

## 基于复合腔结构的 MEMS 双模微带天线设计\*

魏德芳<sup>1</sup>, 赵继德<sup>2</sup>, 董永锦<sup>1</sup>, 杨仁锦<sup>2</sup>

(1. 鲁东大学物理与电子工程学院, 山东 烟台 264025;  
2. 莱州第三中学 烟台莱州 261400)

**提要:**设计了一种基于腔结构的双模偶极子天线,其频率在 2.44GHz 和 4.38GHz,利用 MEMS 开关实现双波段的操作。根据偶极子天线原理,设计了单模微带偶极子天线,使用开关结构将两个单模偶极子天线连接在一起,实现了双模天线的功能。利用三维电磁场软件 HFSS 分析了设计结构,包括开关、天线,在 0~10GHz 得出开关性能插入损耗在 -1dB 以下,天线回波损耗在 -26dB 以下。频率为 2.44GHz 时,回波损耗为 -13.2dB,2dB 的辐射效率为 89%,频率为 4.38GHz 时,回波损耗为 -21.9dB,3dB 辐射效率为 96%,带宽都在 0.5GHz 左右。

**关键词:** MEMS; 开关; 双模; 天线; 腔体

**中图分类号:** TN713

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-2743(2007)03-0063-02

### Dual-band microstrip antenna design of MEMS complex cavity

WEI De-fang<sup>1</sup>, ZHAO Ji-de<sup>1</sup>, DONG Yong-mian<sup>1</sup>, YANG Ren-di<sup>2</sup>

(1. LU DONG University, Shandong, Yantai 264025, China;  
2. Lai Zhou the Third high School Shandong, Yantai Laizhou 261400, China)

**Abstract:** A dual-band dipole antenna of MEMS (Micro-Electro-Mechanical-systems) switch and cavity is designed with the peak 4.38 GHz and lower frequency 2.44GHz, and the dual-band operation is realized with MEMS switch on or off. The single mode dipole antenna is designed by the dipole microstrip theory, and two single-band antennas are combined with the two switches, forming a dual-band antenna. The performance of switch and antenna are obtained by HFSS software simulation, respectively. The antenna return loss is -13.2dB and -21.9dB, at the lower and upper frequencies, respectively. The switch insert loss is better than -1dB and the antenna return loss is better than -26dB over entire frequency band 0-10GHz. The band is about 0.5GHz. The antenna radiation efficiency is 89% and the directivity is 2dB at the lower band, and the 96% and 3dB at the higher one.

**Key words:** MEMS; switch; dual-mode; antenna; cavity

一般而言,多波段天线可被假想一些单波段天线阵,它们可在较高的操作频率  $f_{max}$  产生谐振,这些元件被结合在一起,使得天线阵在不同的低频点 ( $f_{max}/n$ ) 产生谐振,此处的  $n$  是相关元件组的尺度因子<sup>[1]</sup>,通常情况下,连接元件可以使用开关来实现,但对开关的插入损耗,响应速度等要求较高,将对天线性能产生重要影响。

基于 MEMS(Micro-Electro-Mechanical-systems)开关结构的阵列中,开关元件及其相关的连接元件非常重要,插入损耗的隔离度将决定天线的性能。MEMS 开关具有宽频带、低损耗 (<0.2dB),高隔离度和低功率偏置,而普通的 PIN 二极管频率通常在 1GHz 以下<sup>[2]</sup>。同时, MEMS 器件可以利用标准的硅微细加工技术实现,与集成电路(IC)工艺兼容,适合大批量处理,在一定程度上缩小了产品成本<sup>[5]</sup>。本文设计了一种双波段( $n=2$ )的 MEMS 开关结构偶极子天线,利用两个开关结构放置于微带偶极子天线的缝隙内,开关的开启和闭合实现双波段的操作,同时利用微细工艺在基底上蚀刻一屏蔽腔,提高了天线的效率。

### 1 基于复合腔结构的双波段偶极子天线

#### 1.1 双波段偶极子微带天线设计

通常情况下,微带天线是利用在基底上蚀刻金属微带贴片结构<sup>[4]</sup>,但这种结构往往具有较大的介质损耗,因此本文在介质基底上开一个复合腔,并在腔内壁上涂上 0.1 $\mu$ m 厚金层,合理的减少天线的介质损耗<sup>[3]</sup>,提高了天线大的辐射效率。设计的单波段偶极子微带天线结构如图 1、2 所示,基底采用高阻硅(HRS: High Resistivity Silicon)材料,在高阻硅(650 $\mu$ m)上淀积两层 SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>(1 $\mu$ m/0.8 $\mu$ m),最后在混和基底上蚀刻厚度 3 $\mu$ m 金层为微带天线臂。

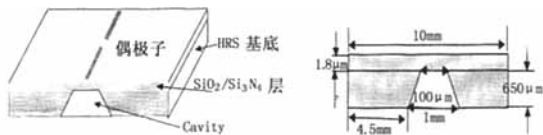


图1 偶极子结构图 图2 微带天线结构图

以上结构实现了单波段偶极子天线功能。为了实现双波段操作,可在偶极子臂之间的空隙处加上一开关,利用它将偶极子的双臂串联在一起形成单臂,这样,可将两根偶极

子天线利用开关的闭合/开启形成一个双波段的开关。开关闭合时,就形成一对长单臂极子在低频段谐振;开关断开时,形成一对短臂极子高频段谐振,其结构如图 3。

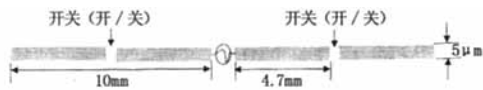


图3 结构图

由上图 3 可以看出,当两个开关同时处于断开状态时,该结构就是单波段偶极子微带天线;当开关处于闭合状态时,是一波段偶极子天线。因此通过控制开关的状态,实现了双波段偶极子天线的功能。

#### 1.2 开关设计

高隔离度的串联 MEMS 开关具有插入损耗小、响应时间短等优点<sup>[6]</sup>,串联开关由全金属的桥悬浮 1.5 $\mu$ m 在偶极子臂的缝隙位置。在线上定义为 100 $\mu$ m 的缝隙,桥的长度为 650 $\mu$ m,厚度为 1 $\mu$ m,宽度为 150 $\mu$ m(双边有 25 $\mu$ m 的交叠区域),金属桥被推拉电极锚定在两边,利用静电力实现开关的关、闭功能,当开关被拉下时,两条偶极子臂形成一个整体,如图 4 所示。其开关在关、开启状态如图 5a、5b 所示。

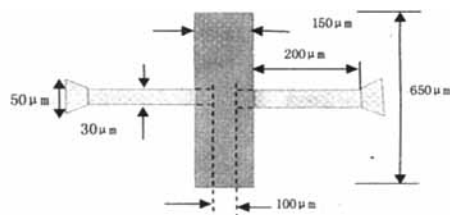


图4 示意图

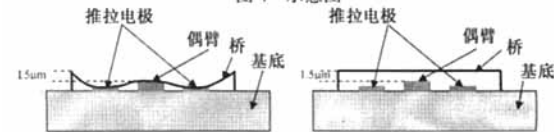


图5a 开关在关状态 图5b 开关在开状态

推拉电极设计面积为 55 $\times$ 120 $\mu$ m<sup>2</sup>,为保证金属桥和线有良好的接触,采用 0.40 $\mu$ m 厚的下拉电极,窄线插入降低了“开启”状态电容,由于在边缘和两条主线之间存在边缘场,开关在“闭合”状态下将提供良好的接触<sup>[7]</sup>。

#### 1.3 双波段天线性能分析

该双波段天线结构中,开关起着重要作用,本文利用电磁学

收稿日期:2006-12-05

基金项目: 本论文受烟台师范学院科研基金资助项目资助(编号: 20052804)

作者简介: 赵继德(1951-),男,山东烟台人,教授,烟台师范学院物理与电子工程学院院长,研究方向为 MEMS 技术,物理与微电子学、计算机应用等。

万方数据

HFSS 软件对以上开关结构进行仿真分析,考虑了在 0~10GHz 频段的插入损耗和回波损耗。在闭合状态下,回波损耗在 -16dB 以下,插入损耗在 -1dB 以下;在开启状态下回波损耗在 -26dB 以下,插入损耗在 -0.5dB 以下,如图 6、7 所示。

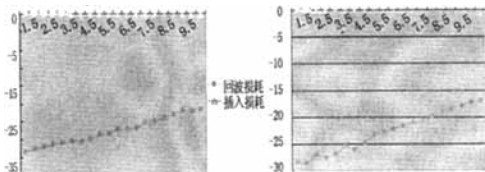


图 6

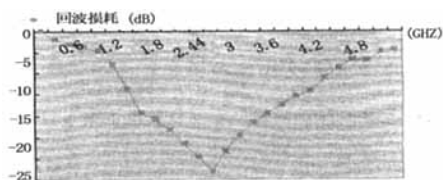


图 7

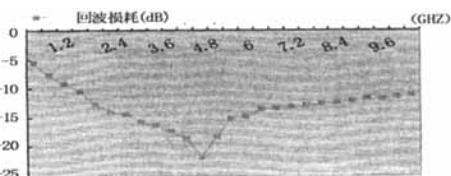


图 8

在上面开关结构下,利用电磁学软件 HFSS 对天线结构进行模拟分析,采用短偶极子臂长度为  $4.7\mu\text{m}$ ,长臂为  $20\mu\text{m}$ ,臂宽度为  $50\mu\text{m}$ ,金属厚度为  $3\mu\text{m}$ ,天线中心采用  $50\Omega$  馈线输入,得出其回波损耗曲线如 7、8 所示。由上图可以看出,该天线具有良好的性能,回波损耗为 -13.2dB 时频率为 2.44GHz,当开关关闭时,回波损耗为 -21.9dB 时,频率为 4.38GHz,3dB 带宽在 0.5GHz 左右;天线辐射效率在低频点(2.44GHz)时为 89%,在高频点(4.38GHz)时为 96%。

模拟出天线的 E 面极化方向图如图 9a、9b 所示。

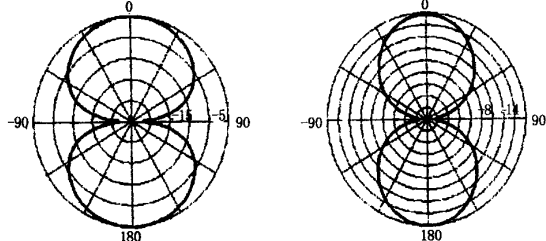


图 9a

图 9b

总之,本文设计了一种基于开关结构的双波段偶极子天线,利用两个开关结构连接两个单波段偶极天线,并在天线微带下方基底设计一个屏蔽腔,有效保证了天线的辐射效率。利用开关的闭合和打开控制两个波段的操作。其在高频时,天线的频率为 4.38GHz,低频时为 2.44GHz,该天线具有良好的性能,带宽在 0.5GHz 左右。

该天线基于 MEMS 技术设计,具有小尺度,利于集成等优点,但结构比较复杂,有一定工艺难度,随着微细加工技术的发展,会有很大的发展潜力。当然,本文仅仅局限于仿真阶段,还需要在微细加工,测试等方面进行研究,以实现真正的小尺度双波段天线。

#### 参考文献

- [1] W. H. Weedon, W. J. Payne, G. M. Rabeiz, J. S. Herd, and M. Champion. MEMS switched reconfigurable multi-band antenna: design and modeling[C]. Proceedings of the Antenna Applications Symposium, Monticello, IL, Sept., 1999, PP: 293-298.
- [2] 孙建海,崔大付.串联电容式 RF-MEMS 开关的研制[J].半导体学报, 2005, 26(12): 2445-2448.
- [3] 赵继德,李应良.微机械表面波导腔结构的微尺度效应研究[J].激光杂志, 2005, 26(5): 26-28.
- [4] 李应良,潘武.基于腔结构的射频微机械谐振元件的设计[J].光学精密工程, 2004, 12(3): 298-304.
- [5] 赵继德,李应良,马传龙.微尺度下新型 MEMS 滤波器的研究[J].激光技术, 2005, 29(6): 632-635.
- [6] G. M. Rebeiz and J. B. Muldavin. RF MEMS switches and switch circuits[J]. IEEE Microwave Magazine, 2001, 12(10): 59-71.
- [7] E. R. Brown. RF-MEMS switches for reconfigurable integrated circuits[J]. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., 1998, 46(11): 1868-1880.

#### (上接第 62 页)

结果与讨论:由图可以看出,

(1)光子晶体光纤的纤芯越细,光纤中传播的模式就越少。对图 2(a)所示的光纤,当波长大于  $0.75\mu\text{m}$  时,这种参数光纤中将只有基模存在。

(2)在光子晶体光纤包层一定的情况下,纤芯越粗,在光纤中能够传播的模式越多;在所有这些模式中,波长相同时,基模的色散系数最小。这可以解释为,在所有的模式中,只有基模的传播方向平行于光纤轴向,而其它模式与光纤轴向都有一定的夹角,在光纤中传播都要经过包层和纤芯界面的多次全反射,在光纤中传播相同的距离时经过的实际光程要长,所以高阶模式的光线色散要比基模大。

(3)基模在各个波长值都有解(本论文中的波长值从 0.15- $2.7\mu\text{m}$ ),而高阶模式大多有一个截止波长,即大于某一个波长时无解,这表明大于这个波长值的高阶模在光纤中无法传播。

(4)在包层相同的情况下,对不同的纤芯半径,基模的零色散点波长也不同。纤芯半径分别为  $0.6\mu\text{m}$ ,  $1.1\mu\text{m}$ , 和  $5\mu\text{m}$  时,基模的零色散点从  $0.59\mu\text{m}$  过渡到  $1.029\mu\text{m}$ 。这样,不仅可以通过改变二维光子晶体结构参数,即改变包层的有效折射率,也可以通过调节纤芯的尺寸来实现基模零色散点的改变。

(5)基模和各高阶模的零色散点不同,高阶模的零色散点波长都小于低阶模,基模的零色散点波长最大。如此一来,各阶模的零色散点分布在一个波长范围内,如图 2 所示,

纤芯为  $5\mu\text{m}$  时,从基模到高阶模的零色散点依次为  $1.029\mu\text{m}$ ,  $0.825\mu\text{m}$ ,  $0.695\mu\text{m}$ ,  $0.625\mu\text{m}$ ,  $0.580\mu\text{m}$ ,  $0.540\mu\text{m}$ ,  $0.505\mu\text{m}$  和  $0.470\mu\text{m}$ ,分布在一个较宽的范围内。这对于只有在零色散点及其附近的反常色散区才能发生的一些高阶非线性效应来说,提供了一个较宽的频率范围。

#### 参考文献

- [1] J. K. Ranka, et al. Visible continuum generation in air-silica Microstructure Optical Fibers with Anomalous Dispersion at 800nm[J]. Opt. Lett., 2000, 25(1): 25-27.
- [2] Stephane Coen, et al. White-light supercontinuum generation with 60-ps pump pulses in a photonic crystal fiber[J]. Opt. Lett., 2001, 26(17): 1356-1358.
- [3] J. Hermann, et al. Experimental evidence for supercontinuum Generation by fission of higher-order solitons in photonic fibers[J]. Phys. Rev. Lett., 2002, 88(17): 173901-1-173901-4.
- [4] A. V. Husakou et al. Supercontinuum generation, four-wave mixing, and fission of higher-order solitons in photonic-crystal fibers[J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2002, 19(9): 2171-2182.
- [5] T. A. Birks, et al. Endlessly Single-Mode Photonic Crystal Fiber[J]. Opt. Lett., 1997, 22(13): 961-963.
- [6] W. J. Wadsworth, A. Ortigosa-Blanch, J. C. Knight, T. A. Birks, T. P. Martin Man, and P. St. J. Russell. Supercontinuum generation in photonic crystal fibers and optical fiber, tapers: a novel light source[J]. J. Opt. Soc. Am. B, 2002, 19(21): 48-2155.
- [7] Jay E. Sharping, Marco Fiorentino, et al. Four-wave mixing in microstructure fiber[J]. Opt. Lett., 2001, 26(14): 1048-1050.

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养,更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果,又能免除您舟车劳顿的辛苦,学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲,结合实际工程案例,直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>