

# Circuits and Systems for Integrated Metal-Oxide Sensors Towards Artificial Olfaction

June 2023

Yohsuke Shiiki

# 主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	椎木 陽介
主論文題名： Circuits and Systems for Integrated Metal-Oxide Sensors Towards Artificial Olfaction (人工嗅覚実現に向けた集積化金属酸化物センサ用の回路とシステム)					
(内容の要旨) 多くの哺乳類は嗅覚を利用して餌や仲間や危険を感知している。そのような生物の嗅覚を再現する人工嗅覚を実現することは、多くの種類のガスセンサを見かけるが今でも非常に困難な課題である。嗅覚デバイスの性能はリアルタイム性、コスト、精度、電力消費、サイズ、センサ数の間のトレードオフの関係で決まってしまう。このトレードオフの関係を越えた嗅覚デバイスを実現するために、センサマテリアル研究機関と共同研究しながら、新規の嗅覚システムをこれまで研究開発してきた。本研究では大量の分子情報を取得するためのハードウェアプラットフォームを実現するための回路とシステムを中心に述べる。人工嗅覚実現にとって大切な要素技術の、嗅覚センサのコンパクトモデル、集積センサ用の読取り回路、複数のセンサのエミュレーション技術に関する研究成果をまとめた。 第1章では人工嗅覚に関する研究背景、研究の最終的な目標、本論文の構成について述べる。 第2章では回路とシステムを設計するにあたり直面する現実的な課題について述べる。嗅覚センサとしては、集積の容易さ、低コスト、リアルタイム性の観点から金属酸化物材料を選択し、その材料を使った最終的な嗅覚センサの図を共有する。執筆段階ではそのセンサは開発中であるため、中間成果物の2種類のセンサを紹介する。それらはそれぞれ、“クロスポイント構造センサアレイ”と“自己加熱分子センサアレイ”と呼ばれている。 第3章では金属酸化物センサのコンパクトモデル実装について紹介する。E. Llobet et al.の過去の研究成果を発展させ、自己加熱効果の影響を考慮したフィードバックループ内蔵のモデルを提案した。モデルパラメータは測定によって同定した。最終的に実験結果とシミュレーション結果の比較を行なった。 第4章ではクロスポイント構造センサアレイの読取り回路について述べる。従来の回路ではセンサ同士の回り込み電流を抑制するためにオペアンプが利用される。シミュレーションによって読取り誤差の原因を特定した。精度を向上させるために、オペアンプによって引き起こされる誤差を補正する処理方法を提案し解析した。加えて、オペアンプを取り除いた、“回込み電流制御方式読取り手法”が提案された。 第5章では、複数のセンサエミュレーション技術に関して、“定電力・パルス加熱測定法”の提案を行なった。この測定手法では一つのセンサが、異なる温度条件をつくり出すことによって複数のセンサのように振る舞う。その測定手法内での回路は、アレイセンサに対しても多くの電力が消費されないように設計された。ダミー抵抗を使った回路の測定結果から温度制御及び読取り精度が評価された。評価の後に自己加熱センサを測定した。その結果から、パルス加熱測定法が正しくセンサに適用されたと結論づけた。 第6章では各章で述べた研究成果をまとめ、将来の研究の展望を示している。					

Thesis Abstract

No. \_\_\_\_\_

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> “KOU” <input type="checkbox"/> “OTSU” No. _____ *Office use only	Name	SHIIKI, Yohsuke
Thesis Title <p style="text-align: center;">Circuits and Systems for Integrated Metal-Oxide Sensors Towards Artificial Olfaction</p>			
Thesis Summary <p>Most mammals perceive their baits, companions, dangers, and other information by their noses. Although various gas sensors are present in markets, it is still challenging to implement artificial noses which mimic bio-noses. Trade-offs limit the specifications of nose devices between real-time, cost, resolution, power consumption, size, and the number of sensors. To overcome the trade-offs, we have created a noble nose system collaborating with sensor material researchers. In this thesis, circuits and systems are focused on in order to realize a hardware platform for collecting massive molecule information. As the essential techniques, a compact model of the odor sensor, readout circuits for integrated sensors, and multiple-sensor emulation were investigated.</p> <p>Chapter 1 describes the background, the goal of the research, and the structure of this thesis.</p> <p>Chapter 2 describes practical challenges from the point of view of circuits and systems. As the odor sensors, metal oxide materials are selected for their advantages such as their ease of integration, low-cost manufacturing, and real-time. Then, the image of the final shape of the odor sensor is shared. Since the sensor is under development, two types of sensors are introduced: the so-called “cross-point-structured sensor array” and the “self-heated molecule sensor array”.</p> <p>Chapter 3 describes an implementation of a compact model of the metal oxide sensor. Extended from previous work by E. Llobet et al., we proposed a model which includes a feedback loop to consider self-heating effects. The model parameters are determined by measurements. Finally, experimental results and simulation outputs are compared.</p> <p>Chapter 4 describes readout circuits for a cross-point-structured sensor array. Conventional circuits use op-amps to suppress sneak currents among the sensors. Based on simulations, readout error causes are revealed in conventional circuits. To improve the accuracy, a processing technique to calibrate an error caused by an op-amp is proposed, and its performance is analyzed. In addition, a new readout so-called “sneak-path-controlled readout” is proposed, which removes op-amps.</p> <p>In Chapter 5, in terms of the multiple-sensor emulation, “constant-power, pulse-heating measurement” is described. The measurement makes one sensor behave like multiple sensors by creating different temperature conditions. Low-power consumption is considered to design its circuit. According to measurement results of the circuit using dummy resistors, the accuracy of temperature control and readout were evaluated. After the evaluation, self-heated sensors are measured. The results show the proposed system was successfully applied to the sensors.</p> <p>Chapter 6 summarizes the results of this study and perspectives for future works.</p>			