

# SAWデバイスの技術の変遷

## Evolution of SAW Device Technologies

田熊 久一 谷津田 博美  
Hisakazu Taguma Hiromi Yatsuda

### 要 旨

当社でおよそ30年間に亘って開発してきた弾性表面波 (Surface Acoustic Wave:SAW) デバイスとして、無線通信装置用IFフィルタに適する斜め電極指形SAWフィルタ、携帯機器用RFフィルタとして世界に先駆けて実用化したフリップチップ形SAWフィルタ、さらに使用環境を考慮して開発した車載用フリップチップ形SAWフィルタについて述べる。また、光通信装置で要求される低位相雑音特性を持つ高周波発振器を実現するために開発したGHz帯電圧制御形STW (Surface Transverse Wave) 発振器について述べる。また、今後、医療・環境・食品市場での利用が期待されているSAWバイオセンサ、SAW溶液センサについての取り組みについて述べる。

### Abstract

JRC has developed many kinds of surface acoustic wave (SAW) devices for about thirty years, such as IF filters for wireless communications, RF filters for portable devices, RF filters for automotive applications and SAW oscillators for optical communications. For IF filters for wireless communications, some design techniques for slanted finger SAW filters have been developed in order to achieve desired amplitude and phase responses in the pass band. For RF filters for portable devices, flip-chip assembly techniques for SAW devices have been developed in order to reduce the size. The flip-chip SAW filters have achieved a size reduction of portable phones. Furthermore, flip-chip SAW filters for automobiles have been released. For the module applications, GHz-band surface transverse wave (STW) based oscillators for optical communications have been developed. Recently, SAW biosensors and SAW liquid-phase sensors have been developing for future new applications, such as medical, environmental and foods.

### 1. まえがき

弾性表面波 (Surface Acoustic Wave; SAW) デバイスは、1960年代から研究が行われ、1980年代に入るとテレビ受像機用中間周波数 (IF) フィルタ、VTR用共振子が量産化された。その後、小形・無調整、さらには振幅特性と位相特性を独立に設計できるという特長から、無線通信装置用IFフィルタとして期待され、多くの無線通信機メーカーがSAWフィルタの研究を開始した。当社でも、1970年代後半からSAWデバイスの検討が開始され<sup>(1)</sup>、自社の無線通信装置用として、IF帯SAWフィルタ<sup>(2)(6)</sup>、RF帯SAWフィルタ<sup>(7)(10)</sup>、レーダー用SAW分散形遅延線<sup>(11)</sup>、SAWマッチドフィルタ<sup>(12)</sup>、STW発振器<sup>(13)</sup>等が次々に開発され実用化された。その後、1990年頃から社内向けだけでなく外販も行うようになり、車載用300MHz帯SAWフィルタ、携帯電話用800MHz帯SAWフィルタ、コードレス電話用900MHz帯SAWフィルタ、GPS用1.5GHz帯SAWフィルタ等の量産化を行ってきた。

ここでは、当社がこれまで開発してきたSAWデバイスとして、無線通信装置用IFフィルタ、移動通信装置用RFフィルタ、車載用RFフィルタ、光通信装置用STW発振器について、その変遷についてまとめる。

### 2. 無線通信装置用IF帯SAWフィルタ

従来の無線通信装置では、無線周波数を中間周波数に変換して用いるスーパーヘテロダイン方式を用いるのが一般

的であり、中間周波数段では、必要な信号だけを取り出すための高性能なIF帯フィルタが必要とされた。当社では、多重無線通信装置、衛星通信装置、画像伝送装置等の各種産業用通信装置を製品化しており、様々な仕様のIF帯SAWフィルタが必要とされてきた。これらIF帯SAWフィルタの中心周波数としては20MHzから400MHz程度、比帯域幅 (帯域幅/中心周波数) としては0.1%から70%程度であり、形状も1枚のウエハから2個しか取れない大きなものから、1mm角程度の小さいものまで様々である。当社では、これらの様々な仕様を実現するために、一般的なIF帯SAWフィルタの設計手法であるアポダイズ法の他に、広帯域フィルタに適する斜め電極指設計手法を独自に開発してきた。斜め電極指SAWフィルタは、図1で示すように、通常の平行な電極指ではなく、表面波伝搬方向と直交する方向で電極ピッチが異なる電極指を用いる構造<sup>(14)</sup>となっている。このため、通常のアポダイズ法では所望の周波数特性をフーリエ変換して得られる時間応答を電極で表現することに対して、斜め電極指法では、周波数応答を電極で表現することになる。当社では、早くからこの斜め電極指法に注目し、そのシミュレーションプログラムを開発した<sup>(15)</sup>。さらに、斜め電極指電極に対する、振幅特性、位相特性、帯域外特性の設計手法<sup>(16)(18)</sup>をそれぞれ提案し、これまでにない良好な特性を実現することに成功した。1987年には、斜め電極指の特長を活かして中心周波数70MHz、帯域幅36MHzの衛星通信装置用IFフィルタを開発し<sup>(2)</sup>、世界に先駆けて斜め電極指を用いたSAWフィルタとして製品化した。また、中心周波数20MHz帯で帯域幅

が6MHzのテレビ中継放送機用斜め電極指SAWフィルタを開発し実用化した<sup>(2)</sup>。これらのフィルタ特性は、当時一般的に用いられていたアポダイズ法に比較して、振幅リプルと群遅延リプルを1/3~1/5と大幅に改善し、通信装置の性能向上に大きく貢献した。図2に、斜め電極指SAWフィルタのシミュレーション結果と実験結果を示す。

最近では、ダイレクトコンバージョン等の普及により、IF帯を使用しない通信装置が増えており、IF帯SAWフィルタの市場は縮小しているのが現状である。しかし、現在でも性能重視の産業用通信装置では、IF帯SAWフィルタが使われている。例えば、アナログから移行したデジタルテレビ中継放送機では、仕様は変わっているが、なおもIF帯SAWフィルタが使われおり、図3にその周波数特性を示す。

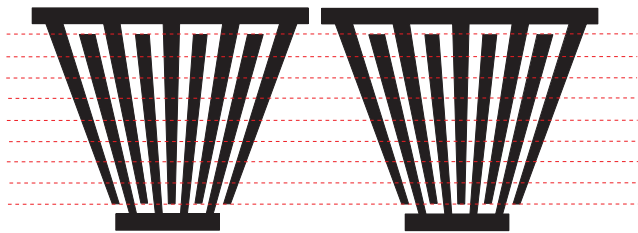


図1 斜め電極指SAWフィルタ  
Fig.1 Configuration of Slanted finger SAW filter

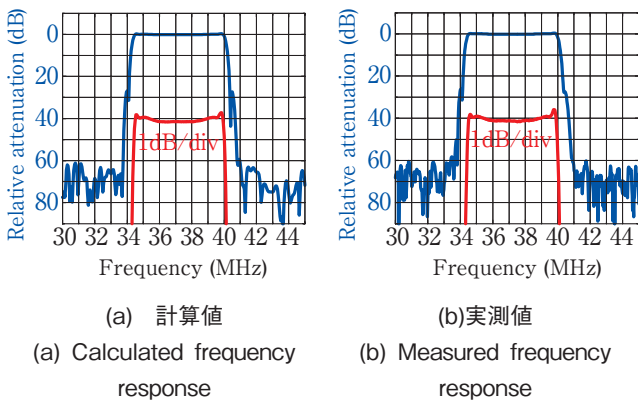


図2 斜め電極指SAWフィルタの周波数特性例  
Fig.2 Frequency responses of slanted finger SAW filter.

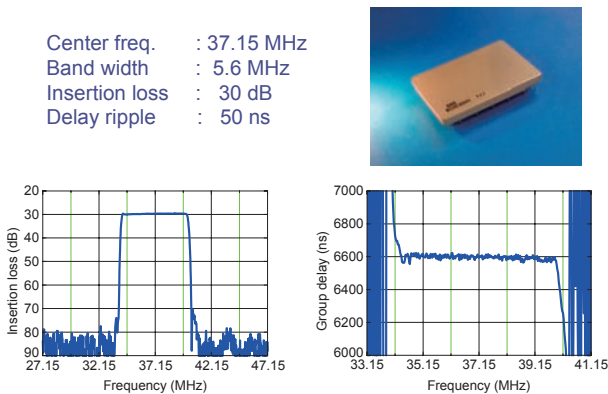


図3 デジタルTV中継放送機用斜め電極指SAWフィルタの周波数特性  
Fig.3 Frequency response of slanted finger SAW filter for digital TV rebroadcast transmitter.

### 3. 移動通信装置用RF帯SAWフィルタ

SAWデバイスは、通信装置用IFフィルタとして用いられることが一般的であったが、自動車電話から携帯電話へ移行する1980年代、RFフィルタとして使用されてきた800MHz帯の誘電体フィルタをSAWフィルタに置き換える研究が活発に行われた<sup>(19)-(21)</sup>。当初、800MHz帯という高周波化（微細加工技術）の課題と2dB程度という低挿入損失化の課題があったが、企業及び大学等の研究機関での多くの研究により、誘電体フィルタを置き換えるSAWフィルタが実現された。現在では年間20億個とも言われる巨大なSAWフィルタ市場に成長した。当社でも、当時、北米AMPS携帯電話を製品化しており、社内向けに800MHz帯RF-SAWフィルタを開発し量産化に成功した。一方、当社では、これらSAWフィルタの小形実装技術についての研究も行い、世界で初めてフリップチップ形SAWフィルタの実用化に成功し、1994年に当時世界最小（3.2x2.5x0.9mm<sup>3</sup>）のSAWフィルタを発表した<sup>(22)</sup>。図4に従来のワイヤーボンディング構造とフリップチップ構造を比較して示した。従来構造のワイヤーのための空間を無くし、金バンプにより機械的接続と電気的接続の両方を実現している。金線用超音波ボールボンディング装置を用いて、SAWウエハ上に直径100 $\mu$ m程度の金のバンプを形成し、ダイシング後、凹形のセラミックパッケージ内に、バンプ面を下向きにしてSAWチップを挿入するだけでバンプとセラミックパッケージ上の金メタライズパッドとの位置合わせが可能なセルフアライメント方式とした。セラミックパッケージは200℃の高温ステージ上に配置され、チップ背面からツールを押し当て、荷重と超音波を印加することにより、金バンプとセラミック基板上的金メタライズを直接接合する技術を開発した。現在では、アライメント機能を持つSAWフィルタ用の自動フリップチップボンディング装置が販売されているが、当時は金と金の超音波フリップチップ接合すら一般的ではなく、通常アルミワイヤー用超音波ボンディング装置を改良することでフリップチップ接合を実現した。フリップチップ実装技術により、SAWフィルタの小形化が加速され、携帯電話の小形化に貢献できた。

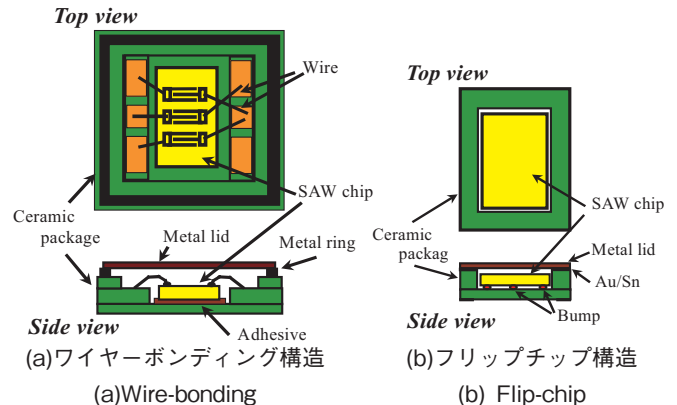


図4 SAWフィルタ実装構造  
Fig.4 Configuration of SAW filters.

### 4. 車載用SAWフィルタ

車載向けSAWフィルタには非常に厳しい環境仕様が要求される。SAWフィルタの小形化を図っていくと従来のワイヤボンディング方式からFCB方式に変更せざるを得ない。しかしながら通常のFCB方式はチップとパッケージ間において、金と金の直接接合により接続を行うが、接合時の平面度、接続エネルギーの印加という観点で品質安定性が得にくい。そこで接合部を金錫と金による接合とした構造を提案した。また平板セラミック基板に金属キャップを金-錫シールする構造を採用したことで、湿度/結露等に対し高い信頼性を確保した。チップとキャップは同時に熔融させるため大幅なコストダウンを可能にした。図5に車載用のGPS-SAWフィルタの構造図、外観、周波数特性を示す。

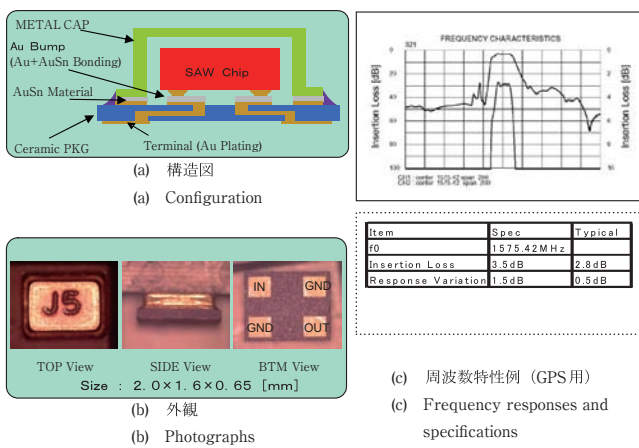


図5 車載用フリップチップSAWフィルタ

Fig.5 Flip-chip SAW filter for automotive applications.

### 5. 光通信装置用STW発振器

SAWデバイスはIF帯やRF帯のフィルタとして利用されるだけでなく、発振器用の共振子としても利用することができる。特に、水晶基板上を伝搬するSTWは、音速が5000m/s程度とSAW（レーリー波）の音速の1.5倍以上であり高周波化に適する<sup>(23)</sup>ことから、GHz帯の発振器として検討されてきた<sup>(13)</sup>。当社では、2000年にWCDMA携帯電話基地局用共通増幅装置で使用される2GHz帯STW発振器を製品化した。従来の方法では、100MHz帯の水晶発振器を20通倍する必要があるが、STW共振子を用いることで、2GHz帯の直接発振を可能とした。形状は、9.4 mm×9.5 mmの表面実装形、位相雑音特性として10kHzオフセットで-120dBc/Hzを実現した。一方、2003年に光通信装置（光トランシーバモジュール）用に光通信装置用2.488GHz帯STW発振器を開発し製品化した。その後、光トランシーバモジュールの多機能化の要求に応え、2005年にはFEC（Forward Error Correction）対応として光通信装置用2周波切り替えのSTW発振器モジュールを開発し製品化した。さらに、2009年には、光トランシーバモジュールのマルチ周波数化が進み、2.4GHz/2.6GHz/2.7GHzの光通信装置用3周波数切替えSTW発振器を開発した。本製品の回路構成は、高Q、低損失、温度特性に

優れた水晶STWフィルタ、高周波アンプ、及び可変移相器により発振ループを構成し、出力はバッファアンプを介して取り出される。可変移相器はバラクタダイオードを使用している。3つの発振ループ部を持ち、切替えIC（シングル1.3デマルチプレクサ）により発振周波数を選択する。

図6に光通信装置用3周波数切替えSTW発振器の外形写真を示し、図7に位相雑音特性を示す。また、仕様を表1にまとめた。

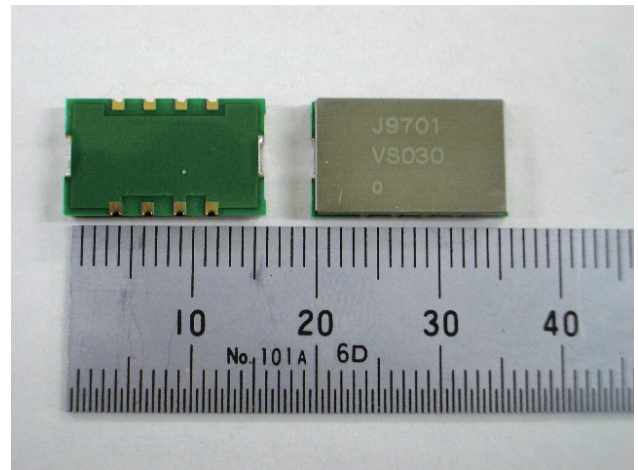


図6 光通信装置用3周波切替電圧制御形STW発振器

Fig.6 Triple-band Voltage Controlled STW Oscillator for optical communications.

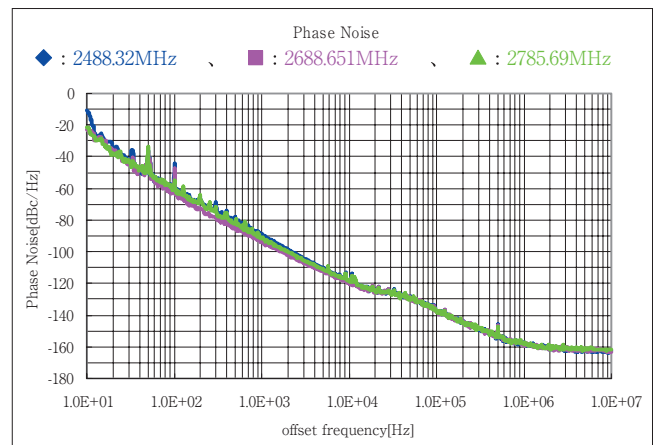


図7 光通信装置用3周波切替電圧制御形STW発振器の位相雑音特性

Fig.7 Phase-noise characteristics of Triple-band Voltage Controlled STW Oscillator.

表1 光通信装置用3周波切替電圧制御形STW発振器の仕様  
Table 1 Specifications of Triple-band Voltage Controlled STW Oscillator.

項目	Minimum	Typical	Maximum	Unit
電源電圧	3.15	3.3	3.45	V
制御電圧	0.15	—	3.15	V
消費電流	—	50	60	mA
発振周波数	—	2488.320 2688.651 2785.690	—	MHz
出力レベル	-3	0	+4	dBm
A.P.R	±50	—	—	ppm
動作温度	-10	—	+85	℃

## 6. 今後のSAW技術

SAWデバイスは、基板表面にエネルギーを集中して伝搬することから、その伝搬特性は基板の表面状態に大きく影響される。特に高周波製品や狭帯域製品では、表面状態の違いが中心周波数ばらつきとして歩留まりの低下を招くことから、チップの洗浄工程や封じ工程には細心の注意が必要である。この性質は、SAWデバイスの製造工程からすると欠点ではあるが、高感度のセンサとして動作していると考えられることもでき、SAWデバイスのセンサ応用が期待されている。当社でも、2004年より、横波形弾性表面波を用いたガスセンサの検討を開始し<sup>(24)</sup>、その後溶液センサやバイオセンサの研究開発<sup>(25)</sup><sup>(26)</sup>を行っており、これまでとは異なる新しい市場に挑戦している。特に、SAWデバイスは小形で大量生産に適することから、インフルエンザや口蹄疫等の感染症診断用バイオセンサとして期待されている。中でも、家庭での診断や健康管理のために必要とされているPOCT (Point of Care Testing) デバイスの期待が大きい。感染症診断としては、年間数億テストの需要があり、SAWデバイスとしては通信機器市場に匹敵する大きな市場として期待している。

## 7. あとがき

当社が30年以上取り組んできたSAWデバイスの技術の変遷について、IF帯SAWフィルタ、RF帯SAWフィルタ、車載用SAWフィルタ、STW発振器を中心にまとめた。当社は、無線通信装置メーカーであることから、社内の通信装置の性能を左右するキーデバイスとして、SAWデバイスの開発を行ってきた。今後は、無線通信装置メーカーとして培ったRF回路設計技術も取り入れて、SAWデバイスを含むRFモジュールの開発を行い、小形化・低価格化の要求に応える。また、SAWデバイスの新しい応用として、SAWバイオセンサやSAW溶液センサ等の研究・開発を行い、新規市場を創出する。

### 参考文献

- (1) 菅原他：信学技報US78-12 21-28 (1978).
- (2) 谷津田他：信学総春大 B-181 1-181 (1988).

- (3) 谷津田他：テレビジョン学会vol.12 No.23 63-68 (1988).
- (4) 田熊他：情信学春全大 B-438 2-438 (1991).
- (5) 野口他：情信学総大 A-11-18 250 (2001).
- (6) 後藤他：Jpn. J. Appl. Phys. Vol.46 No.7B 4744-4748 (2007).
- (7) 竹内他：信学技報US84-32 17-24 (1984).
- (8) 谷津田他：信学論 (A) J76-A 2 193-200 (1993).
- (9) 田熊他：情信学総秋大 A-230 231 (1994).
- (10) 小栗他：情信学総大 A-11-14 289 (1997).
- (11) 竹内他：信学技報US92-6 37-44 (1992).
- (12) Takeuchi et al. : IEEE US Symp. 7-12 (1995).
- (13) 高橋他：情信学基礎境界ソサイエティ大 A-11-9 142 (1999).
- (14) C.K.Campbell et al. : IEEE Tans. Sonics Ultrason. SU-29 224-228 (1982).
- (15) 吉川他：信学技報US84-31 9-16 (1984).
- (16) 谷津田他：音響学会講演論文集 3-5-7 703 (1984)
- (17) Yatsuda : IEEE Tans. Sonics Ultrason. 45 41-47 (1998).
- (18) Yatsuda : IEEE Tans. Sonics Ultrason. 44 453-459 (1997).
- (19) Hikita et al. : IEEE US Symp. 308-312 (1980).
- (20) Hikita et al. : IEEE US Symp. 82-92 (1984).
- (21) Ikata et al. : IEEE US Symp. 111-115 (1992).
- (22) Yatsuda et al. : IEEE US Symp. 159-162 (1994).
- (23) IEEE US Symp. 11-18 (2002).
- (24) Yatsuda et al. : J. Photopolymer Science and Tech. 20 6 799-803 (2007)
- (25) Kogai et al. : Jpn. J. Appl. Phys. 49 07HD15 (2010).
- (26) Kano et al. : IEEE US Symp. (2010). (to be published).

### 用語一覧

- AMPS : Advanced Mobile Phone System (北米アナログ携帯電話の規格)
- APR : Absolute Pull Range
- FCB : Flip Chip Bonding (フリップチップボンディング)
- FEC : Forward Error Correction (前方誤り訂正)
- IF : Intermediate Frequency (中間周波数)
- POCT : Point of Care Testing (患者の身近での検査)
- RF : Radio Frequency (無線周波数)
- SAW : Surface Acoustic Wave (弾性表面波)
- STW : Surface Transverse Wave (横波形弾性表面波)