

差圧式 MEMS 流量センサの形成と He 流量検出特性

Fabrication and characterization of MEMS differential pressure sensor for He flow rate detection

○尾崎真寿, 酒井嶺太, 峯田貴, 牧野英司

○Masatoshi Ozaki, Ryouta Sakai, Takashi Mineta, Eiji Makino

弘前大学大学院 理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Hirosaki University

キーワード : 流量センサ(flow sensor), 差圧センサ(differential pressure sensor), 微小流量(micro fluidics), MEMS(MEMS)

連絡先 : 〒036-8561 青森県弘前市文京町 3 番地 弘前大学大学院 理工学研究科 牧野・峯田研究室 尾崎真寿, Tel & Fax: (0172)39-3681, E-mail: h08gs508@stu.hirosaki-u.ac.jp

1. 緒言

環境汚染が深刻な問題となっており、汚染分布を詳細に測定する必要がある。オンサイトでの有害物質の測定のために、携帯型のガスクロマトグラフィ装置の開発が進められている。小型化に伴い微量の試料での分析も可能になることも期待される。

ガスクロマトグラフィ装置の小型化の一環として、0~5ml/min の流量範囲で微小流量を高精度に制御する流量コントローラチップの開発に取り組んでいる¹⁾。小型ガスクロマトグラフィ装置用の流量コントローラは、高いガス圧力域での動作が必要となる。

MEMS の技術を応用したマスフローコントローラ、および構成要素であるマイクロバルブや流量センサが開発されている²⁻⁴⁾。流量センサには、熱型流量センサ^{1,5)}、および

圧力センサを用いた差圧式の流量センサなどがある^{6,7)}。

本研究では、差圧を直接検出する MEMS 型の流量センサを形成し、He 流量の検出特性を評価した。また、ガスの絶対圧力による流量検出への影響を調べた。さらに、流量検出へのガス圧力の影響を補償するため、圧力センサの同一基板上への形成について検討した。

2. センサの設計と形成プロセス

2.1 流量センサおよび圧力センサの構造と原理

図 1 に流量センサおよび同一チップ内に形成した圧力センサの概略図を示す。センサは流量、圧力検出用のダイアフラムと固定電極、オリフィス、ダイアフラムと固定電極の

間のギャップから構成されている。

流量センサは、ガスの流れによって生じるオリフィス前後での圧力差によりダイアフラムが変位する。圧力センサは、ガスの排出口側の圧力と大気圧との差によりダイアフラムが変位する。ダイアフラムの変位による静電容量の変化から、流量、圧力を測定する。

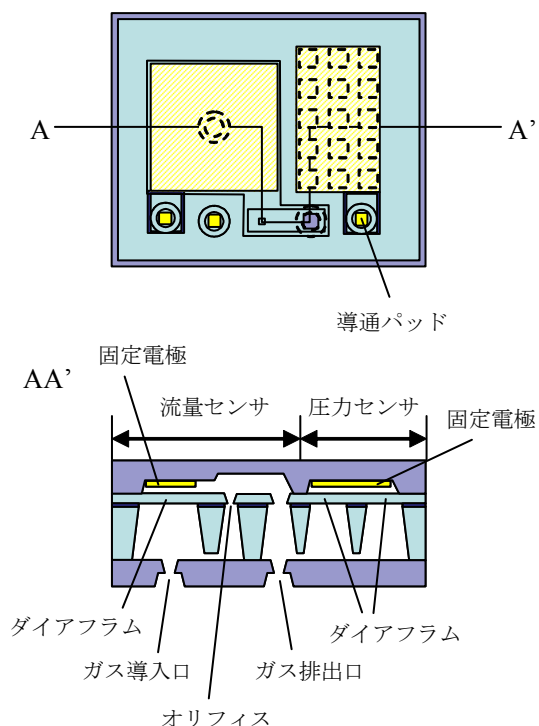


図1 差圧式 MEMS 流量センサの概略図

2.2 流量センサおよび圧力センサの設計

微小流量コントローラに組み込むために、チップサイズは $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 以下であることが望ましい。ダイアフラムのサイズは $4\text{mm} \times 4\text{mm}$ とし、固定電極との初期ギャップは $4\mu\text{m}$ とした。ダイアフラムは SOI (Silicon On Insulator) 基板 (活性層 $15\mu\text{m}$ / BOX 層 $1\mu\text{m}$ / 基板層 $300\mu\text{m}$) の活性層より形成し、厚さを $15\mu\text{m}$ とした。ガスの供給圧力 0.4MPa 、流量 $5\text{ml}/\text{min}$ の条件でダイアフラムが $1.5\mu\text{m}$ 変位するようにオリフィスを設計し、 $55\mu\text{m}$

$\times 55\mu\text{m}$ のオリフィスを形成することとした。初期容量は 35pF であり、ダイアフラムの変位により約 8pF 変化する。

圧力センサは、流量センサと同一のプロセスで形成するため、ダイアフラム厚さと電極間ギャップは同じとし、ダイアフラムサイズは $600\mu\text{m} \times 600\mu\text{m}$ とした。ガス圧力が 0.5MPa まで変化したときの静電容量の変化は 0.2pF 程度であり、15 個並列に形成して合計で 3pF 程度の静電容量の変化が得られる設計とした。

流量センサ、圧力センサを図1のように配置し、チップのサイズは $10\text{mm} \times 8\text{mm}$ とした。

2.3 形成プロセス

図2に流量センサおよび圧力センサの形成プロセスを示す。SOI 基板は熱酸化膜をマスクとし、IPA 添加 KOH 水溶液を用いたエッチングにより、活性層にオリフィスと導通パッドを、基板層にガスの流路を形成した。さらに TMAH 水溶液で基板層を約 $30\mu\text{m}$ 残

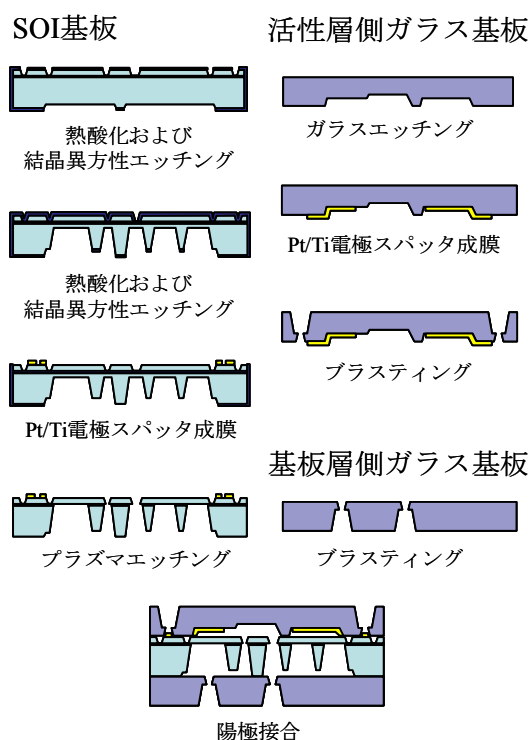


図2 形成プロセス

して深くエッチングした。スパッタ成膜により Pt/Ti の電極を形成した後にプラズマエッチングで残った基板層を除去した。

ガラス基板は、HF 水溶液でエッチングし、電極間ギャップ(4 μ m)およびガスの流路を形成した。スパッタ成膜により Pt/Ti の電極を形成した。ガス導入口、排出口は PDMS をマスクとし、アルミナ砥粒を用いたフォトブラスティングにより形成した。

SOI 基板を上下のガラスで陽極接合して封止し、ガラスのフィードスルーから信号を取り出す構造を形成した。導通取り出し部より、導通パッドに導電性ペーストを用いてリード線を接合した。図 3 に形成したセンサを示す。

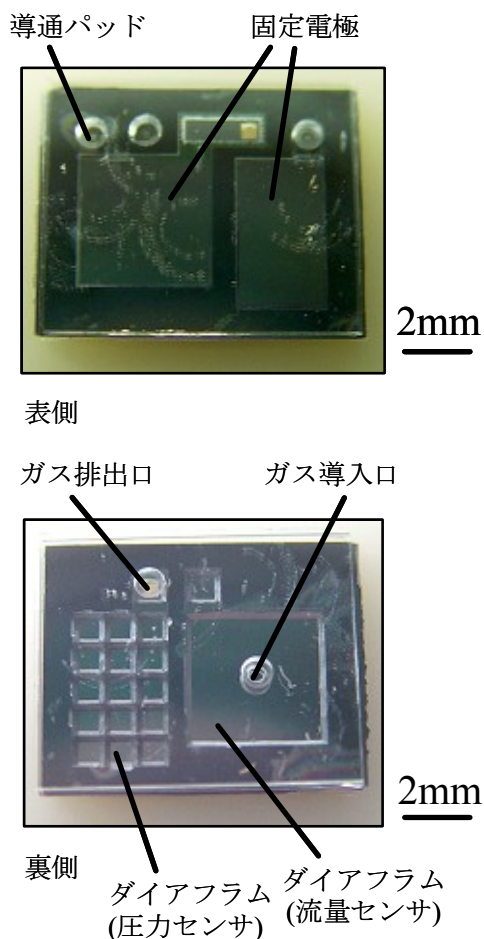


図 3 形成したセンサ

3. 流量センサの流量検出特性

図 4 に流量検出特性評価の評価系を示す。He ボンベに取り付けられたレギュレータにより He の供給圧力を制御し、センサに He ガスを供給した。センサの下流側に He の流量を制御する参照用のマスフローコントローラを接続した。

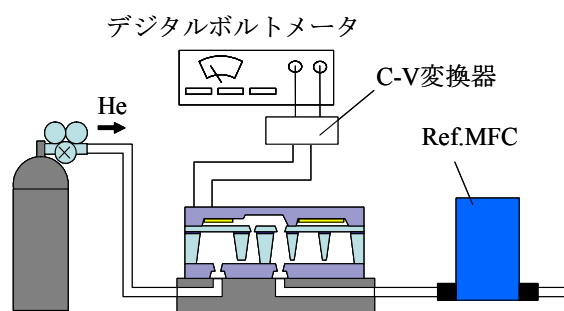


図 4 センサ評価系概略図

He の供給圧力を 0.05MPa~0.20MPa の間で一定とした状態で、He 流量を 0~5ml/min まで変化させ、センサの静電容量を C-V 変換器(WACOH 製, Moon2)により電圧に変換し、電圧変化を測定した。図 5 に流量センサの出力変化を示す。いずれの供給圧力でも、1~5ml/min の微小流量変化に対して 50mV の電圧変化を得ることができた。また、流量を増加させたときと減少させたときのヒステ

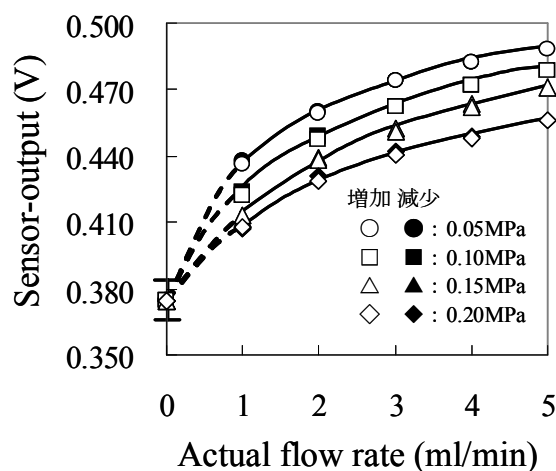


図 5 流量検出特性

リシスはほぼなかった。図6に圧力を変えた際の流量検出への影響を示す。供給圧力の増加にともないセンサの出力が減少していることがわかり、本センサは圧力の補償が必要であることを確認した。

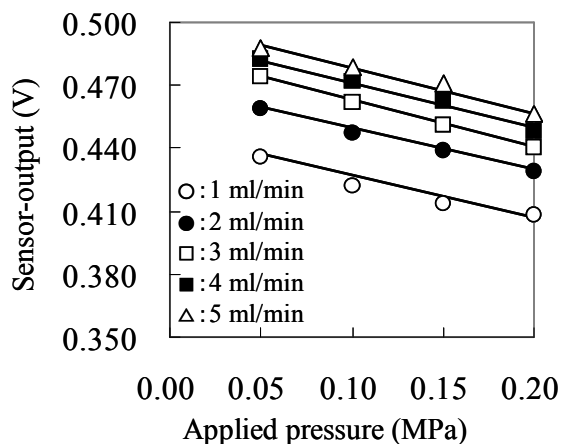


図6 流量検出特性へのガス圧力の影響

4. 結言

He ガスの微小流量域における流量測定を目的とした差圧式 MEMS 流量センサを形成した。0.05~0.20MPa の圧力下、1~5ml/min の微小流量域に対して 50mV 程度の出力電圧変化を得ることができた。また、ガス圧力による流量検出への影響を確認した。今後は圧力センサによる圧力検出特性の評価を行い、流量センサの圧力補償を行う。また、微小流量コントローラへ応用していく。

謝辞

本研究は科学技術振興機構(JST)先端計測機器開発事業の一環として行われた。

参考文献

1)松森仁明, 高梨博道, 峯田貴, 牧野英司:
He ガスの微小流量計測用 MEMS 熱型フローセンサ, 精密工学会東北支部学術講演会講演論文集, 15/16 (2007)

2)Lieh-his Lo, Ming-jye Tsai, Tsung-han Tsai, Chin-Hon Fan, Chia-lin Wu, Ruey-shing Huang: A silicon mass flow control micro-system, *Mecanique & industries*, vol.2, 363/369 (2001)

3)Y. Shinozawa, T. Abe, T. Kondo: A proportional microvalve using a bi-stable magnetic actuator, *Micro Electro Mechanical Systems, 1997. MEMS '97, Proceedings, IEEE., Tenth Annual International Workshop on*, 233/237 (1997)

4)G. G. Arthur, B. J. McKeon, S. S. Dearing, J. F. Morrison, Z. Cui: Manufacture of micro-sensors and actuators for flow control, *Microelectronic Engineering*, 83, 1205/1208 (2006)

5)L. Scholer, B. Lange, K. Seibel, H. Schafer, M. Walder, N. Friedrich, D. Ehrhardt, F. Schonfeld, G. Zech, M. Bohm: Monolithically integrated micro flow sensor for lab-on-chip applications, *Microelectronic Engineering*, 78-79, 164/170 (2005)

6)Xinxin Li, Wing Yin Lee, Man Wong, Yitshak Zohar: Gas flow in constriction microdevices, *Sensors and Actuators*, 83, 277/283 (2000)

7)R. E. Oosterbroek, T. S. J. Lammerink, J. W. Berenschot, G. J. M. Krijnen, M. C. Elwenspoek, A. van den Breg: A micromachined pressure/flow-sensor, *Sensors and Actuators*, 77, 167/177 (1999)