

第五章 共面波導濾波器量測

5.1. 量測設備

本文製作完成的共面波導低通濾波器，其散射參數(S-parameters)的量測是利用向量網路分析儀進行量測。使用的量測設備是國家奈米元件實驗室的 20 GHz 元件高頻 S 參數量測系統，此儀器型號為 HP 8510C 向量網路分析儀，可以量測頻率範圍為 50 MHz ~ 20 GHz。利用此儀器可以量測待測元件(DUT)的增益、損失、阻抗、駐波比、透射係數和反射係數，圖 5.1 為向量網路分析儀的量測示意圖。

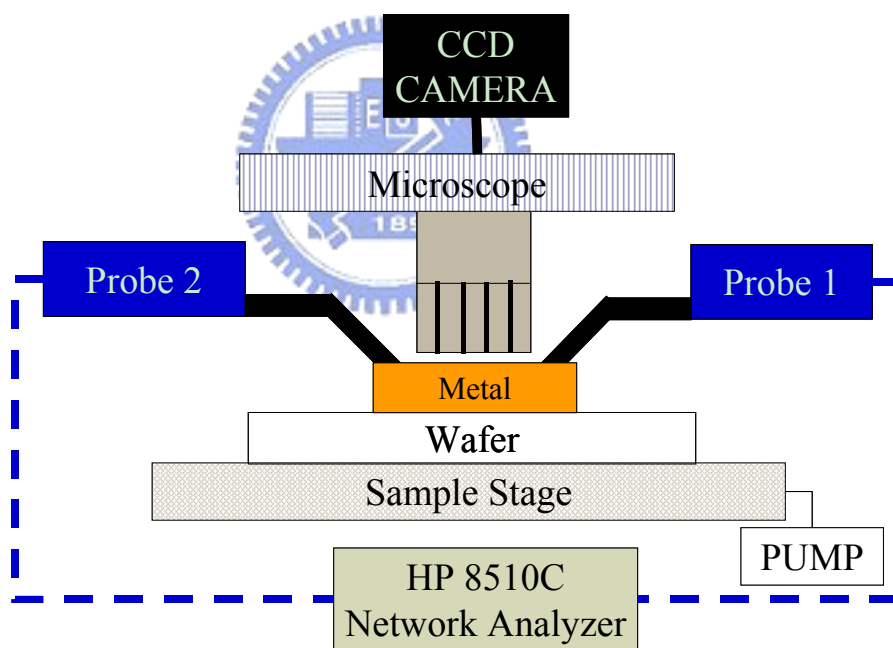


圖 5.1 向量網路分析儀量測示意圖[19]

本文設定向量網路分析儀的量測頻率範圍為 0.2 ~ 20 GHz，元件量測方式是採用 On wafer 量測，使用 GSG (Ground, Signal, Ground)量測探針，其接觸面的最小面積為 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ ，接地線與訊號線探針的間距為 $150 \mu\text{m}$ 。向量網路分析儀在量測元件參數之前，必須進行校正(Calibration)，使量測參考平面位於探針的針尖，向量網路分析儀是根

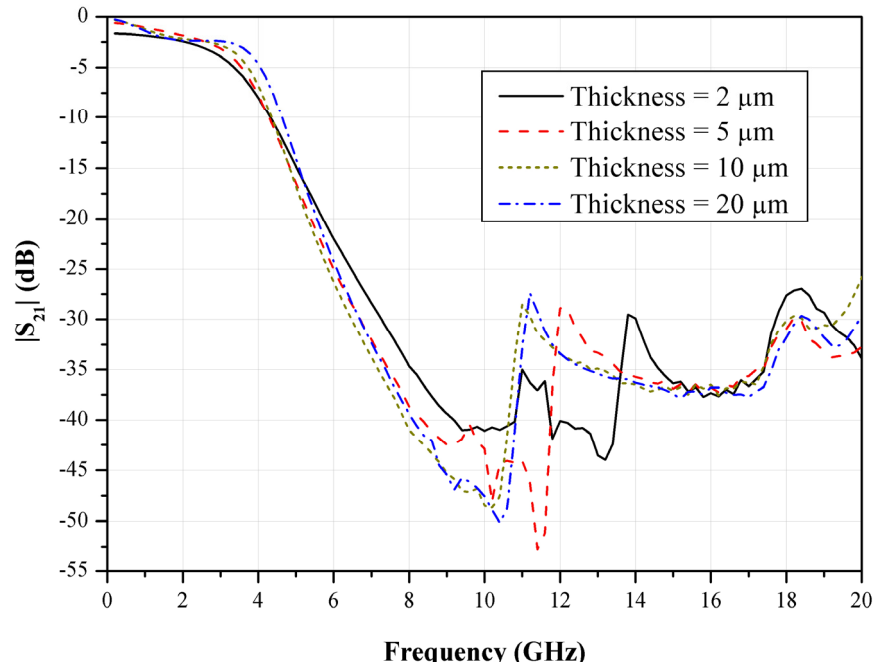
據需要的量測條件進行 SOLT(Short, Open, Load, Thru)校正，使用校正元件為機台上所附標準校正元件。

5.2. 低通濾波器量測結果

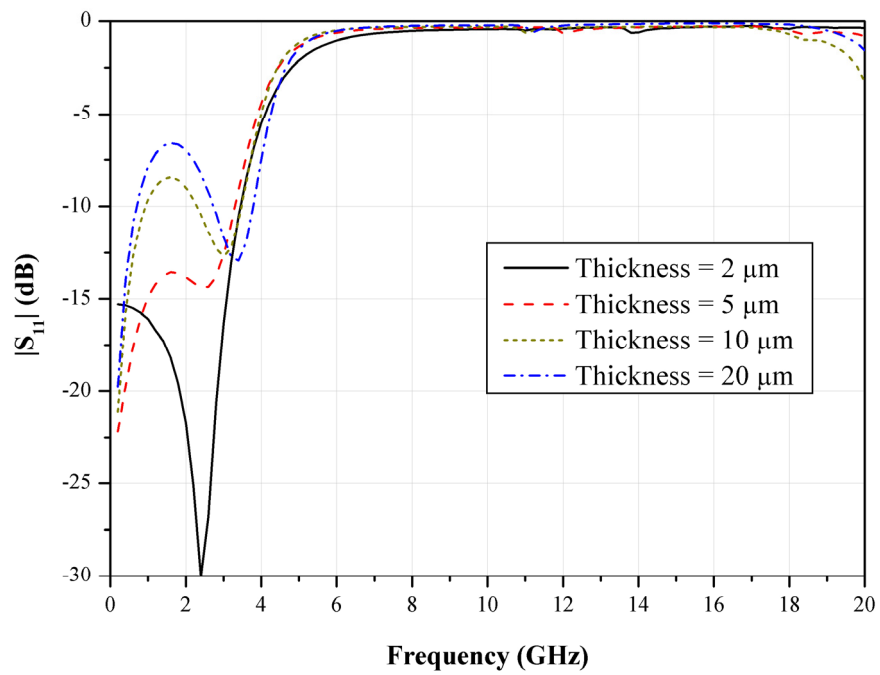
以下將介紹共面波導低通濾波器的量測結果，包括(1)低通濾波器在不同金屬厚度的散射參數量測值，(2)改變濾波器 Meander 尺寸的散射參數量測值，(3)串聯低通濾波器的散射參數量測值。另一方面，本文使用不同電流密度的電鍍製程條件，因此將比較在不同電流密度的製程條件，低通濾波器的散射參數量測結果。

5.2.1. 不同金屬厚度的量測結果

圖 5.2 為 2 ASD 電流密度，Meander 結構長度(L_m)為 600 μm ，金屬厚度分別為 2 μm 、5 μm 、10 μm 和 20 μm 的量測結果。由量測結果可知金屬厚度對濾波器的截止頻率有影響。圖 5.3 為低通濾波器在不同金屬厚度的截止頻率，濾波器的線路結構隨著金屬厚度增加，其截止頻率會往高頻偏移，同時也會造成通帶區反射損失 $|S_{11}|$ 增加，造成較大的反射能量損失，量測結果顯示通帶區的插入損失(Insertion loss)大於 1 dB。以 -30dB 為止帶標準，此共面波導低通濾波器的止帶頻寬為 3.8GHz。



(a)



(b)

圖 5.2 電流密度為 2 ASD, 金屬厚度分別為 2 μm 、5 μm 、10 μm 及 20 μm 的量測值, (a) $|S_{21}|$,
(b) $|S_{11}|$

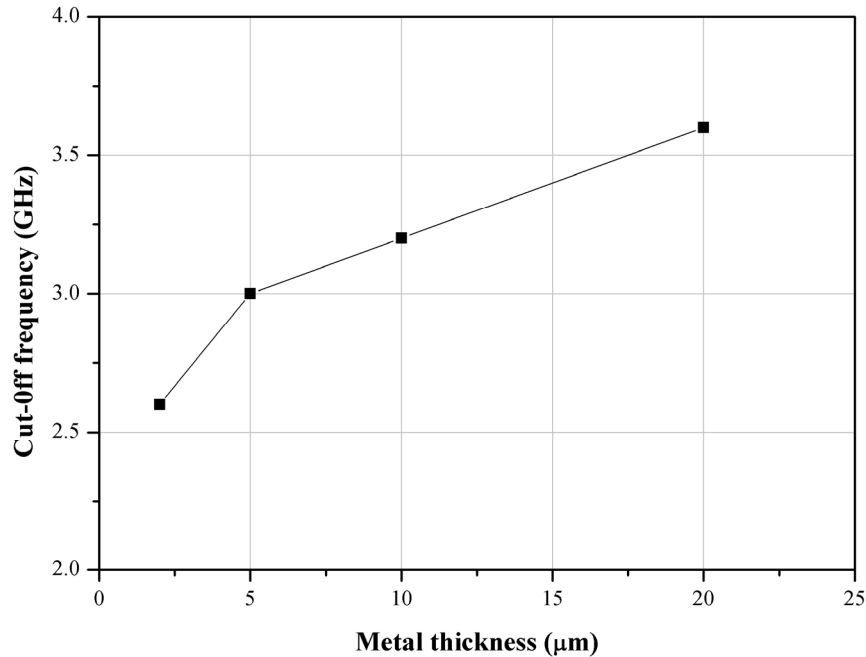


圖 5.3 電流密度為 2 ASD，金屬厚度分別為 2 μm 、5 μm 、10 μm 及 20 μm 的濾波器截止頻率

5.2.2. 不同 Meander 尺寸的量測結果

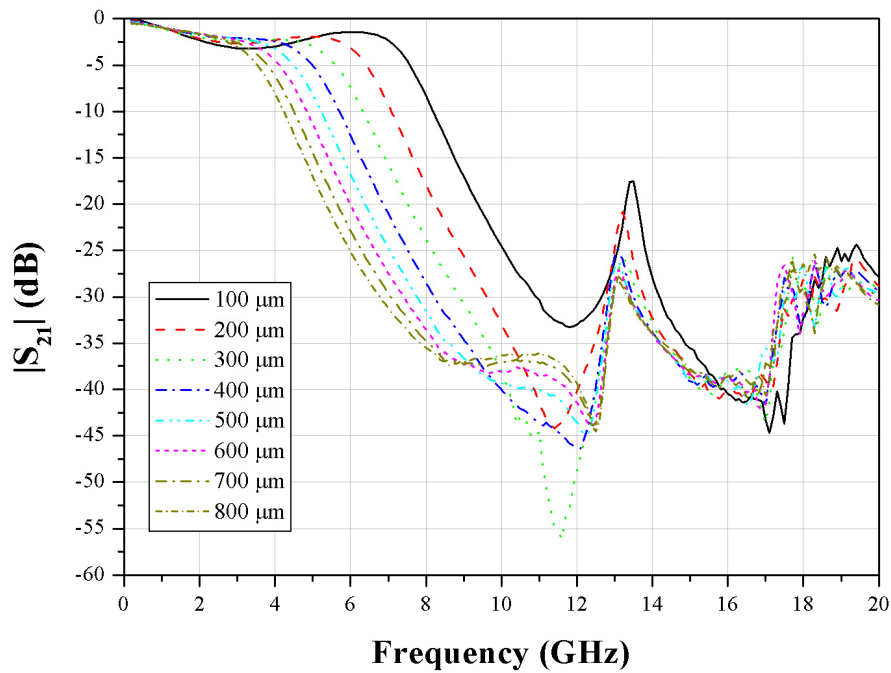
圖 5.4、圖 5.5 和圖 5.6 為 1 ASD 電流密度，金屬厚度分別為 5 μm 、10 μm 、20 μm ，改變濾波器 Meander 長度(L_m)尺寸的量測結果。量測結果顯示改變 Meander 長度(L_m)尺寸可以調整低通濾波器的截止頻率。由第四章製程結果知道在 1 ASD 電流密度，因為線路結構的深寬比效應造成離子沉積速率不相同，所以低深寬比區域的金屬厚度大於高深寬比區域，由於金屬厚度不均勻，在不連續截面產生額外的寄生電感與電容效應，所以圖 5.6(a)顯示金屬厚度在 20 μm 的濾波器量測值，其通帶區的插入損失大於 3 dB。

圖 5.7 為 1 ASD 電流密度，金屬厚度為 5 μm 和 10 μm ，不同 Meander 長度(L_m)尺寸的濾波器截止頻率，隨著 Meander 長度(L_m)縮短，則濾波器截止頻率往高頻偏移，當金屬厚度為 5 μm 時，截止頻率的變化範圍為 3~7 GHz，當金屬厚度為 10 μm 時，截止頻率的變化範圍為 3.2~10.5 GHz。

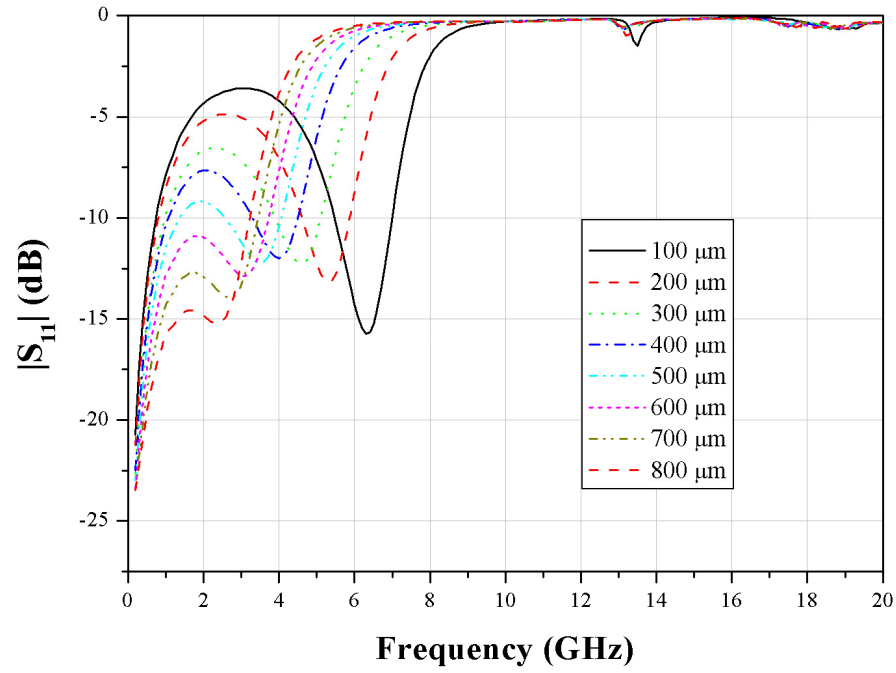
圖 5.8 為 3 ASD 電流密度，金屬厚度為 10 μm ，改變濾波器 Meander 長度(L_m)尺寸的量測結果。圖 5.9 為 3 ASD 電流密度，金屬厚度為 10 μm ，不同 Meander 長度(L_m)尺

寸的濾波器截止頻率，截止頻率的變化範圍為 4~9 GHz。圖 5.10 為 4 ASD 電流密度，金屬厚度為 5 μm ，改變濾波器 Meander 長度(L_m)尺寸的量測結果。圖 5.11 為 4 ASD 電流密度，金屬厚度為 5 μm ，不同 Meander 長度(L_m)尺寸的濾波器截止頻率，截止頻率的變化範圍為 3~7.5 GHz。

除了調整 Meander 長度(L_m)尺寸可以改變截止頻率，觀察上述的量測結果可知在不同電流密度的電鍍製程條件，濾波器元件會因為不同的金屬厚度和材料性質，如表面粗糙度和導電率，導致濾波器元件特性會有差異，在 5.3 節將會比較在不同電流密度條件，電鍍製作的共面波導濾波器，其量測與模擬結果的差異，藉以找出最佳的電流密度製程條件。

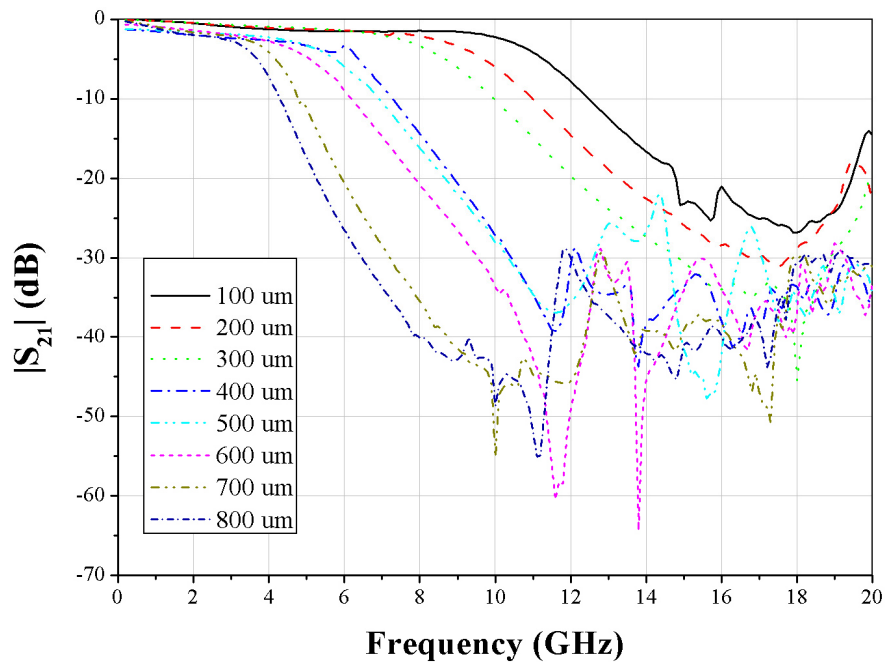


(a)

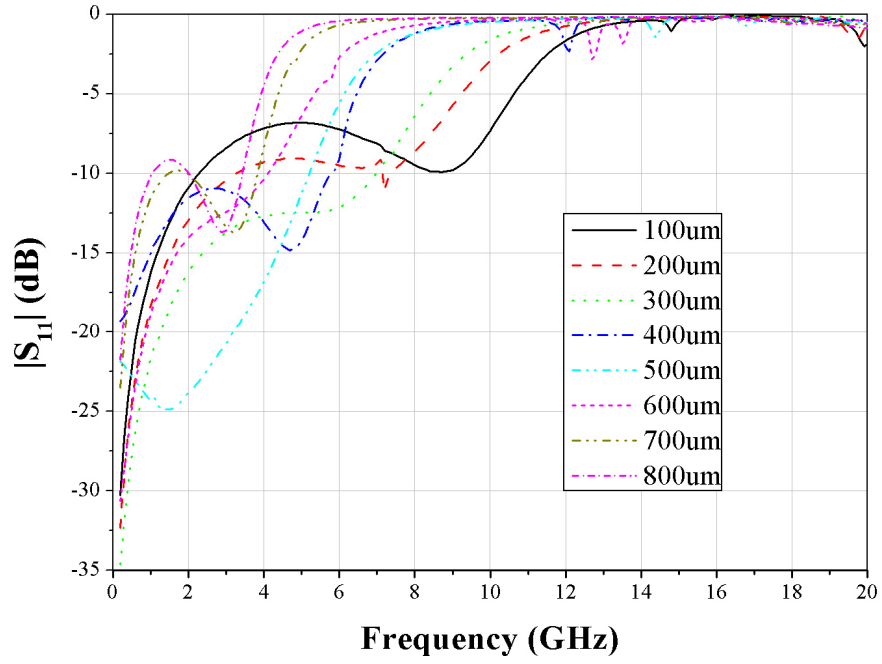


(b)

圖 5.4 電流密度為 1 ASD，金屬厚度為 $5\mu\text{m}$ ，Meander 結構在不同長度(L_m)尺寸的量測值，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$

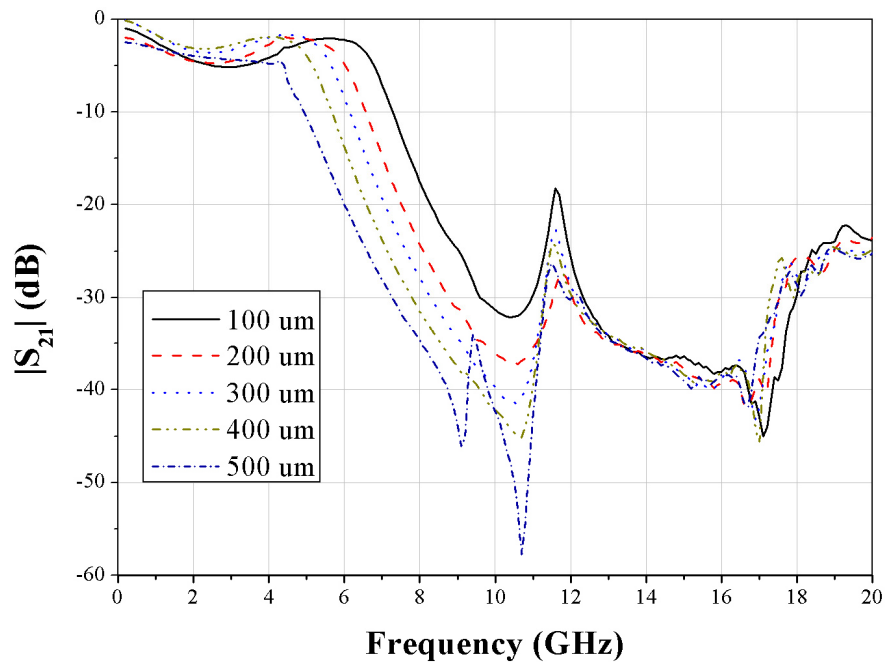


(a)

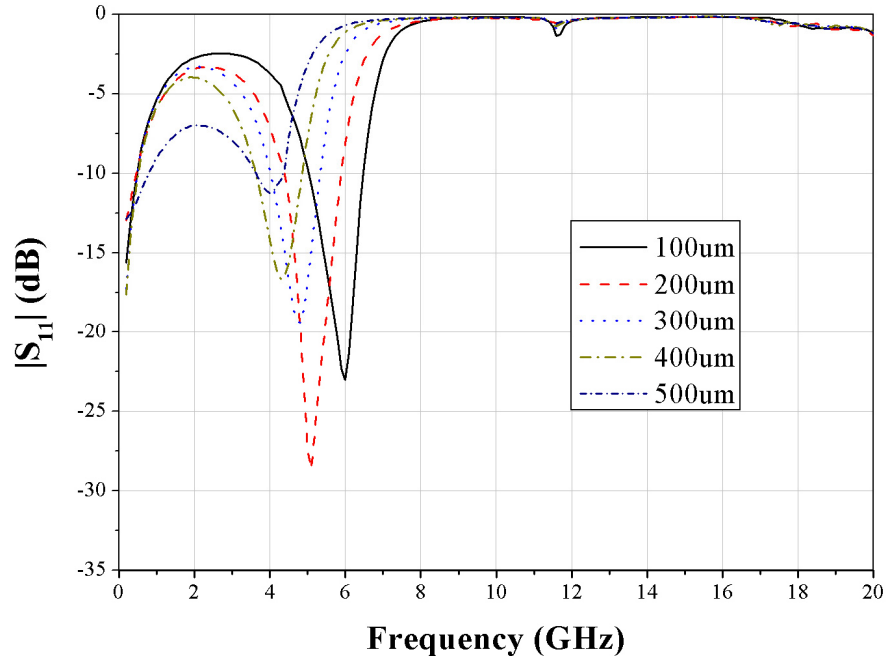


(b)

圖 5.5 電流密度為 1 ASD，金屬厚度為 10 μ m，Meander 結構在不同長度(L_m)尺寸的量測值，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$



(a)



(b)

圖 5.6 電流密度為 1 ASD，金屬厚度為 20μm，Meander 結構在不同長度(L_m)尺寸的量測值，(a) |S₂₁|，(b) |S₁₁|

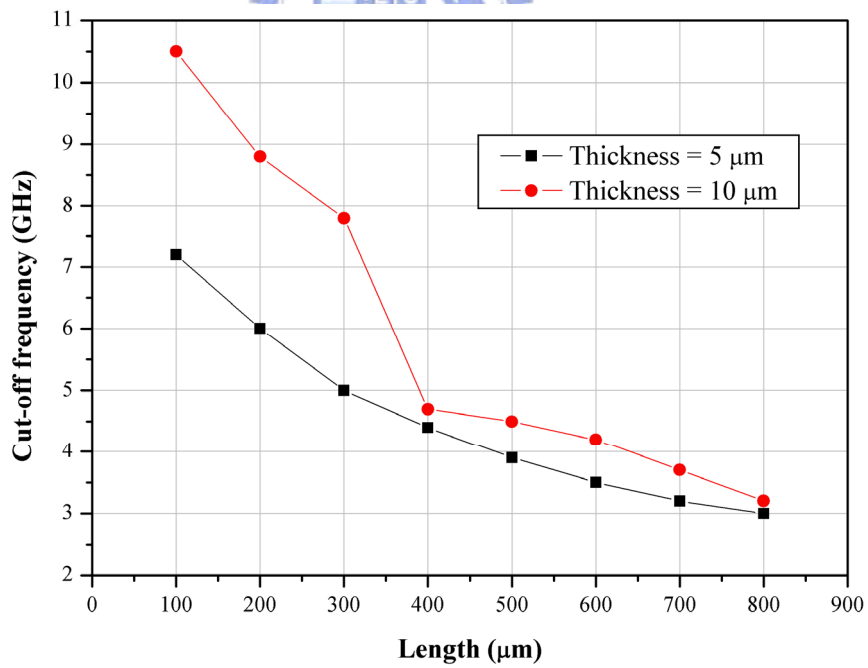
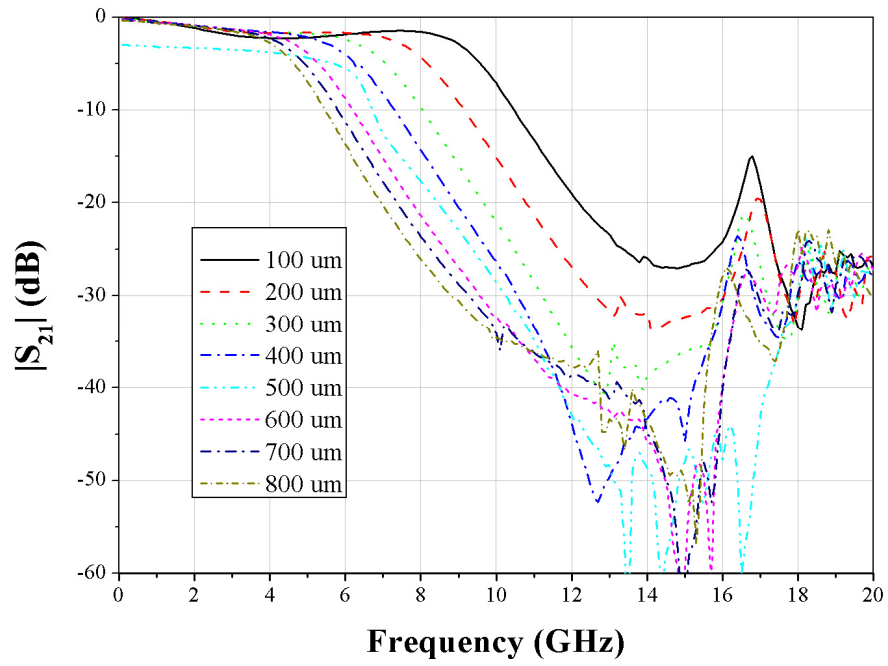
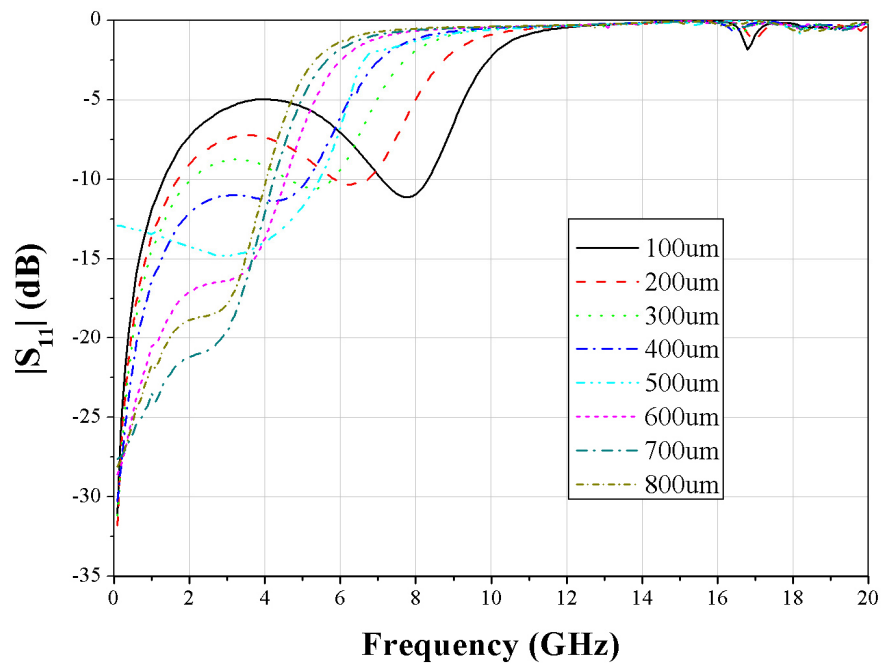


圖 5.7 電流密度為 1 ASD，金屬厚度分別為 5μm 和 10μm，不同 Meander 長度(L_m)尺寸的濾波器截止頻率



(a)



(b)

圖 5.8 電流密度為 3 ASD，金屬厚度為 $10\mu\text{m}$ ，Meander 結構在不同長度(L_m)尺寸的量測值，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$

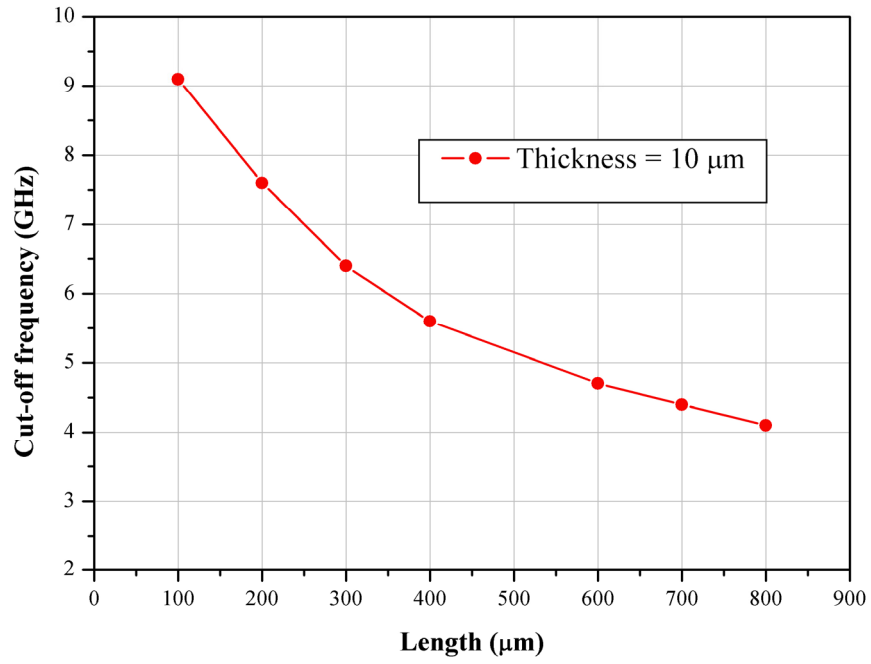
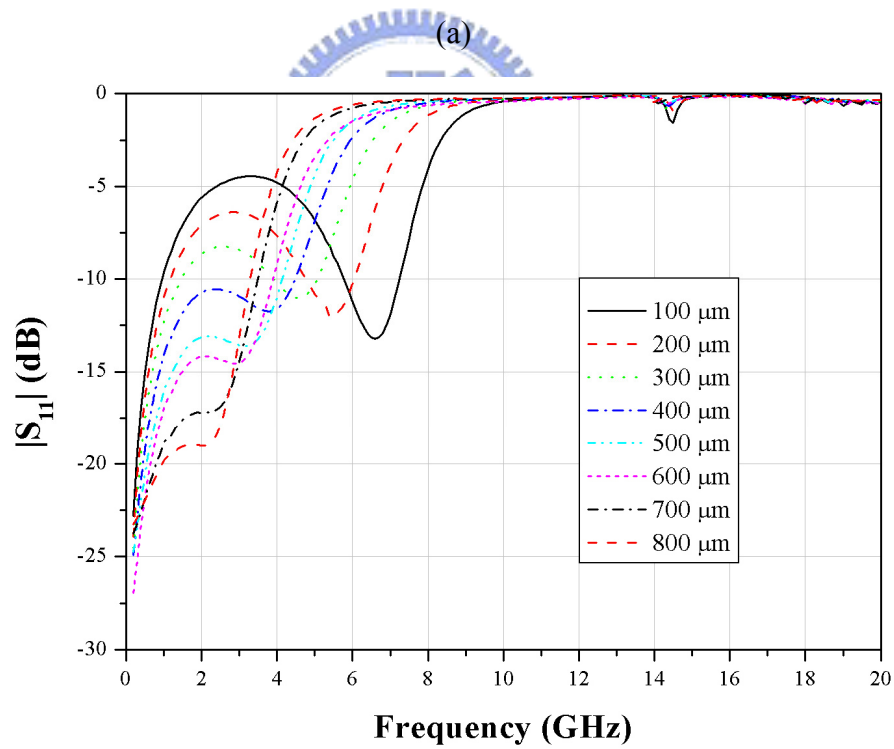
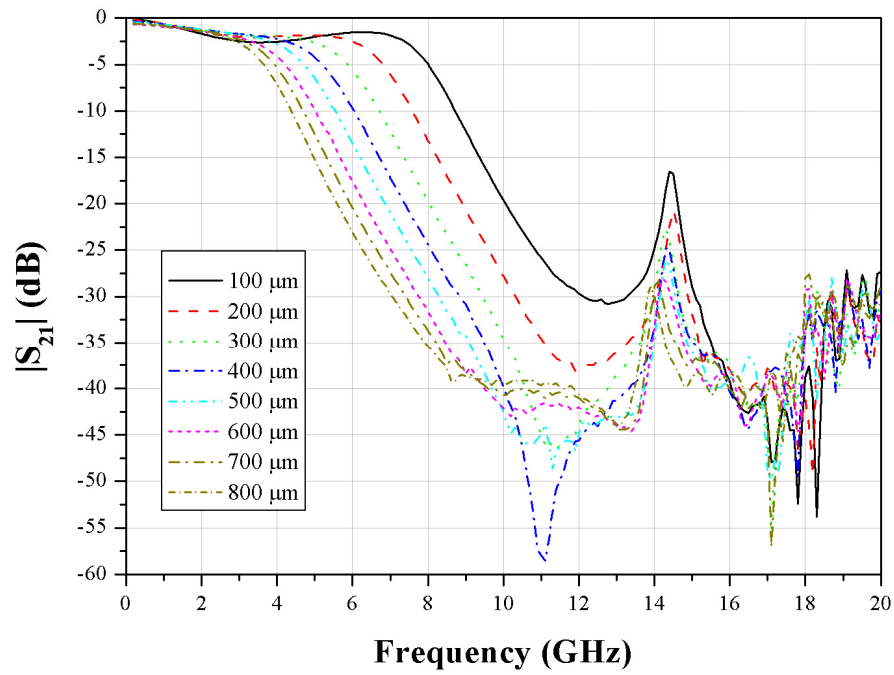


圖 5.9 電流密度為 3 ASD，金屬厚度為 10μm，不同 Meander 長度(L_m)尺寸的濾波器截止頻率





(b)

圖 5.10 電流密度為 4 ASD，金屬厚度為 5 μm ，Meander 結構在不同長度(L_m)尺寸的量測值，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$

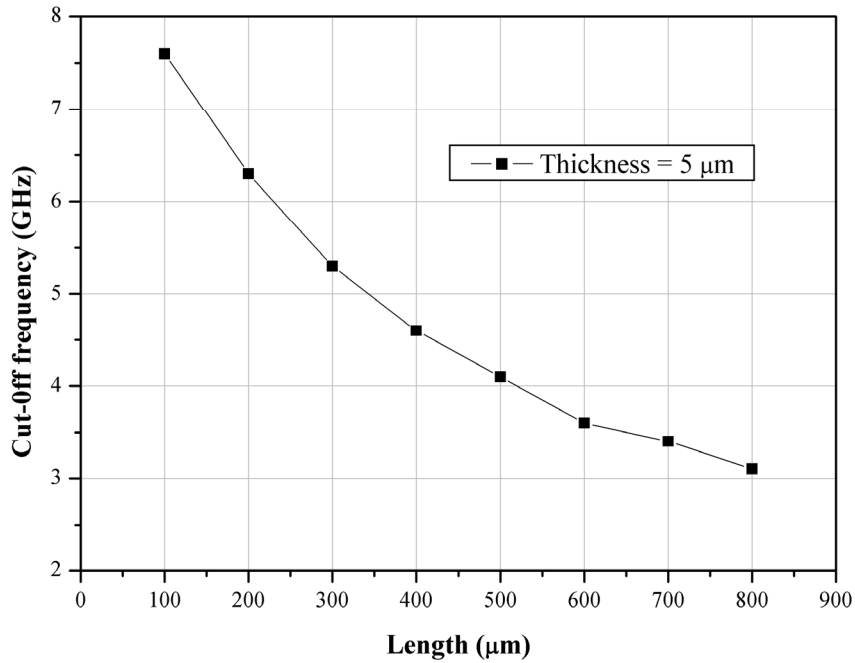


圖 5.11 電流密度為 4 ASD，金屬厚度為 5 μm ，不同 Meander 長度(L_m)尺寸的濾波器截止頻率

5.2.3. 串聯結構的量測結果

經由第四章的 SEM 照片知道電流密度為 2 ASD 的電鍍條件，可以電鍍平整度較好的表面輪廓，所以串聯結構低通濾波器試片的電流密度設定為 2 ASD，另外為了解決 BOE 溶液蝕刻鈦金屬造成電鍍結構和石英基板分離的問題，所以使用反應離子式蝕刻鈦金屬，使用此製程蝕刻鈦金屬後，電鍍結構並不會和石英基板分離。但是蝕刻氣體 CF_4 和電鍍銅反應後，在銅表面產生氟化銅薄膜，氟化銅薄膜的電阻值大於銅，所以會對濾波器的特性造成影響。

圖 5.12 和圖 5.13 為 2 ASD 電流密度，Meander 結構長度(L_m)為 600 μm ，金屬厚度分別為 5 μm 和 15 μm ，串聯兩個低通濾波器的量測結果。由於氟化銅薄膜造成金屬表面電阻值變大，因此造成通帶區的插入損失大於 1 dB，金屬厚度為 5 μm 的濾波器截止頻率為 0.6 GHz，金屬厚度為 15 μm 的濾波器截止頻率為 1.9 GHz。若以 -30dB 為止帶標準，金屬厚度為 15 μm 的串聯結構低通濾波器，其止帶區的頻寬為 2.9GHz。經由和單一低通濾波器止帶區的頻寬比較，串聯兩個低通濾波器的線路結構的確可以增加訊號在止帶區

的衰減速率。

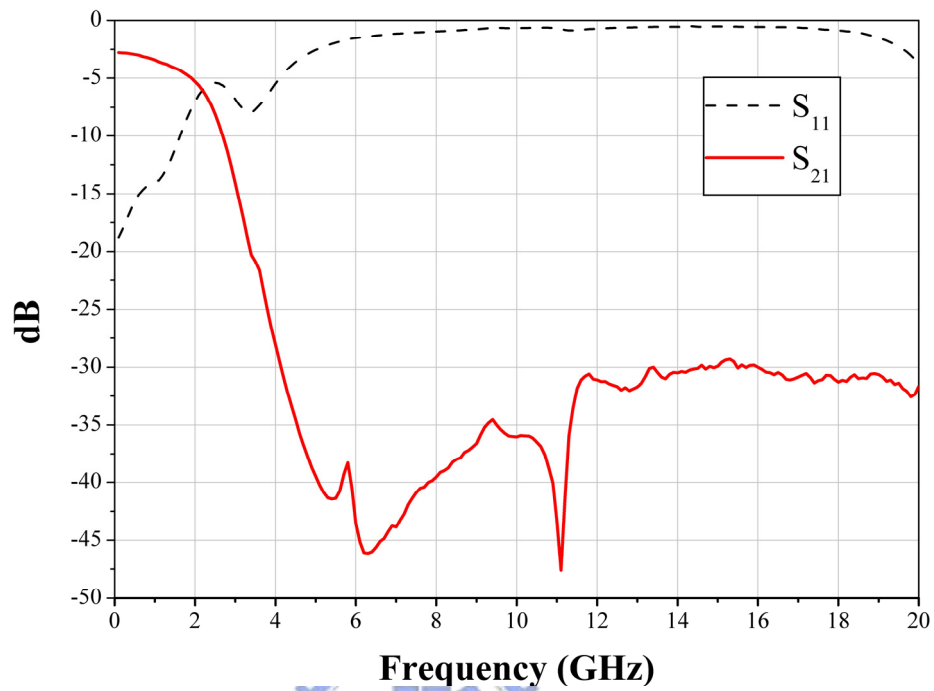


圖 5.12 電流密度為 2 ASD，金屬厚度為 $5\mu\text{m}$ ，串聯低通濾波器結構量測結果

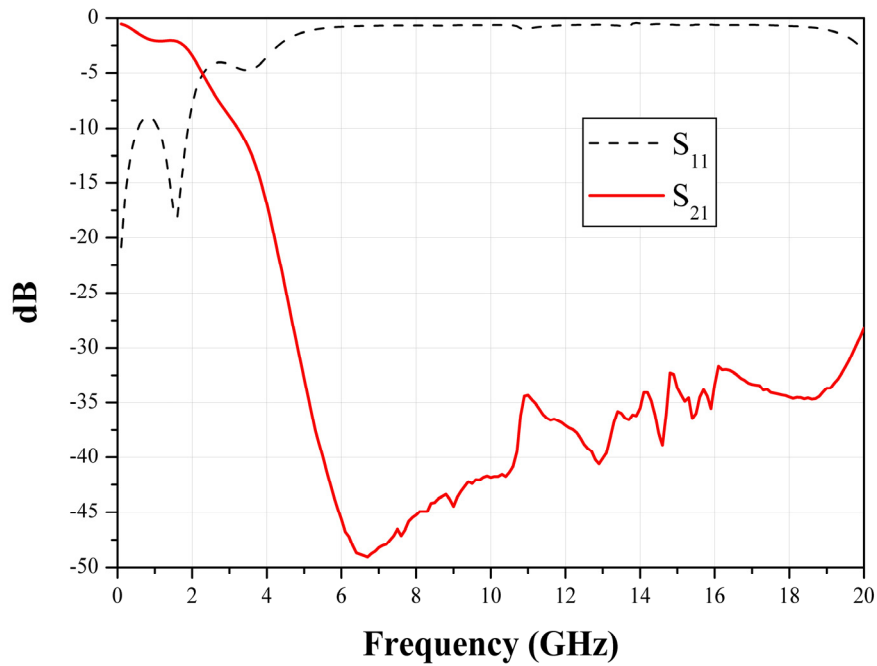


圖 5.13 電流密度為 2 ASD，金屬厚度為 $15\mu\text{m}$ ，串聯低通濾波器結構量測結果

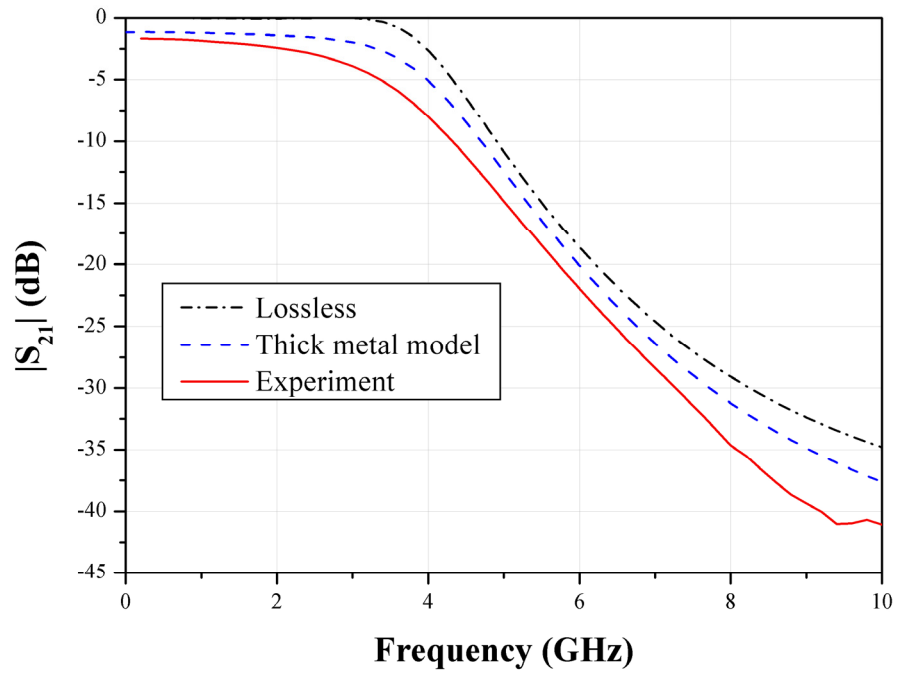
5.3. 不同金屬厚度的濾波器量測與模擬結果比較

圖 5.14、圖 5.15、圖 5.16 和圖 5.17 為 2ASD 電流密度，Meander 結構長度(L_m)為 $600\mu\text{m}$ ，金屬厚度分別為 $2\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 和 $20\mu\text{m}$ 的量測與模擬結果比較。由比較結果可知量測與模擬結果有誤差，而產生誤差的主要原因是實際濾波器元件和模擬模型在結構幾何尺寸與材料性質的差異，因為微影製程的繞射效應和電鍍金屬的表面輪廓難以精確控制，所以最後量測元件的幾何形狀會有尺寸誤差，如圖 4.14 所示，而且電鍍銅的導電率會因為不同電流密度條件而有差異，所以實際金屬的導電率與軟體設定值不相同，如表 4.3 所示，所以造成量測和模擬結果有誤差。

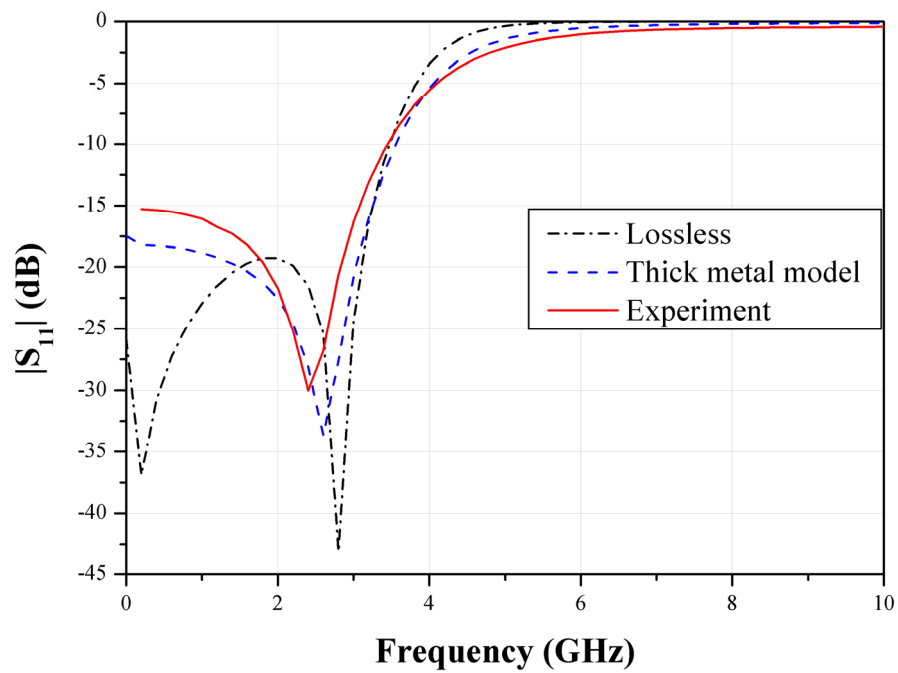
圖 5.18 和圖 5.19 分別是電流密度為 1 ASD，Meander 長度(L_m)為 $600\mu\text{m}$ ，金屬厚度分別為 $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 的量測值與模擬結果比較。比較結果可以知道金屬厚度為 $5\mu\text{m}$ 的濾波器量測與模擬趨勢符合，但是金屬厚度為 $10\mu\text{m}$ 的濾波器量測和模擬結果確有很大的誤差，原因是此試片在蝕刻鈦金屬後，濾波器的部份 Interdigital 結構與石英基板分離，如圖 4.15(b)所示，所以造成量測特性未符合模擬結果。

圖 5.20 為 3 ASD 電流密度，Meander 結構長度(L_m)為 $600\mu\text{m}$ ，金屬厚度為 $10\mu\text{m}$ 的量測值與模擬結果比較。此片試片同樣也是因為蝕刻鈦金屬後，濾波器的部份 Interdigital 結構與石英基板分離，所以量測的截止頻率和模擬值有誤差。圖 5.21 為 4ASD 電流密度，Meander 結構長度(L_m)為 $600\mu\text{m}$ ，金屬厚度為 $5\mu\text{m}$ 的量測值與模擬結果比較。量測結果顯示此電流密度條件，濾波器特性的量測與模擬結果很符合。

由以上模擬與量測結果比較可知影響濾波器元件特性的因素包括：(1)線路結構的厚度均勻性、(2)結構表面輪廓與(3)電鍍結構與基板的附著性是否良好。



(a)



(b)

圖 5.14 電流密度為 2 ASD，金屬厚度為 $2\mu\text{m}$ 的量測與模擬結果比較，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$

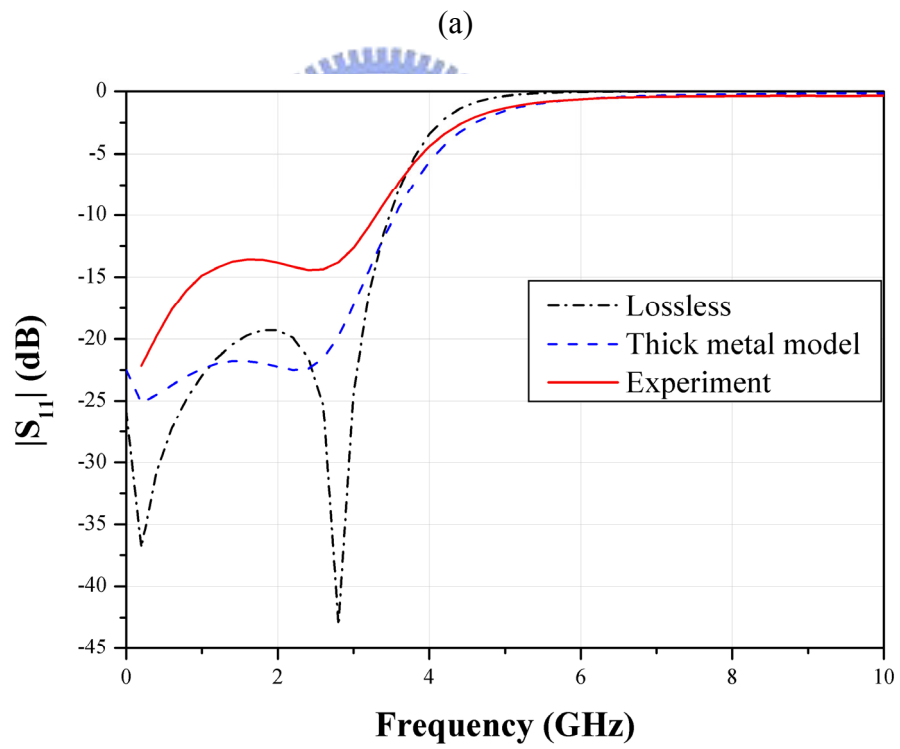
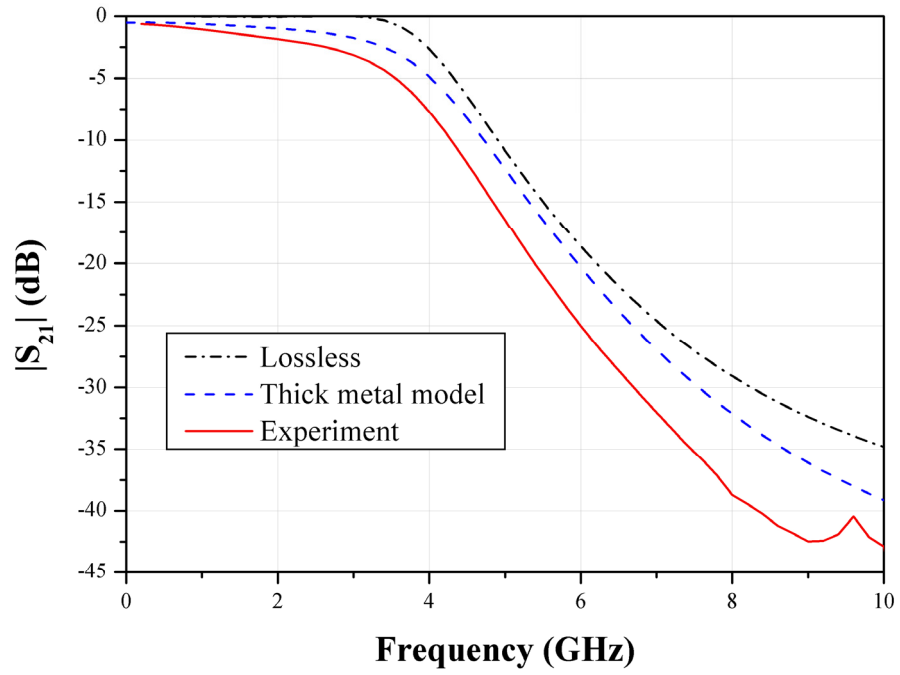
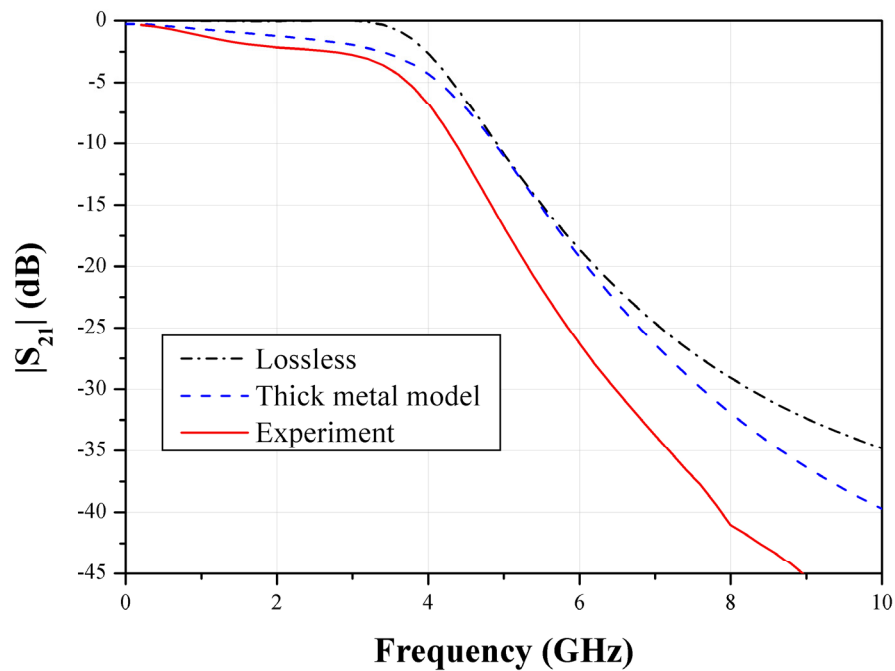
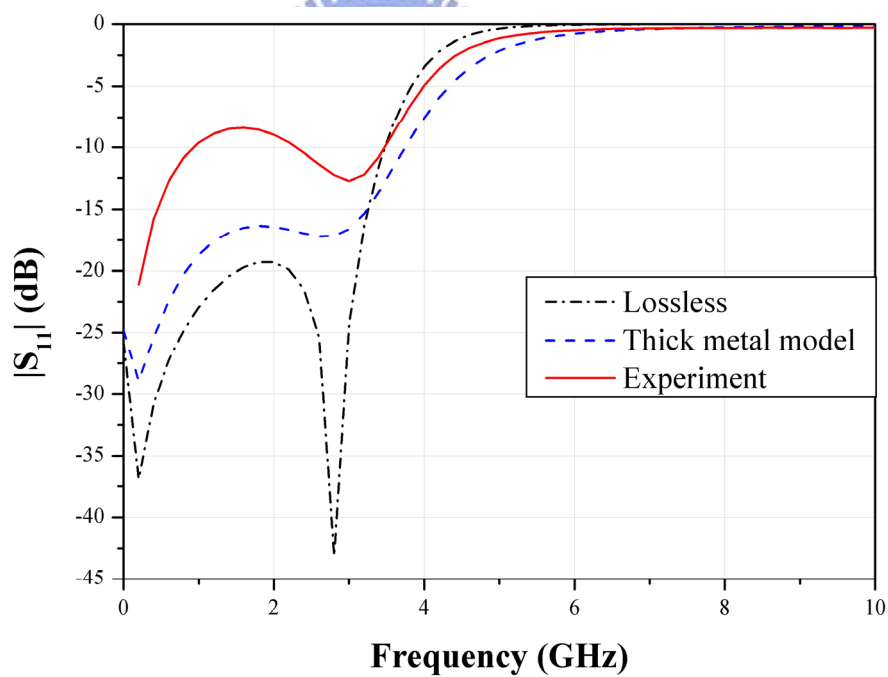


圖 5.15 電流密度為 2 ASD，金屬厚度為 $5\mu\text{m}$ 的量測與模擬結果比較，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$

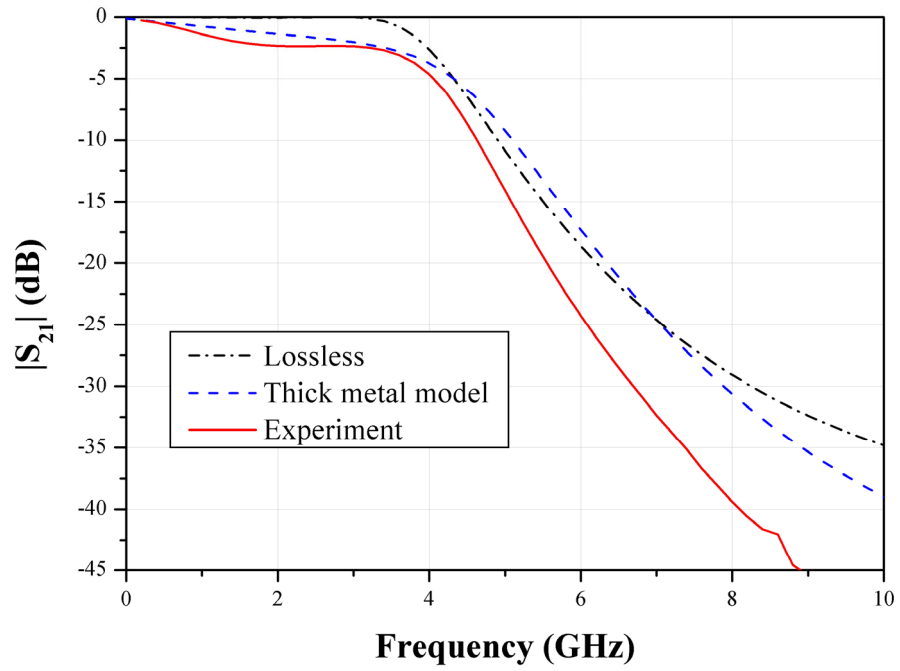


(a)

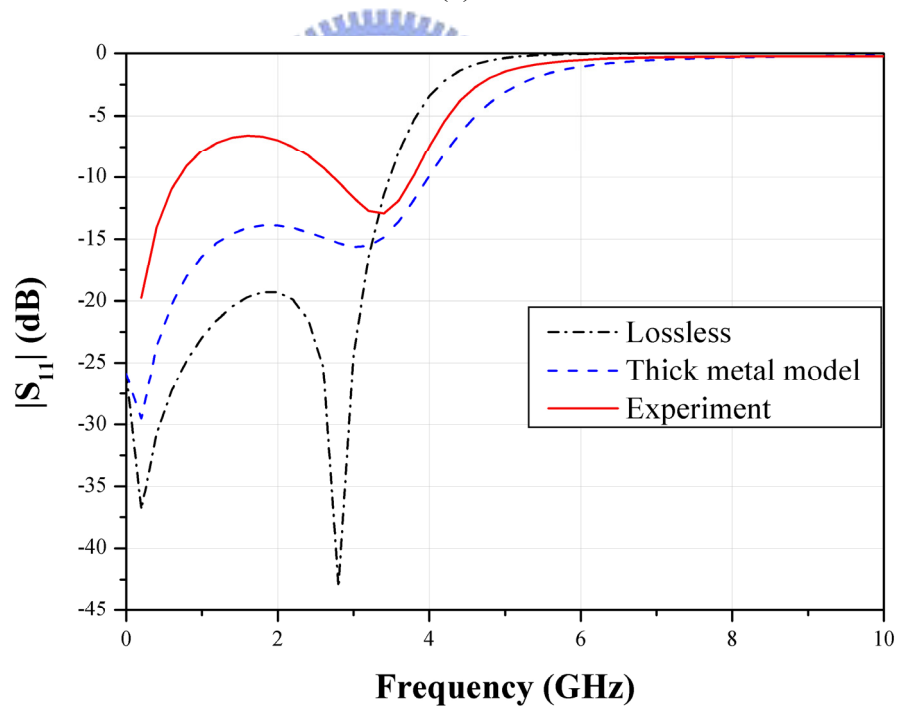


(b)

圖 5.16 電流密度為 2 ASD，金屬厚度為 10 μ m 的量測與模擬結果比較，(a) |S₂₁|，(b) |S₁₁|

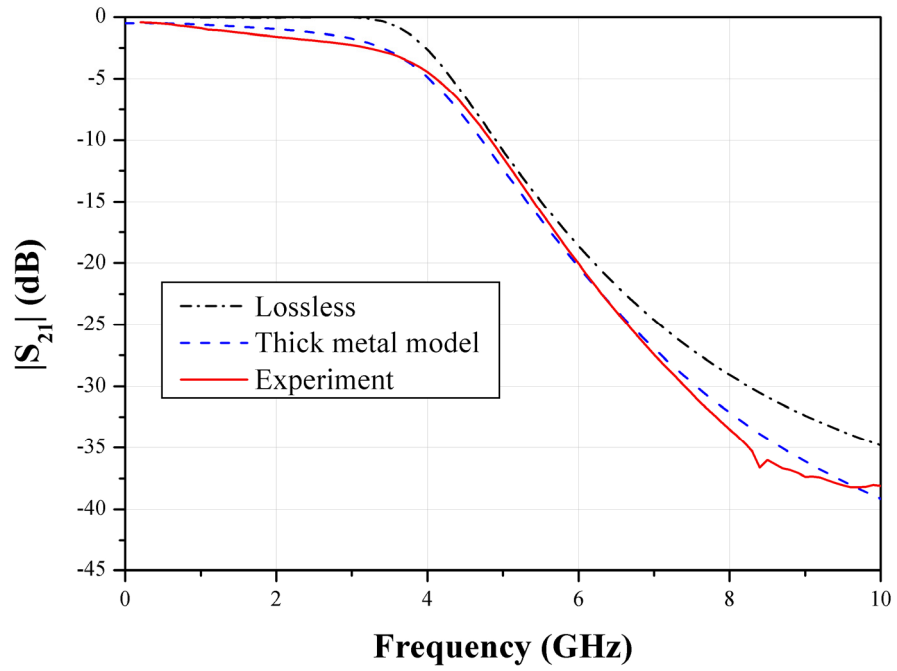


(a)

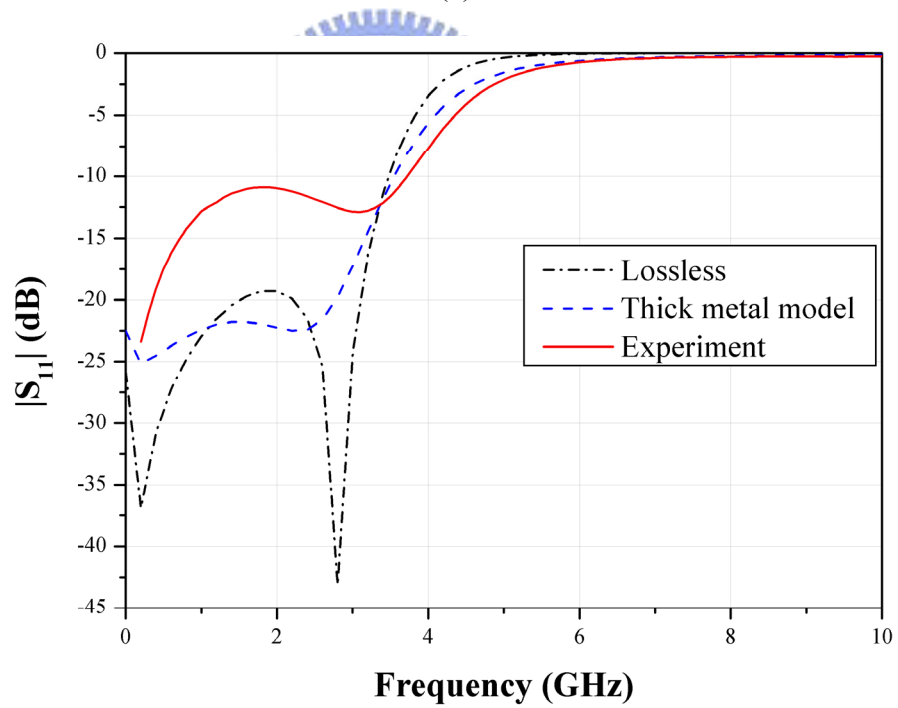


(b)

圖 5.17 電流密度為 2 ASD，金屬厚度為 20 μ m 的量測與模擬結果比較，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$

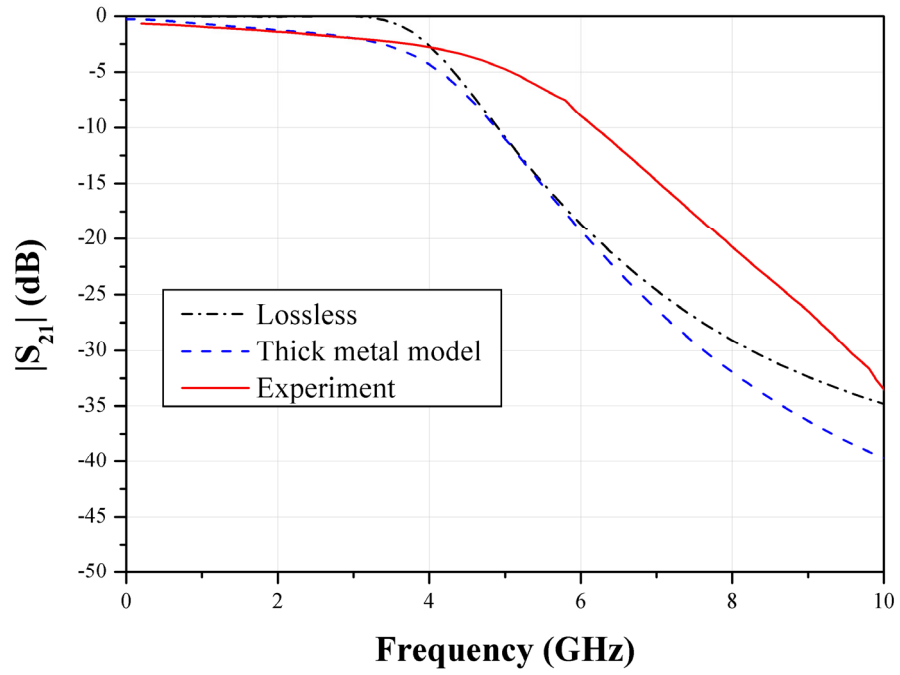


(a)

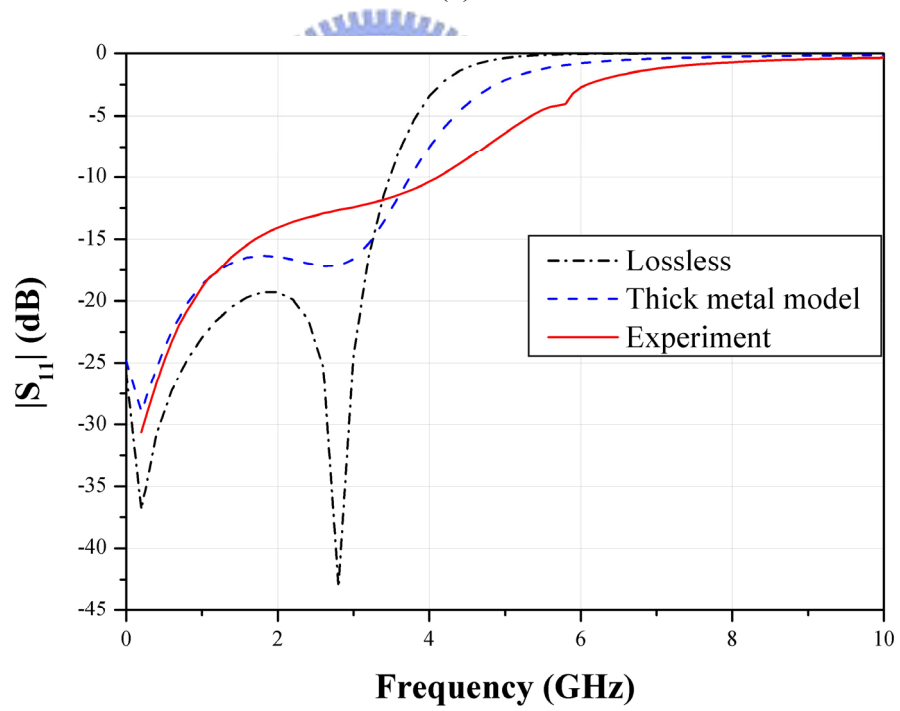


(b)

圖 5.18 電流密度為 1 ASD，金屬厚度為 5 μ m 的量測與模擬結果比較，(a) |S₂₁|，(b) |S₁₁|

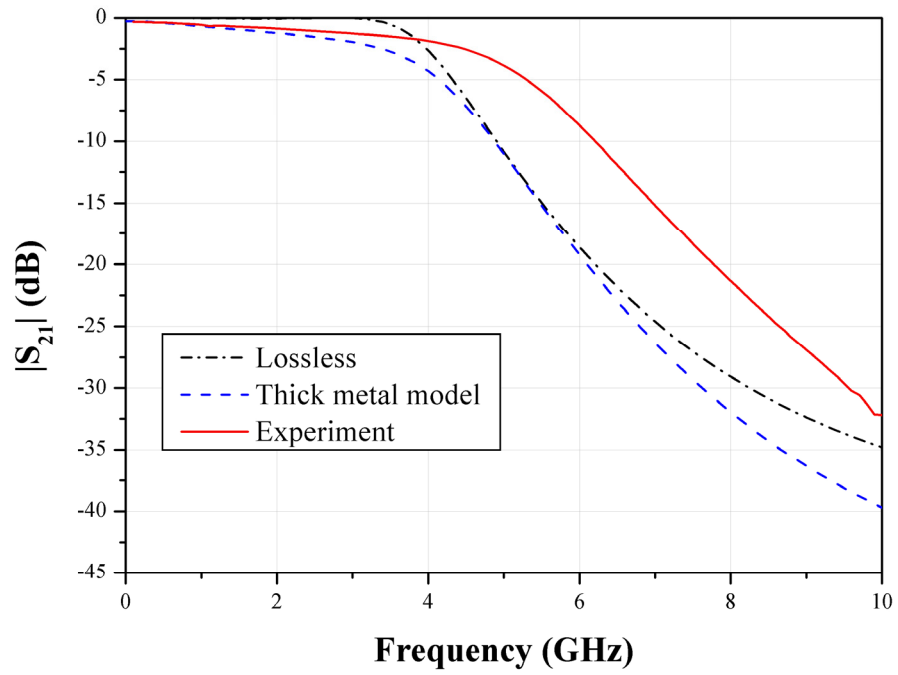


(a)

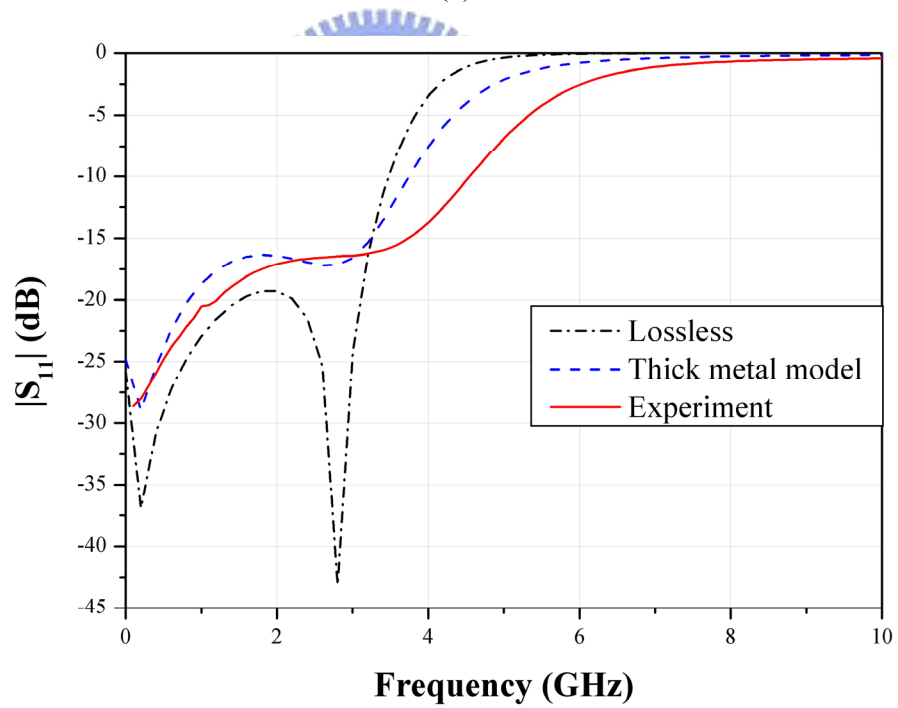


(b)

圖 5.19 電流密度為 1 ASD，金屬厚度為 10 μ m 的量測與模擬結果比較，(a) |S₂₁|，(b) |S₁₁|

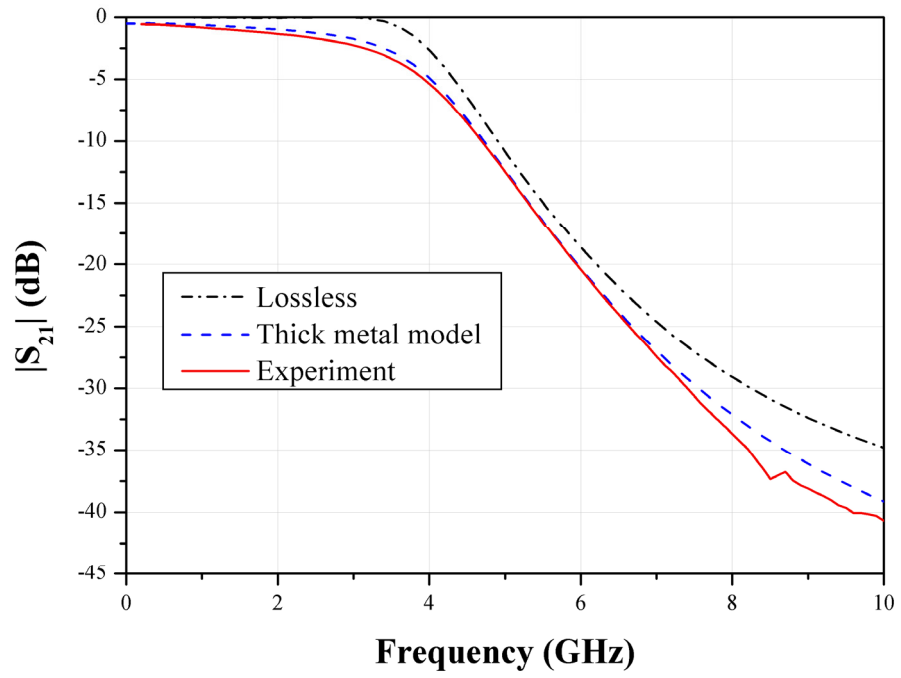


(a)

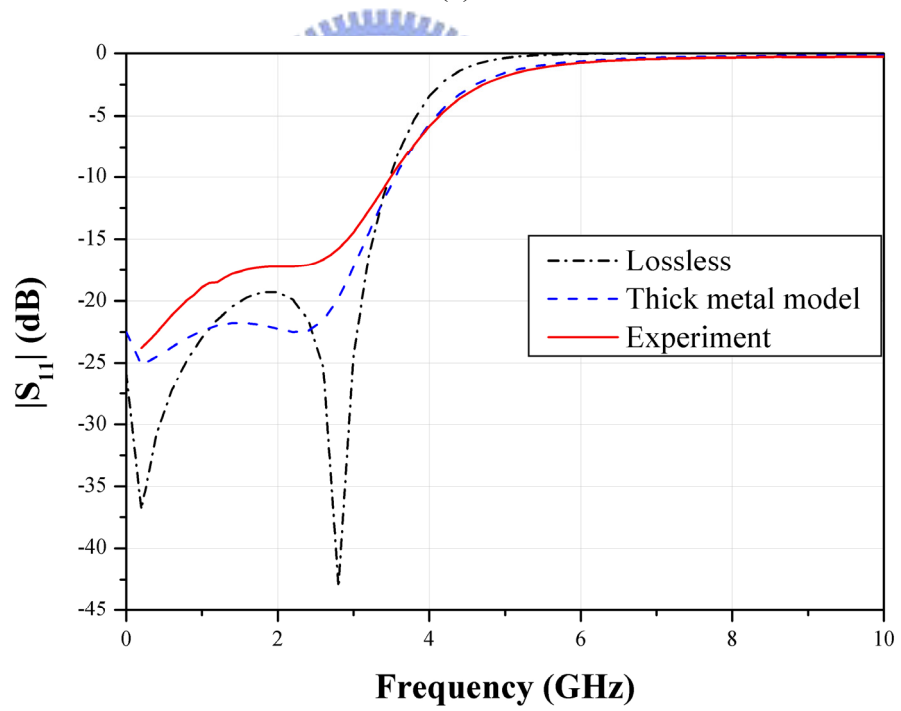


(b)

圖 5.20 電流密度為 3 ASD，金屬厚度為 10 μ m 的量測與模擬結果比較，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$



(a)

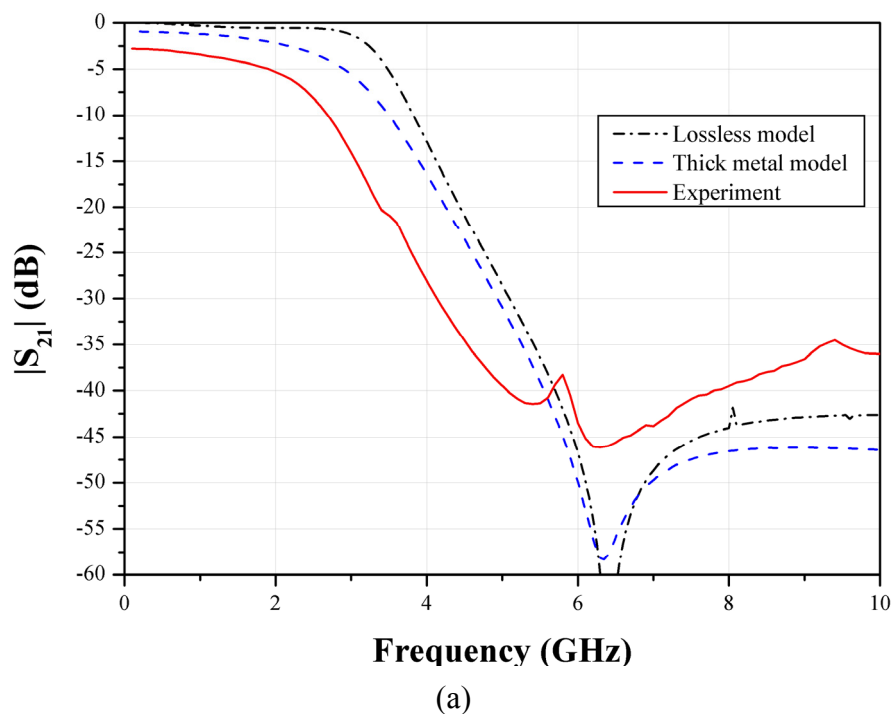


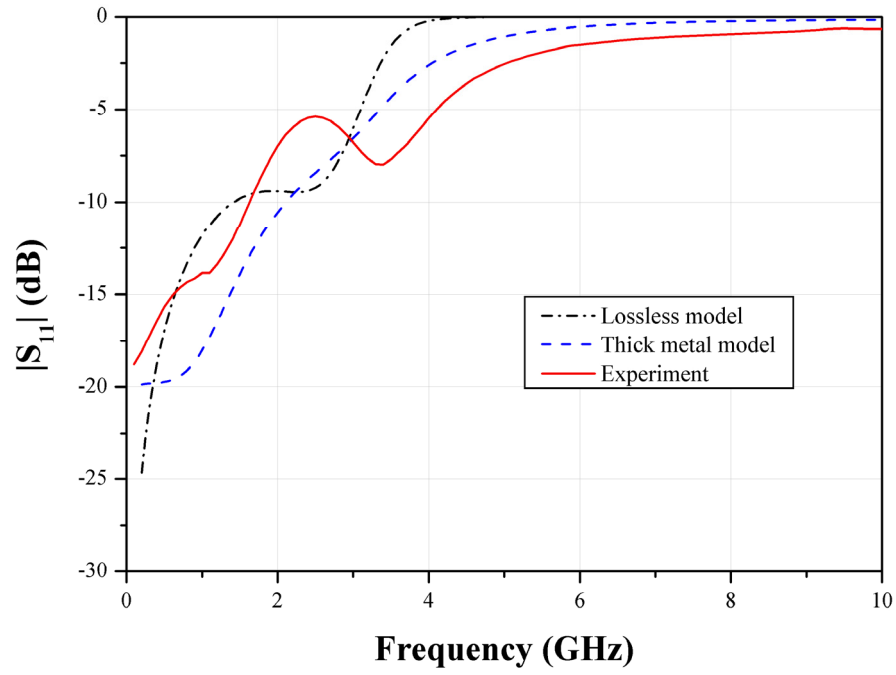
(b)

圖 5.21 電流密度為 4 ASD，金屬厚度為 $5\mu\text{m}$ 的量測與模擬結果比較，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$

5.4. 串聯濾波器結構量測與模擬結果比較

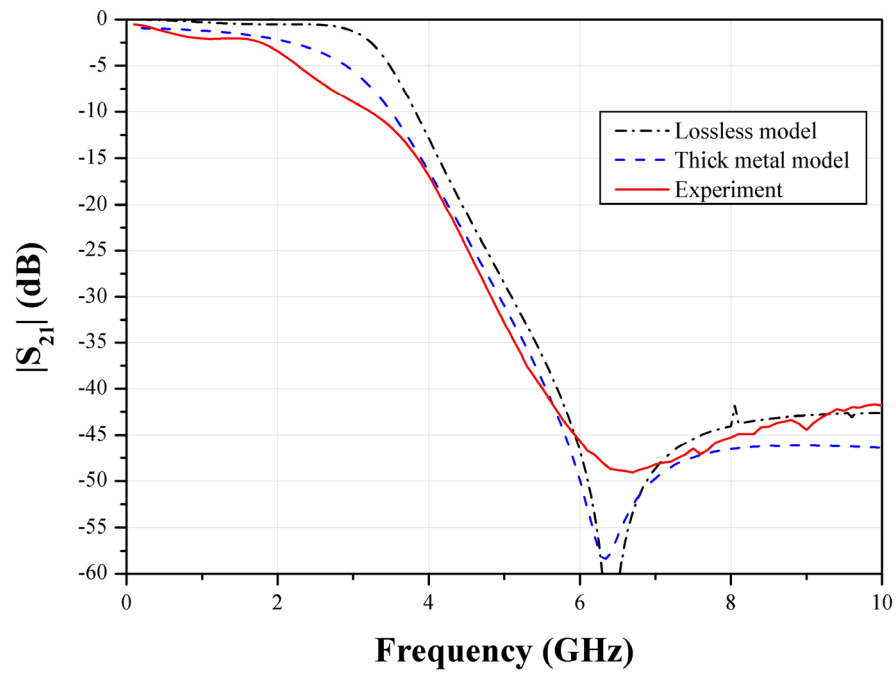
圖 5.22 和圖 5.23 為 2 ASD 電流密度，Meander 長度(L_m)為 $600\mu\text{m}$ ，金屬厚度分別為 $5\mu\text{m}$ 、 $15\mu\text{m}$ ，串聯兩個低通濾波器的量測與模擬結果比較。雖然量測時使用量測探針刮除氟化銅表面，使探針和電鍍銅結構表面接觸，如圖 4.16 所示，但是氟化銅薄膜的電阻值比銅金屬大，所以造成通帶區的插入損失大於 2.5 dB，因此量測與模擬結果不是很符合。



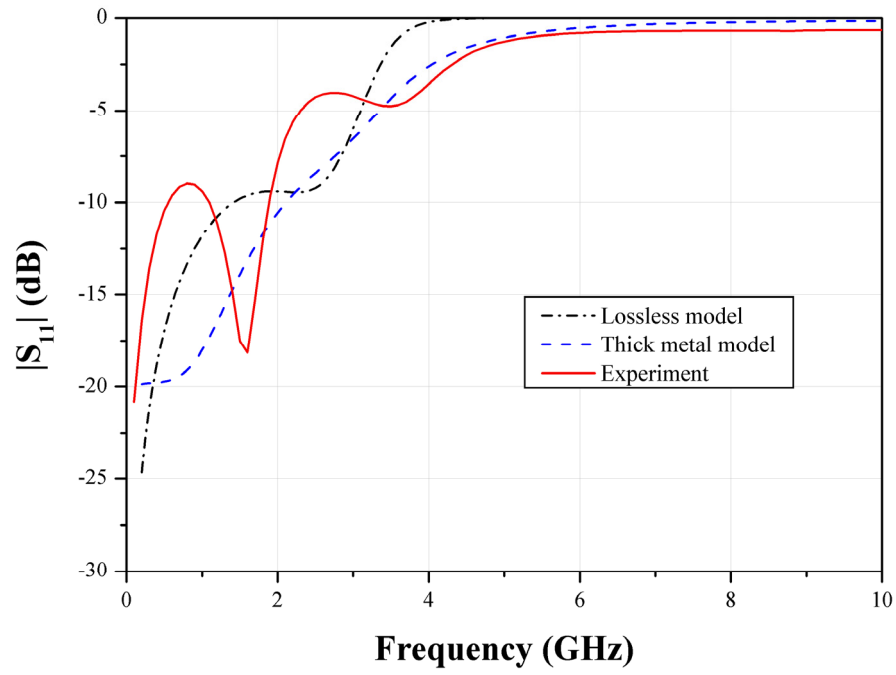


(b)

圖 5.22 電流密度為 2ASD，金屬厚度為 5 μ m 的量測與模擬結果比較，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$



(a)



(b)

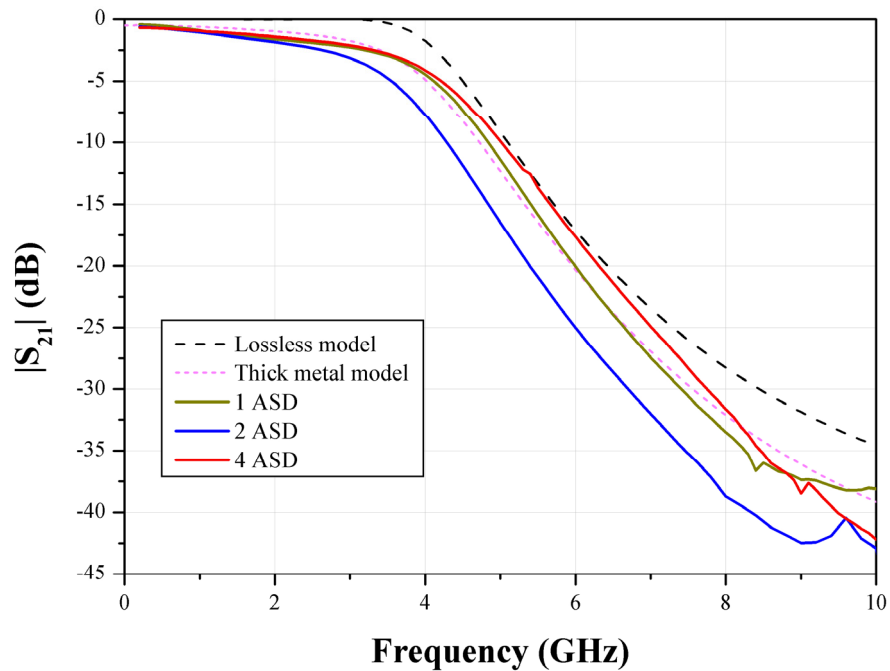
圖 5.23 電流密度為 2 ASD，金屬厚度為 15 μ m 的量測與模擬結果比較，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$



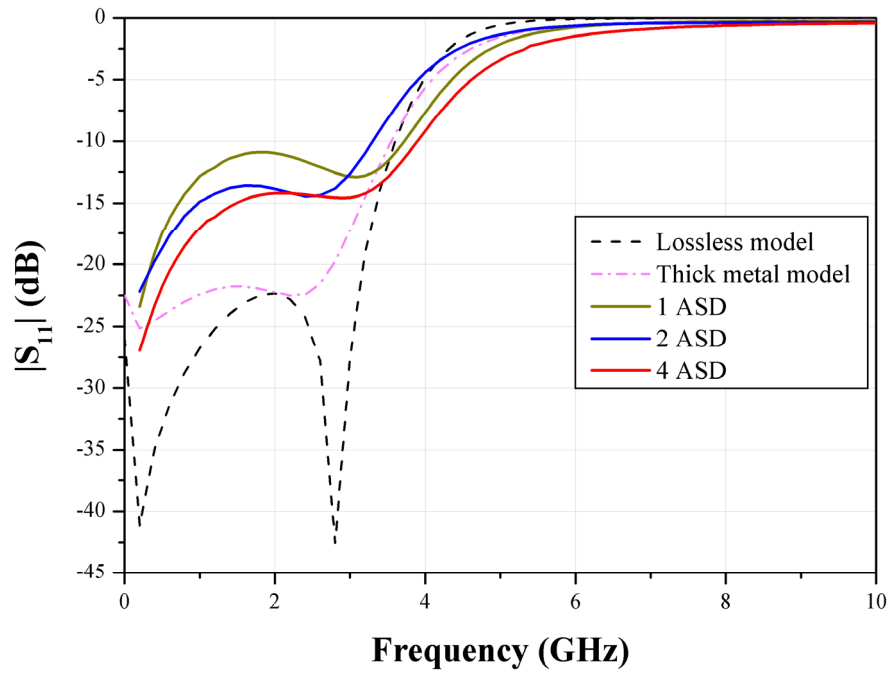
5.5. 不同電流密度的量測結果比較

由於不同電流密度的製程條件，對於電鍍結構的材料性質與表面輪廓有影響，因此將不同電流密度條件下，相同電鍍厚度的濾波器元件量測結果進行比較。圖 5.24 為金屬厚度 $5\mu\text{m}$ ，Meander 結構長度(L_m)為 $600\mu\text{m}$ ，電流密度分別為 1 ASD、2 ASD 和 4 ASD，濾波器的量測與模擬結果比較，由比較結果可知電流密度在 1 ASD 和 4 ASD 的電鍍條件，其模擬與量測結果是相符合的。

圖 5.25 為金屬厚度 $10\mu\text{m}$ ，Meander 結構長度(L_m)為 $600\mu\text{m}$ ，電流密度分別為 1 ASD、2 ASD 和 3 ASD，元件量測值與模擬結果比較，由於電流密度為 1 和 3 ASD 的試片，其濾波器元件有部份結構與石英基板分離，所以造成量測和模擬結果有很大的誤差。



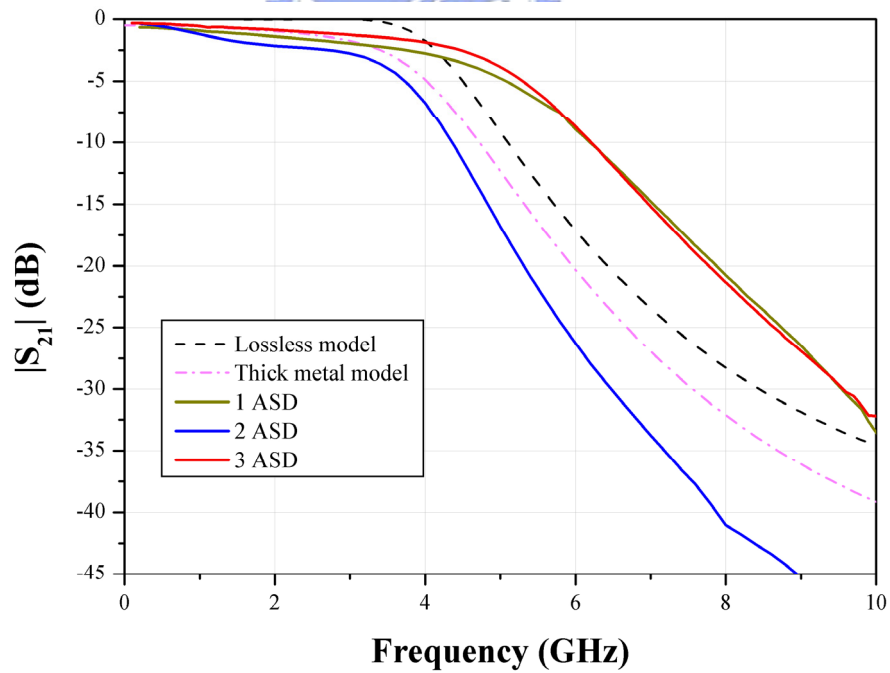
(a)



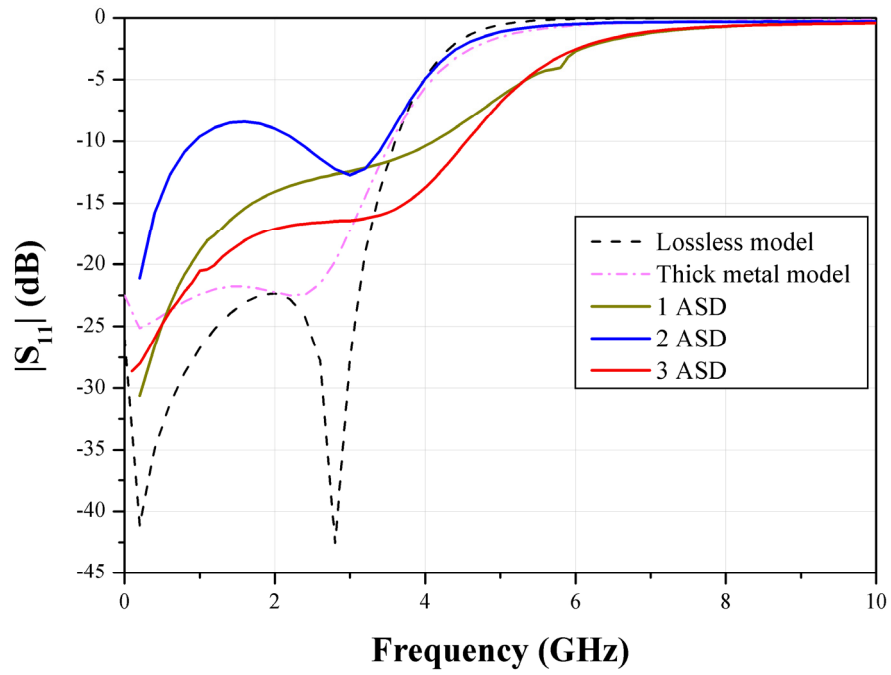
(b)

圖 5.24 金屬厚度為 $5\mu\text{m}$ ，不同電流密度條件電鍍的濾波器結構，量測與模擬結果比較，

(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$



(a)



(b)

圖 5.25 金屬厚度為 $10\mu\text{m}$ ，不同電流密度條件電鍍的濾波器結構，量測與模擬結果比較，(a) $|S_{21}|$ ，(b) $|S_{11}|$

