

平成26年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「エネルギー社会に対応した高機能パワーデバイスの高信頼性を確保する超小型電流センサ及び製造ライン向け検査装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成27年 3月

委託者 九州経済産業局
委託先 公益財団法人北九州産業学術推進機構

目 次

第 1 章 研究開発の概要	
[1] 研究開発の背景・研究目的及び目標	P. 2
[2] 実施計画内容	P. 4
[3] 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	P. 7
[4] 成果概要	P. 13
[5] 当該研究開発の連絡窓口	P. 15
第 2 章 本論	
[1] マイクロフィルムセンサの小型化	P. 16
[1] - 1 プリント基板配線の微細化	P. 18
[1] - 2 超小型マイクロフィルムセンサの特性補償	P. 20
[2] マイクロフィルムセンサのアレイ化	P. 21
[2] - 1 アレイ構造の検討	P. 22
[2] - 2 高度数学演算による GO/NO GO 判断技術の確立	P. 24
[3] パワーデバイスの電流自動計測装置の開発	P. 26
[3] - 1 高電圧、大電流実測時のテストヘッドの開発	P. 27
[3] - 2 検査用治具の開発	P. 29
第 3 章 プロジェクトの運営管理	P. 32
第 4 章 今後の課題	P. 34

第1章 研究開発の概要

[1] 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) 研究の目的

IGBTなどの高機能パワーデバイスはHEVや風力発電、鉄道輸送など各種産業分野に応用され、社会インフラの重要なキーコンポーネントとなってきた。高機能化に伴い信頼性確保が課題となっており、特に並列チップ間での電流集中による破壊の防止は安全確保の面からも重要である。本研究では非破壊で正確な電流バランスの高速測定が可能な革新的超小型電流センサ及びIGBT製造ライン向け検査装置の開発を行う。

2) 研究の概要

●市場の要求

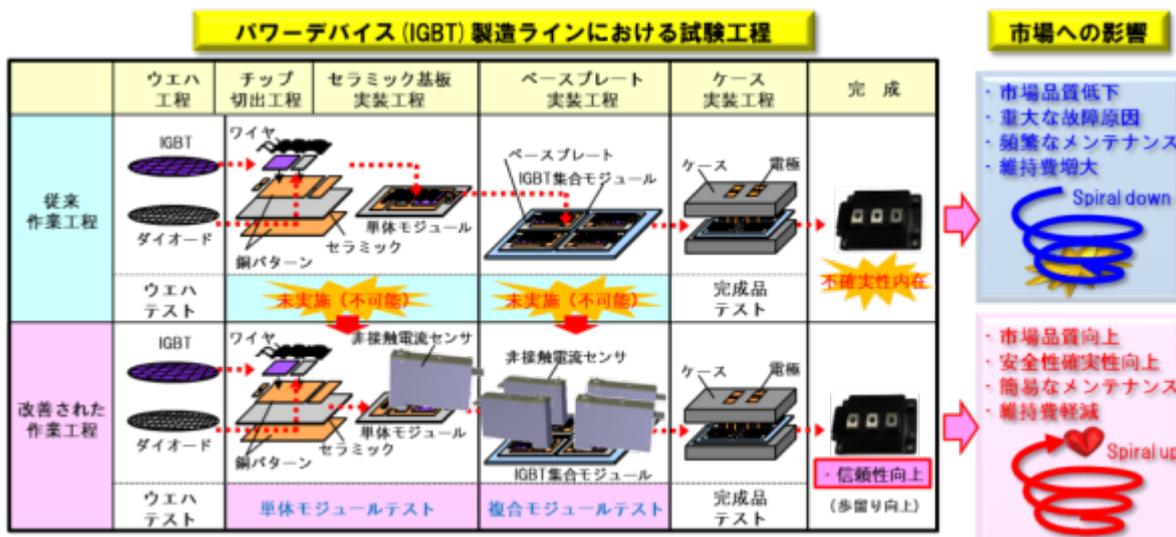
IGBTなどのパワーデバイス製品は近年自動車等の急速な電子化や化石エネルギー危機を背景とした国家的なグリーンエネルギー利用施策推進などを背景に、従来の輸送機や大型産業機器のみならず、小型機器分野にも浸透しつつあり、その需要拡大と共に社会インフラ構造の中心的な存在となり始めている。

一方、そのパワーデバイス製品の利用環境は、温度や振動など非常に過酷であるが、重量軽減や小型化のため、更なる高機能化を求められている。

以上より、これらのデバイス製品を利用する産業分野では機能性、安全性確保のために更なる高信頼性の確保が求められている。

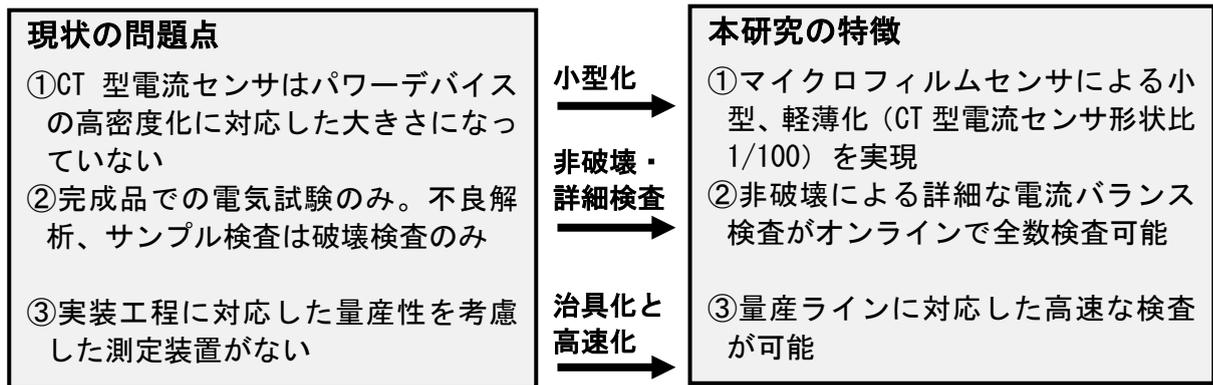
●パワーデバイス(IGBT)の品質検査の現状

パワーデバイスの部品障害の発生する確率は実装工程で一番高いが、現状この最もリスクの高い実装工程でモジュール内の電流バランス等の電氣的試験（電流導通試験）が行われておらず、全て完成品テストに委ねられている。



●本研究の狙い

以上、パワーデバイス製品の更に高度な製造品質の作り込みを実現すべく、ボンディングワイヤ（配線ワイヤ）を流れる電流バランスを生産ライン上で非破壊により精密に検査できるよう、電流センサの超小型化を実現すること、また、その超小型電流センサを実際のパワーデバイス製品の生産ラインに適応できるよう、高速な検査測定方式を確立すること。



●高度化目標

【1】マイクロフィルムセンサの小型化

九州工業大学で開発した電流磁界検出の為のマイクロフィルムセンサの小型化とそれに使用する特性補正と増幅器の開発・最適化を行う。

【1-1】プリント基板配線の微細化

センサコイルの微細化プロセスによる、検出感度、周波数特性と検出解像度向上。

- ①プリント基板プロセス： 箔の微細化による小径でのコイルターン数確保
- ②半導体プロセス： 箔の微細化による出力向上と周波数特性確保

【1-2】超小型マイクロフィルムセンサの特性補償

微細化後のセンサコイル出力の安定特性補償と安定増幅確保の為アンプ回路の設計と最適化を行う。

- ①出力特性の広帯域化： P 社センサ特性の凌駕
- ②信号ダイナミックレンジ獲得： ノイズ環境下 2 桁以上

【2】マイクロフィルムセンサのアレイ化

研究テーマ【1】にて開発したマイクロフィルムセンサを複数用い、IGBT ボンディングワイヤに流れる電流分布を測定出来るセンサアレイモジュールの開発と電流分布の異常を判定するソフトウェアアルゴリズムを開発する。

【2-1】アレイ構造の検討

コペル電子製 IGBT 検査装置に装着できるように小型高精度のセンサアレイモジュールを開発する。

- ①センサコイル多チャンネル化： 電流磁界分布の高解像度検出実現
- ②アンプ回路一体化・小型化： 現行検査装置の大幅改造を防ぐ収容実現

【2-2】高度数学演算による GO/NO GO 判断技術の確立

センサアレイ出力の面磁界信号からボンディングワイヤ接合不良を検出・判定するソフトウェアアルゴリズムの開発。

- ①検査判定時間短縮： 現行の電流特性検査時間内での不良判定実現
- ②製造ばらつき対応： デバイス製造ばらつき信号変動対応した検査精度実現

【3】パワーデバイスの電流自動計測装置の開発

研究テーマ【2】にて開発したセンサアレイモジュールと電流分布異常判定ソフトウェアアルゴリズムを統合したコペル電子製 IGBT 検査装置の開発を行い、動作確認検証を行う。

【3-1】高電圧、大電流実測時のテストヘッドの開発

研究テーマ【2】のセンサアレイモジュールを装着可能な特定品種の IGBT デバイスを検査するための試験用テストヘッドを開発する。

- ①低コスト化： 規格化された既存検査装置への小改造で組み込み実現

【3-2】検査用治具の開発

研究サブテーマ【3-2】のテストヘッドを装着し、一連の IGBT の AC/DC 特性試験と同時にボンディングワイヤ接続不良の検査が可能な試験装置（検査治具）を開発する。

- ①安定動作： 検査装置各所からのノイズ影響を受けることなく動作すること
- ②検査時間： 製造ラインタクト時間内に検査終了すること

【2】 実施内容

【1】マイクロフィルムセンサの小型化：

【1-1】プリント基板配線の微細化

(株豊光社, (公財)アジア成長研究所, (株シーディエヌ)

マイクロフィルムセンサによるコイル構造を試作するにあたり、(株豊光社は自社製造技術を用い①プリント基板プロセス方式にてポリイミド基板を中心に小径、高出力、高密度コイル構造試作を目指す。

一方(公財)アジア成長研究所は半導体研究成果を活かし②半導体プロセス方式にて石英及び酸化膜シリコン基板上に小径、広帯域、高出力、高密度コイルの試作を目指す。

(株シーディエヌは試作されたコイルの特性を自社設計のフィルタアンプ回路の入力特性に合わせ評価し、最適条件を確立する。

【1-2】超小型マイクロフィルムセンサの特性補償

(株豊光社, (株シーディエヌ, 九州工業大学)

(株シーディエヌは研究サブテーマ【1-1】にて作成したマイクロフィルムセンサの出力インピーダンス特性にマッチし、リニアに特性補正可能な、高感度、高S/N比、小型で安定動作可能なアンプ回路の開発を行う。

(株豊光社は研究サブテーマ【1-1】にて作成した作成したマイクロフィルムセンサ基板のフィルタアンプ回路との接続インターフェースの開発を行う。

九州工業大学は、研究サブテーマ【1-1】で試作したマイクロフィルムセンサと、(株シーディエヌが試作したフィルタアンプ回路を用いて、実際の IGBT モジュールを用い電流磁界測定のための基準データを測定する。

【2】マイクロフィルムセンサのアレイ化：

【2-1】アレイ構造の検討

(株豊光社, (公財)アジア成長研究所, (株シーディエヌ, 九州工業大学)

(株豊光社は研究テーマ【1】で開発したマイクロフィルムセンサのコイルを多重積層（最大32チャンネル）したセンサアレイコイルユニットを試作すると共に、(株シーディエヌの開発したフィルタアンプ回路を最高32チャンネル収容可能な一体型アレイセンサモジュール筐体の開発を行う。

(株シーディエヌは研究サブテーマ【1-1】で開発したフィルタアンプ回路をセンサアレイユニットの周波数特性に合わせ、最大32チャンネルを基板収容可能となるように更に小型化した回路の開発を行う。

(公財)アジア成長研究所と九州工業大学は上記試作したセンサアレイモジュールの単体特性評価を行い、基準データを取得する。

【2-2】高度数学演算による GO/NO GO 判断技術の確立

(株)豊光社, (株)シーディエヌ, 九州工業大学, (公財)アジア成長研究所

九州工業大学と(公財)アジア成長研究所は研究サブテーマ【2-1】で試作された、センサアレイモジュール出力の複数のアナログ信号をデジタル変換し、各信号チャンネルの出力特性の数学補正を行い、総ての信号強度の評価を行い、被検体である IGBT デバイスのボンディングワイヤの電流分布の不均一性を検出するソフトウェア・アルゴリズムを開発する。

(株)シーディエヌは、電磁界シミュレーション・ソフトウェアと回路シミュレーション・ソフトウェアを用いて、前述九州工業大学と(公財)アジア成長研究所のソフトウェア・アルゴリズム開発の前提となる実測基礎データと改善予測対応方向性のシミュレーション補間を行い、ソフトウェア・アルゴリズム開発をサポートする。

また同時に、同社及び(株)豊光社が研究サブテーマ【2-1】で開発した、センサアレイユニットのコイル構造検討及びフィルタアンプ回路の特性調整にもフィードバックする。

【3】パワーデバイスの電流自動計測装置の開発:

【3-1】高電圧、大電流実測時のテストヘッドの開発

(株)豊光社, コペル電子(株), 九州工業大学, (公財)アジア成長研究所

コペル電子(株)は九州工業大学と(公財)アジア成長研究所が提案する IGBT モジュール構造と(株)豊光社が研究サブテーマ【2-1】で開発したセンサアレイモジュール構造に対応した専用のテストヘッド¹を開発する。

(株)豊光社はセンサアレイモジュール筐体の機構構造²などの設計条件出しにテストヘッドの機構構造の細かな調査を行う。

(公財)アジア成長研究所は、コペル電子(株)がテストヘッド機構構造を設計する際に最初に提示した検査対象となる IGBT モジュールの基本仕様を満たしつつ、研究テーマ【3】で試作したセンサアレイモジュールと検出アルゴリズムの動作確認を行う為のボンディングワイヤ構造(配置位置や本数など)を変更した幾つかのテストデバイスサンプルを作成する。

九州工業大学と(公財)アジア成長研究所はテストヘッドの機構構造を調査し、センサアレイモジュールのセンサコイルに磁界影響を与える対策方を検討する。

コペル電子(株)は上記(株)豊光社、九州工業大学と(公財)アジア成長研究所の調査結果を受けて、研究期間中センサアレイモジュール搭載に必要な機構位置調整やセンサアレイモジュールのセンサコイルに対する磁界影響を防ぐ対策の為の具体的構造検討と改造を行う。

【3-2】検査用治具の開発

(株)豊光社, コペル電子(株), 九州工業大学, (公財)アジア成長研究所

コペル電子(株)は前述同社の製作する IGBT デバイス・テストヘッドを収容し、実際の IGBT デバイス(あるいは集合体のモジュール)生産ラインで使用する検査様の装置一式³を作成し、実際の IGBT デバイス生産ラインでの試験環境を確立する。また、試験装

¹ **テストヘッド**: デバイスの品種毎に検査対象デバイスを固定搭載する試料ステージや試料ステージ上のデバイスの電極にテスト用電源端子や制御用端子を接触させる為のコンタクトピンを接触させる為の物理的位置決めを施した機構を示す。今回の研究開発では、前述のコンタクトピン以外に、6つのセンサアレイモジュールを搭載出来る機構も追加搭載するテストヘッドを開発する。

² **筐体の機構構造**: 筐体の外形寸法構造決定だけではなく、アレイセンサコイルの並びの位置関係やフィルタアンプ回路を内蔵する筐体の磁界シールド構造などの決定に重要である。

³ **生産ラインで使用する検査様の装置一式**: 先のテストヘッドの他、試験用電源、試験用負荷回路、試験パルス発生

置の回路・機構構造などの詳細情報を研究メンバーに提供する。

コペル電子(株)、(株)豊光社、九州工業大学、(公財)アジア成長研究所は連携し、製作した検査装置のあらゆる部分から発生する妨害磁界ノイズ⁴などの原因や発生箇所の特特定を行い、効果的な対策方法を策定する。ただし、対策方法の基本方針は、既に規格化されたコペル電子(株)の I G B T 検査装置の根本部分の機構構造変更を行う内容となる事無く、出来る限り研究テーマ【2】のテストヘッド内の個別機構の改造とセンサアレイモジュール構造及び検査ソフトウェア・アルゴリズムでの演算補正で対応する事により検査システム全体のコスト削減を目指す。

(株)豊光社、九州工業大学、(公財)アジア成長研究所は、試作したセンサアレイモジュール、検査ソフトウェア・アルゴリズムの動作検証を試作した I G B T テストサンプルの正常品及び異常品⁵特性測定を通じて確認する。

【4】プロジェクトの管理・運営

((公財)北九州産業学術推進機構)

事業推進委員会の開催、実務者会議の開催等、当該プロジェクトが円滑に運営され、かつ目標が確実に達成できるように、プロジェクト全体の運営と進捗管理を行う。

今年度は特に本研究成果の知財化推進サポートを行って行く。

また、本年度の研究開発の実施内容を整理し、経理報告書と成果報告書の取りまとめを行う。

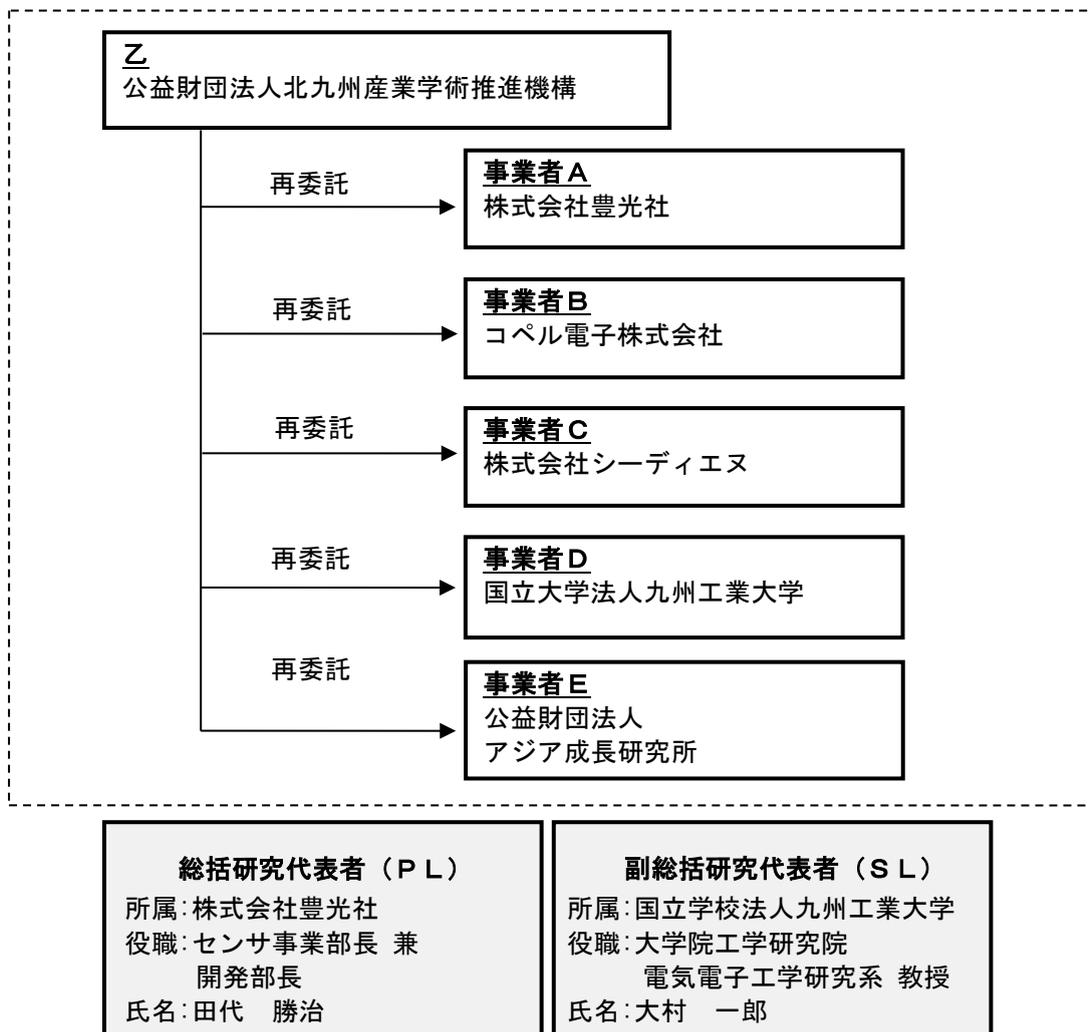
器、電流/電圧計測機器及びそれら制御機構一式を示す。

⁴ **妨害磁界ノイズ**：環境磁界ノイズとも言い、検査対象となる IGBT デバイスの性格上電源供給端子などのコンタクトピンに印加される電圧や電流は非常に大きく、モーター回路を模擬した負荷回路の巨大なインダクタから発生する磁界ノイズはセンサアレイモジュールにとって無視できない強度である。

⁵ **異常品**：複数試作し、正常特性の確認できたテスト・サンプルに対して、ボンディングワイヤの異常曲げや切断などの疑似障害加工を加えたテスト・サンプルを示す。

[3] 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

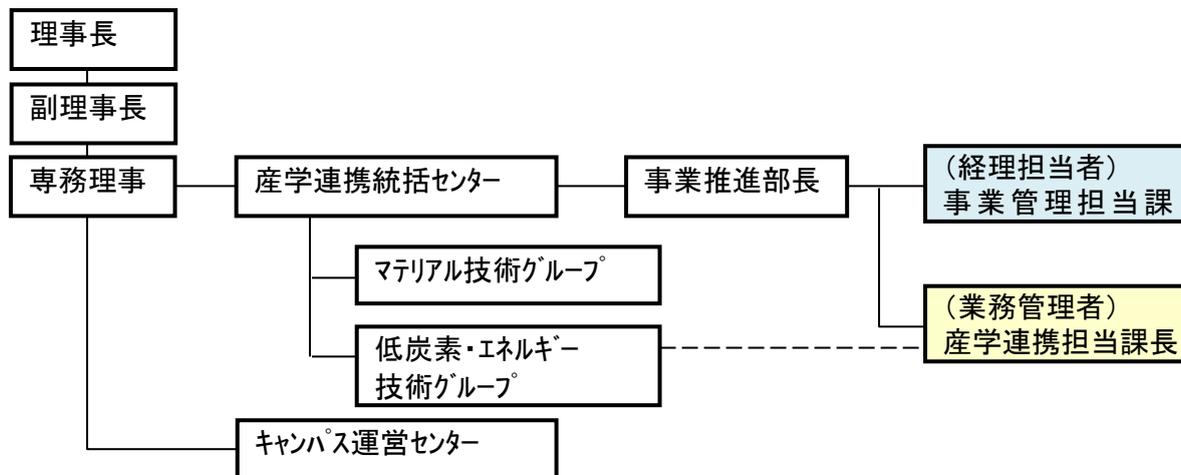
1) 研究組織(全体)



2) 管理体制

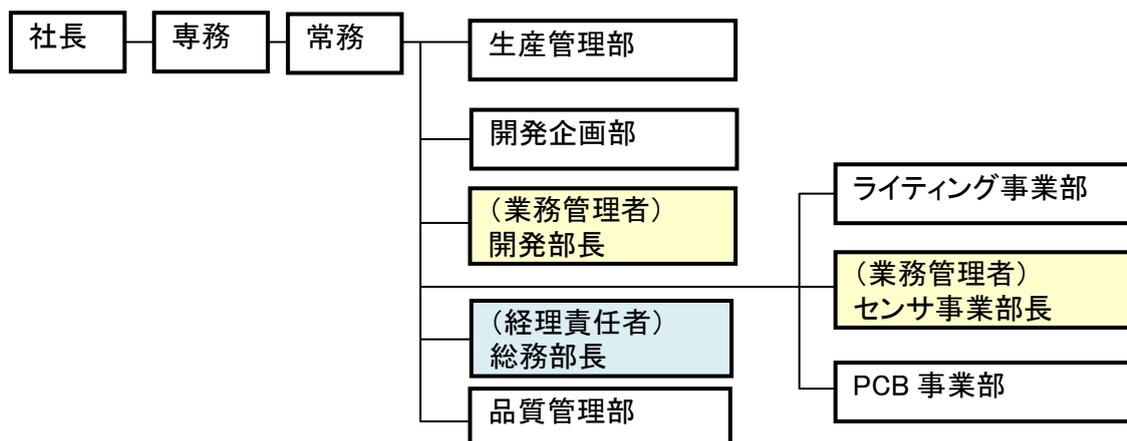
① 事業管理機関

【公益財団法人北九州産業学術推進機構】

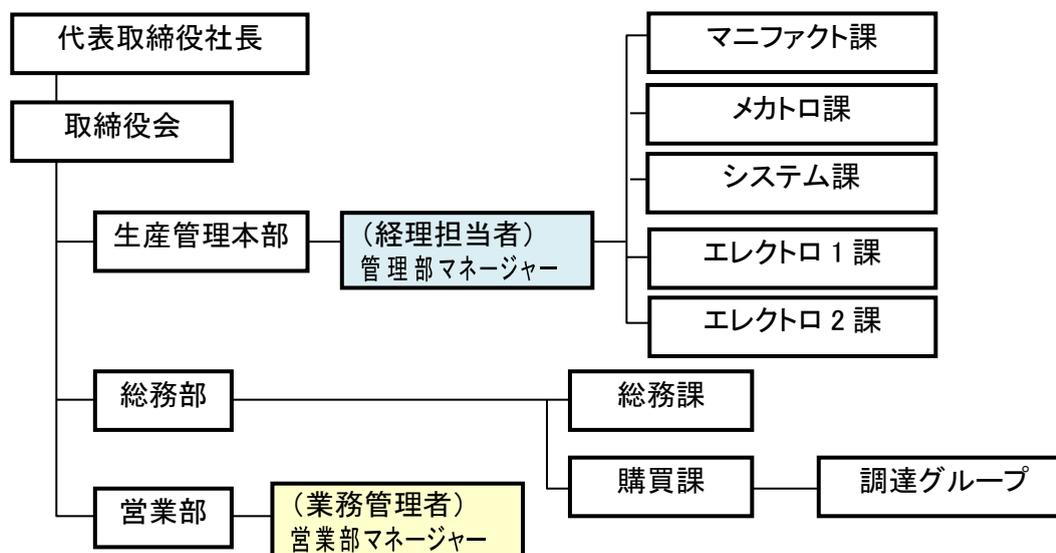


② (再委託先)

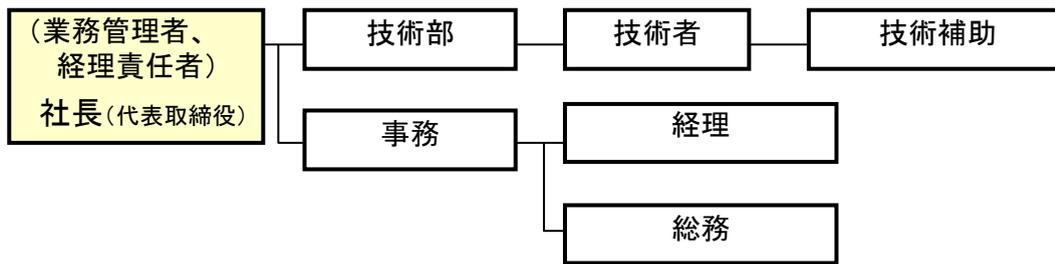
【株式会社豊光社】



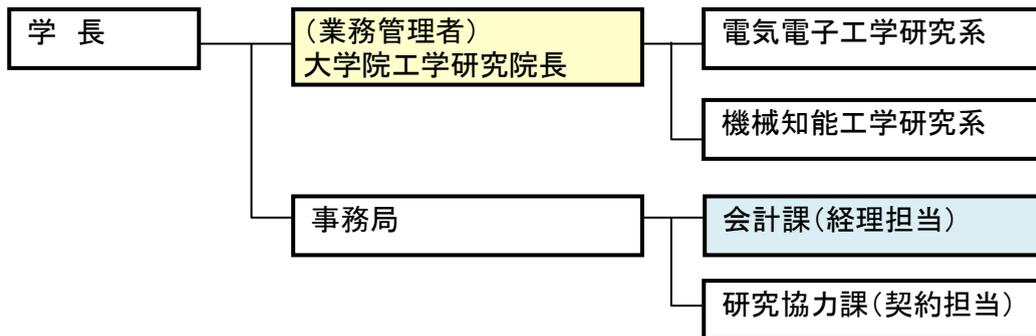
【コペル電子株式会社】



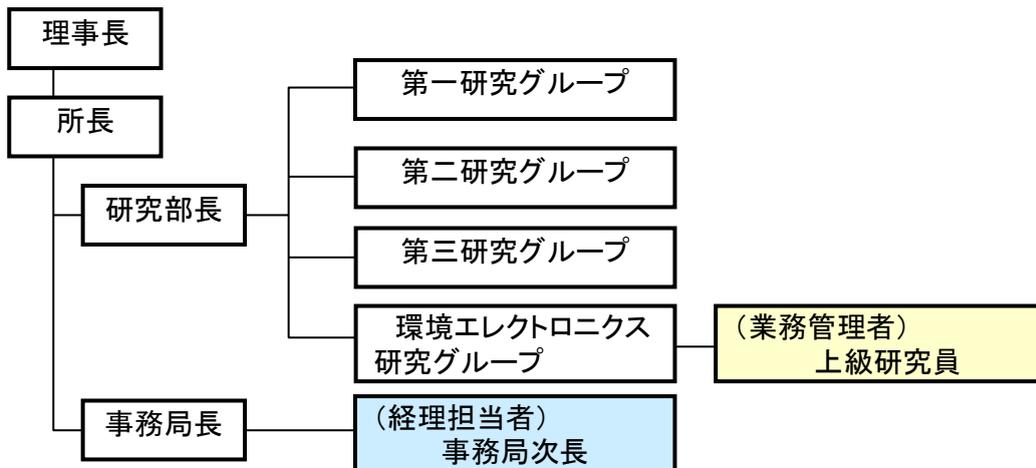
【株式会社シーディエヌ】



【国立大学法人 九州工業大学】



【公益財団法人アジア成長研究所】



3. 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人 北九州産業学術推進機構

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
長廣 裕	産学連携統括センター事業推進部 産学連携担当課長	【4】
中野 仁	産学連携統括センター事業推進部 事業推進担当課長	【4】
湯村 隆史	産学連携統括センター事業推進部 事業管理担当課長	【4】
宮崎 さやか	産学連携統括センター事業推進部 事業推進課員	【4】
有蘭 和子	産学連携統括センター事業推進部 事業管理担当課員	【4】

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
なし		

【再委託先】※研究員のみ

株式会社 豊光社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
田代 勝治	センサ事業部長 兼 開発部長	【1-1】、【1-2】、【2-1】、 【2-2】、【3-1】、【3-2】
篠原 長勇喜	センサ事業部・テクニカルマネージャー	【1-1】、【1-2】、【2-1】、 【2-2】、【3-1】、【3-2】
西村 純一	PCB事業部設計課・課長	【1-1】、【1-2】、【2-1】、 【2-2】
徳永 慎吾	PCB事業部設計課・設計担当	【1-1】、【1-2】、【2-2】
山元 誠二	PCB事業部設計課・設計担当	【1-1】、【1-2】、【2-2】
下田 聡	センサ事業部・主任	【1-1】、【1-2】、【2-2】

コペル電子 株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
大胡田 清一	営業部・マネージャー	【3-1】、【3-2】
中野 繁太	取締役、管理部・マネージャー	【3-1】、【3-2】
藤岡 哲	取締役、生産管理本部・マネージャー	【3-1】、【3-2】
渡邊 紘彰	エレクトロ1課・シニアチーフ	【3-1】、【3-2】
山田 晃司	システム課・エンジニア	【3-1】、【3-2】
五十嵐 学	メカトロ課・チーフ	【3-1】、【3-2】
山根 可奈子	生産管理本部・アシスタント	【3-1】、【3-2】
加藤 道明	マニファクト課・エンジニア	【3-1】、【3-2】
柏木 慎也	エレクトロ1課・エンジニア	【3-1】、【3-2】

株式会社シーディエヌ

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
野田 龍三	代表取締役	【1-1】、【1-2】、【2-1】、【2-2】
長友 一則	技術部・主任技術者	【1-1】、【1-2】、【2-1】、【2-2】
松尾 和顕	技術部・技術者	【1-1】、【1-2】、【2-1】、【2-2】
岩切 巖	技術部・技術者	【1-1】、【1-2】、【2-1】、【2-2】
永井 恭兵	技術部・技術者	【1-1】、【1-2】、【2-1】、【2-2】
大岐 律子	技術部・技術者補助	【1-1】、【1-2】、【2-1】、【2-2】
前田 和美	技術部員 兼 総務部員	【1-1】、【1-2】、【2-1】、【2-2】

国立大学法人 九州工業大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
大村 一郎	大学院工学研究院電気電子工学研究系・教授	【1-2】、【2-1】、【2-2】、【3-1】、【3-2】
金 亨燮	大学院工学研究院機械知能工学研究系・教授	【2-2】、【3-2】

公益財団法人 アジア成長研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
附田 正則	環境エレクトロニクス研究グループ・上級研究員	【1-1】、【2-1】、【2-2】 【3-1】、【3-2】

(3) 経理担当者及び業務管理機関の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人 北九州産業学術推進機構

(経理担当者) 産学連携統括センター事業推進部 事業管理担当課長 湯村 隆史
(業務管理者) 産学連携統括センター事業推進部 産学連携担当課長 長廣 裕

(再委託先)

株式会社豊光社

(経理担当者) 総務部長 倉光 秀一
(業務管理者) センサ事業部長 兼 開発部長 田代 勝治

コペル電子株式会社

(経理担当者) 管理部 マネージャー 中野 繁太
(業務管理者) 営業部 マネージャー 大胡田 清一

株式会社シーディエヌ

(経理担当者) 代表取締役 野田 龍三
(業務管理者) 代表取締役 野田 龍三

国立大学法人 九州工業大学

(経理担当者) 会計課 課長補佐 三宅 智実
(業務管理者) 大学院工学研究院長 水垣 善夫

公益財団法人 アジア成長研究所

(経理担当者) 事務局次長 中野 華
(業務管理者) 環境エレクトロニクス研究グループ 上級研究員 附田 正則

(4)他からの指導・協力者名及び指導・協力事項 推進委員会委員

(外部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
出川 栄	岩通計測株式会社技術部・課長	アドバイザー
田中 真秀	三和電気計器株式会社・商品企画部長	アドバイザー
西谷 和展	株式会社東芝セミコンダクター&ストレージ社 ハイパワーデバイス事業部・主幹	アドバイザー
西澤 伸一	独立行政法人産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 電力エネルギー基盤グループ・グループ長	アドバイザー

(内部推進委員)

氏名	所属・役職	備考
田代 勝治	(株)豊光社 センサ事業部長 兼 開発部長	委
篠原 長勇喜	(株)豊光社 センサ事業部・テクニカルマネージャー	委
中野 繁太	コペル電子(株) 取締役、管理部・マネージャー	
藤岡 哲	コペル電子(株) 取締役、生産管理本部・マネージャー	
大胡田 清一	コペル電子(株) 営業部・マネージャー	委
野田 龍三	(株)シーディエヌ 代表取締役	
長友 一則	(株)シーディエヌ 技術部・主任技術者	委
松尾 和顕	(株)シーディエヌ 技術部・技術者	委
大村 一郎	国立大学法人九州工業大学 大学院工学研究院電 気電子工学研究系・教授	
金 亨燮	国立大学法人九州工業大学 大学院工学研究院機 械知能工学研究系・教授	
附田 正則	(公財)アジア成長研究所 環境エレクトロニクス研究グ ループ・上級研究員	
長廣 裕	(公財)北九州産業学術推進機構 産学連携統括セン ター 事業推進部・産学連携担当課長	委

(5)知的財産権の帰属

知的財産権は全て当方に帰属することを希望。

(6)その他

なし

[4] 成果概要

以下に平成26年度実施内容の成果概要を記す。

1. マイクロフィルムセンサの小型化

1. 0mmΦのコイルを用い広帯域でフラット特性のフィルタアンプ回路の試作が完了し、コイルとフィルタアンプ回路設計の技術単体成果積み卸しとして、当該技術を用いた「超小型電流プローブ」の試作を完了し当初目標を達成した。

【1-1】プリント基板配線微細化

(株)豊光社は①プリント基板プロセス技術を用い1.0mmΦ（表裏10ターン）及び0.5mm（表裏6ターン）のマイクロフィルムコイルの試作を完了した。(公財)アジア成長研究所は②半導体プロセス技術を用い1.0mmΦ（片面100ターン）及び0.5mm（片面58ターン）の試作と評価を完了し、(株)シーディエヌのフィルタアンプ回路と組み合わせた特性評価と研究サブテーマ【2-1】のセンサアレイコイルの積層化の位置精度、積層厚みなどの関係から①プリント基板プロセス技術を採用した。また、コイル径は研究サブテーマ【1-2】のフィルタアンプ回路のS/N比向上の問題から1.0mm径を選択した。

(株)豊光社は九州工業大学、(公財)アジア成長研究所との研究テーマ【3】での検査装置の環境磁界ノイズ調査の結果から周囲磁界影響をキャンセルする為のコイル構造を確立した。成果は研究メンバーと連携し、特許化（第二章 本論 参照のこと）を完了した。

【1-2】超小型マイクロフィルムセンサの特性補償

(株)シーディエヌは、研究サブテーマ【1-1】のマイクロフィルムコイルの特性補正可能な広帯域（300Hz～200MHz/±3dB）、高S/N比（40dB以上）のフィルタアンプ回路の設計が完了した。

また、研究サブテーマ【2-1】のセンサアレイモジュール組み込み向けとして帯域調整（10kHz～100MHz/±3dB）を行い、部品点数を削減し小型化したフィルタアンプ回路設計を完了した。

ただし、製作時回路特性ばらつき低減や回路発熱等低減などの課題は残った。

2. マイクロフィルムセンサのアレイ化

(株)豊光社と(株)シーディエヌは最大32チャンネル数のセンサアレイモジュールの試作を完了した。また九州工業大学、(公財)アジア成長研究所は特性補正など幾つかの機能を含む検査ソフトウェア・アルゴリズムの試作を完了し、研究サブテーマ【3-2】のコペル電子(株)製のIGBT検査装置に組み込み動作確認と詳細データ取得を完了した。

一方(株)シーディエヌは、高度な電磁界特性シミュレーションモデルを完成し、本研究のセンサアレイ特性解析に貢献した。

【2-1】アレイ構造の検討

(株)豊光社と(株)シーディエヌは複数のセンサアレイコイルと複数のフィルタアンプ回路を内蔵したセンサアレイモジュールの16チャンネル数版と32チャンネル数版の二種類試作を完了し、当初目標のボンディングアレイの電流分を検出できる事が確認できた。

(株)豊光社は研究テーマ【3】の環境磁界ノイズ調査などを通じて、試行錯誤の上センサアレイモジュールのシールド構造を確立した。

【2-2】高度数学演算によるGO/NO GO判断技術の確立

九州工業大学と(公財)アジア成長研究所は研究サブテーマ【2-1】で開発したセンサアレイモジュールの出力を高速ディジタルでサンプリングの後、センサアレイモジュールの出力信号ばらつきを均一に特性補正する処理と、複数のセンサアレイにより検出されたボンディングワイヤを流れる時空間面磁界⁶として捉え、ボンディングワイヤの接合不良による時空間面磁界変化として捉える検査ソフトウェア・アルゴリズムを確立し、試作を完了し動作確認を行って上で、特許化（第二章 本論 参照のこと）を完了した。

また、(株)シーディエヌは、電磁界シミュレーション向けに複数のボンディングワイヤと複数のセンサアレイコイル間での空間伝達関数モデルや、試験電源端子などコンタクトポイントと、IGBTデバイス表面配線パターン面を流れる電流磁界影響がセンサアレイコイルに及ぼす影響の立体数学モデルを完成し、センサアレイモジュール構造設計や前述検査ソフトウェア・アルゴリズム設計に貢献出来た。

3. パワーデバイスの電流自動計測装置の開発

コペル電子(株)は、九州工業大学及び(公財)アジア成長研究所が仮定したIGBTモジュールに対応する現場検査ライン向け⁷半導体検査装置の開発を行い、前述研究テーマ【2】で試作した、センサアレイモジュールと検査ソフトウェア・アルゴリズムを搭載した高速ディジタルと共に、検査動作試験を行い予定通りの機能が確認できた。

また(公財)アジア成長研究所は検査実験の為にサンプル検査対象のIGBTデバイスを数種類試作し正常品と異常品の判定能力を確認できた。また、判定が工程作業時間の10秒以内で完了する事が確認できた。

⁶ 時空間面磁界：IGBTデバイスに印加する試験パルス電流の時間的变化（時間軸上）を複数のボンディングワイヤ上で複数のセンサアレイにより電流磁界の変化をセンサアレイの並び方向（空間軸上）に面的に表現した信号の連なりを意味する。

⁷ 検査ライン向け：企業の通常検査ライン向け装置は被検体デバイスを自動で扱うロボット機構（オートハンドラ機構）等を設けた構造であるが、今回は実験設備である為オートハンドラ機構は省略し、設備価格を抑えた。

【3-1】高電圧、大電流実測時のテストヘッドの開発

コペル電子(株)は九州工業大学及び(公財)アジア成長研究所が指定した I G B Tモジュール仕様でテストヘッドを試作し、研究サブテーマ【2-1】で豊光社と(株)シーディエヌが試作したセンサアレイモジュール取付け及び周囲磁界影響対策の為の改造を施した。

周囲磁界ノイズ影響調査は研究開発メンバー全員で取り組んだ。

(株)シーディエヌはこの調査結果から試験用電極コンタクトポイントや I G B Tモジュール表面配線パターンの磁界影響の立体数学モデルを完成した。

【3-2】検査用治具の開発

コペル電子(株)は前述テストヘッドを制御する検査装置全体のシステムを開発した。

(株)豊光社、九州工業大学及び(公財)アジア成長研究所はセンサアレイモジュールと検査ソフトウェア・アルゴリズムによる実際のデバイス製造ラインと同様の環境により、(公財)アジア成長研究所が試作したテストデバイスサンプルを元にシステム動作検証を行い、良好な結果が得られた。

現在は実験用の正常品及び異常品判定のサンプル数が少なく判定精度向上に至っていない、今後更なる条件確認を行い、実使用現場で更に扱い易くなる様にブラッシュアップを行って行く。

4. プロジェクト管理・運営

研究開発推進に当たり、アドバイザーを含めた年間二回の委員会を実施すると共に、研究開発メンバーとはメール交換及び現地での情報交換会を頻繁に行い、細かく研究開発進捗確認を行い、問題が発生した場合には早めの原因究明と方向性確認の情報共有促進に努めた。

研究サブテーマ【3-2】での総合試験時は積極的に立ち会い、実験内容の写真撮影等を行い、立ち会えなかった他の研究メンバーへの実験結果の報告サポート、研究メンバーの作成した実験報告書へのコメント提供⁸などにも積極的に行い成果認識共通化促進に務めた。

センサアレイ構造及び検査・判定ソフトウェア・アルゴリズムの特許化に際しては、明細書内容確認など積極的に参加し、修正指摘など内容の改善に協力した。

管理機関として、技術研究の発表の場の提供や管理機関発行の技術研究紹介冊子などに内容掲載⁹し、研究内容や企業・大学の活動認知度を高める支援を行った。

【5】 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人北九州産業学術推進機構

産学連携統括センター・事業推進部・産学連携担当課長 長廣 裕

TEL : 093-695-3006

FAX : 093-695-3018

E-mail : h-nagahiro@ksrp.or.jp

⁸ **コメント提供**：専門の研究者特有の省略された思考過程のレポートに対して論理思考経路を明確にし、他の研究者にも理解出来るように補足説明を促すコメントを行った。

⁹ **内容掲載**：特許申請前であったため、技術内容詳細は控えめに、研究の目指す方向性と企業のビジネス応用の意気込みを中心に表現した。

第2章 本論

[1] マイクロフィルムセンサの小型化

I G B Tデバイスのボンディングワイヤを流れる電流を計測する為にマイクロフィルムセンサの開発を行った。このマイクロフィルムセンサの主要構成要素は以下図-1-1 に示す直径1.0mm程度のマイクロコイルとその信号をリニアに増幅するフィルタアンプ回路である。

本開発マイクロフィルムセンサ開発は九州工業大学大村研究室のシーズに基づいている。

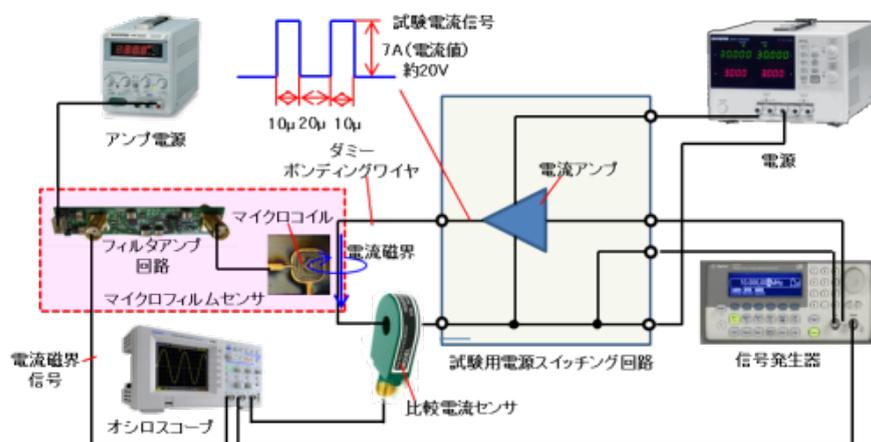


図-1-1: マイクロフィルムセンサ開発

開発項目	内 容
マイクロコイル	他のノイズ磁界を避け特定の狭いエリアのボンディングワイヤを流れる電流磁界を高周波数帯域で正確に検出する事を目的とした小径の空芯コイル構造の開発 研究サブテーマ【2-1】
フィルタアンプ回路	マイクロコイルの検出信号を低域/高域周波数補正を行いリニアな応答特性とし、且つ十分な出力信号振幅を得るための増幅回路の開発 研究サブテーマ【2-2】

表-1-1: マイクロフィルムセンサ開発要素

本研究開発の最終ゴールは本技術に基づいた、パワー半導体デバイスの製造ラインで使用可能なボンディングワイヤ接合不良を検出するシステムを開発することである。

本研究開発の途中積み卸し技術的成果として、写真-1-1 に示す様な「超小型電流プローブ」がある。これは表-1-1 の構成要素の基本的な組み合わせで作成される製品である。

特にコイルとフィルタアンプ回路の基本性能を追求することにより広帯域、フラット特性、高ダイナミックレンジの特性を活かした商品となる。

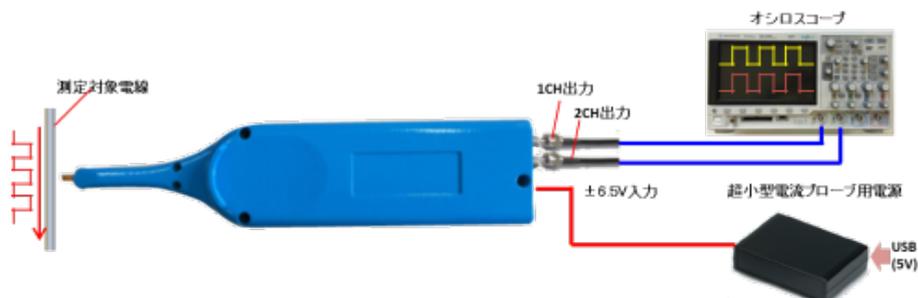


写真-1-1: 超小型電流プローブ(概略)

以下写真-1-2 は今回最終試作（二次試作）の超小型電流プローブの構造概略を示す。
 先端のマイクロフィルムコイルは二回路構成（1CH, 2CH）となっており、それぞれ出力される検出信号は同相出力信号となっている。
 コイル径は二種類有り、1.0mm 径と 2.0mm 径である、コイルは 1.0mm 径で中心間 2.0mm 離れて配置され、2.0mm 径は 3.0mm 離れて配置される。
 これら 2 チャンネルのコイル出力信号の用途としては電流の流れる計測対象導体までの距離に依存しない電流絶対値演算や研究テーマ【2】のセンサレイコイルでも述べる、周囲磁界差分キャンセル用途(特許申請中)に使用するなど色々な応用が可能である。
 なお、筐体試作に関しては、設計段階で三次元 CAD を積極利用し、当初一次試作では ABS 削りだしで作成したが、二次試作においては、製品の使い勝手等の評価を行う事も考慮し、より製品に近い感触を得るため 3D プリンターを用いて製作した。

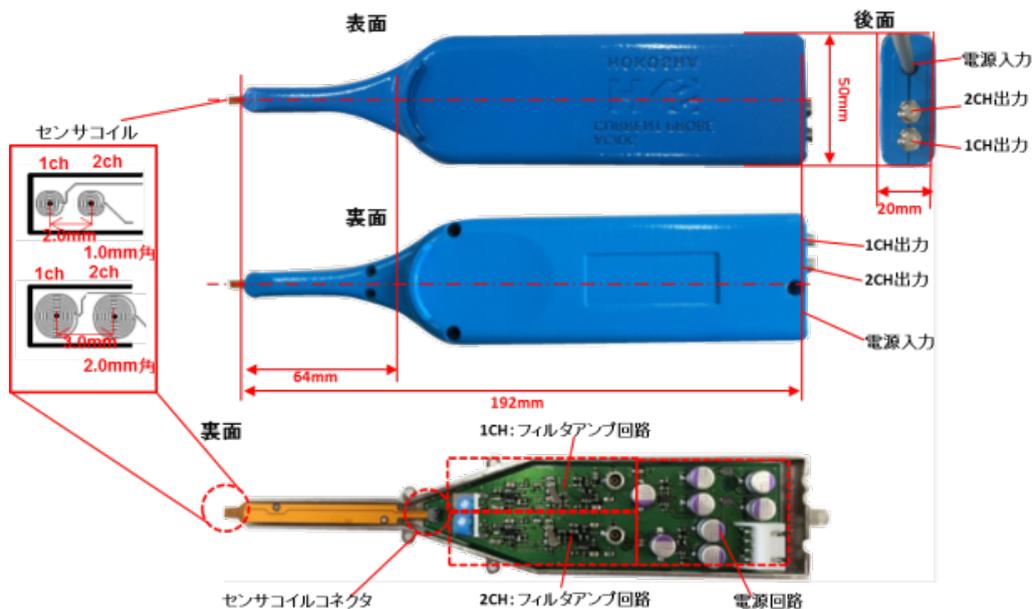


写真-1-2: 超小型電流センサ構造概略(コイルとフィルタアンプ回路の単体応用製品)

以降マイクロフィルムコイルと専用フィルタアンプ回路の開発内容の説明を行う。

[1]ー1 プリント基板配線の微細化

(株)豊光社, (公財)アジア成長研究所, (株)シーディエヌ

(株)豊光社と(公財)アジア成長研究所は平成24年, 平成25年にそれぞれプリント基板技術プロセスと半導体技術プロセスを用いマイクロフィルムセンサ向け薄膜コイルの試作を行い、特性評価を行った結果、研究サブテーマ【2-1】でのセンサアレイ化に有利であり、フィルタアンプ回路との特性マッチング(株)シーディエヌ評価)及びフィルタアンプ回路とのプリント基板化に有利なプリント基板技術プロセスを用いる事に決定した。

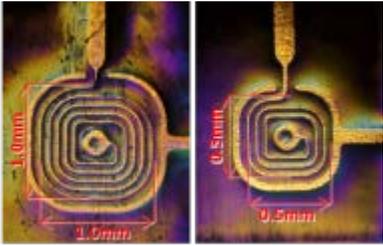
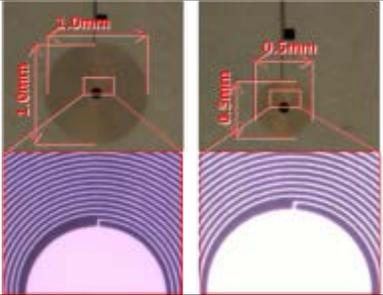
プロセス	プリント基板技術プロセス (ポリイミド基板) (株)豊光社製作	半導体技術プロセス (公財)アジア成長研究所
試作コイル		
コイル特製	<ul style="list-style-type: none"> ・L/S40μm 表裏 10 ターン確保でき銅箔パターンであるため線路抵抗値が低い ・基板の誘電損失も小さく広帯域特性実現に向く 	<ul style="list-style-type: none"> ・L/S2μm で片面ながら 58 ターン確保でき高出力が期待できるが極細のアルミ箔パターンであり線路抵抗が高くフィルタ回路の入力設計が難しくなる。 ・基板の誘電損失が大きく影響する。 ・基板の誘電喪失の低い石英を選択すると基板が高価になる。
小型化容易性	<ul style="list-style-type: none"> ・コイルの小型化には限界がある ・コイルとアンプ回路接続が基板一体化により無理なく可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・ターン数が充分稼げ、更なる小型化が可能 ・アンプ回路を LSI 化する場合には半導体プロセスコイルは有利
作り易さ (製造コスト)	<ul style="list-style-type: none"> ・基板の厚みが約 0.2mm でありフィルム積層のアレイ化に有利 ・アンプ回路との基板一体化が可能で作り易い 	<ul style="list-style-type: none"> ・表面配置には向くが積層アレイ化が難しい・ディスクリートアンプ回路との接続が困難
最終判定	○	△ ¹⁰

表-1-1-1: 製造プロセスによるコイル特性の違いと方式選択

以下フレキシブルプリント基板を用いたマイクロフィルムコイルにより、①超小型電流プローブ向けコイルと②センサアレイ向けコイルに分けて試作・特性評価を行う。

①超小型電流プローブ向けコイル

超小型電流プローブ向けのコイル設計の必要要件は、広帯域、高 S/N である。また、機能的な要求項目から 2 チャンネル構造とした。

以下表-1-1-2 に超小型電流プローブ用途の試作コイルの特性を示す。

評価値は 1.0mm 角のコイルを基準としている。

¹⁰ △ : 今回の検討は IGBT デバイスのボンディングワイヤに流れる電流磁界の分布を解析する事が目的であるため、センサアレイの並びは積層配置である必要が有る。一方磁界を観測する目的で且つ、コイル電流のプリアンプ回路を LSI 化し一体モジュールを作成する場合には半導体プロセスを用いたマイクロコイル形成は小型化の強みと考えることが出来る。

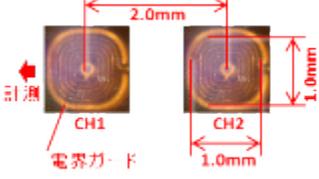
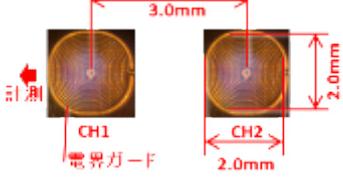
項目	形状	超小型電流プローブ向けコイル	
		1.0mm × 1.0mm	2.0mm × 2.0mm
コイル形状			
巻数		表裏合計 10 ターン	表裏合計 22 ターン
周波数特性		200MHz	100MHz
評価		基準値	検出エリアの解像度は低下するが約 20dB 感度向上出来る測定対象電流磁界が小さい場合 Option で使用も考える

表-1-1-2: 超小型電流プローブ向けコイル特性検討

②センサアレイ向けコイル

一方センサアレイ向けコイル設計の必要要件はボンディングワイヤの緻密電流磁界を検出する為出来るだけ物理解像度を高めたコイル設計が必要とされる。

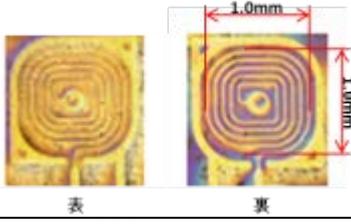
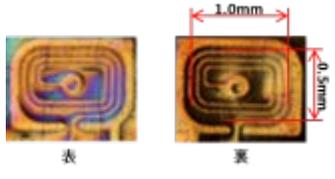
項目	形状	センサアレイ向けコイル	
		1.0mm × 1.0mm	0.5mm × 1.0mm
コイル形状			
巻数		表裏合計 10 ターン	表裏合計 6 ターン
周波数特性		100MHz	100MHz
評価		基準値	検出エリアは 1/2 で奥行き解像度は高くなるが約 10dB 感度低下するため信号 S/N に不利である為今回は使用しない

表-1-1-3: センサアレイ向けコイル特性検討

平成 25 年度(株)豊光社、(株)シーディエヌ及び(公財)アジア成長研究所とは研究サブテーマ【3-1】でテストヘッド内の周囲磁界ノイズ調査解析を行った結果、ボンディングワイヤから発生する電圧スイッチングノイズ(電界ノイズ)が大きい事が判明した。

このノイズを軽減する目的でコイル周囲に、電界ガードと呼ばれるボンディングワイヤ導体とコイルの間の静電結合を切る構造を設けた。

また、コイル構造検討として上記電荷ガードの他、研究サブテーマ【2-1】の図-2-1-4の周囲磁界ノイズ低減の為の差分コイル構造などの検討も行った。

内容は、図-2-1-4 で説明を行う。検討内容は特許化した。

[1]ー2 超小型マイクロフィルムセンサの特性補償

(株)豊光社、(株)シーディエヌ、九州工業大学

(株)シーディエヌは研究サブテーマ【1-1】で(株)豊光社が設計したマイクロフィルムコイル特性に合わせた特性補正用のフィルタアンプ回路の設計開発を行った。

図-1-2-1 は特性補正概念とアンプ回路の基本構成を示すもので有る。

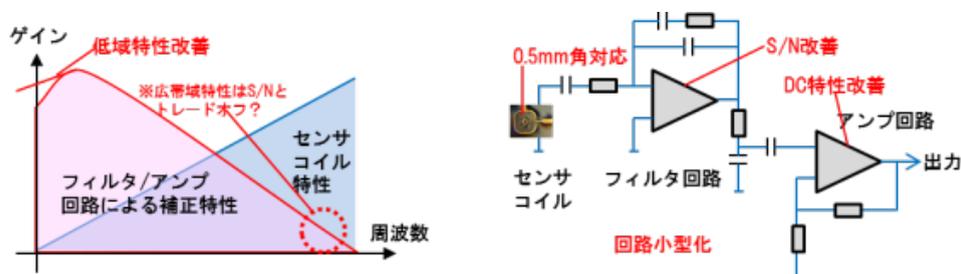


図-1-2-1:フィルタアンプ回路特性設計

図-1-2-1 の左の簡略グラフに示すように、センサコイルの周波数特性は低域から高域にかけて+3dB/oct で上昇する特性を持つ。

図-1-2-2 は今回研究サブテーマ【1-1】で試作した表-1-1-3 に示す 1.0mm 径コイルのインピーダンス特性である。コイル自身は約 220MHz 近傍に共振点を持つ。

一方図-1-2-1 の右図に示すフィルタ/アンプ回路は前述のコイル特性に対してカウンター特性を持つもので有り、逆に-3dB/oct で補正する。

ただし、高域部分はコイル自身の持つインピーダンス特性により発振しない様に高域低減調整が必要であると同時に、低域部分はアンプ回路ゲインが最大になるためにダイナミックレンジと回路安定性の点から最適なカットオフ周波数を選択する必要がある。

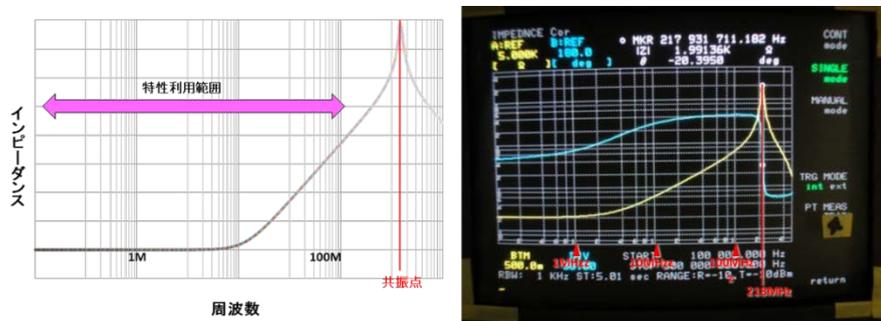


図-1-2-2 : マイクロフィルムコイルのインピーダンス特性 (1.0mm 径)

以下図-1-2-3 が今回試作した、それぞれ①センサアレイ向けと②超小型電流プローブ向けフィルタアンプ回路である。それぞれの回路設計指針は表-1-2-1 に示す通りである。

項目	電流プローブ向け	センサアレイ向け
周波数帯域	300Hz~200MHz	10KHz~100MHz
帯域内リニアリティ	±3dB	±3dB
S/N 特性	40dB 以上	40dB 以上
チャンネル特性ばらつき	0.1dB 以下 (調整)	0.4dB 以下 (ソフト演算補正)
要求特性	<ul style="list-style-type: none"> ・広帯域, 高リニアリティ ・高ダイナミックレンジ ・高精度チャンネル間特性 	<ul style="list-style-type: none"> ・小型, 低消費電力 ・低チャンネル間特性ばらつき ・高電源ノイズ安定性

表-1-2-1 : フィルタアンプ回路設計指針

[2] マイクロフィルムセンサのアレイ化

写真-2-1 が今回試作した電流磁界分布解析システムである。

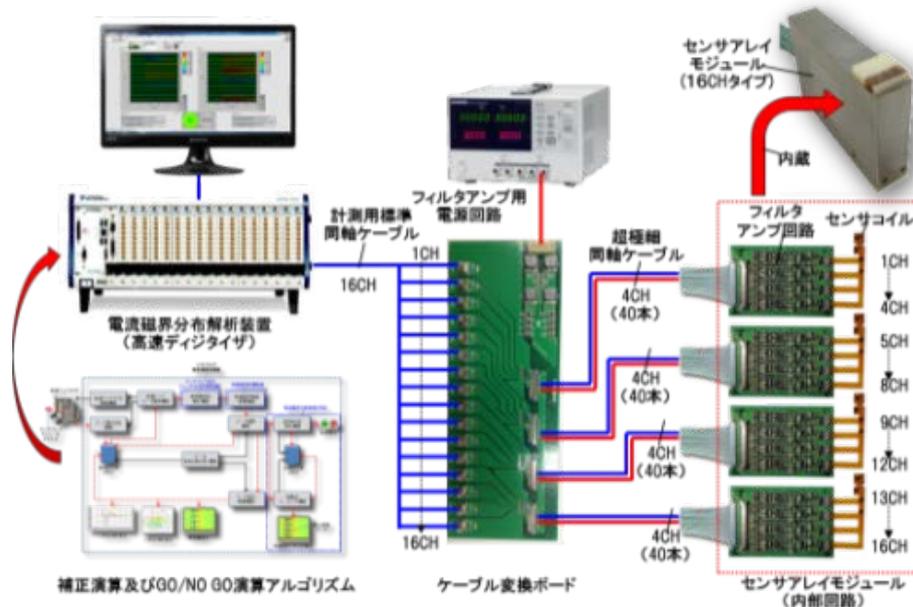


写真-2-1: 電流磁界分布解析システム

システムはボンディングワイヤの電流磁界を検出するセンサアレイモジュールと、センサアレイモジュールに対して電源供給を行うと共に信号伝送用の同軸ケーブルのケーブル径の変換する働きを行うケーブル変換ボードと、数学演算でセンサアレイモジュール出力信号に対して特性補正を行い、検出情報からボンディングワイヤの電流分布の不均一性を検出し、IGBTデバイスの不良の判定を行うソフトウェア・アルゴリズムを内蔵する電流磁界分布解析装置（高速デジタルサイザ）から構成される。

なお、電流磁界分布解析装置内（高速デジタルサイザ）で動作する各種数学演算アルゴリズムは、ナショナルインスツルメンツ社製ソフトウェア・プラットフォームである LabView で作成され動作している。

今回本研究テーマ【2】を中心として、以下表-2-2 に示す特許の申請を行った。

特許名称	概要
①特願2015-030900 電力用半導体デバイスのボンディングワイヤ電流磁界電流磁界分布検出方式及び装置	ボンディングワイヤとセンサコイルとの位置距離差で周囲磁界ノイズを捉え、妨害する周囲磁界ノイズの差分を取る事により、計測目的のボンディングワイヤの電流磁界を計測する為の、センサ構成、配置法、制御方法に関する特許。
②特願2015-030901 電力用半導体デバイスのボンディングワイヤ電流磁界電流磁界分布検査診断方法及び装置	(1)センサアレイモジュールを構成する各チャンネルの電流センサ出力の特性ばらつきを各チャンネル毎補正する方法に関する特許、及び (2)予め採取した複数の正常値からなる基準波形パターンと検査対象の波形パターンの差分を取り、各チャンネル信号の予め決められた時間軸上に積分し標準偏差値と比較して判定、あるいはまた、前述各チャンネル信号をチャンネル方向の空間軸上に更に積分し、標準偏差値と比較して判定する検査判定方法に関する特許。

表-2-2: 申請特許概要

[2]ー1 アレイ構造の検討

(株)豊光社, (公財)アジア成長研究所, (株)シーディエヌ, 九州工業大学)

16CH及び32CHのマイクロフィルムコイルとそれらの出力をリニアに補正するフィルタアンプ回路を搭載構成したセンサアレイモジュールを以下写真-2-1-1に示す。

左の写真は16CH版で有り、右の写真は32CH版である。

センサアレイモジュールの本来の設計目標は16CH版で示した写真-2-1-1の左の写真のサイズである。32CH版は16CH版のセンサアンプ回路を流用したため、筐体サイズが幅で約80%増加してしまった。

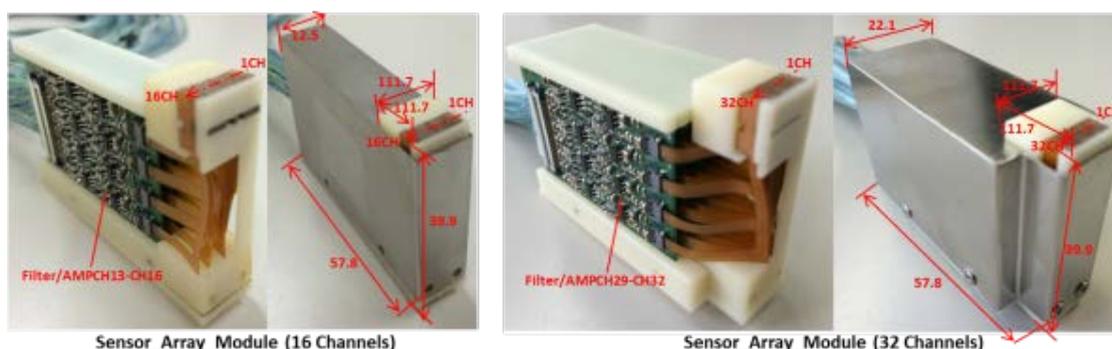


写真-2-1-1: センサアレイモジュール外観(16CH, 32CH)

これらの構造から得られるボンディングワイヤのインパルス応答特性の電流磁界信号はセンサアレイの並びの約10.0mm幅に倍の密度で搭載されており、以下図-2-1-1に示す様に右の32CH版のセンサアレイは左の16CH版のセンサアレイに比較すると二倍の空間解像度が得られており波形がなめらかに表されている事が解る。

以下の図-2-1-1の波形は研究サブテーマ【3-1】にてIGBT試験用検査装置のテストヘッド内に装着して実測したものである。

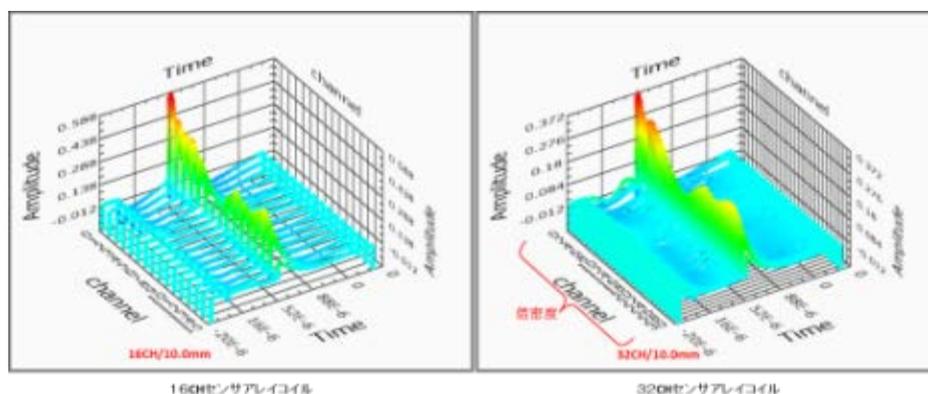


図-2-1-1: センサアレイモジュール(16CH, 32CH)信号解像度比較

特性仕様に関しては未だ業界に例が無い為に、多分にトライアル的な意味を含めた自主目標としている。今後、信号帯域、感度、S/N比など最適化を図ることにより消費電流の低減を図ると共にチャンネルばらつき低減を目指す予定である。また、センサコイル密度を向上した高解像度型センサ開発は、先に説明したフィルタアンプ回路の専用IC化による更なる小型化が必要となると思われる。

以下写真2-1-2は研究サブテーマ【1-1】で開発したマイクロフィルムコイルを用途向けに最適化し積層アレイ化したセンサアレイコイル(16CH版)であり、製作に当たっては各コイルの位置合わせ相対精度として20μm以下を確保した。なお、32CH版の作成に当たっては、コイル基板積層接着する際に接着層(スペーサ)を薄くすることで対応した。

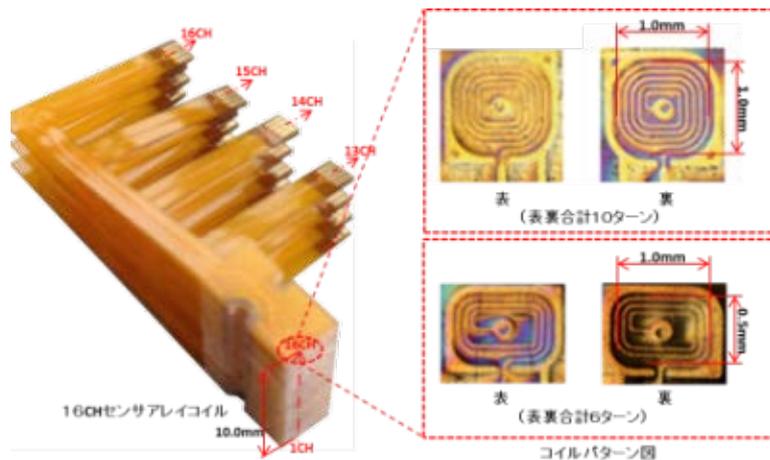


写真-2-1-2: センサレイコイル構造(16CH 例)

写真-2-1-3 は先のセンサレイコイルと共にセンサレイモジュール筐体内に組み込む今回試作したフィルタアンプ回路を示している。

研究サブテーマ【1-2】で開発されたマイクロコイル向け専用フィルタアンプ回路を更に帯域特性を見直し¹¹ (低域: 300Hz⇒10KHz, 高域: 200MHz⇒100MHz) 4 回路を 43.3mm×29.7mm の大きさに搭載する構成で設計されている。16CH版はこの基板が4枚搭載され、32CH版は8枚搭載される。基板からの信号出力とフィルタアンプ回路への電源供給は40芯の極細同軸ケーブルで行われる。

この同軸ケーブルは写真-2-1 で説明したケーブル変換ボードに接続される。

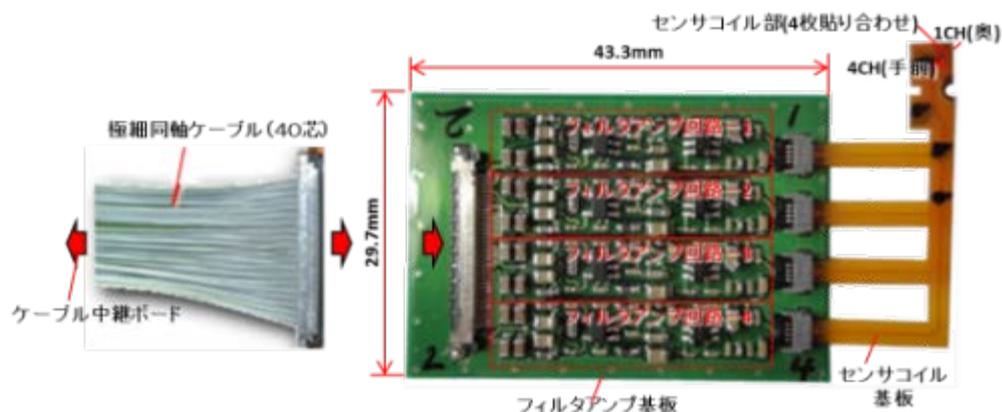


写真-2-1-3: センサレイモジュールフィルタアンプ基板構造

センサレイモジュールにはセンサレイコイルの出力特性を補正する為の複数の非常に繊細なフィルタリング特性と非常に高い増幅率のフィルタアンプ回路が搭載されている。この事は研究テーマ【3】で見る様に検査装置周囲の磁界ノイズが直接、これらフィルタアンプ回路に影響を及ぼす事を意味し、磁界対策が必要である。写真-2-1-1 に示す様に、フィルタアンプ部はパーマロイによる磁気シールドケース内に納められる。

研究サブテーマ【3-1】で製作したテストヘッド内部は、デバイス試験の為の電源供給電極などの構造により、センサレイモジュールのセンサコイル部は周囲からの各種電磁界ノイズに曝されることになる。

これらの条件を考慮し、周囲磁界ノイズキャンセルの方式を図-2-1-4 に示す。

図-2-1-4 の右から二番目の例が前述の周囲磁界ノイズをキャンセルする方法であり、下段のコイルの信号から上段のコイルの信号出力を差し引くことにより実現する。(特許申請中①特願)

¹¹ 帯域特性見直し: 電流プローブ用途と異なりセンサレイは信号リアリティは強く求められず、回路の小型化と高 S/N 比、低消費電力が優先される。

また、検出電流磁界のばらつきは周囲磁界ノイズにより引き起こされるだけでなく、図-2-1-4に示す様に、IGBT デバイスの構造により、ボンディング箇所が千鳥配置される場合が有り、ボンディングワイヤの屈曲部分の頂点の位置がずれる場合が有る。この場合、図-2-1-4の左から二番目の例や右端の例の様に、ボンディングワイヤ頂点方向（Y 軸方向）に数個のコイルを併設し、その結果の総合演算を行う事によりボンディングワイヤ磁界面の電流磁界変化の詳細情報を取得可能となる。（特許申請中①特願）

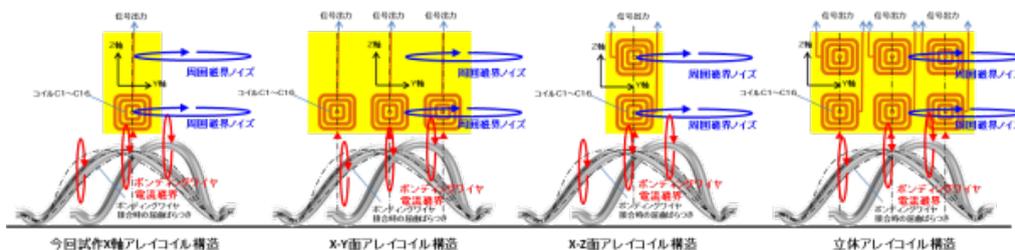


図-2-1-4: アレイコイル構造の工夫と周囲磁界ノイズキャンセル

以上の施策を行ったセンサレイモジュールの出力信号を次の研究サブテーマ【2-2】の数学演算処理にて補正、判定を行う。

【2】-2 高度数学演算による GO/NO GO 判定技術の確立

(株)豊光社, (株)シーディエヌ, 九州工業大学, (公財)アジア成長研究所

図-2-2-1に示す様に IGBT デバイスのボンディングワイヤの電流磁界を数学演算解析するためには、その複雑な構造体から発生する色々な磁界の特性を予め十分に理解しておくことが非常に重要である。本研究に当たって(株)シーディエヌでは研究サブテーマ【3-1】のテストヘッド内の周囲磁界ノイズ調査を元に立体的電磁界シミュレーション手法を構築した。

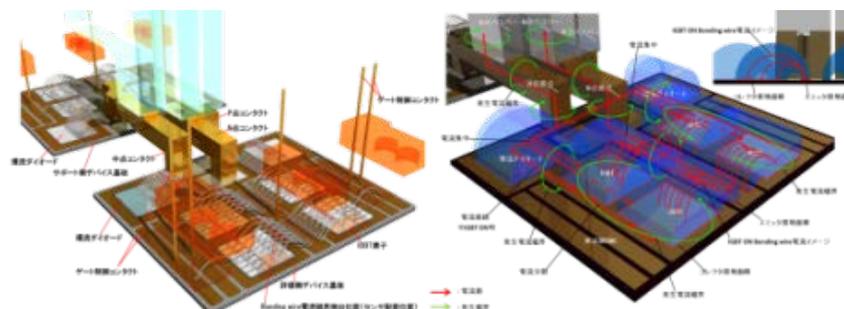


図-2-2-1: IGBT デバイス検査における電流磁界影響

電磁界シミュレーションによる解析のテクニックにより図-2-2-2に示す様な各 IGBT デバイス上に渡されたボンディングワイヤ一点のコイルに対する影響の分析を行った。

図の例ではボンディングワイヤ影響だけでなく、IGBT デバイス表面の配線パターン及びテストヘッド内の試験電源端子の電流磁界影響も反映されている。

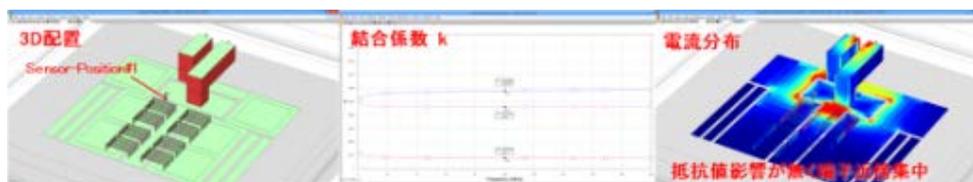


図-2-2-2: IGBT ボンディングワイヤ他電流磁界影響シミュレーション

次に電流磁界分布解析装置内で実行される数学演算処理関連の説明を行う。図-2-2-3にセンサレイモジュールの検出信号波形の例を示す。

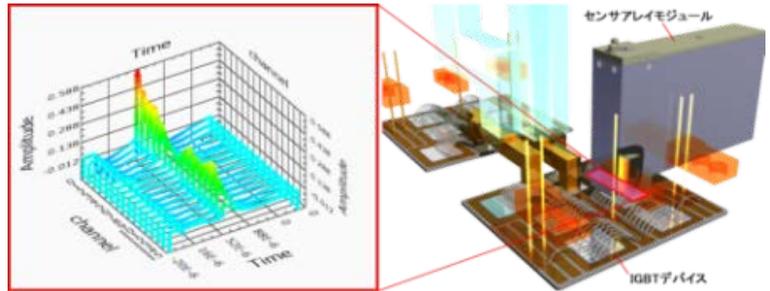


図-2-2-3：センサアレイモジュールによる検出波形

これら各チャンネルの出力信号に対して以下の表-2-2-1 に示す処理を行う。
以下の処理内容は総て特許化した。

機能名	機能内容
①周波数成分補正	センサアレイの各チャンネルの出力特性の補正を行う機能。 補正は予め基準波形にキャリブレーションを行った補正パラメータを用い、各チャンネル独立に補正式を用い補正する。
②周囲磁界軽減演算	16 CH のセンサアレイ波形出力に対して空間的アレイ配列上で目的センサコイル出力値と近傍センサアレイコイルの信号値で線形補完を行いなだらかな変化波形を成形する。
③GO/NO GO 判定	今回計測した波形パターンと基準パターンの時空間パターン（面磁界）差分を取り、時間軸上に対しては上記特徴点マーキングで選択した積分計算区間で積分し、空間軸上（センサチャンネル方向）に積分し、基準パターンの標準偏差値を用いて良否判定を行う機能。

表-2-2-1：電流磁界分布解析処理概略機能リスト

以下図-2-2-4 は表-2-2-1 に示す、GO/NO GO 判定に関するボンディングワイヤ電磁界面解析の概念を示す図である。（周囲磁界ノイズ影響は含まず。）

図の左半分は正常なボンディングワイヤの時空間面磁界波形であり、一方右半分はボンディングワイヤに何らかの接合不良が発生した場合の例を示している。ボンディングワイヤに接合不良が発生すると、接触抵抗値の増大あるいは完全な切断により、時空間面磁界に信号遅延による歪みや、電流磁界信号低下によるくぼみが生じる。本研究の判定アルゴリズムではこの「くぼみ量」や「集中度」を、正常信号の例と比較し、判定する処理を行う。（特許申請中②特願）

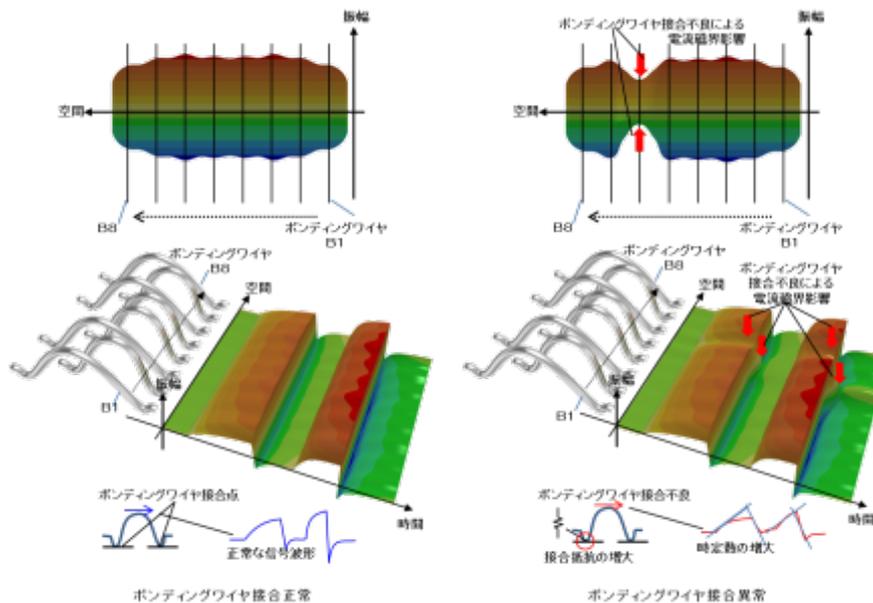


図-2-2-4：ボンディングワイヤ面磁界の異常

[3] パワーデバイスの電流自動計測装置の開発

写真-3-1 が今回研究開発で試作した IGBT 試験用検査装置である。



写真-3-1: IGBT 試験用検査装置(電流磁界分布解析システム組み込み)

半導体検査装置は、研究メンバーであるコペル電子(株)の IGBT 等パワーデバイスの検査装置で有り、今回研究用途向けにデバイスのロボットハンドラなど省略して開発した簡易型検査装置として開発されたものである。テストヘッドは次の研究サブテーマ【3-1】で説明する IGBT モジュールのデバイスに電源や制御信号を供給するためのコンタクトピンを装備し、センサアレイモジュールを搭載する。

ケーブル変換ボード及び電流磁界分布解析装置は既に研究テーマ【2】で説明した研究開発システムである。

以下表-3-1 が性能確認項目で有り、本研究テーマでの確認項目は「判定精度」と「判定時間」である。

生産ラインにおいて次に重要である項目は「判定時間」である。現在判定処理はセンサ出力総合判定法を用いており、当初予定の 10 秒以内を達成出来ている。

項目	仕様	備考
基本測定機能	コペル電子(株)仕様による	基本的な IGBT デバイスのスイッチング特性試験性能(入力パルス、負荷特性、負荷電圧、負荷電流精度など)は、半導体製品メーカーの要求性能に対するコペル電子(株)の製品仕様に従う。また基本的な試験時間は半導体製品メーカーの試験仕様に依存する。
電流磁界分布解析判定性能(電流磁界分布解析システム付加事項)		
判定確度	90%以上(目標値)	(現在確認中)不良条件設定に依存 *正常パターン学習個数 25 個
判定時間	10sec 以内(16CH 版)	判定処理:センサ出力総合判定法

表-3-1 : IGBT 試験用検査装置電流磁界分布検出性能

[3]-1 高電圧・大電流実測時のテストヘッドの開発

(株)豊光社, コペル電子(株), 九州工業大学, (公財)アジア成長研究所

写真-3-1-1 が今回試作した IGBT 検査用テストヘッドである。



写真-3-1-1: テストヘッド外観

IGBT を搭載する簡易試料ステージは今回は研究用とである為、四隅を蝶ねじで締め付けるタイプの簡易ステージとした。テストヘッド自体は各 IGBT のスペックに合わせて個別に製作されるもので有り、写真-3-1 の左側の半導体検査装置の□印部分に装着される。

写真-3-1-2 の左側の写真は写真-3-1-1 の左側写真の簡易試料ステージを取り外した状態である。右側写真がその内部を拡大したもので有り、今回研究サブテーマ【2-1】で試作したセンサアレイモジュールを搭載するアームを合計6本搭載出来る様に改造を施している。また、このアームは X-Y-Z 軸上に数ミリ移動可能なバーニア機構を備えており、センサアレイモジュールのセンサコイルが IGBT デバイスのボンディングワイヤの電流磁界計測に最適な位置となる様微調整可能な構造となっている。

被検体となる IGBT デバイスは簡易試料ステージに下向きに取り付けられ電源コンタクトや制御コンタクトがデバイスの所定の電極面に接触する様に取り付けられる。

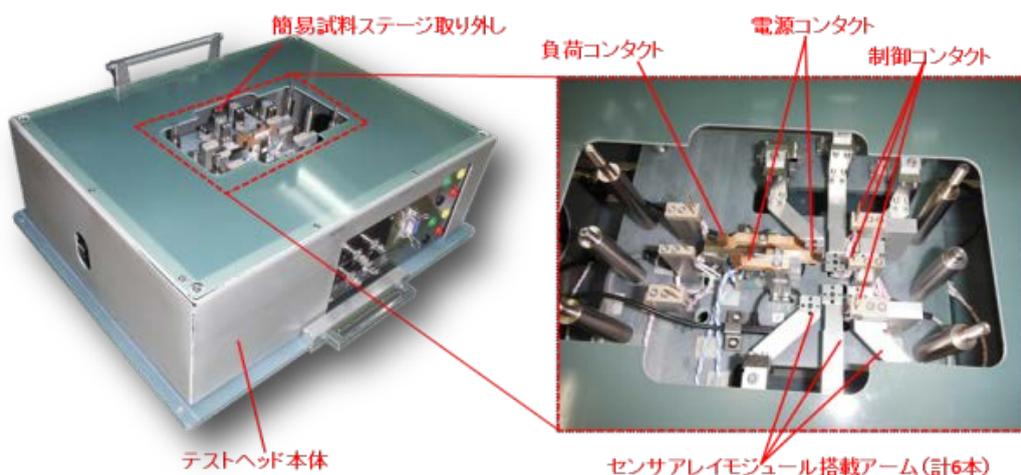
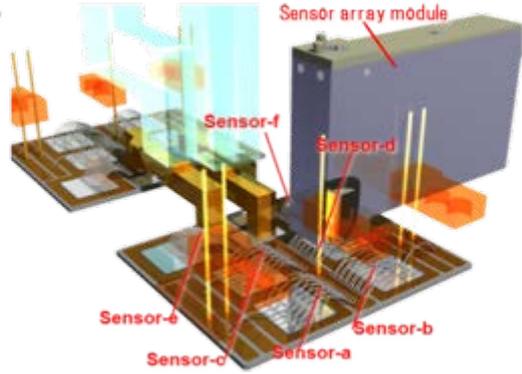


写真-3-1-2: テストヘッド端子アセンブリ

写真 3-1-3 の左はテストヘッドアセンブリ内にセンサアレイモジュール (16CH 版) を搭載した写真であり、右の図は写真-3-1-1 左の簡易試料ステージに IGBT モジュールを搭載し写真-3-1-3の左写真のテストヘッドアセンブリに倒立で接触した場合の IGBT デバイスボンディングワイヤとセンサアレイモジュールの位置関係を示すものである。



テストヘッドアセンブリ搭載(実際)

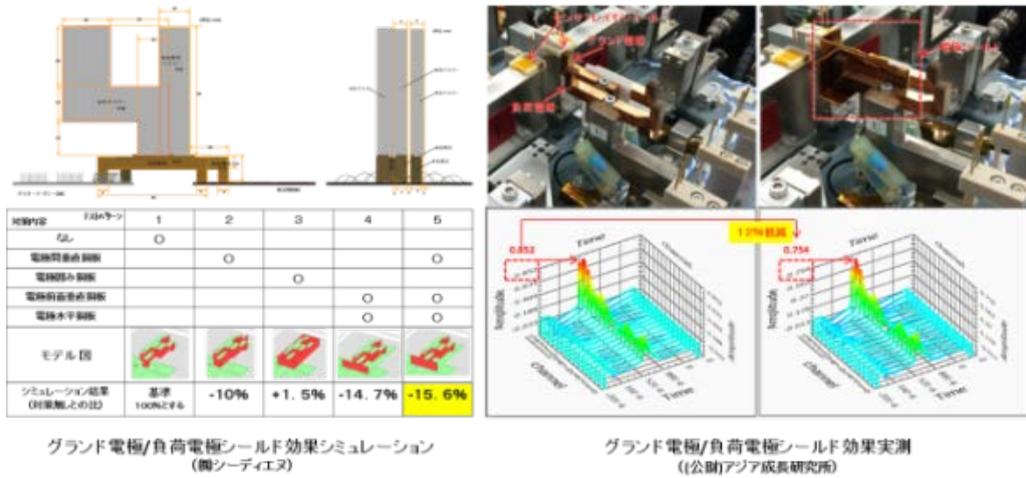


IGBTデバイスとセンサアレイモジュール位置関係

写真-3-1-3 : センサアレイモジュールとIGBTデバイス位置関係

以下図-3-1-1 は試験時 IGBT デバイスに対して電源供給と負荷接続を行う電極に対する電流磁界影響軽減の為の銅板による渦電流損を期待したシールド施工の対策例を示している。左の図は、研究メンバーである(株)シーディエヌが、先の研究サブテーマ【2-2】で紹介した磁界影響シミュレーションの手法を用いて電極構造を模擬し、センサアレイモジュール位置のセンサコイルに対する磁界影響とシールド効果のシミュレーションを行ったものである。一方右の写真と測定グラフは実際に(公財)アジア成長研究所が電流磁界分布解析システムを用いて磁界軽減度合いを実測したもので有る。

両者を比べるとシールド形状による効果が非常に近い数値で有り、この事は、今後の周囲磁界影響対策は、現物装置に対して直接加工を行う前に、シミュレーションにより予めシールド効果を確認してからの施工が可能である事を意味しており、コペル電子(株)の他の半導体検査装置への電流磁界分布解析システムを導入する場合の事前検討に有益である事が解る。



グラウンド電極/負荷電極シールド効果シミュレーション
(株)シーディエヌ

グラウンド電極/負荷電極シールド効果実測
(公財)アジア成長研究所

図-3-1-1 : テストヘッドに対するシールド施工効果確認

図 3-2-3 はダミーサンプル（2ワイヤ）の IGBT デバイスに対して、センサレイモジュールの取付位置の Z 軸（図-2-1-4 の右から 2 番目の上下コイルの様な構造を想定）方向にセンサ位置を偏位させて電流磁界を測定し、ボンディングワイヤ近傍位置と偏位位置との間で差分を取り、周囲磁界ノイズの影響を取り除いた例である。

差分を取る事によりボンディングワイヤの並びが鮮明に現れていることが解る。

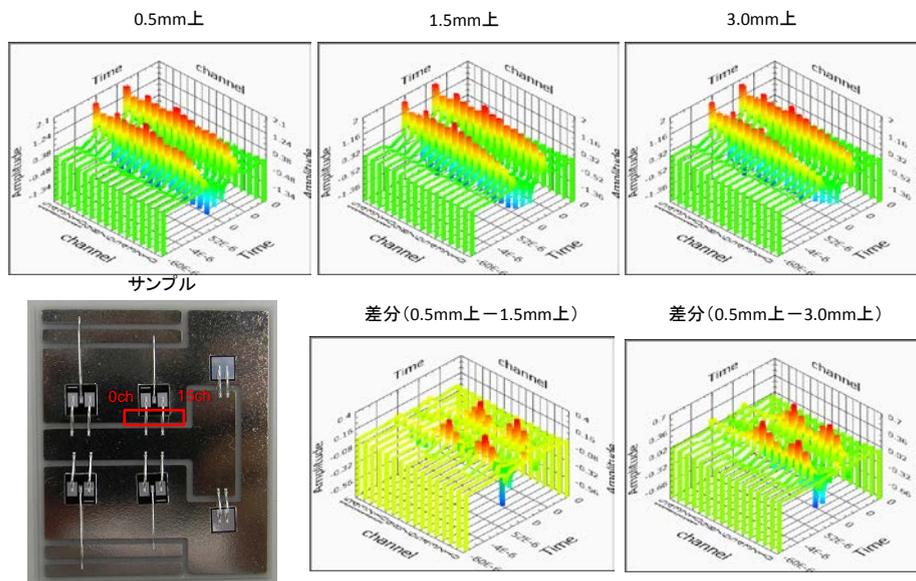


図-3-2-3: 電流磁界波形と差分波形(2 ボンディングワイヤ)

表-3-2-1 は同じくダミーサンプル（4ワイヤ）を用いて正常品（25個）を用いて偏差値を求め、次にそのサンプルに対して人為的に障害を起こし、同じく検査実行した結果である。

以下の試験により、障害特有の波形パターンを観測する事が出来た。

サンプル		障害設定内容	確認結果
標準	正常 (25サンプル作成)	標準製品サンプル (障害無し)	ばらつきの偏差が大きい ⇒ 標準偏差調整の必要性有り
	ワイヤ異常折り曲げ (4サンプル作成)	ボンディングワイヤを流れる電流がばらついた場合、または外観不良を仮定	ワイヤ密度が低い程信号信号レベル低下確認
異常	ワイヤ切断 (2サンプル作成)	ボンディングワイヤの超音波接合部に異常があった場合を仮定	断線部のレベル低下確認
	ゲート遅延 (2サンプル作成)	IGBTチップのゲート特性バラツキまたは外部抵抗の製品バラツキによる、入力信号のバラツキを仮定	ミラー期間中に電流ばらつき現象発生確認

表-3-2-1: 電流分布を測定したサンプルとその結果まとめ

図-2-2-4 が正常品 25 サンプルと異常品の検査結果のプロットである。

今回正常品と仮定した中にも手作りサンプルの性かボンディングばらつきの大きなものが混在し、判定閾値設定には苦慮した。

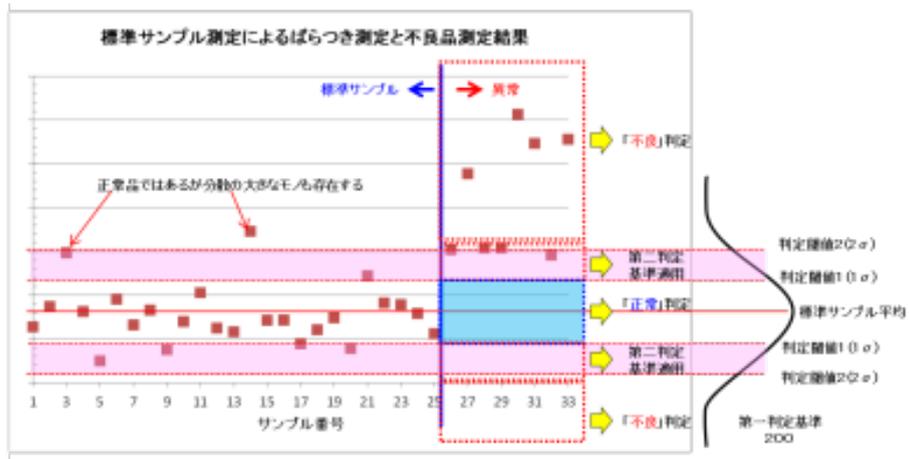


図-2-2-4：判定閾値設定と判定効果の評価

図-3-2-5 は上記判定値を用いて実際に GO/NO GO 判定を行った結果の表示例である。

画面では判定閾値として70% (50%±20%:およそ2σ)を設定しているが、図-3-2-5の左の図は判定が62%程度でGO (正常)と判断されている。一方右図では、120%であり、NO GO (不良)と判断されている。

以下のソフトウェア処理の「第一判定基準」を用いて実測結果10秒以内の判定が実現出来ている事が確認できた。

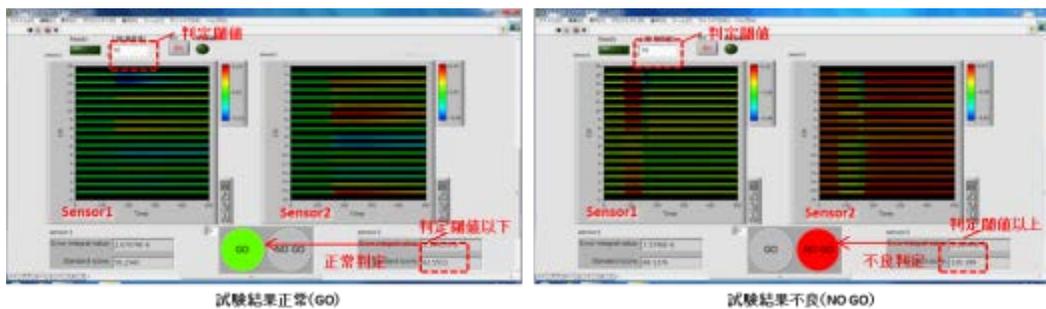


図-3-2-5：GO/NO GO 判定画面

第3章 プロジェクトの運営管理

[1] 推進委員会運営

平成24年度第1回推進委員会

日時：平成24年12月20日 15:00～16:45

場所：学研都市ひびきの 産学連携センター

参加人数：18名

議題：

- ・研究開発者紹介
- ・研究開発ポイント確認
- ・設備導入状況報告
- ・今後の日程確認

平成24年度第2回推進委員会

日時：平成25年2月22日 10:00～11:30

場所：神奈川県厚木市 コペル電子株式会社

参加人数：13名

議題：

- ・研究開発現場視察
- ・IGBT試験用検査装置視察（研究開発向け設備製作）
- ・進捗状況報告
- ・今後の日程確認

平成25年度第1回推進委員会

日時：平成25年8月27日（火）16:00～17:30

場所：会議場 宮崎県宮崎市錦町1-10 KITEN ビル8階
コンベンションホール 大会議室A

見学 宮崎県宮崎市大坪東1-18-22

株式会社シーディエヌ 本社事業場

参加人数：23名

議題：

- ・研究開発現場視察
- ・マイクロフィルムセンサ特性評価装置視察（研究開発向け設備製作）
- ・三次元電磁界シミュレーション・ソフトウェア視察（研究開発向け設備製作）
- ・進捗状況報告
- ・今後の日程確認

平成25年度第2回推進委員会

日時：平成26年1月30日（木）13:00～14:30

場所：会議場 福岡県北九州市若松区ひびきの1-8

FAIS 事業課支援センター [4号館] 2F 中会議室

見学 福岡県北九州市若松区ひびきの1-8

FAIS 事業課支援センター [4号館] 1F101 実験室

参加人数：15名

議題：

- ・IGBT試験用検査装置と検査ソフトウェアアルゴリズム動作披露

- ・センサアレイモジュール一次試作内容・成果報告
- ・検査・判定ソフトウェア・アルゴリズム（初版）開発状況報告
- ・今後の日程確認

平成26年度第1回推進委員会

日時：平成26年8月26日（火）13：55～15：55

場所：会議場 福岡県北九州市若松区ひびきの1-3
FAIS 学術情報センター 遠隔講義室2

参加人数：20名

議題：

- ・センサアレイモジュール二次試作内容報告
- ・検査・判定ソフトウェア・アルゴリズム（第二版）開発状況報告
- ・超小型電流プローブ一次試作内容報告
- ・今後の日程確認

平成26年度第2回推進委員会

日時：平成27年2月5日（木）15：00～17：00

場所：会議場 福岡県北九州市若松区ひびきの1-3
FAIS 学術情報センター 遠隔講義室2

参加人数：19名

議題：

- ・センサアレイモジュール三次試作成果報告
- ・検査・判定ソフトウェア・アルゴリズム（第三版）成果報告
- ・超小型電流プローブ二次試作成果報告
- ・申請特許内容・申請完了報告（二件）
- ・通年研究開発総評（大村 SL）

第4章 今後の課題

[1] 今後の事業化課題・事業化展開

1. 今後の事業化課題

1) センサアレイモジュール

(1) センサアレイコイル高精度製造方法の確立

- ・ センサアレイコイル積層精度向上

- *自動位置出しによる高精度貼り合わせ工程の確立

(2) フィルタアンプ回路特性安定化設計

- ・ フィルタアンプ回路特性ばらつきを軽減

- *備品選別により更にばらつきの安定化、温度上昇軽減を目指す。

- *更なる小型化の為 IC 化も視野に入れる。

(3) センサアレイモジュールの規格化

- ・ デバイス・サイズに合わせたセンサアレイ規格化

- *市場の IGBT デバイスのサイズにマッチしたセンサアレイ配列面規格化
(製品ラインアップ化整理)

- *アンプ回路の小型化により筐体全体の外形規格化

2) 半導体 (IGBT) 試験用検査装置 (上記センサアレイモジュールを組み込んだ装置)

(1) 検査装置構造と検査対象物構造に合わせたカスタマイズ

- ・ テストヘッド構造に合わせた構造合わせ込み

- *今後のセンサアレイモジュール規格化に合わせた、モジュール搭載方法規格化

(2) 検査装置の磁界ノイズ発生源に対するシールド対策

- ・ 検査装置個別の機構構造のシールド規格化

- *コペル電子(株)製品の既存の規格を損ねない範囲での本体装置の磁界ノイズ対策

(3) GO/NOGO 判定の実機評価・調整と判定高度化

- ・ 開発した判定方式の判定精度確認

- *従来の判定内容と今回判定方式の並行試験により正常範囲と不良判定範囲の整合調整の実施

- ・ 更なる高度化判定の盛り込み

- *高度な画像処理技術を応用し、面磁界判定の柔軟性、更なる精度向上、製造ラインにおける検査閾値設定メンテナンス性向上

3) 超小型電流プローブ

(1) センサ先端部の高圧安全性規格対応

- ・ 高圧部に近接測定する関係上安全規格に対応

- *先端部コイル構造含め高圧規格対応

2. 事業化展開

センサアレイモジュールを応用した検査装置での電力用半導体デバイスのボンディングワイヤ電流磁界分布解析手法及び仕組みの商品化の目処が付いた。

またマイクロフィルムコイルと専用の高性能フィルタアンプの組み合わせによる非接触、非破壊電流計測用プローブの試作も完了し、商品としての有用性の確認も出来た。

今後は、安定した量産製造及び検査・調整工程の確率とフィルタアンプ回路の回路定数見直しと部品精度見直しによる製造歩留まり向上を行うと共に、国内外の展示会等には積極的に出展し、広く新規顧客開拓を模索したい。

更に、検査ソフトウェア・アルゴリズムも更なる判定高度化を模索し、検査時間短縮、精度向上、メンテナンス性向上を追求して行く。

また、新技術開発内容は積極的に知財化、標準化を図って行く。



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。