

# 「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」

研究開発項目①（10） 新世代 Si パワーデバイス技術開発

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

## 事業原簿【公開版】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 IoT 推進部
-----	------------------------------------------

## —目次—

概 要.....	4
プロジェクト用語集 .....	8
1. 事業の位置付け・必要性について .....	11
1.1. 事業実施の背景.....	11
1.2. 政策的位置づけ.....	11
1.3. アウトカム効果.....	12
1.4. 国際的なポジション.....	12
1.5. 海外状況のまとめ .....	14
1.6. NEDO が関与する意義 .....	15
1.7. 今回の事業の位置づけ .....	16
2. 研究開発マネジメントについて .....	17
2.1. 事業の目的.....	17
2.2. 研究開発目標と根拠.....	18
2.3. 研究開発スケジュール .....	19
2.4. プロジェクト費用 .....	20
2.5. マネジメント体制 .....	20
2.6. 実施体制.....	22
2.7. 動向・情勢の把握と対応 .....	23
2.8. 知財マネジメント .....	23
3. 研究開発成果について.....	24
3.1. 研究開発テーマ「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」 .....	24
3.2. 研究開発テーマ「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステム の構築」 .....	25
3.3. 研究開発テーマ「SiC パワーデバイスを用いた超高効率率車載電動システムの開発」 .....	26
3.4. 研究開発テーマ「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」 .....	27
4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて .....	29
4.1. 「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」における実用化・事業化の見通し（三菱電機） .....	29
4.2. 「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」における実用化・事業化の見通し（東芝） .....	29
4.3. 「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築」にお ける実用化・事業化の見通し（富士電機） .....	29
4.4. 「SiC パワーデバイスを用いた超高効率率車載電動システムの開発」における実用化・事業化の見通し （デンソー） .....	29
4.5. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（三菱電機） .....	30

4.6. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（DOWA エレクトロニクス） .....	30
4.7. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（三菱マテリアル） .....	31
4.8. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（デンカ）	31
4.9. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（日本ファインセラミックス） .....	31

(添付資料)

- ・特許論文等リスト
- ・プロジェクト基本計画
- ・事前評価関連資料(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)

## 概要

	最終更新日	2016年8月26日	
プログラム (又は施策)名	科学技術・イノベーション、地球温暖化対策		
プロジェクト名	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(研究開発項目①(10)新世代Siパワーデバイス技術開発及び研究開発項目③次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発)	プロジェクト番号	P10022
担当推進部/ PMまたは担当者	IoT推進部 間瀬 智志(2016年8月現在)		
0. 事業の概要	<p>本事業では、パワー半導体の性能限界突破や新材料パワー半導体を駆使したアプリケーションへの応用開発を行い、電力変換器等のパワーエレクトロニクス機器の性能向上や適用範囲拡大により、飛躍的な省エネ化を実現する。</p> <p>具体的には以下の研究開発を行う。</p> <p><b>【研究開発項目①(10)】</b> Siパワーデバイスに関し、従来技術の延長線上にない革新的な手法を用いることで、現状のSiパワーデバイスの性能限界突破を行う。</p> <p><b>【研究開発項目③】</b> 新材料パワー半導体を各種アプリケーションに適用するため、モジュール化のための材料、設計技術、実装技術等の開発、開発したモジュール等を適用したシステムの試作、動作実証等を行う。</p>		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	<p>パワーエレクトロニクスは、鉄道・自動車・産業機械・家電など生活に身近なあらゆるところに適用される技術であり、その高性能化はあらゆるところの省エネに繋がり、低炭素社会実現の鍵となる技術である。</p> <p>また、パワーエレクトロニクス関連市場は、現在6兆円に対し、2030年には20兆円まで拡大する見込みである。成長市場で優位性を確保し、経済成長に繋げることは重要である。本事業の成果により、半導体デバイス関連の国内企業群が国際的に大きい存在感を有するほか、自動車産業をはじめとする電機産業以外の産業競争力強化にも大きい貢献が期待される。</p> <p>海外では、Power AmericaやNY-PEMCをはじめとした大型の国家プロジェクトが次々に組成され、本分野の推進を強化している。また、ECPEをはじめとしたコンソーシアム活動も盛んである。日本は多くの有力企業を抱えている一方で、一企業だけで対抗することは困難になりつつある。従ってNEDOが関与し、本分野の研究開発を強力に推進することが重要になってくる。</p>		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p><b>【研究開発項目①(10)】</b> (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パワーデバイスの開発。</p> <p><b>【研究開発項目③】</b> (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な、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。</p> <p>(2017年度末(予定)) 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。</p>		

	主な実施事項	H26fy	H27fy	H28fy	
		(FY2014)	(FY2015)	(FY2016)	
事業の計画 内容	研究開発項目① (10)	新世代 Si-IGBT と 応用基本技術の研究開発			
	研究開発項目③	世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール 研究開発と日本型エコシステムの構築			
		SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システム の開発			
		高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発			
		革新的アプリケーション開発 (6 テーマ)			
会計・勘定	H26fy (FY2014)	H27fy (FY2015)	H28fy (FY2016)	総額	
一般会計	-	-	-	-	
特別会計(需給)	2,159	2,947	2,320	7,425	
開発成果促進財源	-	-	-	-	
総予算額	2,159	2,947	2,320	7,425	
(委託)	○	○	○		
(助成) : 助成率 2/3	○	○	○		
(共同研究) : 負担率△/□	-	-	-		
開発体制	経産省担当原課	産業技術環境局 研究開発課 商務情報政策局 情報通信機器課			
	プロジェクト リーダー	千葉大学 佐藤之彦 教授 (研究開発項目③のプロジェクトリーダー)			
	委託先 (委託先が管理法人 の場合は参加企業 数及び参加企業名も 記載)	研究開発項目①(10) 委託先: 国立大学法人東京大学 (共同実施先: 国立大学法人九州工業大学、国立大学法人九州大学、学校法人明治大学、公立大学法人首都大学東京、国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社東芝、三菱電機株式会社)、国立大学法人東京工業大学  研究開発項目③ 助成先: 富士電機株式会社 (委託先: 国立大学法人東京大学、国立大学法人大阪大学、国立大学法人山梨大学、国立大学法人九州工業大学、学校法人早稲田大学、国立大学法人群馬大学、学校法人芝浦工業大学、国立大学法人信州大学、国立大学法人鹿児島大学、国立大学法人名古屋工業大学、東レ株式会社、株式会社コージン、デンカ株式会社、アレントジャパン株式会社、東京エレクトロンデバイス株式会社、DOWA メタルテック株式会社、日本軽金属株式会社、ナガセテムテックス株式会社、アルプスグリーンデバイス株式会社、東京エレクトロン株式会社、富士電機エフテック株式会社)、 株式会社デンソー (共同研究先: 国立大学法人静岡大学、国立大学法人大阪大学、委託先: 株式会社日本自動車部品総合研究所)、			

		<p>三菱電機株式会社（共同研究先：国立大学法人東京工業大学、学校法人芝浦工業大学、国立大学法人九州工業大学）、 日本ファインセラミックス株式会社（共同研究先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）、 三菱マテリアル株式会社、DOWA エレクトロニクス株式会社、デンカ株式会社</p> <p>研究開発項目③（革新的アプリケーション開発） 委託先：公益財団法人鉄道総合技術研究所、株式会社 ACR（共同実施先：国立研究開発法人産業技術総合研究所）、 国立大学法人京都工芸繊維大学（再委託先：国立大学法人千葉大学）、 公立大学法人首都大学東京、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人筑波大学、株式会社パルスパワー技術研究所、東京計器株式会社、株式会社プラズマアプリケーションズ、国立大学法人信州大学、国立大学法人大阪大学</p>
情勢変化への対応	事業を推進しながら課題として見えてきたものについて、適宜新テーマを追加。具体的には、「調査」「人材育成」「先導研究」の追加を行っている。	
中間評価結果への対応	-	
評価に関する事項	事前評価	2013 年度（平成 25 年度）実施 担当部 IoT 推進部
	中間評価	2016 年度（平成 28 年度） 中間評価実施
	事後評価	2020 年度（平成 32 年度） 事後評価実施（予定）
3. 研究開発成果について	<p>【研究開発項目①(10)】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・新世代 Si-IGBT を試作するため、まず縦型 MOSFET の試作を行った。ピーク移動度では、<math>300\text{cm}^2/\text{Vs}</math>（目標；<math>300\text{cm}^2/\text{Vs}</math>）の MOSFET を得ることに成功した。この技術を応用して新構造縦型 IGBT を試作し、良好な電流密度が得られている。</li> <li>・新開発のゲートドライブ回路を高電圧パワーエレクトロニクス回路に組み込み実証評価する環境を構築し、インバータ動作により連続運転を行った。3kV スイッチング環境を構築した。</li> </ul> <p>【研究開発項目③】 （次世代パワーモジュール）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・目標である、コスト 30%削減、量産化工数半減、サンプル供給期間 1/4 のパワーモジュール開発について達成のメド付け完了。 （車載電動システム）</li> <li>・目標である、従来システムから損失 1/3 となる昇圧コンバータレス PCU を用いた車載電動システムについて、システム単体での目標達成を確認。 （高耐圧 SiC パワーモジュール）</li> <li>・目標である、耐圧 6.5kV、出力密度が同耐圧 Si モジュール比 2 倍以上のパワーモジュールについて、回路動作検証用のモジュールにて実現可能であることを確認。</li> </ul>	
	投稿論文	「査読付き」1 件
	特 許	「出願済」32 件（うち国際出願 0 件）
	その他の外部発表（プレス発表等）	研究発表・講演 19 件、新聞雑誌等への掲載 1 件、展示会への出展 14 件

4. 実用化・事業化の見通しについて	<p>【研究開発項目①(10)】 本PJ成果を元にした新世代IGBT製品検討を行い、2020年度に事業化判断を行う。</p> <p>【研究開発項目③】 自動車、鉄道、エネルギーインフラ等の狙いとする適用分野に対し、2018年度以降順次実用化を図り、適用分野を徐々に拡大していく。</p>	
5. 基本計画に関する事項	作成時期	2014年4月 作成（研究開発項目③の追加）
	変更履歴	2014年5月 改訂（研究開発項目①(10)の追加） 2015年2月 改訂（研究開発項目③に革新的アプリケーション開発を追加）

## プロジェクト用語集

用語	説明
Ag	銀、パワー半導体素子とモジュール基板との間の接合材料として用いられる。
EV	Electric Vehicle の略で、電気自動車のこと。近年、資源制約や環境問題への関心の高まりを背景に、電気自動車が注目を集めている。
FCV	Fuel Cell Vehicle の略で、燃料電池自動車のこと。燃料電池で水素と酸素の化学反応によって発電した電気を使って走る自動車で、走行時に CO <sub>2</sub> や排気ガスを排出しない。
GaN	窒化ガリウム (Gallium nitride)、ガリウム(Ga)と窒素(N)で構成される化合物半導体材料。
HV	Hybrid Vehicle の略で、ハイブリッド自動車のこと。ガソリンエンジンとモーターの併用で遠距離走行ができる。
IGBT	絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ (Insulated Gate Bipolar Transistor) の略称。IGBT は、パワー半導体素子のひとつで、MOS 構造 (金属-酸化膜-半導体構造) を組み込んだバイポーラトランジスタである。Si のパワー素子では主力となる素子である。
IP6X	JIS で規定された防水や防塵の程度についての等級であり、IP6X は粉塵が内部に侵入しないことを示す。
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor の略称。電界効果トランジスタ (FET) の一種である。ゲート電圧によりオンオフを制御する素子であり、高速の動作が可能であるという特徴を持つ。
PCS	パワーコンディショナー (Power Conditioning System) のことで、太陽光発電等から発電された直流電気を一般家庭などで使用できるように交流に変換する機器。
PHV	Plug-in Hybrid Vehicle の略で、プラグインハイブリッド自動車のこと。外部電源から充電できるタイプのハイブリッド自動車で、走行時に CO <sub>2</sub> や排気ガスを出さない電気自動車のメリットとガソリンエンジンとモーターの併用で遠距離走行ができるハイブリッド自動車の長所を併せ持つ自動車。
SBD	ショットキーバリアダイオード (Schottky Barrier Diode) の略称。ショットキーバリアダイオードは、PN 接合ダイオードに比べ順方向電圧降下が低く、スイッチング速度が速い特長を持つ。
Si	ケイ素 (Silicon、シリコン)、多くの半導体で使用されている半導体材料。
SiC	炭化ケイ素 (Silicon Carbide)、シリコン (Si) と炭素 (C) で構成される化合物半

	導体材料。
SiN	窒化ケイ素 (Silicon nitride)、ケイ素(Si)と窒素(N)で構成され、パワーモジュールの基板材料に使用される。
UPS	Uninterruptible Power Supply の略で、入力電源断の際にも、停電することなく電力を出力する装置。無停電電源とも呼ばれる。
インバータ	直流(DC)を交流(AC)に変換する電力変換回路。
ガス成長法	高純度原料ガスを連続的に供給することにより、高品質かつ長尺な SiC バルク単結晶を得ることを期待されている結晶成長法。
コンバータ	交流(AC)を直流(DC)に変換したり、直流(DC)を異なる電圧の直流(DC)に変換(DC-DC コンバータ)する電力変換回路。
サージ	電気回路に瞬間的に発生するパルス状の電圧あるいは電流。パワー回路では、スイッチングに伴う過渡時に現れることが多く、適切な設計を行わないと、素子破壊などの深刻な問題が生じる。
次世代自動車	ハイブリッド自動車、電気自動車、プラグインハイブリッド自動車、燃料電池自動車、クリーンディーゼル車、CNG 自動車等を指す。窒素酸化物(NO <sub>x</sub> )や粒子状物質(PM)等の大気汚染物質の排出が少ない、または全く排出しない、燃費性能が優れているなどの環境にやさしい自動車。
昇華法	昇華とは、元素や化合物が液体を経ずに固体から気体、または気体から固体へと相転移する現象のことで、SiC は液体にならないため、昇華によって結晶成長させる方法。
スケーリング則	MOSトランジスタの寸法を一律小さくすると、電力やスイッチング速度等が一定の係数で改善されるという規則。
ダイアタッチ	半導体素子を基板に接合すること。
縦型デバイス	基板に対して垂直方向に電流が流れる構造の半導体素子。
トレンチ	シリコン表面に溝を形成して、そこにゲート構造を形成するトランジスタ構造のこと。(トレンチ構造、トレンチ型 MOSFET)
パワーデバイス	パワー半導体素子のことで、トランジスタやダイオード等からなる。
パワーモジュール	パワーデバイスや周辺回路部品を回路基板上に搭載して樹脂や金属等により封止したもの。大電力分野ではパワーデバイス単体製品は少なく、パワーモジュール製品が一般的。
分散電源	比較的小規模な発電設備を需要家の近くに配置する電力供給方式で、送電ロスが少ないが潮流制御が必要になる。
無停電電源	入力電源断の際にも、停電することなく電力を出力する装置。UPS (Uninterruptible Power Supply)とも呼ばれる。

ライフタイム	キャリアの寿命のことで、発生した過剰キャリアが再結合により $1/e$ (約 0.368) に減少するまでの時間。
ラマン分光分析	ラマン散乱光の性質を調べることにより分子構造や結晶構造などを知る手法。

# 1. 事業の位置付け・必要性について

## 1.1. 事業実施の背景

パワーエレクトロニクスは、電気エネルギーの発生から輸送、消費までの流れの中で、半導体を用いて直流から交流、交流から直流への変換、電圧や電流、周波数を自在に制御する技術であり、電気インフラを支える基本技術である。

現在、風力発電や太陽光発電などでの電気エネルギーの効率的な発生や輸送・制御のための電力機器や鉄道、自動車、産業機器や家電製品など生活に身近な様々な電気利用機器に適用され、これらの機器の高性能化や省エネ化のためのキーテクノロジーとなっている。今後一層の産業競争力の強化及び省エネ化を推進するには、パワーエレクトロニクスの適用用途の拡大や普及拡大、性能向上による省エネ効果の増大等が必要とされ、パワーエレクトロニクスに関連する技術の高度化は社会的な課題となっている。

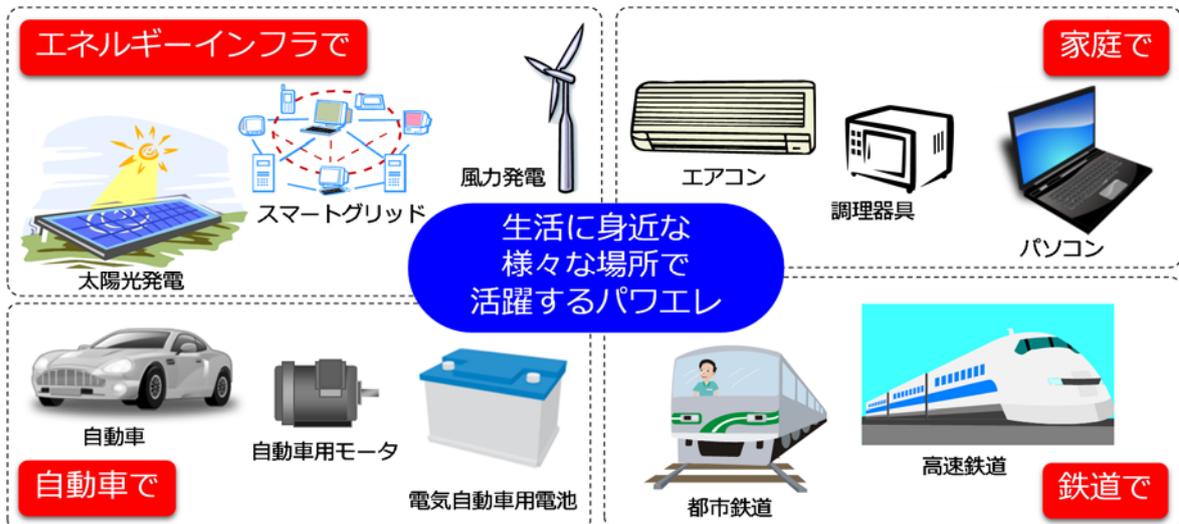


図 1-1 パワーエレクトロニクスの主な適用先

## 1.2. 政策的位置づけ

パワーデバイスの性能向上に関する研究開発や、パワーエレクトロニクスによる電力制御等のエネルギー利用の革新を目指した研究開発は、各種閣議決定文書等の中で重要な研究開発として位置付けられている。

具体的な例として、「エネルギー基本計画(平成 26 年 4 月閣議決定)」「日本再興戦略 2016(平成 28 年 6 月閣議決定)」「科学技術イノベーション総合戦略 2015(平成 27 年 6 月閣議決定)」において、それぞれ次のような記述がなされている。

### ・エネルギー基本計画:

「電力消費の一層の効率化が期待される次世代パワーエレクトロニクス機器をはじめとした技術革新の進展により、より効率的なエネルギー利用や、各エネルギー源の利用用途の拡大が可能となる」

### ・日本再興戦略 2016:

「我が国初の窒化ガリウム(GaN)等を活用した高効率デバイス等の研究開発・実証・実装を進め、早期の実用化に向けた取組を推進する」

・科学技術イノベーション総合戦略 2015:

「革新的デバイスでは、モーターや情報機器等の消費電力を大幅に低減する超低損失パワーデバイス(SiC、GaN 等)、…を推進し、…」

上記の他にも多くの政府系文書の中で、パワーエレクトロニクス関連技術は重要な技術として位置付けられている。

### 1.3. アウトカム効果

#### 【CO<sub>2</sub>削減効果】

現状の Si インバータを SiC 等の次世代のインバータに置き換えることによって、もしくは現状インバータ化していない用途等のインバータ化率を向上させることによって、CO<sub>2</sub> 排出量の大幅な削減が可能になる。適用対象分野として、EV/HV、産業機器、コンピュータ関連、無停電電源、太陽光発電(分散電源用インバータ)、インバータ化率向上のアプリケーションを想定し、それぞれの適用率から削減量を算出した結果、2030 年には CO<sub>2</sub> 排出量を約 1,515 トン削減可能と見積もっている。

#### 【経済効果】

再生可能エネルギーの更なる普及、産業機器・家電・次世代自動車等の一層の省エネ化に伴い、パワーエレクトロニクス関連の世界市場は大きな伸びが期待されている。パワーエレクトロニクス関連の市場は、現在 6 兆円に対し、2030 年には 20 兆円まで拡大する見込みであり、本事業の成果は 20 兆円市場の創成に貢献するものである。

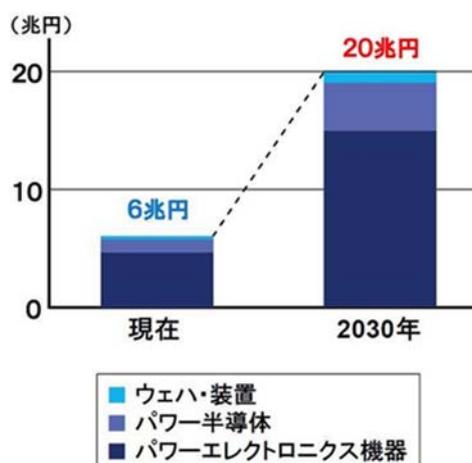


図 1-2 パワエレの世界市場規模

【出典】平成 25 年 9 月 13 日 第 114 回総合科学技術会議 資料 5

### 1.4. 国際的なポジション

モーターやインバータ等の産業・鉄道向け機器の多くには高出力パワーデバイスの IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を搭載し SBD (Schottky Barrier Diode) 等を付加するなどしてモジュール化したパワーモジュールが使用されている。パワーモジュールについての 2015 年のメーカー別販売額を見ると、日本企業 3 社で約 40%、ドイツ企業 2 社で約 40%となっており、日本と欧州とで市場を二分している。

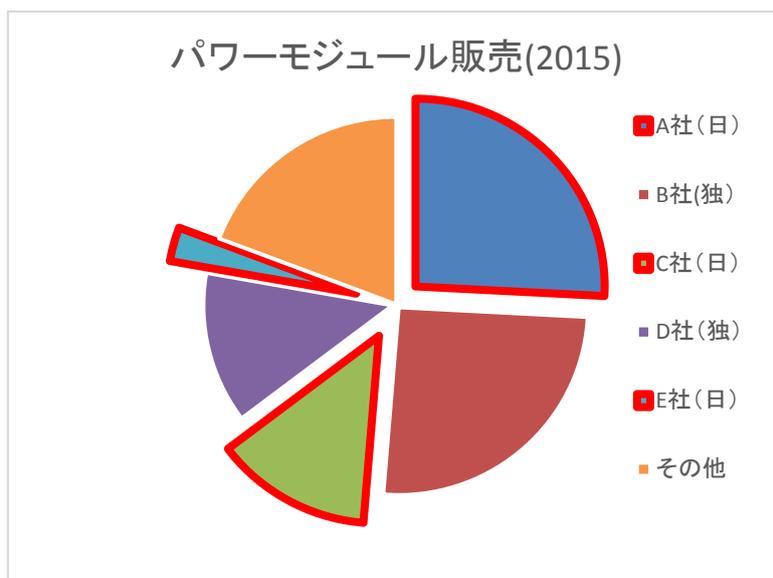


図 1-3 パワーモジュールのメーカー別販売額

材料の観点から見ると、SiC ウエハの地域別生産額は北米が約 70%と大きいシェアであるが、日本のシェアも年々拡大しており 2015 年時点で 12%程度となっている。

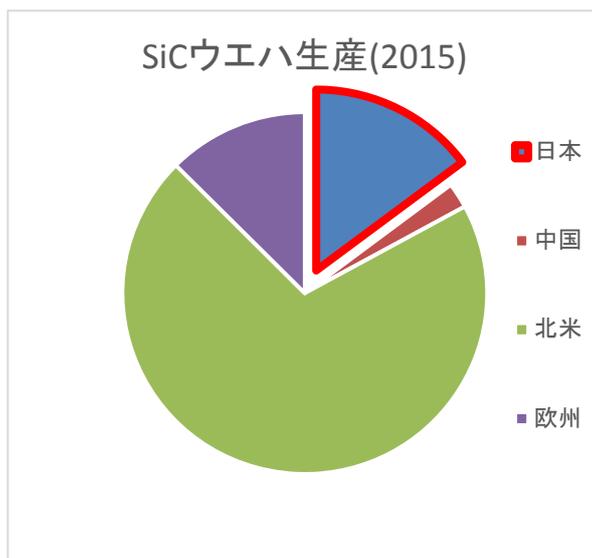


図 1-4 SiC ウエハの地域別生産額

上記はパワーエレクトロニクス関連製品の代表的な事例である。その他にも材料別(Si、SiC、GaN 等)、レイヤー別(ウエハ、デバイス、モジュール等)で様々な製品があるが、日本は概ねそれぞれの製品で高い競争力を有している。

しかし、2016 年 7 月のインフィニオン(独)によるウルフスピード(米)の買収や、近年の韓国・中国・台湾の技術力向上によるコスト面での激しい競争への懸念など、厳しい状況に直面している。その中で、引き続き高い競争力を維持できるような取り組みを推進することは重要である。

## 1.5. 海外状況のまとめ

近年、海外ではパワーエレクトロニクス関連の大型研究開発プロジェクトが開始されている。主なものとしては、米国では DOE(米国エネルギー省:United States Department of Energy)と企業が組む Power America やニューヨーク州と企業が組む New York Power Electronics Manufacturing Consortium(NY-PEMC)などがあり、欧州では EU による SPEED などがある。ここでは米国の 2 プロジェクトの詳細を述べる。

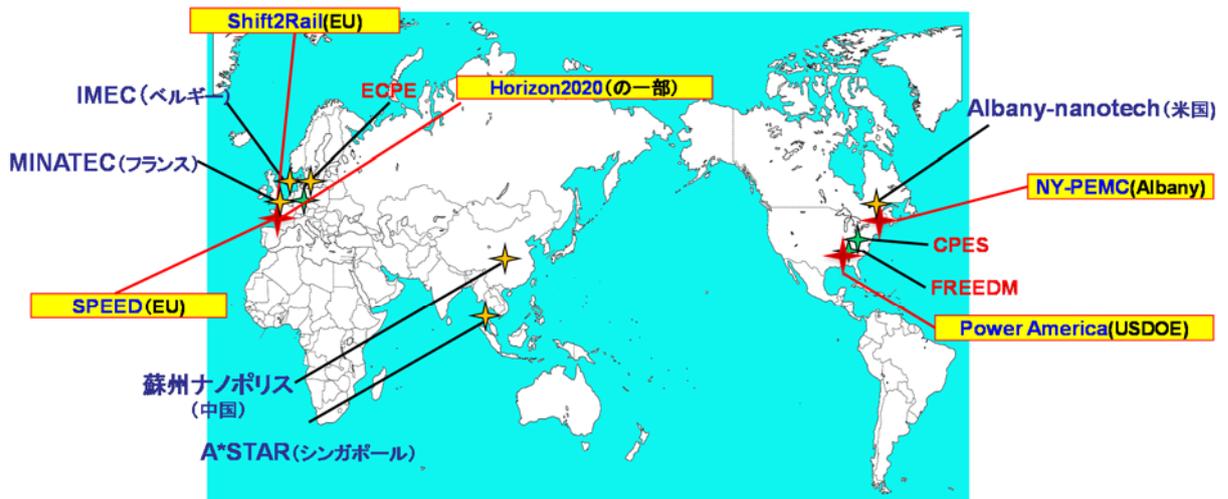
Power America は、DOE と産学官のマッチングファンドで 5 年総額 1 億 4 千万ドルのプロジェクトである。ノースカロライナ州立大学(NCSU)を幹事として、18 企業・5 大学・2 国研からなる産学官コンソーシアムを組成する。ワイドバンドギャップ半導体の製造プロセスに関する研究開発のみならず、関連人材育成、製造・研究拠点形成、中核企業形成を行う。なお、Power America は、デバイスだけでなく明確なアプリケーション志向を持つことも特徴であり、特に産業モーター、電力システム、再生エネルギー、防衛装備、電動車などを対象としている。

NY-PEMC は、ニューヨーク州・SEMATECH(米国 14 企業・団体からなるコンソーシアム)・GE・IBM が中心となって結成された。2014 年より 5 年間で約 5 億ドルの投資が予定されている。当初 IBM・SEMATECH・州の約 3 億 6500 万ドルの取組に、GE がアプリケーションへの活用を求めて 1 億 3500 万ドルの追加出資で合意し、デバイスからアプリケーションまでの垂直統合の体制を確立した。「アプリケーション側の性能向上目標」と「アプリケーション性能向上目標の達成に必要なデバイス性能目標」の両面を示し、事業を推進している。

また、パワーエレクトロニクス関連の代表的なコンソーシアムである ECPE(European Center for Power Electronics)は、2003 年に欧州 8 社の半導体関連企業コンソーシアムとしてスタートし、現在は企業約 70 社、大学等 70 機関が加盟している。半導体企業・研究機関だけでなく、アプリケーション(自動車・電機)や素材などサプライチェーン横断的にメンバを募り、かつ欧州に拠点があれば域外企業にも参画を認める仕組みとなっている。また、第 7 次欧州フレームワークプログラム(FP7)で、各テーマ(ENIAC、ARTEMIS、EURECA 等)に求められるパワーエレクトロニクス関連の研究開発を統合する役割も与えられるなど、業界の有志団体から、EU の認める準公的なコンソーシアムとしての地位を確立している。

ECPE の主な活動内容は下記の通りである。

1. 技術ロードマップの策定
2. 新材料等の共通研究開発
3. セミナー、ワークショップの開催
4. 学生向けリクルーティング
5. 技術者向け就職・転職支援



- ・赤字はパワーエレ関連の拠点
- ・青字はパワーエレを含む研究開発拠点

\$1=€0.9と仮定

プロジェクト	Power America	NY-PEMC	SPEED
規模	\$70M (DOE) +\$70M (企業)	\$135M (NY州) +\$365M (企業)	€12.3M (\$13.7M)
期間	2014.1～ 5年間	2014.7～ 5年間	2014.1～ 4年間
主要メンバー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Cree</li> <li>・ X-Fab</li> <li>・ NCSU</li> <li>・ RFMD</li> <li>・ Avogy</li> <li>・ Transphom</li> <li>・ 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GE</li> <li>・ SUNY</li> <li>・ IBM</li> <li>・ Global Foundries</li> <li>・ 他</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ INAEL</li> <li>・ ABB</li> <li>・ BREMEN大</li> <li>・ NORSTEL</li> <li>・ Infineon</li> <li>・ Fraunhofer 研</li> <li>・ 他</li> </ul>

図 1-5 海外のパワーエレクトロニクス関係のプロジェクト等のまとめ

## 1.6. NEDO が関与する意義

これまで述べてきた通り、パワーエレクトロニクスは、鉄道・自動車・産業機械・家電など生活に身近なあらゆるところに適用される技術であり、その高性能化はあらゆるところの省エネに繋がり、低炭素社会実現の鍵となる技術である。

また、パワーエレクトロニクス関連市場は、現在 6 兆円に対し、2030 年には 20 兆円まで拡大する見込みである。成長市場で優位性を確保し、経済成長に繋げることは重要である。本事業の成果により、半導体デバイス関連の国内企業群が国際的に大きい存在感を有するほか、自動車産業をはじめとする電機産業以外の産業競争力強化にも大きい貢献が期待される。

海外では、Power America や NY-PEMC をはじめとした大型の国家プロジェクトが次々に組成され、本分野の推進を強化している。また、ECPE をはじめとしたコンソーシアム活動も盛んである。日本は多くの有力企業を抱えている一方で、一企業だけで対抗することは困難になり

つつある。従って、NEDO が関与し、本分野の研究開発を強力に推進することが重要になってくる。

## 1.7. 今回の事業の位置づけ

NEDO では、「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」において様々なパワーエレクトロニクスの研究開発を推進している。今回の中間評価で対象とする事業は、そのうち下記の2項目である。

### 研究開発項目①(10) 新世代 Si パワーデバイス技術開発

Si パワーデバイスに関し、従来技術の延長線上にない革新的な手法を用いることで、現状の Si パワーデバイスの性能限界突破を行う。

### 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

新材料パワー半導体を各種アプリケーションに適用するため、モジュール化のための材料、設計技術、実装技術等の開発、開発したモジュール等を適用したシステムの試作、動作実証等を行う。

それぞれの項目の詳細については 2.1、2.2 に記載する。

なお、本事業の基本計画の全体構成は図 1-6 の通りであり、研究開発項目①(1)～(9)及び研究開発項目②については既に事後評価を終えている。

#### 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 Si C 結晶成長技術開発／革新的 Si C 結晶成長技術開発
- (2) 大口径 Si C ウエハ加工技術開発
- (3) Si C 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)
- (4) Si C 高耐圧スイッチングデバイス製造技術
- (5) Si C ウエハ量産化技術開発
- (6) 大口径 Si C ウエハ加工要素プロセス検証
- (7) Si C 高耐圧大容量パワーモジュール検証
- (8) 大口径対応デバイスプロセス装置開発
- (9) 高熱部品統合パワーモジュール化技術開発

22年度～26年度

#### (10) 新世代 Si パワーデバイス技術開発

26年度～28年度  
(延長検討中)

#### 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) Si C 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) Si C 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 Si C 電力変換器基盤技術開発

21年度～24年度

#### 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
- (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

26年度～31年度

図 1-6 本事業の基本計画の全体構成

基本計画に項目立てはしていないが、その他少額で調査や人材育成事業等を実施しており、その詳細は 2.7 に示す。

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 2.1. 事業の目的

本事業の目的の概要は、パワーエレクトロニクス技術の高度化により、省エネルギー技術の国際的牽引と我が国の産業競争力強化である。

研究開発項目ごとの詳細な目的は下記の通りである。

#### 「研究開発項目①(10) 新世代 Si パワーデバイス技術開発」

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、他の追従を許さない環境を作る必要がある。

#### 「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」

SiC 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 (Si、SiC、GaN)、をデバイスや回路等の設計技術、実装技術等を組み合わせ、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。また、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。

本事業が主なターゲットとして想定している製品は図 2-1 の通りである。

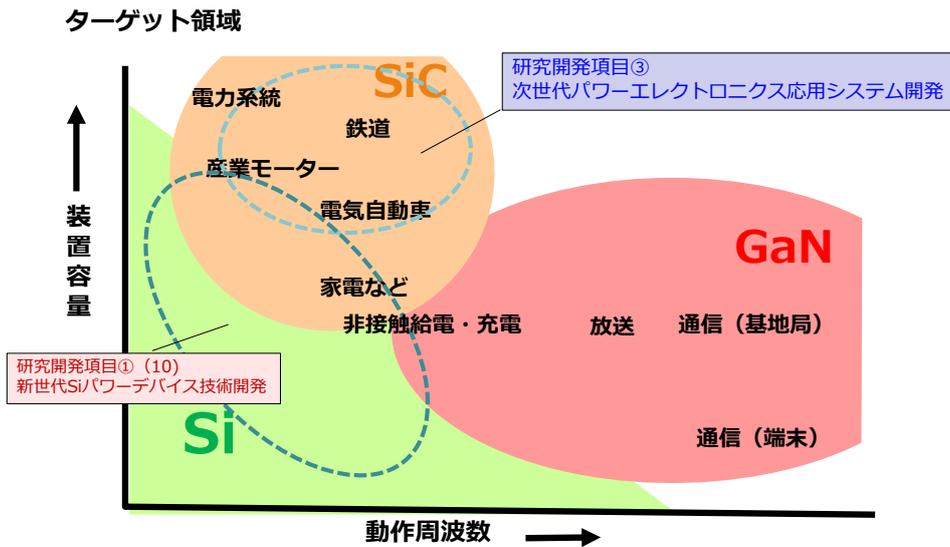


図 2-1 材料別の主な製品ターゲット

## 2.2. 研究開発目標と根拠

研究開発項目①(10)の目標等は下記の通りである。なお、ここで設定している目標は 2016 年度末の目標(現時点の最終目標)であるが、2017 年度以降も本テーマは継続予定である(最終目標設定は改めて行う)。

### 研究開発項目①(10) 新世代Siパワーデバイス技術開発

テーマ	実施者	目標	根拠
新世代Si-IGBT と 応用基本技術の研究 開発	東大、東 工大	<ul style="list-style-type: none"> <li>IGBTのスケーリング則の実証 (k = 3のIGBTの性能実証)</li> <li>スケーリングIGBT用の駆動・保護技術、低インダクタンス PKG技術(含む放熱)、耐ノイズ技術の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>独自のスケーリング構造の開発、適用</li> <li>低電圧・高速ゲートドライブ回路技術、絶縁・高速結合技術、耐ノイズ実装回路、高精度評価技術を開発・適用</li> </ul>

なお、本テーマ(新世代 Si-IGBT と 応用基本技術の研究開発)については、今後「Si-IGBT」と略す。

研究開発項目③では、三つの大きなテーマを実施しており、それぞれの目標等は下記の通りである。本目標に対し、2016 年度末の目標(中間目標)としてこの要素技術の確立を、最終目標として(2017 年度末とする予定)その実証を行うこととしている。

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

テーマ	実施者	目標	根拠
世界のパワエレを牽引する <b>次世代パワーモジュール</b> 研究開発と日本型エコシステムの構築	富士電機	コスト30%削減、量産化リードタイム半減、サンプル供給期間1/4のカスタムパワーモジュール	基本部分をユニット化し、顧客インターフェイス部分と組み合わせることで開発することにより、カスタム開発の期間とコストを低減させる。
SiCパワーデバイスを用いた <b>超高効率車載電動システム</b> の開発	デンソー	従来のインバーター+コンバーター構成から損失1/3となる昇圧コンバータレスの車載電動システム	出力によりモーターとインバーターの構成を変化することにより、昇圧コンバーターを不要にして電動システムを高効率化させる。
高出力密度・ <b>高耐圧SiCパワーモジュール</b> の開発	三菱電機等	耐圧6.5kV、出力密度が同耐圧Siモジュール比2倍以上のパワーモジュール	SiCの特性を活かしてパワーモジュールの効率化と小型軽量化を図ることにより、鉄道分野の世界市場へ展開させる。

なお、各テーマについては、今後そのテーマ名の一部を取り、「次世代パワーモジュール」「車載電動システム」「高耐圧 SiC パワーモジュール」と略す。

### 2.3. 研究開発スケジュール

研究開発項目①(10)については、2014～2016年度の3年間の事業として計画し、必要に応じて延長等を行うこととしていた。具体的には、2.2に記載の通りパワーデバイスのスケールリング則という新しい概念の原理実証を指標とし、継続性を判断することとしていた。

2015年度末時点で、シミュレーションのみならず実証データとしてスケールリング則の成立の見込みが確認できたため、事業の延長を検討している。

研究開発スケジュールの詳細は図 2-2 の通りであり、最初の3年でスケールリング則の原理実証を行い(スケールリング係数:k=3)、2017年度以降は、微細化の程度を大きくし(k=5)、更なる性能向上の可能性の追求等行う予定である。

研究開発項目③については、2014～2019年度の最大6年間の事業として計画し、大きくは3つのテーマを推進している。そのうち、「車載電動システム」及び「高耐圧 SiC パワーモジュール」については当初6年の事業を予定していたが、事業化加速等を目的として。期間を4年に短縮することとした。研究開発スケジュールの詳細は図 2-2 の通りである。

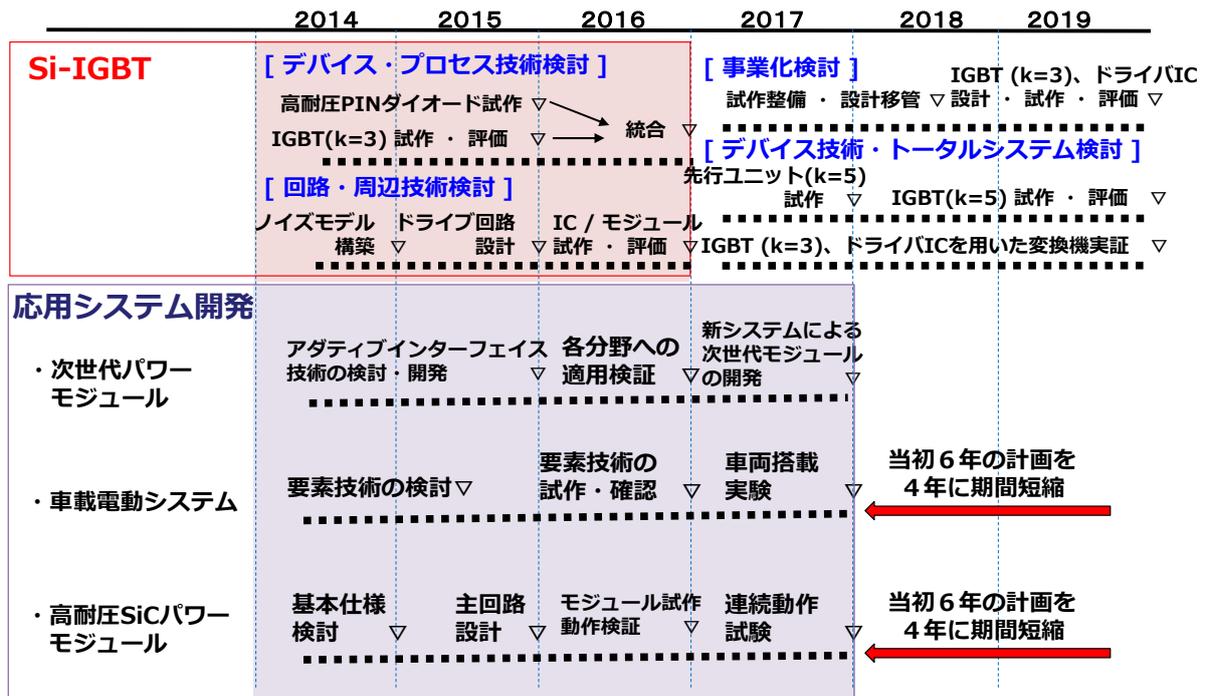


図 2-2 研究開発スケジュール

## 2.4. プロジェクト費用

2014 年度から 3 年間のプロジェクト費用は、図 2-3 の通り。2014 年度、2015 年度は執行ベースの金額であり、2016 年度は契約ベースの金額としている。少額で実施している調査事業や人材育成事業等についてはその他の予算として総額を記載している。

		(百万円)		
		2014	2015	2016
<b>Si-IGBT</b>		857	740	680
応用システム開発	次世代パワーモジュール	531	789	524
	車載電動システム	69	493	385
	高耐圧SiCパワーモジュール	671	667	472
	革新アプリ (6テーマ合計)	-	144	132
その他 (GaN先導研究、人材育成、調査)		32	114	125
合計		2,159 (確定額)	2,947 (確定額)	2,320 (契約額)

図 2-3 プロジェクト費用

## 2.5. マネジメント体制

本事業は「パワーエレクトロニクス」という共通の研究対象のもと、多岐にわたる研究開発を実施している。従って、有識者による定期的な集団指導体制を構築し(プロジェクト推進委員会の設

置)、様々な観点から定期的に助言等をもらいながら推進することとした。プロジェクト推進委員会は年2回のペースで実施しており、2~3回に1回の頻度で研究現場において委員会を開催し、有識者の理解を深めた上でコメント等をもらうようにしている。

研究開発項目①(10)(Si-IGBT)については、実施者でもある東京大学の平本教授をリーダーとして、事業を推進している。

研究開発項目③(応用システム開発)については、基本的には各実施者内にリーダーを設置しているが、事業全体を俯瞰し、プロジェクト推進委員会より高い頻度で指導等を行うべく、千葉大学の佐藤教授をプロジェクトリーダーとして事業を推進している。

人材育成等の少額で実施している事業については、基本的にはNEDO単体でマネジメントを行っているが、必要に応じて外部有識者による委員会等により、実施内容の検討等を行っている。

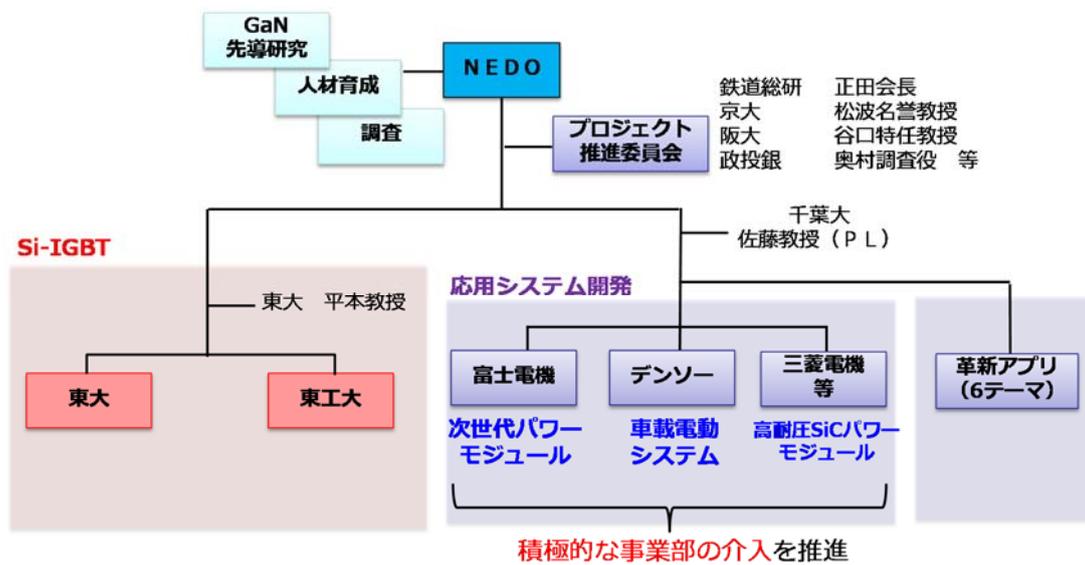


図 2-4 マネジメント体制

## 2.6. 実施体制

本事業は図 2-5 に示す実施体制にて推進している。

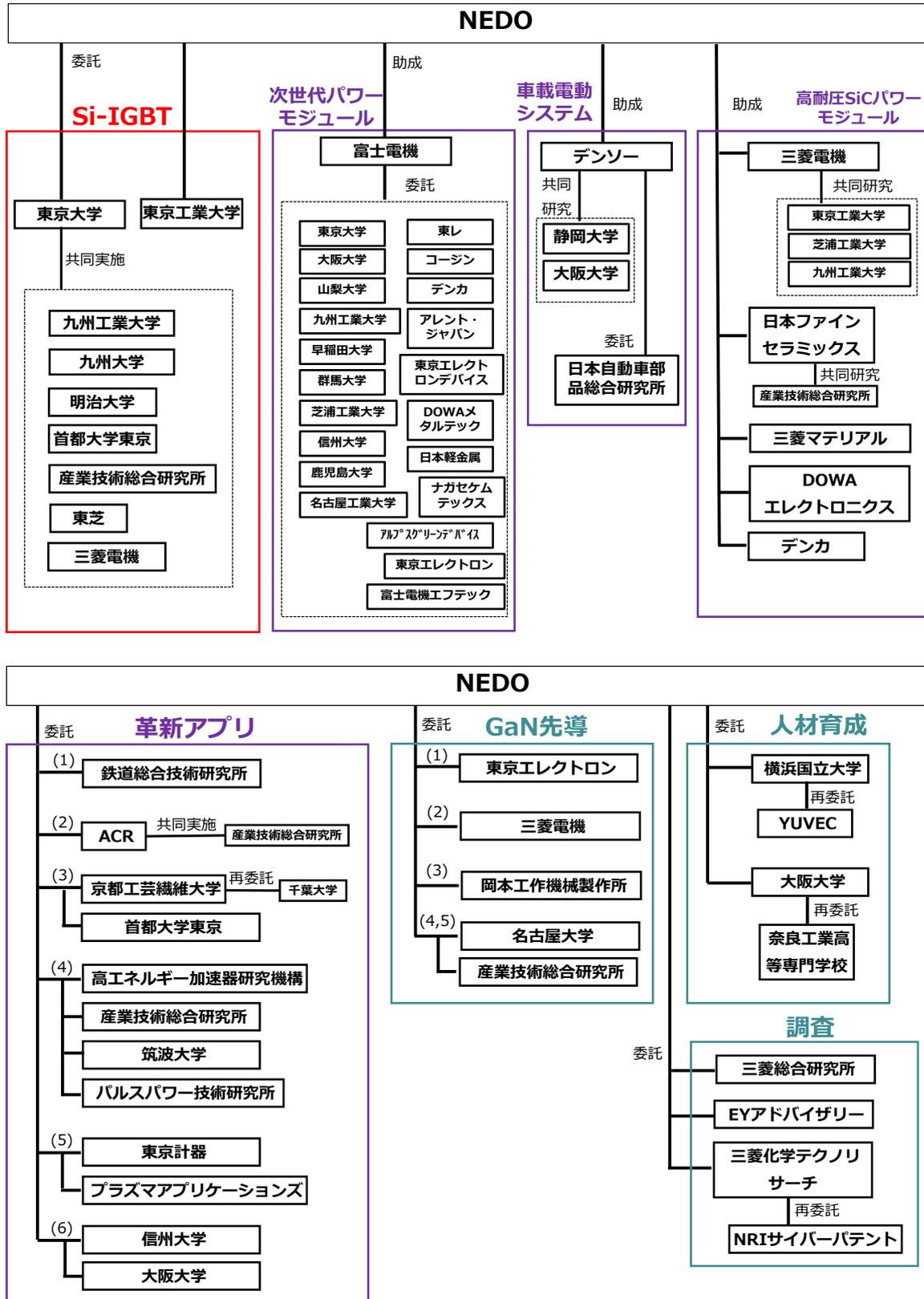


図 2-5 実施体制

## 2.7. 動向・情勢の把握と対応

事業の推進しながら課題として見えてきたものがあれば、適宜その事業設計を行い、新テーマを追加してきた。詳細は図 2-6 の通り。

	概要	狙い
GaN先導研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GaNパワーデバイス（特に縦型デバイス）実現に向け、技術課題等を整理。</li> <li>・ GaNパワーデバイスに関し、プロセス開発も含め今後の技術的方向性を提示することを目標とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ GaN材料を用いたパワーデバイスは一部商業化され始めているが、GaNという材料が本来有しているポテンシャルを十分に発揮できていない。</li> <li>・ 今後の本格研究を見据え、GaNパワーデバイス研究の注力の方向性を定める。</li> </ul>
人材育成	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ パワエレの専門的な学習をしていない企業の研究者等を対象に、座学のみならず実習も伴うセミナー。</li> <li>・ 事業終了後の継続性を保つための取組（e-ラーニング教材作成等）を併せて実施。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 本事業を通じて基礎的な土台を固め、特にSiCやGaNなどの新材料パワエレについて、応用を推進できる人材育成を狙う。</li> </ul>
調査 (ロードマップ策定含む)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 一般的な技術動向や市場動向等の調査に加え、アプリごとにパワエレ適用に係るロードマップを策定。</li> <li>・ 現在対象としたアプリは、鉄道、道路交通、電力安定化、産業（産業ロボット、医療機器）。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ロードマップ策定を通じ、以下の実現を目指す。</li> </ul> <ol style="list-style-type: none"> <li>①現在実施しているプロジェクトの妥当性等の確認、今後立案すべきプロジェクト等の検討。</li> <li>②デバイスメーカー、機器メーカー、機器ユーザー等の各レイヤー間で、情報交換や議論を行う場を設け、関係者の連携を強化。</li> </ol>

図 2-6 少額事業の概要と狙い

## 2.8. 知財マネジメント

知財は、プロジェクト実施後の実用化に向けた出口戦略を構築・実現するにあたり鍵を握るとともに、戦略的な取組を関係者の合意の下で進める必要があり、その実現に向けた的確なマネジメントの実施が不可欠である。このため、本プロジェクトでは NEDO プロジェクト知財基本方針を適用し、テーマ毎に実施者間での知財合意書の作成や知財運営委員会の設置を行った。

助成事業については、実施者主体で実施する事業であるため、知財マネジメント方針の適用対象外とするのが一般的であるが、多数の大学や企業が参加するテーマであることに鑑み、NEDO プロジェクトで初めて知財マネジメント方針の適用対象とした。

### 3. 研究開発成果について

#### 3.1. 研究開発テーマ「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」

本テーマでは、材料技術、プロセス技術、新構造化技術を駆使することにより、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 Si-IGBT およびその周辺技術を開発し、新世代の Si-IGBT 技術を確立することを目的とする。日本オリジナル技術である電子注入の促進構造を進化させた新世代 Si-IGBT コンセプトと、さらに磨きをかけた回路技術などの応用基本技術により、画期的な高性能パワーデバイス(低オン電圧化、大電流密度化、ゲートドライブ技術の高度化、低コスト化)を実現し、国内の半導体産業ならびにパワーエレクトロニクス機器の国際競争力強化を実現する。

「新世代 Si-IGBT とその応用基本技術」の有効性を、IGBT デバイス技術のみでなく、ウエハ・ドライブ回路・実装技術まで含め、産学官が一体になり実用化を念頭に実証する。

##### (1) 新世代 IGBT 試作

2015 年度は、2016 年度 3kV 級 IGBT を試作するために、まず 2014 年度の耐圧 1kV-pin 終端ダイオードの結果を反映させて、耐圧 3kV 以上を有する pin 終端ダイオードを設計・試作し、その評価を行った。IGBT メインセルとチップ終端の N ストップ間にガードリング部を配置し、電界を緩和することにより、高耐圧を達成する。2015 年度の目標である 3kV に対し、3.8kV 以上の耐圧が得られた。次に、裏面からキャリア注入する構造形成のため、ウエハ裏面プロセス構築と裏面 p 型の縦型ダイオードの設計・試作・評価を実施し、当初目標のダイオード特性を確認し、2015 年度の目標を達成した。

一方、電子注入の促進構造を進化させた新世代 Si-IGBT を試作するため、縦型 MOSFET、および縦型 IGBT の試作を行った。チャネル移動度  $> 300\text{cm}^2/\text{Vs}$  の MOSFET、および電流密度で従来比 2 倍の Si-IGBT の作製を目標とした。ピーク移動度では、 $300\text{cm}^2/\text{Vs}$  が得られ目標を達成した。また、縦型 IGBT の試作では、新構造の IGBT で従来構造に比較して 2 倍の電流密度が得られ目標を達成した。

ウエハプロセスの評価としては、デバイスプロセスが基板ライフタイムに及ぼす影響の評価を開始した。IGBT 試作プロセスを補完するように、単工程 & ベアウエハによる熱処理影響の評価を実施。ライフタイム、酸素析出量などを評価し、2016 年度のウエハ & プロセスヘフィードバックする。また、IGBT 試作におけるキープロセスである、トレンチ側壁の結晶性評価を実施した。ラマン分光分析によるトレンチ形成後の CDE (Chemical Dry Etching) 処理依存性評価では、CDE 処理ありの方が、Si 結晶性が良好になる結果となった。

ウエハ技術に関しては、酸素濃度が  $10^{18}\text{cm}^{-3}$  乗台かつ炭素濃度が  $10^{15\sim 16}\text{cm}^{-3}$  乗台においては、ライフタイムは従来の報告にあるような炭素濃度依存性を示さずに、キャリア濃度依存性を示すことがわかり、また 2015 年度目標値である 5msec を達成した。現在、本試作ウエハについてデバイスプロセスを想定した熱負荷試験を実施中。また、デバイスシミュレーションにより、デバイス動作時に 1kV 級 IGBT では  $10\mu\text{sec}$  以上、3kV 級 IGBT では  $100\mu\text{sec}$  以上のライフタイムを維持すればフラットキャリア分布を達成できることを確認した。現在、熱負荷試験によりライフタイム低下要因、対応策を検討中。

##### (2) ドライブ回路技術

新世代 Si-IGBT を使いこなすためには対ノイズ対策が重要である。新世代 Si-IGBT の性能を十分に引き出すために、ノイズによる悪影響を防止する回路条件と具体的な実装設計を検討しモジュール試作を行った。さらにゲートドライブ回路の実装設計、ゲート配線の設計を行った。3kV スイッチング試験を安全に行うための安全装置を開発した。

そして、新開発の波形制御機能付きのゲートドライブ回路を設計試作した。実際のパワエレ回路で高電圧実験を行い、ノイズ低減と損失低減の両立が可能であることを実証した。チップサイズ的大幅な縮小を可能とするドライブ IC の試設計を行った。

さらに、新開発のゲートドライブ回路を高電圧パワーエレクトロニクス回路に組み込み実証評価する環境を構築し、インバータ動作により連続運転を行った。また、3kV スwitching環境を構築した。

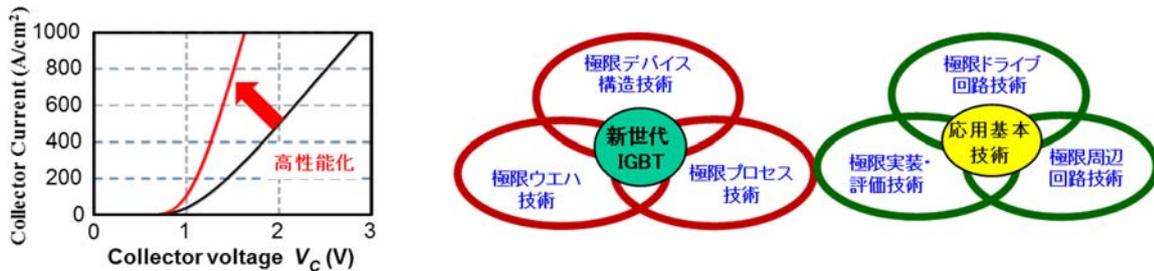


図 3-1 本テーマのイメージ図

### 3.2. 研究開発テーマ「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築」

本テーマは、SiC デバイス、最新 Si デバイスおよび今後創出されると予想される GaN デバイスの優れた特性を活かし、顧客カスタム要求を満たしながらも超短納期で低コストな次世代パワーモジュールに関する研究開発を行う。

加えて、それらの研究・開発を可能とする日本型パワーモジュールエコシステムを構築し、これにより日本の強い新エネルギー分野、EV 分野およびカスタム要求度の高い特殊インバータ分野/特殊電源分野などで、世界のパワーエレクトロニクスを牽引することを可能とすることを目的としている。

具体的には、下記 1)～6)に対し開発を実施しプロジェクト期間中に達成する

- 1) 新エネルギー分野、EV 分野およびカスタム要求度の高い特殊インバータ分野/特殊電源分野などに最適なパワーモジュール製品の創出
- 2) 製品コスト 約 30%減 (現状モジュール構造比較)
- 3) 量産化までのリードタイム 約 50%減 (実施者 従来比)
- 4) 顧客へのサンプル供給期間 約 1/4 (実施者 従来開発品比)
- 5) 日本型パワーモジュールエコシステムの構築
- 6) 国際標準化

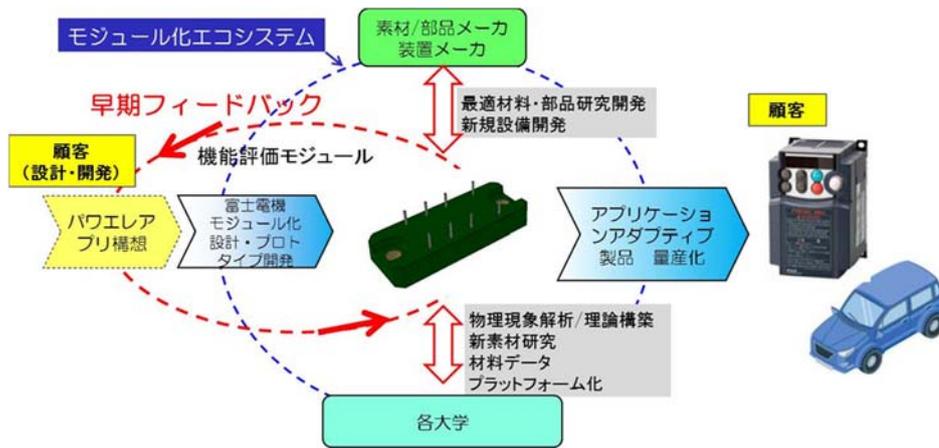


図 3-2 本テーマのイメージ図

### 3.3. 研究開発テーマ「SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発」

本テーマは、電機動力を用いた次世代環境対応車に使用される車載電動システムの更なる効率向上ため、従来の Si パワーデバイス (IGBT: Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子と昇圧コンバータ、インバータを用いた電動システムに対して、低損失な SiC パワーデバイス (MOSFET) を用いたインバータを活用し、昇圧コンバータを用いない新規なマルチ電源マルチインバータの超高効率車載電動システムを開発および車載実証を行う。2014 年度から 2016 年度は、その構成要素である小型・高出力 SiC パワーモジュール、マルチインバータに対応したモータ巻き線/システム制御技術の成立性検証、実車適用における機能検証・課題抽出を実施し、2017 年度に実車にて動作検証を実施する。

2016 年度までの目標は要素技術目処付け完で、実施項目①新巻線モータおよびシステム制御技術では、サージ電圧低減方法に確立、専用の制御回路の動作確認完了、実施項目②小型高温 SiC パワーモジュール技術では、SiC パワーモジュールでの低損失動作確認、高耐熱実装材料の選定及び信頼性確認、実施項目③高品質 SiC ウエハの製造と安定供給では、 $\phi 6$  インチの高品質 SiC ウエハの安定成長確認、実施項目④システム性能検証では、新システムのモード走行領域での動作確認、損失低減効果の確認ができており、概ね計画通り進捗中で、2016 年度末までに目標達成見込みである。また、2017 年度の最終目標に向けても実車での効果のシミュレーション及び実車搭載準備が順調に進捗している。

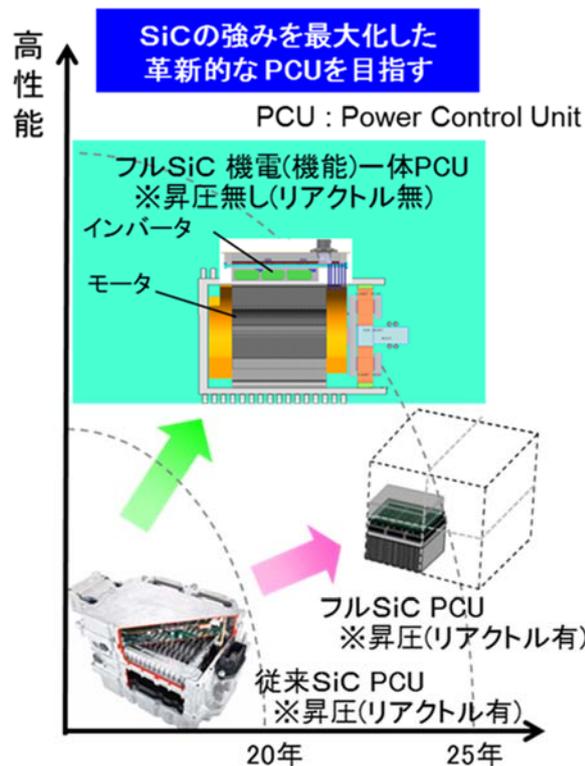


図 3-3 本テーマのイメージ図

### 3.4. 研究開発テーマ「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」

パワーモジュールを高出力密度化することにより、パワーエレクトロニクス機器の高効率化や小型・軽量化を実現できる。本テーマでは、海外メーカーの追従を許さない出力密度 2 倍(対 Si 比)という目標を掲げ、高効率な SiC デバイスの適用に加えて、高出力密度パッケージ化を行うことで、この目標を実現する。そのために、高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールおよびこれを実現する為の材料、デバイスの開発を行う。これにより、高効率な SiC パワーモジュールの適用領域を拡大することができ、省エネルギーに大きく貢献できる。また、海外メーカーに対する競争力を強化でき、パワーモジュール、パワーモジュール用部材およびパワーエレクトロニクス機器に関する国内産業の育成と雇用の拡大に大きく貢献する。

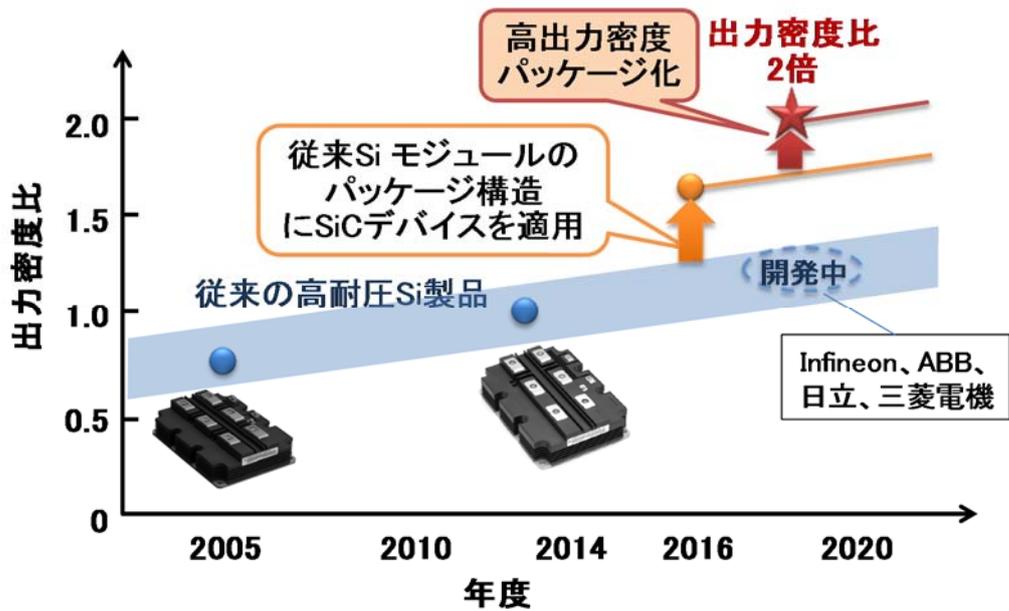


図 3-4 本テーマの目標の位置づけ

開発項目は、高耐熱・高放熱を実現するモジュール、高放熱・高信頼な絶縁基板や高信頼な Ag 接合材といった新規材料、高効率かつ高耐圧な SiC パワーデバイスである。モジュールおよびデバイスは三菱電機(株)、三菱マテリアル(株)、絶縁基板はデンカ(株)、日本ファインセラミックス(株)、Ag 接合材は DOWA エレクトロニクス(株)が主に開発を担当する。

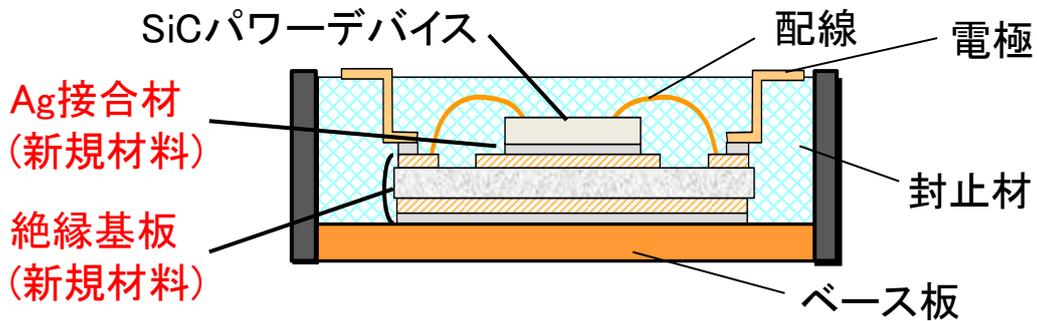


図 3-5 パワーモジュールの断面模式図

現在、解析および試作モジュールの評価結果より出力密度 2 倍(対 Si 比)の成立性を確認するとともに、各部材および SiC デバイスの特性について目標達成の目処付けを行った状況である。今後、これらの部材を組み込んだモジュールを試作し、動作を検証することで、目標達成を確認する予定である。

## 4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

### 4.1. 「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」における実用化・事業化の見通し（三菱電機）

本テーマの成果を自社のパワーモジュール事業に取り込むことで競争力のある製品を実用化できることを検証し、2020 年度に本プロジェクトの成果を適用する製品の事業化判断を行う。

### 4.2. 「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」における実用化・事業化の見通し（東芝）

本テーマの成果を元に、事業化に向けた社内開発・評価、市場調査の実施を予定している。また、1200V 系 IGBT を先頭に次世代 IGBT 製品の展開を予定している。

### 4.3. 「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築」における実用化・事業化の見通し（富士電機）

本テーマの成果を事業の成果(収益)に結び付けるための活動を「事業化」と位置づけて応用システムワーキンググループ(W.G.)及び事業化WGを設置した。パワエレ製品のエンドユーザのニーズを定期的に研究目標に反映させるためのW.G.として応用システム W.G.を設立し活動を実施している(計11回実施)。事業化W.G.ではパワエレ製品からのパワーモジュールに対する要求に対しての対応策や製品事業化について検討を行っている(計 20 回実施)。

これらの活動より、パワエレ製品を使用する最終顧客要求を満足させる最適なパワーモジュールを開発することでパワエレ製品の性能の最大化を図り、市場トレンド・ニーズから太陽光発電用 PCS、誘導加熱システム、EV 向けインバータ、電鉄用補助電源、ハイパープレミアムインバータ、大容量 UPS、IP6X インバータを本テーマの適用先候補とした。売上として 2020 年には 1,000 億円を目指す計画を設定している。

### 4.4. 「SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発」における実用化・事業化の見通し（デンソー）

本テーマの成果は既存の市販されている電動システムとは異なる新規なシステムであり、かつ電動システムの稼働比率の高い、PHV、EV、FCV の方が効果が大きいと見込まれるため、最初の製品ターゲットとしては、大出力 EV、大出力 PHV、FCV 向け電動システムを想定している。実用化・事業化への課題は、カーメーカーに対する新システムの訴求であり、2017 年度以降は、実車での性能実証を行った後、デンソー事業部が主体となり燃費性能、コスト、体格を見積もり、カーメーカーにアピールしていく。搭載車両が決まれば、カーメーカーと具体的な仕様を詰め、車両適合して信頼性確認を行い、2022 年を目標に実用化していく。

また、SiC パワーモジュールとしては、2017 年以降、具体的な製品形態での信頼性評価を行った後、新システムへの適応を目指す。要素技術レベルではデンソー事業部で既に開発中の既存システムでの次期製品に展開の予定である。

また SiC ウエハについては、昇華法ウエハは、2018 年には高品質  $\phi 6$  インチウエハを製品化し、社内外の車載用 SiC パワーモジュールの開発に提供する予定である。また、ガス成長法による

低コスト SiC ウェハについては、2017 年度までに基本原理確認を行った後、2019 年度までに基本技術を確立し、量産化検討に入る。量産開始は 2023 年を目指す。

#### 4.5. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（三菱電機）

高耐圧モジュールは年平均成長率 9.1%と高い成長を続けると予測されており、また日本メーカーの競争力が強い市場であり、今後もこの市場での競争力確保が国内産業にとって重要となる。本テーマでは、海外メーカーの追従を許さない、出力密度 2 倍(対 Si 比)という目標を掲げ、高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールおよびこれを実現する為の材料、デバイスの開発を行う。これを達成することで、高効率で省エネルギー性に優れた SiC パワーモジュールの適用領域を拡大することができ、海外メーカーに対する競争力を大幅に強化することができる(図 4-1)。

事業化は三菱電機株式会社 パワーデバイス製作所にて行う予定であり、まず鉄道向けの事業化を目指す。

パワーモジュールの競争力強化により、モジュール事業が拡大するだけでなく、モジュール用部材やパワーエレクトロニクス機器の事業拡大にも寄与できる。特に、パワーエレクトロニクス機器の市場規模はパワーモジュールより 2 桁大きく、その波及効果は大きい。

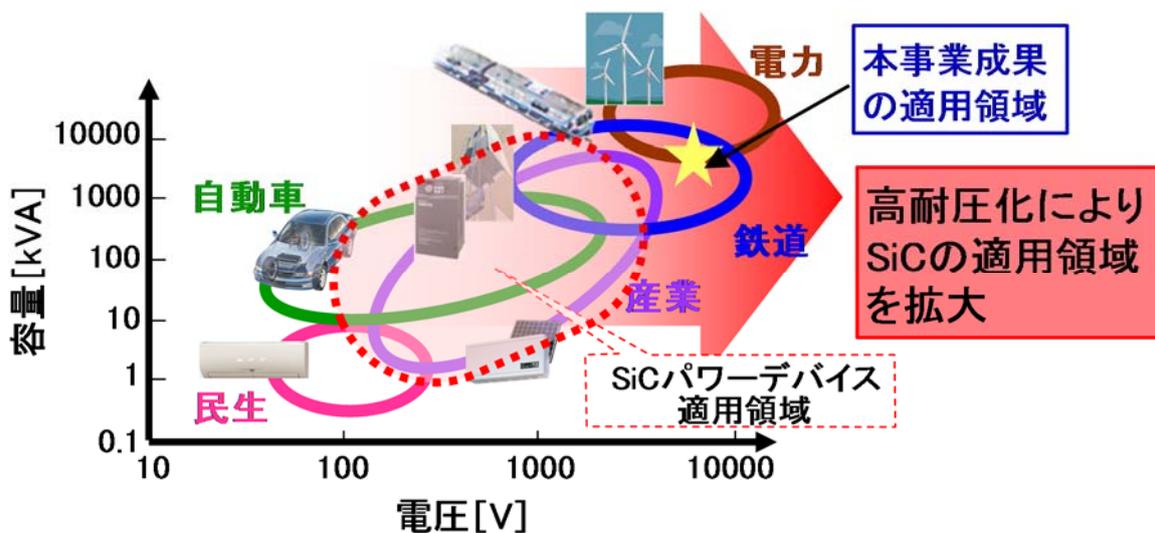


図 4-1 プロジェクトの位置づけ

#### 4.6. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（DOWA エレクトロニクス）

本テーマにおいて、これまで接合材として使用されていたはんだ材では信頼性が確保できない用途において、接合銀ペーストで接合させると高い信頼性が得られるといった基礎研究を行っている。

DOWA エレクトロニクスは銀粒子粒径制御技術、量産化技術を持ち合わせており、この技術と粒子分散技術を用いて銀ペーストの開発を進めてきた。

パワー半導体向けのダイアタッチ材として接合銀ペースト開発の検討は各社されているが、十分な信頼性を確保するためには高加圧による接合が必須であった。そのため、接合時における素子へのダメージが大きく、接合プロセスにおける歩留まり改善が必要であった。

DOWA エレクトロニクスでは銀粒子制御技術を使用し、低加圧接合に適した粒子の採用及び粒子高分散化により、目標である信頼性を確保しつつ 5MPa での低加圧接合を達成した接合銀ペーストの開発にめどをつけた。

本製品の他社従来材料と大きく異なる点は、5MPa と低加圧で接合ができ、Cu 表面への接合が可能ということでプロセスコストの低減にも貢献できることである。また、接合銀ペーストに用いられる粒子はすべて内製粉を用いており価格競争力も持ち合わせている。

今後、高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュール向けで信頼性を確保し、事業化に向けた生産性、再現性等の品質安定化についても取り組んでいく。

本接合材の市場は SiC パワーモジュールに限定しても電鉄をはじめとした産業用途で今後拡大していくことが期待される。その他にも自動車向けや民生用途にも需要が出てくることが期待される。今後事業化に向けての課題の一つとして販売数量向上のために本材料の対象性品拡大のため自動車向け、民生用途にもペーストカスタマイズなどを実施していく。

#### 4.7. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（三菱マテリアル）

本テーマにおいて、高耐圧 SiC モジュール用絶縁回路基板を開発する。開発された基板は、次世代の電鉄向けに検討するほか、新エネルギー分野や車載向けにも適用を検討する。プロジェクトでは量産プロセス設計と基板の実機での評価までを行うが、事業化はプロジェクト終了後に、量産設備設計などを経て実施する。事業化については、三菱マテリアル株式会社電子材料事業カンパニーが主体となる。

#### 4.8. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（デンカ）

高熱伝導・高耐圧 SiN 回路基板の事業化に向けて、2017 年度中に基本技術を確立するとともに量産に向けた課題の抽出を進めていく。その後、回路基板の長期信頼性評価や量産化検討を行い、事業化する。また、本製品に要求される高熱伝導率および高耐圧を両立した SiN 回路基板は、本開発品が唯一である。

#### 4.9. 「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」における実用化・事業化の見通し（日本ファインセラミックス）

本開発品となる次世代高熱伝導 SiN セラミック基板は、高放熱性・絶縁性・機械的特性（熱サイクルを伴う環境下での耐ストレス性）などの特性を備えた材料であり、高耐圧化、高出力密度化が進むパワーモジュールを構成する絶縁基板への適用が期待されるセラミック基板である。

特に SiC パワー半導体のような高い作動温度において、本開発品の特性を十分に発揮できるものと考えられ、本開発品が実用化されることによって次世代パワーエレクトロニクスの国際競争力が向上することをねらう。

●特許論文等リスト

◎研究開発テーマ「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発」

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	西澤伸一	産業技術総合研究所	「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発：PJ 概要と IGBT チップ開発」	NPERC-J セミナー (会員限定)	2016/5/28
2	大村 一郎	九州工業大学	「新世代 Si-IGBT と応用基本技術の研究開発：PJ 概要と IGBT チップ開発」	NPERC-J セミナー (会員限定)	2016/5/28

NPERC-J : New Generation Power Electronics and System Research Consortium of Japan

◎研究開発テーマ「世界のパワエレを牽引する次世代パワーモジュール研究開発と日本型エコシステムの構築」

【特許】

非公開

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	両角 朗	富士電機(株)	Influence of Cooling Rates on Reliability of Solder Joints Using Sn-13wt.% Sb Binary Alloy for Power Semiconductor Modules	IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology	有	2016/05

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	市村 裕司	富士電機(株)	高密度樹脂封止パッケージの高信頼性検証	MES 2015	2015/09/03
2	高橋 良和	富士電機(株)	パワー半導体パッケージ技術の最新動向	MES 2015	2015/09/03
3	高橋 良和	富士電機(株)	最新パワー半導体パッケージ技術の技術動向	エレクトロニクス実装学会 パワエレ研究会	2015/10/14
4	高橋 良和	富士電機(株)	次世代パワー半導体技術	電子デバイスフォーラム 京都	2015/11/13

5	高橋 良和	富士電機(株)	パワー半導体モジュールの最新パッケージ技術	インターネブコン 2016	2016/01/14
6	外園 洋昭	富士電機(株)	Sn-5Sb 微小試験片の疲労特性に及ぼす温度の影響	Mate 2016	2016/02/02
7	須賀 唯知	東京大学工学研究科	銅のギ酸還元反応の研究	エレクトロニクス実装学会春季講演	2016/03/22
8	市村 裕司	富士電機(株)	樹脂封止パッケージの高密着化による高信頼性検証	エレクトロニクス実装学会春季講演	2016/03/24
9	高橋 良和	富士電機(株)	- Panel Session - Power Module Integration	ECTC 2016	2016/05/31
10	匹田 政幸	九州工業大学	Basic Study on Partial Discharge Location in Power Module	International Conference on Dielectrics 2016	2016/07/03
11	匹田 政幸	九州工業大学	高速サンプリング電磁波計測によるパワーモジュール内部の部分放電位地	電気学会 A 部門大会	2016/09/05

(b)新聞・雑誌等への掲載  
現時点では特になし。

(c)展示会への出展

番号	所属	タイトル	展示会名	発表年月
1	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	システムコントロールフェア 2015	2015/12/02-04
2	富士電機(株)	日本のパワー半導体でエネルギー問題を解決・次世代パワーモジュールエコシステム	セミコン・ジャパン 2015	2015/12/14-16
3	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	テクノフロンティア	2016/04/20-22
4	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	PCIM 2016	2016/05/10-16
5	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	オーストラリア見本市	2016/05/11-13
6	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	MEX 金沢	2016/05/19-21
7	富士電機(株)	IP6x 対応 INV (Type I)	九州 Eco フェア	2016/06/16-17

8	富士電機 (株)	IP6x 対応 INV (Type I)	シンガポール水処理見本市	2016/07/10-14
9	富士電機 (株)	APS (Type III)	Inno Trans.	2016/09/20-23
10	富士電機 (株)	IP6X 対応 INV (Type I)	SPS IPC ドライブ	2016/11/22-24

◎研究開発テーマ「SiC パワーデバイスを用いた超高効率車載電動システムの開発」

【特許】

非公開

【論文】

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	丹羽章雄 他	(株)デンソー	SiC-MOSFET の電流センス機能を用いたデッドタイム制御回路	電気学会論文誌 D 136(2), 145-151, 2016	有	2016/02/01

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	丹羽章雄 他	(株)デンソー	デッドタイム制御機能を内蔵した SiC-MOSFET ゲートドライバ	平成 27 年電気学会産業 応用部門大会	2015/09/03
2	丹羽章雄 他	(株)デンソー	Novel Dead Time Controlled Gate Driver Using the Current Sensor of SiC-MOSFET	IEEE IECON2015	2015/11/12
3	陳 伝 トウ 他	大阪大学	FEM 解析より低発生応力となる最適モジュール構造の設計	第 30 回エレクトロニクス実装学会	2016/03/22
4	陳 伝 トウ 他	大阪大学	Low-stress design for SiC power modules with sintered porous Ag interconnection	Electronic Components and Technology Conference	2016/05/31

(b) 新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	デンソー、大阪大学	SiC パワー半導体用接合材の自己修復現象を発見	NEDO web サイト	2016/3/28

(c) その他

番号	所属	タイトル	形態	発表年月
1	デンソー	SEMICON Japan 2015 (NEDO ブースでの展示)	展示	2015/12/16-18

◎研究開発テーマ「高出力密度・高耐圧 SiC パワーモジュールの開発」

【特許】

非公開

【論文】

番号	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	三菱電機	パワーモジュールの焼結 Ag 接合部の破壊メカニズムに関する調査	mate2016 22nd symposium on "Microjoining and Assembly Technology in Electronics" 125-129	有	2016/02/03
2	デンカ	電鉄用、自動車用高信頼性セラミックス回路基板について (予定)	JFCA/FC レポート秋号	無	2016/10/20 発行予定

【外部発表】

(a) 学会発表・講演

番号	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	デンカ	次世代パワーモジュールに向けたセラミックス放熱基板の取り組み	日本セラミックス協会 第 28 回秋季シンポジウム	2015/9/17
2	三菱電機	パワーモジュールの焼結 Ag 接合部の破壊メカニズムに関する調査	mate2016 22nd symposium	2016/02/03
3	三菱マテリアル	ECTC2016 IEEE Electronic Components and Technology Conference	ECTC2016 IEEE	2016/05/31

(b) 新聞・雑誌等への掲載  
なし

(c) その他

番号	所属	タイトル	形態	発表年月
1	DOWA	PCIM Europe 2014 (Nuremberg, Germany)	展示	2014/5/20-22
2	DOWA	PCIM Europe 2015 (Nuremberg, Germany)	展示	2015/5/19-21
3	三菱電機、DOWA、三菱マテリアル、デンカ、日本ファインセラミックス	SEMICON Japan 2015 (NEDO ブースでの展示)	展示	2015/12/16-18
4	デンカ	JFCA 産業振興賞	受賞	2016/5 月

## 「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

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、電気エネルギーへの移行は、課題解決の有力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

インバータコア技術開発がNEDO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」平成18年～平成20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り組みを行うことは、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術を中心に取り組まれるものである。

## （２）研究開発の目標

本研究開発の目標は、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。

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、平成24年度までに基盤技術を確立し、平成26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、平成24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。

### (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。

## 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、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。)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(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別の研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を、国外企業等との連携により実施することができる。)から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

本研究開発において、NEDOが主体となっていくべき基礎的・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及び研究開発項目③のうち(1)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り組み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)並びに研究開発項目③のうち(2)の事業は助成(助成

率2/3<sup>\*</sup>)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、実用化に向けた取り組み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工学研究科 佐藤 之彦教授を置き、研究開発を実施する。

※研究開発項目③(2)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、平成21年度から平成31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、平成22年度から平成26年度までの5年間とし、(5)から(8)については、平成23年3月から平成24年2月までとし、(9)については、平成24年度から平成26年度までの3年間とし、(10)については、平成26年度から平成28年度の3年間とする。

研究開発項目②については、平成21年度から平成24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、平成27年度から平成28年度までの2年間とし、(2)については、平成26年度から平成31年度までの6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平成24年度、事後評価を平成27年度に実施し、研究開発項目①（10）については、事後評価を平成29年度に実施し、研究開発項目②については、事後評価を平成25年度に実施し、研究開発項目③については、中間評価を平成28年度、事後評価を平成32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) 平成21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) 平成23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) 平成23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) 平成23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) 平成24年3月、研究開発項目①(9)の追加による改訂。
- (6) 平成26年4月、研究開発項目③の追加による改訂。
- (7) 平成26年5月、研究開発項目①(10)の追加による改訂。
- (8) 平成27年2月、研究開発項目③(1)の追加等による改訂。
- (9) 平成27年9月、根拠法の追加等による改訂。

## (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、液相法等）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、平成24年度までに基盤技術を確立し、平成25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、平成24年度までにそのための要素技術を確立し、平成26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、平成24年度までに基盤技術を確立し、25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R<sub>ms</sub>（表面荒さ）0.1nm@2 $\mu$ m×2 $\mu$ m

のベアウエ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、平成24年度までに基盤技術を確立し、平成25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、平成24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、平成25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： $3 \times 10^{14}$ /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： $3 \times 10^{14}$ /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、平成24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、25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、平成24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。25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

平成22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、平成23年から24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、未成熟であると共に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  $\mu$ m/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 m/min、最大張力：70 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り組みが求められている。

#### 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：200μA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

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。

## 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、平成22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、当該研究開発は平成21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】（平成28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り組みが必要な研究開発内容の絞り込みを行う。実用化に向けた取り組み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1 0倍化、パワー密度1 0 0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】(平成28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】**（平成31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。

## 事前評価書

	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">作成日</td> <td>平成26年2月19日</td> </tr> </table>	作成日	平成26年2月19日
作成日	平成26年2月19日		
<b>1. プロジェクト名</b>	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／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		
<b>2. 推進部署名</b>	電子・材料・ナノテクノロジー部		
<b>3. プロジェクト概要（予定）</b>			
<p>(1) 概要</p> <p>1) 背景</p> <p>パワーエレクトロニクスとは、電気の周波数や電圧、交流・直流の変換などへ半導体を用いて高効率に行う技術であり、太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギーの普及や発電効率の向上、家電や産業機器、次世代自動車等の一層の省エネ化のためのキーテクノロジーである。</p> <p>我が国ではこれまで、パワーエレクトロニクスの研究開発として、Si（ケイ素）より物性値（例えば耐圧性、耐熱性）に優れるSiC（炭化ケイ素）やGaN（窒化ガリウム）等の新材料の活用に注目し、国家プロジェクトを実施してきており、実用化に向けて努力が続いている。特に近年では、SiCウエハの高品質化と大口径化を中心に大きな研究開発プロジェクトを実施してきており、日本の高い国際競争力を有している。</p> <p>他方、欧州ではGaNのパワーエレクトロニクスに関する研究開発を強化する流れがあり、米国では、軍事技術への展開を目的に着々と研究開発が進められ、加えて、中国、韓国、台湾は技術力向上によって日本を猛追している。</p> <p>今後更なる高機能化、高性能化を図るには、パワーエレクトロニクスは扱う電力の容量が大きいいため、機能をワンチップ化させることは困難であり、高機能化等はデバイス含めシステム全体で図ることとなる。従って、デバイスの高機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。</p> <p>2) 目的</p> <p>本事業で拡充する研究開発の目的は、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</p>			

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である。

### 3) 実施内容

#### 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

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を用いた応用システムの試作・実証を行う。なお、必要に応じて、応用システム毎の要求に応じた新材料・新構造等の基盤研究・先導研究も実施する。

#### (2) 規模

平成 26 年～31 年度(6 年間)

総事業費 (NEDO 負担分) : 150.0 億円 (2/3 助成) <sup>(※)</sup> (予定)

平成 26 年度政府予算案 : 25.2 億円 (需給) (予定)

(※) 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、1/2助成とする。

(3) 期間 平成 26 年度～31 年度 (6 年間)

## 4. 評価内容

### (1) プロジェクトの位置付け・必要性について

#### 1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

パワーデバイスは、世界市場を欧州とほぼ二分している等、本分野は我が国が競争力を有する技術分野である。

この競争力を活かし、現下の最重要課題である再生可能エネルギーの拡大と省エネの一層の促進に貢献するパワーエレクトロニクスの技術革新に取り組み、結果として、成長する市場で大きなシェアを確保することは、まさに国策として重要である。

「日本再興戦略 - JAPAN is BACK」(平成25年6月14日閣議決定)では、「次世代デバイス・部素材(パワーエレクトロニクス等)研究開発・事業化」と題して、「風力発電やメガソーラー等の再生可能エネルギーの発電効率向上や、省エネ家電・次世代自動車等の一層の省エネ化のためのキーテクノロジーであるパワーエレクトロニクスについては、2020年までに新材料等による次世代技術の本格的な事業化を目指す」として、その旨が明記されているところ。

<p>2) 目的の妥当性</p>
<p>これまで実施してきた新材料パワーエレクトロニクス<span>の</span>基盤的技術の早期実用化を通じて事業面での競争力強化を行い、本分野における我が国の競争力を不動のものとするを狙ったプロジェクトであり、適切である。</p>
<p>(1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価</p>
<p>産業政策及びエネルギー政策上、我が国が競争力を有する本分野の推進は非常に重要となり、NEDOとして取り組む意義のあるプロジェクトである。</p>
<p>(2) プロジェクトの運営マネジメントについて</p>
<p>1) 成果目標の妥当性</p>
<p>中間年度である平成28年度末までに、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。</p> <p>最終年度である平成31年度末までに、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</p> <p>なお、公募により選定したテーマ毎に中間目標、最終目標は改めて設定する。</p>
<p>2) 実施計画の想定と妥当性</p>
<p>現在実施しているプロジェクト（平成22～26年度）では、6インチSiCウエハの高品質化、エピタキシャル膜成長技術、ウエハ加工技術の確立、高耐圧デバイスの製造技術の研究、高耐熱部品のモジュール化技術の開発を実施している。</p> <p>今回拡充する本プロジェクト（平成26～31年度）は、上記成果等を活用した応用システムの研究開発であり、早期実用化による事業面での国際競争力強化に貢献し、本分野における日本の地位を不動のものとする。</p>
<p>3) 評価実施の想定と妥当性</p>
<p>NEDOは、(1) 事業の位置付け・必要性、(2) 研究開発マネジメント、(3) 研究開発成果、(4) 実用化、事業化に向けての見通し及び取り組みの4つの評価項目について、外部有識者による評価を行う。中間評価を平成28年度、事後評価を平成32年度に実施する。</p> <p>なお、中間評価結果を踏まえ、必要に応じて事業の加速・縮小・中止等、</p>

見直しを迅速に行う。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、事業実施を前倒しする等、適宜見直すものとする。
<b>4) 実施体制の想定と妥当性</b>
応用システム毎に、研究開発を主体的に進める企業からテマリーダーを選び、サプライチェーンで垂直連携となるコンソーシアムを編成し、プロジェクトを推進する。
<b>5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性</b>
市場調査、ベンチマークに基づき新たな産業等を作る戦略・シナリオを策定し、終了後3年以内の実用化を目指す。また、成果に応じて、6年間の事業期間終了を待たずに卒業し、実用化に移行させる。 なお、インフラ系などは、海外での調達を見据えて海外実証の活用を検討する。
<b>(2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価</b>
研究開発の段階に応じて適切な実施体制を構築し、それに対応した評価等を行う仕組みを想定しており、適切な運営マネジメントとなっている。
<b>(3) 成果の実用化・事業化の見通しについて</b>
<b>1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性</b>
SiCパワーモジュールの産業機器、自動車等への適用、GaN/Siパワーモジュールの民生機器等への適用を想定している。
<b>2) 成果の波及効果</b>
半導体工学全般、計測工学、材料工学、信頼性工学など他の研究分野に大きな波及効果を及ぼすことが期待される。
<b>(3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価</b>
応用システムの開発については、実用化・事業化の見通しの明確なコンソーシアムのみ実施者として選定すると共に、実施者に事業化シナリオ等を意識して開発に取り組んでもらうことで、妥当な体制となっている。

「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（案）」  
に対するパブリックコメント募集の結果について

平成26年3月17日  
NEDO  
電子・材料・ナノテクノロジー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。  
貴重なご意見を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間  
平成26年2月28日～平成26年3月13日
2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>  
計3件
3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画・技術開発課題への反映
全体について		
<p>[意見1]（1件） 低炭素化は地球規模で重要なテーマであるとともに、対象が自動車、電車、電力、民生と広範囲にわたり、日本の産業の強化や雇用の拡大に寄与するという意味で非常に有意義なプロジェクトだと考えます。また、プロジェクト成果はエネルギー効率2倍、サイズ1/4とインパクトが大きく、社会を変えていく原動力になると期待できます。是非、このプロジェクトを推進し、日本の産業力を強化していただきたいと思います。</p>	<p>[考え方と対応] 貴重なご意見、ありがとうございます。本プロジェクトを通じて、パワーエレクトロニクス関連の広範囲な産業競争力を強化し、併せて低炭素社会の実現に努めて参ります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容] 特になし。</p>

<p>[意見2] (1件)</p> <p>2011年3月の福島第一原発事故以降、我が国のエネルギー政策に対する国民の関心は高まり、再生可能エネルギー導入に対する期待と共に、省エネ技術開発の必要性に対しても理解が急速に深まりつつある。一次エネルギーに於ける電力比率向上、或いは電気自動車やハイブリッド自動車の普及に伴うパワーエレクトロニクスの高度化は、将来的にも重要な技術項目の一つであり、新興国に簡単に真似されない特徴有る我が国のコア技術として成熟させる目的のためにも、今後数年間での重点的な研究開発が望ましいと個人的には考える。</p> <p>これらの背景から、貴機構が今回公募する予定の新規プロジェクト「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」は、国民全体の省エネ技術向上に裨益する研究開発として、国内電機メーカーを始めとする民間企業各社、大学・国研を含めたオール・ジャパン体制でのプロジェクトとして、是非ともキック・オフ、推進して頂きたいと考えます。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>貴重なご意見、ありがとうございます。本プロジェクトでは、応用システム毎に、研究開発を主体的に進める企業からテーマリーダーを選び、サプライチェーンで垂直連携となるコンソーシアムを編成して、プロジェクトを推進する予定です。その活動を通じて、低炭素社会の実現及び日本の産業競争力強化を実現して参ります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>
<p>[意見3] (1件)</p> <p>本プロジェクトは、より一層の低炭素社会の実現、及びパワーデバイスにおける日本の国際競争力強化に対して非常に有効なプロジェクトと認識しています。本プロジェクトではSiCの要素技術だけでなく、応用技術の研究・開発も実施しますので、SiCパワーデバイスの適用製品の拡大、信頼性向上、コスト低減等が期待できます。特に、高耐圧・高温モジュールの実現は技術的に最も難しいものではありますが、そこで研究・開発された技術は他の応用システムへの展開も可能ですので、適用製品が拡大するものと考えます。さらに、本プロジェクトにて開発された材料、部材についても国際競争力が強化されるものと考えます。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>貴重なご意見、ありがとうございます。本プロジェクトでは、応用システムの実現に必要な技術開発を実施するものであり、材料、部材についても必要に応じて開発対象としております。材料、部材等の国際競争力強化も本プロジェクトで期待している効果の一つとなります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし。</p>

以上