNA 輸出端接收 Power，將發射 power 與接收 power 進行比值即可得總增益值。
3. 主要量測接收系統的 Gain Pattern，預估總體系統增益值應為天線增益加上 LNA 增益。

實際量測佈置圖:

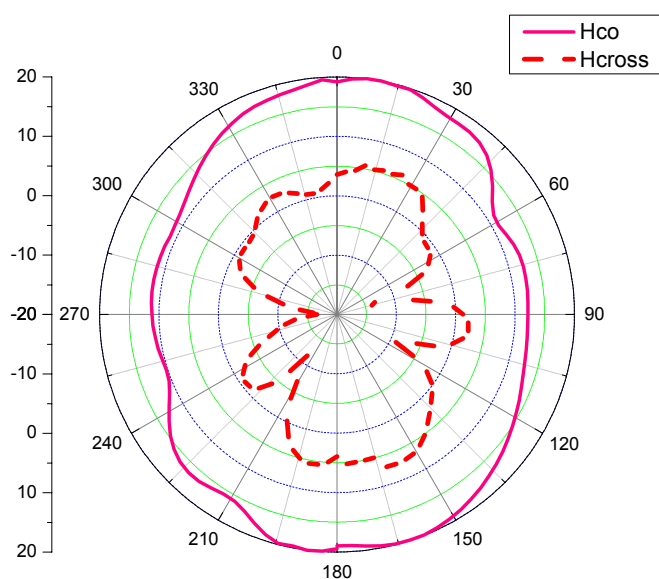


(Anechoic Chamber)

Pattern量測結果(Antenna+LNA):



E-plane

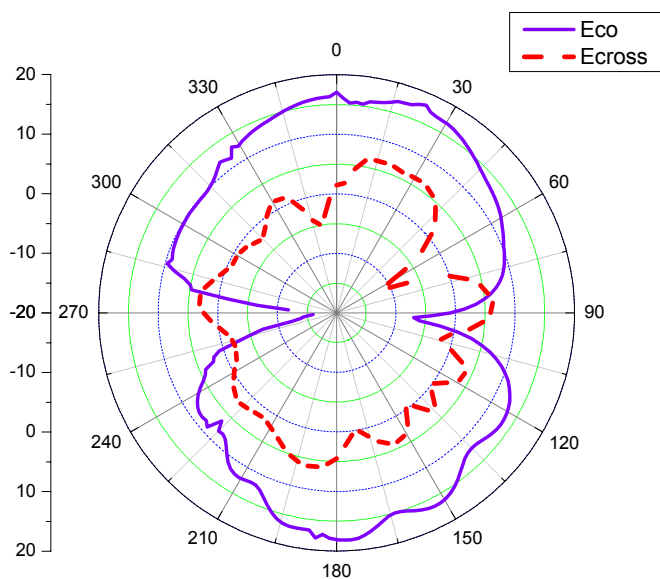


H-plane

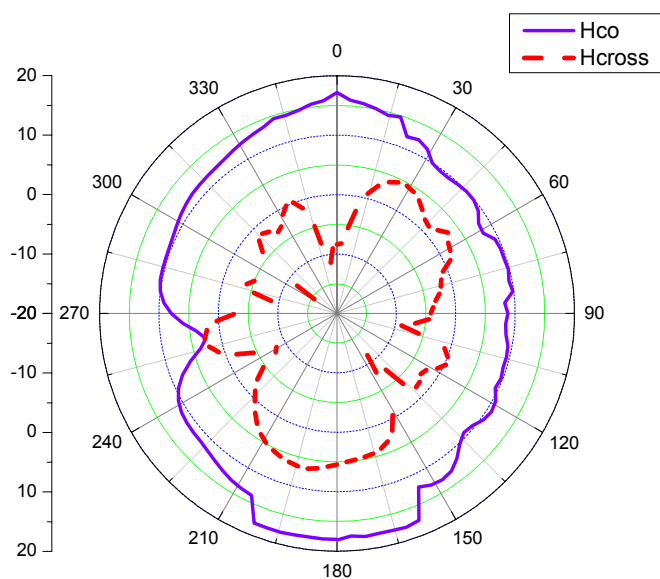
Gain 數值為 19dBi 左右

Active slot received antenna module(整合後):

Pattern量測結果(Active Antenna Module):



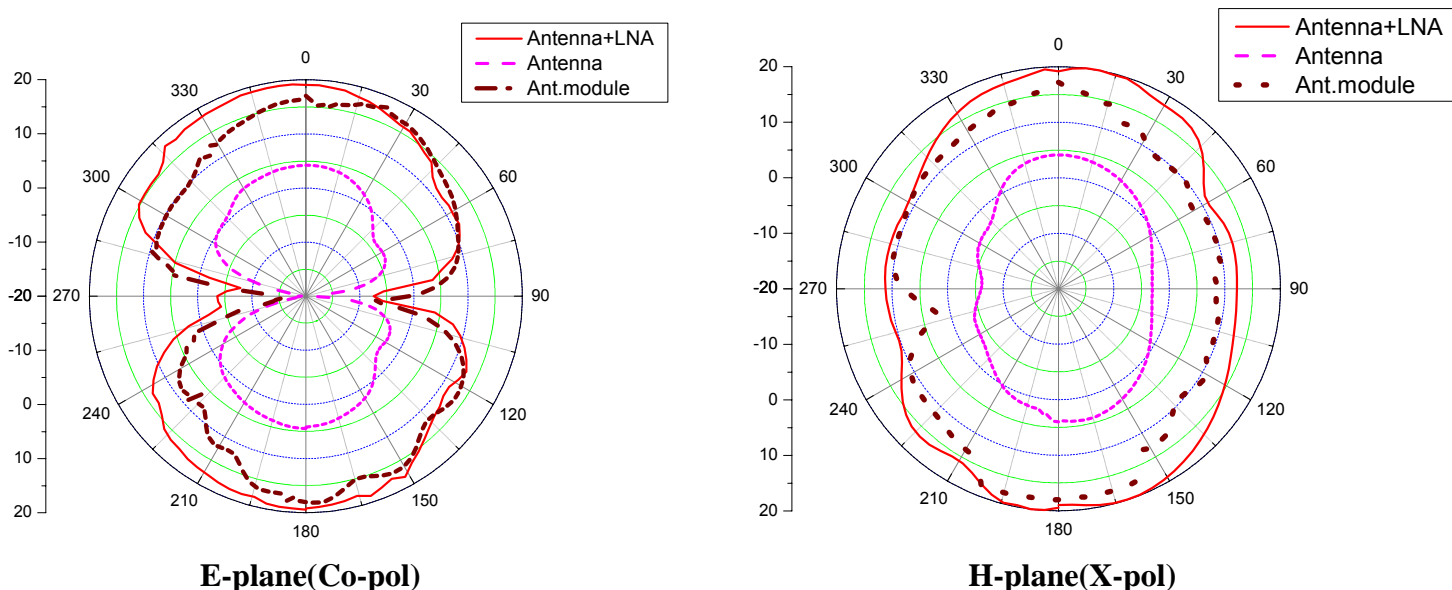
E-plane



H-plane

Gain 數值為 17dBi 左右

Gain Pattern 之系統整合比較:



整合前後結果比較討論

1. 單一天線 Element 部分不管是模擬或量測值(Gain)大約都在我們設計目標左右(4dBi)；單一低雜訊放大器 Element 部份之量測值(S21)為 15dBi 左右。
2. Antenna+LNA 的 Discrete Composed Element 的 Peak Gain 值大約等於 19dBi，故前文預測之總增益值正確無誤。
3. Active Antenna Module 整合在 FR4 基板上時的總增益($\theta=0^\circ$)只有 17dBi，原因可能有兩個因素，第一個:FR4 本身的 Loss 所致；第二個:Module 上焊接 LNA 的主動電路和表面多餘的 Ground，影響了 Gain pattern，使 pattern 在電路端方向 Gain 值較少(也就是 Pattern 往非電路方向飄移)。

五. 問題探討與最終改良版本:

問題一: 在 IE3D 天線模擬時, 發現 Gain vs. Frequency 有些問題(跟 HFSS 模擬結果也不盡相同), 但 Directivity vs. Frequency 在 HFSS 和 IE3D 之模擬結果差不多, 以下對 IE3D 的 Gain 做以下定性討論。

討論與說明:

HFSS

2GHz	4.62	0.41	0.832	3.847	1.4
2.1GHz	4.73	0.228	0.95	4.485	3.055
2.2GHz	4.7	0.07	0.995	4.686	4.603
2.3GHz	4.69	0.08	0.9936	4.663	4.656
2.4GHz	4.688	0.164	0.973	4.562	4.418
2.5GHz	4.683	0.212	0.955	4.473	4.146
2.6GHz	4.689	0.2296	0.947	4.442	4.058
2.7GHz	4.72	0.2275	0.948	4.4756	4.098
2.8GHz	4.77	0.2262	0.949	4.53	4.083
2.9GHz	4.81	0.25556	0.935	4.5	3.95
3.0GHz	4.84	0.327	0.893	4.32	3.64

$$\text{Directivity(D)} \quad \Gamma \quad 1 - \Gamma^2 \quad \text{Gain(G)} = D(1 - \Gamma^2) \quad \text{Gain(IE3D\&HFSS)}$$

IE3D

2GHz	4.34	0.377	0.858	3.723	4.31
2.1GHz	4.34	0.207	0.957	4.15	4.28
2.2GHz	4.34	0.087	0.992	4.307	4.24
2.3GHz	4.35	0.076	0.994	4.325	4.20
2.4GHz	4.35	0.111	0.988	4.296	4.15
2.5GHz	4.36	0.123	0.985	4.294	4.11
2.6GHz	4.39	0.114	0.987	4.333	4.09
2.7GHz	4.45	0.1022	0.989	4.4	4.09
2.8GHz	4.53	0.128	0.984	4.456	4.11
2.9GHz	4.61	0.203	0.959	4.42	4.13
3.0GHz	4.7	0.305	0.907	4.263	4.13

➤ 上表格為IE3D與HFSS模擬結果的數據顯示(解釋於下):

Directivity: 分別是 IE3D & HFSS 從 2GHz~3GHz 的模擬值。

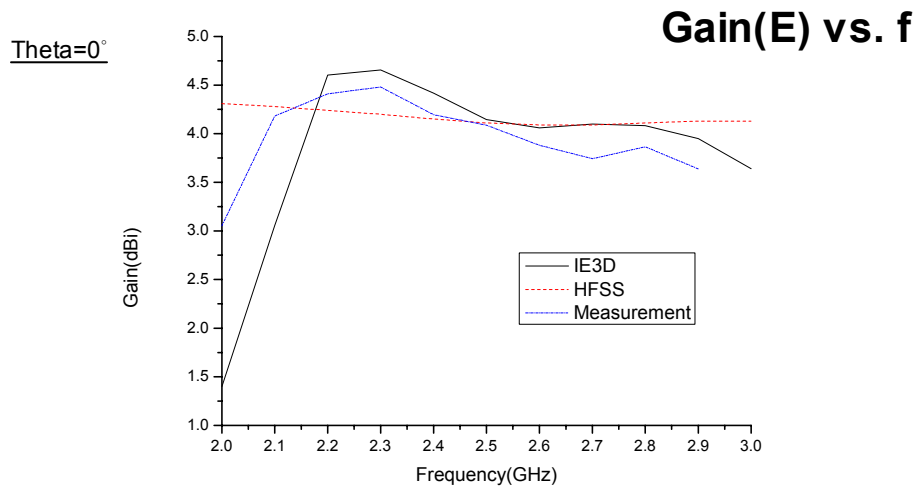
Γ : 針對 IE3D & HFSS 的 Return Loss 數值所反推之反射係數。

$(1-\Gamma^2)$: 表示真正打入天線輸入端的功率百分比。

Gain: 將 Directivity 乘上輻射效率 $e=(1-\Gamma^2)$ 後的 dBi 值。

Gain(ie3d & hfss): 表示由模擬結果直接 export 的 Gain 模擬值。

- 結果顯示，IE3D 的 Gain 值比較不跟手算值一致，但 HFSS 的 Gain 模擬值和手算分析值較為接近，故這裡說明 IE3D 的 Gai 模擬值有待商確，故往後以 HFSS 值模擬較為可靠。



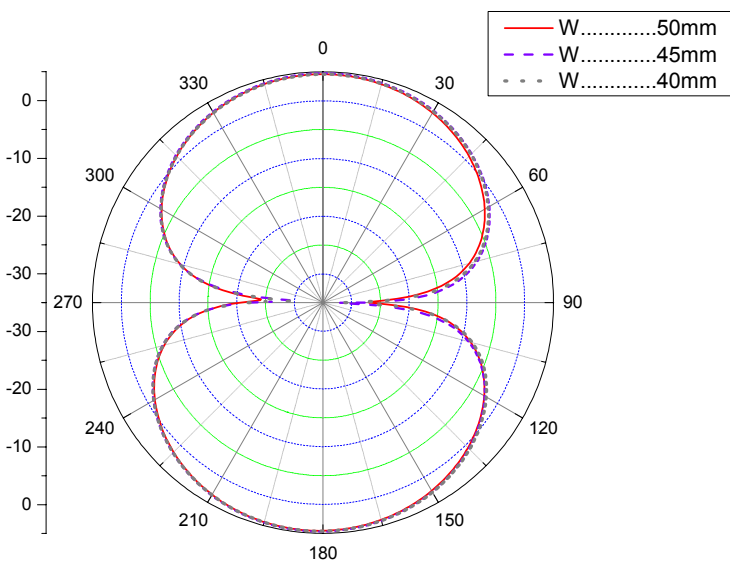
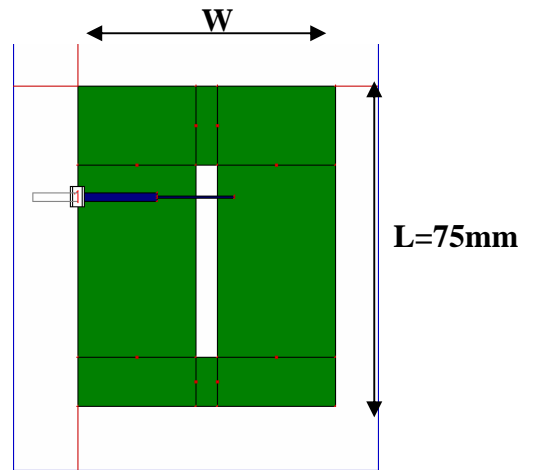
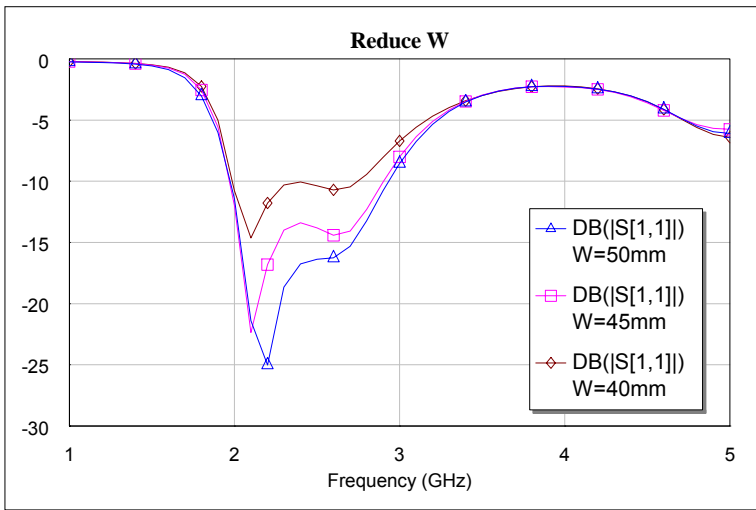
上圖為 Gain VS. Frequency 總比較整理圖

問題二：設計於 2.4GHz 之 802.11b 頻段天線，希望 Size 能再縮小(同時不改變 Antenna performance)，以便降低成本和 Active Antenna Module 面積並提高安裝於物體平面之穩定性。

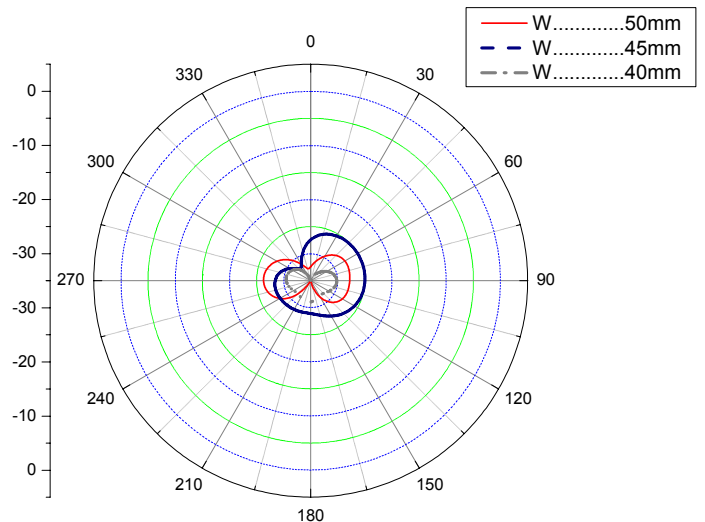
討論與說明：

◇ 進行寬頻天線體積縮小化的研究，使用 Full-Wave Simulator(HFSS)進行模擬。

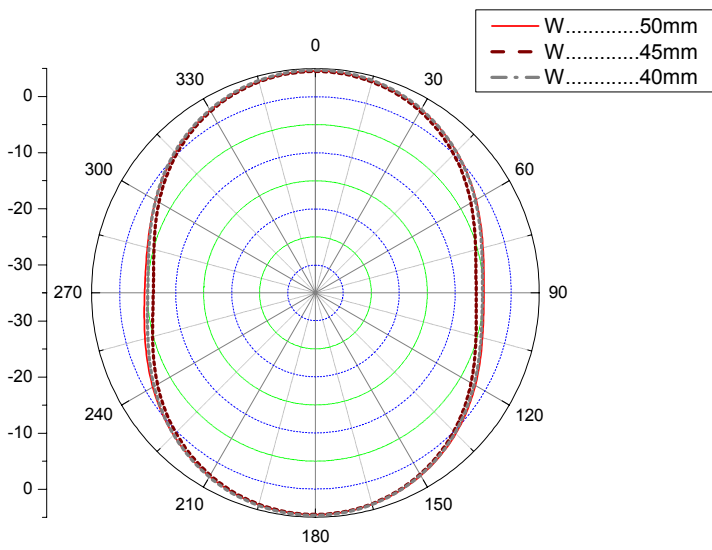
針對 Ground 基板之 W 尺寸做縮減之模擬探討



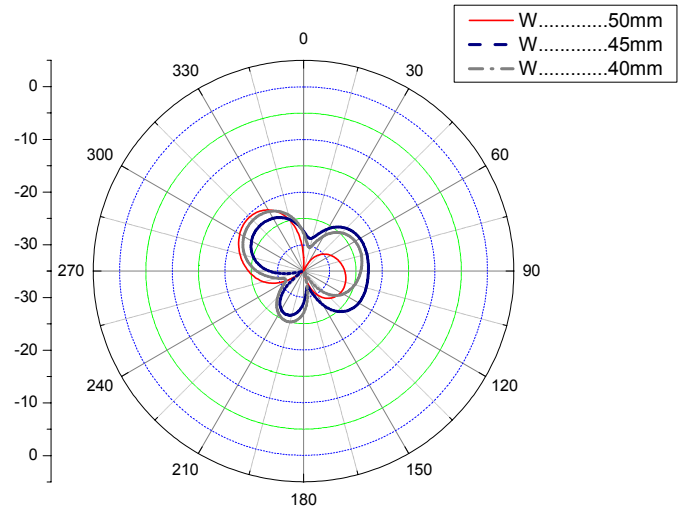
E-plane(co-pol)



E-plane(X-pol)



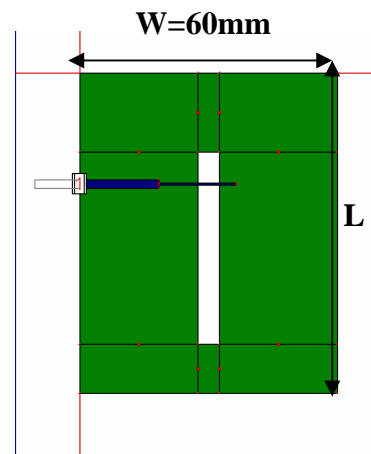
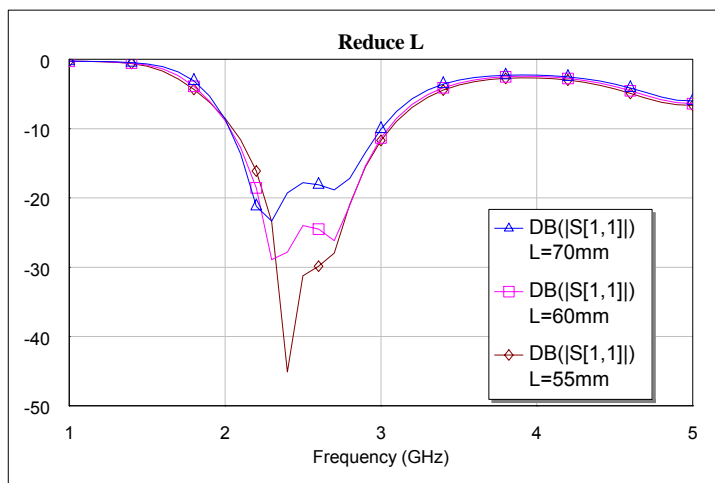
H-plane(co-pol)

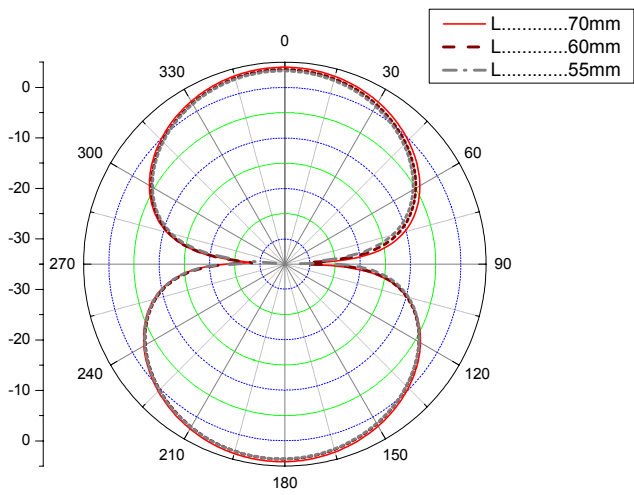


H-plane(X-pol)

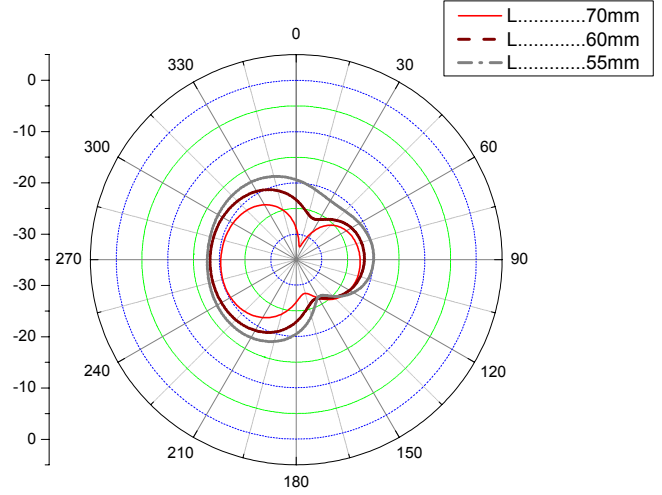
W 縮小後，由上模擬知，Return Loss 變差，但 Gain pattern 似乎不怎麼變化(W=50~40mm)，都維持在 4.5dBi 左右(且 X-pol 會較小)，比原型天線(W=60mm,L=75mm)的 4.1dBi 略大。

針對 Ground 基板之 L 尺寸做縮減之模擬探討

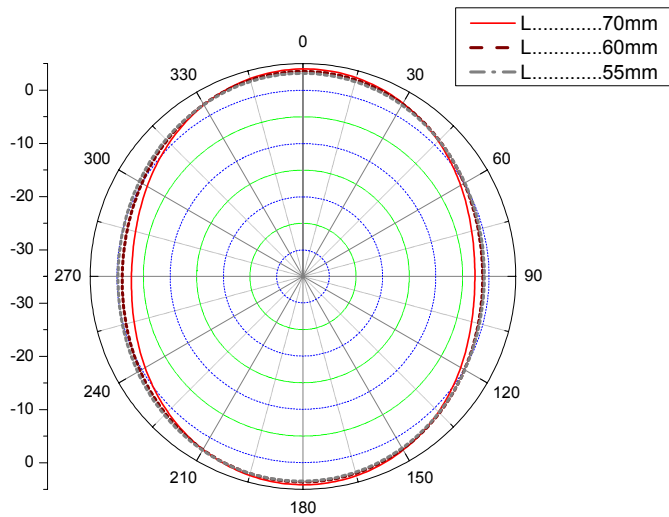




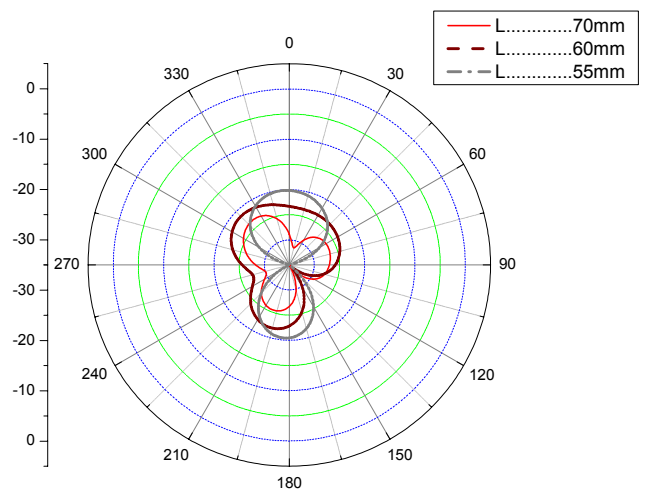
E-plane(co-pol)



E-plane(X-pol)



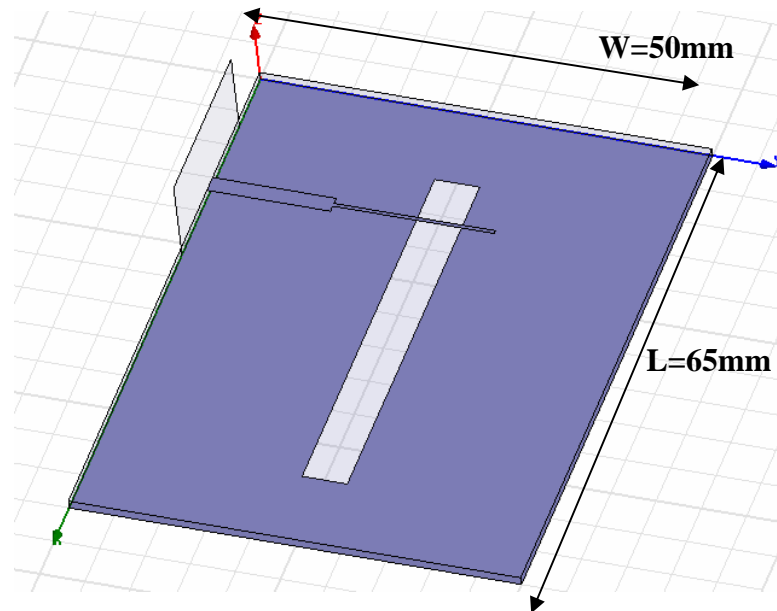
H-plane(co-pol)



H-plane(X-pol)

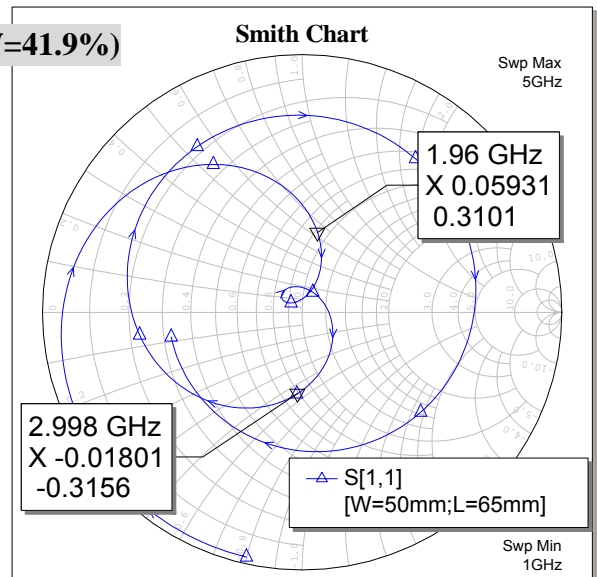
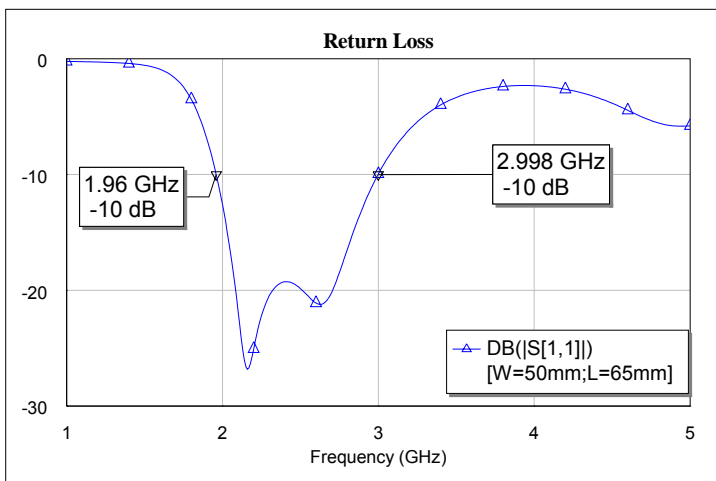
L 縮小後，由上模擬知，Return Loss 變好，但 Gain pattern 似乎往低處變化(L=70~55mm)，從 3.95dBi~3.05dBi(且 X-pol 會較小)，比原型天線(W=60mm,L=75mm)的 4.1dB 小。

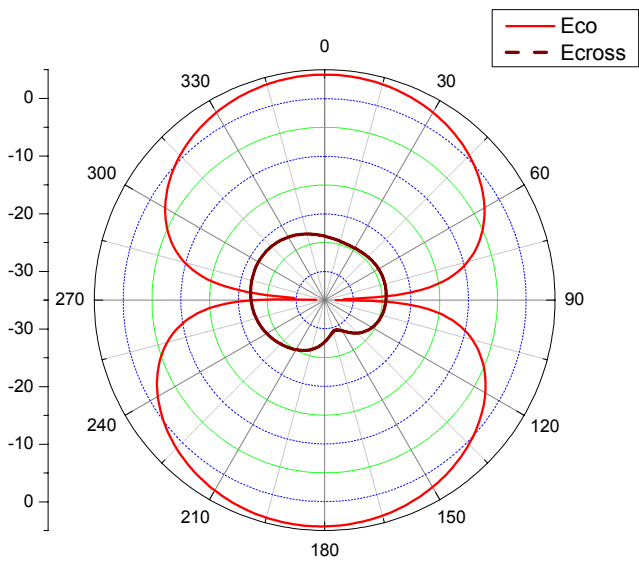
最終寬頻天線版本: 由上模擬結果得知, $W \downarrow$ 則 Return 變差、Gain 變的比較大; $L \downarrow$ 則 Return 變好、Gain 越變越小。故須經由 Trade-off 才能得到最小面積 Performance 又能兼顧的天線尺寸。



最終版本之模擬結果:

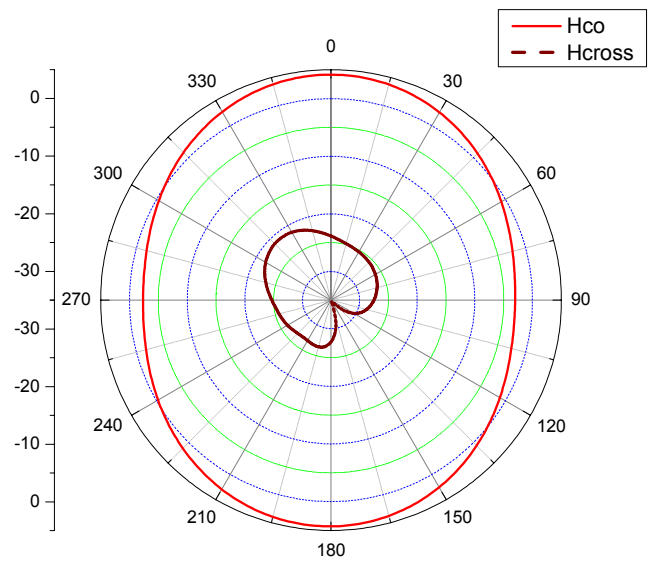
10dB 頻寬: 1.96GHz~2.998GHz=1038MHz (BW=41.9%)





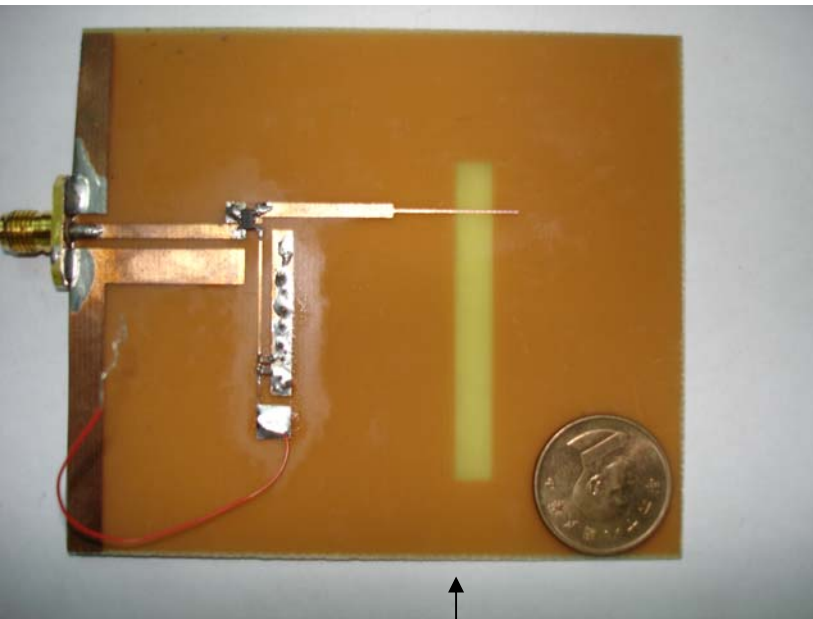
E-plane

Gain 數值為 4.1dBi 左右

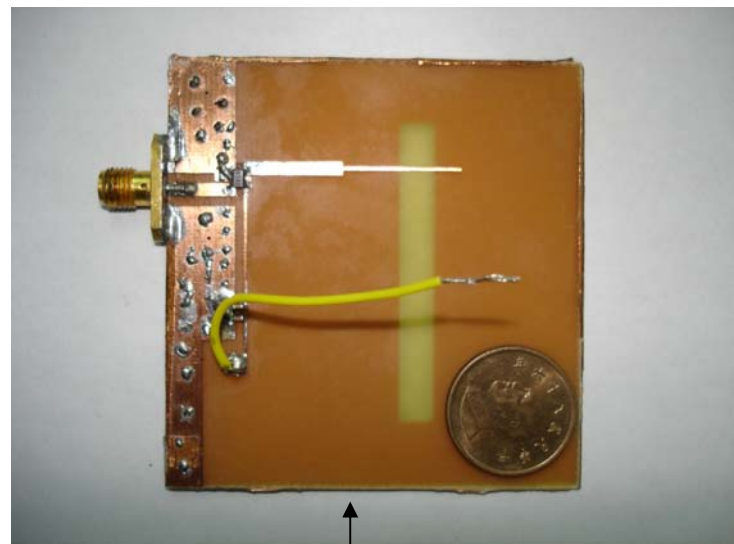


H-plane

配合最終天線版本之縮小化 Module:

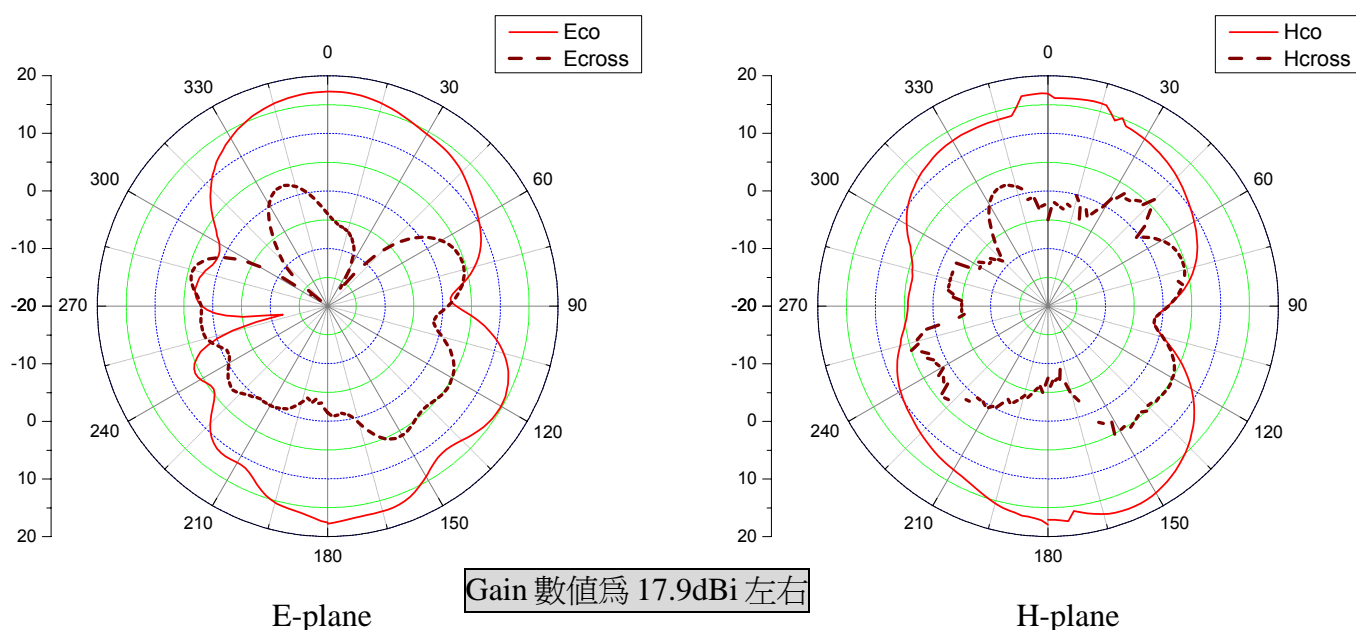


縮小前模組



縮小後模組

量測結果(縮小後):



縮小化後的 Module 所量測之系統總增益跟為縮小前比較多了將近 1dB，且由於電路部份較小，估計 Pattern 之偏移現象應較小，不過此量測結果可能由於角度擺放誤差，沒有相當對稱，但還在合理可接受範圍內。

六. 未來可深入研究之相關領域:

RFID system: 由此應用環境所設計出的天線，雖然面積太大還不至於擺放成 RFID Tag，不過整個系統概念可深入探討研究，以使用於傳輸物流等領域。

GPS system: 將天線和 LNA 整合之概念可應用在 GPS 的汽車天線，平面型天線跟汽車表面的結合度夠，且整合後又可降低 Cable 所影響之整體 NF，結果會使 LCD 定位螢幕上畫面較為清晰。

七. 參考文獻與資料:

- [1] **A Novel Broadband Microstrip-Fed Wide Slot Antenna With Double Rejection Zeros**
(Lei Zhu, *Senior Member, IEEE*, Rong Fu, and Ke-Li Wu, *Senior Member, IEEE*)
- [2] **Analysis and Design of Broad-Band Single-Layer Rectangular U-Slot Microstrip Patch Antennas**
(Steven Weigand, *Member, IEEE*, Greg H. Huff, Kankan H. Pan, and Jennifer T. Bernhard, *Senior Member, IEEE*)
- [3] **Bandwidth Enhancement of a Microstrip-Line-Fed Printed Wide-Slot Antenna**
(Jia-Yi Sze, *Member, IEEE*, and Kin-Lu Wong, *Senior Member, IEEE*)
- [4] **Investigation of Wide-Band Microstrip Slot Antenna**
(Satish Kumar Sharma, *Member, IEEE*, Lotfollah Shafai, *Fellow, IEEE*, and N. Jacob)
- [5] **Complete Circuit Model of Microstrip-Fed Slot Radiator: Theory and Experiments**
(Lei Zhu, *Member, IEEE*, and Ke Wu, *Senior Member, IEEE*)
- [6] **2.4GHZ CMOS RF Receiver For IEEE802.11b&g WLAN application**
(Department of Electrical Engineering, National Cheng Kung University, Student: Chiu-Huang Huang; advisor: Huey-Ru Chuang.)
- [7] **MuRata LNA Datasheet**
- [8] **Hexawave Switch(0~2.5GHz) Data sheet**

National Taiwan

