

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

毫米波多層濾波器(2/2) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2221-E-002-196-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：國立臺灣大學電機工程學系暨研究所

計畫主持人：陳俊雄
共同主持人：林祐生
計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理：吳昭篁、鄧卜華、林士程、郭宗男、吳忠樺
碩士班研究生-兼任助理：劉永元、陳昭錡、蔡富凱
博士後研究：王琦學

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 96年07月10日

「40-48 GHz 超寬頻無線模組及電路技術」子計畫二：
平面濾波器 (1/3)，(2/3)，(3/3)
Planar Filters (1/3)，(2/3)，(3/3)

計畫編號：NSC 93-2219-E-002-021

NSC 94-2219-E-002-008

NSC 95-2219-E-002-008

執行期限：93 年 8 月 1 日至 96 年 7 月 31 日

主 持 人：陳俊雄 國立台灣大學電機工程學系教授

計畫參與人員：王琦學、吳昭篁，郭宗男，楊錫明，翁瑋廷，蔡富凱，許閔舜，
劉富杰，簡誌亨，林繼輝，楊博程

一. 中文摘要

(關鍵詞：平面結構、濾波器。)

為配合發展毫米波無線通訊收發系統，本研究將研發數種低通及帶通濾波器，以建立相關收發系統之關鍵元組件技術。本研究將提出數種新型平面低通及帶通濾波器，具有高選擇性及高拒帶衰減的特性，以達增進無線收發系統之效能。

本研究的內容包括：設計公式及等效電路模型的建立，並結合理論分析與實驗量測，進行各式平面型低通及帶通濾波器各種特性之詳盡探討。

第一年研究目標為：完成「低通濾波器」及「帶通濾波器」的低頻段設計、研製及理論驗證工作。為配合毫米波無線收發系統之其他元組件，「低通濾波器」之規格：通帶為 0-10.6 GHz，插入損失 < 1.5 dB，I/O 回波損失 > 15 dB。而低頻段「帶通濾波器」之規格：中心頻率為 3.92 GHz，頻寬 42%，插入損失

< 1.0 dB，平坦度為 1 dB，I/O 回波損失 > 15 dB。

第二年度之重點將放在毫米波濾波器之研製，及高階濾波器的設計，以符合無線收發系統之規格，並研究增加傳輸零點的方式，以達成高選擇性及高拒帶衰減的特性，來增進無線收發系統的效能。同時亦將研製單面型共面波導濾波器結構，期能簡化電路製作步驟並進一步增進濾波器的效能。

第三年的研究目標有兩項：第一項目標為進行超寬頻濾波器小型化的設計。應用前兩年所建立之平面濾波器相關組件模型，以及步階阻抗共振器相關設計公式，作為小型化濾波器設計的依據，進一步的改進第一年度提出之濾波器架構，以達到節省電路面積的目的。第二項目標(本計畫的最終目標)為毫米波平面濾波器模組(包含外部封裝)的研製。延續第二年的成果，本年度配合毫米波無線通訊收發系統的需求，完成了毫米波平面濾波器的模組，以提供計畫中之無線通訊系統使用。

Abstract

(Keywords : Planar structure, filter.)

The purpose of this investigation is to develop and study several planar lowpass and bandpass filters so as to establish the key component technologies for millimeter-wave wireless communication systems. The goal is to establish suitable design formulas and equivalent-circuit models for practical design and theoretical analysis. In this study, novel planar lowpass and bandpass filters with high selectivity and good stopband rejection are proposed and carefully examined, both theoretically and experimentally.

In the first-year research, the wideband lowpass and bandpass filters operated in the lower frequency band are implemented and carefully examined. The passband of the lowpass filter is 0-10.6 GHz, the insertion loss is smaller than 1.5dB, and the input and output return loss are all better than 15 dB. As for the low-frequency operated bandpass filter, the center frequency is at 3.92 GHz, the bandwidth is about 42%, the insertion loss is smaller than 1.0 dB, and the input and output return loss are all better than 15dB.

In this 2nd-year research, the wideband millimeter-wave bandpass filters and higher-order bandpass filters are implemented and carefully examined. Furthermore, to enhance the performance of the wireless system, additional cross-coupled effects are introduced

to create the transmission zeros for improving the filter selectivity and the rejection of the stopband. In this research, the CPW bandpass filters are also implemented and examined.

There are two goals for the third-year research. The first goal is to design and miniaturize the ultra-wideband (UWB) filters. Using the models and design formulas for the filter components and step-impedance resonators set up in the first two years as the basis, the structures of the bandpass filters proposed in the first year are further improved so as to achieve the purpose of saving the circuit area. The second goal is to implement and carefully examine the required wideband millimeter-wave bandpass filters including the package so as to fit the demand of the main project.

二. 緣由與目的

隨著電信產業的快速成長，無線通訊技術的進展甚為迅速，頻帶的需求也更形殷切，促使通訊系統往更高頻段發展，相關硬體電路也朝短小輕薄的目標邁進。

目前大部分微波頻段的平面電路，均採用微帶線(Microstrip line)為連線的架構，因微帶線及相關組件已具有眾多的研究成果及設計用軟體，可供設計者使用。唯微帶線之信號線與接地板不在同一平面，而有以下的缺點：如並聯元、組件不易，接地須應用貫穿孔(Via hole)。

濾波器是微波及毫米波無線通訊系統中之一重要組件，過去有關平面型濾波器的研究工作，較偏重於帶線(Stripline)及微帶線(Microstrip line)為基礎的濾波器，因具有精確的設計公式可供使用，而廣泛地應用於微波電路中。

構成濾波器的要件為：電容(C)、電感(L)、及 LC 所組成的串、並聯共振電路。在微波及毫米波頻段，因研製集總型電容及電感不易，均以截線(Stub)來形成 L、C 的效應，而開發出各種實用的平面截線或共振器(Planar stubs or resonators)，可作為發展平面濾波器的基礎。

已開發平面濾波器依結構形式分類，可大略分為步階阻抗型(Stepped-impedance filter)，截線負載型(Stub-loaded filter)，平行耦合型(Parallel-coupled filter)或耦合線型(Coupled-line filter)，共振器耦合型(Coupled-resonator filter)，以及雙模型(Dual-mode filter)等數種。若考慮其饋入方式，可分成接線饋入式(Tapped feed)以及電容耦合饋入式(Capacitively-coupled feed)兩種。

平面濾波器若依耦合方式，可分為端邊或縫隙耦合型(End or gap coupled filter)，側邊或邊緣耦合型(Side or edge coupled filter)，端側邊耦合型(End/side coupled filter)，寬端邊耦合型(Broadside/end coupled filter)等數種。另在濾波器電路中，加入二極體或電晶體，也開發出可調式濾波器(Tunable filter)。

最近濾波器發展的趨勢，均朝低價化、小型化、及高性能(High performance)等方向

邁進。因此希望設計出一濾波器，能同時兼具低通帶植入損失(Low passband insertion loss)、高選擇性(High selectivity)、及高拒帶衰減(High stopband attenuation)等特性。欲達成此目標，傳統濾波器設計可採用多階結構，以實現高選擇性及高拒帶衰減的特性，但附帶的也增加通帶的植入損失。為有效達成上述目標，研究上積極開發交叉耦合型(Cross-coupled)的濾波器結構，產生額外的傳輸零點(Transmission zero)或衰減極點(Attenuation pole)；而其他研究方向為利用截線負載方式、雙模方式、或接線饋入方式，來產生傳輸零點，進而達成上述的目標。

以往所發展的平面濾波器，均用到四分之一波長($\lambda/4$)或二分之一波長($\lambda/2$)的截線或共振器，所佔面積較大，因此也有研發小型化平面濾波器的必要。

為配合總計畫「40-48 GHz 超寬頻無線模組及電路技術」的開發工作，本子計畫的目標為：完成兩種「平面濾波器」的設計、研製、及分析工作，而擬開發結構有「低通濾波器」及「帶通濾波器」兩種。為密切配合收發系統之其他元組件，擬研發「低通濾波器」之規格：通帶(Passband)為 0~10.6 GHz，植入損失(Insertion loss) < 1.5 dB，I/O 回波損失(Return loss) > 15 dB；而「帶通濾波器」之規格：通帶為 40.1-47.6 GHz，植入損失 < 2 dB，平坦度(Flatness)為 ± 1 dB，I/O 回波損失 > 10 dB，帶拒值(Rejection)在 26.4-35 GHz 為 30 dB。

三. 研究方法與結果

第一年研究擬於低頻段內，完成「低通濾波器」及「帶通濾波器」的設計、研製及驗

證工作，目的在於對理論及等效電路模型的建立及驗證。「低通濾波器」之規格如上述。而低頻段「帶通濾波器」之規格，則參考 802.15.3a 超寬頻無線收發系統第一模態 (UWB Transceiver Mode 1) 之規格，通帶為 3.1-4.75 GHz，植入損失 < 1.0 dB，平坦度為 1 dB，I/O 回波損失 > 15 dB。

第二年度之重點將放在毫米波濾波器的研製，及高階濾波器的設計，以符合無線收發系統之規格。為此本年度將以增加阻抗反轉器的方式增加濾波器階數，並研究增加傳輸零點的方式，以達成高選擇性及高拒帶衰減的特性，來增進無線收發系統的效能。同時亦將研製單面型共面波導濾波器結構，期能簡化電路製作步驟並進一步增進濾波器的效能。除了研製計畫所需要之毫米波濾波器，本年度亦開發了一種新的平面帶通濾波器。使用四分之一波長傳輸線作為濾波器之共振器，並藉由引入間隙電容造成第二交叉旁路耦合路徑，可於通帶兩側產生二傳輸零點，大幅改善濾波器的選擇性及拒帶衰減。同時調整共振器耦合的長度，使第二個週期的假通帶響應移至更高的頻率而改善止帶的抑制量。另實現了單面型共面波導濾波器結構，簡化電路製作步驟中較麻煩的貫穿孔 (Via hole) 程序，並進一步增進濾波器的效能。

第三年度研究重點為超寬頻 (UWB) 濾波器的小型化設計以及毫米波平面濾波器模組 (包含外部封裝) 的研製。應用前兩年所建立之平面濾波器相關組件模型，以及步階阻抗共振器相關設計公式，本年度改進第一年度提出寬頻濾波器架構電路面積過大以及倍頻響應太差的缺點，進而達到節省電路面積以及提升超寬頻濾波器性能的目的。另一方面，延續第二

年的成果，本年度配合毫米波無線通訊收發系統的需求，完成了毫米波平面濾波器。同時，根據各元組件在系統整合上的要求，完成了適用於毫米波平面濾波器模組之外部封裝結構的設計與製作，並且將毫米波濾波器成功的整合在封裝結構中，提供計畫中之無線通訊系統使用。

三年完整的研究成果，分別說明如下：

1. 超寬頻低通濾波器

本研究利用近年來發展的髮夾型並接共振器 [1]-[2] 來實現微帶線寬頻低通濾波器。圖一為髮夾型共振器單元佈局圖與其等效電路。如圖一 (b) 等效電路所示，髮夾型共振器單元基本上即是一個一階低通濾波器。除此之外，適當的設計並聯 LC 共振器中的電容電感值 C_g 及 L_s ，還可以得到更低的止帶 (stopband) 響應。這是因為並聯 LC 共振器在達到共振頻率時會形成開路共振，而在穿透係數響應上產生一個傳輸零點。如此一來，並接越多的髮夾型共振器單元可產生越多的傳輸零點，而使止帶抑制的頻寬可以更大，響應更低。

髮夾型共振器單元的尺寸相對於電容電感值的關係，可以由簡單的傳輸線公式得到，再根據植入損失法，並以橢圓函數響應為基礎，由濾波器之規格，先求出原型電路所需之 L、C 值，再以微帶線結構及髮夾型共振器加以實現，來完成低通濾波器。

圖二 (a) 為一個四階低通濾波器的設計，模擬及實驗結果如圖二 (b) 所示，其通帶為 0~10.6 GHz，植入損失 < 1.5 dB，I/O 回波損失 > 15 dB，符合系統所需要之規格，同時在止帶

加入傳輸零點，止帶響應也得到相當程度的抑制效果。

2. 用於第一操作模態的超寬頻帶通濾波器

在設計超寬頻之第一操作模態的帶通濾波器時，採用的架構是以 $\lambda/4$ 短路截線段 (short-circuited stub) 為基礎[3]，來實現帶通濾波器，其中 λ 是在中心頻率時的導波波長 (guided wavelength at the center frequency)，其濾波器的架構如圖三所示，其中 n 為濾波器的階數， $l_1, \dots, l_n$ 之電氣長度為四分之一導波波長， $l_{1,2}, l_{2,3}, \dots, l_{n,n-1}$ 之電氣長度亦為四分之一導波波長， Y_0 為饋入線段(feed line)的特徵導納(characteristic admittance)， Y_i ($i=1 \sim n$) 是短路截線段的特徵導納， $Y_{i,i+1}$ ($i=1 \sim n-1$) 是連接線段(connecting lines)的特徵導納。於是，只要將所求之規格，代入設計公式[3]，即可求得所需短路截線段之特徵導納值以及連接線段之特性導納值，特徵導納值之倒數即其特徵阻抗值，得到特徵阻抗值，再加上每段線段之電氣長度皆為四分之一波長，即可實現符合規格之帶通濾波器。

圖四為一個五階 ($n=5$) 柴比雪夫(通帶漣波為 0.1 dB)帶通濾波器的設計。短路接地端使用金屬連通柱 (Via) 來實現，金屬連通柱的直徑為 1.2 mm。模擬及實驗結果如圖五所示，其中心頻率為 3.92 GHz，植入損失 < 0.7 dB，平坦度為 0.3 dB，I/O 回波損失 > 15 dB。由 S_{21} 之模擬與量測，發現在 11.8 GHz 左右有明顯的倍頻響應。此帶通濾波器的架構是用四分之一波長的短路截線段和連接線段所構成，故會在三倍頻處會有倍頻響應。為了要防止通帶外的訊號影響到敏感的收發系統，在設計濾波器時，除了通帶要符合規格以外，若可以將高頻的止帶 (stopband) 設計的

越寬，對整個系統也越好。

所以為防止倍頻響應，提出採用步階阻抗[4]的方式來抑制。圖六與圖七為採用步階阻抗的五階 ($n=5$) 柴比雪夫帶通濾波器的佈局圖與模擬及實驗結果。由實驗結果可以看出，不僅可以將在 7.8 GHz 的非理想效應壓抑到 40 dB 以下，更將 11.8 GHz 的倍頻響應壓抑到 55 dB 以下，可以證明將圖四之短路截線段和四分之一波長共振器改為步階阻抗之後，的確可以得到比圖四的電路更好的高頻抑制。此濾波器之植入損失 < 1.0 dB，平坦度為 0.41 dB，I/O 回波損失 > 15 dB。

3. 超寬頻帶通濾波器的小型化設計

如上述研究可以看出，以 $\lambda/4$ 短路截線段 (short-circuited stub) 為基礎實現的最佳化分散式濾波器， n 階的濾波器有 n 根短路截線段。但是由於其轉換函數為 $2n-1$ 階，所以響應會有 $2n-1$ 個漣波 (ripple)。使得此架構在截止頻率之外會有很快的衰減，這在設計超寬頻帶通濾波器時，是一項很重要的優點。所以本研究依然採用此架構作為實現超寬頻帶通濾波器的基本架構。最佳化分散式超寬頻帶通濾波器的規格如下：通帶為 3.1-10.6 GHz，比例頻寬為 110%，濾波器階數為 6 階，植入損失 < 2.5 dB，平坦度為 ± 1.5 dB，I/O 回波損失 > 13 dB。

根據上一段所提之設計流程以及 UWB 的規格代入設計公式[3]，可以得到所有的短路截線段和連接線段所需求之實際尺寸，以微帶線來實現之，其板材為 Rogers 公司生產之 RO4003。電路之佈局如圖八所示。其全波模擬及量測結果如圖九所示，而使用的全波模擬

軟體是ADS Momentum。在電路佈局時，我們以打金屬連通柱(via)到地，值得一提的是，由於金屬連通柱及金屬墊(pad)會貢獻一小段電器長度，所以在做全波模擬時，需要微調短路截線段之長度，使其電器長度和理想的短路截線段電器長度相等。由理論可知，因為濾波器階數設計為 $n=6$ ，所以會有 $2n-1=11$ 個極點(pole)，由圖九之頻率響應可以看到的確有十一個極點。圖十為量測之群延遲(group delay)。植入損失在3.1 GHz時約為0.83 dB，到了10.6 GHz則達到2.5 dB。量測結果和模擬結果大致上吻合。但是由於板材的損耗正切(Loss tangent)隨著頻率增加而增加，也因此在高頻的植入損失會比較大。經由量測結果可以得到5 GHz以下之損耗正切約為0.002，在5 GHz到8 GHz約為0.005左右，而在8 GHz到12 GHz，損耗正切值約為0.008左右。此外，電路的面積約為 657 mm^2 ，雖然此架構可以實現寬頻濾波器，但實際電路面積太大為其缺點，故在接下來討論如何縮小電路的面積。

縮小電路面積所採用的方式是將圖八中的連接線段轉折，並將短路截線段上下交錯，以縮減其面積。又考量到基板(substrate)和金屬的膨脹係數不同，如果電路版面積偏長的話，將可能因為溫度的關係使得電路板彎曲，而影響到原本電路的頻率響應。所以讓整個電路以較方正的形狀來呈現，即可以避免這問題。另一方面，適當的調整連接線段，並利用步階阻抗的特性縮短線段，不僅可以縮小整體電路的面積，如果縮小的長度取的適當的話，還可以使兩邊的短路截線段共用一個金屬連通柱(via)而短路到地(ground)。也就是說，不但可以達到縮小面積的目的，也可以減少金屬連通柱的數目。金屬連通柱是利用金屬線貫穿上下兩層印刷電路板而製成。除了製作

相當費時費工外，金屬線的等效電感值亦很難掌握。故如果可以減少金屬連通柱的數目，不失為一項很大的改進。

值得一提的是，在設計縮小面積的過程中，必須要考慮到連接線段的轉角效應，並要將其代入一併模擬，才可準確得到所要之響應。圖十一為縮小面積之電路佈局，圖十二為其全波模擬和量測結果，圖十三為量測之群延遲。植入損失在3.1 GHz時約為1.16 dB，到了10.6 GHz則達到6.09 dB。由圖十一可知，經交錯彎折後的電路面積約為 328 mm^2 ，比原本的電路(圖八)縮小了二分之一左右。達到了縮小電路尺寸的目標。

4. 毫米波平行耦合型帶通濾波器模組

配合總計畫「40-48 GHz 超寬頻無線模組及電路技術」的開發工作，已利用發展得到微帶耦合線的特性，來實現平行耦合型微帶線帶通濾波器。圖十四為一個五階的柴比雪夫帶通濾波器的佈局圖。由於規格的頻寬較寬，所需饋入的耦合量較大，在單一平面的設計環境不易達成。故饋入方式改採接線饋入式的方法設計[5]。圖十五為實驗結果，其通帶為39.5 GHz~47.7 GHz，植入損失 $<2.6 \text{ dB}$ ，I/O回波損失 $>15 \text{ dB}$ ，在26.4-35 GHz頻帶中帶拒值 $>35 \text{ dB}$ 。除了植入損失較大外，其餘皆符合系統所需要之規格。

此電路除了面積較大的缺點外，饋入端不在同一平面上亦使系統在組裝上較為不便。利用摺疊的技巧可以改善這兩個缺點。如圖十六(a)所示為一個具相同規格之五階柴比雪夫帶通濾波器的佈局圖。經過摺疊後，尺寸為原來的一半，而且饋入端將在同一平面上。

圖十六(b)為實驗結果。由於多了一個摺疊的不連續效應，造成特性比未摺疊的設計要差。通帶為 39.5 GHz~46.5 GHz，植入損失 < 3.0 dB，I/O 回波損失 > 15 dB，在 26.4-35 GHz 頻帶中帶拒值 > 37 dB。除了頻寬略為縮減外，植入損失亦較未摺疊者大，I/O 回波損失有幾點較差，並未符合系統所需要之規格。須要再重新設計，以符合系統所需要之規格。

除了基本濾波器的研製外，為了確保通訊系統中每個元件之間都能獨立正常運作，根據系統整合上的要求，設計了毫米波平行耦合型微帶線帶通濾波器所獨有的金屬外殼和接頭，完成整個外部封裝結構的設計和組裝。由於所設計的濾波器在高頻系統不同元件間的連結主要是同軸傳輸線，因此最重要的轉接就在於微帶線到同軸傳輸線的轉接，在高頻接頭的設計部分，首先以 Anritsu 公司的產品 V 型接頭 (V Connector) 作為解決方案，此 V 型接頭主要由兩部份組合：玻璃圓柱元件 (Glass bead) 和負載體 (Launcher)，而整體接頭的連接如圖十七所示。圖十八為單一條 50 Ω 微帶線組裝後的量測結果，在所需頻帶 40~48 GHz 的響應約有 2 dB 的損耗。

平行耦合型微帶線帶通濾波器的金屬殼組裝部份，首先設計符合濾波器板材大小的金屬凹槽和預留的 50 Ω 傳輸線面積，接著考量板材厚度後，算出玻璃圓柱的接點距離金屬凹槽底部的相對高度以及玻璃圓柱和中空金屬圓柱的尺寸，藉此可確定整個接頭的組裝位置。由於整個組裝在完成封裝後，整個金屬外殼是一個封閉的金屬腔，因此整個濾波器放置的金屬凹槽的長寬與深度也必需列入設計考量。設計時，除了要避免使金屬腔自身的共振頻率落在系統使用的頻段，還要考慮組裝的難

易度。若凹槽深度太深，會造成手工組裝上的困難，若深度太淺，則訊號會被上層的金屬蓋所影響。最後再用 HFSS 全波模擬軟體模擬轉接頭接上濾波器的整體響應以及計算出適當的金屬腔的尺寸。

圖十九顯示平行耦合型微帶線帶通濾波器組裝之示意圖與最後成品未闔上金屬上蓋前的照片。而最後的組裝量測結果如圖二十，組裝量測的結果與直接量測濾波器的結果非常相近，損耗也相當的小，故此外部封裝設計確實可應用在高頻系統之中。

5. 新式平行耦合型微帶線帶通濾波器

除了基本的平行耦合型微帶線帶通濾波器設計外，本研究亦提出一種新式平行耦合型帶通濾波器 [6, 7]。如圖二十一所示，藉由引入間隙電容與對地並聯電感，造成第二交叉旁路耦合路徑，可於通帶兩側產生二傳輸零點，並且由於共振器由原來的二分之一波長轉為四分之一波長共振器，而使第二個週期的假通帶響應由原來的兩倍頻率提升至三倍頻率。為了將第二個週期的假通帶響應移至更高的頻率，進一步縮短共振器耦合的長度，不足四分之一波長的部份則增加一段 θ_2 長度的傳輸線補足。由圖二十二模擬結果可以看出縮短共振器的耦合長度，可以使第二個週期的假通帶響應往後移至更高的頻率，而得到更好的止帶抑制效果。圖二十三為等效電路。利用求得之等效電路，可以輕易的得到所需要之濾波器規格，以及可以準確的預測高次週期的假通帶響應。圖二十四為一個二階濾波器的佈局圖及結果。中心頻率為 2 GHz，頻寬為 10%，植入損失約 1.16 dB，I/O 回波損失 > 15 dB，第二個週期的假通帶響應發生頻率約在 $4.6 f_0$ (f_0 為中心頻率)，較一般四分之一波長共振器所組成的濾波器更遠 1.6 倍。

除了二階濾波器外，本研究更著重在高階濾波器的開發。圖二十五便利用提出之新型架構，實現了一個四階的平行耦合型微帶線帶通濾波器。圖二十五(a)為佈局圖，圖二十五(b)為等效電路圖。圖二十六為模擬與量測的結果。中心頻率為 2.03 GHz，頻寬為 10.8 %，植入損失在 2.07 GHz附近約 1.6 dB，I/O回波損失>15 dB，第二個週期的假通帶響應發生頻率約在 $7.4 f_0$ 。同時此濾波器有兩個傳輸零點分別在 1.59 GHz及 3.28 GHz。

6. 毫米波新式平行耦合型共面波導帶通濾波器

目前大部分微波電路，均採用微帶線為連線的平面架構，因微帶線及相關組件已具有眾多的研究成果及設計用軟體，可供設計者使用。唯微帶線之信號線與接地板不在同一平面，而有並聯元組件不易及接地須應用貫穿孔的缺點。單面電路的元、組件及導體，僅佔用基板的單一平面，而具有以下的優點：串聯與並聯主、被動元、組件容易，易於加接直流偏壓，因此可簡化積體電路的製程，大幅降低電路的價格。故本研究嘗試使用單面之共面波導傳輸線，來實現上述之新式平行耦合型帶通濾波器[8]。

圖二十七為一個毫米波四階新式平行耦合型共面波導帶通濾波器之佈局圖與等效電路圖。而圖二十八為其模擬及量測結果。此電路實現於毫米波頻段，通帶為 37 GHz ~ 43 GHz，植入損失約 2 dB，I/O 回波損失>15 dB，此濾波器亦有兩個傳輸零點分別在 32.5 GHz 及 47 GHz。

四. 結論

為配合總計畫「40-48 GHz 超寬頻無線模組及電路技術」的開發工作，本子計畫以髮夾型並接共振器為基礎，利用其產生傳輸零點的特性，使低通濾波器擁有更低的止帶響應，完成了一個超寬頻微帶線四階低通濾波器。

再以 $\lambda/4$ 短路截線段為基礎，完成一個適用於第一操作模態的五階超寬頻帶通濾波器，以及一個適用於全部操作模態的六階超寬頻帶通濾波器。而此兩種 $\lambda/4$ 短路截線段帶通濾波器，亦使用了步階阻抗來得到更好的高頻抑制。同時利用巧妙的摺疊與縮短短路截線段的技巧，使整體電路面積大大的縮小至原來的二分之一。使得這種濾波器具有頻帶寬、低止帶響應以及小面積的特性，相當適合應用在微波積體電路中。

在毫米波濾波器的研究方面，本研究以平行耦合線共振器為基礎，同時設計並製作濾波器所需之外部金屬封裝，完成了系統所須之毫米波五階微帶線帶通濾波器模組。所有的製作及組裝過程皆在國內實驗室完成，其成果可與其他主、被動元、組件之研究配合，相輔相成，因此於提升國內無線通訊毫米波電路技術的目標上，此成果相當具有學術與實用的重要性。

本子計畫接著藉由引入間隙電容與對地並聯電感兩種元件，並以 $\lambda/4$ 型耦合線共振器為基礎，另完成一個新式平行耦合型微帶線帶通濾波器。此濾波器除了擁有傳輸零點改善頻率選擇度外，並可藉由調整平行耦合線的長度，來提高假通帶響應發生的頻率，而擁有更好的止帶響應。本研究另實現了毫米波共面波

導帶通濾波器，成功的避開使用貫穿孔的程序而達到所需之帶通濾波器響應。

五. 發表論文

1. International Journals

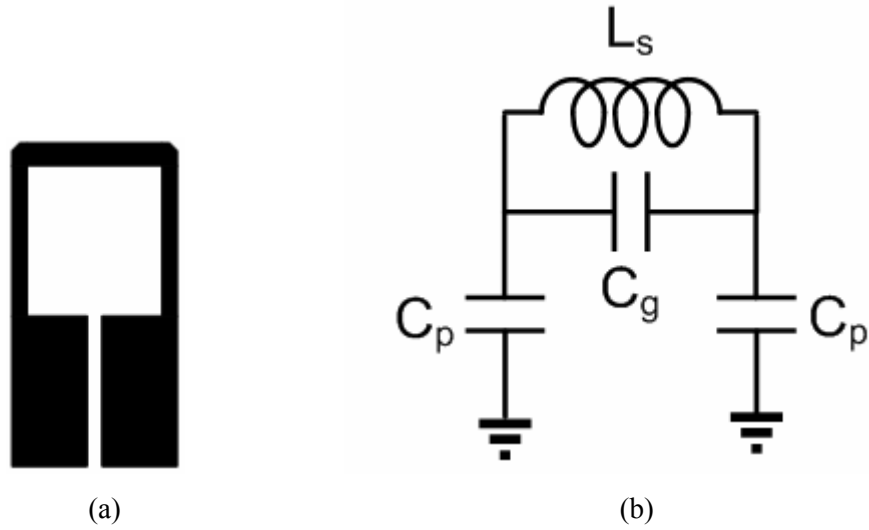
- Y. S. Lin, C. H. Wang, C. H. Wu, and C. H. Chen, Novel compact parallel-coupled microstrip bandpass filters with lumped-element K-inverters, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-53, No. 7, pp. 2324-2328, July 2005.
- C. H. Wu, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Compact microstrip coupled-line bandpass filter with four transmission zeros, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 15, No. 9, pp. 579-581, September 2005.
- S. C. Lin, Y. S. Lin, and C. H. Chen, Extended-stopband bandpass filters using both half- and quarter-wavelength resonators, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 16, No. 1, pp. 43-45, January 2006.
- P. H. Deng, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Compact microstrip bandpass filters with good selectivity and stopband rejection, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-54, No. 2, pp. 533-539, February 2006.
- C. H. Wu, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Novel microstrip coupled-line bandpass filters with shortened coupled sections for stopband extension, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-54, No. 2, pp. 540-546, February 2006.
- S. C. Lin, P. H. Deng, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Wide-stopband microstrip bandpass filters using dissimilar quarter-wavelength stepped-impedance resonators, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-54, No. 3, pp. 1011-1018, March 2006.
- P. H. Deng, M. I. Lai, S. K. Jeng, and C. H. Chen, Design of matching circuits for microstrip triplexers based on stepped-impedance resonators, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-54, No. 12, pp. 4185-4192, December 2006.
- C. H. Wu, C. H. Wang, and C. H. Chen, Novel balanced coupled-line bandpass filters with common-mode noise suppression, *IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques*, Vol. MTT-55, No. 2, pp. 287-295, February 2007.
- C. H. Wu, C. H. Wang, Y. S. Lin, and C. H. Chen, Parallel-coupled coplanar-waveguide bandpass filter with multiple transmission zeros, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 17, No. 2, pp. 118-120, February 2007.

2. International Conferences

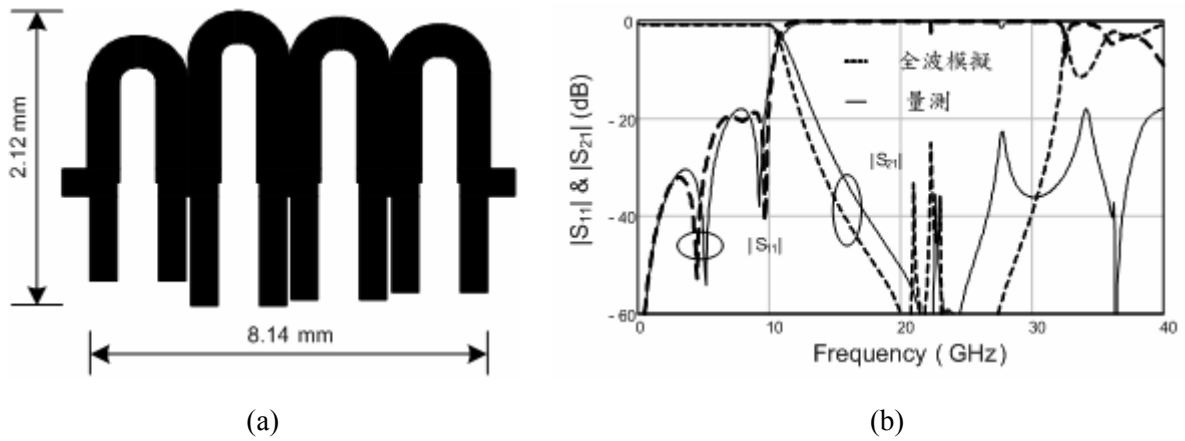
- P. H. Deng, C. H. Wang, Y. S. Lin, and C. H. Chen, A novel compact microstrip bandpass filter with two transmission zeros, 34th European Microwave Conference, Amsterdam, The Netherlands, pp. 633-636, October 2004.
- Y. S. Lin, C. H. Wu, and C. H. Chen, Novel compact coupled-line bandpass filters based on quarter-wavelength resonators, 2004 Asia-Pacific Microwave Conference, New Delhi, India, pp. 15, December 2004.

- Y. S. Lin, M. S. Hsu, C. H. Wang, and C. H. Chen, Compact lumped-distributed parallel-coupled bandpass filters based on conductor-backed coplanar-waveguide, 2004 Asia-Pacific Microwave Conference, New Delhi, India, pp. 925, December 2004.
- Y. S. Lin, H. M. Yang, and C. H. Chen, Miniature microstrip parallel-coupled bandpass filters based on lumped-distributed coupled-line sections, 2005 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Long Beach, California, USA, pp. 691-694, June 2005.
- Y. S. Lin, M. S. Hsu, C. H. Wang, and C. H. Chen, Millimeter-wave coplanar-waveguide parallel-coupled bandpass filters with lumped-element K-inverters, 35th European Microwave Conference, Paris, France, pp. 829-832, October 2005.
- S. C. Lin, Y. S. Lin, and C. H. Chen, Compact microstrip bandpass filters with quarter-wavelength stepped-impedance resonators, 35th European Microwave Conference, Paris, France, pp. 931-934, October 2005.
- P. H. Deng, S. C. Lin, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Microstrip bandpass filters with dissimilar resonators for suppression of spurious responses, 35th European Microwave Conference, Paris, France, pp. 1263-1266, October 2005.
- C. H. Wu, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Compact microstrip coupled-line bandpass filter with two cross-couplings for creating multiple transmission zeros, 35th European Microwave Conference, Paris, France, pp. 1267-1270, October 2005.
- C. H. Wu, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Compact microstrip bandpass filter with two transmission zeros based on $\lambda/8$ coupled-line sections, 35th European Microwave Conference, Paris, France, pp. 1283-1286, October 2005.
- Y. Y. Liu, C. H. Wang, and C. H. Chen, A novel parallel coupled-line microstrip bandpass filter with multiple transmission zeros for spurious suppression, 2005 Asia-Pacific Microwave Conference, Suzhou, China, pp. 512-515, December 2005.
- Y. S. Lin and C. H. Chen, Novel compact microstrip parallel coupled bandpass filters with lumped-element J-inverter, 2005 Asia-Pacific Microwave Conference, Suzhou, China, pp. 2160-2163, December 2005.
- W. T. Wong, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Highly selective microstrip bandpass filters for ultra-wideband (UWB) applications, 2005 Asia-Pacific Microwave Conference, Suzhou, China, pp. 2850-2853, December 2005.
- S. C. Lin, C. H. Wang, Y. S. Lin, and C. H. Chen, Dual quarter-wavelength hairpin bandpass filter with multiple transmission zeros, 2006 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, San Francisco, California, USA, pp. 361-364, June 2006.
- T. N. Kuo, P. H. Deng, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Compact stopband-extended microstrip bandpass filters with folded quarter-wavelength resonators, 36th European Microwave Conference, Manchester, UK, pp. 552-555, September 2006.
- C. H. Wu, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, Compact microstrip parallel-coupled bandpass filters with multiple transmission zeros, 36th European Microwave Conference, Manchester, UK, pp. 1151-1154, September 2006.
- P. H. Deng, C. H. Wang, and C. H. Chen, Compact microstrip diplexers based on a

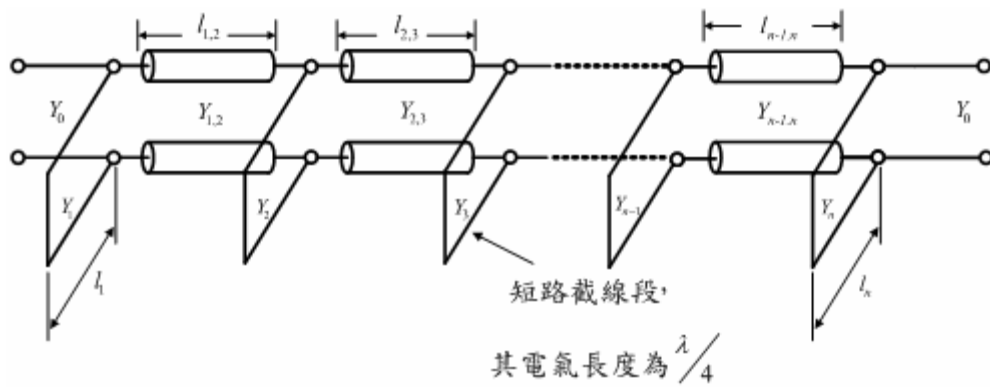
- dual-passband filter, 2006 Asia-Pacific Microwave Conference, Yokohama, Japan, pp. 1228-1232, December 2006.
- S. C. Lin, Y. S. Lin, and C. H. Chen, Miniaturized microstrip interlocked-coupled bandpass filters using folded quarter-wavelength resonators, 2006 Asia-Pacific Microwave Conference, Yokohama, Japan, pp. 1427-1430, December 2006.
 - C. H. Wu, C. H. Wang, and C. H. Chen, Microstrip parallel-coupled bandpass filters with source-load coupling, 2006 Asia-Pacific Microwave Conference, Yokohama, Japan, pp. 1675-1678, December 2006.
- ## 六. 參考文獻
- [1] L. -H. Hsieh and K. Chang, "Compact lowpass filter using stepped impedance hairpin resonator," *Electronics Letters*, vol. 148, pp. 369-383, July 2001.
- [2] L. -H. Hsieh and K. Chang, "Compact, broad-stopband elliptic-function lowpass filters using microstrip stepped impedance hairpin resonators," 2003 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest, vol. 3, pp. 1775-1778, June 2003.
- [3] J. S. Hong and M. J. Lancaster, "*Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*," John Wiley & Sons, Inc., pp.151-155. 2001.
- [4] M. Makimoto and S. Yamshita, "Bandpass filters using parallel coupled stripline stepped impedance resonators," *IEEE Trans.*, *Microwave Theory and Tech.*, vol.28, pp.1413-1417, 1980.
- [5] E. G. Cristal, "Tapped-line coupled transmission lines with applications to interdigital and combline filters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 23, pp. 1007-1012, Dec. 1975.
- [6] Y.S. Lin, C. H. Wang, C. H. Wu, and C. H. Chen, "Novel compact parallel-coupled microstrip bandpass filters with lumped-element K-inverters," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 53, pp. 2324-2328, July 2005.
- [7] C. H. Wu, Y. S. Lin, C. H. Wang, and C. H. Chen, "Novel microstrip coupled-line bandpass filters with shortened coupled sections for stopband extension," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol.54, pp. 540-546, February 2006.
- [8] Y. S. Lin, M.S. Hsu, C. H. Wang, and C. H. Chen, "Millimeter-wave coplanar-waveguide parallel-coupled bandpass filters with lumped-element K-inverters," 2005 European Microwave Conference, Paris, pp. 829-832, October 2005.



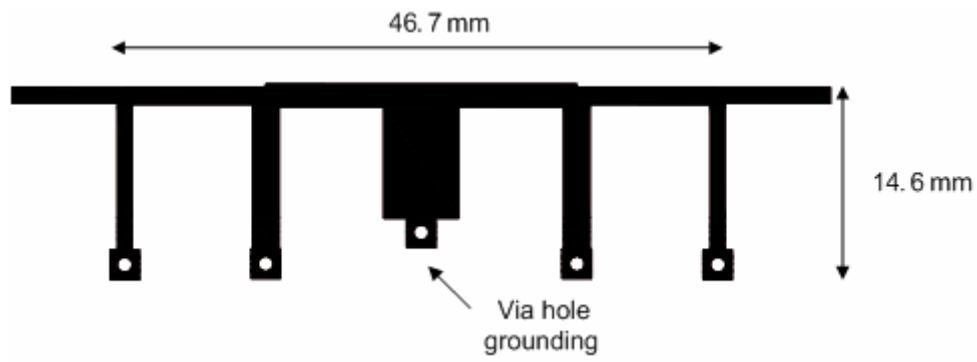
圖一. 髮夾型共振器單元之 (a)佈局圖與 (b)其等效電路。



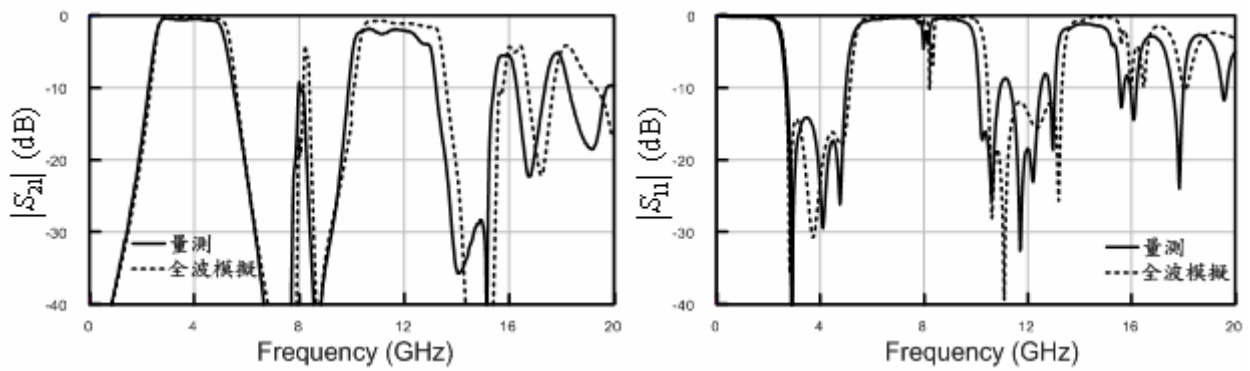
圖二. 髮夾型共振器為基礎之微帶線寬頻低通濾波器：(a)佈局圖、(b)模擬與量測結果。



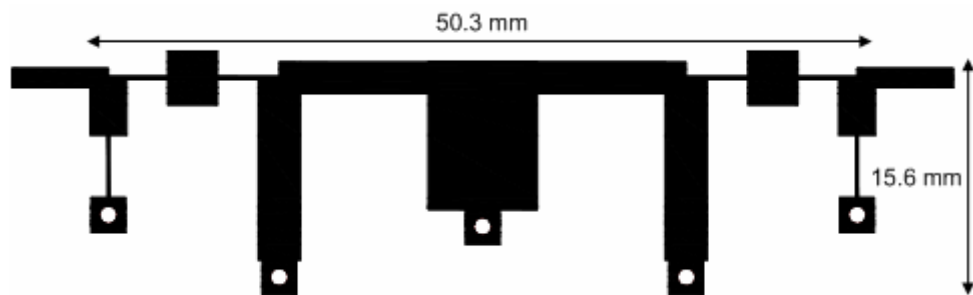
圖三. 四分之一波長短路截線段為基礎之帶通濾波器架構圖。



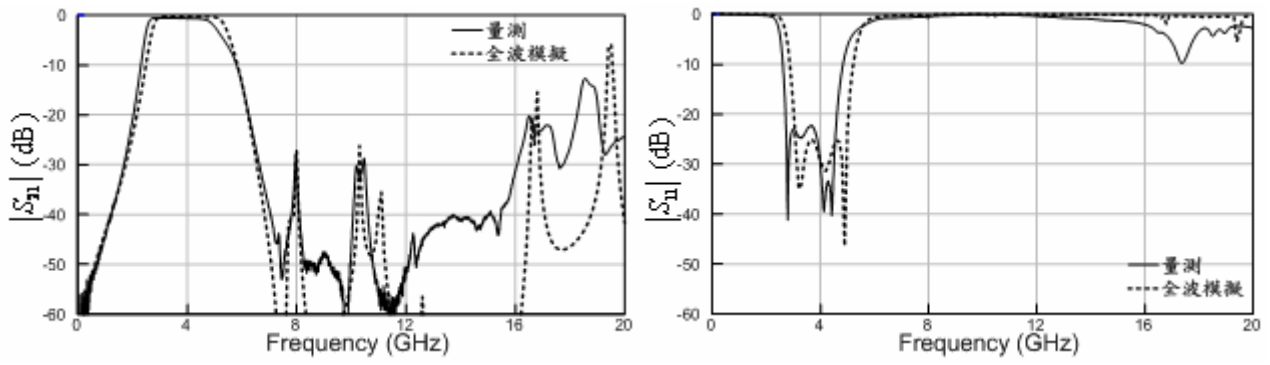
圖四. 四分之一波長截線為基礎之基本型微帶線帶通濾波器之電路佈局圖。



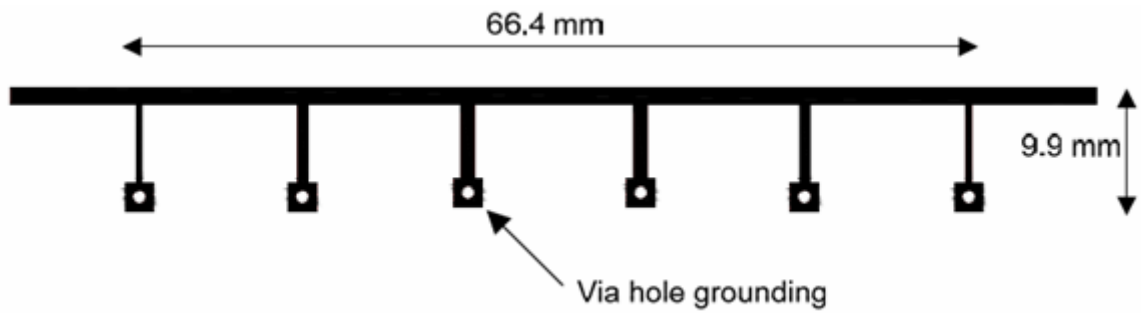
圖五. 基本型微帶線帶通濾波器(圖四)之全波模擬和量測。



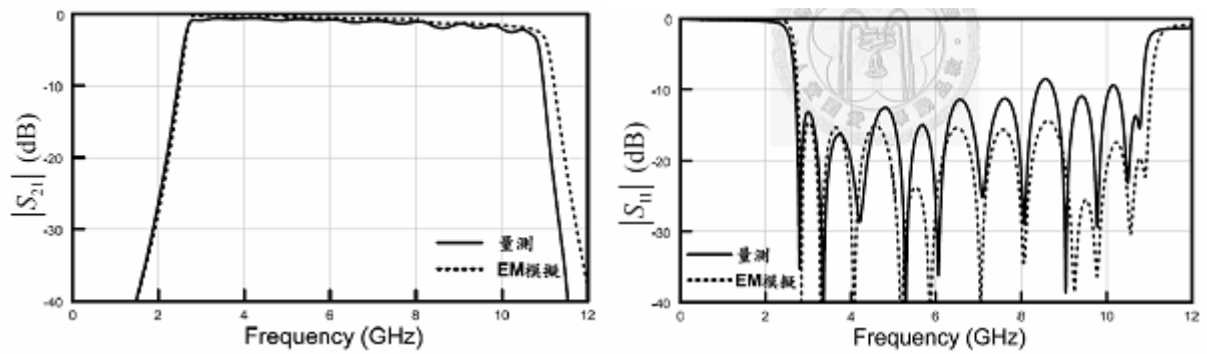
圖六. 採用步階阻抗之改良型微帶線帶通濾波器電路佈局圖。



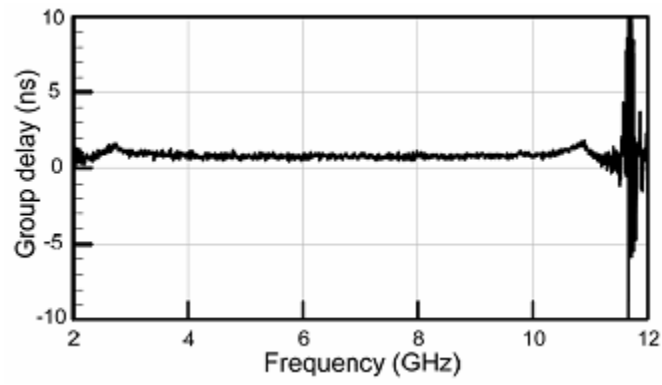
圖七. 改良型微帶線帶通濾波器(圖六)之全波模擬與量測圖。



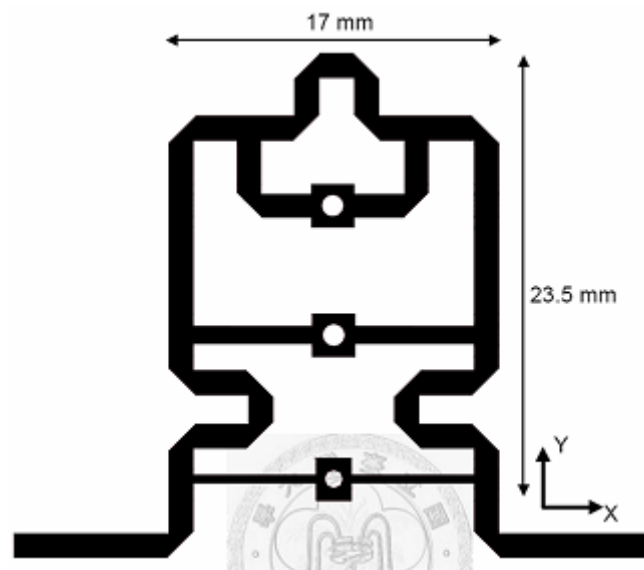
圖八. UWB 帶通濾波器之佈局圖。



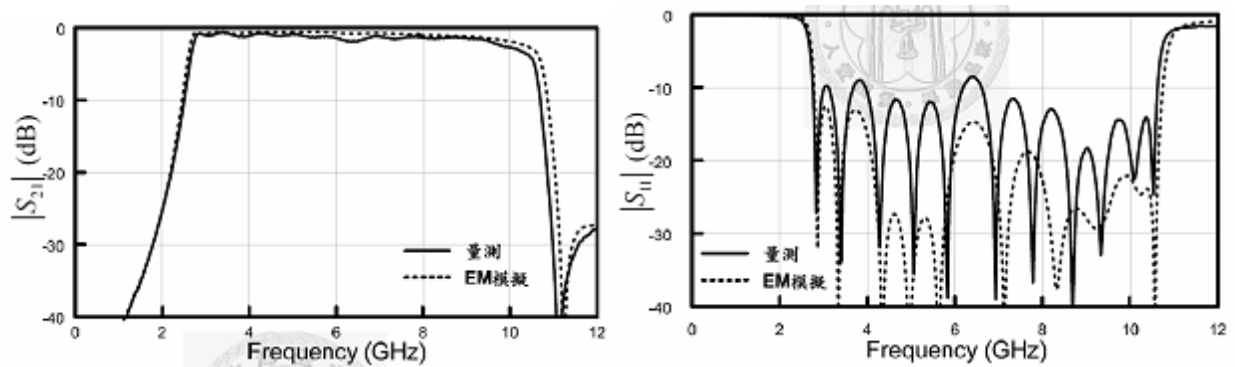
圖九. UWB 帶通濾波器 (圖八) 之全波模擬與量測響應。



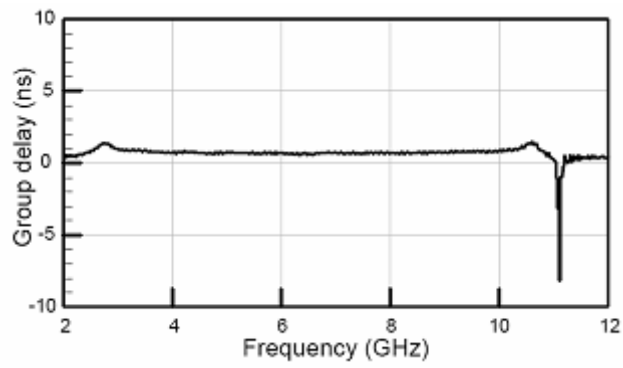
圖十. UWB 帶通濾波器 (圖八) 之量測群延遲。



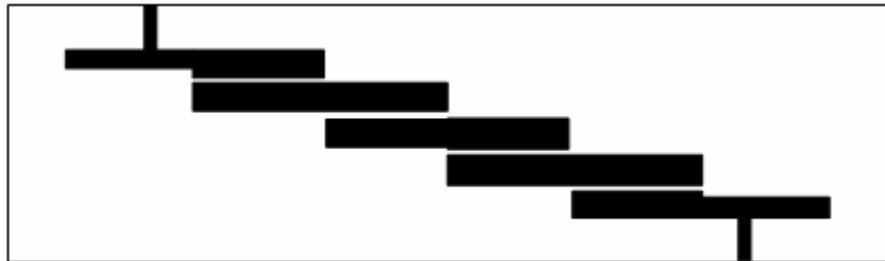
圖十一. 縮小化 UWB 帶通濾波器之佈局圖。



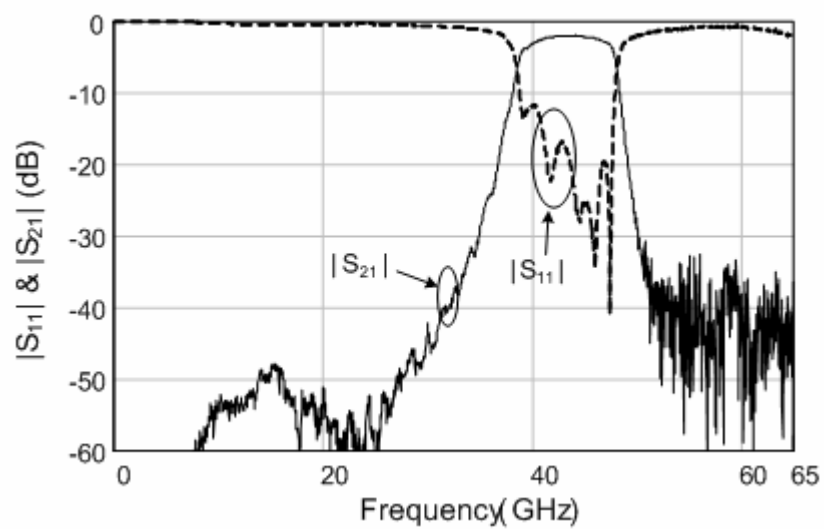
圖十二. 縮小化 UWB 帶通濾波器 (圖十一) 之全波模擬與量測響應。



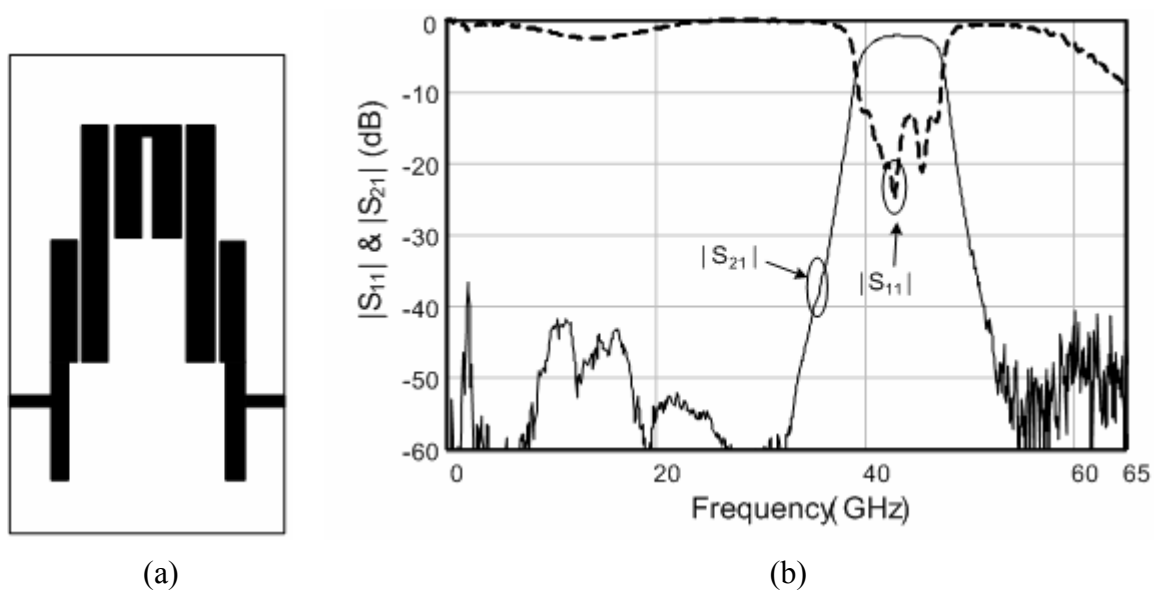
圖十三. 縮小化 UWB 帶通濾波器（圖十一）之量測群延遲。



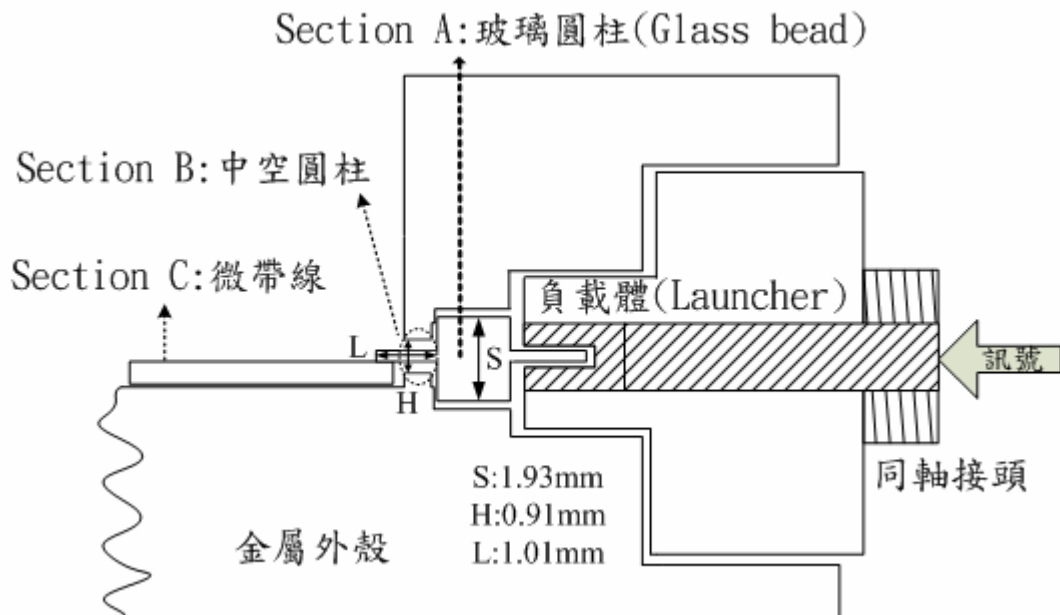
圖十四. 毫米波平行耦合型帶通濾波器之佈局圖。



圖十五. 毫米波平行耦合型帶通濾波器(圖十四)之量測結果。



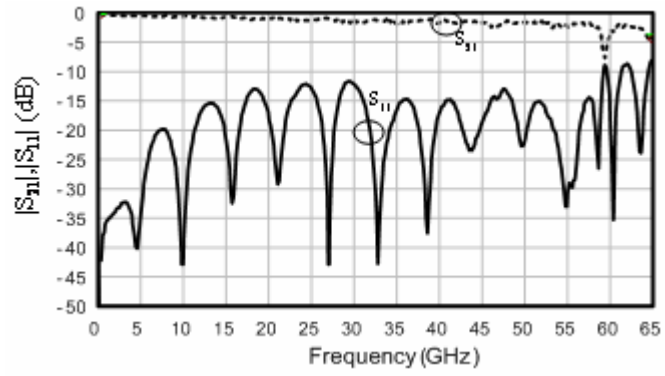
圖十六. 摺疊式毫米波平行耦合型帶通濾波器：(a)佈局圖、(b)量測結果。



圖十七. 同軸線轉至 50 Ω 傳輸線之接頭組裝示意圖。

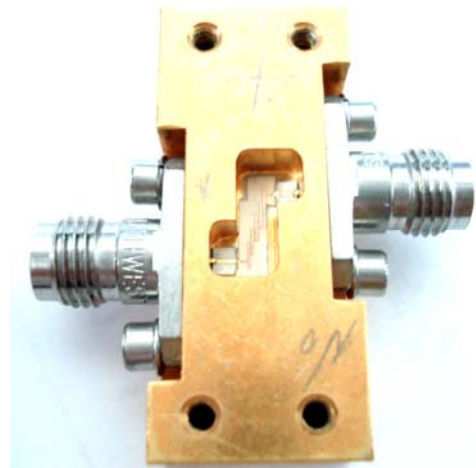
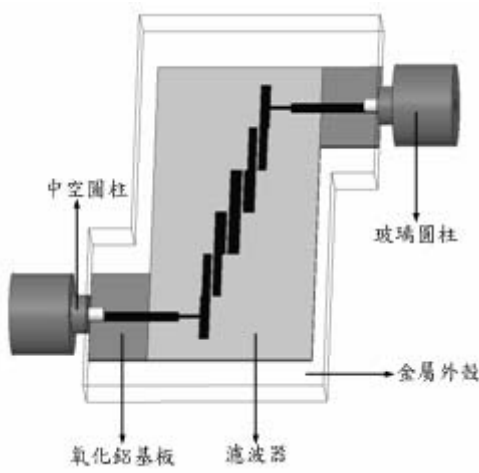


(a)

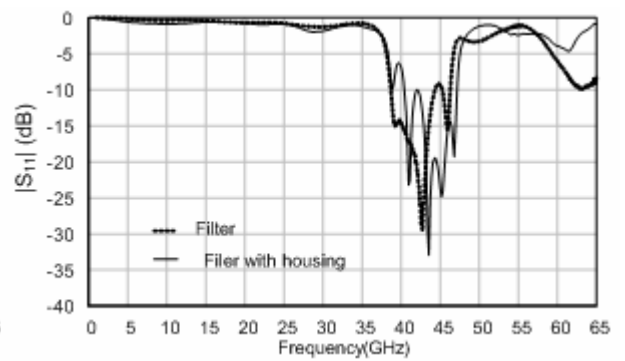
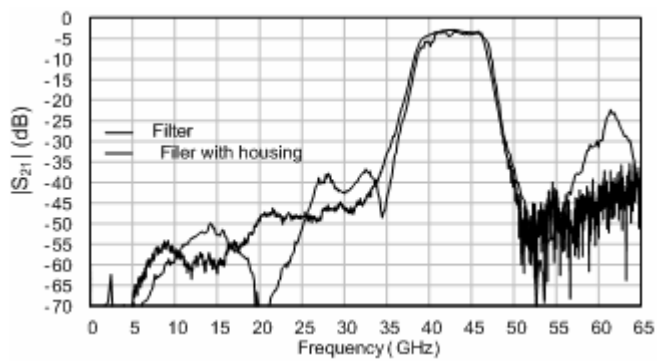


(b)

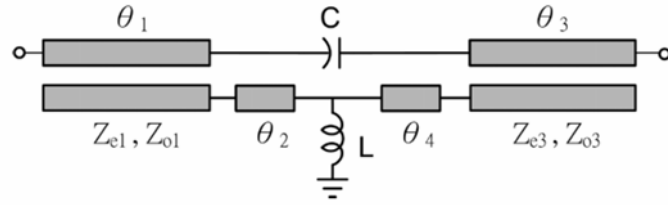
圖十八. 同軸線接頭轉 50Ω 傳輸線之 (a)成品照片與 (b)頻率響應量測圖。



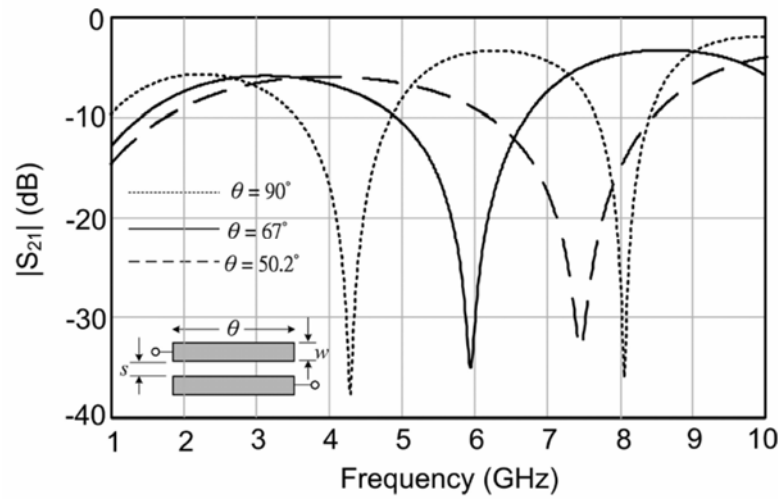
圖十九. 平行耦合型微帶線帶通濾波器之 (a)組裝示意圖與 (b) 成品照片。



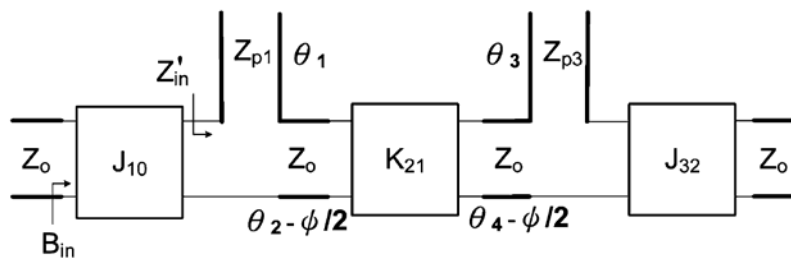
圖二十. 平行耦合型微帶線帶通濾波器(圖十九)組裝前後之頻率響應量測比較圖。



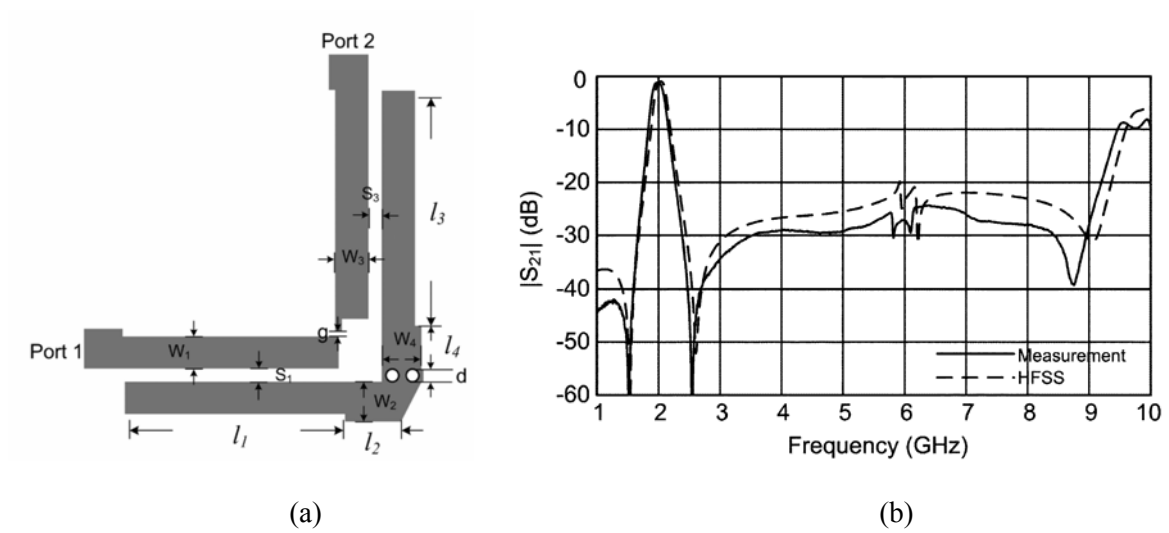
圖二十一. 新式二階平行耦合型微帶線帶通濾波器之佈局圖。



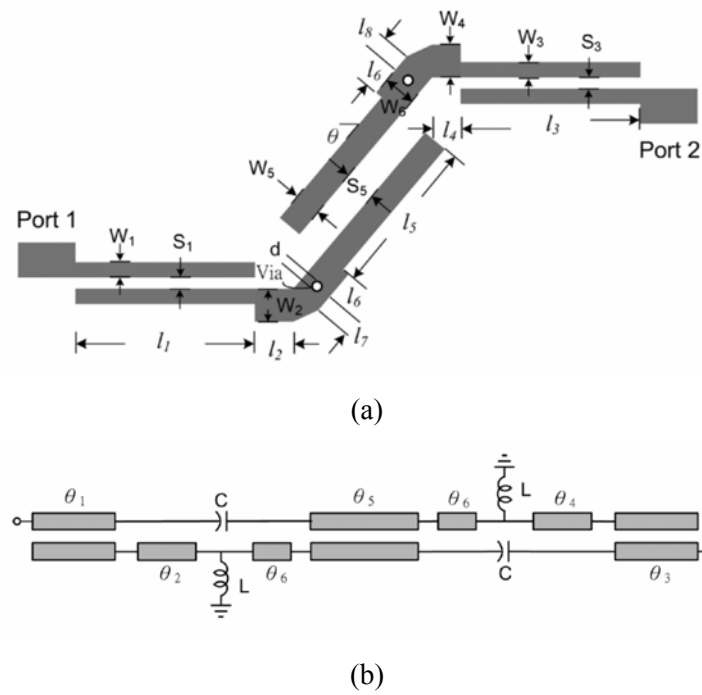
圖二十二. 第二個週期假通帶響應的發生頻率與耦合線長度的關係。



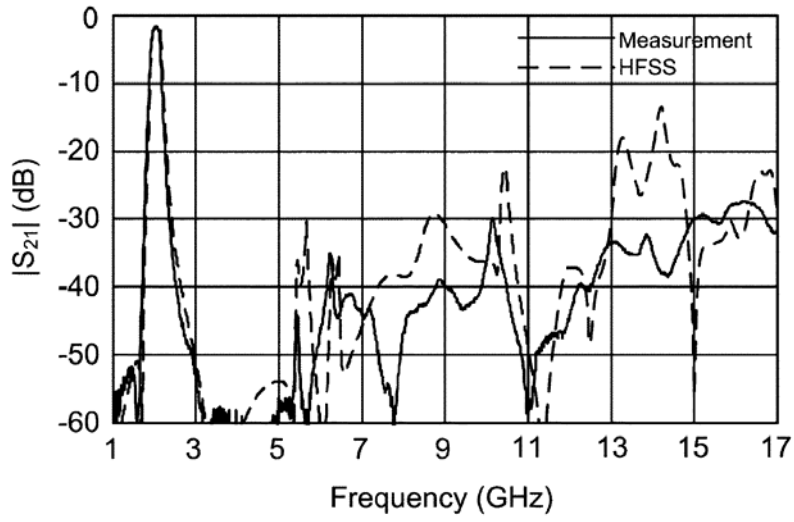
圖二十三. 新式二階平行耦合型微帶線帶通濾波器之等效電路圖。



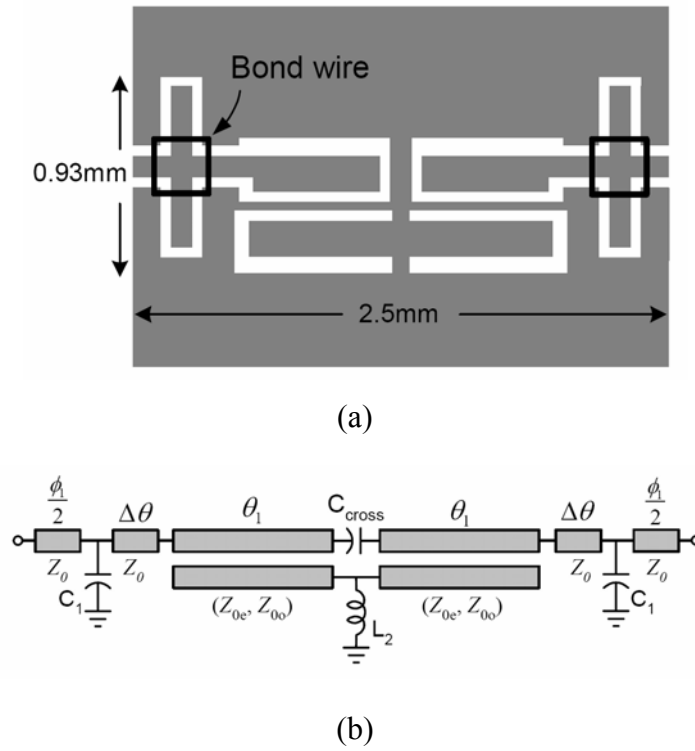
圖二十四. 新式二階平行耦合型微帶線帶通濾波器：(a)佈局圖、(b)模擬及量測結果。



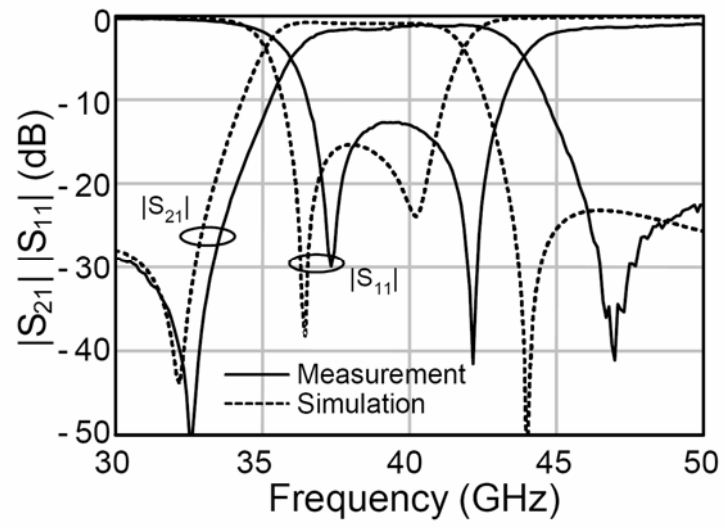
圖二十五. 新式四階平行耦合型微帶線帶通濾波器：(a)佈局圖、(b)等效電路圖。



圖二十六. 新式四階平行耦合型微帶線帶通濾波器(圖二十五)之模擬及量測結果。



圖二十七. 毫米波新式四階平行耦合型共面波導帶通濾波器：(a)佈局圖、(b)等效電路圖。



圖二十八. 毫米波新式四階平行耦合型共面波導帶通濾波器(圖二十七)之模擬及量測結果。