

# 弾性表面波センサ

## Surface Acoustic Wave Sensor

塩川 祥子

(SAW&SPR-Tech(有))

### 1 はじめに

弾性表面波 (SAW) の伝搬特性の変化を検出原理とする SAW センサの研究・開発が活発に行われている。本稿では、はじめに弾性表面波センサの歴史・種類・特徴についてまとめる。次に、筆者らが提案し<sup>(1)</sup>、研究が進んでいる液相系弾性表面波マイクロセンサについて、これまで明らかになったこと、および SAW デバイスの特徴を生かした今後の展開についても述べる。

### 2 弾性表面波センサの基礎

#### 2.1 弾性波センサの歴史

弾性波マイクロセンサは、センサの種類と測定対象が多種多様である。1959年に水晶バルク振動子の電極上での物質吸着が発振周波数の変化として検出できることが見出されたことから開始された<sup>(2)</sup>。この物質吸着による周波数変化は発振周波数の2乗に比例するので、高周波デバイスである SAW デバイスを化学センサに応用することが1979年 Wohltjen らにより行われた<sup>(3)</sup>。さらに、溶液系でのセンサ応用を目指し、くし形電極励振によるすべり板モード (SH-APM: Shear Horizontal Acoustic Plate Mode)<sup>(4)</sup>、Lamb 波 (FPW: Flexural Plate Wave)<sup>(5)</sup>、すべり弾性表面波 (SH-SAW)<sup>(6)</sup> を用いたマイクロセンサが提案された。近年さらに高感度化を目指した Love 波の研究が行われている<sup>(7)</sup>。これらの弾性波マイクロセンサは周波数帯域が 30~400MHz で使用され、センシング面積はいずれも 1cm<sup>2</sup> 以内と小さい。また、高周波 SAW デバイスはワイヤレス化が容易であり、リモートセンシングシステムとし

て開発され実用化が進んでいる<sup>(8)</sup>。

#### 2.2 弾性波マイクロセンサの分類

弾性波デバイスは用いる励振モードにより分類するのが一般的である<sup>(9)</sup>。大きくバルク波と表面波 (SAW) の二種類に分けられる。バルク波としては、TSM (Thickness Shear Mode) がセンサに多用されている。TSM は厚みすべり振動を用いるため気相系、液相系両方に用いることができる。水晶振動子を用いるので、QCM (Quartz Crystal Microbalance) と一般的に呼ばれている。R-SAW デバイスでは変位が波の進行方向と、基盤に垂直方向の両成分からなる。垂直成分が原因で液体中にエネルギーを放射する。従って気相のみで用いられる。SH-SAW および Love 波は、波の進行方向に垂直で、基盤に平行な成分すなわち水平偏波している。水平成分は液体との界面ですべりながら伝搬するので液相で用いることができる。SH-APM も、SH タイプなので液相で用いることができる。FPW は Lamb 波とも呼ばれ変位が波の進行方向と、基板に垂直方向からなる Rayleigh 型の板波であるが、板の厚みが非常に薄くなると液体の音速より小さな位相速度となり、液体中にエネルギーを放射しなくなる。このような条件の Lamb 波を用いれば溶液系センサとなる。

これらいずれのセンサにおいても、増幅器を電極間に挿入することにより発振回路が構成され、表面上での変化が発振周波数の変化として検出される。あるいは、送受電極間の振幅と位相変化、伝搬時間変化を検出することも可能である。

## 2.3 センシング原理と測定対象

弾性波マイクロセンサは圧電素子により励起されるので、センシング原理は大きく分けて2通りある。弾性波伝搬特性の変化には、ひずみ特性が影響を受ける場合と、圧電場(ポテンシャル)が影響を受ける場合がある。前者を**力学的摂動**といい、界面上の弾性、粘性の変化や**質量負荷効果 (mass loading)**などが検出対象となる。後者の**電氣的摂動**は音響電気相互作用といい、界面上の**導電率や誘電率**が検出対象となる。界面上に金属膜を蒸着すると、圧電場が媒質中に形成されないのので力学的摂動のみを受け電氣的摂動は完全に分離することができる。センサ感度は、電気機械結合定数に比例するので、 $36\text{YXLiNbO}_3$ を用いるSH-SAWセンサの感度はきわめて大きい。

これらの弾性波デバイスを用いた化学センサによる分子種検出は、表面コーティング膜の物理的・化学的選択性に依存している。コーティングの方法としては現在、ディップ法、スプレー法、スピナー法、LB膜法などがある。膜材料とコーティング法の研究は弾性波化学センサの今後の発展に重要であるが本稿では省略する。

## 2.4 センサ感度比較

各センサの質量負荷効果( $\Delta m$ : 単位面積あたりの負荷質量)に対するセンサ感度式の比較を(1)式を用いて行った結果をFig.1に示す。

$$\frac{\Delta f}{\Delta m} = -S_m \cdot F(f) \quad (1)$$

ここで、 $F(f)$ は周波数の関数であり、TSM、R-SAW、SH-SAWの場合は $f^2$ となる。 $S_m$ は感度係数である。

Fig.1は横軸を励起周波数、縦軸を $\Delta m$ で規格化した周波数変化 $\Delta f$ を表し、任意の周波数で感度比較が行えるようにした。この図より利用したい周波数においてどのモードを用いるべきかを読み取ることができる。

以下に示す。

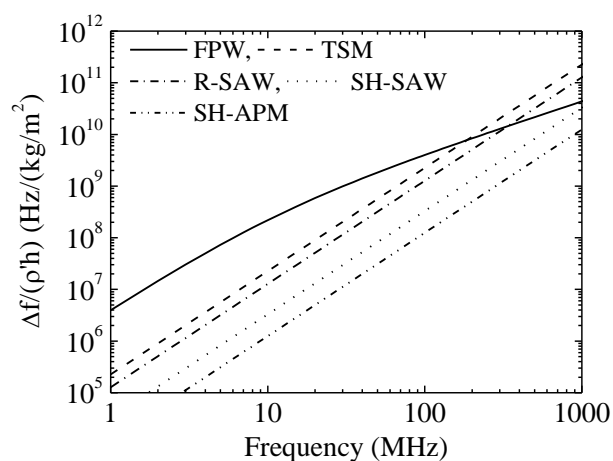


Fig.1 Comparison of exciting frequency dependence of  $\Delta f$  by mass loading.

## 3 弾性表面波センサ技術の展開

SAWデバイスの特徴を利用したセンサの展開を紹介する。

### 3.1 多チャンネルSAWセンサ

力学量・電気量を同時に測定できる3チャンネルセンサをFig.2に示す<sup>(10)</sup>。混合溶液等の測定に利用できる。また、周波数を変えた多チャンネルSAWセンサを用いるとウイスキーの識別も可能である。

### 3.2 SAW発振器内蔵型SAWセンサ

SAWは増幅器を用いれば発振器を構成できるので、センサとしての利用と同時に、それ事体を発振源に用いて外部からの影響を相殺する精度の高いシステムを構成できる<sup>(11)</sup>。Fig.3に示す。

### 3.3 フロー系SAWセンサシステム

筆者らは、フロー系を構成すると、物質の電気特性の他に質量特性も検出できることを報告している。Fig.4は導電率が同じ電解質溶液でも、フロー系を用いると過渡応答の違いから出力が異なることを示している<sup>(12)</sup>。ミネラルウォーターの識別、健康によい水評価などを行った。

## 4 おわりに

弾性表面波センサは高感度、即応性、多機能性、試料溶液が少量といった特徴があり、気相・液相

で、物質の様々な特性を知ることができることを示した。また、各種弾性波マイクロセンサを比較し評価を行った。水晶振動子は温度特性に優れ、 $Q$  が高いため発振が非常に安定であり、すでに QCM として気相、液相の化学反応の検出によく使用されている。しかし、水晶振動子は基本発振周波数に上限があるため、さらに高感度を持つセンサを求めて各種の IDT 励振の表面波センサの研究が開始された。表面波デバイスとして GHz オーダーまで作製可能で理論的には高感度な質量及び粘性センサが得られる。しかし高周波になると不安定性も増大する。この問題を解決できれば表面波デバイスのセンサへの応用は大きく広がるであろう。

#### 文献

- (1)M. Kuwabara, J. Kondoh and S. Shiokawa: The 9<sup>th</sup> Sensor Symp.(1990)177.
- (2)G. Sauerrbrey: Zeitschrift zur Physik, **155**, ( 1959 ) 206.
- (3)H. Wohltjen and R. Dessy : Anal. Chem., **51**, 9 ( 1979 ) 1458.
- (4)T. M. Niemczyk, S. J. Martin, G. C. Frye and A. J. Ricco: J. Appl. Phys., **64**, 10( 1998 ) 5002.
- (5)R. M. White and S. W. Wenzel: Appl. Phys. Lett, **52**, 20( 1988 ) 1653.
- (6)T. Moriizumi, Y. Unno and S. Shiokawa.: Proc. IEEE US Symp. ( 1987 ) 579.
- (7)近藤淳, 塩川祥子: 信学技報 **US2002-70** (2002-11) 13.
- (8)A. Poul: IEEE Trans. UFFC, **47**( 2000)317.
- (9)塩川祥子、近藤淳: 信学論 **J78-C-1**(1995) 573.
- (10)J. Kondoh, K. Saito, S. Shiokawa and H. Suzuki: Jpn. J. Appl. Phys., **35**(1996)3093-.
- (11)羽藤逸文、近藤淳、塩川祥子:信学技報 **US2002-114**(2003-02) 7.
- (12)J. Kondoh, Y. Matsui and S. Shiokawa: Sensors and Actuators B, **91**(2003)309.

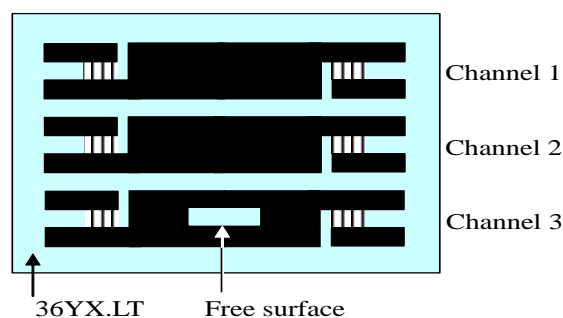


Fig.2 3 Channel SH-SAW sensor pattern.

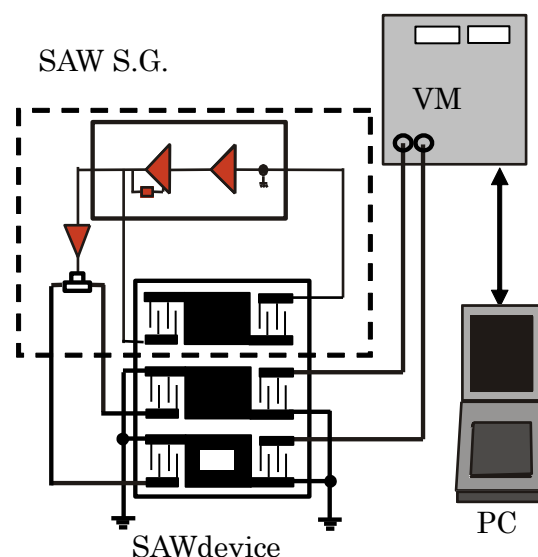


Fig.3 SAW sensor including SAW oscillator (VM : vector voltmeter) .

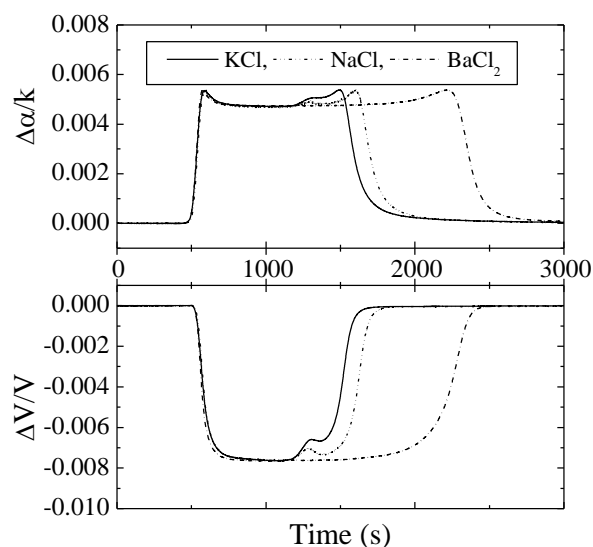


Fig.4 Typical transient response for electrolyte solutions. The conductivity is constant at 0.5S/m.