

## 采用微机电系统（MEMS）技术的 Microchip 振荡器和时钟

作者: *John Clark 和 Graham Mostyn*  
Microchip Technology Inc.

### 概述

数十年来，振荡器和时钟始终依靠石英晶体来构建稳定的参考频率。晶体在许多应用中表现出十分优异的性能。但十年前，用MEMS谐振器代替石英晶体的微机电系统（Microelectromechanical System, MEMS）技术进入了市场，并且正在迅速走向成熟。

基于MEMS的时序器件兼具高可靠性（包括汽车应用的AEC-Q100认证）、扩展工作温度、小体积和低功耗特性。视频监控、汽车ADAS、一般工业应用和10 Gbps数据传输是当今主要的应用领域。下一个里程碑将是下

一代MEMS谐振器，这种谐振器能够针对高端通信系统实现非常低的相位噪声。

在2015年，Microchip通过收购Discera和Micrel获得了MEMS时序技术。Discera自2008年交付第一批振荡器之后，已生产和销售了近1亿个器件。

本文介绍了基于MEMS的解决方案的优势、谐振器技术以及最终产品的设计。

### 关键功能

与传统石英解决方案相比，Microchip基于MEMS的振荡器和时钟具有诸多优势（图1），其中包括稳定的频率、小尺寸、高可靠性、灵活性、多项可编程特性、快速有保障的启动功能以及高集成度。

	Traditional Crystal Oscillator	Microchip MEMS-Based Oscillator	Features
Frequency Stability Over Temperature			<ul style="list-style-type: none"> <li>MEMS offers <math>\pm 10</math> ppm over wide temperature range</li> <li>Microchip quartz achieves superior aging</li> </ul>
Size			<ul style="list-style-type: none"> <li>MEMS offers ultra-small footprints (1.6 x 1.2 mm)</li> <li>Leads industry trend in size reduction</li> </ul>
Reliability			<ul style="list-style-type: none"> <li>MEMS wafer-stage ultra-clean hermetic seal</li> <li>Microchip quartz separates crystal and ASIC enclosures</li> </ul>
Jitter Close-In Phase Noise			<ul style="list-style-type: none"> <li>Microchip quartz is superior with reduced close-in phase noise</li> <li>MEMS and quartz comparable at high-frequency offsets</li> </ul>
Features			<ul style="list-style-type: none"> <li>Selectable frequencies from one output</li> <li>OTP programmable at any frequency, anytime</li> </ul>
Start-Up			<ul style="list-style-type: none"> <li>MEMS achieves fast start-up time (&lt;2 ms)</li> <li>Eliminate start-up issue of crystal-based designs</li> </ul>
Integration			<ul style="list-style-type: none"> <li>Multiple outputs from a single device</li> <li>Utilizes highly integrated ASIC</li> </ul>

● Best    ○ Worst

图1: 基于MEMS的Microchip振荡器和时钟的优势

## MICROCHIP 谐振器技术

### FFS 谐振器

Microchip 的 MEMS 谐振器产品是基于密歇根大学的研究成果发展而来的。这项产品是最早采用现有 MEMS 谐振器技术并加以改良以适应实际的无线和时序应用的产品之一。Microchip 的谐振器设计被称为 FFS 谐振器（即两端自由梁短支架谐振器），该谐振器是对密歇根大学首创的两端自由梁谐振器进行反复改进后的成果。FFS 设计（如图 2 所示）采用短锚固支架来增强设计的稳固性，并且由较宽的谐振梁组成以提高其功率处理能力（这是振荡器设计的一项关键特性）。谐振梁仅与基板上的四个锚定位置接触，它位于基板之上并留有狭小的间隙，以便谐振器能够自由移动。与石英晶体相比，FFS 谐振器本身非常紧凑，18 MHz 器件的尺寸仅为  $50\ \mu\text{m} \times 30\ \mu\text{m}$ 。

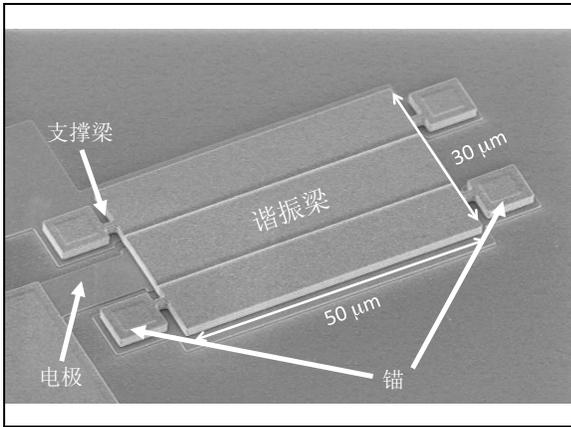


图2: FFS 谐振梁成品的 SEM 图

与石英晶体一样，MEMS 谐振器依靠非常精确的机械振动来提供精确的频率输出，而 FFS 谐振器的表现与典型的自由支撑振动梁十分类似。实际上，它与本身就是一种自由支撑梁谐振器的木琴键相似。而且，和木琴一样，FFS 只会以一个非常特定的频率“振铃”，该频率可以根据材料属性以及几何尺寸（长度、宽度和厚度）来选择。图 3 为工作期间振动或“振型”的放大图，显示了谐振梁沿垂直于基板的短轴的位移方式。图 4 中的位移曲线图说明了谐振梁实现“自由”支撑的原因——沿谐振梁的长度方向有两个垂直位移为零的位置。这两

个位置十分适合安装几乎不影响谐振梁频率的短支撑系绳，并可最大程度地减少基板的振动能量损耗。这反过来又能最大程度提高其品质因数和频率选择性。

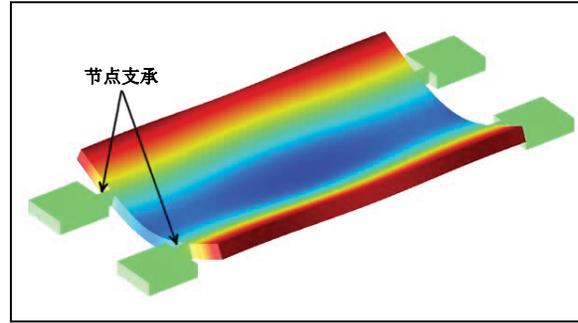


图3: FFS 谐振器的模拟振型（显示工作时的平面外挠曲振型）

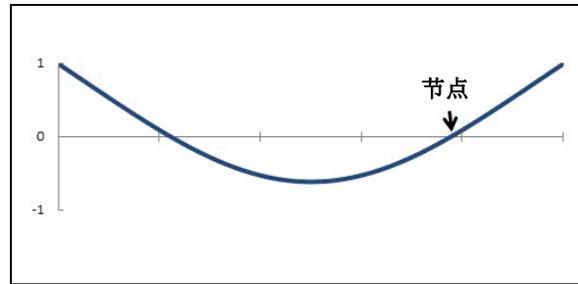


图4: 沿谐振梁位移的归一化曲线图（突出显示零位移节点）

在电路中使用机械梁需要在电能和机械能之间进行转换。石英晶体使用压电换能来完成这一任务，但是在高质量、微尺度设计中集成压电材料非常困难。FFS 谐振器使用静电换能器，其原理是不同电压的两个电极间将产生一个力。为此，单个驱动电极需置于通过气隙分隔的谐振梁下方。电极和谐振梁一起形成平行板形电容，并且交流电压形式的输入信号在谐振梁上产生一个垂直于基板的力，从而使谐振梁移动。如果输入信号降至器件的机械频率，该力就会有效地增加几千倍，从而以谐振频率产生振动。谐振梁相对于固定的底部电极垂直运动时，换能器间隙的作用相当于时变电容，偏置时以谐振频率产生输出电流。上述各图所示的是放大后的运动；谐振梁的实际位移仅为其厚度的 1-2% 左右。

## 第一代封装 (G1)

谐振器设计非常重要，但器件的封装也很关键。晶体谐振器历来依靠密封的金属和/或陶瓷封装来实现隔离和保护。使用需要通过真空封装来获得高品质因数的MEMS谐振器时，可以将封盖和密封工艺直接集成到制造工艺中，以批量工艺实现高密度晶圆级封装，这既降低了成本又提高了可靠性。由此实现的晶圆级封装还可用于从陶瓷到全系列注塑封装、再到芯片级封装的各种IC封装。

第一款同时满足器件和封装要求的Microchip传统产品被称为G1.0。它由封装在真空腔内的图2中的FFS器件设计组成，此真空腔是通过用玻璃熔块将封盖硅晶圆键合到基板的方式形成的。沉积在封盖上的吸气剂可确保维持相应的真空度，以实现长期的可靠性。键合焊盘位于密封区域外的凸缘上。第一款基于MEMS谐振器的商用振荡器采用该封装，并于2008年开始大量出货。尽管玻璃熔块易碎，但该封装仍在军用器械实验室中进行了测试，并且能够在超过30,000g的高冲击力测试后继续工作。

## 第二代封装 (G2.x)

虽然G1.0的玻璃熔块封装符合MEMS振荡器的工作要求，但是键合技术对封装尺寸提出了更严格的限制，同时也是小型化、提高成品率和削减成本的主要瓶颈。被称为G2.x的新一代（当前一代）谐振器封装转向了晶圆级硅熔合。熔合工艺要求非常干净的晶圆，在高温键合步骤的配合下，真空腔内不再需要放置吸气剂，从而进一步提高工艺效率。硅键合所需的面积也比玻璃熔块小得多，并通过硅通孔实现互连，这可使焊盘完全位于真空腔内。总的来说，与G1相比，这些技术改进使裸片面积减少了10倍，大大降低了每个裸片的成本。

熔合工艺如今被用于生产Microchip的MEMS谐振器。如图5所示，通过真空腔蚀刻的封盖晶圆放置在MEMS谐振器晶圆的上方。将一对晶圆抽到目标真空水平，然后在键合工具内压在一起，使器件晶圆上的硅层与封盖晶圆上的氧化层键合。在高温炉中退火后，所产生的键合力非常强；事实上，试图用力破坏封装的做法最终将导致硅在键合力自行消失之前发生破裂，形成比周围材料更强的真空密封。图6是单切的封盖谐振器的图像。整个封装小于0.5 mm x 0.5 mm。图7显示了封装的横截面，其中可清晰地看到TSV和腔体。熔合的另一个优势是可以承受很高的温度。MEMS裸片的工作温度主

要受限于封装外部的金属化材料（当前生产的器件使用AlCu），可能超过+200°C。

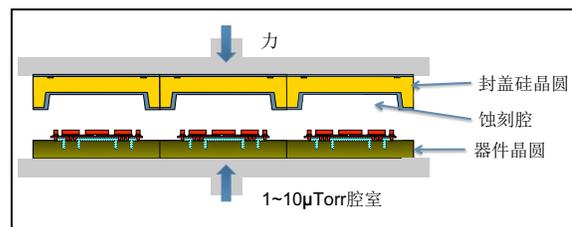


图5: 当前键合工艺

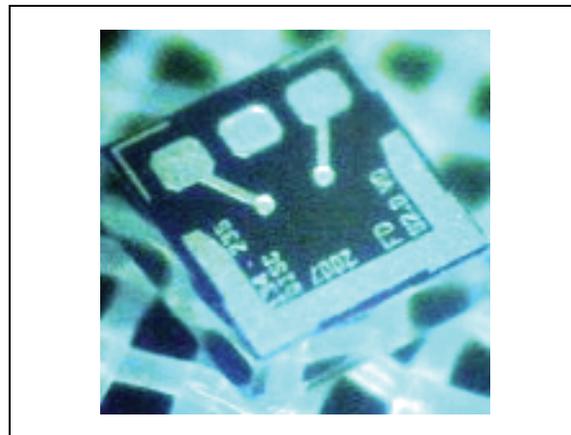


图6: 单切并完全封装的MEMS谐振器

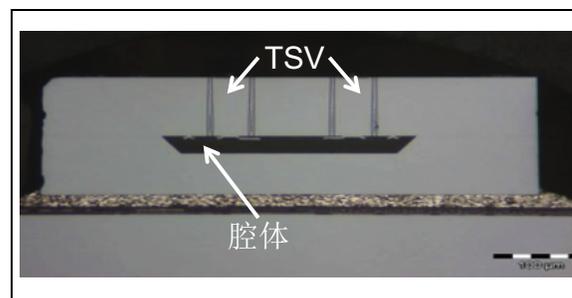


图7: 已封装谐振器的横截面

G2封装比G1更稳健。由于其质量非常小，理论上可以承受超过1,000,000g的重力加速度，但无论谐振器采用何种IC封装，都无法达到这种程度，因此实际的重力加

速度限值介于G1封装的30,000g与上限之间，超出典型晶振的承受范围（约50g-100g）几个数量级。

长期稳定性或老化过程也是振荡器的关键指标。图8给出了在+85°C下连续运行1000小时发生老化的8个MEMS器件的谐振频率曲线图。在测试过程中，平均漂移约为-1.5 ppm（图中的直线区域表示数据采集错误；器件始终保持供电状态并且温度不变）。图9给出了16个不同的Microchip DSC60xx振荡器在相同条件下校准后的输出频率曲线图。ASIC中的老化机制会导致频谱扩散，但是可以通过精心设计来加以限制。在老化过程中，振荡器显示出大约1 ppm的平均偏移（严格遵循MEMS的特性）。

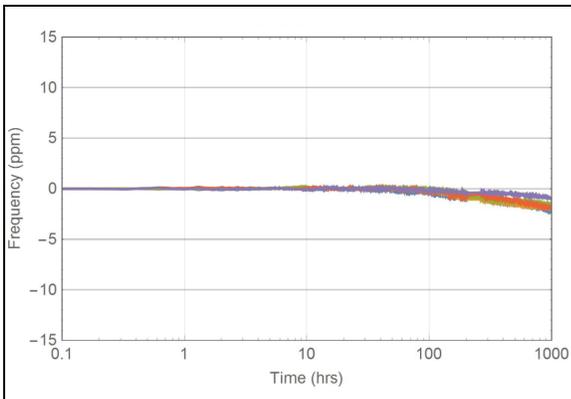


图8: 在+85°C下运行1000小时发生老化的器件的曲线图

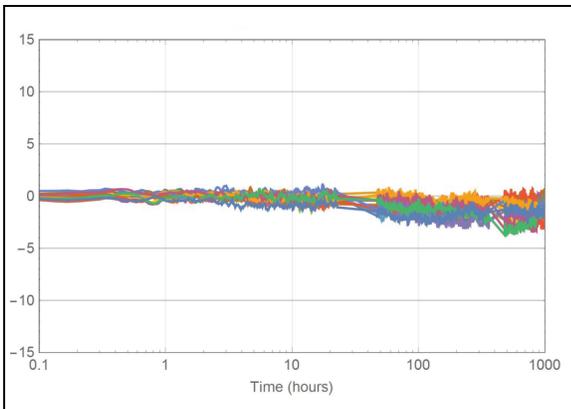


图9: DSC60xx 的老化过程

### 第三代谐振器（G3及以上）

目前生产的所有产品（截至2016年12月）均使用G2.x谐振器。它们为许多XO应用提供了卓越的性能。

我们通过大量的设计改进为需要超低抖动的应用带来更高的性能。G3谐振器（如图10所示）专为满足这些要求更高的应用而设计，可减少抖动和杂波以及提高温度稳定性。G3设计是一款在大约70 MHz的频率下工作的15次谐波FFS梁谐振器。类似于高频晶振，该谐振器利用高阶模式来实现更高的频率和更优异的性能。在15次谐波振型中（图11为模拟图，图12为简化形式）有16个拐点和17个节点，而G2基波模式设计中有1个拐点和2个节点。结果是G3谐振器要大得多（换能器面积增大），当提高频率和刚度时，可显著提高功率处理能力，从而改善相位噪声和抖动。较高的工作频率还可以通过减小PLL中使用的乘数来向上变频为VCO频率，以此来改善相位噪声。

G3谐振器还被设计为在差分模式下工作。如图12所示，每个拐点下面的电极经组合可实现完整的4端口差分操作。这大大减少了可能导致整体抖动的共模噪声和干扰。

G3设计不仅提供了一种途径来增大时钟纯度，还通过其他设计改进来提高温度稳定性。总体温度性能是温度传感器精度、传感器与实际MEMS温度的偏移量以及MEMS谐振器本身的温度敏感度等因素经复杂相互作用后呈现的结果。多晶硅FFS谐振器具有固有的频率温度系数（即TCF），约为-17 ppm/°C，这主要是由于多晶硅刚度随着温度升高而减小。但是，二氧化硅的刚度随着温度的升高而增大。在具有多晶硅和氧化物交替层的复合谐振器结构中，可通过相应设计来抵消刚度的变化，从而有效地将TCF减小至少一个数量级。这种方法已经应用于G2和G3设计中，并且已证实可显著提高整个温度范围内的频率稳定性。

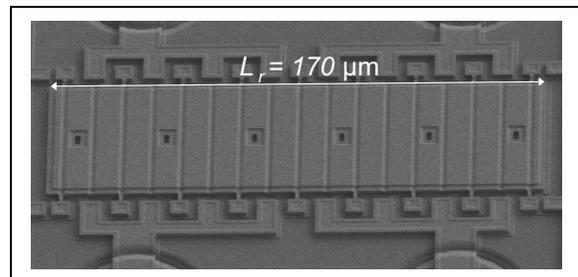


图10: G3谐振器的SEM

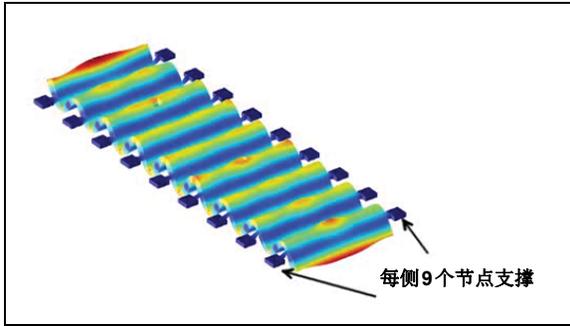


图11: 模拟振型

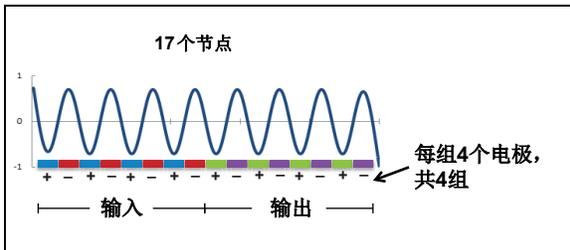


图12: 显示差分操作的节点和电极位置的归一化位移曲线图

## 振荡器和时钟产品的系统设计

### 封装和结构

基于MEMS的振荡器和时钟产品由堆叠在CMOS ASIC上并通过打线键合技术连接的微小MEMS谐振器裸片组成(见图13和图14)。在经过注塑成型、丝印和测试后,最终产品将采用塑封VDFN封装(见图15)。

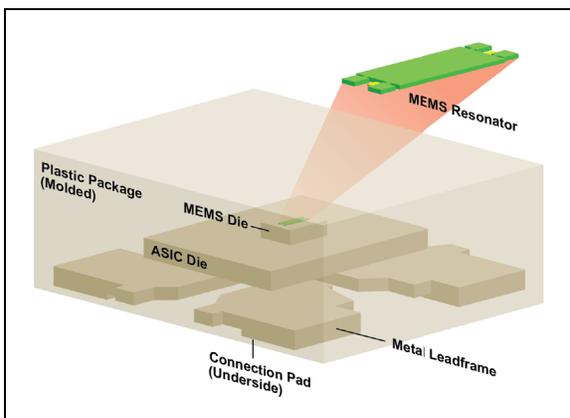


图13: 安装在CMOS ASIC上的MEMS谐振器裸片的分解示意图

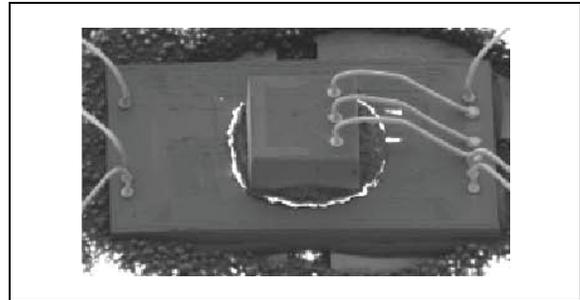


图14: 解封后的MEMS振荡器的显微照片



图15: 采用VDFN封装的成品

### 系统架构

图16以DSC2xxx为例给出了典型MEMS产品的架构。其中的MEMS谐振器位于左侧,与右侧的CMOS ASIC相连。

谐振器裸片连接到三个ASIC接口: res1、res\_agnd和res2。谐振器和参考振荡器模块(REF OSC)的组合形成一个频率由谐振器控制的振荡器,类似于石英晶体。本产品中使用的G2.x谐振器的谐振频率和基准振荡器输出约为18 MHz。

该参考振荡器驱动一个小数N分频锁相环(Phase Lock Loop, PLL),该锁相环将频率转换为所需的振荡器或时钟输出。输出频率分辨率非常高,一般为100 Hz或更小的值。PLL驱动两个可编程分频器链( $\div N1$ ,  $N2$ )和两个协议可编程缓冲器(DRIVERS); CMOS、LVDS、LVPECL和HCSL均可以获得。

片上可编程非易失性存储器(OTP)和交叉开关是实现产品灵活性的关键因素,其中存储了PLL和分频值(设置输出频率)以及温度校准设置、输出协议选择、上升/下降时间控制、使能引脚上拉/下拉等其他设置。

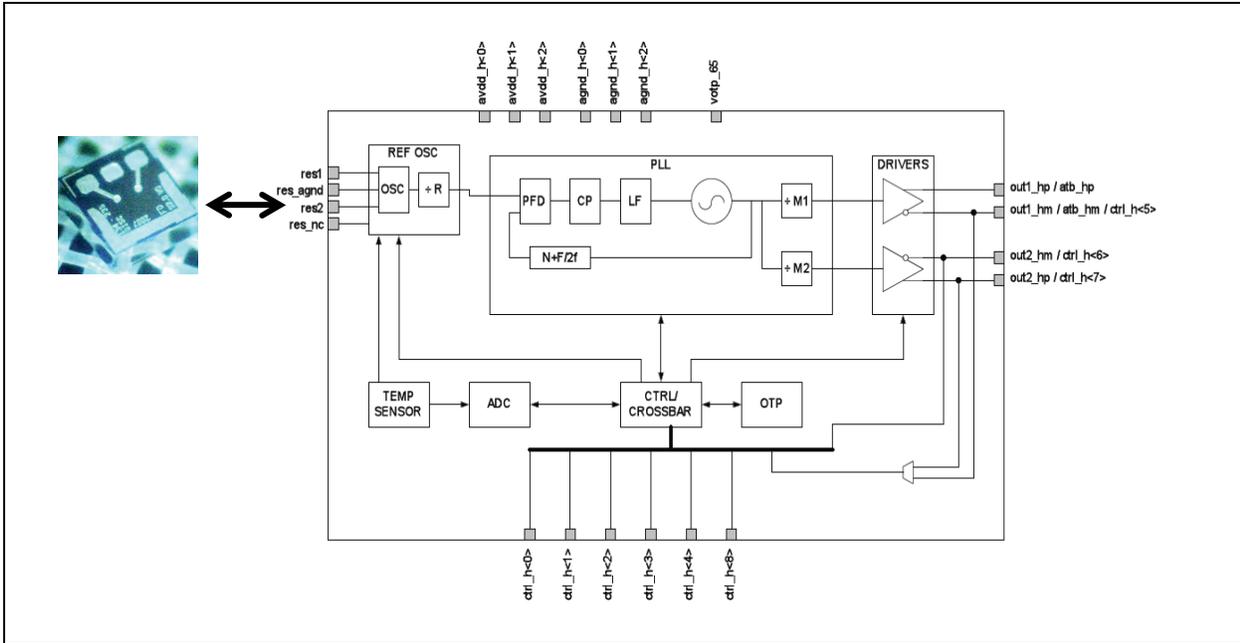


图16: DSC2xxx 产品框图

### 随温度变化的频率稳定性

温度传感器 (TEMP SENSOR) 以数字形式表示裸片温度, 并将其传送到小数N分频锁相环, 以校正谐振器绝对频率的自然扩散以及温度系数。该系统已在制造过程中进行校准, 并将调整系数编程到ROM中。这样便可将输出频率编程为100 Hz左右, 并将整个扩展温度范围内的偏差率稳定在 $\pm 10$  ppm (见图17)。

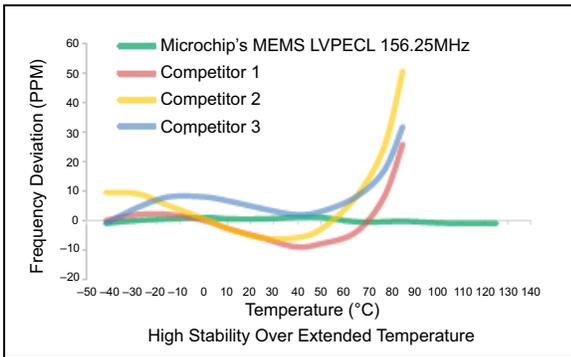


图17: Microchip MEMS 振荡器与石英振荡器的频率稳定性对比曲线

### 输出时钟抖动

如果以最大强度驱动, MEMS谐振器产生的抖动最低; 但驱动强度高会产生不必要的频率偏移。此最大强度

随裸片温度而变化, 温度传感器模拟输出用于优化所有温度下振荡器的驱动电流。

图18给出了DSC1xxx和DSC2xxx系列的集成相位抖动, 是许多网络应用的理想选择。不同应用对不同频率范围的相位噪声敏感; 时钟行业通常使用12 kHz至20 MHz作为基准, 最早可以追溯到SONET技术。不过, 当今使用时钟数据恢复锁定环的高速有线网络能够承受载波噪声 (也称为“近距离”或“低频偏移”噪声), 并且在高载波偏移频率下仅对特定带宽的噪声敏感。DSC1xxx和DSC2xxx系列在200 kHz至20 MHz频段内可达到450 fs, 适用于1 Gb以太网, 同时也符合XAUI和PCIe的要求。

相比非PLL固定频率石英振荡器, 当前生产的MEMS振荡器将会产生更多的近距离噪声 (偏移频率低于5 kHz的噪声)。这是因为非常小的谐振器会产生更接近底噪的低幅值参考信号。在高偏移频率下, 该噪声将被PLL滤除。但在低偏移频率下, 该噪声将传送到输出。如上所述, 这对于大多数应用而言都不是问题, 因为它们仅对大约100 kHz以上的噪声敏感。

新一代G3系列MEMS谐振器可采用更高的驱动强度, 相位噪声更低, 在12 kHz至20 MHz带宽范围内可与固定频率石英晶体相媲美。

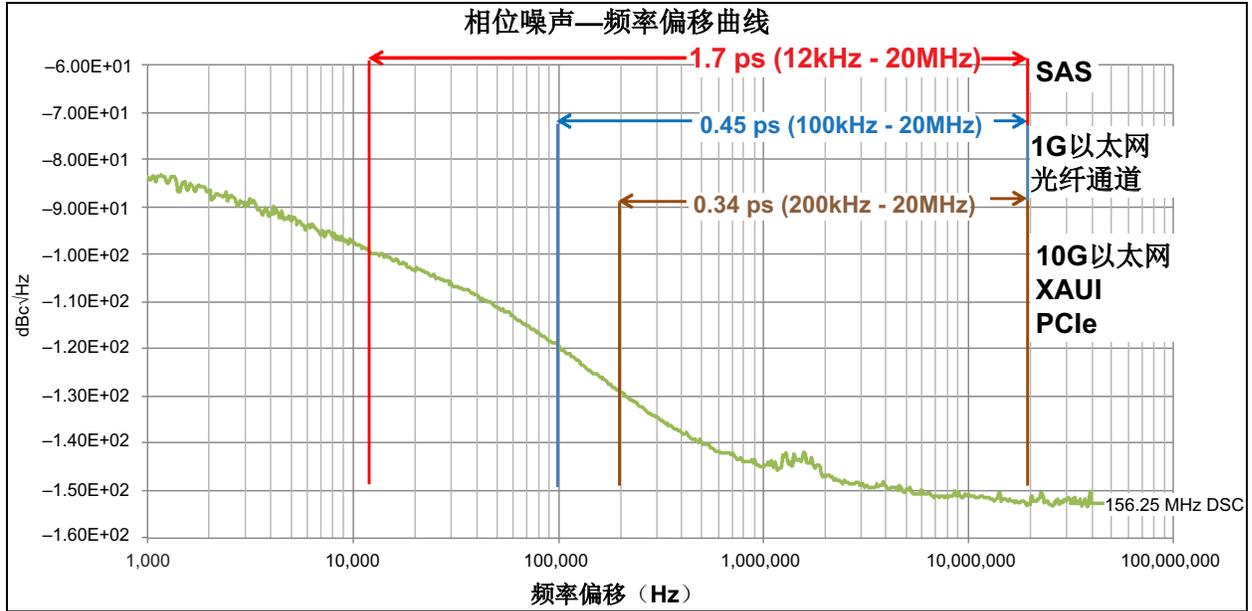


图18: 相关网络应用的DSC11xx 振荡器和DSC2xxx 时钟振荡器相位噪声

## 特性和集成

Microchip的MEMS振荡器和时钟设计有多种特性, 包括:

- 使用TimeFlash编程工具即时选择和编程输出频率。
- 快速启动: 1 ms至5 ms。
- 电磁兼容性(避免产生EMI), 具有可编程的上升/下降时间和扩频。
- 电磁兼容性(对外部噪声和电磁场的敏感性): 通过EMC标准EN61000-4-3/4/6。

## 尺寸

新发布的DSC6000产品最小可提供1.6 mm x 1.2 mm的尺寸, 其CMOS ASIC仅比谐振器裸片略大。(见图19)。

## Microchip MEMS振荡器的可靠性

如表1所示, 在进行符合MIL-STD-883的相关测试后, 根据机械冲击和振动结果可知, 其性能相比于传统石英技术有所提升。这些可靠性数据基于多年的生产情况编制, 体现出极高的FIT、MTBF可靠性及dppm质量水平。

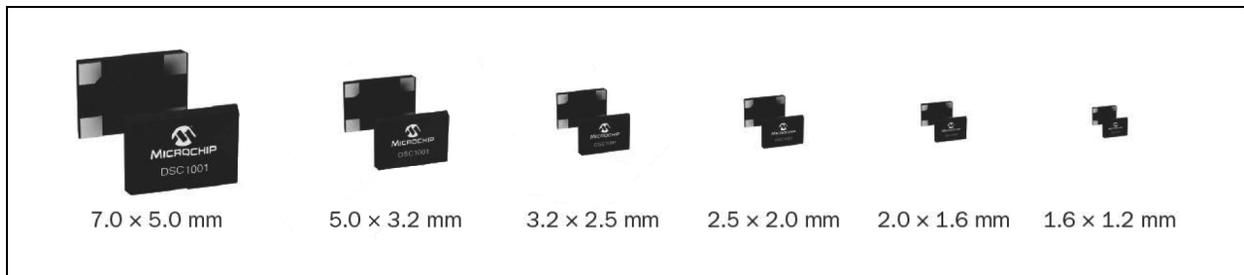


图19: 可选择的MEMS振荡器尺寸

表1: 可靠性数据

测试	Microchip MEMS 振荡器	石英振荡器	提升幅度	测试条件
机械冲击	50,000g	500g	100x	MIL-STD-883; 方法2002
振动	70g	20g	3.5x	MIL-STD-883; 方法2007
失效率 (FIT)	1.2	29	24x	置信度 = 90%
MTBF	1822 MHR	90 MHR	24x	置信度 = 90%
DPPM	<10	100	10x	在产品的生命周期内

## MEMS 振荡器和时钟产品选型指南

图20和图21给出了Microchip目前的MEMS产品。

Part Number	Output Frequency (MHz)	Output Format	Frequency Stability (ppm)	Jitter (typ) (ps RMS)	Supply current (mA)	Supply voltage (V)	Temp. Range (°C)	Package size (mm x mm)	Custom Configuration
<b>Ultra-Low Power MEMS oscillator*</b>									
DSC60xx	0.002 to 80	LVCMOS	±15/25/50	15	1.3	1.7 to 3.63	-20 to 70 -40 to 85 -40 to 105 -40 to 125	1.6x1.2 4L 2.0x1.6 4L 2.5x2.0 4L 3.2x2.5 4L	
DSC61xx	0.002 to 100			8	2.5				
DSC62xx/63xx	1 to 100 w/ spread Spectrum			10	3				
<b>Low Jitter MEMS oscillator</b>									
DSC1101/ 1121	2.3 to 170	LVCMOS	±10/25/50	1.5	25	2.25 to 3.63	-20 to 70 -40 to 85 -40 to 105 -55 to 125	7.0x5.0 6L 5.0x3.2 6L 3.2x2.5 6L 2.5x2.0 6L	ClockWorks web tool
DSC1102/ 1122	2.3 to 460	LVPECL	±10/25/50	1.5	40	2.25 to 3.63			
DSC1103/ 1123	2.3 to 460	LVDS	±10/25/50	1.5	25	2.25 to 3.63			
DSC1104/ 1124	2.3 to 460	HSCL	±10/25/50	1.5	30	2.25 to 3.63			
<b>Low Power MEMS oscillator</b>									
DSC1001/ 1003/1004	1 to 150	LVCMOS	±10/25/50	10	5	1.62 to 3.63	0 to 70 -20 to 70 -40 to 85 -40 to 105	7.0x5.0 4L 5.0x3.2 4L 3.2x2.5 4L 2.5x2.0 4L	ClockWorks web tool
DSC1033	1 to 150	LVCMOS	±25/50	20	3	3.3			
DSC1030						3			
DSC1028						2.8			
DSC1025						2.5			
DSC1018						1.8			
<b>Programmable Oscillator</b>									
DSC8101/ 8121	2.3 to 170	LVCMOS	±10/25/50	1.5	25	2.25 to 3.63	-20 to 70 -40 to 85 -40 to 105 -55 to 125	7.0x5.0 6L 5.0x3.2 6L 3.2x2.5 6L 2.5x2.0 6L	TimeFlash Programmer
DSC8102/ 8122	2.3 to 460	LVPECL	±10/25/50	1.5	40	2.25 to 3.63			
DSC8103/ 8123	2.3 to 460	LVDS	±10/25/50	1.5	25	2.25 to 3.63			
DSC8104/ 8124	2.3 to 460	HSCL	±10/25/50	1.5	30	2.25 to 3.63			
DSC8001/ 8003/8004	1 to 150	LVCMOS	±10/25/50	10	5	1.62 to 3.63	0 to 70 -20 to 70 -40 to 85	7.0x5.0 4L 5.0x3.2 4L 3.2x2.5 4L 2.5x2.0 4L	
DSC8002	1 to 150	LVCMOS	±25/50	20	3	1.62 to 3.63			

\* New product based on preliminary data, The -40 to 105C and -40 to 125C option will be available in 4Q2016

图20: MEMS 振荡器选型指南

Part Number	Output Frequency (MHz)	Number of outputs	Number of PLL	Output Format	Frequency Stability (ppm)	Jitter (typ) (ps RMS)	Features	Supply current (mA)	Supply voltage (V)	Temp. Range (°C)	Package size (mmxmm)	Custom Configuration	
DSC2311	2.3 to 170	2	1	LVC MOS	±25/50	1.5	OE	25	2.25 to 3.63	-20 to 70 -40 to 85 -40 to 105 -55 to 125	2.5x2.0 6L	ClockWorks Web tool	
DSC20xx	2.3 to 460	2	1	LVC MOS LVPECL LVDS HSCL	±25/50	1.5	OE/FS (up to 8 freq per output)	25 - 76		-20 to 70 -40 to 85 -40 to 105	3.2x2.5 14L		
DSC21xx						1.5	PC/OE/FS (up to 2 freq per output)						
DSC22xx						1.5	SPI/OE/FS (up to 2 freq per output)						
DSC400	2.3 to 460	4	2			1.5	OE/FS (up to 2 freq per output)	30-130		5.0x3.2 20L			

图21: MEMS 时钟选型指南

## 结论

本文介绍了MEMS技术在Microchip时钟和时序产品中的应用。这种技术相对于传统石英振荡器的固有优势是高可靠性、小尺寸、扩展工作温度（汽车1级）下的频率稳定性以及可编程性。这些优势在汽车、工业/医疗，数字成像和网络等各种应用中十分重要。

文中讨论了基于MEMS的三代谐振器。特别值得一提的是第二代谐振器和第三代振荡器，Microchip目前生产的所有振荡器和时钟中都采用第二代谐振器，而凭借第三代谐振器，将很快推出一系列全新超低抖动产品。

振荡器和时钟产品的系统设计由MEMS谐振器和CMOS裸片组成，后者包含一个振荡器电路，可驱动一个小数N分频PLL和多个输出缓冲器。其特殊性体现在温度补偿和强大的可编程性两个方面。客户可通过编程工具TimeFlash将特殊的“空白”器件即时编程为任何频率。

本文的最后是有关振荡器和时钟选型指南的内容。有关Microchip时钟和时序解决方案的更多信息，请访问：

<http://www.microchip.com/design-centers/clock-and-timing>

---

注:

---

请注意以下有关 Microchip 器件代码保护功能的要点:

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信: 在正常使用的情况下, Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前, 仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知, 所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展之中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了《数字器件千年版权法案 (Digital Millennium Copyright Act)》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下, 能访问您的软件或其他受版权保护的成果, 您有权依据该法案提起诉讼, 从而制止这种行为。

---

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分, 因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利, 它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范, 是您自身应负的责任。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保, 包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和/或生命安全应用, 一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时, 会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任, 并加以赔偿。除非另外声明, 在 Microchip 知识产权保护下, 不得暗或以其他方式转让任何许可证。

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。Microchip 的 PIC<sup>®</sup> MCU 与 dsPIC<sup>®</sup> DSC、KEELOQ<sup>®</sup> 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器 and 模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外, Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM**  
**CERTIFIED BY DNV**  
**== ISO/TS 16949 ==**

#### 商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、AnyRate、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BeaconThings、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、Heldo、JukeBlox、KEELOQ、KEELOQ 徽标、Kleer、LANCheck、LINK MD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、Prochip Designer、QTouch、RightTouch、SAM-BA、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、tinyAVR、UNI/O 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、mTouch、Precision Edge 和 Quiet-Wire 均为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNet 徽标、Mindi、MiWi、motorBench、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PureSilicon、QMatrix、RightTouch 徽标、REAL ICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、ViewSpan、WiperLock、Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2018, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN: 978-1-5224-2710-0

## 全球销售及及服务网点

### 美洲

公司总部 **Corporate Office**  
2355 West Chandler Blvd.  
Chandler, AZ 85224-6199  
Tel: 1-480-792-7200  
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:  
<http://www.microchip.com/support>

网址: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

**亚特兰大 Atlanta**  
Duluth, GA  
Tel: 1-678-957-9614  
Fax: 1-678-957-1455

**奥斯汀 Austin, TX**  
Tel: 1-512-257-3370

**波士顿 Boston**  
Westborough, MA  
Tel: 1-774-760-0087  
Fax: 1-774-760-0088

**芝加哥 Chicago**  
Itasca, IL  
Tel: 1-630-285-0071  
Fax: 1-630-285-0075

**达拉斯 Dallas**  
Addison, TX  
Tel: 1-972-818-7423  
Fax: 1-972-818-2924

**底特律 Detroit**  
Novi, MI  
Tel: 1-248-848-4000

**休斯敦 Houston, TX**  
Tel: 1-281-894-5983

**印第安纳波利斯 Indianapolis**  
Noblesville, IN  
Tel: 1-317-773-8323  
Fax: 1-317-773-5453  
Tel: 1-317-536-2380

**洛杉矶 Los Angeles**  
Mission Viejo, CA  
Tel: 1-949-462-9523  
Fax: 1-949-462-9608  
Tel: 1-951-273-7800

**罗利 Raleigh, NC**  
Tel: 1-919-844-7510

**纽约 New York, NY**  
Tel: 1-631-435-6000

**圣何塞 San Jose, CA**  
Tel: 1-408-735-9110  
Tel: 1-408-436-4270

**加拿大多伦多 Toronto**  
Tel: 1-905-695-1980  
Fax: 1-905-695-2078

### 亚太地区

中国 - 北京  
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都  
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆  
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞  
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州  
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州  
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京  
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛  
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海  
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳  
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳  
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州  
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉  
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安  
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门  
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区  
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海  
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄  
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北  
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹  
Tel: 886-3-577-8366

### 亚太地区

澳大利亚 **Australia - Sydney**  
Tel: 61-2-9868-6733

印度 **India - Bangalore**  
Tel: 91-80-3090-4444

印度 **India - New Delhi**  
Tel: 91-11-4160-8631

印度 **India - Pune**  
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**  
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**  
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**  
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**  
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚  
**Malaysia - Kuala Lumpur**  
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 **Malaysia - Penang**  
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 **Philippines - Manila**  
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 **Singapore**  
Tel: 65-6334-8870

泰国 **Thailand - Bangkok**  
Tel: 66-2-694-1351

越南 **Vietnam - Ho Chi Minh**  
Tel: 84-28-5448-2100

### 欧洲

奥地利 **Austria - Wels**  
Tel: 43-7242-2244-39  
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦  
**Denmark - Copenhagen**  
Tel: 45-4450-2828  
Fax: 45-4485-2829

芬兰 **Finland - Espoo**  
Tel: 358-9-4520-820

法国 **France - Paris**  
Tel: 33-1-69-53-63-20  
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 **Germany - Garching**  
Tel: 49-8931-9700

德国 **Germany - Haan**  
Tel: 49-2129-3766400

德国 **Germany - Heilbronn**  
Tel: 49-7131-67-3636

德国 **Germany - Karlsruhe**  
Tel: 49-721-625370

德国 **Germany - Munich**  
Tel: 49-89-627-144-0  
Fax: 49-89-627-144-44

德国 **Germany - Rosenheim**  
Tel: 49-8031-354-560

以色列 **Israel - Ra'anana**  
Tel: 972-9-744-7705

意大利 **Italy - Milan**  
Tel: 39-0331-742611  
Fax: 39-0331-466781

意大利 **Italy - Padova**  
Tel: 39-049-7625286

荷兰 **Netherlands - Drunen**  
Tel: 31-416-690399  
Fax: 31-416-690340

挪威 **Norway - Trondheim**  
Tel: 47-7289-7561

波兰 **Poland - Warsaw**  
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚  
**Romania - Bucharest**  
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 **Spain - Madrid**  
Tel: 34-91-708-08-90  
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 **Sweden - Gothenberg**  
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 **Sweden - Stockholm**  
Tel: 46-8-5090-4654

英国 **UK - Wokingham**  
Tel: 44-118-921-5800  
Fax: 44-118-921-5820