

MOEMS 光学系统的发展与应用

耿 凡

(天津航技术物理研究所,天津 300192)

摘要:概述了 MOEMS 光学系统的种类和特点,介绍了几种主要的 MOEMS 光学产品、机理和应用方向,阐明了其作为光电技术的前沿所具有的重要作用和广阔前景,提出了相关的研究建议。

关键词:微光电子机械系统; 光学系统; 制作技术

中图分类号:TN2 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-2276(2005)01-0110-04

Development and application of MOEMS optical system

Geng Fan

(Tianjin Jinhang Institute of Technology Physics,Tianjin 300192,China)

Abstract:The sorts and characteristics of the Micro-Opto-Electro-Mechanical System (MOEMS) are presented, and several kinds of important MOEMS' products are described.Within the discussion it refered the working mechanism,the applications in optoelectric field and its development outlook. Some advice for MOEMS research are presented.

Key words:MOEMS; Optical system; Fabrication technology

0 引言

微光电子机械系统(Micro-Opto-Electro-Mechanical System,MOEMS),亦称微型光机电系统是将微电子、微光学、精密机械、生化和信息处理等高新技术有机整合的一种新型系统,其技术领域属于交叉学科(如图 1 所示)。MOEMS 将对 21 世纪的科学技术和人类生产和生活方式产生革命性影响,并在未来高科技战争中扮演着举足轻重的角色。

利用 MOEMS 技术,可以制成突破通信瓶颈的全光交换机、准确检测病变的基因芯片、比手掌还小的飞行器、质量仅有几十克的微小卫星等。一个非常形象的比喻是,IC 是电子系统的大脑,而 MOEMS 以微型传感器和传动器使系统具备感知和控制能力,是

系统的眼睛和手臂^[1]。

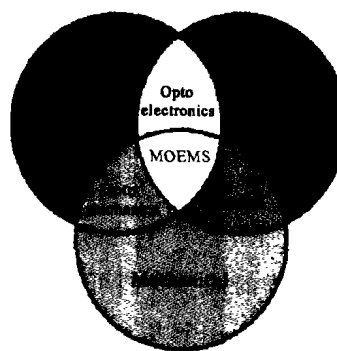


图 1 交叉学科名称示意图

Fig.1 Diagram of the intercross-subject

MOEMS 主要应用于:压力传感器、惯性器件、流量控制、光电器件等;虽然 MOEMS 已应用于各个领域,但目前 90%的实用产品集中于以下 6 个方面:惯

性器件;光反射镜及阵列;微射流器件;射频通讯器件;传感器;微型注射喷嘴。近年来,MOEMS 在光学方面的技术发展迅猛,已经成为该专业的前沿技术^[2]。

1 MOEMS 的主要产品和原理

MOEMS 是一类具有重要功能的 MEMS,结合了光电子和光学技术,组成了微光学器件和系统。

1.1 MOEMS 主要产品^[3]

(1) 活塞式微反射镜

静电作用的柔性活塞式微反射镜阵列,是目前最有用途的 MOEMS 器件,这种器件特别适合平面微机械工艺制作,并且易于通过牺牲层释放做成平板电容,每个单元的上层膜为金属膜,形成可移动反射镜,下层膜为可选址的电极(如图 2 所示)。当在两电极间加电压时,极间发生吸引力使反射镜在与支架的弹力共同作用下发生一定位移,从而使反射光的位相发生变化,其幅值可由电压来控制;体微机械工艺也可制作微反射镜阵列,可与 CMOS 电路集成在同一芯片上;热双压电执行器也可替代静电执行器来垂直推动反射镜,当调制频率较低时,可以得到较大的反射变化。

活塞微反射镜阵列可用来实现波前失真修正,以补偿图像大气传输扰动或修正空间光通讯信号,可用于前视光学系统图像补偿;红外激光探测波前修正。波前补偿示意图如图 2 所示。

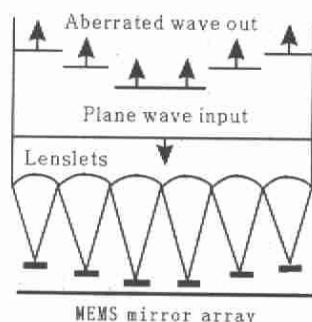


图 2 光束波前修正补偿示意图

Fig.2 Compensation of the wavefront

(2) 光栅

光栅是另一个易于制作的光学元件,通常在多晶硅材料表面进行微细机械加工,可实现对入射光波的位相和幅度的周期调制。原理为周期性光栅悬浮

于基片表面,通过静电作用可垂直移动以对某一特定波长光在某一角度发生衍射,通过将光波零级衍射斑偏移 ± 1 级衍射斑来实现光强的变化。

该系统可对空间某一角度的接收光波进行选择性的调制、编码,以便于后续处理。

(3) 菲涅耳透镜

由于微机械工艺都是在一个平面上制作的,因此不可能制作出曲面折射透镜,但是易于制作菲涅耳透镜。透镜由一组制作于多晶硅上的同心环组成,其间距和宽度随半径减小而增加,基片上的菲涅耳透镜可用于激光二极管的光束准直,特别适用于垂直腔面发射激光器(VCSEL)模块的激光准直。

(4) 光学扫描器

光学扫描器已成功实现了商业应用,由有铰链的反射镜片附着在热动作器(可侧向移动 $10\ \mu\text{m}$)阵列上组成,侧向热动作器由一个窄条多晶硅热臂与一个宽条多晶硅冷臂组成,当有电流时,电流密度较大的热臂较冷臂膨胀大,从而发生朝向冷臂的弧线形位移(如图 3 所示)。有报道这一结构的扫描角度可达 15.7° ;民用包括条码扫描和显示系统^[4]。

另一种结构为转动镜片,由步进马达控制,马达由热动作器驱动,可实现 180° 的旋转扫描。

光学扫描器可用于大视角激光探测、激光引信系统的光扫描发射模块、接收模块制作。



图 3 微型扫描反射镜

Fig.3 Micro-scan mirror

(5) 角立体反射镜

角立体反射镜(CCR)由一个原始固定反射镜和一个折立固定反射镜,及一个带热动作器的可旋转反射镜组成,这个系统可使入射的光线沿原路返回,可用于视线通讯系统。

(6) 光学平台组合应用

图 4 为 VCSEL 激光发射模块芯片结构图。在 VCSEL 芯片垂直发射腔面上方制作一个倾斜 135° 的微反射镜,垂直向上发射的光束经反射成为水平光

束,经垂直放置的微菲涅耳透镜准直,压缩发散角成平行光,照射到扫描微反射镜上,扫描输出,扫描的角度范围、速率、频率可通过输入电压信号来控制,是一个典型的 MOEMS 光学平台应用系统。

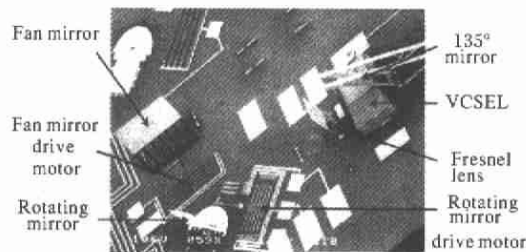


图 4 扫描 VCSEL 激光发射模块结构图

Fig.4 Diagram of the VCSEL structure on chip

1.2 主要机理及制作技术

MOEMS 的核心一般由两部分组成,即可移动光学零件和微执行器(或动作器)。

可移动光学零件是通过微电子平面工艺、体工艺来实现制作,如体硅工艺、表面牺牲层工艺、溶硅工艺、深槽刻蚀与键合等专用制造工艺、封装工艺^[5]。

微动作器的微动作通常使用下列机理:静电、电磁、压电和热力。在 MOEMS 器件尺度下,由于电磁作用范围通常较大而难以实现 MOEMS 器件的制作;压电作用在大量传感器如压力、质量流量、位置测量等方面应用,但作为微执行器材料限制较大;热力作用可通过双金属片结构方便地实现微动作,但一般用于反应速度要求不高的系统中;静电作用机理在 MOEMS 器件尺度下使用非常方便,利用一对金属电极形成电容,其中一极通过弹性连接成为可移动部件,另一极可选址充电,通过电压的控制调整两极间作用力,完成微动作控制。MOEMS 产品包括微反射镜阵列、扫描器、微开关、微快门等,大部分利用静电作用机理,通常采用平板电容或梳指结构,通过静电加载提供吸引力和排斥力制成微执行器。

2 应用及特点

MOEMS 技术对航天工程、武器系统的影响主要包括四个方面:

(1) 降低成本。MOEMS 技术使航天器、导弹、卫星变得非常小,可以批量生产,从而降低了制造成

本,特别是卫星小型化后不再需要大型运载发射工具,还可以一箭多星发射,降低了发射成本。

(2) 减少风险。将大型、高复杂、高成本系统分散组合化,如纳米卫星是以分散的星座系统代替一颗大卫星,系统中某一部分损坏后很容易修复或替换;微型的分布式网络传感器代替少量、昂贵的节点式传感器系统,降低了整个系统故障及失败的风险。

(3) 可满足光学系统对体积和质量的特殊要求。如应用 MOEMS 技术的纳米卫星、光学平台、战场光束通讯系统在未来的军用领域都有广泛的应用前景。

(4) 使应用高复杂技术的系统得到突破性进展。如光学微机电器件可实现高性能的成像修正、光信号处理、光场扫描等功能,而采用传统技术很难或几乎无法实现。

利用 MOEMS 技术制作光学元件及器件,现已研制出数字微显示器、微光扫描仪、微光阀、微光开关及光编码器等^[6]。微机械光学的发展有可能将微光学元件、微调整器、光源、探测器及处理电路集成在一块芯片上,实现光学平台微型化,用于敌我识别系统、显示装置和光纤开关等。可解决激光雷达和激光引信光学系统的体积质量小型化问题,并可以降低复杂光学系统的设计难度,可提供的器件包括:微透镜阵列、微反射镜阵列;一路输入多路输出光学模块(主要为了替代激光雷达和激光引信的光机扫描系统实现大视场激光发射扫描);用以实现激光引信大视场探测的长条形探测器(PIN)组件;替代光学扫描机构以实现非扫描成像的雪崩探测器(APD)阵列组件;半导体激光器(904 nm)模块;集成前放的激光接收组件;在条件成熟的情况下采用 Z 结构电子集成技术将现有可靠的模数混合电路封装为模块。

因此,MOEMS 技术是今后军用和民用领域不可缺少的关键技术之一,在今后的高新技术研发中占有重要地位。

3 结论

鉴于以上论述,MOEMS 光学应用技术发展迅猛,优势明显、前景广阔,我们应该大力发展,紧密跟踪国际最新技术,在传统的体硅加工工艺基础上,开展表面牺牲层工艺、溶硅工艺、深槽刻蚀与键合等专

用制造工艺、封装工艺研究,为微小型技术研究积累一些必要手段,今后将着重开展 MOEMS 设计技术、兼容性制作技术、专用封装技术研究。面向应用重点发展与现有技术兼容共用的项目,加速发展关键技术和急需应用项目;总体应用技术和元件技术要平衡发展。

总之,我国的 MOEMS 技术发展要适合国情,既要学习借鉴国际先进技术和经验,又要有所创新和突破;既要跟上国际先进水平,又要根据条件有所取舍,发挥自己的长处,在系统设计、技术方案、制作方法的先进性上下功夫,弥补我们经验、设备手段、配套基础方面的不足,走出一条我国自己的 MOEMS 技术发展道路。

参考文献:

[1] Mehregary M. Micro-Electro-Mechanical System. IEEE Circuits and

Devices Magazine, 1993, 9(4): 14-22

[2] 杨国光,沈亦兵,侯西云.微光学技术及发展[J].红外与激光工程,2001,30(4):157-162.

[3] Bright V M. Introduction to MEMS with emphasis on optical applications[J]. Technical Journal, 2000, 1(6): 227.

[4] Krishnamoorthy U, Li K, Yu K. Self-aligned vertical comb drive actuators for optical scanning micromirrors [A]. Proceedings of the 2001 IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS [C]. 2001. 41-42.

[5] Bright V M, Comtois J H, Ried J R, et al. Surface micromachined micro-opto-electro-mechanical systems [J]. IEICE Trans Electron, 1997, E80-C(2): 206-213.

[6] Krueger M V P, Guddal M H, Belikov R, et al. Low power wireless readout of autonomous sensor wafer using MEMS grating light modulator [A]. Proceedings of the 2000 IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS [C]. 2000. 67-68.

(上接第 69 页)

temporal of APS are quantized in equality value photo-electron. Reducing the noise of APS by the correlate double sample technology can increase the stellar detection limit.

References:

[1] Liebe C C, Alkalai L, Domingo G. Micro APS based star tracker [A]. IEEE Aerospace Conference Proceeding [C]. 2002, 5. 2285-2300.

[2] Kim H Y, Junkins J L. Self-organizing guide star selection algorithm for star trackers: thinning method [A]. IEEE Proceedings of Aerospace Conference [C]. 2002, 5. 2276-2283.

[3] Tian Hui, Fowler B, Gamal A E. Analysis of temporal noise in CMOS APS [A]. Processing of SPIE [C]. 1999, 3649. 177-185.

[4] Fossum E R, Bartman R K, Eisenman A R. Application of the active pixel sensor concept to guidance and navigation [A]. Proc SPIE [C]. 1993, 1949. 256-265.

[5] Waldman G, Wootton J. Electro-Optical Systems Performance Modeling [M]. Nordwood, MA: Artech House, 1993.

[6] Serway R A, Beichner R. Physics for scientists and engineers with modern physics [M]. New York: Harcourt, 2000.

[7] Martinez P, Kloz A. A Practical Guide to CCD Astronomy [M]. Cambridge UK: CUP, 1998.

[8] Liebe C C, Dennison E W, Hancock B. Active pixel sensor (APS) based star tracker [A]. Processings of IEEE Aerospace Conference [C]. 2002, 5. 2285-2300.

[9] Fossum E R. CMOS image sensor: electronic Camera-on-Chip [J]. IEEE Trans on Electron Devices, 1997, 44 (10): 1689-1698.

[10] Tian H, Flower B, Gamal A E. Analysis of temporal noise in APS [A]. Processing of SPIE [C]. 1999, 3649. 177-185.

[11] Hancock B R, Stirbl R C, Cunningham T J. CMOS active pixel sensor specific performance effects on star tracker/imager position accuracy [A]. SPIE [C]. 2001, 4284. 44-47.