

## Study on Integrated Spectral Sensor Based on Fabry-Perot-Type Cavity Array<sup>\*</sup>

ZHANG Xue-jing, WEN Zhi-yu<sup>\*</sup>, WANG Jian-guo, SUN Jian-xin

(MicroSystem Research Center of Chongqing University,

Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems Chongqing University, Chongqing 400044, China;)

**Abstract:** This paper introduces a micro-integrated spectral sensor which is composed of an array of Fabry-perot cavity with different length, a photoelectric detector array, ROIC and so on. Each spectral detection unit consists of a Fabry-Perot cavity and a photoelectric detector locating below the cavity. With different length of the Fabry-Perot cavity, the spectral sensor can detect different wavelength. Meanwhile, its structure is stable because of no moving components in it. The spectral sensor is integrated by the CMOS technology and the MEMS technology with a total volume of just several mm. The structural designing and technology realization will be introduced in great detail.

**Key words:** MEMS; Fabry-Perot cavity; photoelectric detector; ROIC

EEACC: 7230C

## 基于 Fabry-Perot 腔阵列光谱传感器的集成化研究<sup>\*</sup>

张雪静, 温志渝<sup>\*</sup>, 王建国, 孙建新

(重庆大学微系统研究中心光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

**摘要:** 提出了一种微型集成化光谱传感器, 其结构包括不同腔长的 Fabry-Perot 腔阵列、光电探测器阵列、读出电路几部分。一个光谱探测单元包括一个 Fabry-Perot 腔和其下的光电探测器, 各 Fabry-Perot 腔腔长的不同, 可实现对不同波长的检测。该光谱传感器无可动部件, 结构性能稳定, 用 CMOS 工艺和 MEMS 工艺实现一体化集成, 制作体积为 mm 量级。文章中将详细阐述该传感器的各部分结构设计和工艺实现等问题。

**关键词:** MEMS; Fabry-perot 腔; 光电探测器; 读出电路

中图分类号: TP212.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2008)01-0041-03

光谱仪器是分析物质化学组成及含量的重要分析仪器, 能同时定性定量地检测物质中的多种组份。已在现代科学实验、生物医学、工农业生产、航空航天等领域得到极其广泛的应用。在许多应用领域, 光谱分析系统的尺寸的缩小比分辨率的提高更为重要。特别是在航天航空等研究领域, 光谱仪器微型化的意义尤为重大。20 世纪 90 年代以来, 国内外已提出了多种光谱仪器小型化、微型化的方案, 取得不少成果, 部分产品已进入市场<sup>[2]</sup>。这其中大多数微型光谱仪仍然是采用光栅作为分光器件。本文对基于 Fabry-Perot 腔结构的阵列传感器进行集成化研究, 得到体积仅几个

mm、无活动部件、结构性能稳定的新型集成化传感器。

### 1 微型 Fabry-Perot 腔探测器的相关理论

随着 MEMS 技术的发展, 我们提出了一种微型集成化法-珀腔阵列光谱传感器的思想。该微型集成化法-珀腔阵列光谱传感器由微型法-珀腔阵列、光电探测器阵列和读出电路三部分组成。其中微型法-珀腔阵列由增透膜、反射膜、微腔和反射膜组成。光电探测器阵列选用光电二极管组成, 读出电路由 MOS 管开关阵列和 CMOS 移位寄存器构成。本方案通过法-珀腔阵列各个腔腔长的不

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60308007)

收稿日期: 2007-06-28 修改日期: 2007-07-27

同,实现对不同光谱信号的测量。

这里我们先对由法-珀腔所构成的滤光元件单元进行光学模拟计算。应用光学薄膜知识,模拟计算整个法-珀腔光学性能。由薄膜的特征矩阵计算出膜层每个单元结构的透射率和反射率。这里我们主要计算垂直入射的光,具体计算过程见参考文献[4]和[7]。由公式(1)可以计算出两个反射薄膜的反射率、透射率及吸收率,公式(2)可计算出每个法-珀腔滤光单元的透射率<sup>[4]</sup>。

$$R_1 = \left| \frac{\text{Air} B_1 - C_1}{\text{Air} B_1 + C_1} \right|^2, T_1 = \left| \frac{4 \text{Air} \text{SiO}_2}{\text{Air} B_1 + C_1} \right|^2 \quad (1)$$

$$R_2 = \left| \frac{\text{SiO}_2 B_2 - C_2}{\text{SiO}_2 B_2 + C_2} \right|^2, T_2 = \left| \frac{4 \text{SiO}_2 \text{Air}(\text{Si})}{\text{Air}(\text{Si}) B_2 + C_2} \right|^2$$

$$T = \left| \frac{T_1 T_2 \exp(i \text{siO}_2)}{1 - R_1 R_2 \exp(i 2 \text{siO}_2)} \right|^2 \quad (2)$$

上面两式中  $R_1$  为上反射膜的反射率,  $T_1$  为上反射膜透射率,  $\text{Air}$  为空气的光学导纳,  $\text{SiO}_2$  为  $\text{SiO}_2$  的光学导纳,  $\begin{bmatrix} B_1 \\ C_1 \end{bmatrix}$  为上反射膜的特征矩阵,  $R_2$  为下反射膜的反射率,  $T_2$  为下反射膜的透射率,  $\begin{bmatrix} B_2 \\ C_2 \end{bmatrix}$  为下反射膜的特征矩阵,  $T$  为单个法-珀腔透射率,  $\text{siO}_2$  为介质腔  $\text{SiO}_2$  的有效相位厚度。

考虑到与 CMOS 工艺相兼容,我们选择金属薄膜作为 Fabry-Perot 腔阵列的反射膜层,本文计算中所使用的光学参数均来源于文献[8],利用上面的公式,我们分别针对目前最常用的金、银和铝三种金属膜材料进行了模拟,由模拟结果可知银膜、铝膜均具有较好的反射率可以作为本系统的候选反射薄膜。模拟显示单种金属薄膜都无法在整个波长范围 400nm ~ 800nm 内实现很高的反射率,但银膜和铝膜具有一定的互补性,这样可以通过在  $\text{SiO}_2$  层上下表面分别使用银膜和铝膜,实现系统在整个波段范围内具有较高的反射率和较小的吸收率。

经过选择用 Al-SiO<sub>2</sub>-Ag 构成微型 Fabry-Perot 腔。根据公式(2),针对生化光谱分析常用的几个波长(492 nm、510 nm、546 nm、578 nm、630 nm)进行了模拟分析,通过计算得到透射率最高时的结构尺寸为铝膜 14 nm、银膜 39 nm,此时 FWHM 小于 15 nm,是所能达到的最好效果。

## 2 微型 Fabry-Perot 腔探测器的单元结构

图 1 是单个微型 Fabry-Perot 腔光谱探测器的结构。用 CMOS 工艺形成光电二极管探测器,每一个光电二极管上淀积上 Al-SiO<sub>2</sub>-Ag 层,该层作

为一个可调谐的法布里-珀罗共振腔。其中 Al 和 Ag 是法布里-珀罗共振腔的反射膜,  $\text{SiO}_2$  为介质腔体,每个  $\text{SiO}_2$  厚度不同构成微型法-珀腔阵列结构。依据法-珀腔原理,每个法-珀腔在一定波段内只能透过某一种波长的光波,即形成一系列光学滤波器。入射光经过法-珀腔阵列在光电探测器阵列上形成相应的光谱电信号,光电探测阵列上不同位置的光谱电信号对应了不同的光波长的强度,通过读出电路读取测得的电信号即可实现对入射光谱信号的检测。

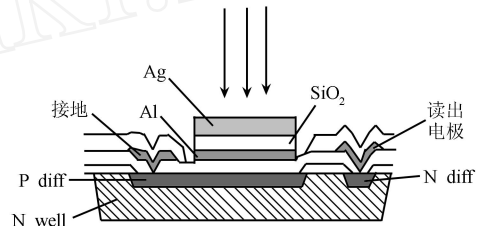


图 1 单个微型 Fabry-Perot 腔光谱探测器的结构

## 3 读出电路

读出电路是为该阵列探测器配套使用的数据处理电路,用于对探测器产生的信号进行积分采样并且串行输出。我们这里是为了实现信号获取和处理电路的一体化集成,运用 CMOS 工艺和 MEMS 工艺,在一块芯片上集成光谱探测器和读出电路。本集成化光谱传感器的读出电路主要用到 MOS 管开关阵列和 CMOS 移位寄存器。图 2 为两个单元的读出电路:

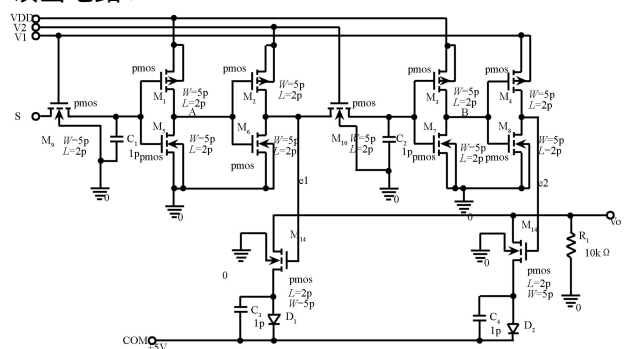


图 2 两个单元的读出电路

移位寄存器是完成对探测器阵列完成按位选通的一个功能,将空间分布的信号按一定的时间顺序串行地输出。图 3 所示为移位寄存器的工作波形。

图 4 为四个单元的读出电路工作波形。

## 4 制作实现

通过上面对光学结构的模拟分析,当基本结构

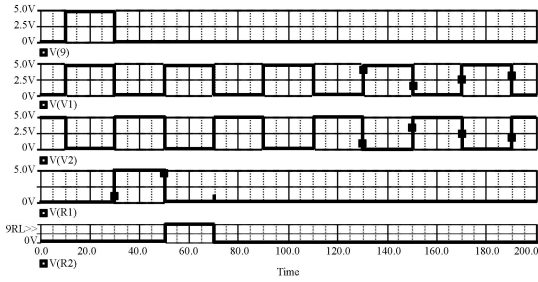


图 3 移位寄存器的工作波形

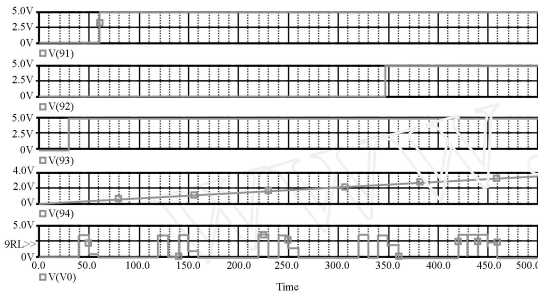


图 4 四个单元的读出电路工作波形

为铝膜(14 nm)-SiO<sub>2</sub>-银膜(39nm)时,FWHM 可达到 15 nm,整个光谱探测部分体积仅在 mm 量级。利用微加工技术,该微型 Fabry-Perot 腔阵列光谱传感器的一体化集成实现方式大体概括如下:用 CMOS 技术在一块硅基底上形成光电二极管阵列和对应的读出电路——在每个光电二极管上淀积 14nm 铝膜——用 PECVD 法在铝膜上生长不同厚度的 SiO<sub>2</sub>——再对应淀积 39 nm 银膜——封装测试。在制作过程中由于铝膜不耐高温,因此选用 PECVD 法来生长 SiO<sub>2</sub>。为了工艺上方便控制 SiO<sub>2</sub> 的厚度可以采用如下方式:根据对腔长长度的模拟,在铝膜上生长所要求的最大厚度的 SiO<sub>2</sub>,然后用不

同的掩膜版刻蚀掉每个腔长对应的多余的部分。其优点在于刻蚀工艺比生长工艺的精度容易控制。

### 5 结论

本文提出了一种微型集成化光谱传感器,从理论上分析了其各部分结构设计,从工艺上提出了该传感器的可实现性。该传感器光能利用率远远大于光栅式分光光谱仪器,体积很小,可以实现真正意义上的微型化和集成化。

### 参考文献:

- [1] 袁祥辉. 固体图像传感器及其应用(修订版) [M], 重庆:重庆大学出版社,1996.
- [2] 鞠挥,吴一辉. 微型光谱仪的发展现状[J]. 光学 精密工程微纳电子技术. 2001,9(4)2003 年第 1 期,37230-37.
- [3] 王永清,马雯,王海舟,李小佳,姜建中. 基于微电子机械系统微型光谱仪的研究与进展[J]. 冶金分析. 2006. 8. 40-46.
- [4] 温志渝,陈刚,王建国. 基于 Fabry-Perot 腔阵列的集成化微型光谱仪方案及模拟[J]. 光谱学与光谱分析. 2006,10.
- [5] 金湘亮,陈杰,仇玉林. 一种新型低功耗准动态移位寄存器的模拟[J]. 固体电子学研究与进展. 2004,2.
- [6] Minas G, Ribeiro J C, Wolffenbuttel R F,Correia J H,On-Chip Integrated CMOS Optical Detection Microsystem for Spectrophotometric Analyses in Biological Microfluidic Systems[C]// IEEE ISIE 2005, June 20-23, 2005, Dubrovnik, Croatia.
- [7] 唐晋发,郑权 编. 应用薄膜光学[M]. 上海科学技术出版社. 1984.
- [8] Edward D. Dalik. Handbook of Optical Constants of Solids [M], 1985,Academic Press Inc, Orlando, Florida, USA.



张雪静,女,重庆大学硕士研究生,研究方向为微型传感器,xuejing0391@163.com



温志渝(1949-)男,教授,博士生导师,主要从事微型传感器、微系统集成技术的研究,wzy@cqu.edu.cn