

MEMS 技術を用いた熱線濃度計の試作

Experiment of Concentration Sensor using Hot-Wire and Sonic Nozzle by MEMS Fabrication

池田昌平¹, ○高橋直輝¹, 秋元雅翔², 宮城徳誠³, 木村元昭⁴
 Shohei Ikeda¹, Naoki Tkahashi¹*, Masato Akimoto², Norimasa Miyagi³, Motoaki Kimura⁴

Abstract : A concentration probe using a hot-wire and sonic nozzle to measure composition of a binary gas mixture is fabricated by MEMS technology. When to measure the density of air, high sensitivity and precision and not influencing the current of air are important. This research aims to reduce the improvement of sensitivity and the influence on the current of air by the miniaturization of the meter of the density. When concentration of each component with binary gas mixture changes, thermal conductivity of the gas is changing. Heating current drives the Wheatstone bridge to keep constant temperature. The voltage is thrown into the sensor, at the same time the temperature constant keeps. Thrown amount of voltage measure concentration of each component with binary gas mixture.

1. 目的

従来, 本研究室で使用されていた熱線濃度計はノズル形状が正確ではない. また, 熱線濃度計自体が大きいため, 本来の気流に影響が出てしまう. 従って, 本研究ではMEMS技術を用いて, 従来よりも小型の熱線濃度計を製作し, 感度や応答性の向上と, 気流への影響を小さくすることを目的とする. これまでの研究によって考案された製作プロセスにのっとり熱線濃度計を試作し, 改善点の模索と理想的な形状, 構造を目指す.

2. 熱線濃度計の測定原理, 測定方法

金属は温度変化とともに抵抗値も変化する性質があり, 熱線の温度を T_w , 温度変化に対する熱線の抵抗値を R_w とすると, R_w は

$$R_w = R_a \{1 + \alpha(T_w - T_a)\} \quad (1)$$

となり, ここで T_a は気流の温度, R_a は熱線の抵抗値, $0[^\circ\text{C}]$ での白金の温度係数 α は $3.9 \times 10^{-3}[^\circ\text{C}]$ である. 気流中に置いた熱線に電流 I を流し, ジュール熱 $R_w I^2$ と気流による放熱量は平衡状態を保っているとすると,

$$R_w I^2 = (T_w - T_a)(A + BU^n) \quad (2)$$

が成り立ち, (2)式は King の式といわれている. ここで, クレイマースの式^[1]によって, n , A , B を計算式により与えられるが, これらの値をすべて把握することは実用的でないので普通は流速既知の流れで較正して定める. 定温度法の場合, 非定常流中にあっても熱容量

の影響は無視でき, 熱平衡式は定常流中での代数式に一致する. しかし厳密には熱線温度や抵抗は変化するが一般的に微小なため無視できる. 差動増幅器の出力 E は加熱電圧 I に比例し, (2)式より出力 E は

$$E^2/R_w = (T_w - T_a)(A + BU^n) = \bar{A} + \bar{B}U^n \quad (3)$$

となる. 加熱された熱線からの放熱量は一般に(2)式の King の式で示される層流の強制対流による熱伝達量であり, これは流速の平方根及び被測定気体の熱伝導率に依存している. また, 二成分の混合気体では濃度によって熱伝導率が変化するため, 熱線の放熱量は速度と濃度の影響を受けることになる. 今回は速度の影響を取り除くために, 微小なノズルにより音速で気体を吸引して速度を均一にして, 熱線を配置し気体の熱伝導率より濃度を測定しようとするものである.

熱線濃度計は定温度型回路で作動し, ホイートストンブリッジ回路にフィードバックさせることで, 二成分混合気体の各濃度の変動による放熱量に対して同じだけセンサーに熱量を供給し, 放熱量と供給熱量は常に平衡状態にある. このとき熱線の初期設定温度に保つように回路に電流が流れるので, 熱線の抵抗値も一定となる. このことから二成分混合気体の各濃度は供給される熱量から求めることができ, ホイートストンブリッジに供給される電圧 V を測定することで, 供給熱量, 混合気体の各濃度を求めることができる.

3. 熱線濃度計の MEMS による製作手順と基礎研究

図 1 に製作する熱線濃度計の立体図, 図 2 に熱線濃度計の製作プロセスを示す.

1 : 日大理工・学部・機械. 2 : 日大理工・院(前)・機械. 3 : 日大理工・教員・基礎. 4 : 日大理工・教員・機械

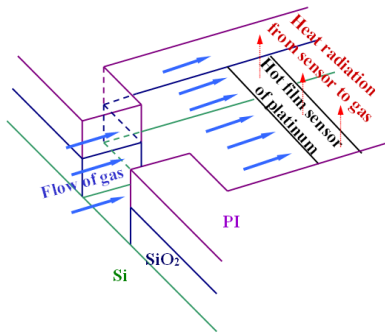


Figure. 1 Single view drawing of sensor

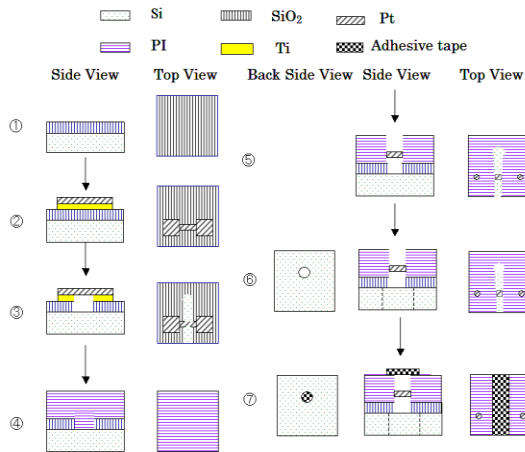


Figure. 2 Fabrication process of concentration sensor

①シリコンウェハの表面をプラズマCVD装置を使用して SiO_2 を $5[\mu\text{m}]$ 製膜する。これはシリコンを酸化することで優れた絶縁被膜、及び安定した界面を得るためである。② SiO_2 上にレジスト(S1830)を塗布して、センサパターンにフォトリソ処理し、その後スパッタ装置を用いて Ti と Pt を製膜する。厚さは、それぞれ $\text{Ti};0.1[\mu\text{m}]$ と $\text{Pt};0.15[\mu\text{m}]$ である。製膜後、金属薄膜ごとレジストをリフトオフし、センサ部を形成する。③ SiO_2 上にレジスト(S1830)を流路パターンにフォトリソ処理し、流路部の SiO_2 をバッファードフッ酸(BHF-110)でウェットエッチングする。バッファードフッ酸のエッチングスピードは10分で $1[\mu\text{m}]$ であり、エッチング時間は50分行う。④感光性ポリイミド(AN3310)をスピコートする。ポリイミドの厚さは $7\sim 8[\mu\text{m}]$ 。ポリイミドを用いるのは、ポリイミドが高強度、耐熱性を有し、電気絶縁性も優れているため、電子回路の絶縁材料として用いるためである。⑤感光性ポリイミドを流路パターンにフォトリソ処理し、現像液(NMD-W)でエッチングする。⑥裏面のSi上に蒸着装置を用いてアルミを蒸着したのち、レジスト(S1830)を塗布して、丸穴パターンにフォトリソ処理し、混酸Alエッチング溶液でウェットエッチングする。アルミの厚さは $0.20\sim 0.25[\mu\text{m}]$ であ

り、アルミを蒸着するのはアルミをコーティングをすることで、ICPによってエッチングを受ける部分と受けない部分を分けるためである。プラズマICP装置を使用してウェハの裏面からシリコン部分をエッチングし、直径 $2[\text{mm}]$ 丸穴をあける。⑦ポリイミド粘着テープで流路をふさぐ。②で製作したセンサを図3に示す。図4に⑦の行程まで行い、製作した熱線濃度計を示す。今回は $12[\Omega]$ のセンサを製作することが出来た。流路の深さは $12[\mu\text{m}]$ 前後である。

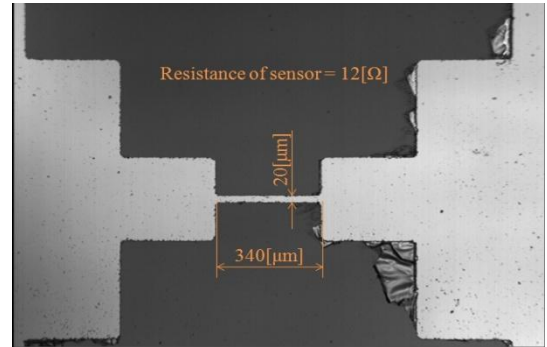


Figure. 3 sensor

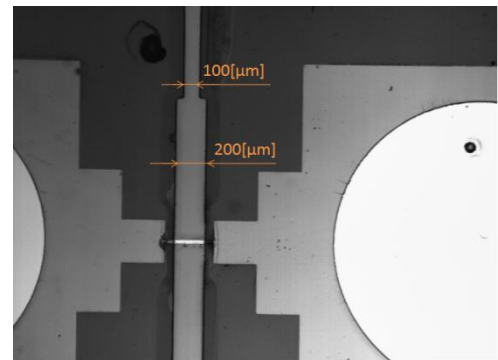


Figure. 4 Concentration sensor

4. 結言

熱線濃度計を提案した製作プロセスにより試作し、減圧装置に接続し気体の流入を行いながら抵抗値の測定をしようとしたが、測定部に気体がうまく流入しておらず今後改善方法を検討する。

5. 謝辞

本研究は日本大学マイクロデバイスセンターの支援を受けた。

6. 参考文献

- [1] 笠木伸英, 木村龍治, 西岡通男, 日野幹雄, 保原充, 「流体実験ハンドブック」, p.74, 1997.
- [2] G.L.Brown, M.R.Rebollo, AIAA JOURNAL,10-05, p.649, 1972.