

MEMS 技術を用いたマイクロ流体冷却デバイスの作製 ～ 流路内温度計の作製～

Fabrication of Micro Fluidic Cooling Device Using MEMS Technology

新垣 真太*, 藤井 康生, 坂野 進*

Shinta Shingaki*, Yasuo Fujii, Susumu Sakano*

*日本大学大学院
, *Graduate School, Nihon University

キーワード：MEMS, 白金測温抵抗体, リフトオフ, 伝熱量

連絡先：〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原 1 番地
日本大学 工学部 機械工学科 メカトロニクス研究室 新垣 真太
E-MAIL: g20310@cc.ce.nihon-u.ac.jp

1. 緒言

パソコンの高速, 大容量化に伴い, CPU の発熱量は増加している. CPU が熱をもつと処理速度や機能が落ちるため CPU 冷却装置が必要である. しかし, 現在使用されている CPU 冷却装置は主にファンを回転させ冷却する空冷方式であるため, 冷却性能や小型化に限界がある. そこで, MEMS 技術を用いてマイクロ流体冷却デバイスの作製を目指す.

そのマイクロ流体冷却デバイスの性能評価には流体の温度測定を用いる. 流体の流入流出口, 流路内の温度を測定することで評価する. そのためにはマイクロ流路内に温度計を組み込む必要がある. しかし, 既存の温度計をマイクロ流路内に組み込むことは困難であるため, 既存の温度計を用いることは難しいと考えられる.

そこでマイクロ流路に組み込める温度計を作製する. 作製する温度計は白金測温抵抗体である. 白金測温抵抗体を用いる理由は, 温度による抵抗

の変化量が大いこと, 白金が耐食性に優れることがあげられる. 作製した温度計を用いてマイクロ流路内の温度を測定し, 評価を行う.

2. 原理

2.1 白金測温抵抗体

測温抵抗体とは金属の電気抵抗率が温度に比例して変わることを利用して温度を測定する温度計である. 抵抗値は(1)式より求めた.

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (1)$$

ここに $R[\Omega]$ は抵抗, $\rho[\Omega \cdot \text{m}]$ は電気抵抗率, $l[\text{m}]$ は長さ, $A[\text{m}^2]$ は断面積である.

白金測温抵抗体の形状を設計するにあたり $0[\text{C}]$ で $100[\Omega]$ の抵抗値を得られるように図 1 に示すように設計を行った. 長さ $12000[\mu\text{m}]$, 線幅 $20[\mu\text{m}]$, 厚さ $0.6[\mu\text{m}]$ に設計した.

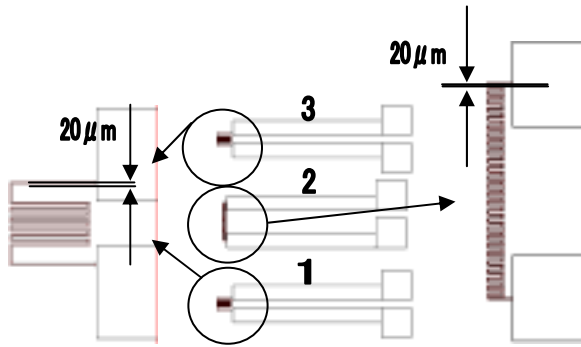


図 1. 測温抵抗体パターン

2.2 伝熱量

伝熱量は(4)式より求めた.

$$Q = GC\rho'(t_2 - t_1) \quad (2)$$

ここに Q [W]は伝熱量, C [J/kg·K]は冷却水比熱, ρ' [kg/m³]は冷却水密度, t_1 [°C]は冷却水入口温度, t_2 [°C]は冷却水出口温度である.

$$G = u_m S \quad (3)$$

ここに G [m³/s]は体積流量, u_m [m/s]は平均流速, S [m²]は流路断面積である.

2.3 レイノルズ数

管内の流れの状態をレイノルズ数 Re で表される(4)式を用いた. Re 数が 2300 以下の場合には層流として考えた. 作製した溝は矩形なので, 管内直径 d は(5)式の相当直径 d_e とした.

$$Re = \frac{\rho' u_m d}{\eta} \quad (4)$$

ここに u_m [m/s]は平均流速, d [m]は管内直径, η [m²/s]は粘性係数, ρ' [Kg/m³]は密度である.

$$d_e = \frac{4S}{L} \quad (5)$$

ここに S [m²]は流路断面積, L [m]はぬれぶち長さである.

3. 実験

3.1 測温抵抗体の流路内への組み込み

3cm 角ガラス基板にリフトオフ加工を用いてパターンニングを行い, 白金をスパッタリング法により薄膜形成を行うことで白金測温抵抗体を作製する.

厚さ 200 μm の 2cm 角 Si 基板に NiCr をスパッタリング法により薄膜形成し, フォトリソグラフィを用いてパターンニングを行う. そして ICP により貫通エッチングを行う.

ガラス基板と Si 基板を紫外線硬化樹脂を用いて接着し, UV テープで蓋をした後, エキシマレーザー加工機を用いて, 流入流出口の穴あけを行う.

3.2 温度校正

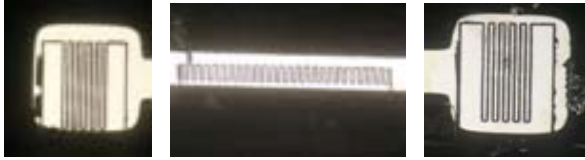
白金測温抵抗体の抵抗値をデータロガーにより温度表示にする. データロガーが JPt100(JIS89') に対応しているため抵抗値の違いから温度表示に誤差がでる. そこで白金測温抵抗体にホットプレートで熱を加え, その温度を熱電対温度計により測定し, その温度とデータロガーで表示している温度とを対応させて温度の校正を行う. 校正時の理想直線には最小二乗法を用いる.

3.3 温度測定

作製したマイクロ流体冷却デバイスをホットプレートで加熱し温度が一定になったら純水を送液する. その際の温度変化を測定し, 伝熱量を算出する.

4. 実験結果

マイクロ流路内へ測温抵抗体を組み込んだ顕微鏡写真を図 2 に示す.



測温抵抗体 1 測温抵抗体 2 測温抵抗体 3

図 2. 顕微鏡写真

温度校正結果を図 3 に示す.

理想直線と測定温度の標準偏差を表 1 に示す.

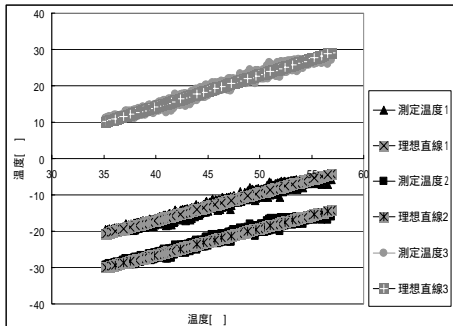


図 3. 温度校正結果

表 1. 理想直線と測定温度の標準偏差

	測温 抵抗体 1	測温 抵抗体 2	測温 抵抗体 3
標準偏差	0.625	0.569	0.696

温度測定結果を図 4.1, 4.2, 4.3 に示す.

Re 数を表 2 に示す.

伝熱量の算出結果を表 3 に示す.

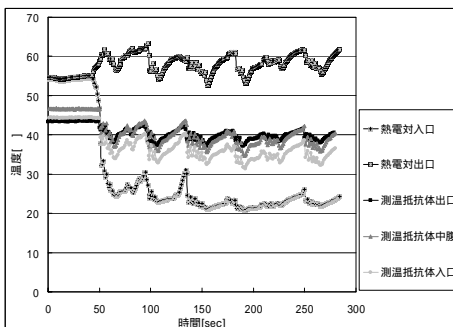


図 4.1. 流量 0.6ml/min

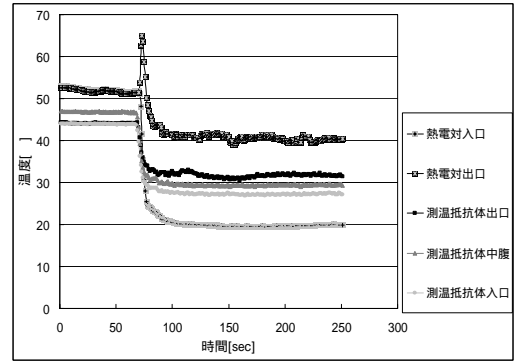


図 4.2. 流量 1ml/min

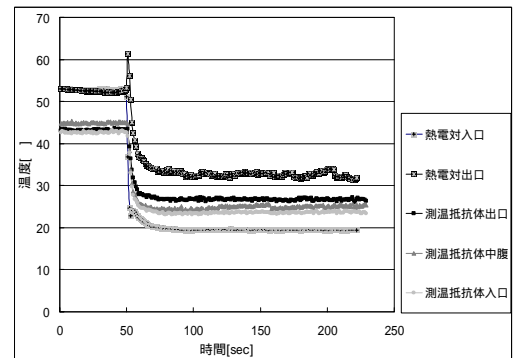


図 4.3. 流量 3ml/min

表 2. Re 数

	0.6ml/min	1ml/min	3ml/min
Re 数	33.207	55.345	166.035

表 3. 伝熱量[W]

流量	熱電対 入口 出口	測温 抵抗体 入口 出口	測温 抵抗体 入口 中腹	測温 抵抗体 中腹 出口
0.6	1.449	0.177	0.148	0.028
1	1.455	0.308	0.151	0.157
3	2.848	0.659	0.264	0.393

5. 考察

マイクロ流路内に白金測温抵抗体を組み込むことができた。しかし、図 2 の顕微鏡写真からわかるように、温度を測定する部分の形状が悪い。従って、形状を良好にするための作製プロセスの検討が必要

要と考えられる.

作製した白金測温抵抗体の温度校正として、熱電対温度計を用いるので、温度の測定誤差が大きいと考えられる. 従って、温度の測定誤差を小さくするためには、温度校正の検討が必要と考えられる.

流量の増加につれて伝熱量が増加したが、0.6[ml/min]と 1[ml/min]を熱電対入口出口で比較すると変化が小さいことがわかる. しかし、測温抵抗体中腹出口の伝熱量を比較してみると0.6[ml/min]の方がはるかに小さい. このことから流量が少ないとき、流路低部では温度差が小さいことがわかる. 温度差が小さいというのは流体が流れていないことが考えられる. それはRe数が小さいので慣性力より粘性力が支配的になり、流体が静止していると考えられる.

6. 結言

- ・マイクロ流路内に白金測温抵抗体を組み込むことができた.
- ・マイクロ流路内の温度測定ができた.
- ・流量が増加するにつれて伝熱量も増加した.

7. 参考文献

- (1) 丸山茂夫(編):マイクロ・ナノ熱流体ハンドブック:NTS(2006)
- (2) 江刺正喜, 藤田博之, 五十嵐伊勢美, 杉山進:マイクロマシーニングとマイクロメカトロニクス,(1992)