

教育部5G行動寬頻人才培育計畫

5G天線與射頻技術聯盟中心

5G毫米波天線設計課程

廖文照

國立台灣科技大學
電機工程學系



Outline

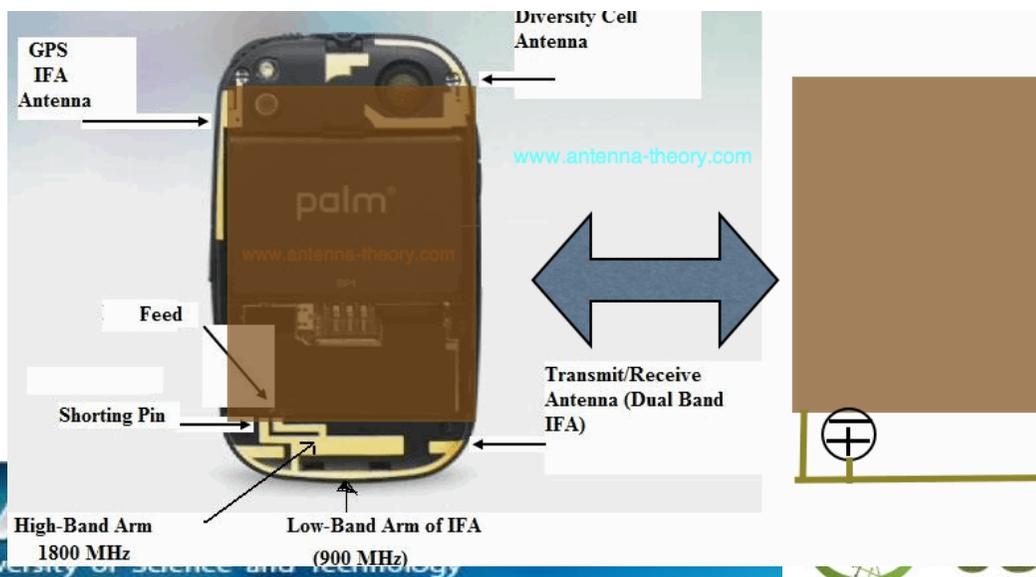
- 單元一：高指向性天線形式介紹
- 單元二：行動終端毫米波陣列天線設計
- 單元三：毫米波傳播特性
- 單元四：波束切換陣列天線

5G射頻規格簡介

- 5G是指第五代行動通訊技術，其發展目標為整體系統容量提升、大規模互聯、超可靠與低延遲
- 3GPP會議於2018年6月訂下第一個國際5G標準(R15版本)
- R15 支援 5G 三大場景中的增強型行動寬頻(eMBB)和超可靠低時延(URLLC)兩大場景，mMTC(大量機器類通訊)場景標準如何定義還有待後續研究
 - eMBB → 主要應用為大流量的行動寬頻業務
 - URLLC → 網路延遲 $<1\text{mS}$ 、反應快 → 應用於無人車與智慧工廠
 - mMTC → 應用於大規模物聯網上如NB-IoT、LoRa

大天線與小天線

- 以4G LTE的低頻段(690~960 MHz)為例
 - 若頻率為750 MHz → 空氣中波長為40 cm
 - 若要產生有效率的共振天線結構 → 天線輻射體大小約需要1/4波長 → 10 cm大的天線
 - 6吋手機平台約為15 × 8 cm，需要兩支LTE天線 → 要在有限空間做出**小天線(electrically small)**



大天線與小天線

- 以5G FR2頻段(24.25~29.5 GHz)為例
 - 若頻率為28 GHz → 空氣中波長為1.07 cm
 - 若要設計基本型態的半波長共振微帶天線 → 天線輻射體大小約1/2波長 → 0.5 cm大的天線
 - 行動裝置上有充足空間做出完整尺寸天線，甚至可組成陣列，形成**大天線(electrically large)**



Qualcomm, Breaking the wireless barriers to mobilize 5G NR mmWave

高指向性天線形式

- 如讓輻射場於傳播空間中往特定方向集中，則可產生指向性天線
- 提高指向性的作法有：
 - 以金屬面屏蔽，讓輻射場只能往特定方向傳播 → Corner Reflector Antenna
 - 於輻射天線單元的近場區，設置寄生元件，導引輻射方向 → Yagi-Uda Antenna
 - 使用多個天線，並控制其輻射大小與相位，產生具指向性的陣列因子(Array Factor) → Phase Array

Outline

- 單元一：高指向性天線形式介紹
- 單元二：行動終端毫米波陣列天線設計
- 單元三：毫米波傳播特性
- 單元四：波束切換陣列天線

5G行動終端天線需求 – mmWave天線需求

- mmWave頻段與sub 6 GHz頻段的波長差異甚大，行動端的天線設計考量與傳統手機天線設計截然不同

$$P_r = \frac{P_t G_t(\theta)}{4\pi R^2} \frac{\lambda^2 G_r(\theta)}{4\pi}$$

$1\lambda = 8.6 \text{ cm @ } 3.5 \text{ GHz}$
 $1\lambda = 1.1 \text{ cm @ } 28 \text{ GHz}$

令 $R=100 \text{ m}$, $G_t = G_r = 3 \text{ dB}$, $P_t = 10 \text{ W}$

→ $P_r @ 3.5 \text{ GHz} = 1.86 \times 10^{-7} = -37.3 \text{ dBm}$

→ $P_r @ 28 \text{ GHz} = 3.07 \times 10^{-9} = -55.1 \text{ dBm}$

在接收機靈敏度不變的前提下，只能

1. 不要要求太遠的傳輸距離
2. 提高天線增益

5G行動終端天線需求 – mmWave天線需求

毫米波電磁傳播除了因波長短，傳播損失大外

- 因波長短，毫米波產生繞射的能力較差，只能直線前進
- 因空氣吸收有額外耗損

但毫米波相對具有保密性、頻段可重複利用的特性，適合使用小型基地台布建高速網路

5G行動終端毫米波多天線設計

- 毫米波波長短的好處是容易建置高增益的指向性天線，一個約12 dBi的4 patch array，在28 GHz尺寸僅約1.5 cm²，在2.4 GHz則需18 cm²
- 但高指向性高增益的缺點是天線波束寬很窄，無法涵蓋行動裝置周邊所有方向
- 須採用具場型分集的多天線系統或可產生適應性多波束的天線陣列
- 在與基地台連接的過程中，可切換選用通道品質較佳的天線波束



Helio m70

Outline

- 單元一：高指向性天線形式介紹
- 單元二：行動終端毫米波陣列天線設計
- 單元三：毫米波傳播特性
- 單元四：波束切換陣列天線

5G行動通訊系統應用

- 5G行動通訊網路傳輸速度理論值為4G的20倍(20 Gbps)，網路延遲(Latency)為1 ms，是4G網路的二十分之一
- 5G規範要求更穩定的傳輸與更高的安全性
- 5G行動通訊可實現大資料量的消費性內容傳輸應用例如4K影片串流、VR串流、遊戲串流服務，建構「觸覺互聯網」(Tactile Internet)應用鏈

5G行動通訊系統應用

- 觸覺互聯網系統的傳輸與訊號處理時間需小於或等於人類感官(視覺、聽覺、觸覺)習慣的反應時間
- 人類聽覺反應時間約為100 ms而視覺反應時間小於1 ms
- 觸覺互聯網強調賦予人類五感的延伸，例如機械手術刀觸碰患者骨骼的觸覺訊息，須以極高速度與精度，即時回饋到遠據醫生的控制器，讓醫生做下一步決策

5G頻段訊號傳播特性與通道模型

- 5G行動通訊使用頻段包含傳統行動通訊的sub-6 GHz頻段與毫米波頻段(28/38 GHz)，因頻率差異極大，其傳播特性也會有顯著不同
- 5G毫米波傳播的主要場域為室內環境，受多重路徑影響，其通道特性與戶外傳播亦有所不同
- 通道特性及其對電磁傳播的影響可以通過具代表性環境的實地量測，依統計結果建立通道模型，用於後續5G通訊基地台設置規劃的評估依據

DOI: 10.1109/TAP.2017.2758198

5G 頻段訊號傳播特性與通道模型

- 使用的路徑損失模型有 Close-In (CI) 與 alpha-beta-gamma (ABG) 模型

$$X_{CI} \sim \mathcal{N}(0, \sigma_{CI}^2)$$

$$PL(d) = PL(d_0) + PLE \cdot 10 \log_{10}(d/d_0) + X_{CI} \text{ [in dB]}$$

PL: path loss, PLE: path loss exponent, X_{CI} : log-normal shadowing

$$PL(d) = 10\alpha \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + \underbrace{\beta + 10\gamma \cdot \log_{10} \left(\frac{f_c}{1 \text{ GHz}} \right)}_{=\beta'} + X_{ABG} \text{ [in dB]}$$

$$X_{ABG} \sim \mathcal{N}(0, \sigma_{ABG}^2)$$

α 與 γ 可用以代表路徑損失對應於距離與頻率的變化， β 為優化參數

X 為代表遮蔽效應的 normal distribution function

Outline

- 單元一：高指向性天線形式介紹
- 單元二：行動終端毫米波陣列天線設計
- 單元三：毫米波傳播特性
- 單元四：波束切換陣列天線

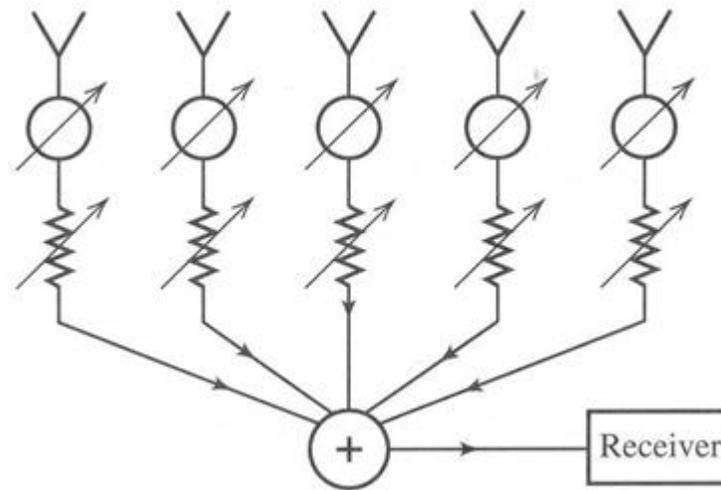


Array Antenna

- The radiation pattern of an array is determined by the type of individual elements used, their orientations, their positions in space, and the amplitude and phase of the currents feeding them.
- To simplify our discussion of arrays, we will begin by letting each element of the array be an isotropic point source.
- The resulting radiation pattern is called the array factor.

Array Factor

- The fundamental configuration for elements in an array is the **linear array** shown below
- Linear arrays are used widely in practice and their operating principles can be used to understand more complex array geometries.



Array Factor

- The basic array antenna model consists of two parts, the pattern of one of the elements by itself, the element pattern, and the pattern of the array with the actual elements replaced by isotropic point sources, the array factor.
- The total pattern of the array is then the product of the element pattern and array factor

Array Factor

- The array factor for this receiving array is the sum of the isotropic radiator receiving antenna responses $\{e^{j\xi_0}, e^{j\xi_1}, \dots\}$ weighted by the amplitude and phase shift $\{I_0, I_1, \dots\}$ introduced in the transmission path connected to each element.

- The array factor of the array shown in the figure is thus

$$AF = I_0 e^{j\xi_0} + I_1 e^{j\xi_1} + I_2 e^{j\xi_2} + \dots$$

where ξ_0, ξ_1, \dots are the phases of an incoming plane wave at the element locations designated 0, 1,

- The expression is very general and can be applied to any geometry.

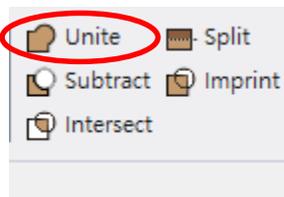
Outline

- 實驗一:毫米波頻段漏波天線模擬實作
- 實驗二:毫米波頻段天線陣列模擬實作
- 實驗三:毫米波頻段高指向天線製作實驗
- 實驗四:毫米波頻段高指向天線場型量測實驗

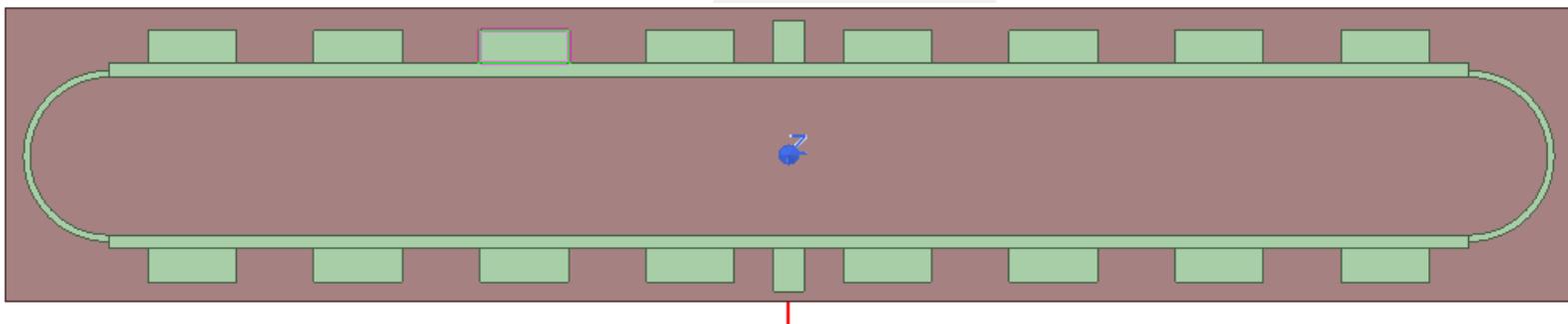
天線設計步驟

● 設計步驟六

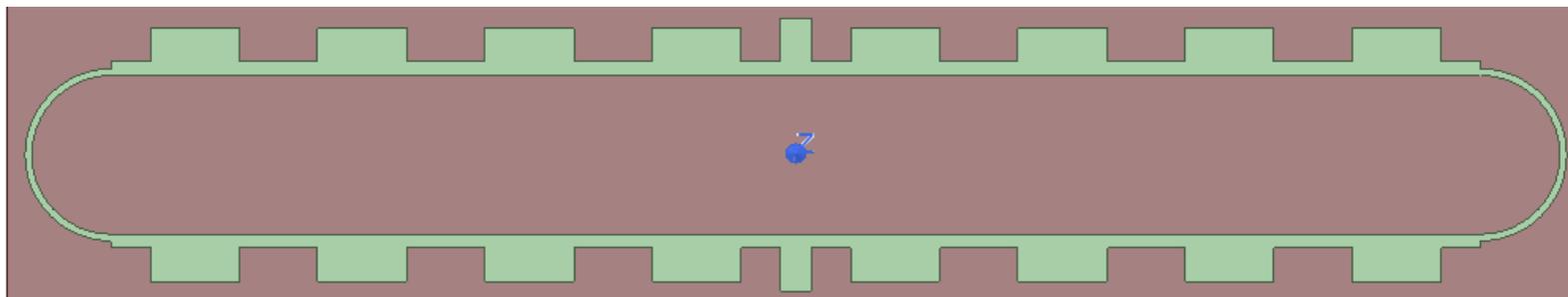
- 利用相同方式另一半的畫出天線結構
- 將天線結構全部選取後，點選



Unite前

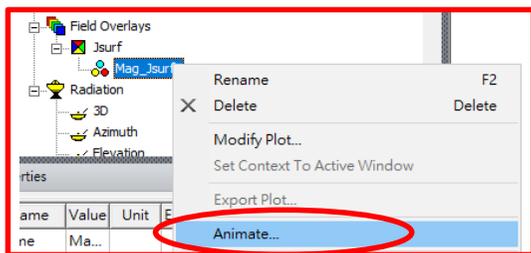


Unite後

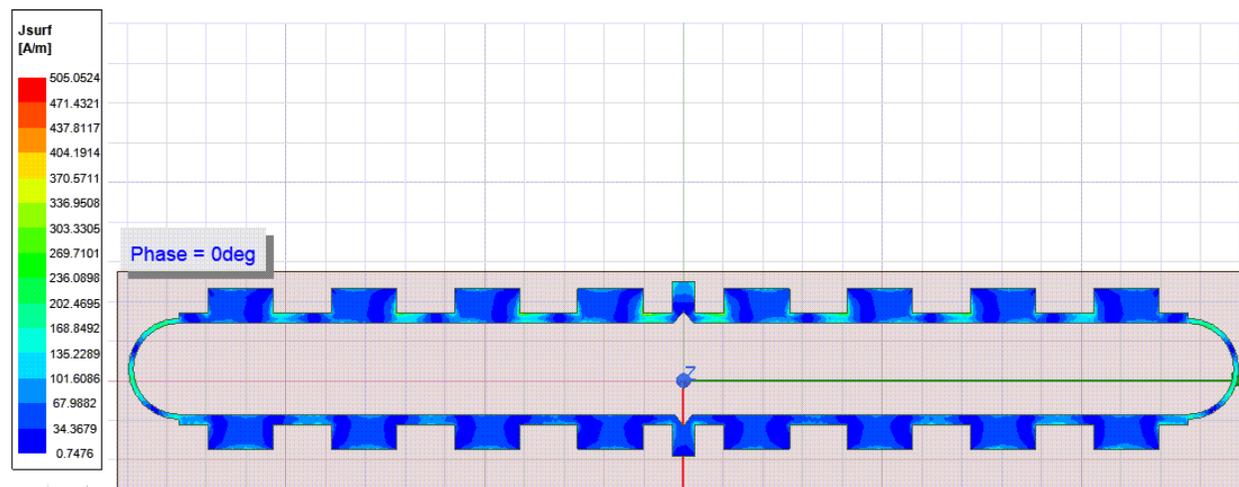
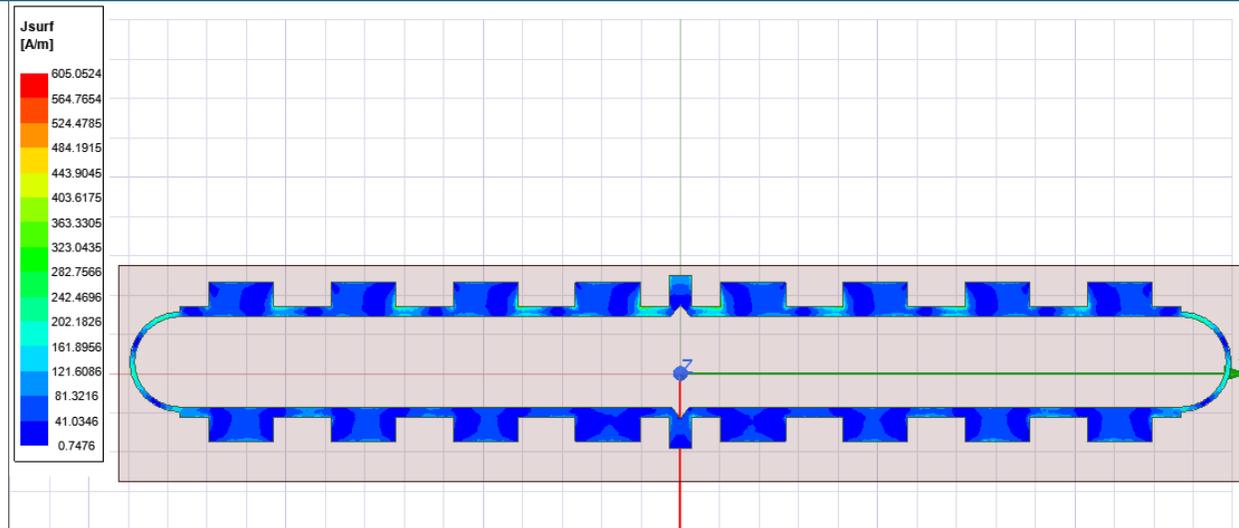


天線模擬結果及討論

- 透過電流圖，可以分析金屬邊界條件上的電流分布，以了解天線的共振機制
- 也可以透過點擊



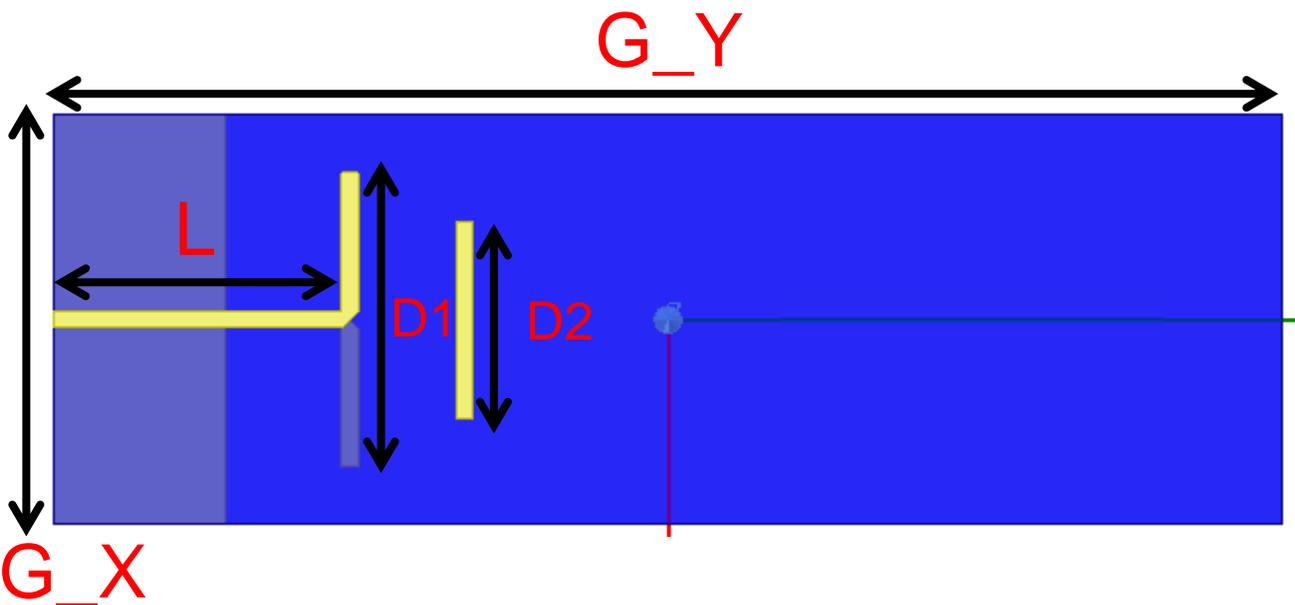
來產生電流分布動畫



單元天線設計

- End-fire Yagi天線設計

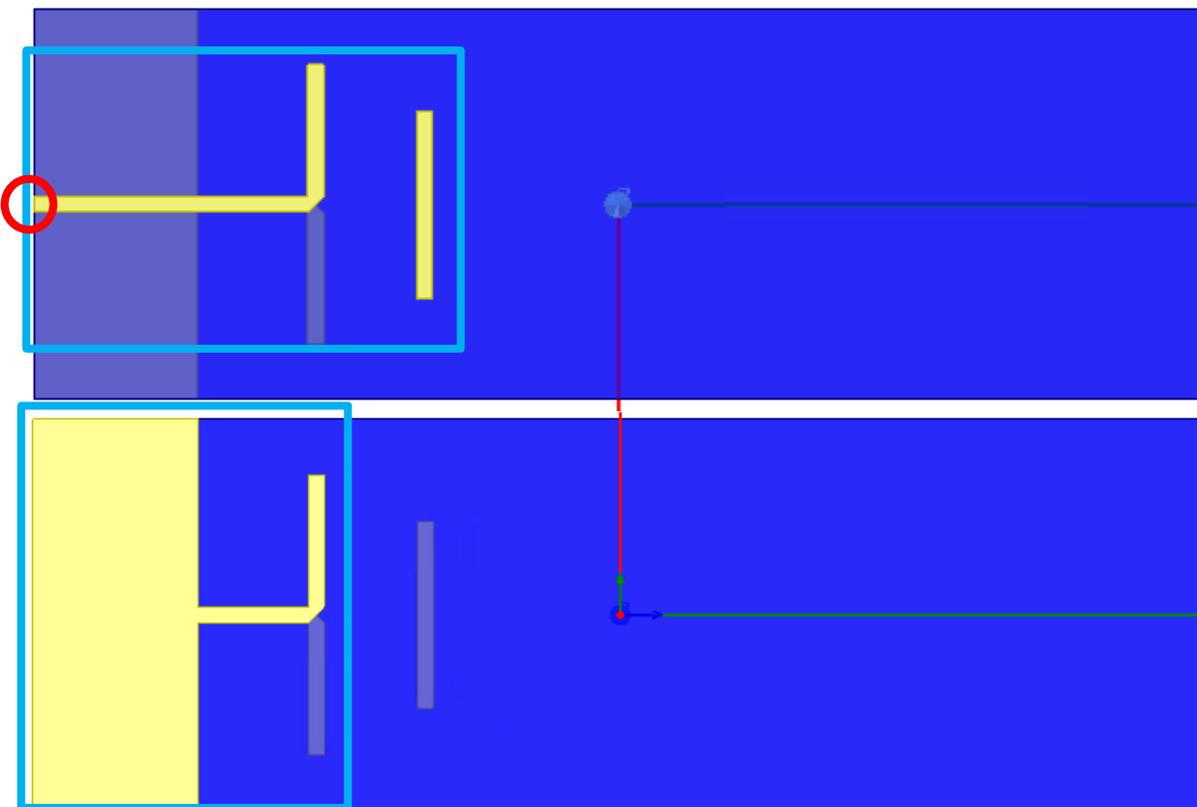
- 依照Table 2的尺寸設計出中心頻率為28 GHz的Yagi 天線



Parameters	Value (mm)
G_X	5.35
G_Y	16
L	3.97
D1	3.83
D2	2.57
Thickness	0.1

單元天線設計

- 設定邊界條件、介電材質、饋入
 - 依照附圖設定材質以及邊界條件



Finite conductivity

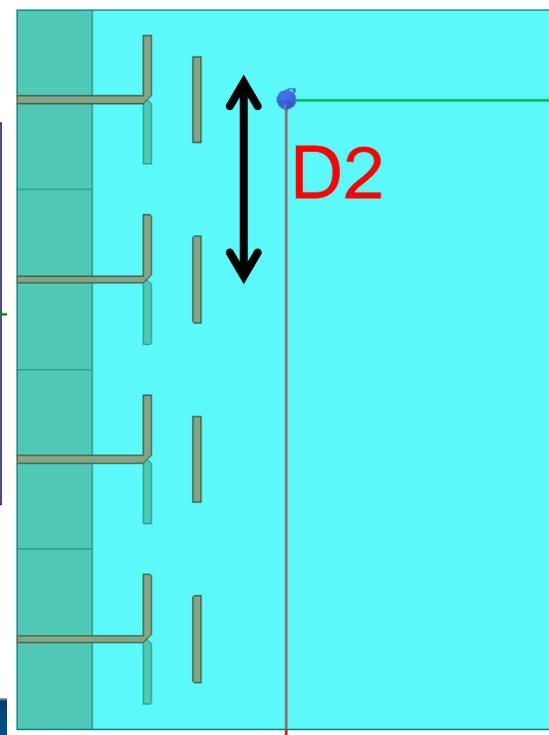
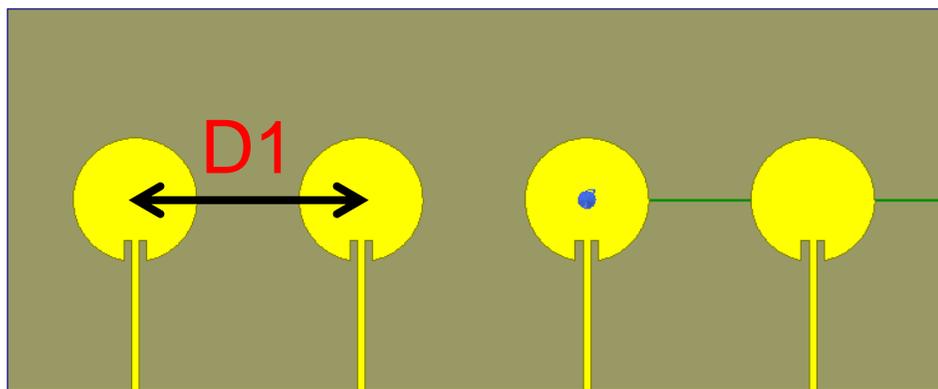
Lump port

FR4 ($\epsilon_r = 4.44$, loss tangent = 0.02)

陣列天線設計

- 繪製陣列天線

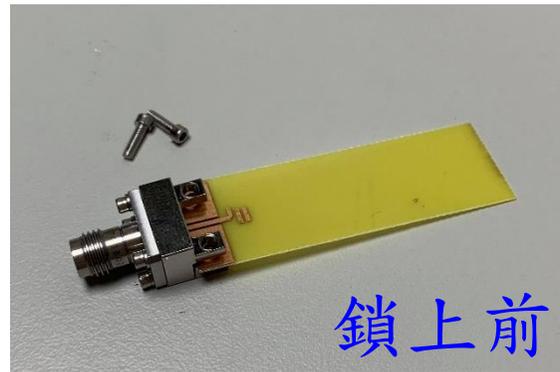
- 將broadside 以及end-fire 天線繪製成1x4天線陣列，如附圖所示
- 注意:複製過後的物件需要再設定材質、邊界條件與饋入



Parameters	Value (mm)
D1	3.83
D2	5.35

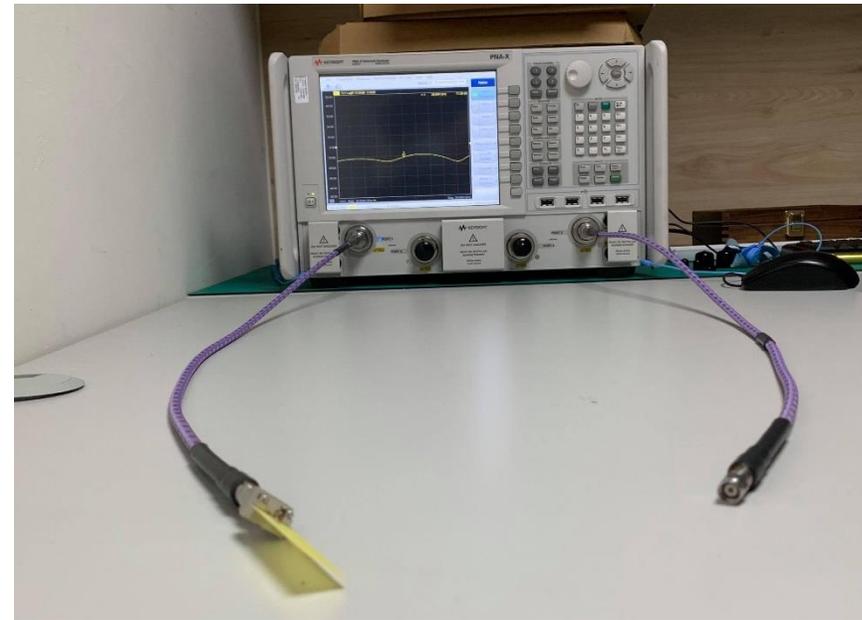
天線匹配量測步驟

- 將天線鎖上End Launch接頭進行量測

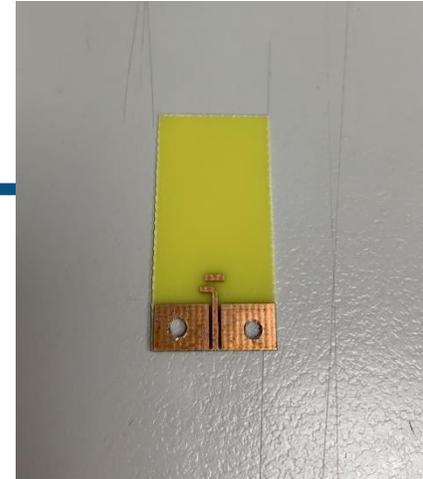


- 將鎖好接頭之天線連接Cable進行S11量測

量測時注意周圍無干擾物，以免量測結果受影響

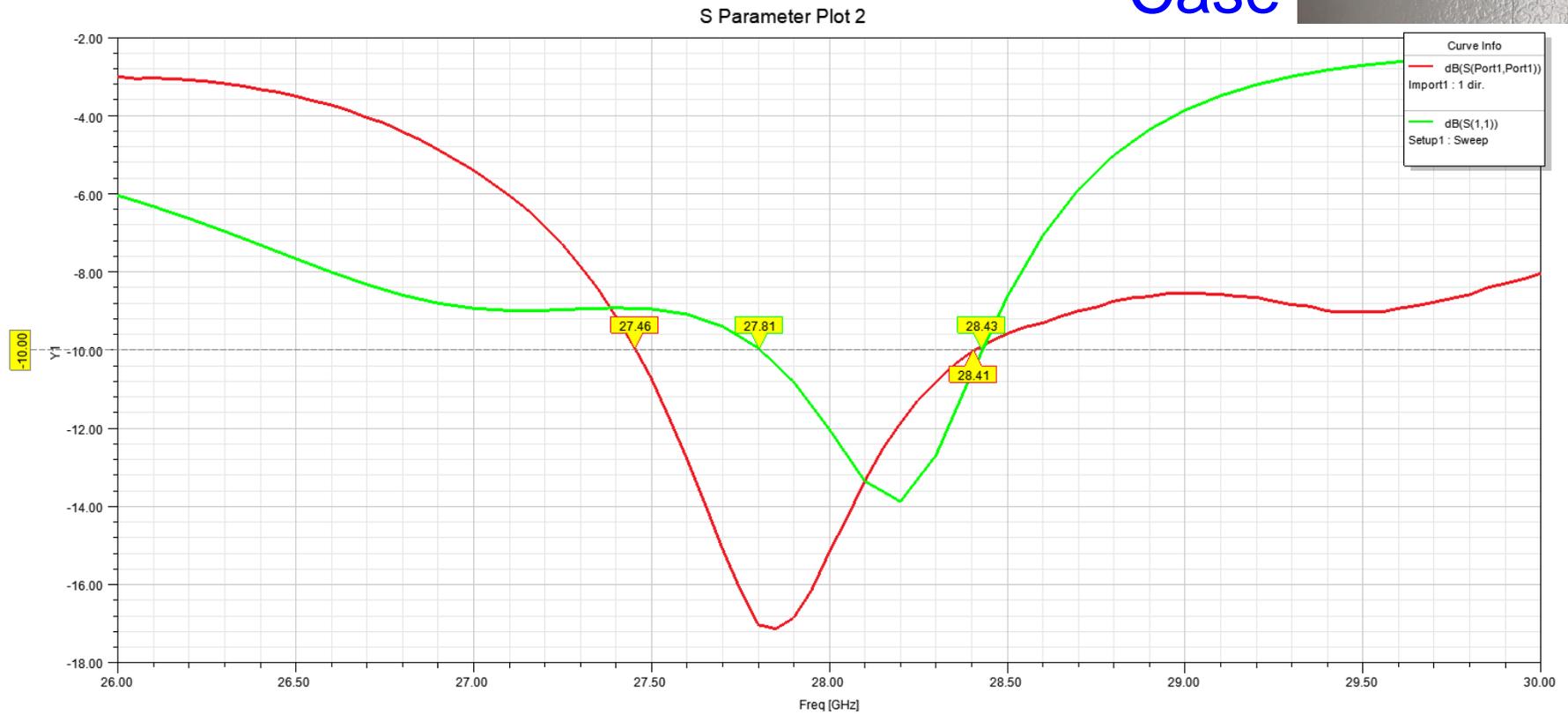


實驗報告項目與討論



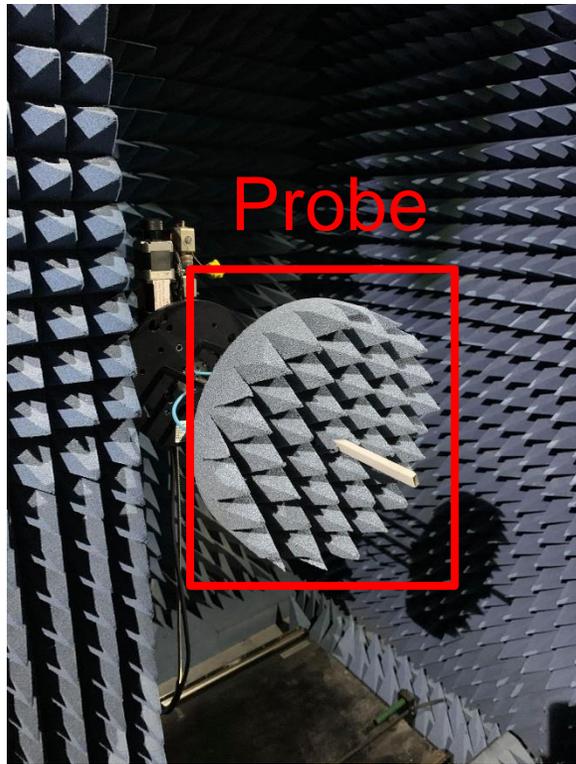
- 出圖結果如下圖所示
- 比較模擬與量測匹配結果

1 director
Case

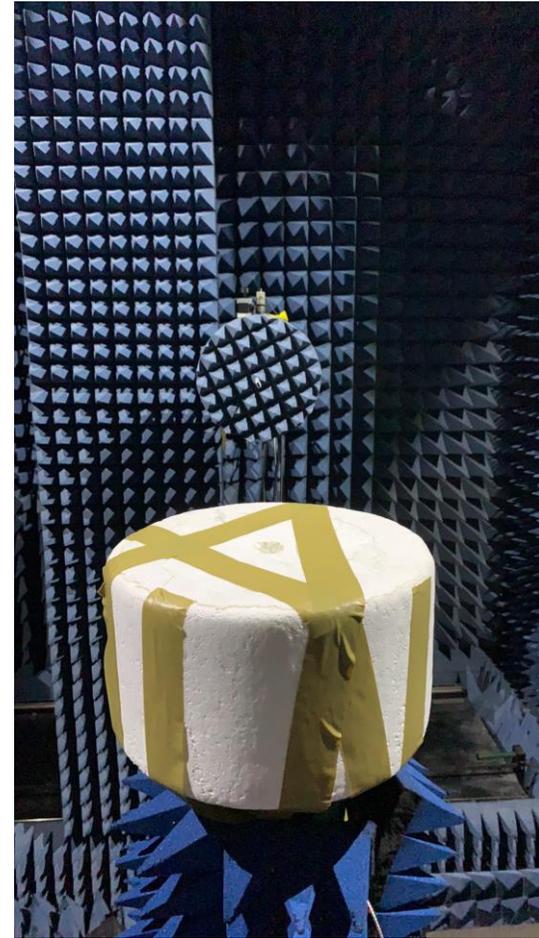


毫米波天線量測場介紹

- 用柱面近場方式量測本28GHz天線
- 所使用到的測量暗房如右圖所示



可改變probe
來改變所要量測的頻率



量測報告項目與討論

- 資料匯出後再利用origin 繪製天線場型圖
 - 因為柱面量測系統硬體關係，最大掃描角度為 ± 60 度

