

## 第5章 弾性表面波を利用した湿度センサ

### 5-1 まえがき

レイリ<sup>(23)</sup>によつて存在が示唆された弾性表面波 (SAW) は、1965年ホワイトラ<sup>(24)</sup>により 圧電基板とすだれ状電極 (インターディジタルトランスデューサー, IDT) によつて、効率よく送受可能であることが示された。それを契機として、実用的な各種アナログ信号処理デバイスを開発する研究が進み始めた。

当初、圧電基板として水晶等の単結晶が用いられていたが、現在では、単結晶以外にセラミックや薄膜も研究されている。非圧電基板上に圧電体膜を形成した2層構造基板は、製造コストが低い点や、膜厚および電極構成を工夫すると電気機械結合定数や温度特性が広範囲に選択できる利点<sup>(25)</sup>があるため ZnOスパッタ膜<sup>(26)</sup>において実用化されている。

前章で述べた  $\text{PbTiO}_3$  は強誘電体としては比較的誘電率が小さいため、IDTと電子回路の整合が取り易いという利点を有している。本研究の最終目標は、 $\text{PbTiO}_3$  のこの利点を活かした弾性表面波デバイスの形成とそのセンサ技術への応用であ

り、本章では、弾性表面波を用いた湿度センサ（SAW湿度センサ）について述べる。しかし  $PbTiO_3$  スパッタ膜をこの目的のために研究してきたが、今のところまだ圧電性が不十分で SAW デバイスへの応用は困難であるため、とりあえず、PZTセラミックを用いて、研究を進めている。

## 5-2 弾性表面波を利用した湿度センサ

### 5-2-1 湿度センサ

湿度とは空気中の水蒸気の割合を示すもので、空気  $1m^3$  中の水蒸気の質量を用いる絶対湿度と、その気温における飽和水蒸気で規格化した相対湿度の2種類の表示法がある。

湿度は、人間をはじめとする動植物の生理と密接な関係があり、また火災などの現象とも関係し、さらに工業製品の歩留りなどにも影響するため、その測定は重要である。したがって湿度センサは、日常的な乾湿球湿度計や伸縮式湿度計から、FET<sup>(27)</sup> や水晶振動子<sup>(28)</sup> を用いたものまで、要求される特性や、使用環境にあわせ多種多様なものが、

開発されてきた。

本研究で述べる SAW湿度センサは、出力が電気信号であり、IDTが半導体製造プロセスで形成できる利点を有する。

### 5-2-2 弾性表面波を利用した湿度センサの原理

表面波の特徴はその振動のエネルギーが固体表面に集中していることである。したがって SAW遅延線の伝搬路の状態により、伝搬速度が変化しやすい。このことを利用して各種センサに利用されている<sup>(29)</sup>。その中で弾性表面波を用いたガスセンサ<sup>(30)</sup>は、SAW遅延線の伝搬路上に、そのガスを選択的に吸脱する薄膜を付着し、膜のヤング率や、質量の変化にともなう弾性表面波の伝搬速度の変化を、電子回路により検出する構成のものが多い。例えば水素センサとして用いるには、Pdを伝搬路に膜形成すればよい<sup>(31)</sup>。

ところで水晶振動子にエポキシ樹脂を塗布するとエポキシ樹脂が水を吸着しその共振周波数が変化するため、湿度センサとして利用できる<sup>(28)</sup>。

エポキシ樹脂は水の吸着によって質量が変化するだけでなく、ガラス転移温度や、結合力が変化する<sup>(32)</sup>ため、膜の硬さも変化した。したがって表面波の伝搬速度を変えうる。本研究で述べる SAW湿度センサはこの現象を利用するものである。

図5-1に SAW湿度センサの構造を示す。1つのデバイス中に2つの SAW遅延線を並べ、一方の伝搬路上にエポキシ樹脂を塗布した構造である。水吸着による伝搬速度の変化は、2つの SAW遅延線出力の位相差として計測できる。

入力に正弦波を加えた時の検出路（エポキシ樹脂を塗布した側）と基準路の伝搬速度を  $v_s, v_r$ 、出力の入力正弦波に対する位相を  $\phi_s, \phi_r$  とする。入力正弦波の周波数を  $f$ 、伝搬路長を  $l$  とすると両出力の位相差  $\phi$  は次式となる。

$$\phi = \phi_s - \phi_r = 2\pi fl \left( \frac{1}{v_s} - \frac{1}{v_r} \right) \quad (5.1)$$

位相差の湿度  $H$ 、温度  $T$ 、気圧  $P$  に対する感度  $S_H, S_T, S_P$  はそれぞれ次式となる。

$$S_H = \frac{\partial \phi}{\partial H} = 2\pi fl \frac{1}{v_s^2} \frac{\partial v_s}{\partial H} \quad (5.2)$$

$$S_T = \frac{\partial \phi}{\partial T} = 2\pi fl \left( \frac{1}{v_s^2} \frac{\partial v_s}{\partial T} - \frac{1}{v_r^2} \frac{\partial v_r}{\partial T} \right) \quad (5.3)$$

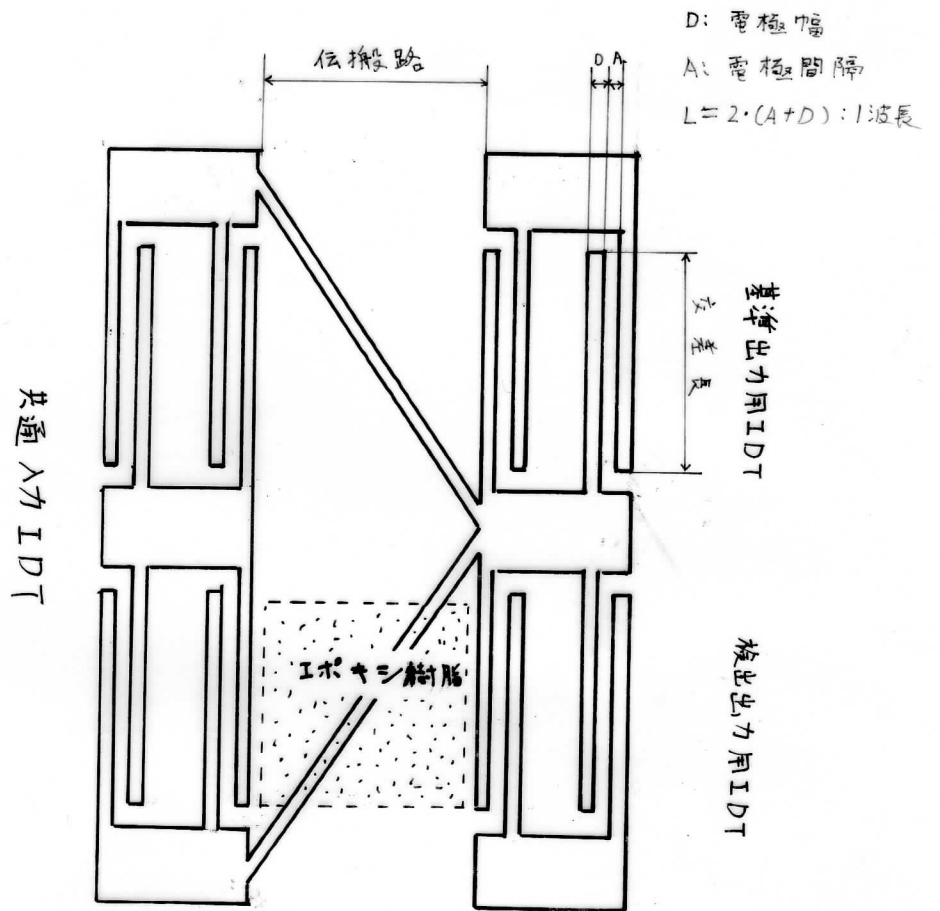


図5-1 湿度センサ用IDTの構成

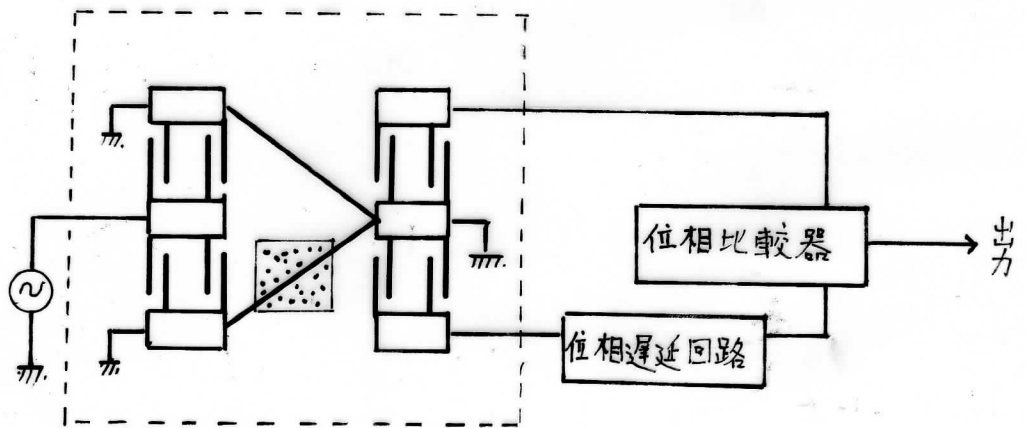


図5-2 SAW湿度センサの構成法

$$S_p = \frac{\partial \phi}{\partial P} = 2\pi f l \left( \frac{1}{v_s^2} \frac{\partial v_s}{\partial P} - \frac{1}{v_r^2} \frac{\partial v_r}{\partial P} \right) \quad (5.4)$$

したがって、湿度感度は  $f \cdot l$  積を大きくすることによって向上できる。逆に温度や圧力による誤差は 2 項の差となるため小さくなる。

これは 2 つの SAW 遅延線を差動動作させているためである。

図 5-2 に 実用的な湿度センサの構成を示す。遅延線はエポキシ樹脂塗布による位相の初期変差を補償するためのものである。