



次世代パワーエレクトロニクス

どこでもパワエレ機器で豊かな省エネ社会

超スマート社会の電力を、パワエレ技術が支える

私たちが望む未来像の一つに「自然環境と、快適で便利な生活が共存する社会」があるだろう。家電製品から電車まで、さまざまな電子機器の省エネ化を実現してきたパワーエレクトロニクスは、そのような未来をつくるキーテクノロジーだ。今後も世界のパワーエレクトロニクス市場は大きく成長する。世界に先駆けて次世代パワーエレクトロニクスの技術開発を行うことで、日本の産業競争力を高め、豊かな省エネ社会の実現に貢献していく。



プログラムディレクター

大森 達夫

三菱電機株式会社
開発本部 主席技監

Profile

1980年東京大学工学系研究科修士課程修了。同年三菱電機株式会社中央研究所に入社。2003年同社、先端技術総合研究所、先進デバイス技術部長、05年SiCデバイス開発プロジェクト長、10年パワーデバイス製作所副所長、13年開発本部役員技監、16年開発本部主席技監。

研究開発テーマ

I. SiCに関する拠点型共通基盤技術開発

SiC(炭化ケイ素)パワーエレクトロニクスの基盤技術を強化するため、産学連携の研究開発拠点を構築し、次世代SiCウエハ、デバイス、モジュールの高耐圧化、小型化、低損失化を信頼性の確保とともに実現することを可能とする技術開発と、関連研究者の人材育成を行う。

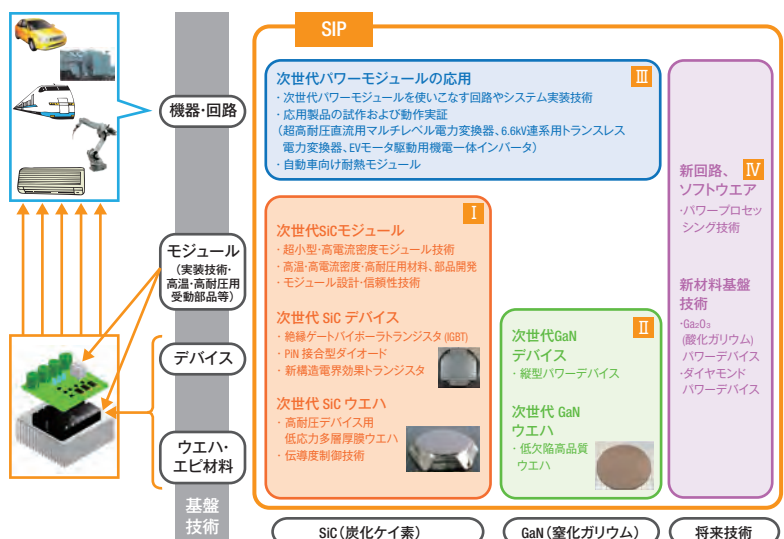
II. GaNに関する拠点型共通基盤技術開発

GaN(窒化ガリウム)パワーエレクトロニクスの基盤技術を強化するため、産学官連携の研究開発拠点を構築し、低欠陥で、パワーデバイスに供する次世代GaNウエハ製造技術、およびGaN縦型パワーデバイスの技術開発を行う。

III. 次世代パワーモジュールの応用に関する基盤研究開発

次世代パワーモジュールの使いこなしを進め、活用を広げるために、高効率・高性能電力変換システムや、高パワー密度・高効率モータ駆動システム等を実現するためのシステム実装技術を開発する。シミュレーション技術等によるパワーモジュールと上記システムとの効率的な集積化や、応用製品の試作も行う。

●次世代パワーエレクトロニクスの研究開発概念図



IV. 将来のパワーエレクトロニクスを支える基盤研究開発

SiCやGaNを超える高性能なパワーデバイスの実現のため、Ga₂O₃(酸化ガリウム)やダイヤモンド等の新材料の開拓、および従来のパワーエレクトロニクスを超える基盤技術を支える新構造、新回路の開発等、革新的な性能向上につながる研究を行い、10~15年後の実用化を目指す。

✓ 戦略の検討・策定

将来（2030年）目指すべき社会に向けて、パワーエレクトロニクス技術の新たな用途拡大や社会実装に向けた活動等の戦略を検討・策定し、パワーエレクトロニクスによる新たな産業・市場の創出を行う。これに合わせた知財／標準化戦略も実現する。また、新たな市場の開拓をはかるため、将来（2030年）の社会像と、この社会実現に必要なアプリケーションを創造し、その要求性能からバックキャストして、最終製品から部材まで一貫通貫の技術階層のロードマップを策定することを目指して、NEDO調査事業を活用している。

✓ 試作機による要求性能の実証

バックキャストした性能・仕様を満足できる技術が開発できたことを、機器の試作により、性能・品質・生産性での優位性を具体的に示して産業界での製品化開発を推進する。

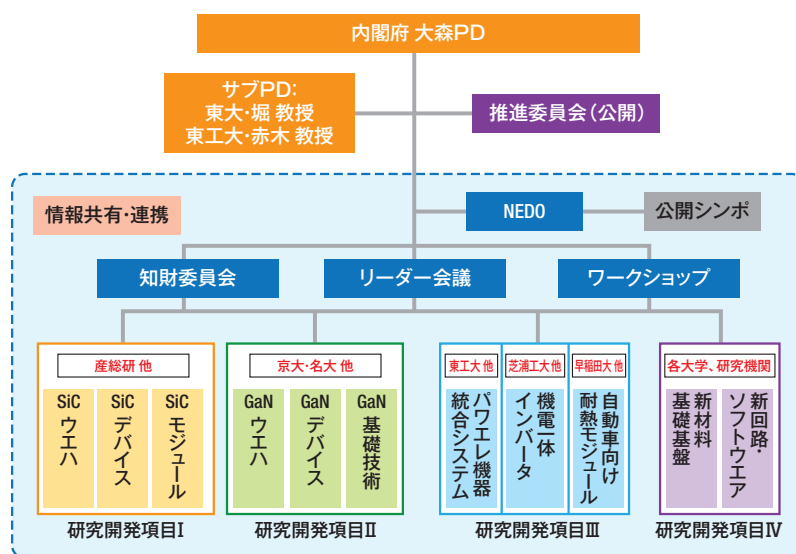
✓ 成果普及に向けた活動

標準化をはじめとした成果普及に向けた活動を行う。また、構成部材の性能評価に最適な標準的試験方法等を検討し、標準化を推進する。各部品・材料の性能認証制度の検討を進める。関連する技術開発のためのコンソーシアムを形成し、成果普及のための活動として活用していく。

実施体制

プログラムディレクター（PD）、内閣府のもと、関係府省、専門家等が参加する推進委員会を設置。NEDOも活用し、NEDOはJSTの協力も得て、研究主体の選定、PDや推進委員会の補佐を行う。

その下に知財委員会、リーダー会議、ワークショップを設置。公開シンポジウム等を除いてクローズドとし、この中で横同士が交流・連携してオープンに議論を行える仕組みを設けた。材料評価についてはSIPとは別に産総研や大学と連携し、関係する組織全体で議論できるようにしている。

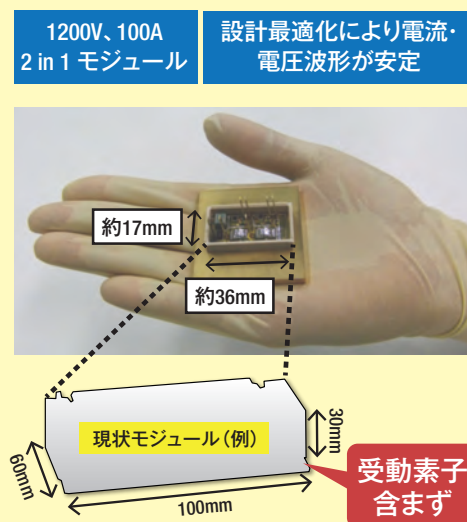


これまでの成果

一部技術は信頼性試験開始

SiC（炭化ケイ素）を用いたパワエレ機器は、すでに一部で製品化も始まっているが、SiCの性能は、まだまだ引き出せる。ウエハでは、二種類の不純物を添加するコープ技術により、現状の半分以下の低抵抗・高品質化を達成した。デバイスでは、高電流密度動作時の通電劣化メカニズムを解明し、安定に高電流密度動作や同期整流できる技術を開発し、従来必要であったモジュールの並列ダイオードを不要にして、主回路の簡略化、モジュールの小型化、低コスト化の目処を得た。モジュールでは、高温動作、高周波動作可能な受動素子を開発し、信頼性試験が順調に完了し、従来のモジュールの約1/3まで小型化できた次世代SiC高温・高速モジュールの試作品が完成し、信頼性試験を開始した。（右図）機器・回路では、工場内の大型電力変換器からトランスを無くして従来の1/4まで小型化や高効率化できる、6.6kV連系用トランスレス電力変換器のミニモデルが完成し、最終年度の模擬系統連系実証試験に向けた試験を重ねているなど、技術開発は全体に前倒しで進捗している。

● 受動素子内蔵型モジュール



シリコンに代わる新材料技術の開発を推進

家電製品から電車まで、多様な電子機器の省エネ化を実現してきたパワーエレクトロニクス。日本に強みがあるこの領域を強化するため、SIPではSi(シリコン)に代わる新材料技術の開発を推進し、着実な成果を上げている。

■ 実用化され始めたSiCデバイス

豊かな省エネ生活を実現させるキーテクノロジーである、次世代パワーエレクトロニクス。このプログラムを統括する大森達夫氏は、この3年間に次のように振り返る。

「本格的な産学官連携は日本初の試みであり、当初は大学と企業の『言葉の壁』もあって、意思疎通もなかなかスムーズにいきませんでした。しかし、顔を突き合わせた議論を重ね、現在は共通の方向を向くことができています。また、大学側にも明確な結果を求めたことで、アイデアが生まれやすくなり、研究開発は着実に前進しています。」

スタートから4年目に入った現在の成果について、領域ごとに見ていこう。

次世代材料であるSiC(炭化ケイ素)を用いた、より小型で高性能なパワーエレクトロニクス製品は、すでに一部で製品化も始まっているが、SiCの性能はまだまだ引き出せる。次世代SiCパワーデバイスでは、高電流密度動作時に課題になる通電劣化のメカニズムを解明し、高電流動作や同期整流動作

の目処を得た。また、高耐圧デバイスをベースに開発している受動素子を組み込んだSiC高速モジュールも、従来の約1/3までの小型化を実現でき、信頼性評価に着手し、2020年頃の実用化を目指していく。工場等で用いる6.6kVトランスレス電力変換器については、ミニモデル試作が完了して基本動作を検証しており、最終年度のシステム実証を目指す。

■ 次世代材料GaNも実証実験段階へ

さらに次の世代の材料であるGaN(窒化ガリウム)については、GaN高品質ウエハ開発とともに縦型パワーデバイスとしての基盤技術の芽が生まれてきている。さらに安定的・効率的な動作の実現に向け、現在、デバイスプロセス開発を進めている。

「GaNウエハの高品質化の基本技術も固まり、縦型パワーデバイスも可能性検証から高性能化に目標を上げ、全体に前倒しました。」

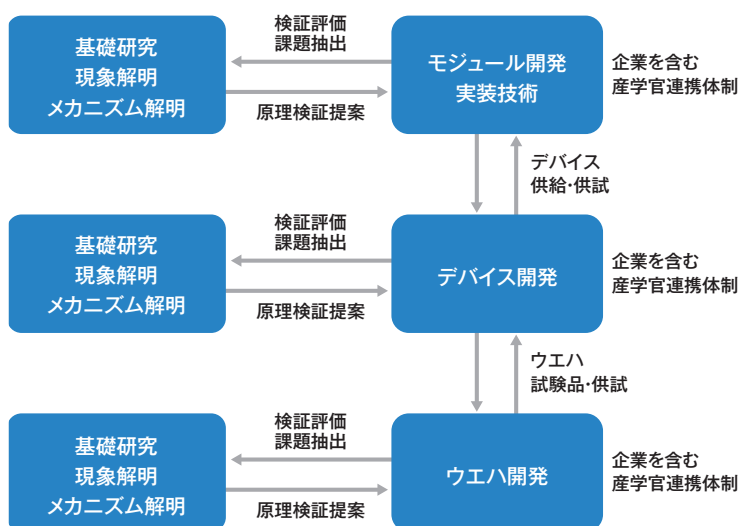
将来技術に向けては、Ga₂O₃(酸化ガリウム)やダイヤモンドなど新材料を用いたパワーエレクトロニクス技術において、実用化に必要な課題の明確化により、超高耐圧で低損失なパワー

デバイスの実現を目指している。また、従来のパワーエレクトロニクスを超える基盤技術を支える新構造、新回路の開発等、革新的な性能向上につながる研究により、有限の電源を前提とした電力の演算が可能となるパワープロセッシング技術の実現につながり、パワーエレクトロニクスの用途は大きく広がるだろう。これらの領域の実用化は2030年頃となると考えられる。

■ 省エネ技術で超スマート社会を支える

4年目に入るにあたっては、内容や体制等の見直しを実施した。残り2年という時間軸での

● SiCに関する拠点型共通基盤技術開発研究体制概念図





出口戦略から、サブPDを二名に増員して両輪で進める体制に仕上がった。

また、自動車用向け耐熱モジュールテーマを、進捗に合わせて次世代SiC共通基盤技術開発の項目Iから次世代モジュール応用の項目IIIに移管した。

運営体制面では、ワークショップの他、異なる分野の研究者と議論できる場や、大学・産総研と連携するコンソーシアムの組織を設け、実証、評価などの議論を広く行えるようにしている。

人材育成については、若手研究者にパワーエレクトロニクスデバイスを作製して動かす機会を与えようと、実技講習会や大学での講座をNEDOとともにやっている。

今後の「Society 5.0」においても、パワーエレクトロニクスの

貢献は期待される。

「ビッグデータを活用した超スマート社会が近づいていますが、情報処理後の機器駆動には必ず電力の問題が付随します。データセンターへのパワーエレクトロニクスの導入だけでなく、次世代パワープロセッシング技術が活用できれば、電力損失のさらなる大きな低減につながる可能性もあるでしょう。」

また、日本では家電の省エネは進んでいるが、世界的にはまだパワーエレクトロニクスの貢献できる余地は大きい。安く高性能なパワーエレクトロニクス機器の適用範囲を広げることで、SiCデバイスやモジュールだけで数千億円とも言われる市場で優位性を獲得すると同時に、世界のエネルギー問題を解決する一助としていく。

今後の予定

最終年度に向け、自動車の機電一体インホイールモータ用途のSiCモジュールの実証実験を行い、製品化まで実現させる。また、6.6kVトランスレス電力変換器の模擬系統連系の実証実験を完了させる。あわせて高品質なGaNウエハをベースとした縦型デバイスの高度化や、新材料技術、新構造・新回路技術の開発も進めていく。

| 年度 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-------------------------------|---------------|----------|-----------------------|--------|-------|
| I. SiCに関する拠点型共通基盤技術開発 | 要素技術開発 | 連携要素技術開発 | | 応用技術開発 | プロト実証 |
| II. GaNに関する拠点型共通基盤技術開発 | 研究開発環境整備 | 要素技術開発 | | 応用技術開発 | プロト実証 |
| III. 次世代パワーモジュールの応用に関する基盤研究開発 | 研究開発環境整備 | 要素技術開発 | | 応用技術開発 | プロト実証 |
| IV. 将来のパワーエレクトロニクスを支える基盤研究開発 | 技術検証と必要要素技術開発 | 絞り込み | 技術実証への体制と課題の および設定 | 技術実証開発 | |

小型で高性能なパワエレ機器を開発し、グローバル市場で優位に立つと同時に、エネルギー問題の解決につなげていきます。

