

國立交通大學

電機學院 電信學程

碩士論文

應用於無線網路之波束切換天線設計與實現

Design and Implementation of Multi-Beam Switched Parasitic
Antenna for wireless applications



研究生：柯嘉城 (Jia-Cheng Ke)

指導教授：鍾世忠 教授 (Dr. Shyh-Jong Chung)

中華民國九十八年七月

應用於無線網路之波束切換天線設計與實現

Design and Implementation of Multi-Beam Switched Parasitic Antenna for wireless applications

研 究 生：柯嘉城

Student : Jia-Cheng Ke

指導教授：鍾世忠 博士

Advisor : Dr. Shyh-Jong Chung



Submitted to College of Electrical and Computer Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
In Communication Engineering
July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

應用於無線網路之波束切換天線設計與實現

學生：柯嘉城

指導教授：鍾世忠 教授

國立交通大學 電機學院 電信學程碩士班

摘要

本論文提出以單極天線陣列實現波束成形及轉向控制的新型波束切換天線。天線操作在2.4GHz波段，單極天線及地面的天線組成，均使用FR4線路板製作而成。天線中，一主動天線位在天線地面中心，由寄生天線圍繞四邊，經由寄生天線開關切換組成直角邊角反射器用於波束的形成及90度轉向。天線在不同的設計參數加以模擬，歸納得出此天線實作的建議數據，並根據此實作建議提出一傳輸線開關切換寄生天線，減少天線的開關數量及簡化波束切換控制方式。

依模擬結果所得出的實作建議數據進行具有寄生天線開關及傳輸線開關等兩種形式天線製作，將天線的RF開關的開閉動作直接以斷路或短路替代，對這些具有理想化開關的天線進行量測與模擬數據比對，驗證波束切換天線結構設計及實作建議數據的可用性。實際以PIN二極體及GaAs開關等不同RF開關做為寄生天線開關以驗證RF開關功能，從量測數據得出的結果，所用RF開關的雜散寄生阻抗及隔離損失均會使天線性能劣化，尤其開關在開路狀態下的影響。接著實際應用RF磁簧開關在傳輸線開關的切換時，其量測結果驗證傳輸線開關提供更簡化且更好的切換控制特性。

Design and Implementation of Multi-Beam Switched Parasitic Antenna for wireless applications

Student : Jia-Cheng Ke

Advisors : Prof. Shyh-Jong Chung

Degree Program of Electrical and Computer Engineering
National Chiao Tung University

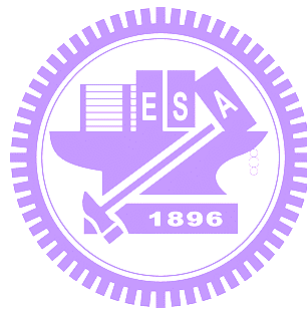
ABSTRACT

A novel multi-beam switched parasitic antenna capable of beam forming and steering based on an array of monopole antennas is proposed in this thesis. The antenna operates at 2.4GHz band and all the monopoles and ground plane of antenna are made of FR4 PCB. In the antenna, one active element is fixed at the center of ground plane and squarely surrounded with parasitic elements which are switched as right angle corner reflectors for beam forming and 90-degree steering. The antenna is simulated with various design parameters to optimize and derive the antenna implementation data. Then, a transmission line switch used to switch parasitic element is proposed based on the implementation data for decreasing RF switches in the antenna and simplifying the multi-beam switch control method.

Two type of antennas with parasitic switches and transmission line switches are implemented in accordance with the antenna implementation data derived from simulation results, and antenna RF switches are set short or open ideally instead of on/off action. These antennas with ideal switches are measured and compared with simulation results to justify the feasibility of the antenna configuration and implementation data. Practically utilizing various RF switches like PIN diodes and GaAs switches as parasitic switches to justify RF switch functions, and the derived result from measurements is that the stray impedance and isolation loss of RF switch deteriorate the antenna performance, worst in the off switch state. Then, practically utilizing RF reed switch in transmission line switch, the antenna measured results validate the transmission line switches to provide simpler and better multi-beam switch control characteristics.

誌謝

這段讀書的日子算是蠻長的，回顧這一段日子，工作、課業交雜其中，時有衝突的窘況，感謝鍾世忠教授的體諒及提攜，家人的支持和等待及已經畢業的侑信、玫翎、菁偉在我的學習過程中給我許多的協助，還有珮華、Lab 912這個大家庭的所有成員，在互動過程中讓我感受到重當學生的學習樂趣，最後我要感謝曾給我打氣及鼓勵的所有朋友。



目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第一章 導論.....	1
1.1 研究背景及動機.....	1
1.2 章節內容介紹.....	4
第二章 單極天線及邊角反射器天線原理.....	5
2.1 單極天線.....	5
2.2 邊角反射器天線.....	8
第三章 波束切換天線設計.....	12
3.1 波束切換天線組成.....	12
3.2 波束切換天線設計方法.....	13
3.2.1 全向性.....	13
3.2.2 天線地面大小.....	14
3.2.3 寄生天線數量.....	16
3.2.4 寄生天線間距.....	18
3.2.5 寄生天線與地面中心距離.....	20
3.2.6 寄生天線長度.....	22
3.2.7 反射器形式.....	24
3.3 傳輸線開關設計.....	26
3.4 波束切換天線設計結果.....	29
第四章 波束切換天線實作與量測.....	31
4.1 理想化開關之波束切換天線.....	31
4.1.1 理想化寄生天線開關.....	31
4.1.2 理想化傳輸線開關.....	36
4.2 寄生天線開關之波束切換天線.....	40

4.3 傳輸線開關之波束切換天線.....	45
第五章 結論.....	51
參考文獻.....	52



表目錄

表3-1 波束切換天線不同地面大小模擬.....	16
表3-2 每邊寄生天線不同數量模擬.....	18
表3-3 寄生天線不同間距模擬.....	20
表3-4 寄生天線與地面中心不同距離模擬.....	22
表3-5 寄生天線不同長度模擬.....	24
表3-6 不同反射器形式模擬.....	26
表3-7 傳輸線開關之波束切換天線模擬.....	29
表3-8 波束切換天線特性受設計參數影響程度傾向.....	29
表3-9 寄生天線開關之波束切換天線製作建議.....	30
表3-10 傳輸線開關之波束切換天線製作建議.....	30
表4-1 理想化A、B兩組寄生天線開關之波束切換天線的量測數據.....	36
表4-2 理想化傳輸線開關之波束切換天線的量測數據.....	40
表4-3 A組天線使用PIN二極體在不同開關組合的量測結果.....	43
表4-4 B組天線使用GaAs開關在不同開關組合的量測結果.....	45
表4-5 不同傳輸線長度的傳輸線開關天線測試結果.....	47
表4-6 傳輸線開關之波束切換天線的量測結果.....	50

圖目錄

圖1-1 切換饋入位置形成的場型組態天線.....	2
圖1-2 寄生元件以饋入天線為中心圓形圍繞的場型組態天線.....	3
圖2-1 半波長偶極天線.....	5
圖2-2 四分之波長單極天線.....	7
圖2-3 邊角反射器天線.....	8
圖2-4 邊角反射器鏡像原理作用.....	9
圖2-5 直角邊角反射器天線在不同距離 s 的指向性場型.....	9
圖2-6 三維邊角反射器天線.....	10
圖2-7 具三個邊角反射器天線.....	10
圖2-8 圓形陣列天線波束切換.....	11
圖2-9 電子式可調電容阻抗轉向陣列天線.....	11
圖3-1 寄生天線開關之波束切換天線基本組成.....	12
圖3-2 波束切換天線全向性反射損失模擬.....	13
圖3-3 波束切換天線全向性輻射場型模擬.....	14
圖3-4 不同地面大小的反射損失模擬.....	15
圖3-5 不同地面大小的輻射場型模擬.....	16
圖3-6 寄生天線不同數量的反射損失模擬.....	17
圖3-7 寄生天線不同數量的輻射場型模擬.....	18
圖3-8 寄生天線不同間距的反射損失模擬.....	19
圖3-9 寄生天線不同間距的輻射場型模擬.....	20
圖3-10 寄生天線與地面中心不同距離的反射損失模擬.....	21
圖3-11 寄生天線與地面中心不同距離的輻射場型模擬.....	22
圖3-12 寄生天線不同長度的反射損失模擬.....	23
圖3-13 寄生天線不同長度的輻射場型模擬.....	24
圖3-14 不同反射器形式的反射損失模擬.....	25
圖3-15 不同反射器形式的輻射場型模擬.....	26
圖3-16 傳輸線開關之波束切換天線組成.....	26
圖3-17 傳輸線開關之波束切換天線的反射損失模擬.....	27
圖3-18 傳輸線開關之波束切換天線的輻射場型模擬.....	28
圖4-1 理想化A、B兩組天線外觀示意圖及天線尺寸.....	32

圖4-2 理想化A、B兩組天線實作外觀.....	33
圖4-3 理想化A組天線的反射損失量測.....	33
圖4-4 理想化A組天線的輻射場型量測.....	34
圖4-5 理想化B組天線的反射損失量測.....	35
圖4-6 理想化B組天線的輻射場型量測.....	36
圖4-7 理想化傳輸線開關之波束切換天線實作外觀.....	37
圖4-8 理想化傳輸線開關之天線反射損失量測.....	37
圖4-9 理想化傳輸線開關之天線全向性輻射場型量測.....	38
圖4-10 理想化傳輸線開關之天線波束輻射場型量測.....	39
圖4-11 PIN二極體線路在A組寄生天線上的佈置.....	41
圖4-12 A組天線使用PIN二極體的反射損失量測.....	41
圖4-13 A組天線使用PIN二極體的波束輻射場型量測.....	42
圖4-14 GaAs開關在B組寄生天線上的佈置.....	43
圖4-15 B組天線使用GaAs開關的反射損失量測.....	44
圖4-16 B組天線使用GaAs開關的波束輻射場型量測.....	45
圖4-17 傳輸線開關配置安裝.....	46
圖4-18 不同傳輸線長度的傳輸線開關天線反射損失量測.....	46
圖4-19 不同傳輸線長度的傳輸線開關天線波束輻射場型量測.....	47
圖4-20 傳輸線開關之波束切換天線實作外觀.....	48
圖4-21 傳輸線開關天線的反射損失量測.....	48
圖4-22 傳輸線開關天線的全向性輻射場型量測.....	49
圖4-23 傳輸線開關天線的波束輻射場型量測.....	50

第一章 導論

1.1 研究背景及動機

隨著無線行動通訊技術及產品快速發展，大量的無線通訊裝置產品帶給人們生活上極大的便利，現今無線通訊網路技術仍不斷的發展進步，新通訊標準持續發展定義。目前眾多應用的通訊標準中，IEEE 802.11a/b/g/n無線通訊標準廣泛被應用在無線網路連結。802.11a 操作頻帶從5.14 GHz ~ 5.875 GHz，而802.11b/g/n標準使用2.4GHz頻帶，802.11b/g/n此類無線通訊產品將會遭受來自如微波爐、無線電話、藍芽裝置等產品的無線干擾；另外因週遭環境障礙物造成多重路徑傳播衰減仍是無線通訊技術的挑戰。許多解決技術方案已被提出並持續的發展中，而智慧型天線是其中具潛力的可能解決方案之一。

智慧型天線為天線陣列組成，具有智慧化訊號處理法則用於辨認空間訊號特性如天線入射訊號的到達方向(Direction of arrival)，用於計算波束成形(Beam-forming)向量，並追蹤找出對準移動目標的天線波束[1]-[2]。其利用空間分隔多工的概念將天線幅射場型形成一特定的波束，應用空間分集的特性來區分與合成不同方位的使用者與路徑訊號，可應用在大多數的無線通訊系統，如W-CDMA及UMTS等行動通訊系統，因此智慧型天線設計主要技術有訊號到達方向估算及波束成形技術。

智慧型天線利用如MUSIC、ESPRIT等法則技術估算訊號到達方向，這些法則被用來找到天線的空間頻譜，並從這些頻譜中的最大值計算出到達方向，當找出被追蹤裝置的訊號到達方向後，波束成形技術才被用來增加系統性能[3]。波束幅射場型及方向隨著訊號環境的變化而改變使用，可以克服因多重路徑傳播衰減及共同通道的干擾問題，提高頻率重用率增加系統容量，同時所增加的場型增益能提高通訊距離及減少發射功率，降低行動裝置電源需求，使通訊資源不再侷限於時間域(TDMA)、頻率域(FDMA)或碼域(CDMA)，而擴展到空間域的空分多址(SDMA)技術。波束成形技術依對策的選擇概分成切換式波束天線及適應式陣列天線兩種類型，切換式波束天線具有多個固定在特定方向的強化波束，由天線陣列的一組固定加權比重及相位位移的訊號組合所形成，週期性的切換固定式波束場型來掃描整個場域，對想要的行動目標訊號，切換到對應的波束場型加以匹配。相對的，適應式陣列天線依即時接收及分析訊號源方

向位置來改變對應的波束場型，改善其他方向雜訊的排除以獲得最佳的訊號雜訊比。明顯的，適應式陣列天線在解決無線通訊環境中的多重路徑傳播衰減及共同通道的干擾問題是一較好的設計考量[2]，但需較複雜的設計技術。

為了有效利用有限的頻譜資源，許多的天線場型組態設計被提出來[4] - [19]，用來提供波束成形組態及高方向增益以減少多重路徑干擾及加強訊號電力效能，其中很多是由八木天線(Yagi-Uda antenna)演變而來[4]-[17]。八木天線以主動饋入雙極天線元件為中心並輔以寄生雙極天線元件所組成，寄生元件比主動饋入元件短具有導引天線波束功能；寄生元件比主動饋入元件長具有反射天線波束功能。在主動饋入元件周邊安排長短不同的導向及反射寄生元件，即可得到不同的天線場型。在[5]- [16]中，使用單極天線替代雙極天線，在天線地面上的單極元件安排仍保持八木天線基本特性，但圍繞在主動饋入元件的寄生元件可連接上負載變化，負載狀態可以是短路或斷路或阻抗值。這些負載變化可以改變寄生元件的等效長度，這些單極元件之間的電磁相互感應產生場型波束成形。圖1-1所示四個單極天線組成，均可切換為天線饋入或寄生元件，切換饋入元件位置並將其他設定為反射寄生元件形成四個方向波束場型切換[6]。圖1-2所示單極寄生元件以主動饋入元件為圓形中心圍繞，同樣變化單極寄生元件的負載，改變在寄生元件的感應電流分佈，就能切換不同的波束場型[15]，每一寄生元件具有短路接地、斷路、負載三個切換狀態，產生不同的電流分佈變化用於場型切換，上述天線案例中寄生元件使用圓柱桿單極天線。

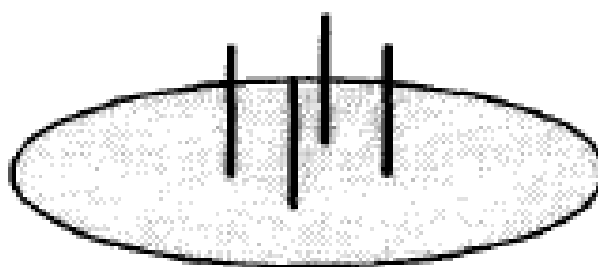


圖1-1 切換饋入位置形成的場型組態天線

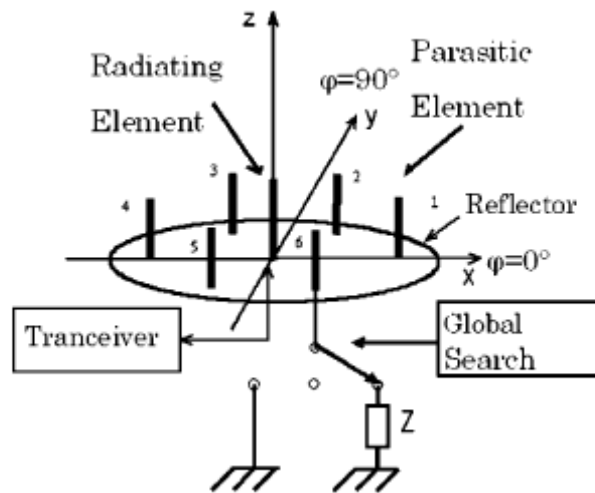


圖1-2 寄生元件以饋入天線為中心圓形圍繞的場型組態天線

本論文提出以單極天線陣列實現波束成形及轉向控制的新型波束切換天線，應用於無線網路。此天線操作在2.4 GHz波段，由印刷微帶線製成的單極天線及一四方形天線地面，均使用FR4線路板製作而成以簡化天線組成及控制方式 [13]。一主動饋入天線在地面中心，四片具有寄生天線的線路板圍繞四周，寄生天線直接由佈置其上的開關線路切換控制，組成直角邊角反射器用於波束成形及90度轉向。此天線模擬進行包括天線地面大小、寄生天線數量、寄生天線間距、寄生天線與地面中心距離、寄生天線長度及不同反射器形式等設計參數，得出寄生天線開關實作建議做為天線製作依據。為了減少天線RF開關數量及簡化邊角反射器波束切換的方式，參考上述實作建議提出一傳輸線開關切換控制寄生天線，得出雷同的天線特性模擬。

依模擬結果所得出的實作建議數據進行具有寄生天線開關及傳輸線開關等兩種天線製作，寄生天線開關製作每邊線路板具有3支及2支寄生天線的兩種形式，用於確認每邊具2支寄生天線的實作建議數據。首先天線的RF開關的開閉動作直接以斷路或短路替代，對這些具有理想化開關的天線進行量測與模擬結果比對，驗證波束切換天線結構及實作建議數據的可用性。當實際以PIN二極體及GaAs開關等不同RF開關做為寄生天線開關，實證RF開關線路的切換控制功能及其雜散寄生阻抗及隔離損失對此種天線性能的影響。然後實際應用RF磁簧開關在傳輸線開關的切換，進行量測證明傳輸線開關控制方式的實用性。

1.2 章節內容介紹

本論文共分五個章節。第一章為導論，說明本論文的相關背景、動機及研究重點摘要。第二章單極天線及邊角反射器天線原理，針對本論文波束切換天線所用到的偶極/單極天線、邊角反射器天線相關概念原理加以描述。第三章波束切換天線設計，說明波束切換天線的組成架構及進行不同的天線設計參數模擬比較，歸納提出一組實作建議數據做為天線製作依據，並根據此實作建議提出一傳輸線開關，簡化波束切換的控制方式。第四章波束切天線實作與量測，進行理想化開關、寄生天線開關與傳輸線開關的天線實作及測量，說明本天線設計架構的可用性及實證RF開關在不同寄生天線切換方式對天線性能的影響。第五章結論，說明本論文的研究結果及心得。

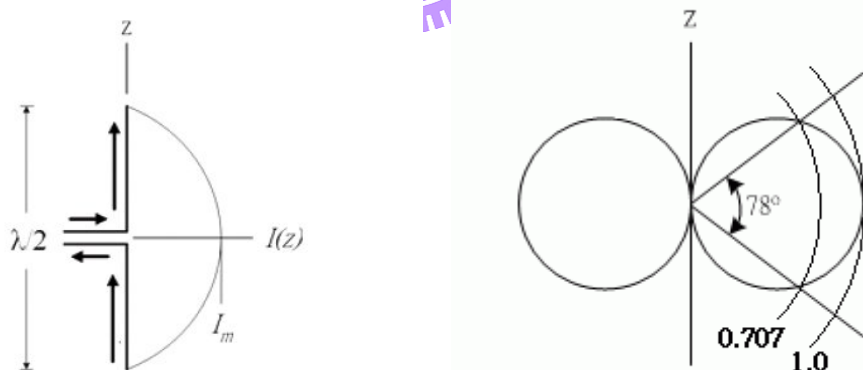


第二章 單極天線及邊角反射器天線原理

本論文所提出的波束切換天線利用FR4 印刷線路板微帶線組成的主動及寄生單極天線組裝在一地面所構成，經由寄生天線切換成邊角反射器的組合機制，使主動及寄生單極天線彼此相互感應耦合而形成扇型波束場型及轉向控制，組合機制使用RF開關線路來控制寄生天線的切換而達成。本章將對單極天線、邊角反射器天線等作用做一基本原理介紹。

2.1 單極天線(monopole Antennas)

單極天線由偶極天線簡化而來，以四分之波長單極天線為例，經由地面鏡像效應，產生與二分之波長偶極天線一樣的電流分佈及輻射場型特性，長度只有偶極天線的一半。圖2.1所示半波長偶極天線電流變化分佈及輻射場型，其H-Plane為全向性。輸入端($z=0$)電流強度最大，末端開路($z= \lambda/4$)電流強度為零， $z=0$ 至 $\lambda/4$ 之間呈現弦波狀分佈，其電流分為兩路，分別為 $+z$ 方向流出的電流 $I(+z)$ 和朝 $-z$ 方向流回的電流 $I(-z)$ 。理想上兩電流的大小相同($I(+z)=I(-z)$)，相位相反($I(+z)=-I(-z)$)，(2-1)式表示其電流分佈。



(a)電流分佈

(b)輻射場型及半功率波束寬

圖 2-1 半波長偶極天線

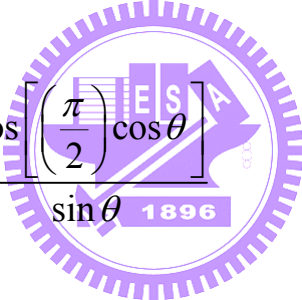
$$I = \begin{cases} I_m & |Z| = 0 \\ I_m \sin \left[\beta \left(\frac{\lambda}{4} - |Z| \right) \right], & \text{if } 0 < |Z| < \frac{\lambda}{4} \\ 0 & |Z| = \frac{\lambda}{4} \end{cases} \quad (2-1)$$

I_m : Maximum value of current

β : Phase constant in free space

將電流 $I(z)$ 朝 z 方向積分可以計算出遠場電場(2-2)式及磁場(2-3)式。

$$E_\theta \cong j\eta \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \frac{\cos \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) \cos \theta \right]}{\sin \theta} \quad (2-2)$$

$$H_\phi = \frac{E_\theta}{\eta} = j \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \frac{\cos \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) \cos \theta \right]}{\sin \theta} \quad (2-3)$$


由Poynting's Theorem 得知觀測點的單位輻射功率 S 為(2-4)式

$$S = \frac{1}{2} \vec{E} \times \vec{H}^* = \left[\frac{\eta |I_0|^2}{8\pi^2} \right] \left(\frac{1}{r^2} \right) \left[\frac{\cos \left[\frac{\pi}{2} \cos \theta \right]}{\sin \theta} \right]^2 \quad (2-4)$$

天線的輻射場型為：

$$F(\theta) = \left[\frac{\cos \left[\frac{\pi}{2} \cos \theta \right]}{\sin \theta} \right]^2 \quad (2-5)$$

由(2-5)式可以得到半波長偶極天線的輻射場型，如圖2.1(b)所示。由天線輻射場型定義天線的指向性為(2-6)式：

$$D = P(\theta)_{\max} / P_{\text{av}}, P_{\text{av}} = P(\text{TR})/4\pi \quad P(\text{TR}) : \text{天線輻射總功率} \quad (2-6)$$

天線輻射場型越接近全向性天線，指向性會越接近1或0 dB。若輻射場型在特定的方向較集中功率，則此方向的指向性會越高，指向性可判別此天線輻射場型的集中程度。藉由輻射功率及電流計算可得半波長偶極天線輻射電阻($R_{r,dipole}$)為(2-7)式：

$$R_{r,dipole} = \frac{2P_{rad}}{|I_0|^2} = \frac{\eta}{4\pi} C_{in} (2\pi) = 30(2.435) \cong 73\Omega \quad (2-7)$$

四分之波長單極天線結構如圖2.2(a)所示， $Z > 0$ 部分和偶極天線相同，在 $Z < 0$ 的部分，地面鏡像效應產生一對應於 $I(Z)$ ， $Z > 0$ 時的電流，如圖2.2(b)虛線所示鏡像電流分佈。但 $Z < 0$ 的部分是沒有電場的，單極天線輸入端的電壓只有偶極天線的一半，但其電流大小是相同的，所以四分之波長單極天線的輸入阻抗是半波長偶極天線的一半，輸入阻抗可依(2-8)式求得。

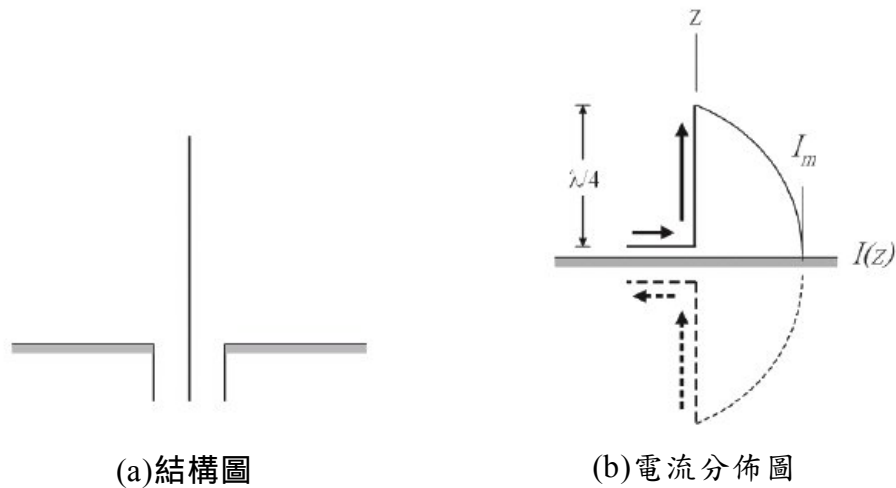


圖2-2 四分之波長單極天線

$$Z_{A,monopole} = \frac{1/2 V_{A,dipole}}{I_{A,dipole}} = \frac{1}{2} Z_{A,dipole} \quad (2-8)$$

四分之波長單極天線的輻射功率只有二分之波長偶極天線的一半，饋入電流一樣，其輻射電阻可依(2-9)式求得。

$$R_{r,monopole} = \frac{P_{monopole}}{\frac{1}{2}|I_{A,monopole}|^2} = \frac{\frac{1}{2}P_{dipole}}{\frac{1}{2}|I_{A,dipole}|^2} = \frac{1}{2}R_{r,dipole} = 36.5\Omega \quad (2-9)$$

因為四分之波長單極天線的輻射功率只有二分之波長偶極天線輻射功率的一半，相同最大輻射強度，所以(2-10)式得出單極天線的指向性為偶極天線的兩倍。

$$D_{Monopole} = P(\theta)_{max} / 1/2 P_{av} = 2 D_{Dipole} \quad (2-10)$$

2.2 邊角反射器天線(Corner reflector antenna)

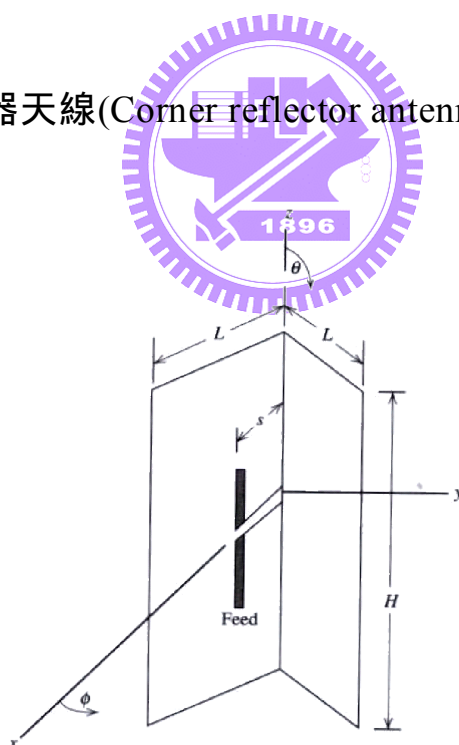


圖 2-3 邊角反射器天線

高增益及指向性天線設計時，邊角反射器天線是好的選擇之一，如圖 2-3 所示半波長偶極天線安置在由兩片金屬夾角形成的邊角反射器內，90°夾角的邊角反射器天線是最常用的，邊角反射器天線可用鏡像效應及陣列理論來加以分

析，如圖 2.4 所示。經分析發現場型形狀，都是饋入天線與夾角邊距離 s 關係函數，當夾角金屬片長度 L 無限延伸時，距離 $s = 0.25\lambda \sim 0.7\lambda$ 能得到一良好的指向性，圖 2-5 所示在不同距離 s 的指向性，最好的距離 s 是 0.5λ ，但偶極輸入阻抗大約是 125 歐姆，跟一般輸入埠阻抗 50 歐姆不太匹配，因此天線設計時在方向性與阻抗匹配之間要找出一平衡點[20]。

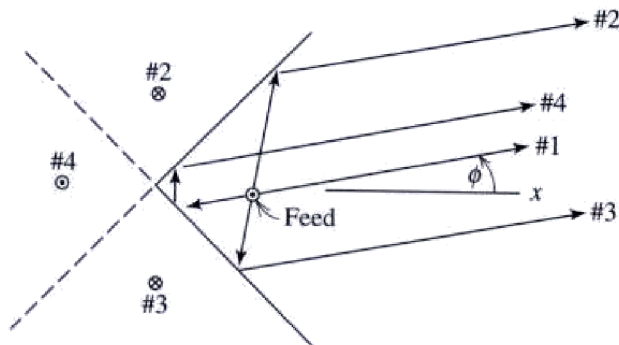


圖 2-4 邊角反射器鏡像原理作用

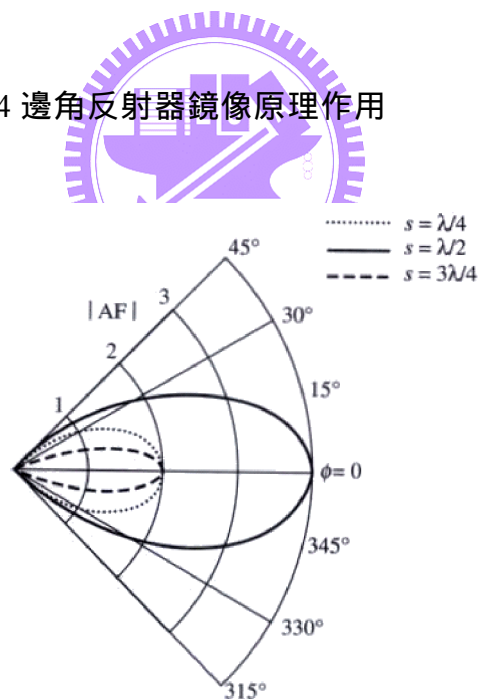


圖2-5 直角邊角反射器天線在不同距離 s 的指向性場型

實際上，邊角反射器的金屬反射片長度不可能無限延伸，通常長度尺寸 $L=2s$ 是可接受的尺寸，獲得較寬波束但可接受的指向性。金屬反射片高度 H 適用尺寸大約是饋入天線元件長度的 1.2 ~1.5 倍，減少饋入天線在反射片背面的直接輻射。

在[18]- [19]中，提出一些邊角反射器概念的天線結構，圖 2-6 中，說明三維邊角反射器天線[18]由 3 面反射片形成，單極饋入天線安置在一反射片平面上，可使輻射主波束傾斜並變得更窄。圖 2-7 說明具有三個邊角反射器天線 [19]，藉由其他兩個角形反射器更加窄化主波束成形。

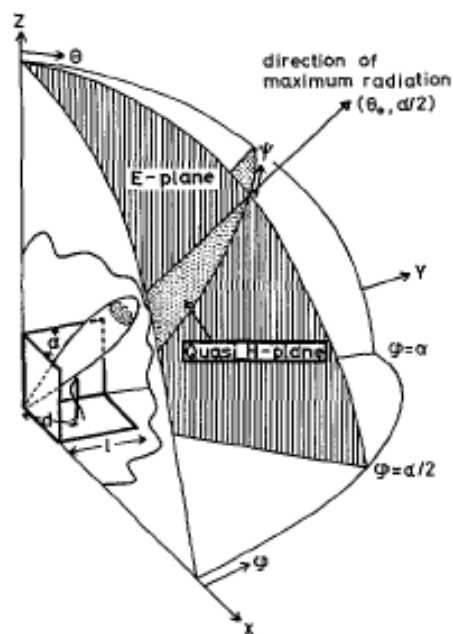


圖. 2-6 三維邊角反射器天線

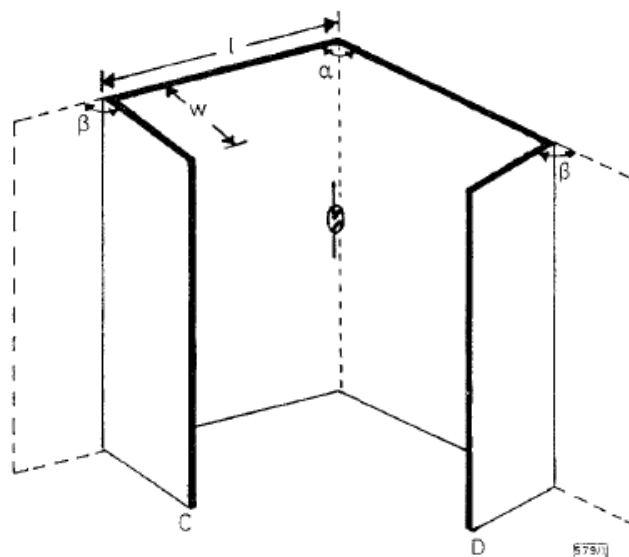
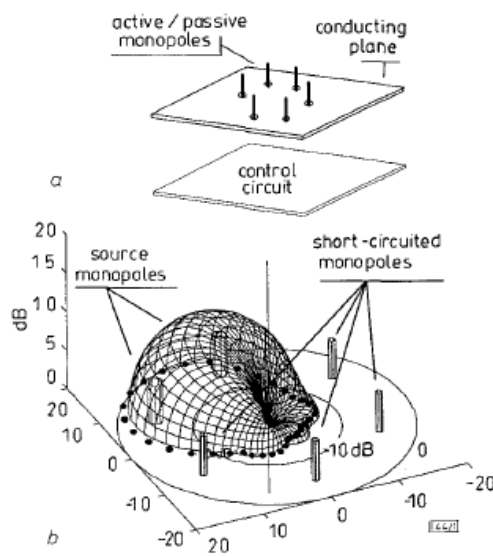


圖 2.7. 具三個邊角反射器天線.

邊角反射器除由金屬片形成，亦可由條柵狀金屬製作而成[20]，在一單極天線陣列中可組合部分單極天線，接地形成類似條柵狀邊角反射器功能，藉由切換寄生天線所形成的反射面，達到波束成形及轉向功能。圖 2-8 說明圓形單極天線陣列藉由切換控制，每一單極天線可切換成發射/接收主動元件或被動寄生元件，藉由被動寄生元件組合成反射器，達成波束轉向功能[5]。圖 2-9 提出一電子式可調電容阻抗轉向陣列天線，中心為主動饋入單極天線，圓形圍繞 6 組可調電容阻抗調變的寄生單極天線，調變寄生天線阻抗值使具有反射器功能，達成天線波束成型及轉向功能[14]。



2-8. 圓形陣列天線波束切換

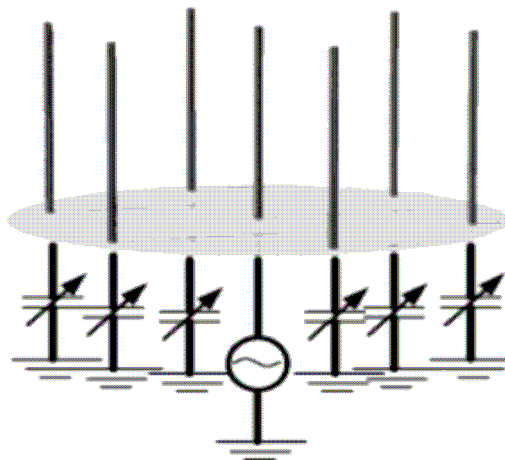


圖. 2-9. 電子式可調電容阻抗轉向陣列天線

第三章 波束切換天線設計

3.1 波束切換天線組成

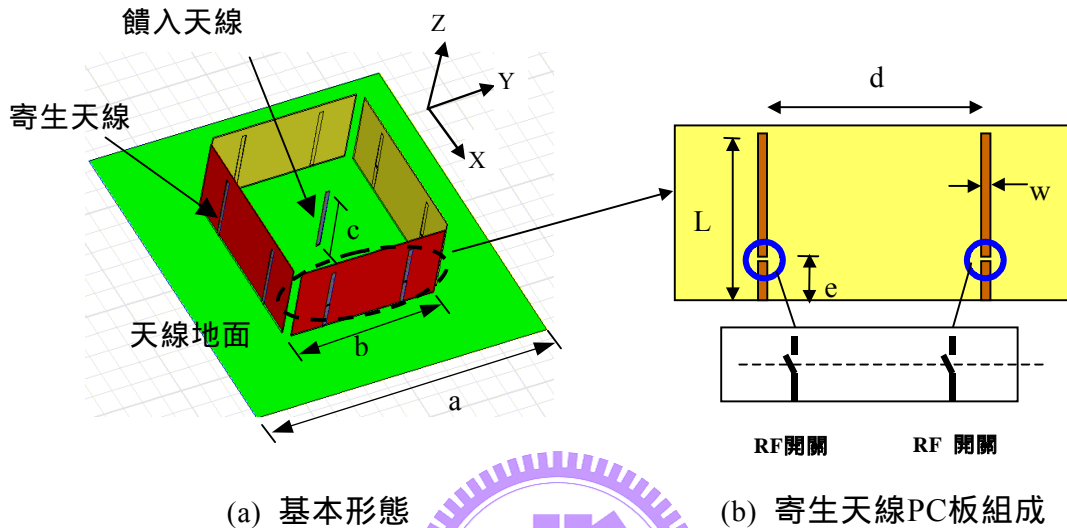


圖3-1 寄生天線開關之波束切換天線基本組成

根據單極天線與邊角反射器天線原理，提出一新型的寄生天線開關之波束切換天線設計，其操作中心頻率為2.4GHz ($\lambda=125\text{mm}$)。天線基本型態如圖3-1(a)，在一天線地面上，中心為主動饋入天線，四邊佈置寄生單極天線，圖3-1(b)所示為PC板製成一邊的寄生天線。寄生天線上佈置切換控制的RF開關，開路時寄生天線不作用，閉路時寄生天線成為反射器元件[16]，切換四邊寄生天線使相鄰二邊成為直角邊角反射器的組態，達到波束成形及90°轉向控制。

前例的切換式波束天線通常以圓柱桿金屬的單極天線，絕緣安裝在地面上，並在地面背面底部進行切換控制，製作及控制複雜及體積大。本天線製作使用板材介電常數為4.4的FR4 PC板製作天線地面及天線所需四分之一波長單極天線的微帶線，天線控制的RF開關佈置在各寄生單極天線上，直接開關控制寄生天線形成反射面與否。

另提出一傳輸線開關用於改變在寄生天線的直接開關及簡化切換控制方式，在每邊的2支寄生天線底端直接線路連接，此連接線路與地面形成傳輸線，連接線路中心點以RF開關控制接地與否，經由傳輸線阻抗轉換，達成連接線兩端寄生天線與地面的開關功能。

3.2 波束切換天線設計方法

波束切換天線基本組成如圖3-1所示，在進行天線設計模擬時使用Ansoft公司的有限元素分析軟體-HFSS[21]。天線設計參數有天線地面邊長 a 、寄生天線數量、寄生天線間距 d 、寄生天線與地面中心距離 $b/2$ 、寄生天線長度 L 、不同反射面形式等，其他如微帶線寬度 w 及寄生天線切換點 e 等設定為固定值2mm及10mm。設計模擬時，調整這些參數與天線組成，並使寄生天線上的切換點直接短路或斷路來替代RF開關的閉路或開路動作，得出天線特性模擬結果，並歸納提出一組寄生天線開關之波束切換天線實作建議數據做為製作依據。設計傳輸線開關時，根據原有的實作建議數據加以修改模擬，得出與上述天線雷同的天線特性模擬結果，並同樣整理出一組傳輸線開關之波束切換天線實作建議數據做為製作依據。

3.2.1 全向性

天線在訊號搜尋時，將以全向性進行，此天線輻射模擬可由四邊的寄生天線切換斷路得出，饋入天線長度 c 因輸入阻抗匹配及週邊寄生天線存在的影響，長度比四分之波長短，調整饋入天線長度 c 為27mm(0.216λ)，天線地面邊長 a 為150mm (1.2λ)，圖3-2為波束切換天線全向性反射損失 S_{11} 模擬結果，圖3-3為波束切換天線全向性輻射場型模擬結果，2.4 GHz反射損失 S_{11} 為-10.7dB，10 dB反射損失頻寬2.38 ~ 2.67GHz，最大增益3.49dBi 在地面仰角 40° 。

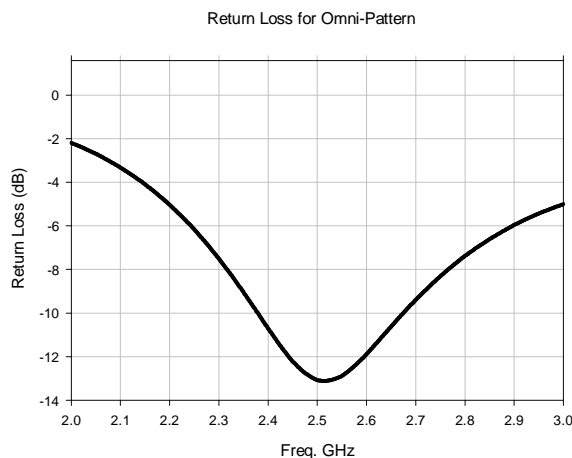


圖3-2 波束切換天線全向性反射損失模擬

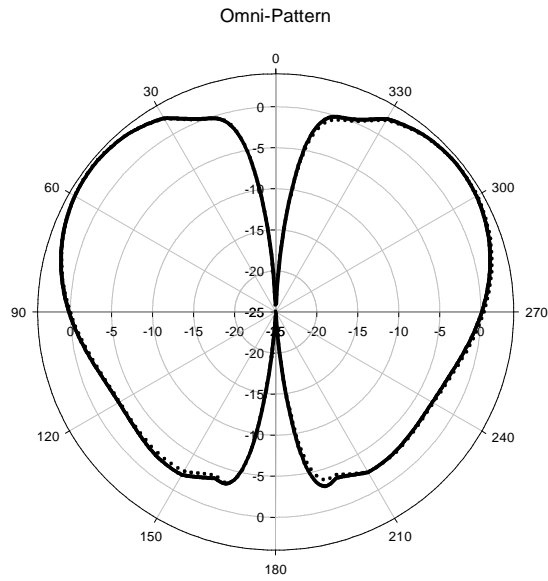


圖3-3 波束切換天線全向性輻射場型模擬

3.2.2 天線地面大小



天線地面主要會決定天線大小，分別以100mm、150mm、250mm、350mm的天線地面邊長 a 進行模擬，其他天線設計參數設定如下：饋入天線長度 c 為27mm，寄生天線長度 L 為30mm，四邊寄生天線與地面中心距離 $b/2$ 為40mm，每邊有2支寄生天線，寄生天線間距 d 為40mm，一相鄰兩邊的寄生天線開關短路設為邊角反射器。圖3-4為不同地面大小的反射損失模擬，圖3-5為不同地面大小的輻射場型模擬，表3-1說明不同地面大小的反射損失 S_{11} 、10dB反射損失頻寬、最大增益等模擬數據，地面面積越大使經由地面鏡射的電波越多，而使增益增大，應用時天線體積及天線增益兩者之間的取舍依需求考量而定，在後續的說明及實際製作中，採用150mm邊長的天線地面。

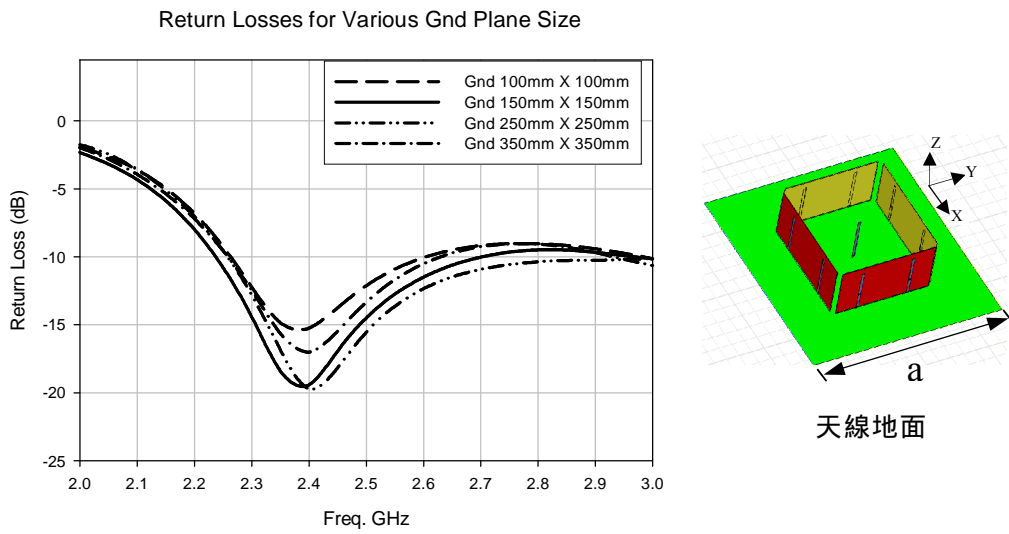
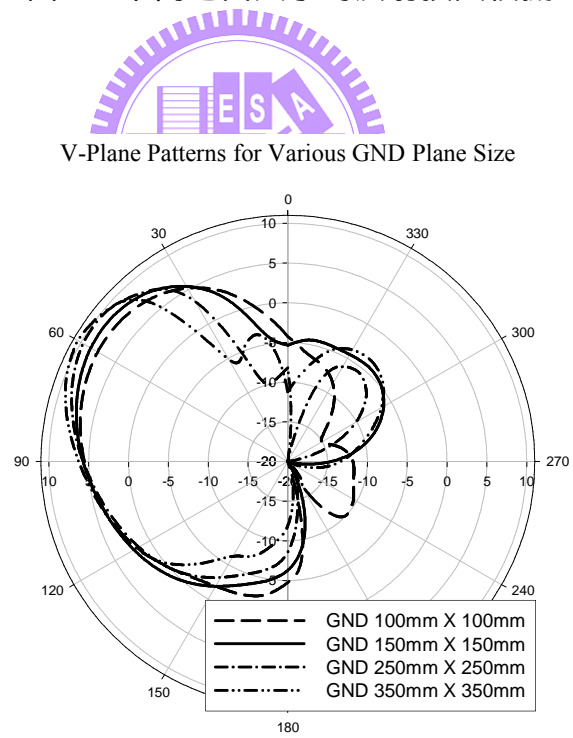
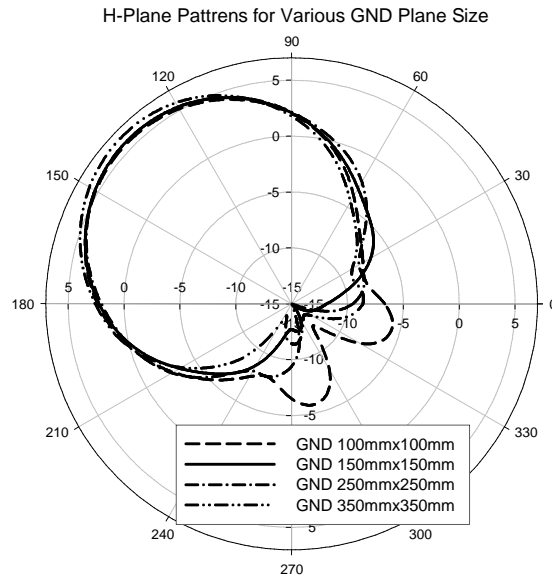


圖3-4 不同地面大小的反射損失模擬



(a) $\phi = 135^\circ$ 平面



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖3-5 不同地面大小的輻射場型模擬

表3-1 波束切換天線不同地面大小模擬

天線地面 邊長a(mm)	反射損失 $S_{11}@2.4\text{GHz}(\text{dB})$	10dB反射損失頻寬 (GHz)	最大增益(dBi)
100	-15.26	2.28 ~ 2.6	7.58
150	-19.43	2.24 ~ 2.7	8.58
250	-19.73	2.26 ~ 3.1	9.7
350	-17.02	2.26 ~ 2.61	10.45

3.2.3 寄生天線數量

考量每邊PC板的寄生天線數量多寡影響到切換開關的數量及邊角反射器特性，安排有1~3支數量的3種樣式模擬比較，1支樣式佈置在每邊正中間，2支樣式佈置在離每邊中心點兩側距離20mm處，3支樣式佈置在每邊中心點及兩側距離各30mm處，天線設計其他參數設定為：天線地面邊長a為150mm，饋入天線長度c為27mm，寄生天線長度L為30mm，四邊寄生天線與地面中心距離b/2為40mm，一相鄰兩邊的寄生天線開關短路設為邊角反射器，圖3-6為寄生天線

不同數量的反射損失模擬結果，圖3-7為寄生天線不同數量的輻射場型模擬結果，表3-2 說明寄生天線不同數量的反射損失 S_{11} 、10dB反射損失頻寬、最大增益等模擬數據，單支寄生天線反射面較小使增益變小，三支寄生天線反射面較大使Back lobe增益較小，與二支寄生天線最大增益相近但需三個切換開關。考量天線增益及RF開關數量，天線實作採用每邊2支寄生天線的樣式佈置為主。

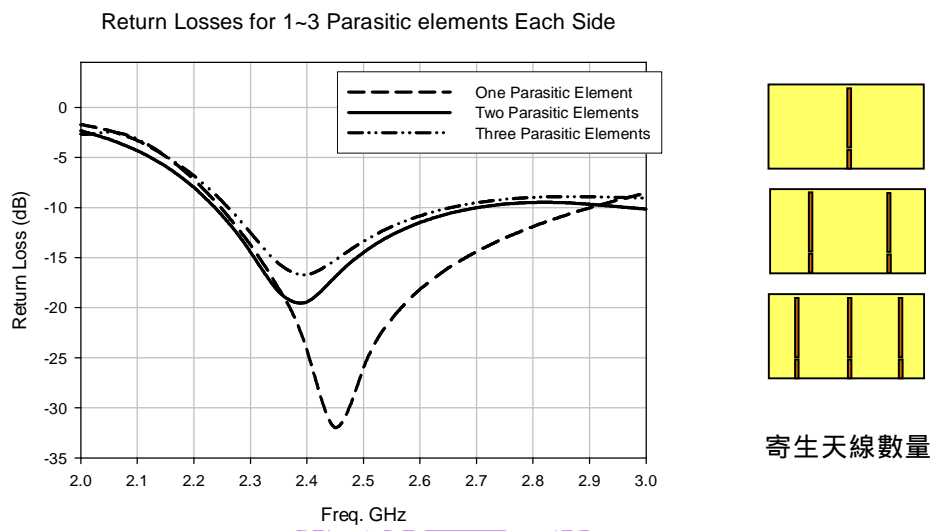
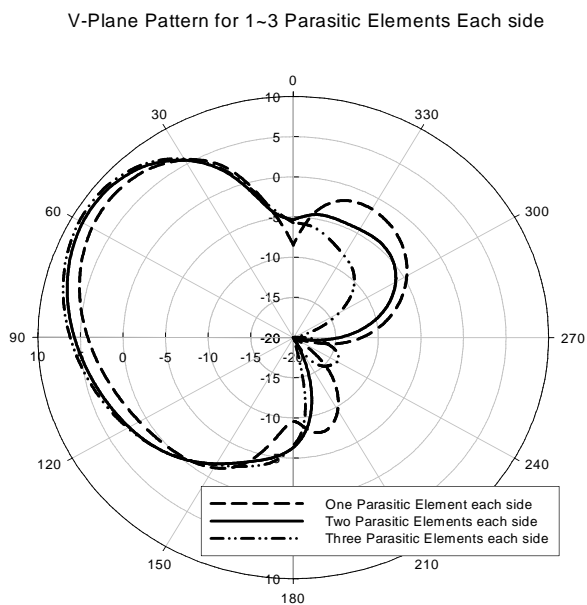
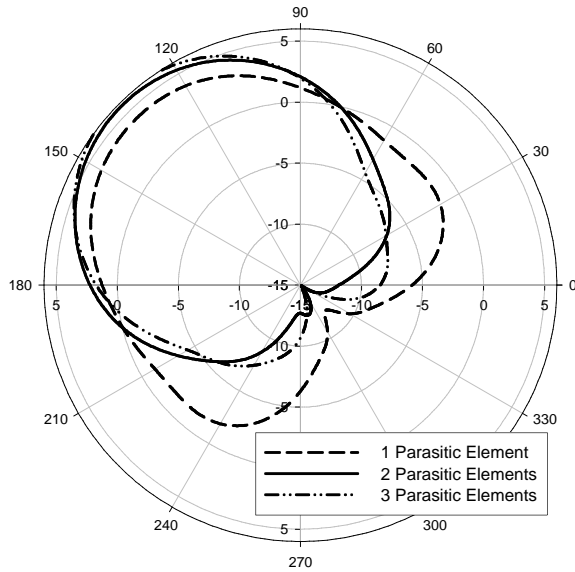


圖3-6 寄生天線不同數量的反射損失模擬



H-Plane Patterns for 1~3 Parasitic Elements Each Side



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖3-7 寄生天線不同數量的輻射場型模擬

表3-2 每邊寄生天線不同數量模擬

寄生天線數量(支)	反射損失 $S_{11}@2.4\text{GHz}(\text{dB})$	10dB反射損失頻寬 (GHz)	最大增益(dBi)
1	-24.52	2.25 ~ 2.93	7.57
2	-19.3	2.23 ~ 2.7	8.58
3	-16.5	2.26 ~ 2.65	9.00

3.2.4 寄生天線間距

選用每邊寄生天線線路板有2支寄生天線的樣式後，考量寄生天線之間の間距 d 對天線特性的影響，2支寄生天線佈置以每邊中心對稱佈置，將以30mm、40mm、50mm、60mm等4種間距模擬比較。天線設計其他參數設定為：天線地面邊長 a 為150 mm，饋入天線長度 c 為27mm，寄生天線長度 L 為30mm，四邊寄生天線與地面中心距離 $b/2$ 為40mm，一相鄰兩邊的寄生天線開關短路設為邊角反射器，圖3-8 為寄生天線不同間距的反射損失模擬，圖3-9 為寄生天線不同

間距的輻射場型模擬，表3-3 說明寄生天線不同間距的反射損失 S_{11} 、10dB反射損失頻寬、最大增益等模擬數據。間距 d 越大，10dB反射損失頻寬越寬，反射面洩漏的電磁波越多，背向波束增益越大，造成前後比越低。考量最大增益及前後比，間距 d 由30mm ~ 40mm可得出相近結果，選擇間距 $d = 40\text{mm}$ 為後續實作參考尺寸。

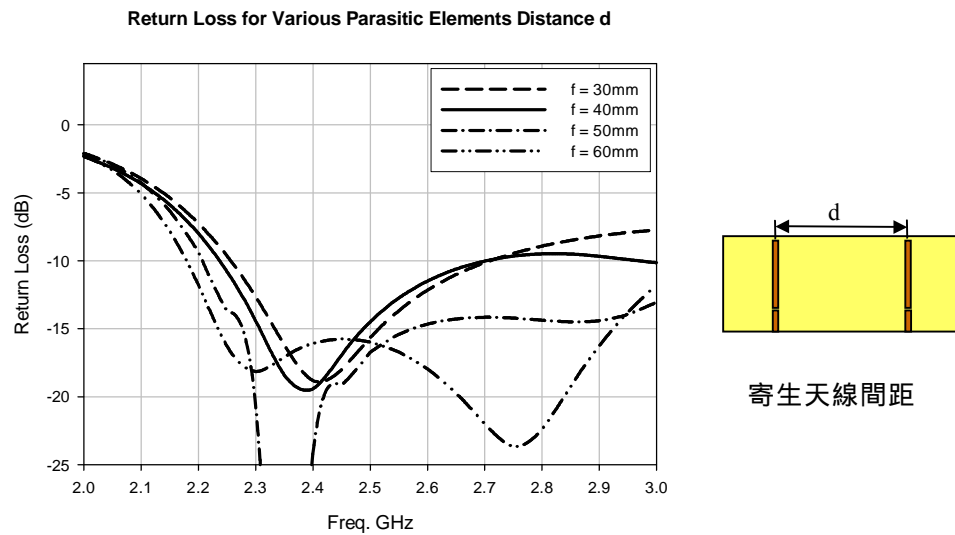
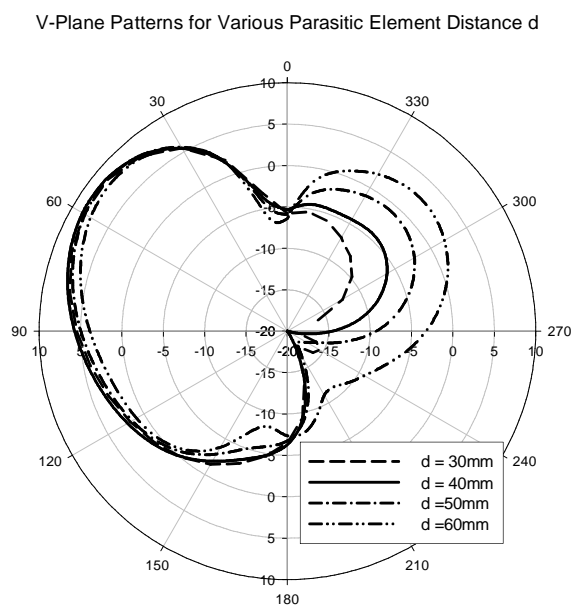
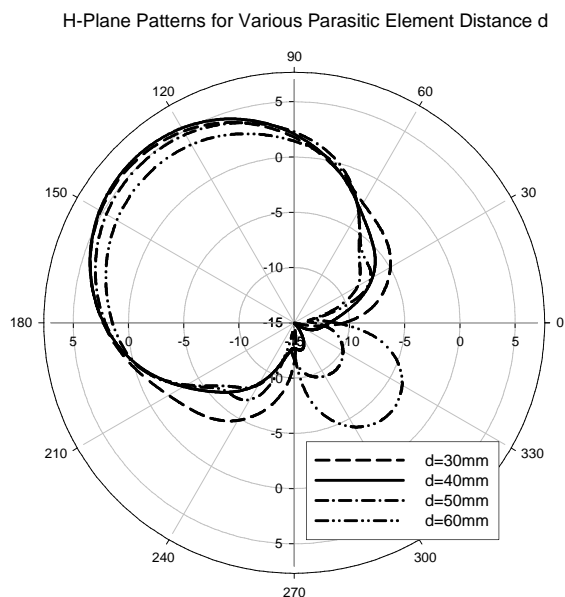


圖3-8 寄生天線不同間距的反射損失模擬



(a) $\phi = 135^\circ$ 平面



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖3-9 寄生天線不同間距的輻射場型模擬

表3-3 寄生天線不同間距模擬

寄生天線 間距d(mm)	反射損失 $S_{11}@2.4\text{GHz}(\text{dB})$	10dB反射損失頻寬 (GHz)	最大增益(dBi)
30	-18.83	2.26 ~ 2.9	8.42
40	-19.43	2.24 ~ 2.7	8.58
50	-24.23	2.21 ~ >3.0	8.41
60	-16.1	2.18 ~ >3.0	7.84

3.2.5 寄生天線與地面中心距離

波束切換天線所佈置的四方形寄生天線線路板，相鄰兩邊形成直角邊角反射器，寄生天線線路板與地面中心的垂直距離 $b/2$ (b 為寄生天線四方形邊長) 決定此反射器夾角邊與地面中心點的饋入天線距離(參考圖2-3邊角反射器天線 s 參數)，會影響場型、增益、饋入點阻抗，距離 $b/2$ 分別以30mm、40mm、50mm 等3種長度模擬比較。天線設計其他參數設定為：天線地面邊長 a 為150mm，饋

入天線長度 c 為27mm，寄生天線長度 L 為30mm，每邊有2支寄生天線，間距 d 為40mm，一相鄰兩邊的寄生天線開關短路設為邊角反射器。圖3-10為寄生天線與地面中心不同距離的反射損失模擬，圖3-11為寄生天線與地面中心不同距離的輻射場型模擬，表3-4 說明寄生天線與地面中心不同距離的反射損失 S_{11} 、10dB 反射損失頻寬、最大增益等模擬數據。距離越大即饋入天線與反射器的交互感應的量越小，反射損失頻寬越大，寄生天線之間距加大，使前後比越小，選擇距離 $b/2 = 40\text{mm}$ 為後續實作尺寸參考。

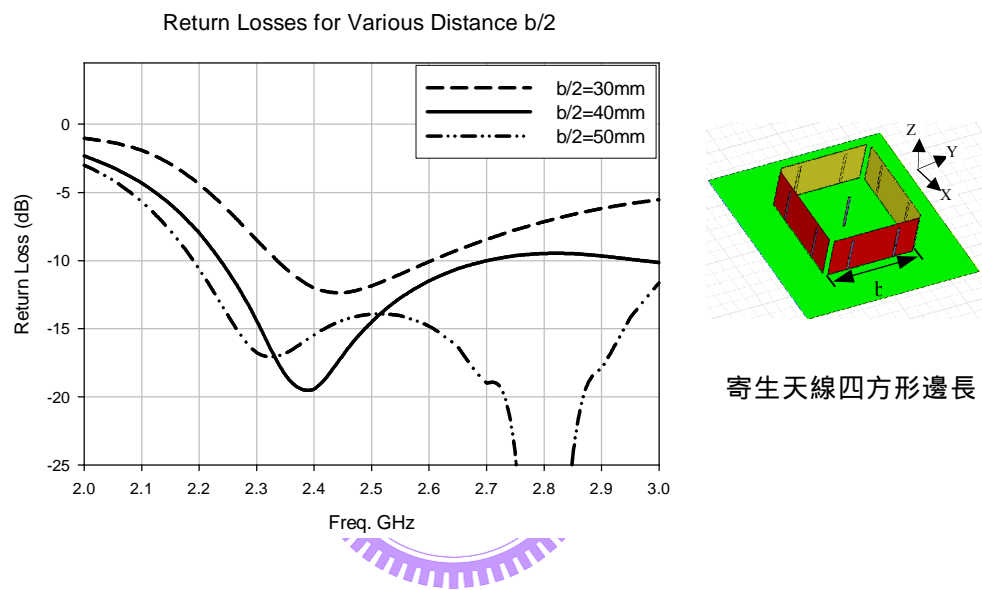
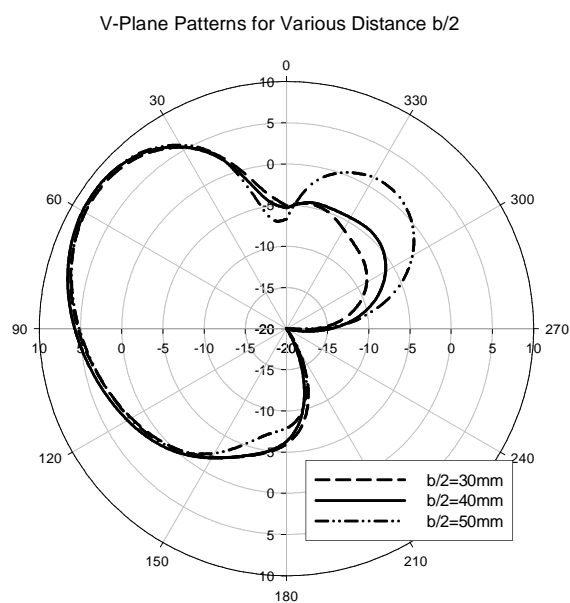
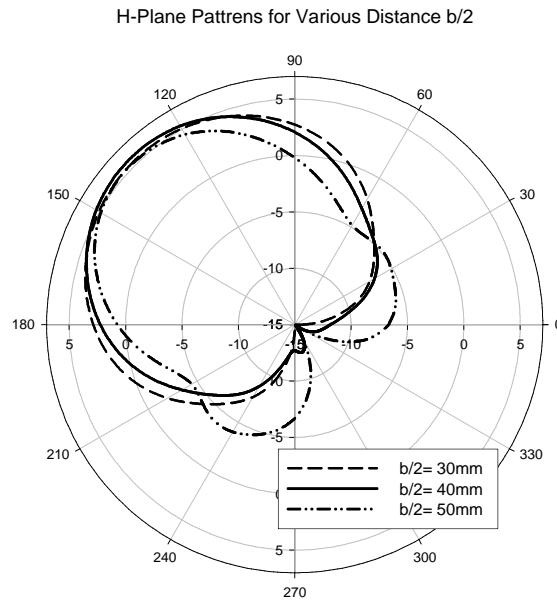


圖3-10 寄生天線與地面中心不同距離的反射損失模擬



(a) $\phi = 135^\circ$ 平面



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖3-11 寄生天線與地面中心不同距離的輻射場型模擬

表3-4 寄生天線與地面中心不同距離模擬

距離 $b/2(\text{mm})$	反射損失 $S_{11}@2.4\text{GHz}(\text{dB})$	10dB反射損失頻寬 (GHz)	最大增益(dBi)
30	-12.02	2.34 ~ 2.6	8.24
40	-19.43	2.24 ~ 2.7	8.58
50	-15.47	2.19 ~ 3.1	8.54

3.2.6 寄生天線長度

寄生天線做為波束切換天線所需反射器組成，其長度 L 比饋入天線 c 長，當饋入天線長度 c 為27mm時，寄生天線分別以28mm、30mm、32mm等三種長度模擬比較。天線設計其他參數設定為：天線地面邊長 a 為150mm，饋入天線長度 c 為27mm，每邊有2支寄生天線，間距 d 為40mm，四邊寄生天線與地面中心距離 $b/2$ 為40mm，一相鄰兩邊的寄生天線開關短路設為邊角反射器。圖3-12為寄生天線不同長度 L 的反射損失模擬，圖3-13為寄生天線不同長度 L 的輻射場型模擬，表

3-5 說明寄生天線不同長度的反射損失 S_{11} 、10dB反射損失頻寬、最大增益等模擬數據。隨著長度 L 越長，越偏離其共振長度而使前後比越小，但最大增益相近，三種寄生天線長度差異不大，選擇長度 $L = 30\text{mm}$ 為後續實作尺寸參考。

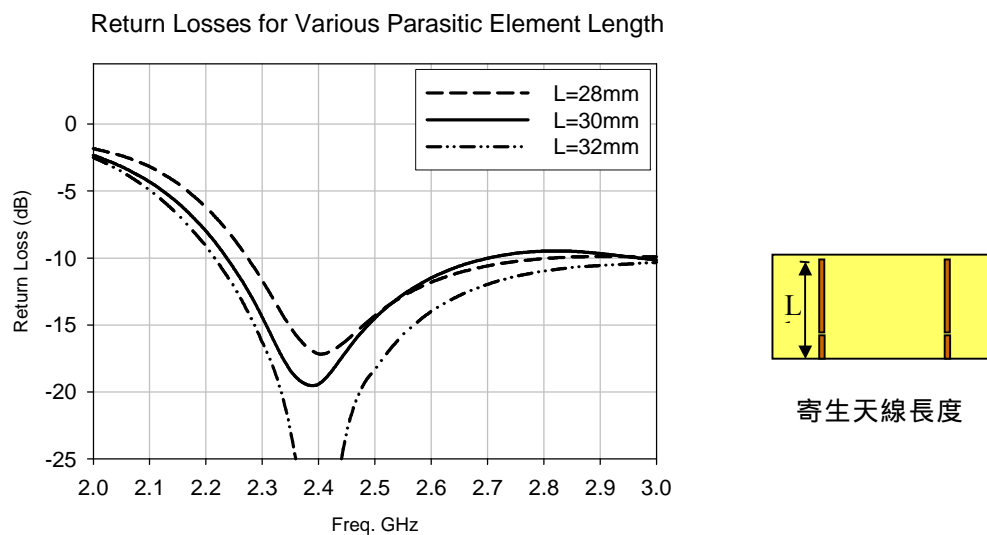
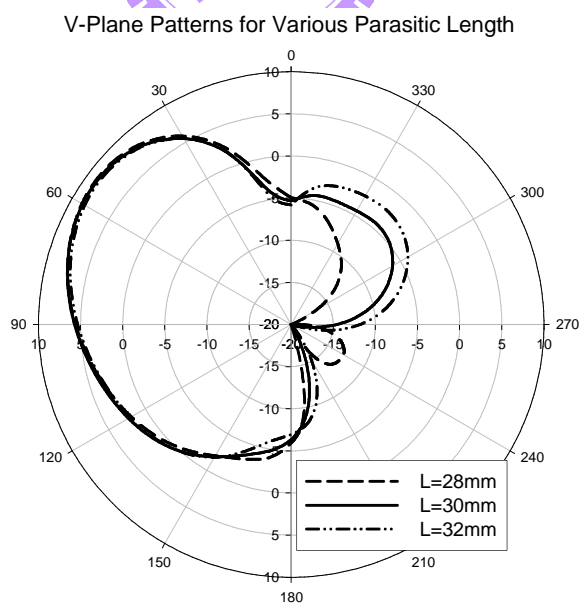
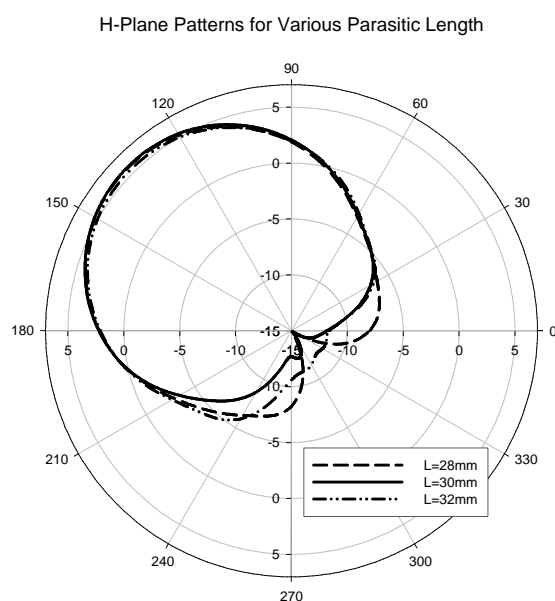


圖3-12 寄生天線不同長度的反射損失模擬



(a) $\phi = 135^\circ$ 平面



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖3-13 寄生天線不同長度的輻射場型模擬

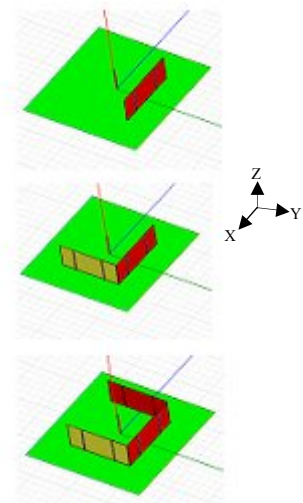
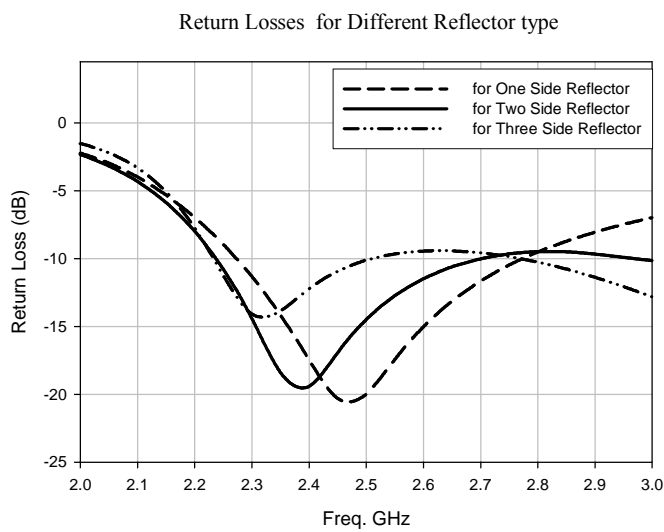
表3-5 寄生天線不同長度模擬

寄生天線 長度L(mm)	反射損失 $S_{11}@2.4\text{GHz}(\text{dB})$	10dB反射損失頻寬 (GHz)	最大增益(dBi)
28	-17.17	2.28 ~ 2.8	8.75
30	-19.43	2.24 ~ 2.7	8.58
32	-31.96	2.21 ~ 3.1	8.36

3.2.7 反射器形式

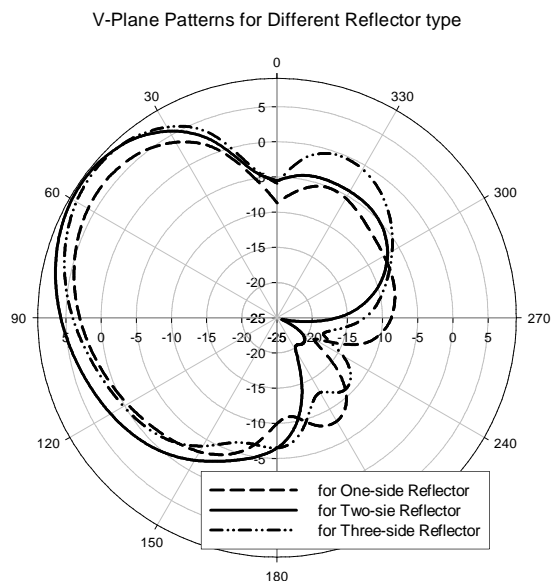
本天線波束切換主要是控制寄生天線成為反射器而成，在上述的設計模擬中均採用一相鄰兩邊寄生天線形成直角邊角反射器，依這樣的組合，可提供四個 90° 轉向的波束成形。反射器形式分別以單邊、雙邊或三邊寄生天線形成的反射器模擬比較。天線設計其他參數設定為：天線地面邊長 a 為150mm，饋入天線長度 c 為27mm，寄生天線長度 L 為30mm，每邊有2支寄生天線，間距 d 為40mm，四邊寄生天線與地面中心距離 $b/2$ 為40mm。圖3-14為不同反射器形式的反射損

失模擬，圖3-15 為不同反射器形式的輻射場型模擬，表3-6 說明波束切換天線不同反射器形式的反射損失 S_{11} 、10dB反射損失頻寬、最大增益等模擬數據。由圖3-14看出不同反射器形式的10dB反射損失均符合要求，但饋入天線等效長度會隨反射面數目增加而變長。單面及三面寄生天線形成的反射器提供同一方向的波束，以天線增益與波束成形而言，三面寄生天線的反射器是一較佳選擇。使用兩邊及三邊寄生天線組合後，共可提供8個 45° 轉向的波束切換。

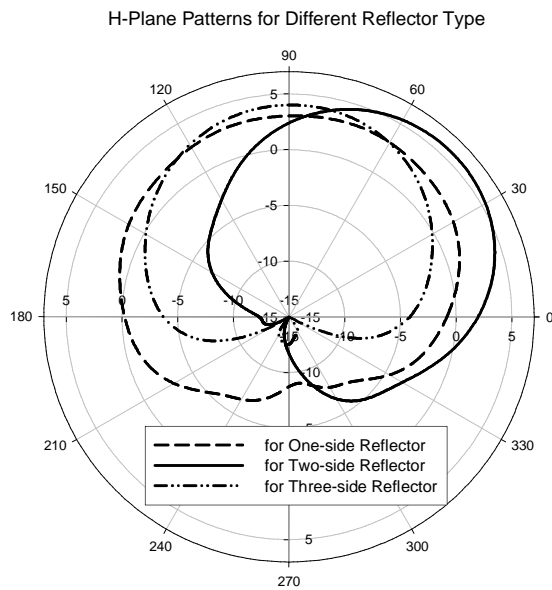


不同反射器形式

圖3-14 不同反射器形式的反射損失模擬



(a) $\phi = 45^\circ$ 、 90° 平面



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖3-15 不同反射器形式的輻射場型模擬

表3-6 不同反射器形式模擬

不同反射器形式	反射損失 $S_{11}@2.4\text{GHz}(\text{dB})$	10dB反射損失頻寬 (GHz)	最大增益(dBi)
One-side	-17.46	2.27 ~ 2.76	6.14
Two-side	-19.43	2.24 ~ 2.7	8.58
Three-side	-12.26	2.23 ~ 2.5	8.32

3.3 傳輸線開關設計

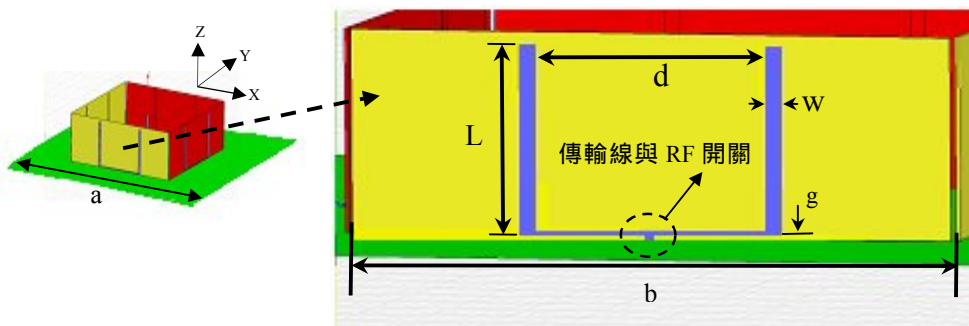


圖3-16 傳輸線開關之波束切換天線組成

在前述的寄生天線開關之波束切換天線結構中，每一寄生天線均由一佈置其上的開關切換控制，根據其實作建議模擬資料，提出一傳輸線開關線路。圖3-16為傳輸線開關之波束切換天線組成示意圖，天線參數設定為：天線地面150mm X 150mm，中心饋入單極天線長27mm，寄生天線與地面中心距離 $b/2$ 40mm，每邊以中心點對稱有二支寄生天線，寄生天線間隔 d 30mm，寄生天線長度 L 29mm，每邊2支寄生天線的底端以0.5mm寬度、30mm長度的線路連結，此底端連結線路與天線地面距離 g 為0.5mm，與地面構成一傳輸線，RF開關在連接線中心點與地面連結。依傳輸線阻抗轉換，RF開關成為傳輸線兩端寄生天線的傳輸線負載(閉路及開路)，在兩端寄生天線底端等同具有 $1/2$ 連接線長度的傳輸線轉換阻抗與地面連結，每邊的二支寄生天線只需由一RF開關控制切換即可，減少RF開關線路數量及簡化寄生天線的切換控制。

同樣在此傳輸線開關的天線模擬中，傳輸線中間的切換點直接短路或斷路來替代RF開關的閉路及開路動作，在FR4 PCB介電常數4.4情況下，其傳輸線等效波長約等於空氣的0.6倍，使設定的連接線長度30mm的傳輸線兩端具有 $1/4$ 波長傳輸線斷路(短路)阻抗轉換具有短路(斷路)的表現。模擬時，將一相鄰兩邊的傳輸線開關斷路，使寄生天線成為邊角反射器，另兩邊傳輸線開關短路，使寄生天線失效。圖3-17為傳輸線開關之波束切換天線的反射損失模擬，圖3-18為傳輸線開關之波束切換天線的輻射場型模擬，表3-7說明傳輸線開關之波束切換天線的反射損失 S_{11} 、10dB反射損失頻寬、最大增益等模擬數據，與前述的寄生天線開關之天線模擬結果相近。

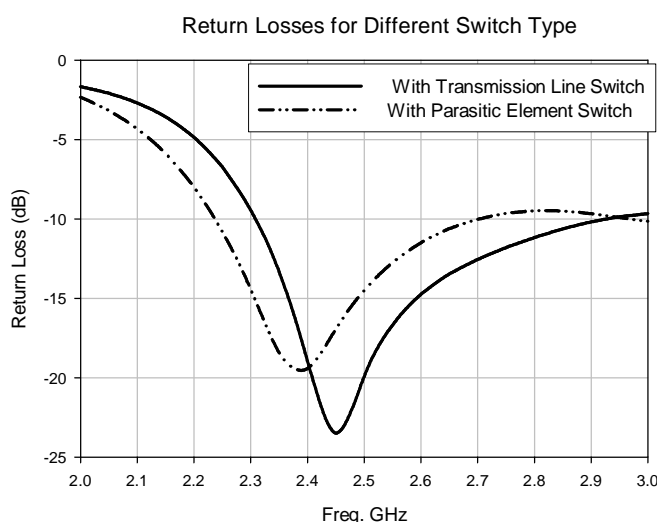
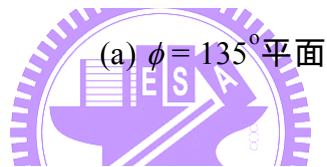
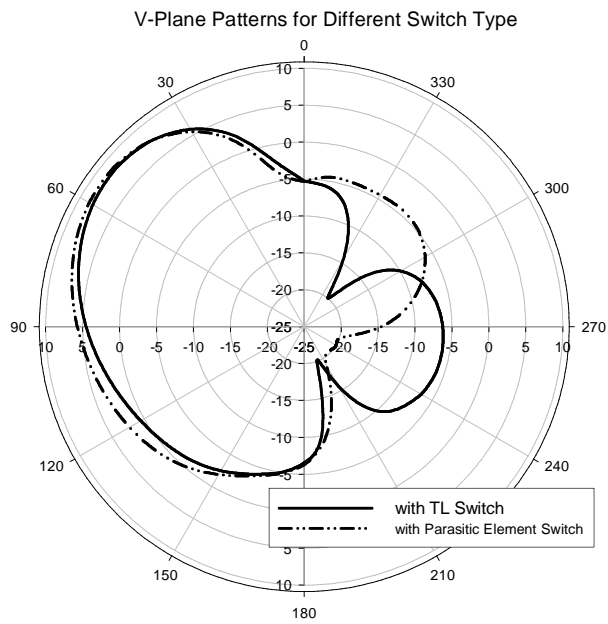
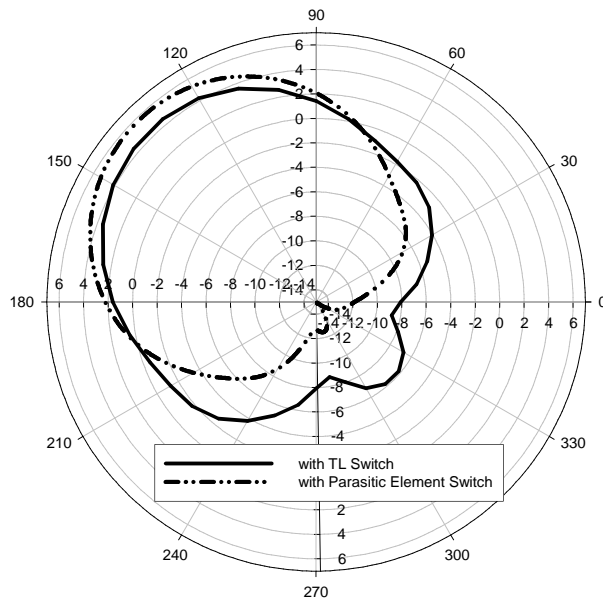


圖3-17 傳輸線開關之波束切換天線的反射損失模擬



H-Plane Patterns for Different Switch Type



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖3-18 傳輸線開關之波束切換天線的輻射場型模擬

表3-7 傳輸線開關之波束切換天線模擬

開關形式	反射損失 $S_{11}@2.4\text{GHz}(\text{dB})$	10dB反射損失頻寬 (GHz)	最大增益(dBi)
傳輸線開關	-18.92	2.31 ~ 2.92	8.29
寄生天線開關	-19.43	2.24 ~ 2.7	8.58

3.4 波束切換天線設計結果

在3.2.1節至3.2.7節針對寄生天開關之波束切換天線的全向性、天線地面大小、寄生天線數目、寄生天線間距、寄生天線與地面中心距離、寄生天線長度、反射器形式等設計參數進行模擬。根據此寄生天線開關天線模擬結果，歸納有關饋入天線的有效長度、天線最大增益、10dB反射損失頻寬、背向波束增益等天線特性受天線設計參數的影響程度，表3-8標示其影響程度傾向，說明天線特性受各天線設計參數影響程度的傾向關係，做為天線設計調整的參考依據。

表 3-8. 波束切換天線特性受設計參數影響程度傾向

天線設計參數 \ 天線特性	饋入天線有效長度	最大增益	10dB反射損失頻寬	背向波束增益
天線地面邊長a	X			X
寄生天線數量				
寄生天線間距d				
寄生天線四方邊長b		X		
寄生天線長度L	X	X		
反射器形式				

影響傾向： 高； 中； X 低

因應天線測試所需的實體製作數據需要，依據天線模擬結果及考量天線體積及使用 RF 開關數目等因素，整理如表 3-9 所列寄生天線開關之波束切換天線製作建議數據。

表 3-9. 寄生天線開關之波束切換天線實作建議

天線設計參數	設計數據
主要製作材料	FR4 PCB (0.8mm厚度)
操作中心頻率	$F_c=2.4\text{GHz}$
饋入天線長度 c /寬度 w	27 mm/2mm
天線地面邊長 a	150 mm
寄生天線四方邊長 b	80 mm
寄生天線長度 L /寬度 w	30 mm/2mm
寄生天線間距 d	40 mm
每邊寄生天線數量	2支
反射器形式	相鄰2面-直角邊角反射面

同樣的依傳輸線開關之波束切換天線設計模擬結果，整理如表 3-10 所列之傳輸線開關之波束切換天線實作建議數據。

表 3-10. 傳輸線開關之波束切換天線實作建議

天線設計參數	設計數據
主要製作材料	FR4 PCB (0.8mm厚度)
操作中心頻率	$F_c=2.4\text{GHz}$
饋入天線長度 c /寬度 w	27 mm/2mm
天線地面邊長 a	150 mm
寄生天線四方邊長 b	80 mm
寄生天線長度 L /寬度 w	29 mm/2mm
寄生天線間距 d	30 mm
傳輸線寬度/長度	0.5mm/30mm
傳輸線與地面距離 g	0.5mm
每邊寄生天線數量	2支
反射器形式	相鄰2面-直角邊角反射器

第四章 波束切換天線實作與量測

根據所提出的波束切換天線結構及實作建議數據，利用FR4印刷線路板製作。4.1章節-理想化開關之波束切換天線，說明直接以短路及斷路替代寄生天線及傳輸線開關的閉路及開路的理想化情況，進行天線量測並與模擬比對，以印證天線結構設計的可用性。4.2章節-寄生天線開關之波束切換天線，說明以PIN二極體及GaAs開關二種不同RF開關的實作與量測，了解其切換控制功能及開關線路的雜散寄生阻抗及隔離損失對天線特性的影響。4.3章節-傳輸線開關之波束切換天線，以實際RF磁簧開關應用在傳輸線開關切換寄生天線的實作與量測，驗證比對傳輸線開關對波束切換天線特性的優化影響。

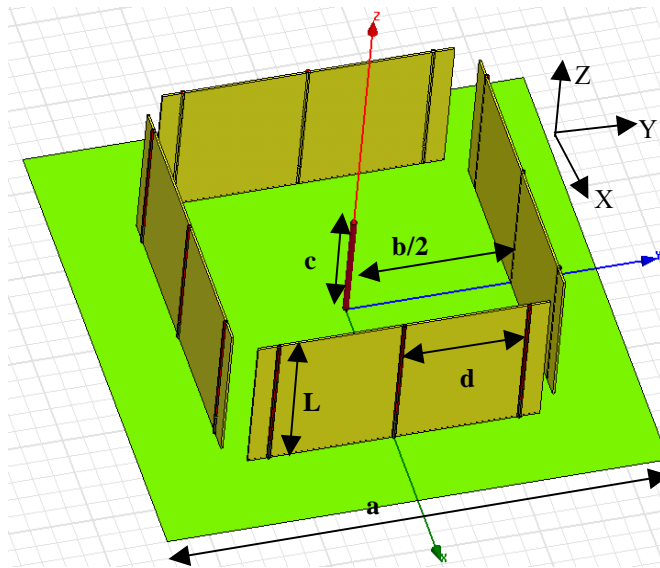
4.1 理想化開關之波束切換天線

在天線設計模擬時，均將RF開關的開閉動作直接以理想化的斷路或短路替代。寄生天線開關及傳輸線開關之波束切換天線的實作，首先即以理想化的短路及斷路替代RF開關的閉路及開路狀態，用於貼近其模擬情況並驗證天線設計架構及製作建議數據的可用性。

4.1.1 理想化寄生天線開關

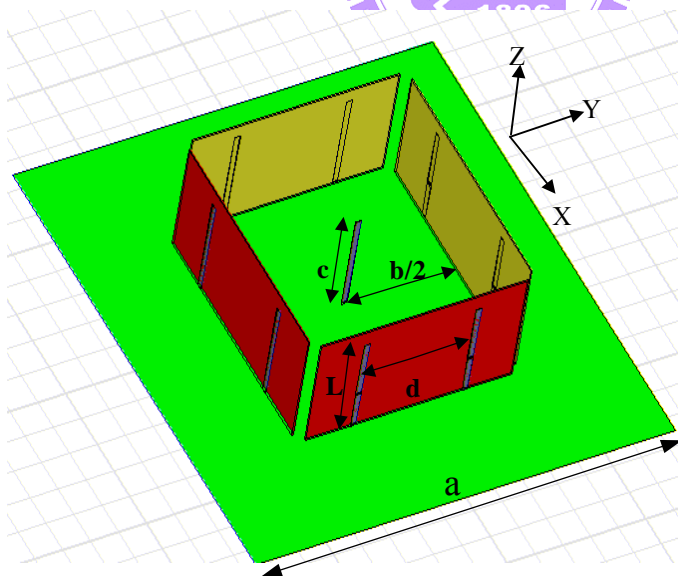
依3.2章節說明製作每邊具有3支及2支寄生天線形式的理想化A、B兩組天線，B組天線係依據表3-9所列實作數據進行製作，A組天線用於B組天線實證比對。圖4-1說明理想化A、B兩組天線的外觀示意及天線尺寸，圖4-2為理想化A、B兩組天線實作外觀。A、B兩組天線的地面及寄生天線與中心點距離等外觀尺寸相同，地面中心組裝一SMA插座連接器，主動單極天線銲接在上面，做為天線的饋入與接收，四邊佈置的寄生天線底端直接與地面短路銲接，每一寄生天線離地面10mm處有一斷路點，做為理想化開關的設定。基於天線結構對稱性，將天線相鄰兩邊寄生天線開關短路，設定成一直角邊角反射器，另相鄰兩邊寄生天線開關斷路進行量測。圖4-3為理想化A組天線的反射損度量測，圖4-4為理想化A組天線的輻射場型量測，圖4-5為理想化B組天線的反射損度量測，圖4-6為理想化B組天線的輻射場型量測，表4-1為理想化A、B兩組天線的量測結果。

觀察比對A、B兩組天線的反射損失及輻射場型與模擬結果都相近符合，驗證此天線結構及每邊2支之寄生天線開關之波束切換天線實作建議的可用性。



每邊3支寄生天線					
天線尺寸	a	b/2	c	d	L
mm	150	40	25	30	30
	1.2	0.32	0.2	0.24	0.24

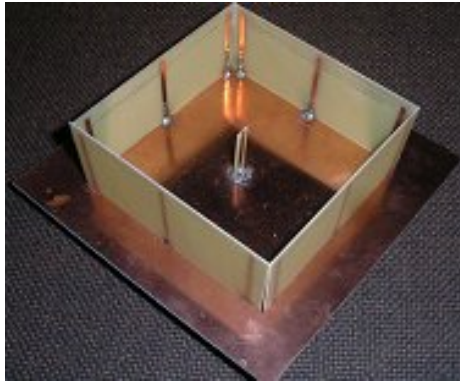
(a) A組天線



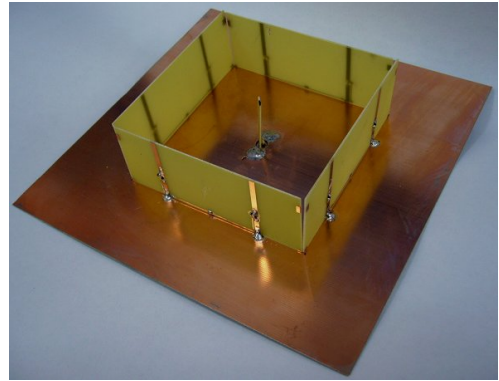
每邊2支寄生天線					
天線尺寸	a	b/2	c	d	L
mm	150	40	27	40	30
	1.2	0.32	0.216	0.32	0.25

(b) B組天線

圖4-1 理想化A、B兩組天線外觀示意圖及天線尺寸



A 組天線



B 組天線

圖4-2 理想化A、B兩組天線實作外觀

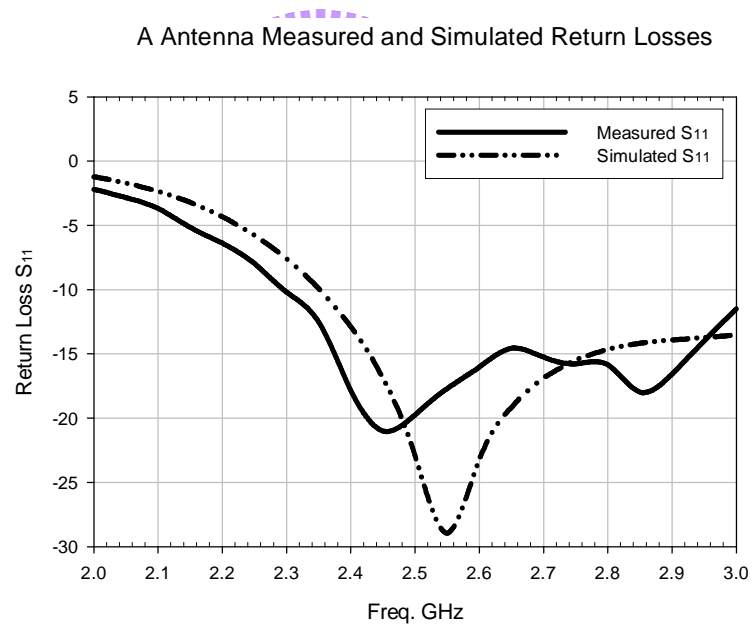
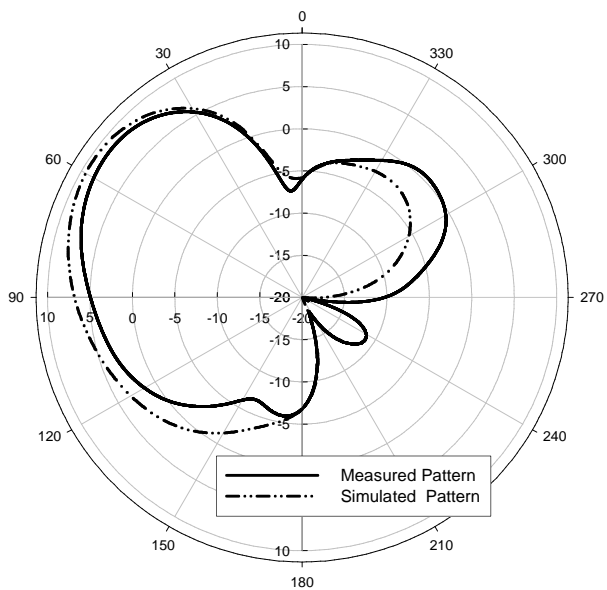


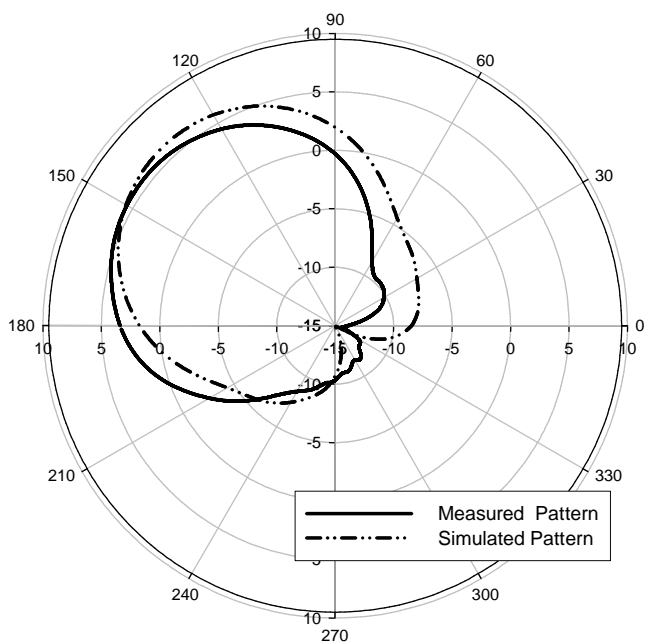
圖4-3 理想化A組天線的反射損失量測

A Antenna Measured and Simulated V-plane Patterns



(a) $\phi = 135^\circ$ 平面

A Antenna Measured and Simulated H-Plane patterns



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖4-4 理想A組天線的輻射場型量測

B Antenna Measured and Simulated Return Losses

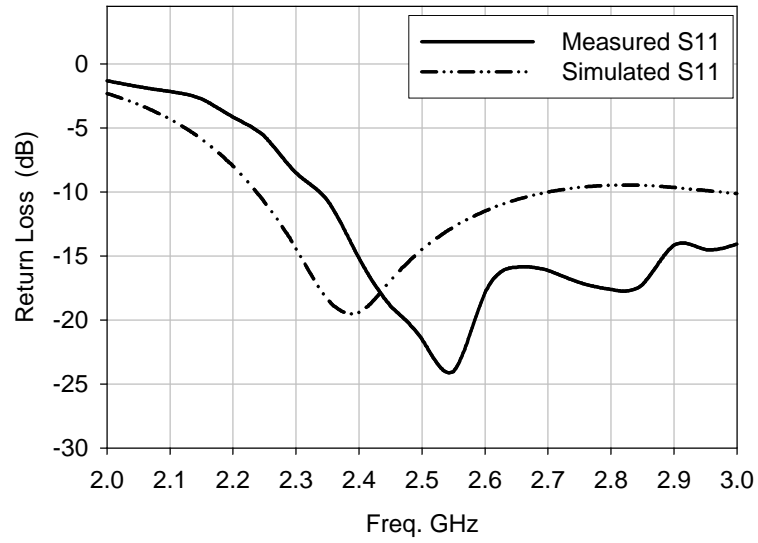
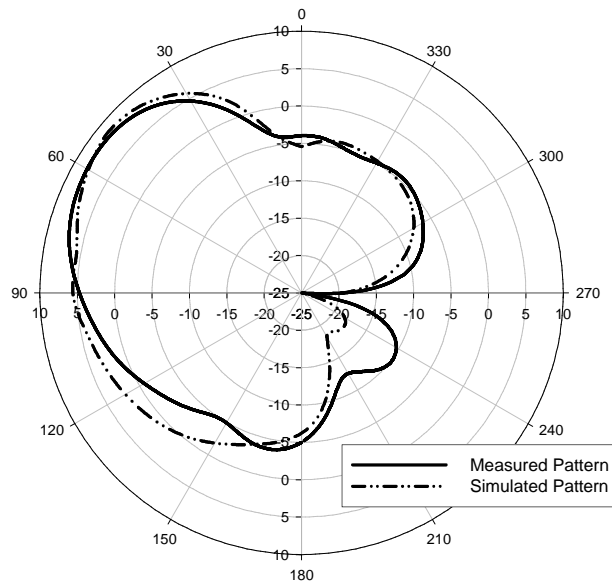


圖4-5 理想化B組天線的反射損失量測

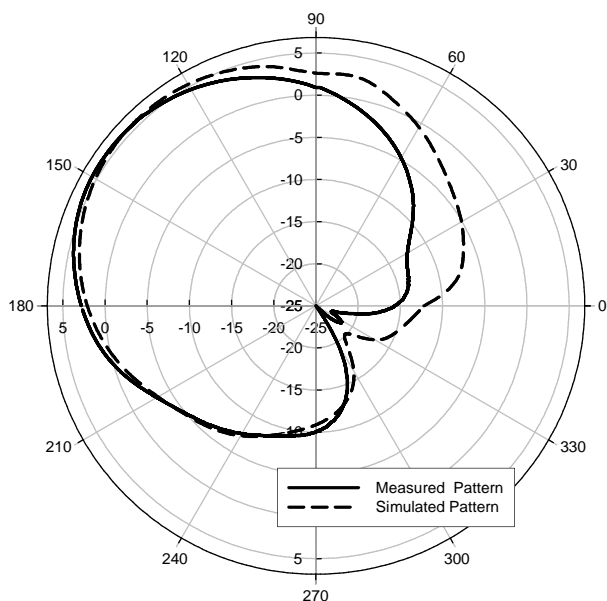


B Antenna Measured and Simulated V-Plane Patterns



(a) $\phi = 135^\circ$ 平面

Antenna B Measured and Simulated H-Plane Patterns



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖4-6 理想化B組天線的輻射場型量測

表4-1 理想化A、B兩組寄生天線開關之波束切換天線的量測數據

天線特性項目	A組天線(3支寄生天線)		B組天線(2支寄生天線)	
	Simulated	Measured	Simulated	Measured
反射損失 @2.4GHz(dB)	-12.87	-17.84	-19.43	-15.17
10dB反射損失頻寬(%)	27%	29%	19%	27%
最大增益(dBi)	9.44	8.53	8.63	8.19
HPBW@H-plane	85°	80°	86°	79°
前後比(dB)	14.9	8.2	14.6	12.8

4.1.2 理想化傳輸線開關

依3.3章節說明及表3-10傳輸線開關之波束切換天線實作建議數據進行製作，圖4-7為理想化傳輸線開關之波束切換天線的實作外觀，傳輸線以兩條共面微帶線構成(slotline)，用於傳輸線製作安裝的準確性。接近地面之微帶線與地

面銲接在一起，另一微帶線連接兩支寄生天線底部。傳輸線中心點的開關以理想化短路及斷路替代，用於貼近傳輸線開關的天線模擬情況。將天線的四個傳輸線開關全部短路或斷路，設定成全向性及兩相鄰的傳輸線開關斷路，設定為直角邊角反射器，另相鄰兩邊的傳輸線開關短路使反射器失效，進行量測。圖4-8為理想化傳輸線開關之天線反射損度量測，圖4-9為理想化傳輸線開關之天線全向性輻射場型量測，包括開關全短路及全斷路兩種形式，圖4-10為理想化傳輸線開關之天線波束輻射場型量測。依開關全部短路時天線具有良好的全向性場型，此具有 $1/4 \lambda$ 傳輸線阻抗轉換的結果，表4-2為理想化傳輸線開關之波束切換天線的量測數據。觀察比對理想化天線實作量測的反射損失及輻射場型與模擬結果都相近符合，驗證此傳輸線開關之波束切換天線結構的可用性。

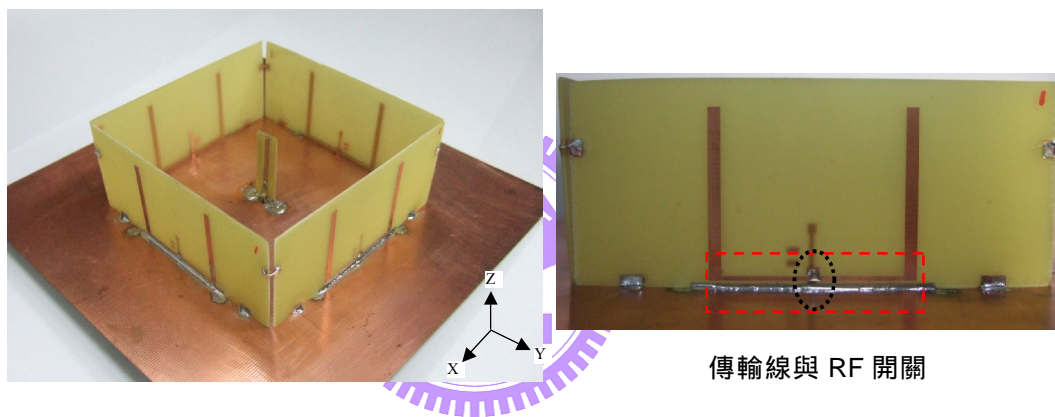


圖4-7 理想化傳輸線開關之波束切換天線實作外觀

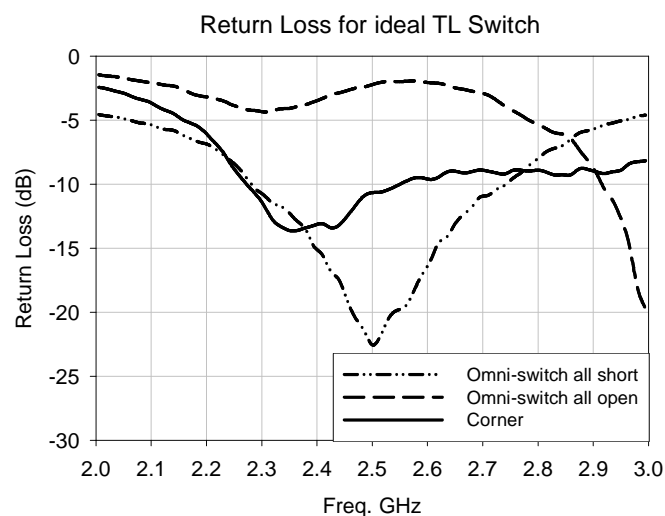
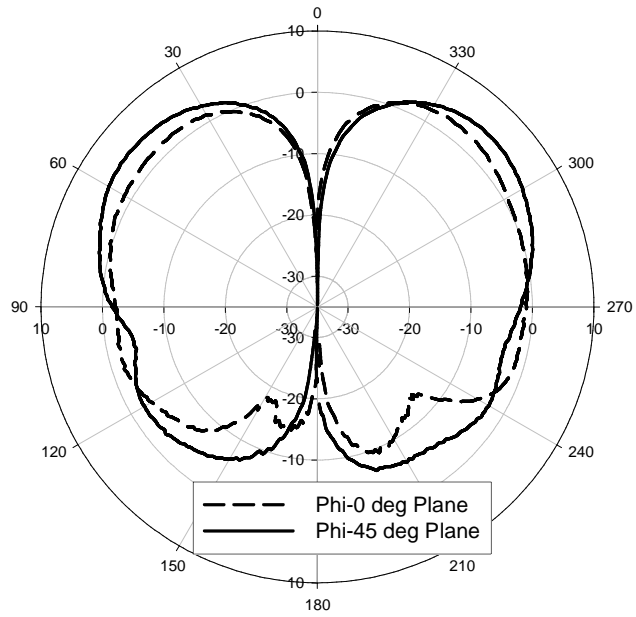


圖4-8 理想化傳輸線開關之天線反射損度量測

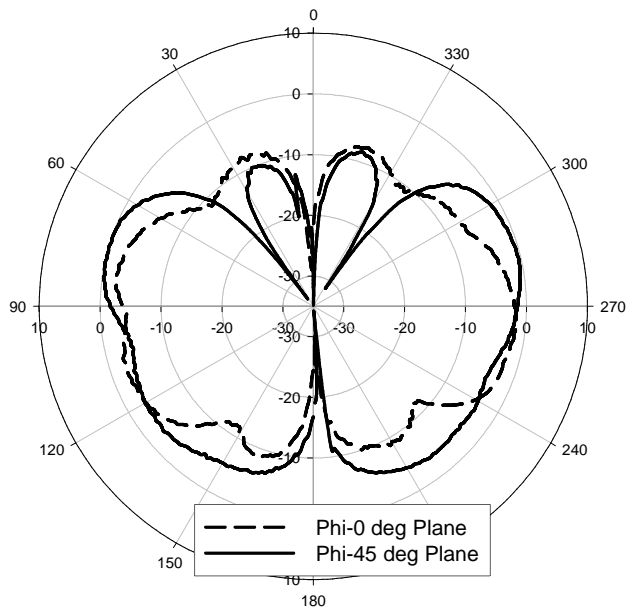
Omni-Pattrens for Ideal TL Switch all Short



(a) 傳輸線開關全部短路 $\phi = 0^\circ$ 、 45° 平面



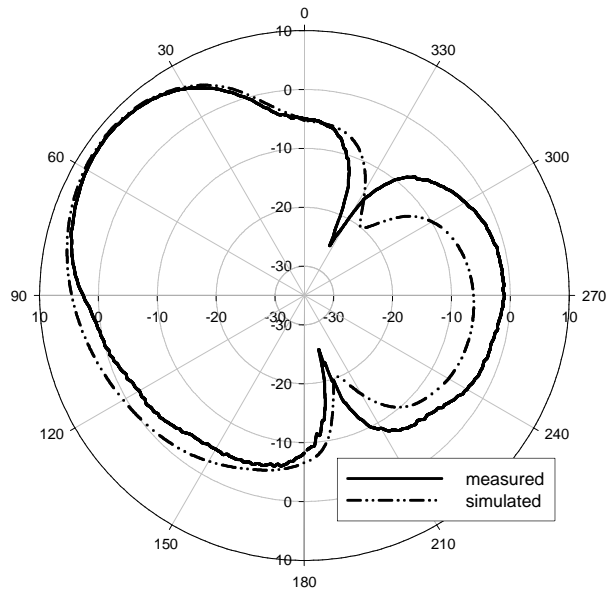
Omni-Pattrens for Ideal TL Switch all Open



(b) 傳輸線開關全部斷路 $\phi = 0^\circ$ 、 45° 平面

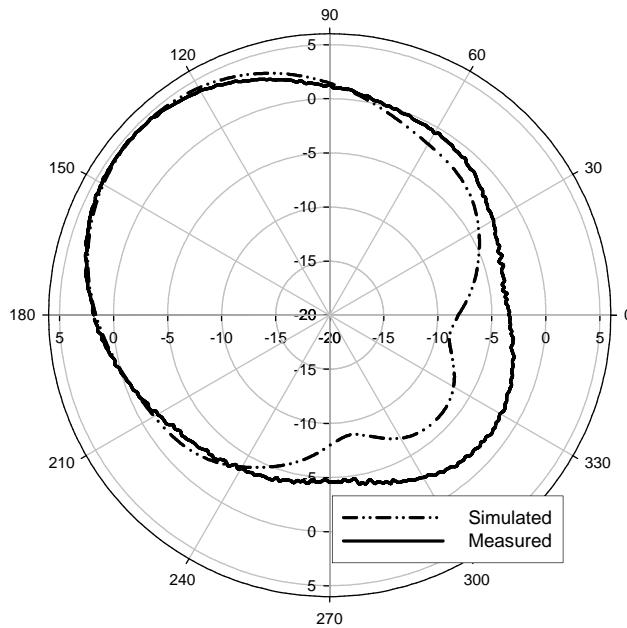
圖4-9 理想化傳輸線開關之天線全向性輻射場型量測

Measured and simulated V-Plane Patterns for Ideal TL Switch



(a) $\phi = 135^\circ$ 平面

Measured and Simulated H-Plane Patterns for Ideal TL Switch



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖4-10 理想化傳輸線開關之天線波束輻射場型量測

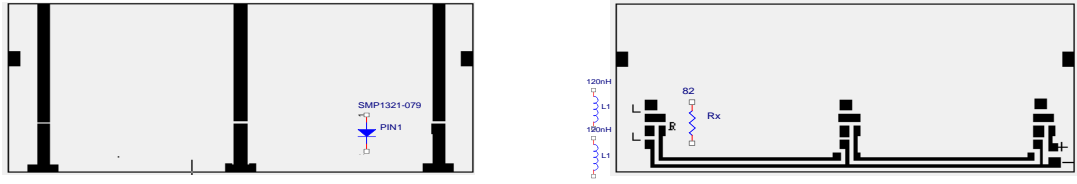
表 4-2 理想化傳輸線開關之波束切換天線的量測數據

天線特性項目	Simulated	Measured
全向性最大增益(dBi)	4.4	4.57
反射損失 @2.4GHz(dB)	-18.92	-13.1
10dB 反射損失頻寬	25%	11%
波束最大增益(dBi)	8.28	8.08
HPBW@H-plane	90°	85°
前後比(dB)	22	13.4

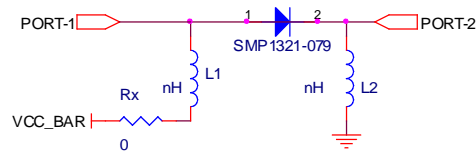
4.2 寄生天線開關之波束切換天線

當RF開關安裝在寄生天線上，需提供RF開關的偏壓與隔離線路，使用PIN二極體及GaAs 開關兩種不同的RF開關，分別安裝在上述A組及B組天線的寄生天線上，測量其反射損失及輻射場型，了解不同開關的切換控制功能及寄生天線上的開關線路對天線特性的影響程度。

圖4-11說明使用SMP1321 PIN二極體線路在A組寄生天線上的佈置，在寄生天線設定成全向性及一直角邊角反射器等情況下進行量測，圖4-12說明A組天線使用PIN二極體的反射損失 S_{11} 量測，圖4-13為A組天線使用PIN二極體的波束輻射場型量測。為了解PIN二極體在閉路及開路的情況下對A組天線輻射場型的影響，提供三種PIN二極體在寄生天線上的開關組合安排，第一種安排是寄生天線的切換都使用PIN二極體，構成反射器的二邊寄生天線開關閉路，其餘二邊開關開路；第二種安排是構成反射器的二邊寄生天線開關使用PIN二極體閉路，其餘二邊直接斷路；第三種安排是構成反射器的二邊寄生天線開關直接短路，其餘二邊使用PIN二極體開路。表4-3為A組天線使用PIN二極體在不同開關組合的量測結果，觀察比較其結果，開關線路使寄生天線產生變異而影響天線特性。尤其在第一種及第三種安排讓PIN二極體在開路的狀態時，其雜散阻抗及隔離損失使寄生天線的切換點在2.4 GHz頻斷無法完全斷路，且直接佈置在寄生天線上，造成對天線特性的劣化有明顯的影響。



(a) 寄生天線上的 PIN 二極體線路佈置



(b) PIN 二極體切換線路

圖4-11 PIN二極體線路在A組寄生天線上的佈置

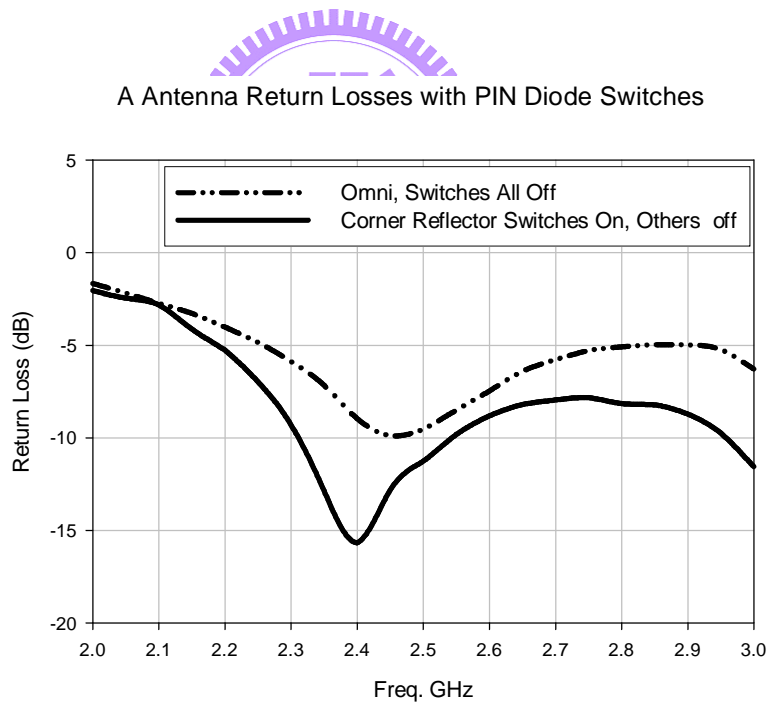
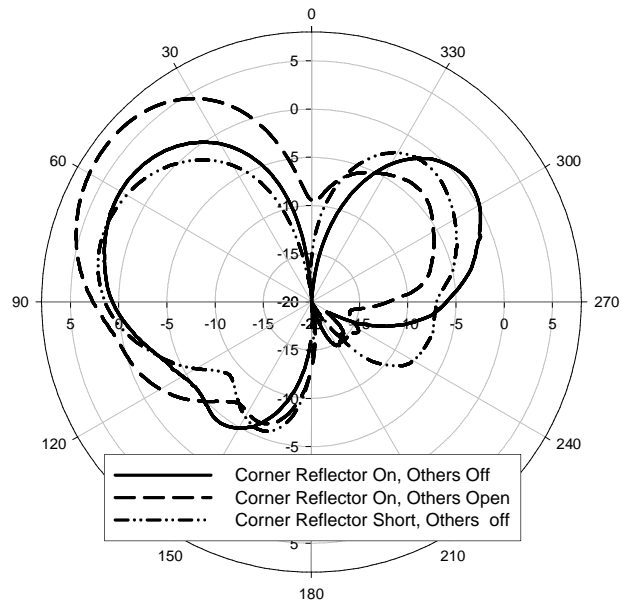


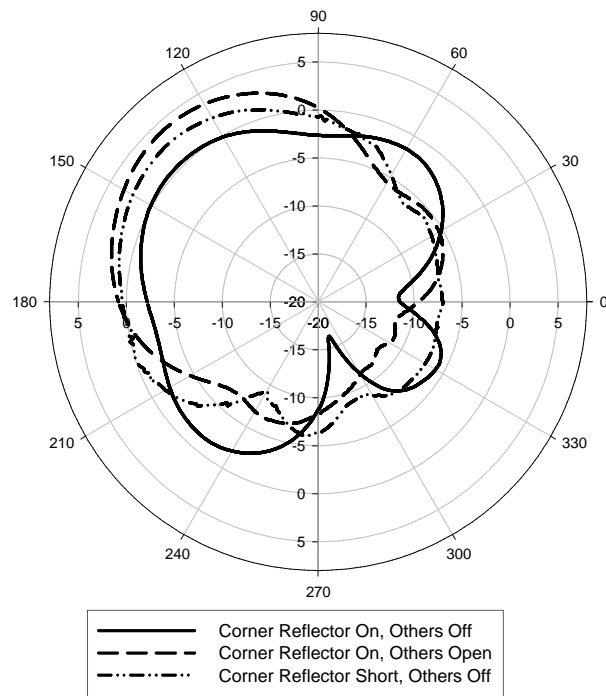
圖4-12 A組天線使用PIN二極體的反射損失量測

Measured V-Plane Patterns for A Antenna Various Switch Configurations



(a) $\phi = 135^\circ$ 平面

Measured H-Plane Patterns for A Antenna Various Switch Configurations



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖4-13 A組天線使用PIN二極體的波束輻射場型量測

表4-3 A組天線使用PIN二極體在不同開關組合的量測結果

天線特性項目	Corner Reflector On/Others off	Corner Reflector On/Others Open	Corner Reflector Short/Others Off
反射損失 @2.4GHz(dB)	-15.67	X	X
10dB反射損失頻寬	8.3%	X.	X.
最大增益(dBi)	2.88	6.75	2.72
HPBW@H-plane	110°	83°	94°
前後比(dB)	2.7	10.5	6.9

圖4-14說明HWS 314 GaAs開關在B組寄生天線上的佈置,在寄生天線設定成全向性及一直角邊角反射器等情況下進行量測。圖4-15說明B組天線使用GaAs開關的反射損失量測結果,圖4-16為B組天線使用GaAs開關的波束輻射場型的量測結果,同樣安排三種控制開關組合測試,表4-4為B組天線使用GaAs開關在不同開關組合的的測試結果,觀察比較量測結果,同樣是GaAs開關線路的雜散阻抗及隔離損失使寄生天線產生變異而影響天線特性,尤其在第一種及第三種安排讓GaAs開關在開路的狀態,其雜散阻抗及隔離損失使寄生天線的切換點無法完全斷路,對天線特性的劣化有明顯的影響。

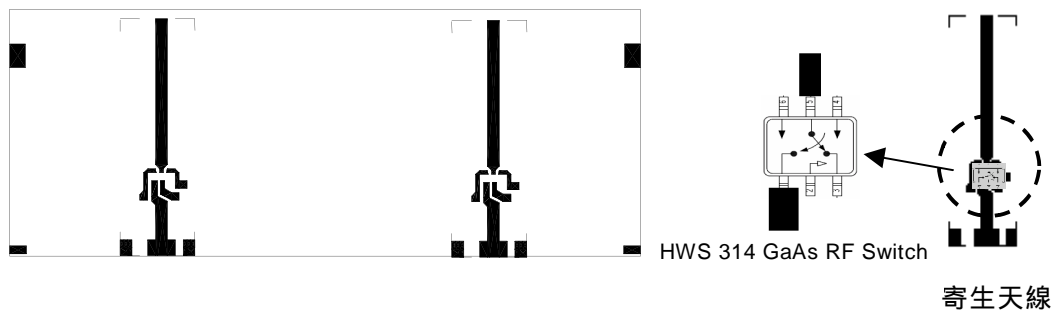


圖4-14 GaAs開關在B組寄生天線上的佈置

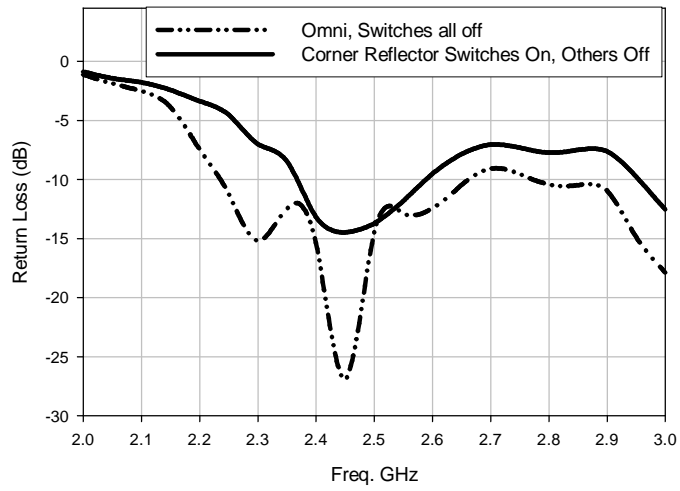
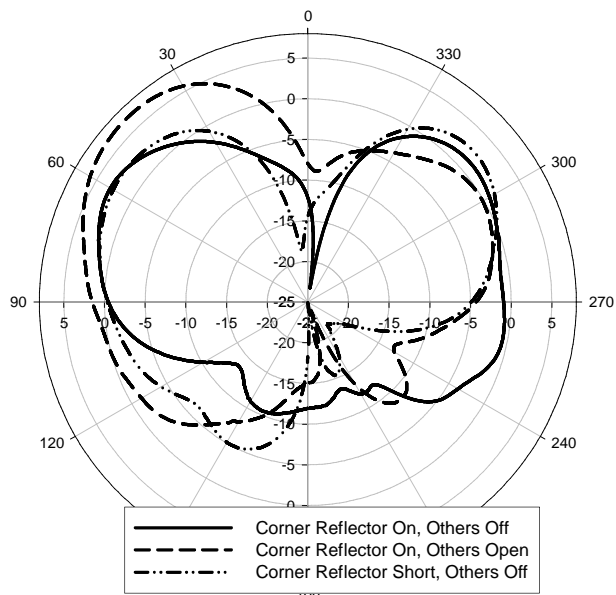


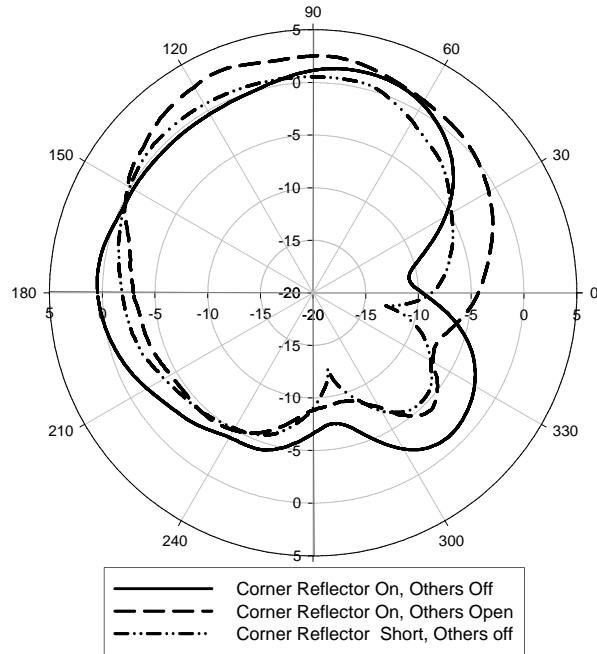
圖4-15 B組天線使用GaAs開關的反射損失量測

Measured V-Plane Patterns for B Antenna Various Switch Configurations



(a) $\phi = 135^\circ$ 平面

Measured H-Plane Patterns for B Antenna Various Switch Configurations



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖4-16 B組天線使用GaAs開關的波束輻射場型量測

表4-4 B組天線使用GaAs開關在不同開關組合的量測結果

天線特性項目	Corner Reflector Switches On/Others off	Corner Reflector Switches On/Others Open	Corner Reflector Short/Other Switches Off
反射損失 @2.4GHz(dB)	-13.17	X	X
10dB 反射損失頻寬	8.3%	X	X
最大增益(dBi)	3.02	6.70	2.68
HPBW@H-plane	174°	116°	115°
前後比(dB)	2.3	8.1	0.45

4.3 傳輸線開關之波束切換天線

以RF開關實際配置安裝在傳輸線開關連接線的中心點，圖4-17說明傳輸線

開關的佈置，RF開關使用MEDER CRF-05高頻磁簧開關，可操作到8 GHz及直接使用直流5V控制磁簧線圈的開閉動作，線圈與磁簧接點具有高隔離阻抗，使接點的雜散阻抗大為減少並簡化開關控制。傳輸線以兩條共面微帶線構成，組裝時將近地面的微帶線短路銲接為地面，另一微帶線連接兩支寄生天線底部，其中心點位置並延伸一接線連接磁簧開關的接點。此連接線延長了原有佈置的傳輸線長度，在上述理想化傳輸線開關之線路上，實際安裝RF磁簧開關後的量測結果，在開關開路情況下，具有全向輻射場型，顯示出 $1/2 \lambda$ 傳輸線阻抗轉換傾向的結果。測試在在一相鄰兩邊傳輸線開關On，形成反射面，另相鄰兩邊傳輸線開關Off，使寄生天線無效的波束成形設定下，分別以28mm、36mm、44mm數種不同傳輸線長度的情況下，進行反射損失與輻射場型量測，圖4-18說明不同傳輸線長度的傳輸線開關天線反射損失量測，圖4-19為不同傳輸線長度的傳輸線開關天線輻射場型量測。表4-5為不同傳輸線長度的傳輸線開關天線測試結果。

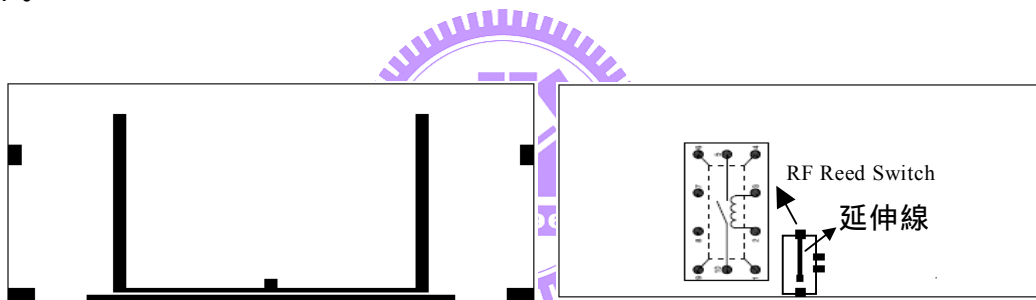


圖4-17 傳輸線開關配置安裝

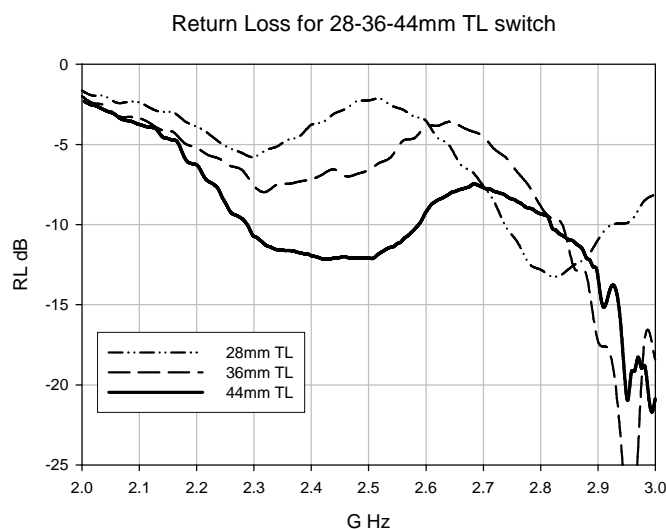


圖4-18 不同傳輸線長度的傳輸線開關天線反射損失量測

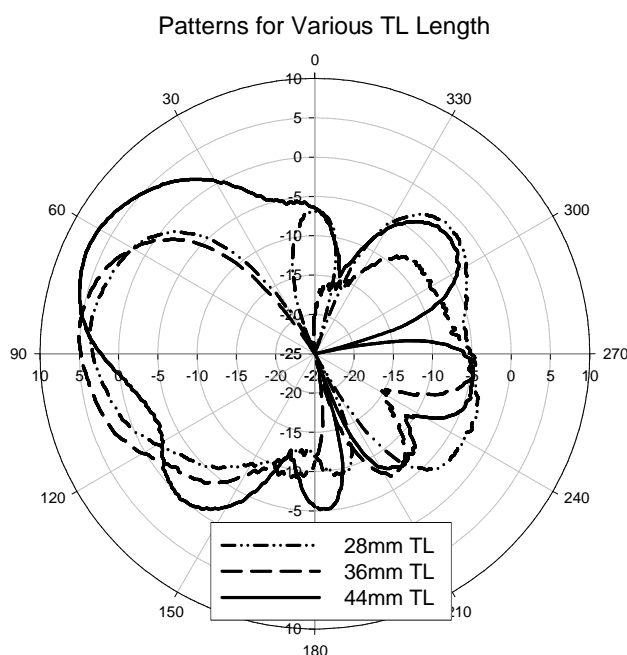


圖4-19 不同傳輸線長度的傳輸線開關天線波束輻射場型量測

表4-5 不同傳輸線長度的傳輸線開關天線測試結果

傳輸線長度	RL @2.4G Hz(dB)	最大增益(dBi)
28mm	-3.8	3.79
36mm	-7.18	5.16
44mm	-11.95	6.86

以測試結果，長度28mm、36mm傳輸線開關增益較小，但最大增益仰角角度可調整，選擇最大增益的44mm長度傳輸線開關的波束切換天線進行量測。圖4-20為傳輸線開關之波束切換天線的實作外觀，在寄生天線設定成switch all Off及switch all On的全向性及直角邊角反射器等情況下進行量測，圖4-21說明傳輸線開關天線的反射損失量測，圖4-22說明傳輸線開關天線的全向性場型量測，其中switch all Off的全向性場型較符合天線在全向性的量測，且在邊角反射器 $\phi = 45^\circ$ 平面，具有全向性最大增益值。圖4-23說明傳輸線開關天線的波束輻射場型量測， $\phi = 45^\circ$ 、 135° 平面場型說明 90° 波束轉向的控制。表4-6為傳輸線開關之波束切換天線的測試結果，觀察比較量測結果，比上述寄生天線開關的測試結果得出更好的波束切換天線特性及更簡化的波束切換功能設計。

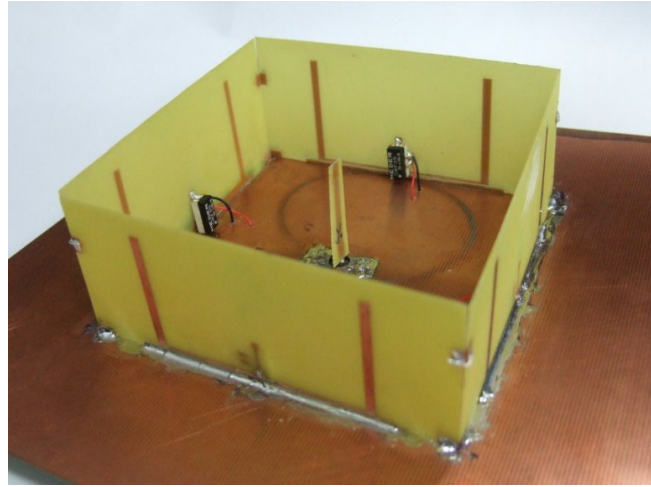


圖4-20 傳輸線開關之波束切換天線實作外觀

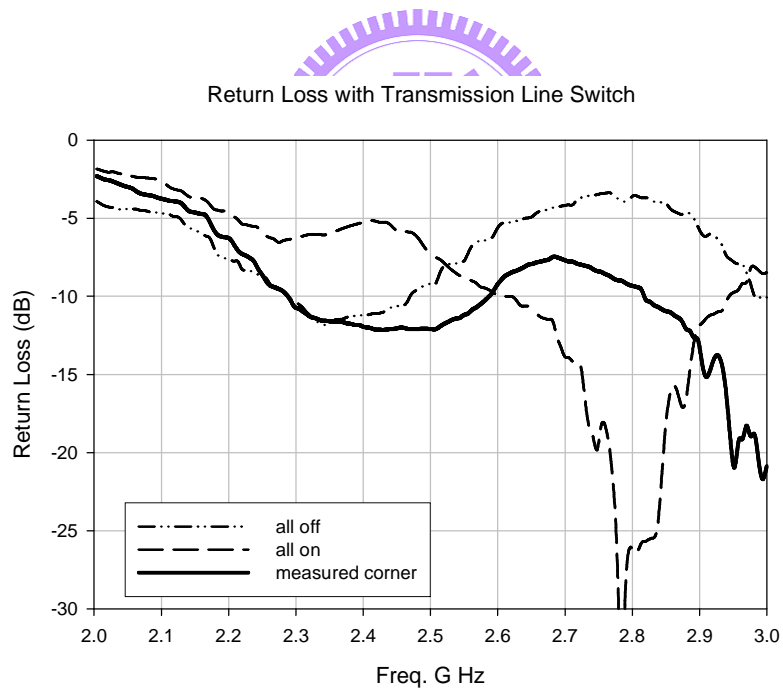


圖4-21 傳輸線開關天線的反射損失量測

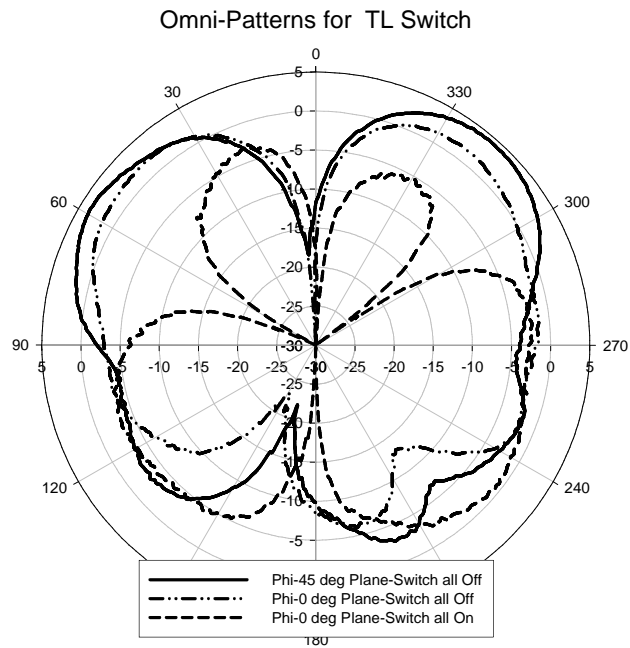
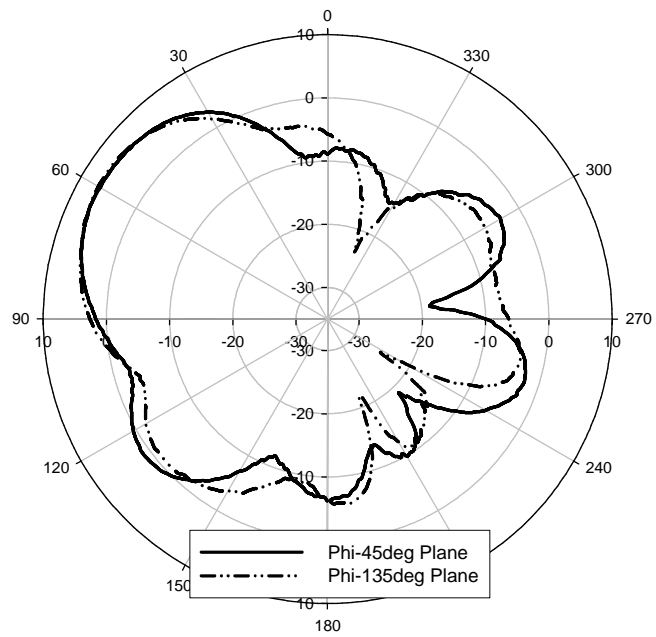


圖4-22 傳輸線開關天線的全向性輻射場型量測

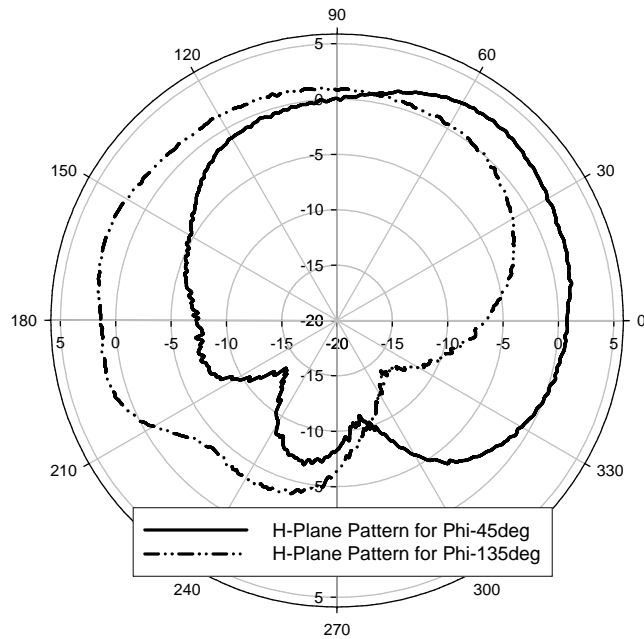


Measured V-Plane Patterns for TL Switch



(a) $\phi = 45^\circ$ 、 135° 平面

Measured H-Plane Patterns for TL Switch



(b) $\theta = 90^\circ$ 平面

圖4-23 傳輸線開關天線的波束輻射場型量測

表 4-6 傳輸線開關之波束切換天線的測試結果

天線特性項目	理想化傳輸線開關	實際傳輸線開關
全向性最大增益(dBi)	4.57	4.34
反射損失 @2.4GHz(dB)	-13.1	-11.95
10dB 反射損失頻寬	11%	12.5%
最大增益(dBi)	8.08	6.88
HPBW@H-plane	85°	115°
前後比(dB)	13.4	14.95
傳輸線阻抗轉換傾向	1/4波長傳輸線	1/2波長傳輸線

第五章 結論

提出一種2.4G Hz操作頻段的新型波束切換天線設計，所需要的單極天線及地面，均使用FR4線路板製作，單極天線由線路板微帶線組成。一主動饋入天線在天線地面中心，線路板製作的寄生天線圍繞四邊，寄生天線直接由線路板上的開關線路切換控制組成邊角反射器用於波束的形成及轉向。天線設計針對不同設計參數進行模擬並歸納得出寄生天線開關之波束切換天線實作建議數據，據以製作並進行量測。根據上述實作建議並提出一傳輸線開關，簡化波束切換的控制方式，同樣的經模擬並歸納得出傳輸線開關之波束切換天線實作建議數據。

依實作建議數據進行具有寄生天線開關及傳輸線開關等兩種天線製作，首先天線的RF開關的開閉動作直接以斷路或短路替代，這些具有理想化開關的天線量測結果，寄生天線開關天線得出最大增益 8.19dBi，傳輸線開關天線得出最大增益 8.08dBi，與模擬相近的結果，驗證此天線設計架構可行性。

當實際以PIN二極體及GaAs開關製作寄生天線切換控制線路，得出天線最大增益2.8 dBi的量測結果，RF開關線路的雜散寄生阻抗及隔離損失對天線產生劣化的影響，尤其是開關在Off的狀態下。實際安裝RF磁簧開關做為傳輸線開關切換控制開關，並測試實驗得出較佳的傳輸線長度44mm，傳輸線開關之波束切換天線測試結果，得出全向性最大增益 4.34dBi，波束最大增益 6.88dBi，大幅改善寄生天線開關的切換方式，傳輸線開關提供適當的寄生天線切換控制，使此FR4 線路板簡化製作的波束切換天線更具實用化。

參考文獻

- [1] Wikipedia. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Smart_antenna
- [2] Jack H. Winters, “Smart Antenna Techniques and Their Application to Wireless Ad-hoc Networks,” *IEEE Wireless Communications*, August 2006, pp. 77–83
- [3] 鍾青衛, “智慧型天線接收機之DOA與Beamforming演算法即時實現,” 交大電機與控制工程研究所碩士論文, July 2003.
- [4] Roger F. Harrington, “Reactively Controlled Directive Arrays,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-26, No. 3, pp. 390-395, May 1978.
- [5] A. Sibille, C. Roblin and G. Poncelet, “Circular switched monopole arrays for beam steering wireless communications” *Electronics Letters*, Vol. 33, No. 7, pp. 551-552, 27th March 1997.
- [6] S. Preston and D. V. Thiel, “Direction Finding Using A Switched Parasitic Antenna Array,” in *IEEE AP-S Int. Symp.*, July 1997, vol. 2, pp. 1024-1027.
- [7] R. Vaughan, “Switched Parasitic Elements for Antenna Diversity,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, no. 2, pp. 399-405, Feb. 1999.- [7]
- [8] N. L. Scott, M. O. Leonard-Taylor, and R. G. Vaughan, “Diversity Gain from a Single-Port Adaptive Antenna Using Switched Parasitic Elements Illustrated with a Wire and Monopole Prototype,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, No. 6, pp. 1066-1070, June 1999.
- [9] J.W. Lu, D.V. Thiel, B. Hanna, and S. Saario, “Multi-beam Switched Parasitic Antenna Embedded in Dielectric for Wireless Communications Systems,” *IEE Electronics Letters*, vol. 37, no. 14, pp. 871-872, July 2001.
- [10] H. S. M. Elkamchouchi and H. E. -D. M. Hafez, “Switchable Beam Diversity Antenna,” in *Pro. 2002 3rd Int. Conf. Microwave and Millimeter Wave Technology*, pp. 377 - 380, Aug. 17-19, 2002, pp. 377-380.
- [11] J. Cheng, M. Hashiguchi, K. Ligusa and T. Ohira, “Electronically Steerable Parasitic Array Radiator Antenna for Omni- and Sector Pattern Forming Applications to Wireless Ad Hoc Networks,” *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, Vol. 150, No. 4, August 2003, pp. 203–208
- [12] Robert Schlub and David V. Thiel, “Switched Parasitic Antenna on a Finite Ground Plane With Conductive Sleeve,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 52, no. 5, pp. 1343-1347, May 2004.

- [13] C. Laohapensaeng, C. Free, and K. M. Lum, "Printed strip monopole antenna with the parasitic elements on the circular ground plane," in *IEEE Int. Workshop in 42 Antenna Technology: Small Antennas and Novel Metamaterials*, pp. 371-374, March 7-9 2005.
- [14] Beat Schaer, K. Rambabu, Jens Bornemann, and Rüdiger Vahldieck, "Design of Reactive Parasitic Elements in Electronic Beam Steering Arrays," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 53, No. 6, pp. 1998-2003, June 2005.
- [15] Y. Nakane, T. Noguchi, and Y. Kuwahara, "Trial Model of Adaptive Antenna Equipped with Switched Loads on Parasitic Elements," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 53, no. 10, Oct. 2005.
- [16] J. C. Ke, C. W. Ling, and S. J. Chung, "Implementation of a Multi-Beam Switched Parasitic Antenna for wireless applications," in *IEEE AP-S Int. Symp.*, July 2007, pp. 3368-3371.
- [17] S. Zhang, G. H. Huff, J. Feng, and J. T. Bernhard, "A Pattern Reconfigurable Microstrip Parasitic Array," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 52, no. 10, pp. 2773-2776, Oct. 2004.
- [18] N. Inagaki, "Three-Dimensional Corner Reflector Antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. 22, iss. 4, pp. 580-582, July 1974.
- [19] K.T. Mathew, J. Jacob, S. Mathew, and U. Raveendranath, "Triple Corner Reflector Antenna and Its Performance in H-plane," *IEE Electronic Letters*, vol. 32, no. 16, pp. 1432, Aug. 1996.
- [20] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2nd ed. New York: Wiley, 1997, pp. 786–793.
- [21] HFSS, Asoft Corporation, Pittsburgh, PA.