

## 平成22年度実施方針

電子・情報技術開発部

## 1. 件名

プログラム名： ITイノベーションプログラム/  
エネルギーイノベーションプログラム  
(大項目) 次世代パワーエレクトロニクス技術開発(グリーンITプロジェクト)

## 2. 根拠法

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第1号ハ

## 3. 背景及び目的・目標

### (1) 背景及び目的

地球温暖化問題は、世界全体で早急に取り組むべき最重要課題であり、経済・社会活動と地球環境の調和を実現するためには、画期的な技術革新が求められている。ブロードバンドの普及、IT機器の高度化・設置台数の急激な増加に伴い、社会で扱う情報量は増大傾向にある。IT機器が消費する電力も膨大な量が見込まれ、省エネルギー化が重要な課題となっている。本プロジェクトでは、データセンタやその電力源としての分散型太陽光発電システムにおける交流・直流変換等、電力制御に用いられているパワーデバイスを、従来のシリコンに代わり、より低損失かつ高耐電圧であるシリコンカーバイド(SiC)を用いたものとする技術開発を行うとともに、システムレベルでの実証を行う。これにより電源で発生するエネルギー損失を飛躍的に削減する技術を平成24年度末までに確立し、我が国の関連産業の国際競争力強化と省エネルギーに資することを目的にITイノベーションプログラム及びエネルギーイノベーションプログラムの一環として実施する。

IT機器が消費する電力の省エネルギー化が求められる中、従来のシリコンスイッチングデバイスを用いたパワーエレクトロニクス機器では、材料の破壊電圧など物性上の理由からさらなる省エネルギー化が困難となりつつあり、IV族二元系半導体であるSiCが新たなパワーエレクトロニクス材料として注目されている。SiCスイッチングデバイスを用いることにより、従来のシリコンスイッチングデバイスを用いた電力変換モジュールと比べ、電力損失が格段に低いSiC電力変換機器を実現することが期待される。なお、当該スイッチングデバイスの実現には、高品質なSiCウェハも求められている。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO」という。)は電力システムや燃料電池自動車等に用いられるパワーエレクトロニクス機器の超低損失化・小型化・軽量化を目指して、ワイドギャップ半導体スイッチングデバイスの技術開発を行ってきた。超低損失電力素子技術開発プロジェクト(1998年～2002年)では、SiCを用いた超低損失スイッチングデバイスの基盤技術開発と原型デバイス実証を、エネルギー使用合理化技術実用化開発(2003年～2005年)では、SiCスイッチングデバイスの実用化開発を行い、パワーモジュールの試作を行った。また、パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発(2006年～2008年)では、自動車・家電製品等の低消費電力化実現に不可欠なSiC等を用いたパワーエレクトロニクスインバータ基盤技術の確立を進めている。

データセンタやその電力源に用いる交流・直流変換等、電力制御機器を実用化するためには、具体的な適用製品を想定して、高キャリア周波数化での特性改善、高電流密度化（大容量化）、ゲート絶縁膜の信頼性向上（長寿命化、歩留まり向上等）といったSiC デバイス性能の高度化を進め、次世代SiC スイッチングデバイスを実現する。また、従来のシリコンスイッチングデバイスを次世代SiC スイッチングデバイスに置き換えてインバータに用いるための回路設計技術、ノイズ対策や熱設計などのSiC スイッチングデバイス実装に伴う課題等を解決していく必要がある。

本プロジェクトでは、これらの要請を具現化して、次世代SiC スイッチングデバイスを用いたデータセンタやその電力源としての分散型太陽光発電システムに用いる電力制御機器実用化技術を確立することを目的として、データセンタ用電源や太陽光発電用パワーコンディショナ等の電力変換器が発生しているエネルギー損失の30%の低減に資するものとする。

## (2) 目標

[委託事業]

### 研究開発項目① SiC パワーデバイスを用いたデータセンタ用サーバ電源技術開発

最終目標（平成24年度）

- ・耐圧：600V以上、電流容量：40A以上、オン抵抗率： $2.5\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ 以下（室温環境下）のSiC スイッチングデバイスを開発する。また、電力容量が2kW級のサーバ電源のプロトタイプを試作し、その電力変換効率が50%負荷で94%以上であることを実証する。

### 研究開発項目② SiC パワーデバイスを用いた太陽光発電用パワーコンディショナ技術開発

最終目標（平成24年度）

- ・耐圧：1200V以上、電流容量：75A以上、オン抵抗率： $5\text{ m}\Omega\text{ cm}^2$ 以下（室温環境下）のSiC スイッチングデバイスを開発する。このSiC スイッチングデバイス技術を用いて、太陽光発電用パワーコンディショナ技術を開発して、電力容量が30kW級の太陽光発電用パワーコンディショナのプロトタイプを試作し、これが定格出力時に98%以上のシステム効率をもつことを実証する。SiC パワーデバイスのスイッチング速度高速化に伴うデバイス設計高度化をあわせて行う。

### 研究開発項目③ 次世代SiC パワーデバイス・電力変換器基盤技術開発

最終目標（平成24年度）

- ・次世代パワーデバイスをデバイス温度<sup>(注1)</sup> 200～250℃で動作させることを可能とする高温実装技術を開発する。また、デバイス温度250℃という高温動作デバイス条件を取り入れた高出力パワー密度変換器の統合設計技術の適用により、25～30W/cm<sup>3</sup>級の出力パワー密度<sup>(注2)</sup>を持つ革新的電力変換器の試作検証を行う。

(注1) 外部環境温度にデバイス自己発熱による温度上昇分を加えた温度をデバイス温度と定義する。以後に記載されるデバイス温度は全て同定義である。

(注2) 出力パワーをSiC パワーデバイス・周辺回路素子・フィルタ・ヒートシン

クから成る構成体の総体積により除算したものを出力パワー密度と定義する。

#### 4. 実施内容及び進捗（達成）状況

##### （1）平成21年度（委託）事業内容

###### 研究開発項目① SiCパワーデバイスを用いたデータセンタ用サーバ電源技術開発

###### ①-1 SiC接合FETおよびショットキーダイオードの開発

（①-1-1 600V/20A接合FETの開発、及び

①-1-2 600V/20Aショットキーダイオード）

耐圧600V・電流10Aチップ2素子の並列にて20Aとした接合FETとショットキーダイオード、および単一チップで耐圧600V・20Aとした接合FETとショットキーダイオードを開発した。前者の2素子並列素子において、接合FETのオン抵抗率が $3.5\text{m}\Omega\cdot\text{cm}^2$ 以下であることを実証し、またショットキーダイオードは後者の単一チップで20A・オン電圧2.0V以下を達成した。また、層間絶縁膜に適用する酸化装置を導入し、立上げた。

接合FETの大電流化のためチップ面積を大きくするとゲート抵抗が大きくなる問題に注目して、その影響を検討した。デバイス内部のゲート電圧は、ゲート抵抗とゲート電流の積で決まる電圧分、外部からゲート電圧として印加された値より低下する。今回の試作により、大容量化すると、入力ゲート電圧と内部ゲート電圧の差が顕著となることが明らかとなった。またその結果、オン電流が低下することをシミュレーションにて確認した。

###### ①-2 サーバ用回路・電源システム技術の開発

###### ①-2-1 高速駆動回路技術開発

耐圧600V・電流10A用接合FETを7個並列接続した基板と、ターンオン時間100ns以下、ターンオフ時間100ns以下を実現する高速スイッチングゲート駆動回路とを用いて、最大100Aにて、ターンオンは86ns、ターンオフは51nsと、目標を凌駕する動作を実証した。

###### ①-2-2 サーバ電源システムの開発

SiC-JFETは閾値電圧が低いことから、 $dv/dt$ により誤動作が発生しやすいことが想像される。そこで、誤オン、誤オフの要因を洗い出し、対策方針を立てた。

サーバ用電源の効率評価に向けては、電源回路を評価するための測定装置一式と電源、負荷装置を購入した。平成21年度は負荷にインダクタンスを用いた評価装置の立上げが完了した。

（実施体制：技術研究組合 次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構）

###### 研究開発項目② SiCパワーデバイスを用いた太陽光発電用パワーコンディショナ技術開発

デバイス開発においては、イオン注入機のステージなどの設備を導入する等、3インチSiCウエハを用いたプロセスを構築した。また、大電流デバイスのオンウエハ評

価、連続通電評価などのデバイス評価が可能な設備を導入し、評価環境の整備を行った。また、3Dシミュレーションソフトウェアを導入し、SiCパワーデバイスのデバイス設計高度化の準備を行った。

回路・システム開発においては、期初目標に掲げた低インダクタンス構造と高速ゲート駆動回路を用いてSiC素子を用いたモジュールを試作してスイッチング動作試験を実施し、基礎特性データを取得した。また、取得したデータを用いて複数の主回路方式を比較検討した結果、2レベル主回路構造の太陽光発電用パワーコンディショナで目標達成の見通しを得た。また、デッドタイム1 $\mu$ s以下のスイッチングが可能なゲート駆動回路を用いて、キャリア周波数50kHzでのインバータ動作を確認した。

(実施体制：技術研究組合 次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構)

### 研究開発項目③ 次世代SiCパワーデバイス・電力変換器基盤技術開発

デバイス開発においては、新規犠牲酸化炉導入等の素子化プロセス設備整備を行った。UMOS構造におけるチャンネル移動度と閾値電圧の角度依存性を調べて最適角度を検討し、実際にデバイス構造を試作して順方向特性を測定した。高温での破壊耐量測定等の評価環境を整えると共に、アンモニア熱処理でゲート酸化膜の界面準位密度が低減することを明らかにした。

ウエハ評価研究においては、大口径化に向けての一課題であるウエハの歪みと、切断時の反りなどの関係を検討した。また、転位密度計測法の開発では、光学顕微鏡を用いてエッチピットの自動分類・計数を行うソフトウェアのアルファ版を開発した。また、エピ膜表面で特に問題となる三角欠陥について、より正確な構造評価と、より詳細な分類を行い、発生原因を考察した。さらに、SiCウエハに意図的に金属などをイオン注入・アニールして分析をおこない、個々の不純物元素の効果を検出した。

高温実装技術開発においては、高温課通電試験・高温ダイシェアテスト等の装置準備、実装シミュレーション環境整備、各種部材の物性値の温度特性調査、電極接合の評価・検討を行い、AuGe高温ハンダの高温強度評価などの開発を進めた。また、TaN膜によるAl電極のエレクトロマイグレーション耐性の向上技術、配線基板の表面処理により330℃保持条件下での接合強度低下を抑制する技術等を開発した。一方、高温用高密度電力変換器技術においては、高温での素子の動作特性評価、直流リンクコンデンサの削減、素子温度と出力パワー密度の関係等を回路・制御の両面から検討を進め、10kW試作器の設計（設計値：素子温度約200℃、出力パワー密度約20W/cm<sup>3</sup>）に反映するとともに、統合設計技術への高温動作条件の導入を開始した。

(実施体制：技術研究組合 次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構／独立行政法人 産業技術総合研究所 一宇宙航空研究開発機構、物質・材料研究機構、首都大学東京、千葉大学、東京工業大学)

## (2) 実績推移

	21年度
実績額推移（百万円）	976
特許出願件数（件）	2
論文発表数（報）	4
フォーラム等（件）	19

## 5. 事業内容

### (1) 平成22年度（委託）事業内容

平成22年度は、以下の研究開発を行う。

#### 研究開発項目① SiC パワーデバイスを用いたデータセンタ用サーバ電源技術開発

- ・前年度に開発したSiCデバイスの基本性能高度化を進めるとともに、前年度に明らかになった課題の解決に向けて目標を設定し、対策を実施する。回路・システムにおいても、駆動回路等の動作試験を継続し、残された課題を明確化する。以上の課題解決のために、デバイス開発、回路技術開発、電源システムの試作評価を行う。また、効率の正しい評価に向けて評価装置の整備を進める。これらにより最終目標達成への道筋を明らかにする。

（実施体制：技術研究組合 次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構）

#### 研究開発項目② SiC パワーデバイスを用いた太陽光発電用パワーコンディショナ技術開発

- ・太陽光発電用パワーコンディショナの高効率化に向け、主回路方式・受動部品も含めた最適設計を行い、ミニモデルを用いて動作検証を行い、目標達成への道筋を明らかにする。並行して低オン抵抗化を実現するためデバイスの作製プロセスの高度化を図る。また、効率の正しい評価に向けて評価装置の整備を進める。また、SiCパワーデバイスのデバイス設計高度化を行う。

（実施体制：技術研究組合 次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構）

#### 研究開発項目③ 次世代SiC パワーデバイス・電力変換器基盤技術開発

- ・高温下を想定した要素試験によって、データを蓄積して設計技術を高度化し、さらにその検証を行う。また、開発した設計技術を用いて、さらなる高温動作化・高パワー密度化の検討を進める。電力変換器の回路方式や制御方式についても評価を進め、効果を検証する。

（実施体制：技術研究組合 次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構／独立行政法人 産業技術総合研究所 一首都大学東京、千葉大学、東京工業大学）

## (2) 実施体制

別紙を参照のこと。

## (3) 平成22年度事業規模

需給勘定 492百万円(継続)

事業規模については、変動があり得る。

## 6. その他重要事項

### (1) 運営・管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有するNEDOは、経済産業省と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに本研究開発の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。また、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

### (2) 複数年度契約の実施

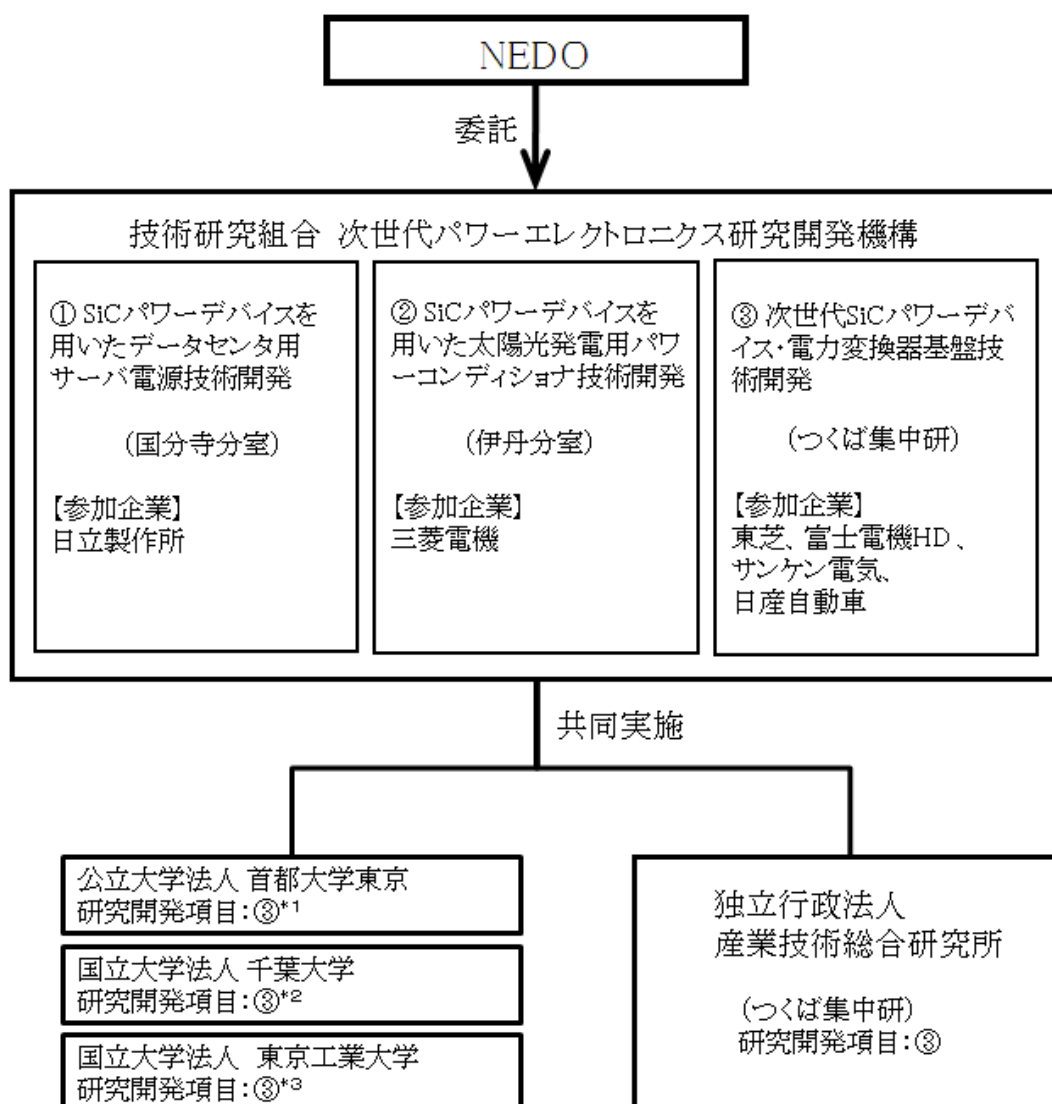
平成21年度から22年度の複数年度契約を行う。

## 7. 実施方針の改訂履歴

平成22年3月

制定

(別紙) 事業実施体制の全体図



【研究開発項目】

- ① SiCパワーデバイスを用いたデータセンタ用サーバ電源技術開発
- ② SiCパワーデバイスを用いた太陽光発電用パワーコンディショナ技術開発
- ③ 次世代SiCパワーデバイス・電力変換器基盤技術開発
  - \*1 高周波スイッチング技術、電磁ノイズ抑制技術
  - \*2 高パワー密度化技術
  - \*3 DC/DCコンバータ実証