

SiTime の MEMS FirstTM プロセス技術

1 はじめに

MEMS FirstTM は SiTime が開発した、シリコン振動子を製造する独自プロセスです。SiTime の MEMS FirstTM プロセスで製造したシリコン振動子は、非常に小型であるため、シリコンチップ中に完全に封止することができます。そのため、非常に安定であり、高い耐久性を実現しています。MEMS FirstTM は、通常の CMOS プロセス同様の大口径ウェハを使用するため、量産性が良好で、高品質、高信頼性という特徴を持っています。さらに、標準 CMOS プロセス用大規模工場で量産するので、大量生産が可能で、需要の急増にも対応できます。以下の章で、この MEMS FirstTM の特徴を詳しくお伝えします。

1.1 封止技術

かつて MEMS 振動子量産化にあたっての課題はパッケージングでした。しかし、SiTime の MEMS FirstTM プロセスでは、ウェハ加工時に個々の振動子を微小真空キャビティー内に封止することによって、その問題を解決することが出来ました。MEMS FirstTM プロセスを実現することで、一般的な標準 CMOS プロセスで製造されたものと同等のウェハとなるので、一般的な IC 組立て技術（例えばプラスチックパッケージ、フリップチップ、チップスタック）を使用し、パッケージングすることが可能となりました。水晶振動子のように、セラミックパッケージや金属缶のような特殊なパッケージは必要ありません。

1.2 安定性

MEMS First プロセスの中で、MEMS 振動子の完全封止を行う重要な技術が Epi-Seal 技術です。Epi-Seal 技術は高温、超クリーン真空環境で行われます。それによって非常に安定した MEMS 振動子を製造することが出来ます。従来のセラミックパッケージやウェハボンディングといった低温パッケージング技術では揮発性有機物や水分といった不純物が微量に残留し、それらが振動子表面に少しずつ付着していく事によって周波数ドリフトが発生してしまいます。Epi-Seal 技術を採用した MEMS FirstTM プロセスは非常に安定した MEMS 振動子を製造可能にし、世界で初めて水晶振動子を超える安定性を実現しました。

1.3 耐久性

MEMS FirstTM プロセスによる封止技術は高強度で高い耐久性を実現します。MEMS 振動子は高圧に耐えるシリコン層によって保護されており、プラスチックパッケージ製造時にチップに加わる 100 気圧（1500psi）といった圧力でも問題はありません。MEMS FirstTM プロセスの封止技術はそのような高圧に耐える状態を完全に維持します。

1.4 サイズ

MEMS FirstTM プロセス技術の封止技術は、水晶振動子のセラミックや他の MEMS 封止技術と異なり、振動子以外の付加的な部分が小さくてすむため、非常に小さいサイズで封止できます。完成した MEMS FirstTM ウェハは 100 ミクロン以下の厚さに裏面研削されるため、SiTime の振動子と発振器は世界最小、最薄を実現できます。

1.5 量産性

SiTime は最新鋭 CMOS 200mm ウェハ製造ラインを使用して量産しています。そのため、量産サイクルタイムの安定性、需要急増への対応、大量生産による低コスト化を実現しています。

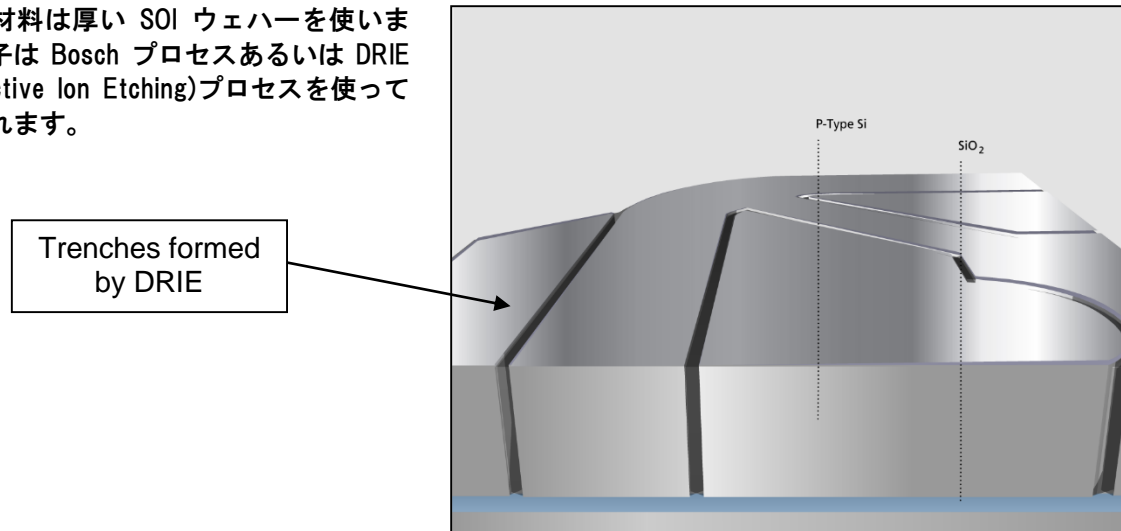
1.6 品質

SiTime の製品は水晶振動子などの機械加工は無く、最新の標準 CMOS ラインを使うため、ウェハ単位、ロット単位、あるいは数年にわたる製造でも正確に同じ加工を続けることが可能です。これは SiTime が正確で品質の高い振動子を製造できる理由になっています。

2 詳細な MEMS FirstTM プロセスフローの説明

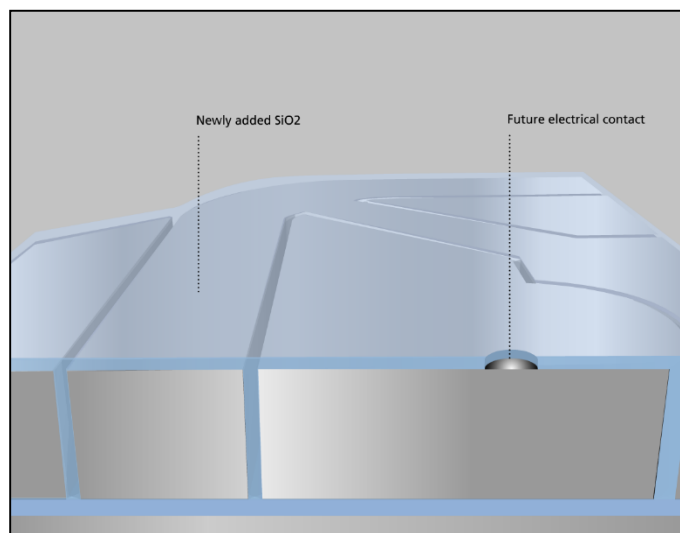
2.1 振動子形状定義

スタート材料は厚い SOI ウェハーを使います。振動子は Bosch プロセスあるいは DRIE (Deep Reactive Ion Etching) プロセスを使って切り出されます。



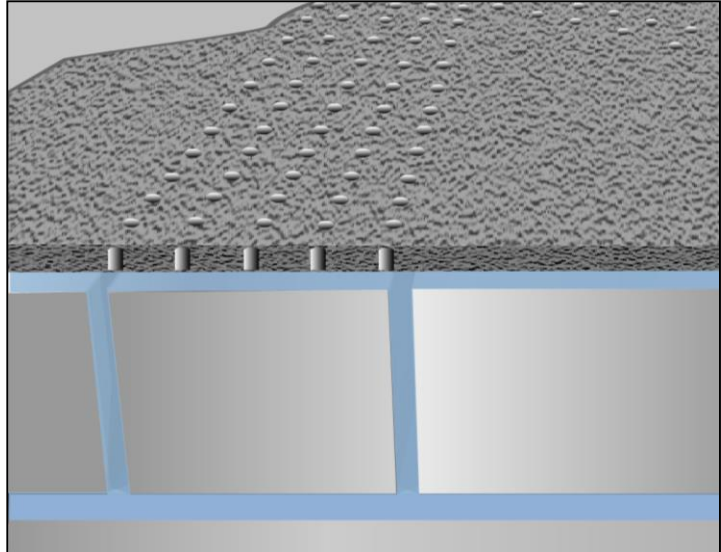
2.2 シリコン酸化物充填

ウェハ表面は、トレンチを充填するシリコン酸化膜形成プロセスにより表面も覆われ平坦化されます。そのシリコン酸化膜には、振動子と電極との電気的接続のためのコンタクトホールをエッチングで形成します。振動子形成領域以外のフィールド領域もシリコン酸化膜は除去されます。



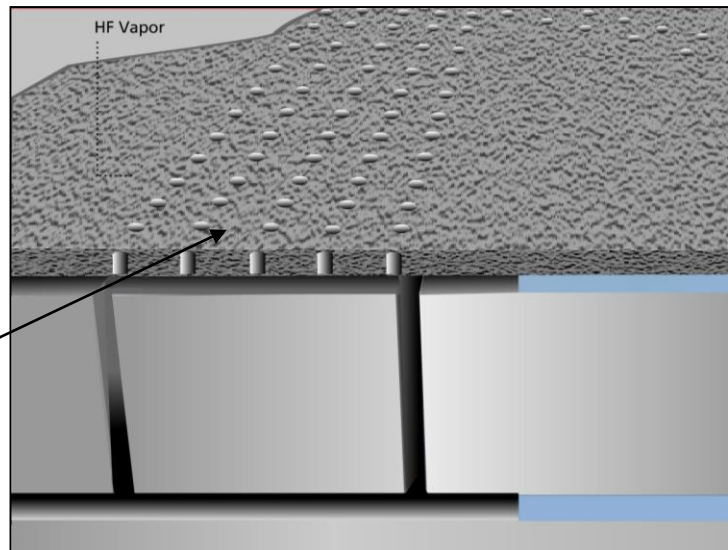
2.3 ベント形成

薄いシリコン層がシリコン酸化物上に形成され、その上に微細なベント（通気孔）が形成されます。このベントは振動子の周りのシリコン酸化物を除去し、振動できるようにするためのもので、振動子上に形成されます。



2.4 振動子リリース

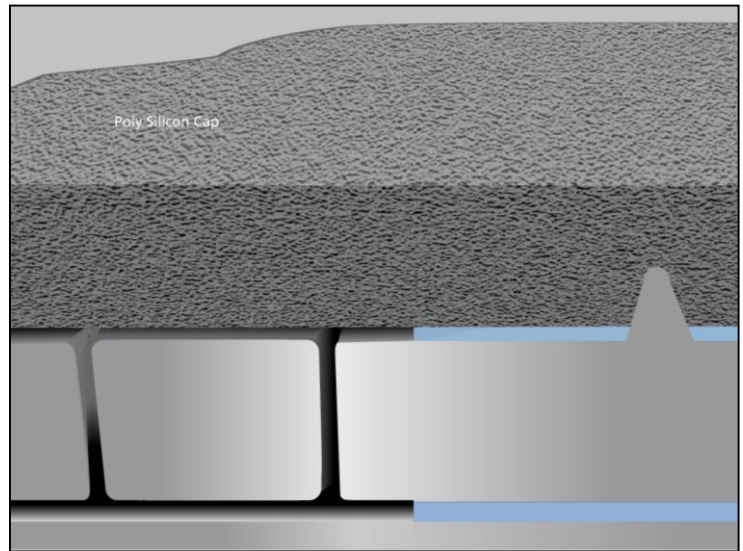
振動子の周りのシリコン酸化物層はフッ化水素酸蒸気を取り除かれます。このステップで振動子が振動する真空キャビティの体積が決定されます。振動子や電極が固定されている部分のシリコン酸化物層は除去されません。



Free Standing
Resonator Beam

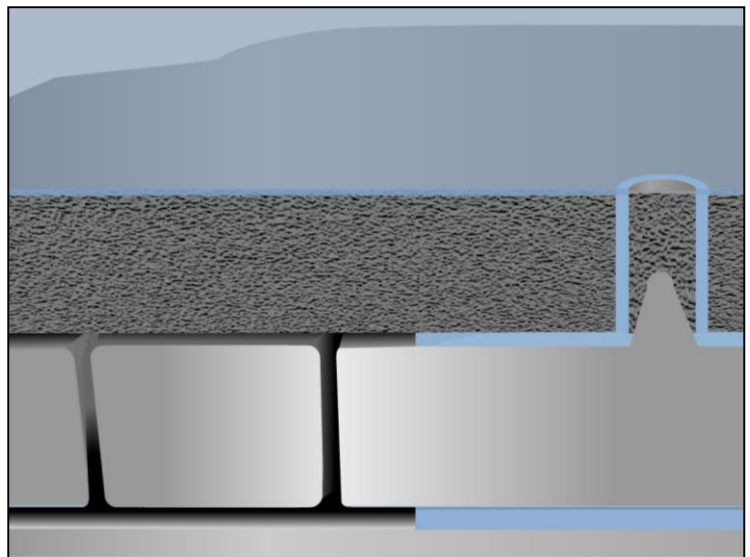
2.5 振動子の封止

パッケージ後、PCB にハンダ付けされても発振周波数がシフトしない振動子を作るために封止プロセスは重要です。SiTime の Epi-Seal プロセスはエピタキシャル成膜装置中の高温雰囲気の中で振動子やその周りの真空キャビティを綺麗にし、ベントを埋めます。高温の水素ガスと塩素ガスが振動子をクリーニングし、同時にシリコン含有ガスがベント穴中にポリシリコンを埋めるようにポリシリコンを堆積させ封止します。振動子周囲のキャビティは非常にクリーンなまま保たれます。



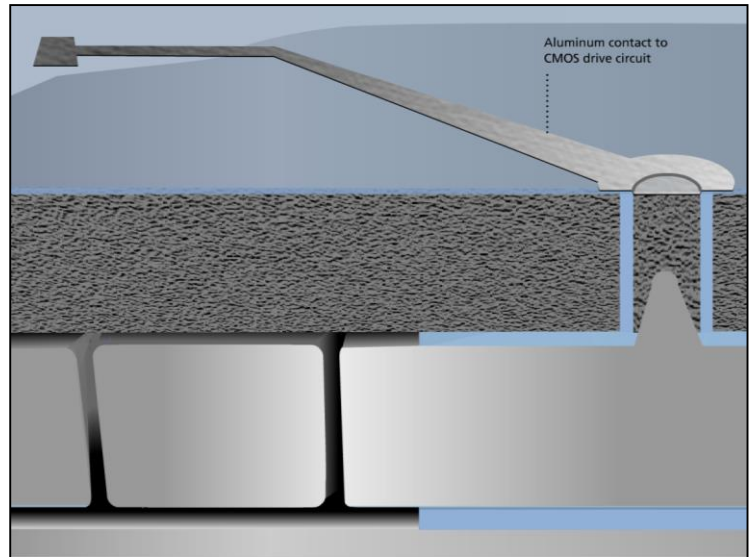
2.6 Via 形成

Via は振動子と電極上に形成されます。トレンチによりエッチングされ、シリコン酸化物層で埋められます。その結果、電極と振動子の間のコンタクトが形成されます。



2.7 メタル配線

電氣的相互接続がアルミ配線やボンディングパッドで形成され、さらに保護用の酸化膜や窒化膜が形成されて、プロセスが完了します。



3 MEMS FirstTM プロセス技術の特徴とメリットのまとめ

特徴	メリット
標準 CMOS プロセスと材料	既存のサプライチェーンを利用可能
業界標準のプロセスコントロールと 6 シグマアプローチ	高歩留まり、高品質、高信頼性
MEMS 構造を保護するウェハープロセス中の 高温封止技術	水晶では追従できない最小サイズ、高安定性、 高信頼性、高品質
標準 IC と同じパッケージング、テスト	既存のサプライチェーンを利用可能で低コスト 化が可能

4 結論

SiTime 独自の MEMS FirstTM プロセス技術は SiTime が世界最先端の安定した高信頼性振動子を製造する上でもっとも重要なキーテクノロジーの1つです。このユニークなプロセス技術は特許化されており、SiTime のみが提供可能です。

SiTime Corporation
990 Almanor Avenue
Sunnyvale, CA 94085
USA
Phone: 408-328-4400
<http://www.sitime.com>

© SiTime Corporation, 2008-2009. The information contained herein is subject to change at any time without notice. SiTime assumes no responsibility or liability for any loss, damage or defect of a Product which is caused in whole or in part by (i) use of any circuitry other than circuitry embodied in a SiTime product, (ii) misuse or abuse including static discharge, neglect or accident, (iii) unauthorized modification or repairs which have been soldered or altered during assembly and are not capable of being tested by SiTime under its normal test conditions, or (iv) improper installation, storage, handling, warehousing or transportation, or (v) being subjected to unusual physical, thermal, or electrical stress.

Disclaimer: SiTime makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this material, and specifically disclaims any and all express or implied warranties, either in fact or by operation of law, statutory or otherwise, including the implied warranties of merchantability and fitness for use or a particular purpose, and any implied warranty arising from course of dealing or usage of trade, as well as any common-law duties relating to accuracy or lack of negligence, with respect to this material, any SiTime product and any product documentation. Products sold by SiTime are not suitable or intended to be used in a life support application or component, to operate nuclear facilities, or in other mission critical applications where human life may be involved or at stake.