

MEMS 陀螺仪介绍

1 什么是 MEMS?

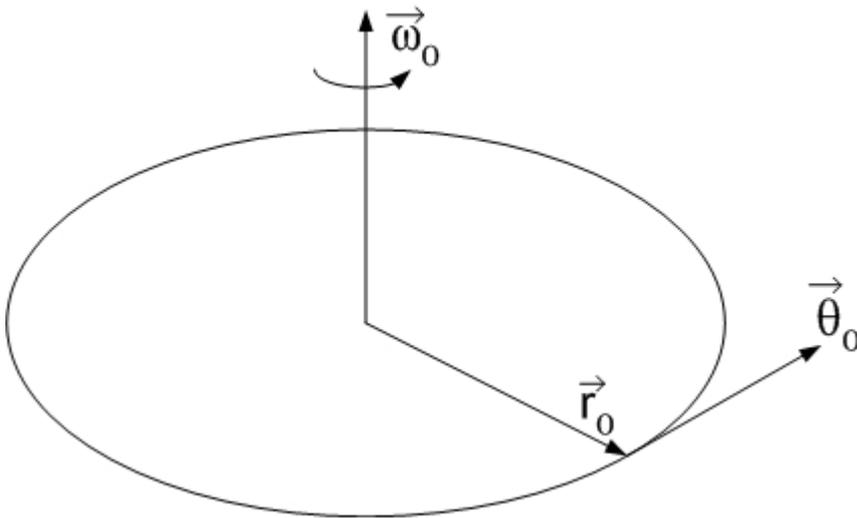
MEMS 是英文 Micro Electro Mechanical systems 的缩写，即微电子机械系统。微电子机械系统(MEMS)技术是建立在微米/纳米技术 (micro/nanotechnology) 基础上的 21 世纪前沿技术，是指对微米/纳米材料进行设计、加工、制造、测量和控制的技术。它可将机械构件、光学系统、驱动部件、电控系统集成成为一个整体单元的微型系统。这种微电子机械系统不仅能够采集、处理与发送信息或指令，还能够按照所获取的信息自主地或根据外部的指令采取行动。它用微电子技术和微加工技术(包括硅体微加工、硅表面微加工、LIGA 和晶片键合等技术)相结合的制造工艺，制造出各种性能优异、价格低廉、微型化的传感器、执行器、驱动器和微系统。微电子机械系统 (MEMS) 是近年来发展起来的一种新型多学科交叉的技术，该技术将对未来人类生活产生革命性的影响。它涉及机械、电子、化学、物理、光学、生物、材料等多学科。

2. MEMS 陀螺仪 (gyroscope) 的工作原理

传统的陀螺仪主要是利用角动量守恒原理，因此它主要是一个不停转动的物体，它的转轴指向不随承载它的支架的旋转而变化。

但是 MEMS 陀螺仪 (gyroscope) 的工作原理不是这样的，因为要用微机械技术在硅片衬底上加工出一个可转动的结构可不是一件容易的事。MEMS 陀螺仪利用科里奥利力——旋转物体在有径向运动时所受到的切向力。下面是导出科里奥利力的方法。有力学知识的读者应该不难理解。

在空间设立动态坐标系 (图一)。用以下方程计算加速度可以得到三项，分别来自径向加速、科里奥利加速度和向心加速度。



图一、动态坐标系

$$\vec{r} = r\vec{r}_0$$

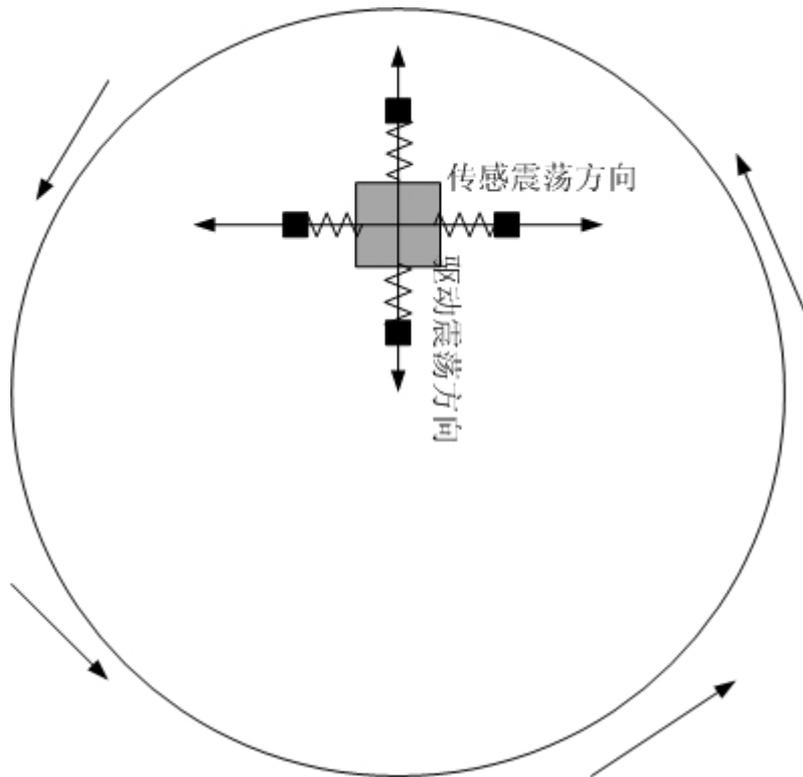
$$\vec{g}_0 = \vec{\omega}_0 \times \vec{r}_0$$

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = v_r \vec{r}_0 + r \frac{d\vec{r}_0}{dt} = v_r \vec{r}_0 - r\vec{r}_0 \times \vec{\omega}$$

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = a_r \vec{r}_0 - 2v_r \vec{r}_0 \times \vec{\omega} - \omega r^2 \vec{r}_0$$

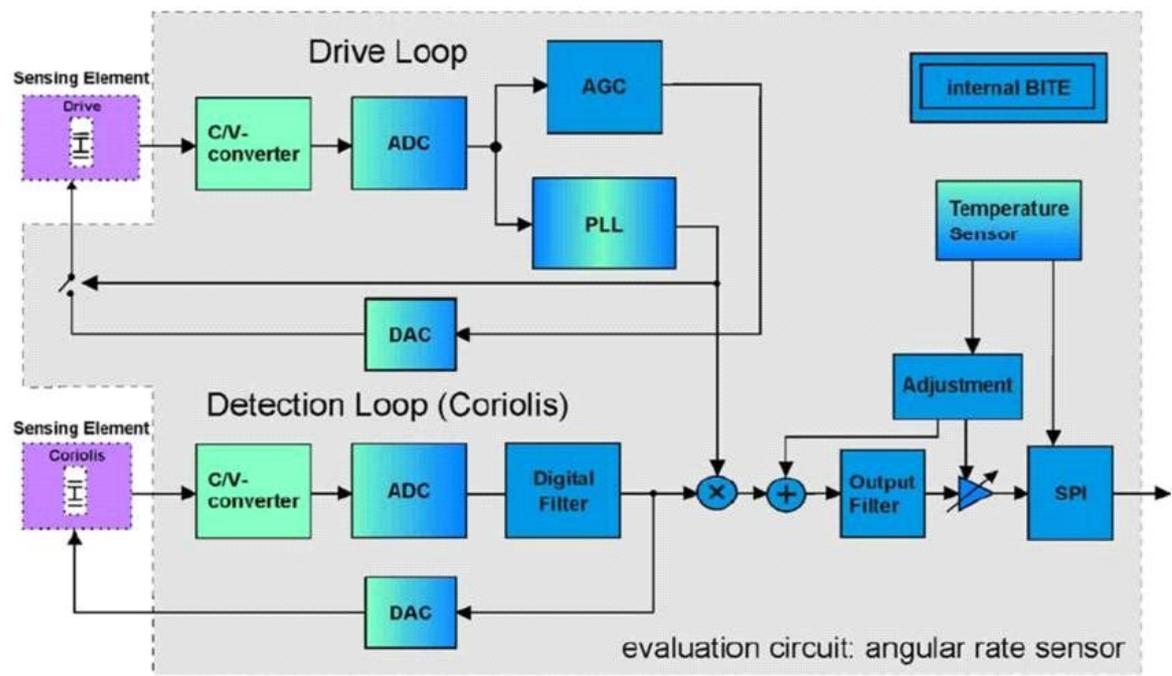
$$a_{\text{Coriolis}} = -2v_r \vec{r}_0 \times \vec{\omega}$$

如果物体在圆盘上没有径向运动，科里奥利力就不会产生。因此，在 MEMS 陀螺仪的设计上，这个物体被驱动，不停地来回做径向运动或者震荡，与此对应的科里奥利力就是不停地在横向来回变化，并有可能使物体在横向作微小震荡，相位正好与驱动力差 90 度。（图二）MEMS 陀螺仪通常有两个方向的可移动电容板。径向的电容板加震荡电压迫使物体作径向运动（有点象加速度计中的自测试模式），横向的电容板测量由于横向科里奥利运动带来的电容变化（就象加速度计测量加速度）。因为科里奥利力正比于角速度，所以由电容的变化可以计算出角速度。



图二、MEMS 陀螺仪的驱动和传感

图三是 Z 轴 MEMS 陀螺仪。它采用了闭合回路、数字输出和传感器芯片跟 ASIC 芯片分开平放连线的封装方法。

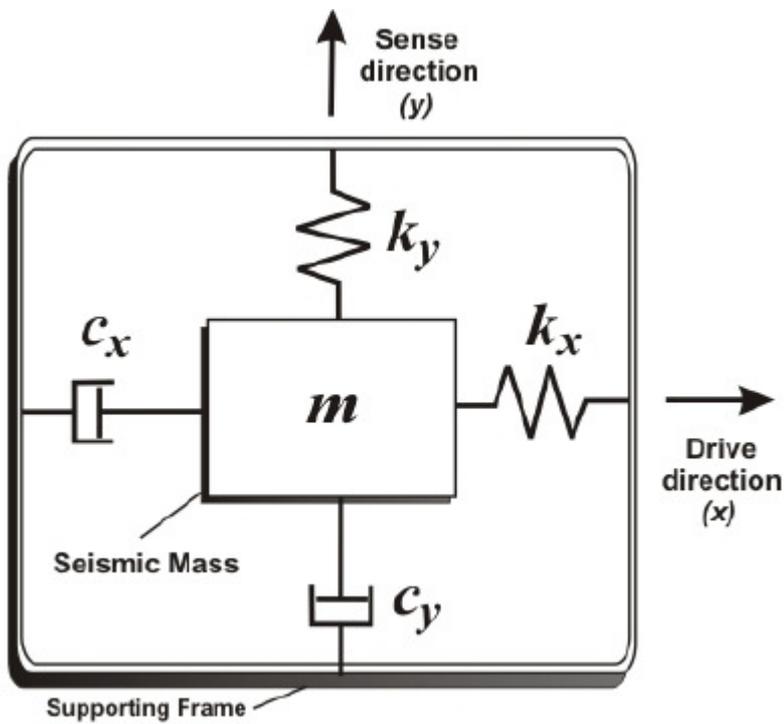


图三、BOSCH SMG 070 原理图

3. MEMS 陀螺仪 (gyroscope) 的结构

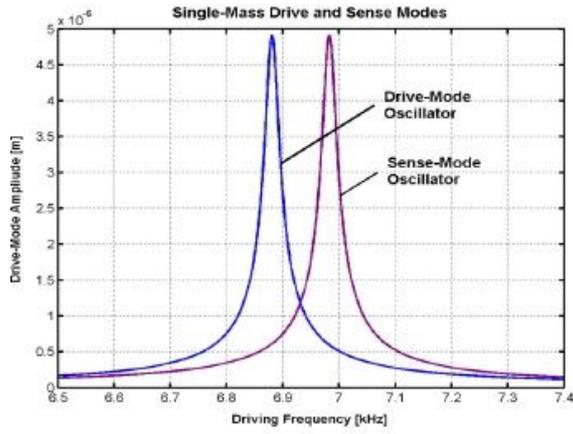
MEMS 陀螺仪 (gyroscope) 的设计和工作原理可能各种各样, 但是公开的 MEMS 陀螺仪均采用振动物体传感角速度的概念。利用振动来诱导和探测科里奥利力而设计的 MEMS 陀螺仪没有旋转部件、不需要轴承, 已被证明可以用微机械加工技术大批量生产。

绝大多数 MEMS 陀螺仪依赖于由相互正交的振动和转动引起的交变科里奥利力。振动物体被柔软的弹性结构悬挂在基底之上。整体动力学系统是二维弹性阻尼系统, 在这个系统中振动和转动诱导的科里奥利力把正比于角速度的能量转移到传感模式。(图一)

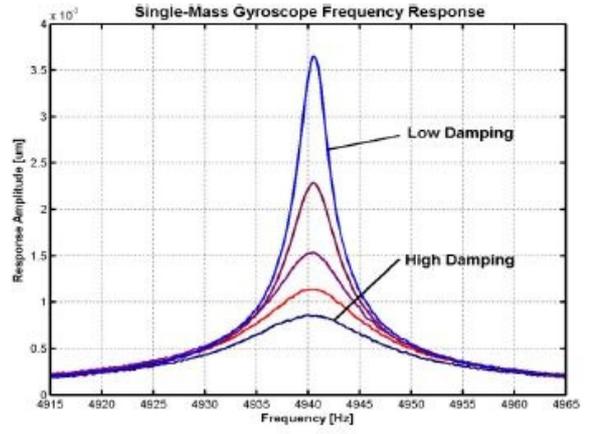


(图一)

通过改进设计和静电调试使得驱动和传感的共振频率一致, 以实现最大可能的能量转移, 从而获得最大灵敏度。大多数 MEMS 陀螺仪驱动和传感模式完全匹配或接近匹配, 它对系统的振动参数变化极其敏感, 而这些系统参数会改变振动的固有频率, 因此需要一个好的控制架构来做修正。如果需要高的品质因子 (Q), 驱动和感应的频宽必须很窄。增加 1% 的频宽可能降低 20% 的信号输出。(图二(a)) 还有阻尼大小也会影响信号输出。(图二(b))



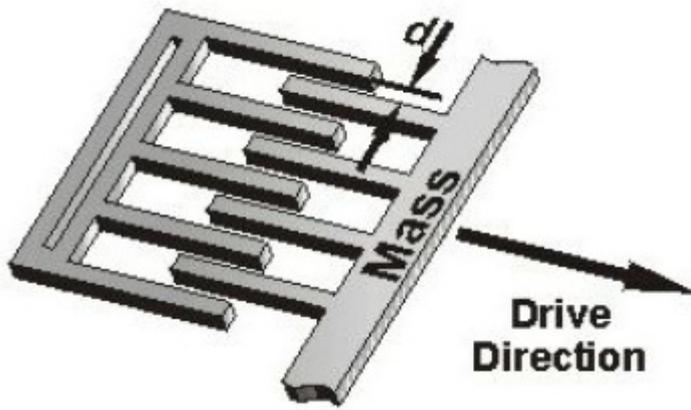
(a)



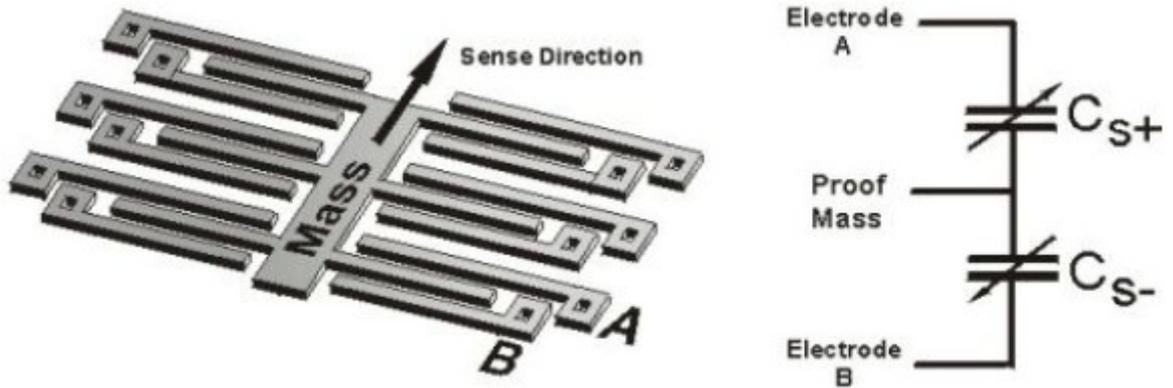
(b)

(图二)

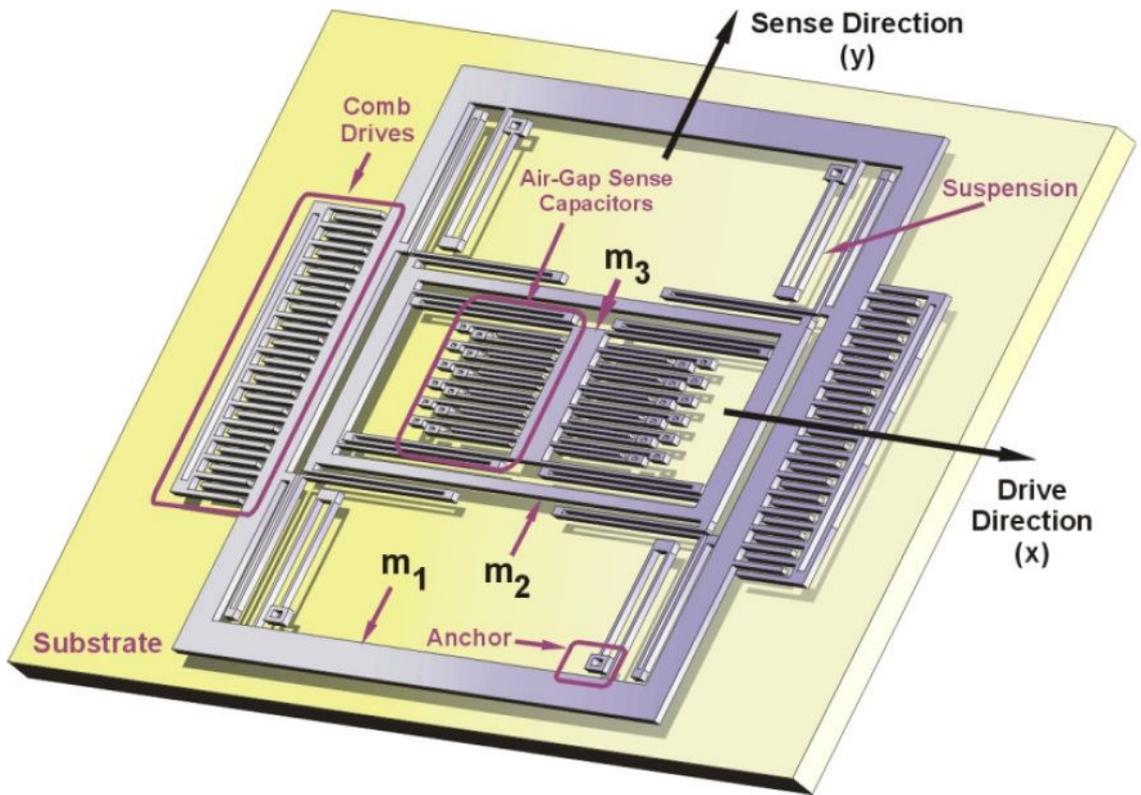
一般的 MEMS 陀螺仪由梳子结构的驱动部分（图三）和电容板形状的传感部分组成。（图五）有的设计还带有去驱动和传感耦合的结构。（图六）（曹志良）



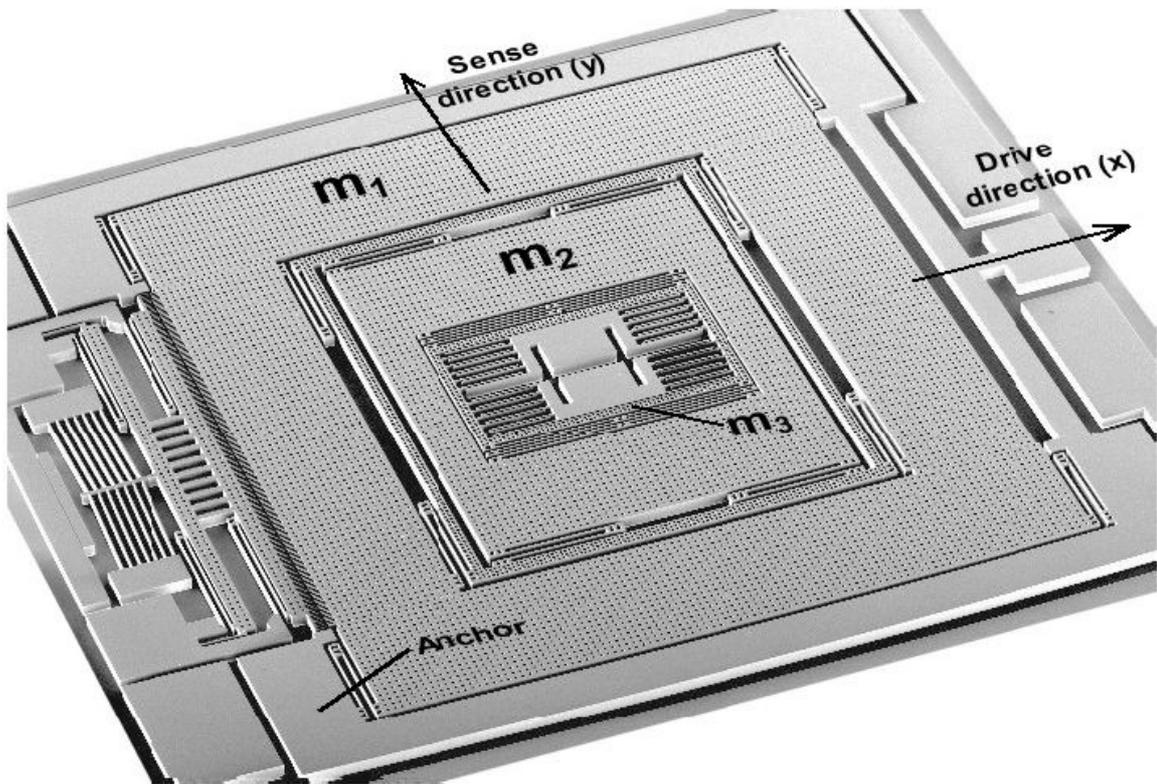
(图三)



(图四)



(图五)

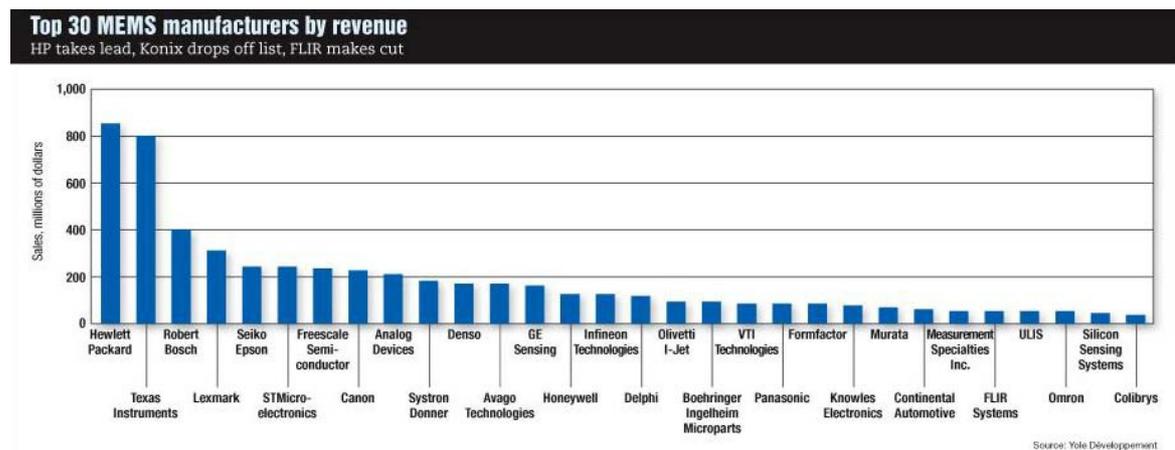


(图六)

4. MEMS 市场介绍

市场观察发展报告说，MEMS 市场在 2007 年增长百分之九，达到 70 亿美元，其中前 30 名制造商的收入总和为 56 亿美元，平均增长 7 个百分点。惠普（HP）打印机使用 MEMS 喷墨头，凭借其销售强势，终于将德州仪器（TI）拉下马，在 MEMS 市场坐上头把交椅。

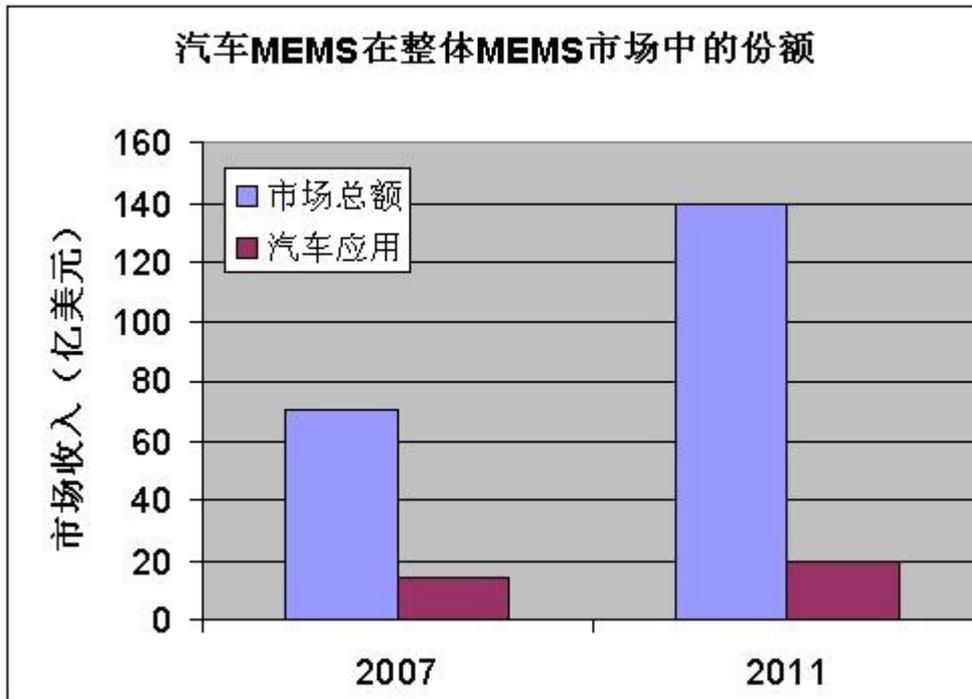
触发安全气囊的加速度传感器、轮胎压力传感器、监控引擎压力的传感器、动态稳定控制传感器等 MEMS 在汽车应用仍旧占据 MEMS 市场的主体，但是消费电子产品表现出最快的增长速度，尤其是美国模拟器件公司（ADI）和意法半导体（STM）。由于他们设计的加速度计均获得了任天堂的订购用于 Wii、后者还获得了苹果公司的青睐用于 iPhone，他们的增长率超过百分之二十以上。



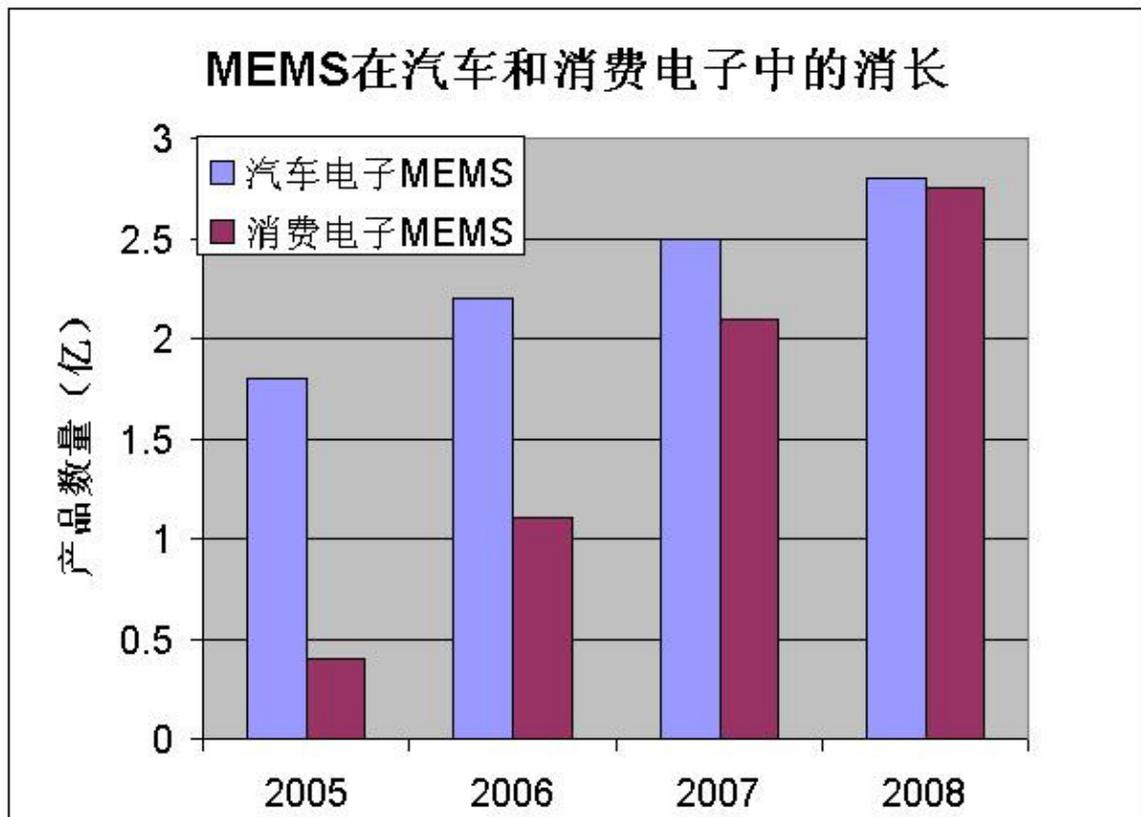
5. MEMS 在汽车中的应用

前文讲过，MEMS 消费电子快速增长，但是 MEMS 汽车电子在市场中占主导。

（图一）MEMS 汽车电子在 2006 年的市场份额约为 16 亿美元，预计到 2011 年达到 20 亿美元。（图二）



图一



图二

当然汽车 MEMS 也有其发展模式。图三例出了主要的汽车 MEMS：加速度计、压力计和陀螺仪，它们有的市场基本饱和，有的正待开发。

MEMS在汽车中的应用

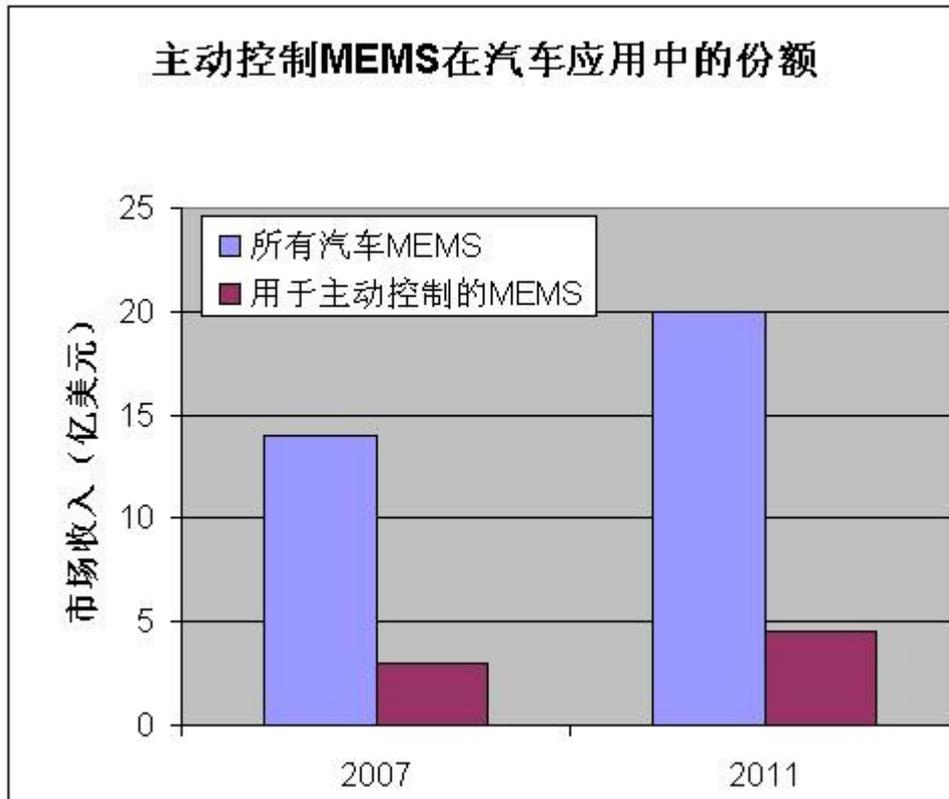


图三

压力计主要用于监控轮胎气压，向中央控制器发射 RF 信号报告情况。由于每个轮胎都需要独立安装这样的 RF MEMS，所以它的需求量很大。目前 Infineon 销售量最大。压力计还用于监控引擎压力等。

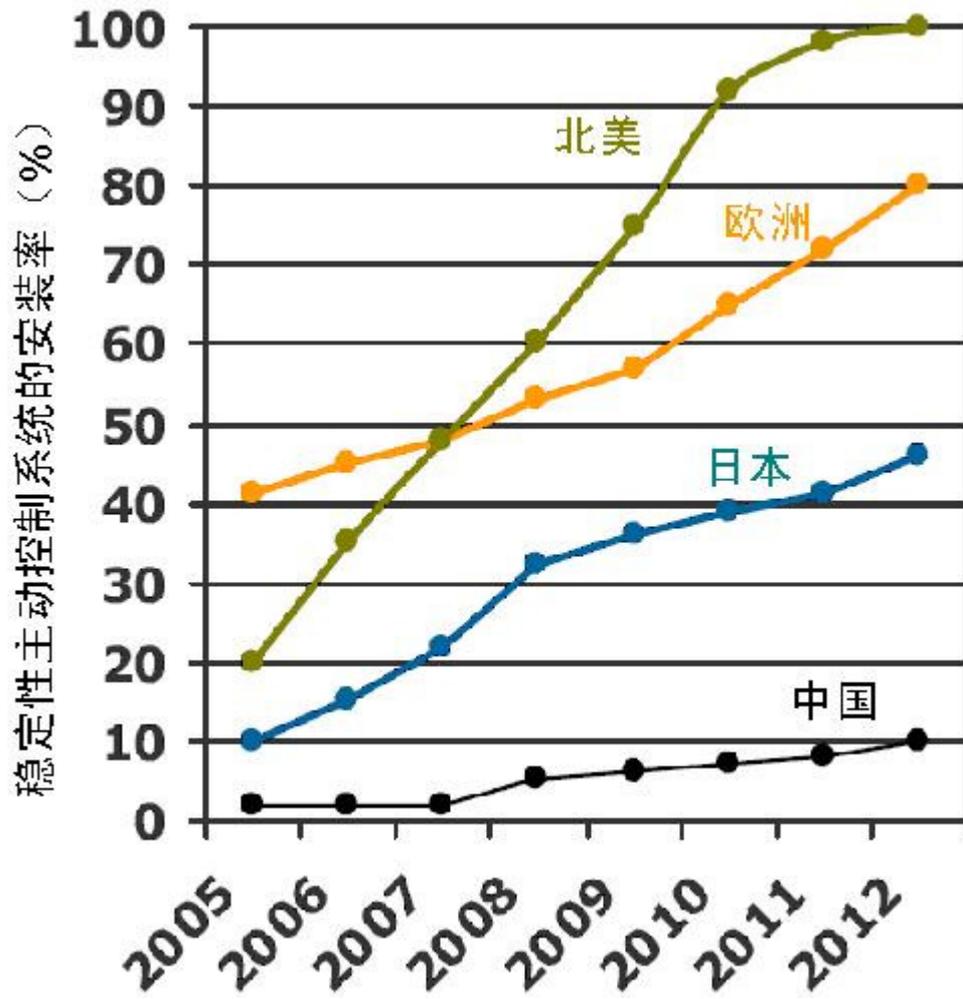
加速度计有两类：测量高加速度（100 重力加速度量级）和测量低加速度（两个重力加速度）。前者用于在撞车事故发生时触发安全气囊，是一种被动性保护措施，因此这类系统也叫被动控制系统。低加速度计用于监控汽车在行驶过程中的稳定性。

陀螺仪（gyroscope）用于测量汽车的旋转速度（转弯或者打滚），它与低加速度计一起构成主动控制系统。所谓主动控制系统就是一旦发现汽车的状态异常，系统在车祸尚未发生时及时纠正这个异常状态或者正确应对个异常状态以阻止车祸的发生。比如在转弯时，系统通过陀螺仪测量角速度就知道方向盘打得过多还是不够，主动在内侧或者外侧车轮上加上适当的刹车以防止汽车脱离车道。现在这种系统主要安装于高端汽车上。

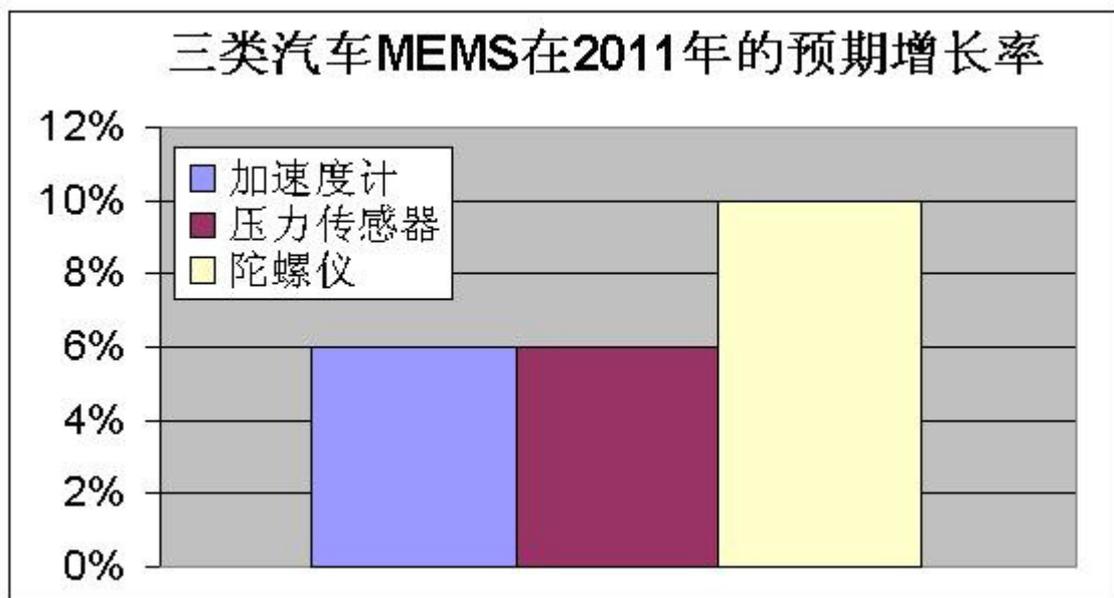


图四

目前在汽车 MEMS 市场，压力计和加速度计还是占较大份额，（图四）但是随着对汽车安全性能要求越来越高，尤其是在北美和欧洲稳定性主控系统的安装率节节攀升，陀螺仪的市场增长率明显比前两类要快，在 2011 年预期达到 10%。（图五、六）（曹志良）



图五



图六