

MEMS硅晶振技术优势

30倍

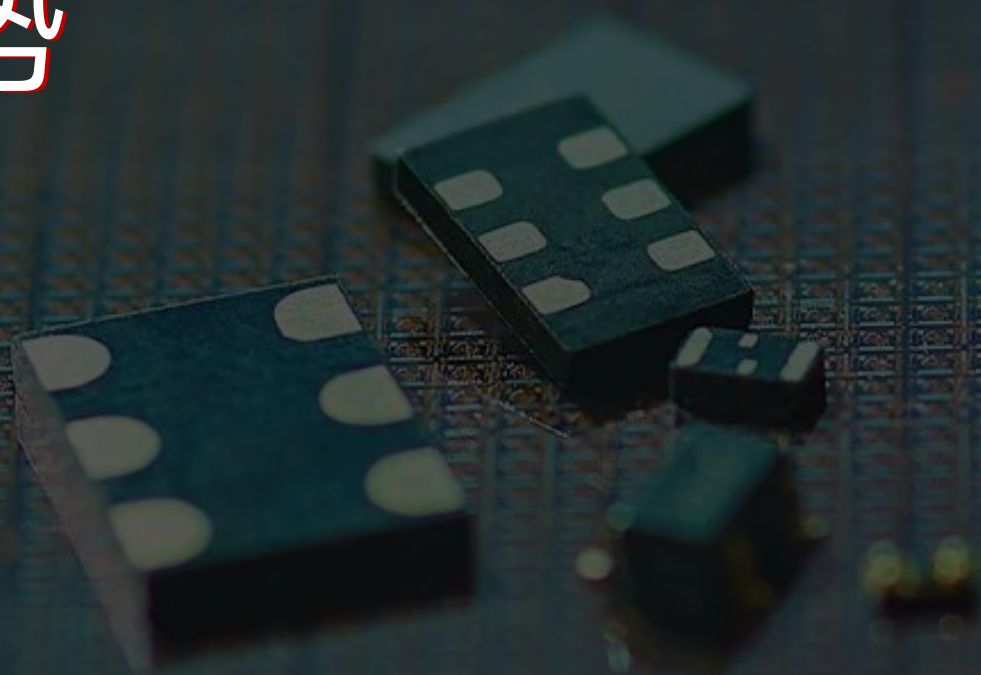
更好的性能


50倍

更高的可靠性

50%

更小的尺寸





目 录

01 _____

更高的质量和可靠性

03 _____

低抖动低相噪

05 _____

更高的精度与频率稳定性

07 _____

更小的尺寸、更低的功耗
更高的频率

09 _____

MEMS硅晶振与石英晶振工艺对比

02 _____

可编程，简单、快速、灵活

04 _____

抗冲击抗振动

06 _____

抗EMI干扰和电源噪声

08 _____

选择MEMS硅晶振的八大理由



更高的质量和可靠性

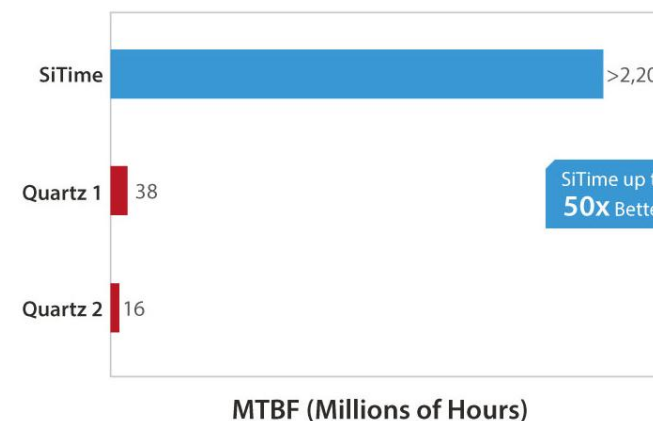
选型手册

晶振现货商城

技术交流

比传统石英振荡器可靠性提升50倍

- MEMS硅晶振的可靠性优势源于其全硅半导体制造工艺和集成化设计。
- 石英晶振依赖人工组装和分立制造，易受操作人员素质和环境因素影响，并且石英谐振器切割打磨时无法规避的粉尘污染，哪怕一粒灰尘都会影响谐振器的性能导致批次间参数差异较大。而SiTime的硅MEMS谐振器采用先进的EpiSeal™绝缘硅为底衬工艺的真空密封技术，SiTime生产不良率仅为**0.45 DPPM**，远超石英晶振的**300 DPPM**，实现了质量一致性的数量级提升。
- MEMS硅晶振质量比石英谐振器**小3000倍**，使抗冲击能力**达50,000G**。在故障率方面，MEMS硅晶振的FIT率(每十亿小时运行中的故障数)**低于0.5**，而传统石英晶振的FIT率约为25，这意味着MEMS产品的平均无故障时间(MTTF)超过**20亿小时**，比石英**高出50倍**。
- 随着MEMS技术的不断成熟和成本的持续下降，MEMS硅晶振有望在未来几年内全面替代传统石英晶振，尤其是在对可靠性、抗震性和温度适应性等恶劣环境下可以确保万无一失。SiTime MEMS硅晶振提供**终身质保**。



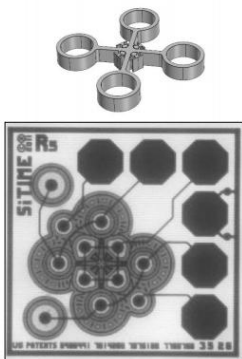
可编程，简单、快速、灵活

选型手册

晶振现货商城

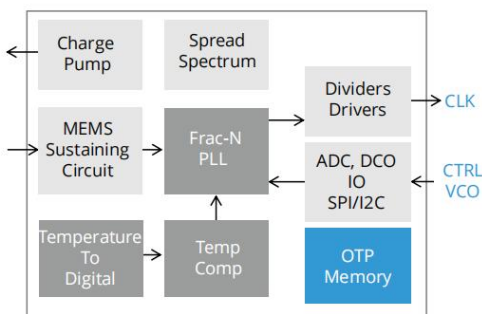
技术交流

MEMS Die



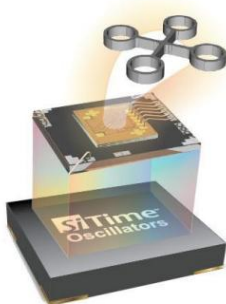
- 0.4 mm x 0.4 mm
- 99% yields
- Vacuum sealed die
- Standard CMOS fab

Programmable CMOS IC



- Jitter - 250 fs
- Stability - 0.1 PPM TCXO
- Low Power - 1mA @ 32kHz
- 180nm CMOS - fab TSMC

MEMS Oscillator



- Plastic packages
- Robust - MSL1
- 99% Yields
- 0.15DPPM, 2Fit

Huge Range of Programmable Timing Options

Any Frequency	1 Hz	725M options	725 MHz
Any Stability	±0.005 ppm	18 options	±50 ppm
Any Voltage	1.2V	8 options	3.3V
Temperature	-55°C	10 options	+125°C
Any Output Type		6 options	
NanoDrive Output	200 mV	4 options	Rail-to-rail
Spread Spectrum	±2%	48 options	-4%
Package	1.5 x 0.8 mm	14 options	25 x 22 mm
FlexEdge Rise/Fall Times	0.25 ns	8 options	4.0 ns
Control Input		6 options	
VC Pull Range	±25 ppm	10 options	±3200 ppm
In-System Programmability	SPI	2 options	I ² C

● 传统石英晶振依赖物理切割的石英晶体决定固定频率，其结构分立且不可编程。而SiTime将硅MEMS谐振器与数字CMOS电路堆叠为单芯片，通过创新的可编程控制模块设计实现了无法比拟的灵活性。

● SiTime MEMS硅晶振可编程原理核心有三点：

- (1) 首先，通过内置可编程锁相环，以数字方式合成任意所需频率，而非物理固定。
- (2) 其次，温度补偿由片上数字算法实时完成，精度与响应速度远超需要外部补偿电路的石英方案。
- (3) 最后，所有配置参数存储于芯片内的非易失性存储器，实现了软件定义与灵活配置。

● SiTime MEMS硅晶振的可编程特性，其优势覆盖供应链、设计及功能全链路：

- (1) 在供应链上，可编程性推动了“零库存”管理模式。石英晶振频率固定，各种规格都要备货，而SiTime单一硬件平台通过编程即可满足全系列频率需求，极大简化了料号和库存管理，并支持**24小时**快速样品交付。
- (2) 在设计上，SiTime MEMS硅晶振支持行业标准封装，可直接替换石英晶振而无须修改电路板，其电压、输出格式等关键参数均可编程配置，显著加速了产品开发进程。
- (3) 在功能上，芯片内置高级温度补偿、扩频调制等功能，并可通过数字接口动态调节频率。基于全硅架构，其抗干扰与稳定性也远超传统方案。

MEMS硅晶振相噪抖动优势与原理分析

MEMS硅晶振在相位噪声与抖动性能上实现了对传统石英晶振的显著超越。其典型**相位噪声可达-144dBc/Hz@10kHz**，**RMS抖动低至70fs**，且输出频谱纯净无杂散。相比之下，传统石英晶振的抖动通常在200fs以上，且在振动下相位噪声易恶化，并常伴随杂散。这种性能优势源于MEMS技术从材料、结构、工艺到电路的系统性创新：

● 材料与机械结构优势：

石英晶体依赖压电效应，机械刚度低、质量大，易受应力影响，其振动灵敏度典型值为**10-100ppb/g**。硅基MEMS谐振器采用半导体工艺刻蚀，质量仅为石英的**1/3000**，且硅的抗拉强度是石英的**14倍以上**，先天具备抗冲击（达**50,000G**）与抗振动的物理基础，振动灵敏度可**低至0.1ppb/g**，在动态环境中相位噪声稳定性极佳。

● 高Q值与低损耗封装：

传统石英谐振器在大气环境下封装，其Q值受空气阻尼限制，通常为10,000至100,000。而SiTime MEMS硅晶振通过其Epi-Seal™专利工艺，在约 10^{-5} Pa的超高真空下完成密封，彻底消除了空气阻尼，使谐振器Q值显著**提升至150,000**，超高的Q值极大降低了每周期的能量损耗，从而奠定了实现极低相位噪声与抖动的基础，同时保证了优异的频率稳定性和抗冲击可靠性。

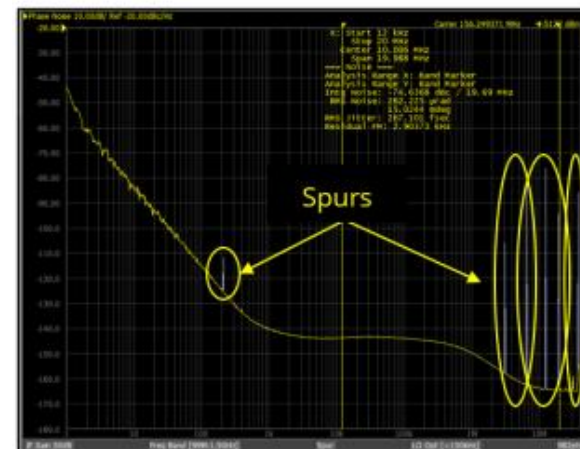
● 全硅集成与短路径设计：

SiTime的“MEMS First™”架构将谐振器与CMOS驱动芯片在晶圆级堆叠集成。这种全硅单芯片方案使谐振器与放大电路的信号路径极短，相比石英晶振分立式封装（晶片、基座、芯片），大幅减少了寄生电容、电感引入的噪声和耦合干扰，优化了信号完整性。

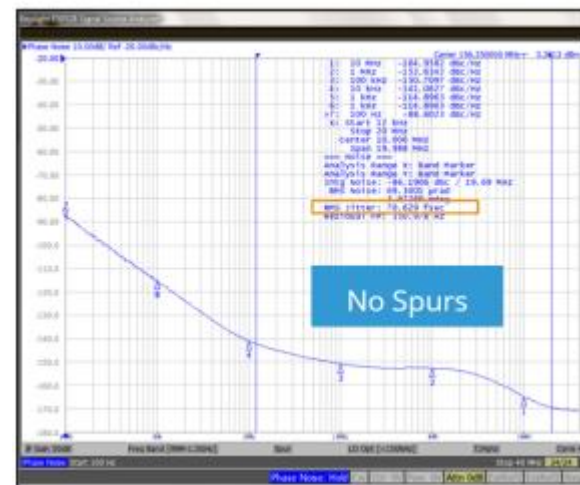
● 先进的电路补偿与处理：

核心驱动力在于高度集成的CMOS芯片。其采用分数/整数N-PLL技术，配合先进的数字调制算法，有效抑制量化噪声与杂散，实现无杂散的纯净频谱。独特的**DualMEMS温度补偿系统**，利用硅本身优良的导热性，实现每秒100次、分辨率达30μK的实时温度监测与补偿，响应速度比石英TCXO快百倍，确保了全温范围内的频率稳定性和低频抖动。

Quartz PLL-Based Oscillator Phase Noise



SiTime SiT9501 Oscillator Phase Noise



MEMS硅晶振冲击和震动优势与原理分析

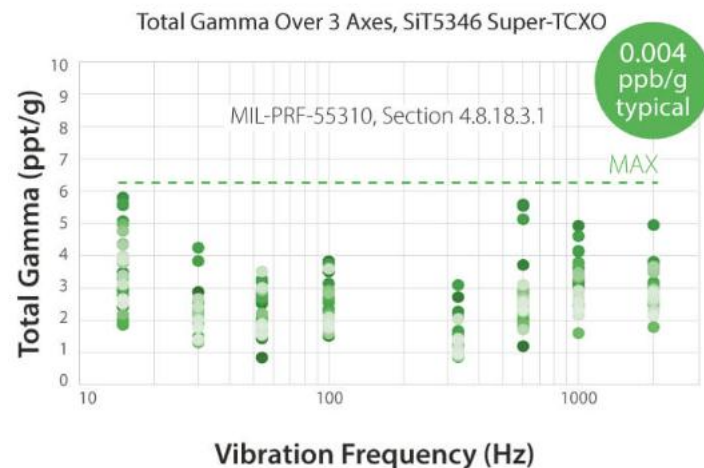
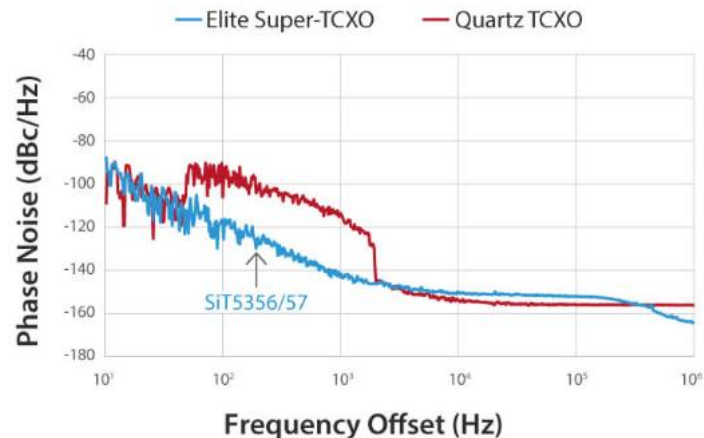
MEMS硅晶振在振动与冲击环境下的卓越性能，本质上源于其半导体级的微观结构设计和材料特性，实现了对传统石英晶振的跨代超越。在抗冲击方面，加固级MEMS硅晶振可耐受**高达50,000g**的机械冲击，而典型石英晶振的极限通常在1,500g左右。在持续振动环境（如70g RMS）下，MEMS硅晶振的相位噪声恶化比石英晶振**优20 dB**以上，输出频率保持高度稳定。

一、核心物理与结构原理

- **微观尺度与极低惯性**：MEMS谐振器的质量仅为石英晶片的**1/3000**。在相同加速度下，其内部结构所受的惯性力极小，难以产生破坏性应力或显著形变。
- **加速度灵敏度的结构性抑制**：通过对称谐振结构与差分电极设计，能有效抵消外部加速度引起的电刚度变化，将加速度灵敏度**降至0.004 ppb/g**（石英通常>0.1 ppb/g）。优化的锚点设计将支撑点置于振动模态的节点，最小化了外部振动能量的耦合。
- **全硅真空密封的结构刚性**：独特的EpiSeal等晶圆级密封工艺，在1100°C以上高温下形成单晶硅真空腔体。腔体与谐振器热膨胀系数完全一致，消除了因温度循环或机械应力导致的封装形变，确保了结构的长期完整性与稳定性。

二、作用机制与表现

- **抗冲击**：极小的质量和硅的高断裂强度，使MEMS结构在超高g值冲击下仍处于弹性变形范围，避免永久损坏。
- **抗振动**：极低的加速度灵敏度直接转化为振动环境下的频率稳定性。其谐振频率（MHz级）远高于大部分环境机械振动频谱（通常<2kHz），避免了共振效应，因此相位噪声谱在振动中几乎保持不变。





更高的精度与频率稳定性

选型手册

晶振现货商城

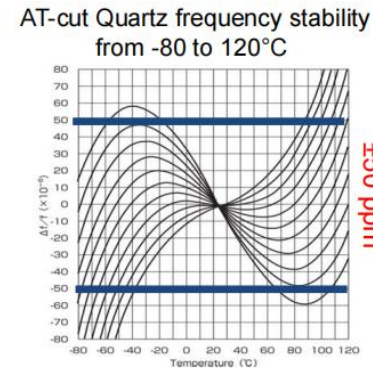
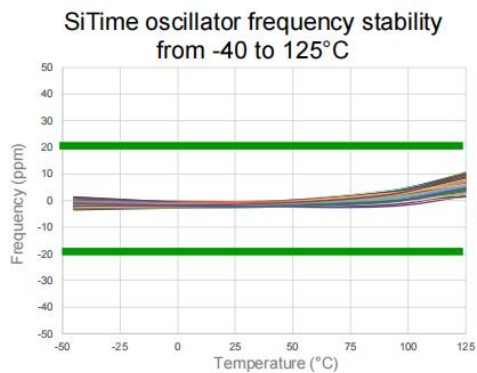
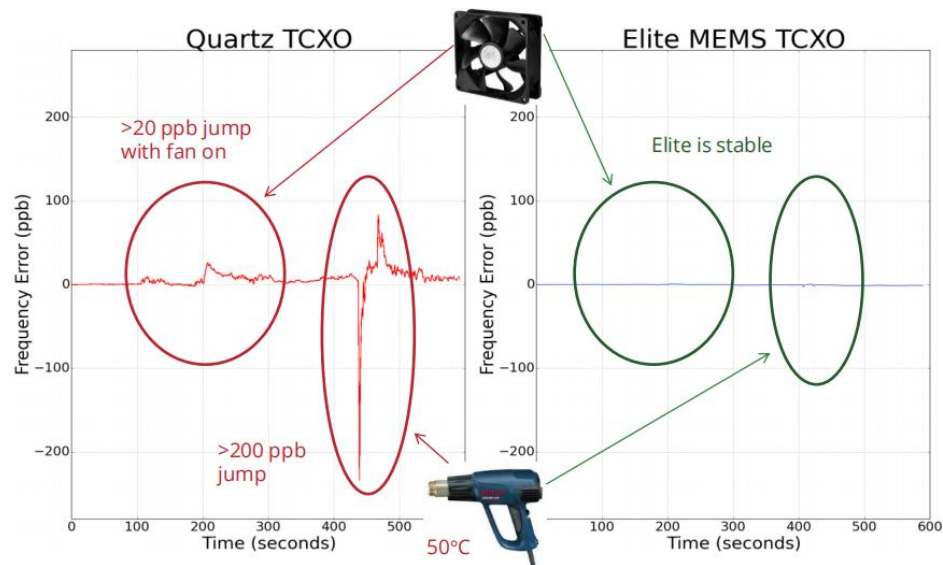
技术交流

MEMS硅晶振精度与频率稳定性优势和原理分析

SiTime MEMS硅晶振在精度与频率稳定性上全面超越传统石英晶振，其优势植根于材料、工艺与补偿技术的系统创新。

- **材料与结构基础**：MEMS谐振器采用超纯单晶硅，晶体结构均匀且机械强度极高（抗拉强度约7 GPa），质量仅为石英片的**1/1000至1/3000**。相比之下，石英晶体受材料杂质与结构缺陷影响，在动态环境中频率易受应力干扰。
- **封装与长期稳定性**：SiTime独有的Epi-Seal®工艺在晶圆级将谐振器密封于纯硅真空腔体内，并经1000°C以上高温退火，彻底消除污染物与水分。这从源头抑制了老化漂移，保证了长期频率稳定性。传统石英晶振在封装环节易引入杂质，导致随时间产生的频率漂移更为显著。
- **动态温度补偿技术**：SiTime Elite Platform®采用DualMEMS™架构：在同一硅片上集成温度传感谐振器与频率生成谐振器，二者间距**仅100μm**，实现近乎完全的热耦合，消除了传统石英TCXO中温度传感与晶体间的热延迟。配合TurboCompensation®引擎的高分辨率温测与实时补偿，即使在每分钟10°C的快速温变下，也可将频率斜率控制在**±1 ppb/°C级别**，动态稳定性较石英晶振提升一个数量级。
- **消除固有缺陷**：石英晶体在温度变化时易出现“活跃骤降”，导致频率跳变。MEMS硅谐振器通过设计使基频与寄生模式高度隔离，在全温范围内输出频率连续确定，无任何跳变。

SiTime MEMS硅晶振凭借单晶硅材料、晶圆级真空密封及集成化动态温补体系，在静态精度、动态稳定性与长期可靠性上实现了对石英技术的代际超越。





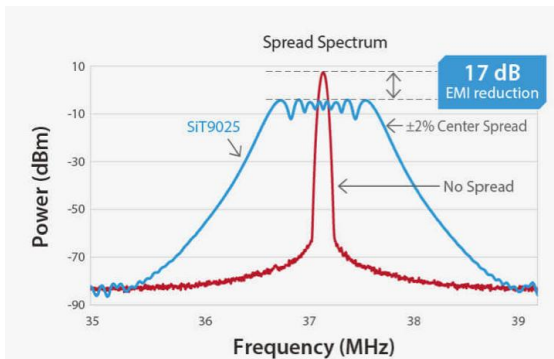
抗EMI干扰和电源噪声

选型手册

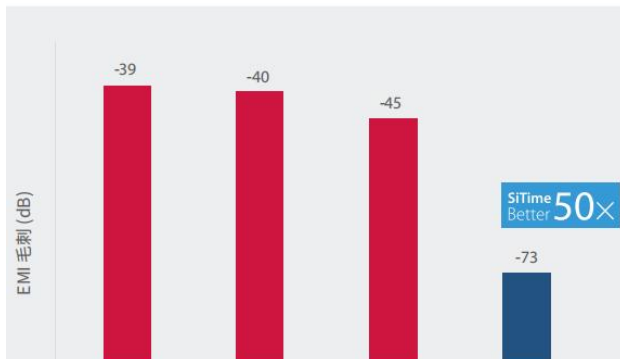
晶振现货商城

技术交流

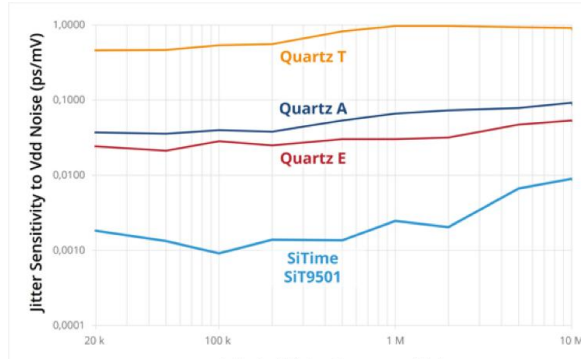
MEMS硅晶振抗EMI干扰和电源噪声优势及原理分析



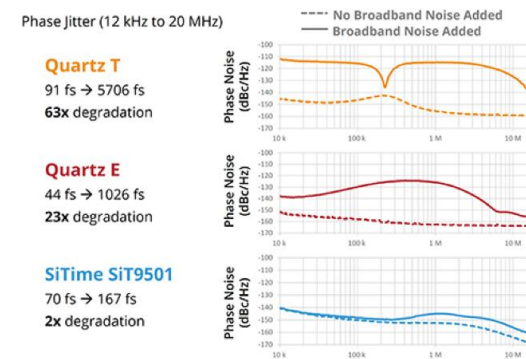
更好的降低电磁干扰



存在 EMI 时的性能



对电源噪声的最低抖动灵敏度



对宽带电源噪声的最低抖动灵敏度

SiTime MEMS硅晶振通过静电驱动谐振、全集成封装、可编程EMI抑制及内置多级LDO，从物理与电路层面提升了抗干扰能力，显著优于传统石英振荡器，为高可靠电子系统提供精准时钟信号。

一、抗EMI干扰优势及原理：

- 物理本质免疫：MEMS谐振器采用静电驱动，硅材料无压电效应，从根本上降低了电磁场感应干扰。而石英晶体的压电特性易将电磁干扰转换为电信号，导致频率偏移。
- 全集成设计：谐振器与CMOS驱动芯片集成于单一芯片，消除传统石英器件外露PCB走线形成的“天线效应”，使**电磁敏感度降低达11.3 dB**。
- 主动抑制技术：支持可编程驱动强度（FlexEdge™）与扩频时钟（SSC），可通过调节边沿速率或调制频率，将谐波辐射降低最高35 dB，助力系统轻松满足EMC标准。

二、电源噪声抑制优势及原理：

- 集成多级LDO：片内集成多个低压差线性稳压器，有效滤除电源纹波，电源噪声诱导抖动（PSIJ）敏感度低至**0.01 ps/mV**，远优于石英器件的**0.3 ps/mV**。
- 宽频带噪声抑制：内部滤波可抑制高达**±50 mVpp**、频率至5 MHz的电源噪声，降低对外部专用LDO或复杂滤波电路的依赖，仅需单一旁路电容即可稳定工作。

更小的尺寸 更低的功耗 更高的频率

选型手册

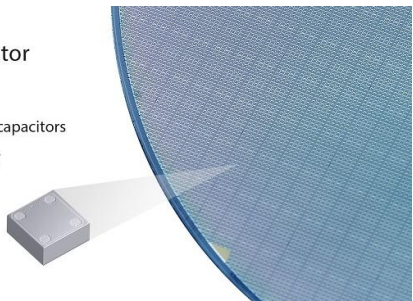
晶振现货商城

技术交流

ApexMEMS™ Silicon Resonator

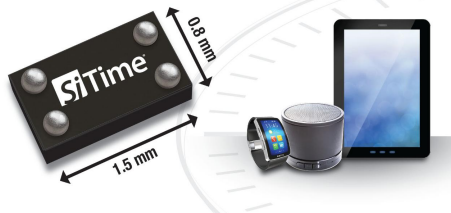
- 85% smaller
- Integrated load capacitors
- Higher reliability

SiTime



μPower MHz Oscillator

40% SMALLER • 90% LOWER POWER



Cascade™ Platform

- Clock Generators
- Network Synchronizers
- Jitter Cleaners



Lowest jitter 70 fs | Smallest by 35%

MEMS Oscillators for Optical Modules and Data Communications



SiTime MEMS硅晶振的本质优势源于“硅基工艺+集成电路”的融合：以半导体工艺实现谐振器微型化，以可编程电路优化功耗与信号合成，从而在物理层面克服了石英材料的局限性。这不仅使器件尺寸、功耗大幅下降，更通过频率合成技术实现了前所未有的频率灵活性与范围，适应了高性能电子系统对时钟源小型化、低功耗与高频化的综合需求。

一、尺寸更小的原理

传统石英晶振受限于压电材料的机械加工极限，谐振子必须保持一定体积才能稳定振动，且通常需外接负载电容、屏蔽罩等元件。

而SiTime MEMS晶振通过两方面实现微型化：

- 谐振器物理微缩：采用单晶硅微加工工艺制作MEMS谐振器，其质量仅为石英谐振器的**1/1000至1/3000**，核心谐振单元可小至0.4mm×0.4mm。
- 系统级封装集成：将MEMS谐振器直接堆叠在模拟CMOS芯片上，采用SiP封装，并集成LDO、负载电容等周边电路，仅需单个旁路电容即可工作，使占板面积减少65%-85%，且无需外部冗余元件。

二、功耗更低的原理

石英晶振的功耗受限于其压电驱动机制与补偿电路能效，而MEMS晶振通过电路与工艺优化显著降低能耗：

- 可编程驱动技术：NanoDrive™技术允许将输出摆幅从标准1.8V/3.3V**降至200mV**，通过降低驱动电压直接减少负载电流，**功耗可降低40%**。
- 低功耗架构设计：专为物联网设计的32kHz系列采用μPower架构，核心电流仅750nA - 900nA，同时TempFlat™谐振器自身温度稳定性高，减少了温补电路的能量消耗。

三、频率更高的原理

石英晶振的基频受晶体厚度限制（厚度越薄频率越高，但易碎），通常基频不超过250MHz，高频需借助倍频电路。

SiTime则通过全电子化合成实现宽频覆盖：

- 分数N锁相环频率合成：以MEMS谐振器的稳定频率为参考，通过高分辨率分数N PLL进行倍频与合成，可在1Hz至725MHz范围内生成任意频率，精度达小数点后6位。
- 低噪声信号处理：结合高精度温度数字转换器与低噪声电路，在输出高频信号的同时保持极低相位抖动（如70 fs），突破了石英物理谐振的频率天花板。

选择MEMS硅晶振的八大理由

[选型手册](#)[晶振现货商城](#)[技术交流](#)

选择 SiTime MEMS 硅晶振，是基于其在性能、可靠性与供应链方面的全面革新。相较于传统石英晶振，其核心优势可总结为以下八大理由：

一、可靠性跃升，品质如一

采用全硅 MEMS 技术与标准半导体制造流程，SiTime 实现了出厂不良率 低于 1 dppm，平均无故障时间（MTBF）超越石英 30 倍以上。全自动化生产杜绝了人为误差，从设计端保障一致性，彻底解决了石英因密封不良导致的漏气、频偏等隐患。

二、温度稳定性线性可预测

其频率 - 温度特性呈线性关系，内置温补电路可实时补偿，精度覆盖震动、温度与老化频偏。相比石英非线性温飘带来的不确定性，MEMS 晶振在批量交付时仍能保持标称精度，大幅降低系统验证复杂度。

三、交货周期大幅缩短，供应稳定

标准产品交期仅 2 - 4 周，非标频率可通过现场编程一日可得，较石英的 6 - 16 周大幅提速。全硅可编程平台避免石英行业常见的“同业调货”，确保货源纯净、品质可控。

四、封装微型化，节省布局空间

最小封装达 1.5×0.8 mm，且无需外接负载电容，比同类石英方案节省 约65% 的 PCB 面积。支持全系列标准封装，适配高密度设计如穿戴设备、光模块等。

五、抗震与抗振动能力卓越

硅 MEMS 谐振器质量仅为石英的 千分之一至三千分之一，抗震性能提升 25 倍，振动敏感度降低 10 倍，尤其适用于车载、基站等高振动环境。

六、强抗电磁干扰，信号更纯净

全集成架构与极短内部连接，使其对 EMI 的敏感度降低 134 倍，在复杂电磁环境中仍能保持低抖动输出，提升系统信号完整性。

七、即插即用，设计简化

MEMS 振荡器将谐振器与驱动电路集成于单一封装，无需阻抗匹配、负载电容调试等复杂设计，保证100% 启动，大幅降低开发风险与时间成本。

八、高度灵活，系统总成本更低

支持频率、电压、精度全可编程，一平台覆盖多频点需求，减少重复认证。单颗器件可驱动 2 - 3 个负载，替代多个石英晶体，降低 BOM 成本与布线复杂度。

总结而言，SiTime MEMS 硅晶振以半导体工艺重构时钟器件，在可靠、稳定、抗干扰、易用与供应效率上实现系统级优势，已成为高性能电子系统在智能化、高可靠趋势下的战略选择。

MEMS硅晶振与石英晶振工艺对比

MEMS硅晶振卓越的性能优势离不开千锤百炼的技术工艺，完整深刻的工艺对比通过视频可以讲解的更透彻。

时间精准，关乎万物。正如大脑与心脏的协同运作，处理器与时序组件亦是电子产品中密不可分的核心。但在某些严苛环境下，传统石英晶振会成为系统的“短板”。SiTime解决方案基于尖端的MEMS技术、先进的模拟电路以及系统设计专长，致力于打造全球最具创新力的时序器件。相较于传统石英晶体定时器件，纯硅器件的可靠性天生优于石英产品。

我们采用先进的EpiSeal™专利工艺，对硅MEMS谐振器进行真空密封，从源头杜绝异物污染，大幅提升产品可靠性。这不是简单的参数罗列，而是一场关于“工艺哲学”的深度对话。

欢迎对比了解，为何 SiTime 精密计时技术是您下一个设计的理想之选。

扫码观看【MEMS vs 石英】工艺大揭秘

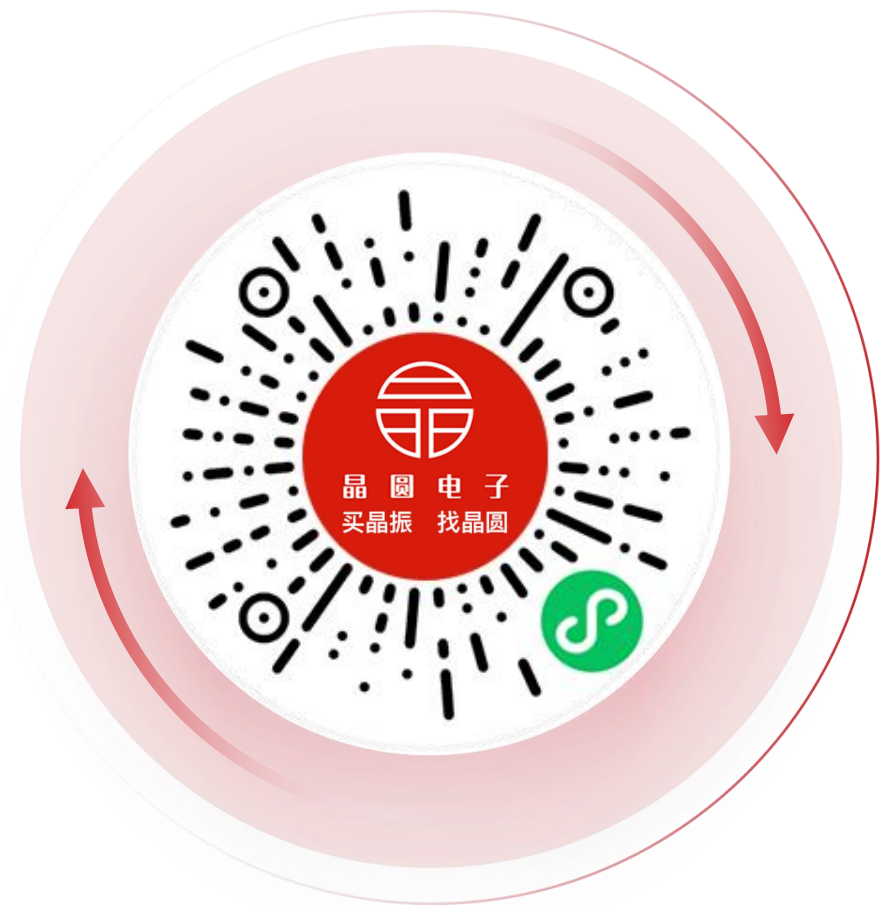


视频号 - 晶振星球



抖音号 - 晶圆电子硅晶振

晶振选型样品中心



晶振小程序选型工具

简单、快速、灵活

选型简单，选择参数自动生成标准型号

订购快速，型号生成即可查价格、查库存，
在线下单，免费样品申请

使用方便，随时随地，茶余饭后不分场景，
易于分享，账号和样品中心商城通用