



MEMS 电容式加速度传感器

产品说明书

MS9000.D

30D.MS8X.E.08.07

简介

Colibrys 的 MS9000 系列惯性加速度传感器是一种新的超小型产品，适用于恶劣的使用环境和安全性要求极高的应用领域。此新一代产品采用了 LCC20 (8.9mm x 8.9mm) 陶瓷封装，加速度测量范围从 $\pm 2g$ 到 $\pm 200g$ 。该传感器可在较大的温度范围应用，并且在全使用寿命期间保证零偏稳定性在几毫 g 以内。这种运动传感器的主要优点在于其优异的长期零偏稳定性；低振动整流误差；温度系数小，无需补偿；以及低功耗等。

该产品经过了全面的质量认证，并成功地嵌入在 IMU 和 AHRS，应用于军用/航天和陆地导航等领域。在这些应用领域中，对产品可靠性以及在长期使用中满足技术指标方面具有强制性要求。

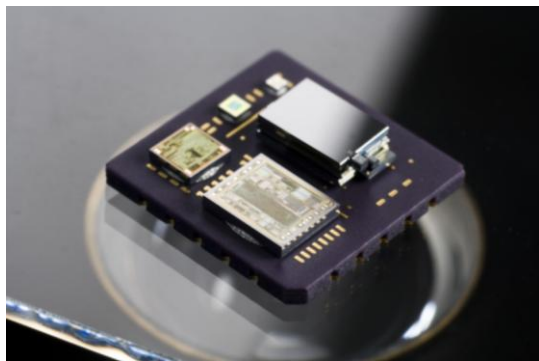


图 1：MS9000 内部视图

标准的 MS9000 产品具有 $\pm 2g$, $\pm 5g$, $\pm 10g$, $\pm 30g$, $\pm 50g$, $\pm 100g$ 和新增加的 $\pm 200g$ 等不同量程（如下表）。除为用户提供标准产品外，Colibrys 有能力在抗冲击性能、振动校准误差、以及量程等方面根据用户的特殊需要提供定制产品。

产品说明

MS9000 是电容式 MEMS 加速度传感器。它由一块微机械加工的硅元件，一个低功耗 ASIC 专用信号处理器，一个用于存储补偿值的微控制器，和一个温度传感器组成（如图 1 所示）。

MS9000 在单电源电压 2.5V~5.5V 下运行，电流消耗低 $< 0.5mA @ 5V$ 。在 5V 输入电压条件下，其输出是一个成比例的模拟电压，在全量程范围内，输出值在 0.5V~4.5V 之间变化。该传感器是一个完全独立的完整产品，采用 20 针 LCC 陶瓷封装，以确保产品的全密封性。产品在 $-55^{\circ}C \sim 125^{\circ}C$ 温度范围内工作，并能承受高达 1000g 的冲击而不影响性能。其零偏长期稳定性和标度因数通常小于全测量范围的 0.1%。对于 $\pm 2g$ 的产品 (MS9002.D)，零位温度系数典型值为 $100\mu g/^{\circ}C$ ，而未经外部补偿的标度因数温度系数典型值为 $100ppm/^{\circ}C$ 。

全测量范围	$\pm 2g$	$\pm 5g$	$\pm 10g$	$\pm 30g$	$\pm 50g$	$\pm 100g$	$\pm 200g$
LCC20 封装	MS9002.D	MS9005.D	MS9010.D	MS9030.D	MS9050.D	MS9100.D	MS9200.D

加速度计产品特点

加速度计的核心器件是电容式体硅微机械传感器。为确定采用哪种基本技术能最好地满足高性能 MEMS 加速度传感器的需要，研究人员已经作了专门的评估。其结论清楚地表明：相对于平行面方法来说（质量块平行于安装平面移动），体硅技术（质量块垂直于安装平面移动）是生产高端传感器最成功的方法。

COLIBRYS 制造加速度计的关键技术在于的三层硅晶片的结构化。质量块由中间层硅晶片形成的弹簧支撑。该惯性质量块同时也是电容式传感器的中心电极，而上下两层硅晶片组成传感器固定的两个电极（见图 2）。

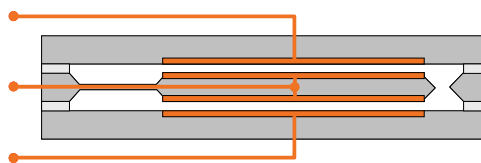


图 2：Colibrys 加速度计截面图

将三层硅晶片结合在一起的工艺是“硅片高温熔融键合” (SFB: Silicon Fusion Bonding) 工艺。该粘合工艺不仅保证了系统的各硅晶片之间完美平衡，同时还能构建弹性悬臂质量块支撑系统的密闭腔体（见图 3）。粘合工艺是在高温 ($>1000^{\circ}C$) 和低气压条件下进行的，以保证最佳空气阻尼。



图 3：MEMS 硅传感器

加速度计基本工作原理

MS9000.D 产品的标准校准电压是 $(VDD-VSS) = 5V$ 。除非特别声明，所有的参数都在此工作电压下适用。如有用户需求，也可在不同的电压下（比如 4.4V）进行校准。

尽管在 5V 下校准，MS9000 产品也可以采用变化范围在 2.5V~5.5V 的标称输入电压。

在这种情况下，标称输出电压如下列公式变化：

$$V_{out} = (VDD - VSS) / 2 + A_i * (K1 * VDD / 5) \quad (1)$$

$$V_{AGND} = (VDD - VSS) / 2 \quad (2)$$

根据此公式 (1)，零位和标度因数与工作电源的电压成比例关系。参考电位 VAGND 为电源电压的一半，在 g 为零时，等于输出电压。所有传感器各项指标，如零位修正，增益和非线性度等，都在给定的误差范围内被校准，以使之符合理想的响应曲线。

传感器的连接和电源要求

详细框图见图 4。

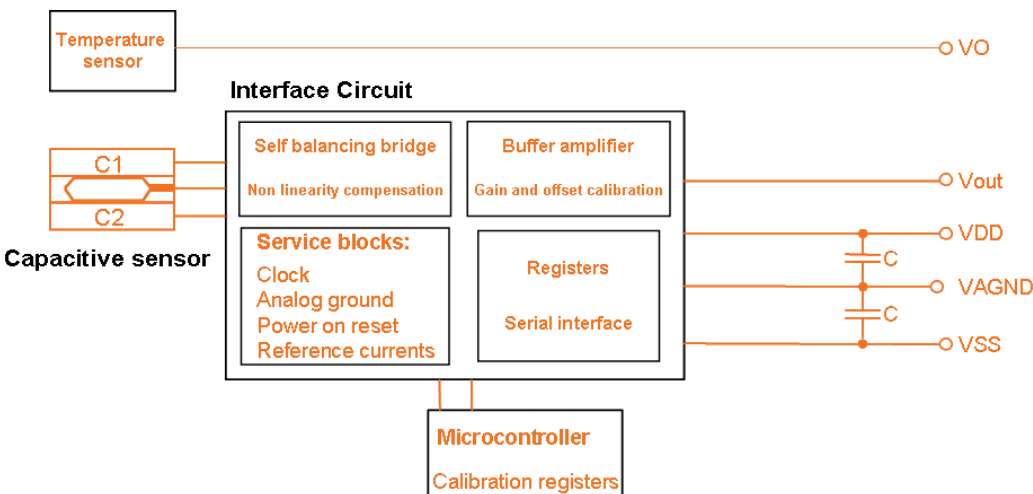


图 4：框图

强烈建议在 VDD 和 VAGND 之间以及 VAGND 和 VSS 之间采用 1μF 的退耦电容，并且尽量靠近加速度计。建议使用 COG 或 X7R @ 5% 等型号的电容。更重要的是，VAGND 端的接地连线要尽量短。任何其他配置都会直接影响零位校准。

该工艺还可以避免任何表面污染，特别是水分子，并且释放所有在粘合工艺前形成的表面张力。这对于避免因冲击等原因而造成中间质量块附着在固定电极表面是至为关键的。这种工艺还消除了由于潮湿引起的输出电压漂移的影响以及其他表面污染物。

这种“弹性悬臂—质量块”测量系统的测量范围是可调的。通过改变弹性悬臂的厚度可以改变开环测量范围。在加速或倾斜的情况下，惯性作用使质量块在上下电极板之间移动而改变电容值。敏感电容的差值变化通过接口电路来测量，电路采用了一个自平衡电容桥将信号转换成使用了补偿参数校准的输出电压，而补偿参数（零位修正，增益，和非线性等）则存储在微处理器中。

每个传感器都以下列模型来描述：

$$V_{out} = k_1 * (k_0 + A_i + k_2 A_i^2 + k_3 A_i^3 + k_p A_p + k_o A_o + k_{ip} A_i A_p + k_{io} A_i A_o + E)$$

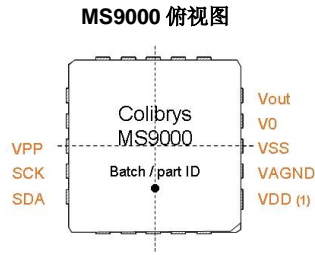
其中

- A_i, A_p and A_o 分别代表传感器每个轴向上的加速度
 - i: 输入轴方向 (Z 轴)
 - p: 摆轴方向 (Y 轴)
 - o: 输出轴方向，也称为枢纽轴方向 (X 轴)
- $K1$ 加速度计标度因数 [V/g]
- $K0$ 零位 [g]
- $K2$ 二次非线性度 [g/g²]
- $K3$ 三次非线性度 [g/g³]
- Kp 摆轴方向非线性度 [rad]
- Ko 输出轴方向非线性度 [rad]
- Kip, Kio 轴之间交叉耦合系数 [rad/g]
- E 剩余噪声 [g]

每次上电微控制器将校准参数输入 ASIC 专用信号处理器，然后进入睡眠状态。在这段时间不到 50ms 初始化期间，其电流消耗达到最大值，室温下为 1.5mA@ 5V。初始化过后，同样状态下正常工作电流保持在小于 400μA。

使用非稳压电源（比如电池）时，输出电压则要用输入电压根据公式 (1) 修正，以获得校准过的信号。比如：这种

修正的过程可以通过对传感器使用相同的电源电压，并参考外部的 A/D 转换数据来实现。



管脚	描述	备注
4	VDD	工作电压
5	VAGND	加速度计输出参考电压(VDD/2)
6	VSS	接地
7	V0	温度传感器输出
8	Vout	加速度计输出信号
16	VPP (Colibrys 内部校准用)	必须与 VSS 连接
17	SCK (Colibrys 内部校准用)	必须与 VSS 连接
18	SDA (Colibrys 内部校准用)	必须与 VSS 连接

图 5：MS9000.D 的电气连接

封装

采用标准的 LCC 封装，共 20 个管脚。

密封工艺满足 5·10⁻⁸ atm·cm³/s（MIL-STD-883-E 标准）。

精确尺寸在图 6 中给出，产品标准重量小于 1.5 克。

安装

MS9000 加速度计必须紧密地固定在 PCB 板上，外壳底部可用作轴线对准的参考面。注意，安装过程对外壳使用过度压力和极端的焊接工艺条件会对加速度计技术指标造成影响。更详细的 MS8000 和 MS9000 安装工艺信息请参见“LCC-48 安装和焊接条件”使用说明。此文件可联系我们索取或参见我们的网站信息。

静电防护 ESD

ESD 灵敏度：2 级，MIL-STD-883-E 方法 3015.7 检测条件（人体模型，2kV）。

温度补偿

MS9000 的输出对温度敏感程度很小。必须说明的是，这样的温度性能是未经过温度校准的。用户可以利用内置温度传感器的输出进行校准，以获得更好的温度性能。

质量体系

Colibrys 通过了 ISO 9001.2000, ISO 14001 和 OHSAS 18001 等体系的认证。可联系我们索取相关证书。

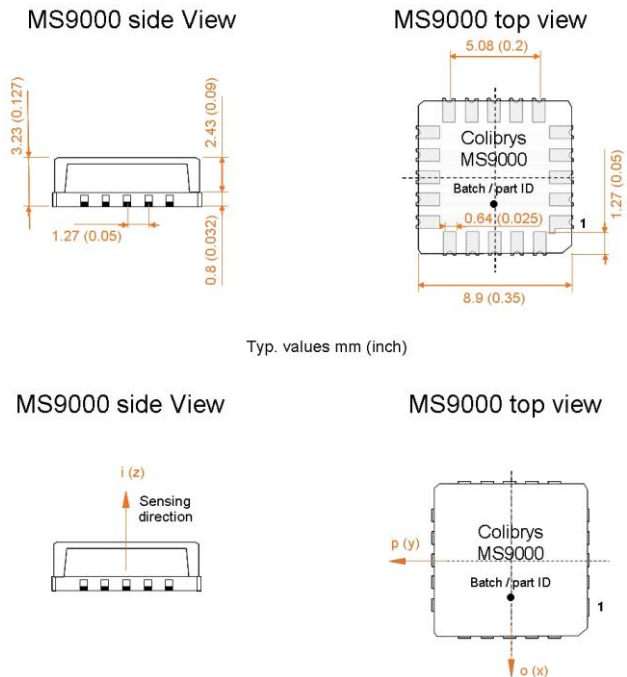


图 6：MS9000 LCC20 封装

定义与术语表

下表给出本文档中所用符号的定义：

VDD, VSS	[V]	连接电源时的电压 (VSS=0 时, $2.5V \leq VDD \leq 5.5V$)
Vout	[V]	传感器输出电压
VAGND	[V]	供电电压的 1/2; 在 g 为零时, 等于输出电压。
A _{FS}	[g]	输入轴 (Z 轴) 方向的加速度全量程范围。在全测量范围内: $-A_{FS} \leq A_i \leq +A_{FS}$, 传感器的输出符合规格。
A _i	[g]	输入轴 (Z 轴) 方向的加速度
A _p	[g]	摆轴 (Y 轴) 方向的加速度
A _o	[g]	输出轴、枢纽轴 (X 轴) 方向的加速度

数据表中所使用的参数术语

g [m/s²]

加速度单位, 等于标准地球重力加速度值 (Colibrys 在加速度计的规格及数据中所采用的值为 9.80665 m/s²)。

零位 Bias [mg]

加速度 g 为零时加速度计的输出值。

零偏稳定性 Bias stability [mg]

在极端外界条件 (老化, 温度循环, 冲击, 振动等) 变化后的最大零位漂移。

零位 温度系数 Bias Temperature Coefficient [$\mu\text{g}/^\circ\text{C}$]

在外界温度变化时, 零位校准的最大变化量。(即零位—温度曲线最佳匹配直线的斜率)。零位温度系数在 -40°C ~ $+50^\circ\text{C}$ 之间给出, 其间加速度计的温度特性呈线性。

标度因数灵敏度 Scale factor sensitivity [mV/g]

输出变化 (电压 V) 与单位输入变化 (加速度单位) 之比; 单位为 mV/g。

标度因数温度系数 Scale factor temperature coefficient [ppm/ $^\circ\text{C}$]

在外界温度变化条件下, 标度因数的最大偏差。

温度灵敏度 Temperature sensitivity

某一指定指标 (通常是标度因数, 零位, 或者非正交误差等) 对工作温度变化的敏感程度, 以在工作温度范围内最大偏离值的形式给出。温度灵敏度以指定指标对应温度每变化一度的变化量来表示。对于标度因数, 通常用 ppm/ $^\circ\text{C}$ 表示; 对于零位则用 g/ $^\circ\text{C}$ 表示。在未完成建模的情况下, 温度灵敏度作为一个变量, 对于估计在温度变化条件下的最大比例误差非常有用。

轴正交度 Axis alignment [mrad]

安装在一个平面上的加速度计, 其实际敏感轴相对于和基准安装面完全正交轴的偏离程度。

分辨率, 阈值 Resolution, Threshold [mg]

可以有效检测到的最小加速度值。

非线性度 Non-linearity [% of FS]

全量程范围内, 加速度计输出值相对最适线性曲线的最大偏离量。此最大偏离量以全量程输出 (+A_{FS}) 的百分比来表示。

带宽 Bandwidth [Hz]

频率范围是从直流到 F_{-3dB}, 这里 F_{-3dB} 频率响应的变化小于 -3dB。

标称谐振频率 Resonant frequency nominal [kHz]

已安装系统的典型共振频率值。

噪声 Noise [$\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$]

加速度计输出信号中不受欢迎的干扰信号, 该信号通常与所期望或预期的加速度输入无关。