

K6-72

MEMS 技術を用いた熱線濃度計の試作と改良

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

赤坂水樹¹, 町田和貴¹, ○湯浅達也¹, 秋元雅翔², 宮城徳誠³, 木村元昭⁴
Mizuki Akasaka¹, Kazutaka Machida¹, Tatsuya Yuasa¹, Masato Akimoto², Norimasa Miyagi³, Motoaki Kimura⁴

Abstract : Conventionally, since the hot wire concentration meter currently used at our laboratory is making the nozzle entrance using laser, their nozzle dimensions are not exact. Moreover, since the hot wire concentration meter itself is large, an original air current will be affected. Therefore, the thing for which it refers to the conventional manufacture process in this research, an improving point is found by making a hot wire concentration meter as an experiment, a hot wire concentration meter smaller than before is manufactured using MEMS technology, and influence on an air velocity is made small, it aims at making exact the improvement in sensitivity or a response, and nozzle dimensions.

1. 目的

従来, 本研究室で使用されていた熱線濃度計^[1]はレーザーを用いてノズル入口を作っているため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ので, 本来の気流に影響が出てしまう. 従って, 本研究では従来の製作プロセスを参考にし, MEMS技術を用いて, 熱線濃度計の試作を行うことによって改善点を見つけ, 従来よりも小型の熱線濃度計を製作し, 気流への影響を小さくすること, 感度や応答性の向上, またノズル形状を正確にすることを目的とする.

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

$$R_w = R_a \{1 + \alpha_0 (T_w - T_a)\} \quad (1)$$

となり, ここで T_a は気流の温度, R_a は $0[^\circ\text{C}]$ での熱線の抵抗値, $0[^\circ\text{C}]$ での白金の温度係数 α_0 は $3.9 \times 10^{-3}[1/^\circ\text{C}]$ 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^[2]によって, n , A , B は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モデル立体図, 図 2 に熱線濃度計の製作プロセスを示す.

①シリコンウェハの表面をプラズマ CVD 装置を用

いてSiO₂を5[μm]製膜する。これはシリコンを酸化させ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。

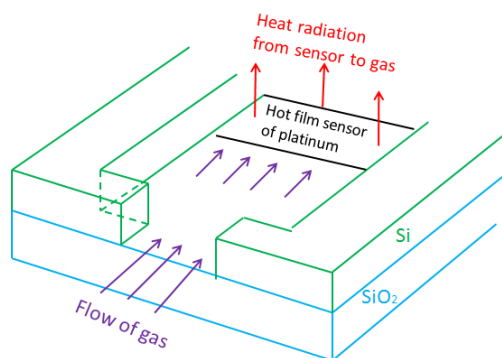


Fig.1 Single view drawing of sensor



Fig.2 Fabrication process of concentration sensor

②SiO₂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T_iとP_tを製膜する。厚さは、それぞれT_i:0.1[μm]とP_t:0.15[μm]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裏面のSi上に真空蒸着装置を用いてアルミを蒸着した後、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0.20~0.25[μm]で、アルミを蒸着するのはアルミをシリコン上に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装置を用い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[mm]の丸穴をあける。④③と同じ手順でシリコンウェハをアルミコーティングし、プラズマICP装置でエッチングし、ノズルを形成する。⑤③と④で製作したウェハを低温接合で貼り合わせ、センサをノズルの中に組み込む。

図2の⑤では接合を行う際に中間層にレジスト(S1830)を用いるが、この時120℃と200℃で温度設定をした。120℃ではうまく接合できなかったが、200℃では

接合できることがあった。200℃で接合できたのは、レジストが高熱により熱硬化して、接合強度が上がったと考えられる。

行程②で製作したセンサの拡大図を図3に示す。センサ形状がストレート型と蛇行型の2種類を製作した。テスターを用いてセンサの抵抗値を測定したところ、ストレート型が約24[Ω]となり、蛇行型が約40[Ω]でセンサ部が長い蛇行型の方が抵抗値が大きかった。次に、試作したセンサの予備実験としてホットプレートとテスターを用いて、センサの温度変化に対する抵抗値の変化を測定した。常温20[℃]からホットプレートで230[℃]まで、センサの温度を上昇させ20℃ごとにセンサの抵抗値を測定し、これにより得られた結果を図4に示す。ここでセンサの抵抗値とはPtとTiの抵抗値である。このグラフから(1)式のように抵抗値が温度に一次関数で対応して変化することを確認し、熱線濃度計として使用できることを確認した。

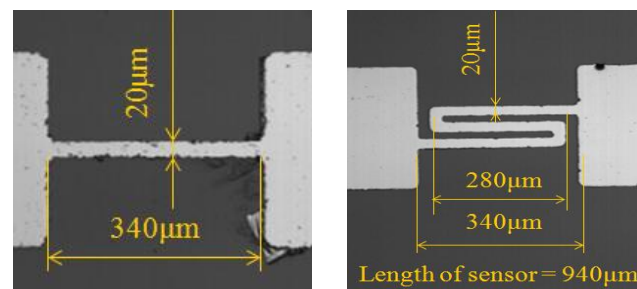


Fig.3 Prototype sensor

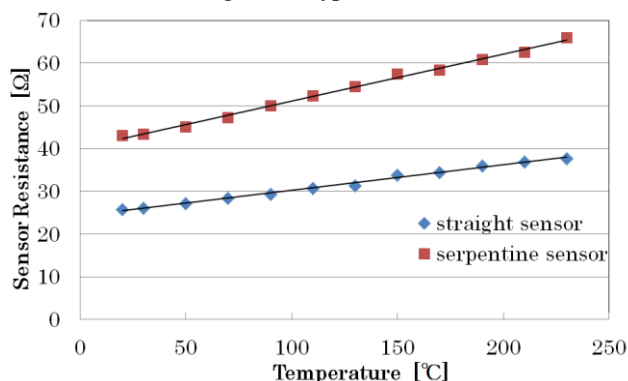


Fig.4 Sensor resistance-temperature change diagram

4. 結言

予備実験によりセンサが熱線濃度計として使用できることが確認できたので、今後はノズル内にセンサを配置し熱線濃度計の動作実験を行う。

5. 参考文献

- [1] G.L.Brown, M.R.Rebollo. AIAA JOURNAL,10-05, P649,1972
- [2] 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」, p74, 1997.