

一种新偏压结构的 BST 电容梳状滤波器设计

王文君, 张洪波, 赵 强, 陈宏伟, 杨传仁, 张继华

(电子科技大学 电子薄膜与集成器件国家重点实验室, 四川 成都 610054)

摘 要:介绍了一种五阶可调抽头式梳状线滤波器,设计采用共面方式接地,使用 $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ (BST) 铁电薄膜平板电容作为可调部件,并分析了平板电容结构的影响。针对梳状电调滤波器需单阶加压和外接大电阻繁琐的情况,提出利用集成在衬底上的大容量 BST 电容作为隔离电容,将各阶谐振器的偏压线互连来简化加压过程。运用高频电磁仿真软件 HFSS 进行验证,设计出的滤波器中心频率可调范围为 842~960 MHz(14%),3 dB 带宽为 9%~10%。

关键词:可调滤波器;铁电薄膜; $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ (BST);偏压线互连;边缘效应

中图分类号: TN384

文献标识码: A

Design of BST Capacitor Comb-line Filter with a New Bias Structure

WANG Wenjun, ZHANG Hongbo, ZHAO Qiang, CHEN Hongwei, YANG Chuangren, ZHANG Jihua

(State Key Lab. of Electronic Thin Films and Integrated Devices, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A new type of five-order tunable tapped comb-line filter has been presented in this paper. The designed device uses the coplanar ground and uses the ferroelectric film $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ (BST) parallel plate capacitors as the tunable component. The effect of the plate capacitor on the device has been analyzed. Aiming at the condition that a DC bias and high resistance for isolation are required for the comb-line filter, a method which uses the high-capacity BST capacitor integrated on the substrate as the isolation capacitor and interconnects the bias lines of each-order resonator to simplify the pressure procedure has been proposed the first time in this work. The design is simulated and verified by software of HFSS. The designed filter has the center frequency tuning range of 842~960 MHz(14%) and 3 dB bandwidths of 9%~10%.

Key words: tunable filter; ferroelectric thin films; $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ (BST); interconnecting bias lines; fringe effects

0 引言

现代无线通讯系统的发展要求其射频终端能在较宽的频率范围内迅速接收和处理射频信号。作为射频终端重要部件,微波滤波器就需要有可重置和可调的能力^[1]。因此,高性能,小体积,结构简单的可调滤波器对通讯系统的发展具有重要意义。滤波器各种结构中,微带梳状线耦合结构是最节省体积的结构之一,采用抽头式的输入、输出能更好地减小体积。

影响可调滤波器性能的关键是可调部件,常用的可调电容有微机电系统(MEMS)电容、变容管电容、机械可调电容、介质可调电容等^[2-3]。其中,拥有低插损,响应快,高集成度的 $\text{Ba}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{TiO}_3$ (BST) 电容是微波频段研究的焦点。目前,采用 BST 电容

梳状结构的可调滤波器已有一些研究,但传统的 BST 电容的梳状线滤波器偏压结构较复杂,每个可调电容都需要偏压线外接大隔离电阻进行加压^[4],这无形中增加了器件体积的同时也增加了器件封装难度。

本文采用抽头式梳状线滤波器设计方法,设计了一种基于 BST 平板电容的五阶滤波器。设计分析了 BST 电容结构对器件性能的影响,利用集成的 BST 电容作为隔直电容,并将各阶的偏压线互连。通过 HFSS 仿真验证,互连偏压线不会引起微波干扰,能简化偏压结构,提高器件集成度。

1 BST 电容的滤波器设计过程

1.1 基本原理

梳状线滤波器是由 1/4 波长的谐振器组构成,

收稿日期:2012-08-02

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51172035)

作者简介:王文君(1987-),男,四川眉山人,硕士生,主要从事铁电薄膜相关微波器件的设计与研究。E-mail:394212330@qq.com。

每个谐振器由一端接地的一定电长度的微带线,另一端通过电容接地^[5]。谐振器可根据设定的中心频率及适合的谐振器 Q 值和可调特性来确定电长度 θ 和集总电容 C 等参数。这种滤波器的理论计算可通过经典设计公式进行计算^[6],典型的抽头式梳状线结构如图 1 所示。

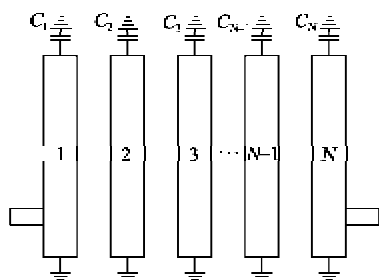


图1 抽头式滤波器的典型结构图

1.2 滤波器结构和参数设置

设定滤波器设计要求:中心频率为 900 MHz, 3 dB带宽为 9%~10%,带内插损 $S_{21} < 5$ dB,带外 20%处高频抑制 $S_{11} < 50$ dB。设计通过计算确定滤波器阶数为五阶,并拟合得到微带线尺寸。其中,滤波器衬底采用相对介电常数 ϵ_r 为 11.5,厚为 500 μm 的蓝宝石单晶基片,其损耗在 10 GHz 时小于 1×10^{-4} 。金属材料为 Au,厚度为 3 μm ,电导率为 4.1×10^7 S/m。本文中滤波器所涉及的结构模型及原理图如图 2 所示,其结构参数如表 1 所示。传统梳状线滤波器的接地设计通常通过基板打孔的方式接地^[7],对于应用于 BST 薄膜材料的一些基板,打孔精度和打孔后的金属通孔填充及底电极与孔的连接存在较大的工艺难度。本文中设计通过边缘金属接地,避免了通过衬底打孔和金属填孔带来的误差,两边金属薄带通过与封装测试夹具相连接接地,适当调整金属薄带的形状和大小,可优化频率的漂移和带线间的耦合。

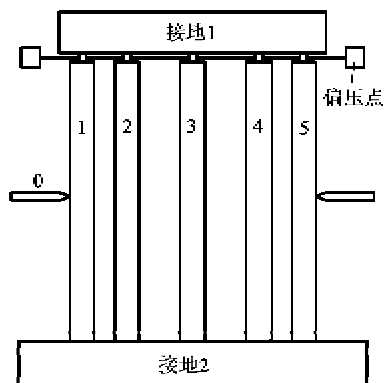


图2 滤波器结构图

表1 模型1 滤波器各参数尺寸

W_0/mm	0.40	$S_{12}, S_{15}/\text{mm}$	1.06
$W_1, W_5/\text{mm}$	1.24	$S_{23}, S_{32}/\text{mm}$	2.11
$W_2, W_4/\text{mm}$	1.34	L/mm	17.642
W_3/mm	1.35	L_{g1}/mm	14.000
W_{g1}/mm	2.08	L_{g2}/mm	18.230
W_{g2}/mm	2.20		

2 整体结构仿真及优化

2.1 平板电容结构和介质损耗的影响

滤波器可调电容采用 BST 薄膜平板电容, BST 平板电容的优势是能把容值做大(1 pF 以上),也能在同样介质特性和容值大小的情况下,减少边缘电容,提高电容的可调率^[8]。平板电容的理论计算式为

$$C_{\text{var}} = \frac{\epsilon_0 \times \epsilon_r \times S}{d} \quad (1)$$

式中: $\epsilon_0 = 8.85$ pF/m; ϵ_r 为薄膜相对介电常数; C_{var} 为可变电容; $S = 20 \mu\text{m} \times 18 \mu\text{m}$ 为正对面积; $d = 0.4 \mu\text{m}$ 为薄膜的介质厚度。

图 3 为实验所得典型 BST 薄膜测得在 100 kHz 时的介电性能。因此设定 BST 薄膜的可调率为 36%,即文中可调电容可从 4.4 pF 调节到 2.8 pF, BST 的损耗 $\tan \delta$ 分别为 0, 0.01, 0.02。高介 BST 电容有较大的边缘效应,会影响器件的微波性能,所以本设计对电容边缘介质大小进行修正,其电容结构如图 4 所示,修正变量为 d_k 。图 5 为介质边缘大小对 S 参数的影响。图 5 中的结果显示 BST 薄膜边缘修正变量 d_k 为 0~5 μm 时对器件性能的影响,其中心频率为 852~802 MHz,带内最小插入损耗 S_{21} 为 -1.4~-3 dB,回波损耗 S_{11} 为 -20~-3 dB(此时 $\tan \delta = 0$)。为减小 d_k 的尺寸,需在电容上电极制作完成后利用上电极金属层作掩膜对 BST 薄膜层进行自对准的刻蚀。

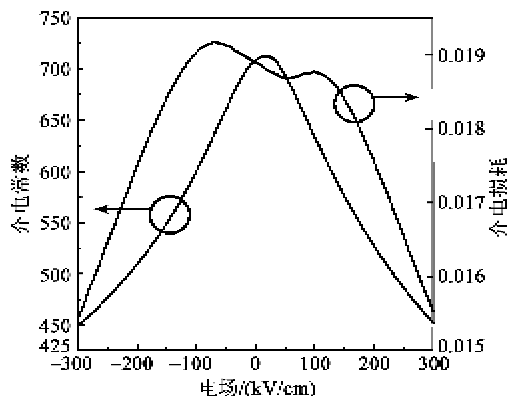


图3 BST 薄膜调谐率与损耗图

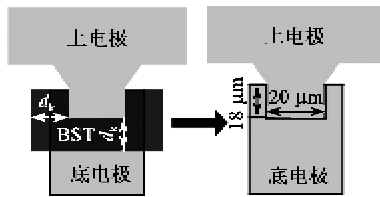


图4 平板电容边缘修正图

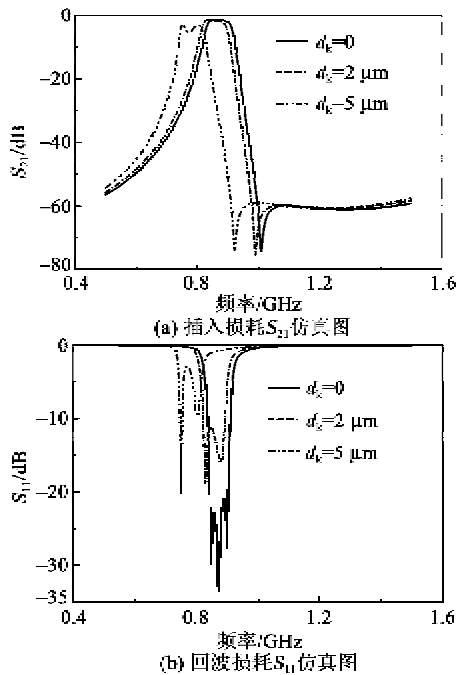
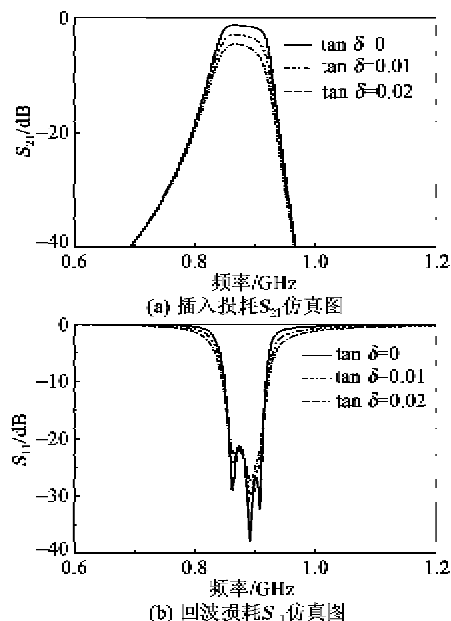


图5 介质边缘大小对S参数的影响

$\tan \delta$ 是影响滤波器 S_{21} 的重要因素,图6为不同 $\tan \delta$ 的S参数图。图6中EM仿真结果显示 $\tan \delta$ 变化从0~0.02时, S_{21} 变化从-1.3~

图6 不同 $\tan \delta$ 的S参数图

-4.6 dB, S_{11} 变化不大,均小于-20 dB。

2.2 偏压设计与仿真

传统电调梳状线滤波器中,电容通常的加压方式是等电容串联在通过大电阻连接偏压点,每组电容各自需要接入偏压线,其结构并不利于集成和封装,如图7所示。本设计采用可调集总电容和偏压隔离大电容串联的结构来简化偏压施加过程,模型中偏压线从相互串联的可调电容和隔离电容中引出并互连后形成一个偏压接头,偏压线宽20 μm,隔离电容 C_{bias} 的面积为 $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$,其值会随偏压变化,但对器件性能影响可忽略,如图8所示, $\tan \delta = 0.02$, C_{var} 调节4.4~2.8 pF,中心频率变化率为14% (842~960 MHz), S_{21} 变化从-4.77~-4.044 dB, S_{11} 变化从-26.85~-14.4 dB,符合设计需求。

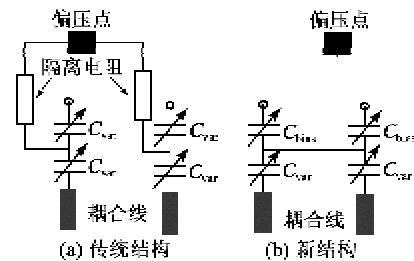


图7 两种偏压结构对比

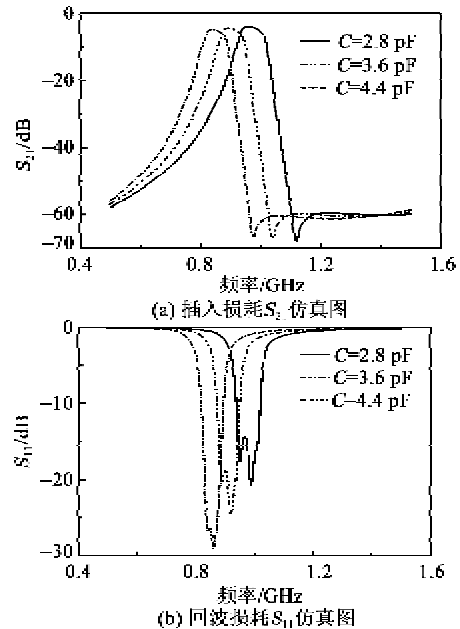


图8 可调电容变化S参数图

3 结束语

本文从抽头式滤波器的基本结构出发,设计了一种五阶滤波器。新偏压结构的滤波器可解决以往

可调滤波器加偏压的复杂状况,对电容边缘的修正可解决结构带来的影响,最终的仿真结果验证了结构的可行性。与同类滤波器相比,本文中的滤波器结构简单,易实现器件的生产和封装。

参考文献:

- [1] HOUNDONOUGBO F A, COSTES R, FAN J, et al. A 380~420 MHz two-pole tunable filter using new ferroelectric composite capacitors[C]//France; Proceedings of the 40th European Microwave Conference, 2010: 1134-1137.
- [2] COURRÈGES S, LI Yuan, ZHAO Zhiyong, et al. A low X-band quasi-elliptic ferroelectric tunable filter[J]. IEEE Microwave and Wireless Component Letters, 2009, 19(4): 203-209.
- [3] 田树林. 基片集成波导和带隙结构的带通滤波器[J]. 重庆理工大学学报:自然科学版, 2010(6): 52-55.
TIAN Shulin. Bandpass filter of substrate integrated waveguide and band gap structure[J]. Journal of Chongqing University of Technology: Natural Science, 2010(6): 52-55.
- [4] FENG Zhiping, FATHELBAB W M, LAM P G. A

6.2~7.5 GHz tunable bandpass filter with integrated Barium Strontium Titanate (BST) interdigitated varactors utilizing silver/copper metallization[C]//San Diego, CA; IEEE RWSIEEE RWS, 2009: 638-641.

- [5] 甘本祯, 吴万春. 现代微波滤波器的结构与设[M]. 北京: 北京科学出版社, 1974.
- [6] 李国治, 吴国安, 汤清华, 等. 抽头式梳状线带通滤波器设计[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2003, 31(8): 56-58.
LI Guozhi, WU Guoan, TANG Qinghua, et al. Design of a tapped combline bandpass filter[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2003, 31(8): 56-58.
- [7] 雷瑶, 石玉, 赵宝林, 等. 1~1.5 GHz 宽带梳状线电调滤波器的研究与设计[J]. 磁性材料及器件, 2010, 41(6): 61-62.
LEI Yao, SHI Yu, ZHAO Baolin, et al. Research and design of a 1~1.5 GHz broadband comb line electrically tunable filter[J]. J Magn Mater Devices, 2010, 41(6): 61-62.
- [8] HE W, YANG C, CHEN H, et al. Effects of fringing capacitor on ferroelectric phase shifter[J]. Electronics letters, 2010, 46(6): 426-428.

(上接第551页)

参考文献:

- [1] 张福学. 压电单晶与传感器[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1985.
- [2] TURNER R C, FUJERER P A, NEWNHAM R E, et al. Materials for high temperature acoustic and vibration sensors; A review[J]. Applied Acoustics, 1994, 41(4): 299-324.
- [3] JAFFE H. Piezoelectric applications of ferroelectrics[J]. IEEE Transactions on Electron Device, 1969, 16(6): 557-561.
- [4] 钟丽娜, 孙洪雷. 基于压电陶瓷的高灵敏度光纤光栅电压传感器[J]. 重庆工学院学报: 自然科学版, 2008(1): 112-115.
ZHONG Lina, SUN Honglei. High sensitivity fiber Bragg grating sensor for voltage measurement based on piezoelectric ceramic[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology: Natural Science, 2008(1): 106-109.
- [5] EITEL R E, RANDALL C A, SHROUT T R, et al. New high temperature morphotropic phase boundary piezoelectrics based on Bi(Me)O₃-PbTiO₃ ceramics[J]. Japanese Journal of Applied Physics Part 1-Regular Papers Short Notes & Review Papers, 2001, 40(10): 5999-6002.
- [6] 赵毅, 江一杭, 石维, 等. BGSPTx 系高温压电陶瓷的结构及性能[J]. 电子元件与材料, 2008, 27(5): 28-31.

ZHAO Yi, JIANG Yihang, SHI Wei, et al. Structure and properties of BGSPTx system high temperature piezoelectric ceramics[J]. Electronic Components and Materials, 2008, 27(5): 28-31.

- [7] JIANG Y, QIN B, ZHAO Y, et al. Phase transition, piezoelectric properties, and thermal stability of (1-x-y)BiScO₃-yBiGaO₃-xPbTiO₃ ceramics[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2008, 91(9): 2943-2946.
- [8] 钟维烈. 铁电物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- [9] 王巍, 王晓磊, 代作海, 等. 掺 Fe³⁺ TiO₂ 薄膜型氧传感器研究[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2011, 23(4): 443-446.
WANG Wei, WANG Xiaolei, DAI Zuohai, et al. A ferric-doped titanium oxide thin film oxygen sensor[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2011, 23(4): 443-446.
- [10] 周玉. 陶瓷材料学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1995.
- [11] 张进秋, 高永强, 贾进锋, 等. PVDF 压电加速度传感器电荷灵敏度影响因素分析[J]. 传感器世界, 2008, 38(10): 21-25.
- [12] ZHANG S, YU F. Piezoelectric materials for high temperature sensors[J]. Journal of the American Ceramic Society, 2011, 94(10): 3153-3170.