

平成 21 年 0 5 月 3 1 日現在

研究種目：基盤研究 (C)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560427  
 研究課題名 (和文) 分子テンプレート法による感応膜とその弾性表面波センサへの応用  
 研究課題名 (英文) Selective film by molecular template method and its application on surface acoustic wave sensor

研究代表者  
 野村徹 (NOMURA TOORU)  
 芝浦工業大学・工学部・教授  
 研究者番号：50052858

## 研究成果の概要：

SAW デバイスを利用したマルチチャンネルセンサの構成とそのガスセンシングへの応用について示す。化学特にガスセンサでは、複数のセンサの応答よりガスの識別を行う。本研究では、同一基板に複数の SAW 遅延線を並べ、入力には一個のドッグレッグ IDT を用いたセンサアレイによるガスセンシングについて提案した。このセンサアレイと増幅器による自励発振器を構成したセンサシステムでは、自動的に温度補償が行え、チャンネル間のクロストークも小さいことが分かった。また、ガスセンサに重要な感応膜の塗布に、簡易 LB 膜法を用いることにより、センサアレイの各チャンネルの微小な部分に正確に再現性よく塗布することができた。応用では、このセンサを有機ガスの識別に適用し、いくつかのサンプルガスに対し、ユニークな応答パターンを得た。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

## 研究分野：工学

科研費の分科・細目：計測工学

キーワード：センシングデバイス、感応膜、SAW センサ、SAW-ID、簡易 LB 膜

## 1. 研究開始当初の背景

弾性表面波 (Surface Acoustic Wave: SAW) デバイスは、現在テレビや携帯電話のフィルタをはじめ、広く電子デバイスとして利用されている。SAW デバイスは、一般に小型で丈夫、そして経時変化も小さく、一定の条件のもとでは外部からの湿度、ストレスそして電氣的等の外部の影響を受けないことが知られている。

一方 SAW の伝搬特性は、その伝搬面が大気にさらされている場合には、表面や表面近傍の環境により大きく影響される。このため SAW デバイスの重要な応用の 1 つに、われわれを取り巻く環境を測定するセンサがある。特に、有毒ガスの検知や液体の検査等に用いられる化学センサでは、その特徴を生かし、既に多くのものが研究し、開発されている<sup>(1),(2)</sup>。

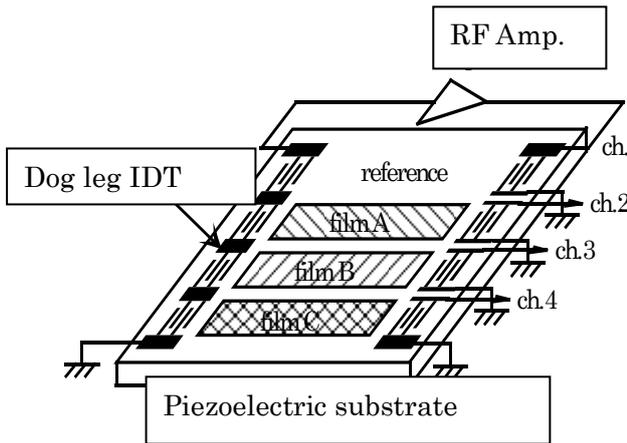
## 2. 研究の目的

SAW センサの特徴は、特に化学センサにおいては、同一基板の上に複数のチャンネルを設け、平面構造でセンサアレイが構成できることである。しかしながら、これまで示された SAW 化学センサで、このような特徴を生かしたモノリシックな集積化センサの例は少ない。これは SAW センサを構成するためのデバイスの配置や回路の構成等の具体的な方法が示されていないことによる。

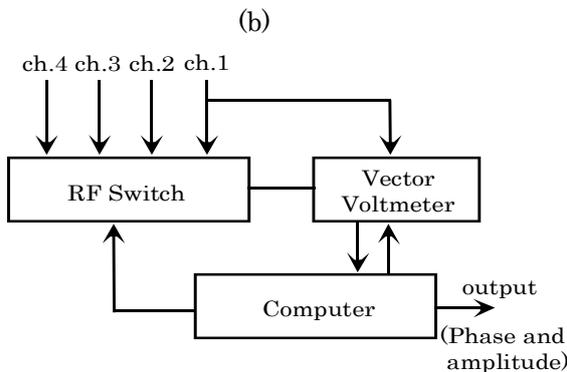
著者らは、先にこの討論会においてモノリシックな SAW センサを提案した<sup>(3)</sup>。ここでは、新たな回路構成による温度特性に優れたセンサアレイとその回路構成について示す。

## 3. 研究の方法

図 1 に SAW 遅延線による多チャンネルセンサとその回路構成を示す。(a) 図はマルチチャンネルのセンサとその帰還回路の構成を、(b) 図はこの度新たに付加したアナログスイッチを含む、処理用の回路の構成を示す。センサアレイは同じ構造の複数の遅延線と、1つの入力用の IDT と遅延線の数と同じ数の出力用の IDT で構成されている。



(a) モノリシック SAW センサアレイ



(b) 測定・制御回路の概略

図 1. センサの構造

入力 IDT はドックレッグ方式で、SAW を励振する各セクションは、それぞれのチャンネルを構成する遅延線の幅および出力 IDT の電極幅と同じになっている<sup>(4)</sup>。各チャンネルには、それぞれの目的に合わせて異なる感応膜を塗布するが、1つのチャンネルだけは参照用として何も塗付せずに置く。この参照用チャンネルに増幅器を接続し、帰還型の発振器とする。

## 動作

各チャンネルの入力 IDT は、ドックレッグ電極で結合されているため、参照チャンネルで発振した周波数で励振される。一方化学センサでは、これらチャンネルの導波路にはそれぞれ異なる感応膜が塗布されているため、各チャンネルを伝搬する SAW の速度および振幅は、感応膜に吸着した物質に応じて変化する。この変化は各出力 IDT により検出され、センサの応答として出力とされる。

ここでは、各チャンネルの出力はアナログスイッチの端子に入力され、パソコン (PC) によりチャンネルは選択され、参照用の出力とベクトルボルトメータ等により比較される。この変化分をセンサの応答とする。

## 4. 研究成果

図 1 に示す SAW センサアレイを、 $128^\circ$  YX LiNbO<sub>3</sub> 基板に製作し、その特性を調べた。センサアレイを構成するチャンネルの数は 4 個、長さは  $100\lambda$  ( $\lambda$  は SAW の波長)、中心周波数は 30MHz とした。また、入出力 IDT の対数は等しく 20 対とし、入力 IDT のドックレッグ電極の 1 セクションの交差幅と各出力 IDT の交差幅は、 $10\lambda$  とした。このとき各チャンネルは隣接チャンネルとのクロストークを考慮して、 $20\lambda$  の間隔をおいて配置した。

表 1. センサアレイの特性

Dogleg IDT の Impedance:	$44+j229 \Omega$
Crosstalk between ch. :	Infinite (very small) (In put: 0.31V)
Insertion loss:	$\approx 25 \text{ dB}$

表 1 に、センサを構成する遅延線の特性を示す。入力 IDT のドックレッグ電極の中心周波数におけるインピーダンスは、 $50 \Omega$  に近く、各チャンネルの挿入損失も、約 25dB で、交差幅が小さいにもかかわらず小さい。またチャンネル間のクロストークは非常に小さく、0.31v の入力に対して、その出力は測定できなかった。

## 温度特性

センサにとって温度特性は、性能を左右する大切な要素である。図2は、参照用チャンネルのSAW発振器の温度と周波数の関係を示す。特性は25°Cにおける発振周波数30MHzを基準にした温度に対する変化量を示す。図の直線の傾きより、発振器の周波数温度係数は約70ppmで、本圧電基板の温度係数は約73ppmにほぼ等しい。同じく図3は、入力IDTに標準発振器を接続し、入出力間の位相の温度変化に対する変化を示す。この場合も、位相の温度に対する依存性は強い。

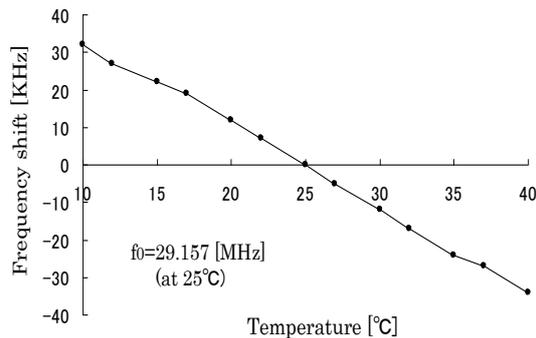


図2. 温度特性 (1)  
発振周波数の温度依存性

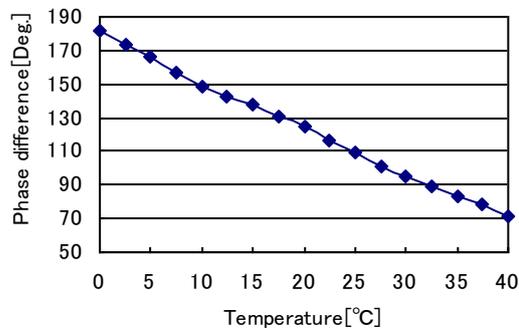


図3. 温度特性 (2)  
遅延位相の温度依存性

これにひきかえ、図3は、参照用チャンネルの発振出力を信号とし、各測定チャンネルの入出力間の位相の変化を測定したもので、広い温度範囲にわたり位相の変化はなく、良好な温度補償ができています。

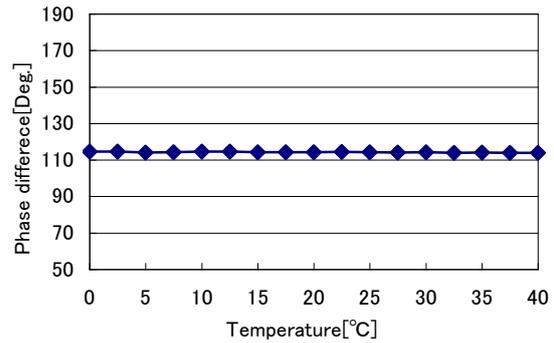


図4. 温度特性 (3)  
遅延位相に対する温度補償効果

## 化学センサへの応用

これまでの結果で本センサは、各々の特性が揃っており、温度特性も優れている。ここではセンサアレイによる有機ガスの検出に用いた。

### 感応膜の塗布

センサアレイのように一つの平面内に集積された各チャンネル (各センサ) 上に正確に異なる感応膜を塗布することは、非常に難しい。しかし再現性よいデータを得るには、この問題を解決しなければならない。本研究者は、先にこのような集積化センサのために有効な方法として、部分キャスト法を提案した<sup>(5),(6)</sup>。この方法は Langmer-Blogett (LB) 膜を塗布する方法を応用した方法で、単分子膜を微小部分に塗布するに優れた製膜方法である。ここでもこの方法を、各チャンネル上に感応膜を塗布するに利用した。

表2. Relative change of SAW response  
(arbitrary unit)

	Alcohol	Aldehyde	Keton	Ester
SQ	4.6	6.2	3.2	9.3
DMP	9.3	3.2	15.2	9.8
PIC	18.4	21.3	27.4	16.1

SQ: Squarilume

DMPE: Dimylstoyl phosphatidil ethanolamine

PIC: Polyion complex

## 応答特性

実験では、分子テンプレートの感応膜として、ジアルキル化合物であるポリイオンコンプレックス、リン脂質の Dimyristoyl phosphatidil ethanolamine、NOx 等の気体に対する感応膜として用いられる Squarilume の3つを用いた。またサンプルガスとして、炭素数が等しく（炭素数4）、極性基の異なる4つの有機溶媒（Alcohol, Ketone, Aldehyde, Ester）を用いた。

表2にサンプルガス（濃度は飽和）に対するセンサアレイの各チャンネルの位相の相対的な変化を示す。図5は、この値を3次元表示した。

図より各センサの出力パターンは、サンプルにより異なり、独自のパターンを示している。このことより、更にチャンネル数を増やせば、ガスの識別も可能になるものと思われる。

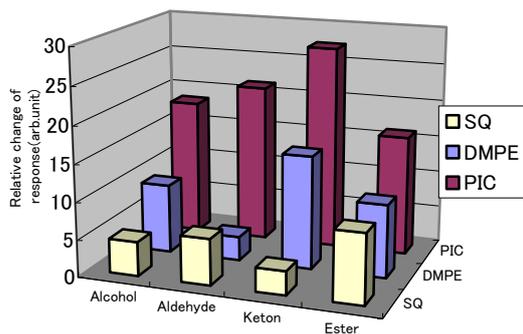


図5. 有機ガスに対する応答パターン

## 成果のまとめ

SAW デバイスを利用したマルチチャンネル SAW センサの構成とそのガスセンシングへの応用を示した。同一の圧電基板に複数の SAW 遅延線を並べ、遅延線の入力用の IDT にドッグレッグ方式を用いた方式では、周辺回路の簡略化ができ、出力特性の揃ったセンサアレイができることがわかった。またこのセンサアレイは、チャンネル間のクロストークも無く、特に温度補償特性に優れていることがわかった。また部分キャスト法を用いることにより、各チャンネルの微小な部分に正確に再現性よく感応膜を塗布することができた。

## 参考文献

- [1] H.Wohltjen, "Surface acoustic wave microsensor," Proc. 4<sup>th</sup> International Conference on Solid-state sensors and actuator, Tokyo, pp.471-480, 1987.
- [2] T.Nomura, A.Saitoh, W.Aratani, and S.Furuukawa, "Chemical sensor using monolithic surface acoustic wave device," Technical digest of the 11<sup>th</sup> international meeting on chemical sensors, July, Brescia, Italy, no.TO3.5#022, (2006).
- [3] 野村徹, 竹林正明, 安田力, "多チャンネル弾性表面波気相センサ," 音波の物性と化学討論会, pp.88-90, Oct.1994.
- [4] H.Matthews: Surface wave filters, Wiley-Interscience, Chap.3, pp.123-125, New York.
- [5] T.Moriizumi, A.Saitoh, and T.Nomura, "Partial casting method on water surface and preparation of multi-channel SAW chemical sensor", Mol. Cryst. Liq.Cryst., vol.247, pp.331-339, (1994).
- [6] A.Saitoh, T.Nomura, and T.Moriizumi, "Multi-channel SAW chemical sensor using 90MHz resonator and molecular films deposited by droplet-surface casting method", Mol. Cryst. Liq.Cryst., vol.267, pp.387-392, (1995).

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① T. Nomura, and A. Saitoh, "Wireless remote 2-D strain sensor using SAW delay line", Materials and Devices for Smart Systems III, (MRS Symposium Proceedings) Vol. 1129, Boston, (2008).
- ② T. Nomura, K. Nishida, A. Saitoh, and T. Mochizuki, "Methanol sensor using a surface acoustic wave, Proceedings of the 2008 IEEE International Frequency Control Symposium, Hawaii, pp. 526-531, 2008. 06.
- ③ T. Nomura, K. Kawasaki, and A. Saitoh, Wireless passive strain sensor based on surface acoustic wave devices, Sensors & Transducers Journal, Vol. 90, April 2008, pp. 61-71.
- ④ 野村徹, SAW デバイスによる二次元歪の測定, 超音波テクノ, Vol. 20, No. 3, pp. 72-75, 2008. 5-6.
- ⑤ T. Nomura, K. Koyama, A. Saitoh, Mass Flow Sensor Using Dual SAW Device, Proceedings of the 2007 IEEE International Frequency Control Symposium, Geneva, pp. 25-30, 2007. 05.

- ⑥ T. Nomura, K. Kawasaki, A. Saitoh, Two Dimensional Strain Sensor Using Surface Acoustic Wave Delay Lines, Proc. of the Second International Conference on Sensing Technology, New Zealand, pp.182-187, 2007. 12.

[学会発表] (計 14 件)

- ① 野村徹、齋藤敦史、簡易 LB 膜法による SAW センサの感応膜、電子情報通信学会総合大会 (愛媛大)、2009. 3.
- ② [招待講演] 野村徹、弾性表面波とセンサー聴こえない音を相棒に 30 年ー、電子情報通信学会超音波研究会技術報告 (日本電波工業 KK、東京) US2008-100, pp. 41-46, 2009. 2.
- ③ 野村徹、齋藤敦史、西田圭祐、望月隆義、燃料電池用 SAW メタノールセンサの開発、電子情報通信学会超音波研究会 (芝浦工大)、技術報告 US2008-24、pp. 11-16、2008. 07.
- ④ T. Nomura, A. Saitoh, Passive sensor system using reflective SAW delay line, 第 25 回センサ・マイクロマシンと応用システムシンポジウム, (沖縄 宜野湾市), 講演概要集 p. 125, 2008. 10.
- ⑤ [招待講演] 野村徹、齋藤敦史、RFID 機能を有するパッシブ型 SAW センサ、日本音響学会 (九州大)、2008 年秋季研究発表会講演論文集、II, p. 1083, 2008. 10.
- ⑥ T. Nomura, A. Saitoh, and K. Koyama, "Gas flow sensor using SAW delay line", 12<sup>th</sup> International Meeting on Chemical Sensors, (Columbus, USA) 2008, p. 99, 2008. 07.
- ⑦ T. Nomura, A. Saitoh, T. Mochizuki, Methanol sensor using surface acoustic wave resonator, 1<sup>st</sup> International Conference on Ultrasonic, (Vienna), 2007. 4.
- ⑧ 川崎幸一郎、野村徹、SAW デバイスによる二次元ひずみの測定、電子情報通信学会超音波研究会 (九州工大)、技術報告 US2007-3, pp. 11-15, 2007. 04
- ⑨ 野村徹、小山公一、齋藤敦史、弾性表面波による質量流量センサの開発、電子情報通信学会超音波研究会 (芝浦工大)、技術報告 US2007-24, pp. 7-12, 2007. 07.
- ⑩ 野村徹、川崎幸一郎、齋藤敦史、二次元 SAW ひずみセンサ、電子情報通信学会ソサイエティ大会 (鳥取大)、2007. 09.
- ⑪ [招待講演] 野村徹、齋藤敦史、超音波デバイスによる環境測定、応用物理学九州支部シンポジウム (九州工大)、低環境負

荷電子材料と環境デバイス、講演資料集、pp. 47-53, 2007 年 11 月 10 日.

- ⑫ 小野瀬康隆、野村徹、簡易 LB 膜と弾性表面波デバイス、第 28 回超音波エレクトロニクスシンポジウム (つくば市)、講演予稿集, pp. 67-68, pp. 67-68, 2007 年 11 月 14 日.
- ⑬ 野村徹、小山公一、齋藤敦史、SAW デバイスによる触覚センサの開発、電子情報通信学会総合大会 (北九州大)、2008. 03.
- ⑭ 小野瀬康隆、野村徹、齋藤敦史、簡易 LB 膜法によるマルチ薄膜とその SAW センサへの応用、日本音響学会 2008 年春季研究発表会 (千葉工大)、講演論文集、II, p. 1217, 2008, 03.

[図書] (計 0 件)

なし

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

なし

○取得状況 (計 0 件)

なし

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野村 徹 (NOMURA TOORU)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：50052858

(2) 研究分担者

齋藤敦史 (SAITOH ATUSHI)

芝浦工業大学・工学部・准教授

研究者番号：30280994

(3) 連携研究者

なし