

## 電子機器の昇温抑制を目的とした MEMS ベーパーチャンバーの開発

## Development of MEMS Vapor Chamber for Suppression of Temperature Rise in Electronic Devices

○阪本千紘<sup>1</sup>, 川崎拓馬<sup>2</sup>, 對木貴哉<sup>2</sup>, 内木場文男<sup>3</sup>, 金子美泉<sup>3</sup>\*Chihiro Sakamoto<sup>1</sup>, Takuma Kawasaki<sup>2</sup>, Takaya Tsuiki<sup>2</sup>, Fumio Uchikoba<sup>3</sup>, Minami Kaneko<sup>3</sup>

Abstract: High temperatures caused by high-density mounting of electronic devices are a challenge. A cooler that can locally cool only the heat source element is needed, and a vapor chamber, a thin cooler that does not require power, has been attracting attention, but existing ones are centimeter-sized. The objective of this study was to develop a millimeter-sized vapor chamber using MEMS technology. When the heat-absorbing side of the vapor chamber was continuously subjected to approximately 60°C of heat, temperature suppression was confirmed, indicating the feasibility of the MEMS vapor chamber.

## 1. 緒言

パソコンやスマートフォンなどの情報機器類は小型化、薄型化とともに、さらなる情報処理能力向上や高速化など高性能化が求められている。また、機器内部の高集積化が進んでおり、電子部品の高密度実装による放熱効率の低下は集積回路や半導体の高温化に繋がり機器能力の低下や素子の変形、破損の原因となる。さらに電源からの発熱、近年の外気温上昇に伴う機器自身の温度上昇も能力低下の原因となる。電子機器の情報処理能力向上と放熱を両立するためには電子部品のみを局所的に冷却するシステムが必要である。

一般的に用いられている電子機器用の冷却システムとして CPU クーラーやベーパーチャンバーなどが挙げられる。CPU クーラーは、最も一般的に用いられている冷却システムであり、CPU と接触している金属板を介して空気や冷媒の循環により放熱させることで適温を保つことができる。しかし、機械部品を必要とし、構造的に小型化が困難であるため、局所冷却への適用が難しい。ベーパーチャンバーは、スマートフォンなどの冷却に用いられている。平面状になったヒートパイプ中に冷媒が密封された熱拡散板であり、冷却面積の大きなヒートシンクにより小型高熱流束熱源を効率的に冷却することを目的に開発されている<sup>[1]</sup>。外部からの熱でベーパーチャンバー内部の冷媒を液相から気相にし、気相冷媒が天井全体に広がるうちに冷える。冷えて圧力が下がった気相冷媒は液相に戻り、毛管現象で微細な流路を通り、循環する。多くのベーパーチャンバーは 5mm よりも薄く、冷却効果を得られるため活用が期待されている。しかし、現在用いられているベーパーチャンバーは平面方向にはセンチメートルサイズであるため、改良、高性能化が進められている<sup>[2]</sup>。

そこで半導体製造に用いられている MEMS (Micro Electro Mechanical Systems)技術を用いて、ベーパーチャ

ンバー構造をミリメートルサイズで実現することに着目した。MEMS 技術で用いるシリコン材料は微細加工が可能で比較的熱伝導率が高く、IC の冷却システムとして相性がよい。本研究では小型化したベーパーチャンバーについて有限要素解析ソフトを用いた循環確認、作製したベーパーチャンバーの温度抑制を調べ、評価することを目的とする。

## 2. MEMS ベーパーチャンバーの設計

Figure 1 にベーパーチャンバー原理図、Figure 2 に MEMS ベーパーチャンバーの概略図を示す。IC の熱源部分を 1.0×1.0mm と仮定し、吸熱側の寸法を 1.2mm×2.0mm とする。

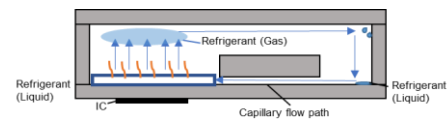


Figure 1. ベーパーチャンバー原理図

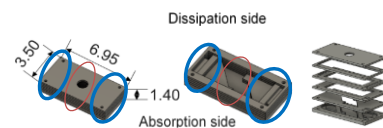


Figure 2. MEMS ベーパーチャンバーの概略図

MEMS 技術で各層に 2 次元平面構造パターンを形成し、積層して 3 次元の内部構造を形成する。最下層として流路層、放熱のために高さ方向に流路を形成した層を複数枚設ける。ベーパーチャンバー流路層の流路にはテスラバルブ流路と呼ばれる逆流防止性能をもつ流路を組み込む。本設計では中心に吸熱部を配置し、テスラバルブ流路を吸熱部の左右に配置する。本研究では、安全性や放熱性を考慮し、沸点 34°C 程度の冷媒材料 HFE 7000 (3M<sup>TM</sup>, NOVEC<sup>TM</sup>7000) を用いる。また実験で目視により内部の様子を確認するために、ベ

ーパーチャンバーの最上層をシリコン製のパーツではなく亚克力板を用いて作製する。

ーパーチャンバー内で冷媒が相変化した際の循環を確認するため、冷媒が液相、気相時の流路内の流れを確認する。液相冷媒の流れについて、メッシュ数 150, 入口温度 22.0°C, 入口流速 0.1m/s, 本体の温度 22.0°C, パラメータ反復回数 100, 入口ゲージ圧 88163.63893Pa, 出口ゲージ圧 57237.29068Pa, 密度 1404.8 kg/m<sup>3</sup>, 粘度 4.2×10<sup>-4</sup>kg/(m s), 液相冷媒の熱伝導率 0.065212 W/(m K), 比熱 1247.9J/(kg K) として解析を行った。以下の Figure 3 のように、流体がテスラバルブ流路を辿り加熱側へ円滑に流れることを確認した。

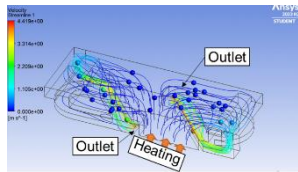


Figure 3. 液相の時の冷媒の動き

同様に冷媒が気相であるときの MEMS ーパーチャンバー内の冷媒の動きについて、解析を行った条件として、メッシュ数 150, 入口温度 22.0°C, 入口流速 0.1m/s, 本体の温度 22.0°C, パラメータ反復回数 100, 密度 6.7114 kg/m<sup>3</sup>, 粘度 1.3874×10<sup>-5</sup> kg/(m s), 冷媒が気相のときの熱伝導率 0.018423 W/(m K)を用いた。Figure 4 のように気相冷媒が放熱側まで円滑に動く様子が確認できた。

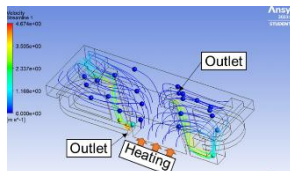


Figure 4. 気相の時の冷媒の動き

3. MEMS ーパーチャンバーの温度観察実験  
 ーパーチャンバーの作製結果を Figure 5 に示す。

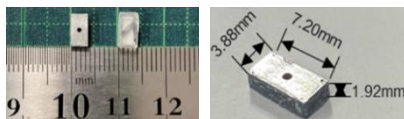


Figure 5. 毛管現象型ーパーチャンバー

Figure 6 に実験の配置図を示す。室温 22°C のとき、ヒーターに想定熱源としてシリコンチップを乗せた状態でーパーチャンバーの吸熱側と熱源が接するように載せる。熱源温度 33.5°C のときを 0 秒とし、サーモグラフィカメラで 5 分間熱源の温度変化を観察したところ、Figure 7 に示すような結果が得られた。90 秒間

昇温を抑制したことから循環による冷却を確認した。その後昇温を抑えられていないことが確認されたが、この原因として用いたヒーターによりーパーチャンバー全体に熱がこもってしまっていることが考えられる。今後マイクロヒーター等で局所的な熱源を再現すると共に、放熱要素を検討する。

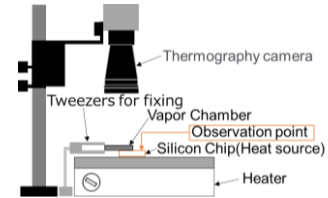


Figure 6. サーモグラフィカメラでの温度観測

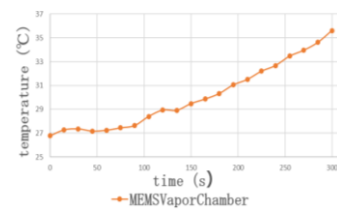


Figure7. 温度変化実験結果

#### 4. 結言

電子部品の局所冷却を行うための MEMS ーパーチャンバーの設計と作製を行った。設計したーパーチャンバーについて、有限要素解析ソフトで流体移動について解析を行い流入から流出まで流体の流れを確認した。また作製したーパーチャンバーに冷媒を封入し被冷却素子の温度測定をしたところ昇温抑制を確認した。以上から超小型ーパーチャンバーの実現可能性が示唆されたと言える。今後は放熱要素等の検討をし、冷却性能の向上を図っていく。

#### 5. 謝辞

本研究は日本大学マイクロ機能デバイス研究センター、令和5年度日本大学理工学研究プロジェクト研究助成金の支援を受けた。また、科研費 21K14214 の一部の助成を受けたものである。

#### 参考文献

- [1]小糸 康志, ほか: ーパーチャンバーを利用した高熱流束機器の冷却に関する研究, 化学工学会第 37 回秋季大会 (2005)
- [2]小糸康志, ほか : ーパーチャンバーの伝熱特性に関する基礎実験と数値解析\*(熱源サイズの影響), 日本機械学会論文集(B 編), 72 巻 714 号(2006-2), No.05-0538. (2006).