

「38-GHz 無線收發系統關鍵元組件技術」子計畫二： 單面濾波器 (2/3) Uniplanar Filters (2/3)

計畫編號：NSC 91-2219-E-002-016

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：陳俊雄 國立台灣大學電機系教授

計畫參與人員：林祐生、辜偉志、池榮聖、許旻舜、鄧卜華、吳昭篁

一. 中文摘要

(關鍵詞：單面結構、濾波器。)

為配合發展毫米波無線通訊收發系統，本研究特研發數種低通及帶通單面濾波器，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縮小化單面濾波器結構，以達成電路短小輕薄的目的。

本研究的內容包括：設計用等效電路模型的建立，分析用電腦軟體程式集的完成，再結合理論分析與實驗量測，進行低通及帶通單面濾波器各種特性之詳盡探討。

第二年研究，將在共面波導之信號線與接地線上，蝕刻而形成開路截線與短路截線，以產生所需之電感值與電容值，並適當組合上述截線，設計出低通與高通之共面波導濾波器，最後再將低通與高通結構串接起來，進而完成串接型共面波導帶通濾波器。

Abstract

(Keywords : Uniplanar structure, filter.)

The purpose of this investigation is to develop and study several lowpass and bandpass

uniplanar filters so as to establish the key component technologies for millimeter-wave wireless communication systems. The goal is to establish suitable equivalent circuit models for practical design and associated computer software for theoretical analysis. In this study, novel reduced-size uniplanar filters are proposed and investigated in detail. Specifically, various properties of proposed uniplanar filters are carefully examined, both theoretically and experimentally.

In this second-year research, novel coplanar waveguide (CPW) lowpass and highpass filters are first proposed, by suitably incorporating the open and short stubs in the strip and ground portions of a CPW structure. Next by cascading these lowpass and highpass filter structures, a novel CPW bandpass filter is implemented and carefully examined.

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。

單面單晶微波積體電路 (Uniplanar monolithic microwave integrated circuit) 的構想，首由 Hirota 及 Ogawa 等人提出。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。

連接單面電路元、組件的要件為單面傳輸線 (Uniplanar transmission lines)，依結構可分成：共面波導 (Coplanar waveguide, 簡稱 CPW)、槽線 (Slotline, SL)、及共面帶線 (Coplanar stripline, CPS)。共面波導、槽線、及共面帶線之導體部分均共用同一平面，三者經適當組合，可簡化積體電路架構及製程，也可改善電路特性，因此於單晶微波及毫米波積體電路的發展過程中，頗受世人的注意。

濾波器是微波及毫米波無線通訊系統中之一重要組件，過去有關微波濾波器的研究工作，較偏重於以矩形金屬波導 (Rectangular metallic waveguide)、帶線 (Stripline)、以及微帶線 (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。

隨著毫米波無線通訊系統的開發，以共面波導、槽線、共面帶線等為基礎的單面電路及系統，也普受世人的重視，而開發出各種型式的單面濾波器。

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單面截線或共振器 (Uniplanar

stubs or resonators)，可作為發展單面濾波器的基礎。

已開發單面濾波器依耦合方式，可分為端邊或縫隙耦合型 (End or gap coupled)，側邊或邊緣耦合型 (Side or edge coupled)，端側邊耦合型 (End/side coupled)，寬端邊耦合型 (Broadside/end coupled)，以及背墊導體耦合型 (Backed-conductor coupled) 等數種。若依結構分類又可分為：截線型 (Stub type)，階段阻抗型 (Stepped-impedance type)，以及集總元件型 (Lumped-element type) 等各類。另在單面濾波器電路中，加入二極體或電晶體，也開發出可調式濾波器 (Tunable filters)。

濾波器頻寬與結構之耦合方式息息相關。端邊耦合型濾波器之耦合量較小，其頻寬較小；寬邊耦合型及背墊導體耦合型濾波器之耦合量較大，其頻寬也較大；側邊耦合型濾波器之耦合量在上述兩種之間，頻寬則為中等。

以往所發展的單面濾波器，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，因此有研發縮小化單面濾波器的必要。

為配合總計畫「38-GHz 無線收發系統關鍵元組件技術」的開發工作，本子計畫的目標為：完成兩種「單面濾波器」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」之規格為：通帶 (Passband) 0~4.5 GHz，植入損失 (Insertion loss) <1dB，I/O 回波損失 (Return loss) >15 dB，帶拒值 (Band rejection) 在 5.5 GHz 為 15 dB 並在 6.5 GHz 為 30 dB；而「帶

通濾波器」之規格為：通帶 36-40 GHz，植入損失 < 2 dB，I/O 回波損失 > 15 dB，帶拒值在 32.5 GHz 為 40 dB。

三. 研究方法與結果

1. 共面波導低通濾波器

第二年研究，首先分別在共面波導之信號線與接地線上蝕刻出數段槽線，這些槽線形成開路截線與短路截線以產生想要的電感值與電容值，例如在圖一(a)信號線上的槽線形成一短路截線，可以等效為電感 L_1 ，在接地線上的槽線形成一開路截線，可以等效為電容 C_2 。

當然，我們也要考慮高低阻抗線的效應，這是由於電流分佈隨著信號線在不連續處的寬度改變，也會有電容或電感的效應產生。在我們提出的結構中，信號線的信號輸入端可視為一低阻抗線，等效於電路中的電容 C_1 ，而從信號線延伸到接地線的細長金屬線可視為一高阻抗線，等效於電路中的電感 L_2 。

由上述可知，我們所提出的結構亦可視為是由數種不同型式的截線所組合而成，因此在 1998 年[1]和 1999 年[2]，Hettak 等人以共面波導結構，提出了許多種不同的串聯與並聯元件與其等效電路，讓研究者可以利用來組合出各式各樣的濾波器，且具有結構緊密與低植入損耗的特性。

另外我們利用全波模擬軟體 Sonnet 來分析圖一(a)之結構，饋入傳輸線為 50Ω ，模擬與量測的結果如圖一(b)所示。整個結構製作在氧化鋁基板上 ($\epsilon_r=9.9$ ， $h=0.38\text{mm}$ ， $\tan\delta=0.005$)。在結構中兩輸入端的改變是為了方便下針量測。

圖一(b)中，我們可以看到雖然通帶區中的 $|S_{21}|$ 和 $|S_{11}|$ 符合規格，但止帶區的 $|S_{21}|$ 在 5.5GHz 時大約為 -7dB，顯然衰減程度不符合規格。

因此，我們將圖一(a)的低通濾波器結構作一週期性的串接，如圖二所示。其模擬與量測結果相當吻合；圖中通帶區中的 $|S_{21}|$ 和 $|S_{11}|$ 仍符合規格，且我們可以看到止帶區的 $|S_{21}|$ 在 5.5GHz 時，已經可達到 -15dB，而在 6.5GHz 亦可達到 -30dB。所以只要串接兩個低通濾波器，就已足夠符合規格，而所應用的觀念即是週期結構的止帶衰減特性。

2. 共面波導帶通濾波器

從早期到近幾年的文獻中，共面波導帶通濾波器，大多數都是以耦合線[3]、槽線[4]以及開路或短路截線[5]的觀念，來設計想要的頻率響應。

我們在此提出一個不同的設計方法，就是利用低通濾波器串接高通濾波器去設計一新型的帶通濾波器。此觀念和 Hettak 等人所提出的組合元件的概念相同，只是我們更提高一個層次，將串聯和並聯的元件再次簡化為低通元件與高通元件。此概念與 Hettak 等人所提方法的最大差別，在於利用低通元件與高通元件的頻率響應，可事先掌握我們想要的帶通濾波器之頻率響應。

首先，我們設計一共面波導低通濾波器，其結構、模擬、與量測結果如圖三所示。圖三顯示全波模擬與實驗以及等效電路的 S 參數均相當吻合。注意此結構製作在 FR4 基板上 ($\epsilon_r=4.3$ ， $h=1.6\text{mm}$ ， $\tan\delta=0.022$)。

接下來我們設計一高通濾波器，其設計方

法與步驟都與低通濾波器相同。我們設計高通濾波器的主要目的，是希望能與低通濾波器串接後，組合成一個新式的帶通濾波器。

圖四(a)為共面波導高通濾波器的結構與等效電路模型圖。其中，在信號線的輸入端為一低阻抗線，可等效為一電容 C_s 接地，接著串聯一條細長的高阻抗線，可等效為電感 L_s ，然後再串聯一開路截線，可等效為另一電容 C_a ；而在接地線中，共有三段高阻抗線，其中兩段各串聯一間隙到地，可等效為一電感 L_a 串聯一電容 C_b ，另一段則可等效為電感 L_b 到地。圖四(b)顯示全波模擬與實驗以及等效電路的 S 參數均相當吻合。

最後，我們將低通與高通的結構串接起來，得到一串接型帶通濾波器，如圖五所示。其中，我們忽略圖五中傳輸線 d_g 的效應。圖中亦顯示全波模擬與實驗以及等效電路的 S 參數均相當吻合。

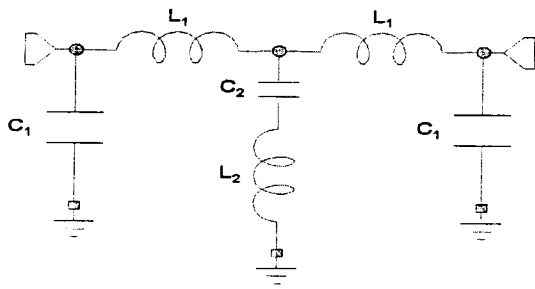
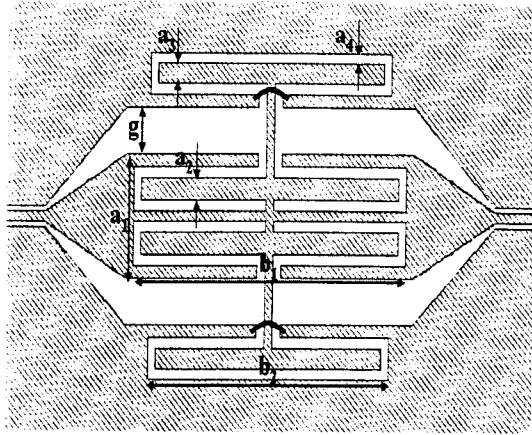
四. 結論

本研究以一維串接的方式，來改善止帶衰減量的不足。此種方式並不需要改變原來所設計的共面波導低通濾波器的結構，只要簡單的串接起來，便可得到想要的止帶衰減量，而此種週期性串接的方式，還有另外一項優點，就是當串接的個數越多，就可以得到越寬的止帶頻寬，進而改善低通濾波器的效能。

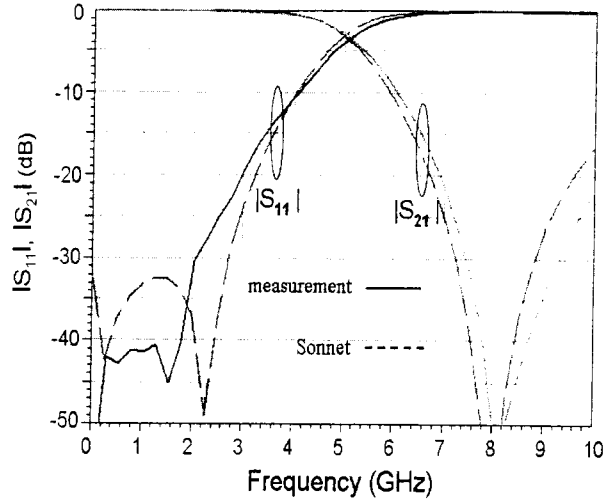
本研究所提出的串接型帶通濾波器的基本概念，是把一個帶通的頻率響應拆成低頻與高頻兩部分，然後個別去設計。一般而言，單獨去設計一個低通濾波器或是一個高通濾波器，都會比直接去設計一個帶通濾波器來得簡單。所以說，此種新式的設計方法，可將設計帶通濾波器的困難度大大的降低。

五. 參考文獻

- [1] K. Hettak, N. Dib, A.-F. Sheta, and S. Toutain, "A class of novel uniplanar series resonators and their implementation in original applications," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 46, pp.1270-1276, Sept. 1998.
- [2] K. Hettak, N. Dib, A. Omar, G.-Y. Delisle, M. Stubbs, and S. Toutain, "A useful new class of miniature CPW shunt stubs and its impact on millimeter-wave integrated circuits," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 47, pp.2340-2349, Dec. 1999.
- [3] F.-L. Lin, C.-W. Chiu, and R.-B. Wu, "Coplanar waveguide bandpass filter - a ribbon-of-brick-wall design," *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol.43 pp.1589-1596, July 1995.
- [4] M.-L. Her, C.-M. Chang, C.-H. Lee, and Y.-C. Chiou, "Analysis of slot-loaded end-coupled resonator CPW bandpass filters," in *Asia-Pacific Microwave Conf.*, pp.326-329, 2001.
- [5] Y.-K. Kuo, C.-H. Wang, and C.H. Chen, "Novel reduced-size coplanar-waveguide bandpass filters," *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, vol. 11, pp.65-67, Feb. 2001.

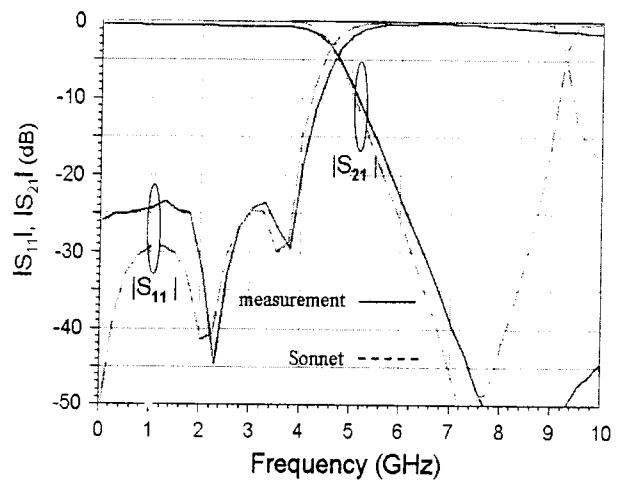
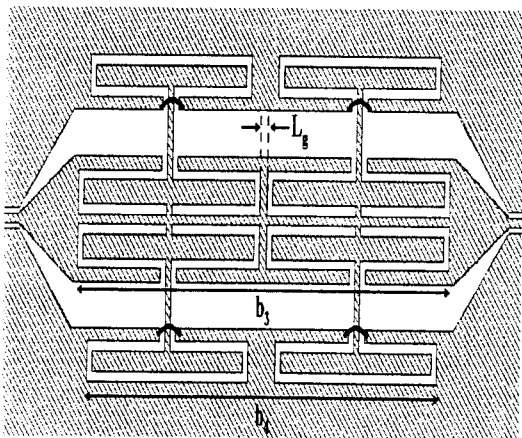


(a)

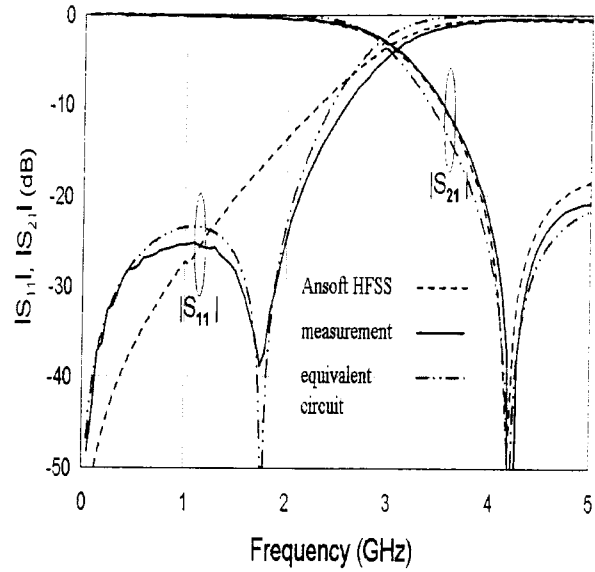
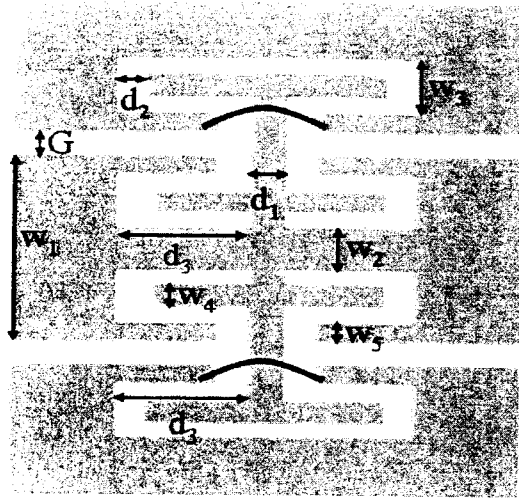


(b)

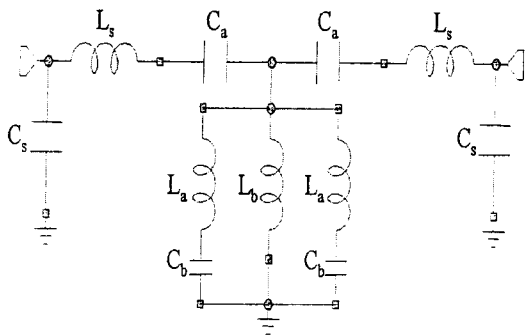
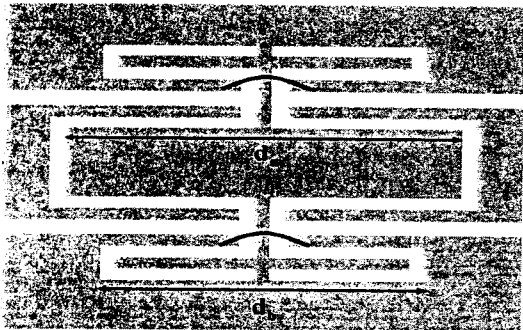
圖一. 共面波導低通濾波器，(a)結構與等效電路模型($a_1=1.22$, $a_2=0.23$, $a_3=0.20$, $a_4=0.10$, $g=0.46$, $b_1=3.45$, $b_2=3.05$, unit: mm)，(b) S 參數圖。此結構製作在氧化鋁基板 ($\epsilon_r=9.9$, $h=0.38\text{mm}$, $\tan \delta=0.005$)。



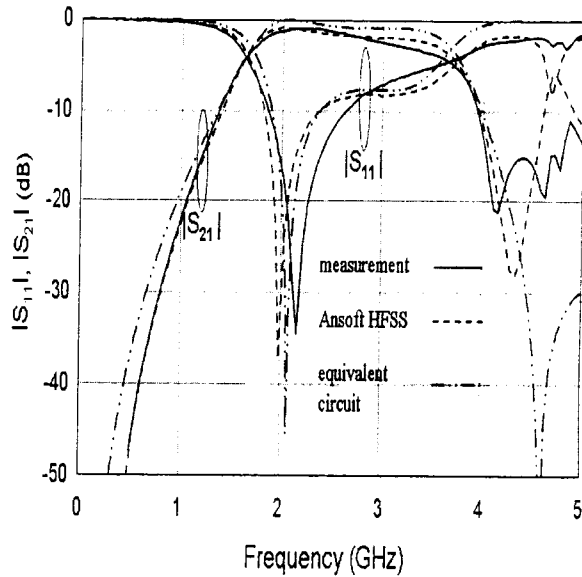
圖二. 串接型共面波導低通濾波器之結構($L_g=0.13$, $b_3=7.04$, $b_4=6.63$, unit: mm)與 S 參數圖。



圖三. 共面波導低通濾波器之結構($G=1$, $W_1=9$, $W_2=2$, $W_3=2.5$, $W_4=1$, $W_5=1$, $d_1=1$, $d_2=0.75$, $d_3=3.5$, unit: mm) 與 S 參數圖。此結構製作在 FR4 基板 ($\epsilon_r=4.3$, $h=1.6\text{mm}$, $\tan \delta=0.022$)。

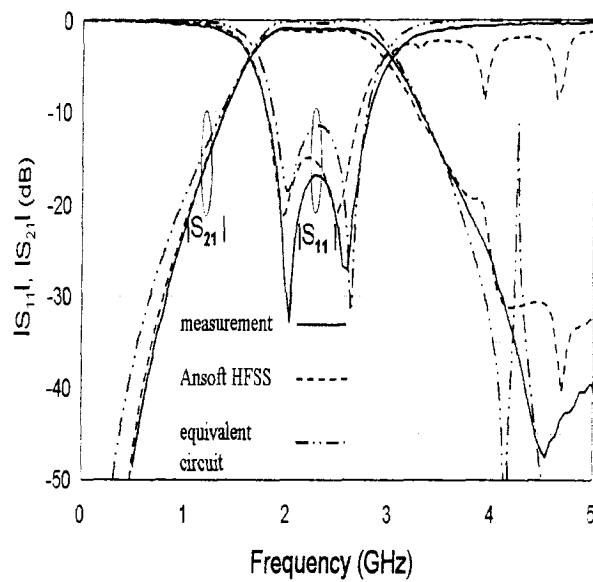
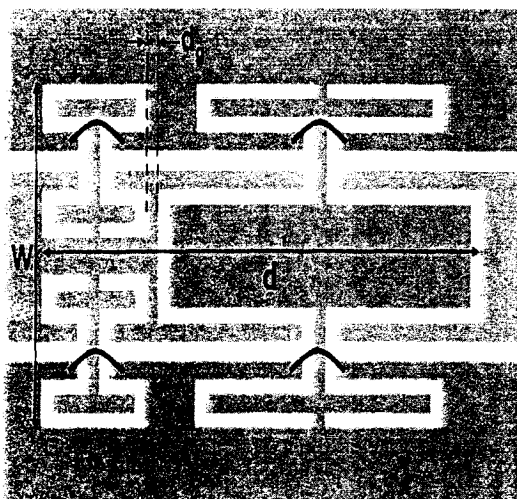


(a)



(b)

圖四. 共面波導高通濾波器，(a)結構 ($d_a=23.5\text{mm}$, $d_b=19\text{mm}$) 與等效電路模型，(b) S 參數圖。結構中的其他參數皆與圖三相同。



圖五. 串接型共面波導帶通濾波器之結構($d=34\text{mm}$, $d_g=1\text{mm}$, $W=18\text{mm}$)與 S 參數圖。