

令和 3 年 6 月 17 日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K14905

研究課題名(和文)集積回路の温度安定性向上のための高熱伝導フレキシブル蓄熱フィルム開発

研究課題名(英文)Development of highly high thermal conductivity phase change film for improve temperature stability of integrated circuits

研究代表者

馬場 将亮 (Baba, Masaaki)

長岡技術科学大学・工学研究科・助教

研究者番号：10826176

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では二酸化バナジウム(VO<sub>2</sub>)を用いたパッシブ熱マネジメントに着目した。パッシブ熱マネジメントは相転移材料の大きな潜熱により電子機器の発熱を吸収することで、最大温度と温度変動を軽減可能である。VO<sub>2</sub>は約68℃で可逆相転移をする固-固相転移材料であり、シリコンなどの樹脂中に分散させることで、蓄熱シートを作製可能である。本研究では潜熱蓄熱を考慮した伝熱解析、VO<sub>2</sub>を接合した発熱体の温度測定、蓄熱シートの試作、蓄熱シートを接合した発熱体の温度測定を行い、VO<sub>2</sub>を熱マネジメント素子として用いた際の温度平準化性能および放熱性能を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

小型化可能な熱マネジメント素子として、相転移材料(PCM)が挙げられる。PCMは相転移により吸熱/発熱反応をする材料であり、さまざまな蓄熱アプリケーションに用いられている。本研究では、固-固相転移材料(SS-PCM)に着目する。SS-PCMは液相に相転移しないため、液漏れの恐れがなくデバイス化が容易である。二酸化バナジウム(VO<sub>2</sub>)はSS-PCMであり、室温付近で可逆的な金属-絶縁体相転移をする。しかし、VO<sub>2</sub>を熱マネジメント素子として使用したときの放熱特性は明らかとなっていない。

研究成果の概要(英文)：This study focuses on a passive thermal management using vanadium dioxide (VO<sub>2</sub>). The passive thermal management using a phase change material (PCM) can absorb the heat of electronic devices by the large latent heat of the PCM and reduce the maximum temperature and temperature fluctuation of the electronic circuits. VO<sub>2</sub> is a promising solid-solid PCM with a reversible phase transition at 68℃, and has a large volumetric latent heat. In addition, since VO<sub>2</sub> is a solid-solid phase transition material, it can be dispersed in a resin to form a sheet, which is suitable for attaching to electronic circuits. In this study, the temperature leveling performance of VO<sub>2</sub> was evaluated by a simulation and its validity was verified by experiments using a VO<sub>2</sub> sintered body. Furthermore, a heat storage sheet composed of VO<sub>2</sub> powder dispersed in a resin was prepared and its performance was evaluated.

研究分野：伝熱工学

キーワード：相変化材料 熱マネジメント

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、通信速度の増加に伴いスマートフォン等のポータブル電子機器の発熱が問題となっている。電子機器の発熱は、機器の故障の原因の一つであり、対策が必要である。本研究では、電子機器の熱マネジメント技術であるパッシブ熱マネジメントに着目した。パッシブ熱マネジメントは、大きな潜熱を有する相変化材料を用いて電子機器の発熱を吸収し、最大温度と温度変動を軽減する手法である。パッシブ熱マネジメントは単純且つ小型化が可能であり、ポータブル電子機器の熱マネジメントに適している。二酸化バナジウム( $\text{VO}_2$ )は約  $68^\circ\text{C}$  で可逆相転移をする固体相転移材料であり、潜熱が大きく、液相に相転移しない。この  $\text{VO}_2$  をシリコンなどの樹脂中に分散させることで、蓄熱シートを作製可能である。しかし、 $\text{VO}_2$  の温度変動抑制効果や放熱性能が明らかになっていない。本研究では潜熱を考慮した伝熱解析、 $\text{VO}_2$  を接合した発熱体の温度測定、蓄熱シートの試作、蓄熱シートを接合した発熱体の温度測定を行い、 $\text{VO}_2$  を熱マネジメント素子として用いた際の温度平準化性能を明らかにした。

2. 研究の目的

本研究では、 $\text{VO}_2$  を電子機器の熱マネジメント素子として用いた際の温度平準化性能を明らかにする。はじめに、潜熱を考慮した伝熱解析モデルを構築し、 $\text{VO}_2$  の温度平準化性能を明らかとした。検証実験を実施し、解析モデル・結果が妥当であることを検証した。その後、より実装に適した形として  $\text{VO}_2$  を樹脂と複合化した蓄熱シートを作製し、その性能を評価した。

3. 研究の方法

(1) 潜熱を考慮した伝熱解析モデルを作成した。図1に解析モデルを示す。本モデルは、 $\text{VO}_2$  をヒータに接合したモデルであり、 $\text{VO}_2$  の相転移に伴う潜熱が考慮されている。解析では、1層目に  $20\text{ kW/m}^2$  の内部発熱、21層目に  $22.5^\circ\text{C}$  の大気との自然対流熱伝達 ( $5\text{ W/m}^2\text{K}$ ) を仮定した。表1に解析に用いた各物性値を示す。このモデルを用いて  $\text{VO}_2$  を接合したことによる発熱体の温度変化を計算した。計算結果の妥当性を検証するために解析モデルを再現した実験を行い、解析結果と実験結果を比較した。ヒータおよび  $\text{VO}_2$  の上面温度を解析および実験で求めた。

(2) 実装に適した素子である  $\text{VO}_2$  粉末をシリコン中に分散させた蓄熱シートを作製した。事前にフィラーを分散させたシリコンに体積率 20 % 分の  $\text{VO}_2$  を分散させ蓄熱シートを作製し、その熱伝導率、潜熱量を測定した。図2に作製した蓄熱シートを示す。測定した物性値を基に、熱解析によって温度平準化性能を明らかとした。

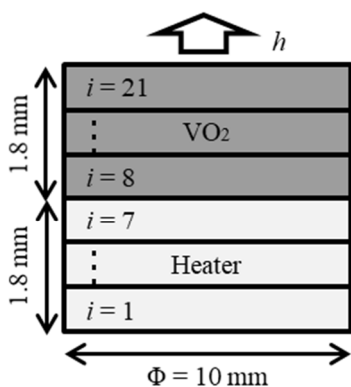


図1 解析モデル

表1 解析で仮定した物性値

Layer		$\text{VO}_2$	ヒータ
密度	$\rho[\text{g/cm}^3]$	4.265	3.9
比熱	$c[\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})]$	700	780
熱伝導率	$k[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	3.5	30
潜熱	$L[\text{J}/\text{cm}^3]$	234	-
相転移温度	$T_{PT}[^\circ\text{C}]$	64	-

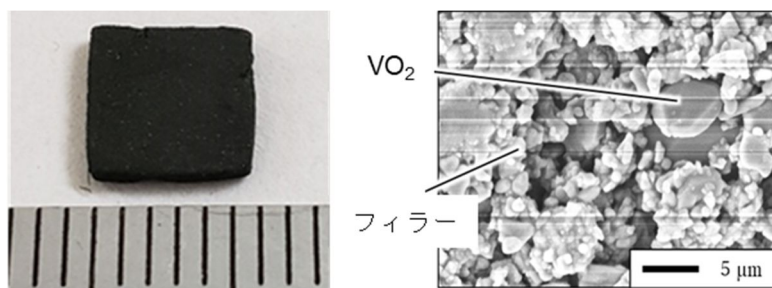


図2 作製した蓄熱シート

4. 研究成果

(1) 図3に解析結果と実験結果の比較を示す。ヒータおよびVO<sub>2</sub>上面の温度はVO<sub>2</sub>の温度が相転移温度に到達すると、潜熱によって温度上昇が抑制され温度傾斜が緩やかになっている。その後、相転移が終了すると再び温度傾斜がきつくなり閾値温度に到達している。解析では、相転移温度よりも十分高い閾値温度を設定し、閾値温度に到達するまでの温度変化を求めた。この解析では閾値温度を79℃とした。解析結果はVO<sub>2</sub>焼結体を用いた実験結果と一致し、解析モデルが妥当であることが示された。また、この実験結果からVO<sub>2</sub>を電子機器に接合することで、潜熱により温度上昇を抑制可能であることが明らかとなった。

(2) 作製した蓄熱シートの各熱物性を測定した。測定の結果、熱伝導率、潜熱量はそれぞれ1.08 W/m·K、40.6 J/cm<sup>3</sup>であった。この熱物性を用いて熱解析により図3と同様の条件でヒータ上面の温度を計算した。計算結果を図4に示す。計算はヒータのみの場合、蓄熱シートを接合した場合、VO<sub>2</sub>焼結体を接合した場合の3条件で計算した。また、点線は蓄熱シートの潜熱がゼロだった場合である。蓄熱シートを接合した場合は、蓄熱シートの温度が相転移温度に到達すると、図3と同様に潜熱によって温度上昇が抑制され温度傾斜が緩やかになっている。その後、相転移が終了すると再び温度傾斜がきつくなり閾値温度に到達している。この計算では閾値温度を90℃とした。蓄熱シートを接合した場合の閾値温度に到達するまでの時間はヒータのみの条件と比較して長く、VO<sub>2</sub>焼結体を接合した場合の63%程度であった。

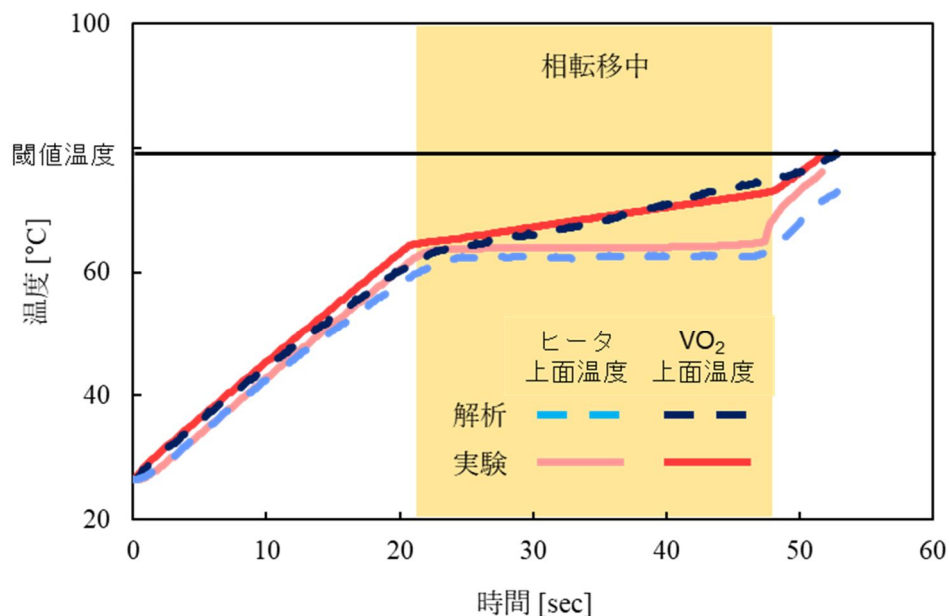


図3 解析結果と実験結果の比較

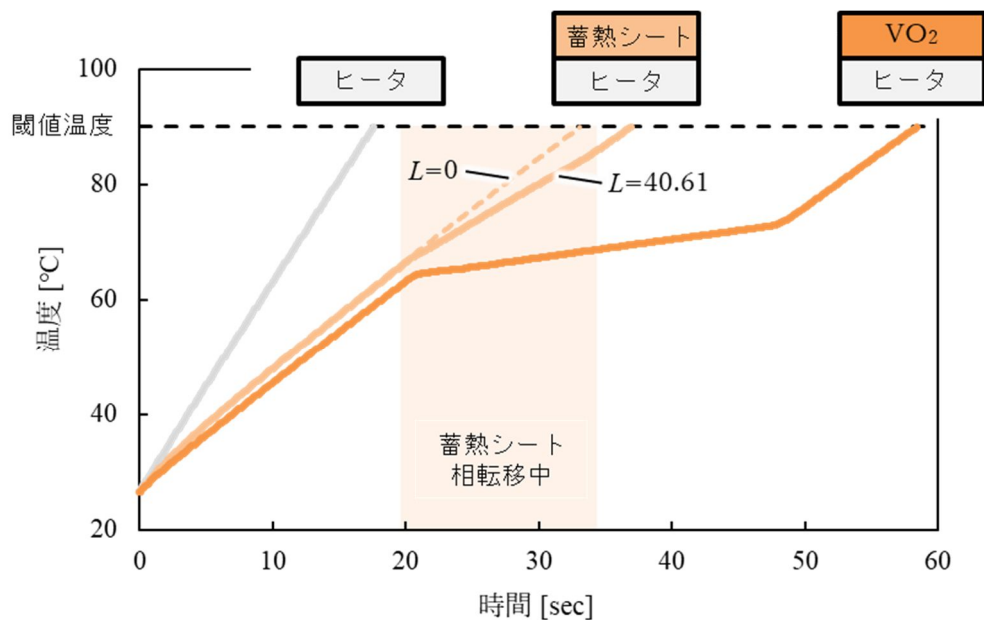


図4 蓄熱シートの温度平準化性能

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 岩淵将也, 佐々木拓斗, 馬場将亮, 山田昇, 武田雅敏
2. 発表標題 固体蓄熱材料V02の相転移温度における伝熱特性評価
3. 学会等名 第40回日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木拓斗, 大滝大樹, 岩淵将也, 馬場将亮, 山田昇, 武田雅敏
2. 発表標題 金属 絶縁体相転移材料V02 の温度平準化性能予測
3. 学会等名 日本金属学会北陸信越支部・日本鉄鋼協会北陸信越支部 令和元年度総会・連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 根本晃成, 大滝大樹, 馬場将亮, 山田昇
2. 発表標題 二酸化バナジウム焼結体の蓄放熱特性～パラフィンとの比較～
3. 学会等名 2020年度日本太陽エネルギー学会研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木拓斗, 根本晃成, 大滝大樹, 馬場将亮, 山田昇, 武田雅敏
2. 発表標題 固 - 固相転移材料V02を接合した発熱体の放熱特性評価
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------