

# 水晶振動子

## エプソントヨコム

### 1. はじめに

エプソントヨコムは、セイコーエプソンの水晶事業と東洋通信機が2005年10月1日に事業統合して誕生した、水晶デバイス事業を展開する会社である。

当社は、「TD：Timing Devices」（水晶振動子、水晶発振器など）、「SD：Sensing Devices」（ジャイロセンサなど）、「OD：Optical Devices」（光学部品など）の3つのデバイスを柱とし、様々な分野に対し、水晶デバイス商品を供給している。

本稿では、マイクロマシン/MEMS応用デバイスとして、前述の“3D”の中のTDにMEMS技術を応用した、水晶振動子について紹介する。

### 2. ATカット水晶振動子の特徴

水晶振動子は、Q値が高いことによって任意の安定した周波数を比較的容易に得ることのできる電子部品である。発振周波数帯が扱いやすいこと、および広範囲な温度に対して周波数の安定度に優れていることにより、ATカット水晶振動子は、多方面で採用されている。しかし、その周波数を最適に得るためには、水晶振動子の特性や特徴、さらに製造方法を理解することが重要である。

水晶振動子の材料となる天然水晶は、不純物の含有

が多いため現在の高性能な振動子にはそのままでは使用できない。そこで、天然水晶をオートクレーブと呼ばれる耐圧性のある鋼鉄製の炉の中で溶解し、高温・高圧下で時間をかけて結晶を成長させた高純度の人工水晶を使用する。

図1は、その“人工水晶原石”を示している。私達が一般的に目にする天然水晶とは形状が異なっているのは、各結晶軸によって再成長のスピードが異なるためである。この中で、Z軸から35度15分の角度で切り出した振動子をATカット振動子と呼んでいる。

ATカット振動子は、図2に示すように厚みすべりを繰り返す振動モードが特徴である。BTカット振動子も同じ振動モードを持っているが、ATカットに比べ温度特性精度が劣るため、あまり一般的ではない。

また、もう1つの特徴は、この厚みが周波数を決定する重要なファクターとなっていることである。厚みが1mmの時の発振周波数は1.67MHzになる。この値を周波数定数と呼んでおり、発振周波数( $f_0$ )は次の式で表すことができる。

$$f_0 = 1.67 \times n/t \text{ (MHz)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $n$ ：オーバートーン次数（1、3、5、...の奇数）、 $t$ ：厚み（mm）である。式(1)からわかるように、

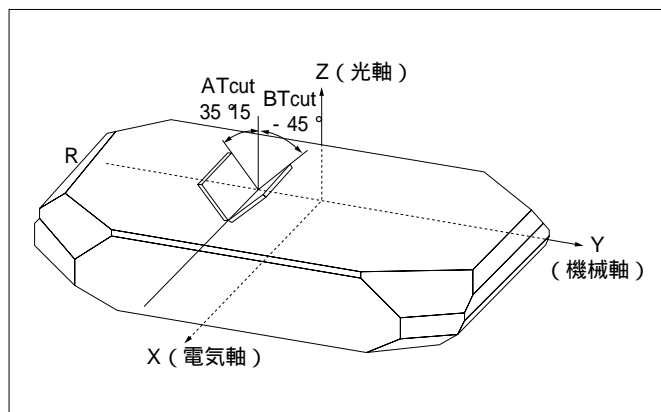


図1 人工水晶原石と切断方位

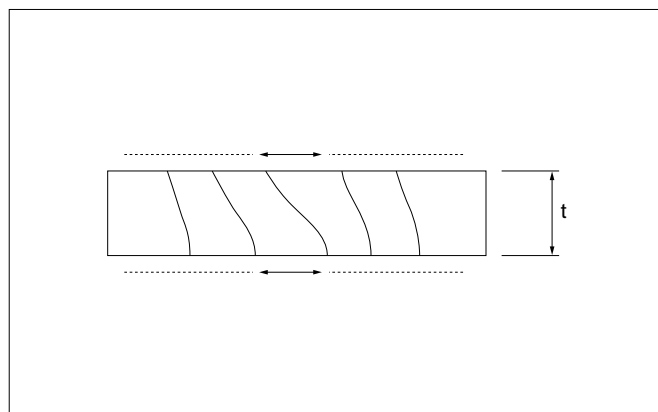


図2 厚みすべり振動

発振周波数は厚みに反比例する。例えば、発振周波数が20MHzの基本波 ( $n=1$ ) であれば約83  $\mu\text{m}$ 、50MHzの基本波であれば約33  $\mu\text{m}$  となる。

ATカット振動子の対応可能な発振周波数帯域は、その水晶チップの大きさを無視すれば、下限は800kHzから、上限は近年の技術革新によって基本波でも300MHz帯までである。

これらの技術革新により、近年では、高周波数帯でも回路が複雑になるオーバートーン発振よりも基本波発振が主流となっている。

一方、一般的に発振周波数と振動子サイズ（内蔵水晶チップサイズ）には相関がある。安定した周波数を得るためには、表1に示すように所望の周波数によって振動子サイズを選択する必要がある。例えば、12MHzの周波数が欲しい場合、3.2  $\times$  2.5mmサイズ以上の振動子であれば実用上問題はないが、2.5  $\times$  2.0mmや2.0  $\times$  1.6mmサイズになると、CI (Crystal Impedance) 値が上昇し、回路での発振が難しくなる。

ATカット振動子の温度特性は、図3に示すように3次曲線を描くのが特徴である。各3次曲線は切断角度の基準となるZ軸からの角度35度15分からのずれを表している。このように、切断角度を変えることによりあらゆる規格に対応させることが可能となる。温度特性が3次曲線を描くことにより、他のカットの振動子と比べて広温度範囲で1桁以上安定した周波数が得られる。

例えば、世界で一番使われているGSM方式の携帯電話の基準周波数である26MHzの場合、ATカット水晶振動子では、-30 ~ 85 の温度範囲で  $\pm 10\text{ppm}$  ( $\pm 260\text{Hz}$ 、ppmは10万分の1) 以内の周波数精度を実現できる。

### 3. 表面実装型水晶振動子

図4に表面実装型振動子の内部構造を示す。水晶チップが水平にマウントされており、水晶チップ（図、以下同）を導電性接着剤でダイレクトに保持している。従って、水晶チップへの外部からの応力緩和は、この導電性接着剤自身で行う必要があり、導電性接着剤は弾力性のあるSi樹脂を母材にしている。水晶チップのマウントは図4の例のように、一般的には、導電性接着剤からの応力の影響が最も少ない片持ち支持構造を採用するが、用途によっては両持ち支持にする場合も

表1 パッケージサイズと周波数 (出所：エプソントヨコムカタログ)

機種名	パッケージサイズ (mm)	周波数			24MHzのCI値比較
		10MHz	20MHz	50MHz	
FA-128	2.0 $\times$ 1.6 $\times$ 0.5t		24MHz	54MHz	80 Max.
FA-20H	2.5 $\times$ 2.0 $\times$ 0.55t	16MHz		44MHz	60 Max.
TSX-3225	3.2 $\times$ 2.5 $\times$ 0.6t	12MHz		54MHz	40 Max.
FA-238	3.2 $\times$ 2.5 $\times$ 0.6t	16MHz		50MHz	40 Max.
TSX-4025	4.0 $\times$ 2.5 $\times$ 0.7t	12MHz		32MHz	30 Max.
TSX-5032	5.0 $\times$ 3.2 $\times$ 0.8t	10MHz		32MHz	20 Max.

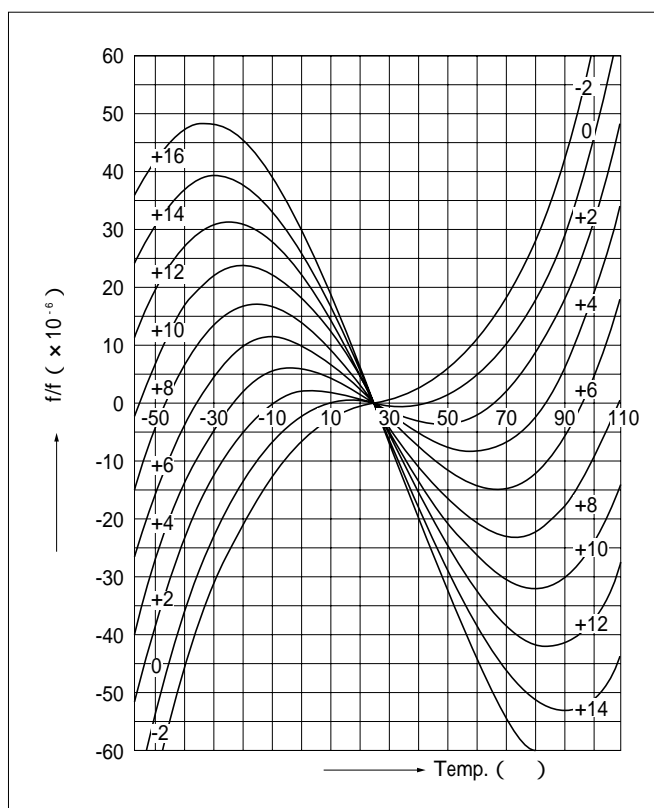


図3 ATカット振動子の温度特性

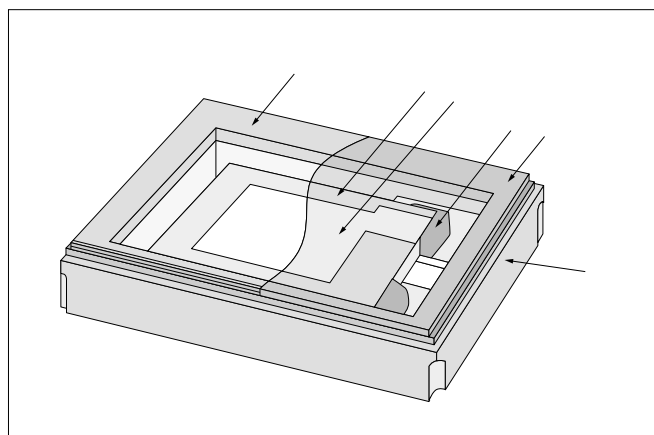


図4 表面実装型振動子の内部構造

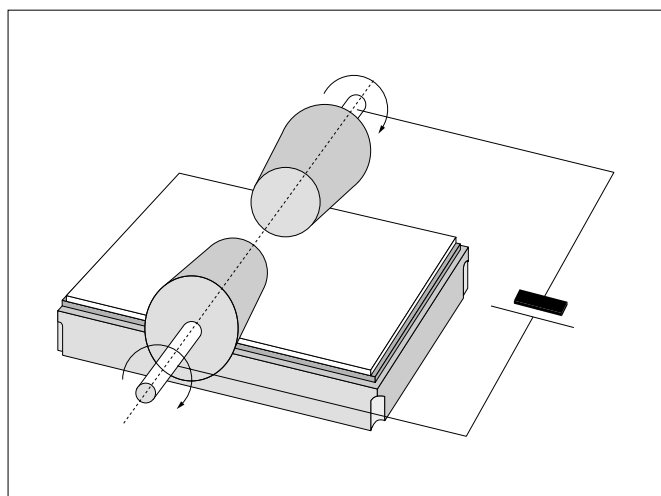


図5 シーム封止工程



写真1 超小型AT振動子「FA-128」の外観

ある。

ベースはセラミックパッケージである。導電性接着剤と裏面電極端子との電氣的接続は、セラミックラミネート間に印刷されたタングステンメタライズ（主成分であるタングステンの粉末とガラス粉を溶剤で練ったものをスクリーン印刷した導通線）を配線することで確保している。

リッドはコパールにニッケルめっきしたもので、セラミックパッケージに銀口ウにより付けられた同じコパールのリングとシーム溶接される。

シーム封止工程とは、空気中の湿気の進入や酸化を防ぐために、リッドをシーム溶接することであり、図5に示すようにローラ電極間に電流を流し、ジュール熱を発生させることによって回転させながら溶接する工法である。この工法により、気密性が高く、実装対温度性、リペア特性に優れ、非常に高信頼な水晶振動子の提供が可能となった。

表2 超小型AT水晶振動子「FA-128」製品仕様

Nominal Frequency	24 ~ 54MHz
Operating Temperature	- 40 ~ 85
Frequency Tolerance	$\pm 10 \times 10^{-6}$ 、 $\pm 30 \times 10^{-6}$ ( 25 )
Frequency Stability	$\pm 10 \times 10^{-6}$ 、 $\pm 30 \times 10^{-6}$ ( - 20 ~ 75 )
Load Capacitance ( Standard )	10pF ( Please Specify )

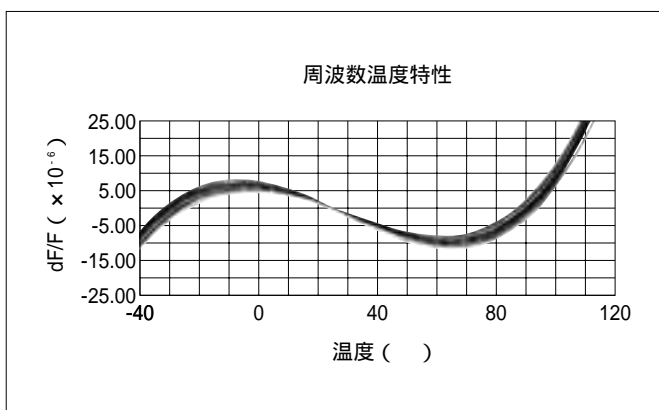


図6 超小型AT振動子「FA-128」の温度特性

表面実装型振動子は、比較的柔らかいゴム性を持つSi系接着剤を採用しているため、耐衝撃性は非常に優れている。耐衝撃性の要求は携帯電話に代表されるモバイル機器が最も厳しく、信頼性試験方法は“180cmの高さから150gの負荷状態でのX、Y、Z3方向の自然落下”という方法が一般的である。

試験後の周波数ずれの規格にもよるが、テスト回数が10回程度であれば何ら問題はない。

#### 4. 超小型ATカット水晶振動子

エプソントヨコムでは、小型携帯機器向けに最適な超小型AT振動子「FA-128」を商品化し、携帯端末の、デバイス部品に対する小型・低背化への要望を解決した（写真1）。FA-128は、微細加工技術と実装技術の特徴とした超小型AT振動子であり、共振周波数24～50MHzをサポートしている。2.0×1.6mmという超小型サイズにもかかわらず、2.5×2.0mmサイズと同等の低CI値および高安定性能を実現している。表2に製品仕様を、図6に周波数温度特性を示す。

また、1.6×1.2mmという外見寸法を持つ、さらなる小型水晶振動子の商品化も推進中である。

#### 5. 水晶デバイスの小型化を実現するQMEMS技術

図7にATカット型表面実装タイプ水晶振動子の一般

的な製造工程を示す。人工水晶を素材として、カット、研磨などの機械加工工程の後、電極形成、周波数調整、パッケージ組立、検査を経て完成する。非常に多くの工程を含んでおり、各工程での加工精度が完成品の製品性能に影響を与える。

2.5×2.0mmの外形寸法を持つ水晶振動子であれば、現在の機械加工技術により、前述のGSM携帯端末の基準クロック源として採用可能な、高精度水晶振動子の提供が可能である。

一方、さらなる小型化を追求する場合、製造上の機械加工技術の進化が不可欠であり、困難を極めている。

エプソントヨコムでは、従来の機械加工プロセスに代えて、半導体製造技術で一般的な、フォトリソグラフィプロセスを水晶製造工程に応用し、従来の機械加工による水晶振動子1個ごとの加工からウェーハエッチングプロセスを採用入れた。

この技術は、従来から当社主力商品である、音叉型水晶振動子の加工技術に用いられており、すでに30年以上の技術的蓄積を有するものである。

この技術をATカット水晶振動子にも応用し、外形、電極形状精度の飛躍的な向上を行い、低CI値化、周波数コントロール手法の確立、優れた温度特性、およびさらなる小型化を実現する製造手法が確立した(図8)。

この技術の特徴である、ウェーハでの一括加工は、加工精度が上がりチップの特性のばらつきが少ないという特徴を持つため、1ウェーハ内での製品個々のばらつきの均一性が確保でき、高精度歩留りの向上が達成できている。

一般的に、半導体微細加工技術を用いて、機械、電

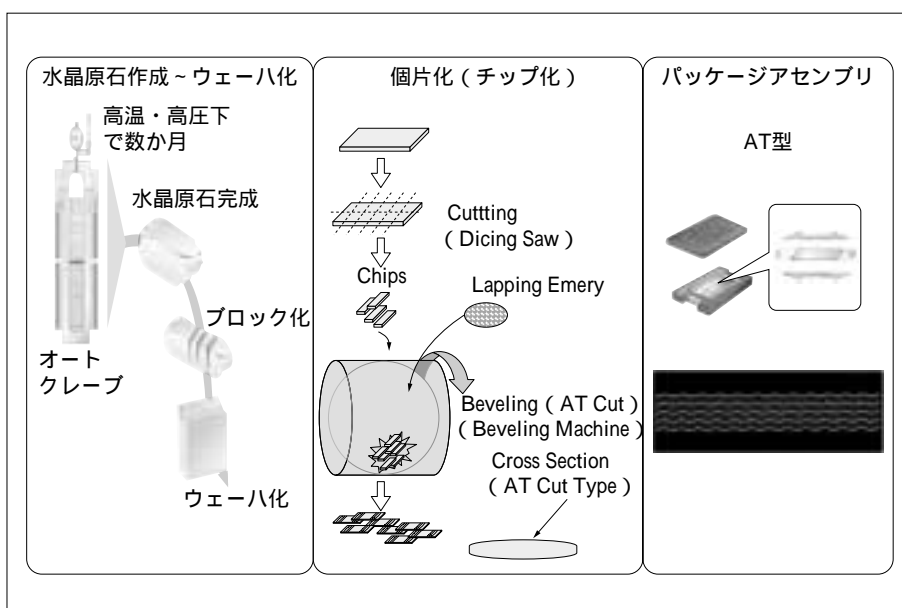


図7 水晶振動子の一般的な製造方法

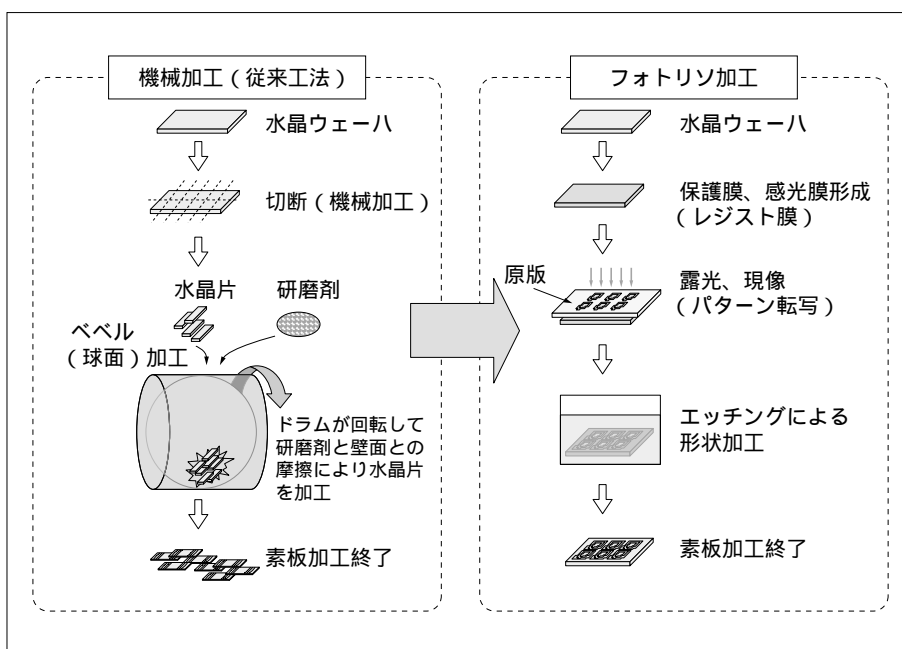


図8 フォトエッチング加工を用いて水晶振動子を製造する方法

子、光、化学などに関する様々な機能を集結したデバイスのことを、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) と呼ぶが、水晶素材への微細加工技術を用いて、機械・電子・光・化学などに関する様々な機能を集結し、高精度・高安定などの付加価値を携えた水晶デバイスは、「QMEMS」と定義されている。

QMEMSとは、一般的にイメージされる“MEMS = 半導体材料”の材料を水晶に置き換えたもの、すなわ



ち、“ Quartz ”+“ Micro Electro Mechanical Systems ” である。

先に紹介した、2016サイズの超小型AT振動子FA-128は、このQMEMS技術を用い、特性面のばらつきと、量産効率の向上を図り、ウェーハ単位でフォトリソ加工による、加工精度向上をもって、特性が均質な超小型水晶デバイスを実現した。

## 6. おわりに

エプソントヨコムでは、MEMS技術を応用したQMEMS技術により、常に最小・高性能な水晶デバイスの提供を実現できるよう、商品開発を進めている。この活動を通じて、水晶デバイスユーザーの機能向上と性能向上、ユーザーの使いやすさに貢献できることを切望している。