

課題番号 : F-20-KT-0010
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : MEMS アレイセンサを用いた乱流熱伝達の評価手法に関する研究
 Program Title(English) : Evaluation of turbulent heat transfer with a MEMS array sensor
 利用者名(日本語) : 出島一仁
 Username(English) : K. Dejima
 所属名(日本語) : 滋賀県立大学工学部機械システム工学科
 Affiliation(English) : Department of Mechanical Systems Engineering, School of Engineering,
 The University of Shiga Prefecture
 キーワード/Keyword : 成膜・膜堆積, 温度測定, 乱流熱伝達, N&MEMS

1. 概要(Summary)

MEMS 技術を用い, 乱流熱伝達の評価手法を開発することを目的とする. 乱流スケール(サブミリメートルオーダー)と同等の空間分解能で多点同時測定できる微小薄膜温度センサを製作し, 乱流渦が壁面熱伝達に与える影響を調べる. さらに, 隣接点で得られた温度変動波形に対して相関解析を適用することで, 壁面温度を変動させる流体塊の移動速度すなわち流速を推定する. それにより, 光学的観察なしで熱伝達と流動を同時に捉える手法の開発を目指す.

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

高速マスクレス露光装置, 多元スパッタ装置, 磁気中性子放電ドライエッチング装置

【実験方法】

製作したセンサを Fig. 1 に示す. SiO_2 熱酸化膜(厚さ 2ミクロン)付きの Si 基板上に, 一辺 235ミクロン, 厚さ 0.2ミクロンの Pt 測温抵抗体を 3×3 個形成した. ここで, 測温抵抗体間の距離を 1000ミクロン, 750ミクロン, 500ミクロンと変化させた.

製作手順は, まず多元スパッタ装置で Pt 層を成膜したのち, レジストを塗布して高速マスクレス露光装置でパターンニングを行い, ドライエッチングによって Pt 測温抵抗体を形成した(バッファ層は Ti を 20nm とした). 最後に保護膜として 0.2ミクロンの SiO_2 膜を多元スパッタ装置によって成膜した.

製作した測温抵抗体の温度較正を行った結果を Fig.2 に示す. 抵抗値は室温から 70 °C 程度の範囲で良い線形性を示している. 抵抗温度係数はどの測温抵抗体も概

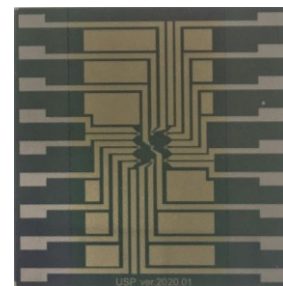


Fig. 1 Thin-film Pt RTDs.

ね 0.00239 K^{-1} であり, 均質な Pt 膜が成膜できていることを確認した.

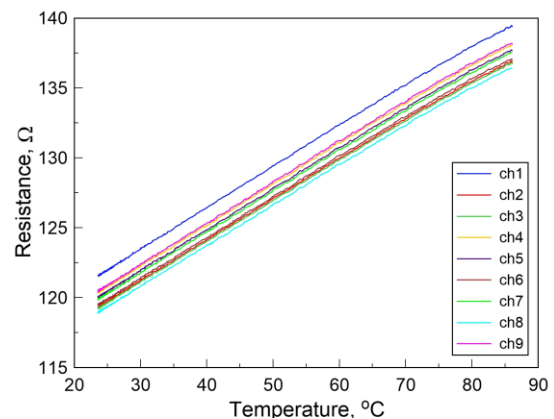


Fig. 2 Thin-film Pt RTDs.

本センサでは, 壁面熱流束測定によって熱伝達の評価することに加え, 各測温抵抗体で得られた温度・熱流束変動の位相差から, 壁面近傍の流体の振る舞いを推定することを目指している. ここでは検証の第一段階として, 加熱空気の間欠噴流衝突時の壁面温度測定実験を行った.

Fig. 3 は加熱空気の間欠噴流が衝突した際の壁面温度の変化を示している. 代表として, ノズルに最も近い位置にある RTD_2 と, そこから 1 mm の位置にある RTD_5 の信号を示している. 両者とも間欠噴流の周波数 (7 Hz)

と同様の変動を示しており, RTD_2 はノズルに近いため温度が高くなっていることがわかる. なお, 電源ノイズと思われる 60 Hz のノイズが生じており, カットオフ周波数 55 Hz のデジタルローパスフィルタ処理を施している. 今後はセンサ駆動回路の電源をバッテリーに変更することで, より低ノイズな信号を得られるようにする.

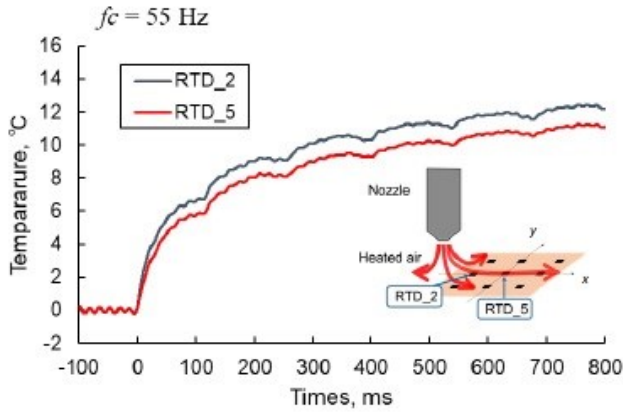


Fig. 3 Resistance temperature characteristics.

Fig. 4 は得られた温度データを境界条件として 3 次元非定常熱伝導解析によって得られた壁面熱流束を示している. Fig. 3 と同様に, 加熱空気の噴射間隔に相当する周期で変動しており, ノズルに近い RTD_2 でより高い値を示している. 熱流束については較正ができていないので, 今後較正を行って定量的な議論を進める予定である.

Fig. 5 は, Fig. 3 の温度変化から 7 Hz 付近の噴流による変動成分を抽出し, その相互相関関数を求めた結果を示している. 相互相関係数は遅れ時間 1.2 ms のとき最大となったため, RTD_2 と RTD_5 の温度変動は 1.2 ms の位相遅れがあるとわかった. ここで, 測温抵抗体間の距離は 1 mm であるため, これを遅れ時間で除すことで噴流の移流速度を推定したところ, 0.83 ms と算出された. 今後, PIV 等の可視化計測を並行して実施し, 移流速度推定の妥当性を検証する.

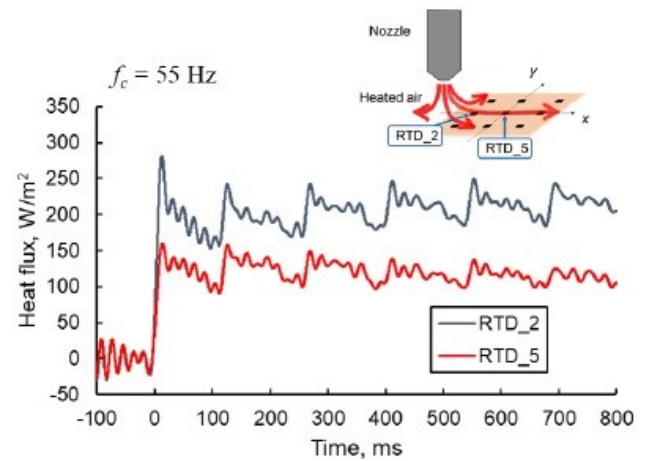


Fig. 4 Resistance temperature characteristics.

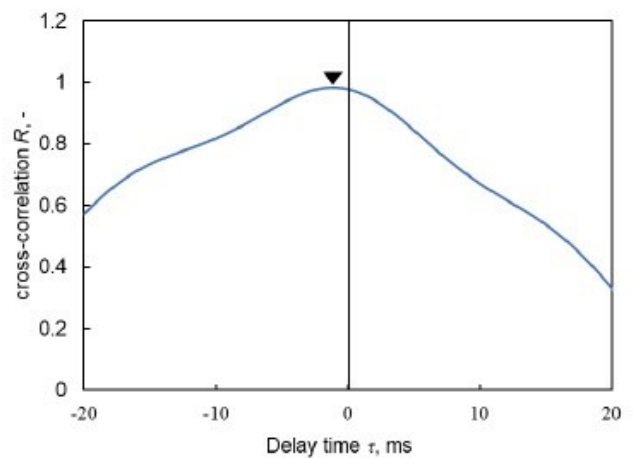


Fig. 5 Resistance temperature characteristics.

4. その他・特記事項 (Others)

なし

5. 論文・学会発表 (Publication/Presentation)

畑中, 出島ら 第 57 回日本伝熱シンポジウム, K1425, 2020.

6. 関連特許 (Patent)

なし