

## MEMS 光开关的优势及发展概况

微电子机械系统 (MEMS) 就是将几何尺寸或操作尺寸仅在微米、亚微米甚至纳米量级的微机电装置 (如微机构、微驱动器等) 与控制电路高度集成在硅基或非硅基材料上的一个非常小的空间里, 构成一个机电一体化的器件或系统。MEMS 器件具有体积小、重量轻、能耗低、惯性小、响应时间短, 可把多个不同功能、不同敏感方向或致动方向的微机构大规模地集成在一起, 并且可以通过微电铸的方法进行批量复制和大规模生产。

MEMS 加工技术主要分为三类: 非硅基材料上以 X 光深度光刻的 LIGA 技术; 硅基或非硅基材料上的精密机械刻划技术; 在半导体集成电路技术之上发展起来的硅 MEMS 加工技术。

硅 MEMS 加工技术最早出现于二十世纪六十年代, 所采用的主要技术是单晶硅各向异性腐蚀技术 (体硅微机械), 其代表产品是硅压力传感器。八十年代美国率先开发出以多晶硅为结构层、二氧化硅为牺牲层的表面牺牲层技术 (表面微机械), 并开发出微硅静电马达, 使得 MEMS 技术得到质的飞跃发展。表面微机械加工技术与半导体集成电路技术最为相近, 其主要特点是在薄膜淀积的基础上, 利用光刻、刻蚀等集成电路常用工艺制备微机械结构, 最终利用选择腐蚀技术释放结构单元, 获得可微动结构。进入九十年代, 随着深槽刻蚀技术、键合技术及其它关键技术的应用, 体硅微机械又得到了飞速发展, 并发展出多种体硅工艺与表面微机械工艺相互结合的新工艺。特别是开发出利用感应耦合等离子体 (ICP) 和侧壁钝化 (SPP) 的先进硅刻蚀工艺 (ASE), 可对硅材料进行很大深宽比的三维微加工, 其加工厚度可达几百微米, 侧壁垂直度可接近九十度。这使得 MEMS 技术不仅在传感器领域的应用得到迅速发展, 而且在光纤通信、微型化学分析系统、DNA 分析及微型机器人等领域的应用研究也得到空前发展。

光纤通信在实现了高速、大容量点对点的传输后, 上世纪末已进入了光纤网络时代。MEMS 在光纤通信领域的应用范围十分宽广, 几乎所有光网络中的各个组成单元都能采用 MEMS 制作器件, 并由此产生了一个新名词: 微光电子机械系统 (MOEMS), 它是机、电、光、磁、化学、自动控制、传感技术与信息处理等多种技术的综合。综观光纤通信器件的发展历程, 可以看出器件的发展趋势为: 块状堆集型@ 光纤型@ MOEMS 型@ 集成型。前两种已经形成产业化, 并正在向小型化方向发展。在目前集成型器件还不十分成熟的情况下, MEMS (或 MOEMS) 型光器件已出现了商业化的产品。利用 MEMS 技术可以制作光纤通信传输网中的许多器件, 如: 光分插复用器 (OADM)、光交叉连接开关矩阵 (OXC-AS)、光调制器、光滤波器、波分复用解复用器、可调谐微型垂直腔表面发射半导体激光器 (VCSEL)、可变光衰减器、增益均衡器及用于光路分配和耦合的微透镜阵列等多种微型化光器件。

### MEMS 光开关的优势

MEMS 技术在光纤通信网络中的一个重要应用就是利用微动微镜制作光开关矩阵, 微动微镜可以采用上下折叠方式、左右移动方式或旋转方式来实现开关的导通和断开功能。MEMS 技术制作的光开关是将机械结构、微触动物器和微光元件在同一衬底上集成, 结构紧凑、重量轻, 易于扩展。它比机械式光开关和波导型光开关具有很好的性能, 如: 低插损、小串音、高消光比、重复性好、响应速度适中, 与波长、偏振、速率及调制方式无关, 寿命长、可靠性高, 并可扩展成大规模光交叉连接开关矩阵。

MEMS 光开关有 2D (二维) 数字和 3D (三维) 模拟两种结构。在 2D 结构中, 所有微反射镜和输入输出光纤位于同一平面上, 通过静电致动器使微镜直立和倒下或使微镜以“翘翘板”的方式处于光路和弹出光路的工作方式来实现“开”和“关”的功能, 如图 1 所示, 所以 2D 结构又称为数字型。一个  $N \times N$  的 2D 光开关需要  $N^2$  个微反射镜, 2D 结构的优点是控制简单, 缺点是由于受光程和微镜面积的限制, 交换端口数不能做得很大。在 3D 结构中, 所有微反射镜处于相向的两个平面上, 通过改变每个微镜的不同位置来实现光路的切换, 如图 2 所示。一个  $N \times N$  的 3D 光开关只需要  $2N$  个微反射镜, 但每个微反射镜至少需要  $N$  个可精

确控制的可动位置，所以 3D 结构又称为模拟型。与 2D 结构相反，3D 结构的优点是交换端口数能做得很大，可实现上千端口数的交换能力，缺点是控制机理和驱动结构相当复杂，控制部分的成本很高。

MEMS 光开关的优势体现在性能、功能、规模、可靠性和成本等几个方面。在关键的性能指标如插入损耗、波长平坦度、PDL（偏振相关损耗）和串扰方面，MEMS 技术能达到的性能可与其他技术所能达到的最高性能相比。比如基于 MEMS 技术制作的 2×2 光开关模块的插入损耗可达 0.4dB，PDL 小于 0.1dB，串扰小于 -70dB。在功能方面，微镜具有可靠的闭锁功能，能够保证光路切换的准确性。在规模方面，采用 2D 结构的 MEMS 光开关已有 64×64 的商用产品，采用 3D 结构的 MEMS 光开关也有上千端口数的样品，从而使构建中等规模和大规模光纤网络节点成为可能。在可靠性方面，单晶硅极好的机械性能可使制成的器件能够抗疲劳，由于单晶硅中没有位错，所以从本质上它不会产生疲劳，是一种完美的弹性材料。MEMS 光开关的寿命已超过 3800 万次，并且在温度循环、冲击、振动和长期高温贮存等可靠性指标方面，均满足 Telcordia GR-1073-Core 标准。在成本方面，MEMS 光开关为降低系统成本提供了多种可能，MEMS 芯片的功能度使得更低成本的网络设置和架构以及光纤层的保护成为可能。MEMS 尺寸小和功耗低的特性使得系统的外形可以缩小，节省了中继器和终端节点占用的地盘。MEMS 器件的单批产量很高，经济性好，而且器件与器件之间重复性好。执行器与光器件集成在单个芯片上，可以在一个硅片上重复多次，从而可以提供价格更低的光器件。这些在成本方面的节约将使器件价格下降，最终降低设备和营运成本。

#### 发展概况

尽管率先将 MEMS 光开关商用化的 OMM 公司在今年（2003）3 月因最后获得资金的希望破灭而暂时关闭，去年（2002）Onix 关门、IMMI 转向以及采用 3D-MEMS 技术曾研制出 1152×1152 光开关的 Xros 前年（2001）被 Nortel 收购。目前仍有不少的机构（包括 Dicon、Lucent、Jdsu、Nortel 等）在进行 MEMS 光开关的应用开发。目前全球有 60 家左右的 MEMS 制造工厂，上百家 MEMS 领域的新兴公司以及更多的大学和研究机构。世界领先的 Coventor 公司的 MEMS 计算机辅助设计（CAD）软件工具，目前全球的用户已超过 300 家。除 MEMS 光开关外，据笔者不完全统计，目前拥有 MEMS 技术设备并能提供相关光器件的公司主要有：JDSU、Santec、Memscap、Intpax、Umachines、Baynet、Avanex、Agere、InLight、Bandwidth9、Fujitsu、Go4fiber、lucent、networkelements、nortel、Olympus、NetworkPhotonics、Siemens、Teraoptix、Finisar、MCI、chromux、AXSUN、MegaSense、Sercalo、Molecular、Bookham、LIGHTech、Dicon、Lightconnect、Cypress、Novera 等。最近 Fujitsu 宣布将发展一项采用 MEMS 技术的 80 通道的光开关，其切换速度将是 1 微秒，这是截至目前多通道光开关的最高切换速度。

此外，日本 Olympus 也开始进行 MEMS 研发部门新的整合计划，其计划不仅包括可变光衰减器、光 MEMS 开关等光通信 MEMS 芯片，而且还包括设计、制造和封装用于光网络、生物、医药和工业用途的 MEMS 产品。目前，全球已有数十家公司将 MEMS 技术作为光器件的基本开发技术，现已有的产品包括光开关、可变光衰减器、可调滤波器、可调激光器、共振腔探测器、增益均衡器、调制器及光斩波器。据市场调研公司 CIR 预测：光 MEMS 市场将从 2003 年的 5.6 亿美元增加到 2007 年的 17 亿美元，其中，基于 MEMS 的小型光开关将取代传统的机械式光开关，而依赖光 MEMS 构建的设备的实际市场总额则将达到数十亿美元。

#### 结语

全球光纤通信市场在经历了近三年的冬眠期之后，随着朗讯市场份额的好转和市值的抬头，使人们重新燃起了春天的希望。尽管近年来 MEMS 光器件制造商风云变幻，潮起潮落，但 MEMS 技术的应用领域不仅仅是光通信，依然保持着强劲的生命力。以其研究方向多元化、加工工艺多样化、系统单片集成

化、制造与封装统一化、应用领域全面化为标志的固有特征和先天优势，必将在通信、导航、传感、医用、交通、航空航天等军事和民用领域得到广泛的推广和应用。