

我々の身近にある携帯電話をはじめとする非常に小型で軽量の無線通信機器は、その内部回路に使用するさまざまな部品の軽薄短小化によって実現されています。半導体の集積化はもちろんですが、それとともにフィルタの小型化も大きく貢献しています。

無線通信機器の受信/送信回路において、フィルタは非常に重要な回路(部品)です。ベースバンド信号の入出力からRF信号の入出力まで、回路の要所に周波数に応じたさまざまな構成のフィルタが使われています。

フィルタにはさまざまな構成/方式のものが存在しますが、そのなかでも特に急峻な減衰特性をもつのがSAW(Surface Acoustic Wave；表面弾性波)フィルタとMC(Monolithic Crystal)フィルタ(MCF)です。

MCFは無線通信機などの狭帯域IFフィルタとして世の中に登場し、現在でも広く使われています。一方のSAWフィルタは、最初はVHF帯のIFまたはRFフィルタとして使われはじめ、今ではGHz帯のものまで入手できるようになっています。それでは、SAWフィルタとMCFの原理や構造、そして使用上の注意点などを見ていきましょう。

▶ SAWデバイスの対応周波数帯は数十M～数GHz

SAWデバイスが対応できる周波数帯は、微細電極パターンの加工でその上限周波数が決まり、その大きさによって下限周波数が決まります。現在までのところ、数十MHz～数GHzの周波数帯の素子が実現されています。

## SAWフィルタ

SAWとは、弾性体(固体)の表面に沿って伝播する波のことで、表面弾性波ともいいます。SAWフィルタは、この表面波がもっている特徴/性質を利用してフィルタを形成しています。

● 表面弾性波の性質

▶ 名前のとおり波が表面を伝播する

表面弾性波は、基板の中に入るにしたがってその振幅が指数的に減少するため、基板表面から1波長以内の深さに弾性波の伝播エネルギーの90%以上が集中し

ています。したがって、基板表面に適当な電極を配置することによって、表面弾性波の発生、検出、反射などを行うことができます。

SAWデバイスでの表面弾性波の発生/検出には、図1に示すように、圧電基板上に配置した櫛形電極(IDT；Interdigital Transducer)を使用します。

▶ 伝播速度の遅さが小型化のためのミソ

伝播する表面弾性波の周波数 $f$ は、表面波の波長を $\lambda$ 、表面波の伝播速度を $v$ とすると、次の式で表されます。

$$f = \frac{v}{\lambda} \dots\dots\dots (1)$$

表面波の伝播速度は、基板材料によって異なります。例えば、STカットの水晶基板の場合、伝播速度は約3100 m/sです。SAWデバイスでは、伝播速度が2000～5000 m/s程度の材料が一般に使われています。

自由空間を伝わる電磁波の伝播速度が約30万 km/sであることと比べると、表面波の伝播速度が非常に遅いことがわかれると思います。実は、この伝播速度の遅さを利用することによって、小型高性能の高周波向けSAWデバイスが実現されています。

図2に示すように、300 MHzの信号の自由空間での波長は約1 mもあります。一般によく使われているガラス・エポキシ基板(FR-4、 $t = 1.0$  mm)上のマイクロストリップ・ラインでも、その波長は約53 cmもあります。

一方、STカット水晶基板の表面弾性波の波長を式(1)で計算すると、わずか10.3  $\mu$ mになります。これは、自由空間の場合の約1/100000です。

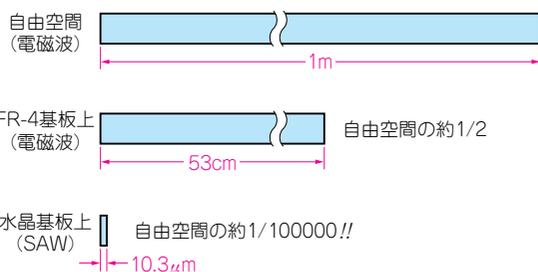


図2 波長の比較(周波数300 MHzの場合)

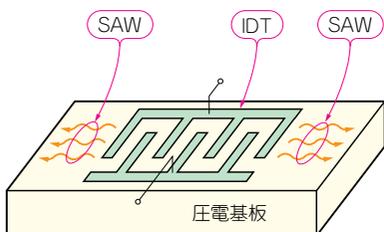


図1 SAWデバイスの構造

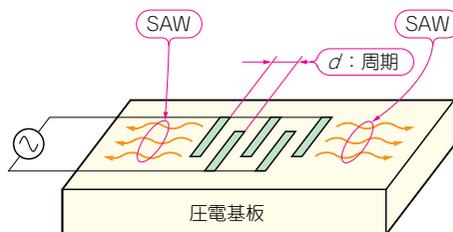


図3 IDT(櫛形電極)の周期

これによって、分布定数回路では非常に大きくなってしまふフィルタを、SAWを利用することによって非常に小型化することができます。

## ▶ 表面弾性波がスムーズに伝播する条件

図3に示すように、楕形電極に高周波信号を加えると、圧電効果によって基板表面付近に変位を生じ、表面弾性波が発生します。

このとき、表面弾性波の波長が楕形電極の周期の2倍(2d)に一致すると、各電極で発生した表面弾性波が同相になり、スムーズに伝播するようになります。

## ● SAWデバイスの製造工程と材料

### ▶ μm オーダの微細加工技術を利用

図4に示すように、電極幅と電極間幅が等しいとすると、先に計算した300 MHzの場合、電極幅は約2.6 μmしかありません。周波数が高くなると波長が短くなり、電極幅、電極間隔ともに狭くなりますので、微細電極パターンを精度よく加工するための製造技術が必要になります。μm オーダの加工が必要になるため、半導体製造と同様のフォト・リソグラフィが使われます。

### ▶ SAWデバイスの材料

SAWデバイスに使われる圧電基板材料としては、先に述べた水晶のほかに、タンタル酸リチウム(LiTaO<sub>3</sub>)、ニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)、四ホウ酸リチウム(Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>)などのリチウム化合物があります。

狭帯域のSAWフィルタには温度特性の優れた水晶基板が使用され、広帯域のSAWフィルタにはリチウム化合物が使われます。

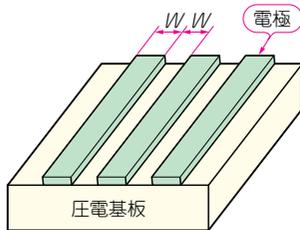


図4 SAWデバイスの電極(電極幅と電極間幅が等しい場合)

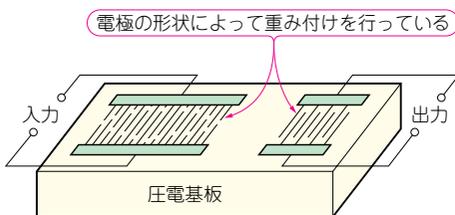


図6 電極形状による重み付けの例

## ● 2種類のSAWフィルタ

SAWフィルタには、トランスバーサル型SAWフィルタと、SAW共振器型フィルタの2種類があります。それぞれのフィルタの構造と特徴を見ておきましょう。

### ▶ トランスバーサル型SAWフィルタ

トランスバーサル型SAWフィルタは、図5に示すように入力用IDTと出力用IDTで構成されています。入力IDTに電気信号が加わると、そこに表面弾性波が発生します。表面弾性波は基板表面に沿って伝播し、出力IDTに到達し、そこで再び電気信号に変換されます。

トランスバーサル型SAWフィルタの主な特徴は、広帯域特性、非対称の周波数特性、直線性の良い位相特性などです。

トランスバーサル型SAWフィルタは、IDTのもつ周波数特性を利用しており、IDTの重み付けによってフィルタの周波数特性が決まります。重み付けは電極の形状によって行っており、その例を図6に示します。

### ▶ SAW共振器型フィルタ

SAW共振器型フィルタは、図7に示すように2個の反射器と2個のIDTで構成されています。SAW共振器型フィルタでは、反射器も周波数選択特性を持っており、狭帯域特性、低い挿入損失、大きな保証減衰量などが主な特徴です。

SAW共振器型フィルタには、ラダー型などさまざまな構成のものがあります。

## ● SAWフィルタの特性

市販のSAWフィルタで、その優れた特性の一部を

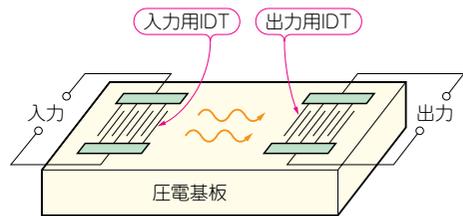


図5 トランスバーサル型SAWフィルタの構造

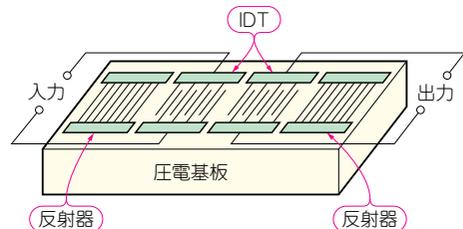


図7 SAW共振器型フィルタの構造