

## 「低炭素社会を実現する次世代パワーエレクトロニクスプロジェクト」

## 基本計画

IoT 推進部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

電気エネルギー生成方法の多様化は、資源枯渇及び地球温暖化の解決に向けた重要な検討課題であるが、中でも、化石燃料から再生可能エネルギーへの移行は、課題解決の有効な手段のひとつである。電力の生成から消費に至るフローにおいて、電力利用効率向上の手段として、パワー半導体デバイスによる電力変換・制御（直流・交流変換、周波数制御等）は、すでに多くのフェーズで行われている。さらに、これまでパワー半導体が適用されていなかった機器への展開や、新たな応用分野が急激に広がることによって、パワー半導体デバイスが利用される局面は大幅に増加すると見込まれる。たとえば、ハイブリッド自動車の普及など電化の進む社会への転換がその起動力の一つである。また、高度に情報化が進む今日の社会では、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、機器が消費する電力の急激な増大が見込まれており、情報関連機器の省エネルギー化が重要な課題となっている。このためにも、パワー半導体デバイスが電力利用効率向上に大きく役立つと考えられる。このように、パワー半導体デバイスによる電力損失の低減は低炭素社会の実現に向けて極めて重要である。

現在は、パワー半導体デバイスの材料として主にSi（シリコン）が使用されているが、電力損失がSiの1/100以下、数kVの高耐圧性など、パワー半導体として極めて優れた性能を有した新材料SiC（炭化珪素）の実用化が期待されている。また、GaN（窒化ガリウム）、Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（酸化ガリウム）等、SiC以外の新材料についても実用化に向けて研究開発を進めている。新材料パワー半導体デバイスを用いることにより、従来のSi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、また小型で大電力を扱える電力変換機器を実現することが期待される。インバータ等の電力変換装置の適用範囲が鉄道や次世代自動車などをはじめとして極めて広いことから、社会全体への波及効果が極めて大きく、さまざまな産業において、その成長の鍵となるものである。したがって、パワー半導体デバイス及び電力変換機器における技術力は我が国産業の国際競争力を左右するものである。

我が国における関連技術開発としては、主として産業用モータ駆動用を想定して、SiCウエハ品質と関連づけたSiCデバイスの大容量化／高信頼化の技術開発、或いはI

ンバータコア技術開発が国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）のナショナルプロジェクト（「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年など）において行われてきている。同プロジェクトにて開発されたSiCウエハ品質向上及び評価技術・デバイスプロセス技術・回路技術・熱設計技術等、全体的な技術の高度化の結果として、Siデバイスに比べ大幅な損失低減（同定格インバータユニットにおいて、現在主流のSi-IGBTを適用した場合に比べ、70%損失を低減）が実証されるに至っている。

IT産業の電力消費低減に寄与するため、データセンタやその電力源に用いる交流・直流変換等の高効率化を実現したり、電気自動車のように新たに拡大しつつある応用製品に適した電力変換機器を実現したりするためには、具体的な適用製品を想定して、高電流密度化（大容量化）や、デバイス・機器の信頼性向上といったSiCデバイス性能の高度化を進めることが重要である。同時に、SiCデバイスとの組み合わせにおいて力を発揮する材料・部品・回路設計・ノイズ対策や熱設計などの課題を解決していく必要がある。

一方、SiCパワー半導体デバイスの効率向上・適用範囲拡大を支え、普及の鍵となるのは、SiC半導体材料の高品質化と供給安定化であるが、現在のSiCウエハ市場は、4インチウエハが限定された規模で生産されている状況であって、かつ海外企業による寡占状況と言わざるを得ない。このことから生じる供給安定性への不安及び高価格が開発・普及への足かせになっている。それだけでなく、諸外国においてはごく最近になって6インチウエハ実現がアナウンスされ、かつ、高耐圧領域でのSiC電力変換器の実証が進みつつある。

このような背景のもと、6インチ級SiCウエハ量産化技術の構築と対応するデバイス化プロセス装置開発、並びにSiCパワー半導体デバイスを用いた電力変換器の効能実証を早期に実現することが緊急の課題となった。SiCパワー半導体デバイスの応用製品としては、急激に増大しつつあるIT産業の電力消費量増加の対策となるデータセンタ用電源や、その電力源として意味がある分散型太陽光発電システムなどに用いる電力制御機器が有望であり、その高効率化・小型化・高信頼化に貢献するデバイス技術開発・設計技術開発等を前記したウエハやプロセス装置開発と並行して行うことは極めて重要である。

また、パワーエレクトロニクスは扱う電力の容量が大きいと、機能をワンチップ化して高機能化を図ることは困難であり、高機能化はデバイスを核として、デバイスの制御系や周辺回路を組み合わせたモジュールやパッケージにより、システム全体の最適化を図ることによってなされることとなる。従って、デバイスの高性能化のみが技術を牽引するのではなく、アプリケーションに応じて製作される応用システムも重要な要素となる。従って、パワーエレクトロニクス分野における我が国の競争力を更に強化するためには、各種材料のウエハ、デバイス等の性能向上を図ると共に、産業機器、自動車、民生機器などアプリケーション毎に要求されるスペックを、最適な材料（SiC、GaN等）、設計技術、実装技術等を組み合わせ、最適な応用システムの構築により実現することが重要となる。

加えて、応用システムは、新たな用途、デバイス・ユーザーの開拓を図ること等により、他の追随を許さない環境を作る必要がある。

以上のように、これらの課題に対して積極的な取組を行うことは、省エネルギー技術の国際的牽引、及び我が国の産業競争力強化にとって極めて重要な意味を持つものである。

なお、本事業は、ある程度明確な製品イメージのあるものへの適用を目指した応用開発を中心に取り組むことに対し、内閣府が実施する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）にて取り組まれる「次世代パワーエレクトロニクス」は、電力や自動車等向けの新技术を中心に取り組まれるものである。

## （２）研究開発の目標

本事業は、以下の研究開発項目により構成する。

研究開発項目① 低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト

研究開発項目② 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)

研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

研究開発項目④ 新材料パワーデバイスの実用化加速技術開発

本事業の目標の概要は、高品質・低コストな大口径SiCウエハ製造技術、SiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術、応用に即した電力変換器の設計技術開発、システムにおけるSiCスイッチングデバイスの効果実証、高温実装技術、新世代Siパワーデバイス開発をはじめとする要素技術の確立、さらにSiC、GaN等の新材料も活用し、実用化を見据えた応用研究開発である。

### ① アウトプット目標

研究開発項目①においては、別紙の研究開発計画に基づき、2012年度までに基盤技術を確立し、2014年度までに①高品質・大口径結晶成長、ウエハ加工、エピタキシャル膜形成まで一貫した製造技術の確立、②高耐圧スイッチングデバイス製造技術を確立し、これを用いた低損失電力変換器の試作・実証等を行う。

また、SiC大口径ウエハ化に関して、現状の昇華法結晶成長技術を6インチ対応とし、ウエハ加工プロセスと併せ6インチ4H-SiCウエハを実現する。また、ウエハ加工要素プロセスの能力検証を加速し、SiCデバイス化のための高温プロセス装置等に関して6インチ対応装置を開発すると共に、3kV以上の高耐圧領域でのSiCダイオードを用いた低損失パワーモジュールの性能検証を行う。

さらに、SiCの特長である高い接合温度において動作するSiCパワー素子の近傍に配置できる高耐熱受動部品を開発するとともに、それらを配置したパワーモジュールを試作して各実装部品間の相互の影響を検証し、それによって各開発部品の優位性を明らかにする。

加えて、現状のSiパワーデバイスの性能限界を突破し、現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスを開発する。

研究開発項目②においては、別紙の研究開発計画に基づき、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いて交流・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確立するため、2012年度末までに次の最終目標を達成する。

- ・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負荷50%で94%以上であることを実証する。
- ・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。
- ・デバイス温度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し、60W/cm<sup>3</sup>級の出力パワー密度を持つ革新的電力変換器の動作検証が可能なレベルの要素技術を確立する。

研究開発項目③においては、別紙の研究開発計画に基づき、新材料パワーデバイスを活用した、次世代自動車、次世代産業機器、次世代民生機器等の応用システムの開発を行う。

研究開発項目④においては、別紙の研究開発計画に基づき、新材料パワーデバイスについて、ウエハの革新的製造技術の開発及び新規用途開拓の推進を行う。

## ② アウトカム目標

本事業により高度化したパワー半導体を、輸送機器、産業機器、コンピュータ関連、無停電電源、太陽光発電などの主要産業分野に適用することにより、電力変換損失を削減し、2030年までにCO<sub>2</sub>排出量を1,515万トン削減する。

さらに2030年に予想されるパワーエレクトロニクス関連市場約20兆円に対して、本事業により高度化したパワー半導体を適用することにより、市場の約20%の獲得を目指す。

## ③ アウトカム目標達成に向けての取組

研究開発と並行して、(i)最新の技術動向・産業動向を調査し、プロジェクト実施者に定期的にフィードバックすることにより、適切な目標の修正を行うなどプロジェクトを適切に運営、(ii)成果報告会・シンポジウム等の取組を通じて、本事業の情報発信及び次世代パワーエレクトロニクスの普及促進、(iii)パワーエレクトロニクス技術に関する人材育成の活動により、企業の研究活動の支援等を行う。

### (3) 研究開発の内容

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及び別紙2の研究開発スケジュールに基づき研究開発を実施するとともに、国内外の関連情報の収集及び調査等を行う。研究開発項目は以下の通り設定する。

#### 研究開発項目① 低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト

- (1) 高品質・大口径SiC結晶成長技術開発／革新的SiC結晶成長技術開発  
[委託事業・共同研究事業（NEDO負担率：1／2）]
- (2) 大口径SiCウエハ加工技術開発 [委託事業]
- (3) SiCエピタキシャル膜成長技術（大口径対応技術／高速・厚膜成長技術）  
[委託事業]
- (4) SiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術 [委託事業]
- (5) SiCウエハ量産化技術開発 [助成事業（助成率：2／3）]
- (6) 大口径SiCウエハ加工要素プロセス検証 [委託事業]
- (7) SiC高耐圧大容量パワーモジュール検証 [委託事業]
- (8) 大口径対応デバイスプロセス装置開発 [助成事業（助成率：2／3）]
- (9) 高耐熱部品統合パワーモジュール化技術開発 [委託事業、共同研究事業（NEDO負担率：2／3）]

研究開発項目①（9）は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、上記以外のもの（※1）は、共同研究事業（NEDO負担率：2／3）として実施する。

（※1） 民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学官連携とならないもの。

- (10) 新世代Siパワーデバイス技術開発 [委託事業]

#### 研究開発項目② 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）

- (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  
[共同研究事業（NEDO 負担率：1／2）]
- (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  
[共同研究事業（NEDO 負担率：1／2）]
- (3) 次世代SiC電力変換器基盤技術開発 [委託事業]

#### 研究開発項目③ 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発

- (1) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究 [委託事業]
- (2) 次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成  
[助成事業（助成率：2／3）（※2）]

(※2) 民間企業単独あるいは民間企業のみでの連携等により実施される場合、助成率を1/2とする。

#### 研究開発項目④ 新材料パワーデバイスの実用化加速技術開発

(1) パワーデバイス用新材料ウエハの革新的製造技術の開発

[助成事業(助成率: 2/3)(※3)]

(2) 新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進 [委託事業]

(※3) 民間企業単独あるいは民間企業のみでの連携等により実施される場合、助成率を1/2とする。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、研究開発項目①のうち(1)から(4)まで、(6)及び(7)は経済産業省が、企業、大学等の研究機関(委託先から再委託された研究開発実施者を含む)から公募によって研究開発実施者を選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して開始したものであり、NEDOが本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、その時点までの進捗状況を踏まえた研究開発内容・計画及び実施体制の妥当性について、外部有識者による審議を含めた評価を行った上で最適な研究開発体制を構築し、業務委託契約を締結して実施する。

上記以外の研究開発項目は、NEDOが、単独ないし複数の原則本邦の企業、大学等の研究機関から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。(原則、日本国内に研究開発拠点を有しているものを対象とする。で研究開発に参加するものとする。ただし、国外の団体の特別の研究開発能力や研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から必要な場合は、当該の研究開発等に限り国外の団体と連携して実施することができるものとする。)本研究開発において、NEDOが主体となって行うべき基礎的・基盤的研究開発である研究開発項目①のうち(1)から(4)、(6)、(7)、(9)及び(10)、研究開発項目②、研究開発項目③のうち(1)及び研究開発項目④のうち(2)の各事業は委託または共同研究により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取組が示されるべき実用化研究開発である研究開発項目①のうち(5)及び(8)、研究開発項目③のうち(2)及び研究開発項目④のうち(1)の事業は助成(助成率2/3※)により実施する。なお、研究開発項目③(1)で実施する委託事業は、目標を達成した後、実用化に向けた取組が必要と判断された場合には、引き続き研究開発項目③(2)の助成事業として実施する。

また、研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体にはNEDOが委嘱する研究開発責任者(プロジェクトリーダー)として、研究開発項目①(1)から(9)及び②については国立研究開発法人産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター長 奥村 元氏を、さらに研究開発項目②についてはサブプロジェクトリー

ダーとして、国立研究開発法人産業技術総合研究所 先進パワーエレクトロニクス研究センター 清水 肇氏を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。研究開発項目③については、プロジェクトリーダーとして、国立大学法人千葉大学大学院融合理工学府 佐藤 之彦教授を置き、研究開発を実施する。

2017年度からは、佐藤教授を事業全体のプロジェクトリーダーとし、事業を推進する。

※研究開発項目③(2)及び研究開発項目④(1)については、民間企業単独あるいは民間企業のみでの連携等により実施される場合、助成率を1/2とする。

## (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及びプロジェクトリーダーと密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標、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。具体的には、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技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、適宜プロジェクトリーダーとともに事業の進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、2009年度から2019年度までの11年間とする。ただし、この期間内において、研究開発項目毎に研究開発期間を設定する。

研究開発項目①のうち(1)から(4)については、2010年度から2014年度までの5年間とし、(5)から(8)については、2011年3月から2012年2月までとし、(9)については、2012年度から2014年度までの3年間とし、(10)については、2014年度から2019年度の6年間とする。

研究開発項目②については、2009年度から2012年度までの4年間とする。

研究開発項目③のうち(1)については、2015年度から2016年度までの2年間とし、(2)については、2014年度から2019年度までの6年間とする。研究開発項目④については、2017年度から2019年度までの3年間とする。

なお、研究開発期間については、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、延長する等、適宜見直すものとする。

## 4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義及び将来産業への波及効果等について、研究開発項目①(1)から(9)については、

外部有識者による研究開発の中間評価を2012年度、事後評価を2015年度に実施し、研究開発項目①(10)については、中間評価を2016年度、事後評価を2020年度に実施し、研究開発項目②については、事後評価を2013年度に実施し、研究開発項目③については、中間評価を2016年度、事後評価を2020年度に実施し、研究開発項目④については、事後評価を2020年度に実施する。中間評価結果を踏まえ、事業の加速・縮小など必要な体制の再構築を含め、後年度の研究開発に反映することとする。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 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

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、NEDO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、知的基盤整備事業又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、海外展開を行う上で、性能評価指標やインターフェース等に関する標準案の検討、提案及び海外実証等を積極的に行う。

#### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・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、すべて委託先及び共同研究先に帰属させることとする。

なお、国際展開を見据えた、パワー半導体デバイス及び電力変換機器に係る技術に係る知財管理を適切に行うこととし、「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)次世代パワーエレクトロニクス」での知的財産権等の管理のされ方と整合が取れるものとする。

### (2) 基本計画の変更

NEDOは、研究開発内容の妥当性を確保するために、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、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

本研究開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号ニ、第3号及び第9号に基づき実施する。



#### (4) その他

受託者は、本研究開発から得られる成果の産業面での着実な活用を図るため、事業化への計画を立案する。事業の進捗等を考慮して計画の必要な見直しを行うとともに、研究開発期間中であっても、実用化が可能な成果については、迅速な事業化に努めるものとする。具体的には、高品質・低コストな大口径SiCウエハ及びSiC高耐圧スイッチングデバイスの実用化・事業化に加え、最終製品であるオールSiC電力変換器搭載ハイブリッド／電気自動車・鉄道等の実用化についても具体的な計画の立案に努めるものとする。

また、本研究開発の成果となる次世代パワーエレクトロニクス材料・デバイス等の応用開発を更に推進するために、関連する人材育成事業を行う。

#### 6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 2009年3月、「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）」制定。
- (2) 2011年1月、「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」制定。
- (3) 2011年3月、「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」及び「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）」の基本計画の統合に伴う改訂。
- (4) 2011年7月、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法の改正に伴う改訂。
- (5) 2012年3月、研究開発項目①（9）の追加による改訂。
- (6) 2014年4月、研究開発項目③の追加による改訂。
- (7) 2014年5月、研究開発項目①（10）の追加による改訂。
- (8) 2015年2月、研究開発項目③（1）の追加等による改訂。
- (9) 2015年9月、根拠法の追加等による改訂。
- (10) 2017年1月、研究開発項目①（10）の延長及び研究開発項目④の追加による改訂。
- (11) 2018年3月、研究開発項目④の対象範囲の変更に伴う改訂。
- (12) 2020年2月、プロジェクトリーダーの担当範囲の変更、及び西暦表記への変更に伴う改定。

## (別紙) 研究開発計画

### 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

#### (1) 「高品質・大口径S i C結晶成長技術開発／革新的S i C結晶成長技術開発」

##### 1. 研究開発の必要性

次世代パワー半導体として期待されるS i Cの開発・普及にあたっては、ウエハの品質及び供給の不安定性、高コストが最大のボトルネックとなっている。高品質・低コストな大口径S i C結晶成長技術の確立により、S i Cウエハを安定的に供給することによって、多量のウエハを必要とするデバイス及びインバータ等のモジュール開発を加速し、早期の実用化につなげることが可能となる。

##### 2. 研究開発の具体的内容

現在のS i C結晶成長法である昇華法は、生産性、品質、コストともに課題がある。これらを解決するため、昇華法の抜本的な高度化のほか、飛躍的な品質や生産性の向上が期待される革新的な結晶成長技術（ガス法、液相等）の開発を行う。また、大口径・高品質S i C結晶の評価技術を開発する。

##### 3. 達成目標

昇華法において、以下の項目を満たす製造技術を確立する。なお、2012年度までに基盤技術を確立し、2013年度以降、大口径ウエハ加工技術、大口径エピタキシャル膜成長技術の成果を合わせ、結晶成長から加工、エピタキシャル膜成長に至るまでの一貫した6インチエピウエハ製造技術として確立する。また、革新的結晶成長法についても、2012年度までにそのための要素技術を確立し、2014年度までに将来的に昇華法を凌駕するポテンシャルを評価可能な大型結晶を実現してその可能性を検証する。さらに、大口径・高品質S i C結晶の評価技術を確立する。

#### 【中間目標】

昇華法においては、口径6インチで、

- ①  $10^3$ 個/cm<sup>2</sup>台の転位密度を実現するのに必要な高品質化にかかわる基盤技術を確立する。
- ② 0.5mm/h以上の結晶を実現するのに必要な成長速度向上にかかわる基盤技術を確立する。

革新的結晶成長法においては、高速性、高品質性、長尺化／口径拡大等の各課題に対する要素技術を確立し、口径2インチ、厚さ1mmの4H-S i C単結晶の成長を実現する。

**【最終目標】**

昇華法においては、口径6インチ、長さ50mm以上で、

- ① 有効面積（端部3mmを除く）全域において転位密度 $1 \times 10^3$ 個/cm<sup>2</sup>以下の結晶を実現する。
- ② 有効面積（端部3mmを除く）全域において転位密度 $5 \times 10^3$ 個/cm<sup>2</sup>以下の結晶を成長速度0.5mm/h以上で実現する。

革新的結晶成長法においては、口径2インチ以上、長さ20mm以上の4H-SiC単結晶を実現した上で、昇華法に対する優位性を検証する。

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (2)「大口径S i C ウェハ加工技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

S i Cはダイヤモンドに次ぐ高硬度を有しているため精密加工が極めて困難であり、例えば、現在の4インチウェハの切断に際しては、高価なダイヤモンドスラリーを多量に使わなければならないうえ、その切断スピードは極めて遅く、数日を要している。結晶の大口径化に伴い、既存の加工技術では、更に時間を要することになり、加工工程がボトルネックになるおそれがある。また、加工コストはウェハのコストの約1/3を占めており、低コスト化の観点からも技術の高度化が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

切断、研削、研磨の各技術について、6インチウェハに対応した高精度化、高速化及び低コスト化に資する加工技術の開発を行う。具体的には、高速・高効率・低損傷な切断技術の開発、研削精度向上のためのナノレベルでの砥石制御技術、耐薬品性の高いS i Cに有効な化学的機械的研磨法（CMP）の開発等を行う。

なお、これらの各工程は前後の工程に大きな影響を与えるため、密接な連携を図りつつ研究開発を実施することとする。

#### 3. 達成目標

6インチ結晶において、以下の項目を満たす実用的な加工（切断・研削・研磨）技術を確立する。なお、2012年度までに基盤技術を確立し、2013年度以降、大口径結晶成長技術、大口径エピタキシャル膜成長技術の成果を合わせ、結晶成長から加工、エピタキシャル膜成長に至るまでの一貫した6インチエピウェハ製造技術として確立する。

#### 【中間目標】

ウェハ切断技術に関して、3インチ結晶で切断速度150 $\mu$ m/分以上、同時切断枚数10枚以上、切り代300 $\mu$ m以下を実現する。また、3～4インチ結晶/ウェハを対象にして、切断、研削、粗研磨、仕上げ研磨の各要素工程の最適化、及び接続最適化を行い、6インチS i C結晶/ウェハ加工の高速・高品質な一貫プロセス最適化の方針を決定する。

#### 【最終目標】

6インチ結晶/ウェハを対象に、以下の効率性を実現する。

- ① 切断：速度300 $\mu$ m/分以上、同時切断枚数10枚以上、切り代250 $\mu$ m以下
- ② インゴットから表面仕上げ精度Rms（表面荒さ）0.1nm@2 $\mu$ m×2 $\mu$ mのベアウェハを実現する統合加工プロセスとして、プロセス時間24時間以内

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (3)「SiCエピタキシャル膜成長技術（大口径対応技術／高速・厚膜成長技術）」

#### 1. 研究開発の必要性

エピタキシャル膜の品質はデバイスの性能・歩留まりに直接影響するため、その技術開発は極めて重要である。SiCエピタキシャル膜の作製にあたっては、1,600°Cから1,800°Cの高温環境下でシランガス(SiH<sub>4</sub>)とプロパンガス(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>)からSiCを合成するため、高温環境下での極めて精密な制御技術を要する。そのため、SiCデバイスの普及において、エピタキシャル膜成長プロセスの高コスト性がボトルネックになっており、低コスト化には大口径ウエハを同時に多数枚処理できるエピタキシャル膜成長技術及びその品質評価技術の確立が必要である。

一方、デバイスの高耐圧化に対応するためには、数10μm以上の厚いエピタキシャル膜が必要となる。そのため、プロセス時間の観点から、厚いエピタキシャル膜の作製には成長速度が重要であり、高速エピタキシャル膜成長技術が必要となるが、現状デバイス品質との両立は確認されていない。それゆえ、高耐圧デバイスの実現・普及には、量産に対応できる高速成長での高品質・厚膜エピタキシャル膜成長技術及びその特性評価技術の確立が必要となる。

#### 2. 研究開発の具体的内容

SiCウエハの大口径化に対応した、大面積で均一かつ低欠陥なエピタキシャル膜を高スループットで成長できるエピタキシャル膜成長技術及び高耐圧デバイスの作製に対応できる厚膜を高均一・高純度かつ高速で成長できるエピタキシャル膜成長技術を開発する。また、その両者に対応した大口径／厚膜SiCエピタキシャルウエハ評価技術を開発する。

#### 3. 達成目標

SiCエピタキシャル膜成長の大口径対応技術と高速・厚膜成長技術を確立する。大口径対応技術については、2012年度までに基盤技術を確立し、2013年度以降、大口径結晶成長技術、大口径ウエハ加工技術の成果を合わせ、結晶成長から加工、エピタキシャル膜成長に至るまでの一貫した6インチエピウエハ製造技術として確立する。高速・厚膜成長技術については、2012年度までにプロトタイプ炉によって要素技術開発を進め、2013年度以降、高耐圧デバイス用厚膜エピタキシャル膜成長技術の確立を目指すとともに、高耐圧デバイス製造技術開発のために厚膜・高純度エピウエハを提供する体制を整える。

#### 【中間目標】

##### ①大口径対応技術

みなし6インチ径のエピタキシャル膜成長を行い、6インチ成長プロセスにおける問題

点を把握すると共に、当該成長膜に対して以下の品質を実現する。

- ・ 均一度：厚さ±10%、ドーピング濃度±20%
- ・ 品質 エピ成長起因の表面欠陥密度：2個/cm<sup>2</sup>以下

#### ②高速・厚膜成長技術

口径2インチ、膜厚50μm以上のエピタキシャル膜に対して以下の品質を実現し、SiC厚膜形成技術を確立する。

- ・ 純度 残留キャリア濃度：3×10<sup>14</sup>/cm<sup>3</sup>以下
- ・ 品質 エピ成長起因の表面欠陥密度：5個/cm<sup>2</sup>以下

### 【最終目標】

#### ①大口径対応技術

口径：6インチ、処理枚数：3枚以上のエピタキシャル膜に対し、以下の品質を実現する。

- ・ 均一度：厚さ±5%、ドーピング濃度±10%
- ・ 品質 エピ成長起因の表面欠陥密度：0.5個/cm<sup>2</sup>以下

#### ②高速・厚膜成長技術

成長速度100μm/h以上で作成した口径4インチ、膜厚50μm以上のエピタキシャル膜に対し、以下の品質を実現する。

- ・ 純度 残留キャリア濃度：3×10<sup>14</sup>/cm<sup>3</sup>以下
- ・ 均一度：厚さ±2%、ドーピング濃度±10%
- ・ 品質 エピ成長起因の表面欠陥密度：1.0個/cm<sup>2</sup>以下

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (4)「SiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術」

#### 1. 研究開発の必要性

3～5kV領域の高耐圧スイッチングデバイスの実用化により、高速鉄道等のインバータの電力変換効率の向上や小型・軽量化による設計の自由度向上など、低炭素社会の構築、産業競争力強化に極めて大きな効果が期待される。

#### 2. 研究開発の具体的内容

3～5kV級の高耐圧かつ低損失なSiCスイッチングデバイスを製造するための新規耐圧構造の設計／作製技術、高耐圧デバイス酸化膜信頼性向上技術、限界性能向上技術、高耐圧デバイス実装技術、高耐圧デバイス評価技術、大容量電力変換器設計技術の開発を行う。

#### 3. 達成目標

以下の項目を満たすSiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術を確立する。

新規耐圧構造デバイスについて、2012年度までに、当該耐圧構造設計・作製プロセス技術、高耐圧デバイス酸化膜信頼性向上、高耐圧デバイス実装技術、高耐圧デバイス評価技術、高温実装技術などの要素技術を開発し、2013年度以降、エピタキシャル膜の成長技術（高速・厚膜成長技術）の成果を活用して、新規耐圧構造を適用した低損失なSiC高耐圧スイッチングデバイスを試作し、動作実証を行う。

高耐圧大容量デバイスについて、2012年までに、高耐圧大容量デバイス設計・試作技術、限界性能向上技術、電力変換器設計技術などの要素技術を開発する。2013年度以降、エピタキシャル膜の成長技術（高速・厚膜成長技術）の成果を活用して、SiC高耐圧大容量スイッチングデバイスの製造技術の確立を進めるとともに、大容量電力変換器の試作を行い、大容量・低損失動作の実証を行う。

#### 【中間目標】

##### ①新規耐圧構造デバイス

より低損失化が可能な新規高耐圧デバイス構造とその作製要素プロセスを開発し、当該構造で耐圧3kV以上の高耐圧SiC-MOSFETを実現する。

##### ②高耐圧大容量デバイス

耐圧3kV以上の高耐圧SiC-MOSFETを実現すると共に、SiC-MOSFET、SiC-SBDを適用した3kV以上の電力変換器モジュールを試作して、当該電圧領域のスイッチング及び多並列接続に関する要素技術を確立する。

#### 【最終目標】

##### ①新規耐圧構造デバイス

必要な各種要素技術を高度化し、耐圧：3 kV以上で特性オン抵抗：1.5 mΩ cm<sup>2</sup>以下の高耐圧SiC-MOSFETを実現する。

## ②高耐圧大容量デバイス

耐圧：3 kV以上、オン抵抗80 mΩ以下（室温環境下）、定格出力電流密度100 A/cm<sup>2</sup>以上の高耐圧SiC-MOSFETを開発し、当該デバイスを用いたMVA級電力変換器を試作して、その動作時の電力損失が同耐圧のSi電力変換器の50%以下であることを実証する。



## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (5)「S i C ウェハ量産化技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

2010年になり、海外ウェハメーカによるS i C 6インチウェハ実用化の動きがより活発化してきており、2011年から2012年には少量ながら、4インチウェハと同等品質の6インチウェハ試供品が市場投入されると見込まれる。これにより本格展開に向けて大口径S i C ウェハの独占供給による価格吊り上げやそれに伴う日本国内関連産業の停滞が懸念される。

この状況を打破するためには、本体プロジェクトによる高品質・大口径化技術開発の完了に先立って、既存技術を活用していち早く6インチウェハを実現することが急務である。早期の6インチ実現を進めることにより、量産化に向けた技術課題の早出しが進むだけでなく、S i C 基板供給の海外依存を脱却し、国内S i C 基板の安定供給による国内S i C 市場の立ち上げ加速化につながる。また、本体プロジェクトで開発を進める高度化技術（高品質・高生産性）の受け皿となるウェハ技術検証ライン構築にも資すると期待できる。

#### 2. 研究開発の具体的内容

昇華法をベースとした既存技術活用により、早期に6インチ4H-S i C ウェハ実現にむけた道筋を明確にする。そのために、バルク結晶成長やウェハ加工に関わる大口径対応装置導入・立上げを進め、6インチ4H-S i C インゴットの実現と共に、その量産化に向けた課題抽出を進める。その中では、必要な製造要素技術の工業レベルでの再現性、及び量産性の検証を含めた生産性向上技術、低コスト化技術（装置改善・工程改善）、検査技術の開発を並行して進め、月産1,000枚規模のS i C ウェハ生産技術へ展開可能な、量産化製造に関する基盤技術を確立する。

上記開発成果は、将来的には、6インチS i C ウェハを継続的に試作可能なプロトタイプライン構築に繋げる。そのラインを活用してデバイス・システム開発にウェハ供給を実施し、その評価結果をフィードバックすることで量産化技術開発の加速化を図る。

#### 3. 達成目標

大口径4H-S i C ウェハの量産化技術開発可能な環境整備（昇華法結晶成長炉、ウェハ加工装置）を実施し、

- 有効面積（端部3mmを除く）全域において転位密度 $1 \times 10^4$ 個/cm<sup>2</sup>以下の口径6インチ4H-S i C インゴットを実現する基盤技術を確立する。

または、

- 成長速度0.25mm/h以上で転位密度 $5 \times 10^4$ 個/cm<sup>2</sup>以下の口径6インチ4H-S i C インゴットを実現する基盤技術を確立する。

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (6)「大口径S i C ウェハ加工要素プロセス検証」

#### 1. 研究開発の必要性

S i C ウェハの加工技術に関して、産業的に見合ったウェハコストを実現するため、インゴット切断、研削、粗研磨（ラッピング）、仕上げ研磨（CMP）の4工程を6インチ級の大口径ウェハに対応させながら、従来技術を越える高能率、低ダメージ、超平坦化を一貫プロセスとして達成することが、今後の高品質6インチウェハ早期実用化のためには必須となる。しかしながら、高硬脆材料であるS i Cインゴットを能率良く、かつ加工変質層の発生を最小限に抑えてウェハに加工する上記4工程における最適な要素プロセスは、未成熟であると共々個々の能力限界が明確ではない。

特に切断技術においては、ワイヤー速度、ワイヤー張力不足に起因する切断能率の低さが問題視されている。また、上記各工程においては、高能率化と低損傷化の二律背反性がS i Cウェハ加工にとって極めて解決が難しい課題となっており、本体プロジェクトにおける大口径ウェハ高速一貫加工プロセスの確立のためには、S i C材料に対する各種加工法の特徴、及び加工ダメージ層形成過程の高精度な分析を通じて、個々の要素工程の能力限界と最適加工条件を抽出しておくことが早期に求められる。

#### 2. 研究開発の具体的内容

本体プロジェクトにおける大口径S i Cインゴットから高品質ウェハを実現する大口径ウェハ一貫加工プロセス開発に資するため、インゴット切断、研削、粗研磨、仕上げ研磨の各要素プロセスに関して、現状技術での試加工実験を通して、能力限界・個別課題の抽出を進め、大口径S i Cウェハ高速一貫加工プロセス加工への適用性を検証する。

#### 3. 達成目標

切断技術として、ダイヤモンドを使ったマルチワイヤーソーにおいて、S i C 6インチインゴットに対して $150\mu\text{m}/\text{分}$ 以上の高速切断が可能になる最大ワイヤー速度：約 $4,000\text{m}/\text{min}$ 、最大張力： $70\text{N}$ の高速高剛性切断技術を実現する。更に、切断、研削、粗研磨、仕上げ研磨の各工程に関して、個々の要素工程の能力限界と最適加工条件（砥石、砥粒、研磨定盤種、装置技術、加工動作管理、能率等）を抽出し、S i Cウェハ加工における高速一貫プロセス確立に資する統合的なデータ蓄積を行う。

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (7)「SiC高耐圧大容量パワーモジュール検証」

#### 1. 研究開発の必要性

3～5kV領域の高耐圧デバイスの実用化により、高速鉄道等のインバータの電力変換効率の向上や小型・軽量化による設計の自由度向上など、低炭素社会の構築、産業競争力強化に極めて大きな効果が期待される。この電圧領域では、社会インフラとしての応用分野が広いにもかかわらず、SiCを用いたパワースイッチングデバイスやパワーモジュールの開発が諸外国に比べて後手に回っている。しかしながら、パワーモジュール応用がより簡易なダイオードを選択するだけでも、リカバリー損失及びターンオン時のスイッチング損失を低減でき、従来のSiデバイスを用いたものに対して大幅な低損失化・小型化が可能となり、早期実用化に大きな進展が期待できると共に、上記電圧領域におけるAll-SiCデバイスパワーモジュール実現に技術的指針を与えられることから、SiCダイオードを用いた高耐圧パワーモジュール検証への早期の取組が求められている。

#### 2. 研究開発の具体的内容

高耐圧(3.3kV級)かつ低損失なSiCショットキーバリアダイオードを実現するための新規耐圧構造設計・作製プロセス技術、高耐圧デバイス評価技術の開発を行う。また、当該SiCショットキーバリアダイオードとスイッチング素子としてSi絶縁ゲートバイポーラトランジスタを選択(ハイブリッド構造)した大容量パワーモジュール設計技術を開発し、SiC大容量パワーモジュールの試作/動作実証を行うことで、SiCデバイスの活用が当該電圧領域におけるパワーモジュールでも有効であることを実証する。

#### 3. 達成目標

耐圧3.3kV定格電流75AのSiCショットキーバリアダイオードを開発し、Si絶縁ゲートバイポーラトランジスタと組み合わせて1,000A級大容量パワーモジュールを試作してその動作を実証するとともに、All-SiCデバイスパワーモジュール実現に必要とされるSiCFETの仕様に対する技術的指針を得る。

## 研究開発項目①「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (8)「大口径対応デバイスプロセス装置開発」

#### 1. 研究開発の必要性

S i Cデバイス化プロセス技術において、先行しているS iデバイス技術と大きく異なり、更なる開発の必要性があるのは、プロセス温度がより高いイオン注入、活性加熱処理、高温酸化等の高温熱処理プロセス、並びにウエハが透明であることに起因した困難さが残存する露光プロセスである。これらのデバイス化プロセスではS iデバイス用の装置技術を転用することが本質的に困難であり、また、既存のS i C 4インチプロセス装置技術の延長では均一性等の生産レベルで必要とされる性能の達成も困難である。S i Cの6インチウエハが実用化されても以後のデバイス化プロセスで対応できず、このままでは6インチウエハに立脚したデバイス開発に支障を来す。実用化のためには、S i C 6インチウエハを想定した当該デバイス化プロセス装置の開発が不可欠である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

S i Cデバイス化プロセスの内、S iデバイスプロセスとは異なる高温プロセス技術、或いは透明基板対応技術に関して、6インチウエハ対応装置を開発する。

更に、当該装置を用いたデバイス試作によって最終性能を確認できるよう、研究計画終了後に必要な措置をとる。

#### 3. 達成目標

6インチS i Cウエハを対象に、イオン注入、活性化熱処理、高温酸化等のデバイス化のための高温プロセス装置、或いは透明ウエハ対応露光装置を開発し、所定の処理特性の面内均一性を達成する。具体的には、

イオン注入装置の場合、

- ・ 室温から800°Cまでの全領域でイオン注入が可能なこと
- ・ 温度均一性：6インチ面内：±15°C
- ・ A1注入イオン電流：200  $\mu$ A上

活性化熱処理装置の場合、

- ・ 熱処理温度：1, 800°C以上
- ・ 温度均一性：6インチ面内：±30°C
- ・ 一度に25枚以上処理可能なこと。

高温酸化装置の場合

- ・ 1, 200°C以上の高温でパイロジェニック酸化、及びH<sub>2</sub>、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>Oガス処理が可能なこと。
- ・ 温度均一性：6インチ面内：±15°C
- ・ 一度に25枚以上処理可能なこと。

- 1, 100°Cで処理したSiゲート絶縁膜に含まれる金属不純物が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ 未満であること。

露光装置の場合、

- 6インチ4H-SiCウエハに対する重ね合わせ精度に関して、中心点及び4隅において、ばらつき(標準偏差の3倍以内)が65nm以下であることであること。
- 解像度(市販のレジストをもちいた標準プロセス)に関して、350nmのライン&スペースパターンを転写できること。

## 研究開発項目① 「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (9) 「高耐熱部品統合パワーモジュール化技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

S i パワー半導体素子で達成不可能なレベルの小型・軽量電力変換器の実現には、S i C パワー半導体素子の採用と、その高温動作・高速スイッチングが有効である。例えば電気自動車などの応用分野において、これに関連する技術開発に対する期待が大きい。中でも、高耐熱の受動素子等の開発と、それらをパワー半導体素子近傍に配置する実装技術が重要である。しかし、従来のS i パワー半導体素子の動作温度を超える環境に対応する実装技術、並びに実用的高耐熱部品の開発は未着手であり、早期開発が望まれている。

このため、S i C 高性能パワー半導体素子を対象にした高温実装技術の開発と、これに適合する高耐熱部品の要素開発を連携して進める必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

S i では動作不可能な接合温度領域(200~250℃)においてS i C パワー素子が高速スイッチング性能を発揮できるよう、開発する耐熱部品をパワー素子近傍に配置するために必要な高信頼接合技術等の実装基盤技術を開発する。

上記の実装技術に対応する高温領域において基本性能(耐電圧・周波数特性等)を有し、かつ実装プロセスに対する耐性を有する受動部品(スナバコンデンサ・スナバ抵抗等)、及び過酷なヒートサイクルに耐えるメタライズ放熱基板・配線基板等の構造部材の要素技術を開発する。

部品レベルの耐熱性及び電気特性、並びに部品を実装技術によって統合し単一パッケージ化した際の耐熱性及び電気特性を評価し、問題点を把握する。これにより、高耐熱動部品と、それに対応した統合モジュール技術を効率的に開発する。

#### 3. 達成目標

接合温度が225℃以上で動作するS i C パワー素子の近傍に、新規開発の高耐熱受動部品を配置したパワーモジュールを試作し、各実装部品間の相互の影響を検証する。また、試作したパワーモジュールの耐熱性と電気特性の評価を通して、高温動作における課題を抽出するとともに、その解決の見通しを示す。

ここで、試作するパワーモジュールは耐電圧1200V/50A級とし、開発・搭載する受動部品及び部材の仕様は下記のとおりとする。

(スナバコンデンサ) 静電容量0.1μF級、耐電圧1kV級、共振周波数10MHz級のコンデンサにおいて、使用時の耐熱温度250℃であり、-40~250℃の温度領域における静電容量の変動が±10%以下、かつ、体積が40mm<sup>3</sup>以下(例えば、5×4×2mm)。

(スナバ抵抗) 抵抗値  $10\ \Omega$  級、定格電力  $1\ \text{W}$  級の抵抗体において、使用時の耐熱温度  $250\ ^\circ\text{C}$  であり、 $-40\sim 250\ ^\circ\text{C}$  の温度領域における抵抗値の変動が  $\pm 10\%$  以下、かつ、 $10\ \text{MHz}$  までの周波数領域における抵抗値の変動が  $\pm 10\%$  以下、かつ、体積  $20\ \text{mm}^3$  以下 (例えば、 $6.3 \times 3.1 \times 1\ \text{mm}$ )。

(メタライズ放熱基板) 熱伝導率  $180\ \text{W}/(\text{mK})$  以上、曲げ強度  $600\ \text{MPa}$  以上、破壊靱性  $6\ \text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  以上の絶縁素材を用いた、サイズ  $5000\ \text{mm}^2$  以上、厚み  $1/80\ \text{inch}$  ( $0.32\ \text{mm}$ ) 以下で両面に金属プレートが接合されたメタライズ放熱基板において、耐電圧  $1200\ \text{V}$  以上、 $-40\sim 250\ ^\circ\text{C}$  の温度範囲での耐ヒートサイクルが  $1000$  回以上。

(配線基板) 使用時の耐熱温度  $250\ ^\circ\text{C}$  であり、当該温度において耐電圧  $1200\ \text{V}$ 、 $50\ \text{A}$  級の電流が通電可能な内部配線を有し、かつ、実装されるパワー素子電極に対する内部配線の位置精度  $\pm 20\ \mu\text{m}$  以下。

## 研究開発項目① 「低炭素社会を実現する新材料パワー半導体プロジェクト」

### (10) 「新世代Siパワーデバイス技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

20年以上にわたって高耐圧に対応するパワーデバイスとしてSi-IGBTが重要な役割を担ってきたが、従来技術の延長によるデバイス開発では性能限界が見え始めていると言われている。その解決手段の一つとして、SiC等の新材料パワーデバイスの開発を推進し、実用化が進みつつあるが、普及にはまだある程度の時間を要する見込みであり、Siパワーデバイスの更なる性能向上についての期待は高い。

また、パワーデバイス市場の中でも特にSi-IGBTは国内メーカーがその40%のシェアを握っており、かつ市場自体も年15%の成長率が予測される有望市場である。一方で、現在主流の200mmウエハプロセスから300mmプロセスへの転換も現実的な流れとしてはあり、転換期に合わせて競合である欧米勢や後発のアジア勢の動きが活発化している。このような状況の中、国内メーカーの優位な環境を維持しつつ更なる成長を遂げるには、従来技術の延長線上にない新世代Siパワーデバイスを開発し、他の追随を許さない環境を作る必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

低欠陥ウエハ技術、スケーリング技術、3次元化等の新構造化技術等を駆使し、極限の材料及びデバイス構造等を開発することにより、現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスを開発する。

また、開発した新世代Siパワーデバイス的高速スイッチングを可能にするゲートドライバやスイッチング技術等を開発する。

#### 3. 達成目標

##### 【中間目標】(2016年度末)

現状のSiCパワーデバイスと耐圧、電流密度等で同等以上の性能を有する新世代Siパワーデバイスを開発し、トランジスタとしての動作実証を行う。その上で現状のSiパワーデバイスの性能限界を突破する。

##### 【最終目標】(2019年度末)

2016年度末までに動作させた新世代SiパワーデバイスとゲートドライブICを組み合わせたプロトタイプモジュールを作成し、産業用実用化クラスの出力(例えば10kW)の変換器実証運転を行う。また、パワーデバイスとしては、低欠陥ウエハ技術、スケーリング技術等の新構造化技術等の高度化を図り、スケーリングコンセプトの連続性を確認する。



## 研究開発項目②「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）」

### (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. 研究開発の必要性

近年のIT技術の進展によりIT機器が消費する電力も膨大な量が見込まれている。こうした背景の下、省エネルギー化・地球温暖化解消の観点から、データセンタ用サーバ電源に代表される数kW級電源機器の電力損失の大幅低減と機器小型化の実現が必須課題となっており、その実現には電源機器へのSiCパワーデバイスの適用が有効である。そのためには、SiCパワーデバイスの高性能化とSiCパワーデバイスを適用した電源機器用電力変換器の高度化に関する技術開発が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

電力容量が数kW級のデータセンタ用電源の省エネルギー化、小型化に向け、SiCパワーデバイスの高性能化技術開発を行い、それらの開発により得られた高性能デバイスを電源機器用電力変換器へ適用して電力変換技術の開発を行う。加えて、上記電源のプロトタイプを試作し、その低損失、高効率特性を実証する。SiCパワーデバイス開発においては、SiCダイオード、SiCスイッチングデバイスの高性能化、スイッチング特性改善等の技術開発を実施する。サーバ電源開発においては、電源機器に適した駆動方式、高効率化等に関わる技術開発を行う。

#### 3. 達成目標

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「次世代パワーエレクトロニクス技術開発」

### (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」

#### 1. 研究開発の必要性

パワーエレクトロニクス応用としてモータ駆動と同様に重要な数10kW級の太陽光発電用パワーコンディショナに関して電力損失の大幅低減と機器の小型化を実現するためには、SiCデバイスの適用が有効である。そのためには、SiCパワーデバイスの高性能化と、SiCパワーデバイスを適用したパワーコンディショナの高度化に関する技術開発が必要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

太陽光発電システム用パワーコンディショナの省エネルギー化、小型化に向け、SiCパワーデバイスの高性能化技術開発を行うと共に、駆動回路方式に対応したSiCデバイスのしきい値制御技術を行う。さらに、それらの開発により得られた高性能デバイスを用いて、太陽光発電システム用パワーコンディショナへ適用する電力変換技術の開発を行う。加えて、上記パワーコンディショナのプロトタイプを試作し、その低損失、高効率特性を実証する。デバイス技術においては、SiCダイオード・SiCスイッチングデバイスの低オン抵抗化技術、しきい値制御技術、変換器の駆動方式、スイッチング技術及び、フィルタの最適化技術開発を実施する。

#### 3. 達成目標

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。

## 研究開発項目②「次世代パワーエレクトロニクス技術開発」

### (3)「次世代SiC電力変換器基盤技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

高出力パワー密度を持つ革新的電力変換器を実現するためには、パワーデバイスを高速かつ高温で動作させる必要があり、高温環境下での高信頼化技術や周辺回路デバイス等を含めた設計技術と実装技術が不可欠となることから、これらの技術を開発・統合する電力変換器の高出力パワー密度性能を検証する必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

次世代パワーデバイスを利用した革新的電力変換器設計技術と高温実装技術等を開発し、それらを取り入れた電力変換器の高出力パワー密度性能の検証を行う。

より具体的には、次世代パワーデバイスを、高温で反復動作させると共にその優れた高温特性の活用を可能とする実装要素技術(配線、絶縁、冷却、回路レイアウト技術等)を開発する。また、高温環境下でのデバイス特性試験を通じて高パワー密度変換器の統合設計体系に高温条件を導入する。これらにより、次世代パワーデバイスを用いた電力変換器の高出力パワー密度性能の向上を図る。

#### 3. 達成目標

次世代パワーデバイスをデバイス温度<sup>(※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、60W/cm<sup>3</sup>級の出力パワー密度<sup>(※2)</sup>を持つ革新的電力変換器の動作検証が可能なレベルの要素技術を確立する。

(※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。

(※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。

なお、2010年度計画策定にあたり、産業技術政策動向等及び目標の必須性を勘案して基本計画の見直しを行った結果、「研究開発項目③」の「(1)電力変換器用SiCパワースイッチングデバイス基盤技術」については、当該研究開発は2009年度をもって終了することとした。

## 研究開発項目③「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発」

### (1)「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究」

#### 1. 研究開発の必要性

パワーエレクトロニクスは、省エネの切り札、産業競争力強化の鍵となることが期待できる技術分野であり、このうち、パワー半導体の領域においては、日本は産業競争力を有している。本領域の強みを活かし、産業競争力を更に強化するため、より新しく、独創性に富むなどの応用分野（アプリケーション）の開拓を進め、新市場の創出を行うことも重要である。

#### 2. 研究開発の具体的内容

パワーエレクトロニクスを駆使した、独創性や革新性の高い、新しい応用システムについての先導研究を実施する。具体的には、考案された応用システムのコンセプト実証を行う。

#### 3. 達成目標

##### 【最終目標】（2016年度末）

パワーエレクトロニクスを駆使した、独創性や革新性の高い、新しい応用システムに関するコンセプト実証を行う。実証を通じて、考案された応用システムの省エネ効果の有効性や、見込まれる競争力の優位性などを検証し、今後の技術的課題の抽出等を行う。

なお、目標を達成した後、実用化の見通し等の観点から外部有識者による評価等を踏まえ、実用化に向けた継続的な取組が必要な研究開発内容の絞り込みを行う。実用化に向けた取組が必要と判断された場合には、研究開発項目③「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発」(2)「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成」において引き続き研究開発を実施することがある。

## (2) 「次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の実用化助成」

### 1. 研究開発の必要性

S i C等の新材料パワーデバイスは、鉄道、民生機器等に採用され、実用化が進みつつある。今後、低炭素社会の実現・産業競争力の強化を更に推進するためには、新材料パワーデバイスの耐圧や信頼性等の向上、コスト低減等により、適用される製品の裾野を拡げることが重要となる。

なお、パワーエレクトロニクスは扱う電力の容量が大きいと、機能をワンチップ化して高機能化を図ることは困難であり、高機能化はデバイスを核として、デバイスの制御系や周辺回路を組み合わせたモジュールやパッケージにより、システム全体の最適化を図ることによってなされることとなる。従って、産業機器、自動車、民生機器などのアプリケーション毎に要求されるスペックを、最適な材料（S i、S i C、G a N）、をデバイスや回路等の設計技術、実装技術等と組み合わせ、最適な応用システムを構築することにより実現することが重要となる。

### 2. 研究開発の具体的内容

材料、設計技術、実装技術等の開発により、新材料パワーデバイスも用いた応用システムの試作・実証を行う。

(想定する応用システムの例)

- ・6.5 k Vの高耐圧S i Cパワーデバイスを全面採用したエネルギー効率2倍、サイズ1 / 4となる産業機器用インバータを開発し、エネルギー効率に優れた次世代産業機器の応用システム
- ・従来のS iパワーデバイスを用いたインバータと比較して、エネルギー効率2倍、サイズ1 / 4となる車載品質のインバータを開発し、航続距離が長く、エネルギー効率に優れた次世代自動車の応用システム
- ・プロジェクト開始時点のS iパワーモジュールと比較して周波数10倍化、パワー密度100倍化、エネルギー効率2倍化された新材料のパワーモジュールを開発し、エネルギー効率に優れた次世代民生機器の応用システム

### 3. 達成目標

【中間目標】（2016年度末）

新材料パワーデバイスを用いたインバータ等の実現に必要となる、材料、設計技術、実装技術等を開発する。また、その開発状況を評価することで最終目標達成のための課題を抽出し、解決の技術的見通しを明確にする。

なお、公募により選定したテーマ毎に中間目標を設定する。

**【最終目標】（2019年度末）**

新材料パワーデバイスを用いたインバータ等を開発し、それらを適用した特定用途の応用システムについて試作・動作実証を行う

なお、公募により選定したテーマ毎に最終目標を設定する。

#### 研究開発項目④「新材料パワーデバイスの実用化加速技術開発」

##### (1)「パワーデバイス用新材料ウエハの革新的製造技術の開発」

###### 1. 研究開発の必要性

SiCと並び期待されているパワーデバイス用新材料は、一般的にウエハの品質及びコストがそのパワーデバイス実用化に対し大きなボトルネックとなっている。こうした新材料を用いたパワーデバイスの研究は、欧米においても国家的な研究開発事業として取り組まれてきている。こうした中、我が国においても、SiCの次も見越した手だてを講じていくことが重要である。このために必要となるウエハの高品質化、低コスト化に取り組む。

###### 2. 研究開発の具体的内容

低欠陥で、パワーデバイスに供する新材料ウエハ実現のための革新的製造技術を開発する。また、低コスト化を実現するためのウエハの大口径化に関する革新的製造技術を開発する。

###### 3. 達成目標

###### 【最終目標】(2019年度末)

- ・貫通転位密度  $1,000/cm^2$ 以下、口径4インチ以上の単結晶を実現し、当該結晶を用いたデバイス品質のウエハ作成プロセスを生産性の高い方法で確立する。
- ・上記新材料を用いた口径6インチの単結晶実現のための製造技術を確立する。

## (2) 「新材料パワーデバイスの新規用途開拓の推進」

### 1. 研究開発の必要性

新材料パワーデバイスは、Si、SiC系のパワーデバイスと比較して高周波数かつ高出力な用途に適用可能であり、スイッチングデバイス、パワーIC、高周波無線デバイス、レーダー、エネルギー伝達デバイスなど、様々な応用が期待されている。パワーデバイス材料としてSi、SiCの技術開発が先行している中、新材料パワーデバイスの市場を形成し、牽引していくためには、単にSi、SiC系のパワーデバイスの代替のみならず、SiC等の従来材料では不可能な用途の開拓を見据え、新材料の特徴である高周波特性や放熱特性等を最大限に活かす研究開発が必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

新たな用途開拓を見据えて、その実現に必要となる技術に関して下記の研究開発を実施する。

- ① 新材料パワーデバイスの実用に即した成膜技術や放熱技術などの共通基盤技術の開発
- ② 大容量高周波無線通信デバイス技術などのIoT社会を実現するための要素技術開発
- ③ 新材料パワーデバイスの社会実装に向けた将来の革新的な用途開拓に関する可能性の検証

### 3. 達成目標

#### 【最終目標】（2019年度末）

①開発した共通基盤技術について、実用に即した性能評価を行い、実用化の見通しを明確化、②要素技術を実装した新材料パワーデバイスを試作・動作検証し、Si、SiC等の他材料のデバイスと比較した競争優位性の明確化、③新材料パワーデバイスの革新的な用途に関して、具体的かつ定量的な要求仕様及びその実現可能性の明確化、を最終目標とする。



(別添) 研究開発スケジュール

	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
研究開発項目 ①(1)~(9)		低炭素社会を実現する 新材料パワー半導体プロジェクト										
				中間評価			事後評価					
研究開発項目 ①(10)						新世代Siパワーデバイス 技術開発		中間評価	新世代Siパワーデバイス 技術開発			事後評価
研究開発項目 ②	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)											
					事後評価							
研究開発項目 ③					次世代パワーエレクトロニクス 応用システム開発							
								中間評価				事後評価
研究開発項目 ④									新材料パワーデバイスの 実用化加速技術開発			