

基于 MEMS 技术的 F-P 腔滤波器分析与设计*

李元元^{1,2}, 蒙庆华¹, 陈四海¹, 曾毅波³, 郭航³

(1. 中国科学院 深圳先进技术研究院 广东 深圳 518055;

2. 西安电子科技大学 微电子学院 陕西 西安 710071;

3. 厦门大学 萨本栋微米纳米科学技术研究院 福建 厦门 361005)

摘要:通过对微光纤法布里-珀罗(F-P)腔滤波器工作原理的综合分析,确立了微F-P腔滤波器静电驱动腔长调谐方案。对可调谐滤波器的主体部分进行光学设计和分析,确立了反射镜的多层薄膜光学结构,并借助ANSYS有限元力电耦合分析,最终选择L型桥臂支撑的腔体结构,可以实现0.625 μm的调谐范围;保持桥面平行的能力很高,可实现高精度的滤波效果;结构稳固,能够抵抗制造时的残余应力。

关键词: 滤波器; 调谐; 反射镜; 腔体结构

中图分类号: TN713 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2017)08-0069-03

Analysis and design of MEMS-based F-P cavity filter*

LI Yuan-yuan^{1,2}, MENG Qing-hua¹, CHEN Si-hai¹, ZENG Yi-bo³, GUO Hang³

(1. Shenzhen Institute of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China;

2. School of Microelectronics, Xidian University, Xi'an 710071, China;

3. Pen-Tung Sah Institute of Micro-Nano Science and Technology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: By comprehensive analysis on working principle of micro F-P cavity filter, the optimum tuning scheme of micro F-P cavity filter is established. The main part of the optical structure is designed, a multilayer film structures of the mirror is established, and with the help of ANSYS finite element electro-mechanical coupling analysis, L type bridge arm supported cavity structure is finally established, the structure can achieve a considerable range of tuning 0.625 μm; relatively high fill factor filter light leakage is avoided; the high ability to keep parallel can achieve high precision filtering effect; structural stability can resist the residual stress of manufacture.

Key words: filter; tuning; mirror; cavity structure

0 引言

光学通信以其大容量、长传输、低成本的优势,使得其研发与应用日益深入^[1]。基于MEMS技术制作的微法布里-珀罗(Fabry-Perot, F-P)可调谐滤波器相比于其他可调谐滤波器,体积微小,易于集成,可调谐光谱范围大,光谱的分辨率高,大批量制作时成本比较低,因而,在光通信系统中应用较为广泛^[2]。目前,F-P腔可调谐滤波器的研究正朝着大阵列、小单元尺寸、调谐范围广、精细度高、调谐速度快、损耗低的方向发展^[3]。空气腔微型F-P腔滤波器由于调谐范围大,精度高且驱动简单成为未来滤波器的首选方案^[2,3]。

本文从F-P腔工作原理出发,进行研究分析,提出了一种以多层介质薄膜作为其上、下反射镜的光学膜层和L型

的腔体支撑臂的新型微型F-P腔滤波器结构,该结构具有良好的波长选择性,能实现比较好的调谐控制。

1 F-P腔基本原理

F-P腔是多光束谐振腔,如图1所示,由两块平行放置的平面玻璃板组成,两板的内表面镀上了高反射膜,当光束E入射到腔体时,会在两反射面之间来回反射,形成多光束干涉效应,只有当光波长满足式(1)光波才能透过腔体,使透射光干涉增强,产生明亮精细的条纹

$$2nd\cos\theta = m\lambda \quad (1)$$

式中 n 为折射率; d 为滤波器腔长; θ 为折射角; m 为整数; λ 为光波长。F-P腔的调谐过程,即为谐振频率的改变过程。其中,调节腔长最为直观,在MEMS技术中也最为常用。

收稿日期:2016-09-19

* 基金项目:深圳市科技计划资助项目(JCYJ20140610151856737)

可以看出: X-arm 和 + circular-arm 结构桥面发生扭曲, 这样会对 F-P 腔的选频性能产生极大的影响, 降低峰值透过率,

增大 FWHM。而采用 L-arm 结构的桥面在调谐过程中一直比较平整, 几乎没有发生形变, 所以, 其滤波精细度更高。

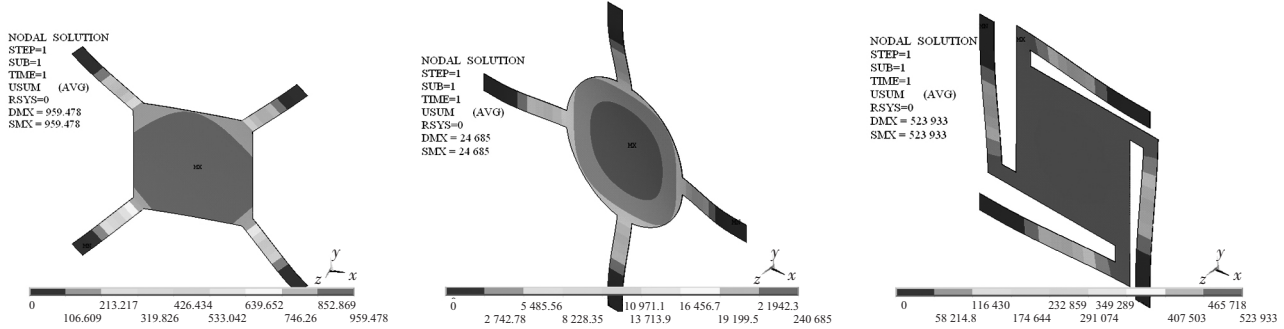


图 4 桥面结构电压-位移云图

图 5 为整个调节过程中, 三种结构对应的电压-位移曲线。

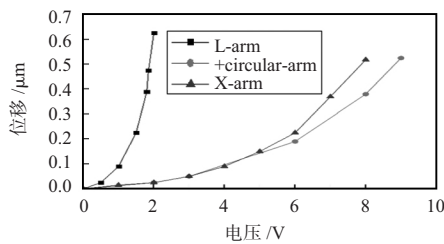


图 5 电压-位移曲线

在达到图示位移 $0.5 \mu\text{m}$ 时, L-arm 结构施加电压仅为 1.90 V , 远远小于另外 X-arm (7.81 V) 和 + circular-arm

(8.97 V) 2 种结构的驱动电压。

2.3.2 结构应力分析

图 6 和表 2 分别为 3 个桥面结构的应力分布云图和腔体位移为 $0.5 \mu\text{m}$ 时对应的电压-应力, 分析得: 调谐过程中, 腔体位移达到 $0.5 \mu\text{m}$ 时, L-arm 微桥桥面所受到的应力很小, 仅为 4.615 MPa , 驱动电压仅为 1.9 V 。

表 2 腔体位移为 $0.5 \mu\text{m}$ 时对应的电压-应力

结构	位移 $0.5 \mu\text{m}$ 时的驱动电压/V	桥面应力/MPa
X-arm	7.3	15.44
+ circular-arm	9.0	16.31
L-arm	1.9	4.615

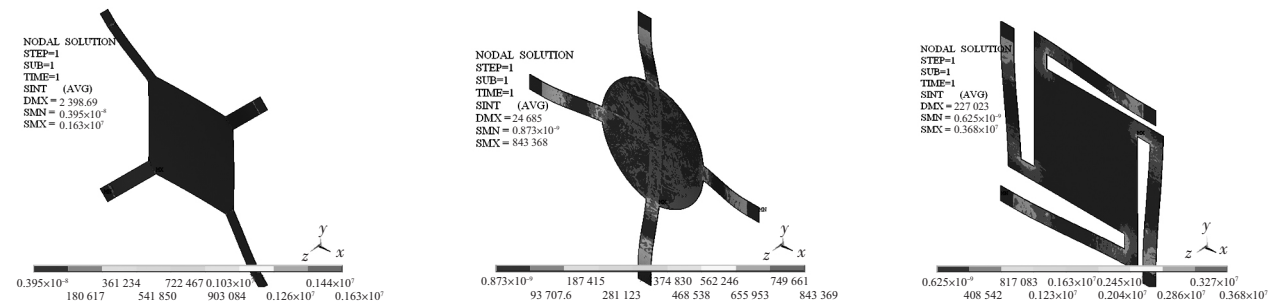


图 6 应力云图

在 3 种结构中, L-arm 调谐效果和抵抗应力的能力最好。可见 L-arm 长长的手臂能有效抵抗应力的影响, L-arm 为最佳桥面结构。

此外, 从应力云图可知, 腔体应力主要集中在支撑桥臂和桥面连接处以及桥臂位移最大的位置, 因此, 桥臂的选择是设计的关键, 不仅需要保证其能够提供足够大的移动空间防止腔体因静电吸合导致器件失效, 还要支撑起整个腔体结构且不能发生结构断裂。

由仿真结果图 7 可知, 空气腔向下移动 $0.625 \mu\text{m}$ 时, L-arm 支撑臂结构应力最大为 8.97 MPa , 远小于铝的许用应力 70 GPa , 理论上不会发生桥腿断裂的现象。

衡量 F-P 腔滤波器性能的重要标准为桥面结构的平整度, 即 Finesse 和调谐范围 FSR。可见微桥结构的几何形状对调谐性能具有很大的影响, 综合以上所有分析结果, 确立

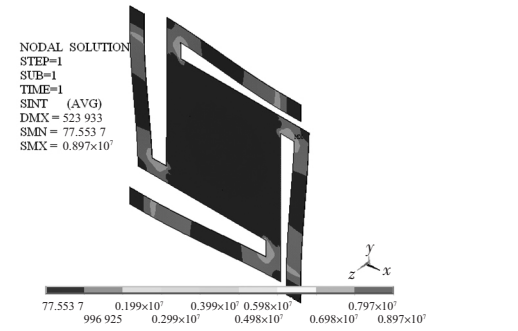


图 7 L-arm 桥面位移 $0.625 \mu\text{m}$ 时应力云图
了 L-arm 腔体支撑臂结构。

3 结论

设计了基于 MEMS 技术的微型 F-P 腔可调谐滤波器, 具有多层介质膜光学结构和 L 型微桥桥臂结构, 与其他结
(下转第 74 页)

强度合理。

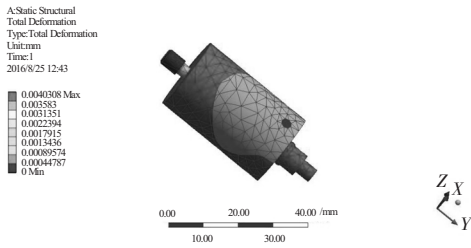


图3 总变形量

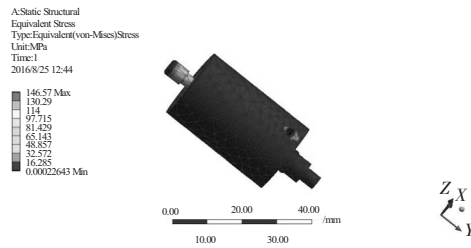


图4 应力

图5为具体的应变的分布情况。

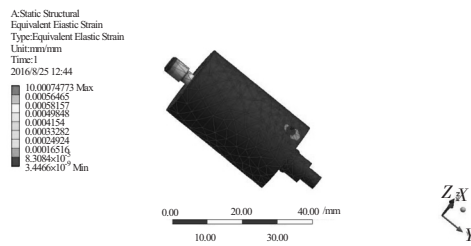


图5 应变

4 结束语

对水下传感器的承压密封结构进行了设计,并按照设计委托专业厂家生产了传感器样品,经过耐压检测,达到

(上接第71页)

构相比,使调谐范围最大可达 $0.625\ \mu\text{m}$,峰值透过率达95.8%;保持桥面平行的能力很高,可实现高精度的滤波效果;结构稳固,能够抵抗制造时的残余应力。

参考文献:

- [1] Meng Qinghua, Chen Sihai. Multi-physics simulation and fabrication of a compact 128×128 micro-electro-mechanical system Fabry-Perot cavity tunable filter array for infrared hyperspectral imager[J]. Applied Optics 2015, 54(22): 6850-6856.
- [2] 李旭辉. MEMS 发展应用现状[J]. 传感器与微系统, 2006, 25(5): 7-9.
- [3] Shen Zhenqiang, Zhao Jianlin, Zhang Xiaojuan. Frequency-division multiplexing technique of fiber grating Fabry-Perot sensors[J]. Acta Optica 2007, 27(7): 1173-1177.
- [4] Meng Q H, Luo H A, Bao S W, et al. Study on the structure of bridge surface of the micro Fabry-Perot cavity tunable filter[J]. Phys Conf Ser 2011, 276: 75-79.

承压密封要求。改变传统的密封方式,在承压外壳与密封盖、橡胶套等结构间设置O型圈,实现密封。承压壳设计为圆柱金属外壳,经过理论计算及仿真分析,可以承受10 MPa水压。该承压密封结构性能可靠,为了方便拆卸,在密封结构中增加插拔结构,相比传统水下加速度传感器具有可拆卸、易更换的优点。

参考文献:

- [1] 王晓英,胡玲玲.论如何提高传感器的防护与密封效果[J]. 称重知识, 2011, 40(6): 40-42.
- [2] 潘钟元. 传感器密封材料的比较与选[J]. 衡器, 2007, 36(4): 48-49.
- [3] 卢新波,张中明. O形圈材料选择与密封结构设计[J]. 液压气动与密封, 2012(2): 26-28.
- [4] 叶惠军. O形密封圈结构设计及相关问题探讨[J]. 液压气动与密封, 2013(6): 63-64.
- [5] 单辉祖. 材料力学[M]. 3版. 北京:高等教育出版社, 1999: 318-319.
- [6] GB150-1998, 钢制压力容器——标准释义[S].
- [7] Windenberg D F, Trilling C. Collapse by instability of thin cylindrical shells under external pressure[J]. ASME Trans, 2010, 111: 819-825.
- [8] 胡晓亮,吴晓,罗薇,等.基于ADAMS和ANSYS的液压举升机构优化与结构分析[J]. 机械设计与制造, 2012(4): 192-194.
- [9] 李真,许文良. Ansys Workbench 结构分析在塑壳断路器中的应用[J]. 低压电器, 2013(3): 17-21.

作者简介:

李波(1993-)男,本科,专业方向为热能工程。

- [5] Zhou Tingting, Xie Hui, Sun Liping, et al. A MEMS-based tunable optical filter[J]. Study on Optical Communications, 2011, 37(4): 23-25.
- [6] Chee S Goh, Sze Y Set, Kazuro Kikuchi. Widely tunable optical filters based on fiber Bragg gratings[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2002, 14(9): 1306-1308.
- [7] 李凯朋,王多书,王济州,等.膜层的光学薄膜参数测量方法研究[J].真空与低温, 2013(4): 19-23.
- [8] 赵文杰,杨守杰,于洋,等. AlN陶瓷微热板MEMS传感器阵列设计与工艺实现[J]. 传感器与微系统, 2015, 34(8): 87-90.
- [9] 李勇,李玉和,李庆祥,等.计及边缘效应的非平行梳状驱动器的静电力计算[J]. 清华大学学报, 2003, 43(8): 1024-1030.

作者简介:

李元元(1990-)女,硕士研究生,主要研究方向为微机电系统的设计与制作, E-mail: 18629464161@163.com。

陈四海(1973-)女,通讯作者,研究员,博导,从事微光学元器件研究工作, E-mail: cshai99@163.com。