

2026年 1月 8日

電気・電子情報工学 専攻	学籍番号	第 219202 号	指導教員	澤田和明 高橋一浩
氏名	水谷 学世			

論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名	電界制御型グリッドによるガスセンサ検出特性の変調
---------	--------------------------

(要旨 1,200 字程度)

ガスセンサの高機能化に向けた研究開発が国内外で盛んに行われている。ガスセンサは、小型かつ簡易に空気中の特定の気化成分（ガス）を検出できる。従来、ガスセンサがガスを検出する原理に着目した手法に関する研究開発が進められてきた。しかし、低濃度ガスの検出や成分ごとに選択的に検出することは今日でも大きな技術的課題である。

本研究では、単一のガスセンサと組み合わせることでガスの識別を容易にするデバイス（グリッド）を開発した。グリッドは、ガスの化学的・物理的性質を変化させることで、ガスセンサ出力をガスの性質に応じて変調させる。このガスセンサ出力の変調により、ガスセンサのみでガスを検出させた場合より明確に成分の識別ができる。グリッドは、幅 $15\ \mu\text{m}$ の金属細線を、 $15\ \mu\text{m}$ 間隔で平行に配列した格子構造と、その下の貫通孔を有するシリコン基板で構成されている。ガスは金属細線の隙間・貫通孔の順に通抜け、ガスセンサへ到達する。

ガスの性質をそれぞれ異なる方法で変化させる数種類のグリッドを本学の LSI 工場で作製した。グリッド作製後に基礎実験を行った結果、金属細線の周囲に電界を形成する電界制御型グリッドが、ガスの物性変化や取り扱いの点で有利であると判断した。次に、グリッド周囲の電界強度をシミュレーションした。その結果、印加電圧の増加に伴い、主に金属線と空気の界面付近で電界強度が増加することを確認した。また、グリッドとガスセンサを固定するための治具も、ガスがグリッドを通り抜けやすいように最適化した構造のものを作製した。

本研究では、まず類似した分子構造を持ついくつかのガスに対するガスセンサ出力の検証を実施した。これは、グリッドへの印加電圧の大きさに応じてガスセンサ出力が変調できるかどうかの基礎検証である。まず、極性が異なるが、構造が類似するアセトン、イソプロパノール (IPA)、プロパンを用いた。その結果、ガスごとに異なる傾向のデータであることを確認した。本実験では、グリッドとガスセンサを組み合わせることで、極性の異なるガスを識別できる可能性を見出した。

次に、鏡像異性体の識別の可能性を検証した。鏡像異性体は、鏡像のように正反対の化学構造を持つ。また、化学的性質や物理的性質が同じであっても、人間は異なる匂いとして感じることもある。鏡像異性体の識別が可能になれば、人間の鼻を模倣したガスセンサ（匂いセンサ）の開発が進む可能性がある。実験結果では、印加電圧を増加させることで、鏡像異性体の関係にある内、一方のガスに対するガスセンサの出力が、もう片方よりも高くなった。

本研究の実験結果から、電界制御型グリッドはガスセンサの出力を変化させることができることがわ

かった。グリッドがガスの種類ごとにガスセンサの出力を変化させる要因はいくつか考えられる。まず、グリッドが特定の分子に電荷を与えたり、官能基をイオン化したりすることが考えられる。これにより、ガスとガスセンサ間の酸化還元反応が促進され、ガスセンサ出力が増加した可能性がある。また、帯電したガス分子が金属細線に吸着し、ガスセンサに到達するガス分子の量が減少した可能性もある。

このグリッドは、治具などの実験器具をカスタマイズすることで、あらゆる検出方法のガスセンサに使用可能であり、より多様なデータが得られることが期待される。

Date of Submission (month day, year) : January 8, 2026

Department of Electrical and Electronic Information Engineering	Student ID Number D219202	Supervisors Kazuaki Sawada Kazuhiro Takahashi
Applicant's name Manase Mizutani		

Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Modulation of gas sensor detection characteristics by an electric field control type grid
-----------------	---

Approx. 800 words

Research and developments have been actively conducted to improve the functionality of gas sensors. These gas sensors can use to detect specific vaporized components present in the air in small and easy. Research and development have been conducted on methods that focus on the principles by which gas sensors detect gases. However, detecting low concentrations of gases and selectively detecting each component remain major technical challenges.

In this study, we developed devices (grid) that can be combined with a single gas sensor to make it easier to identify gases. The grid modulates the gas sensor output by changing the chemical and physical properties of the gas itself. This modulation allows the components to be identified more clearly than when the gas is detected using only the gas sensor. The grid consists of a lattice structure in which 15 μm -wide metal wires are arranged in parallel at 15 μm intervals, and a silicon substrate with through-holes underneath. Gasses pass through the gaps between the metal wires, then exit the through-holes and reach the gas sensor.

We fabricated several types of grids at our university's LSI factory. These change gas properties in different ways. After creating grids for all methods, we conducted basic experiments. As a result, we determined that the electric field control type grid, which applied voltage and forms an electric field around the metal wire, is advantageous in terms of gas property changes and handling. Next, we simulated the electric field strength around the grid. As a result, we confirmed that the electric field strength increases mainly near the interface between the metal wire and air as the applied voltage increases. We also created a jig for fixing the grid and gas sensor with an optimized structure to allow gas to easily pass through the grid.

In this study, we verified the gas sensor output for several gases with similar molecular structures. At this time, we focused on whether the output of the gas sensor changes depending on the magnitude of the voltage applied to the grid. First, we used acetone, isopropanol (IPA), and propane in first experiment. These gases have different polarities but similar structure. Prior to the experiment, we simulated the electric field strength of surrounding the grid. As a result, we confirmed the electric field strength increased near the interface between the metal wire and the air primarily as the applied voltage increased. Also, we created a jig for use in experiments using the grid. We compared the waveform of the data detected without applying a voltage and the increase or decrease in output when a voltage was applied. As a result, we confirmed that the data was different trend of each gas. In this experiment, we found the possibility to distinguish gases between different polarities by combining the grid and a gas sensor.

Next, we examined the possibility of distinguishing enantiomers. Enantiomers have opposite chemical structures, like mirror images. Furthermore, even though chemical properties or physical properties are the same, humans may feel them as different odors. If the enantiomers could be distinguished, the development of gas sensor (odor sensor) that mimics the human nose can advance. The results showed that the output of the gas sensor for one of the enantiomeric gases became higher than the another by increasing the applied voltage.

The experimental result in this study, the electric field control type grid could change the gas sensor output. There are several possible factors that cause the grid to modulate the gas sensor output for each gas type. First, it is thought that the grid imparts a charge or ionizes the functional groups to the specific molecules. These promote oxidation-reduction reactions between the gas and the gas sensor, resulting in an increase in the gas sensor output. Another possibility is that the some charged molecules adsorb to the metal wire and decrease the amount of molecule reaching the gas sensor.

The grid can be used with any gas sensor using any detection method by customizing the experimental system, such as the fixture, and is expected to lead to a wider variety of data.