

# SiTime MEMS First™ 工艺

## 目录

1 引言.....	1
1.1 封装.....	1
1.2 稳定性.....	2
1.3 耐久性.....	2
1.4 尺寸.....	2
1.5 可制造性.....	2
1.6 质量.....	2
2 MEMS First™ 工艺流程详解.....	3
2.1 谐振器定义.....	3
2.2 氧化物填充.....	3
2.3 通气孔的形成.....	4
2.4 谐振器结构释放.....	4
2.5 谐振器密封.....	5
2.6 电气通孔的形成.....	5
2.7 金属导线层.....	6
3 MEMS First™ 工艺的特性与优势.....	6
4 结论.....	6

## 1 引言

MEMS First™ 是 SiTime 用于制造硅谐振器晶片的工艺。它可生产完全封装在硅材料中的、极其稳定且高持久性的超小型谐振器。由于该工艺采用标准 CMOS 晶圆代工厂工具及材料，因而其产品不仅很容易制造，而且还具有优异的质量和可靠性。此外，以大型晶圆形式生产，还可实现大批量快速量产。以下章节将更加详细地介绍 MEMS First™ 工艺的各个重要方面。

### 1.1 封装

在开发出 MEMS First™ 工艺之前，封装是阻碍 MEMS 谐振器实现商业化的最大问题。MEMS First™ 工艺能生产出在单独超净真空腔中密封的谐振器的成品晶圆，从而消除这一制约。这些晶圆不仅看上去很像标准 CMOS 晶圆，而且还可采用塑封铸模 (plastic molding)、倒装芯片 (Flip Chip) 以及芯片堆叠等业界标准 IC 封装工艺进行封装。

## 1.2 稳定性

MEMS First™ 工艺的气密封装特性称为 Epi-Seal™，该特性是在清洁真空环境中以极高温实现的。这有利于谐振器的高稳定性。使用陶瓷封装或晶圆键合 (wafer bonding) 的常规低温封装会在封装中残留挥发性有机物和水，导致谐振器的质量负载和频率漂移。支持 Epi-Seal™ 的 MEMS First™ 是唯一经过验证的制造工艺，能生产出稳定性达到甚至超过石英晶振的谐振器。

## 1.3 耐久性

MEMS First 封装包络强度高且高度经久耐用。谐振器在外一层硅材料的保护下，能承受高达 100 bar 或 1500 PSI 的塑封铸模高压。MEMS First 封装可在这种压力下保持完好无损。

## 1.4 尺寸

与晶圆键合等其它封装方法相比，MEMS First 封装无需额外的芯片面积。MEMS First 成品晶圆底衬厚度不足 100 um。因此 SiTime 谐振器和振荡器堪称是世界上最纤小、最薄的产品。

## 1.5 可制造性

SiTime 使用业界一流的 200 毫米 CMOS 制造工具及设施，从而可采用标准供应链获得调度稳定性、产量可扩展性以及生产经济性的所有优势。

## 1.6 质量

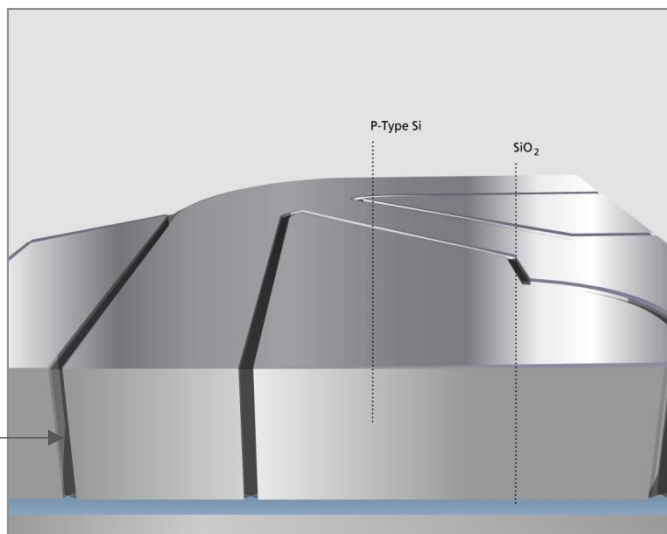
现代 CMOS 晶圆厂的显著特点是：他们能够在最佳控制情况下，精确地重复晶圆之间、批次之间以及年与年之间的各个制造步骤。SiTime 利用这种高度精确的重复性生产出具备优异质量的谐振器。

## 2 MEMS First™ 工艺流程详解

### 2.1 谐振器定义

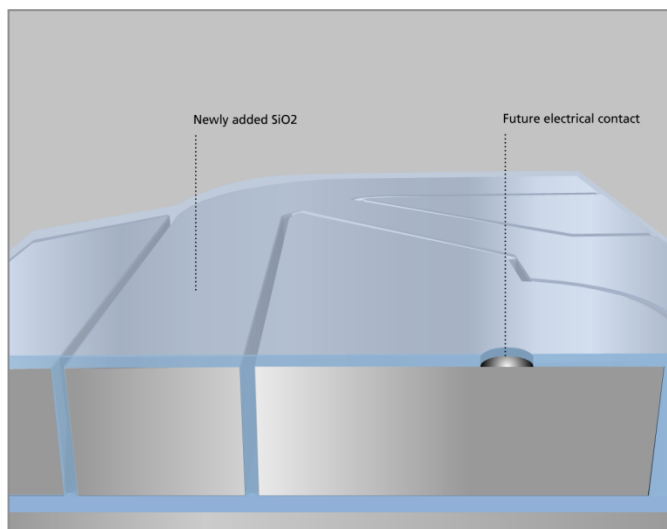
原始材料是一块厚厚的绝缘衬底的硅 (SOI) 晶圆。谐振器通过博世工艺制成，即深反应离子蚀刻 (DRIE) 工艺。

沟槽通过 DRIE  
制成



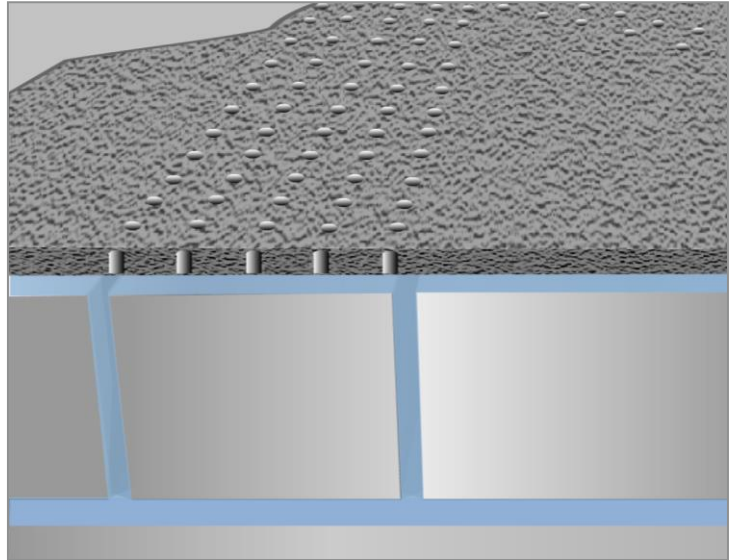
### 2.2 氧化物填充

使晶圆表面平滑的方法是：使用氧化层覆盖晶圆表面和填充沟槽。氧化层经过图案化和蚀刻形成接触孔，为谐振器和电极实现电气连接作准备。此外，该氧化物还被从谐振器周围的区域去掉。



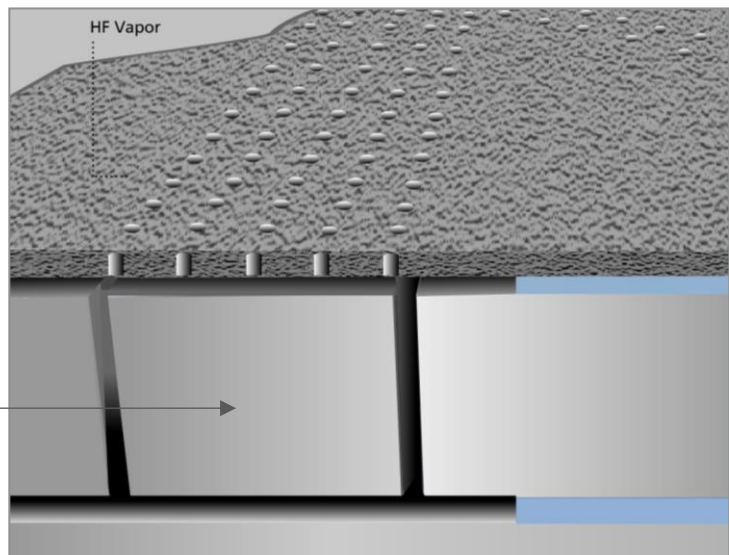
### 2.3 通气孔的形成

在氧化层之上生成一薄层的硅材料，并且在薄层上形成精细的通气孔。通气孔位于谐振器结构最终能够自由振动的部分区域之上，可帮助去除谐振器周围的氧化物。



### 2.4 谐振器结构释放

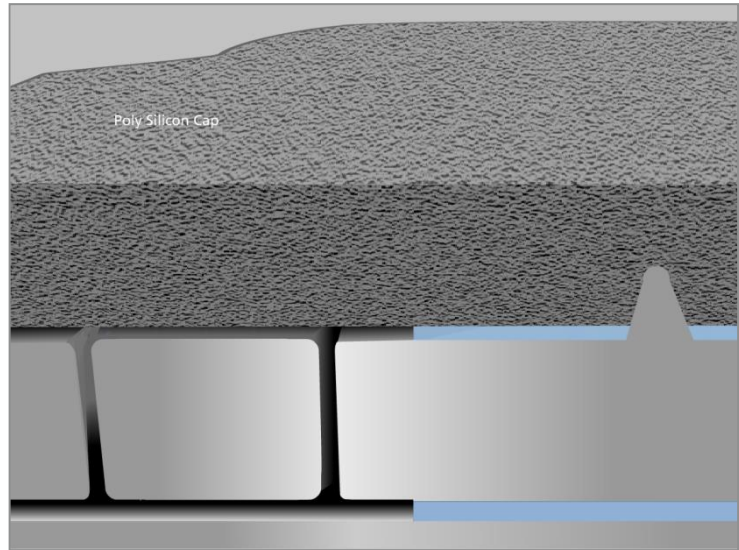
使用氢氟酸蒸汽去除谐振器周围的氧化物。经过该步骤可形成谐振器工作的密封真空腔。谐振器和电极与基片固定部位的氧化层保留。



可自由振动的  
谐振器梁

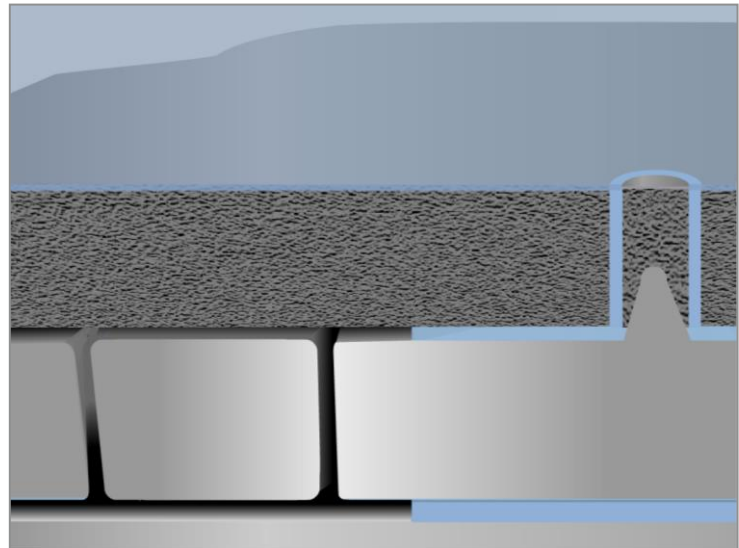
## 2.5 谐振器密封

谐振器真空腔体密封的工艺是形成稳定谐振器的关键，使其频率不会随时间飘移，也不会随器件焊接在印刷电路板 (PCB) 上时发生变化。SiTime 的 Epi-Seal™ 工艺先清洁谐振器和真空腔，然后在高温外延晶体生长反应炉中封闭先前的通气孔。热氢气和氯气可清洁谐振器，而含硅气体的化学反应可在通气孔中沉淀多晶硅，封闭超级纯净的微型空腔。在薄层密闭之后，继续用外延生长方式形成厚的耐久硅封装层。谐振器周围的腔体可保持超净真空。



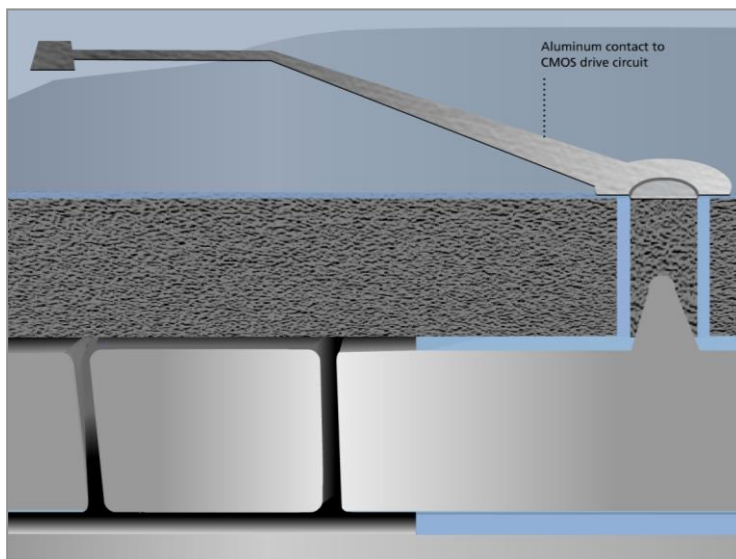
## 2.6 电气通孔的形成

谐振器和电极的连接需要电气通孔。先蚀刻沟槽再填充导体材料，让电极和谐振器之间形成电气连接。



## 2.7 金属导线层

谐振器与外界的电互联是通过铝金属层导线和接合焊盘实现的，该工艺最后还在金属导线层上覆盖氧化硅及氮化硅的防刮硬膜层。



## 3 MEMS First™ 工艺的特性与优势

表 1: MEMS First™ 工艺的特性与优势

特性	优势
标准流程与材料	利用现有供应链来降低成本
业界标准工艺控制与 6 西格玛理念	更高的良率、质量及可靠性
高温工艺过程中完成封装保护的 MEMS 结构	更小的尺寸、更高的稳定性、可靠性和质量
标准的 IC 后端工艺（封装与测试）	利用现有供应链降低成本

## 4 结论

SiTime 的 MEMS First™ 以及 Epi-Seal™ 工艺是让 SiTime 能够生产出世界最先进、最稳定以及最可靠 MEMS 谐振器的关键技术。这是 SiTime 独有的、已获专利的工艺技术。

表 2: 修订记录

Version	Release Date	Change Summary
1.0	03/15/2018	Original doc
1.8	09/14/2018	Document was re-structured

SiTime Corporation, 5451 Patrick Henry Drive, Santa Clara, CA 95054, USA | 电话: +1-408-328-4400 | 传真: +1-408-328-4439

© SiTime 公司 2008 年 - 2018 年版权所有。SiTime 对本文所含信息保留随时更改的权力，恕不另行通知。对于因如下情形而给产品造成任何部分或全部损失、损坏或缺陷的情况，SiTime 概不承担任何责任或义务：(i) 使用非 SiTime 产品所包含的任何电路系统；(ii) 对产品的误用或滥用，其中包括静电放电、疏忽或事故；(iii) 对产品在装配时已经焊接或变更的部位进行未经授权的修改或修理，而且 SiTime 无法在正常测试条件下对相关修改或修理进行测试；或 (iv) 错误的安装、存储、处理、仓储或运输，或 (v) 将产品置于非正常的物理、热力或电气应力环境下。

**免责声明：**SiTime 不做与本材料相关的任何明示或暗示的保证。具体而言，SiTime 对本材料、任何 SiTime 产品及任何产品文档概不做实际或法律、法规或其它方面任何明示或暗示的保证，其中包括对使用或特定目的的适销性及适用性的暗示性保证，以及因任何交易过程或商业惯例所产生的，以及任何与准确性或忽略过失相关的普通法律义务而产生的暗示性担保。SiTime 出售的产品既不适用于也无意应用于如下方面：生命支持应用或作为生命支持组件、核设施运行，或其他可能涉及或危及人类生命安全的任务关键型应用领域。