

(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)
「パワーエレクトロニクスインバータ基盤技術開発」基本計画

電子・情報技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

情報家電の普及や通信需要の拡大に対処する電気エネルギーの高効率利用の実現、及びハイブリッド自動車や産業用の様々なモータ制御、家電製品の電源制御など、我が国の重要産業の国際競争力強化と省エネルギーを図るためには、その基盤となるパワーエレクトロニクスの研究開発が必要である。また、経済産業省が発表した新産業創造戦略（平成17年5月）において、我が国の産業競争力強化のために注力すべき分野として、環境・エネルギー機器が挙げられており、パワーエレクトロニクス機器には、一層の低消費電力化・小型化が求められている。本プロジェクトでは、自動車・家電製品等の低消費電力化実現に不可欠な炭化ケイ素（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を平成20年度までに確立し、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として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。

現在、家電機器や産業用途機器、鉄道、電力系統などの幅広い分野においてパワーエレクトロニクス機器が活用されている。さらに今後は、ハイブリッド自動車や電気自動車の普及、高度情報通信機器の増加、分散電源や電力貯蔵装置などを含む低電圧配電システムが電力系統に幅広く導入されるのに伴い、パワーエレクトロニクス機器の電力変換容量拡大、変換損失低減と小型化の必要性が高まっている。その一方で、従来のシリコン（Si）スイッチング素子を用いたパワーエレクトロニクス機器では、Siの物性的な限界からさらなる性能向上は困難となりつつある。このような背景から、ワイドギャップ半導体であるSiCが、新たなパワーエレクトロニクス用半導体材料として注目されている。SiCスイッチング素子では、導通時の電力損失（オン損失）が従来素子の100分の1、動作周波数が10倍に向上し、動作温度は250℃を超え得ると理論的に予測されている。SiCスイッチング素子を用いることにより、従来のSi電力変換モジュールと比べて、大幅に低電力損失かつ高密度のSiC電力変換モジュールの実現が期待される。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技術開発機構」という）が編纂した、NEDO技術ロードマップ(平成17年版)では、我が国にとって、ワイドギャップ半導体を用いた低損失・高パワー密度を実現するスイッチング素子開発が重要であり、その実現のためには多くの技術開発課題の解決に臨むことが求められている。

NEDO技術開発機構は、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素子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素子の基盤技術開発と原型素子実証を行った。エネルギー使用合理化技術実用化開発（2003年-2005年）では、SiCスイッチング素子の実用化開発を行い、パワーモジュールの試作を行っている。

低損失・高密度パワーエレクトロニクス機器を実用化するためには、上記技術開発等の成果であるSiCスイッチング素子技術を用いて、低損失・高密度インバータ技術開発を行うことが必要

である。すなわち具体的な適用製品を想定して、従来のSiスイッチング素子を高性能SiCスイッチング素子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スイッチング素子実装に伴う課題等を解決していく必要がある。

一方、革新的な超低損失・高密度インバータを実現するために、SiCスイッチング素子の大容量化・信頼性向上・低損失化等のSiC材料のポテンシャルを最大限活用した高度化が求められる。これらの技術開発のためには素子特性評価とSiCウェハ評価を多面的に結びつけ、SiC単結晶ウェハおよびエピタキシャル製膜技術へフィードバックすることが不可欠である。さらに、高度化SiCスイッチング素子の性能を最大限活用したインバータ高パワー密度化に関わる設計技術・高速制御技術・高温実装技術等の基盤技術開発が必要である。

本プロジェクトでは、これらの要請を具現化して、SiCスイッチング素子を用いたパワーエレクトロニクスインバータ基盤技術を確立することを目的とする。

当該研究開発事業は、産業界も資金等の負担を行うことにより、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されていることを条件として実施する。

(2) 研究開発の目標

具体的な製品応用を想定したSiCを用いた低損失インバータユニットを試作し、電力変換損失を同一定格のSiインバータユニットの30%以下に低減する。*

また、SiC材料のポテンシャルを最大限活用した革新的な超低損失・高密度インバータを実現するために、SiCスイッチング素子の大容量化・信頼性向上・低損失化等の性能高度化や、インバータ設計・高速制御・高温実装等に関わる基盤技術を確立する。

(3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

- ①高効率・高密度インバータユニット技術開発
- ②高効率・高密度インバータ革新的高度化基盤技術開発

2. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成18年度から平成20年度までの3年間とする。

3. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

NEDO技術開発機構が公募を行い、民間企業、独立行政法人、大学等から委託先を選定するものとする。本プロジェクトにおける研究開発と産業界の実用化に向けた取り組みを一体的にマネジメントするように、プロジェクトリーダー(PL)をNEDO技術開発機構が指名する。また、SiCを含めたワイドギャップ半導体は、パワーエレクトロニクスや高周波応用が期待されており、また、その周辺技術の革新も目覚ましいものがある。本プロジェクトを機動的に運営するために、調査委員会等を設け国内外の技術情報の収集およびプロジェクトへの適時活用を図る。

(2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び

* 目標値設定に関する詳細は別紙の研究開発計画で指定する

PL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。

4. 評価の実施

NEDO技術開発機構は、技術的及び産業技術政策的観点から見た研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等の観点から、外部有識者による研究開発の事後評価を平成21年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

① 成果の普及

得られた研究開発成果のうち共通基盤技術に係るものについては、プロジェクト内で速やかに共有した後で、NEDO技術開発機構及び実施者が協力して普及に努めるものとする。

② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

③ 知的所有権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的所有権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、産業技術政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法（平成14年法律第145号）第15条第1項第1号ハ及び第2号に基づき実施する。

(4) その他

産業界が実施する研究開発との間で共同研究を行う等、密接な連携を図ることにより、研究開発を加速し、円滑な技術移転を促進する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成18年3月、制定。

(2) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。

(別紙) 研究開発計画

研究開発項目 ①「高効率・高密度インバータユニット技術開発」

1. 研究開発の必要性

低損失・高密度化の要求が高いパワーエレクトロニクス機器を対象として、その中核となるSiCスイッチング素子を用いたインバータユニットの技術開発を行い、その実用化を目指す。インバータユニットとは、下の回路図に示す直流電圧を交流電圧に変換するインバータ基本構造とする。本研究開発では、SiCスイッチング素子をインバータに用いるために必要な、実装・冷却・素子駆動・ノイズ対策などのインバータユニットの設計とSiCスイッチング素子を含めたインバータユニット試作開発の総合技術開発を行う必要がある。

2. 研究開発の具体的内容

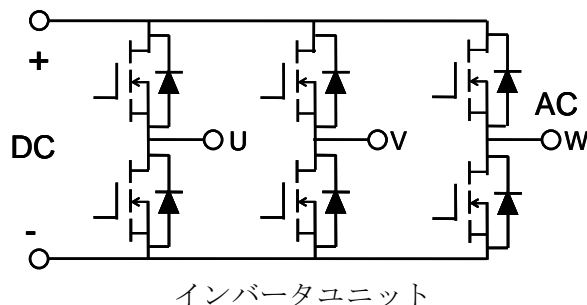
インバータ用スイッチング素子の高性能化技術開発を行うと共に、それら高性能スイッチング素子を用いた高効率インバータユニットの試作を行い、その有効性を実証する。具体的には、ダイオード・MOS型スイッチング素子作製プロセス技術、素子耐圧安定化技術、素子オン抵抗低減化技術、インバータ化技術（素子保護、熱設計、低インダクタンス構造、最適スイッチング技術）等の技術開発を実施する。本研究項目で用いるSiCウェハの評価を、研究開発項目②における素子特性評価・ウェハ品質評価と密接に連携させて、ウェハ・スイッチング素子・インバータユニットの性能に関する知見をプロジェクト全体で共有することにより、高効率・高密度インバータ実現に向けての課題解決に資するものとする。

3. 達成目標

具体的な製品応用を想定した、SiCスイッチング素子を用いたインバータユニットを試作し、同一定格のSiインバータユニットと比較して変換損失を大幅に低減することを実証する。

一例として、産業用汎用インバータを想定した、AC400V系、3相、出力容量15kVA級のインバータユニットで、変換損失を同一定格のSiインバータユニットの30%以下に低減する。

変換損失は開発インバータユニットの定格に依存するので、定格に応じて上記目標例と同等な性能向上を実証することとする。



研究開発項目 ②「高効率・高密度インバータ革新的高度化基盤技術開発」

1. 研究開発の必要性

SiC材料の特徴を活かした革新的なインバータ実用化のためには、その革新性（低損失・大容量・高温動作・小型化など）をもたらすSiCスイッチング素子の大容量化・信頼性向上・低損失化等の性能高度化が必要であり、さらに、それらの革新的SiCスイッチング素子を用いた超低損失・大容量インバータ開発のための設計・高速制御・高温実装などの技術開発が必要である。

2. 研究開発の具体的内容

(1) インバータ大容量化基盤技術

インバータの革新的高度化を目指して、SiCウェハ品質とその上に作製した素子特性の関連を明らかにし、スイッチング素子特性劣化機構等を解明する。その知見を踏まえて素子あたり100 Aクラスの大容量化を実現するための基盤技術を開発する。

(2) インバータ信頼性向上基盤技術

前項目の特性劣化機構等の知見を踏まえて、SiCスイッチング素子の信頼性評価手法や高信頼性を実現する基盤技術を開発する。

上記2項目を効率的に遂行するために、プロジェクト全体でSiCウェハの管理を行い、素子特性評価とウェハ品質評価について系統的なデータの集積・管理を行う。

(3) インバータ高パワー密度化基盤技術

インバータの革新的高パワー密度化を目指して、SiC物性値限界に迫る低損失スイッチング素子を開発し、インバータ損失の低減を追及する。加えて、開発素子の活用にあ資するインバータ設計技術の高度化により、高パワー密度化を目指す。更にインバータ連携制御の要となる高速制御技術、及び高温動作を行うための実装技術の指針を提示する。

3. 達成目標

(1) インバータ大容量化技術

SiCウェハの品質とその上に試作したスイッチング素子特性の関連を明確化する。インバータの大容量化に不可欠なスイッチング素子の大容量化に関しては、5 mm角級チップを試作し、電流容量100 Aの性能を達成する条件を明確にする。

(2) インバータ信頼性向上基盤技術

SiC スwitchング素子の信頼性評価手法を開発し長期信頼性を決めている要因を明確化する。特に最大の課題である MOS スwitchング素子の酸化膜について、5 mm 角級チップを試作し、実用素子に求められる信頼性を達成する条件を明確にする。

(3) インバータ高パワー密度化基盤技術

素子あたり10 A以上のSiC低損失MOSスイッチング素子(オン抵抗 $2\sim 5\text{ m}\Omega\cdot\text{cm}^2$, 耐圧 $0.6\sim 1.7\text{ kV}$)の開発を行う。インバータ損失の限界を追及する限界設計技術を開発し、高パワー密度(50 W/cm^3 以上)のSiCインバータを実現に必要な条件を明らかにし、その見通しを明確化する。同様に、高速制御技術および高温(250°C)環境での動作の実装技術の指針を提示する。