

エプソントヨコム

# SAW共振子技術でGHz 伝送を支える エプソントヨコムの水晶発振器

有線と無線を問わず、通信機器はGHz伝送時代に突入した。今後もさらなる高速化が続く。こうした中、現状の水晶発振器では、高速・低ジッタ・低ノイズ・高温連続動作で限界に近づいた。解決には、内部構造の根本的な見直しが必要だ。「もっと『速く』GHz伝送をこう乗り切る」をテーマにしたBトラックでは、「GHz伝送で最適なクロックの提案について」と題して、エプソントヨコム商品開発部TD応用商品の野村記央氏が講演した。この中で課題を一気に解決する、SAW共振子を用いた発振器を提案した。

通信分野におけるデータ伝送速度がGHzレベルに高速化してきた。これによって、基準クロック・デバイスを進化させる必要性に迫られている。通信用の基準クロックには従来、主にATカットと呼ばれるタイプの水晶振動子が使われてきた。ATカットを使えば、周波数特性に優れ、精度の高い水晶振動子を実現できる。このため、通信用だけでなく、産業用、民生用で多く使われてきた。

ところが、データ伝送速度の高速化はとどまるところを知らない。周波数が10GHz近くに達すると、これまでの手法を使うことが難しくなる。すなわち、発振周波数が約200MHzの従来の水晶発振器の出力を、PLL (phase locked loop) 回路で通倍することによって必要なクロック周波数を得ることが難しい。PLL回路に起因

する位相ジッタ特性の悪化が影響し、要求値を達成できなくなるためである。解決するためには、水晶発振器自体の発振周波数を上げていくしかないのだ。エプソントヨコムでは、こうしたニーズに対応したGHz帯向けの発振器として、SAW (surface acoustic wave) タイプの発振器を開発している(図1)。

## SAWタイプでGHz帯に対応

これまでの水晶素子に一般的に使われてきた水晶振動子は、ATカットと呼ばれるタイプである。水晶片に電圧が印加されると生じる厚み方向の歪みを利用する方式である。周波数温度特性に優れる特徴を持つ。発振周波数は、水晶片の厚さによって決まり、薄いほど周波数が高くなる。このため、高周波に対応しようとするほど、

エプソントヨコム  
商品開発部  
TD応用商品  
野村 記央氏



加工の難易度が増す。さらに、水晶振動子の機械的強度は低下してしまう。この理由から、製品化されたATカット・タイプの水晶発振器の発振周波数は、一般的には約60MHz、特殊な加工を施した場合でも200MHzが限界だった。

これに対して、SAWタイプの発振器では、水晶片の表面に形成した櫛歯構造内に集中して伝搬する振動を利用して発振する。発振周波数は、材料や櫛歯型の電極の間隔によって決まり、ATカット・タイプとは異なり、共振子の厚みに依存しない。これは、振動や衝撃への物理的な強度が高い利点につながる。櫛歯型の電極の間隔は、フォトリソグラフィをベースとした加工で形成可能であり、微細化は比較的容易である。このため現在では、GHz帯まで対応した製品が登場している。

通信関係で高まっている低ノイズ・フロア化の要求への対応でも、SAWタイプの方がATカット・タイプよりも向いている。ノイズ・フロアを下げるためには、S/N比を稼ぐために素子への入力レベルを大きくさせる必要がある。ATカット・タイプの場合、これによって特性が悪化してしまい、10年以上の寿命が要求される分野で使うことは難しくなる。一方、SAWタイプの発振器にはこうした問題がない。

## 低通倍でジッタやノイズ・フロアを抑制

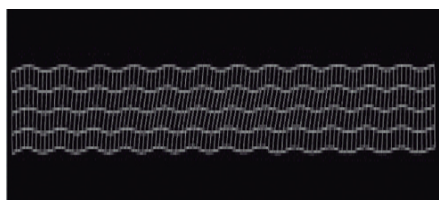
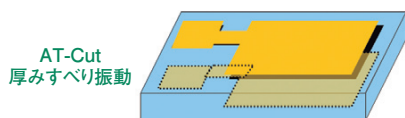
GHz帯に対応したSAWタイプの発振

SAW共振子は周波数が電極の間隔で決定されるため、高周波でも素板の厚みを薄くする必要がない!

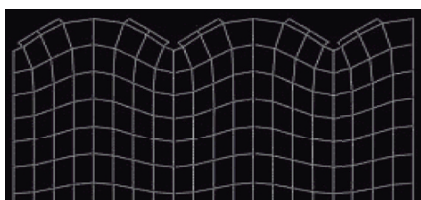
⇒ 高周波化に最適  
振動・衝撃に強い

入力レベルを大きくとれる

⇒ 発振振幅を大きくでき、低ノイズフロア化に最適



共振周波数=1670/素板厚み



共振周波数=伝搬速度/電極の間隔

図1 SAWタイプでGHzに対応

器の有望な市場は、(1)携帯電話などの無線基地局、(2)カー・エレクトロニクス、(3)ホーム・ネットワーク、(4)ネットワーク・サーバである(図2)。

(1)の無線基地局では、携帯機器による動画データの送受信が盛んになるなど、膨大なデータ量を高速に処理する必要が出てきた。こうしたニーズに対応できる、LTE(longterm evolution)やWiMAX(worldwide interoperability for microwave access)といった新しい通信方式の基地局向けに、GHz帯の発振器の需要が出てきている。

従来の無線基地局向け発振器は、厳しい周波数安定度の要求を満たすことができるATカット・タイプが主流だった。WCDMA向けの60MHz帯に対応した発振器が代表例である。現在の携帯電話の基地局では、400MHz帯の発振器が使われているところもある。400MHz帯向けには、100M~200MHz帯のATカット・タイプを使い、2~4通倍することで対応している。

ところが、「今後、無線基地局向けの発振器にGHz帯への対応が要求されると、ATカット・タイプでは対応できなくなる」(野村氏)という。例えば、1966.08MHz帯を実現するには、PLL回路を使った場合では15.36MHz帯の発振器の信号を128通倍、通倍方式では122.88MHzの発振器の信号を16通倍と、高次の通倍を施すことになる。その結果、位相ジッタ特性や

ノイズ・フロア特性の劣化を招くことになる。これに対して、SAWタイプの発振器では、655.36MHz帯の発振器の信号を3通倍すれば実現できる。通倍数が少ないため、位相ジッタやノイズ・フロアを抑制できる。

(2)のカー・エレクトロニクスでは、ミリ波レーダーや車々間通信に向けて、SAWタイプの発振器の需要がある。カー・エレクトロニクス向けでは、振動や衝撃、熱への強さが、SAWタイプの発振器の武器になる。カー・エレクトロニクスにおいてATカット・タイプを使う場合、耐熱性の問題が生じる。まず、薄い水晶素子を発振器内部に固定するために使う特殊な接着剤からガスが発生する可能性がある。加えて、応力の歪みが発生する。これに対し、SAWタイプの共振子ならば、水晶片を厚くできる。また、接着剤の選定の自由度が高く、熱応力の影響を受けにくい接着剤を採用できる。

(3)のホーム・ネットワークでは、開発が進んでいる60GHz帯のミリ波通信向けにSAWタイプの発振器の需要がある。60GHz帯の無線通信は、AV器機の間を映像を圧縮することなく転送する用途などに使われる。また、ホーム・ネットワーク以外にも、地震などの災害が発生した時に、光ファイバが断線した場合に備えたバックアップ用ネットワークとしての利用が想定されている。

(4)のネットワーク・サーバでは、データ

伝送速度を100Gビット/秒に向上させた次世代のEthernet向けなどで、SAWタイプの発振器の需要がある。Ethernetは、100Gビット/秒に高速化することによって、従来の光通信の主流だったSDH(synchronous digital hierarchy)やSONET(synchronous optical network)の最高速度を上回ることになる。

計画では、10Gビット/秒×10本で100Gビット/秒が実現される見通しである。現在の4Gビット/秒から2.5倍の高速化が進むことになる。そして、この用途に対応した発振器は、600MHz帯から2GHz帯に高速化させる必要がある。また、システムの高速度と並列化によって、消費電力の増大と装置内温度の上昇が問題になってくる。通信機器全体を低消費電力化するために、発振器の駆動電圧を従来の3.3Vから2.5Vに、また動作保証する温度を従来の40°C~60°Cから85°Cへと高める(図3)。

### ジッタ特性が0.019psの2.5GHz帯品

エプソントヨコムでは、様々な技術ニーズに対応するため、既に2.5GHz帯まで対応した多様な発振器を製品化してきた。60MHz帯までに対応した発振器はATカット・タイプ、250MHz帯まで対応した発振器はMEMSプロセスで励振部分を薄型加工したHFFタイプ、250MHz帯以上に

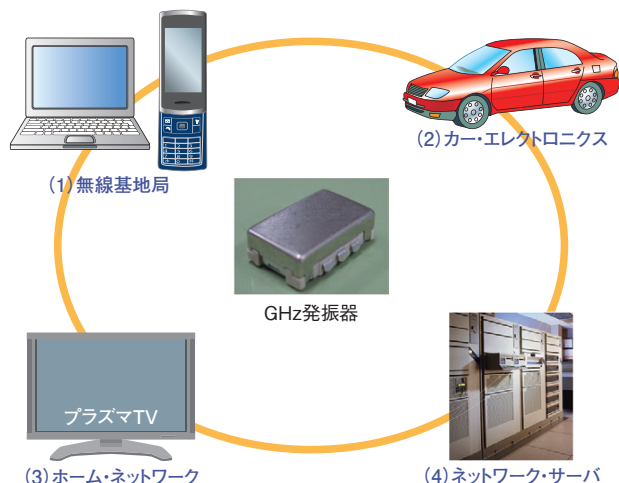


図2 GHz伝送のアプリケーション

100GE対応によりシステムが高速化/並列化し、装置内温度が上昇している。LSIの低電圧化だけでは、発熱の影響を抑えきれない。

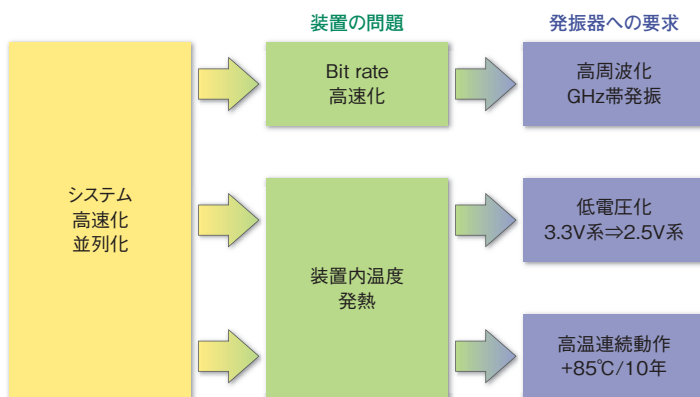
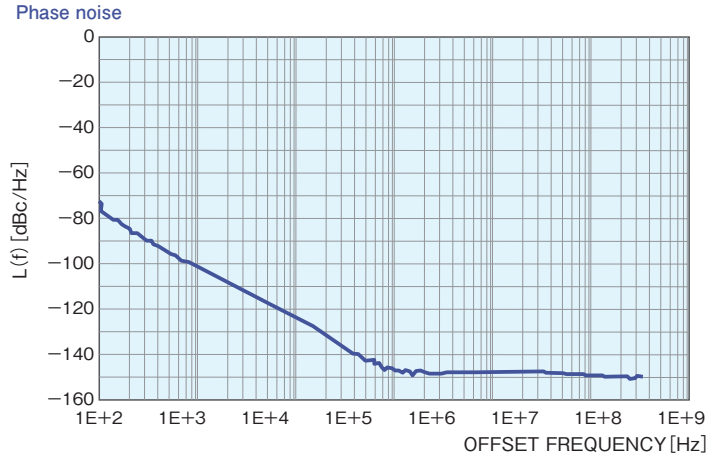


図3 GHz時代の発振器に対するニーズ

Package size : 14.0x9.8x4.7 (max.)  
 Frequency : 800MHz~2.5GHz  
 Output : LVPECL  
 Temperature range : -10 to +85deg.C  
 Aging : 10years  
 Stability : Overall  $-100 \times 10^{-6} \sim +150 \times 10^{-6}$   
 Absolute pull range :  $\pm 50 \times 10^{-6}$  min



図4 GHz対応発振器のターゲット仕様



Jitter:0.019ps at 12kHz to 20MHz

図5 試作品のジッタ特性

信頼性に優れた2.5GHzまでのSAW共振器を開発中であり、  
 更なる高周波化への検討を行っていく予定

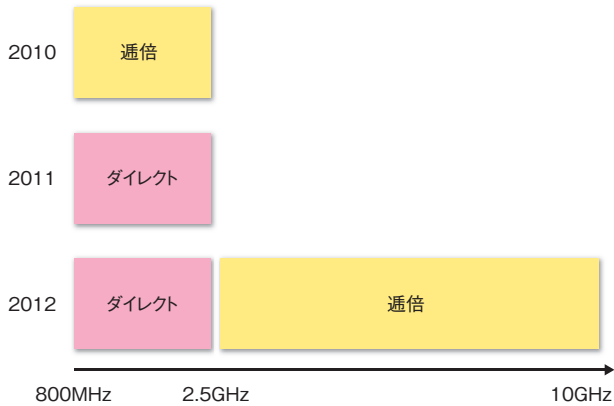


図6 今後の高周波化への取り組み

AT振動子波の周波数温度特性を持つANST-SAW共振器の開発に成功!  
 ⇒ 今後,GHz帯などについても検討をしていく予定

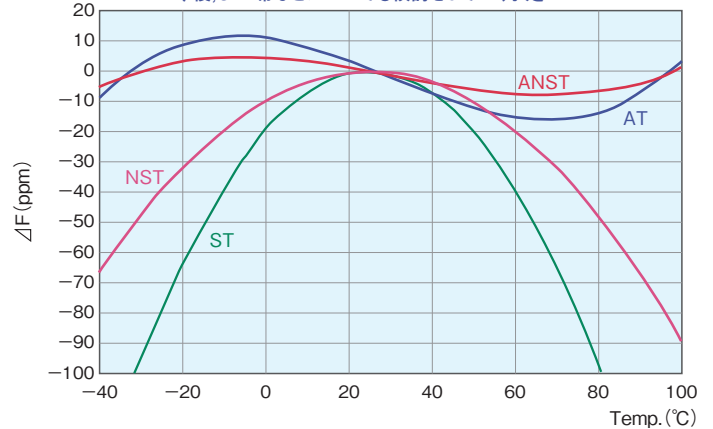


図7 SAWタイプでATカット・タイプと同等の周波数温度特性を実現

ている。

また、野村氏は今回の講演において、さらに高い周波数帯に対応するためのSAWタイプの試作品を公開した(図4)。発振周波数は800M~2.5GHz、動作温度は-10~+85℃、寿命は10年である。周波数温度特性は、-20~+90℃の範囲で従来の水晶発振器に近い特性を持つとする。位相ノイズは800MHz品の-142 dBc/Hz(800MHz時)に対して、-150 dBc/Hz(1.94GHz時)である。ジッタ特性は0.071ps(800MHz時)に対して、0.019ps(1.94GHz時)と、高いレベルにある(図5)。

## 2012年度に10GHz帯対応品

同社は、開発中の2.5GHz帯まで対応で

きるSAWタイプの発振器を、通信方式で2.5GHzを実現する発振器として、2010年度中に製品化する予定である。さらに2011年度には、これをダイレクト方式に置き換え、2012年度には通信方式で10GHz帯近くまで対応できる発振器を製品化する計画である(図6)。

また、GHz帯に対応したSAWタイプの発振器を、より高精度化する取り組みにも注力している。SAWタイプの発振器は、一般的に位相ジッタ特性が低く、安定した周波数出力を得られる特徴がある。ただし、出力信号の周波数温度特性が2次曲線となることが一部の用途では課題とされていた。すなわち、従来のSAWタイプの発振器は、使用温度が約30℃で最も周波数偏差が小さく、この温度範囲を外れると周波

数偏差が大きくなってしまっていた。

同社が試作した「ANST」と呼ぶSAWタイプの発振器は、この課題を解決し、ATカット・タイプと同様に、広い温度範囲で周波数偏差がほぼ一定となる3次の周波数温度特性を実現した(図7)。周波数温度特性は、ATカット・タイプと同等以上に実現できる見通しである。3次の温度特性を得るには、水晶基板上での信号の伝搬特性を従来と大きく変える必要がある。エプソントヨコムは「水晶の最適なカット角を見いだしたことで実現した」(野村氏)という。

## エプソントヨコム株式会社

〒191-8501 東京都日野市日野421-8

TEL ■ 042-581-1707

FAX ■ 042-581-1722

URL ■ <http://www.epsontoyocom.co.jp>