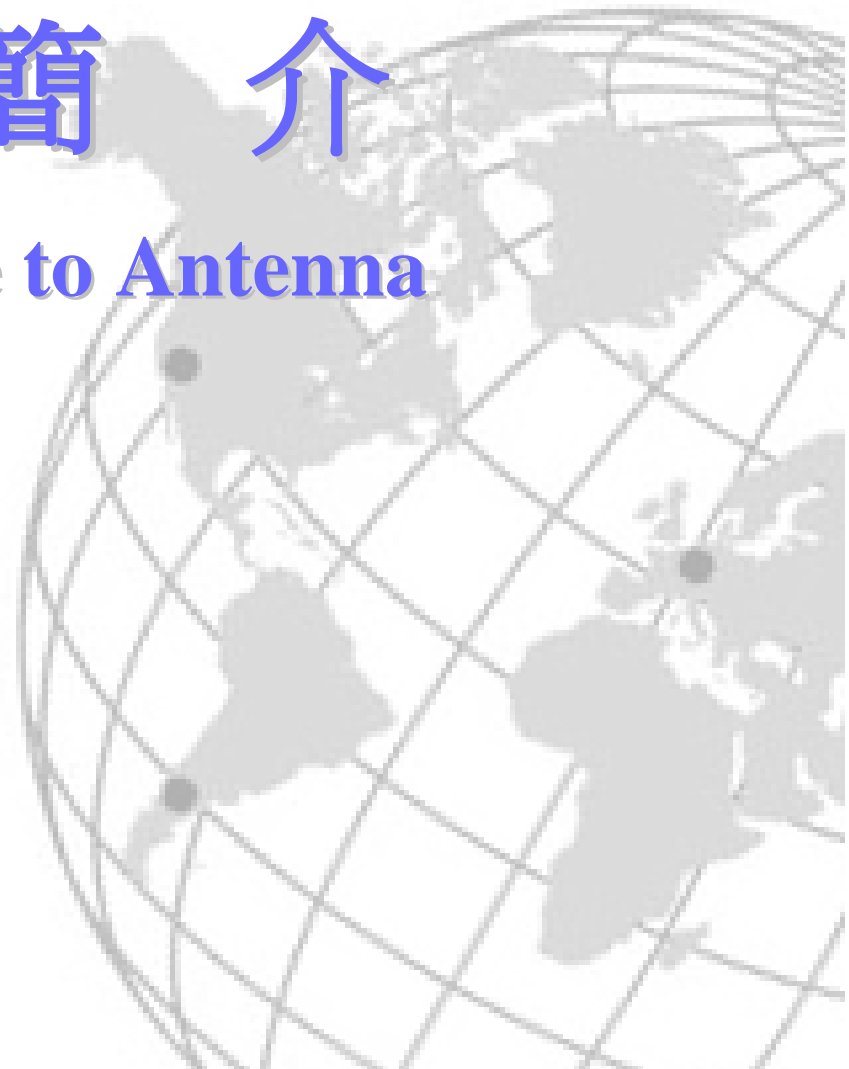


# 天 線 簡 介

## Introduction Course to Antenna

Reported by:  
Dr. Cliff Wang  
Date: JUL. 15, 2004

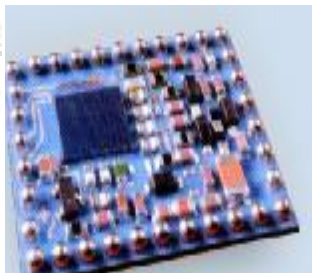
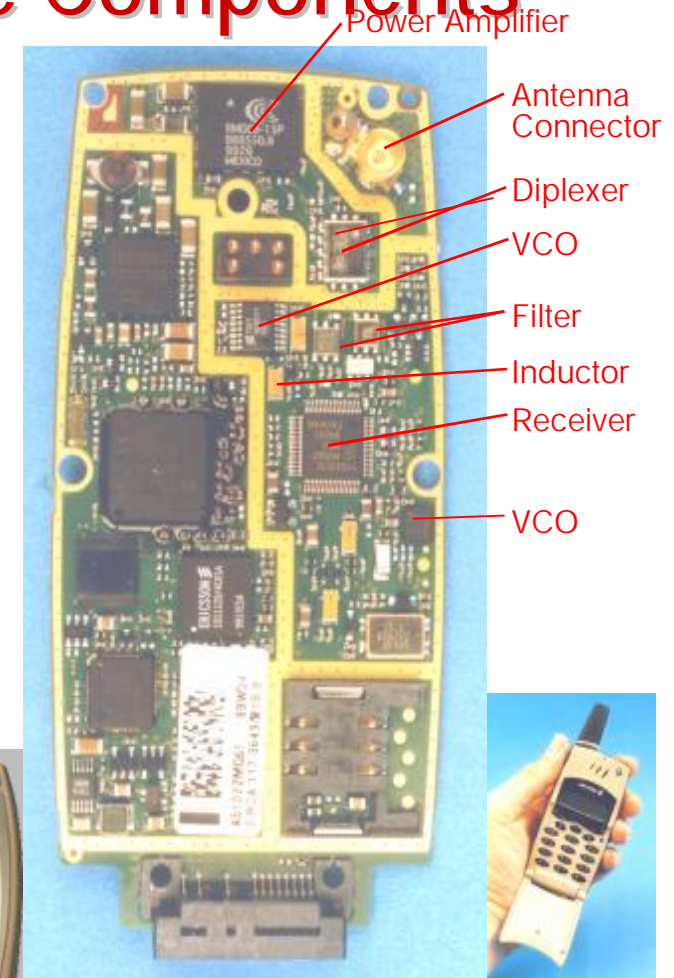


# Contents

1. 相關電磁學概念
2. 天線的定義
3. 天線電路參數
4. 天線空間參數
5. 各式天線

# Telecommunication Passive Components

1. **Antenna** : transmitting/receiving signal  
Bluetooth , GSM (Dual band) , GPS
2. **Diplexer** : switching(separating) signal circuit
3. **Fliter** : selecting suitable signal  
Bluetooth ,
4. **Balun** : distributing source signal into different circuits  
Bluetooth
5. **Coupler** : combining different circuits signal
6. **VCO** : voltage control oscillator
7. **I nductor** : LC resonant circuits  
0402(1.8nH)

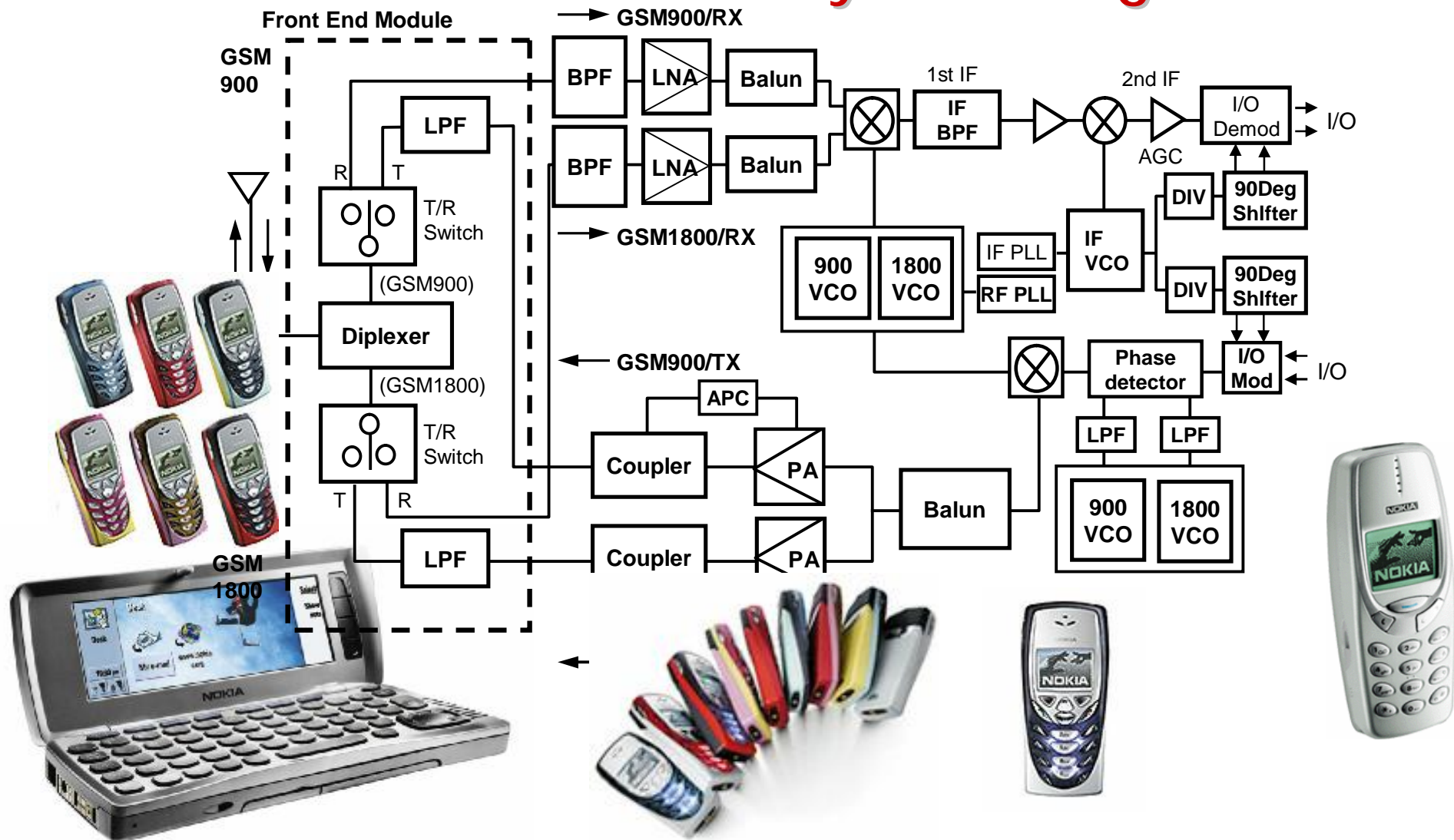


## Frequent Used Commercial Frequency

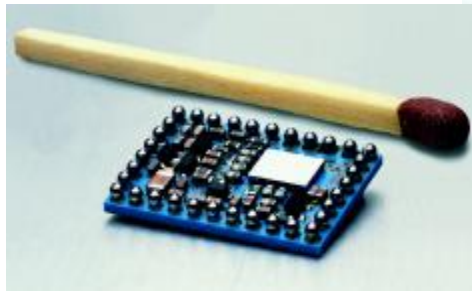
System	Channel (MHz)	Bandwidth (MHz)
GSM 900	880-960	80
GPS	1574-1576	2
DCS 1800	1710-1880	170
PCS	1850-1990	140
DECT	1870-1890	20
IMT-2000 (W-CDMA)	1920-2170	250
Bluetooth/Wireless Lan/ IEEE802.11 b	2400-2500	100
IEEE802.11 a	5150-5250	100
ETC	5750-5850	100



# GSM Mobile Phone System Diagram



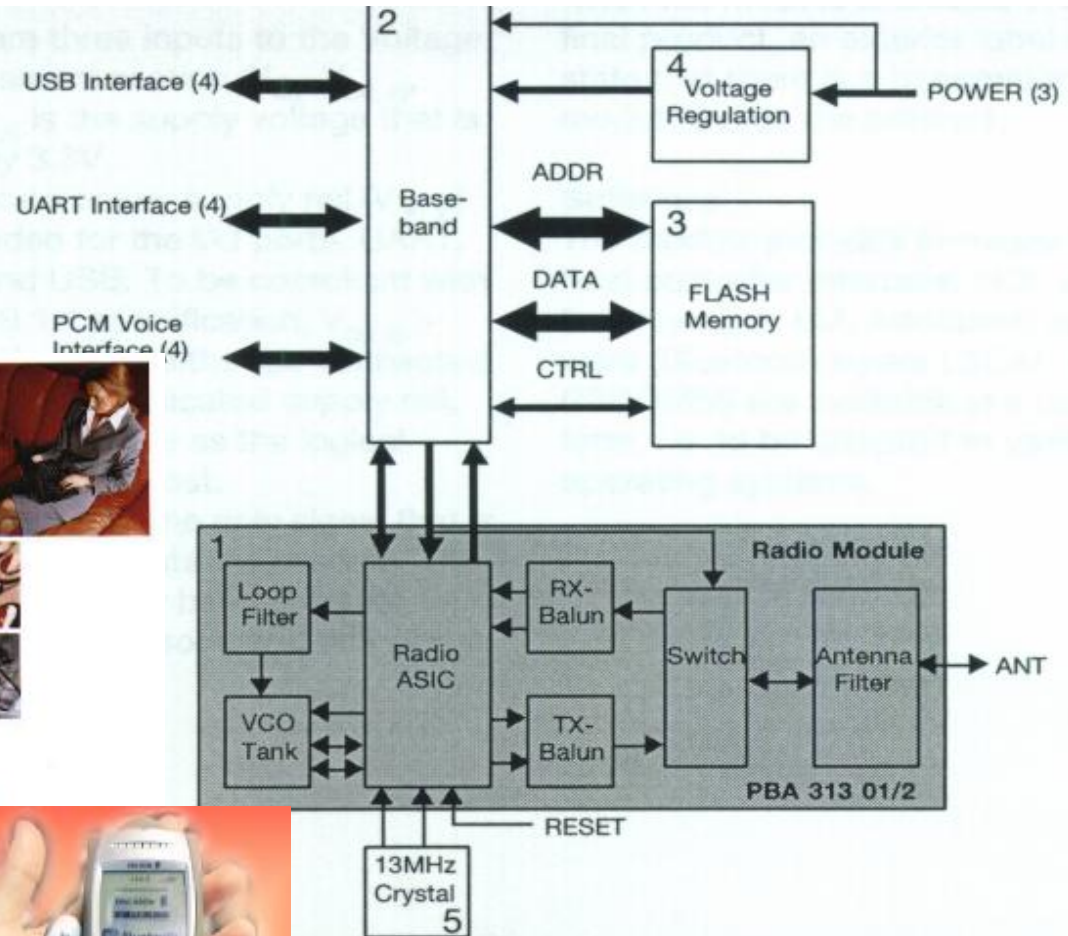
# Bluetooth System Diagram



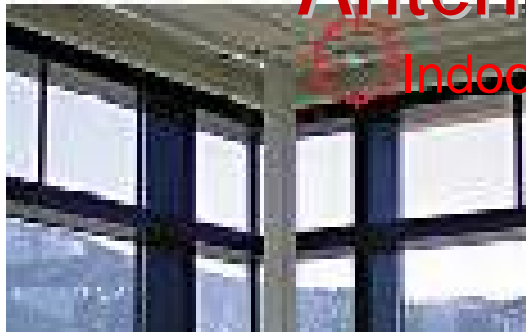
**ERICSSON**

We developed the concept. Then we gave it to everyone. Now we provide the solutions.  
The Ericsson Bluetooth Module

Module size  
Length: 35mm  
Width: 15mm  
Height: 3.0mm

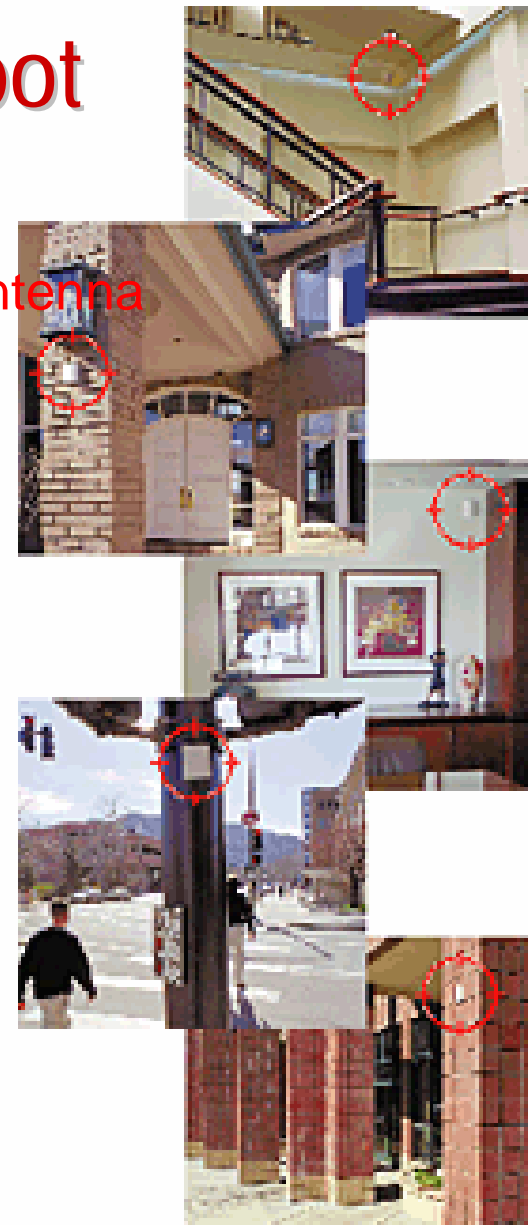


# Antenna and Hot Spot



Indoor Antenna

Outdoor Antenna



Base Station



Base Station & DECT Hand Set



# Global Positioning System(GPS)

-developed from U.S.A Department of Defense

1960-1970 U.S.A and U.S.S.R study military satellite for navigation

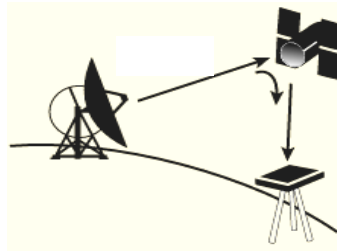
1974-1980 U.S.A military integrates GPS

1980- GPS business navigation use

1994- U.S.A send 24<sup>th</sup> Satellite **NAVSTAR36** to space



# Global Positioning System (GPS)



- 1.Space: 24 satellites: 6 tracks(55degree per track ), 4 satellites per track  
Period=11h58m
- 2.Earth controller : 1 master monitor station: Colorado Springs  
4 monitor station: Hawaii, Kwajalein, Ascension Island,  
Diego Garcia  
3 ground antenna: Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia
- 3.GPS receiver or handset

# 電磁理論的基石——Maxwell's Equations

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \Rightarrow \text{法拉第定律}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \Rightarrow \text{安培定律}$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = r \Rightarrow \text{高斯定律}$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

果  $\Leftarrow$  因 於1864年提出

$$\vec{D} = e \vec{E} \quad \vec{B} = m \vec{H}$$

$E$  : 電場強度(V/m)

$D$  : 電通量密度(Coulomb/m<sup>2</sup>)

$H$  : 磁場強度(A/m)

$B$  : 磁通量密度(Weber/m<sup>2</sup>)

$J$  : 電流密度(A/m<sup>2</sup>)

$r$  : 電荷密度(Coulomb/m<sup>3</sup>)

$m$  : 介質的導磁係數(Henry/m)

$e$  : 介質的介電係數(Farad/m)

# 電磁理論的基石 —— Maxwell's Equations

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

⇒ 變化的磁場會產生電場

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

⇒ 電流或變化的電場會產生磁場

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

⇒ 電荷會產生電場

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

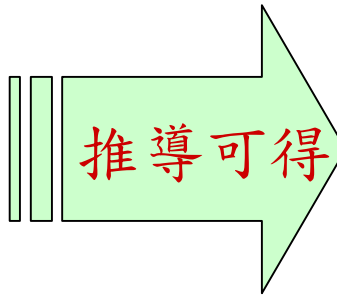
⇒ 沒有單獨的磁荷存在

果 ← 因



# 電磁理論的基石——Maxwell's Equations

$$\begin{aligned}\nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{D} &= \rho \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0\end{aligned}$$



波動方程式

$$\nabla^2 \vec{E} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$\nabla^2 \vec{H} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0$$

因為由這兩式可以算出電場和磁場為波動的形式，例如Sine或Cosine；

其中  $v = \frac{1}{\sqrt{\mu \epsilon}}$  為波的速度。

## 電磁理論的基石——Maxwell's Equations

因此Maxwell預測這世界存在電磁波！！

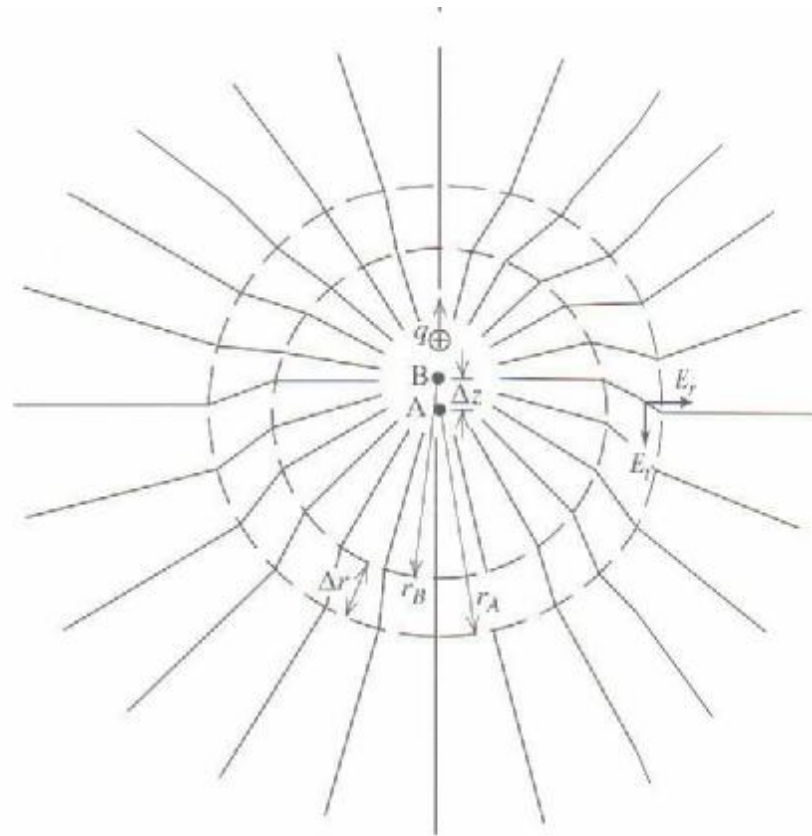
在真空中  $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ (F/m)}$       $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ (H/m)}$

因此電磁波在真空中的速度為  $\frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ (m/s)}$

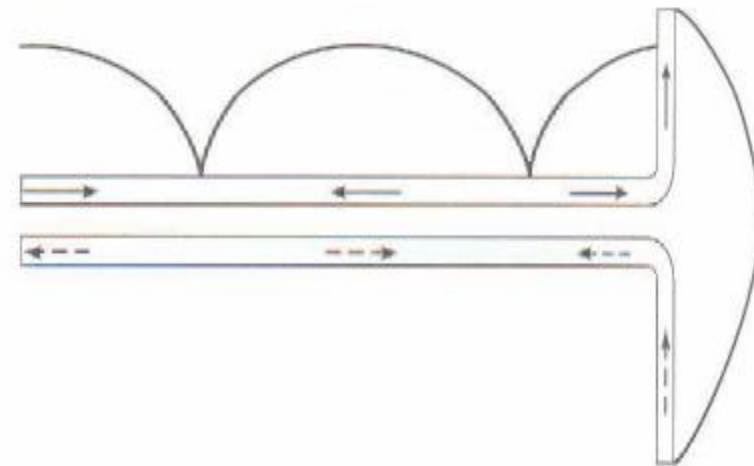
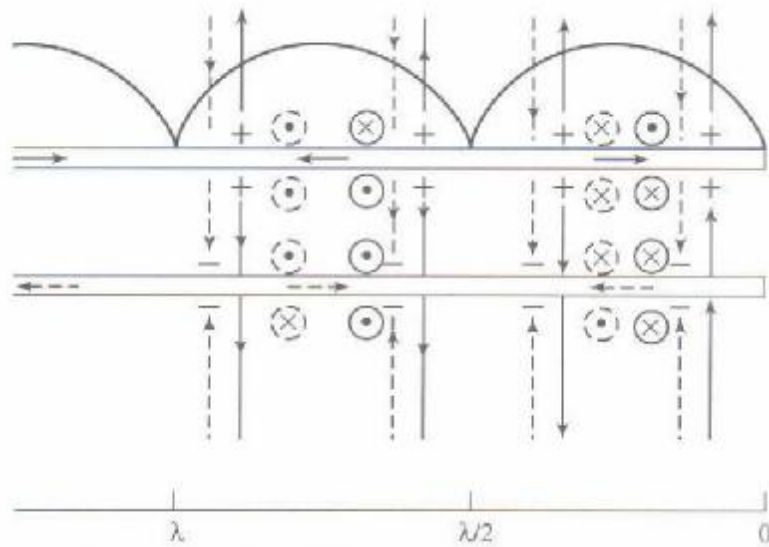
後來的人們測量光的速度為  $c = 3 \times 10^8 \text{ (m/s)}$

因此推論光也是電磁波的一種。

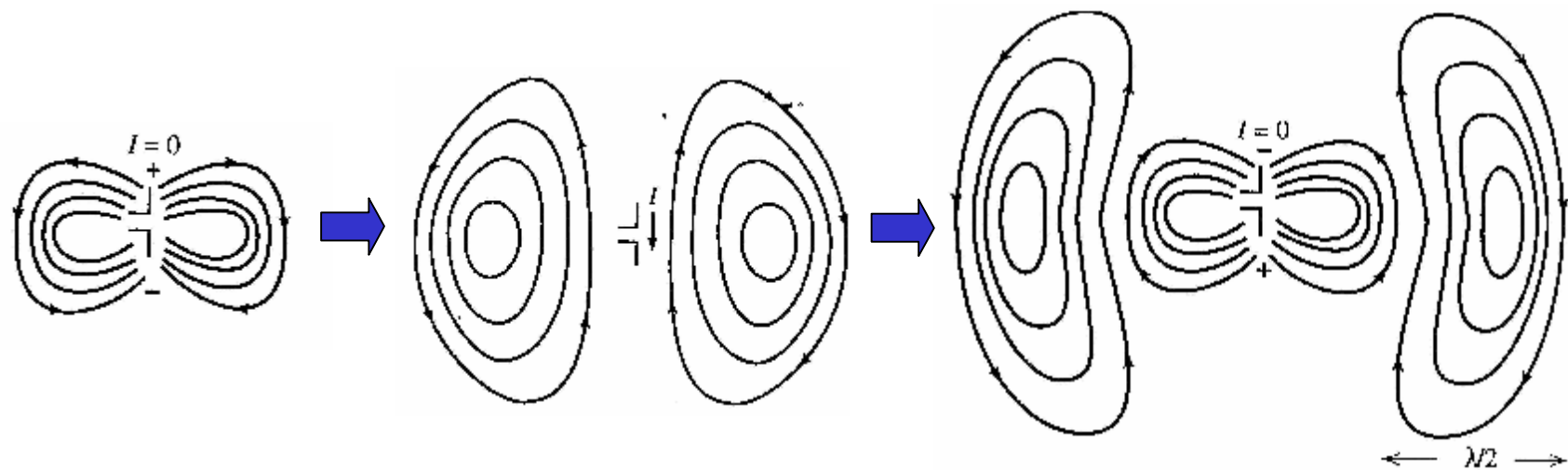
## 電磁波的來源——時變電荷和時變電流



## 電磁波的來源——時變電荷和時變電流

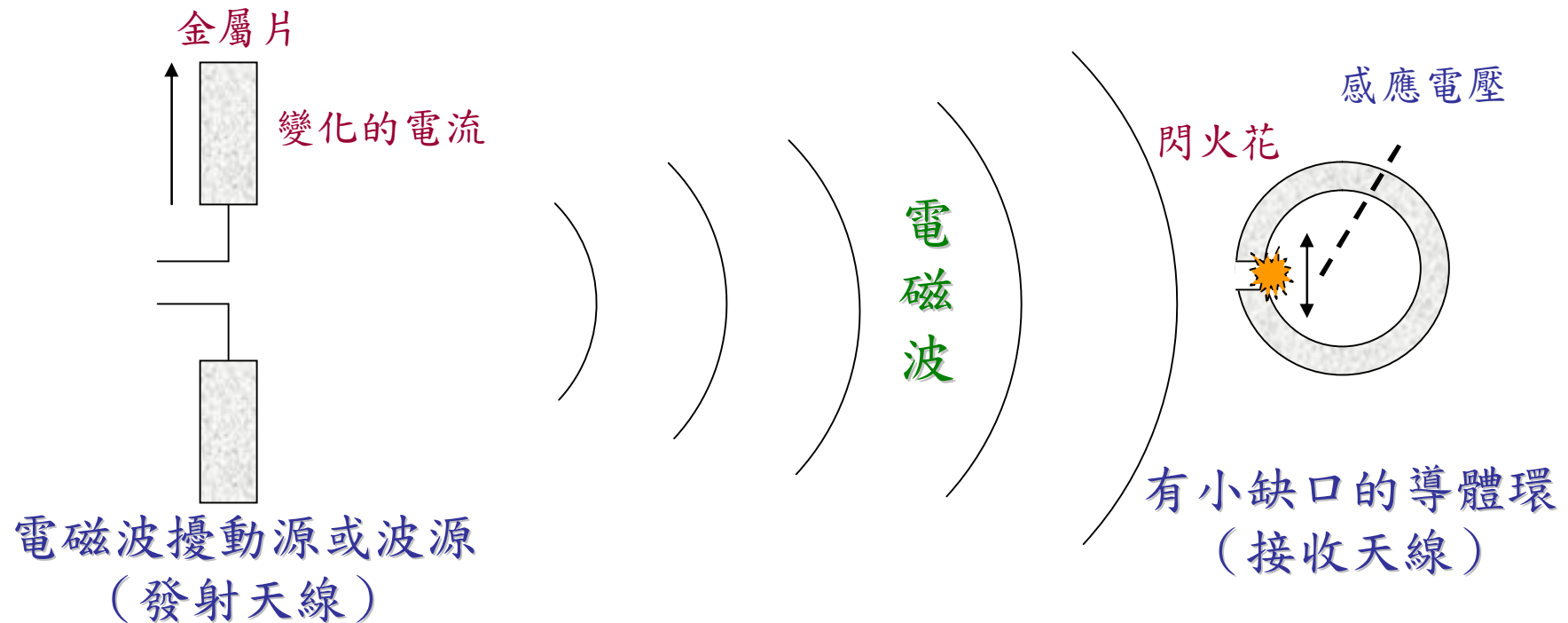


## 電磁波的來源——時變電荷和時變電流



## 發現電磁波

1887年，德國物理學家Heinrich Hertz發現用一個特定大小且具有小缺口的導體環，可以偵測到空間中的電磁波擾動。



## 電磁波的波速，波長和頻率的關係

$$\begin{array}{ccccc} \text{波速} & = & \text{波長} & \times & \text{頻率} \\ (\text{m/s}) & & (\text{m}) & & (\text{Hz}) \end{array}$$

在真空中(介電常數為 1)  $\Rightarrow c = l_0 \times f_0$

在材料中(介電常數為  $e_r$ )  $\Rightarrow v = l_d \times f_0$

$e_r$  為大於 1 的常數且  $e = e_0 e_r$

在相同的頻率下，在材料中和真空中波長的關係：
$$l_d = \frac{l_0}{\sqrt{e_r}}$$

在相同的頻率下，在  $e_r$  愈大的材料中，  
電磁波的波長愈短，波速愈慢

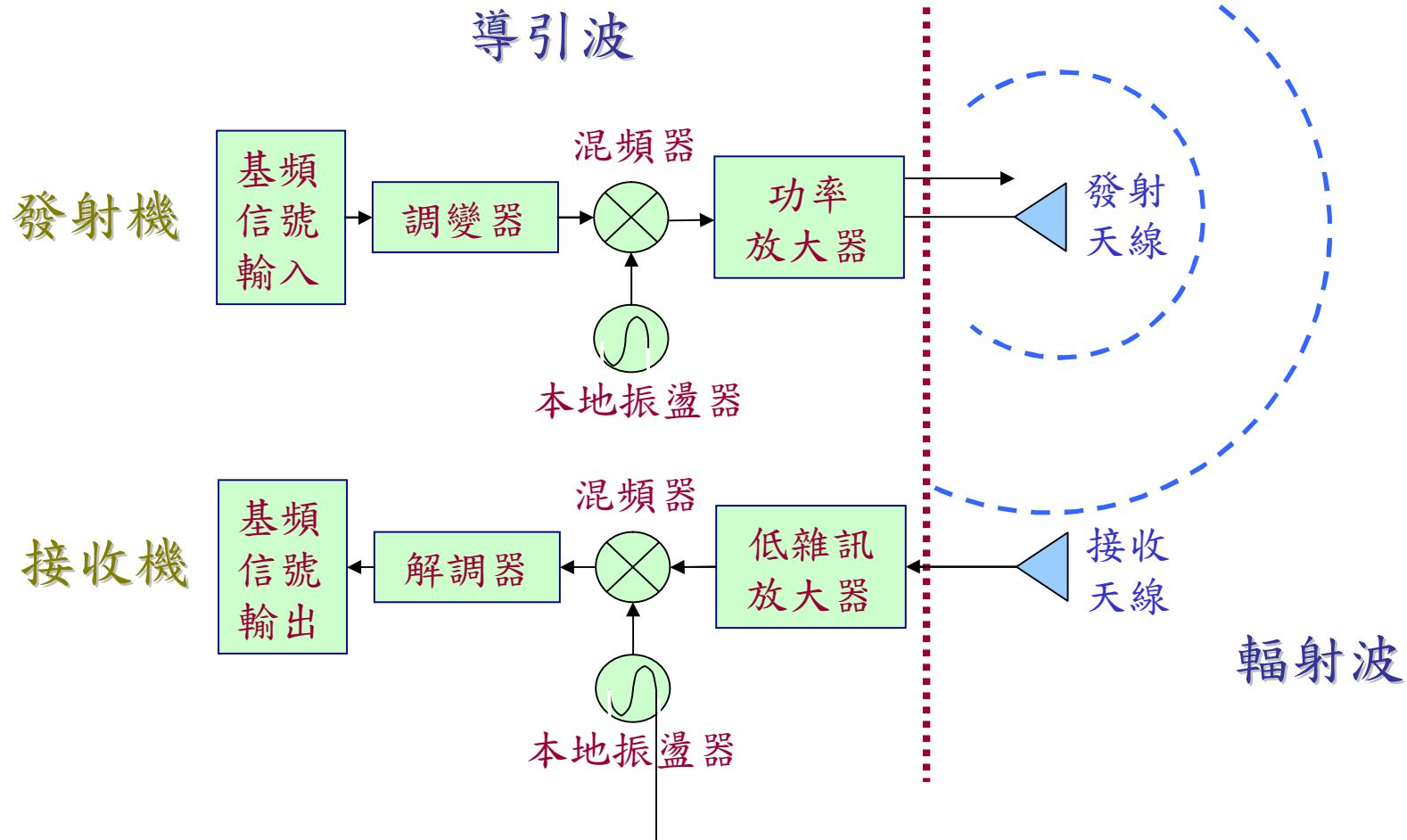
## 無線通訊中運用電磁波的兩種型態

1. 導引波(Guided wave)：電磁波被局限在一般的電路之中，沿傳輸線往特定的方向前進，分析參數為電壓和電流。
2. 輻射波(Radiation wave)：電磁波可以往空間中任意的方向傳播，分析參數為電場和磁場。

## 天線的概念和定義

1. IEEE官方定義：在發射和接收系統中，被設計用來發射或接收電磁波的元件，就稱為天線。
2. 天線的角色是在轉換電磁波的型態：發射天線將電路傳輸結構中的導引波轉換成在空間中的輻射波，而接收天線則是將空間中的輻射波轉換成電路傳輸結構中的導引波。
3. 為了能在指定的方向上有效地把電磁波輻射出去，天線上的電荷和電流一般被設計為特定的分佈型式。

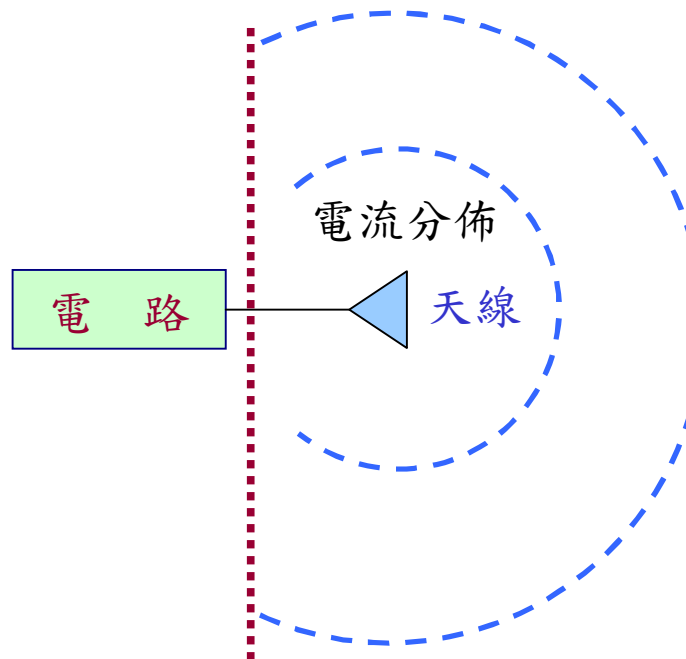
## 無線通訊中應用電磁波的兩種型態



## 天線的參數

### 天線電路參數

1. 操作頻率 $f_0$
2. 輸入阻抗 $Z_A$
3. 匹配
4. 阻抗頻寬

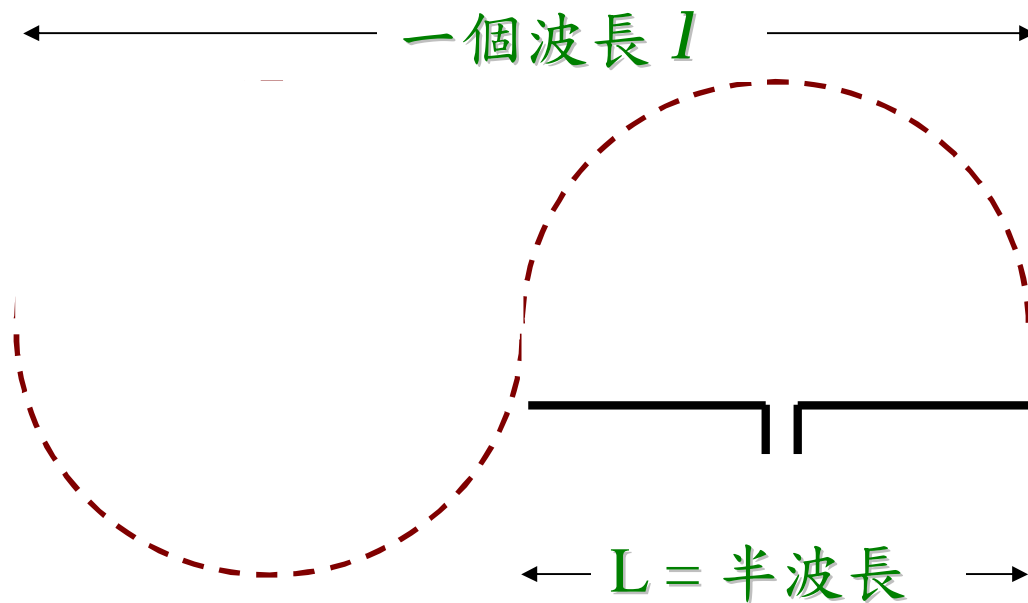


### 天線空間參數

1. 輻射場型
2. 指向性
3. 增益
4. 電場極化方向

## 天線的操作頻率 $f_0$

一般而言，天線的操作頻率  $f_0$  和其幾何尺寸以及結構中材料的介電常數  $\epsilon_r$  有關。以下用半波長共振式電偶極天線為例：

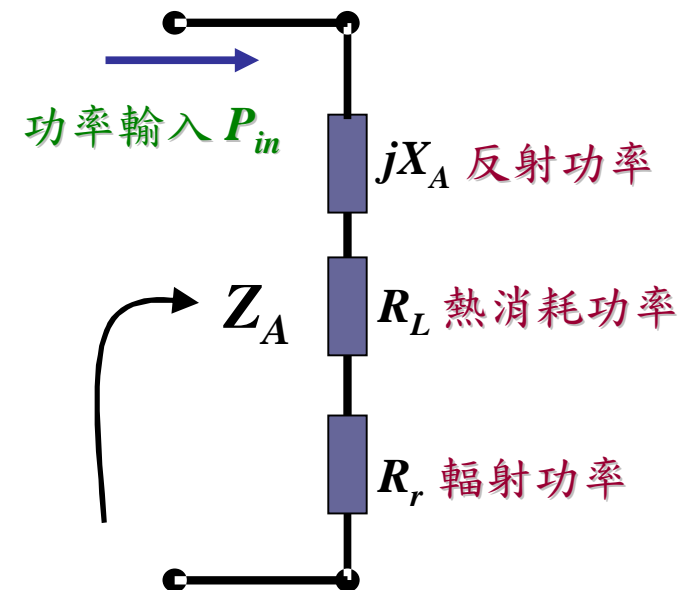
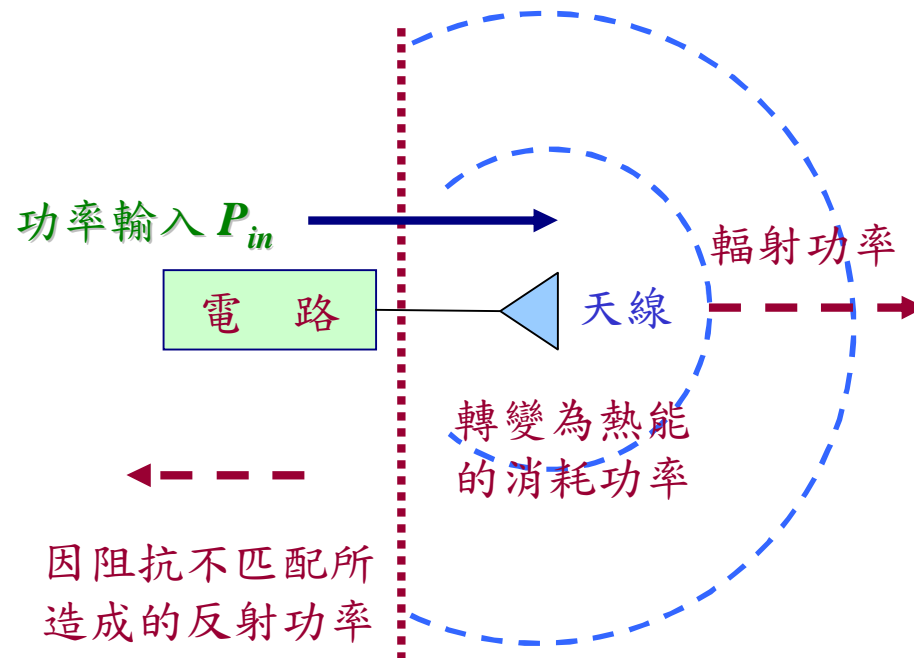


當天線的長度等於電磁波的半波長，便可以發射或接收該電磁波；若長度和半波長不搭配，天線便無發射或接收。

$$f_0 = \frac{\text{波速}}{\text{波長}}$$

# 天線的阻抗(Impedance, $Z_A$ )

## 天線的等效電路



天線阻抗  $Z_A = (R_L + R_r) + jX_A \circ R_A + jX_A$

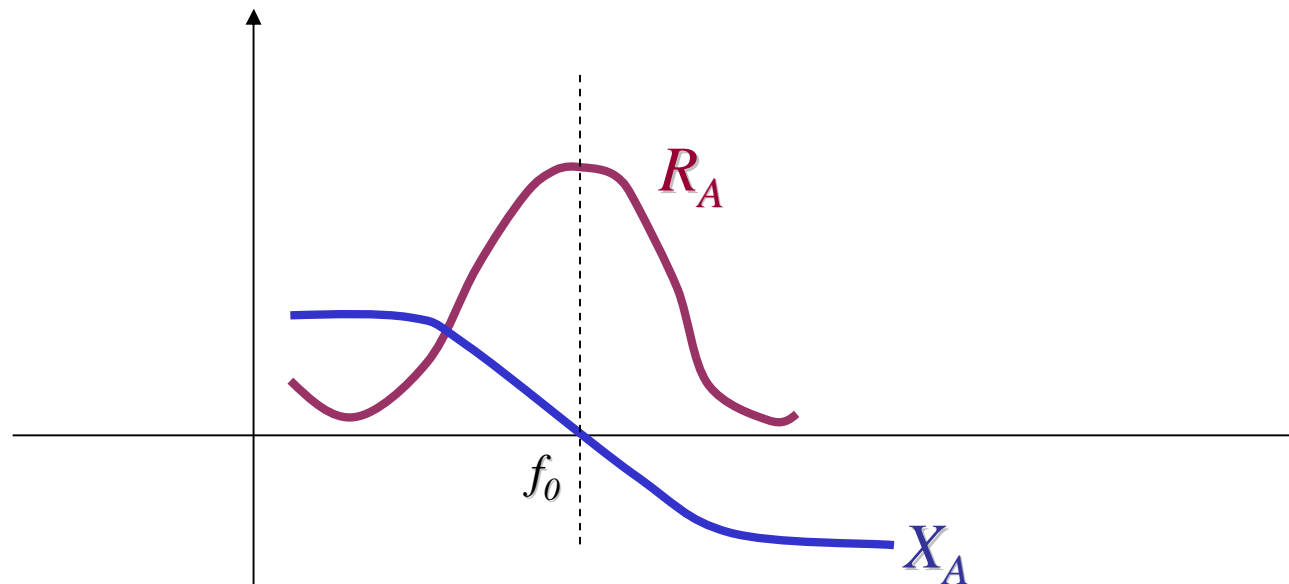
$R_r$ : 輻射電阻，用來等效被輻射出去的能量

$R_L$ : 消耗電阻；由組成材料的導電率來決定

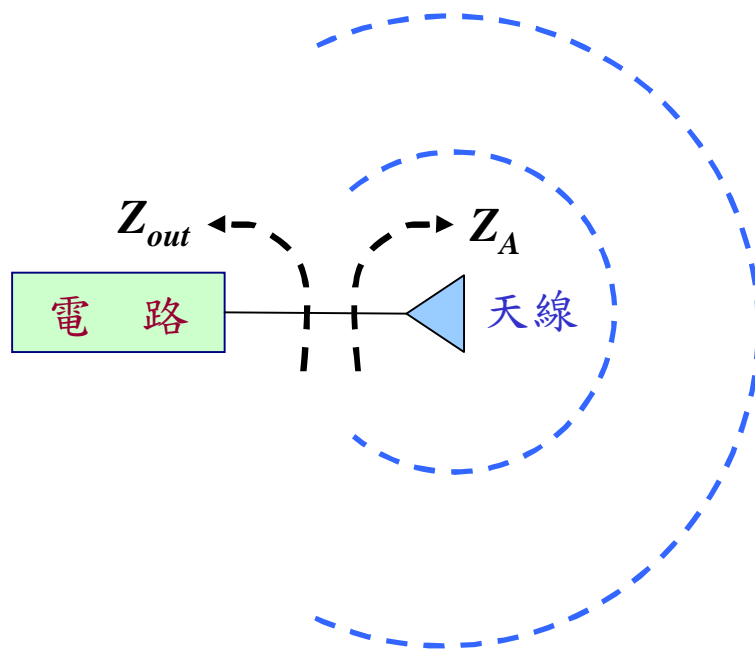
$R_A$ : 天線電阻  
 $jX_A$ : 天線電抗

## 天線的阻抗(Impedance, $Z_A$ )

天線的阻抗( $Z_A = R_A + jX_A$ )會隨頻率的不同而不同，一般而言，我們希望在操作頻率附近，天線的阻抗會和輸入電路的阻抗互相匹配，以期有最大的功率可以輸入天線中。



## 天線的匹配



$Z_{out}$ ：為由天線端往內部  
電路所看得的阻抗

匹配條件： $Z_A = Z_{out}^*$

在相同的操作頻率( $f_0$ )下，匹配愈好，反射回來的功率愈少，進入天線的功率愈多。

目前人們常用的規格： $Z_{out} = 50\Omega$ ，  
所以 $Z_A = Z_{out}^* = 50\Omega$

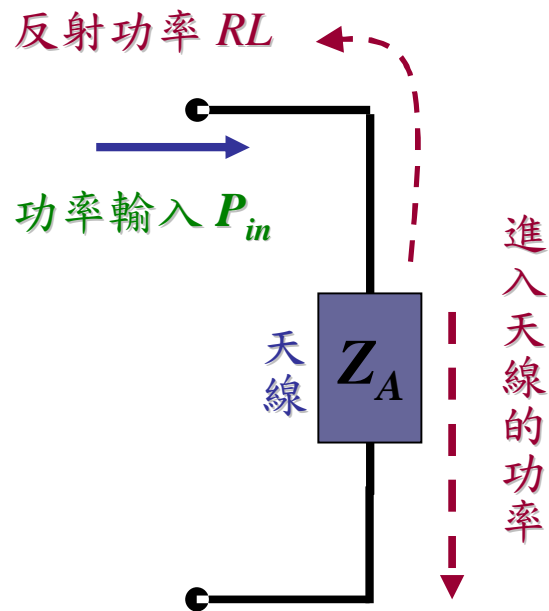
## 達到天線匹配的方式

一般可以用以下兩種方式來達到匹配的目的，使得： $Z_A = Z_{out}^* = 50\Omega$

1. 修改天線本身的結構：包括幾何結構，饋入位置，組成材料等等；其好處是天線的結構會比較簡單；其缺點是有時匹配不容易達成。
2. 加入匹配網路：利用電路元件如電感，電容，電阻等；或傳輸線元件如四分之一波長轉換器，Open-stub，Short-stub等等的組合，來達到匹配的目的；其好處是匹配容易達成；其缺點是增加天線結構的複雜度，不利縮小化，而且匹配網路也會消耗部份功率，同時會讓阻抗頻寬變窄。

## 天線的阻抗頻寬(Bandwidth, BW)

輸入的功率 = 反射的功率 + 進入天線的功率



對一特定的輸入的功率，我們去測量反射出來的功率，一般稱為反射損耗(Return Loss,  $RL$ )。

$$RL \equiv \frac{\text{反射的功率}}{\text{輸入的功率}} \quad (\text{無單位})$$

$$RL = 10 \log \left( \frac{\text{反射的功率}}{\text{輸入的功率}} \right) \quad (\text{dB})$$

## 天線的阻抗頻寬(Bandwidth, BW)

假設輸入的功率為1個單位：

1. 電磁波的頻率(波長)和天線的結構不符，不會被發射或接收，因此進入天線的功率為0單位，反射回來的功率為1個單位：

$$RL = -10\log\left(\frac{1}{1}\right) = 0 \quad (\text{dB})$$

2. 頻率  $f_0$  (波長)和天線符合，電磁波因此會被發射或吸收，但是天線的阻抗和電路的阻抗不很匹配，設進入天線的功率為0.5個單位，反射回來的功率為0.5個單位：

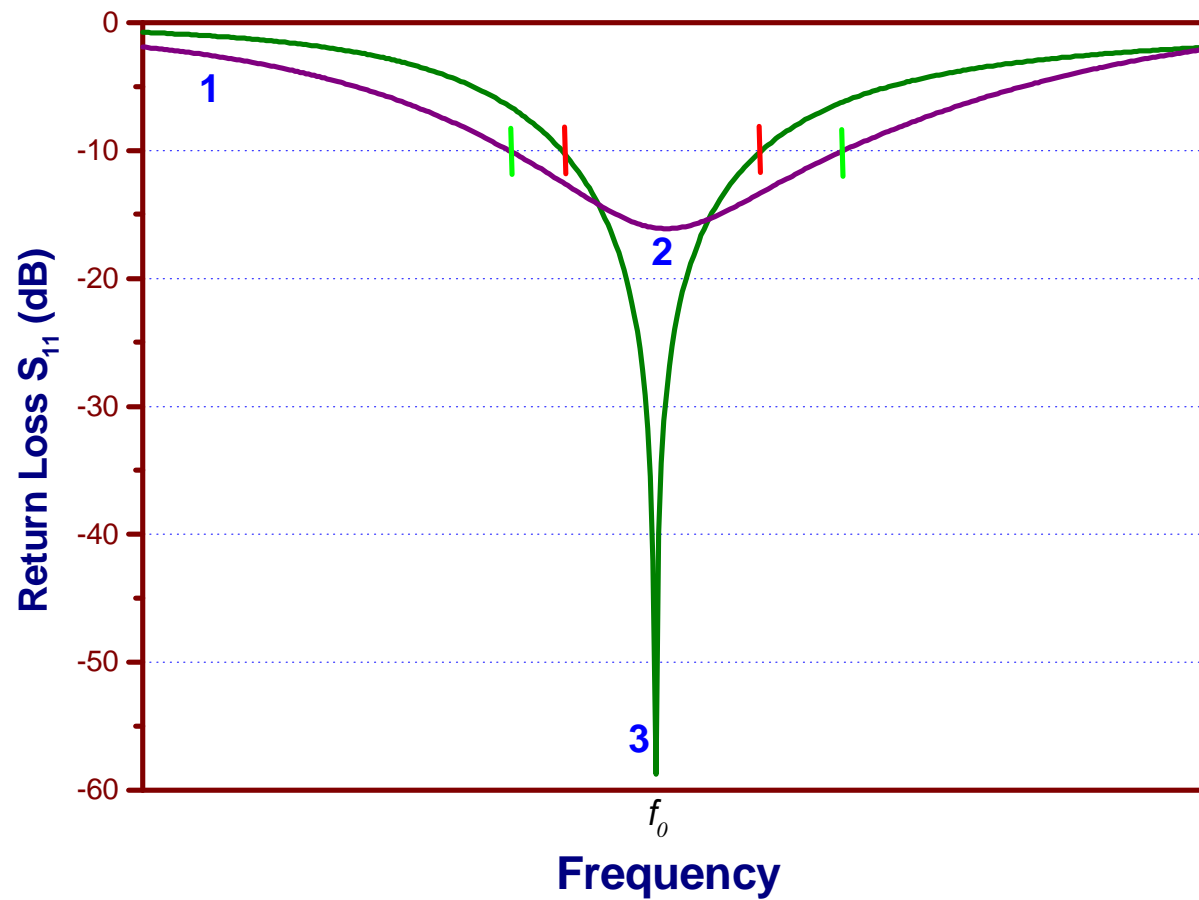
$$RL = -10\log\left(\frac{0.03}{1.0}\right) = 15 \quad (\text{dB})$$

3. 頻率  $f_0$  (波長)和天線符合，電磁波因此會被發射或吸收，而且天線的阻抗和電路的阻抗很匹配，設進入天線的功率為0.999999個單位，反射回來的功率為0.000001個單位：

$$RL = -10\log\left(\frac{0.000001}{1.0}\right) = 60 \quad (\text{dB})$$

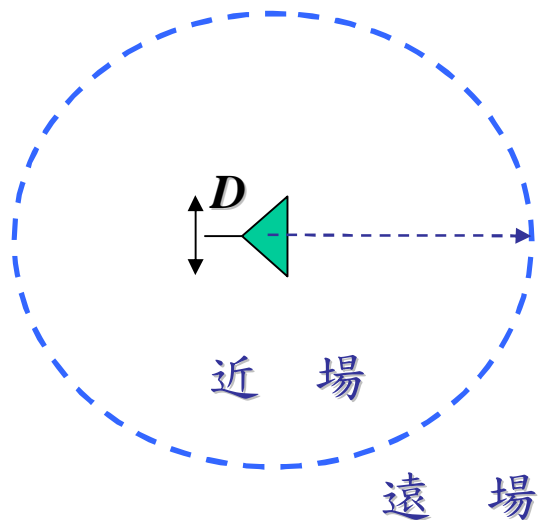
## 天線的阻抗頻寬(Bandwidth, BW)

利用網路分析儀(Network Analyzer) 測量天線的S參數



## 天線的近場與遠場

天線附近空間中的電磁場，依其性質可以分為：近場 ( Near-Field ) 和遠場 ( Far-Field )



**近場的特性：**為電抗性，電磁能量被儲存在空間中，沒有輻射出去；當天線的電流被切斷時，這些能量會被退回天線中。

**遠場的特性：**為電阻性；電磁能量被往外輻射出去，即使在天線的電流被切斷後也一樣。而無線通訊利用的就是遠場的電磁波。

**遠場的條件：**

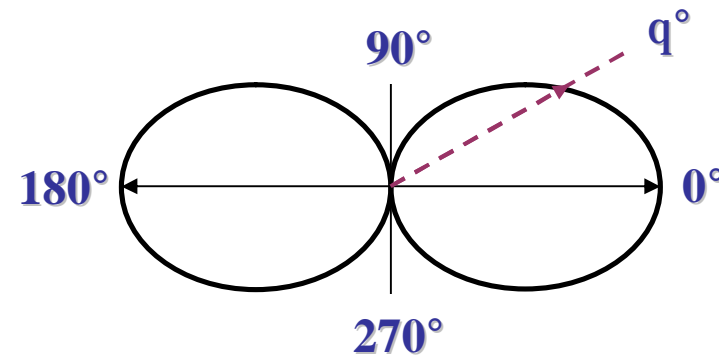
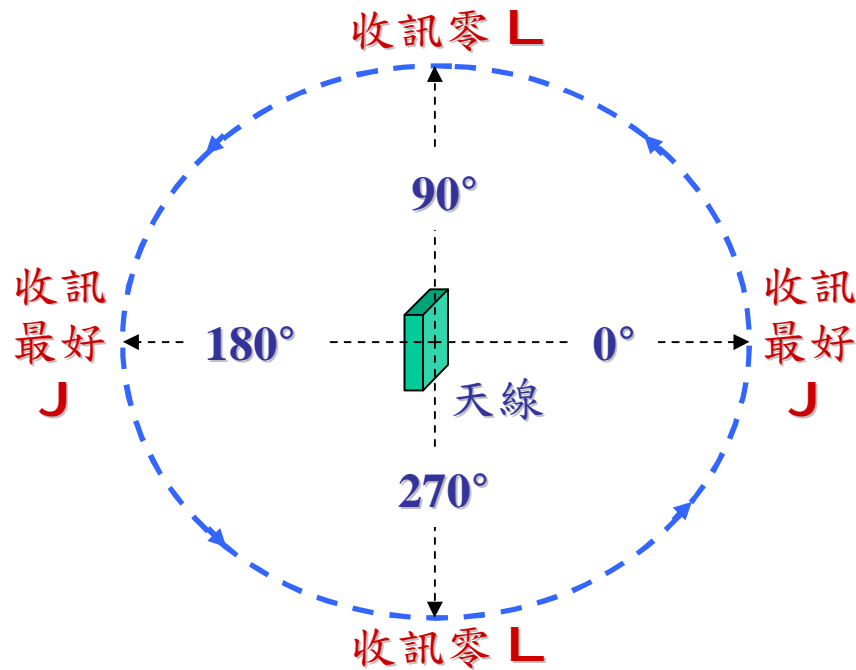
$$\text{距離} > \frac{2 D^2}{\lambda}$$

$$\text{距離} \gg \lambda$$

$$\text{距離} \gg D$$

## 天線的輻射場型( Radiation Pattern )

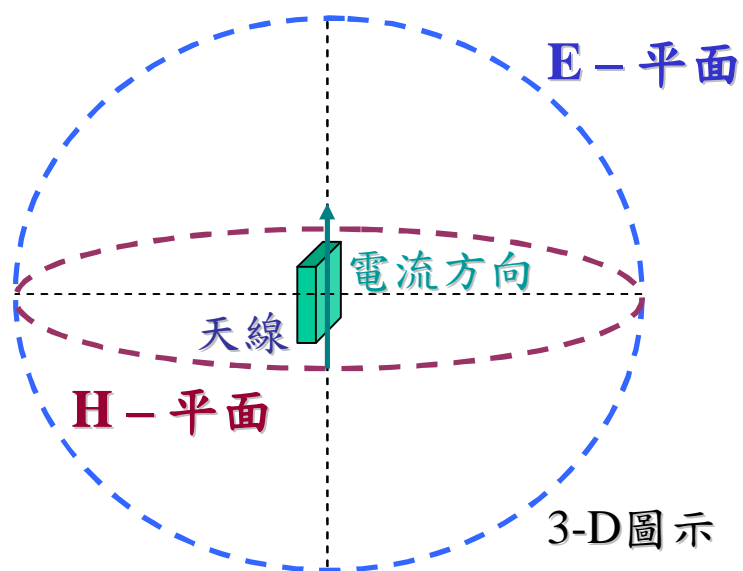
輻射場型是指天線的遠場中輻射電場強度與接收者方向角度的關係



## E—平面 與 H—平面

E—平面：與電流方向平行的平面

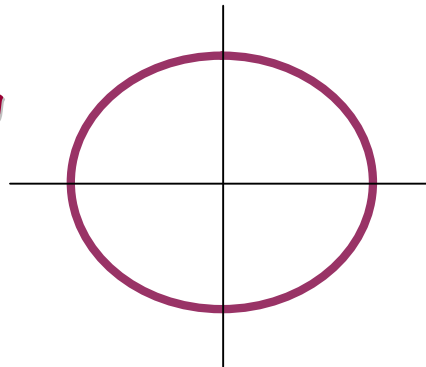
H—平面：與電流方向垂直的平面



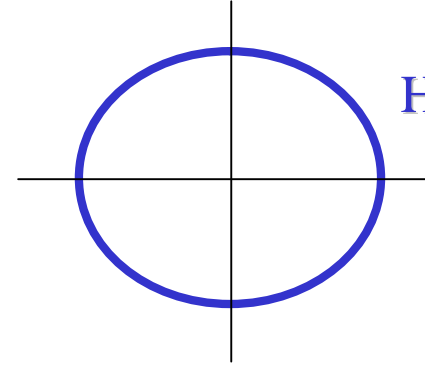
## 一些天線的輻射場型

1. Isotropic Antenna：各向同性天線(理想天線)，其3-D場型為球型。

E-平面

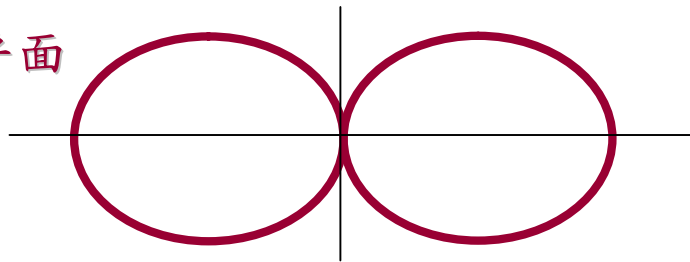


H-平面

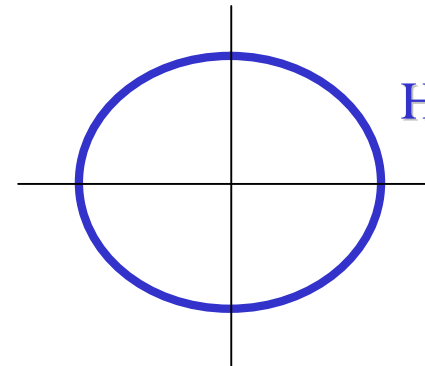


2. Omni-directional Antenna：全向性天線，其3-D場型為“甜甜圈”。

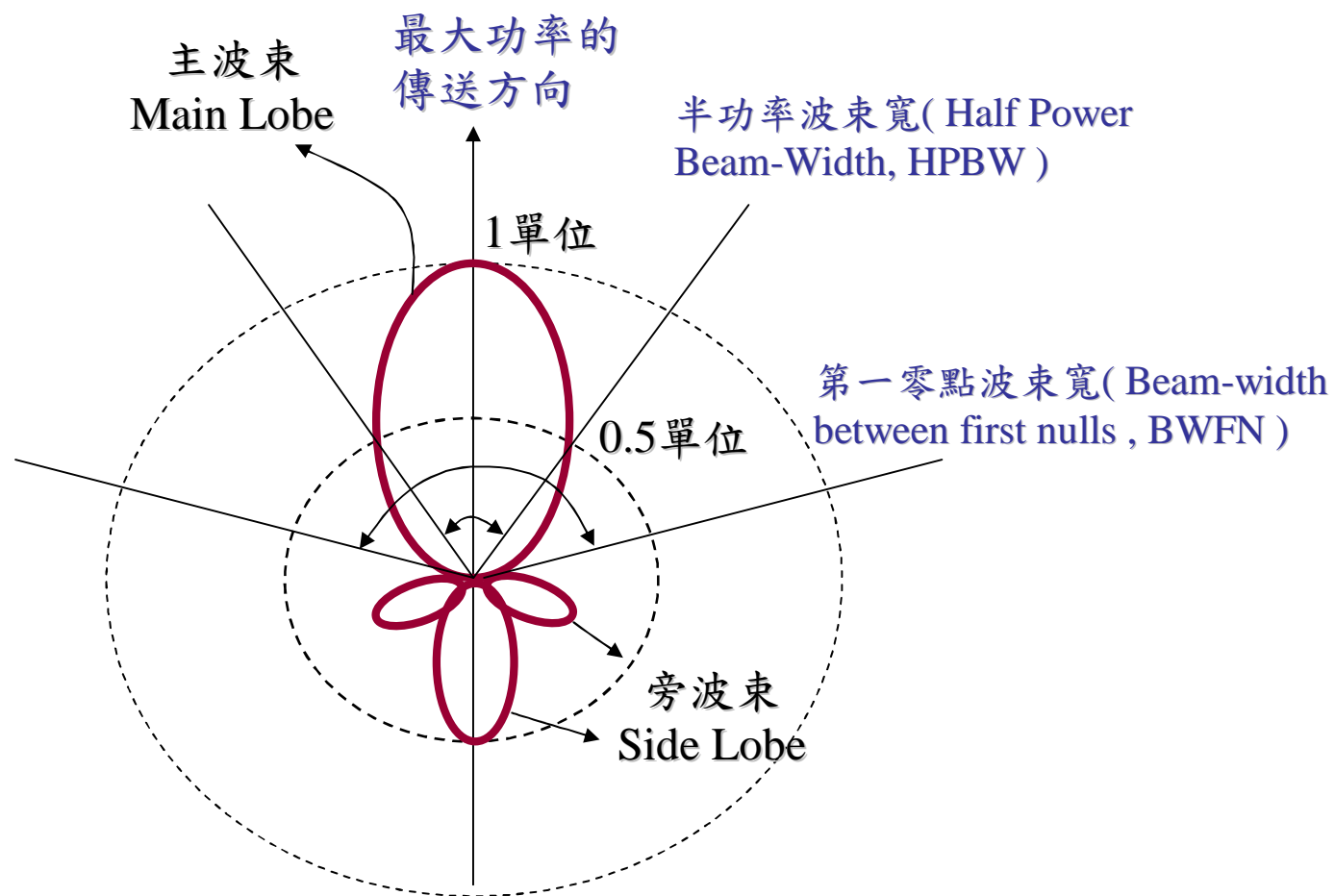
E-平面



H-平面



## 輻射場型的一些名詞



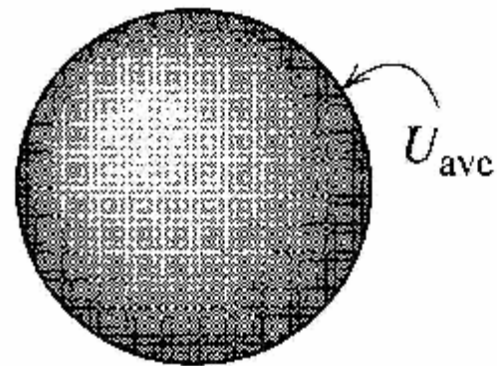
## 天線的指向性

指向性(Directivity, D)量度天線把**輻射功率(Pr)**傳向某一特定方向上能力。

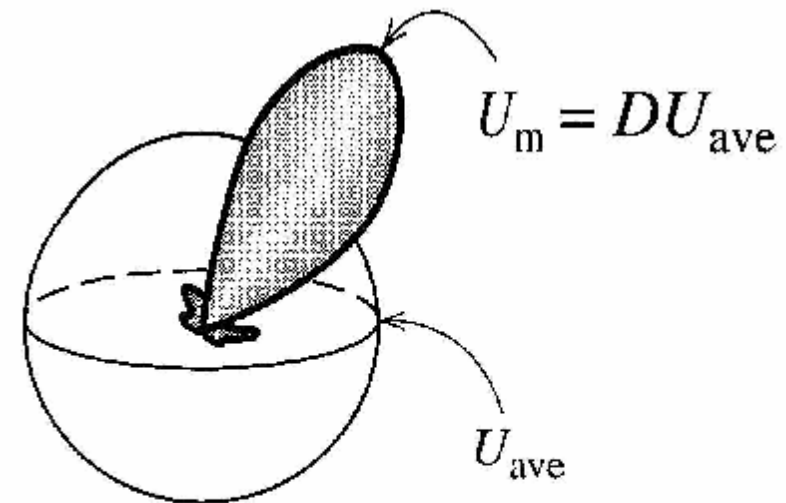
指向性 =  $\frac{\text{最大輻射強度}}{\text{平均輻射強度}}$

$$D = \frac{U_{\max}}{U_{\text{ave}}} = \frac{U_{\max}}{\frac{P_r}{4p}} \Rightarrow D = \frac{4pU_{\max}}{P_r}$$

## 天線的指向性



(a) Radiation intensity distributed isotropically



(b) Radiation intensity from an actual antenna

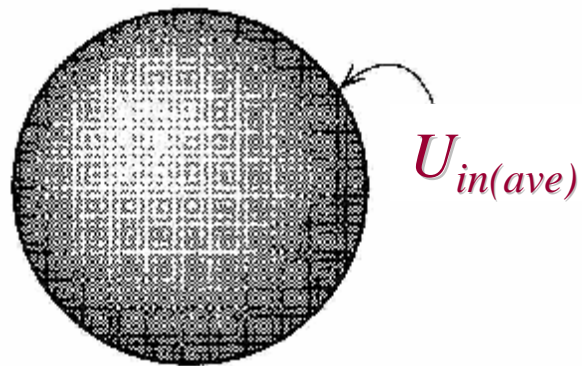
## 天線的功率增益

天線的功率增益 (簡稱增益，Gain，G) 是量度天線效率的物理量，其定義為：在相同的輸入功率之下，天線的最大輻射強度，與無損耗的各向同性天線(理想天線)的輻射強度之比值。

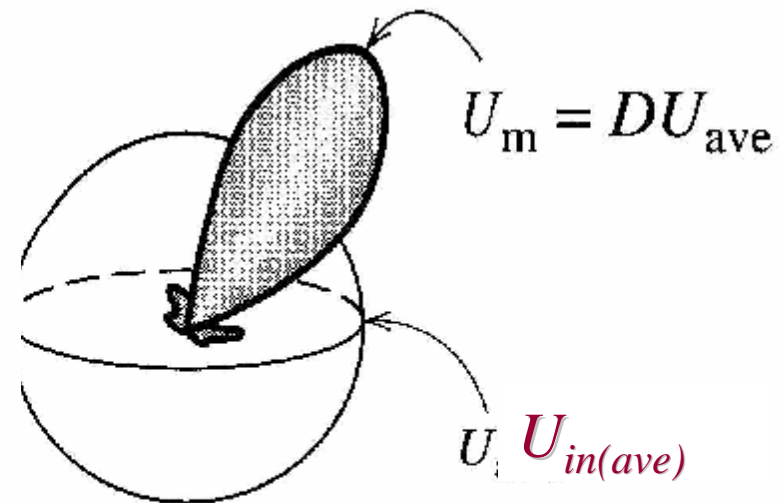
$$\text{增益} = \frac{\text{最大輻射強度}}{\text{平均輸入功率}}$$

$$G = \frac{U_{\max}}{U_{\text{in(ave)}}} = \frac{4pU_{\max}}{P_{\text{in}}}$$

## 天線的功率增益



(a) Radiation intensity distributed isotropically



(b) Radiation intensity from an actual antenna

## 天線的輻射效率

天線的輻射效率(Radiation Efficiency,  $h_r$ )定義為輻射功率和輸入功率的比值；為量度天線是否能夠有效的將輸入能量輻射出去的指標。

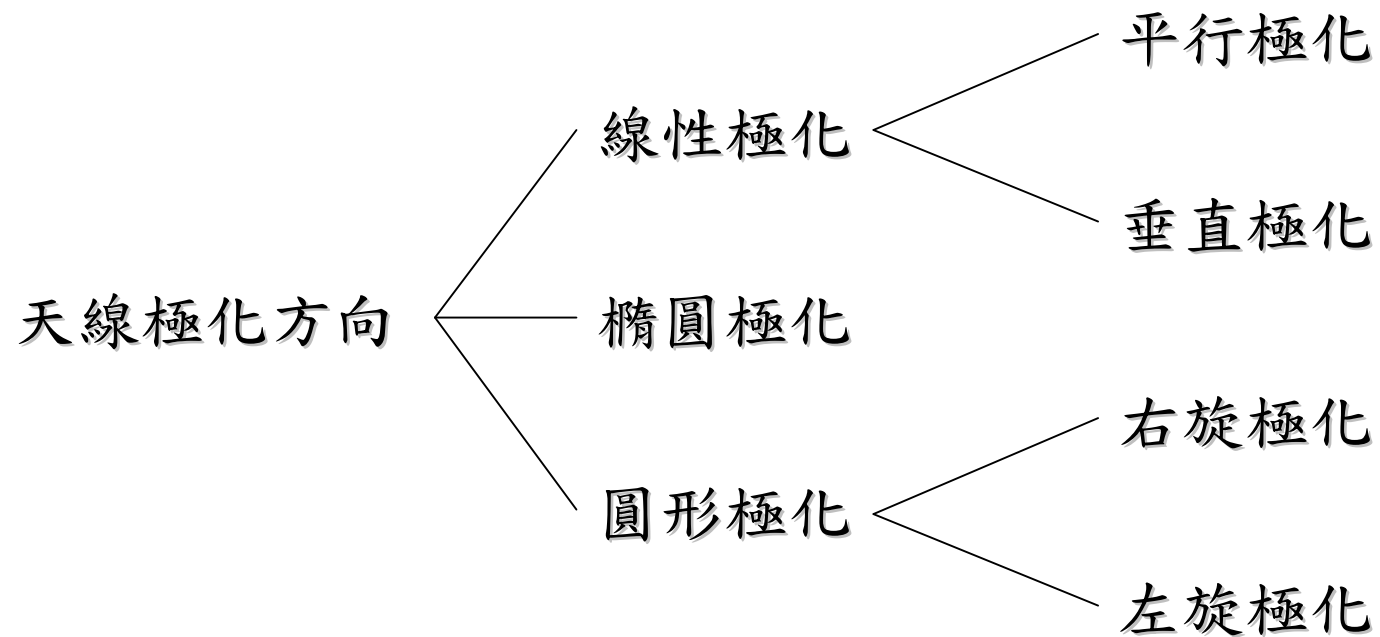
$$\text{輻射效率} = \frac{\text{輻射功率}}{\text{輸入功率}} \quad h_r = \frac{P_r}{P_{in}}$$

比較指向性和增益的公式，可以發現它們有以下關係：

$$G = h_r D$$

## 天線的極化方向

天線的極化方向(Polarization)是依輻射或接收之電磁波在空間中傳送時，其電場方向的變化來分類：



## 線性極化(Linear Polarization)

天線的輻射或接收之電磁波在空間中傳送時，其電場方向的變化永遠是沿一直線，可分平行極化和垂直極化。

平行極化

電場的方向平行地球表面



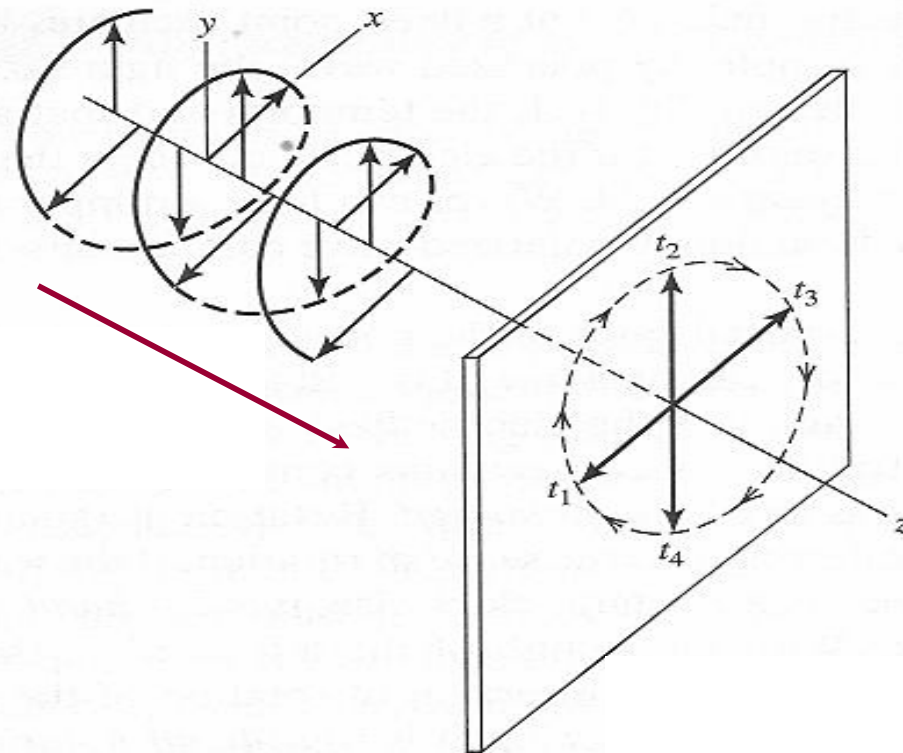
垂直極化

電場的方向垂直地球表面



地 表

## 天線的極化方向

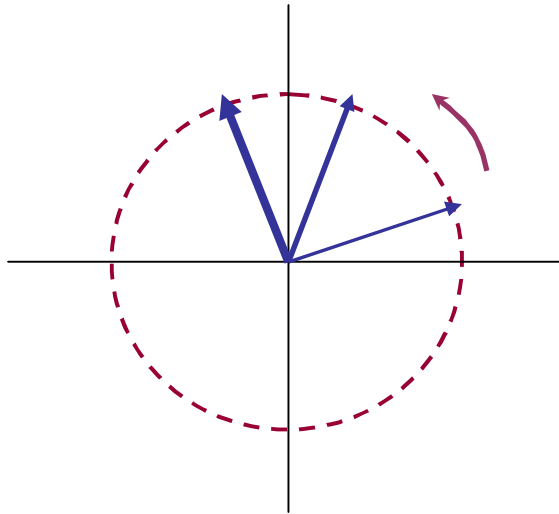


## 圓型極化(Circular Polarization)

天線的輻射或接收之電磁波在空間中傳送時，其電場方向的變化若沿一橢圓型，即為橢圓極化；若沿一圓型軌跡，即為圓型極化，可分右旋極化和左旋極化。

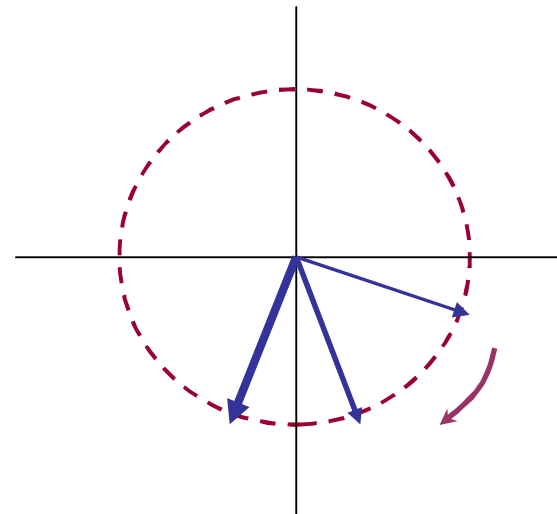
右旋極化

電場的方向沿逆時針方向旋轉



左旋極化

電場的方向沿順時針方向旋轉



## Electrically Small Antennas

“小”天線：天線的尺寸遠小於波長



Short dipole

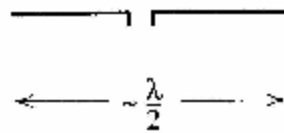


Small loop

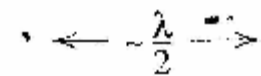
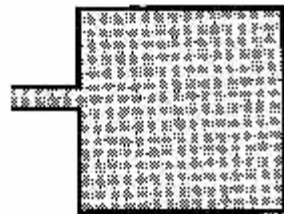
1. 指向性很低
2. 輸入電阻很低
3. 輸入電抗很高
4. 輻射效率很低

## Resonant Antennas

共振式天線：天線的尺寸為半波長



Half-wave dipole

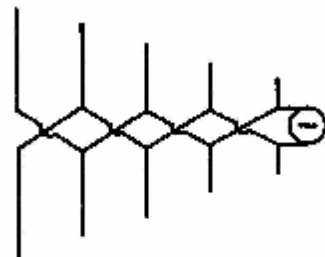


Microstrip patch

1. 增益中等
2. 輸入阻抗為實數
3. 頻寬很窄

## Broadband Antennas

寬頻天線：在很寬的頻帶內，天線的所有特性都在可以接收的範圍

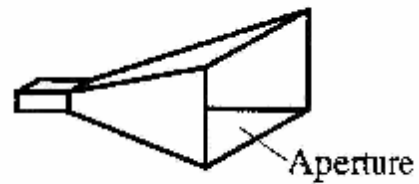


Log periodic dipole array

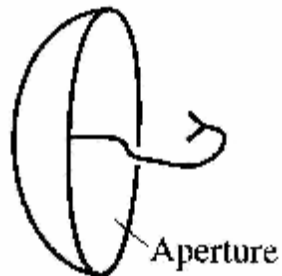
1. 增益中等
2. 增益在頻帶內變化不大
3. 輸入阻抗為實數
4. 頻寬很寬

## Aperture Antennas

“開口”天線：結構上有一開口，用來導引電磁波



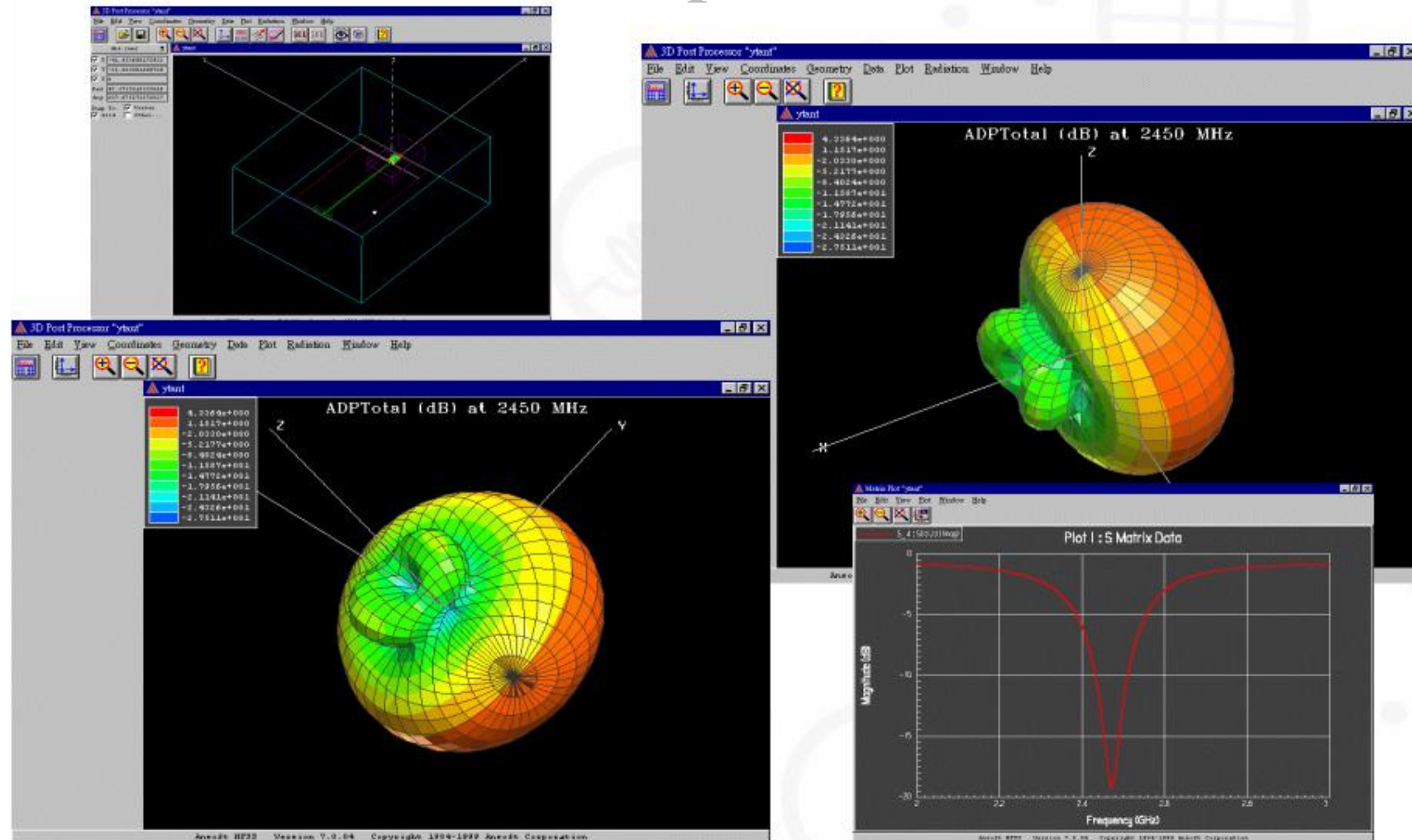
Horn



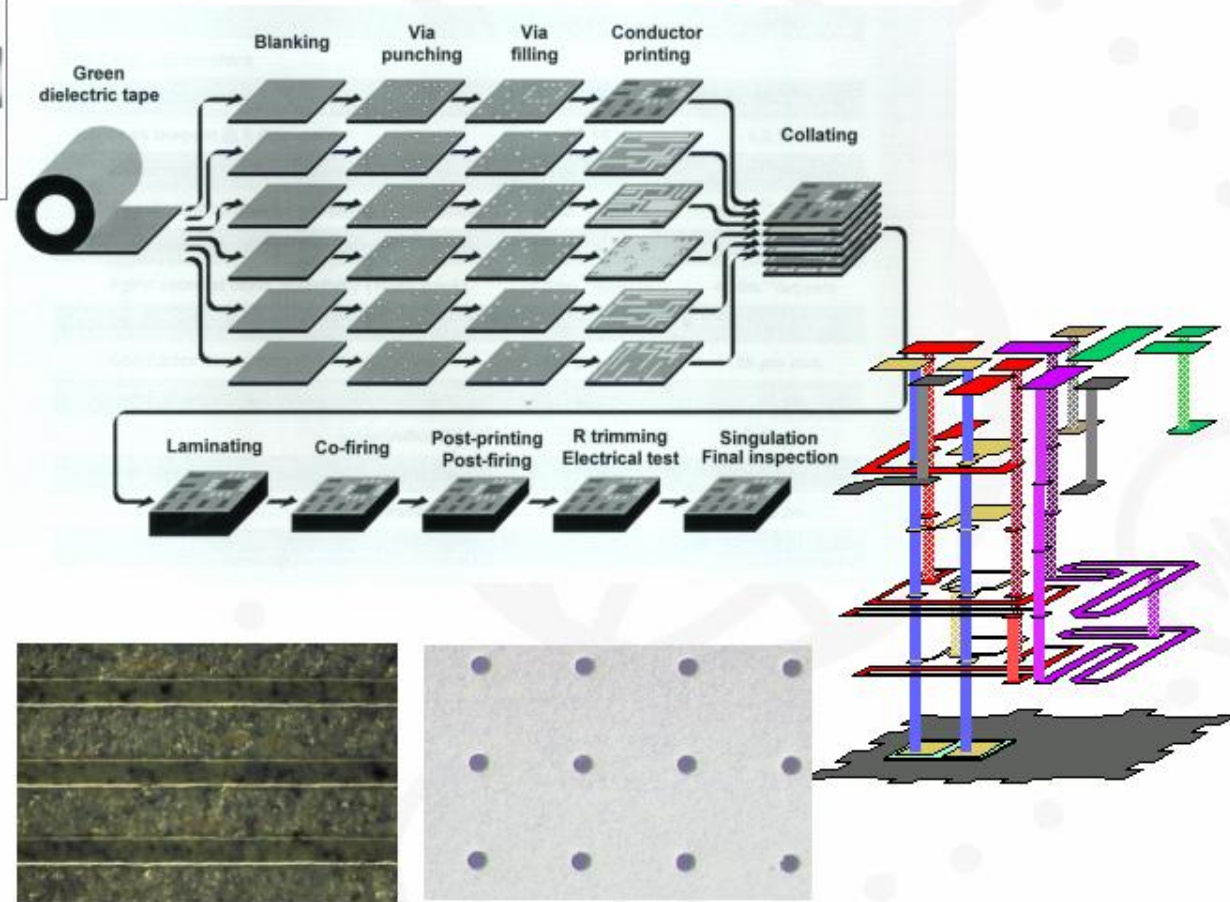
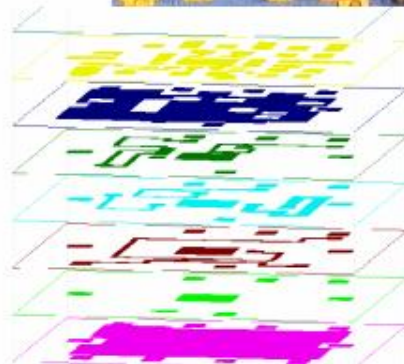
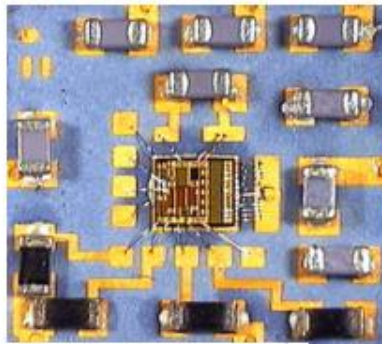
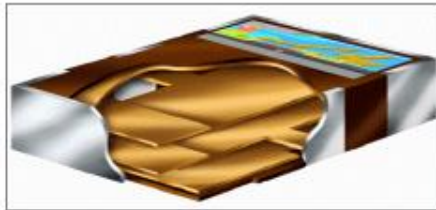
Reflector

1. 增益很高
2. 增益隨頻率而上升
3. 頻寬中等

# Antenna Computer Simulation



# LTCC Technologies



## 4313-115-00245 Long Shape 2.4GHz Chip Antenna for WLAN/Bluetooth

### ■ Features:

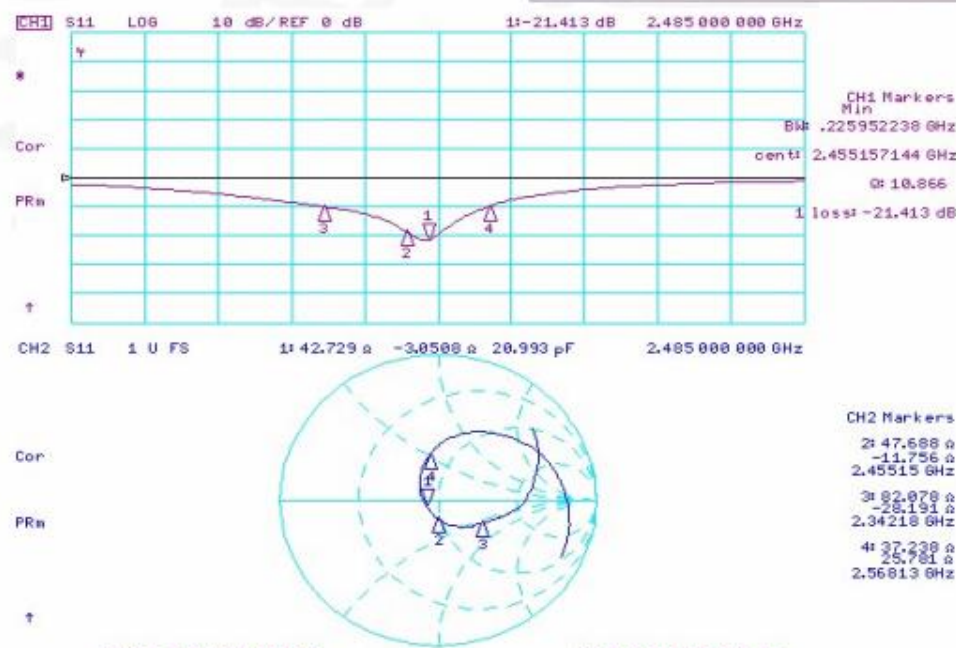
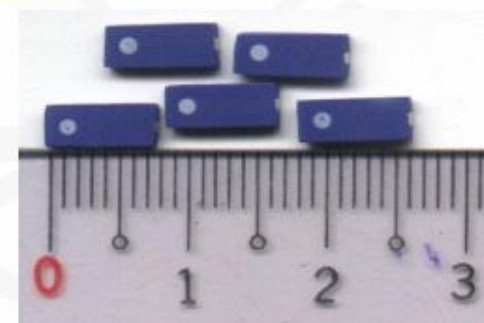
- LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) technology enables future integration with system design
- Matching free makes flexibility

### ■ Application:

- Bluetooth and Wireless LAN

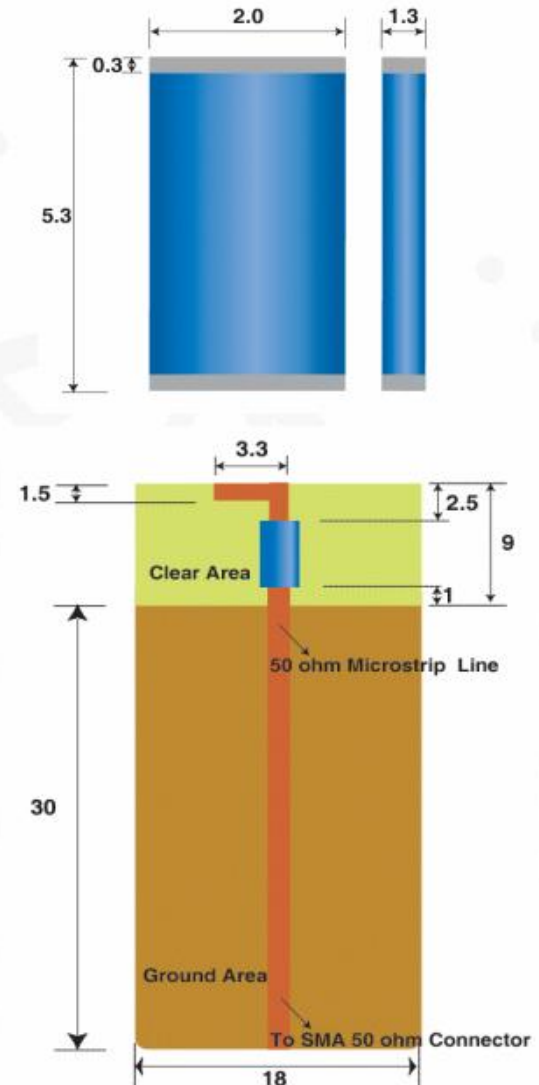
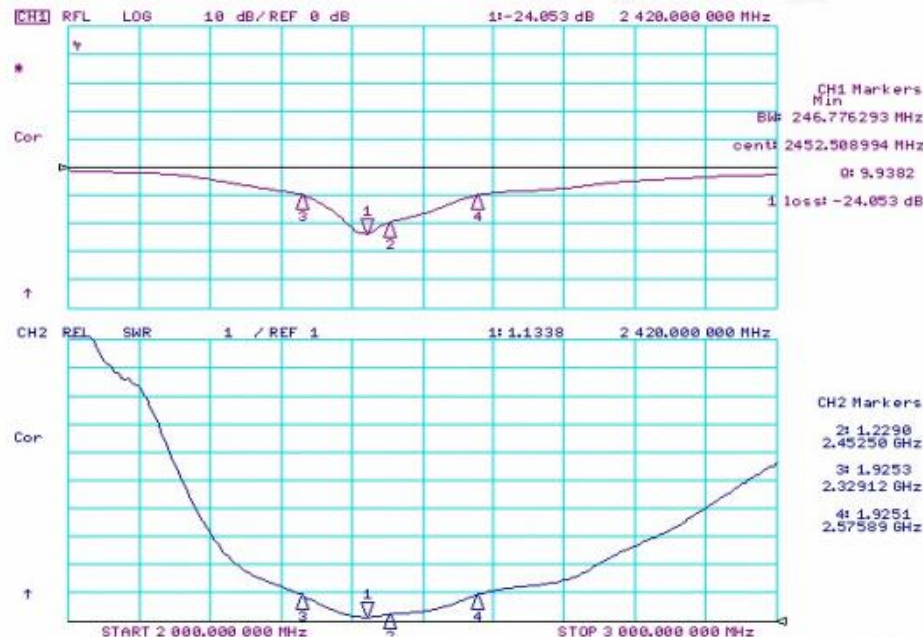
### ■ Specification

Description	Value
Size (mm) (L * W * T)	8 * 3.5 * 0.9
Frequency range	2.45 GHz
Bandwidth	100 MHz
Gain (max)	2.5 dBi
VSWR (max)	2.0
Impedance	50Ω
Polarization	Linear
Azimuth	Ommi-directional



## Application example

### 5320 chip antenna for 2.45 GHz



## 2.4/5.2/5.8GHz Triple Band

### ■ Features:

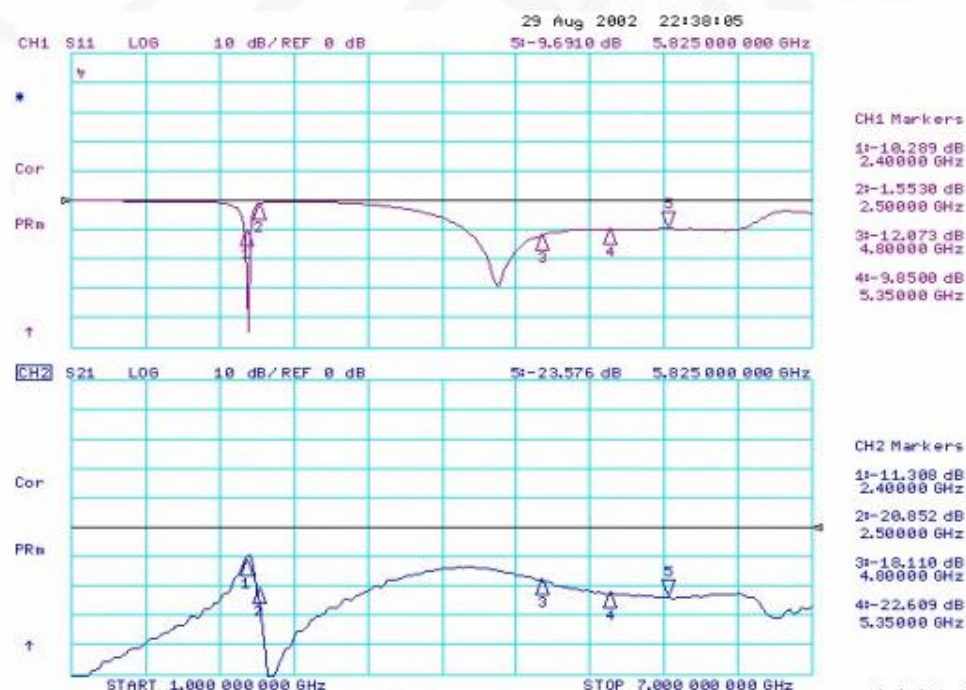
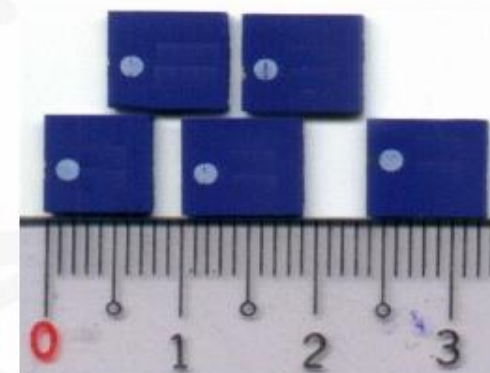
- LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) technology enables future integration with system design
- Matching free makes flexibility
- Triple band 2.4/5.2/5.8 GHz antenna

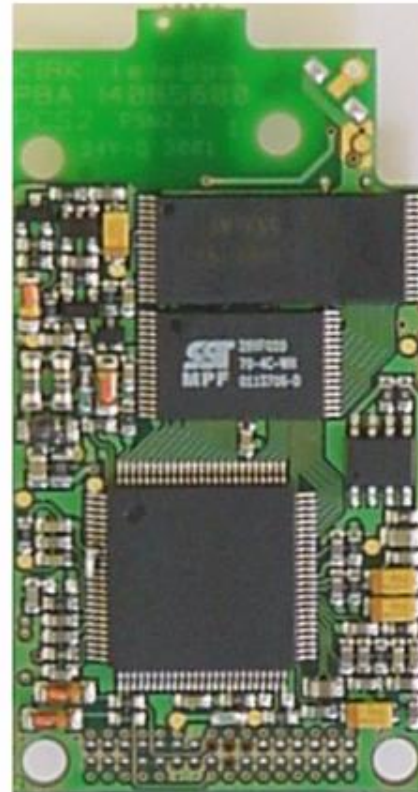
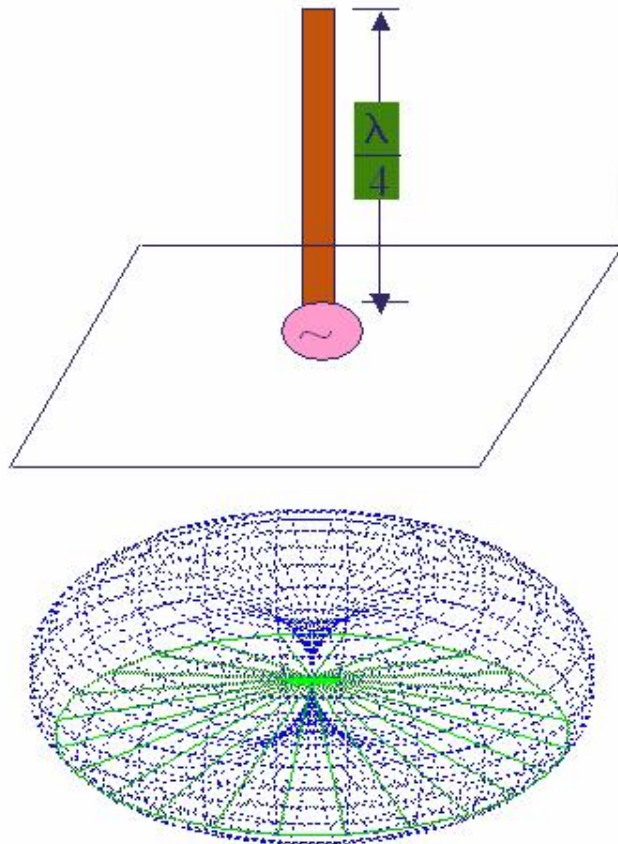
### ■ Application:

- Wireless LAN communication system

### ■ Specification

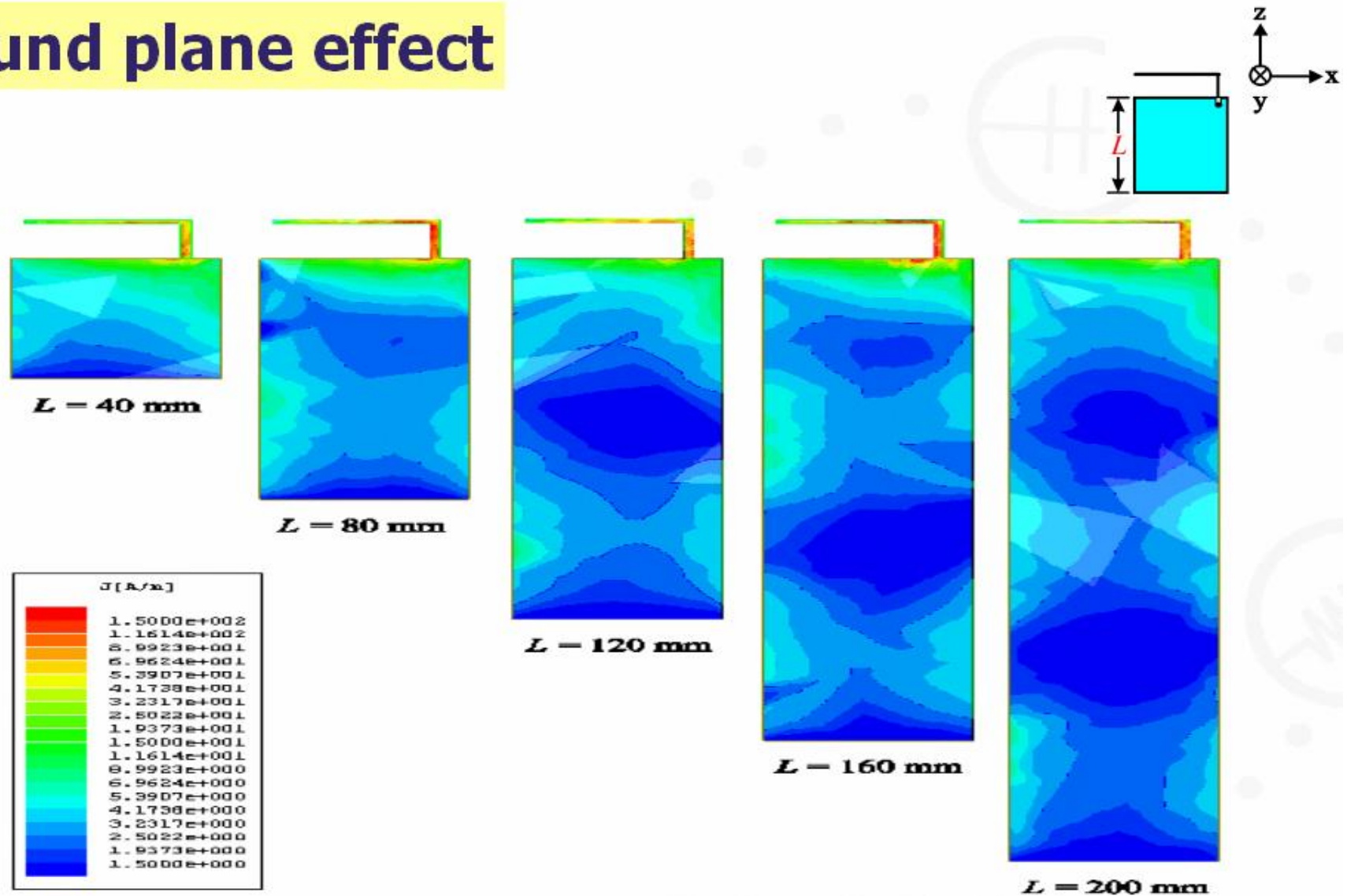
Description	Value
Size (mm) (L*W*T)	8.7 * 8 * 0.9
Frequency range	2.45 GHz 4.8~5.5825 GHz
Bandwidth	100 MHz 1000 MHz
Gain (max)	2 dBi 3 dBi
VSWR (max)	2.0
Impedance	50Ω
Polarization	Linear
Azimuth	Omni-directional



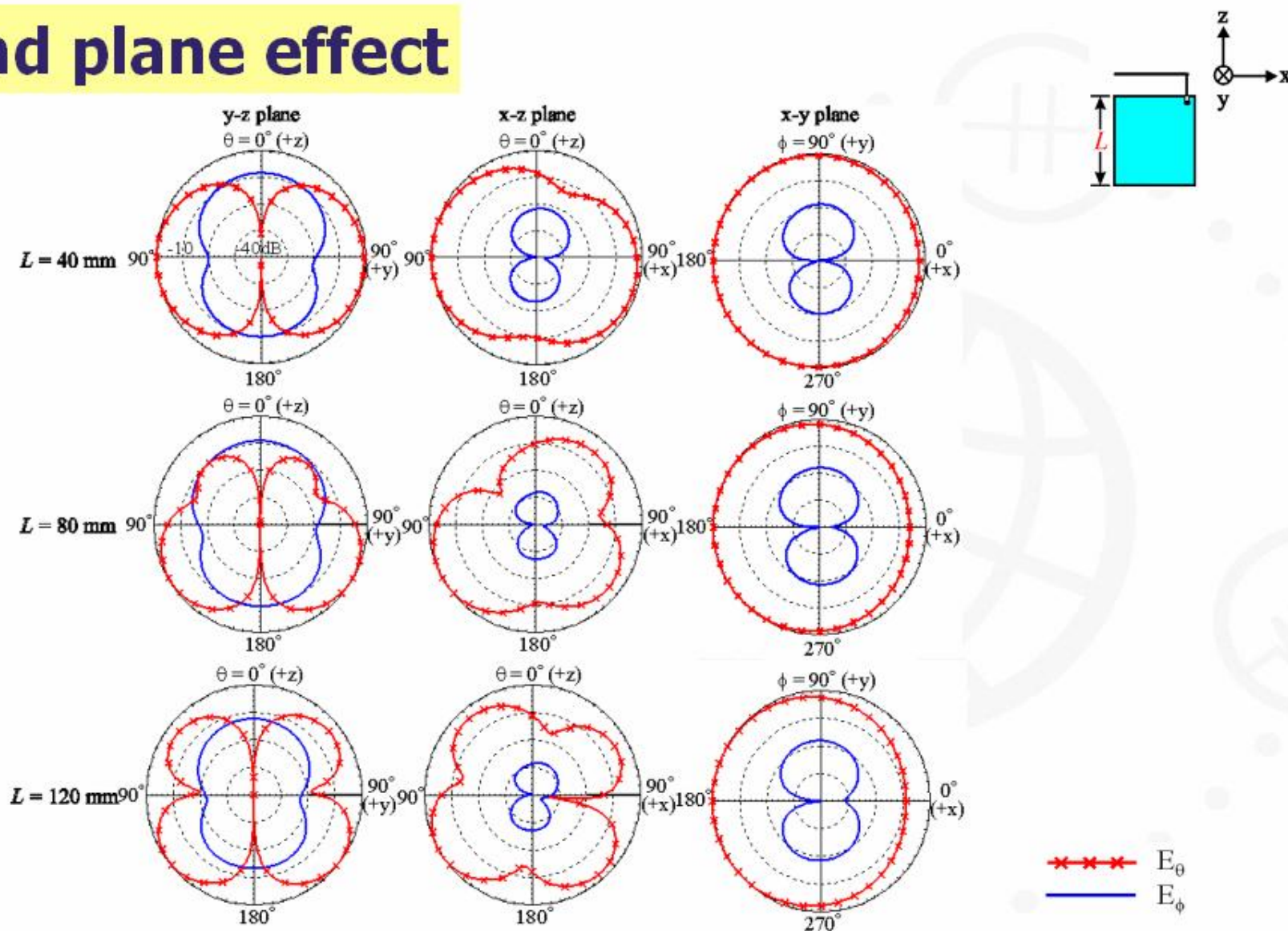




## Ground plane effect



## Ground plane effect



## Matching circuit

Ant1=Type 260



C=4.7pF



Ant2=Type 260

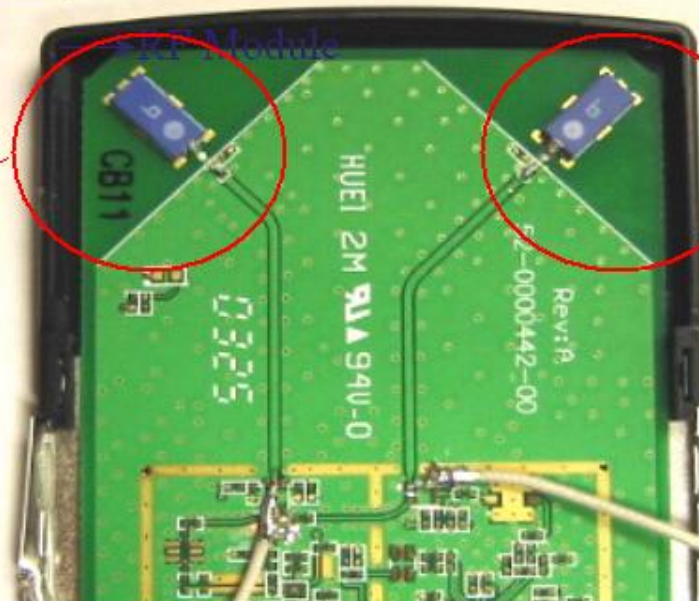


C=4.7pF



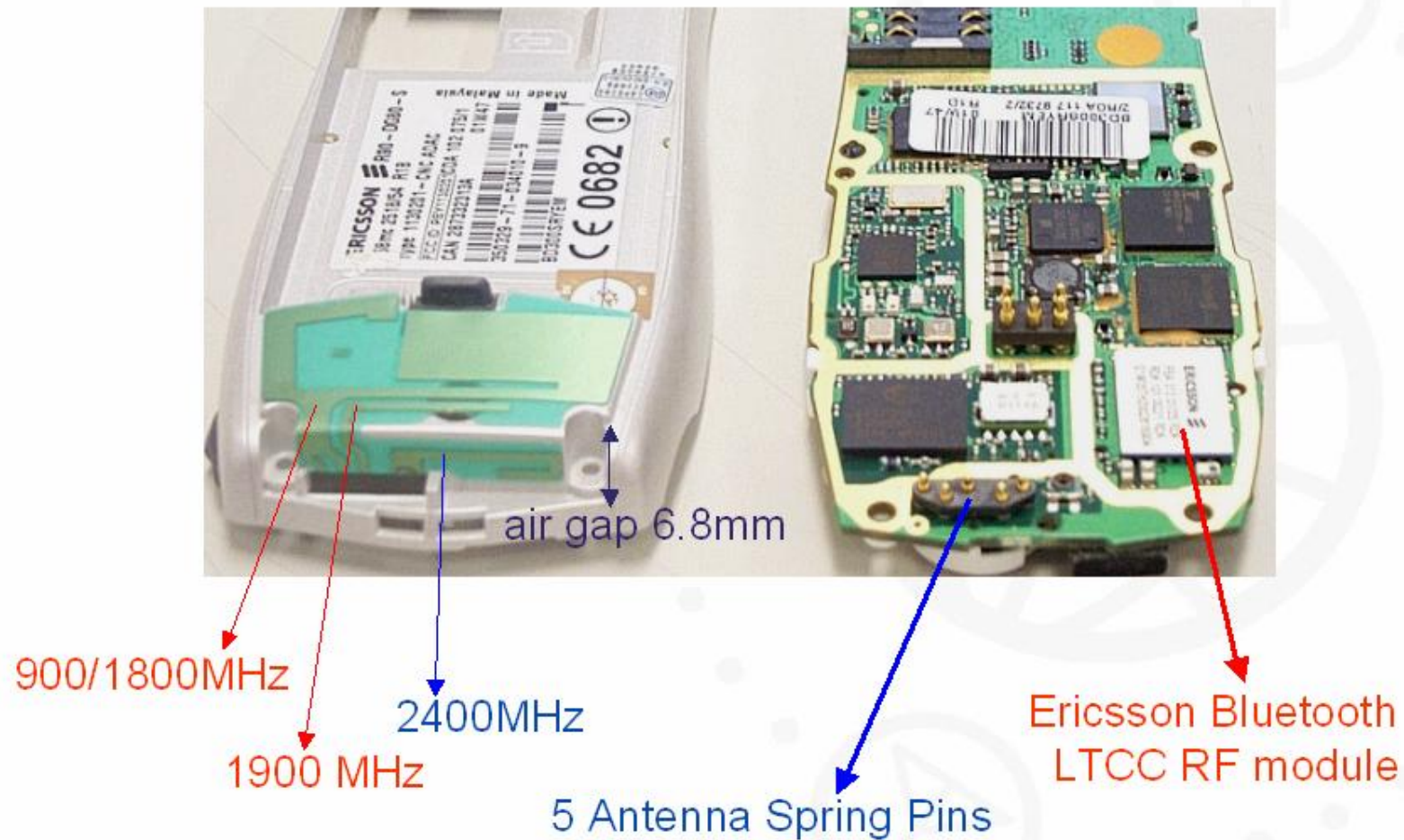
→ RF Module

Ant1=Type 260 Series 4.7pF




Ant2=Type 260 Series 4.7pF

## Application example



# High Frequency Passive Products

Filter				Balun		Inductor	
Use	Bluetooth IEEE802.11b	Bluetooth IEEE802.11b	Bluetooth IEEE802.11b	Use	Bluetooth IEEE802.11b	Size	0402
Frequency	2.4GHz	2.7GHz	2.4GHz	Frequency	2.4GHz		

Antenna				
Use	Bluetooth IEEE802.11b	IEEE802.11b IEEE802.11a	IEEE802.11b IEEE802.11a	UHF
Frequency	2.4GHz	2.4GHz / 5.2GHz	2.4GHz / 5.2GHz	433 MHz

Antenna										
Use	GPS-CP 18 x 18	GPS-CP 18 x 18	GPS-CP 12 x 12	802.11a	ETC-CP 12 x 12	Bluetooth IEEE802.11b 12 x 12 CP	EGSM / DCS	FR-4 PIFA	FR-4 SMD Monopole	TDMA
Frequency	1.58GHz	1.58GHz	1.58GHz	5.2GHz	5.8GHz	2.4GHz	0.9 / 1.8GHz	0.9 / 1.8GHz	0.9 / 1.8 / 1.9 GHz	870MHz

Antenna													
Use	Bluetooth IEEE802.11b	Bluetooth IEEE802.11b	Bluetooth IEEE802.11b	Bluetooth IEEE802.11b	Bluetooth IEEE802.11b	Bluetooth IEEE802.11b	Bluetooth IEEE802.11b	Bluetooth IEEE802.11b	WCDMA	DECT	GPS-LP	IEEE802.11b IEEE802.11a	Bluetooth IEEE802.11a
Frequency	2.4GHz	2.6GHz	2.7GHz	2.8GHz	2.4GHz	2.6GHz	2.7GHz	2.4GHz	2.0GHz	1.88GHz	1.58GHz	2.4GHz / 5.2GHz	5.2GHz

## 射频和天线设计培训课程推荐

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,致力并专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;我们于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

易迪拓培训课程列表: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/129.html>



### 射频工程师养成培训课程套装

该套装精选了射频专业基础培训课程、射频仿真设计培训课程和射频电路测量培训课程三个类别共 30 门视频培训课程和 3 本图书教材;旨在引领学员全面学习一个射频工程师需要熟悉、理解和掌握的专业知识和研发设计能力。通过套装的学习,能够让学员完全达到和胜任一个合格的射频工程师的要求...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/rfe/110.html>

### ADS 学习培训课程套装

该套装是迄今国内最全面、最权威的 ADS 培训教程,共包含 10 门 ADS 学习培训课程。课程是由具有多年 ADS 使用经验的微波射频与通信系统设计领域资深专家讲解,并多结合设计实例,由浅入深、详细而又全面地讲解了 ADS 在微波射频电路设计、通信系统设计和电磁仿真设计方面的内容。能让您在最短的时间内学会使用 ADS,迅速提升个人技术能力,把 ADS 真正应用到实际研发工作中去,成为 ADS 设计专家...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/ads/13.html>



### HFSS 学习培训课程套装



该套课程套装包含了本站全部 HFSS 培训课程,是迄今国内最全面、最专业的 HFSS 培训教程套装,可以帮助您从零开始,全面深入学习 HFSS 的各项功能和在多个方面的工程应用。购买套装,更可超值赠送 3 个月免费学习答疑,随时解答您学习过程中遇到的棘手问题,让您的 HFSS 学习更加轻松顺畅...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/11.html>

## CST 学习培训课程套装

该培训套装由易迪拓培训联合微波 EDA 网共同推出,是最全面、系统、专业的 CST 微波工作室培训课程套装,所有课程都由经验丰富的专家授课,视频教学,可以帮助您从零开始,全面系统地学习 CST 微波工作的各项功能及其在微波射频、天线设计等领域的设计应用。且购买该套装,还可超值赠送 3 个月免费学习答疑...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/24.html>



## HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书,课程从基础讲起,内容由浅入深,理论介绍和实际操作讲解相结合,全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程,可以帮助您快速学习掌握如何使用 HFSS 设计天线,让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

## 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程,培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合,全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作,同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习,可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



### 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年,10 多年丰富的行业经验,
- ※ 一直致力并专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 经验丰富的一线资深工程师讲授,结合实际工程案例,直观、实用、易学

### 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>