

放熱効率向上を目的とした縦型 MEMS ベーパーチャンバーの設計

Design of Vertical MEMS Vapor Chamber for Enhanced Heat Dissipation Efficiency

○小野田 農¹, 内木場 文男², 金子 美泉²*Shin Onoda¹, Fumio uchikoba², Minami Kaneko²

Abstract: The decline in heat dissipation efficiency due to high-density packaging within electronic devices necessitates cooling systems capable of locally cooling individual components. This study focuses on vapor chambers, which enable miniaturization without requiring moving parts. MEMS process was introduced, and a millimeter-sized vertical MEMS vapor chamber was designed. Previous research has an issue that the temperature rise around the heat dissipation area. Analysis results showed that the designed vertical type maintains temperatures around the heat dissipation area below the boiling point of the working refrigerant.

1. 緒言

近年の IC 等を含めた素子や回路の作製技術の進化に伴い、情報通信機器はより高性能なものへと進化している。これによって、IoT(Internet of Things)化が急速に進んだといえる。また、電子素子作製技術の進化は、情報通信機器の情報処理能力向上や高速化だけにとどまらず、内臓部品の高集積化を実現し器機の小型化や薄型化にもつながっている。しかし、電子素子の高密度実装は放熱効率の低下に繋がり、それに伴う IC チップや半導体の高温化は、機器能力の低下や素子の変形、破損の原因となるため電子機器の処理能力向上と両立可能な放熱システムが求められる。従来のパッケージ部品の放熱・冷却方法はパッケージの外側に放熱素子を接触させ熱を移動させる。これはパッケージ内の素子の中で最も耐熱温度が低い値に合わせる必要があり、より高い耐熱温度を持つ素子にとっては効率が悪い。そこで、素子単体を直接放熱可能な小型システムが必要となる。しかし、従来の電子機器に使用されている CPU クーラーやペルチェ素子は小型化や冷却性能に課題がある。そこで局所的放熱に適した構造として、駆動部品を必要としないベーパーチャンバーが挙げられる。ベーパーチャンバーはヒートパイプを平板状にした構造であり、非常に薄い熱拡散部品ということから研究がされており^[1]、現在ではスマートフォン内部の放熱システムとしても利用されている。蒸発潜熱を用いるため高い冷却性能をもつが、基本的には金属材料で形成されるため平面方向にはセンチメートルサイズとなる。

そこで、我々は素子サイズであるミリメートルスケールでベーパーチャンバーを作製するため、半導体製

造技術である MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を利用した縦 4.40mm 横 9.60mm 厚さ 1.60mm の毛管現象型ベーパーチャンバーの開発を行った^[2]。シリコン材料を構造に用いることから、作動流体として従来の純水ではなく冷媒を導入することが可能となった。これを熱源に設置し測定を行った結果、冷媒の相変化と昇温抑制を確認したが、放熱部が熱源から近いために時間経過とともに放熱部周辺の温度が上昇するという課題が明らかになった。

そこで本研究では、放熱部と熱源の距離の確保を目的に縦型ベーパーチャンバーの設計を行ったので報告する。

2. 縦型 MEMS ベーパーチャンバーの設計

ベーパーチャンバーの原理を Figure 1 に示す。

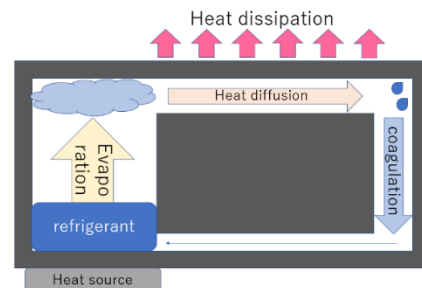


Figure 1. Vapor Chamber Schematic Diagram

冷媒を封入し密閉された中空構造の熱拡散板であり、外部からの熱によりベーパーチャンバーのタンク内にある作動流体を液相から気相へ変化させる。気相流体が放熱部全体へ拡散することで放熱することで液相へ変化し、ウィックと呼ばれる微細流路を通過してタンクへ戻り循環する^[3]。本研究における縦型 MEMS ベーパー

1: 日大理工・学部・精機, 2: 日大理工・教員・精機

ーチャンバーは各層に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。本設計では放熱部を熱源から離すため、最下層を貯水層、高さ方向に気相冷媒、液相冷媒が通る流路を形成した層を複数枚設け、最上層に放熱のための空間を設ける。Figure 2 にベーパーチャンバーの模式図、Figure 3 にベーパーチャンバーの組み立て図を示す。

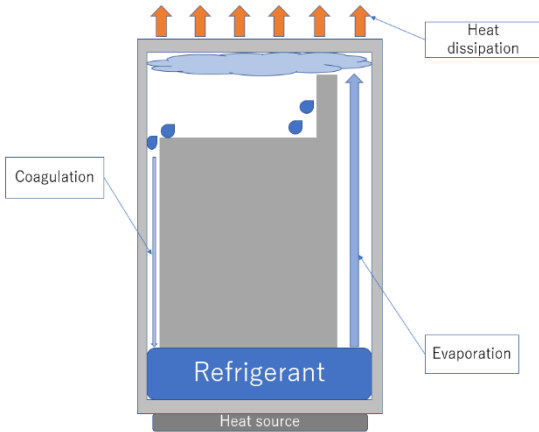


Figure 2. Schematic illustration of a vapor chamber

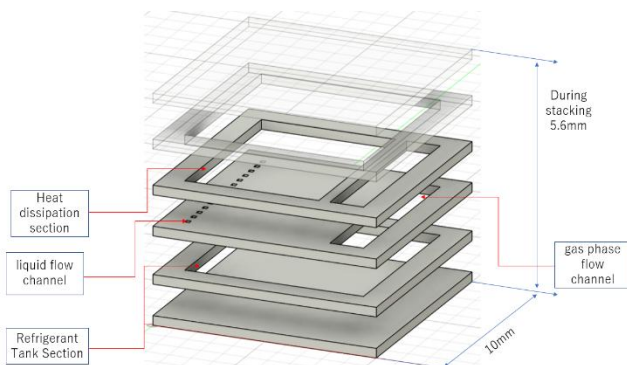


Figure 3. Vapor Chamber Assembly Drawing

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 HFE7000 (3M™, NOVEC™7000) を用いる。ベーパーチャンバーとして内部の流体が循環するためには熱源からの温度を内部の流体に伝える必要がある。熱源温度がタンク部へ伝わる温度を確認するため熱源温度を 80°C と仮定し、タンク部へ伝わる温度が冷媒が適度に気化し循環し続ける温度である 60°C 以上になる 1 層目の厚さを、フーリエの法則を用いて以下のように計算した。

$$6 \times 10^5 \times 10^{-4} = 150 \times 10^{-4} \times \frac{80 - 60}{L}$$

$$L = 0.005 \text{ [m]}$$

計算結果より貯水槽となる最下層の底面の厚みは 5mm 以下であればよいことが分かった。そこで、底面の厚みは 0.4mm で設計した。また、放熱部の高さとな

る全体の高さを決めるために解析ソフトを用いて熱源温度 (°C) の空气中 (〇〇°C) への拡散についてシミュレーションを行った。その結果を Figure 4 に示す。

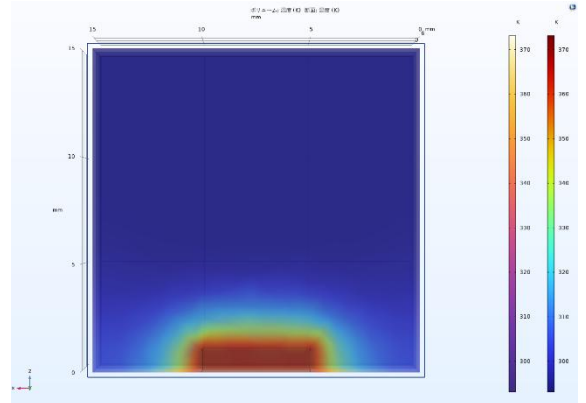


Figure 4. Temperature distribution of the heat source

Figure 4 より熱源から 5mm 離れた高さで沸点となる 34°C を下回ることが分かったため、400 μm のウェハを使用し、高さを 5.6 mm で設計した。

3. まとめ

開発した MEMS ベーパーチャンバーの課題であった放熱について検討するため、本研究では放熱部と熱源の距離を確保可能な縦型ベーパーチャンバーの設計を行った。設計では熱源に接する層の厚みと高さについて計算とシミュレーションにより確認を行った。今後は作製・測定を行い放熱効率について検討を行う。

4. 謝辞

本研究は日本マイクロ機能デバイス研究センター、令和7年度日本大学理工学研究所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。

5. 参考文献

- [1] 小糸康志, ほか: ベ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, P122, 2005
- [2] 金子美泉, ほか: 電子素子の昇温を抑制する MEMS ベーパーチャンバーの開発, 第 34 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム, pp183-184, 2024
- [3] 水田敬: 高い異方性熱伝導をもつ熱拡散版の性能モデルと電子デバイス実装への応用に関する研究, Diss, 九州大学, pp.5, 2017.