

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016年6月2日(02.06.2016)



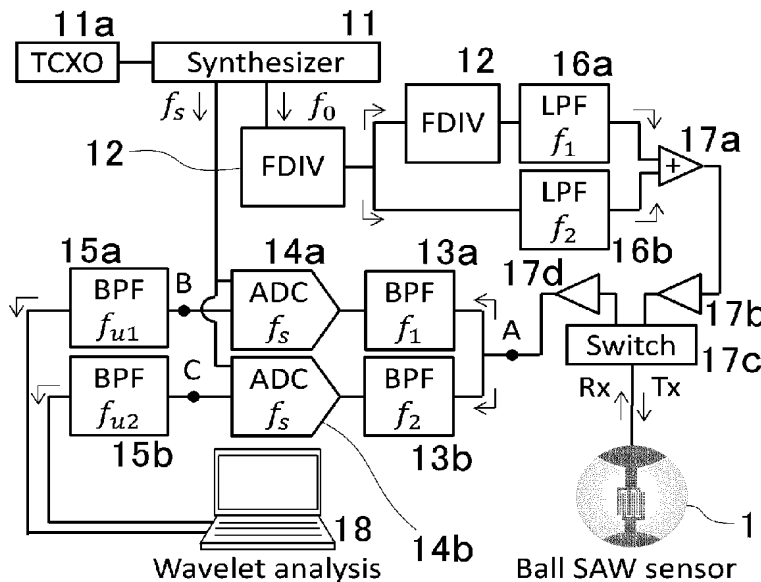
(10) 国際公開番号
WO 2016/084917 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 29/02 (2006.01) G01N 29/44 (2006.01)
G01N 29/24 (2006.01) H01L 41/04 (2006.01)
G01N 29/42 (2006.01) H01L 41/113 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/083290
- (22) 国際出願日: 2015年11月26日(26.11.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-241817 2014年11月28日(28.11.2014) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学 (TOHOKU UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).
- (72) 発明者: 山中 一司 (Yamanaka Kazushi); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 辻 俊宏 (Tsuji Toshihiro); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP). 大泉 透 (Oizumi Toru); 〒9808577 宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).
- (74) 代理人: 須田 篤, 外 (SUDA Atsushi et al.); 〒9800021 宮城県仙台市青葉区中央二丁目1番30号 須田ビル5F Miyagi (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロアジア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: ELECTRICAL SIGNAL PROCESSING DEVICE

(54) 発明の名称: 電気信号処理装置



(57) Abstract: [Problem] To provide an electrical signal processing device which, when f_1 and f_2 ($f_2 > f_1$) represent the frequencies used for two frequency measurement in a SAW sensor, is capable of achieving temperature compensation having an accuracy equivalent to when a dual-system frequency lowering circuit or oversampling at a frequency of at least two times f_1 is used, without using the dual-system frequency lowering circuit or the oversampling. [Solution] Narrow-band frequency filtering is applied to a cyclic waveform in a delay-line-type SAW sensor capable of transmitting and receiving a plurality of frequencies, two frequencies (f_1, f_2) ($f_2 > f_1$) are extracted, and the aliasing obtained as a result of applying, to the two frequencies, under-sampling at a frequency lower than two times f_1 , is used to determine the delay time.

(57) 要約: 【課題】 SAW センサにおける2周波数測定において用いる周波数を f_1, f_2 ($f_2 > f_1$) で表した時、 f_1 の2倍以上の周波数におけるオーバーサンプリングもしくは2系統の低周波数化回路を用いることなく、これらを用いた場合と同等の

精度の温度補償を実現することができる電気信号処理装置を提供する。【解決手段】複数周波数を送受信可能な遅延線型 SAW センサにおける周回波形に、狭帯域の周波数フィルタリングを適用して2つの周波数 f_1, f_2 ($f_2 > f_1$) を抽出し、これらに f_1 の2倍よりも低周波数のアンダーサンプリングを適用して得られるエリアシングを利用して遅延時間を決定する。

WO 2016/084917 A1

規則 4.17 に規定する申立て:

— 発明者である旨の申立て (規則 4.17(iv))

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：電気信号処理装置

技術分野

[0001] 本発明は、弾性表面波素子を用いた高感度な微量水分センサや水素ガスセンサ、揮発性有機化合物センサ、またこれらを応用した携帯型ガスクロマトグラフやウェアラブル環境計測器を普及させるための簡易型の電気信号処理装置に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、弾性表面波 (surface acoustic wave; SAW) 素子の伝搬経路に作製された感応膜とガス分子との反応に起因した音速変化を測定するSAWセンサにより、高感度なガスセンサが開発されてきた (例えば、非特許文献1参照)。センサの感度はSAWと感応膜との相互作用長の増加により高めることができるが、伝搬に伴う回折により、利用できる相互作用長には限界がある。

[0003] 一方、球面上では、SAWの音源の開口長を球の直径と波長との幾何平均に選ぶと、回折と球面による集束との効果がバランスして、自然にコリメートした無回折のSAWを伝搬させることができる (例えば、特許文献1、2、非特許文献2参照)。ボールSAWセンサは、このSAWが圧電結晶球のZ軸に対する赤道道を多重周回する現象を用いて、平面SAWセンサの相互作用長を著しく増加させたセンサである (例えば、非特許文献2参照)。更に、感応膜の速度変化に起因したSAWの遅延時間変化は周回数に比例して増幅されるため、高精度な計測が可能であり、その結果、高感度なガスセンサを実現することができる (例えば、特許文献3、4、非特許文献2、3、4、5参照)。

[0004] しかし、この原理を有効に利用するためには、素子の温度変化に起因した音速変動の高精度な除去、すなわち温度補償が必要である。平面SAWセンサにおいては音速の温度係数が小さいカットの基板を用いることができるが、ボールSAWセンサにおいては伝搬経路に沿って結晶方位が連続的に変化するため、そのような基材を用いることができない。また、温度補償は、特性が同

等の未成膜素子の出力を差分することでも実現し得るが、別個の素子における伝搬経路の温度を一致させることは容易ではない。

[0005] ここで、圧電結晶の音速変化の温度係数は、 $\text{ppm}/^{\circ}\text{C}$ のように周波数に依存しない定数で表すことができる。そこで、二つの周波数のSAWを同一経路に伝搬させて ppm で表した遅延時間変化を差分することにより、温度に依存したセンサ出力を除去してセンサ応答を抽出する二周波数測定を用いた温度補償法が、奇数次高調波を送受信可能なダブル電極のすだれ状電極を備えたボールSAWセンサにより開発されている（例えば、特許文献5、6、非特許文献6参照）。

[0006] この方法に必要な精度の遅延時間変化の測定を実現するためには、例えば、3次高調波の2倍以上のサンプリングレートを備えたアナログデジタル変換器（analog digital converter; ADC）により波形をオーバーサンプリングして記録した後に、ウェーブレット解析のような時間分解能の高い処理を行う必要がある（例えば、非特許文献8参照）。一方、受信信号をヘテロダイン検波により低周波数化すると、サンプリングレートの低いADCを用いても、受信信号の位相を測定することができる（例えば、特許文献7、非特許文献7参照）。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特開2005-94610号公報
特許文献2：特開2005-191650号公報
特許文献3：特開2005-291955号公報
特許文献4：特開2007-225509号公報
特許文献5：特開2006-71482号公報
特許文献6：特開2008-245003号公報
特許文献7：特開2005-333457号公報

非特許文献

- [0008] 非特許文献1：D. S. Ballantine, R. M. White, S. J. Martin, A. J. Ricco

, E. T. Zellers, G. C. Frye, and H. Wohltjen, "Acoustic Wave Sensors Theory, Design, and Physico-Chemical Applications", Academic Press 1996

非特許文献2: K. Yamanaka, S. Ishikawa, N. Nakaso, N. Takeda, D-Y. Sim, T. Mihara, A. Mizukami, I. Satoh, S. Akao, and Y. Tsukahara, "Ultramultiple Roundtrips of Surface Acoustic Wave on Sphere Realizing Innovation of Gas Sensors", IEEE Trans. UFFC., 2006, 53, p.793-801

非特許文献3: K. Takayanagi, S. Akao, T. Yanagisawa, N. Nakaso, Y. Tsukahara, S. Hagihara, T. Oizumi, N. Takeda, T. Tsuji, and K. Yamanaka, "Detection of Trace Water Vapor Using SiO_x-Coated Ball SAW Sensor", Mater. Trans., 2013, 55, p.988-993

非特許文献4: S. Hagihara, T. Tsuji, T. Oizumi, N. Takeda, S. Akao, T. Ohgi, K. Takayaangi, T. Yangisawa, N. Nakaso, Y. Tsukahara, and K. Yamanaka, "Highly sensitive trace moisture ball surface acoustic wave sensor using SiO_x film", Jpn. J. Appl. Phys., 2014, 53, 07KD08

非特許文献5: T. Tsuji, R. Mihara, T. Saito, S. Hagihara, T. Oizumi, N. Takeda, T. Ohgi, T. Yanagisawa, S. Akao, N. Nakaso, and K. Yamanaka, "Highly Sensitive Ball Surface Acoustic Wave Hydrogen Sensor with Porous Pd-Alloy Film", Mater. Trans., 2013, 55, p.1040-1044

非特許文献6: T. Nakatsukasa, S. Akao, T. Ohgi, N. Nakaso, T. Abe, and K. Yamanaka, "Temperature Compensation for Ball Surface Acoustic Wave Devices and Sensor Using Frequency Dispersion", Jpn. J. Appl. Phys., 2006, 45(5B), p.4500-4054

非特許文献7: T. Abe, N. Iwata, T. Tsuji, T. Mihara, S. Akao, K. Noguchi, N. Nakaso, D-Y. Sim, Y. Ebi, T. Fukiura, H. Tanaka, and K. Yamana ka, "Evaluation of Response Time in Ball Surface-Acoustic-Wave Hydrogen Sensor using Digital Quadrature Detector", Jpn. J. Appl. Phys., 2007, 46, p.4726

非特許文献8：井上裕嗣、岸本喜久雄、中西智明、渋谷壽一、「ウェーブレット変換による分散性応力波の時間一周波数解析」、日本機械学会論文集、1995年、61、p.153

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかし、非特許文献8に記載のようなADCの性能は、高精度なデジタルオシロスコープと同等であるため高価であるという課題があった。また、特許文献7や非特許文献7に記載のような測定方法によれば、安価なADCを用いることはできるが、二周波数測定においては、ヘテロダイン検波に必要な参照信号と非線形素子との組み合わせが二系統必要になるため、回路が高価になるという課題があった。また、非線形素子の不安定性は、例えば1年間の測定のような長期間の測定において、センサの位相出力のドリフトの原因になりうるという課題もあった。

[0010] 本発明は、このような課題に着目してなされたもので、SAWセンサにおける2周波数測定において高精度の温度補償を実現することができる、安価な電気信号処理装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 一般に、受信信号をアンダーサンプリングすると、低周波のエリアシング出力が発生する（例えば、S. M. Kuo, B. H. Lee, “Real-time Digital Signal Processing”, John Wiley&Sons, Ltd., 2001, New York, p.154参照）。ここでエリアシングの周波数（以下、「エリアシング周波数」と呼ぶ）は、

$$f_{\text{image}}(N) = |f - N f_s| \quad (1)$$

で与えられる。fは受信信号の周波数、 f_s はサンプリング周波数、Nは整数を表す。

[0012] 本発明者等は、高価なADCや2系統の低周波数化回路を用いることなく測定システムを簡略化するために、ボールSAWセンサにおける二周波数測定にアンダーサンプリングを適用してみたところ、予想に反して、高精度の温度補償

を実現することができたことから、本発明に至った。このような技術はこれまで提案されていない。

[0013] すなわち、本発明に係る電気信号処理装置は、2周波数 f_1 、 f_2 ($f_2 > f_1$) を送受信可能な遅延線型SAW（弾性表面波）センサからの信号をサンプリングするADC（アナログデジタル変換器）を有し、前記ADCは、サンプリング周波数 f_s が f_1 の2倍よりも低周波数であることを特徴とする。

[0014] 本発明に係る電気信号処理装置で、前記ADCは、前記SAWセンサへの送信信号と同期可能であってもよい。また、前記SAWセンサからの受信信号を処理して、 f_1 および f_2 の成分を抽出するよう、中心周波数 f_1 および f_2 、バンド幅が各中心周波数の20%以下のバンドパスフィルタを有し、前記ADCは、前記バンドパスフィルタから抽出された信号をサンプリングするよう構成されていてもよい。バンドパスフィルタは、 f_1 の成分を抽出するものと、 f_2 の成分を抽出するものの2つから成り、ADCも各バンドパスフィルタに対応して2つから成っていてもよい。

[0015] また、本発明に係る電気信号処理装置は、前記ADCによりサンプリングした信号に対して、応答の測定に用いる2つのエリアシング周波数 f_{u1} および f_{u2} 以外の周波数のエリアシングを遮断可能に設けられたデジタルフィルタを有していてもよい。デジタルフィルタは、 f_{u1} 以外の周波数のエリアシングを遮断するものと、 f_{u2} 以外の周波数のエリアシングを遮断するものの2つから成っていてもよい。

[0016] また、 $f_{u1} = f_1 / 4$ 、 $f_{u2} = f_1 / 2$ であってもよく、 $f_2 = 3 f_1$ 、 $f_s = 5 f_1 / 4$ であってもよい。また、前記SAWセンサが基板を周回するSAWを用いる遅延線型SAWセンサであってもよく、前記SAWセンサがボールSAWセンサであってもよい。

[0017] 本発明に係る電気信号処理装置は、複数周波数を送受信可能なSAWセンサにおける受信波形に、狭帯域の周波数フィルタリングを適用して2つの周波数 f_1 、 f_2 ($f_2 > f_1$) を抽出し、これらに f_1 の2倍より低周波数のアンダーサンプリングを適用して得られるエリアシングを利用して遅延時間を決定す

ることにより、最も効果的に上述の課題を解決することができる。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、SAWセンサにおける2周波数測定において用いる周波数を f_1 、 f_2 ($f_2 > f_1$) で表した時、 f_2 の2倍以上の周波数におけるオーバーサンプリングもしくは2系統の低周波数化回路を用いることなく、これらを用いた場合と同等の精度の温度補償を実現することができる電気信号処理装置を提供することができる。これにより、本発明によれば、実用的なポールS AWセンサの温度補償が可能な二周波数測定システムを簡略化して安価に提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]本発明の実施の形態の電気信号処理装置を含む二周波数測定システムの、第1の実施例を示すブロック図である。

[図2]図1の点A～Cにおける測定波形を示すグラフである。

[図3] (a) 図2の波形Aのパワースペクトル、(b) 図2の波形BおよびCのパワースペクトルである。

[図4]図1に示す二周波数測定システムにより微量水分を測定したときの(a) オーバーサンプリングした波形から二周波数測定を行ったときの遅延時間を示すグラフ、(b) さらに温度補償したときの遅延時間を示すグラフである。

[図5]図1に示す二周波数測定システムにより微量水分を測定したときの(a) アンダーサンプリングした波形から二周波数測定を行ったときの遅延時間を示すグラフ、(b) さらに温度補償したときの遅延時間を示すグラフである。

[図6]本発明の実施の形態の電気信号処理装置を含む二周波数測定システムの、第2の実施例を示すブロック図である。

[図7] (a) 図6の点Aにおける測定波形を示すグラフ、(b) その波形を高速フーリエ変換(FFT)したときのスペクトル(実線)、および図6の点Bにおけるウェーブレット変換波形を高速フーリエ変換(FFT)したとき

のスペクトル（破線）を示すグラフである。

[図8] (a) 図6の点Aにおける測定波形を示すグラフ、(b) 図6の点Bにおけるウェーブレット変換波形（実線が実部、破線が絶対値）を示すグラフである。

[図9] 図6に示す二周波数測定システムにより微量水分を測定したときの (a) エリアシング周波数 f_{u1} の信号の遅延時間変化を示すグラフ、(b) エリアシング周波数 f_{u2} の信号の遅延時間変化を示すグラフ、(c) 温度補償したときの遅延時間変化を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0020] 以下、図面に基づき、本発明の実施の形態について説明する。

第1の実施例として、高調波ボールSAW水晶素子に微量水分測定用のゾルゲルSiO_x膜を成膜したセンサについて、簡易型電気信号処理装置によるアンダーサンプリングが、二周波数測定による温度補償に有用であることを示す。そこでは、ボールSAWセンサが、従来はCRDS（キャビティリングダウン分光分析装置）を用いないと測定が困難だった、20 nmol/molの微量水分に対する応答を明瞭に測定することができ、アンダーサンプリングとオーバーサンプリングとを用いて温度補償されたセンサ応答が、相関係数0.9999で一致したことを示す。

[0021] 二周波数測定システムのブロック図を、図1に示す。 f_s はADCのサンプリング周波数、 f_1 および f_2 ($f_2 > f_1$)は遅延線型SAWセンサにより送受信される2つの周波数であり、 f_0 は f_1 と f_2 の公倍数になるような周波数を表す。さらに、 f_{u1} および f_{u2} はアンダーサンプリングして得られる出力の中で応答の測定に利用する2つのエリアシング周波数を表し、それぞれ f_1 および f_2 に起因する。

[0022] まず、温度補償型水晶発振器 (TCXO) 11aを利用したシンセサイザ11により、 f_s とこれに同期した f_0 のバースト信号が生成される。 f_0 の信号は、分周器 (frequency divider; FDIV) 12を用いて分周して f_1 と f_2 の信号に変換され、それぞれローパスフィルタ (LPF) 16a、16bで処理された

後、これらが加算器 17 a で合成されて送信信号 T_x が生成される。送信信号 T_x は、増幅器 17 b で増幅され、rf スイッチ (Switch) 17 c を通って SAW センサ 1 へ入力される。SAW センサ 1 からの反射信号 R_x は、rf スイッチ 17 c を通り、増幅器 17 d で増幅された後、中心周波数が f_1 および f_2 の狭帯域バンドパスフィルタ (band-pass filter; BPF) 13 a, 13 b により処理されて ADC 14 a, 14 b で記録される。なお、SAW センサ 1 への送信信号 T_x の入力、および SAW センサ 1 からの反射信号 R_x の出力は、rf スイッチ 17 c を用いて切り換える。ADC 14 a, 14 b で記録された信号のうち、 f_{u1} および f_{u2} 以外の周波数成分の信号は、バンドパスフィルタ 15 a, 15 b により遮断し、コンピュータ 18 を用いて遅延時間の測定を行う。

[0023] 本実施例では、SAW センサ 1 がボール SAW センサであり、 $f_s = 5 f_1 / 4$ 、 $f_2 = 3 f_1$ 、 $f_{u1} = |f_1 - f_s| = f_1 / 4$ 、 $f_{u2} = |3 f_1 - 2 f_s| = f_1 / 2$ の場合について述べる。また、遅延時間の測定には、ウェーブレット解析 (Wavelet analysis) を利用した。

[0024] 検証実験において、まず、水晶製高調波ボール SAW 素子 (直径 3.3 mm 水晶製、 $f_1 = 80$ MHz) に微量水分測定用のゾルゲル SiO_x 膜を成膜してセンサを作製し、周回波形を広帯域パルサーレーザにより測定して、オーバーサンプリング (5 GHz、平均化処理 1024 回) でコンピュータ 18 に記録した。

[0025] 次に、この波形に対して、中心周波数が f_1 および f_2 、バンド幅が各周波数の 5% の BPF を適用後、サンプリング周波数 f_s でサンプリングすることにより、 f_s と送信信号とが同期する状況を模擬した。

[0026] 続いて、遅延時間を測定するために、ガボール関数 ($\gamma = 50$) をマザーウェーブレットに用いたウェーブレット変換を行った。ここで、オーバーサンプリングの場合には、 f_1 および f_2 に対して、アンダーサンプリングの場合には、 f_{u1} および f_{u2} に対して行った。遅延時間は、3 周と 7 週の周回波の伝搬時間差から測定した。

[0027] 図 2 中の A に、図 1 の点 A においてオーバーサンプリングして得た波形を表す。一方、図 2 中の B および C に、BPF 適用後にアンダーサンプリングした

波形（図1の点Bおよび点Cでの波形）を表す。

[0028] 図3に、図2の波形に対応するパワースペクトルを示す。図3(a)に示すように、オーバーサンプリングして得た波形のスペクトルにおいて、 f_1 および f_2 の成分が、図3(b)に示すように、アンダーサンプリングして得た波形のスペクトルにおいて、 f_{u1} および f_{u2} の成分が確認された。

[0029] 図4に、微量水分発生器により4~790 nmol/molの水分濃度 (H_2O concentration) の微量水分を発生させ、オーバーサンプリングして得た波形から、 f_1 と f_2 の2周波数測定を行った結果を示す。図4(a)において、破線と実線はそれぞれ f_1 および f_2 における遅延時間 (Delay time) を表す。図4(b)は、 f_2 の出力から f_1 の出力を、オーバーサンプリングによる出力の拡大率に基づいて係数1.0で差分した結果である。温度補償により水分応答が明瞭になり、4~17 nmol/molに対する応答が、 $S/N=44.8$ で測定された。

[0030] 図5に、図4の場合と同様に、アンダーサンプリングしたときの結果を表す。図5(a)において、破線と実線はそれぞれ f_{u1} および f_{u2} の出力を表す。 $f_1 < f_s$ だったため、アンダーサンプリングによる出力の拡大率に基づいて、 f_{u2} の出力から f_{u1} の出力を係数-1.5で差分すると、図5(b)に示すように、図4(b)と同様の温度補償が達成された。この応答は、オーバーサンプリングを用いた場合の応答と、1次関数により相関係数 $|R|=0.9999$ で一致した。

[0031] 第1の実施例では、オーバーサンプリングとコンピュータ内の模擬的なアンダーサンプリングを用いたが、次に、オーバーサンプリングを用いない第2の実施例として、バースト波による送受信信号を狭帯域なバンドパスフィルタで処理してアンダーサンプリングを適用する電気信号処理装置を、ボールSAWセンサから成る微量水分センサに適用した。具体的には、ゾルゲル法により合成した非晶質シリカ膜を感応膜に用いた、直径3.3 mmの水晶製ボールSAWセンサを超高真空セルに設置して、拡散管法を利用した微量水分発生器の N_2 ガス流 (1 L/min) の測定を行った。

[0032] このときの二周波数測定システムのブロック図を、図6に示す。 f_s はADC

のサンプリング周波数、 f_1 および f_2 ($f_2 > f_1$) は遅延線型SAWセンサにより送受信される2つの周波数であり、 f_0 は f_1 と f_2 の公倍数になるような周波数を表す。さらに、 f_{u1} および f_{u2} はアンダーサンプリングして得られる出力の中で応答の測定に利用する2つのエリアシング周波数を表し、それぞれ f_1 および f_2 に起因する。

[0033] 測定では、まず、温度補償型水晶発振器 (TCXO) 21 a を利用したシンセサイザ (Syn) 21 の出力 ($f_0 = 2.4$ GHz) を、分周器 (FDIV1, 2, 3) 22 a, 22 b, 22 c を用いて分周して、それぞれ $f_s = 100$ MHz、 $f_2 = 240$ MHz および $f_1 = 80$ MHzの信号を発生する。そのうちの f_1 と f_2 の信号を、それぞれローパスフィルタ (LPF1, 2) 26 a、26 b で処理した後、加算器 27 a で合成し、 f_s の信号と同期するタイミングコントローラ (TC) 27 b で生成されたスイッチ信号を用いて、rf スイッチ (SW) 27 c により送信バースト信号Txを生成する。送信バースト信号Txを、増幅器 (Amp1) 27 d で増幅し、方向性カプラ (DC) 27 e を通してSAWセンサ1へ入力する。SAWセンサ1からの反射信号Rxを、方向性カプラ27 eを通し、増幅器 (Amp2) 27 f で増幅した後、それぞれQ値が20および40で、中心周波数が f_1 および f_2 の狭帯域バンドパスフィルタ (band-pass filter; BPF) 23 a, 23 b により処理し、ADC 24 a, 24 b で記録する。なお、SAWセンサ1への送信バースト信号Txの入力、およびSAWセンサ1からの反射信号Rxの出力は、方向性カプラ27 eを用いて切り換える。ADC 24 a, 24 b で記録された信号のうち、 f_{u1} および f_{u2} 以外の周波数成分の信号は、バンドパスフィルタ 25 a, 25 b により遮断し、コンピュータ 28 を用いて遅延時間の測定を行う。ここで、バンドパスフィルタ 25 a, 25 b には、サンプリング定理を満たすアンダーサンプリング周波数 ($f_{u1} = 20$ MHz、 $f_{u2} = 40$ MHz) の出力を抽出するために、ガボール関数 ($\gamma = 50$) を用いたウェーブレット変換を適用した。

[0034] 本実施例では、SAWセンサ1がボールSAWセンサであり、 $f_s = 5 f_1 / 4$ 、 $f_2 = 3 f_1$ 、 $f_{u1} = |f_1 - f_s| = f_1 / 4$ 、 $f_{u2} = |3 f_1 - 2 f_s| = f$

$f_{u1}/2$ となっている。また、遅延時間の測定には、ウェーブレット解析 (Wavelet analysis) を利用した。

[0035] 図6の点Aにおけるアンダーサンプリングした波形を、図7(a)に示す。また、その波形を高速フーリエ変換 (FFT) したときのスペクトルを、図7(b)の実線で示す。図7(b)の実線で示すように、アンダーサンプリング後の波形のスペクトルにおいて、 f_{u1} および f_{u2} の成分が確認された。また、このときの f_{u2} の振幅は、 f_{u1} の振幅に対して約33.8 dB大きかった。

[0036] 図6の点Aにおけるアンダーサンプリングした波形の一部 (図7(a)の一部) を、図8(a)に示す。また、図6の点Bにおけるウェーブレット変換波形、すなわち、図8(a)をウェーブレット変換して100点補間したときの波形を、図8(b)に示す。図8(b)中の実線は実部、破線は絶対値 (包絡線) を示す。その絶対値のピークに最も近いゼロクロス時間 (図8(b)中の一点鎖線の位置) を、遅延時間として測定した。なお、図8(b)の波形を高速フーリエ変換したときのスペクトルを、図7(b)に破線で示す。

[0037] 図9(a)および(b)に、微量水分発生器により2.4~680 nmol/molの水分濃度 (H_2O concentration) の微量水分を発生させたときの、エリアシング周波数 f_{u1} および f_{u2} の信号の、3周から7周の間の遅延時間変化 (Delay time change) をそれぞれ示す。図9(a)および(b)では、それぞれ f_{u1} および f_{u2} における相対遅延時間変化 Δt_{u1} および Δt_{u2} を、アンダーサンプリングによる出力の拡大率で割った結果を表示している。

[0038] また、図9(c)に、 f_{u2} における相対遅延時間変化 Δt_{u2} から、 f_{u1} における相対遅延時間変化 Δt_{u1} を差分することにより温度補償を行った結果を示す。図9(a)および(b)では、4~7 hにおいて一定の水分濃度に対する出力の変動が顕著に認められたが、図9(c)に示すように、差分により温度補償を行うことにより、その変動を除去することができた。なお、0~1 hにおけるrmsノイズは、0.00998 ppmであり、2.4-18 nmol/molに対す

る応答の信号対雑音比は、92.1であった。

[0039] このように、いずれの実施例でも、240 MHzの測定に100 MHzのADCを用いることができることが確認された。このことから、本発明によれば、実用的なボールSAWセンサの温度補償が可能な二周波数測定システムを簡略化して安価に提供することができるといえる。

[0040] 尚、本発明の実施例は、遅延線型SAWセンサとしてボールSAWセンサを用いた場合について述べたが、一般的な平面基板の遅延線型SAWセンサおよび基板を周回するSAWを用いる遅延線型SAWセンサの場合にも適用可能である。

符号の説明

- [0041]
- 1 SAWセンサ
 - 1 1 シンセサイザ
 - 1 1 a 温度補償型水晶発振器
 - 1 2 分周器
 - 1 3 a、1 3 b 狭帯域バンドパスフィルタ
 - 1 4 a、1 4 b ADC
 - 1 5 a、1 5 b バンドパスフィルタ
 - 1 6 a、1 6 b ローパスフィルタ
 - 1 7 a 加算器
 - 1 7 b、1 7 d 増幅器
 - 1 7 c r fスイッチ
 - 1 8 コンピュータ

 - 2 1 シンセサイザ
 - 2 1 a 温度補償型水晶発振器
 - 2 2 a、2 2 b、2 2 c 分周器
 - 2 3 a、2 3 b 狭帯域バンドパスフィルタ
 - 2 4 a、2 4 b ADC
 - 2 5 a、2 5 b バンドパスフィルタ

26 a、26 b ローパスフィルタ

27 a 加算器

27 b タイミングコントローラ

27 c rfスイッチ

27 d、27 f 増幅器

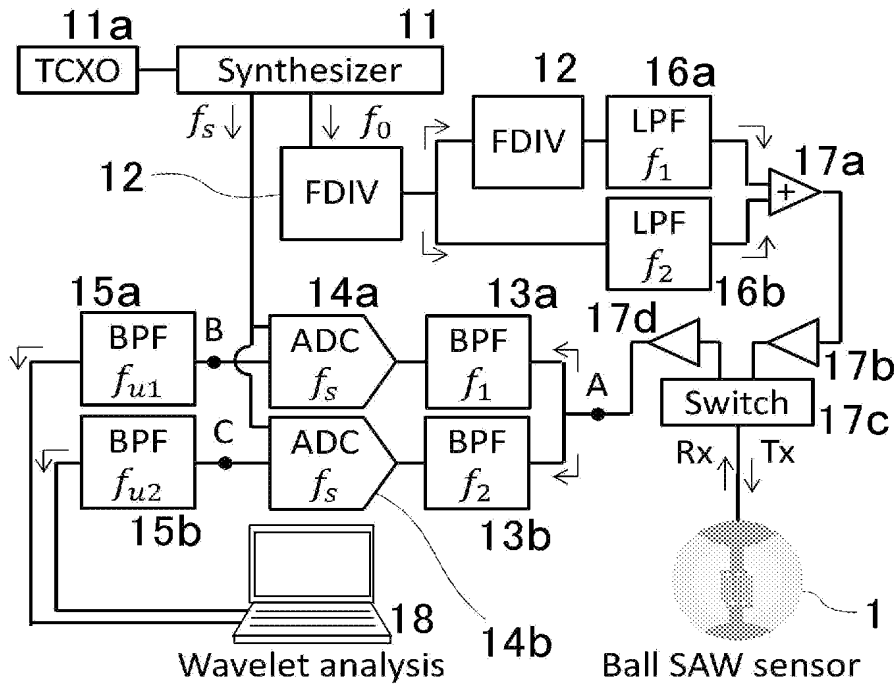
27 e 方向性カプラ

28 コンピュータ

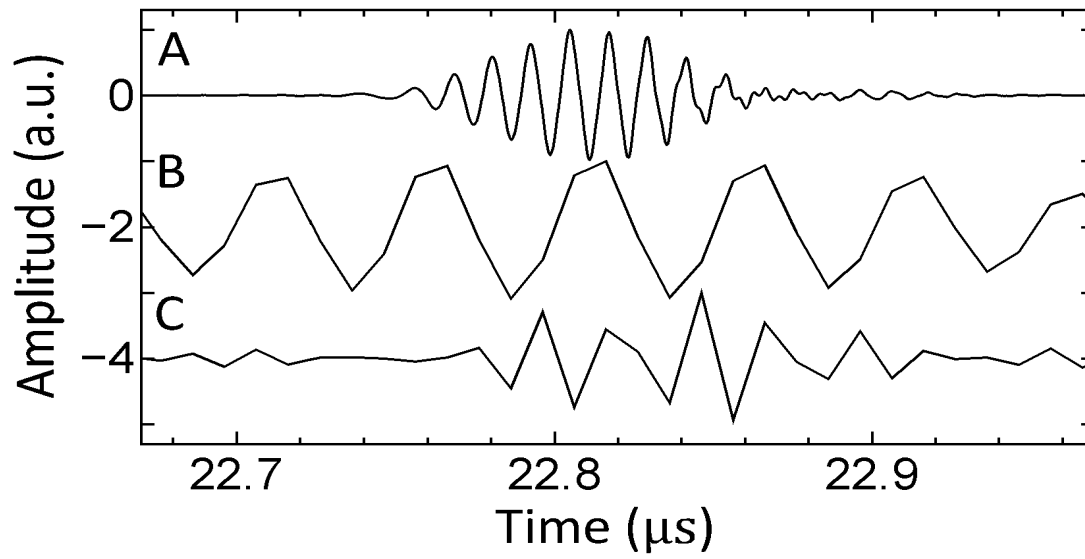
請求の範囲

- [請求項1] 2周波数 f_1 、 f_2 ($f_2 > f_1$) を送受信可能な遅延線型SAW（弾性表面波）センサからの信号をサンプリングするADC（アナログデジタル変換器）を有し、前記ADCは、サンプリング周波数 f_s が f_1 の2倍よりも低周波数であることを特徴とする電気信号処理装置。
- [請求項2] 前記ADCは、前記SAWセンサへの送信信号と同期可能であることを特徴とする請求項1記載の電気信号処理装置。
- [請求項3] 前記SAWセンサからの受信信号を処理して、 f_1 および f_2 の成分を抽出するよう、中心周波数 f_1 および f_2 、バンド幅が各中心周波数の20%以下のバンドパスフィルタを有し、
前記ADCは、前記バンドパスフィルタから抽出された信号をサンプリングするよう構成されていることを特徴とする請求項1または2記載の電気信号処理装置。
- [請求項4] 前記ADCによりサンプリングした信号に対して、応答の測定に用いる2周波数 f_{u1} および f_{u2} 以外の周波数のエリアシングを遮断可能に設けられたデジタルフィルタを有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の電気信号処理装置。
- [請求項5] $f_{u1} = f_1 / 4$ 、 $f_{u2} = f_1 / 2$ であることを特徴とする請求項4記載の電気信号処理装置。
- [請求項6] $f_2 = 3 f_1$ 、 $f_s = 5 f_1 / 4$ であることを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の電気信号処理装置。
- [請求項7] 前記SAWセンサが基板を周回するSAWを用いる遅延線型SAWセンサであることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の電気信号処理装置。
- [請求項8] 前記SAWセンサがボールSAWセンサであることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の電気信号処理装置。

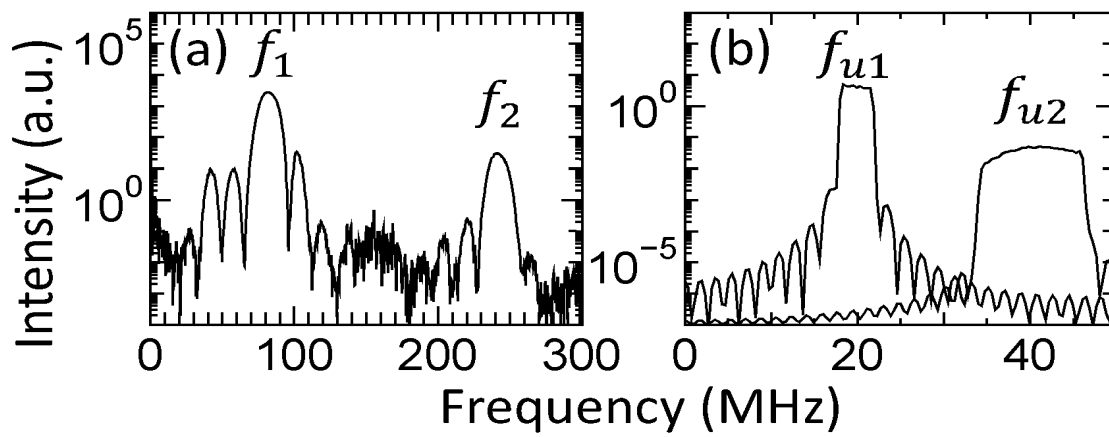
[図1]



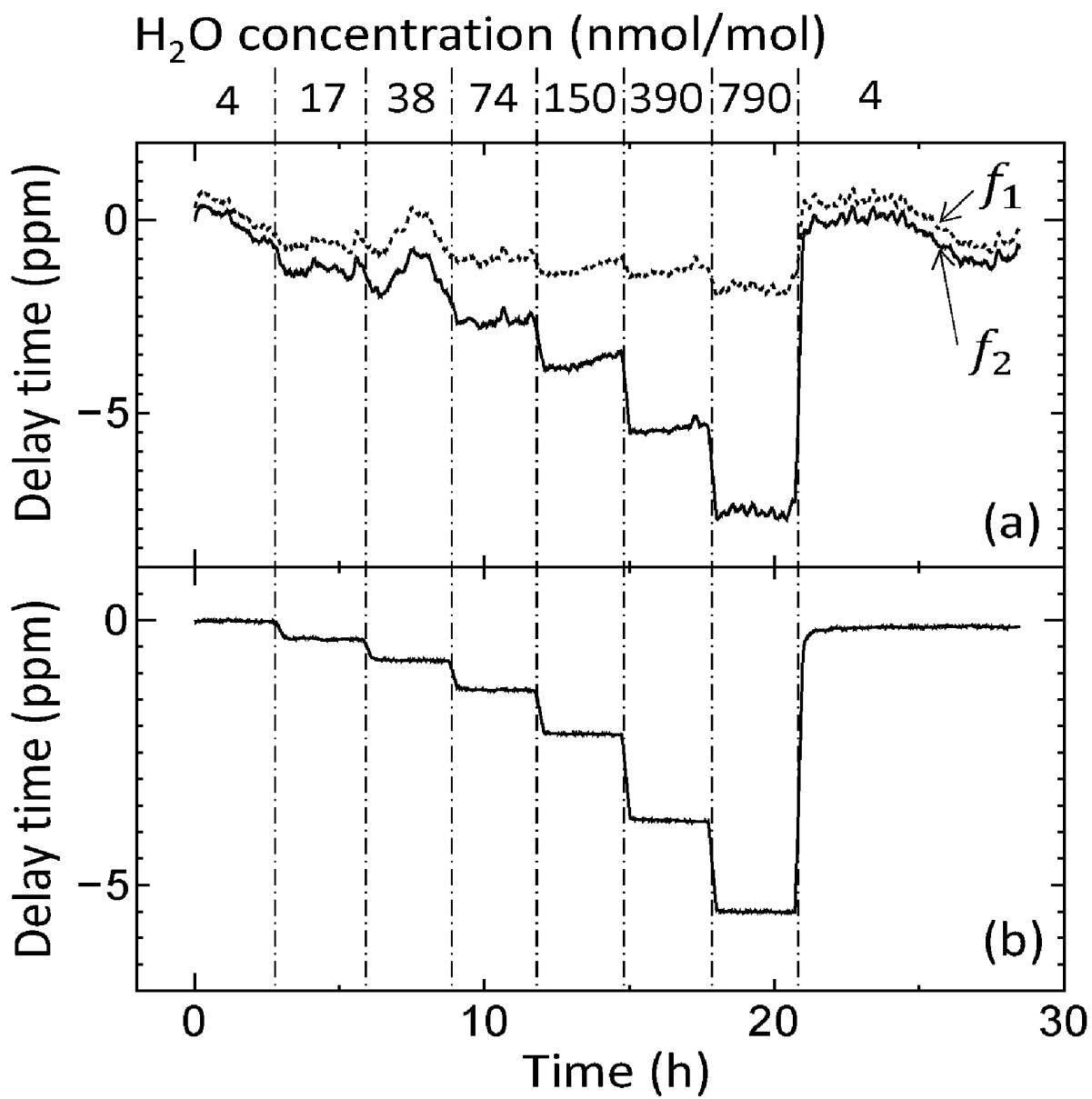
[図2]



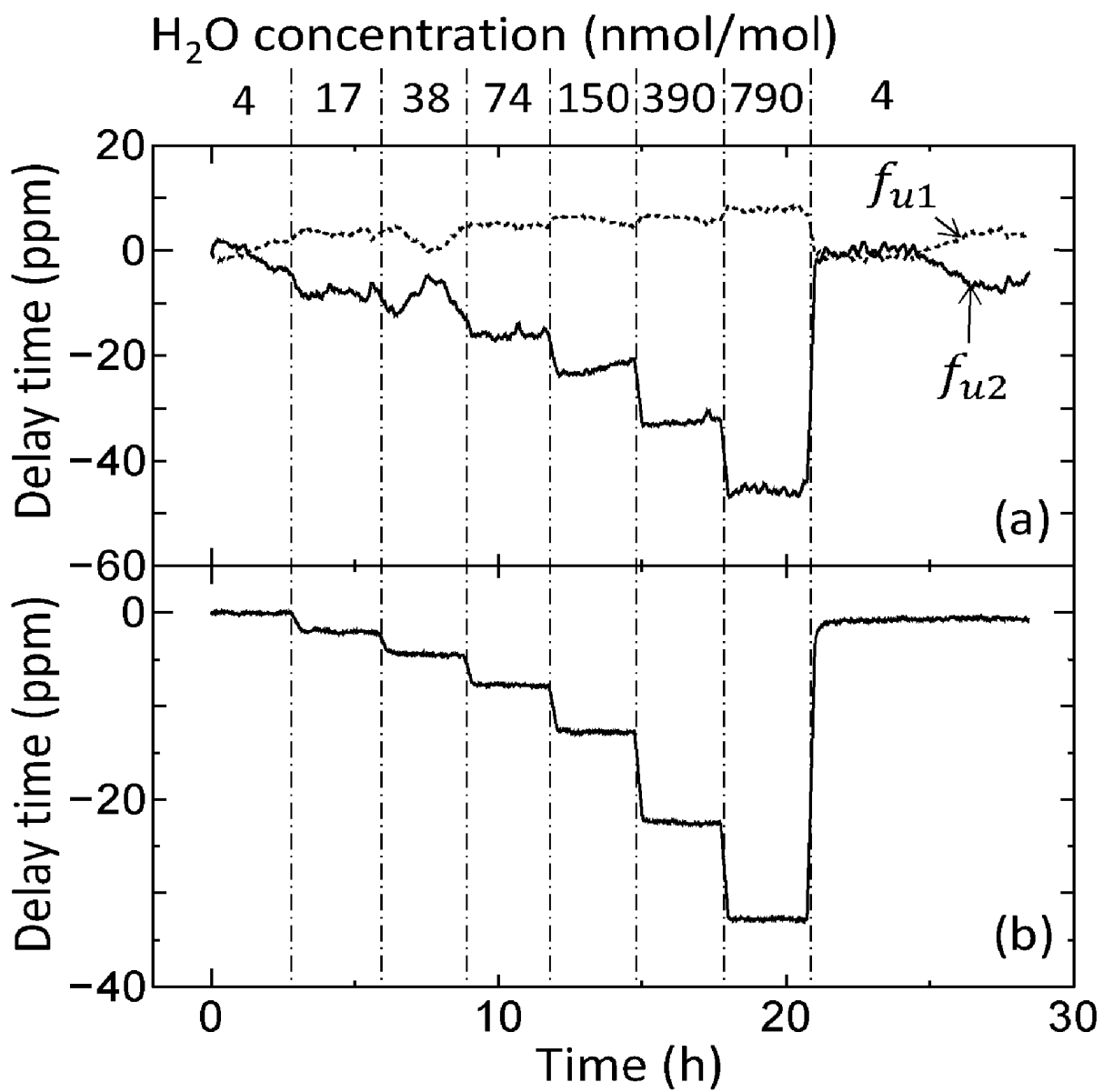
[図3]



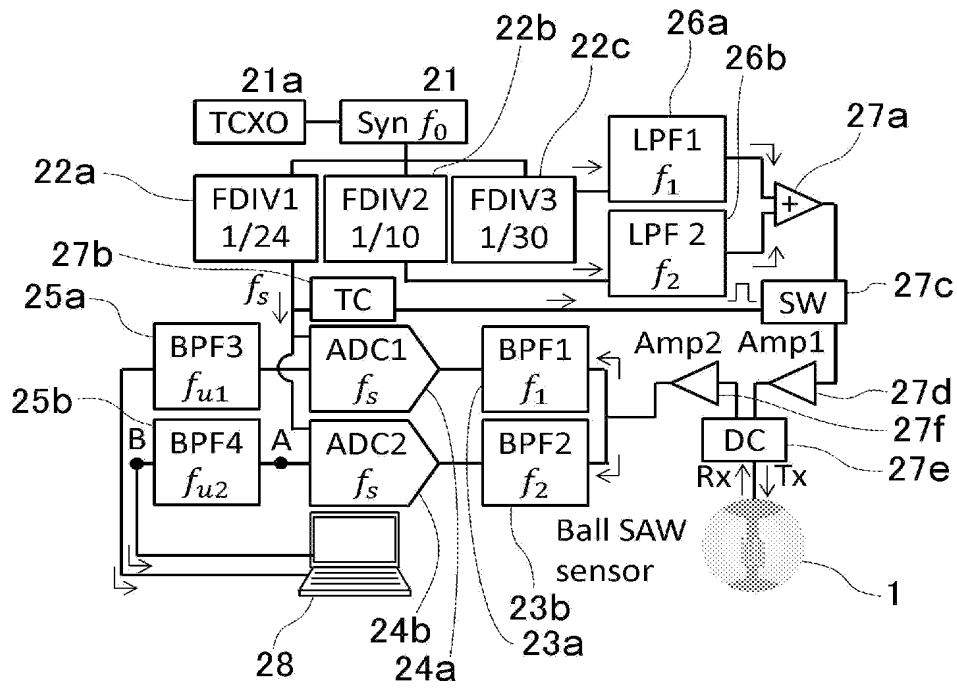
[図4]



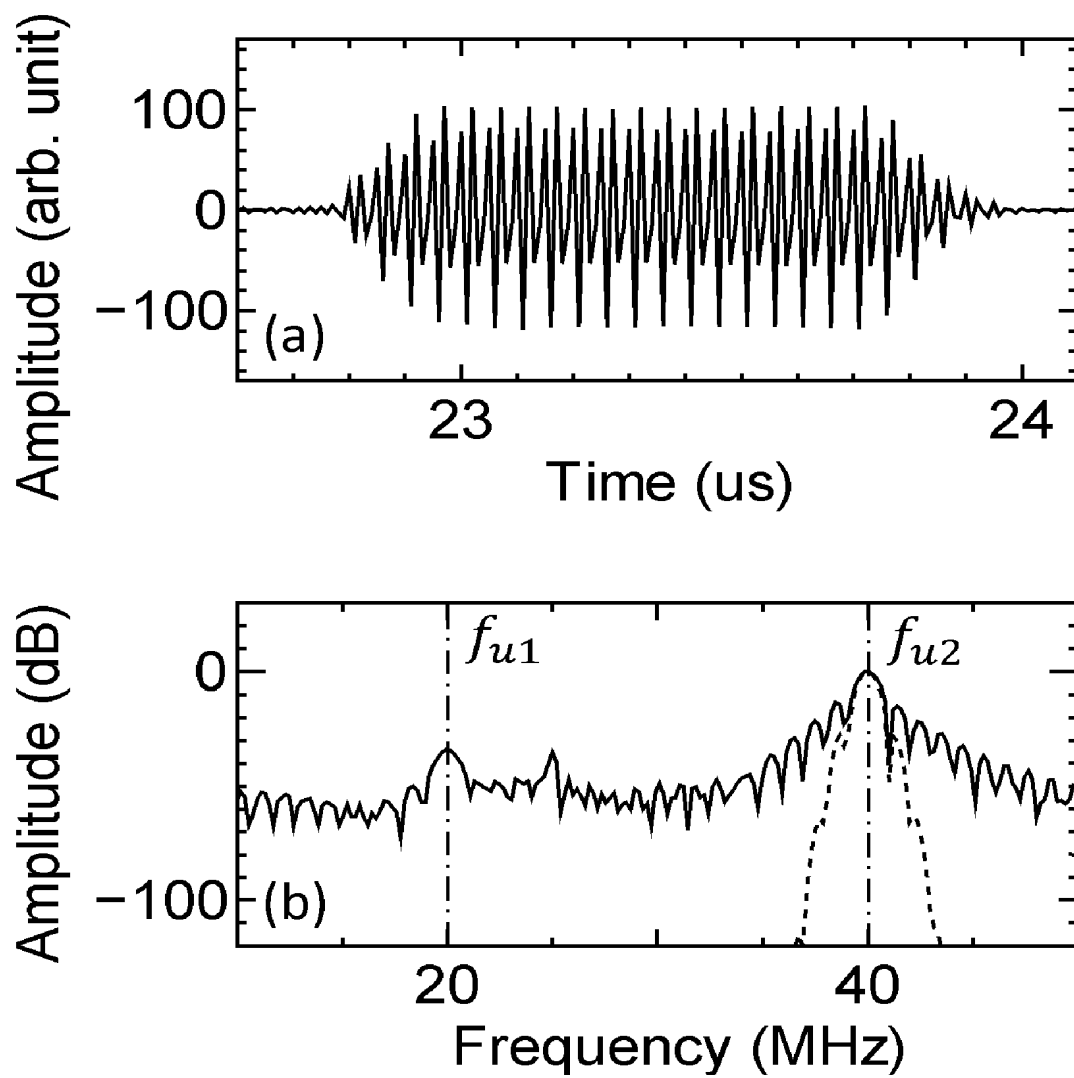
[図5]



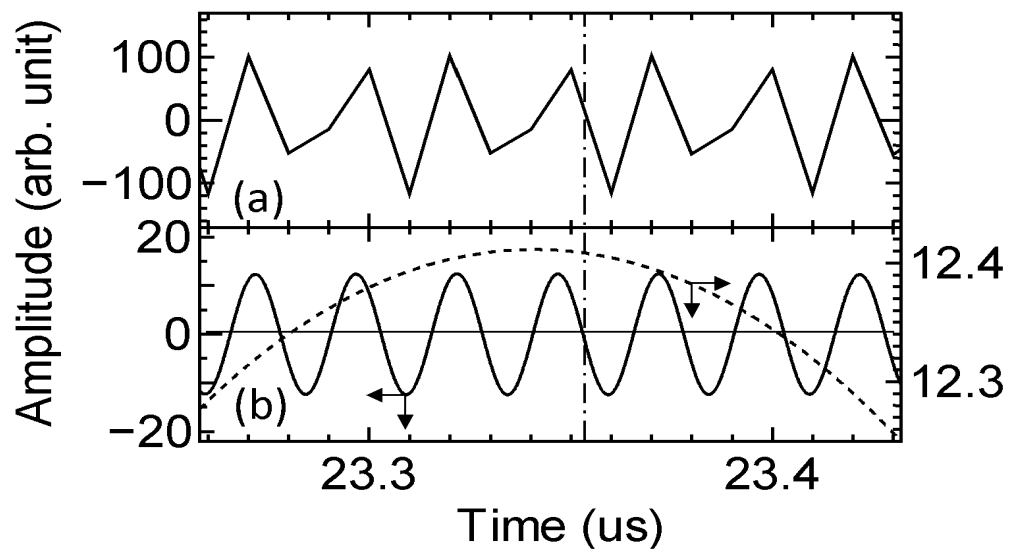
[図6]



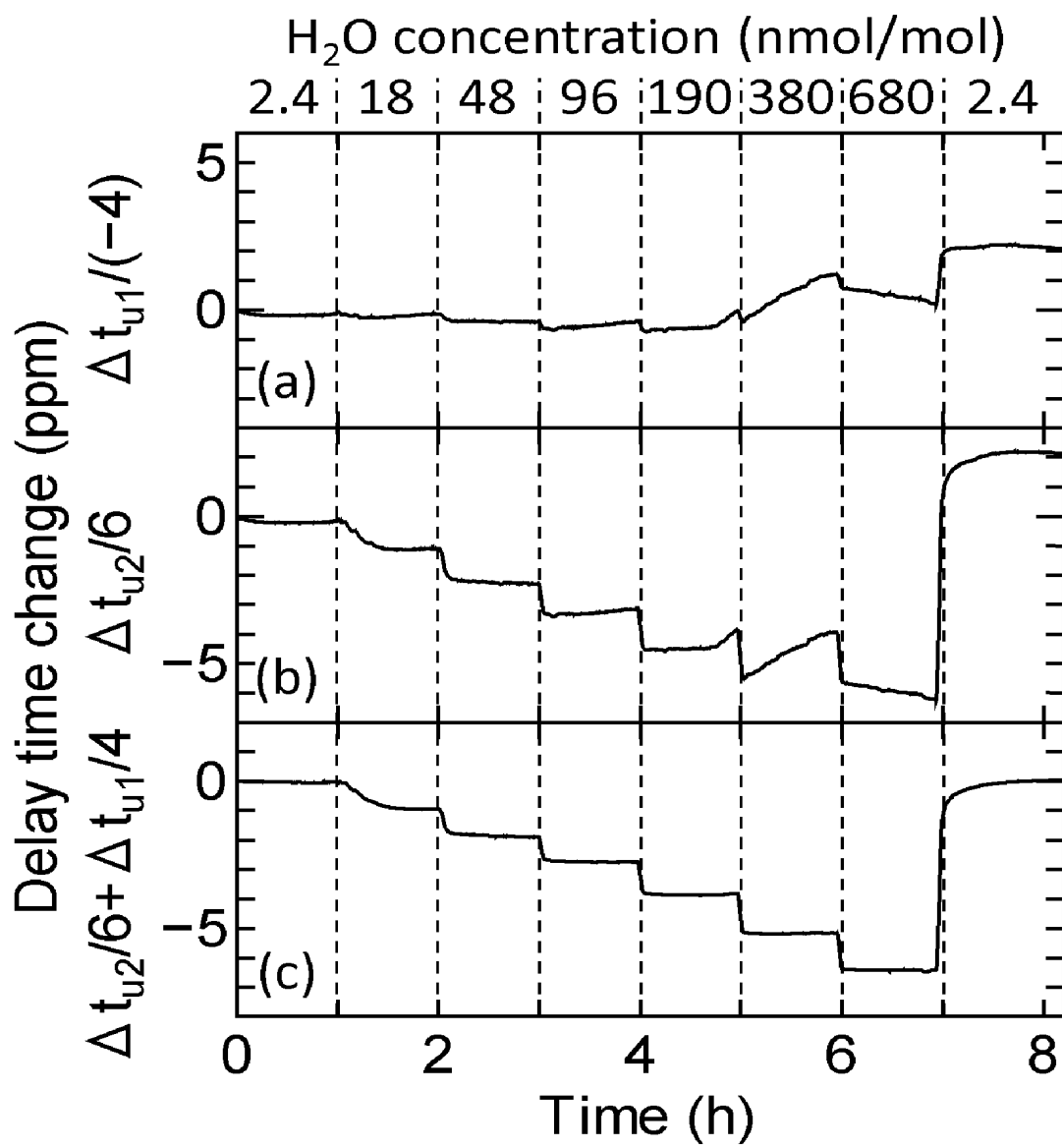
[図7]



[図8]



[図9]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/083290

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N29/02(2006.01)i, G01N29/24(2006.01)i, G01N29/42(2006.01)i, G01N29/44(2006.01)i, H01L41/04(2006.01)i, H01L41/113(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N29/00-G01N29/52, G01B17/00-G01B17/08, G01N5/00-G01N9/36, G01L1/00-G01L1/26, G01L25/00, G01K1/00-G01K19/00, H03H3/08-H03H3/10, H03H9/145, H03H9/25, H03H9/42-H03H9/44, H03H9/64, H03H9/68, H03H9/72, H03H9/76

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2006-71482 A (Toppan Printing Co., Ltd.), 16 March 2006 (16.03.2006), claim 1; paragraph [0060] (Family: none)	1-8
Y	JP 11-142425 A (Furuno Electric Co., Ltd.), 28 May 1999 (28.05.1999), claim 5 (Family: none)	1-8
Y	JP 59-147258 A (Hitachi Medical Corp.), 23 August 1984 (23.08.1984), claim 1 (Family: none)	1-8

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
01 February 2016 (01.02.16)

Date of mailing of the international search report
16 February 2016 (16.02.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/083290

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	JP 2015-87271 A (Japan Radio Co., Ltd.), 07 May 2015 (07.05.2015), claim 1; paragraph [0018] (Family: none)	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. G01N29/02(2006.01)i, G01N29/24(2006.01)i, G01N29/42(2006.01)i, G01N29/44(2006.01)i, H01L41/04(2006.01)i, H01L41/113(2006.01)i

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））
 Int.Cl. G01N29/00-G01N29/52, G01L 1/00-G01L 1/26, H03H 3/08-H03H 3/10, H03H 9/42-H03H9/44, H03H 9/72, G01B17/00-G01B17/08, G01L25/00, H03H 9/145, H03H 9/64, H03H 9/76, G01N 5/00-G01N 9/36, G01K 1/00-G01K19/00, H03H 9/25, H03H 9/68,

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2016年
 日本国実用新案登録公報 1996-2016年
 日本国登録実用新案公報 1994-2016年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）
 JSTPlus (JDreamIII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2006-71482 A (凸版印刷株式会社) 2006.03.16, 請求項1, [0060] (ファミリーなし)	1-8
Y	JP 11-142425 A (古野電気株式会社) 1999.05.28, 請求項5 (ファミリーなし)	1-8
Y	JP 59-147258 A (株式会社日立メディコ) 1984.08.23, 請求項1 (ファミリーなし)	1-8

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	

国際調査を完了した日 01.02.2016	国際調査報告の発送日 16.02.2016
--------------------------	--------------------------

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 比嘉 翔一	2W	4005
	電話番号 03-3581-1101 内線 3250		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
P, X	JP 2015-87271 A (日本無線株式会社) 2015.05.07, 請求項1, [0018] (ファミリーなし)	1-8