

(様式第27)

05A49009c

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
平成18年度産業技術研究助成事業
研究成果報告書

弾性波式小型液相系センサの開発

平成19年6月

国立大学法人 静岡大学

近藤 淳

(様式第28)

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
産業技術研究助成事業 研究成果報告書概要(平成18年度)

作成年月日	平成19年6月30日
プロジェクトID	05A49009c
助成研究者の機関名	国立大学法人 静岡大学
助成研究者の部署・役職	創造科学技術大学院・准教授
助成研究者名 研究分担者名	近藤 淳
研究開発テーマ名	弾性波式小型液相系センサの開発
研究期間	平成17年7月1日～平成19年6月30日
研究の目的	ダイレクトメタノール燃料電池(DMFC)のメタノール濃度を検出する弾性表面波センサを開発すること。
成果の要旨 (平成18年度分)	<p>本年度は、主として横波型弾性表面波(SH-SAW)デバイス特性の改善とセンシングシステムの開発を行った。</p> <p>デバイス特性の改善目標は、位相ひずみおよび帯域内リップルの低減、低損失デバイスの実現である。これらすべての要求を満たすデバイスとして、SH-SAW送受信電極に一方向性電極(UDT)を採用した。その結果、問題点を解決することができた。さらに、液体計測においても従来型SH-SAWセンサより優れた特性を示すことが分かった。特に、周波数調整が不必要な点は実用化・製品化の観点から重要である。</p> <p>SAW発振回路(平成17年度内に検討開始)、センサ、検出回路から構成されるセンシングシステム、特に検出回路を開発し、メタノール水溶液の代わりにエタノール水溶液、グリセリン水溶液、塩化カリウム水溶液の測定を行った。その結果、開発したシステムは従来の大型計測系と置き換えて利用できることが明らかになった。すなわち、開発したセンシングシステムはDMFC用途以外にも様々な液体評価に用いることができることを明らかにした。</p>
成果の要旨 (平成17～18年度分)	<p>本プロジェクトはSH-SAWセンサを用いたDMFC用メタノールセンサを開発することである。SH-SAWセンサは液体の様々な物性値を検出することが可能である。それらの中で、どのパラメータを検出することが最適かどうかについて数値解析により調べた。その結果、誘電率検出がもっとも適していることが明らかになった。次に誘電率検出用SH-SAWセンサを用いて温度を変えながらメタノール水溶液の測定を行った結果、DMFCの動作温度帯で0.1重量パーセントの分解能でメタノール濃度を測定可能であることを明らかにした。また、電極反応により生じる蟻酸の影響を考慮にいれた混合溶液中のメタノール濃度推定法を提案した。また、センシングシステムの設計を行い、その基本的動作についての確認を行った。</p>

	<p>平成 17 年度の研究により SH-SAW センサを用いて DMFC のメタノール濃度測定が行えることが分かったので、平成 18 年度はセンサの改善およびセンシングシステム(特に検出回路)の開発に重点を置いた研究を行った。SH-SAW センサの特性改善として、一方向性電極を採用したところ、従来のセンサよりも優れた特性(位相ひずみの減少、帯域内リップルの減少、挿入損失の改善)が得られることが分かった。さらに、実際の測定においても周波数のチューニングが不要であり、製品化に適していることを明確にした。このセンサを開発した小型弾性表面波液体センシングシステムに組み込んで測定を行った。メタノールの代わりに用いたエタノール水溶液以外にもグリセリン水溶液、塩化カリウム水溶液の濃度測定が従来の大型計測系と同程度で行えた。このことは、開発したセンシングシステムはメタノール水溶液のみならず様々な液体評価に用いることができることを表している。</p>
<p>研究成果外部発表、特許等の状況</p>	<p>(1) 田伏祥平, 松井義和, 塩川祥子, 近藤 淳, “液相系弾性表面波を用いた混合溶液の評価 - 誘電体溶液に電解質が混合した場合 -,” 日本音響学会2006年秋期研究発表会, 講演論文集, 1-9-17, pp.871-872, 2006 .</p> <p>(2) J. Kondoh, S. Tabushi, Y. Matsui, S. Shiokawa, “Methanol Sensor for Direct Methanol Fuel Cell Using SH-SAW Sensor,” Proc. 2006 IEEE Ultrasonic Symposium, pp.1813-1816, 2006.</p> <p>(3) J. Kondoh, S. Tabushi, Y. Matsui, “Development of Methanol Sensor Using SH-SAW Sensor for Direct Methanol Fuel Cell,” Proc. of the 5th IEEE International Conference on Sensors, pp.839-842, 2006.</p> <p>(4) J. Kondoh, Y. Matsui, S. Shiokawa, “Methanol sensor using a shear horizontal surface acoustic wave (SH-SAW) device,” 4th Joint Meeting of ASA and ASJ, Abst., p.3068, 2006.</p> <p>(5) Jun Kondoh, “SH-SAW Sensor for Chemical Applications,” Proc. of Third International Symposium on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems, pp.37-41, 2007</p> <p>(6) 近藤淳, 沖山雄介, 三国聡, 谷津田博美, 奈良誠, “一方向性IDTを用いた弾性表面波センサによる液体計測,” 第55回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p.458, 2007 .</p> <p>(7) 近藤淳, 沖山雄介, 三国聡, 森田武, 松井義和, 谷津田博美, 奈良誠, “液相系弾性表面波センサの実用化に向けた検討,” 電子情報通信学会超音波研究会, 技術報告US2007-2, 2007 .</p> <p>(8) J. Kondoh, Y. Okiyama, S. Mikuni, Y. Matsui, H. Yatsuda, M. Nara, “Development of SH-SAW Sensing System for Liquids,” Proc. of IEEE FCS'07, 2007 [in press].</p> <p>特許の状況</p> <p>静岡大学知財本部には平成 17 年 12 月に発明届けを提出済み。しかし、これまで(本プロジェクト開始以前)の学会発表との関連で特許の観点からの新規性について問題がありペンディング中。</p>
<p>今後の展望</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ DMFC に組み込めるようにセンサならびにセンシングシステムの小型化。 ・ パソコンなしでメタノール濃度を推定できるプログラムを内蔵した制御装置の開発。

	<ul style="list-style-type: none">・ 様々な液体の評価が行えるセンサシステムの確立（密度粘度積，誘電率，導電率，粘弾性特性など）
--	---

（注）用紙の大きさは、日本工業規格A列4判とすること。

(様式第 2 9)

Abstract of Technical Report of Industrial Technology Research Grant Program in FY2006

Date of Preparation	June 30, 2007
Project ID Number	05A49009c
Name of Organization	Shizuoka University
Post of the Research Coordinator	Graduate School of Science and Technology
Name of the Research Coordinator Names of the Member	Jun Kondoh
Title of the Project	Development of Liquid-Phase Sensing System Using Acoustic Wave Devices
Duration of the Project	July 1, 2005 ~ June 30, 2007
Purpose of the Project	Development of methanol sensor for direct methanol fuel cell
Summary of the Results (FY2006)	<p>Aims of this year are improvement of a shear horizontal surface acoustic wave (SH-SAW) sensor and development of sensing system. To improve device properties, a floating electrode unidirectional transducer (FEUDT) is used. Phase distortion, ripple in main frequency response are decreased by using the FEUDT. Also, low loss sensor is realized. Comparisons it with a SH-SAW sensor with a conventional interdigital transducer (IDT) are carried out. The SH-SAW sensor with FEUDT has constant sensor responses vs. frequency. This means that the frequency tuning is not necessary for the SH-SAW sensor with the FEUDT. It is important advantage to use FEUDT</p> <p>The developed sensing system consists of a SAW signal generator, SAW sensor, and detecting circuit. As the SAW signal generator has been developed from 2005, in 2006 we have mainly developed detection part. Using the developed system, several solutions, such as ethanol in place of methanol, glycerol, and potassium chloride aqueous solutions. The obtained results were compared with a conventional sensing system. The results indicate that the previous measurement system is replaced by the developed system. Moreover, obtained results suggest that the developed system can be used as a liquid characterization system.</p>

<p>Summary of the Results (FY2005 – FY2006)</p>	<p>The goal of this project is to develop a methanol sensor for DMFC. A shear horizontal surface acoustic wave (SH-SAW) sensor is used for the purpose. The SH-SAW sensor can detect several properties of liquid, so we started our project to calculate best target for detection. Based on numerical calculation results, we decided to detect relative permittivity of methanol solutions. Then we measured methanol solution using the SH-SAW sensor at different temperature. The results show that resolving power of the SH-SAW sensor is approximately 0.1 % by weight at 50 °C. During electrode reaction of DMFC, formic acid is produced. As the sensor responses are influenced by formic acid, estimation method of methanol concentration in methanol and formic acid binary-mixture solution.</p> <p>To realize a SH-SAW sensing system, stable and low loss SH-SAW device fabrication is required. To improve phase distortion, ripple in frequency response and insertion loss, a floating electrode unidirectional transducer (FEUDT) is applied. The SH-SAW sensor with FEUDT is compared with the SH-SAW sensor with a conventional interdigital transducer (IDT). By using the FEUDT, phase distortion and ripple are reduced, and low loss sensor is fabricated. Moreover, the SH-SAW sensor with FEUDT has constant sensor responses vs. frequency. This means that the frequency tuning is not necessary for the SH-SAW sensor with the FEUDT. It is most important advantage to use FEUDT.</p> <p>The SH-SAW liquid sensing system is developed. The system consists of SAW signal generator, SH-SAW sensor, and detection circuit. Using the system, several liquids are measured. The results are compared with a conventional sensing system. The results from the developed system agree with the conventional one. Therefore, the developed system can be used not only methanol sensor of DMFC, but also liquid characterization system.</p>
<p>Publication, Patents, etc.</p>	<p>(1) S. Tabushi, Y. Matsui, S. Shiokawa, J. Kondoh, "Evaluation of mixture solutions using SH-SAW sensor – in the case of adding electrolyte to dielectric liquid," Proc. Autumn Meeting, Acoustical Society of Japan, 1-9-17, pp.871-872, 2006.</p> <p>(2) J. Kondoh, S. Tabushi, Y. Matsui, S. Shiokawa, "Methanol Sensor for Direct Methanol Fuel Cell Using SH-SAW Sensor," Proc. 2006 IEEE Ultrasonic Symposium, pp.1813-1816, 2006.</p> <p>(3) J. Kondoh, S. Tabushi, Y. Matsui, "Development of Methanol Sensor Using SH-SAW Sensor for Direct</p>

	<p>Methanol Fuel Cell,” Proc. of the 5th IEEE International Conference on Sensors, pp.839-842, 2006.</p> <p>(4) J. Kondoh, Y. Matsui, S. Shiokawa, “Methanol sensor using a shear horizontal surface acoustic wave (SH-SAW) device,” 4th Join Meeting of ASA and ASJ, Abst., p.3068, 2006.</p> <p>(5) Jun Kondoh, “SH-SAW Sensor for Chemical Applications,” Proc. of Third International Symposium on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems, pp.37-41, 2007</p> <p>(6) J. Kondoh, S. Mikuni, Y. Okiyama, H. Yatsuda , M. Nara , “Measurements of liquid properties using surface acoustic wave sensor with unidirectional IDT ,” Extended Abstracts of the 54th Spring Meeting, The Japan Society of Applied Physics and Related Societies , p.458, 2007 .</p> <p>(7) J. Kondoh, Y. Okiyama, S. Mikuni, T. Morita, Y. Matsui, H. Yatsuda , M. Nara , “Study on liquid-phase surface acoustic wave sensors for practical applications ,” Tech. Report of IEICE, US2007-2 , 2007 .</p> <p>(8) J. Kondoh, Y. Okiyama, S. Mikuni, Y. Matsui, H. Yatsuda, M. Nara, “Development of SH-SAW Sensing System for Liquids,” Proc. of IEEE FCS'07, 2007 [in press].</p> <p>Patent Pending.</p>
<p>Future Plans</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Miniaturization of the developed system to incorporate into the DMFC. • To develop a control device for monitoring methanol concentration without an external PC. • Establishment of liquid characterization (density and viscosity product, relative permittivity, conductivity, and viscoelastic property).

(注) 用紙の大きさは、日本工業規格A列4判とすること。

- ・ プロジェクト ID 番号 05A49009c

- ・ 研究期間 平成 17 年 7 月 1 日～平成 19 年 6 月 30 日

- ・ 研究開発テーマ名 弾性波式小型液相系センサの開発

- ・ 助成研究者名と所属研究機関名 近藤 淳（静岡大学創造科学技術大学院）
 j-kondoh@sys.eng.shizuoka.ac.jp

はじめに

横波型弾性表面波（SH-SAW）を用いると、液体の様々な物性値を同時に検出することができる。特に、36 度回転 Y 板 X 伝搬 LiTaO₃（36YX-LiTaO₃）を伝搬する SH-SAW を用いると、密度粘度積に加え、誘電率や導電率を高感度検出可能である^[1]。ところで、環境問題、エネルギー問題の観点から、燃料電池に関する研究が盛んである^[2]。本プロジェクトは、SH-SAW センサの特徴を生かし、メタノール型燃料電池（DMFC）用のメタノールセンサを開発することである。平成 17 年度の研究成果により、DMFC の動作温度を考慮すると、メタノール水溶液の密度粘度積検出よりも誘電率検出の方が向いていることを数値解析により明らかにし、実験により確認した。得られた測定結果より、50 度以上の環境で 0.1 重量%の分解能でメタノール水溶液を評価できることを示した^[3]。また、電極反応で生じる蟻酸の影響を考慮したメタノール濃度推定方法についても確立した^[4]。

弾性波センサの代表的なセンシング方式を 2 種類示す。一方は図 1 に示すように位相を固定して周波数変化を読み取る方法、他方は図 2 に示すように周波数を固定して位相変化を読み取る方法である^[5]。図 1、2 は周波数特性にリップルがなく、また位相特性は線形となっている。しかし、位相ひずみが生じた場合（図 3）、固定する位相又は周波数により変化量が異なる。例えば、Reibelらは SAW ガスセンサにおける位相ひずみの影響について報告している^[6]。したがって、位相ひずみをなくすることは、センサの精度を上げるために必要不可欠であり、弾性波センサ研究者の共通課題である^[7]。筆者等は、従来の研究では、図 4 に示すセンサを用いてきた^[8]。このデバイスの周波数ならびに位相特性を図 5 に示す。帯域内に多少リップルが生じている。しかし、位相の線形性が得られている。ところが、図 4 に示すセンサの場合、センサ交換が不可能、作成工程が複雑で手作業などの欠点がある。このため、研究室での利用に限られ、製品化には向かない。そこ

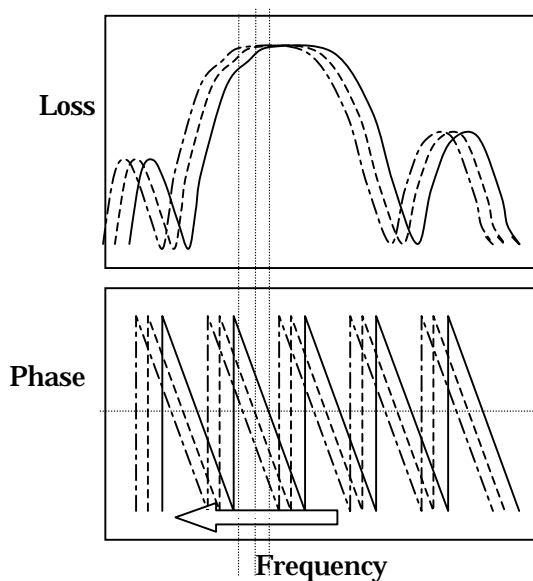


図 1 位相を固定して周波数変化を検出する SAW センサの検出原理。

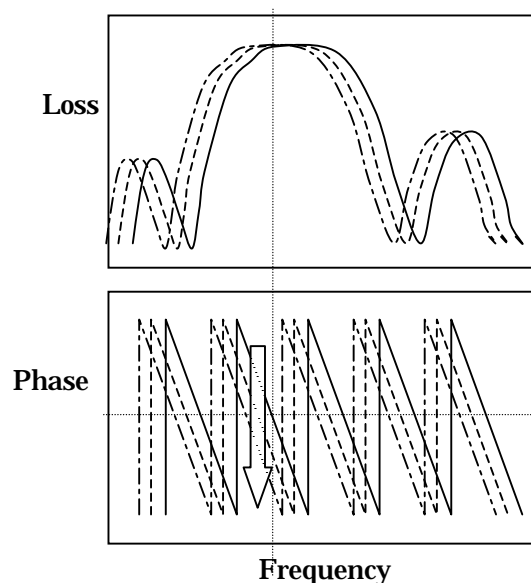


図 2 周波数を固定して位相変化を検出する SAW センサの検出原理。

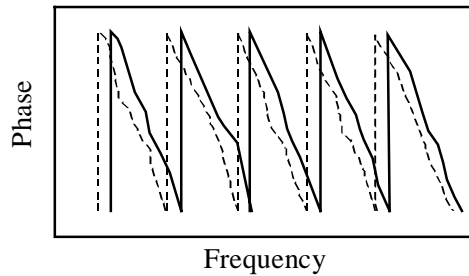


図3 位相ひずみの例．実線：摂動前，破線：摂動後．

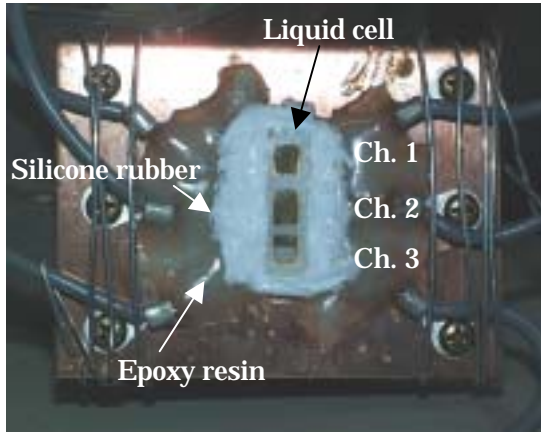


図4 従来用いていた SH-SAW センサ．

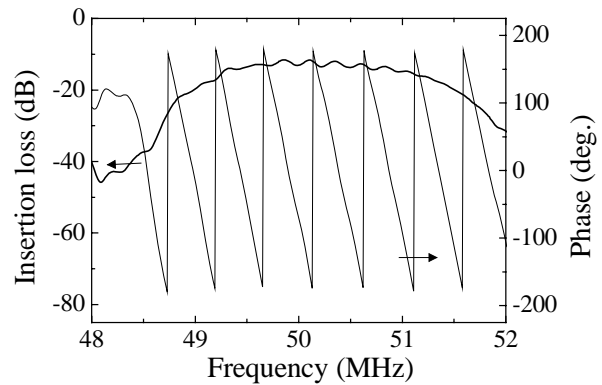


図5 従来用いていた SH-SAW センサの特性．

で、本年度は、SH-SAW デバイスの特性改善とセンシングシステムの開発を主眼として研究を行った。圧電結晶である 36YX-LiTaO₃ 上で SH-SAW を送受するため、浮き電極による反射を利用した一方方向性電極 (floating electrode unidirectional transducer, FEUDT)⁹⁾ を採用した。36YX-LiTaO₃ 上で FEUDT を用いた報告例はないので、初めに方向性の確認を行った。次に、FEUDT、ならびに従来用いていたすだれ状電極 (interdigital transducer, IDT) を電極とする SH-SAW センサの比較を行った。最後に、開発したセンシングシステムに SH-SAW センサを組み込んで実験を行った。

研究開発の内容

2-1 36YX-LiTaO₃ 上の FEUDT 基礎特性

図6にFEUDTの構造を示す。開放と短絡の浮き電極での反射により、右方向への方向性を実現している。FEUDTの両側に正規型IDTを配置して、ネットワークアナライザにより方向性の確認を行った結果を図7に示す。図よりメインローブ中央で方向性が確認できる。すなわち、36YX-LiTaO₃ においても方向性を生じるといえる。なお、本測定ではマッチング回路を用いていないため、挿入損失は大きい。

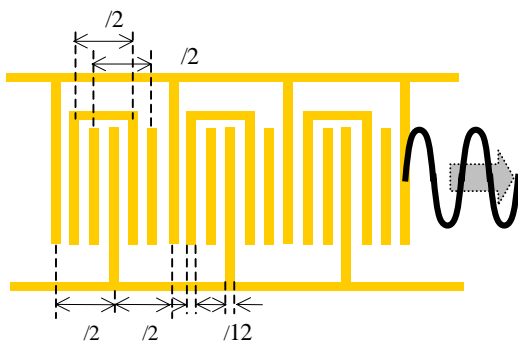


図6 FEUDT の構造。($\lambda/2$: SH-SAW の波長)

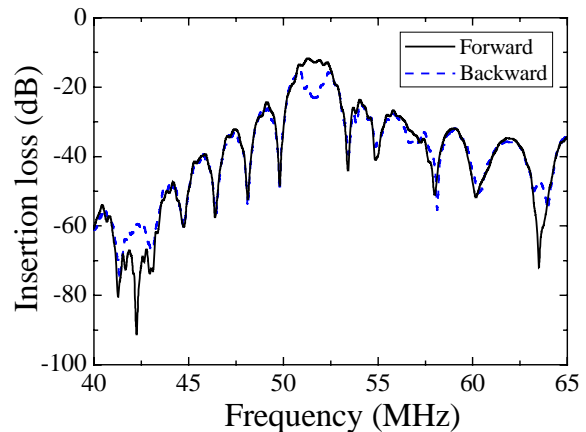


図7 FEUDT の方向性確認実験結果．

2-2 FEUDT と IDT の比較

2-2-1 センサ構成と測定系

測定には 2 チャンネルの SH-SAW センサを用いた(図 8 参照). 伝搬面をセンシング面とし, 一方が短絡, 他方が開放とした. 短絡側のチャンネルを用いると液体の密度粘度積を求めることができる. 開放側では, SH-SAW は液体の密度粘度積に加え, 誘電率や導電率の影響を受ける. そこで, 開放側出力信号と短絡側出力信号の差動をとることにより, 誘電率や導電率のみを得ることができる. IDT または FEUDT を持つ SH-SAW センサの測定にはネットワークアナライザ (Agilent E4991A) を用いた. 図 8 は測定系であり, 伝搬面にシリコンシートで作成したプール (Liquid cell) を装着して実験を行った .

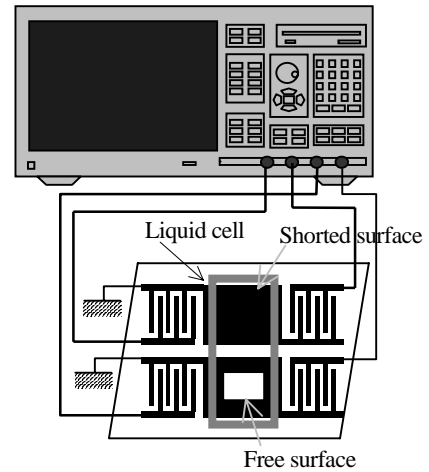


図 8 測定系 .

2-2-2 基礎特性の比較

伝搬面が短絡の場合の測定結果を図 9 に示す . IDT を用いた SH-SAW センサと比べると , FEUDT を利用することによりリップルの低減, 損失の改善, 位相ひずみの低減が実現できている . 伝搬面開放の場合は純水負荷で比較を行った . 結果を図 10 に示す . 位相ひずみは , 短絡同様に FEUDT を用いた方が小さいことが分かる . 基礎特性の比較により , FEUDT を電極として用いた SH-SAW センサは IDT を用いるよりも優れているといえる .

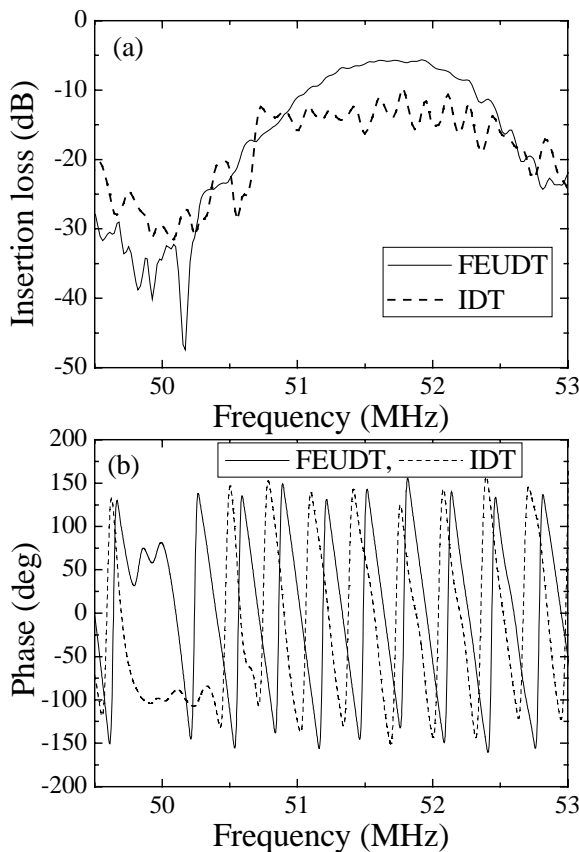


図 9 FEUDT および IDT を用いた SAW センサの比較 . 伝搬面は短絡 . (a) 挿入損失 , (b) 位相 .

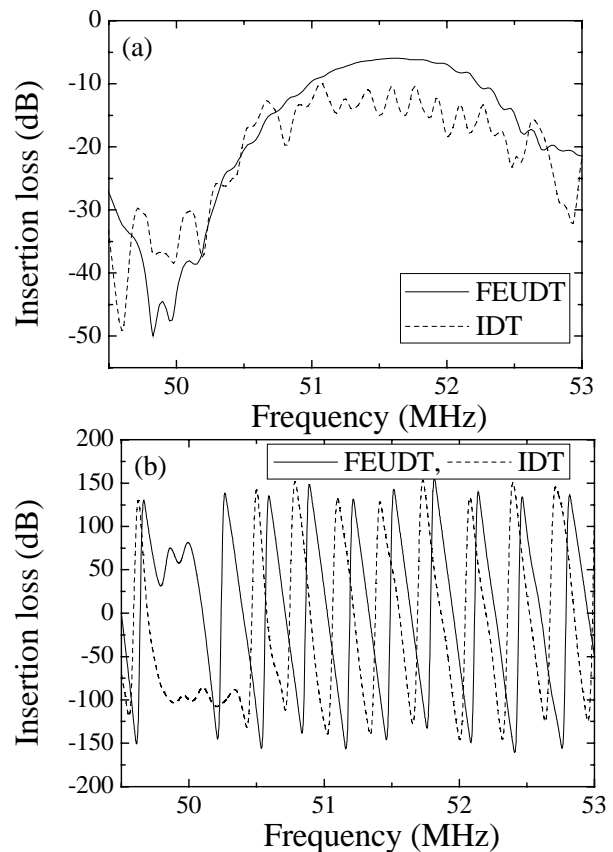


図 10 FEUDT および IDT を用いた SAW センサの比較 . 伝搬面は開放 , 純水負荷時 . (a) 挿入損失 , (b) 位相

2-2-3 液体計測の比較

液体計測に対する 2 種類の SH-SAW センサの比較実験を行った . 試料としてはメタノール水溶

液を用いるべきである。しかし、安全性の観点から本研究ではエタノール水溶液を用いた。なお、エタノール水溶液以外にもグリセリン水溶液や KC1 水溶液の測定も行っている。センサ表面に試料を負荷し、ネットワークアナライザを用いて挿入損失と位相の測定を行った。実際の測定では基準液体との位相差と振幅比を検出している。そこで、試料に対する測定値と基準液体（蒸留水）の測定値を用いて振幅比と位相差を求めた。

測定結果を図 11, 12 に示す。濃度増加により位相差は増加することが分かる。これは濃度増加により比誘電率が減少しているためであり、厳密解や摂動解と一致している^[1]。一方、振幅比は導電率が 0 と見なせる場合、理論では変化しない。しかし、FEUDT の場合、濃度が 60% 以上になると変化が生じていることが分かる。この原因は、surface skimming bulk wave (SSBW) の影響が無視できなくなったためと考えている。IDT を用いた場合も同様の傾向がある。しかし、変動が大きい。図 11, 12 の比較で重要なことは、周波数に対するセンサ応答の変動である。IDT を用いた場合、周波数によってセンサ応答が大きく異なる。一方、FEUDT を用いた場合、周波数に対してセンサ応答が一定と見なせる範囲がある。すなわち、IDT を用いたセンサの場合、設定周波数によってセンサ出力が異なる。この場合、センサ交換のたびに周波数調整が必要となる。これに対し、FEUDT の場合は周波数調整が必要でない。したがって、実用化を考えた場合、SH-SAW 送受信に FEUDT を用いた方がよい。センサ応用の観点から一方向性電極の利点を明確にしたのは本研究が初めてである。

FEUDT を用いることにより、位相ひずみ、帯域内リップルが低減され、また低損失センサが実現できる。さらに、センサ応答が一定となる周波数領域が存在する。これらのことを総合的に評価すると、液相系センサ用電極として FEUDT が最適であるといえる。

2-3 開発した測定回路を用いた測定

先述したように、弾性波センサの測定法には周波数を検出する場合と位相を検出する場合の 2通りある。周波数を検出する場合、弾性波センサを発振回路に組み込み、発振周波数変化を検出

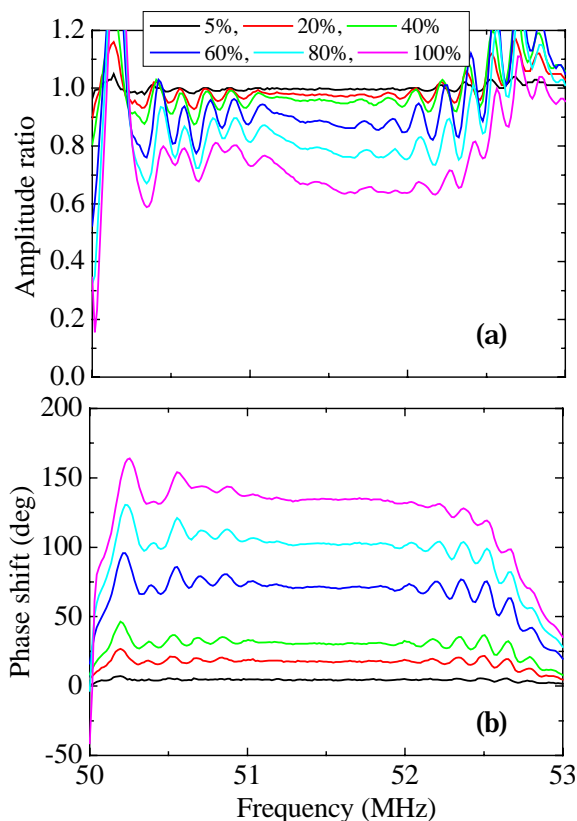


図 11 FEUDT を用いたときのエタノール水溶液の蒸留水に対する (a) 振幅比と (b) 位相差。伝搬面は開放。

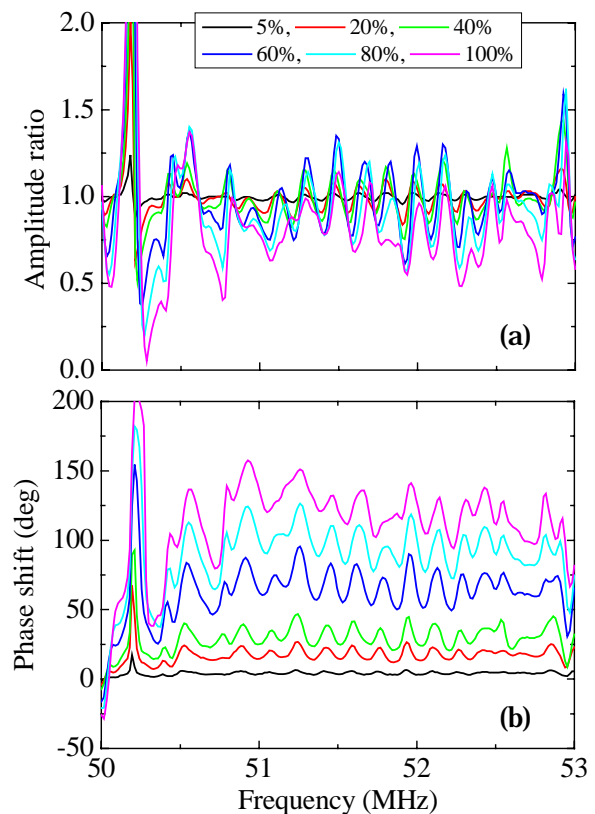


図 12 IDT を用いたときのエタノール水溶液の蒸留水に対する (a) 振幅比と (b) 位相差。伝搬面は開放。

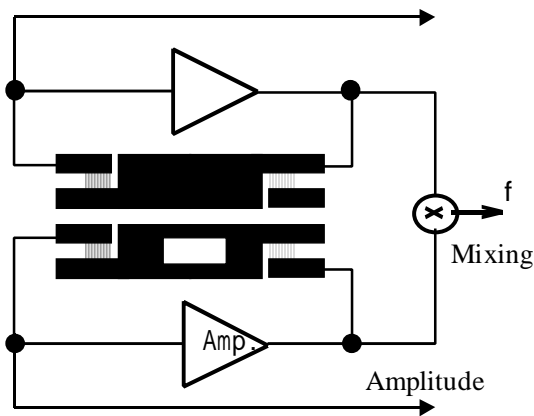


図 13 発振回路を用いた測定系 .

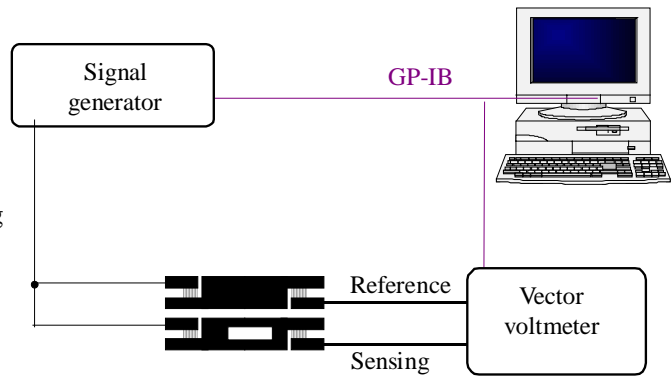


図 14 標準信号発生器，ベクトル電圧計から構成される測定系 .

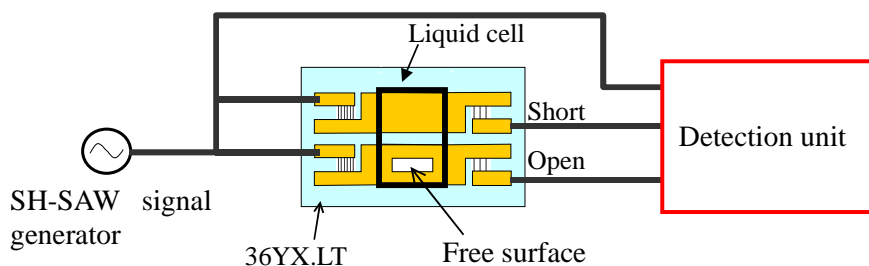
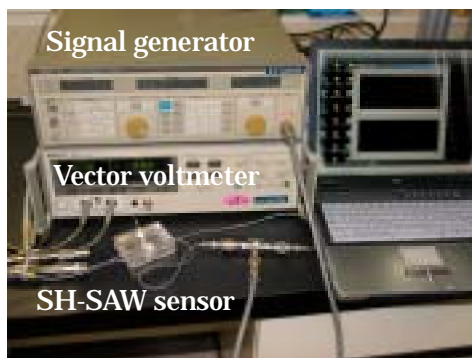


図 15 開発した弾性表面波式小型液相系センサの構成図 .

する (図 13). この回路構成は容易であり, 広く利用されている. しかし, 液体負荷による SAW センサ自身のインピーダンス変化が外部回路にも影響を及ぼす. したがって, 出力信号にはセンサにおける変化と回路定数の変化両方が含まれ, 両者を分離することは困難である. これに対し, 位相検出の場合, センサ上で生じる位相変化のみ検出可能である. 位相検出は, ネットワークアナライザ利用 (図 8) や標準信号発生器とベクトル電圧計の利用 (図 14) で実行できる. しかし, これらの測定装置は大型かつ高価である. 本研究目的である DMFC 用メタノールセンサ実現には小型なセンシングシステムが必要となる. 筆者等は以前に位相検出に基づくセンシングシステムの提案を行った^[10]. しかし, 計測方式が複雑で実用化には至らなかった. 本研究でも基本概念は文献[10]同様, 標準信号発生器とベクトル電圧計の小型化を目指して開発を行った. センシングシステムの構成を図 15 に示す. 標準信号発生器を SAW 共振子で構成される発振回路に置き換え, 位相検出は乗算器 + LPF で実現した. また, 検波回路を用いてセンサ出力信号振幅の計測を行えるようになっている. 実際に用いたセンサは 36YX-LiTaO₃ 上に図 8 に示し 2 組の SH-SAW センサに加え SAW 共振子を並列に配置している. このように同一基板上に配置したのは, 基板が温度変化してもセンサ出力にはその影響が現れないようにするためである^[10]. SH-SAW センサの電極には FEUDT を用いている. 図 16 (a) は標準信号発生器とベクトル電圧計を用いた測定系, (b) は開発したシステムであり, (a) と同機能の計測が行える. 本システムを用いてエタノール水溶液の測定を行った結果を図 17 に示す. 測定では, センサ表面に設けたプールに液体に蒸留水 (図中期号 W), またはエタノール水溶液 (同 E, 数字は濃度) を表している. 図より, 誘電率検出可能な開放側のセンサ出力 (位相) が液体の濃度に依存して変化していることが分かる.

考察

SAW センサの位相特性改善のためには, 一般的にはダブル電極構造が用いられている. ダブル電極を用いることにより送受電極間で生じる反射 (TTE) が抑圧できる. しかし, 本研究では低



(a)



(b)

図 16 (a) 標準信号発生器, SH-SAW センサ, ベクトル電圧計から構成される従来の計測システム。(b) 本プロジェクトにより開発した計測システム。

損失デバイスを実現するため, FEUDT を採用することにした。他グループの SAW センサでは, 挿入損失が-30dB 程度のもので利用されている。しかし, このような高損失デバイスを利用した場合, 入力信号をある程度大きくしなければ検出が困難である。すなわち, 回路での消費電力が高くなる。低損失デバイス実現手法は, 信号処理用 SAW デバイス分野で様々提案されている。これらとセンサを組み合わせることが弾性波センサ実用化のためには重要であると考えている。筆者らが用いている 36YX-LiTaO₃ 上への FEUDT 適用例は, これまでほとんど

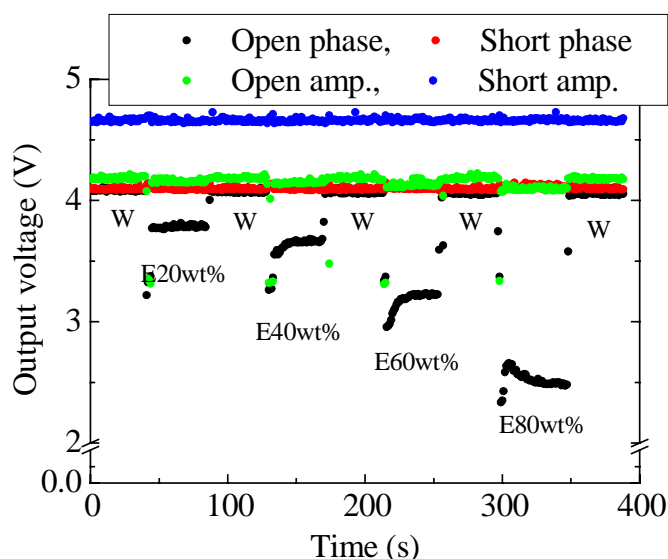


図 17 開発したシステムを用いた測定結果。

なされていない。本研究では, 従来型の IDT における交差幅や対数を変更することなしで FEUDT に置き換えた。結果として方向性が生じ, 予想した以上に特性の良いセンサが実現できた。SAW センサに一方向性電極を適用し, その効果について比較検討した例は筆者の知る限りない。今後はセンサの立場から FEUDT の最適化を行う必要がある。

特性の良いセンサができてセンシングシステムができなければ実用化は困難である。そこで, SAW 発振回路, センサ, 検出回路から構成されるシステムを開発した。信号発生器に SAW 発振回路を利用することは筆者らの研究グループのオリジナル技術である。検出回路からの出力信号である位相と振幅を AD 変換によりパソコンに取り込めば, パソコン上で様々な処理が可能となる。このため, センサ応答から液体の物性値を求める手法の確立が必要である。筆者らはすでに摂動法を基にしたセンサ感度式を導出している。センサ感度指揮の直接利用, またはセンサ感度式より得られた値を初期値とする逆問題手法の開発により, 実時間で液体の様々な物性値を評価可能となる。一方, 本プロジェクトの目標である DMFC 用メタノールセンサの場合, DMFC 内にセンサを組み込む必要がある。このため, センサの小型化は必要不可欠である。さらに, データ処理にパソコンを用いることは現実的ではない。そこで, PIC マイコンの適用を考えている。センサ応答からメタノール濃度を推定するプログラムを組み込むことにより, 濃度制御を行うことが必要である。このシステムを実現することがこれからの課題である。

まとめ

本年度は、弾性波式小形液相系センサの開発に重点をおいて研究を行った。FEUDT を電極に採用することにより、特性の優れた SH-SAW センサが実現できた。特に、センサ出力が周波数に対して一定となる領域が存在することは、周波数のチューニングが容易になることを意味している。製品化の観点から考えると、センサ交換のたびに励振周波数の調整が不要であることは、「使いやすいシステム」であるといえる。周波数調整不要であることは、従来の IDT を用いたセンサでは不可能なことであり、本研究により採用した FEUDT をもつ SH-SAW センサの利点であるといえる。小形 SH-SAW センシングシステムの開発により、可搬可能な弾性表面波センシングシステムを構築することができた。

今後の展望

開発した弾性表面波液体計測システムを用いたメタノール濃度評価を行うことが今後の課題である。このためには、「メタノール濃度を自動的に求めるアルゴリズムの確立、測定システムの低消費電力化、様々な液体の物性値が同時に評価できるセンサシステムの確立」が大きな課題である。については、これまでの研究で培われた知識、平成 17 年度の研究成果を生かす。

については共同研究をしている企業とともに実現を目指す。DMFC 用メタノールセンサの場合、DMFC から電源供給が可能である。しかし、低消費電力化をしないと DMFC 出力の大半をセンサで利用することになる。また、様々な液体を測定できる本センサの特長を生かし、環境計測などその場での計測システムに応用するには、低消費電力化は欠かすことができない。は本研究で開発したシステムの汎用性を高めるためにも重要である。平成 19 年度は主としてこれらの 3 点を研究目標として開発を遂行する。

謝辞

本研究を行うにあたり、研究に協力していただいた研究室学生、特に沖山雄介君、議論に参加していただいた静岡大学電子工学研究所杉本光範博士に深謝する。また、学会発表に際し、数多くのご助言をいただいた先生方に感謝する。

・引用文献

- [1] 近藤淳, 塩川祥子, “SH-SAW デバイスを用いた溶液系センサ,” 電子情報通信学会論文誌 C-II, Vol. J75-C-II, No.5, pp.224-234, 1992.
- [2] J. Laemine *et al*, 解説 燃料電池システム, オーム社, 東京, 2004.
- [3] J. Kondoh, S. Tabushi, Y. Matsui, S. Shiokawa, “Methanol Sensor for Direct Methanol Fuel Cell Using SH-SAW Sensor,” Proc. 2006 IEEE Ultrasonic Symposium, pp.1813-1816, 2006.
- [4] 田伏祥平, 松井義和, 塩川祥子, 近藤 淳, “液相系弾性表面波を用いた混合溶液の評価 - 誘電体溶液に電解質が混合した場合 -,” 日本音響学会 2006 年秋期研究発表会, 講演論文集, 1-9-17, pp.871-872, 2006.
- [5] D. S. Ballantine, et al., “Acoustic Wave Sensors, Theory, Design, and Physico-Chemical Applications,” Academic Press, 1997.
- [6] J. Reibel, et al., “Influence of Phase Position on the Performance of Chemical Sensors Based on SAW Device Oscillators,” Anal. Chem., 70, pp.5190-5197, 1998.
- [7] F. Josse, “Piezoelectric Sensors as Electronic/Electrical Device,” TimeNav'07 Tutorial, TimeNav'07, 2007.
- [8] J. Kondoh, et al., “Simultaneous Measurements of Liquid Properties Using Multichannel Shear Horizontal Surface Acoustic Wave Microsensor,” Jpn. J. Appl. Phys., 35 (5B),

3093-3096, May 1996.

- [9] K. Yamanouchi, H. Furuyashiki, "New low-loss SAW filter using internal floating electrode reflection types of single-phase unidirectional transducer," *Electron. Lett.* 20, pp.989-990, 1984.
- [10] 羽藤逸文, 近藤 淳, 塩川祥子, "SAW 発振器一体型 SAW センサシステムの開発," 電子情報通信学会超音波研究会, 技術報告, pp.7-12, 2003 .

・キーワード

弾性表面波, DMFC 用メタノールセンサ, 液相系センサ, 浮き電極を持つ一方向性電極, 液体計測システム

・研究成果外部発表等

・ 研究成果外部発表等

- (1) 田伏祥平, 松井義和, 塩川祥子, 近藤 淳, "液相系弾性表面波を用いた混合溶液の評価 - 誘電体溶液に電解質が混合した場合 - ," 日本音響学会2006年秋期研究発表会, 講演論文集, 1-9-17, pp.871-872, 2006 .
- (2) J. Kondoh, S. Tabushi, Y. Matsui, S. Shiokawa, "Methanol Sensor for Direct Methanol Fuel Cell Using SH-SAW Sensor," *Proc. 2006 IEEE Ultrasonic Symposium*, pp.1813-1816, 2006.
- (3) J. Kondoh, S. Tabushi, Y. Matsui, "Development of Methanol Sensor Using SH-SAW Sensor for Direct Methanol Fuel Cell," *Proc. of the 5th IEEE International Conference on Sensors*, pp.839-842, 2006.
- (4) J. Kondoh, Y. Matsui, S. Shiokawa, "Methanol sensor using a shear horizontal surface acoustic wave (SH-SAW) device," 4th Join Meeting of ASA and ASJ, Abst., p.3068, 2006.
- (5) Jun Kondoh, "SH-SAW Sensor for Chemical Applications," *Proc. of Third International Symposium on Acoustic Wave Devices for Future Mobile Communication Systems*, pp.37-41, 2007
- (6) 近藤淳, 沖山雄介, 三国聡, 谷津田博美, 奈良誠, "一方向性IDTを用いた弾性表面波センサによる液体計測," 第55回応用物理学関係連合講演会講演予稿集, p.458, 2007 .
- (7) 近藤淳, 沖山雄介, 三国聡, 森田武, 谷津田博美, 奈良誠, "液相系弾性表面波センサの実用化に向けた検討," 電子情報通信学会超音波研究会, 技術報告US2007-2, 2007 .
- (8) J. Kondoh, Y. Okiyama, S. Mikuni, Y. Matsui, H. Yatsuda, M. Nara, "Development of SH-SAW Sensing System for Liquids," *Proc. of IEEE FCS'07*, 2007 [in press].

・ 特許等

なし