

平成 20 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「冷却部材の複合化技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成21年3月

委託者 九州経済産業局

委託先 株式会社 湧上マイクロ

目次

第1章 研究の概要.....	1
1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標.....	1
(1) 研究の背景と目的.....	1
(2) 研究の目標.....	2
1 - 2 研究体制.....	3
(1) 研究組織及び管理体制.....	3
(2) 研究者氏名・協力者.....	5
1 - 3 研究成果の概要.....	6
1 - 4 当該プロジェクト連絡窓口.....	7
第2章 研究成果.....	8
2 - 1 株式会社測上マイクロにおける研究成果.....	8
(1) 研究開発の目標と課題.....	8
(2) 研究開発の内容.....	9
(3) 研究開発の成果.....	12
(4) 今後の課題.....	13
2 - 2 国立大学法人鹿児島大学(岡田准教授)における研究成果.....	14
(1) 研究開発の目標と課題.....	14
(2) 研究開発の内容.....	14
(3) 今後の課題.....	15
2 - 3 国立大学法人鹿児島大学(水田助教)における研究成果.....	16
(1) 研究開発の目標と課題.....	16
(2) 研究開発の内容.....	16
(3) 研究開発の成果.....	18
(4) 今後の課題.....	19
第3章 研究開発全体の総括.....	20

第1章 研究の概要

1 - 1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究の背景と目的

昨今、九州地域では、半導体産業と自動車産業の融合への期待が高まっており、その代表例が車載半導体である。車載半導体市場は、自動車産業の急速なエレクトロニクス化等の進展を背景に急成長が見込まれる市場となっている。

車載半導体は、ECU の様な車の基本動作に関わるものから、カーオーディオをはじめとする AV システム、さらには、カーナビゲーションシステムやインターネット接続システムに至るまで、非常に多岐にわたっている。また、自動車における LED の利用も年々増加しており、これまでは間接照明的用途で使用されることが多かったが、近年盛んに開発されている高輝度 LED の性能向上に伴い、主照明系への使用も一部では始まっている。現在、さらなる光の高出力化に向けた開発が行われており、投入電力密度が現行の約 100 倍で駆動する LED の試作開発も行われていることから今後は超高熱流束を発生する LED の実用化が見込まれる。一方、環境負荷の低減に配慮した自動車に対する社会的要請の高まりを受け、ハイブリッド自動車の様に、電気と内燃機関を相補的に使用し、エネルギー効率を高めた自動車が出現している。かかる自動車では、効果的に電気と内燃機関を使い分けるために、変速機を含め、非常に高度な制御が調和的に行われている。今後は、燃料電池自動車など、発電システムを含めより一層高度な制御が必要とされる自動車が出現してくることから、制御系に求められる演算量はますます増大すると考えられる。しかし、高性能デスクトップコンピュータやワークステーションなど、高性能であるがゆえに発熱量が非常に大きな CPU を搭載するコンピュータで使用されている様な大型ヒートシンク(高さ 15 cm 以上に及ぶものもある)などは、車載用には不向きであるため、カーエレクトロニクスに関する今後のトレンドに対応するには、小型かつ高性能な冷却システムが必須である。

この様な社会的要請の高まりを背景として、高性能フラットヒートパイプ型ヒートスプレッド(FGHP: Fuchigami Group Heat Pipe)の開発を進めてきた。FGHP は、その動作原理によりウィックタイプヒートパイプに分類される。従来、ウィックタイプヒートパイプでしばしばボトルネックになると指摘されてきたウィック部分について、FGHP ではナノスケールの高精細エッチング技術により作製している為、ウィック構造を最適化することが可能であり、他の類似品に対する性能面でのアドバンテージとなっている。これまでの開発により、FGHP 単体の場合、同じ形状の銅製ヒートスプレッドに対して大きな優位性を示すことが明らかとなったため(35W 入力時、熱抵抗が銅に対して約 0.27 /W 低下した)、比較的 low power のデバイスについては既に実装可能である。一方、高出力のデバイスを冷却するためには、放熱面積を確保するためにヒートシンクと複合化する必要があるが、FGHP を市販ヒートシンクと市販の熱接合材(TIM)を介して接合した場合における性能は、市場要求に対してやや下回るため(市場要求: 同 0.15 /W 低下、現状: 同 0.07 /W 低下)、今後、ヒートシンクと複合化した際の性能をさらに高めていく必要がある。

そこで本開発においては、FGHP をコアとする複合化技術を開発し、高性能な冷却システムを構築することにより、FGHP のさらなる高機能化・高付加価値化を実現することを目的とする。なお、主な開発アイテムとその用途は以下の通りである。

表1 本研究開発における開発アイテムと用途

	開発アイテム	用途
1	ヒートシンクとの一体構造開発	・高輝度LEDなど、高熱流束発生部品 (投入電力密度が日亜化学, シチズン現行品の約100倍) ・エンジンルームなど狭小空間におけるハイパワー部品
2	高性能(=高熱伝導性)熱的接合材料(TIM)の開発	・高性能、ハイパワーCPU (TDP 120 W以上) ・家電製品などの低価格システム
3	回路一体形成型両面実装技術の開発	・ダッシュボードやハンドヘルドデバイスなどの極狭小空間におけるハイパワー部品 ・ECUなど高度な信頼性が必要とされるデバイス
4	評価用モジュールの開発	・FGHP等ヒートスプレッドの熱特性評価

本研究開発は、冷却技術をベースに産学の連携で九州発のオリジナル製品をうみだす事が出来る。そして、九州等における各企業との連携で事業規模を拡大させ、国内はもとより、世界へ展開させる事が可能であり、地域の産業振興を図り、九州の発展に寄与していく事を目的とする。

(2) 研究の目標

本研究開発では、従来の冷却システムの代替として、今後顕在化する小型・多機能化電子機器の発熱問題に対して、冷却性能を上げるとともに、従来よりも小型・単純・薄型化構造によるコスト削減を達成するための新たな冷却技術を開発する。以下に、開発項目とその目標を示す。

FGHPの構造課題への対応

- 1 最適表面形状決定(ピール強度向上)
- 2 配線付 FGHP への LED 実装開発
(LEDを実装した自己診断機能付 FGHP の実現)
- 3 構造力学シミュレーションと最適デザイン開発(高耐熱構造の実現)
- 4 内部空間の表面改質処理技術開発

FGHPとヒートシンクの接合課題への対応

- 1 接着材料開発と接着方法研究

ヒートシンク構造の課題

- 1 ヒートシンク複合 FGHP 構造の接合材料研究
- 2 ヒートシンク一体型新規構造 FGHP 研究

品質評価課題に対する対応

- 1 熱放散性シミュレーションによる複合型 FGHP 最適設計手法の確立
(熱的特性評価モデル構築)
- 2 組み立て部品による組み立て性評価
(LED 実装 FGHP の生産性評価)

- 3 信頼性評価(複合化 FGHP の信頼性評価)
- 4 放熱性能評価用モジュールの設計製作
(高速かつ高精度な評価システムの開発)

技術情報調査及び特許出願

本研究開発によって得られた成果をもとに、特許出願する。なお、これらの案件については自己資金により出願する。

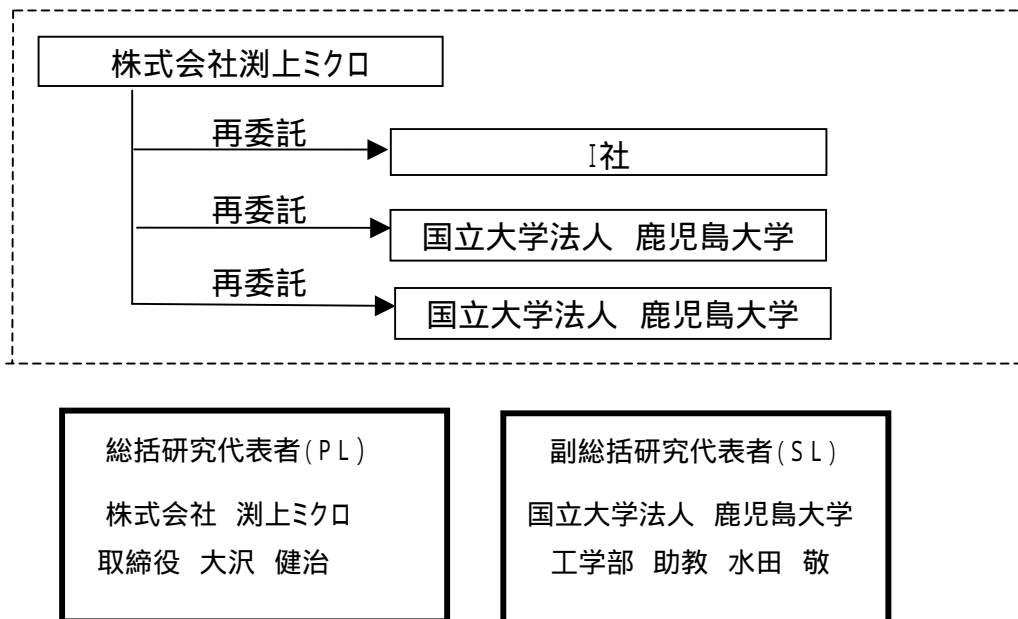
実装評価

大手電機会社 A 社において、車両、航空機用液晶モニターなど、種々のデバイスへ FGHP 冷却システムを実装し、性能評価を実施する。なお、評価に際しては、測上マイクロ、鹿児島大学も参加し、実装方法や評価方法について、現地で協議し、最適な実施方法を検討する。また、発熱の大きなデバイスを用いて、最適実装方法について検討を行う。

1 - 2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

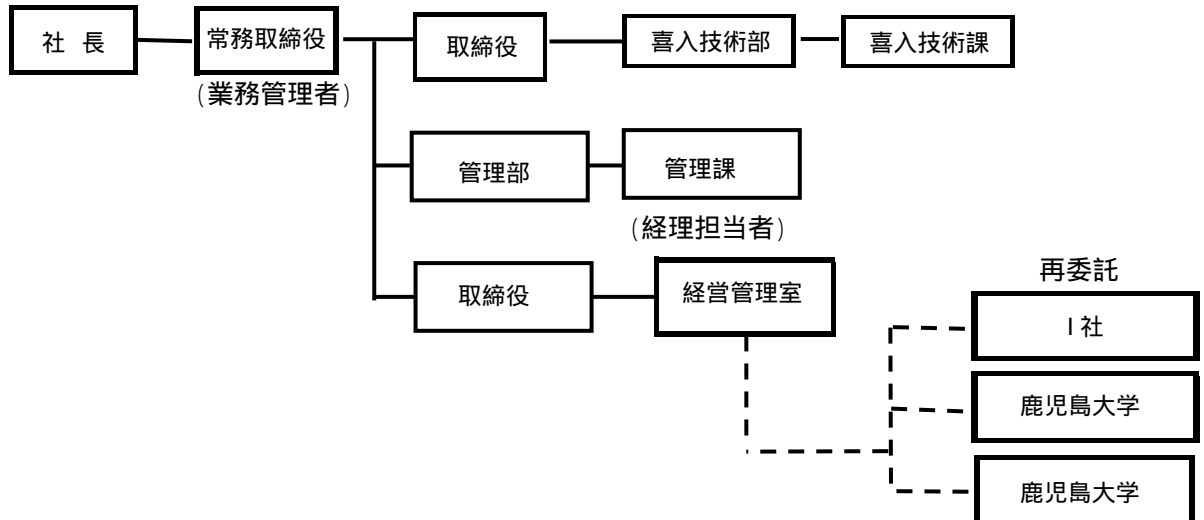
(1 - 1) 組織全体



(1 - 2) 管理体制

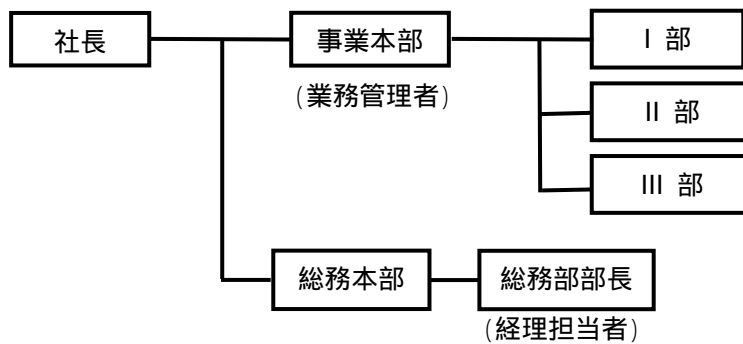
(1 - 2 - 1) 事業管理者

[株式会社 測上ミクロ]

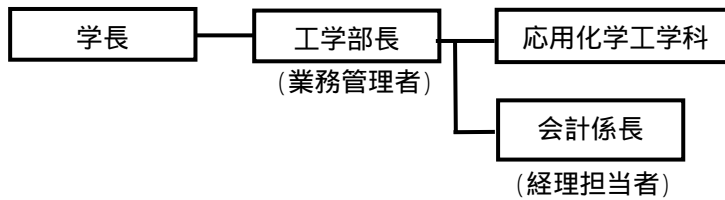


(1 - 2 - 2) 再委託先

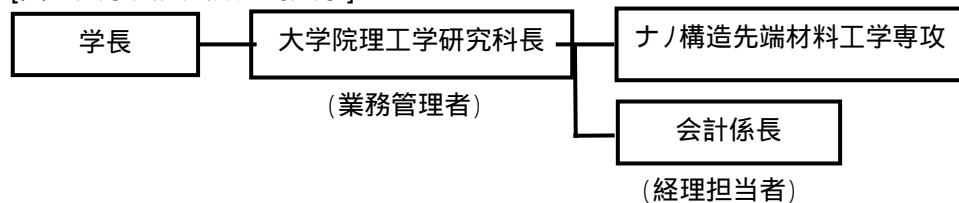
[I社]



[国立大学法人 鹿児島大学]



[国立大学法人 鹿児島大学]



(2) 研究者氏名・協力者

(2 - 1) 研究員・管理員

区分	氏名	所属・役職
1) 管理法人		
研究員	大沢 健治 福永 倫康 小谷 俊明 平尾 浩明 鶴田 克也 後田 隆広	取締役 開発部長 知的財産部部長 品質保証部品質保証課喜入担当課長 喜入技術部喜入技術課リーダー 喜入技術部喜入技術課
管理員	三角 政美 山之江清子	管理部 部長 経営管理室 室長
2) 再委託先		
I 社		
国立大学法人 鹿児島大学	水田 敬	工学部応用化学工学科 助教
国立大学法人 鹿児島大学院	岡田 裕	大学院理工学研究科ナノ構造先端材料工学専攻 准教授

(2 - 2) 協力者(アドバイザー)

氏名	所属・役職
安部 英一	独立行政法人産業技術総合研究所九州センター 九州産学官連携センター産学官連携コーディネータ
永吉 弘己	鹿児島県工業技術センター企画情報部部長
	他 数名

1 - 3 研究成果の概要

本研究開発においては、表1に示す各開発アイテムの実現に向け、1 - 1(2)に示す各要素技術にブレークダウンして開発を行ってきた。以下、開発アイテムごとに研究成果の概要を示す。

(1) ヒートシンクとの一体構造開発

- 【目的】
- ・接合部における熱抵抗の除去
 - ・冷却システム全体の小型化
 - ・フィン一体構造 FGHP の熱的特性評価用シミュレーションモデルの構築

【概要】

上記目的を達成するために、フィン形成用厚板銅板を用いた FGHP 加工プロセス、および、フィン加工方法を開発するとともに、一体型構造を最適化するための、シミュレーションモデルを構築する。また、シミュレーションモデルについては、試作、性能評価を実施し、シミュレーションによる予測性能と実測値を比較検討することによって、シミュレーションモデルを修正し、実測値とシミュレーションによる予測値の一致性を高めることにより、設計手法の信頼性を向上させることを目的として研究開発を行った。

その結果、当初予定していたサイズにおいてフィン一体形成型 FGHP の作製に成功した。さらに、本ヒートシンクについて熱抵抗と熱源サイズの関係性をサーマルシミュレーションについて調べ、その知見をもとに熱的性能評価を行った結果、本ヒートシンクは熱抵抗は非常に低く、従来型ヒートシンクに比べて小型かつ高性能なヒートシンクが実現でき、目標値をクリアする高い性能を示すことが明らかとなった。

以上より、本開発アイテムについて、当初目標を達成した。

(2) 高性能熱的接合材料の開発

- 【目的】
- ・接合部熱抵抗低減
 - ・汎用ヒートシンクによる低コスト化

【概要】

上記目的を達成するために、接着剤開発ならびに接合面の最適化を行うことを目的として研究開発を行った。

昨年度、高性能TIM材の熱伝導率を評価するための装置を開発し、当該装置で評価した結果、本研究開発において開発したTIM材は高い性能を有する事が明らかとなった。

そこで本年度は、キュア方法と塗布方法を最適化した結果、有効熱伝導率がさらに向上した。また、FGHP と汎用ヒートシンクとを本TIM材により接合した結果、熱抵抗は非常に低い値であることが確認され、目標をクリアする高い性能を示すことが明らかとなった。

以上より、本開発アイテムについて、当初目標を達成した。

(3) 回路一体形成型両面実装技術の開発

- 【目的】
- ・高密度実装化における空間利用効率の向上
 - ・回路の一体形成によるインテリジェント化

【概要】

上記目的を達成するために、FGHP 形成技術を開発するとともに、実装技術を開発する。また、FGHP が適正に動作しているかどうかを判定する回路を一体形成することにより、高信頼性が求められる用途への適用を目指して研究開発を行った。

昨年度は、FGHP に対してペアチップを直接実装するための工法を開発し、FGHP を基板とした光源の開発に成功した。また、形成技術の開発にも成功した。

そこで本年度は、さらに実用的な光源の実現を目指し、FGHP に対して FPC を貼り付け、電源供給回路を形成した。LED としては、昨年度青色だけだったのに対し、本年度は、青、緑、赤の LED を実装し、各 LED へ印加する電圧を調整する事によって白色光源を実現した。さらに、FGHP が正しく動作しているかどうか判定するための回路実装に成功し、高い信頼性が要求される場面での使用が可能となった。

以上より、本開発アイテムについて、当初目標を達成した。

(4) 評価用モジュールの開発

【目的】 ・FGHP 加熱用電源制御回路、センサー放熱特性分析回路のワンモジュール化によるインテリジェント評価システムの構築

【概要】

上記目的を達成するために、種々の熱源を模擬できる熱源 / センサー部分と、熱源を制御し、かつ、センサー部分から得られる信号を処理するための回路を実装したマザーボードを実現する事を目的として研究開発を行った。

模擬可能な熱源サイズを、昨年度の2バリエーションから、本年度は8バリエーションを実現できる TEG チップを開発した。さらに、制御回路についても、昨年度はブレッドボードに形成したプロトタイプ回路を使用したが、本年度は、多層基板を用いて、4 チャンネル分の回路を 1 枚の制御基板へ実装し、各基板をスタックできるような構造とすることにより、将来のさらなる多チャンネル化へ対応可能な構成とした。

以上より、本開発アイテムについて、当初目標は達成した。

1 - 4 当該プロジェクト連絡窓口

株式会社モレックス喜入(元.株)測上マイクロ) (担当:社長室 山之江清子)

連絡先 TEL:0993-45-0800 FAX:0993-27-5001

第2章 研究成果

2 - 1 株式会社 洲上マイクロにおける研究成果

(1) 研究開発の目標と課題

- 1 最適表面形状決定

研究開発の目標 表面の平坦性向上

研究開発課題 内部および外部構造最適化技術の確立。

- 2 配線付 FGHP への LED 実装開発

研究開発の目標 高輝度 LED 実装条件確立する

研究開発課題 FGHP と薄型配線基板(50 μm)の積層及び絶縁材料の開口技術開発と、回路一体構造プロセスを確定する。

- 3 構造力学シミュレーションと最適デザイン開発

研究開発の目標 脆弱性の要因を特定する

研究開発課題 耐熱性を向上させた構造の FGHP を作製し、耐熱性評価を行い、耐熱性の改善効果について検証する。

・ 4 内部空間の表面改質処理技術開発

研究開発の目標 FGHP 内部表面の接触角が低下する様開発する。

研究開発課題

1. コーティング材料選定

2. コーティング方法

3. FGHP 外郭構造作製時の積層強度に与える影響の有無

- 1 接着材料開発と接着方法研究

研究開発の目標 高熱伝導性の接着剤の開発。

研究開発課題 高熱伝導性接着剤の材料開発と、接合部の機械的強度の測定と、熱抵抗測定で、キュアプロセスの適正化を図る。また、FGHP 表面の状態により、接着強度や熱抵抗がどのように変化するか調べ、接着に適した表面状態(平坦性、表面粗さなど)を確立する。

- 1 ヒートシンク複合 FGHP 構造の接合材料研究

研究開発の目標 ヒートシンクの複合化構造での低熱抵抗ヒートシンクを実現する

研究開発課題 FGHP とヒートシンクを接合一体化する材料として 低熱抵抗の接合剤組成の調査、試作、及び、評価を行う。

- 2 ヒートシンク一体型新規構造 FGHP 研究

研究開発の目標 ヒートシンク一体工法プロセス確立

研究開発課題 フィン形成用厚板銅板 FGHP 加工プロセスの確立と、FGHP の下板にフィンを形成する加工方法を新規開発し、フィンの熱的特性について評価する。

- 2 組み立て部品による組み立て性評価

研究開発の目標 LED 実装 FGHP へのヒートシンク実装性評価

研究開発課題 FGHP と配線基板との積層技術として FPC と絶縁層の選定を行い、配線付 FGHP を試作・評価する。

- 3 信頼性評価

研究開発の目標 複合型 FGHP について単体 FGHP 同様の高い信頼性実現を目標とする。

研究開発課題 FGHP 複合型構造の基礎信頼性評価を実施する。信頼性評価方法としては、高温放置テスト、および、温度サイクルテストとし、本評価方法のもとで、複合化した FGHP の基礎信頼性について検証する。

- 4 放熱性能評価用モジュールの設計製作

研究開発の目標 種々の熱源を模擬できるモジュールを開発する。

研究開発課題 中央部および周辺部の8チャンネルの加熱/測温体を有する TEG チップを作製し、各チャンネルの加熱および測温が高精度に実施できるかについて検証する

技術情報調査及び特許出願

研究開発の目標 本研究開発によって得られた成果をもとに、特許出願する。

実装評価

研究開発の目標 A社において、車両、航空機用液晶モニターなど、種々のデバイスへ FGHP 冷却システムを実装し、性能評価を実施する。

研究開発課題 評価に際しては、実装方法や評価方法について、現地で協議し、最適な実施方法を検討する。

(2) 研究開発の内容

- 1 最適表面形状決定

研究の概要: 内部構造の検討を行い、従来パターンの耐熱強度シミュレーションにより中央部分と周辺部の補強構造を変更して中央部付近の凹部発生を抑制した。その結果、中央部における凹み量は大幅に低減し、当初目標を達成した。

- 2 配線付 FGHP への LED 実装開発

課題: FGHP に対して LED および自己診断機能を実装するためのプロセスを開発する。

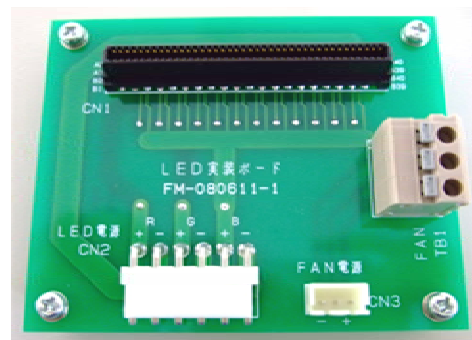


図 LED 実装用 FGHP 基板

LED 実装 FGHP 光源と、自己診断機能付き FGHP 光源の作製に成功し、当初目標を達成した。

- 3 構造力学シミュレーションと最適デザイン開発

課題: FGHP の破壊に到るメカニズムについて検証し耐熱性を向上させた FGHP を作製する。

破壊に到るメカニズム検証(シミュレーションにて)

応力分布の平滑化について

昨年度の検討により、相当応力が高い部分が判明したので、内部構造を変更したところ、相当応力が平滑化されることが明らかとなった。

補強部構造と強度の関係について

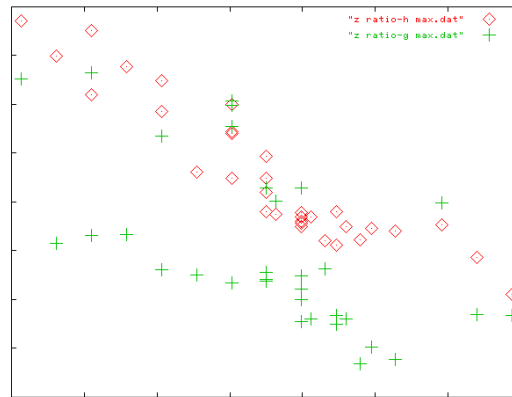


図 評価指標と評価指標の関係

各構造の強度を評価するために評価指標を導入し、内部構造に対する関係を調べた。その結果、設計時に内部構造を決定する際の指針が得られた。よって、当初目標を達成した。

- 4 内部空間の表面改質処理技術開発

課題:さらなる性能向上にむけた内部表面改質技術の開発(接触角の低減)

処理条件を最適化することにより、当初目標の接触角を実現することができた。さらに、当該処理を用いてサンプルを作製した結果、従来よりも薄型であるにもかかわらず、高い熱輸送性能を示すことが明らかとなった。よって、当初目標を達成した。

- 1 接着材料開発と接着方法研究(本年度目標:熱伝導率向上)

課題:高熱伝導性接着剤の材料開発と、接合部の機械的強度の測定と、熱抵抗測定で、キュアプロセスの適正化を図る。

昨年度開発したTIM熱伝導率測定装置を用いてTIM材の性能評価を行った。塗布方法とキュア方法を最適化する事により、高い性能を有する事が明らかとなった。よって、当初目標を達成した。

- 1 ヒートシンク複合 FGHP 構造の接合材料研究(本年度目標:熱抵抗低減)

課題:1. 接合剤組成の決定

2. 熱伝導率及び熱抵抗評価用サンプルの作製

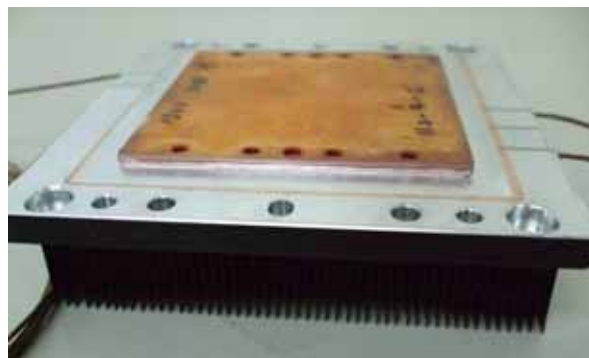


図 複合体サンプル作製

熱抵抗を測定した結果、総合抵抗はいずれも目標値を下回り、当初目標を達成した。

- 2 ヒートシンク一体型新規構造 FGHP 研究

課題：標準型 FGHP に対するフィン一体形成

昨年度の知見をもとに、標準構造の FGHP サンプルに対してフィンを一体形成する事が可能となった。よって、当初目標を達成した。

- 2 組み立て部品による組み立て性評価

課題：LED 付き FGHP をヒートシンクと複合化するプロセスについて検討する。

- 2 で作製した FGHP 光源に対して、ヒートシンクを作製し、光源裏面に設置して熱的特性評価を実施し、自然対流状態での冷却特性とヒートシンクの有効性について検証した。よって、当初目標を達成した。

- 3 信頼性評価

課題：FGHP 複合型構造の基礎信頼性評価を実施する

温度サイクル試験および高温放置試験を実施した結果、冷媒のリークや変形は見られなかった。また、サイクル試験後も変形量は平面度目標を下回っていたことから、単体 FGHP 同様に高い信頼性を有することが明らかとなった。よって、当初目標を達成した。

- 4 放熱性性能評価用モジュールの設計製作

課題：8チャンネルの加熱/測温体を有する TEG チップ作製し、各チャンネルの加熱および測温が高精度に実施できるかについて検証する

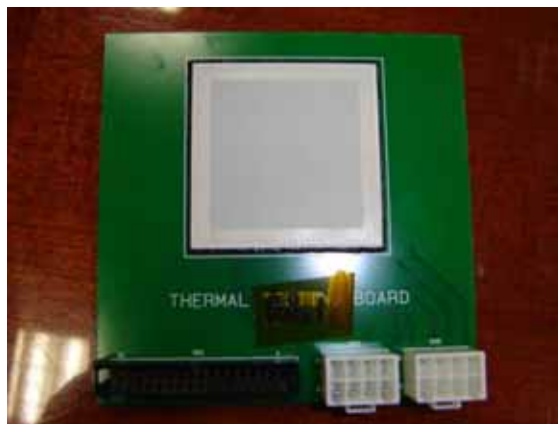


図 8チャンネルバージョンの TEG チップをマザーボードへ実装したところ

単一チャンネルおよびマルチチャンネルの場合も、加熱および測温が高精度に実施可能であることが分かった。よって、当初目標を達成した。

技術情報調査及び特許出願

課題：本研究開発によって得られた成果について特許出願する

結果：本研究開発で得られた成果のうち、特許性の高いものについて特許出願を行った(自己資金)。

実装評価

課題：FGHP を実デバイスへ実装し、性能を評価する。なお、実装方法や評価方法について、A 社と協議し、最適な実施方法を検討する。

結果：排熱構造を最適化する事により、従来ファンによる強制冷却を行っていたデバイスが、ファン

レスで冷却可能であることが明らかとなった。

(3) 研究開発の成果

- 1 最適表面形状決定(ピール強度向上)

成果: 本項目の目標以上のピール強度を達成した。

よって、当初目標を達成した。

- 2 配線付 FGHP への LED 実装開発

成果: 本年度は、自己診断機能付き FGHP 光源を作製する事が目標であったが、FGHP に LED ベアチップを直接実装して白色光源を実現するとともに、動作状態を診断する事が可能となった。よって、当初目標を達成した。

- 3 構造力学シミュレーションと最適デザイン開発

成果: 昨年度、本研究開発項目で設定した耐熱性はクリアしていたので、本年度は、内部構造の設計指針を得るための検討を行った。その結果、相当応力の目安となる評価指標と内部構造との関係が明らかとなり、内部構造に対する設計指針が得られた。よって、当初目標を達成した。

- 4 内部空間の表面改質処理技術開発

成果: 本年度は、接触角低減を目標とし、表改質処理技術の最適化によって、サンプル間のばらつきが低減し、いずれのサンプルについても接触角を実現した。よって、当初目標を達成した。

- 1 接着材料開発と接着方法研究

成果: 高熱伝導率の実現を狙い開発を行った結果、当初目標を上回る性能の接着剤開発に成功した。よって、当初目標を達成した。

- 1 ヒートシンク複合 FGHP 構造の接合材料研究

成果: 総合抵抗はいずれも熱抵抗が目標値を達成した。よって、当初目標を達成した。

- 2 ヒートシンク一体型新規構造 FGHP 研究

成果: ヒートシンク一体工法プロセス確立と熱抵抗低減であり、いずれも達成する事が出来た。よって、当初目標を達成した。

- 2 組み立て部品による組み立て性評価

成果: LED 実装 FGHP 光源に対してヒートシンクを作製、実装し、性能評価を行った結果、十分な冷却性能を発揮する事が明らかとなった。よって、当初目標を達成した。

- 3 信頼性評価

成果: 複合化 FGHP の基礎信頼性検証した結果、温度サイクル試験、高温放置ともに冷媒のリークや変形は見られず、信頼性が確認できた。よって、当初目標を達成した。

- 4 放熱性性能評価用モジュールの設計製作

成果: 本年度は、より実用的な構成として8チャンネル構成の TEG チップを作製した結果、各チャンネルの独立駆動と、加熱・温度測定が可能になる事が確認された。

よって、当初目標を達成することができた。

技術情報調査及び特許出願

成果:研究成果をもとに、自己資金により、特許出願を行った。よって、当初目標を達成する事が出来た。

実装評価

成果:実装方法や評価方法について、A社と協議し、最適な実施方法を検討し、排熱構造を最適化する事により、従来ファンによる強制冷却を行っていたデバイスが、ファンレスで冷却可能であることが明らかとなった。よって、当初目標を達成することができた。

(4) 今後の課題

回路一体形成 FGHP については、より一層の熱抵抗低減と信頼性向上を目的とし、超薄型ポリイミドシートを用いた薄型 FPC シートの低熱抵抗実装方法や、絶縁層および配線層をインクジェットにより形成する手法の開発を行う。また、自己診断機能のハイブリッド化についての開発も進め、インテリジェント化を実現する。

耐熱性の向上については、今回開発対象とした正方形形状だけでなく、長方形や円形など各種形状の FGHP に対する内部構造を、構造力学シミュレーションを用いて自動的に決定する手法についても開発を行う。

また、新規表面構造の創製に関しては、従来の FGHP 構造では実現不可能であった、熱輸送タイプ FGHP や、大型 FGHP の開発を、当該新規表面創製方法を用いて実施する。具体的には、新規表面創製方法による性状分析のためにハイスピードカメラを駆使した可視化や、コンピュータシミュレーションを実施するとともに、試作 FGHP サンプルの性能評価を実施し、最適内部表面構造について検討を進める。

また、FGHP の最適設計手法の確立に関しては、従来設計でよく用いられている熱抵抗 [K/W] は、熱源サイズや選定するヒートシンクなどにより値が変化し、普遍的な値として用いることは不可能であることから、種々の設計において統一的に使用できる指標である、有効熱伝導率のさらなる高精度な推定法を確立する。

さらに、評価モジュールについては、制御方法や評価アルゴリズムを最適化し、より一層の高精度化と高速化を実現する。

2 - 2 国立大学法人鹿児島大学(岡田准教授)における研究成果

- 3 構造力学的シミュレーションと最適デザイン検討

(1) 研究開発の目標と課題

本節では、平成 20 年度に行われた FGHP の構造解析の内容について述べる。以下に示すとおり、平成 20 年度は研究計画に盛りこまれた内容に関して所定の結果を得ることができた。

研究開発の目標

内部構造に関して、最適条件を有限要素法シミュレーションにより見出すこととする。

研究開発課題

- 有限要素法シミュレーションは、解析モデルが大規模化することを想定し、並列ハイパフォーマンスコンピュータを使用した並列有限要素法ソフトウェア（Adventure システム）により行う。
- 最適化シミュレーションでは様々な内部構造を想定することが必要になる。そこで、想定できる全ての構造を含むマスターモデルを生成し、マスターモデルから適宜削除することにより、様々な内部構造を持つ解析モデルを短時間に生成する。さらに、シミュレーションの結果として得られる、接合部における応力が評価指標として使用し、最適な内部構造を見出す。

(2) 研究開発の内容

以下の要領で最適化シミュレーションを実施する。

- (1) 想定できる全ての構造を含むマスターモデルの作成する。
- (2) マスターモデルから適宜削除することにより、様々な内部構造を持つ解析モデルを短時間に作成し、有限要素解析を実施する。
- (3) 解析結果に対して前年度に確立した評価指標を用いて最適な内部構造を見出す。

(3) 平成 20 年度 実施状況

- (1) 内部構造を変化させた各種モデルに対して構造解析を行い、応力分布、変形等を明らかにした。
- (2) 上記解析結果に対して、評価指標を導入し、より定量的な評価を行い各モデルの違いを明確にした。
- (3) すべてのモデルに対して内部構造と評価指標の相関を調べ、どの程度の補強柱が必要かを検討した。その際、補強柱の断面積と比較すべきモデルの面積を、全断面積、中心部を除いた面積、角部分のみを対象とした面積等検討した。
- (4) 今回のモデルでは、内部構造最適化により十分な強度を得られることが分かった。
- (5) 以上の研究開発の結果を踏まえて、今後予想される新たな FGHP の構造設計に対して効率化を支援する設計支援システムを提案した。

(3) 今後の課題

設計支援システムの提案

本研究開発項目は当初目的を達成したと考えられるが、この研究開発の結果を踏まえて、今後予想される新たな FGHP の構造設に対して効率化を支援する設計支援システムを提案する。

(3.1) 設計支援システムの機能

- (1) 外形および評価指標等の制約条件を元に、内部構造を自動作成
- (2) 作成された CAD モデルをもとづき構造解析用の入力データを自動作成
- (3) 構造解析の自動化
- (4) 構造解析の結果より評価指標を計算して判定、内部構造を修正
- (5) 以上の手順を最適な設計値になるまで繰り返す

2 - 3 国立大学法人鹿児島大学(水田助教)における研究成果

(1) 研究開発の目標と課題

. FGHPの構造課題への対応

- 4. 内部空間の表面改質処理技術開発

. FGHPとヒートシンクの接合課題への対応

- 1. 接着材料開発と接着方法研究

. ヒートシンク構造の課題

- 1. ヒートシンク複合 FGHP 構造の接合材料研究
- 2. ヒートシンク一体型新規構造 FGHP 研究

. 品質評価課題に対する対応

- 1. 熱放散性シミュレーションによる複合型 FGHP 最適設計手法の確立
(本年度目標: 熱的特性評価モデル構築)
- 4. 放熱性能評価用モジュールの設計製作
(本年度目標: 高速かつ高精度な評価システムの開発)

. 実装評価

(本年度目標: 実デバイスへの FGHP 実装と性能評価)

(2) 研究開発の内容

- 4 内部空間の表面改質処理技術開発

本研究開発項目においては、本研究開発において開発した新規表面創製法により作製したウィック部分へ冷媒が流入する様子をハイスピードカメラによって可視化し、未処理の場合に対する流動状態の変化から処理法の有効性について検証するとともに、VOF 法による気液二相シミュレーションを実施し、ハイスピードカメラでは可視化されないウィック内部における流動状態の変化について検証した。さらに、本手法を用いて作製した FGHP サンプルについて熱輸送特性を調べた。その結果、当該サンプルは熱源温度が低い場合には熱抵抗低減効果が小さいが、熱源温度の上昇とともに熱抵抗低減効果が増加する事が確認された。これは、熱源温度の上昇とともに、内部の沸騰状態が活発になり、沸騰による熱輸送量が増加したためであると考えられる。また、当該サンプルは、特に鉛直方向へ熱を輸送する際に高い熱輸送性能を発揮する事がわかった。以上より、本手法により作製した FGHP サンプルの有効性が確認された。

- 1 接着材料開発と接着方法研究

本研究開発項目においては、昨年度開発した TIM 熱伝導率測定装置を用いて、高性能 TIM 材の性能評価を実施した。昨年度は、TIM 材を塗布し、キュアする際にボイドが発生し、実装時における有効熱伝導率を低下させる要因となっていた。そこで本年度は、塗布条件およびキュア条件を最適化する事によってボイドの発生を抑制する事が可能となり、その結果、有効熱伝導率が昨年度に比べて大幅に上昇した。

- 1 ヒートシンク複合 FGHP 構造の接合材料研究

本研究開発項目においては、ヒートシンクと FGHP を接合した際の熱的特性を推定するためにサーマルシミュレーションを実施した。なお、TIM 材としては本研究開発において開発した接合剤を想定し、物性については、TIM 熱伝導率評価装置によって測定した値を使用した。その

結果、総熱抵抗は目標値を下回るという予想結果を得た。なお、実際に測上マイクロにおいて熱抵抗測定実験を実施したところ、熱抵抗は、実験を行った入熱量の下でいずれも目標値以下となることがわかった。

- 2 ヒートシンク一体型新規構造FGHP研究

本研究開発項目においてはフィン一体型 FGHP を作製し、性能評価を実施した。その結果、熱抵抗は本年度目標としていた値を下回り、高い冷却性能を発揮する事がわかった。さらに、従来型のヒートシンクを用いた場合に対する本フィン一体型 FGHP の体積は減少し、当初目標を達成したことがわかった。

- 1 熱放散性シミュレーションによる複合型 FGHP 最適設計手法の確立

(本年度目標: 熱的特性評価モデル構築)

本研究開発項目においては、昨年度確立した FGHP の性能推定法を発展させ、より実際的な構成の FGHP について性能推定法を確立し、冷却システムの最適設計手法を構築する事を目的とした。具体的には、LED ベアチップを実装した FGHP 光源を試作し、発光状態において LED 搭載面および裏面の温度分布をそれぞれサーモグラフィを用いて測定するとともに、同一形状についてサーマルシミュレーションを実施し、両者を比較することにより、有効熱伝導率を推定した。その結果、銅板においては基板裏面下部付近において若干温度が低いのに対し、FGHP に関しては裏面の温度がほぼ均一であり、端面実装型の FGHP についても温度平滑化効果が高いことが確認された。

この結果をもとに基板部分熱抵抗および全体の熱抵抗を算出した。その結果、いずれの熱抵抗についても FGHP 基板は銅製基板に比べて熱抵抗が小さく、熱源温度低下効果に優れている事が明らかとなった。

次に、同一形状の基板についてサーマルシミュレーションを実施した。なお、FGHP の熱伝導率としては、昨年度の研究開発から算出した値を使用した。その結果、いずれの条件においても FGHP 基板の総熱抵抗は銅製基板の場合に比べて大幅に小さくなった。一方、実験結果から算出した総熱抵抗については、最も両者の差が小さな場合においてもシミュレーション結果を上回る値であった。これより、本年度作製した FGHP 基板の有効熱伝導率は昨年度の内部構造のサンプル以上であると推定されることがわかった。

- 4 放熱性性能評価用モジュールの設計製作

(本年度目標: 高速かつ高精度な評価システムの開発)

本研究開発項目においては、昨年度の知見をもとに多チャンネルバージョンの TEG チップを作製した。なお、本年度の TEG チップは 8 種類の熱源サイズを模擬出来る様、8 ch のヒーター/センサーを実装する構成とした。また、裏面には温度測定用に 17 ch のセンサーを実装した。また、機械的耐久性を向上させるために、バランスを取るためのランドパターンを作製した。なお、表裏面の各パターンについてはサーマルシミュレーションによって決定した。作製した TEG チップは、リフローによってガラスエポキシ製マザーボードへ実装した。その結果、全チャンネルの導通が確認され、評価システムのコアモジュールの作製に成功したことが確認された。なお、各ヒーターパターンについては昨年度と同様の方式によって駆動した。その結果、コアモジュールの動作と温度測定が正しく行える事が確認された。今後については、評価サンプルの実装方法などをブラッシュアップする事によって、より

実用性を向上させるための開発が必要になると考えられる。

・実装評価

A 社において、FGHP 冷却システムを実装し、性能評価を実施した。なお本年度は、排熱効率の向上を図り、通常はファンにより冷却しているシステムのファンレス冷却システムの可能性について検討した。その結果、ファンレス状態においても熱的仕様を満足する事が明らかとなった。これより、FGHP を使用した冷却システムによって、ファンレス冷却システムを構築可能であることが明らかとなった。今後は、さらに FGHP 構造を改良する事によって、より一層冷却性能が向上すると考えられる。

(3) 研究開発の成果

・FGHPの構造課題への対応

- 4 内部空間の表面改質処理技術開発

目標:本研究開発において開発した新規表面創製法によりウィック部分へ冷媒が流入する様子をハイスピードカメラによって可視化し、未処理の場合に対する流動状態の変化から処理法の有効性について検証するとともに、VOF 法による気液二相シミュレーションを実施し、ハイスピードカメラでは可視化されないウィック内部における流動状態の変化について検証する。さらに、新規表面創製法を用いて作製したサンプルの伝熱特性について検証する。

成果:シミュレーション結果、および、ハイスピードカメラによる可視化結果より、内部表面における液流動特性変化に関する知見を得ることができた。さらに、本手法を用いて作製したサンプルは、特に鉛直方向へ熱を輸送する際に高い熱輸送性能を発揮する事がわかり、本手法により作製した FGHP サンプルの有効性が確認された。

よって、当初目標を達成したと考えられる。

・FGHPとヒートシンクの接合課題への対応

- 1 接着材料開発と接着方法研究

目標:熱的接合剤(以下、TIM)に関してサーマルシミュレーションを実施し熱的特性を解析する。

成果:TIM 材の塗布方法とキュア条件を最適化する事によって、熱伝導率が大幅に向上する事がわかった。さらに、本 TIM 材を使用した場合の効果についてサーマルシミュレーションを実施し、温度分布の推定を行った。

よって、当初目標を達成したと考えられる。

・ヒートシンク構造の課題

- 1 ヒートシンク複合 FGHP 構造の接合材料研究

目標:ヒートシンクと FGHP を接合した際の熱的特性を推定するためにサーマルシミュレーションを実施する。

成果:項目 - 1で測定した TIM の熱伝導率の値を用いて FGHP とヒートシンクを組み合わせた場合の熱抵抗値を推定し、熱源サイズと熱抵抗の関係について明らかにした。

よって、当初目標を達成したと考えられる。

- 2 ヒートシンク一体型新規構造 FGHP 研究

目標:一体構造 FGHP により実現される熱的性能を予測するために、コンピュータシミュレーションにより解析を行う。

成果:フィン一体型 FGHP についてサーマルシミュレーションを行い、熱抵抗の変化を評価した。また、実験において、熱抵抗は本年度目標としていた値を下回り、高い冷却性能を発揮する事がわかった。さらに、従来型のヒートシンクを用いた場合に対する本フィン一体型 FGHP の体積は大幅に低減した。

よって、当初目標を達成したと考えられる。

品質評価課題に対する対応

- 1 熱放散性シミュレーションによる複合型 FGHP 最適設計手法の確立

目標:昨年度確立した FGHP の性能推定法を発展させ、より実的な構成の FGHP について性能推定法を確立し、冷却システムの最適設計手法を構築する。

成果:FGHP を用いた LED 光源を作製し、発光状態における熱的特性を評価するための実験とサーマルシミュレーションを実施し、FGHP 基板の熱抵抗を推定した。その結果、作製した FGHP 基板は、当初想定していた以上の冷却性能を示すことが明らかとなった。したがって、本手法により、十分な冷却性能を示す FGHP が作製されたことがわかった。

よって、当初目標を達成したと考えられる。

- 4 放熱性性能評価用モジュールの設計製作

目標:昨年度の知見をもとに、より実的な多チャンネルバージョンの TEG チップをコアとした評価システムを構築する。

成果:表面のヒーター/センサーの配置と、裏面のセンサー配置を最適化するとともに、機械的強度を向上させるため、周囲にバランス用のランドを配置した。その結果、全チャンネルの導通が確認された。また、作製した TEG チップモジュールを用いて各チャンネルの加熱強度を独立して制御することが出来た。さらに、各部位における温度の測定が可能となった。

よって、当初目標を達成したと考えられる。

実装評価

目標:実デバイスへ FGHP を実装し、性能評価を行う。

成果:A 社において FGHP を実装して評価を行った結果、冷却システムを最適化する事により、従来ファンにより駆動していたシステムのファンレス化が可能となることがわかった。

よって、当初目標を達成したと考えられる。

(4) 今後の課題

本研究開発において開発した FGHP をコアとした冷却システムについて、より一層高効率な冷却システムを実現する方法について検討するとともに、さらに多種多様な実装形態を想定した最適設計手法、および、評価方法を確立する事によって、FGHP の製品化を実現する事が必要であると考えられる。具体的には、FGHP の最適設計手法の確立に関しては、従来設計でよく用いられている熱抵抗 [K/W]は、熱源サイズや選定するヒートシンクなどにより値が変化し、普遍的な値として用いることは不可能であることから、種々の設計において統一的に使用できる指標である、有効熱伝導率のさらなる高精度な推定法を確立する。

さらに、評価モジュールについては、制御方法や評価アルゴリズムを最適化し、より一層の高精度化と高速化を実現する。

第3章 研究開発全体の総括

本研究開発においては、当初目標として掲げていた開発項目をすべて完了する事が出来た。以下に、開発項目、当初目標、および達成度合いの一覧を示す。

「ヒートシンクとの一体構造開発」

【目的】

- ・接合部における熱抵抗の除去
- ・冷却システム全体の小型化
- ・フィン一体構造 FGHP の熱的特性評価用シミュレーションモデルの構築

【概要】

上記目的を達成するために、フィン形成用厚板銅板を用いた FGHP 加工プロセス、および、フィン加工方法を開発するとともに、一体型構造を最適化するための、シミュレーションモデルを構築した。また、シミュレーションモデルについては、試作、性能評価を実施し、シミュレーションによる予測性能と実測値を比較検討することによって、シミュレーションモデルを修正し、実測値とシミュレーションによる予測値の一致性を高めることにより、設計手法の信頼性を向上させた。

「高性能(=高熱伝導性)接着剤開発」

【目的】

- ・接合部熱抵抗低減
- ・汎用ヒートシンクによる低コスト化

【概要】

上記目的を達成するために、接着剤開発ならびに接合面の最適化を行った。

具体的には、開発した接着剤を用いて汎用ヒートシンクとの複合型 FGHP を作製し、接合剤組成や接合方法などを最適化することにより、総熱抵抗が小さくなる様な、汎用冷却システムを実現した。

「回路一体形成型両面実装技術開発」

【目的】

- ・高密度実装化における空間利用効率の向上
- ・回路の一体形成によるインテリジェント化

【概要】

上記目的を達成するために、FGHP に対する高密度実装技術を開発した。また、LED ペアチップをダイレクト実装した LED 光源モジュールに自己診断機能を実装し、実証試験を行う事により、高度な信頼性やフェールセーフ機能が要求される場面において、FGHP を適用するための技術開発を行った。

「評価用モジュール開発」

【目的】

・FGHP 加熱用電源制御回路、センサー放熱特性分析回路のワンモジュール化によるインテリジェント評価システムの構築

【概要】

上記目的を達成するために、種々の熱源を模擬できる熱源 / センサー部分と、熱源を制御し、かつ、センサー部分から得られる信号を処理するための回路を実装したマザーボードと制御システムを開発した。

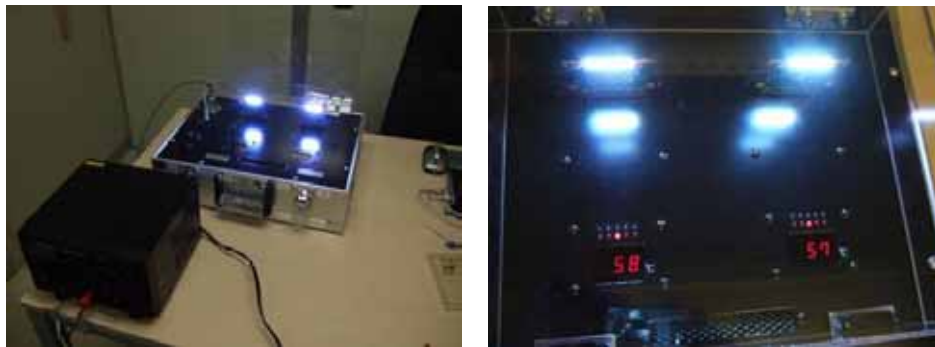


図 LED 実装 FGHP(自己診断機能付き)

今後の課題として、回路一体形成 FGHP については、より一層の熱抵抗低減と信頼性向上を目的とし、超薄型ポリイミドシートを用いた薄型 FPC シートの低熱抵抗実装方法や、絶縁層および配線層をインクジェットにより形成する手法の開発を行う。また、自己診断機能のハイブリッド化についての開発も進め、インテリジェント化を実現する。

耐熱性の向上については、今回開発対象とした正方形形状だけでなく、長方形や円形など各種形状の FGHP に対する最適補強柱配置を、構造力学シミュレーションを用いて自動的に決定する手法についても開発を行う。

また、新規表面構造の創製に関しては、従来の FGHP 構造では実現不可能であった、熱輸送タイプ FGHP や、大型 FGHP の開発を、当該新規表面創製方法を用いて実施する。具体的には、新規表面創製方法による性状分析のためにハイスピードカメラを駆使した可視化や、コンピュータシミュレーションを実施するとともに、試作 FGHP サンプルの性能評価を実施し、最適内部表面構造について検討を進める。

また、FGHP の最適設計手法の確立に関しては、従来設計でよく用いられている熱抵抗 [K/W] は、熱源サイズや選定するヒートシンクなどにより値が変化し、普遍的な値として用いることは不可能であることから、種々の設計において統一的に使用できる指標である、有効熱伝導率のさらなる高精度な推定法を確立する。

さらに、評価モジュールについては、制御方法や評価アルゴリズムを最適化し、より一層の高精度化と高速化を実現する。

今回の研究開発で得た知見をもとに、上記開発を通して各部をさらにブラッシュアップし、ユーザーのニーズにマッチした製品を迅速に市場へ送り出すことによって、早期事業化の実現、さらには、本研究開発成果の社会に向けた還元を実現し、「九州発世界へ」に向けて挑戦していきたいと考えている。

