

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 15 日現在

機関番号：32613

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560342

研究課題名（和文） センサネットワークに導入可能な低損失弾性表面波センサ装置の研究

研究課題名（英文） Study on low-loss surface acoustic wave sensor installed in sensor network

研究代表者

疋田 光孝 (HIKITA MITSUTAKA)

工学院大学・グローバルエンジニアリング学部・教授

研究者番号：00407157

研究成果の概要（和文）：

病室などの臭いや将来の燃料電池自動車の水素漏洩等をセンシングする弾性表面波(SAW: Surface Acoustic Wave)センサをセンサネットワークの一部として導入可能にする研究を行った。-40～80℃で動作するガレージ内使用等では、自己温度補償機能は必須である。また、電池1ケで2～3年動作するセンサネットワークのセンサノードへ弾性表面波センサを搭載するには、センサ部の損失は極限まで低減する必要がある。本研究では、①自己温度補償機能の実現で従来の水晶以外の圧電結晶基板の採用を可能にした。②弾性表面波共振器をラチス型回路状に結線することで、自己温度補償機能を保ちながらセンサノードに導入可能な低損失特性を実現した。③センシング感度の向上のため、ガス分子等との相互作用領域を等価的に拡大する2重反射型の弾性表面波共振器を提案し、長遅延時間が得られることを示した。

研究成果の概要（英文）：

We have studied a novel SAW gas sensor for odors from patients or in sickrooms and hydrogen-gas leakage from future fuel-cell cars. The developed sensor will be installed in sensor network. The use in a garage as sensor nodes must guarantee large temperature range from -40 to 80 °C, which requires the self-temperature-compensation characteristics as an essential feature. Moreover, the sensor nodes must operate over couples of years under a single battery, which requires very low-power consumption and very low-loss characteristics for SAW sensors. In this study, (1) we achieved the self-temperature-compensation characteristics which removed the limitation for piezoelectric crystal substrates such as a Quartz substrate; (2) we developed a new lattice-circuit type low-loss sensor consisting of SAW resonators which could make it possible to be included in sensor nodes; (3) in order to increase the sensing sensitivity we proposed a double-reflection type SAW resonators which had effectively expanded the interaction areas reactive to sensing gas. Experimental and simulation results are presented.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
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：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：弾性表面波、SAW、センサネットワーク、弾性表面波センサ、SAW センサ、ZigBee

1. 研究開始当初の背景

将来、高度な介護環境を実現するには病院や要介護者の住環境中の臭いや体臭、口臭の検知、更にエコの観点からは燃料電池自動車の水素漏洩や微量な環境汚染物質等のセンシングが必要である。弾性表面波センサは、極めて微量な分子等をセンシング出来る可能性があり、種々の角度から研究されている。従来のセンサ装置は、出力信号を増幅し入力側へ帰還することにより発振器を構成する。弾性表面波用水晶基板の表面に、微量分子と特異的に結合する物質を薄膜状に形成する。センシング分子が薄膜物質と結合すると弾性表面波の伝搬条件が変化し、これが発振器の発振周波数の変化となる。従来のセンサ装置では、センシングする微量分子の影響以外では、発振周波数の変化は許されない。圧電結晶は温度特性の良い水晶基板に限られ、温度管理の下で使用された。前回認可された基盤研究(C)にて、自己温度補償型の弾性表面波センサの基本形を提案した。センシング用遅延線 D-1 の外に、基準位相用遅延線 D-2、D-3 を導入する。D-2、D-3 は外気から遮断されており、伝搬距離に $\pm\lambda/8$ の違いがあることで、出力位相は互いに直交(90°差)する。ミキサ(混合器)を用いて D-1 の出力信号と基準遅延線 D-2、D-3 の出力信号を混合する。すなわち、D-1 の出力信号の D-2、D-3 への射影成分を求める。温度に対する変動は3つの遅延線とも同一のため互いに打ち消し合い射影成分には現れない。これにより、センシング分子の影響のみによる位相の変化が求まる。この提案により温度とは無関係にセンシングが可能な自己温度補償機能の可能性を示した。一方、これ等のセンサはセンサネットワークのノード内に実装されて動作する必要がある。ノードは、電池1個で2~3年間動作する極端な低消費電力化が要求される。前回提案の構造では、トランスデューサからの弾性表面波漏洩による入出力間損失が大きく、10数~20dBに達する欠点があった。これ等の損失を抜本的に低減し、センサノードへの導入を可能にする必要があった。

2. 研究の目的

住居や都市環境等のデータをセンサにより常時センシングし、これ等を小規模な無線ネットワークを介して集約する。これを元に住宅やビル単位の住環境等を制御する提案がなされている。これはセンサネットワークと呼ばれ、無線技術とセンサ技術が結び付いた将来的に非常に注目されるシステムであ

る。本研究もセンサネットワークを無視しては成り立たない。一般に、本ネットワークでは、0.9~2.4GHz帯のZigBeeを無線媒体として用いる。ネットワークの各ノードは、TCXO(温度補償型基準発振器)にロックした0.9~2.4GHz帯のVCO(電圧制御発振器)等で構成され、送信信号の生成と受信信号の復調が行われる。本研究では、(i) -40~80°Cで性能保証が必要なガレージ内へのノード設置等を想定し、今回新たに開発するセンサでも自己温度補償機能を実現する。(ii) 極端な低消費電力化が要求されるセンサノードに導入可能な新しい低損失弾性表面波センサ装置の開発を目指す。(iii) センシング感度の向上のため、ガス分子との相互作用領域を拡大可能な機能を上記のセンサ遅延線に新たに付加することを目指す。

3. 研究の方法

研究の目的で説明した(i)、(ii)、(iii)は以下の独創的な提案により実現を図る。トランスデューサの両側にグレーティングによる反射器を形成すると、左右へ励振されたSAWは折り返され一つの共振器となる(以下共振器をZで表す)。反射器の帯域内ではエネルギーは外へは漏れない。また、共振周波数等はトランスデューサと反射器の間隔Pで決定され、特定分子と結合する感応膜もこの区間に形成する。波の波長を λ とし、上記間隔がPと $P-\lambda/4$ の共振器Z1とZ2、同様に $P+\lambda/16$ と $P+\lambda/16-\lambda/4$ の共振器Z1'とZ2'、 $P-\lambda/16$ と $P-\lambda/16-\lambda/4$ の共振器Z1''とZ2''を形成する。これ等の共振器をラチス型の回路の各アームとして用いた低損失遅延線を提案した。

Z1、Z2より成るラチス型回路LD-1は、入出力は差動形であるが、一つの遅延線となる。遅延線の通過帯域は、反射器の反射帯域に一致し、この帯域内では弾性表面波のエネルギー漏洩が無い場合遅延線の伝搬損失は極めて小さいことが予想される。伝搬距離は間隔Pで定まる。前回認可の基盤研究(C)にて開発した遅延線D-1と同様の機能を有するが、損失は格段に小さい。また、2PがD-1の伝搬距離にほぼ等しい。同様に前回の基準位相用の遅延線D-2、D-3は、Z1'、Z2'より成るラチス型回路LD-2、Z1''、Z2''より成るラチス型回路LD-3がそれぞれ対応する。Z1'、Z2'とZ1''、Z2''は互いにトランスデューサと反射器の間隔に $\pm\lambda/16$ の差がある。SAWは反射器で折り返すため伝搬路の差は2倍と成り、これ等はD-2、D-3の $\pm\lambda/8$ に一致する。これにより同様に互いに直交(90°差)する基準

位相が得られる。エネルギー漏洩が無いため極めて低損失な特性すなわち低消費電力化が可能である(特徴(ii))。

遅延線 LD-1 はセンサ用とし、LD-2、LD-3 は外気から遮断する。遅延線 LD-1 の位相は、微量分子との結合により変化し、変化量は濃度に比例する。また、温度特性によっても変化する。しかし、温度による変化は3遅延線全てで同一であり、前回と同様、センサ遅延線 LD-1 の出力の LD-2、LD-3 の出力への射影成分には互いに打ち消し合い現れない。微量分子による変化のみが求まり、この自己温度補償機能により結晶の温度特性は考慮する必要は無い(特徴(i))。

センシング感度の向上のため、ガス分子等との相互作用領域を等価的に拡大する、新しい機能を共振器に盛り込むことを検討する。例えば、反射器を上下2段構成とし、トランスデューサと反射器間の距離に工夫を加える。これにより、上の反射器からの反射 SAW と下の反射器からの反射 SAW は1回目の反射では互いに位相が反転し打ち消し合い出力には現れない。2回目の反射では互いに同相となりトランスデューサに出力として現れる。この2重反射型の遅延線はトランスデューサと反射器間を等価的に2倍に拡大したことに相当し、チップサイズ等を変えずに相互作用領域を拡大しセンシング感度の向上が図れる(特徴(iii))。

4. 研究成果

(1) 従来技術の課題と開発目標

Table1 に、従来の弾性表面波(SAW)センサを介護環境で用いる臭いセンサや水素漏洩センサとしてセンサ・ネットワークへ導入する場合の課題、および本研究の新 SAW センサの目標をまとめた。従来の SAW センサでは温度特性の良い水晶を用いる。測定は室温(25°C)で行う必要があり、温度変化のある病院やガレージ等では使用出来ない。本研究では、温度に依存せず使用出来る自己温度補償機能を開発し、その結果、圧電効果の強い任意の圧電基板を採用可能にすることを目標とした。

消費電力は、従来センサの水晶基板では圧電効果が弱いため変換効率が低くセンサ損失が非常に大きい。更にセンサ出力が発振器の周波数のシフトとなるため、そのモニター回路も必要で電力消費が増加した。SAW 共振器型センサを提案することで伝搬に伴う損失を抜本的に低減することを目標とした。

センシング感度は、SAW が伝搬する感応膜部の長さ比例する。従来は伝搬路を増加することで感度の向上を図っていたが、伝搬損失も増加する、サイズの増加により価格も上昇する等の課題があった。本研究では、共振器内で励振トランスデューサと反射器間

を、SAW を多重反射させることで等価的に感応膜部を増加させる新構造の開発を目標とした。

Table1. 従来センサの課題と開発目標

	従来SAWセンサの課題	新SAWセンサの目標
温度条件	・温度特性の良い水晶基板 ・室温(25°C)で測定	・自己温度補償機能 ・任意の圧電基板可
消費電力	・SAW伝搬に伴う損失大 ・周波数モニター等の周辺回路で電力消費	・SAW共振器型センサ(ラチス回路)により損失低減
センシング感度	・SAW伝搬距離(ガス感応膜部)を増加→伝搬損失増加、大サイズ化	・多重反射型SAW共振器→感応膜部を等価的に増加

(2) 自己温度補償機能の実現

図1に本研究で提案し、検討して来た自己温度補償機能を持つ SAW ガスセンサの構造を示す。SAW は、圧電基板の表面のみに沿って伝搬する機械的な振動波であり、数100MHz 程度の高周波ではその振動周期(波長)は数ミクロンとなり極めて小さい。D-1-1~D-1-n はセンシング用 SAW 遅延線で嗅覚/ガス成分を検知するために外気と接する。図に示すように、特定の嗅覚/ガス分子に特異的に反応する感応膜(入出力トランスデューサ間部分)を形成すると、吸着成分の質量負荷効果により、SAW の伝搬速度が僅かに変化する。これはセンシング用 SAW 遅延線の出力位相変化となって表れる。この変化は、外気と遮断した基準直交位相を生成する SAW 遅延線(D-2、D-3)の出力位相と比較することで求めることが出来る。図1の右側に出力の位相関係を示す。温度に対しては、基準位相とセンサ出力位相の間で相対関係は不変である。従って、基準位相軸に対する各出力の射影成分を求めることで、センシング物質の影響のみを検知することが出来る。すなわち、温度に対しては自己温度補償機能を有する。

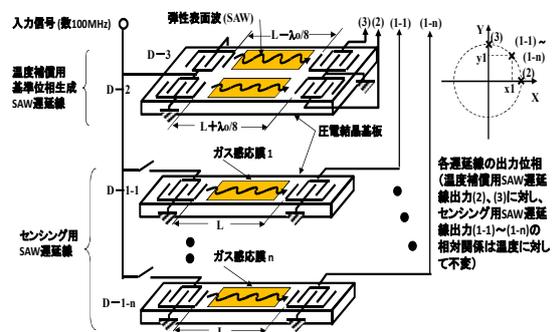


図1 提案の自己温度補償機能を有する SAW ガスセンサの基本構造

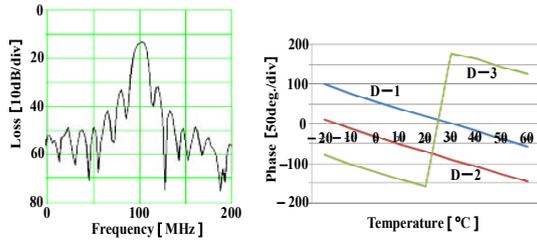


図2 センサ用試作 SAW 遅延線の特性(左: 振幅特性、右: 位相特性、位相特性は温度に対して3出力とも同じ特性を示す)

図2に実際に試作したセンシング用 SAW 遅延線の特性を示す(使用した圧電基板は 128°LiNbO_3)。左側は周波数特性で、中心周波数は約 100MHz、損失は 15dB 程度の遅延線が得られた。図2の右側に各 SAW 遅延線 (D-1, D-2, D-3) の中心周波数での位相の温度に対する変化を示す。温度に対して D-2, D-3 の出力位相は常に 90° 分離しており、上記の温度補償機能に対して予想を裏付ける結果が得られた。

(3) SAW センサ用遅延線の低損失(低消費電力)化の実現

図2の結果から、図1の遅延線の損失は約 15dB である(エネルギーの伝達効率は 3~4% 程度)。パワーコンサンプションの要求から採用は難しい。原因はトランスデューサから左右へ励振される SAW の一方しか利用しない点にある。上記の自己温度補償機能は維持しかつ損失がセンサネットワーク等に採用可能な 3dB 程度を目指す(エネルギーの伝達効率は 50%以上)。



図3 両側に反射器を持つ SAW 共振器

図3にトランスデューサの両側に SAW のグレーティング反射器を導入した SAW 共振器を示す。左右に励振される SAW を反射器で折り返すため、原理的にエネルギー損失は無い。図4(a), (b)に1組の SAW 共振器を示す。(a)はトランスデューサと反射器の間隔が P でそのインピーダンスを Z_1 、(b)は間隔が $P+\lambda_o/4$ (λ_o は SAW の波長)でそのインピーダンスを Z_2 とする。共振器 Z_1, Z_2 を用いて、低損失 SAW 遅延線を実現する手段として図5に示すラチス型の回路構成を提案した。入力側に $+V_i/2, -V_i/2$ の信号を加えると、出力側に $+V_o/2, -V_o/2$ の信号が得られる。本構成が前回開発したセンサ用各遅延線と同じ機能を有するであろうことは、以下の考察から導いた。

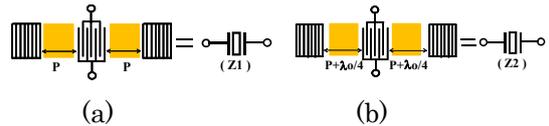


図4 SAW 共振器、(a) スペースが P の Z_1 、(b) スペースが $P+\lambda_o/4$ の Z_2

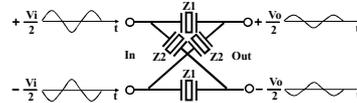


図5 新提案の SAW 共振器を用いた低損失遅延線(ラチス型回路)

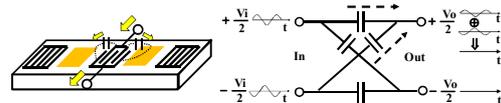


図6 電極間容量伝達、(a) 信号は容量を介して流れる、(b) 出力における2信号の打ち消し

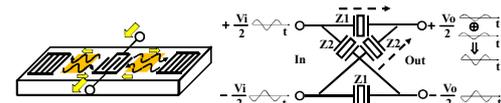


図7 励振 SAW を介しての伝達、(a) 信号は SAW 共振器の中を流れる、(b)出力に於いては2信号は合成される

図3の共振器に電圧を印加すると、信号は2つパスで伝達する。トランスデューサは櫛の歯状に電極がかみ合っているため、電極間の容量が大きい。1つのパスは図6(a)に示す容量を通して直接伝達するパスである。しかし、この信号は、図6(b)のようにラチス型回路の性質から出力の各端子では逆位相の2信号の和(すなわち差)となるため出力には表れない。2つ目のパスは図7(a)に示す一旦 SAW に変換され、反射器で反射し再び戻ってくる信号のパスである。この場合、 Z_1 の共振器を通る信号は、図4(a)に示すようにトランスデューサと反射器間は P のため SAW として約 2 倍の $2P$ 伝搬する。 Z_2 の共振器を通る信号は、図4(b)に示すように $P+\lambda_o/4$ の約 2 倍、すなわち $2P+\lambda_o/2$ だけ伝搬するが、伝搬路差 $\lambda_o/2$ により出力信号は反転する。図7(b)に示すように出力の各端子では同位相の2信号の和となり、2倍の出力が得られる。以上より、入力から出力へは後者の SAW を介してしか伝搬されないため、前回開発の SAW 遅延線と同じ機能が実現出来る。ただし、損失は極めて小さいことが予想される。

(4) 低損失遅延線のシミュレーション設計と実験による確認

上記提案の低損失遅延線のシミュレーション設計結果を図 8 に示す。図 2 と同様圧電基板は $128^\circ\text{Y-X LiNbO}_3$ を用いた。シミュレーションに基づいた実験結果を図 9 に示す。損失は 4dB で目標にはわずかに不足であるが、抜本的な損失改善の可能性を確認した。本遅延線は、図 1 のセンサの一つの遅延線、例えば D-2 または D-3 等に相当する。トランスデューサと反射器間が図 4 とは $+\lambda_0/16$ 、 $-\lambda_0/16$ 異なる 2 組の SAW 共振器を同様にラチス型回路に組むことで、図 1 の温度補償用基準位相生成 SAW 遅延線に対応する遅延線も実現出来る(SAW 共振器の場合は、トランスデューサと反射器間を、SAW は往復で 2 度伝搬するため $\pm\lambda_0/8$ ではなく $\pm\lambda_0/16$ の相違を導入する)。更に損失は極めて小さい。同様に他の遅延線、D-1-1~D-1-n を形成することにより、図 1 と同様の自己温度補償機能を有し、伝搬に伴う損失は小さいセンサが可能であることを示した。トランスデューサと反射器の間隔 P に感応膜を形成することで嗅覚/ガス成分の検出が可能である。

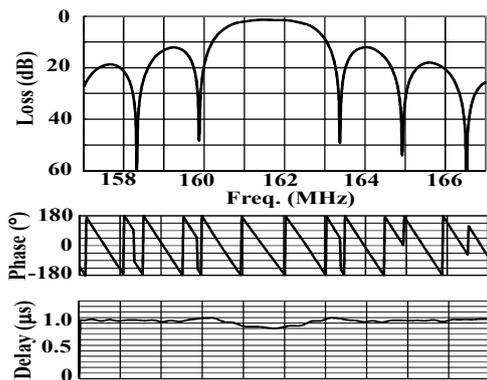


図 8 SAW 共振器をラチス型回路に組んだ低損失遅延線のシミュレーション結果

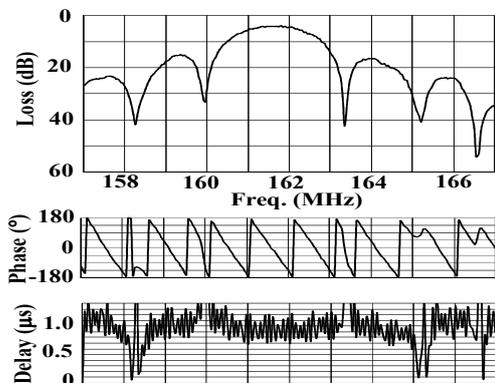


図 9 SAW 共振器をラチス型回路に組んだ低損失遅延線の実験結果

(5) センサのセンシング感度向上の検討

Table1 の 3 個の目標中、センサの自己温度補償機能と SAW センサ遅延線の低損失化の 2 個はほぼ達成した。しかし、センサネットワークではセンサはあらゆる条件の下で使用される。そのためセンシング感度は出来る限り高いことが要求される。従来の SAW センサでは、トランスデューサ間に存在する感応膜部分を増加させセンシングガスと感応膜間の相互作用領域を拡大することで感度向上を図った。チップサイズの増加、伝搬損失の増大等の課題がある。本研究では、新しい構造の SAW 共振器を検討し、等価的に感応膜部を増加させる新提案を行った。図 10 に新提案 SAW 共振器を示す。共振器内で反射器を上下 2 分割し、互いに $\lambda_0/4$ シフトさせている。これにより共振器内で SAW をトランスデューサと反射器間を 2 重反射させることが可能である。図 11 に原理を示すが、(a) 図の 1 回目の反射では、上下の反射器から反射する SAW は互いに $(\lambda_0/4) \times 2$ 伝搬路が異なるため、逆位相となりトランスデューサには信号は現れない。(b) 図の 2 回目の反射では、上下の SAW は互いに更に位相が反転し、トランスデューサには左右から同位相で入射するため信号として現れる。すなわち、SAW はトランスデューサと反射器間を 2 重に往復するため、等価的に伝搬距離を増大させ、センシング感度の向上を達成することが出来る。また、ラチス型回路は図 10(a)、(b) の共振器を図 5 と同様に組むが、Z1、Z2 を通過する信号は、SAW がトランスデューサと反射器間を 2 重往復した後始めて同位相となる必要がある。従って、Z1 のトランスデューサと反射器間 P に対して、Z2 は $P+\lambda_0/8$ に設計する。図 12 に図 10 の Z1、Z2 をラチス型回路に組んだ SAW 遅延線のシミュレーション結果を示す。P は図 8、9 の 1 重往復型 SAW 共振器の場合と同様に、 $P=50\lambda_0$ とした。1 重往復型 SAW 共振器の場合には図 9 より遅延時間は約 $1\mu\text{s}$ であり、これは伝搬距離に換算すると約 $140\lambda_0$ である(P の 2 倍に反射器、トランスデューサへの浸透分を加えた値)。図 12 のシミュレーション結果から新提案の共振器を用いたラチス型遅延線では、遅延時間は約 $2\mu\text{s}$ である。これは伝搬距離は約 $290\lambda_0$ に対応し、図 9 の 1 重往復型 SAW 共振器を用いた場合の 2 倍で、共振器内で SAW が 2 重往復していることが裏付けられた。シミュレーション結果であるが、損失も小さく新共振器の導入により、等価的に感応膜部を増加出来る可能性があることを示した。

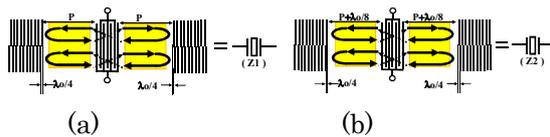


図 10 新提案の SAW 共振器(上下 2 段の反射器が $\lambda/4$ シフトしている)、(a) スペースが P の Z1、(b) スペースが $P+\lambda/8$ の Z2

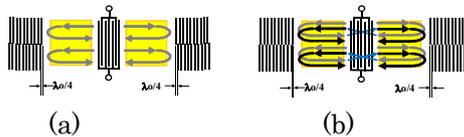


図 11 新提案 SAW 共振器内での SAW の伝搬、(a) 1 回目の反射、(b) 2 回目の反射

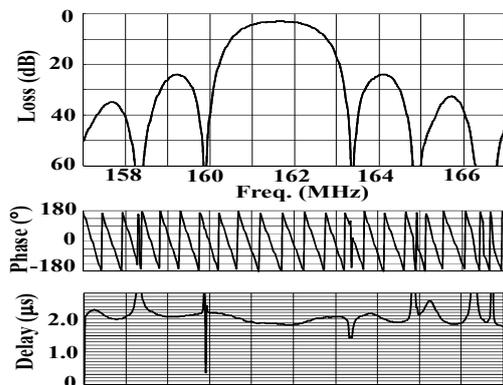


図 12 新提案 SAW 共振器をラチス型回路に組み、センシング感度を向上させたセンサ用 SAW 遅延のシミュレーション結果

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 10 件)

- (1) M. Hikita, J. Hosaka, “New SAW odor and gas sensor for sensor network installed in smart house,” Proc. of Progress in Electromagnetics Research Symposium (査読有), pp. 255-260, 2013.
- (2) N. Tobita, M. Hikita, “Study on low-loss SAW gas sensor consisting of resonators with large spaces between IDTs and reflectors,” Proc. of Symposium on Ultrasonic Electronics (査読有), Vol. 33, pp. 65-66, 2012.
- (3) M. Hikita, J. Hosaka, “Low-loss gas sensor for sensor network consisting of SAW resonators with large spaces between IDTs and reflectors,” IEEE International Ultrasonics Symposium Proceeding (査読有), pp. 739-742, 2012.

(4) M. Hikita, N. Tobita, “A study of new ultrasonic sensing method installed in sensor network (2nd Report),” Research Report of Kogakuin University, No. 113, pp. 1-4, 2012.

(5) J. Hosaka, M. Hikita, “Low-loss SAW gas sensor with self-temperature-compensation characteristics for sensor network,” IEEE International Ultrasonics Symposium Proceeding (査読有), pp. 2285-2288, 2011.

(6) 疋田, “超音波高精度計測法および動き検知システム (センサネットワーク等への応用)” 広域多摩(TAMA)地域の大学発新技術説明会資料, pp. 49-53, 2011.

(7) M. Hikita, Y. Kato, J. Hosaka, “Sensor network installing SAW sensors for living and care environments,” Proc. of Asia-Pacific Microwave Conference (査読有), pp. 2180-2183, 2010.

(8) Y. Kato, J. Hosaka, T. Shimizu, M. Hikita, “SAW gas sensor with self-temperature-compensation characteristics at 1st- and 3rd-harmonic frequencies, and investigation of its loss-reduction technique for sensor network,” Proc. of Symposium on Ultrasonic Electronics (査読有), Vol. 31, pp. 347-348, 2010.

(9) M. Hikita, T. Watanabe, A. Nakano, N. Tobita, “A study of new ultrasonic sensing method installed in sensor network (1st Report),” Research Report of Kogakuin University, No. 109, pp. 13-18, 2010.

(10) Y. Kato, J. Hosaka, M. Hikita, “Loss-reduction technique for SAW gas sensor with self-temperature-compensation characteristics used in sensor network,” IEEE International Ultrasonics Symposium Proceeding (査読有), pp. 1435-1438, 2010.

[学会発表] (計 8 件)

(1) M. Hikita, J. Hosaka, “New SAW odor and gas sensor for sensor network installed in smart house,” Progress in Electromagnetics Research Symposium (Taipei, Taiwan), 2013.

(2) N. Tobita, M. Hikita, “Study on low-loss SAW gas sensor consisting of resonators with large spaces between IDTs and reflectors,” Symposium on Ultrasonic Electronics (Chiba, Japan), 2012.

(3) M. Hikita, J. Hosaka, “Low-loss gas sensor for sensor network consisting of SAW resonators with large spaces between

IDTs and reflectors,” IEEE International Ultrasonics Symposium (Dresden, Germany), 2012.

(4) J. Hosaka, M. Hikita, “Low-loss SAW gas sensor with self-temperature-compensation characteristics for sensor network,” IEEE International Ultrasonics Symposium (Miami, Florida), pp. 2285-2288, 2011.

(5) 疋田, “超音波高精度計測法および動き検知システム (センサネットワーク等への応用)” 広域多摩(TAMA)地域の大学発新技術説明会 (東京), 2011.

(6) M. Hikita, Y. Kato, J. Hosaka, “Sensor network installing SAW sensors for living and care environments,” Asia-Pacific Microwave Conference (Yokohama, Japan), 2010.

(7) Y. Kato, J. Hosaka, T. Shimizu, M. Hikita, “SAW gas sensor with self-temperature-compensation characteristics at 1st- and 3rd-harmonic frequencies, and investigation of its loss-reduction technique for sensor network,” Symposium on Ultrasonic Electronics (Tokyo, Japan), 2010.

(8) Y. Kato, J. Hosaka, M. Hikita, “Loss-reduction technique for SAW gas sensor with self-temperature-compensation characteristics used in sensor network,” IEEE International Ultrasonics Symposium (San Diego, USA), 2010.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 2 件)

名称：超音波計測システム

発明者：疋田光孝

権利者：工学院大学

種類：特願

番号：2010-269436

出願年月日：2010年12月2日

国内外の別：国内

名称：弾性表面波ガス・センサ装置

発明者：疋田光孝

権利者：工学院大学

種類：特願

番号：2007-280020

出願年月日：2007年10月29日

国内外の別：国内

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

<http://www.ns.kogakuin.ac.jp/~wwa1022>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

疋田 光孝 (HIKITA MITSUTAKA)

工学院大学・グローバルエンジニアリング
学部・教授

研究者番号：00407157

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者