

環境センシングデバイスの開発

本多 祐仁

田中 純一

オムロン(株)

 CO₂ ガスセンサ, 赤外線アレーセンサ, BEMS・HEMS

1. はじめに

オフィスビル, 製造現場などの省電力化を進めていくためには, 人の位置, および人数を把握し, 不在時, あるいは不在箇所の空調・照明のエネルギーを落とすことが有効な手段である。また, ビル衛生管理法において二酸化炭素 (CO₂) 濃度を 1 000 ppm 以下にする基準が定められており, 換気が必要となる。また, 業務の効率面でも CO₂ 濃度が高くなならないように換気制御を行うことが望ましい。一方, 過剰換気はエネルギーのロスとなるため, CO₂ 濃度をモニタして必要最小限の換気を保つことが省エネルギー化にとって重要となる。

オフィスなどでの人の位置や換気の必要性を検出するセンサとしては, CO₂ センサおよび赤外線センサがあげられる。CO₂ センサについては, 現状は, CO₂ が赤外線の特長波長を吸収する原理を用いた NDIR 方式 (非分散型赤外分光法) と, CO₂ ガスと固体電解質 (ファインセラミックス) の化学反応を利用した電池型の 2 種類がある。しかしながら, NDIR 方式は, 赤外線を吸収するための光路長および光源が必要であり, 電池型は電解質であるファインセラミックスの室温での電導度が低く, ヒータによる加温 (約 400℃) が必要であるため, ①消費電力が大きい ②サイズが大きい ③光源や電池の寿命があるなど, 両者ともに課題がある。そこで, 本稿ではこれらの課題を解決する新たなセンシング方法について紹介する。

赤外線センサの検知方式として, 代表的には, 焦電型, ボロメータ型, サーモパイル型が存在する⁽¹⁾。この中で, 低価格化には通常の IC の作製に利用される CMOS プロセスを用いることができるサーモパイル型が有利である。また, 赤外線アレーセンサの低価格化のためには, 素子の小型化も有効である。しかし, 小型化により感度が低下するため, 高感度化技術が必要となってくる。サーモパイル型赤外線センサの感度向上の方策として, サーモパイル数を増加させることや吸収膜を大きくすることによって開口率を上げる方法がとられているが, 双方とも小型化には背反する方法である。そこで, 小型で低価格な赤外線アレーセンサの実現を目標に, 従来の CMOS プロセスで作製可能

なサーモパイル型赤外線アレーセンサを用い, 素子の小型化による感度の低下を補うためにウェハレベルでの真空封止を用いた赤外線アレーセンサについて紹介する。

本稿では現在 NEDO 研究⁽²⁾として複数企業と共に検討している中小オフィス向けの省エネ情報システム (以下, グリーンセンサネットワークプロジェクト: GSN) の中の CO₂ センサおよび赤外線アレーセンサの取り組みについて紹介する。

2. イオン液体を用いた CO₂ センサ

2.1 CO₂ センサの構成

GSN では, イオン液体の CO₂ 吸着を利用して, 従来の CO₂ センサと比べ, 低消費電力 (従来比より 1 / 100) ・小型 (センササイズ 10 × 10 mm) ・長寿命・低コストな CO₂ センサの開発に取り組んだ^{(3)~(6)}。

図 1 に我々の開発中の CO₂ センサの概略図を示す。電極基板は Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 技術を用いてガラス基板または Si 基板上に電極部を形成した。中央部にイオン液体を実装し, 液漏れ防止のため, ガス透過膜でカバーした。

2.2 イオン液体を用いた CO₂ センサの開発内容

CO₂ 濃度を制御できるチャンバーを作製した。図 2 に実験装置の系統図を示す。ガス濃度はマスフローメータで制御した。インピーダンス値の測定は電気化学計測システム (イギリス Solartron, 12608) を用いた。セルは, 図 3 に示す電気化学セル (東陽テクニカ, SP-C1R-C) を使用し, イオン液体をマイクロピペットで 2 ml 滴下して測定を行った。イオン液体は ethyl-methyl-imidazolium (EMIMBF₄), ethyl-methyl-imidazolium (EMIMTFSI)

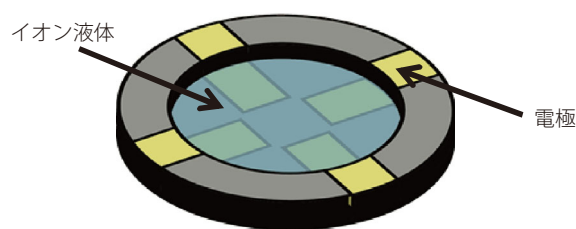


図 1 開発中の CO₂ センサの概略図

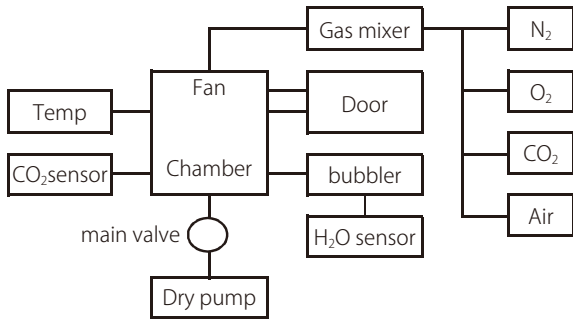


図2 実験装置の系統図



図3 電気化学セル

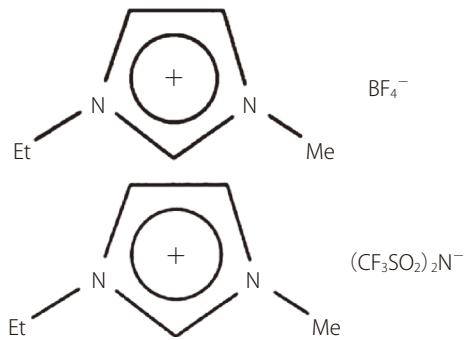


図4 イオン液体 EMIMBF₄ (上) および EMIMTFSI (下) の分子式

などを用いた。

図4に今回用いたイオン液体の分子式を示す。

測定方法は、チャンバ内に電気化学セルをセットし、真空(10 kPa程度)にしてから、N₂、O₂を80:20の比率で、投入した。気圧は1 atmに保持した。その後、所定量のCO₂を投入した。測定はCO₂濃度を0~4 000 ppmの範囲で、行った。

2.3 イオン液体を用いたCO₂センサの特長

図5にEMIMTFSIのCO₂濃度600 ppmで保持した状態でのインピーダンス特性を示す。周波数0.1 Hzで計測を行った。インピーダンス値は測定から10分程度、値が変動するが、それ以降、インピーダンス値は安定した。よって測定方法はチャンバ内に所定のCO₂濃度を投入してから10分後に、測定したインピーダンス値を採用した。

図6にEMIMTFSIのCO₂濃度0~4 000 ppmでのインピーダンス特性を示す。図6より、CO₂濃度が増加する

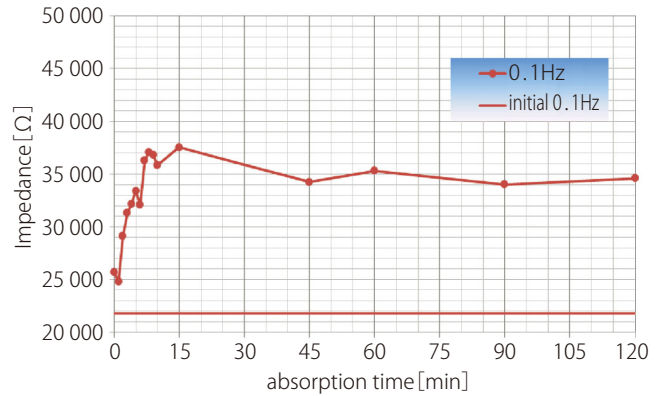


図5 CO₂ 600 ppmでのEMIMTFSIのインピーダンス特性

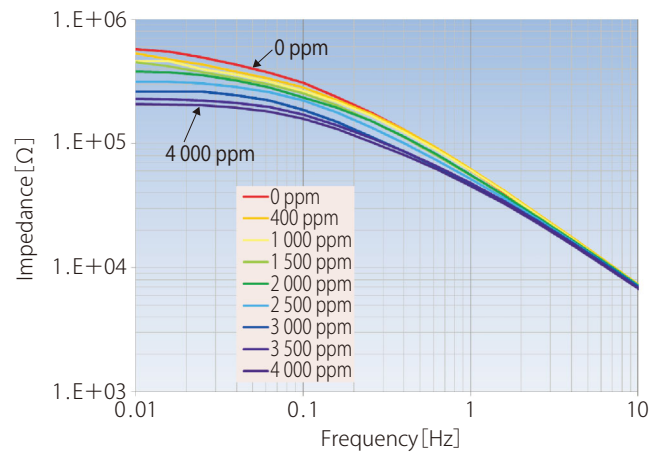


図6 EMIMTFSIのインピーダンス特性値

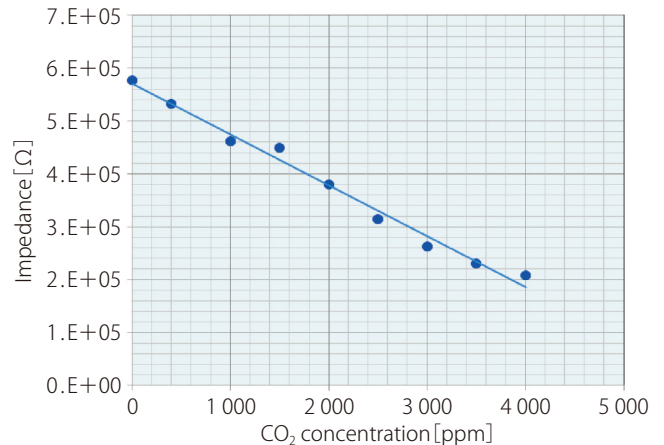


図7 CO₂濃度とインピーダンス値の相関図

につれ、インピーダンス値が低下する結果を得た。図7にCO₂濃度とインピーダンス値の相関図を示す。測定周波数0.01 Hzにて、CO₂濃度とインピーダンス値の関係が1次線形の関係を得た。図7より開発中のCO₂濃度センサの分解能は、100 ppmであり既存のNDIRおよび固体電解質型CO₂センサの分解能と同等以上の分解能を有することが分かった。

開発中のCO₂濃度センサを用いれば、小型かつ低消費

電力なセンサであるため、上記のアプリケーションにおいても対応が可能と考える。また商品化を考える上で、CO₂ センサのセンシング部分であるイオン液体の長期信頼性の確保および製造プロセスの簡略化のために、イオン液体のゲル化を検討している。

3. サーマパイル赤外線アレーセンサ

3.1 開発コンセプト

(1) 開発目標

小型・安価な赤外線アレーセンサを開発することで、オフィスやクリーンルーム内の空調設備や照明機器の省エネルギー化に貢献することが最終目標である。そのために、低コスト・小型化に最適な MEMS 技術を駆使することにより、環境温度や人の存在検知に適した赤外線アレーセンサチップを開発することを目標とする。

(2) 赤外線アレーセンサの仕様

赤外線アレーセンサの仕様を、表 1 に示す。画素数・画素サイズは、高さ 3 m の天井の位置から 3.6 m 角の領域の人をセンシングした際に、1 画素の視野範囲と人が同程度の大きさとなるように設定した。また、一画素の応答速度は、フレームレート 10 fps で人の存在検知ができるように設定した。

(3) 赤外線アレーセンサの特徴

開発する赤外線アレーセンサの特徴は、ウェハレベル真空封止による、センサ素子の小型・高感度化である。詳細を以下に記載する。

一般的なサーモパイル型赤外線アレーセンサの断面模式図を図 8 に示す。メンブレン上に P 型と N 型のポリシリ

表 1 GSN での赤外線アレーセンサの仕様

目標項目	目標値
チップサイズ	7 mm 角
画素数	16 × 16
画素サイズ	250 μm 角
応答速度	33 msec

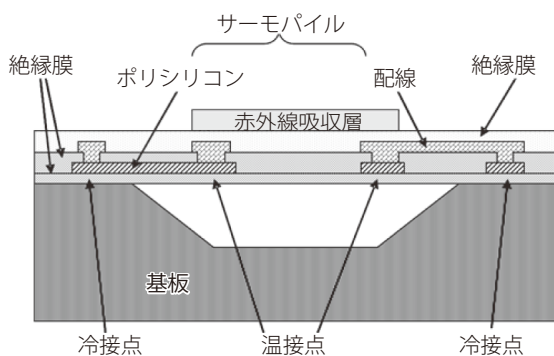


図 8 サーマパイル赤外線アレーセンサの模式図

コンでサーモパイルが形成されている。赤外線吸収膜で吸収された赤外線が熱に変換されゼーベック効果によって、電圧が出力される。また、サーモパイル型赤外線センサの出力 S (V) は、式 (1) で表される。

$$S = n\alpha\eta R A P = n\alpha\Delta T \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 n はサーモパイル対数、 α はゼーベック係数 (V / K)、 η は赤外線吸収率、 R は熱抵抗 (K / W)、 A は赤外線吸収膜面積 (m^2)、 P は入射光密度 (W / m^2)、 ΔT (K) は温接点と冷接点の温度差である。また熱抵抗 R は MEMS 構造体の熱抵抗と周囲の気体の熱抵抗の合成抵抗である。

センサ素子の小型化と高感度化を両立するために、 n のサーモパイル対数や A の赤外線吸収膜面積を増やすことには限界がある。また、 α のゼーベック係数と η の赤外線吸収率は使用する材質に依存する。したがって、 R : 熱抵抗を大きくすることが感度向上に対する対策となる。この R を大きくする有効な方策がセンサ周囲の圧力を下げることである。

つまり、ウェハレベルで真空封止を行うことで、チップサイズを拡大することなく、センサ素子を高感度化できる。

3.2 試作結果

実際に試作したセンサチップの SEM 像を図 9 (a) に、ウェハレベル真空封止後のチップ断面写真を図 9 (b) に示す。センサウェハとキャップウェハは、AuSn 共晶接合を用いて真空封止を行っている。

チョップを用いて、センサ素子に間欠的に赤外線を照射し、一画素のアナログ出力をオシロスコープで測定したところ一画素の応答速度は 18 msec 以下であった。

センサ素子の感度の評価系を、図 10 に示す。センサ素

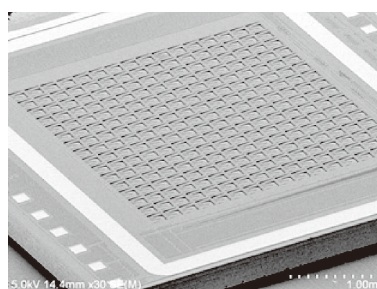


図 9 (a) センサ側チップの SEM 像 (真空封止前)

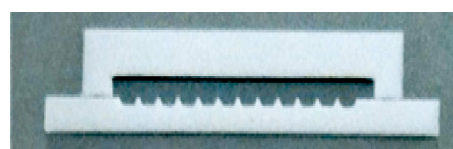


図 9 (b) センサチップ断面写真

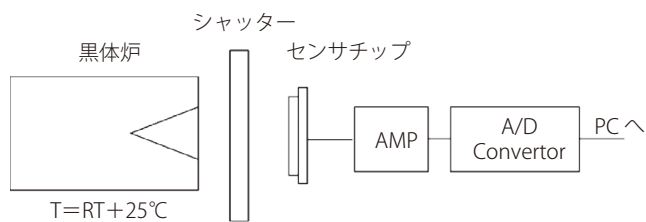


図 10 センサ感度の評価系

表 2 真空による感度変化の測定結果

真空封止前のセンサ感度 (bit/°C)	真空封止後のセンサ感度 (bit/°C)	真空効果
0.87	1.85	2.0 倍

子に対して、周囲温度より 25°C 高い温度の黒体炉から出射される赤外線照射し、センサ素子の出力から感度を算出する。真空封止前の感度と、真空封止後の感度を比較することで、真空封止によるセンサ感度向上の効果（以下、真空効果という）を測定した。表 2 に、真空効果を測定した結果を示す。真空封止により、センサの感度が約 2.0 倍向上したことを確認できた。

4. おわりに

イオン液体を用いた小型かつ低消費電力の CO₂ センサの開発および小型高感度なサーモパイル型赤外線アレーセンサについて概要を紹介した。

CO₂ センサの開発では、従来の CO₂ センサの課題であった消費電力・サイズ・寿命といった課題をクリアする必要がある。この打ち手として GSN ではイオン液体のインピーダンスが CO₂ 濃度に依存することを利用した CO₂ 濃度測定法を提案し効果を確認してきた。今後は CO₂ センサモジュール全体のさらなる小型化による低消費電力化を行うと同時に、自立型センサ端末として自立電源、無線デバイスの搭載に取り組んでいく。

また赤外線センサの開発では、環境温度や人の存在検知に適した赤外線アレーセンサチップを開発することを目標に、MEMS 技術とウェハレベル真空封止を利用し、サーモパイル赤外線アレーセンサチップの試作を実施した。真空封止により、2.0 倍の感度向上の効果を確認できた。

実際に GSN の中で実証実験を進めることで、センサ仕様の見直しを進め、省エネ効果をさらに高めていく。

特に東日本大震災以降、電力の不足から起因される節電や省エネルギー化への取り組みが今後も継続的に必要不可欠であり、今後、本プロジェクトに参画している他の企業との連携を深めながら、小型・低消費電力なセンサネットワークの実現を目指していく。

〈謝辞〉 本稿に記載の成果の一部は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の共同研究業務の結果から得られたものです。

文 献

- (1) M. Ohira et al., Proc. MEMS 2011, pp.708-711 (2011)
- (2) 技術研究組合 NMEMS 技術研究機構 HP : <http://www.nmems.or.jp/index.html>
- (3) M. Honda et al, Proc. SENSORS 2012, pp.745-748 (2012)
- (4) 本多祐仁 予稿集 第 3 回イオン液体討論会, p.132 (2012)
- (5) K. Ishizu et. al., Proc. MEMS 2012, pp.784-787 (2012)
- (6) N. Kiga et. al., Proc. MEMS 2012, pp.796-799 (2012)



本多 祐仁

ほんだ・まさひと

2001 年新潟大学大学院自然科学研究科修了。2001 年ニチコン(株) 入社。2004 年オムロン(株) 入社。現在オムロン(株) 技術・知財本部 PMEMS プロジェクト。2011 年よりグリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発プロジェクトに従事。



田中 純一

たなか・じゅんいち (正員)

2004 年早稲田大学大学院修了。2004 年オムロン(株) 入社。現在オムロン(株) 技術・知財本部 PMEMS プロジェクト。2011 年よりグリーンセンサ・ネットワークシステム技術開発プロジェクトに従事。