

# 「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」

## 事後評価報告書（案）概要

### 目 次

分科会委員名簿 .....	1
評価概要（案） .....	2
評点結果 .....	6

## はじめに

本書は、NEDO技術委員・技術委員会等規程第31条に基づき研究評価委員会において設置された「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」（事後評価）の研究評価委員会分科会（平成27年6月18日）において策定した評価報告書（案）の概要であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条の規定に基づき、第43回研究評価委員会（平成27年9月7日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成27年9月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会「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」分科会  
（事後評価）

分科会長 鈴木 彰

「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」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成27年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	すずき あきら 鈴木 彰	国立研究開発法人科学技術振興機構 イノベーション拠点 推進部 戦略ディレクター
分科 会長 代理	さわだ れんし 澤田 廉士	九州大学大学院 工学研究院 機械工学部門 システム生 命科学専攻 教授
委員	おかだ よしたか 岡田 至崇	東京大学 先端科学技術研究センター 新エネルギー分野 教授
	ながさわ ひろゆき 長澤 弘幸	株式会社 CUSIC 代表取締役
	にいがき みのる 新垣 実	浜松ホトニクス株式会社 中央研究所 理事/研究主幹
	ひろせ けいいち 廣瀬 圭一	株式会社 NTT ファシリティーズ エネルギー事業本部 技 術部長
	みやけ つねゆき 三宅 常之	株式会社日経 BP 日経テクノロジーオンライン編集 副編集 長

敬称略、五十音順

# 「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」(事後評価)

## 評価概要 (案)

### 1. 総合評価

SiC パワー半導体を用いたパワーエレクトロニクスの改革およびそれによる新産業の創出は重要な我が国の戦略的課題である。新規革新技術開発の必要性、広範な産業分野への開発成果波及効果、我が国の産業競争力の強化への貢献などの観点から、産学公の関係機関が結集して取り組むべき事業であり、NEDO の関与が強く要請される。社会活動の基盤となる交通・エネルギー分野の低炭素化に大きなインパクトのある取り組みであり、また、海外企業が先行している分野での国際競争力向上につながる基盤技術を構築していくことは意義のあることと考える。技術開発、エネルギー需要、市場、政策、国際戦略の各動向に鑑みて本事業の目的は極めて妥当である。

材料、製造プロセス、デバイスに加え、実装まで含み多岐にわたって、具体的で、かつ挑戦的な目標をあげて取り組み、最終目標をすべてクリアしている。世界的にみてもレベルの高い成果となっている。

本事業で得られた成果を広く実用化するためには、更なる性能向上の他に、低コスト化や信頼性、スループットの改善が求められる。後継事業をどう展開するか、TIA-nano プラットフォームへ設備とともに「レセピー」を移管し、次期プロジェクトや TPEC で実用化へ向けた事業に有効に活用されていることをもっと周知する必要がある。また、SiC パワー半導体を継続的に発展させるためには、当初想定した車両や車載用以外の様々な応用を喚起し、産業としての裾野を出来る限り広げる必要があると考える。学会を中心とした研究開発成果の PR に加えて、SiC パワー半導体の省エネルギー効果やコストメリットも含めて、産業界や一般市民に宣伝する工夫が必要と思われる。

### 2. 各論

#### 2. 1 事業の位置付け・必要性について

SiC パワー半導体を用いたパワーエレクトロニクスの改革およびそれによる新産業の創出は極めて重要な我が国の国家的戦略的課題である。その成果のもたらす効果は、ナノテク・部材分野における革新的新半導体の実現によるイノベーション、エネルギー分野における飛躍的な省エネルギー、高効率エネルギーシステムの実現によるイノベーション、IT 分野におけるエネルギー消費量の大幅削減を可能にするイノベーションをもたらすプロジェクトであり、NEDO の当該施策・制度の目標のために多大な貢献をする。

本プロジェクトの目標を達成するには、基板材料、デバイス、製造装置、周辺部品、実装技術などの連携が必須であり、これを包括して協調した開発体制を構築するためには、NEDO として求心力を発揮することが妥当であったと考えられる。物性から製造、加工、また最終形態の応用・サービスに至るまでのビジネスのサプライチェーン全体を網羅できて

いる実証であり、まさに国プロとしてふさわしいものである。

得られた成果の波及効果は、パワー半導体以外にも活かされるものであり、従来の Si 技術や他の機能性材料の活用にも活かされると考えられる。このような潜在的なメリットも勘案すると、投じた予算をはるかに超える事業成果が期待される。

事業の戦略及び開発目標が明確に設定され、その数値目標、開発期間とも現実的で妥当である。ただし、経済化に関する取組についても可能な限り深堀するなど、テーマに取り入れた方が、事業化の目標がより明確になると思われる。

SiC パワー半導体を用いた関連するプロジェクトは過去に NEDO の複数のプロジェクト、内閣府の最先端研究プロジェクト (FIRST) などがあり、さらに内閣府の SIP プロジェクトが現在進められている。これらの過去、現在の関連プロジェクト成果を総合的に統括して真に国際競争力のある産業育成に努める必要がある。そのためにはこれらの成果の産業界への速やかで、かつ有効な移転、活用が必要であるとともに、プロジェクトの中核として推進してきた産総研などの公的機関の研究開発施設等の産業界等におけるオープンイノベーション的な有効活用が期待される。

## 2. 2 研究開発マネジメントについて

内外の技術動向、市場動向、産業界の動向を踏まえて、戦略的で、かつレベルの高い目標が設定された。また、客観的に評価・判断できる具体的な開発目標が設定できている。特に、本プロジェクトの最終目標である SiC 新規半導体を用いたパワーエレクトロニクスの社会普及にはウェハ材料開発、材料加工技術開発、革新的デバイス技術開発、および新規応用開発の総合的技術開発が必要であり、そのすべての分野をとりあげ、それぞれに具体的で、かつ挑戦的な目標をあげて取り組んだことは高く評価できる。

総じて開発目標以上の高い技術開発が達成されている。パワーエレクトロニクスの技術開発項目についてもよく検討されており、プロジェクトリーダーを中心にプロジェクトのマネジメントも適切に行われている。プロジェクトリーダーは、技術の詳細や市場環境も正しく把握し、プロジェクトの進め方も適宜調整している。また、国際競争力の増強と実用化を意識し、必要となる開発項目を適宜付加している。

国内の本分野における有力な技術力と事業化力を有する有力企業のほとんどを組織した研究開発機構 (FUPET) を組織し、つくばの産総研における強力な集中研と有力企業による 3 分室での研究開発推進とその連携は、本プロジェクトでの最大の特徴でもあり、多大な成果達成と企業移転に貢献した。

参画企業において、並行して事業化計画が練られ、プロジェクト終了後、早期に各有力企業におけるプロジェクト成果活用の事業化推進が進みつつある。パワーエレクトロニクス分野の革新、産業競争力強化にすみやかに貢献することが期待できる。装置メーカーや部品メーカーなども開発に取り込んだことは、産業化を果たす上での必須のメンバーがコミットしているということであり、実用化を意識したものとして大いに評価できる。

成果が各産業界へ活用される今後において、本プロジェクトの後継事業をどう展開するか、また、本プロジェクトで立ち上げた設備・施設をオープンイノベーション的にどう活用して

産業界に貢献するかが検討される必要がある。また、本プロジェクトでは国際的な対応はほとんどなされていないが、各企業ともグローバルな経営、活動をする観点での取り組みを視野に入れることが必要かどうか、検討の余地がある。

欧米でパワーエレクトロニクス関連の大型国家プロジェクトが発足しているため、これらの動向にも注意し、必要に応じて臨機応変な対応をしていただきたい。

### 2. 3 研究開発成果について

技術的成果は定量的に評価できるものであり、明らかに目標を達成している。いずれの技術も世界最高水準の成果である。特に、基板に関しては結晶品質の改善と高速成長技術を両立している点が高く評価できる。またウェハ加工技術や高耐熱部品の開発にも装置メーカーや部品メーカーの深い関与が見られ、開発された技術の実用化が近いものであるとの印象を持った。

SiC ウェハの製造技術においては、既存手法と比べれば極めて優れた成果を上げているものの、さらに改善する余地がある。例えば加工技術では最適点を見出してほしい。将来予想される SiC パワーデバイスの爆発的な需要拡大に対応するには、高品質ウェハの大量供給を可能にする革新的成長法の確立が不可欠であり、今後注力して欲しい。

特許出願に加えて、国際会議や論文の学術発表も重要であり十分な成果を挙げている。また、ノウハウが我が国産業の国際競争力の源泉であるので、今後もノウハウの蓄積を継続し、「真似されない技術」を開発していただきたい。

研究開発と並行して、事業計画の段階から国際標準化作業を意識した取組が必要である。テーマや作業項目、及び計画段階からのスケジュールの設定をすることが望ましい。また、IEC などの標準化活動の場では、人脈が大きく影響する故、それらのジャンルに対応できる人材育成も今後の課題の一つである。

知財、論文、学会発表等で成果発表は効果的に行われているが、本プロジェクト成果は今後の産業界のみならず国民生活の改善にも省エネを通して大きく貢献ができるテーマだけに、一般市民を対象にした啓発活動をもう少しやるべきでなかったか。

### 2. 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

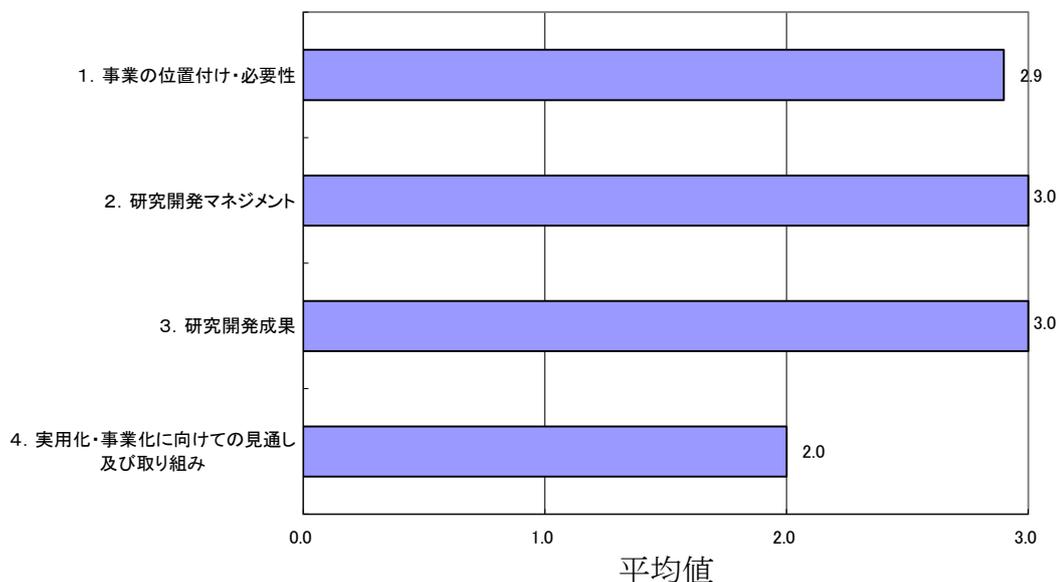
参画している各企業において、市場動向、産業動向を十分に検討してニーズに対応した製品化設定、それに必要な技術開発設定をして取り組んでいる。従って成果の実用化・事業化の見通しは、おおむね極めて優れている。

基板材料、デバイス、周辺部品、そして製造装置のいずれにおいても事業に直結する企業が開発に参画しており、その事業化の意欲も高い。そして、事業を下支えする技術的成果も整ってきた。すなわち、事業の川上から川下に至るマーケットチェーンがシームレスに構築できる環境が整いつつあり、相乗的にそれぞれの事業化が促進されてゆくことが期待できる。

本プロジェクトで育成された技術が、世界において普及・展開されることを望む。各企業がどう協力して実用化、産業化に持っていくかがコストの点も含めて大きな課題であり、その実現に取り組んでほしい。

産業化を促進し、Si 並みの量産効果を発揮するには、出来る限り多様な応用展開を図るべきと考える。本プロジェクトの開発成果を受けて、どのように応用分野の裾野を拡大してゆくのかという戦略も欲しい。引き続きユーザーを巻き込み、新しい用法・市場の創造も狙ってほしい。

## 評点結果 [プロジェクト全体]



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	B	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	2.9	A	A	B	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
3. 研究開発成果について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
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	2.0	B	B	B	B	B	B	B	B

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

### 〈判定基準〉

#### 1. 事業の位置付け・必要性について      3. 研究開発成果について

- |                |    |           |    |
|----------------|----|-----------|----|
| ・非常に重要         | →A | ・非常によい    | →A |
| ・重要            | →B | ・よい       | →B |
| ・概ね妥当          | →C | ・概ね妥当     | →C |
| ・妥当性がない、又は失われた | →D | ・妥当とはいえない | →D |

#### 2. 研究開発マネジメントについて      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

- |           |    |         |    |
|-----------|----|---------|----|
| ・非常によい    | →A | ・明確     | →A |
| ・よい       | →B | ・妥当     | →B |
| ・概ね適切     | →C | ・概ね妥当   | →C |
| ・適切とはいえない | →D | ・見通しが不明 | →D |



【非公開セッション】

〈実施者入替なし、一般傍聴者退席〉

- 6.4 SiC 高耐圧スイッチングデバイス製造技術  
(説明 15 分) 13:00～13:15  
(質疑 15 分) 13:15～13:30
- 6.5 高耐熱部品統合パワーモジュール化技術開発  
(説明 20 分) 13:30～13:50  
(質疑 20 分) 13:50～14:10
7. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み 〈実施者入替による〉
- 7.1 デンソー、昭和電工における実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み  
(説明 8 分) 14:10～14:18  
(質疑 8 分) 14:18～14:26  
(入替 2 分) 14:26～14:28
- 7.2 新日鐵住金における実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み  
(説明 8 分) 14:28～14:36  
(質疑 8 分) 14:36～14:44  
(入替 2 分) 14:44～14:46
- 7.3 タカトリにおける実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み  
(説明 8 分) 14:46～14:54  
(質疑 8 分) 14:54～15:02  
(入替 2 分) 15:02～15:04
- 7.4 ディスコにおける実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み  
(説明 8 分) 15:04～15:12  
(質疑 8 分) 15:12～15:20  
(入替 2 分) 15:20～15:22
- 7.5 三菱電機における実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み  
(説明 8 分) 15:22～15:30  
(質疑 8 分) 15:30～15:38
- (休憩／入替 10 分) ----- 15:38～15:48
- 7.6 富士電機における実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み  
(説明 8 分) 15:48～15:56  
(質疑 8 分) 15:56～16:04  
(入替 2 分) 16:04～16:06
- 7.7 カルソニックカンセイ、日産自動車における  
実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み  
(説明 8 分) 16:06～16:14

	(質疑 8分)	16:14～16:22
	(入替 2分)	16:22～16:24
7.8 太陽誘電における実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み	(説明 8分)	16:24～16:32
	(質疑 8分)	16:32～16:40
	(入替 2分)	16:40～16:42
7.9 村田製作所における実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み	(説明 8分)	16:42～16:50
	(質疑 8分)	16:50～16:58
	(入替 2分)	16:58～17:00
7.10 電気化学工業、日本ファインセラミックスにおける実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み	(説明 8分)	17:00～17:08
	(質疑 8分)	17:08～17:16
	----- (実施者入室 2分) -----	17:16～17:18
8. 全体を通しての質疑	(質疑 22分)	17:18～17:40
	----- (一般傍聴者入室 5分) -----	17:40～17:45
<b>【公開セッション】</b>		
9. まとめ・講評	(講評 25分)	17:45～18:10
10. 今後の予定、その他	(説明 5分)	18:10～18:15
11. 閉会		18:15

以上

概要

最終更新日 平成27年6月18日

プログラム名	ナノテク・部材イノベーションプログラム、ITイノベーションプログラム		
プロジェクト名	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	プロジェクト番号	P10022
担当推進部/ 担当者	<p>電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 柚須 圭一郎/杉山 五美(平成25年11月～平成27年2月)</p> <p>電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 柚須 圭一郎/佐々木 啓(平成24年11月～平成25年8月)</p> <p>電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 芦田 純生(平成24年8月～平成24年10月)</p> <p>電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 芦田 純生/佐藤 文(平成23年3月～平成23年6月)</p> <p>経済産業省 研究開発課 武良 佑介(平成22年7月～平成23年3月)</p>		
0. 事業の概要	SiC パワーデバイスの事業本格化に向け、大口径(150mm:6インチ)かつ低欠陥な SiC ウエハの製造技術と、鉄道や送配電等に用いる耐電圧 3kV 以上で電流容量数百Aの SiC デバイス技術開発を行う。		
I. 事業の位置付け・必要性について	低炭素社会の実現に向けた自動車をはじめとする様々な分野の電化に伴い、パワー半導体による電力損失の低減は極めて重要である。従来の Si に代えて SiC パワー半導体デバイスを用いると大幅な損失低減が可能となる。そのため SiC デバイスの早期普及が望まれているが、現状では大口径高品質 SiC ウエハの供給体制が不十分で、デバイスの普及やさらなる高度化に向けてその解決が必要である。さらに SiC は、高耐圧化が期待される一方、現状では 1kV 程度である。鉄道や送配電等の強い期待に応じて適用分野を広げるには、SiC 材料の特長を生かせる 3kV 程度以上の高耐圧デバイス技術の確立が必要である。		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>(1) 高品質・大口径 SiC 単結晶成長技術/革新的 SiC 結晶成長技術開発 (委託事業)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>昇華法で低欠陥密度の 6 インチ単結晶成長技術の確立/革新的成長法の優位性検証。</li> </ul> <p>(2) 大口径 SiC ウエハ加工技術開発 (委託事業)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>一貫加工 (切断・研削・研磨) プロセスを開発し単結晶からウエハまで 24 時間以内で完了する効率性の実現。</li> </ul> <p>(3) SiC エピタキシャル膜成長技術開発 (委託事業)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>大面積に均一な低欠陥密度の膜形成技術、高速での 100 μm の厚膜成長技術の確立。</li> </ul> <p>(4) SiC 高耐圧スイッチングデバイス製造技術 (委託事業)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>新規構造の SiC-MOSFET で耐圧 3kV 以上の実現/耐圧 3kV 以上の大容量 MOSFET の実現と MVA 級電力変換器の動作実証。</li> </ul> <p>(5) 大口径 SiC ウエハ量産化技術開発 (助成事業)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>昇華法で 6 インチ単結晶の量産化技術を開発し低欠陥と高速成長を実証。</li> </ul> <p>(6) 大口径 SiC ウエハ加工要素プロセス検証 (委託事業)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>各加工技術要素プロセスの能力限界と最適加工条件抽出。</li> </ul> <p>(7) SiC 高耐圧大容量パワーモジュール検証 (委託事業)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧 3.3kV の SBD の実現と Si-IGBT と組み合わせ 1000A 級パワーモジュールの動作実証。</li> </ul> <p>(8) 大口径対応デバイスプロセス装置開発 (助成事業)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>6 インチ SiC 基板に適合するデバイスプロセス装置を開発。</li> </ul> <p>(9) 高耐熱部品の開発と統合モジュール化 (委託事業) (平成 24 年度追加)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>要求に合致する高耐熱受動部品・基板等の開発とモジュール化による優位性検証。</li> </ul>		

事業の計画内容	主な実施事項	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	総額	
	(1) 結晶成長技術	→						
	(2) 加工技術	→						
	(3) エピ成長技術	→						
	(4) デバイス製造技術	→						
	(5) 結晶量産化技術	→						
	(6) 加工プロセス検証	→						
	(7) 大容量モジュール	→						
	(8) プロセス装置	→						
	(9) 高耐熱部品			→				
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載)(単位:百万円)	会計・勘定	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	総額	
	一般会計	2,000	3,957	1,930	-	-	7,887	
	特別会計	-		-	1,980	1,980	3,960	
	加速予算 (成果普及費を含む)	-		190	180	-	370	
	総予算額	2,000	3,957	2,120	2,160	1,980	12,217	
契約種類:	(委託)	2,000	1,938	1,954	2,010	1,814	9,746	
	(助成):助成率 2/3		2,019	-	-	-	2,019	
	(共同研究):負担率 1/2			166	150	166	452	
開発体制	経産省担当原課	産業技術環境局研究開発課、製造産業局非鉄金属課(高耐熱部品)						
	プロジェクトリーダー	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						
	委託先(*委託先が管理法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	技術研究組合次世代パワーエレクトロニクス研究開発機構(FUPET) (参加 21 社、1 大学、1 国立研究開発法人(産総研)) 再委託先 (一財)電力中央研究所 共同実施先 (国)名古屋大、東工大、大阪大、名工大、横浜国立大、(学)中部大、(独)物材機構(FCRA)(平成 24 年 9 月~) (参加 8 社、1 国立研究開発法人(産総研)、1 一般財団法人、1 一般社団法人) 再委託先 (一社)JFCA 共同実施先 (国)東大、東工大 共同研究先 新日鐵住金(株)(平成 24 年 4 月~)						
情勢変化への対応	<p>プロジェクト成果をより大きいものとするため、平成 23 年度に項目(5),(6),(7),(8)を追加実施。</p> <p>新日鐵住金(株)が担当した FUPET 富津分室での昇華法による 6 インチ結晶成長の成功を受け、事業化を推進するため、平成 24 年度より、同社と NEDO との直接共同研究契約のもと、独立して推進することとした。</p> <p>材料・デバイスからシステムへのビジネスモデルをより強固なものとするために、また SiC の特徴である高耐熱性を生かすべく、平成 24 年度より高耐熱モジュール化技術開発を追加し、委託先としてファインセラミックス技術研究組合を加えた。</p>							
中間評価結果への対応	中間評価を平成 24 年 8 月に実施し、結果を適切に反映した。							

評価に関する事項	事前評価	委託事業に関しては平成 21 年度に経済産業省において実施。助成事業に関しては電子・材料・ナノテクノロジー部において平成 22 年度に実施。		
	中間評価	平成 24 年度 中間評価実施		
	事後評価	平成 27 年度 事後評価実施		
Ⅲ. 研究開発成果について		最終目標	成果	
	事業全体			
	(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	(1)-1 [昇華法] 下記の 6 インチ、長さ 50mm 以上結晶成長実現技術の確立。 (1)-1-1 転位密度 10 <sup>3</sup> 個/cm <sup>2</sup> 台 (1)-1-2 0.5 mm/h 以上の高速 (1)-2 [革新的成長法] 2 インチ・20mm 厚単結晶	(1)-1 [昇華法] 6 インチで、 (1)-1-1 転位密度 950 個/cm <sup>2</sup> (1)-1-2 成長速度 0.52mm/h (1)-2 [革新的方法] ガス法で 3 インチ径 50mm 厚、1.8mm/h 達成。溶液法で 2 インチ径 21.5mm 厚・0.5mm/h 達成。	達成
	(2) 大口径 SiC ウエハ加工技術開発	①6 インチで 300 μm/分以上、同時 10 枚以上、切り代 250 μm 以下の切断技術を実現 ②表面仕上げ精度 Rms(表面荒さ)0.1nm@2 μm×2 μm 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	①6 インチで下記を達成。 ・切断速度：300 μm/分以上 ・同時切断枚数：～10 枚 ・切り代：250 μm 以下 ②表面仕上げ精度 Rms(表面荒さ)0.1nm@2 μm×2 μm 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 9.7 時間達成。	達成
	(3) SiC エピタキシャル膜成長技術	(3)-1 [大口径化] 6 インチ、処理枚数 3 枚以上で均一度：厚さ±5%、ドーピング濃度±10%、エピ成長起因の表面欠陥密度：0.5 個/cm <sup>2</sup> 以下を実現 (3)-2 [高速厚膜化] 4 インチ径・膜厚 50 μm 以上・成膜速度 100 μm 以上で、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%、表面欠陥密度：1 個/cm <sup>2</sup> 以下を達成	(3)-1 [大口径化] ①厚さ均一性：±0.85%、ドーピング濃度均一性：±7.6%、表面欠陥密度：0.5 個/cm <sup>2</sup> 等を確認。 (3)-2 [高速厚膜化] 4 インチ径・膜厚 50 μm 以上・成膜速度 100 μm 以上で、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%、表面欠陥密度は 1 個/cm <sup>2</sup> 以下を達成。	達成
(4) SiC 高耐圧スイッチングデバイス製造技術	(4)-1 [新規構造デバイス] 必要な各種要素技術を高度化し、耐圧 3kV 以上で特性オン抵抗 15mΩ cm <sup>2</sup> 以下の高耐圧 SiC-MOSFET を実現する (4)-2 [大容量デバイス／変換器] 耐圧 3kV 以上、オン抵抗 80mΩ cm <sup>2</sup> 以下(室温環境下)、定格出力電流密度 100A/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	[新規耐圧構造デバイス] 耐圧 3.7kV、特性オン抵抗 8.3mΩ cm <sup>2</sup> の高耐圧トレンチ型 SiC-MOSFET を実現 [高耐圧大容量デバイス／変換器] 耐圧 3.3kV、オン抵抗 23mΩ cm <sup>2</sup> (室温環境下)、の高耐圧 SiC-MOSFET を開発し、当該デバイスを用いた MVA 級電力変換器の電力損失が同耐圧の Si 電力変換器の 55%であることを実証	達成	

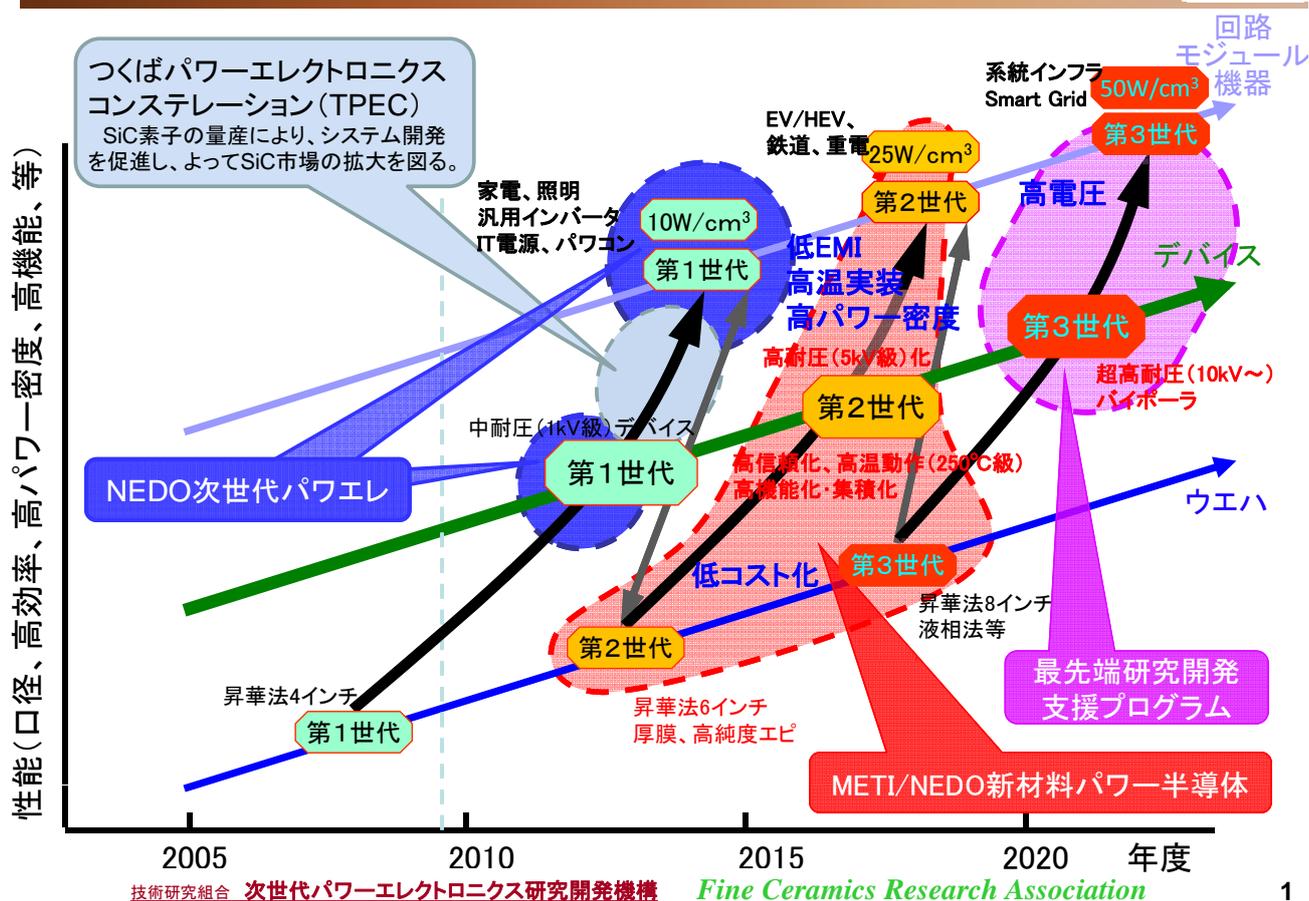
	(5) SiC ウエハ量産化技術開発 (平成 24 年 3 月迄)	大口径ウエハの量産化開発環境整備を行い、 (5)-1 転位密度 $1 \times 10^4$ 個/cm <sup>2</sup> 以下の 6 インチインゴット実現の基盤技術確立 (5)-2 成長速度 0.25mm/h 以上で転位密度 $5 \times 10^4$ 個/cm <sup>2</sup> 以下の 6 インチインゴット実現の基盤技術確立	(5)-1 低応力成長技術により課題を克服し口径 6 インチで転位密度 $6.8 \times 10^3$ 個/cm <sup>2</sup> を確認。 (5)-2 6 インチインゴット成長において成長速度 0.25mm/h 以上、転位密度 $5 \times 10^4$ 個/cm <sup>2</sup> 以下を確認。	達成
	(6) 大口径 SiC ウエハ加工要素プロセス検証 (平成 24 年 2 月迄)	①ダイヤモンドマルチワイヤーソーでの高速切断に向け、最大ワイヤー速度：約 4,000m/min、最大張力：70N の高速高剛性切断実現 ②切断、研削、荒研磨、仕上げ研磨の各工程の能力限界と最適加工条件抽出と総合的データを蓄積	①ダイヤモンドマルチワイヤーソーを開発しワイヤー速度 4,000m/min、張力：70N を実現。3~4 インチ結晶の高速切断（切断速度 150 $\mu$ m/分以上）性能を検証。 ②各要素工程におけるベンチマーク実験と加工性能最適化を実施。	達成
	(7) SiC 高耐圧大容量パワーモジュール検証 (平成 24 年 2 月迄)	耐圧 3.3kV 定格電流 75A の SiC-SBD を開発し、Si-IGBT と組み合わせ 1,000A 級大容量パワーモジュールを試作・実証し、All SiC モジュール実現の技術的指針獲得	電流 150A 以上で良好な電流電圧特性を持ち、リカバリーのない SiC-SBD を実現。Si-IGBT と組み合わせたパワーモジュールで 2000A のスイッチングを実証した。さらに 1 相のフルブリッジ回路を構成し連続通電試験を実施。	達成
	(8) 大口径対応デバイスプロセス装置開発 (平成 24 年 2 月迄)	6 インチ SiC ウエハ用のイオン注入、活性化熱処理装置を開発。 <イオン注入装置> ・低温から 800°C で注入可能 ・面内温度均一性 $\pm 15^\circ\text{C}$ ・Al 注入イオン電流 200 $\mu$ A 以上 <活性化熱処理装置> ・熱処理温度：1,800°C 以上 ・面内温度均一性 $\pm 30^\circ\text{C}$ ・同時処理可能枚数 25 枚以上	<イオン注入装置> ・常温から 800°C での自動のシステムを開発。 ・500°C で面内温度差 $\pm 14^\circ\text{C}$ ・Al ビーム電流 1500uA <活性化熱処理装置> ・装置最高温度 2,000°C ・面間温度差 $< \pm 30^\circ\text{C}$ 達成 ( $\pm 10^\circ\text{C}$ を確認中) ・同時処理枚数 50 枚	達成
	(9) 高耐熱部品統合パワーモジュール化技術開発 (平成 24 年 9 月より)	高耐熱受動部品を配置したパワーモジュールを試作り、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。	1200V/50A 級 SiC パワーモジュールを試作り、接合温度 225°C における動作を達成した。評価を通して組合せ耐久性の改善、組立時の温度等の影響軽減の観点からプロセス条件、材料の改善策を取り纏めた。	達成
	投稿論文	「査読付き」124 件		
	特許	「出願済」135 件（うち国際出願 31 件） 特記事項：なし		
	その他の外部発表（プレス発表等）	465 件（研究発表・講演 432 件、新聞／雑誌掲載 15 件、展示会発表 12 件、受賞実績 6 件）		
IV. 実用化、事業化の見通しに	各参画企業において事業化を検討（ヒアリングにおいて確認）。詳細は非公開とする。			

<p>ついて</p>	<p>また、事業化への過程において「つくばイノベーションアリーナ（TIA-nano）」・「つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション（TPEC）」の活用も想定。</p>	
<p>V. 基本計画に関する事項</p>	<p>作成時期</p>	<p>平成 23 年 3 月 作成 （次世代パワーエレクトロニクス技術開発（グリーンIT）との合体版として作成）</p>
	<p>変更履歴</p>	<p>平成 23 年 7 月 改訂 （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よる） 平成 24 年 3 月 改訂 （研究開発項目(9)高耐熱部品統合モジュール化技術開発の追加） 平成 26 年 4 月 改定 （研究開発項目③の追加） 平成 26 年 5 月 改定 （研究開発項目①(10)の追加）</p>

3. 研究開発成果概要 (0) 課題と取り組み方

(2) 関連国家プロジェクトとの関係

# SiCパワーエレクトロニクスロードマップ (実用化時期)



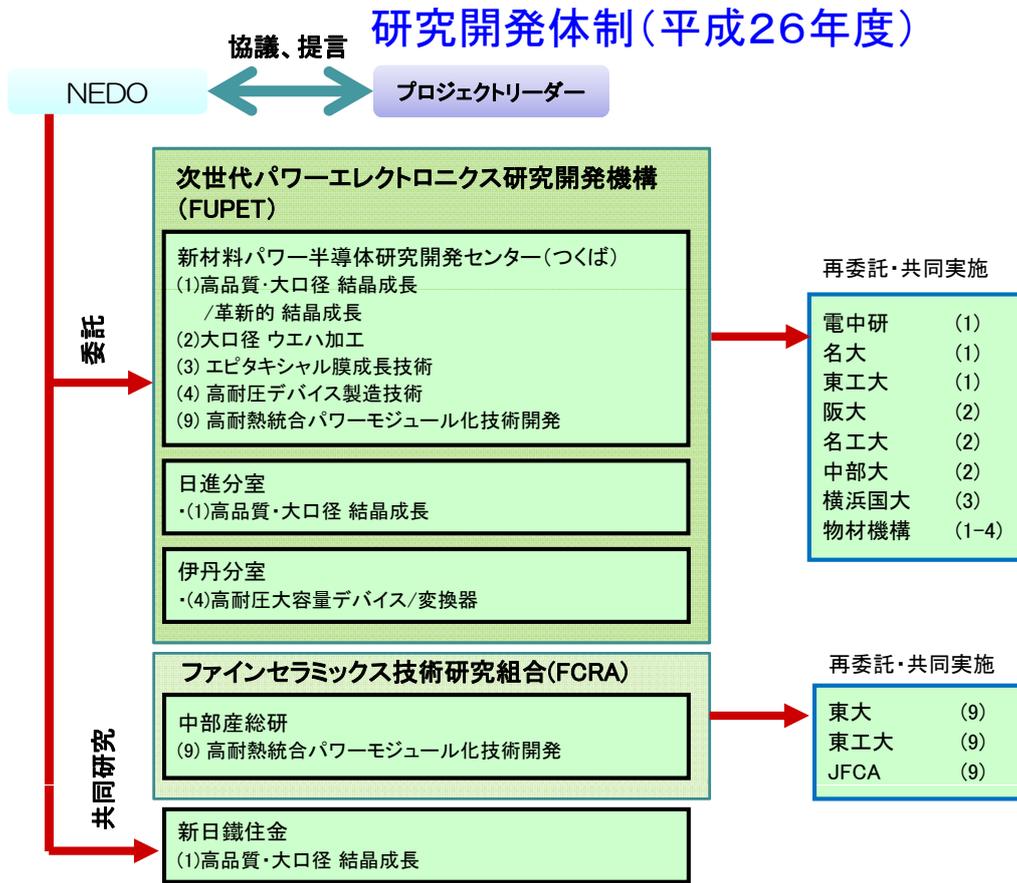
3. 研究開発成果概要 (0) 課題と取り組み方

(4) 基本計画目標

## 個別研究開発項目の狙いと最終目標



テーマ	狙い	実施項目名	最終目標
結晶成長	昇華法	大口径ウエハの早期実現	(1)-1 高品質・大口径SiC結晶成長技術開発 6" × 50mm以上で ・DD ≤ 1 × 10 <sup>3</sup> 個/cm <sup>2</sup> ・GR ≥ 500 μm/h, DD ≤ 5 × 10 <sup>3</sup> 個/cm <sup>2</sup>
	革新的成長法 (ガス法、溶液法)	高品質・低コスト化	(1)-2 革新的SiC結晶成長技術開発 2" × 20mm以上の4H-SiC単結晶実現 昇華法に対する優位性を検証
加工	トータル最適化	効率: 3日/枚 ⇒ 24hr/枚	(2) 大口径SiCウエハ加工技術開発 @6" ・切断速度 ≥ 300um/分 × 10枚、 ・切り代 ≤ 250um、・Rms ≤ 0.1nm @2um <sup>□</sup> ・プロセス時間 < 24hr以内
エピ成長	大口径	6インチエピウエハ早期実現	(3)-1 SiCエピ膜成長技術 (大口径対応技術) @6" × 3枚 ・均一度: 厚さ ± 5%、濃度 ± 10% ・品質: エピ起因表面欠陥密度 ≤ 0.5個/cm <sup>2</sup>
	厚膜・高速化	3. 3~5kV用 (高速鉄道、系統) 方式検討 ⇒ 設備開発導入 (ハライド、ガスフロー制御)	(3)-2 SiCエピ膜成長技術 (高速・厚膜成長技術) @4"、膜厚 ≥ 50um、成長速度 ≥ 100um/h ・純度: 残留キャリア濃度 ≤ 3 × 10 <sup>14</sup> /cm <sup>3</sup> ・均一度: 厚さ ± 2%、濃度 ± 10% ・品質: エピ起因表面欠陥密度 ≤ 1個/cm <sup>2</sup>
デバイス	高耐圧デバイス	プレーナ トレンチ 現行要素技術を集積し高耐圧化 AIST独自構造	(4)-1 SiC高耐圧スイッチングデバイス製造技術 (新規耐圧構造デバイス) ・耐圧 ≥ 3kV、RonA ≤ 15mΩ cm <sup>2</sup> の高耐圧SiC-MOSFET
	大容量変換器	3~5kV級実用化	(4)-2 大容量デバイス/変換器 ・耐圧 ≥ 3kV、Ron ≤ 80mΩ (RT)、 出力 ≥ 100A/cm <sup>2</sup> の高耐圧SiC-MOSFET、 MVA級電力変換器損失 ≤ 50% (vs.Si) を実証
高耐熱パワーモジュール	部品	高耐熱部品開発	(9)-1 高耐熱部品作製技術 抵抗、コンデンサ、放熱基板、配線基板 @250°C
	部品実装	高耐熱部品の実装可能性	(9)-2 高耐熱部品実装基盤技術 高温動作 (225°C以上) するSiCパワー素子近傍に新規開発部品を配置したパワーモジュールで各実装部品間の相互の影響を検証
評価	一貫評価	結晶 ⇄ 加工 ⇄ エピ ⇄ デバイス 座標共通化してシステム構築	(10) 共通基盤評価技術 一貫評価システム構築 ・結晶品質と加工、加工とエピ膜質 ・エピ膜質とTEG歩留りの相関明確化 ・TEG評価手法と欠陥評価手法確立



3/21

### 予算と期待効果との比較

新材料パワー半導体プロジェクトの総事業費: 122億円 (H22fy~H26fy)

#### 経済効果

- ・パワエレ市場はデバイスのみで数兆円の市場規模
- ・うち10%がSiCデバイスになるとして数千億円程度
- ・かつ、高い年率(約40%以上)での成長が見込まれる。

事業規模(全研究開発項目)						単位: 百万円
	H22fy	H23fy	H24fy	H25fy	H26fy	総額
全体	2,000	3,957(助成含む)	2,120	2,160	1,980	12,217
(1)~(4)	2,000	1,938	1,722	1,729	1,445	8,834
(5)~(8)	-	2,019	-	-	-	2,019
(9)	-	-	398	431	535	1,364

#### 省エネ効果

SiCパワー半導体の普及効果によって、国内だけでも、数百万キロワット(原発数基分)の省エネ効果が見込まれる(2020年時点の普及率からの予想)。

4/21

## 全体スケジュール

