

シリコン基板上に形成した微細溝によるヒートシンクの研究

Research of Heat sink by minute ditch formed on silicon substrate

○藤崎 貴万, 伊東 秀人, 藤井 康生, 坂野 進

Takakazu Fujisaki, Hideto Ito, Yasuo Fujii, Susumu Sakano

日本大学大学院工学研究科

Nihon University

キーワード: MEMS(Micro Electro Mechanical System),
熱抵抗(Thermal Resistance), フォトリソグラフィ(Photolithography)
ドライエッチング(Dry Etching), ウェットエッチング(Wet Etching)

連絡先: 〒963-8642 郡山市田村町得定字中河原 1 日本大学工学部機械工学科
メカトロニクス研究室 TEL:024-956-8774 FAX:024-956-8860
E-mail:sakano@mech.ce.nihon-u.ac.jp

1. 緒言

現在, 科学技術の目覚ましい発達により電子機器の集積化・高密度化が進んでいる. その結果, 電子機器から発生する熱がそれらの正常動作に対して悪影響を及ぼしている. 現在の電子機器, 特にパソコンの CPU 冷却に用いられている方法は, ヒートシンクとファンを取り付けたものである. この方法は比較的簡単な方法で冷却効率を向上させることができる. しかし, この方法では機器の更なる発熱, 小型化に対して限界がある. そのため, 現在の冷却装置よりも効率のよい冷却原理および冷却装置の開発が望まれている.

我々は MEMS(Micro Electro Mechanical System)の技術を利用して微細な溝を形成し, その溝に流体を流すことで冷却を行うデバ

イスの開発を考えている.

そこで本研究では, CPU 冷却用ヒートシンク的设计と製作を行い, 流量, 流速, 流路形状などの各種要素を変化させた場合の基礎データ収集と最適冷却条件の選定を目的とする.

2. 原理・理論

冷却性能の評価と比較を行うために熱抵抗 θ (°C/W) を用いる. 熱抵抗は上昇温度 T (°C) を負荷熱量 W (W) を除したもので,

$$\theta = \frac{T}{W} \quad (1)$$

とあらわされる.

熱電対温度計で容器内温度と熱源裏面を測定し, その差を上昇温度 T とした. 計算に用いた温度は, 負荷熱量 W は安定化電源にデジタ

ル表示される電圧(V),電流(A)から求めた。

管の流れの状態をレイノルズ数 Re (2)式を用いた。 Re 数が 2300 以下の場合には層流として考えた。今回作製した溝は矩形なので、管内直径 d は相当直径 d_e (3)式に置き換えた。

$$Re = \frac{u_m d}{\nu} \quad (2)$$

u_m (m/s):平均流速 d (m):管内直径

ν (m²/s):動粘度

$$d_e = \frac{4S}{L} \quad (3)$$

S (m²):流路断面積 L (m):ぬれぶち長さ

平均流速は(4)式から求めた。

$$Q = u_m A \quad (4)$$

Q (m³/s):体積流量 A (m²):流路断面積

3. 実験

図1のように送液ポンプ,定流量弁,冷却チップ,熱電対温度計によって構成し,全体を650mm×1200mm×700mm の容器で囲い,室内の空気循環による対流やデータロガーなどからの排熱による影響を減らした。

今回は図2,3,4のSiチップをフォトリソグラフィによって3枚作製した。3枚のSiチップは伝熱面積がすべて一定となっておりこのときの熱抵抗を比較した。Si基板は20mm角,厚さ400 μ mのSi基板の上面中央に各溝を形成した。溝の上下には1mm角の液体流入出口となっている。

各Siチップの溝の条件は,図1はドライエッチングにより幅200 μ m,長さ1cm,深さ50 μ mとなっている。これを基本のSiチップとした。次に比較対象のSiチップの溝をウェットエッチングにより掘り下げた。溝の条件

は図2が幅300 μ m,長さ1cm,深さ23 μ mとなっている。図3は,幅200 μ m,長さ1.5cm,深さ14 μ mとなっている。図2の溝の断面形状を参考として図5に示す。



図1 実験装置全体図

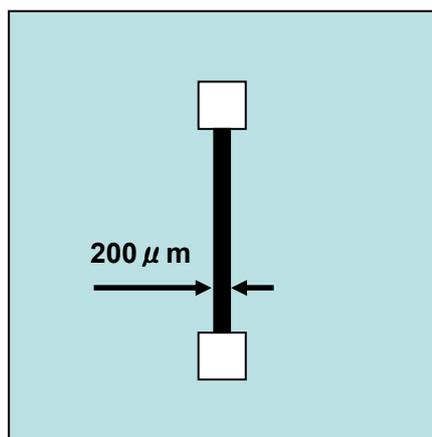


図2 基本のSiチップ

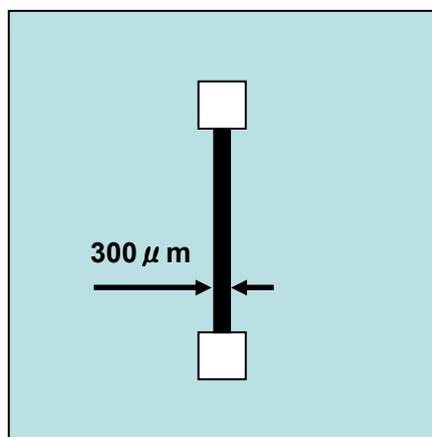


図3 比較対象のSiチップ(1)

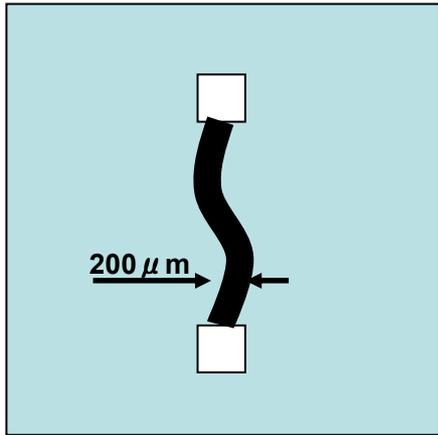


図4 比較対象のSiチップ(2)

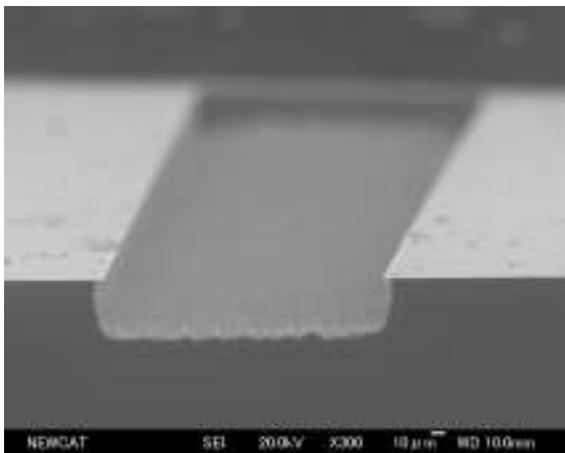


図5 流路の断面形状

これらの Si チップをあらかじめレーザーにより直径 1mm の穴を開けた 30mm 角,厚さ 500 μm の硼珪酸ガラスに紫外線効果樹脂を塗布し,スピナー法により膜を均一にした後,作製した Si チップに張り合わせ,ガラス面側から紫外線を照射することで接着した。送液にはチュービングポンプを用いた。チュービングポンプは脈流が発生するため,定流量弁を通す事で常に一定の流量が流れるようにした。流量はチップから排出された水をメスシリンダーに注ぎ,その増加量と経過時間から流量を求めた。

熱源には 10mm 角のヒーターをシリコングリスによってチップ背面に接着し,安定化電源によって加熱した。

温度測定には,K 型熱電対温度計で測定し

た。これの測定部分の先端径は,0.2mm となっている。

4. 結果

今回の実験では冷却液に純水を用い,流量を 1,3,5ml/min と変化させた。その結果,表 1,2 図 6 の結果になった。また,今回の実験では長さ 1.5cm 溝に純水を流したところ,チップとガラスの間から純水が漏れてしまい,純水を流すことができなかった。

幅 200 μm と 300 μm を比較した結果,流量が増大するほど,熱抵抗の差は大きくなった。

表 1 幅 200 μm の熱抵抗

流量(ml/min)	熱抵抗(°C/W)
1.0	46.8
3.0	19.3
5.0	7.5

表 2 幅 300 μm の熱抵抗

流量(ml/min)	熱抵抗(°C/W)
1.0	53.7
3.0	29.4
5.0	17.5

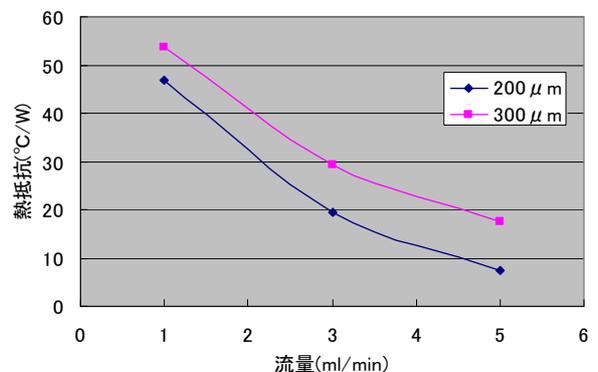


図6 熱抵抗の比較図

また,Re 数は 2 枚の Si チップとも 2300 以下となったため層流として判断した.

5. 考察

熱抵抗に差が生じた理由としては,溝の深さが関係していると思われる.Si チップの厚さは同じであるため熱源から溝の伝熱面積までの距離が伸びたため Si 自体が熱抵抗となっていると考えた.

長さ 1.5cm 溝に純水が流れなかった理由としては,溝の大きさが微少になっているため純水の粘性の影響や流量が大きすぎたと考えられる.

6. 結言

伝熱面積を一定とした場合,深く溝を形成した方が熱抵抗は低くなる.

溝が幅 200 μ m,深さ 14 μ m では,純水を流すことができない.

今回は溝が微少だったため,今後より深く掘った溝で同様の実験を行う予定である.

7. 参考文献

- 1)北森武彦,庄子習一,馬場嘉信,藤田博之:
マイクロ化学チップの技術と応用,192/210,261/271,丸善株式会社(2006)
- 2)丸山茂夫(編):マイクロ・ナノ熱流体ハンドブック:NTS(2006)
- 3)甲藤好郎:伝熱概論,株式会社養賢堂(1989)
- 4)西川兼康,藤田恭伸:機械工学基礎講座 伝熱学,理工学社(1994)