

平成 28 年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「両面放熱機能を有する薄型 SiC 大電流パワーモジュールの製品
および製造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成 29 年 3 月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人横浜企業経営支援財団

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

- 1) テーマ名
- 2) 研究開発の背景
- 3) 中小ものづくり高度化法及び中小ものづくり高度化指針
- 4) 研究の狙い
- 5) 実施結果

1-2 研究体制

- 1) 研究組織、管理体制、協力者（アドバイザー）
- 2) 総括研究代表（P L）、 副総括研究代表（S L）
- 3) シーマ電子 研究者氏名

1-3 成果概要

- 【1】両面放熱機能を有する薄型 SiC パワーモジュール構造設計の研究課題
- 【2】モールド成型時、電極間の狭ギャップに気泡が混入する課題への対応
- 【3】耐熱性を有する接合材が鉛半田しかなく、非鉛化課題への対応

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

1. 研究課題と研究結果

- 【1】両面放熱機能を有する薄型 SiC パワーモジュール構造設計の研究課題
 - 【1-1】シミュレーションによる熱設計と、薄型モジュール構造設計の研究課題
 - 【1-2】薄型モジュールの特性評価と、高信頼性の確認に関する研究課題
- 【2】モールド成型時、電極間の狭ギャップに気泡が混入する課題への対応
 - 【2-1】気泡混入のない成型方法と、製造技術確立の研究課題
 - 【2-1-1】真空モールド装置導入と、モジュール構造に基づく金型設計技術開発の課題
 - 【2-2】新規高流動性・耐熱性モールド樹脂の研究開発の課題
- 【3】耐熱性を有する接合材が鉛半田しかなく、非鉛化の課題への対応
 - 【3-1】鉛半田シートに代わる金属ナノ材（Ag, Cu 等）の開発
 - 【3-2】信頼性のある接合方法の開発

最終章 全体総括

1. サポイン 3 年間の研究開発成果

- (1) 両面放熱機能を有する薄型大電流パワーモジュール製品開発及び製造プロセスの確立。
- (2) 本補助事業によるパワーモジュール組立設備及び、特性評価設備の充実

2. 研究開発後の課題と事業化展開について

- (1) 本補助事業終了後の製品開発 推進体制と、事業化展開 <体制図>
- (2) 本補助事業が目指す製品と、製品概要（用途、特長）について

3. シーマ電子が目指す、パワーモジュール事業領域

4. シーマ電子のモジュール事業 <市場展開マップ>

5. 市場展開スケジュール

6. 補助事業の成果に係る知的財産権等について

- (1) 本補助事業の権利化とライセンス事業 <計画>
- (2) 特許出願

研究成果報告について

第一章 研究開発の概要；

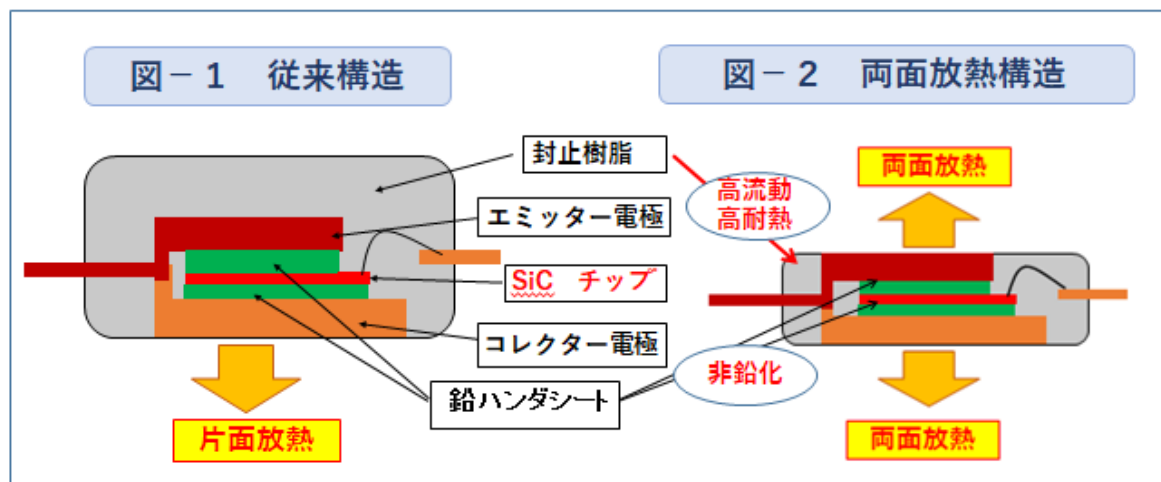
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) テーマ名

両面放熱機能を有する薄型SiC大電流パワーモジュールの製品および製造技術の開発

2) 研究開発の背景

- ・LEDの進化が照明電力の大幅な削減を可能にしたが、モーター等動力系用途での省電力化が大きな社会ニーズとなっている。
- ・Siパワー半導体の出現により、エアコン、冷蔵庫などの家電において、インバーター用途で電力削減に貢献してきたが、近年、SiCパワー半導体を用いたモジュールの早期実用化で、更なる電力削減に期待が高まっている。
＜添付資料 P-2 参照＞
- ・SiCパワー半導体は、高温動作が可能であるが、パッケージ構造であるモジュール製品にした場合、「モールド樹脂」「接続材（シンター材）」等のモジュールの構成材料の耐熱性が不足しているため、現状は、本来のSiCの特性が発揮できない150℃前後の温度で作動させているのが実情である。
- ・250℃以上の耐熱性を有するモジュール構成材料の新規開発、出現は、250℃作動のSiCパワーモジュールが実現でき、電力消費を1/3にすることも可能となり期待されている。
- ・また、産業用モーター等の大電流パワーモジュールの場合、冷却が水冷方式となり、冷却装置が大型となり、モーターよりも大きなインバーターとなる場合もあり、用途展開に制約がある現状である。両面放熱構造による小型空冷の大電流パワーモジュールの期待は大きい。



従来技術の課題

- ①片面放熱構造の為、放熱性が悪い。
 - ・封止樹脂等の構成材料の耐熱性が低い為電流、電圧を制限し発熱を抑える必要がある。
 - ・水冷構造の為、全体が大型構造となる。
- ②ダイアタッチ材に鉛ハンダシートを使用。
 - ・環境対策である非鉛化に逆行。

新技術の特長

- ①両面放熱構造の為、放熱に優れる。
 - ・構成材料の耐熱性が250℃以上ある。
 - ・SiCパワー半導体のもつ大電流、高電圧の特長を十分に発揮出来る利点を有する。
- ②環境に安全なシンター材の採用。
- ③SiCパワーモジュールを小型化出来る。

3) 中小ものづくり高度化法及び中小ものづくり高度化指針；

(四) 接合・実装に係る技術に関する事項

- ・接合・実装に係る技術開発において達成すべき高度化目標

(4) 川下分野特有の事項

- 2) 環境・エネルギー分野に関する事項

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. 大電流に対応した低損失化対策、突入電流対策、冷却対策

a) 川下からのニーズ、<例：自動車関連の用途>

- ・自動車用インバーターに用いるモジュールの T_j が 150°C の場合、エンジン用冷却水系 (110°C 循環水) とは別に専用の水冷ユニット (65°C) が必要。SiC パワーモジュールが 250°C で作動できる特性があれば、冷却系は エンジン冷却系を共用出来る利点がある。
- ・電気自動車 (EV) の場合は冷却水系がないため、特に「空冷方式」が好ましい。

4) 研究の狙い

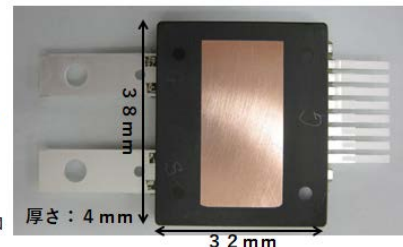
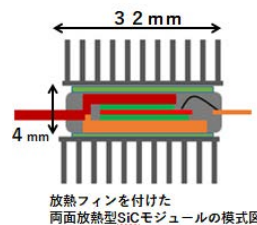
- ・本研究開発は、空冷方式の冷却でも作動する両面放熱機能を有する薄型 SiC 大電流パワーモジュールの製品化と製造技術の開発であり、自動車 (EV, HV)、電動カート、電動車いす、フォークリフト、電動バイク、無停電電源、インバーター内蔵モーター、太陽光・風力発電用交流・直流変換コンバーター等、幅広い用途で、大幅な省エネに貢献することを目指すものである。
- ・本技術の開発は、
 - [1] コレクター電極とエミッター電極を両表面に配置させ、放熱特性を向上させたモジュール構造を特徴とし、空冷化方式にも対応可能な技術の開発。
 - [2] 作動温度 (T_j) 250°C に耐える構成材料 (モールド樹脂) の新規開発。
電極間の狭ギャップ部に気泡混入なしに充填する高流動せい封止材と成型技術の開発
 - [3] リードフレームと SiC チップを接続する接続技術において、従来の鉛半田から Ag ナノ材などの非鉛系高耐熱・高熱伝導材料の開発と、高信頼性の接続技術の開発。
からなっており、シーマ電子、横浜国立大学と共同で開発を進めた。

5) 実施結果

平成 26 年度からの 3 か年間の研究成果として、両面放熱機能を有する SiC パワーモジュール製品と製造技術の確立および、製品特性・信頼性評価の技術を確立できた。

<開発したモジュール>

寸法 ;
 $38\text{mm} \times 32\text{mm} \times 4\text{mm}$



1-2 研究体制

1) 研究組織、管理体制、協力者 (アドバイザー)

【事業管理機関】 公益財団法人 横浜企業経営支援財団 横浜市中心企業支援センター (IDEC)	
【研究等実施機関】 (法認定事業者)	
シーマ電子 株式会社	【荏崎に設計・試作・解析センターを所有し、30年にわたり、電子材料の販売、半導体実装試作、評価事業を実施し、広いマーケットチャンネルを有す】
【研究等実施機関】 (協力者)	
横浜国立大学	
高橋客員教授(*)	【電子材料、特に耐熱性高分子を専門】
渡谷副センター長(*)	【電子部品実装におけるマイクロ接合、信頼性評価を専門】
王 研究室	【シミュレーションによる信頼性、寿命予測を専門】
大山 研究室	【電子材料、特にエポキシ樹脂等の耐熱性高分子を専門】
*) 安心・安全の科学研究教育センター	
【アドバイザー】	
よこはま高度実装技術コンソーシアム (YJC)	【産官学による次世代実装技術開発をめざし、特に KAMOME プロジェクトを発足させ、参加企業約 20 社の材料開発の評価プラットフォームと情報交換の場を提供中。】

- ・シーマ電子実施 ; 【1-1】【1-2】【2-1】【2-1-1】【2-2】【3-1】【3-2】
- ・横浜国大 千研究室との共同研究。【1-1】【1-2】
- ・横浜国大 高橋先生、大山研究室との共同開発。【2-2】
- ・横浜国大 澁谷先生との共同開発。【3-1】【3-2】

* 備考:【 】内の数字は、成果概要及び本論記載の研究課題の開発担当テーマ。

2) 総括研究代表 (P L)、 副総括研究代表 (S L)

P L ; 吉田 克己 シーマ電子 (株)

S L ; 高橋 昭雄 横浜国立大学

3) シーマ電子 研究者氏名

東条三秋、木村哲也、亀岡邦昭、鶴田直宏

1 - 3 成果概要

研究開発実施内容	目標	進捗状況
【1】両面放熱機能を有する薄型 SiC パワーモジュール構造設計の研究課題		
【1-1】 シミュレーションによる熱設計と、薄型モジュール構造設計の研究課題	① モジュール試作及び、プロセス開発 ② 空冷フィンの最適構造設計	・結果—1: ・初年度設計製作した 100A 対応モジュール構造 (金型 I) において、5mm 角チップの配置と熱応力の関係をシミュレーションで解析。チップ配置に広いマージンがあり、チップを複数個 (4 個) 実装が可能と判明。 【達成度:100%】 ・結果—2: 実際の SiC モジュールのチップ位置や封止樹脂特性を加味した熱流体解析結果から、フィンピッチ 2mm、フィン高さ 9mm のフィン形状が、高い冷却効果を見込めることが判明。引き続き、フィン接合材などを検討し、両面空冷モジュールの製品の試作を実施する。 【達成度:90%】
【1-2】 薄型モジュールの特性評価と、高信頼性の確認に関する研究課題	③ モジュール組立技術確立と特性評価	・結果—3: 非鉛接合材である錫アンチモン系ハンダシートを用い、両面放熱構造のモジュール組立技術の検討を実施した。このモジュールを用い静特性 (耐電圧、オン抵抗) 及び過渡熱抵抗を測定。温度サイクル試験による応力負荷に耐える信頼性の高い製品特性を確認。引き続き、2000 サイクルまでの負荷信頼性試験を継続実施中。 【達成度:90%】

研究開発実施内容	目標	進捗状況
【2】モールド成型時、電極間の狭ギャップに気泡が混入する課題への対応		
【2-1】 気泡混入のない成型方法と、製造技術確立の研究課題	④ 気泡混入実質ゼロ	・結果—4: 初年度開発した「高流動性・高耐熱性の Pd / BMI 系モールド樹脂により、気泡の無いモジュールが成型できた。 1) 高流動性: SP 値 248cm (目標 >100cm) 2) 高耐熱性: T _g 340℃ (二次目標 >250℃) 【達成度:100%】

【2-1-1】 真空モールド装置導入と、モジュール構造に基づく金型設計技術開発の課題	⑤	成型条件の確立	・結果—5: 初年度導入した真空モールド成型装置を用い、新規開発した高流動性、高耐熱性の封止樹脂の成型条件を検討。 金型温度:200℃、成型圧:85Kgf、成型時間:120秒、PMC(後硬化)250℃ 4時間のプロセス条件で、超音波探傷観察による非破壊検査で、内部に気泡がないことを確認。 【達成度:100%】
【2-2】 新規高流動性・耐熱性モールド樹脂の研究開発の課題	⑥	更なる封止樹脂の高性能化	・結果—6: 初年度開発したプロトタイプ組成のポリマー成分を柔軟化することにより、温度サイクル試験でさらに熱応力耐性を付与できた。 SiCチップ複数個搭載のモジュールにおいて、クラック発生などの欠陥のない高い信頼性が期待される。 【達成度:90%】

研究開発実施内容	目標	進捗状況
【3】耐熱性を有する接合材が鉛半田しかなく、非鉛化課題への対応		
【3-1】 鉛半田シートに代わる金属ナノ材(Ag,Cu等)の開発	⑦	接合強度: $>20\text{MPa}$ 熱伝導率: $>50\text{W/m}\cdot\text{K}$ 鉛含有率 ゼロ の金属ナノ材の選定
【3-2】 信頼性のある接合手法の開発	⑧	・結果—7: 基礎評価において、各社の開発品を評価し、接合強度、熱伝導率、鉛含有0の目標スペックを満足する接合材3種を見出した。 特に、3種は、接合強度は、 $-40^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ の温度サイクル試験1000サイクル後においても、40MPaを保持する特性を確認した。 【達成度:90%】
		・結果—8 基礎評価で目標スペックを満足する Ag ナノ材を用いモジュールを組み立てた。 ・入手可能な Ag ナノ材は、ペースト状であり、作業性が悪く、組立て時、「ボイド」「はみ出し」等の課題が見つかり、量産に不適と判断。 ・Ag ナノ材メーカーと協議し、高粘度化、シート化の要請を実施。 【達成度:70%】 ・金属ナノ材ではないが、シート状の錫アンチモン系ハンダ(非鉛)の接合材を見出し、モジュール組立接合材として(上記結果—3参照)、組立プロセスの検討を行った。プロセス性に優れた Ag ナノ材が開発されるまでは、錫アンチモン系ハンダ(非鉛系)で総合的な組立て技術の検討と、製品特性の評価を実施する。

・マーケティング調査を開始。

小型・空冷のSiC大電流パワーモジュールの期待は大きい

・シーマ電子として、小型・空冷で稼働する「電動カート」「ロボット」「フォークリフト」「電動車いす」「インバーター内蔵モーター」「直流/交流コンバーター」などの用途を主に、両面放熱機能を有する薄型SiC大電流パワーモジュールの事業展開をはかる計画である。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

1) シーマ電子(株)

吉田克己(取締役統括) <総括研究代表者(PL)>
 電話番号 045-260-1511 F A X 番号 045-260-1531
 E-mail アドレス yoshida@shiima.co.jp

2) 横浜国立大学

高橋昭雄(客員教授) <副総括研究代表者(SL)>
 電話番号 045-339-3789 F A X 番号 045-339-4294
 E-mail アドレス a-taka@ynu.ac.jp

第2章 本論 (研究内容 及び 成果)

＜詳細は、別添の「技術のまとめ」を参照＞

1. 研究課題と研究結果

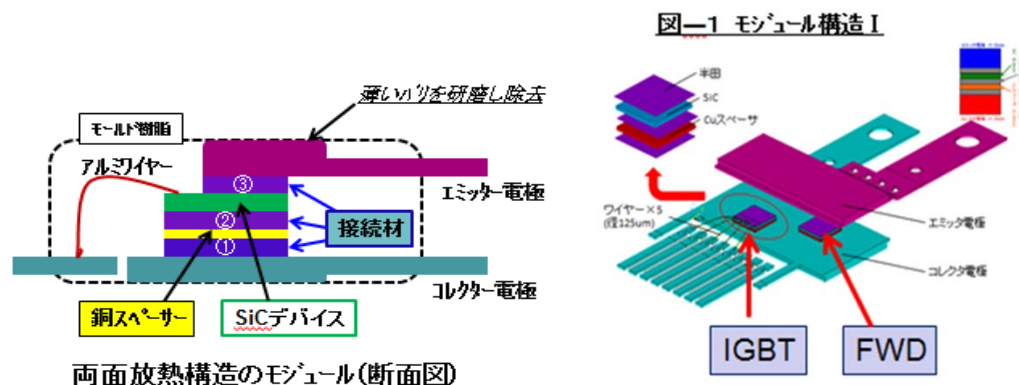
【1】両面放熱機能を有する薄型 SiC パワーモジュール構造設計の研究課題

【1-1】シミュレーションによる熱設計と、薄型モジュール構造設計の研究

＜具体的取組内容＞

①初年度（平成26年度）；

- ・薄型両面放熱構造のモジュールの基本設計を行い、成型金型 I を製作。



②平成27年度；

- ・初年度設計した 100A 対応 SiC の薄型モジュール構造において、シミュレーションにより 5mm 角チップの配置に制約がなく、また、5mm 角チップを複数個（4 個）搭載し 500A 対応モジュールが熱応力に耐えることが判明し、次年度予定の 500A 対応金型導入計画は中止とした。
＜添付資料 P-3、P-4 参照＞

③平成28年度；

- ・組立プロセスの開発を実施。実 SiC デバイスを実装した薄型両面放熱機能を有するパワーモジュールを製作。
- ・シミュレーションにより、最適な放熱フィンの設計指針を得た。
実際の SiC モジュールのチップ位置や封止樹脂特性を加味した熱流体解析結果から、フィンピッチ2mm、フィン高さ9mm のフィン形状が、高い冷却効果を見込めることが判明。
＜添付資料 P-4、P-5 参照＞

【1-2】薄型モジュールの特性評価と、高信頼性の確認に関する研究課題

平成28年度；

- ・モジュール構成材料の熱膨張率の差から、温度サイクル試験を実施し、熱応力の影響でモジュール特性の変化を調べた。
- ・非鉛接合材である錫アンチモン系ハンダシートを用い、両面放熱構造のモジュール組立技術の検討を実施した。このモジュールを用い静特性（耐電圧、オン抵抗）及び過渡熱抵抗を測定。温度サイクル試験による応力負荷に耐える信頼性の高い製品特性を確認。
引き続き、2000サイクルまでの負荷信頼性試験を継続実施中。

＜添付資料 P-5 参照＞

表 両面放熱機能を有するモジュールの信頼性評価結果（継続評価中）

装置	劣化	ITEM	CONDITION	規格値			測定値		
				MIN.	TYP.	MAX.	初期	200cyc	360cyc
静特性	チップ	耐電圧	VDS=1200V VGS=0V	-	1 μ A	100 μ A	39nA	40nA	42nA
		オン抵抗	ID=40A VGS=20V	-	40m Ω	52m Ω	36m Ω	36m Ω	36m Ω
過渡熱	チップ～ PKG	熱抵抗	100W 1sec	-	-	-	0.51°C/W	0.51°C/W	0.50°C/W

【2】モールド成型時、電極間の狭ギャップに気泡が混入する課題への対応

【2-1】気泡混入のない成型方法と、製造技術確立の研究

【2-1-1】真空モールド装置導入と、モジュール構造に基づく金型設計技術開発

<具体的取組内容>

①初年度；

- ・真空モールド成型装置の仕様を決定し、購入設置し、試運転を実施。

②平成27年度；

- ・真空モールド装置を用い、両面放熱構造を持つモジュールの試験成型を実施。
初年度開発した新規高流動・耐熱性モールド樹脂を用い、成型。狭ギャップ部にもかかわらず、気泡混入の無い成型条件を見出した。

<添付資料 P-6 参照>

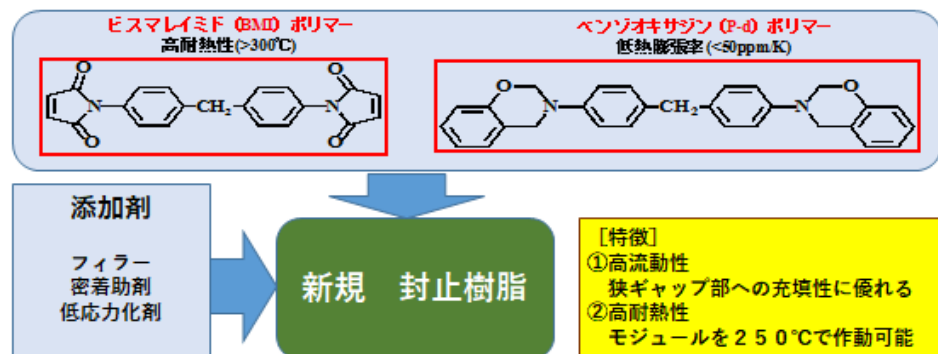
③平成28年度；

- ・安定した成型条件を確立した。
金型温度：200℃、成型圧：85Kgf、成型時間：120秒、PMC(後硬化)250℃ 4時間のプロセス条件で、超音波探傷観察による非破壊検査で、内部に気泡がないことを確認。

【2-2】新規高流動性・耐熱性モールド樹脂の研究開発

①初年度；

横浜国立大学 高橋客員教授の指導のもと、金型狭ギャップに気泡混入なしに成型可能な高流動性の特性を持ち、Tg 300℃の高耐熱性（目標：250℃以上）の封止樹脂の開発に成功。



②平成27年度；

- ・新規高流動性・耐熱性モールド樹脂の改良研究。
初年度開発したベンゾオキサジン (Pd) =ビスマレイミド (BMI) 系をベースに更に可撓性を付与する改良研究を実施。
- ・柔軟骨格を持つ BMI をもつ原料の使用。・低応力材の添加により、
温度サイクル (-40℃～250℃ 30分 500 サイクル) に耐える高い信頼性を
付与できる組成を見出した。

<添付資料 P-7,P-8 参照>

③平成28年度；

- ・新規高流動性・耐熱性モールド樹脂の改良研究。
開発した新規樹脂の大手封止樹脂メーカーによる量産化に向けての検討。
- ・開発した新規封止樹脂の温度サイクル試験 (-40℃⇔225℃) による物性の変化を測定。
500 サイクルまでは硬化の進行にともない伸度が低下するが、その後 2000 サイクルまで物性の変化はない。

<添付資料 P-9 参照>

【3】耐熱性を有する接合材が鉛半田しかなく、非鉛化の課題への対応

【3-1】鉛半田シートに代わる金属ナノ材（Ag,Cu）の開発

<具体的取組内容>

①初年度；

- ・接合材に関する情報収集と市販 Ag ナノ材の基礎評価。

②平成 27 年度；

- ・鉛はんだをリファレンスとし、5 社の Ag ナノ材の基礎評価を実施。
- ・ヘンケル社、スペリア社、アレント社の 3 社の Ag ナノ材で、
TCT 試験（ $-40^{\circ}\text{C}\sim 250^{\circ}\text{C}$ サイクル/Hr 1000 サイクル）後、
シェア強度 40MPa 以上の接着強度を保持し、熱伝導率 $50\text{W/m}\cdot\text{K}$ 以上を
満足する材料を見出した。 <添付資料 P-10,P-11 参照>

③平成 28 年度；

- ・Ag ナノ材は、各社開発途上の材料であり、実際に SiC チップを搭載し組立を実施すると、ペースト状の Ag ナノ材がチップ側面にはい上がり、電気的な不良が発生する懸念があり、安定した量産組立プロセス確立の為、大手材料メーカーと秘密保持契約を締結し、共同開発を進めている。 <添付資料 P-12 参照>

【3-2】信頼性のある接合方法の開発

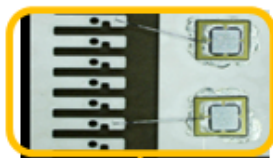
①平成 27 年度；実装組立技術およびモジュール成型による製品製造技術の確立。

- ・両面放熱構造の薄型モジュール構造の組み立て技術開発に着手。
- ・Ag ナノ材を接合材として、エミッター電極／銅スペーサー／SiC チップ／コレクター電極を平行に実装する開発を実施した。

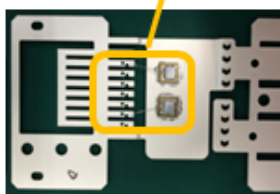
②平成 28 年度；実装組立技術およびモジュール成型による製品製造技術の確立。

- ・Ag ナノ材が各社開発中のペースト状接合材であり、現在入手できる Ag ナノ材では「はい上がり」など量産プロセスに課題が残る。このため、非鉛化の仕様を満足する接合材として、錫アンチモン系ハンダシートを用い、両面放熱構造を持つモジュール組立技術の開発をすすめ、温度サイクル試験に耐えるモジュール組立技術を完成できた。
- ・この錫アンチモン系ハンダシートは、耐熱性が 240°C までであり、本プロジェクトの第一目標の耐熱性 200°C は満足するが、最終目標の 250°C 耐熱には使用できないため、引き続き Ag ナノ材の開発をメーカーとすすめている。
- ・なお、SiC チップに関しても、現在入手可能なチップは耐熱性の保証が 200°C である為作動温度 T_j ： 200°C のモジュール組立技術を完成させた。

<添付資料 P-12 参照>



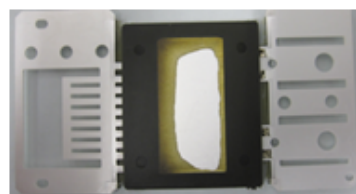
両面放熱構造の薄型パワーモジュール 組立てプロセス



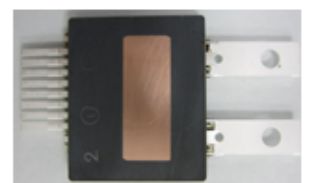
①チップ、スペーサーの固定
②ワイヤーボンド



③上リードフレーム固定



④樹脂モールド



⑤ダイバーカット
⑥電極研磨

最終章 全体総括

1. サポイン3年間の研究開発成果

- (1) 両面放熱機能を有する薄型大電流パワーモジュール製品開発、及び製造プロセスの確立。
- ①入手可能な SiC チップの耐熱性の観点から、作動温度 T_j 200℃であるモジュール組立技術を確認し、第一ステップである製品 A を完成した。
- ②SiC デバイスは、理論的耐熱性・作動温度は250℃であるが、現在の SiC チップ製造技術が結晶格子欠陥などの課題から、耐熱保証値は200℃である。耐熱性が向上した SiC チップ入手段階で、第二ステップに進む計画。その時点までに、接合材である Ag ナノ材のプロセス適合性の改良をメーカーと進める。

両面放熱機能を有する薄型SiC大電流パワーモジュール					
目標性能			製品 A (第一ステップ)	製品 B (第二ステップ)	備考
モジュール	特性	電流	100A	500A	
		作動温度	200℃ *	250℃	* 現有SiCチップの耐熱性: 200℃保障
		熱抵抗	0.05℃/W以下	0.05℃/W以下	
		パワーサイクル	>10000	>10000	
	構造	インバーター構成時	スタック	スタック	
		5mm角チップ 数	1～2個	4個	
	使用金型		金型 I	金型 I	
構成材料	モールド樹脂	流動性(フロー値)	100cm以上	100cm以上	
		気泡混入	実質 0	実質 0	
		耐熱性 T_g : >250	300℃	300℃	
	接合材	鉛含有ゼロ (接合材種類)	0 (錫アンチモン系ハンダ)	0 (Agナノ材)	Agナノ材:メーカーと改良中
		熱伝導率	50w/m・K	50w/m・K	
		接合強度	>20MPa	>20MPa	
		ボイド	ボイドフリー	(跳上りの課題)	

(2) 本補助事業によるパワーモジュール組立設備及び、特性評価設備の充実；

①組立設備の充実；

真空モールド成型装置、金型、タイバーカット、接合材塗布装置、表面 UV 洗浄・改質装置を設置し、これまでにシーマ電子にある装置と合わせ「パワーモジュール組立・成型設備」が完備された。

②製品特性・信頼性評価設備の充実；

高温温度サイクル試験装置、パワーサイクル試験装置、過渡熱抵抗測定装置、静特性測定装置を導入、これまでシーマ電子にある測定評価装置と合わせ、「パワーモジュール特性評価・信頼性評価設備」が整った。

シーマ電子設計・試作・解析センターに、パワーモジュール製造設備、特性評価装置が完備されたことにより、自社の製品開発のみならず、

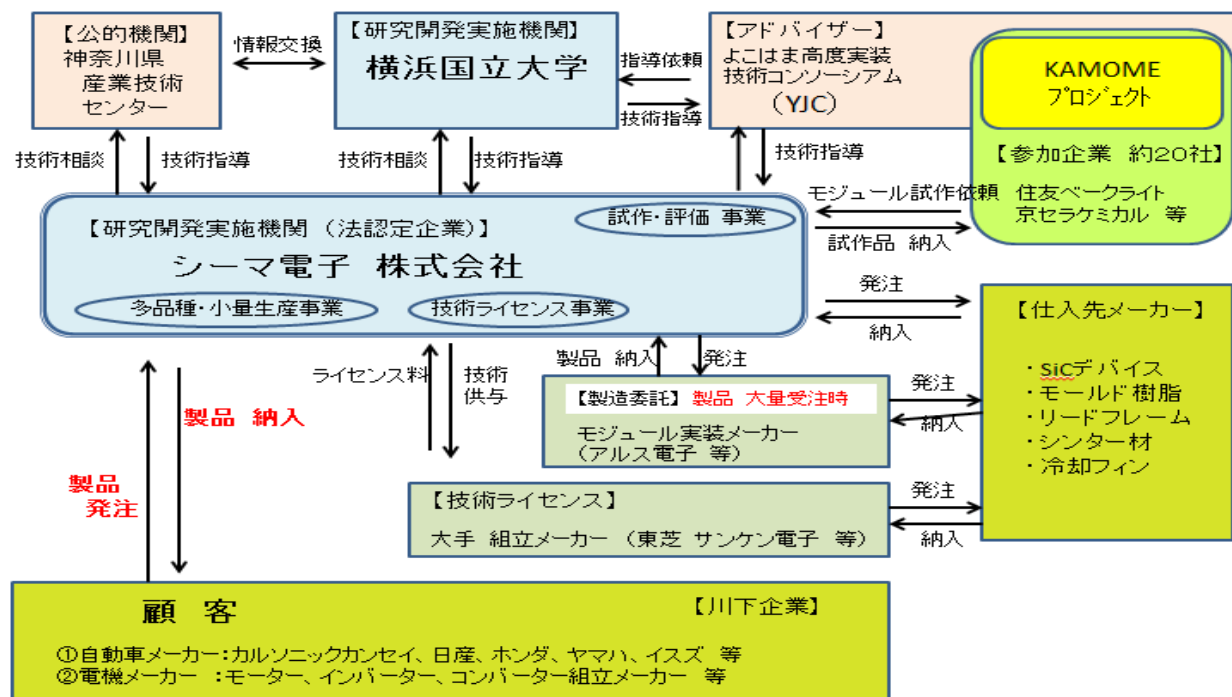
i) 自動車メーカーなどの川下顧客の製品試作や特性評価に活用され、

ii) パワーモジュール用途を目指した材料メーカーの開発材料を、モジュール構造で実用評価できるプラットフォームとして活用されることにより、

国内のパワーモジュールの総合的な技術向上と加速化がはかられ、省電力化、省エネに貢献出来るよう努めたい。

2. 研究開発後の課題と事業化展開について

(1) 本補助事業終了後の製品開発 推進体制と、事業化展開 <体制図>



(2) 本補助事業が目指す製品と、製品概要（用途、特長）について

(1) 本補助事業が目指す製品；

- ・LEDの進化が照明電力の大幅削減を可能にしたが、本製品は、モーター等、動力系用途や、交流／直流変換のインバーター、コンバーター用途で大きな省エネが期待されている。
- ・送電関係、電車駆動用途に用いられる高耐圧モジュールや、大型産業モーター等の中耐圧モジュールは、三菱電機、日立、東芝、富士電機など、大手電機メーカーが対応中。
- ・当社が、本補助事業により目指す用途は、100A～500A、100V～5000Vレベルの低耐圧分野の用途を事業領域とし、多品種、小量のニッチな市場にも対応し、早期にSiCの普及につとめ、電力消費削減、省エネに貢献したい。 <次ページ 図ー1 参照>

(2) 製品の概要（用途、特長）

[特長]

空冷方式に対応可能な放熱特性に優れた両面放熱型SiC大電流パワーモジュールで、小型化が可能な大きな特長を有している。

[本製品<パワーモジュール>が用いられる用途]

- ①自動車 (EV/HEV)、②電動車いす、③電動カート、電動バイク、④ロボット
- ⑤インバーター内蔵モーター、⑥無停電電源、⑦DC/ACコンバーター、
- ⑧フォークリフトなどの建設機器、等。

[製品開発ステップ]

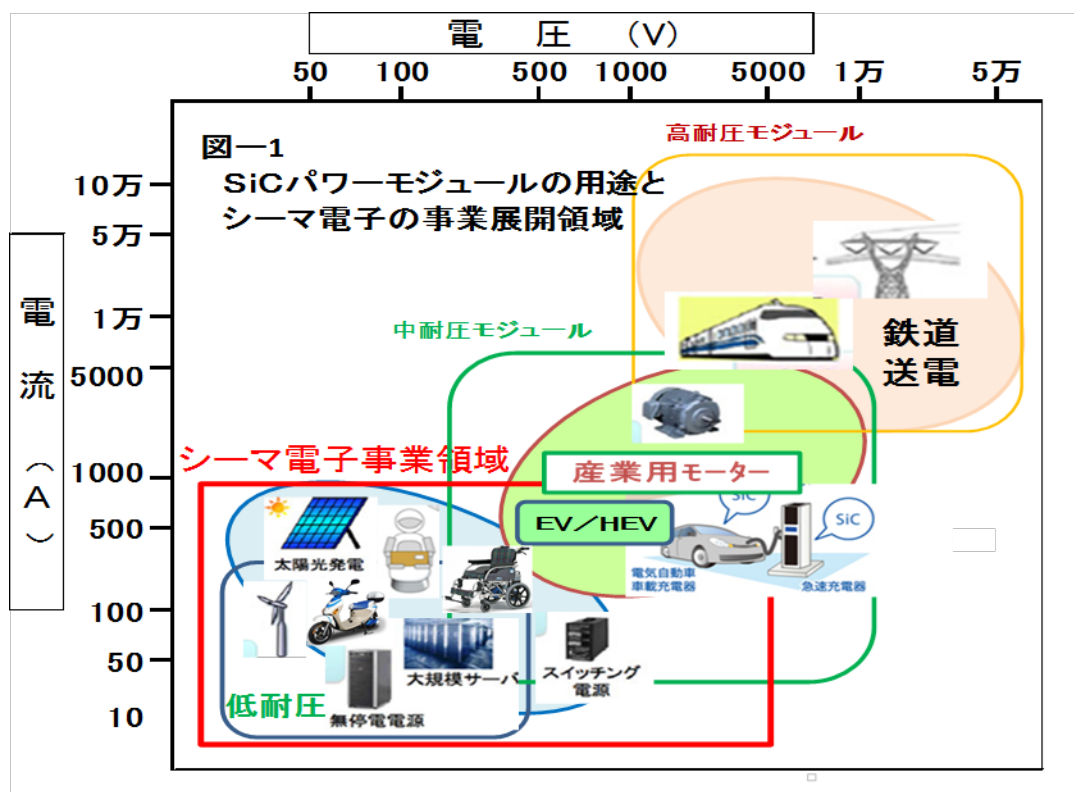
・ 第一ステップ

初期開発段階として、SiCチップ（ダイオード機能内臓MOS-FET）1個搭載した「100アンペアSiC大電流パワーモジュール」の製品開発をすすめる。

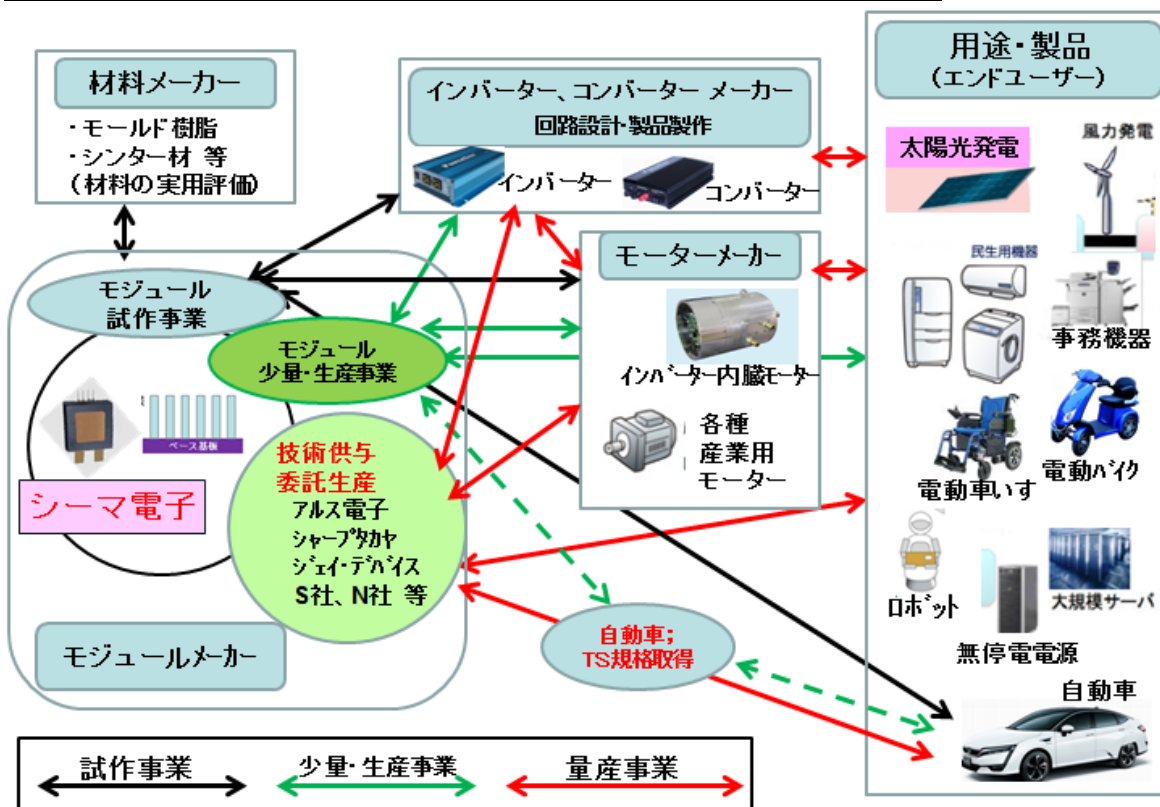
・ 第二ステップ；

SiCチップを複数個搭載した500Aレベルのモジュール製品を開発し、市場展開する計画。

3. シーマ電子が目指す、パワーモジュール事業領域



4. シーマ電子のモジュール事業 <市場展開マップ>

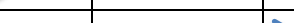


5. 市場展開スケジュール

(1) 100アンペア SiC 大電流パワーモジュールの市場展開とスケジュール；

製品等の名称		100アンペアSiC大電流パワーモジュール				
開発事業者		シーマ電子 株式会社				
想定するサンプル出荷先		デバイス製造メーカー（東芝姫路、新電元工業）、新光電気工業、電源メーカー等				
スケジュール	年 度	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度
	サンプルの出荷					
	追加研究					
	設備投資					
	製品等の生産					
	製品等の販売					
売上見込	売上高(千円)		1,200	5,000	40,000	160,000
	販売数量(セット)		240	1,000	10,000	40,000
	売上高の根拠	① 想定する市場 電動カート、電動車いす、ロボット、無停電電源(UPS)、太陽発電コンバーター等、民生機器に使用されるモジュールをターゲットと考えている。 ② 売上高根拠 省エネ、効率化に向けて要求が急増する商品であり、当社もその一画に参入する。SiCモジュールとしての単価設定を4000～5000 円/セット(原材料コストは約50%)としている。 ③ 売上達成の為の販売戦略 本助成で検討したモジュールパッケージを開発した材料と共に当社でサンプル作製し、平成 29 年度からデバイスメーカーへ紹介開始。その後、ユーザーから SiC を支給、または当社で手配し、モジュールを試作、サンプルを提供する。ユーザーでの初期確認が終了後、当社からエンジニアリングサンプルを有償にて出荷、その後の量産に向けてのカスタマーズサンプル以降は、協力会社のアルス(株)と協業し SiC 及び材料も当グループで調達して組立、出荷していく。				

(2) 500アンペア SiC 大電流パワーモジュールの市場展開とスケジュール；

製品等の名称		500アンペア SiC 大電流パワーモジュール				
開発事業者		シーマ電子 株式会社				
想定するサンプル出荷先		自動車電装メーカー(カルソニックカンセイ・日本電装) ヤマハ発動機				
スケジュール	年度	平成 29 年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度
	サンプルの出荷					
	追加研究					
	設備投資					
	製品等の生産					
	製品等の販売					
売上見込	売上高(千円)		5,000	12,000	100,000	480,000
	販売数量(セット)		100	240	2,000	12,000
	売上高の根拠	① 想定される自動車市場 野村総研社によると、平成32年に EV HV も含めると1300万台を超える市場となる。これに充電ステーションの市場も加え、小型EV、電動バイクをターゲットとした国内市場の獲得を目指している。車載用途は厳重な認定期間があるため、その対応に時間を取られるため、平成33年には4000台(3SET モジュール/台)の車関係とその他充電ステーションへの展開を目指す。平成40年には10万台(国内2%シェア)を目標としている。 ② 売上高根拠 半導体である SiC 素子及び組立用主材料(リードフレーム・樹脂・接続材料)を当社で購入。販売価格は 40,000~50,000 円/セットを目標とし、内原材料コストは約30%程度を予定している。また、当社以外にも福島のアルス(株)を製造パートナーとして将来の量産時の増量の対応も考えている。				

6. 補助事業の成果に係る知的財産権等について

(1) 本補助事業の権利化とライセンス事業 <計画> ;

製品等の名称		SiC大電流パワーモジュール（権利化とライセンス事業）				
開発事業者		シーマ電子（株）、横浜国立大学。				
想定するライセンス先		日産自動車 カルソニックカンセイ 新光電気工業				
スケジュール	年 度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度
	特許出願		2件 (横浜国大)		出願予定 (シーマ電子)	
	出願公開					公開・ 審査請求
	特許権設定					特許権設定
	ライセンス付与					
売上見込	売上高(千円)					
	売上高の根拠	要望があれば、技術ライセンスに応じる。				

(2) 特許出願

- (1) 横浜国大：
- ・耐熱性モールド樹脂関係 2件 出願
- (2) シーマ電子：
- ・モジュール組み立て関係で出願予定。(準備中)
 - ・特許調査を継続して実施中。現時点で、抵触する技術はない。

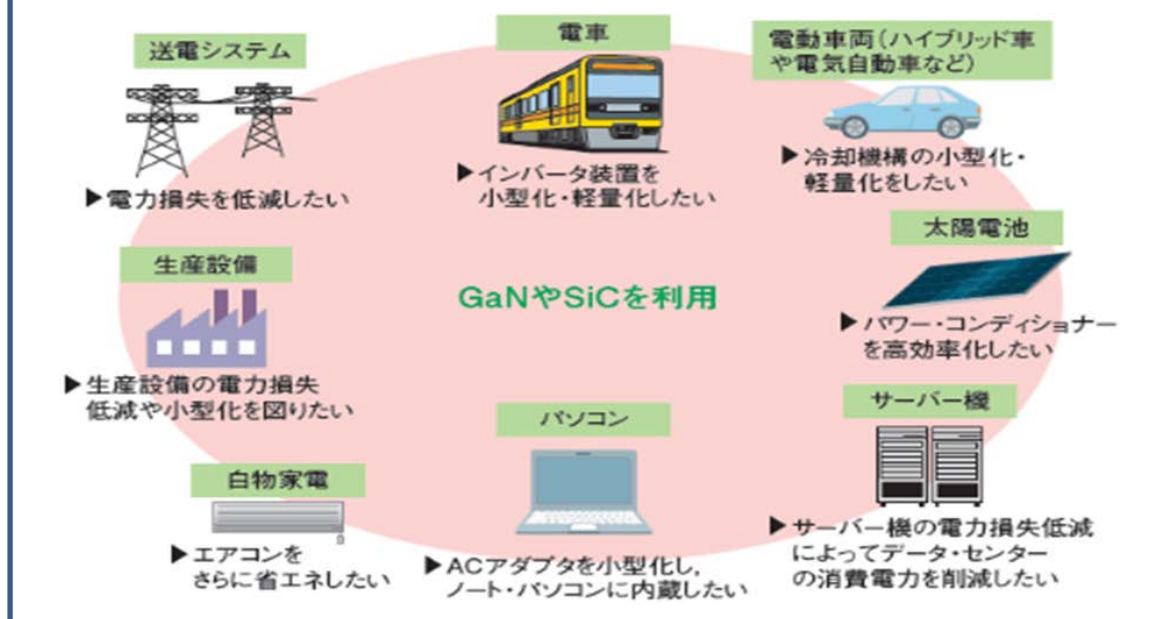
以上

<目次>

1. 本補助事業で目指す SiC パワーモジュールの用途展開	・ ・ ・ ・ ・ P-2
2. 本年度の研究開発報告	・ ・ ・ ・ ・ P-3
2-1 研究開発報告 (その1)	
【1】両面放熱機能を有する薄型 SiC パワーモジュール構造設計の研究課題	P-3
【1-1】シミュレーションによる熱設計と、薄型モジュール構造設計の研究	P-4
【1-2】薄型モジュールの特性評価と、高信頼性の確認の研究	・ ・ ・ ・ ・ P-5
2-2 研究開発報告 (その2)	
【2】モールド成型時、電極間の狭ギャップに気泡が混入する課題への対応	P-6
【2-1】気泡混入のない成型方法と、製造技術確立の研究	
【2-1-1】真空モールド装置導入と、モジュール構造に基づく金型設計技術開発	
2-3 研究開発報告 (その3)	
【2-2】新規高流動性・耐熱性モールド樹脂の研究開発	・ ・ ・ ・ ・ P-7、8、9
2-4 研究開発報告 (その4)	
【3】耐熱性を有する接合材が鉛半田しかなく、非鉛化の課題への対応	・ ・ P-10
【3-1】鉛半田シートに代わる金属ナノ材 (Ag、Cu 等) の開発	・ ・ ・ ・ ・ P-11
【3-2】信頼性のある接合手法の開発	・ ・ ・ ・ ・ P-12、13
2-5 研究開発報告 (その5 用途展開)	
1) 両面放熱モジュールの応用	・ ・ ・ ・ ・ P-14
2) 基本モジュール組み合わせによる商品設計	・ ・ ・ ・ ・ P-14
3) 市場調査とシーマ電子モジュール事業	・ ・ ・ ・ ・ P-15
3. サポイン補助金で導入した設備	・ ・ ・ ・ ・ P-16、17

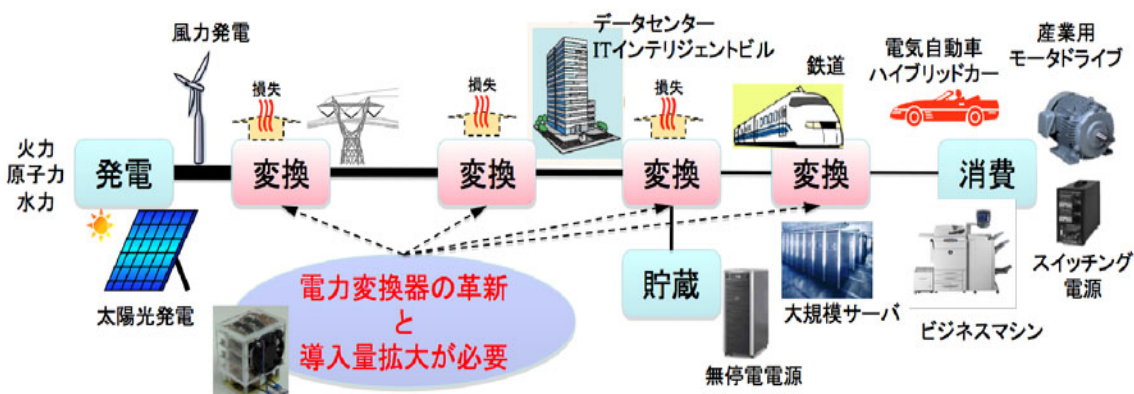
1. 本補助事業で目指す SiC パワーモジュールの用途展開；

パワーモジュールの用途と、市場ニーズ



求められる変換効率の向上

(①交流／直流変換、②電圧変換、③周波数変)



2. 研究開発 報告

2-1 研究開発報告 (その1)

【1】両面放熱機能を有する薄型 SiC パワーモジュール構造設計の研究課題。

[シーマ電子、横浜国大・于研究室]

【1-1】シミュレーションによる熱設計と、薄型モジュール構造設計の研究。

(1)初年度(26 年度)目標と成果

目標:100A 対応 SiC モジュールの構造決定

成果:構造設計による薄型モジュール試作品の構造(Ⅰ)を決定。 金型Ⅰを製作。

(2)平成 27 年度の成果

1)シミュレーション その1 <検証—1>;

・シミュレーションによる熱応力の検証を行う。

[シミュレーション結果]

チップ配置は、よほど極端な位置に無いかぎり、モールド樹脂への影響(クラック発生など)はない。 <配置結果の一例を 図-3 、図-4 に示す>

図-1 モジュール構造Ⅰ

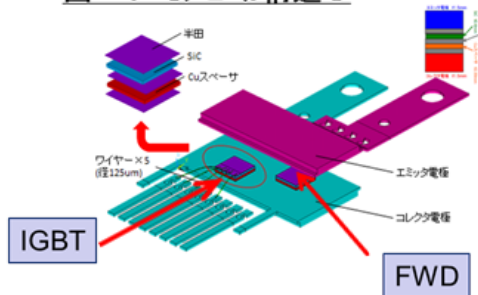


図-2 TCT試験

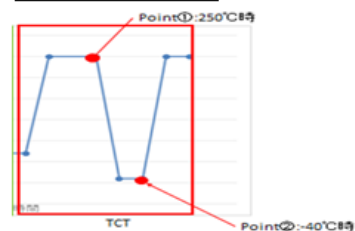


図-3 TCT 250℃

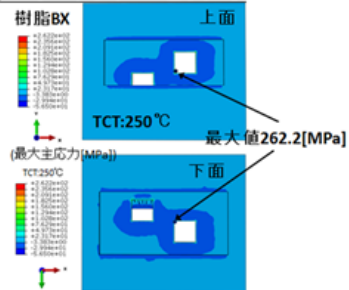
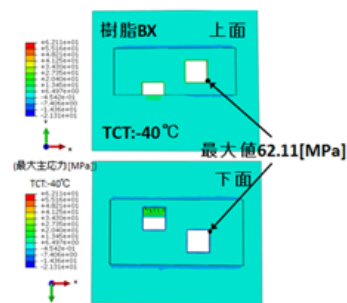


図-4 TCT -40℃



2)シミュレーション その2 <検証—2>;

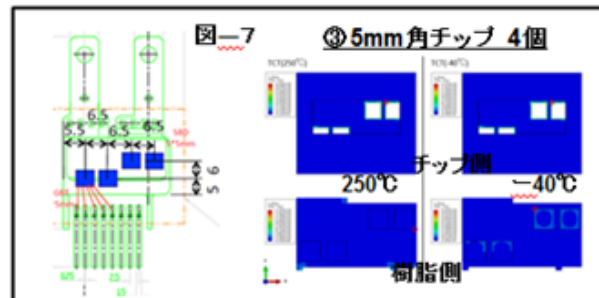
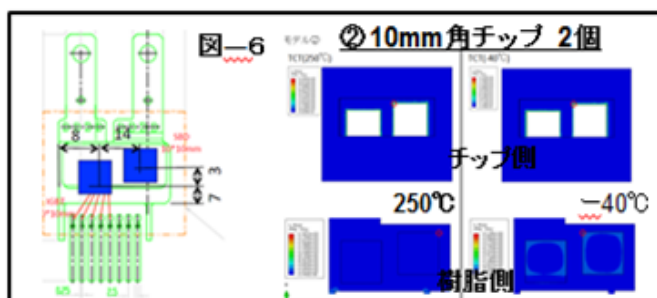
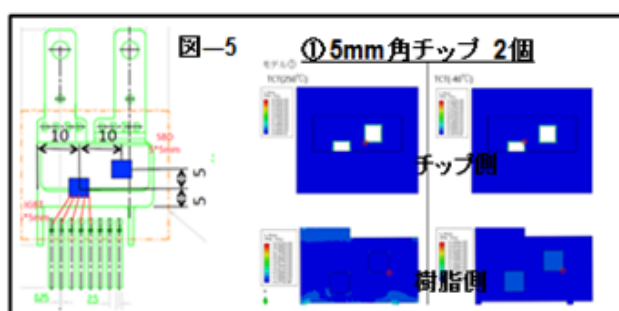
入手が困難な大面積チップ(500A 対応)に代え、小面積チップを複数個実装し
大電流対応とする考えを検証する為、シミュレーションで応力的に耐えうるか計算。

[シミュレーション結果] 表—1 参照

- 1)10mm 角チップ2個使用は、250℃における熱応力が、5mm 角チップ4個使用より大きい。
- 2)IGBT/FWDを1チップ化した5mm 角 SiC デバイスの入手ルートが出来、500Aモジュール開発は、5mm 角1チップ化デバイスを 4 個実装する技術で対応する計画に変更予定。 <後述>

表—1 各条件におけるミーズス応力の最大(MPa)

モデル	サイズ	個数	TCT 250℃		TCT -40℃	
			樹脂	チップ	樹脂	チップ
①	5mm角	2	659	903	162	349
②	10mm角	2	1022	1957	163	415
③	5mm角	4	681	1539	154	401
一次目標			<1000	<2000	<1000	<2000



2)シミュレーション その3 <検証—3>;

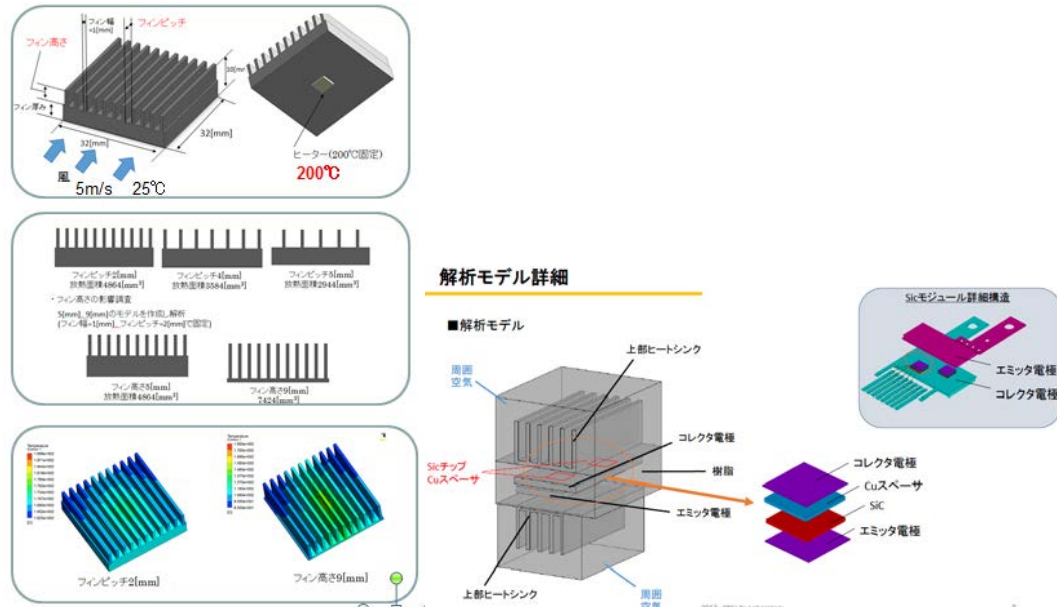
空冷フィンの設計指針の為、シミュレーションで検証

[シミュレーション目的と結果]

空冷ヒートシンクの性能を決める因子として「フィンピッチ」と「フィン高さ」が挙げられる。

- しかし、フィンピッチを小さくしたりフィン高さを大きくすると放熱面積が大きくなるが、流体特性が悪くなる
- 適切なフィンピッチとフィン高さを調査する必要がある
- ・これらの流体解析の結果からヒートシンクの形状を決定
 - チップの位置や樹脂の影響を加味した流体解析により熱伝達率を算出
 - 得られた熱伝達率を用いて電気-熱解析

結果：フィンピッチ 2mm フィン高さ 9mm が全放熱量が大きい



フィンピッチ[mm]	2	4	5
放熱面積[mm ²]	4864	3584	2944
全放熱量[W]	55.2	36.0	31.8
全放熱量/放熱面積	0.0113	0.0100	0.0108

フィン高さ[mm]	5	9
放熱面積[mm ²]	3584	7424
全放熱量[W]	36.0	109.1
全放熱量/放熱面積	0.0100	0.0147

【1-2】薄型モジュールの特性評価と、高信頼性の確認の研究。

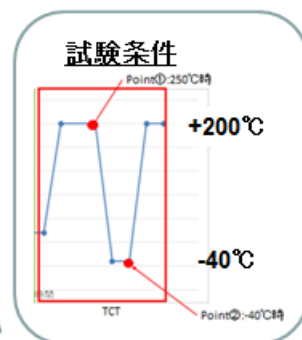
目標： 両面放熱構造モジュール用 SiC チップの入手と耐熱性評価

1) 試験目的:

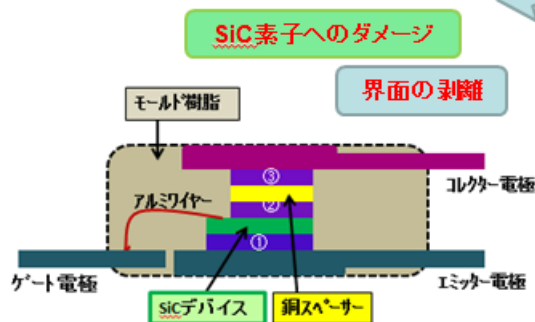
- ・モジュール構成材料の熱膨張率の差から、モジュール内部で大きな応力が発生する。
- ・その応力に耐えるか、 $-40^{\circ}\text{C} \leftrightarrow +200^{\circ}\text{C} / \text{Hr}$ のサーマルサイクル信頼性試験を実施しモジュールの長期信頼性を評価する。

2) 結果 (中間報告; 250サイクル)

- ① 熱抵抗: 変化無し
- ② 耐電圧: 変化 無し
- ③ オン抵抗: 変化 無し



応力



試験装置



チャンバー内部



サーマルサイクル試験装置

2-2 研究開発報告 (その2)

【2】モールド成型時、電極間の狭ギャップに気泡が混入する課題への対応。

【2-1】気泡混入のない成型方法と、製造技術確立の研究。

【2-1-1】真空モールド装置導入と、モジュール構造に基づく金型設計技術開発。

〔検討内容〕

初年度開発したPd／BMI系封止材を真空モールド装置及び金型Ⅰ（モジュール構造Ⅰ）を用い、気泡混入の無い成型条件を見つける。

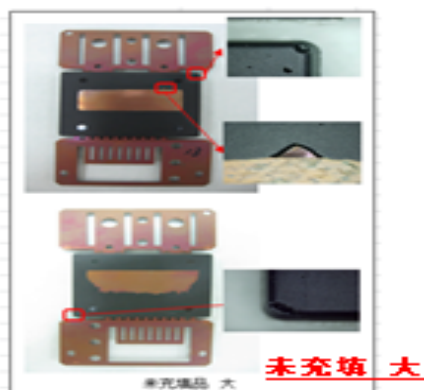
〔検討結果〕

次ページ表－2 記載の成型条件で、表面外観検査での未充填部がなく(図－10)、SAT(超音波非破壊法)観察(図－11)で、内部気泡の無い、良好な成型体が得られた。比較材として、数種の市販封止材で同様の成型を試みたが、未充填や内部気泡の欠陥が観察された。(図－8、図－9参照)

〔成果〕

ベンゾオキサジン(Pd)／ビスマレイミド(BMI)系封止材は、流動特性の最適化などの設計指針どおり、狭ギャップ部を有するモジュール構造に対し、良好な充填性を実証できた。

図－8 市販・封止材（外観）

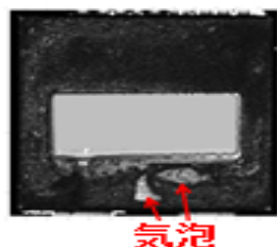


図－10 開発・封止材 ＊（外観）



＊：ベンゾオキサジン／ビスマレイミド系

図－9 市販・封止材（SAT観察）



図－11 開発・封止材（SAT観察）



表一2 使用した封止材の基本特性と、モジュール成型条件

			モールド樹脂(封止材)		
	項目	単位	市販品(比較)	開発品(Sample-A)	
封止材	流動性(スパイラルフロー)	cm	75	248	
	ゲルタイム	sec.	26	78	
	熱伝導率	W/mK	0.7	—	
	熱膨張率	< T _g ppm/°C	19	13	
		> T _g ppm/°C	66	19	
	ガラス転移温度	°C	145	340	
成型条件	曲げ強度	室温 260°C N/mm ² N/mm ²	135 —	93 62	
	金型温度	°C	175	200	
	成型時間	sec	120	120	
	成型荷重	kgf	—	85	
	PMC	温度 時間 °C Hr	175 8	250 4	
結果	気泡混入 有無	外観 SAT観察	×	◎ ◎	
	総合判定		×	◎	

2-3 研究開発報告 (その3)

【2】モールド成型時、電極間の狭ギャップに気泡が混入する課題への対応。

【2-2】新規高流動性・耐熱性モールド樹脂の研究開発。

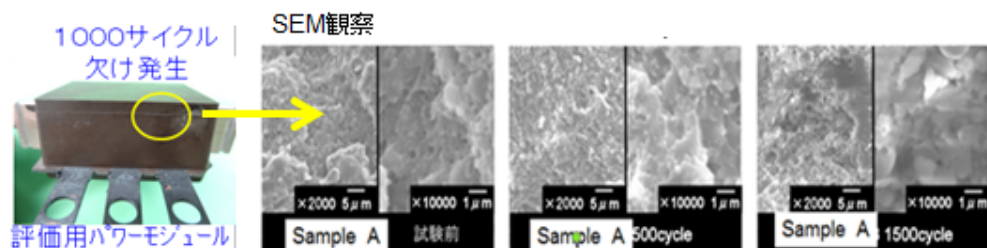
(1)【モールド樹脂の改良研究】

初年度開発したPd/BMI系をベースに、可撓性を付与させ、今後評価する信頼性試験に耐えるマージンの広い封止材の基礎検討を行う。

＜背景と目標＞

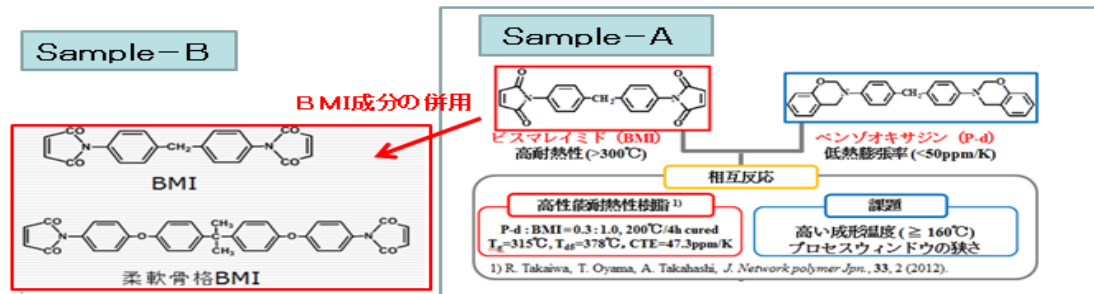
初年度、高耐熱、高流動の目標をクリアする「Sample-A」を見出した。 [表一2 参照]
 しかしながら、Sample-A を別構造のモジュールに適用した際、封止材断面の観察により、充填シリカの脱離がみられ、樹脂の濡れ性不足が判明した。 [下図 電顕SEM写真 参照]
 また、両面放熱構造モジュールに適用した場合、樹脂の可撓性(柔軟性)も懸念され、今年度、可撓性、濡れ性の改善を実施。

耐熱性信頼性試験 TCT: -50°C~250°C, 30min/30min:



＜検討内容＞

1) 樹脂骨格の変更：柔軟骨格を有する BMI の併用 ＜W シリーズ＞



2) 低応力化剤添加の検討： ＜H シリーズ＞

A:従来のシリコーンゴム B:耐熱有機無機ハイブリッド C:有機無機ハイブリッド

3) 密着助剤：

a：従来剤 b：耐熱密着剤

＜組成表＞

	Sample-A		Sample-B		
サンプルNo.	W72	W77	H01	H03	H31
フィラー量	72%	72%	75%	75%	75%
ビスマレイミド	BMI	BMI+柔軟BMI	BMI	BMI	BMI
低応力剤	A	A	A	B	C
密着助剤	b	b	a	a	a

＜信頼性試験結果＞

試験条件；パッケージ構造 TO220

温度サイクル：-40℃～+250℃ (30min)

	Sample-A	Sample-B	パス数/総数		
	W72	W77	H01	H03	H31
ASM	10 / 10	10 / 10	10 / 10	10 / 10	10 / 10
PMC	10 / 10	10 / 10	0 / 10	10 / 10	10 / 10
10 cyc	10 / 10	10 / 10		10 / 10	10 / 10
30 cyc	0 / 10	10 / 10		10 / 10	10 / 10
100 cyc		10 / 10		10 / 10	0 / 10
250 cyc		10 / 10		10 / 10	
500 cyc		10 / 10		0 / 10	

柔軟骨格BMI
耐熱有機無機ハイブリッド

＜結論＞

柔軟骨格を有する BMI の併用および低応力化剤の検討により信頼性向上を確認。

(2) 開発した封止樹脂の温度サイクル試験

Wシリーズ:樹脂骨格変更

柔軟骨格BMIの併用

Hシリーズ:低応力剤の検討

A:従来シリコーンゴム

B:耐熱有機無機ハイブリッド

C:有機無機ハイブリッド

*密着助剤

a:従来剤, b:耐熱密着助剤

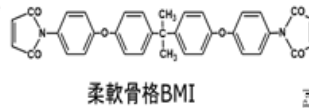
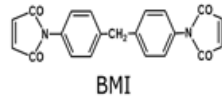
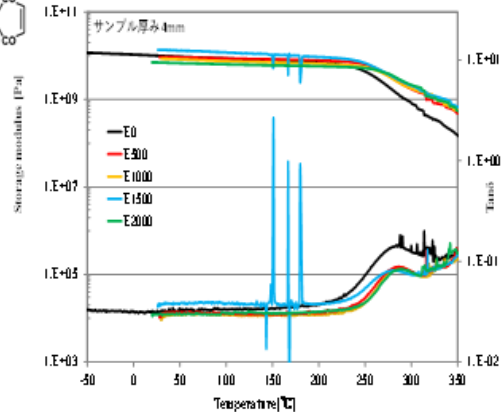


Table Mechanical properties¹⁾

Sample	Flexural properties		
	Strength [MPa]	Modulus [GPa]	B.E [%]
E	132	9.8	0.92
E (500サイクル)	86	10.7	0.54
E (1000サイクル)	86	11.7	0.54
E (1500サイクル)	80	10.5	0.50
E (2000サイクル)	72	11.2	0.40

1) Size of specimens flexural tested: 41.5×10.00×2.00mm

-40⇔225℃, 0~2,000サイクル実施
初期、試験後で物性変化を測定



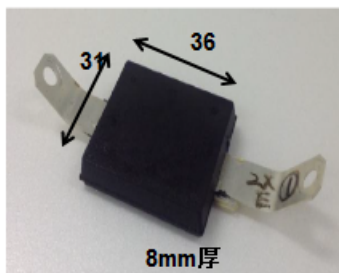
500サイクルで硬化進行により物性が変化するが、その後、2,000サイクルまで大きな変化無し

(3) 開発した封止樹脂の簡易モジュールでのパワーサイクル試験

構造 クリップ電極



樹脂封止モジュール



封止材:開発材

接合材:AgシンタA(加圧), B(無加圧)を適用

<用いたシター材 A,Bの特性は、前ページ参照>

初期 熱抵抗 [K/W]	加熱電流[A] (電力[W]) @100サイクル	サイクル数	試験後 熱抵抗 [K/W]
3.583	45.2 (113)	> 20,000	3.496

パワーサイクル (PCT) 条件:

65℃ ⇔ 225℃ on : 2 sec. , off 18 sec.

結果

◎65℃ ⇔ 225℃, 20,000サイクルをクリア

初期、試験後で熱抵抗の上昇無し

●樹脂封止無し:

500サイクルで熱抵抗上昇 3,800 k/W ⇒ 4,200 k/W

2-4. 研究開発報告 (その4)

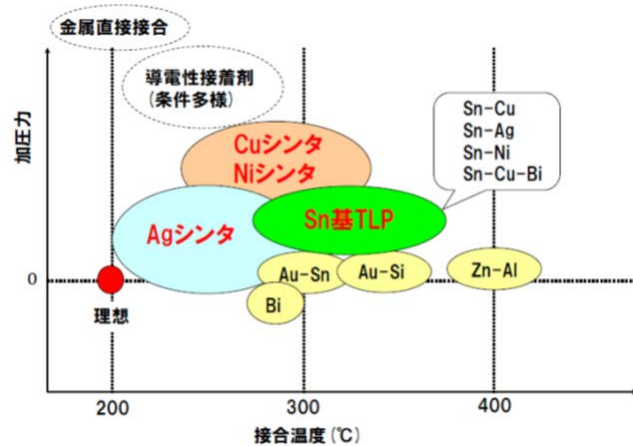
【3】耐熱性を有する接合材が鉛半田しかなく、非鉛化の課題への対応。

【3-1】鉛半田シートに代わる金属ナノ材 (Ag、Cu 等) の開発。

(1) 金属ナノ材に関する情報収集 (横浜国大)

[接合材料の技術動向]

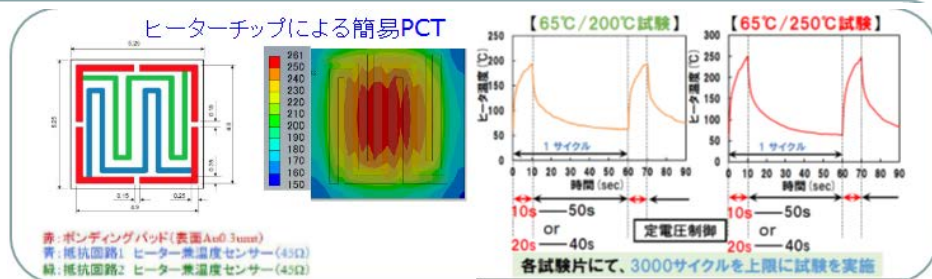
低温接合・無加圧接合への商品設計 <ゼロ加圧、200℃接合が理想>



(2) 金属ナノ材の基礎評価 (横浜国大)

<結果> 高温加圧タイプの Ag シンタ材 A は合格するが、200℃ 無加圧タイプは目標をクリアできる製品は現時点でない。

接合材	温度 (°C)	加圧 (Pa)	h	雰囲気	簡易PCT (65/200℃)	簡易PCT (65/250℃)	簡易TCT (-40/200℃ チップ)	備考
Ag シンタ A	300	10 M	> 3	Air, N ₂	○	○	○	高温・加圧
Ag シンタ B	200	無	5	Air	○	△	△	低温・無加圧
Cu シンタ	200	無	10	N ₂	○	×	△	低温・無加圧
Sn/3Ag/0.5Cu 220 (融点)					×	2	△	はんだ材
95Pb/Sn 300 (融点)	300 (融点)				0.5	2	○	高融点はんだ材



(3) 接合材の基礎評価 (シーマ電子)

＜検討内容＞ メーカー開発品を含め、入手可能な接合材をスクリーニングする。

TCT試験 1000 サイクル後のシア強度が20MPaの材料を選ぶ。

表一3 接合材の特性と、シア強度測定結果

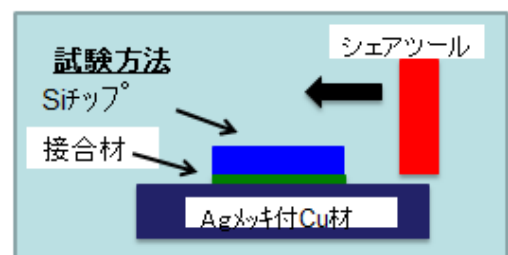
シンター材		鉛ハンダ	Agナノ材						
			a	b	c	d	e	f	g
提供メーカー		市販品							
特性	熱伝導率(W/m・K)	50	45	55	60	63	76	118	123
	性状	シート状	ペースト	ペースト	ペースト	ペースト	ペースト	ペースト	ペースト
	接合温度 °C								
	接合圧力 Pa								
接合強度	0サイクル	26MPa	30MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa
	100サイクル	15MPa	25MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa
	200サイクル	5MPa	20MPa	31MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa
	500サイクル	—	3MPa	15MPa	32MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa
	1000サイクル	—	—	3MPa	16MPa	36MPa	>40MPa	>40MPa	>40MPa
総合判定		x	x	x	△	○	◎	◎	◎

目標値: 熱伝導率: >50W/m・K

TCT試験 (-40℃~250℃) 1000サイクル後; >20MPaの接合強度

＜結果＞

サーマルサイクル(TCT)試験後のシアテストで、
 目標値 ・耐熱性; >250℃
 ・熱伝導; >50W/m・K
 を満足するシンター材が3種見つかった。



＜今後の計画＞

- ・初期スクリーニングで得られた金属ナノ材をもち、モジュール組立てを実施。
- ・組立てに適したAgナノ材の粘度の最適化や、シート化を材料メーカーに要請。
- ・その後、パワーサイクル試験や過渡熱抵抗測定など、特性評価を実施する計画。

【3-2】信頼性のある接合手法の開発。

[1]内容

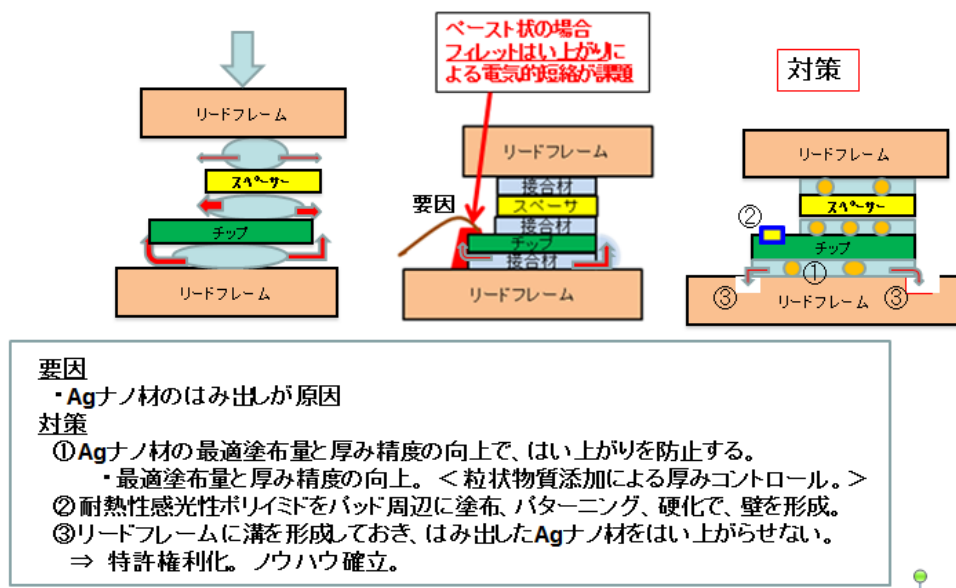
- ・Ag ナノ材(接続材)を用い、エミッター電極／銅スペーサー／SiC チップ／コレクター電極を接続する技術の開発。

[2]目標

- 1)接続材に気泡が混入しないこと。
- 2)TCT 試験等の信頼性試験に耐える接続強度を有すること。
- 3)接続材の厚みが指定範囲に入ること。
- 4)SiC チップ、銅スペーサーが水平であること。
- 5)Ag ナノ材ペーストのフィレットはい上がりがないこと。

[3]開発事項

- ・接続材がシート形状の場合;接続治具を製作し、組立後熱圧着する方式で組立。
- ・接続材がペーストの場合;
 - ①ディスペンス法で、所定位置に定量塗布し、加圧・熱焼成で気泡は解決。
 - ②現在入手可能な Ag ペーストは、粘度などの問題から跳ね上がりの課題が発生。
跳ね上がりの要因と、対策案を以下の示す。



[4] 今後の開発計画；

- 1) モジュール量産プロセスに適合する Ag ナノ材の改良を、メーカーと実施。
- 2) Ag ナノ材を含め、非鉛系の耐熱接合材の調査と、本開発での適合性を評価する。
当面、非鉛系錫アンチモン系ハンダシートで、組立技術開発と、特性評価を実施。

[5] 非鉛接合材として、錫アンチモン系ハンダシートによるモジュール組立。

- ①Ag ナノ材のプロセス性改良グレードができるまで、錫アンチモン系ハンダシートを接合材として、モジュールを組立。
- ②温度サイクル（－4 0℃⇔＋2 0 0℃）の負荷をかけ、静特性（耐電圧、オン抵抗）過渡熱抵抗試験にて信頼性評価を実施。360 サイクルまで異常がなく、2000 サイクルまで試験を継続実施中。
- ③錫アンチモンハンダシートの特性；

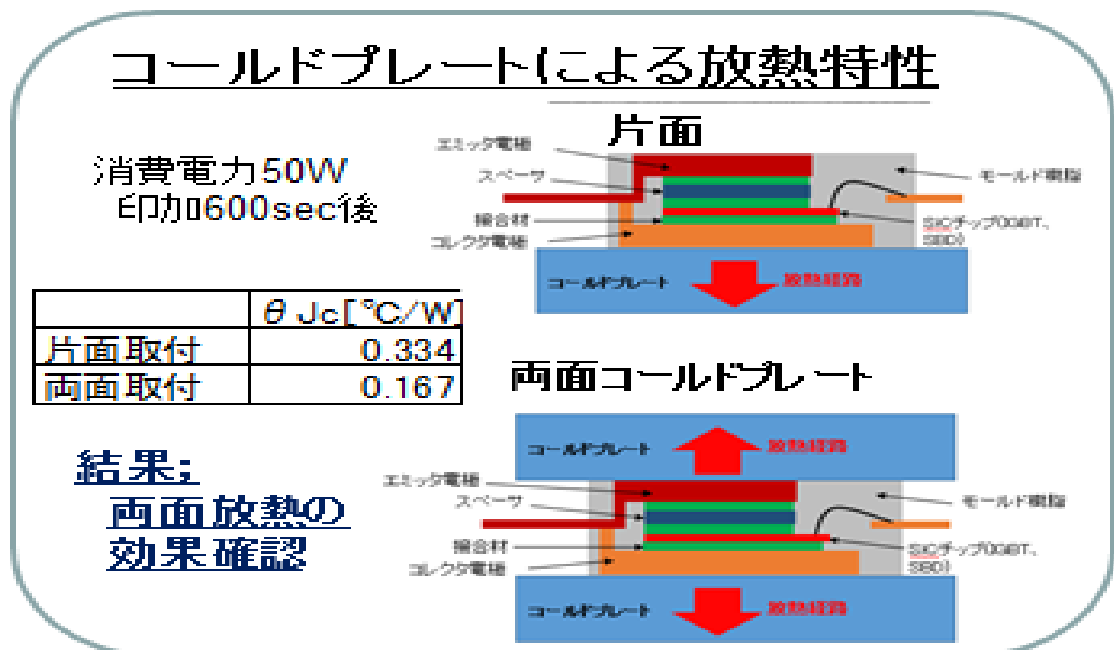
- ①融点 ：245℃ ②非鉛 Sn-Sb10（合金組成）
- ③熱伝導率：46.7（W/m・K） ④接合強度：58.1MPa（引張強度）

表－4 両面放熱構造を有するモジュールの信頼性評価

装置	劣化	ITEM	CONDITION	規格値			測定値		
				MIN.	TYP.	MAX.	初期	200cyc	360cyc
静特性	チップ	耐電圧	VDS=1200V VGS=0V	－	1 μA	100 μA	39nA	40nA	42nA
		オン抵抗	ID=40A VGS=20V	－	40mΩ	52mΩ	36mΩ	36mΩ	36mΩ
過渡熱	チップ～PKG	熱抵抗	100W 1sec	－	－	－	0.51℃/W	0.51℃/W	0.50℃/W

[6] 両面放熱構造モジュールの熱抵抗の測定

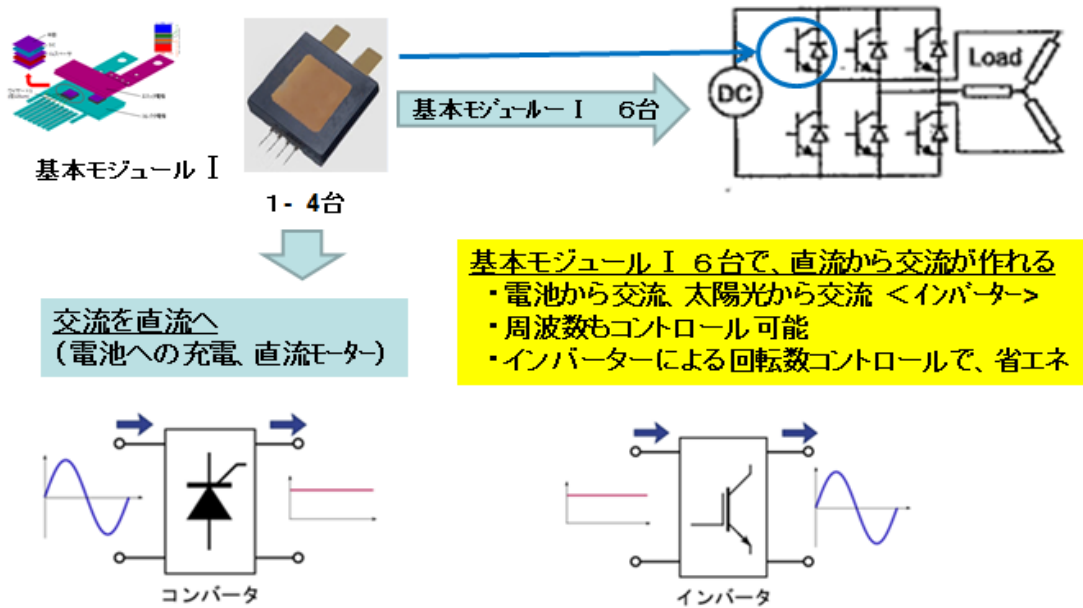
- ①コールドプレートを、両面取り付けと片面取り付けのケースで、熱抵抗を測定。
- ②両面取り付けは、片面の2倍の冷却効率を確認した。



2-5. 研究開発報告（その5 用途展開）

1) 両面放熱モジュールの応用；

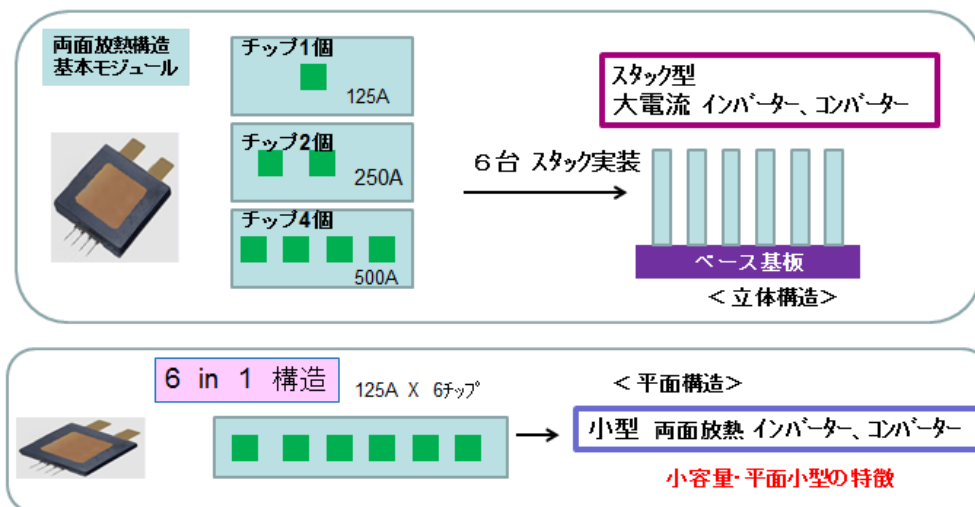
(1) 両面放熱モジュールの応用 <製品化 例：コンバーター、インバーター>



2) 基本モジュール組み合わせによる商品設計；

<基本モジュールと商品設計>

- ・従来は、IGBT チップと FWD チップの2チップから構成。
- ・今年度、ダイオード入り MOS-FET 構造の1チップ化 SiC を入手。
- ・今後、この1チップ化 SiC の複数組合せで、商品設計を実施する計画。



3) 市場調査と、シーマ電子のモジュール事業

①訪問 ヒアリング調査先:

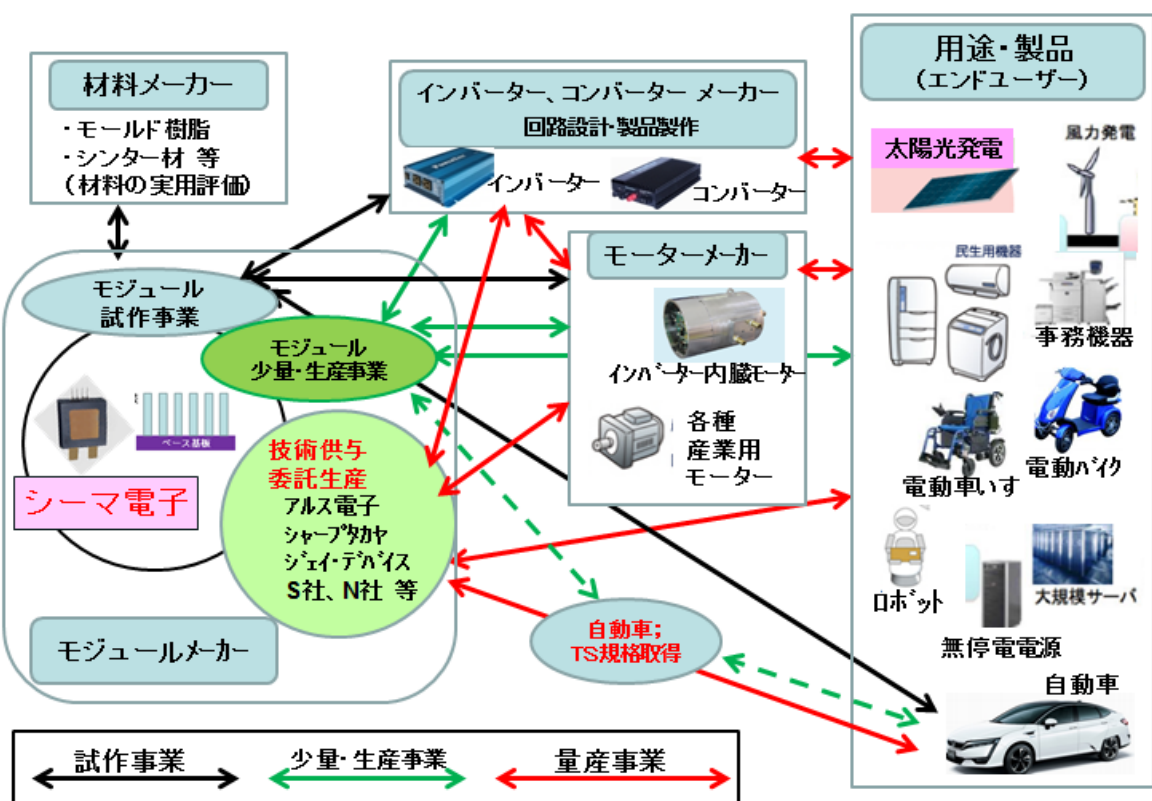
- ・ヤマハモーターパワープロダクツ(株) ・サンケン電気(株) ・ホンダ技研工業(株)
- ・日本電産(株) ・カルソニックカンセイ(株) ・ローム(株) ・(株)村田製作所

②ヒアリング結果(市場情報):

- ・現在、SiC パワーモジュールは、電車、自動車などの高耐圧領域での開発が主流である。
今後、低～中耐圧のパワーモジュールも、期待を持てる事業領域と考えられる。
- ・水冷、空冷を問わず、その冷却方法との集合体が最終商品となるが、本プロジェクトの
両面放熱技術に興味を持つメーカーが多く、そのユーザーとのパイプを大事にし、
今後の製品開発と事業展開を進めていきたい。

③シーマ電子の事業展開:

- ・低～中耐圧かつ、小型、空冷で稼働する、「オートモティブ」、「電動 カート」、「ロボット」、
「フォークリフト」、「電動 車いす」、「インバーター内蔵モーター」等の用途を主に、事業展開をはかる。



3. 導入した主な設備

①真空モールド成型装置



②高温温度サイクル試験装置



③過渡熱抵抗測定装置

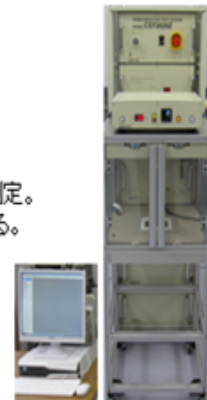


④静特性測定装置

<使用目的>

モジュール組立後にチップの電気特性を測定。
モジュール構造及び組立が適切か判断する。

- ①チップに応力が掛かっていないか。
- ②大電流経路に抵抗がないか。
- ③電気ノイズがないか。
- ④耐電圧がどこまであるか。
- ⑤高速動作がどこまで可能か。
- ⑥高温動作の確認。



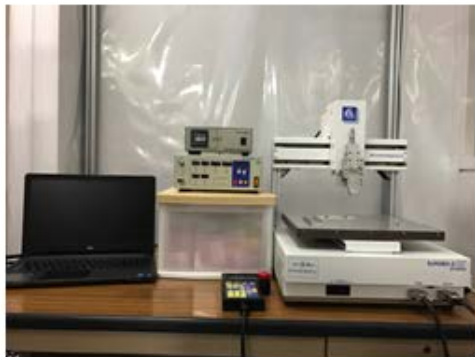
⑤UV 露光装置

⑥オゾン表面洗浄改質装

置



⑦ディスペンサー



⑧金型（3種類）



タイパーカット前



タイパーカット後

(モールド成型後
不要部を除去)



⑨タイパーカット金型



以上