

MEMS Oszillatoren – Die moderne Oszillatorlösung



Von Axel Gensler,
Produktmanager bei der
Endrich Bauelemente GmbH

samer die kristalline Struktur aufgebaut wird, desto genauer ist hinterher aber die Frequenzstabilität.

Warum sind MEMS auf dem Vormarsch?

Die MEMS-Idee geht zurück in die frühen 60iger Jahre, erste Silizium basierende Beschleunigungs- und Drucksensoren wurden bereits in den 70igern gefertigt. Die Entwicklung zu ersten MEMS-Oszillatoren, damals noch als Resonator bezeichnet, geht auf Arbeiten um Raymond J. Wilfinger bei der Firma IBM Ende der 1960er Jahre zurück*). Die heutigen Oszillatorlösungen in dieser Technologie bestehen üblicherweise aus einem MEMS Resonator Chip und einem CMOS Halbleiter IC. Die beiden DIES sind mit Bonddrähten elektrisch verbunden und in einem kostengünstigen, einfachen Plastikgehäuse verpackt.

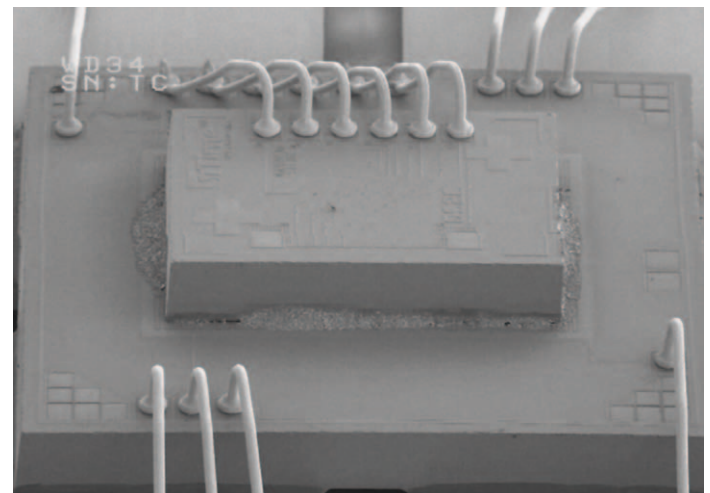
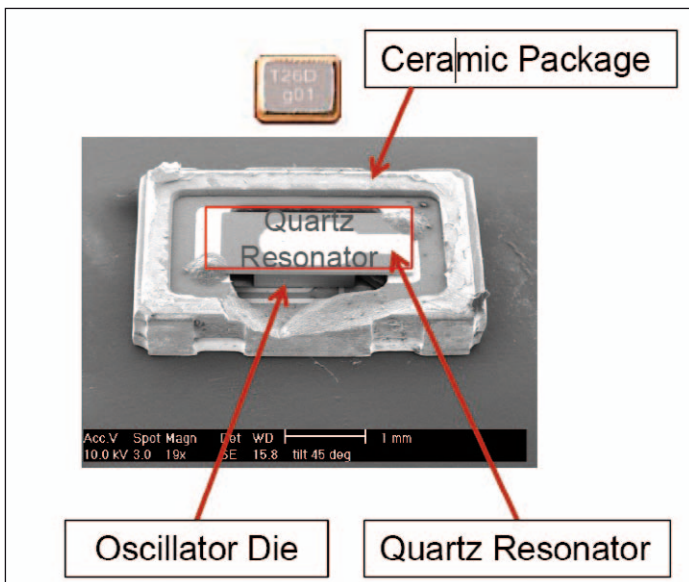
MEMS basierte Oszillatoren sind Taktgeber, die hinsichtlich ihrer Herstellung ICs ähnlicher sind als Quarzen. Sie bieten im Vergleich zu den Quarzoszillatoren eine weitaus höhere Zuverlässigkeit, „outstanding Features“ und bemerkenswerte Flexibilität. Die Kombination von kurzer Lieferzeit und marktgerechten Kosten macht MEMS Oszillatoren zu einer guten Wahl für eine Vielzahl von Anwendungen.

Referenztakt. Diese Funktion wird, gerade wo es auf eine genaue Zeitreferenz ankommt, seit mehr als einem halben Jahrhundert von Quarzen oder Quarzoszillatoren geliefert. Eine echte Alternative dazu sind MEMS Oszillatoren. Diese Bauteile werden in einem Standard-Halbleiterprozess hergestellt und profitieren dabei von dessen Vorteilen wie Größenreduktion, Qualität und Yield Rate sowie Lieferzeitverkürzung. Quarzoszillatoren dagegen benötigen für ihre Herstellung komplexe

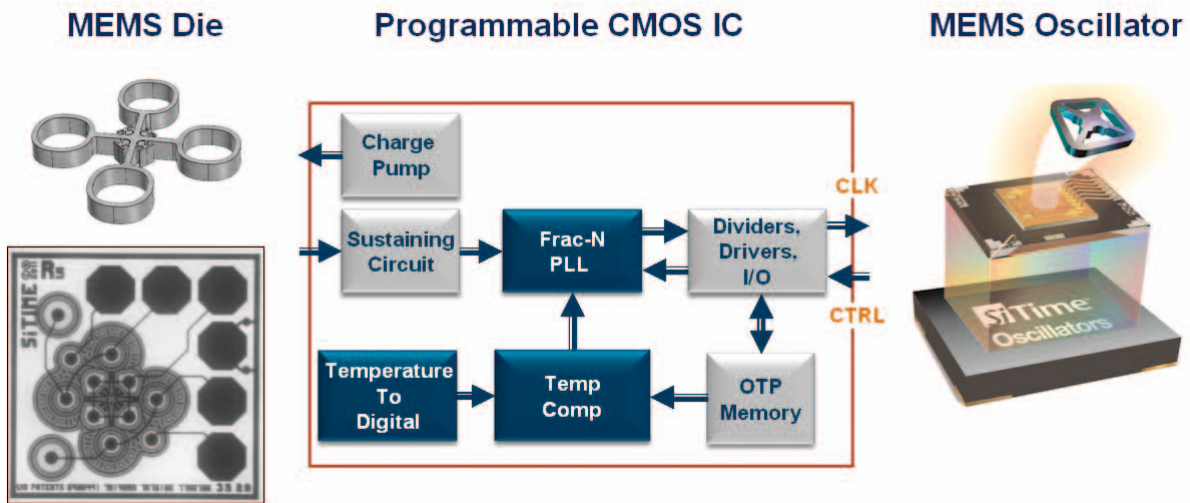
mechanische Prozesse, die eine Größenreduzierung oder eine schnelle Produktionsmengenänderungen schwierig machen. Außerdem sind sie durch die Verwendung der keramischen Gehäuse oft relativ teuer, denn die als Basismaterial benötigten Siliciumdioxid (SiO₂) -Einkristalle müssen synthetisch hergestellt werden. Auch werden z.B. für ein Einkristall mit einer Länge von 200 mm und einer Breite von 50 mm für den Wachstumsprozess zwischen 40 und 80 Tagen benötigt. Je lang-

MEMS versus Quarz Oszillatoren - In der Erzeugung der Frequenz gibt es Unterschiede.

Das Grundprinzip beim Quarzoszillator liegt im piezoelektrischen Effekt: Wird ein elektrischer Impuls über die aufgedampften Elektroden an das



MEMS Lösung: Der Resonator ist eine mechanische Struktur, die direkt auf einem Silizium Wafer hergestellt wird.



Quarzplättchen (Siliciumdioxid, SiO₂) gelegt, verformt sich die Kristallgitterstruktur.

Dies wiederum hat eine Ladungsverschiebung zur Folge, die ihrerseits ein elektrisches Signal (Spannung) bewirkt. Verstärkt durch einen Inverter (Rückkopplung) fängt der Quarz unter bestimmten Bedingungen an,

auf seiner Resonanzfrequenz zu schwingen. Die Frequenz wird dabei maßgeblich durch Größe, Dicke und Form des Quarzkristallblättchens, auch Blank genannt, und den Materialkonstanten bestimmt. Dabei steigen die Größe und Dicke des Quarzes mit sinkender Frequenz, bzw. in hohen Frequenzen wird der Quarz sehr klein und damit

empfindlich. Problematisch sind beim Quarz die Frequenzverschiebung durch den Lötvorgang, die bis zu 5ppm betragen kann, sowie die mechanische Befestigung der Quarzscheibe im Gehäuse, die ihn empfindlich für Erschütterungen macht. Außerdem bereiten Reinigungsverfahren wie Ultraschallbad oder Lötverfahren oder das Dampf-

phasenlöten den Quarzprodukten Probleme.

Bei MEMS Lösung ist der Resonator eine mechanische Struktur, die in einem speziellen Halbleiterprozess auf einem Silizium Wafer hergestellt wird. Die Seitenwände der MEMS Resonatorstruktur bilden eine Kapazität gegenüber den äußeren festste-

Typ	Beschreibung	Anwendungsbeispiele
XO	LVCMOS Ausgang, ± 10 ppm Frequenzstabilität	Rechner, Speichertechnik, Consumer, Audio, Video, Netzwerke (Ethernet, 10Gbit Ethernet), etc,
Differential XO	LVPECL, LVDS, HCSL, CML output, ± 10 ppm Frequenzstabilität, 1~625 MHz	Server, Netzwerke, Telecom, SONET, Fibre Channel, 10GB Ethernet
VCXO	Spannungskontrollierte Oszillatoren ± 25 ppm bis ± 1600 ppm Ziehbereich und $< 1\%$ Linearität	Telecom Equipment, Wireless Base Station, Netzwerk- und Kommunikationselektronik, vernetzte Videosysteme, Set-top box (STB)
(VC)TCXO	Temperaturkompensierte Oszillatoren mit Frequenzstabilität bis zu ± 0.5 ppm	GPS, Wireless, Telecom, Datennetzwerk und Kommunikationssysteme, Messtechnikinstrumente
DCXO	Digital kontrollierte Oszillatoren mit ± 25 ppm bis ± 1600 ppm Frequenzziehbereich, 1ppb Ziehbereichsaufösung	Telecom Equipment, Wireless Base Station, Datennetzwerk und Kommunikationssysteme, Videosysteme, Set-top box (STB), Jitter Cleaner, Audisysteme, FPGA
FSXO/FSVXO	Umschaltbare Oszillatoren mit 2 unterschiedlichen vorprogrammierten Frequenzen	
Low Power XO	Single ended Oszillatoren für low power Anwendungen mit einem Stromverbrauch von weniger als 3.2 mA. Bauhöhe bis zu 0,25mm min.	Digitale Kameras (DSC), Camcorder, Portable Media Player (PMP, High capacity SIM cards, Smart Cards, CD Cards, Multi-Chip-Module (MCM), System in Package SIP)
Spread Spectrum XO	Spektrumspreizmodulation des Frequenzganges um elektromagnetische Abstrahlung zu reduzieren.	CPU und Microcontroller Takt, Speicher (SDRAM, DDR, etc.). PCI und PCI Express Bus, ISB3.0, SATA/SAS
Clock Generator	Oszillatoren mit bis zu 3 PLL basierten unabhängige Frequenzausgängen, single ended oder kombinierten Ausgängen in einem 22PIN Gehäuse.	Fibre Channel, Gigabit Ethernet, Optische Netzwerke, PCI Express, Router, RAID Controller
32 KHz Oszillatoren	TCXO mit ± 10 ppm Frequenzstabilität, 32 kHz Oszillatoren mit ± 75 ppm Frequenzstabilität im Temperaturbereich	IoT-Applikationen, Wearables, per Bluetooth-Low-Energy (BLE), Industrial und Automotive, GPS, M2M-Kommunikation, Smart Metering, medizinische Patientenüberwachungssysteme, Home Automation.

henden Elektroden. Die im nur zweistelligen μm Bereich große, aus einkristallinem Silizium bestehende Resonatorstruktur wird durch ein elektrisches Feld zum Schwingen angeregt. Die ebenfalls im Halbleiterprozess hergestellte elektronische Oszillatorschaltung im CMOS IC misst die Kapazitätsänderung und versetzt den MEMS Resonator in Schwingung.

Der Temperaturgang und damit die Frequenzänderung eines Siliziumresonators liegt bei ca. $-30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$. Da diese Änderung weitgehend linear verläuft, kann man diesen Drift kostengünstig kompensieren und einen Oszillator mit hochstabiler Schwingfrequenz herstellen. Wie im Blockdiagramm dargestellt, enthält der MEMS Oszillator einen digitalen Temperatursensor, der eine Fractional-N PLL ansteuert und damit den Temperaturfrequenzgang kompensiert. Der Algorithmus zur Temperaturkompensation ist eine Polynomfunktion, deren Koeffizienten in einem sicheren Permanentspeicher (NVM) gesichert werden.

MEMs Oszillatoren haben verschiedene Hersteller im Sortiment – das Angebot des US-amerikanischen Unternehmens Si-Time (Vertrieb Endrich Bauelemente GmbH) überzeugt hier neben den kommerziellen und technischen Vorteilen durch eine besondere Vielfalt: Angefangen von den Ultra-Low-Power-Oszillatoren über High-Temperature Oszillatoren reicht es bis zu Spread-Spectrum-Oszillatoren und Differential-XOs sowie VCXOs, VCTCXOs und DCXO bis 800 MHz. Nicht zu vergessen die 32.768 kHz XOs und TCXOs, die sich aufgrund ihrer Genauigkeit, der geringen Stromaufnahme und insbesondere einer extrem kleinen Bauform ideal für den Einsatz in batteriebetriebenen mobilen oder stationären Geräten eignen. Dies gilt insbesondere für Applikationen wie Home-Automation, Health- und Wellness-Monitoren, Smart Metering, drahtlose Telephonie oder IoT Anwendungen, aber auch für Consumer-Produkte

oder Automotive- bzw. Industrieapplikationen.

Der entscheidende Vorteil der MEMS Architektur liegt darin, dass die vielfältigen Optionen durch wenige Produktfamilien abgedeckt werden. Quarzbasierende Produkte hingegen verlangen vom Benutzer eine umständliche Suche durch dutzende von Produktfamilien, um die gewünschte Kombination aus Frequenz, Stabilität, Versorgungsspannung und Gehäusegröße zu finden.

MEMS Oszillatoren verfügen außerdem über weitaus bessere Schock- und Vibrationsfestigkeit. Schock- und Vibrations-tests zeigen, dass nicht nur der Taktausgang ungestört bleibt, auch bei der Betrachtung des Phasenrauschens ist der Einfluss um 15 bis 20dB geringer als bei den im Markt erhältlichen Quarzoszillatoren.

Fazit:

Die neuen MEMS Oszillatoren eignen sich sowohl für die Entwicklungsarbeit als auch für den Bereich der Supply-Chain. Das breite Angebot an Oszillatorlösungen gepaart mit schneller Verfügbarkeit erfüllt die Anforderung nach immer kürzere Entwicklungszyklen der Elektronikbranche. MEMS bestechen durch ihre Robustheit sowie durch ihre Langlebigkeit bei einer MTBF von mehr als 500 Millionen Stunden, was sie auch für den Automotive-Bereich interessant macht. Die MEMs Technologie ermöglicht bei kleinsten Bauformen (SMD $2 \times 1.6 \text{ mm}$ oder SOT23) eine hohe Präzision und das zu einem sehr günstigen Preis. Spezialdistributoren wie die Endrich Bauelemente GmbH erleichtern die Auswahl der geeigneten Bausteine und bieten darüber hinaus mit Beratung und Support genau den Service, den sich der Anwender wünscht.

*) Patent US3614677: Electro-mechanical monolithic resonator. Angemeldet am 29. April 1966, veröffentlicht am 1. Oktober 1971 ◀