水晶振動子を用いた非接触型アルコール濃度検出法の開発

Development of non-contact type alcohol concentration detection method using a quartz crystal resonator

○学　須佐　翼（新潟大）　　正　寒川　雅之（新潟大）
正　安部　隆（新潟大）

Tsubasa SUSA,Niigata University
Masayuki SOHGAWA, Niigata University
Takashi ABE, Niigata University, memsabe@eng.niigata-u.ac.jp

In this paper, we report the development of non-contact type alcohol concentration detection method using a quartz crystal resonator. This detection method was realized by using an interdigital capacitor (IDC) located at a backside of glass substrate for sensing the liquid on the substrate. Multi-point measurement can be done by fabricating multichannel IDC. Frequency changes by a change in the relative permittivity caused by dropping the liquid on the substrate. Since the relative permittivity is dependent on the concentration of the liquid, it is possible to measure the concentration of alcohol. The proposed method is expected to use for non-contact measurements of liquids.

***Key Words*:** Quartz crystal resonator, Non-contact measurement, Liquid sensor

1.　緒言

近年，災害の救助現場のような，危険な現場へのロボットの登用が進められている．ロボットが危険を察知し自立して行動するためには，生き物の嗅覚や味覚に相当する，化学物質を見極める能力が必要である．本研究室では液体センサの開発を行っているが，例えば，“ロボットの皮膚(人工スキン)上には何が付着しているか”といった情報が取得できれば，可燃性液体などの危険物識別が可能になる．そのため，スキン上にある物質を非接触で測れるセンサが必要となる．

これまでに本研究室では，平面展開したコンデンサを測定電極とした，水晶振動子式化学センサの開発を行ってきた[1]．しかし，先行研究では測定部と試料が触れる接触型であり，上記の目的に使用する場合，人工スキン上に電極が露出することになるため，耐久性が課題であった．センサは，人工スキンの下，または緩衝材を介して設置することが望ましい．そこで，本研究では非接触型の水晶振動子式化学センサの開発を行った．また，スキン上の多点で計測を行えるようにするため，マルチチャンネル化も同時に行った．そして，原理検証のために水とアルコールの識別を実験として行った．

2.　作動原理

図 1 に作製したセンサを示す．22×22 mm^2，厚み約 150 μm のガラス基板上に，Sensing Capacitor(SC)として 10 個のくし型コンデンサ(IDC)を作製した．IDC を基板裏側に作製し，IDC から表側(センシング部)に漏れ出す電界を利用し，非接触でセンシングを行う．電極形状は，電極間距離 500 μm，電極幅 200 μm，電極の交差距離が 3 mm である．また，使用した水晶振動子の共振周波数は約 16.2 MHz である．

図 2 に本センサの等価回路を示す．等価回路中の R は抵抗，L はインダクタンス，C は静電容量を表す．本センサの共振周波数 F は以下の(1)式で表される．

$$F=\left(1+\frac{C_1}{2(C_0+C_L)}\right)\frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}}\ [\mathrm{Hz}] \quad \cdots\cdots(1)$$

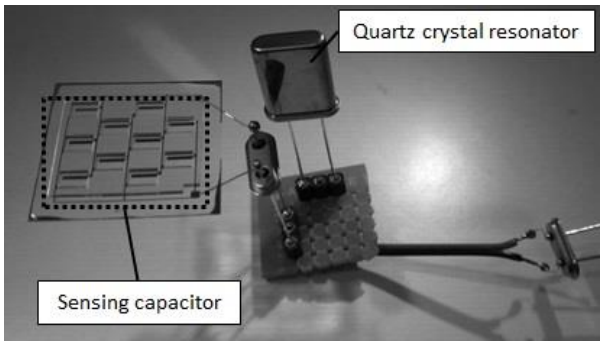

Fig.1 Photograph of the fabricated sensor

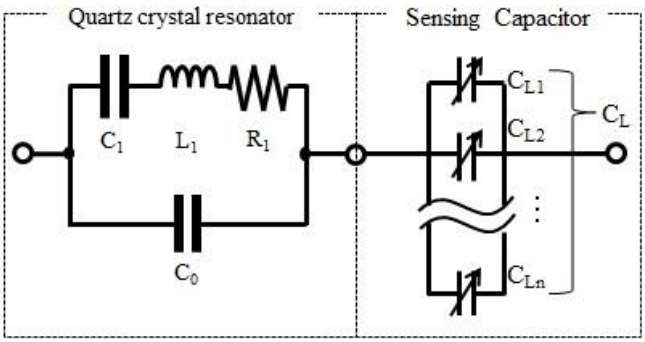

Fig.2 The equivalent circuit model of the proposed multi-channel non-contact sensor

このとき，水晶振動子の等価成分は不変であり，共振周波数はセンサ素子の静電容量のみに依存する．

本センサは並列に 10 個の SC を持つため，合成静電容量 C_L は(2)式で与えられる[1]．

$$C_L = C_{L1} + C_{L2} + \cdot\cdot\cdot + C_{L10}$$
$$= \alpha\left[4\varepsilon_0 K_1 + 2\varepsilon_0(\varepsilon_g - 1)K_2 + 2\varepsilon_0(\varepsilon_d - 1)K_3\right] \quad \cdots\cdots(2)$$

ε_0 は真空の誘電率，ε_g はガラス基板の比誘電率，ε_d は試料の比誘電率である．α，K_1，K_2，K_3 はキャパシタの形状および個数によって決まる定数である．ここで，ε_0 および ε_g は一定のため，合成静電容量 C_L は試料の比誘電率 ε_d の関数である．

センサの周波数変化量 ΔF は式(3)で与えられる[2].

$$\Delta F=\left|\frac{C_1(C_{LA}-C_{LB})}{2(C_0+C_{LA})(C_0+C_{LB})}F_S\right| \quad (3)$$

C_{LA}，C_{LB} は，試料の導入前後のような 2 つの場合における静電容量である．F_S は水晶振動子の直列共振周波数である．

3. 実験

図 3 に試料の滴下実験の模式図を示す．試料を図中の①～⑩に順番に滴下していく．実験は「水とエタノールの滴下」と「エタノール濃度の検出」の 2 つを行う．エタノール濃度の検出では，エタノールを水に混ぜ，25%エタノール，50%エタノール，75%エタノールにして実験を行う．

本センサにおいて，静電容量の変化は試料の滴下によっておこる. 滴下部である容器の寸法は一定であるため，滴下した試料の量，つまり液面の高さによって静電容量の変化量が異なる．すなわち，周波数応答は試料の液面高さに影響する．そのため，滴下量の最適化を予備実験にて行い，600 μm で収束することが分かった．よって, 滴下実験では液面の高さが 600 μm となるように滴下量を調整した.

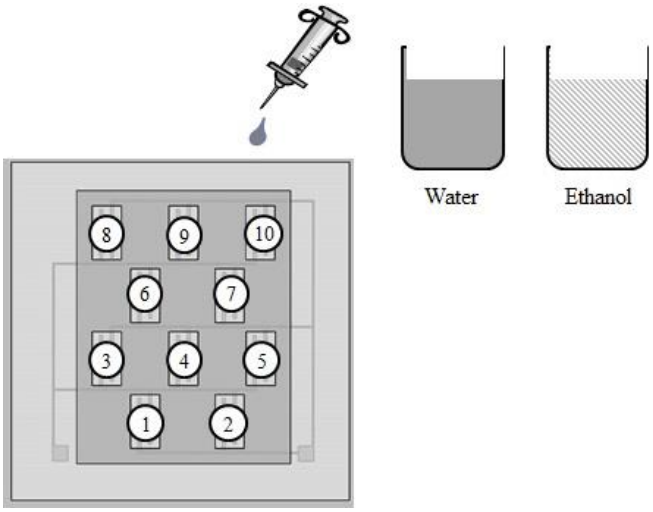

Fig.3 The experiment of dropping sample

4. 結果と考察

図 4 に水とエタノールの滴下実験の結果を示す．グラフの縦軸は周波数変化，横軸が時間である．実線が水，破線がエタノールの応答である．滴下実験では前述のように①～⑩の SC に順番に試料を滴下した．そのため，1 つ目の応答は SC1 つ分の応答だが，2 つ目からは前の SC の応答も合計した応答となる．よって，グラフのような階段状の応答となる．10 個の SC で段階的に応答が得られているため，マルチチャンネルでのセンシングが可能であるということが示された．また，グラフから水とエタノールで異なる応答が得られおり, 2 つの試料の識別が可能であることが示された.

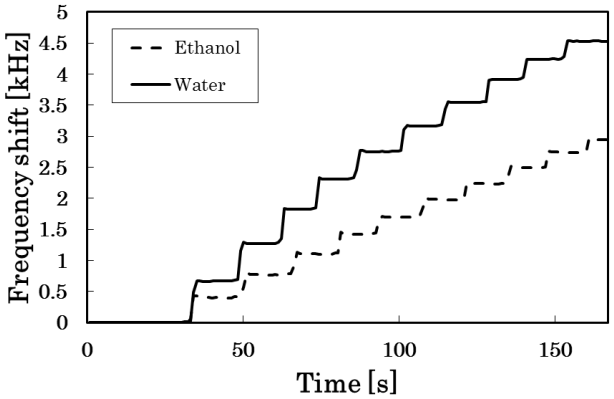

Fig4. The experiment of dropping water and ethanol

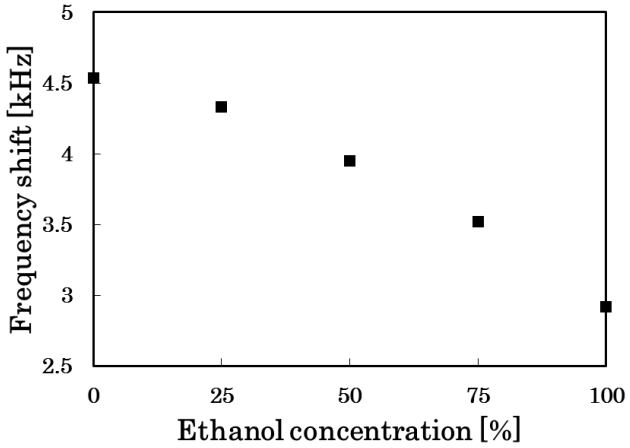

Fig5. Relationship of frequency change and ethanol concentration

図 5 にエタノール濃度と周波数変化の関係を示す．グラフの縦軸は周波数変化，横軸はエタノール濃度である．周波数変化は 10 個の SC すべてに滴下したときの値である．グラフからエタノール濃度が増加するにつれて周波数変化量が減少していることが分かる．これはエタノール濃度の増加により，見かけ上の比誘電率が減少しているためである．グラフより水晶振動子の周波数変化量からエタノール濃度が検出できることが示された．我々は，以上の検討結果を用い，非接触で容器中のエタノール濃度のセンシングにも成功した.

5. 結言

本研究では，水晶振動子を用いた非接触型マルチチャンネル化学センサの作製に成功した．また，本センサにおいて水，エタノールを非接触かつマルチにセンシングできることを確認した．さらに，エタノール濃度を検出することが可能であることを示した.

文　献

[1] 外山 晋二郎，渡部 尊，寒川 雅之，安部 隆，“水晶振動子を用いたドロップレットリアクタ用多点濃度計測法の開発”，第 30 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム(2013 年)，5PM3-PSS-73

[2] 渡部 尊，外山 晋二郎，寒川 雅之，安部 隆，“水晶振動子式モノリシックメタノール濃度センサに関する理論解析”，第 30 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム(2013 年)，6PM3-PSS-72