

ガス透過特性可変素子の検証

Functional validation of the apertures of Gas Permeation Control Device

水谷 学世* 鈴木 譽久*
Manase Mizutani Yoshihisa Suzuki

野田 俊彦**
Toshihiko Noda

We have developed Gas Permeation Device (Gas grid) and manufactured it by the MEMS method. We have demonstrated that the Gas grid has openings on the order of micrometers, through which the permeation of gas molecules can be modulated. The action on the gas flow when viewed macroscopically, the adsorption of gas molecules on the Gas grid and the collision of gas molecules at the openings can be considered as factors that control the permeation amount of nano-sized gas at the opening. In this paper, we will report how the Gas grid affects the gas flow.

KEY WORDS: Gas grid, Gas sensor, Fluid simulation, Gas flow, Modulation

1. はじめに

生体には五感（視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚）を用いて外部からの情報を得る機能が備わっている。五感のうち、視覚、聴覚、触覚、味覚はそれぞれ、光、音、圧力、温度や酸味などのような物理量を受容する感覚であり、いずれも測定するための尺度が存在する。そのため、客観的な評価が可能であり、高性能なセンサも実用化されている。一方、嗅覚は多種の化学物質を受容して成される感覚であり、これらの感覚に相当する尺度は曖昧である。しかしながら、多くの分野で匂いセンサの需要が高まっている。例えば、医療分野では、人体の健康状態を非侵襲かつ前処理の必要なく検診する方法として、呼気ガスや皮膚ガスの成分をセンシングする方法が注目され、研究が行われている。

多種多様なガス成分に対して応答特性の異なるガスセンサを組み合わせ、機械学習などのデータ処理を用いてガスの種類を同定、定量する手法としてマルチモーダルガスセンシングが提案されている。そのマルチモーダルガスセンシングに用いるデバイスとして、ガスセンサに組み合わせ、ガスセンサ出力を変調させるガス透過特性可変素子（グリッド）を提案してきた^{1), 2)}。このグリッ

ドは、Fig. 1 に示す構造（酸化膜を形成したSi基板上にAl製グリッドを形成した構造）を持ち、マイクロメートル間隔の開口部によって、ガスセンサへ到達するガスを制御する。そして、ガスセンサの出力を変調することを実験的に確認してきた (Fig. 2)。グリッドの設置によりガスセンサの出力を変調できる現象は、グリッドがガス分子に何らかの作用・影響を及ぼしていると推測できるが、マイクロメートル間隔の開口部を持つグリッドがナノサイズのガス分子に及ぼす影響については不明であった。グリッドとガスの相互作用として、ガスの流れの変調、グリッドへのガスの吸着、ガス分子同士の衝突の促進が考えられる。

今回、グリッド周辺においてグリッドがガスの流れに対してどのように作用するかについて流体シミュレーションで解析したので報告する。

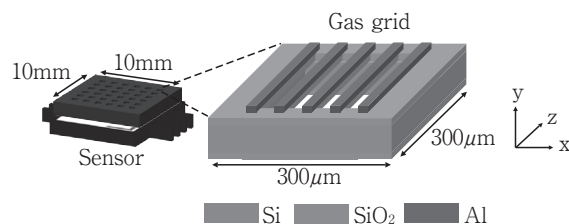


Fig. 1 Schematic diagram of the gas grid. The right inlet shows enlarged view of one of the through holes.

* 開発本部 開発グループ
** 豊橋技術科学大学

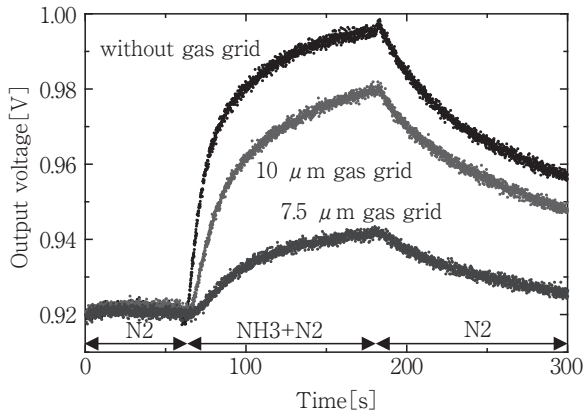


Fig. 2 Change in the gas sensor response to ammonia by placing a gas grid on the gas sensor.

2. グリッド周辺におけるガス流特性

2.1 シミュレーションモデル

Fig. 3 にシミュレーションに使用するグリッドとセンサの空間図を示す。グリッドの梁の幅 (Line) と梁と梁の間の開口部 (Space) との寸法は等しく、 $7.5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ 、 $15\mu\text{m}$ とし、それぞれの総面積を等しくなるように設定した。

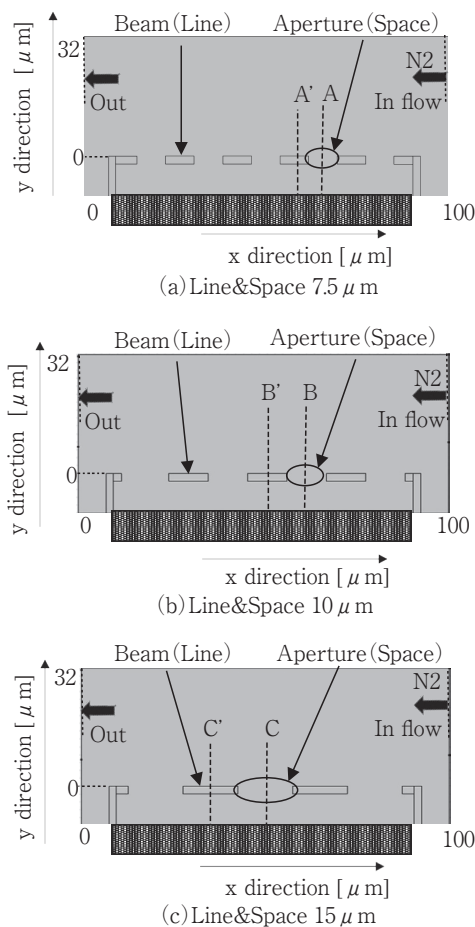


Fig. 3 Model for simulating gas flow.

グリッドのガスセンサ側の面を $y=0$ とし、 z 軸方向の空間は無限とした。また、梁の厚さを $2\mu\text{m}$ とし、グリッドのガスセンサ側の面とガスセンサの面との距離を $7.5\mu\text{m}$ とした。

ガスは窒素 (N_2)、グリッド材料はアルミニウム (Al) とした。流入口で窒素が $-x$ 方向に $2.9 \times 10^{-5}\text{m/s}$ で流入し、流出口ではガスが逆流せず、無抵抗で流れ出すように設定した。流体シミュレーションには、COMSOL Multiphysics ver.5.6 を使用した。

2.2 グリッド設置によるガスの流れ方

Fig. 4 にグリッドの設置有無によるガスの流れ方を示す。グリッドのLine&Spaceは $7.5\mu\text{m}$ とした。色の濃淡はガスの流速を表し、明るいほどガスの流速が速く、暗いほど遅い。矢印はその点におけるガスの流れの向きを示す。グリッドの設置により、グリッドとガスセンサの間の流速は大きく変化し、遅くなる。

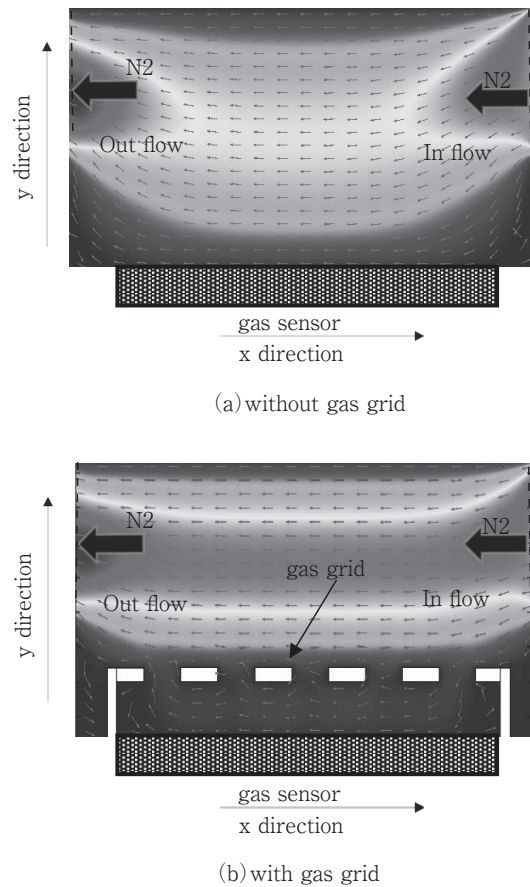


Fig. 4 Gas flow with and without the Gas grid.

2.3 ガスの流れ方のグリッドサイズ依存性

Fig. 5 にLine&Spaceが異なる場合のガスの流れ方を示す。矢印はその位置でのガスの流れの向きを示しており、一定弧長ごとに1個配置される。

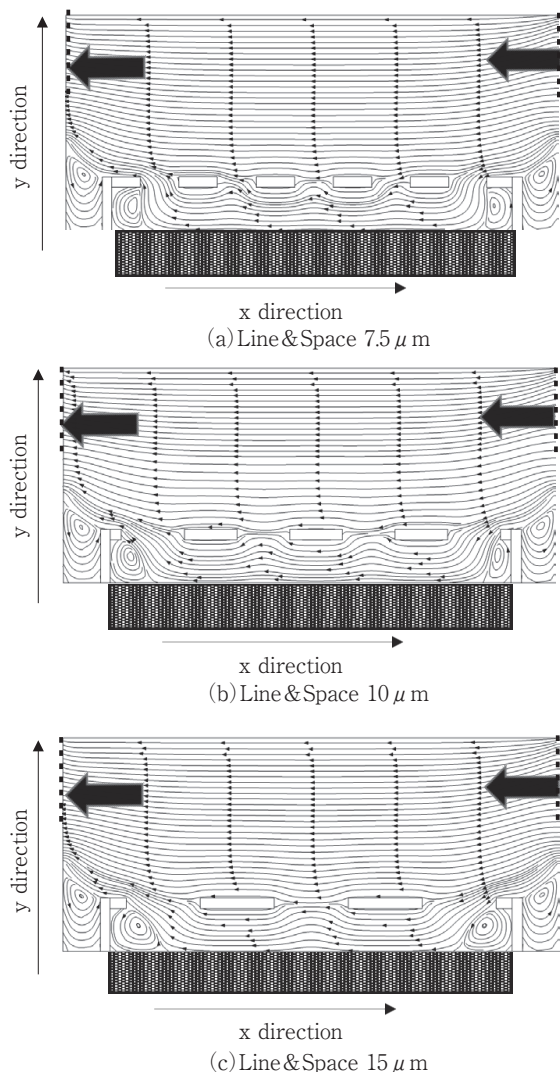


Fig. 5 Line & Space size dependence of gas flow.

流入口からグリッド付近に流れたガスは、グリッド内に流入するガスと、流入せず通過するガスがある。グリッド内へ流入したガスは、グリッドとガスセンサの間を流れ、その後、開口部からグリッド外へ流出するガスと、再び梁の直下へ流れるガスに分かれる。最下流端の開口部では、ガスはグリッド外に流出する。グリッド内のガスはLine&Spaceが広くなると、開口部方向へ流れる量が多くなる。

ガスの流れる向きから、グリッド内に流入するガス分子群は、内側開口部方向へFig. 6 に示すように流れていくことが示唆される。

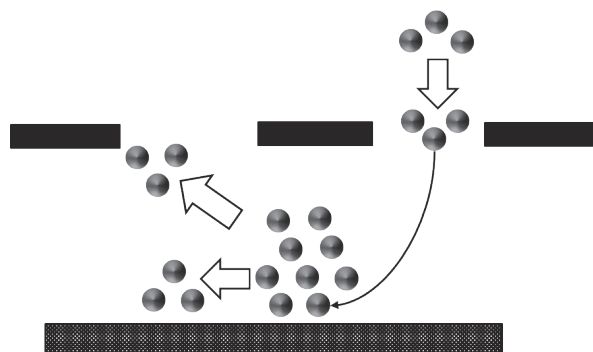


Fig. 6 Movement of gas molecules flowing inside the gas grid.

2.4 グリッドからガスセンサまでの流速分布

Fig. 7 にグリッドからガスセンサまでのy軸方向の速度分布を示す。■印はFig. 3 の断面線「A」、「B」、「C」(開口部直下)における流速を、▲印は断面線「A'」、「B'」、「C'」(梁の直下)における流速の絶対値をそれぞれ示す。縦軸はy方向を示し、横軸はガスの流速を示す。

梁の直下の流速は、グリッドとガスセンサの間中点が一番速く、Line&Spaceが広くなると中間点の流速も速くなる。

開口部直下の流速は、梁の付近に特徴が見られ、Line&Spaceが広くなると流速が速くなる。よって、Line&Spaceが広いほどグリッド内へのガスの流入・流出量が多くなる。

2.5 グリッド内のガス分子の運動量

窒素ガス分子の運動量は質量と速度の積で表される。今回のシミュレーションのように単一ガス系の場合、分子の質量はすべて同じであるため、分子の運動量の総和は速度の総和に比例する。そこで、速度積分値を梁とガスセンサの間の総運動量の指標とした。積分方法は、グリッド内の平面 $y = -0.5$ の速度の絶対値を積算し、更にLine&Space=10 μm で規格化した (Fig. 8)。

図より、Line&Spaceが広くなると、速度積分値が大きくなり、ガスの流入・流出のサイクルが顕著となることが分かる。

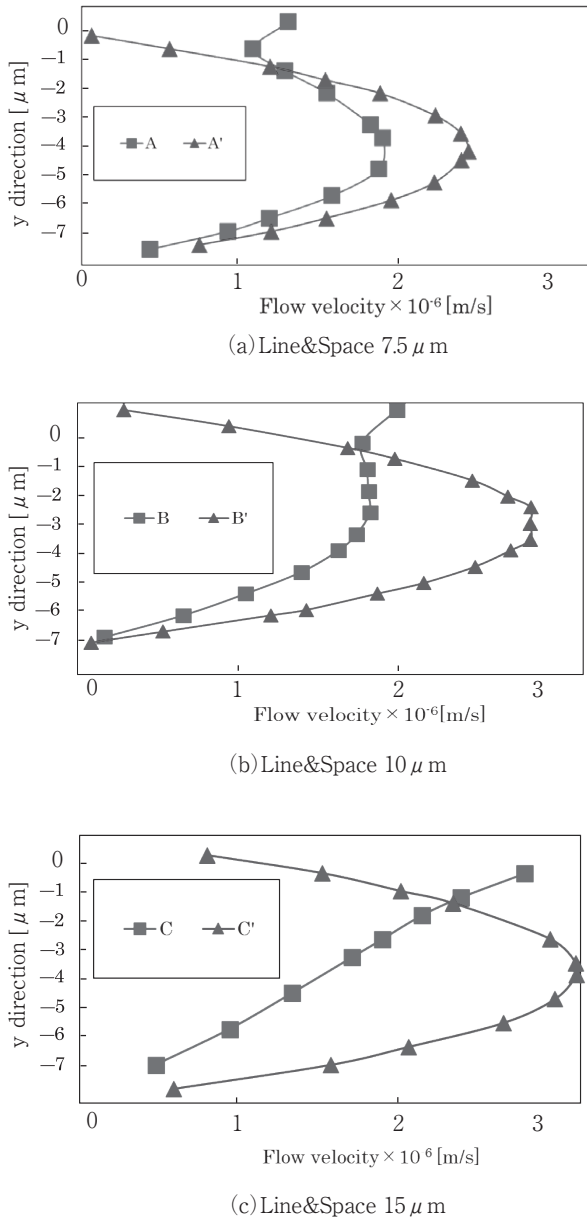


Fig. 7 Velocity distribution between the Gas grid and the sensor.

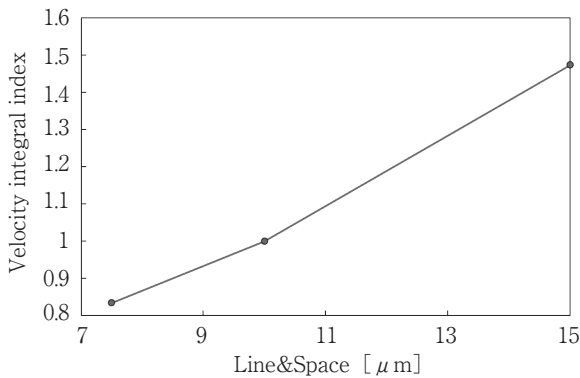


Fig. 8 Line&Space size dependence of momentum of index.

3. おわりに

本報では、マイクロメートルスケールのLine & Spaceを持つグリッドがナノメートルオーダーのガス分子に及ぼす影響を明らかにするために、グリッド周辺におけるガスの流れに注目して、流体シミュレーションを行った。

結果として、Line&Spaceの総面積が同じであっても、Line&Spaceが広いほど、グリッドにおけるガスの流入出力が多くなることが分かった。

今後は、グリッドへのガス吸着や開口部におけるガス分子同士の衝突の解析をするほか、混合気のふり分けについても解析する。

参考文献

- 1) 和田凌明, 令和3年電気学会全国大会, 3-174
- 2) Wada *et al.*, IEEE Sensors 2021. B1L-02

謝辞

本研究の一部はJST-OPERA JPMJOP1834、JSPS科研費JP 21K18718の支援により遂行された。