

使用三段式雙行態共振器之24/60-GHz CMOS雙頻帶通濾波器設計

葉隆凱、莊惠如*

國立成功大學電機資訊學院電腦與通信工程研究所

q3897120@mail.ncku.edu.tw

* chuang_hr@ee.ncku.edu.tw

L.-K. Yeh, C.-Y. Hsu, C.-Y. Chen and H.-R. Chuang "A 24/60-GHz CMOS On-Chip Dual-Band Bandpass Filter Using Tri-section Dual-Behavior Resonators," IEEE Electron Device Letters. vol. 29, no. 12, pp. 1373-1375, Dec.2008.(SCI,EI)

I. 簡介

近幾年毫米波被已應用在各種廣泛的無線通訊領域上，例如24 GHz和77 GHz的汽車雷達系統[1]與60 GHz短距離無線通訊[2]。雙頻濾波器當作關鍵性的電路方塊在雙頻無線通訊系統(例如24/60 GHz)已經被建議和廣泛地使用，而具有小型化尺寸、低插入損耗和高選擇性通帶的濾波器在無線通訊上是非常重要的。由於低製造成本和整合射頻前端積體電路的考量，互補式金屬-氧化層-半導體製程(CMOS)將是未來的重要趨勢。在本文中，我們採用雙行態共振器和步階阻抗共振器來設計24/60-GHz毫米波0.18- μm CMOS雙頻帶通濾波器射頻晶片(如圖1. 所示)。濾波器元件尺寸的縮小化及傳輸零點位置的控制也將在本文說明。

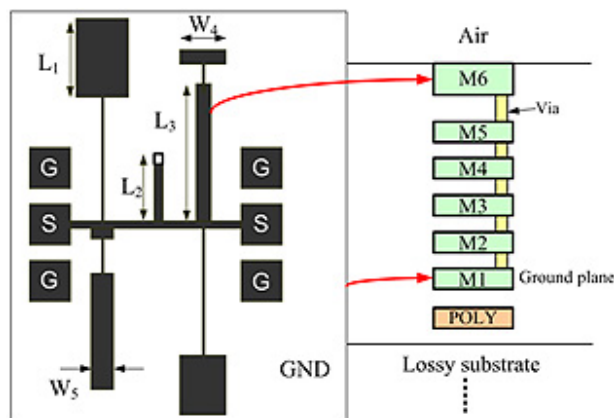


圖1. CMOS製程之結構示意圖與24/60-GHz的毫米波雙頻帶通濾波器之佈局圖

II. 雙頻帶通濾波器設計

文獻[3]-[4]提到，使用步階阻抗共振器(SIRs)來實現很多小型化的微帶線交錯耦合帶通濾波器; 文獻[5]，使用開路端的 $\lambda/4$ 步階阻抗共振器使得通帶的選擇性和止帶響應被額外地提升; 除此之外，步階阻抗也用於雙行態共振器(DBRs)的架構上。圖2所示為雙行態共振器的基本架構，主要是並聯兩個不同的帶拒架構，其等效輸入阻抗為 Z_{S1} 和 Z_{S2} 。全部架構的阻抗可表示為 [6]

$$Z = \frac{Z_{S1}Z_{S2}}{Z_{S1} + Z_{S2}} \quad (1)$$

由方程式(1)得知，當滿足阻抗 Z 等於零，也就是 Z_{S1} 或 Z_{S2} 等於零時，即為傳輸零點發生的時候。而阻抗 Z 為無限大，等效輸入阻抗 Z_{S1} 和 Z_{S2} 滿足絕對值大小相同，相位差 180° 時，即為帶通響應發生的時候。濾波器基於雙行態共振器的概念被提出和應用在毫米波帶通濾波器的架構上。圖3(a)和(b)分別為一段式開路端共振器，其各別提供一個傳輸零點。圖3(c)則是把兩個一段式開路端共振器並聯在一起來形成一個具有通帶 f_0 的響應。除此之外，傳輸零點亦可獨立控制在通帶的左右兩邊。但是為了縮小濾波器的尺寸，接下來我們採用步階阻抗共振器的架構做設計，步階阻抗共振器是由二段或更多不同特性阻抗的傳輸線所構成，當增加步階的數目，在設計上則提供更多的變數可做使用。圖4為三段式步階阻抗共振器，其變數有特性阻抗 Z_1 、 Z_2 及 Z_3 ，長度分別為 l_1 、 l_2 和 l_3 ，當 $l_3=0$ 時，即為傳統的兩段式步階阻抗共振器。由圖5可以看出，在相同的頻率下，取代為三段式架構可以有效地縮小濾波器的尺寸。圖6呈現三個三段式步階阻抗共振器架構的響應，固定相同的電氣長度和不同的寬度設計，為了避免共振器之間耦合效應的發生，設計上則採用較細寬度的共振器。使用雙行態共振器設計的24/60-GHz毫米波雙頻濾波器，架構本身主要結合了兩段式與三段式的步階阻抗的設計考量，由上述的分析，雙行態共振器分別由不同的特性阻抗與電器長度所構成，每個共振器各別貢獻了一個傳輸零點在通帶的左右兩旁。如圖7所示，一組傳輸零點被設計在43/93 GHz，另一組為37/92 GHz，兩種不同類型的雙行態共振器被設計在鄰近的頻率，不但使得止帶(stopband)有較好的選擇性，且具有較寬的止帶頻寬(rejection bandwidth)。最後，設計一個小於 $\lambda/4$ 的短路截線(short-circuited stubs)可以等效為並聯電感(shunt inductor)，在響應上抑制了低頻的訊號響應。

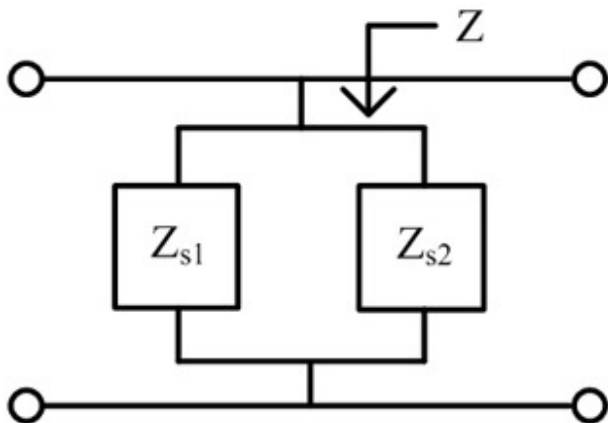


圖2. 基本的雙行態共振器架構

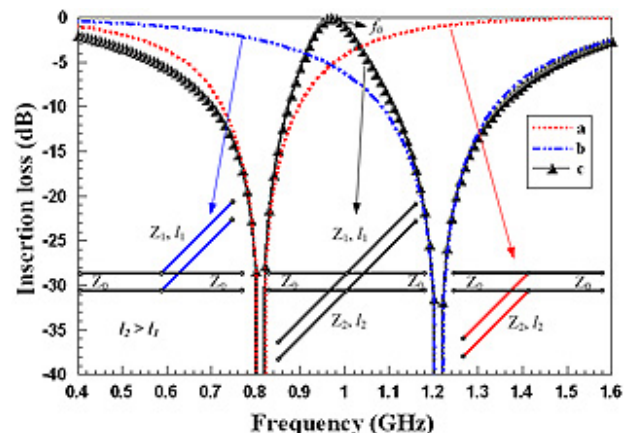
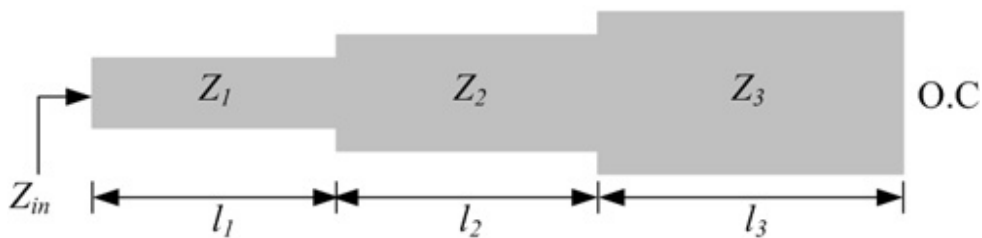
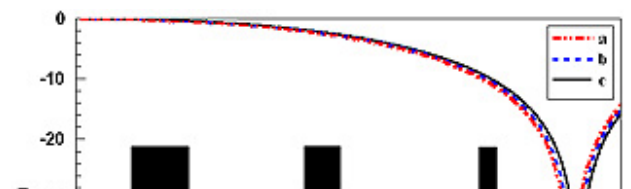
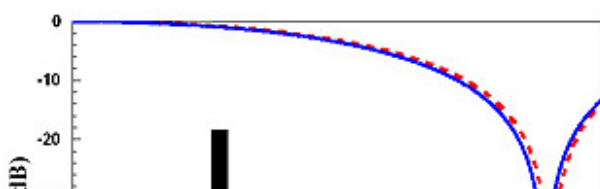
圖3. 頻率響應(a)長度為 l_1 的開路截線(b)長度為 l_2 的開路截線(c)雙行態共振器架構

圖4. 三段式步階阻抗共振器架構



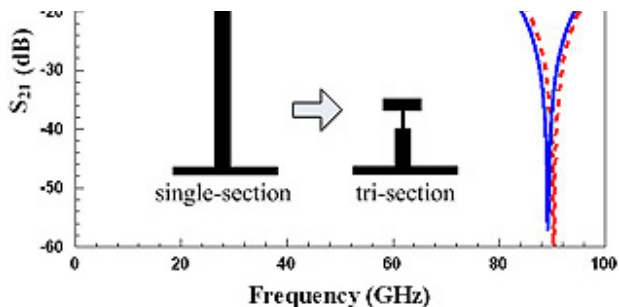


圖5. 三段與一段式之步階阻抗共振器頻率等效

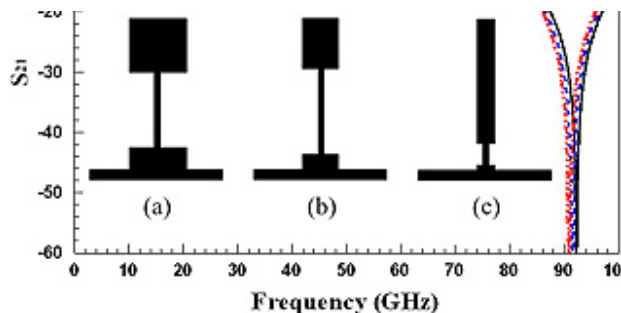


圖6. 相同電氣長度和不同共振器寬度設計

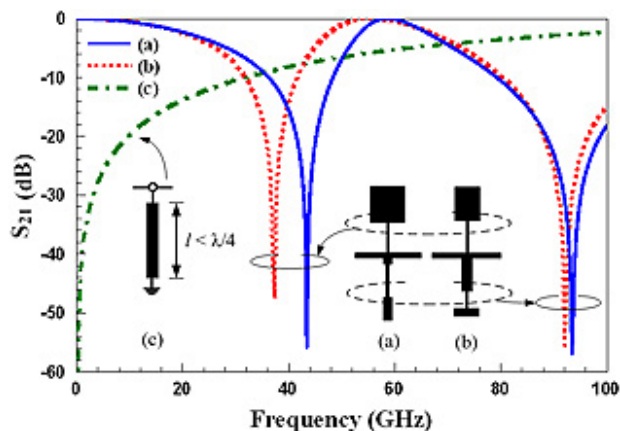


圖7. 短路截線和43/93-GHz及37/92-GHz雙行態共振器的模擬結果

III. 模擬和量測結果

圖8為24/60-GHz CMOS雙頻帶通濾波器晶片照片圖和濾波器模擬與量測結果，本濾波器設計在0.18毫米的CMOS多層架構的製程中，矽基板的厚度為 500 μm ，不包含Dummy 部分的濾波器晶片大小為 $1.03 \times 0.590 \text{ mm}^2$ 。所設計的濾波器各項參數如下： $L_1 = 0.2 \text{ mm}$ ， $L_2 = 0.17 \text{ mm}$ ， $L_3 = 0.34 \text{ mm}$ ， $W_4 = 0.1 \text{ mm}$ ，and $W_5 = 0.04 \text{ mm}$ ，量測結果顯示，止帶都低於-20 dB，雙頻帶通濾波器在24 GHz通帶內，具有低於3.6 dB的插入損失與高於15 dB的反射損失；在60 GHz通帶內，具有低於2.8 dB的插入損失與高於10 dB的反射損失。

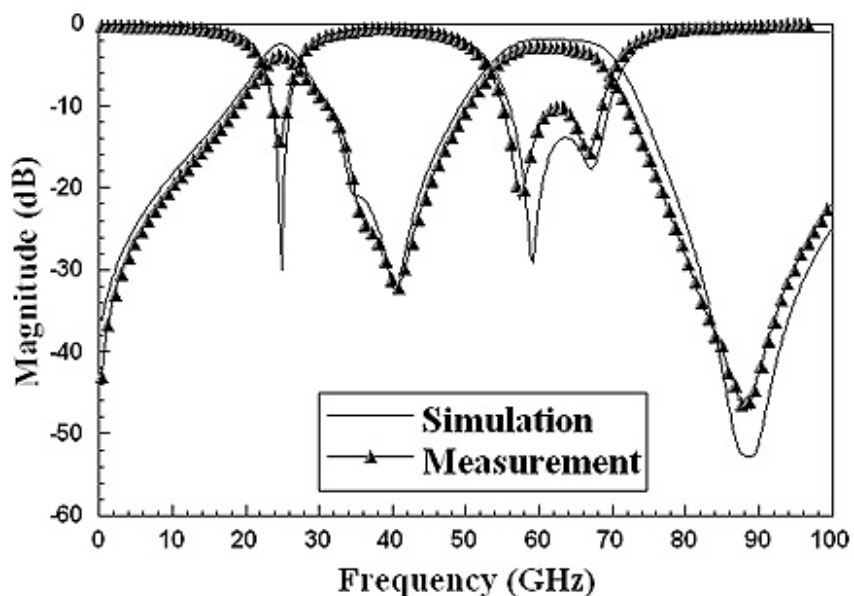
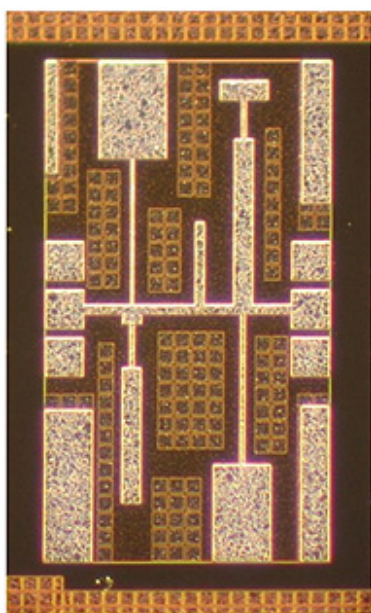


圖8 24/60-GHz CMOS雙頻帶通濾波器晶片照片圖及模擬與量測圖

IV. 結論

本篇論文提出了一個使用0.18- μm 標準CMOS製程來設計與實現24/60-GHz CMOS雙頻帶通濾波器毫米波射頻晶片，論文研究雙行態共振器概念的濾波器架構，三段式步階阻抗共振器不但縮小晶片面積且有更多的結構幾何參數，增加了設計上的靈活度。這個24/60-GHz雙頻帶通濾波器量測與模擬的結果相當吻合。

參考文獻

- [1]E. van der Heijden, M. Notten, G. Dolmans, H. Veenstra and R. Pijper, "On-chip third-order band-pass filters for 24 and 77 GHz car radar," *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, pp. 697-700, Jun. 2006.
- [2]C.-Y. Hsu, C.-Y. Chen, and H.-R. Chuang, "A 60-GHz Millimeter-Wave Bandpass Filter Using 0.18- μm CMOS Technology," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 29, no. 3, Mar. 2008.
- [3]C.-F. Chen, T-Y. Huang, and R.-B. Wu, "Compact Microstrip Cross-Coupled Bandpass Filters Using Miniaturized Stepped Impedance Resonators," in *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.* vol. 1, Dec. 2005.
- [4]H. Zhang and K. J. Chen, "A Tri-Section Stepped-Impedance Resonator for Cross-Coupled Bandpass Filters," *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, vol. 15, no. 6, Jun. 2005.
- [5]M. Makimoto and S. Yamashita, "Bandpass Filters Using Parallel Coupled Stripline Stepped Impedance Resonators," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 28, no. 12, pp. 1413-1417, Dec. 1980.
- [6]Y.-Z. Wang and M.-L. Her, "Compact microstrip bandstop filters using stepped-impedance resonator (SIR) and spur-line sections," *IEE Proc.-Microw. Antennas Propag.*, vol. 153, no. 5, Oct. 2006.
- [7]C. Quendo, E. Rius, and C. Person, "Narrow Bandpass Filters Using Dual-Behavior Resonators," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 51, pp. 734-743, Mar. 2003.
- [8]K. Srisathit, R. Phromlounsri, S. Patisang, and M. Chongcheawchamnan, "A New Microstrip Duplexer Using Open-Circuited Dual-Behavior Resonator," in *Proc. Asia-Pacific Microwave Conf.* vol. 5, Dec. 2005.
- [9]S. Sun, J. Shi, L. Zhu, S. Rustagi, and K. Mouthaan, "Millimeter-wave bandpass filters by standard 0.18-mm CMOS technology," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 28, no. 3, pp. 783-787, Apr. 2007.
- [10]W. K. W. Ali and S. H. Al-Charchafchi, "Using equivalent dielectric constant to simplify the analysis of patch microstrip antenna with multi layer structures." in *Proc. IEEE AP-S Int. Symp.*, vol. 2, pp. 676-679. Jun. 1998