

「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発 /
ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発」
事後評価報告書（案）概要

目 次

分科会委員名簿	1
プロジェクト概要	2
評価概要（案）	7
評点結果	12
（参考）評価項目・評価基準	15

はじめに

本書は、第35回研究評価委員会において設置された「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発／ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発」（事後評価）の研究評価委員会分科会（第1回（平成25年6月24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36回研究評価委員会（平成25年11月6日）にて、その評価結果について報告するものである。

平成25年11月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発／
ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発」分科会
（事後評価）

分科会長 吉川 明彦

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究評価委員会

「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発／

ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発」(事後評価)

分科会委員名簿

(平成25年6月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	よしかわ あきひこ 吉川 明彦	千葉大学 産学連携・知的財産機構 スマートグリーンイノベーション研究拠点 特任教授・名誉教授
分科会長 代理	おくむら つぐのり 奥村 次徳	首都大学東京 副学長 (首都大学東京大学院 理工学研究科 電気電子工学専攻 教授)
委員	きっかわ としひで 吉川 俊英	株式会社富士通研究所 基盤技術研究所 先端デバイス研究部 主管研究員
	ただとも かずゆき 只友 一行	山口大学 大学院理工学研究科 教授
	つじ しんじ 辻 伸二	独立行政法人科学技術振興機構 戦略研究推進部(兼)経営企画部 科学技術イノベーション企画推進室 主任調査員
	つだ くにお 津田 邦男	株式会社東芝 研究開発センター 電子デバイスラボラトリー 研究主幹
	はしづめ たもつ 橋詰 保	北海道大学 量子集積エレクトロニクス研究センター 量子結晶フォトニクス研究分野 教授

敬称略、五十音順

プロジェクト概要

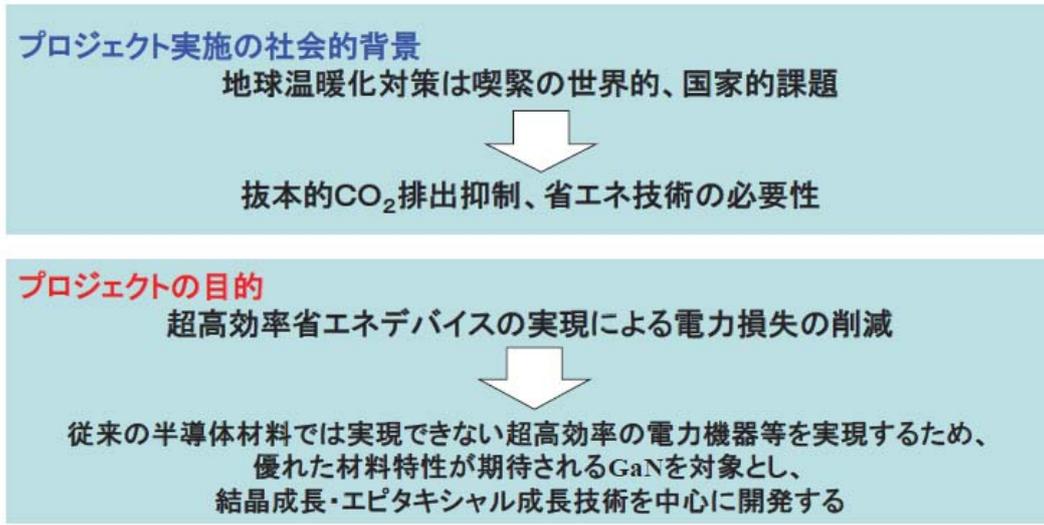
最終更新日	平成25年 4月25日
-------	----------------

プログラム（又は 施策）名	I T イノベーションプログラム・ナノテク・部材イノベーションプログラム・エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発／ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発－窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発	プロジェクト番号	P 0 7 0 3 0
担当推進部/ 担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者：工藤 祥裕・高井 伸之（平成22年11月～平成25年2月） 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者 太田 雅彦（平成21年9月～平成22年10月） ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者 大井川 欽哉（平成19年10月～平成21年8月） ナノテクノロジー・材料技術開発部 担当者 福井 徹（平成19年6月～平成19年9月）		
I. 事業の位置づけ・必要性について			
0. 事業の概要	<p>高周波デバイス、高出力デバイス等の高性能電子デバイスは今後の21世紀社会を支える情報家電、コンピュータ、情報通信機器から自動車、医療機器に至るまで極めて広範な分野の製品の高機能化や制御を実現する中核的役割を果たす存在で、窒化物半導体はそれを実現する材料として大きな期待が寄せられています。しかし、既存の結晶作成技術ではこれらのデバイス用に求められる品質レベルに十分対応できず、その実用化に大きな制約となっている。</p> <p>本プロジェクトでは、従来の半導体材料では実現できない領域で動作可能な高出力・超高効率の電力素子、超高速電子素子などの作製に必要な窒化物半導体結晶成長技術の確立を目指し、①高品質大口径単結晶基板の開発、②高品質大口径エピタキシャル成長技術の開発、および③窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの作成と評価に取り組み、我が国のエネルギー削減に大きく貢献することを目的とする。</p>		
I. 事業の位置 付け・必要 性について	<p>新・国家エネルギー戦略（2006年5月経済産業省）では、2030年に30%以上のエネルギー消費効率の改善を目標として掲げている。本目標を達成するためには、次世代省エネデバイスである窒化物系化合物半導体の早期実用化が望まれているところであるが、既存の単結晶基板成長技術やエピタキシャル成長技術、電子デバイス作製技術では、従来の半導体では実現できない領域で動作可能なハイパワー、超高効率デバイス性能を十分に引き出すには至っていない。しかし、現段階で市場が存在しない中で大規模な設備投資が必要な材料開発であり、最先端のナノエレクトロニクスの研究開発のため企業のみで研究開発を行うことはリスクが高い。</p> <p>また本技術開発により、高出力高周波デバイス、パワーデバイス、高電流密度LED等の市場が期待でき、日本企業が国際競争力を確立できる新市場創出につながる。</p> <p>以上から国家プロジェクトとして大学、材料メーカー、デバイスメーカー、装置メーカー等が相互連携して各々の技術を結集して基盤技術（窒化物半導体の結晶欠陥低減技術やナノ構造作製技術等）の革新を推進することが効果的かつ効率的である。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	<p>本事業（以下の①②③）を実施し、2014年頃から従来の半導体材料では実現できない領域で動作可能なハイパワー・超高効率の電力素子、超高速電子素子が実用化され、我が国のパワー半導体市場での国際競争力強化に大きく貢献し、またエネルギー消費量削減に寄与する。省エネ効果は、汎用インバータのみをとっても2030年において電力削減量 89億kWh/年、CO2削減量としては496万トン/年、原油換算189万キロリットル/年に相当する。</p> <p>① 高出力デバイス作製に必要な大型／高品質窒化物単結晶基板を作製する。</p> <p>② 新たなエピタキシャル成長法を開発し、①で作製した口径4インチの有極性、及び口径3～4インチの無極性窒化物半導体バルク基板上において、低欠陥高品質 GaN エピ層を実現する。加えて、AlN-GaN-InN 混晶エピ層を実現する。</p> <p>③ ①②を用いて有極性単結晶基板上FET(電界効果型トランジスタ)と無極性単結晶基板上FETを作製し、特性の差違、及びその利害得失の明確化する。また、広い混晶組成域における耐圧と結晶欠陥の相関を明確化し①、②へフィードバックする。</p> <p>また、国際標準化に向け、窒化物半導体材料の特性評価の最適手法等の検討を行うと共に、非鉄金属産業戦略（平成18年5月）の「化合物半導体産業戦略」に則り、化合物半導体ロードマップの策定等を通じ、シリコンでは提供できない特性を有する半導体ウェーハ需要の開拓を行う。</p>		

事業の計画内容	主な実施事項		2007	2008	2009	2010	2011	2012
	①高品質大口径単結晶基板の開発		→	→	→	→	→	
	②高品質大口径エピタキシャル成長技術の開発		→	→	→	→	→	
	③窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの作製と評価		→	→	→	→	→	→
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	合計	2007	2008	2009	2010	2011	2012
	一般会計							
	特別会計 (需給)	2,335	470	570	680	221	294	100
	加速予算	171	116				55	
	総予算額	2,506	586	570	680	221	349	100
開発体制	経産省担当原課		製造産業局非鉄金属課					
	プロジェクトリーダー		福井大学 葛原正明(平成21年7月~) 名古屋大学 天野 浩(平成19年6月~平成21年7月) (サブリーダー 大阪大学 森勇介、名古屋大学 天野浩(平成21年7月~))					
	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)	企業、研究機関：(国)大阪大学、(国)福井大学、(国)名古屋大学 昭和電工(株)、住友電気工業(株)、サンケン電気(株) シャープ(株)、(株)豊田中央研究所、古河機械金属(株) 管理法人：(財)金属系材料研究開発センター(参加4社) 豊田合成(株)、日本ガイシ(株)、シャープ(株)、(株)豊田中央研究所 再委託先：古河機械金属(株)、(学)名城大学						
情勢変化への対応	<p>電子・材料・ナノテクノロジー部主催による「技術推進委員会(年1回)」を適宜開催して外部有識者の意見をプロジェクト運営管理に反映している。</p> <p>平成19年度の第一回技術推進委員会では、委員会提言として「基板・エピグループから【基板】が速やかに提供できるようなグループ間の連携強化」が指摘され、対応策として平成19年度に「研究加速による基板供給スピードのアップ」の見直しの実施、平成21年度には「基板単位の進捗・リリース管理強化」を図った。その結果、基板供給がスピードアップし、①$5 \times 10^3 \text{cm}^2$以下の低転位な4インチ大口径GaN基板の作製、GaNデバイス試作・優位性評価を実現し、その成果をCEATEC2013、nanotech2013展示会で発表し世界初の成果について広く情報発信を行った。</p> <p>平成24年度の第三回技術推進委員会では、委員会提言として「研究成果を高く評価しつつ実用化・事業化に向けた上電子デバイスによる特性の評価の加速化が重要」の指摘を受けてNEDOにて他のGaN基板メーカーとの連携の働きかけを実施。その結果GaN基板ベースの電子デバイスの優位性を明確化することができた。</p>							
評価に関する事項	事前評価	平成18年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料技術開発部						
	中間評価	平成21年度 中間評価実施						
	事後評価	平成25年度 事後評価実施						

III. 研究開発成果について	<p>研究開発項目①「高品質大口径単結晶基板の開発」では、本プロジェクトで開発した HVPE 法による大口径の種結晶を用いることにより、低転位化に特徴がある Na フラックス法で4インチサイズの高品質・有極性 GaN 基板の開発に成功し、光デバイスや縦型電子デバイスに有用な導電性 GaN 基板、主に横型電子デバイスで必要となる高抵抗 GaN 基板を実現させた。また、さらなる低転位化や無極性基板の大口径化につながる、新しい結晶成長技術を提案した。</p> <p>研究開発項目②「高品質大口径エピタキシャル成長技術の開発」では、無欠陥ヘテロ接合構造を実現するために世界に先駆けて開発した加圧デジタル MOVPE 装置を用いて、成長シミュレーションなども駆使することにより、高い In 組成および高い Al 組成をもつ InGaIn 層や AlGaIn 層などの三元混晶の、高品質大口径エピタキシャル成長技術を確立した。そして、デバイスグループとの協業により、実際にヘテロ構造デバイスを試作することで、高耐圧化に有利な AlN 基板上の高 Al 組成の AlGaIn チャンネルデバイスや、高移動度が期待される InGaIn 系デバイスなどの可能性を示した。さらに、横型デバイスにおいて重要な高抵抗緩衝層の新しい成長技術を提案した。</p> <p>研究開発項目③「窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの評価」では、①および②で開発した低転位密度の単結晶基板やエピタキシャル基板を用いてデバイス評価を行うことで、基板開発やエピ成長技術開発にフィードバックを行った。横型デバイスおよび縦型デバイスの試作によるリーク電流と結晶欠陥の相関の解析では、電子デバイス用途における低欠陥基板の必要性を示した。パワーデバイスとして競合する Si 基板上や SiC 基板上の GaN デバイスと、本プロジェクトで開発した自立 GaN 基板上の GaN デバイスとの比較評価では、自立 GaN 基板上の GaN パワーデバイスが、オン抵抗と耐圧の関係において既に実用化されている前者と特性面でそん色がないことを示すとともに、さらなる特性を引き出すための今後の指針を示した。また、試作した GaN トランジスタや GaN ショットキーダイオードを用いたインバータによるモーター駆動などの実機動作を行い、GaN パワーデバイスの実用性を示した。無極性単結晶基板を用いたデバイスについても、課題と可能性を示した。</p> <p>以上から、各Gとも最終研究開発目標は達成した。</p>	
	投稿論文	55件（内「査読付き」10件）
	特許	94件（内「登録済」10件）（内国際出願 53件）
	その他の外部発表 （プレス発表等）	200件（内 外部発表 180件、プレス他 20件）
IV. 実用化・事業化に向けた見通しについて	<p>プロジェクトリーダーとともに世界的に実績のある研究者をグループリーダーとして配し、基板、エピ、デバイスの各グループの有する研究開発ポテンシャルを最大限活用することにより効率的な研究開発を実施し、従来の半導体材料では実現できない領域で動作可能なハイパワー・超高効率の電力素子、超高速電子素子等の作製に必要な窒化物半導体結晶成長技術の確立した。本成果は参画企業（GaN 基板、エピ成長、電子デバイス）に技術移管され、2014年頃からハイパワー・超高効率の電力素子、超高速電子素子が実用化され、我が国のエネルギー消費量削減及び新事業立ち上げに大きく貢献する。汎用インバータのみをとってみても省エネ効果は2030年において原油換算189万kLに相当し、また GaN デバイス市場でも1兆円規模の売上効果が期待できる。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成19年3月 制定 平成23年3月改訂
	変更履歴	平成20年7月 イノベーションプログラム基本計画の制定により「(1)研究開発の目的」を改訂
		平成23年3月 「次世代高効率・高品質照明の基盤技術開発」の統合改訂
		平成24年3月 期間延長及び目標を追加

技術分野全体での位置づけ
(分科会資料6より抜粋)



「第三期科学技術基本計画(2006年3月)」、「エネルギー技術戦略の基本的考え方(2006年5月)」、「新・国家エネルギー戦略(2006年5月)」等における重要な省エネ技術としての位置付け。

「第三期科学技術基本計画」や「新・国家エネルギー戦略」等の政策目標を実現する「イノベーションプログラム」のうち、「ITイノベーション」、「ナノテク・部材イノベーション」、「エネルギーイノベーション」プログラムとして実施。

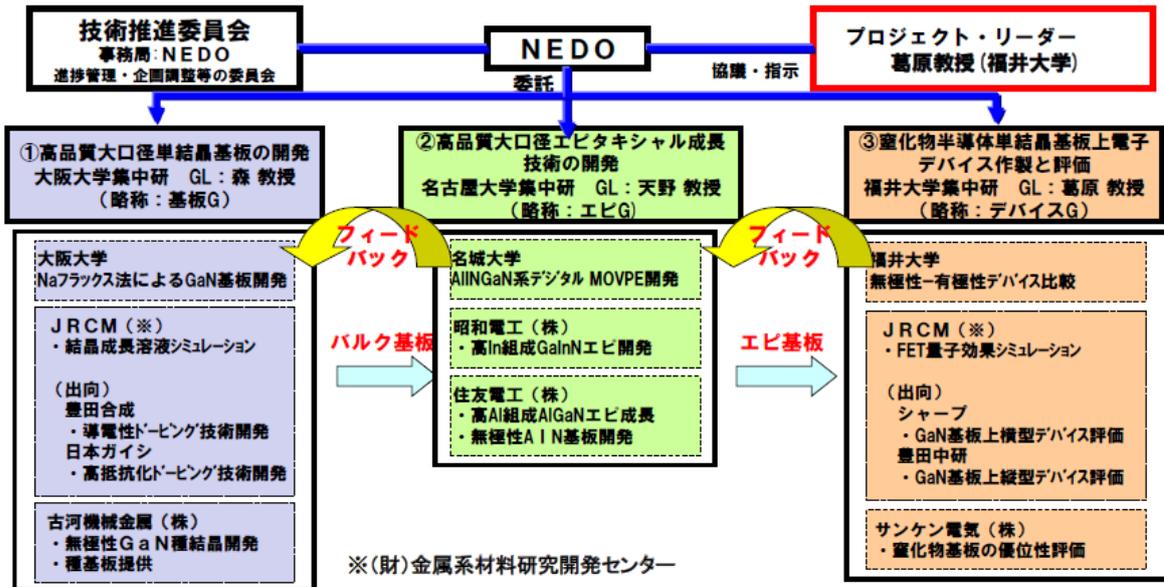
＜イノベーションプログラムの分野ごとの重点事項＞

低炭素	【ITイノベーションIPG】 21年度要求額:318億円(一般159億円、特会159億円) 急増するネットワーク通信量・情報処理量・消費電力量を背景に、抜本的な省エネを推進するプロジェクトや、従来の半導体技術に異分野の機械技術等を融合して、新たな付加価値を生み出すプロジェクトに重点化。 ドリームチップ開発プロジェクト 一般 13億円(12億円) グリーンITプロジェクト 特会 68億円(30億円)
経済社会改革	
低炭素	【ナノテク・部材IPG】 21年度要求額:220億円(一般128億円、特会92億円) 環境/資源/エネルギー面の制約を克服し、様々な分野における競争力の優位性を定着させるためのプロジェクトや、異分野・異業種融合による新しい産業の創出を目指すプロジェクトに重点化。 希少金属代替材料開発プロジェクト 一般 18億円(10億円) 異分野異業種ナノテクチャレンジ 一般 36億円(36億円)
経済社会改革	
安全・安心	【ロボット・新機械IPG】 21年度要求額:56億円(一般) 生活支援ロボット等の次世代ロボットの実用化に向けたプロジェクトに重点化。 生活支援ロボット実用化プロジェクト 一般 20億円(新規) 次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト 一般 15億円(15億円)
低炭素	【エネルギーIPG】 21年度要求額:1,668億円(特会) Cool Earth 50の実現に向けた革新的技術の推進につながるプロジェクトに重点化。 Cool Earth 50の実現に向けた革新的技術開発 特別会計 1,047億円(629億円) グリーンサステナブルケミカルプロセス基盤技術開発 特会 15億円(新規) 革新型蓄電池先端科学基礎研究事業 特会 30億円(新規)
低炭素	【環境安心IPG】 21年度要求額:230億円(一般66億円、特会163億円) エコイノベーション、特に資源制約の克服や環境調和型産業の創造につながるプロジェクトに重点化。 バイオマスエネルギー等超高効率転換技術開発 特会38億円(28億円) 省水型・環境調和型水循環プロジェクト 一般 18億円(新規) 特会 7億円(新規)

「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発／

ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発」

全体の研究開発実施体制



「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発／

ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発」(事後評価)

評価概要(案)

1. 総論

1) 総合評価

窒化物半導体関連の結晶成長・物性制御関連の基盤技術開拓とデバイス展開は、我が国が世界を先導してきたが、バルク結晶成長や一部のデバイス開発分野では国外機関の健闘もめざましい点があり、さらにグローバルな事業化としては新興国による低価格戦略による展開が顕著である。さらに、パワー半導体の省電力化は、CO₂削減という社会的な期待に応えるものであり、重要な課題である。

本プロジェクトは、バルク基板成長、高品質エピ成長、デバイス作製・評価を柱として、産学連携のもとに、低損失・大電力 GaN(窒化ガリウム)電子デバイスの開発を通じて省エネルギー技術革新に寄与することを目的としており、NEDO のプロジェクトとして緊急性・重要性が高い。また、GaN のバルク基板結晶育成、高品質エピタキシャル成長、デバイス特性評価という技術の垂直統合を行った連携は有効であり、世界最高レベルの大きな成果を生み出した点は高く評価できる。

但し、バルク基板結晶の供給量が十分ではなかったため、下流側であるエピタキシャル成長層の結晶品質およびデバイス特性に対するバルク基板の優位性が必ずしもクリアに示されたとはいえない。また、デバイス性能として、Si や SiC デバイスを凌駕する優位性を示す成果が得られておれば、なお価値の高い研究開発になった。事業化に向けては、GaN 素子の安定性・信頼性の確立など、新たに開発が必要な関連技術もまだ多い。

2) 今後に対する提言

大電力縦型デバイスが開発技術の重要な出口として大いに期待されている。本プロジェクトによって、性能達成に向けた基礎技術はほぼ出来ているが、今後、大電力縦型デバイスとしての性能の優位性をきちんと実証する必要がある。また、同様の出口を狙うものとしては SiC もあるが、パワー系の Si デバイスを GaN デバイスで置き換えるためには、Si ベースの従来技術も含め、コストパフォーマンスでこれらを凌駕する必要がある。

また、本プロジェクトで得られた成果を踏まえ、基板結晶や GaN 素子性能や評価手法に関する標準化を推し進め、我が国の優位性を担保することが必要と考える。

2. 各論

1) 事業の位置付け・必要性について

本プロジェクトは、省エネルギー・低炭素社会実現のために必要かつ有効な、次世代の低損失・大電力 GaN 電子デバイスの基盤となる技術を開発するものであり、社会的必要性は極めて高い。また、エネルギー産業分野での大きな経済効果も見込めるため、世界各国が猛烈な開発競争を行っており、我が国の国際競争力を高める上でも緊急性の高い重要な課題である。

実用化に至っていない材料の開発とそれを用いたデバイス開発を先駆的に行うことは民間企業にとってハードルが高く、根幹となる材料技術からデバイスまでを一体化して取り組んだ本プロジェクトは NEDO 事業として妥当である。

2) 研究開発マネジメントについて

本プロジェクトでは、低炭素社会を担う省エネデバイス実現および実用化・事業化のための適切な目標設定とそれを実現するための事業体制、研究フローなど、適切なマネジメントがなされている。特に、高品質大口径 GaN バルク基板開発、エピタキシャル成長技術開発、およびデバイス化の 3 グループに、第一人者の研究者を配置し、それを軸として有機的な産学連携体制をくみ上げてシームレスなプロジェクトを遂行したことは目標達成の上で有効に機能した。また、中間評価結果を踏まえて、体制・運営の改善により基板供給のスピードアップや基板ごとの履歴管理などが進み、プロジェクト進捗が改善された点は評価できる。

一方、基板結晶の供給不足は、中間評価時に明確になった課題であるが、もし結晶成長から電子デバイス生成までの最先端の総合技術を保有する外部の専門家の意見を聴取していれば当初から想定される可能性のあるリスクであったとも言える。最終的に効果のあった基板単位の工程管理対策等の対策がより早い段階で施策されていたれば、デバイス特性に対するエピタキシャル成長層の結晶品質およびバルク基板を用いることの優位性を示す、という当初の重要な目標をより速く、明確に示すことが出来たのではないかと考える。

3) 研究開発成果について

バルク基板成長、高品質エピタキシャル成長、デバイス作製・評価に関してチャレンジングな目標を掲げ、それぞれ非常に重要な成果を出しており、GaN 系先端デバイスの研究開発を加速する効果があると考えられる。

特に、HVPE（ハイドライド気相成長）法による 4 インチと大口径で低転位の有極性 GaN 基板の作製に成功したことは、まさに世界でトップの快挙である。さらにこれを種結晶に用い、実用化において重要な鍵となる低コスト化を実現し得る結晶成長方式として、Na フラックス法による大口径 GaN 結晶基板成長技術を開発した。エピ

タキシャル成長技術においては、極めて独自性の高い加圧下での原子層成長技術を開拓し、当初目標の平坦性、組成均一性、およびドーピング制御を実現した。Ga₂N バルク基板上への電子デバイス作製では、低転位化を実現したバルク基板上にデバイスを作製して評価することにより、はじめてリーク電流と転位の関係の精密な考察を可能とし、低欠陥密度の基板結晶の必要性を明らかにしている点など、それぞれの成果は評価できる。

但し、本プロジェクトは、結晶成長が主たるテーマであるため、デバイスグループは評価中心の検討主体にならざるを得なかった。Ga₂N デバイスによる優位性は示せたものの、Na フラックス法で生成した Ga₂N 基板ベースのデバイス性能として、Si や SiC デバイスを凌駕する優位性を示す成果が得られておれば、なお価値の高い研究開発になったと考える。

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

本プロジェクトでは、大口径高品質 Ga₂N バルク基板の開発が基盤技術となっており、特にこの点においての独自性が高い。また、バルク基板成長、高品質エピタキシャル成長、デバイス開発に参画した実施者が、それぞれ実用化・事業化に向けた具体的な計画を提案している。日本がこの分野でイニシアチブを取るためには、事業化が不可欠であるため、今回提案されている計画が一步一步具体化することを期待する。

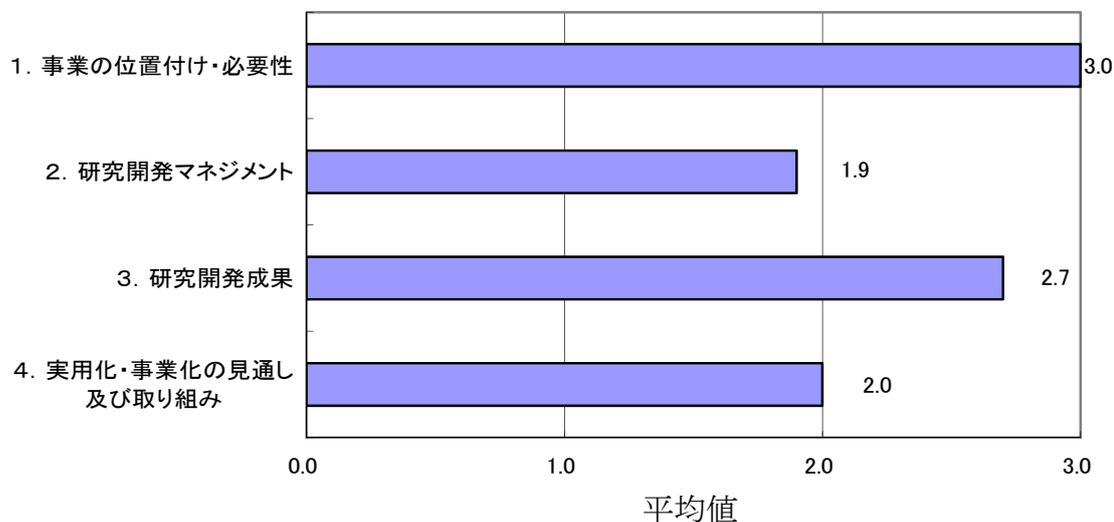
但し、得られた成果は、現時点で実用化に向けて必要な技術にまで高まっていると言えるが、事業化に向けては、新たに開発が必要な関連技術もまだ多い。真の実用化・事業化に向けては、素子の安定性・信頼性の確立が最も重要となり、結晶中の欠陥や構造設計などと密接に関連しているため、これらの内容についての検討も必要と考える。

個別テーマに関する評価

	研究開発成果、実用化・事業化に向けての見通し及び取り組み、今後に対する提言について
高品質大口径単結晶基板の開発	<p>本プロジェクトで開拓された、Na フラックス法による4インチまでの大口径高品質 GaN 基板作製は、極めて独自性の高い、世界初、世界最高水準の技術であり、高品質化（低転位化）と不純物ドーピング制御も実現しており、得られた成果は十分目標を達成している。他の競合技術と比較しても優位性が高く、将来的に市場の拡大につながることを期待できる画期的な成果といえる。</p> <p>また、成果の実用化・事業化に関しては、比較的具体的な計画を立案している実施者もあり、今後の展開に期待する。</p> <p>但し、達成された4インチでも十分大きいと言えるが、採算を十分考慮した事業化への将来見通しとしては、さらなる大口径化へつながる技術開発が必要である。Na フラックス法で高品質化の上で重要な要素となる溶液の攪拌等、大口径化に向けてどのように対応していくのかを考えて行くべきである。</p>
大口径基板上の高品質エピタキシャル結晶成長技術	<p>本プロジェクトで開発された、加圧下での原子層成長モードを利用したデジタル MOVPE (Metal Organic Vapor Phase Epitaxy)法は、AlGaN および InGaN 三元混晶半導体の膜厚、組成、および不純物濃度の均一性増大に極めて優れ、設定した目標を達成したエピタキシャル成長技術となっている。また、これまで懸案事項になっていた InGaN 混晶成長での In 組成の増大にも十分な効果が認められる有効なエピタキシャル技術となっている。</p> <p>さらに、アセチレンを用いた炭素ドーピング制御は独創的で、これにより高品質の高抵抗バッファ層を実現したことは、高耐圧デバイスの実現に大いに貢献でき、実用的に高い価値がある。大口径 ALE(Atomic Layer Epitaxy)装置と高品質エピタキシャル膜製造に関して、事業展開を計画している点も高く評価できる。</p> <p>但し、高 In 組成および高 Al 組成のエピタキシャル成長において、GaN バルク基板を用いることの優位性が必ずしも明瞭に示されていない。バルク GaN を基板とするエピタキシャル成長（特に縦型デ</p>

	<p>バイス用) では、エピタキシャル／基板界面の電氣的性質が問題になるが、今後、この影響や解決法についての検討が必要である。</p>
窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの評価	<p>4 インチサイズの低転位・高品質化 GaN 基板上に縦型と横型の電子デバイスを作製し、低転位・低欠陥密度基板結晶を用いることの有効性・必要性の検討を進めた。これにより転位とは異なる欠陥が縦型素子のリーク電流の原因となりうることを見出し、GaN 基板結晶の表面仕上げにフィードバックした。また、欠陥密度が下がると 1200V 以上の耐圧が出せることを実証し、GaN 基板適用の優位性が発揮できる縦型素子の実用化への期待を高めた。</p> <p>さらに、研究に参画した実施者が、横型 AlGaIn/GaN HEMT (高電子移動度トランジスタ) のサンプル出荷を開始したことは、事業化加速を示している。</p> <p>但し、基板の供給が律速となり、基板の特性がデバイス特性に十分に反映されず、新しいデバイス構造の提案と実証が十分に出来なかった。多くの試料での評価を進めるために、さらに信頼性への影響の検討などのデバイス評価に向けた次段階の組織的対応を継続研究として期待する。</p>

評点結果〔プロジェクト全体〕



評価項目	平均値	素点 (注)							
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	1.9	B	A	C	B	B	C	B	B
3. 研究開発成果について	2.7	A	A	B	A	A	B	A	A
4. 実用化・事業化の見通し及び取り組みについて	2.0	B	A	B	C	B	B	B	B

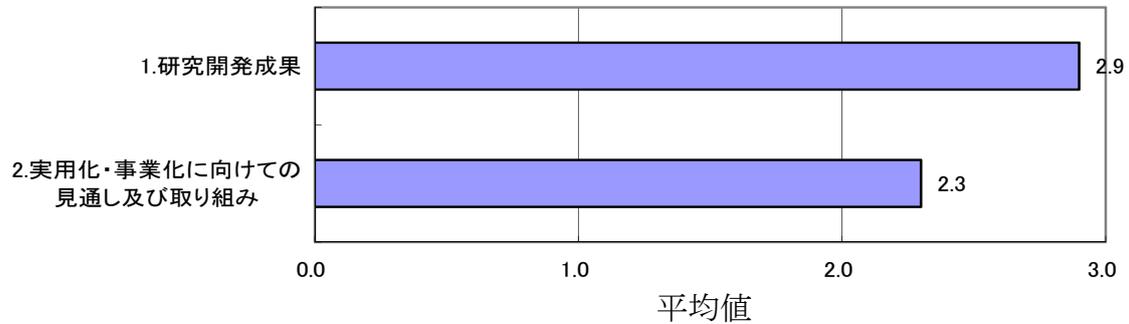
(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

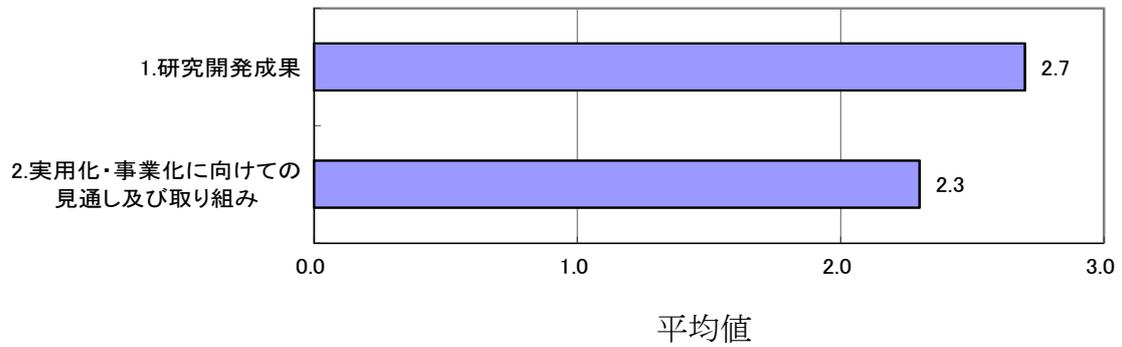
1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について		
・非常に重要	A	・非常によい	A
・重要	B	・よい	B
・概ね妥当	C	・概ね妥当	C
・妥当性がない、又は失われた	D	・妥当とはいえない	D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて		
・非常によい	A	・明確	A
・よい	B	・妥当	B
・概ね適切	C	・概ね妥当	C
・適切とはいえない	D	・見通しが不明	D

評点結果〔個別テーマ〕

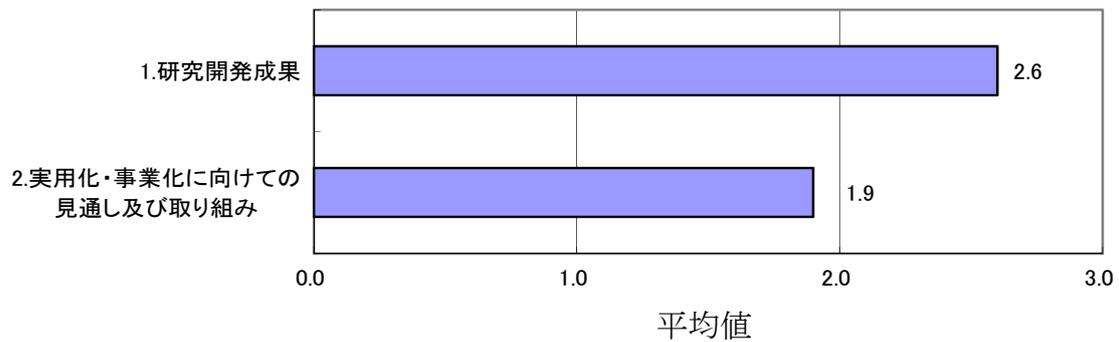
高品質大口径単結晶基板の開発



大口径基板上的高品質エピタキシャル結晶成長技術



窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの評価



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点 (注)							
高品質大口径単結晶基板の開発									
1. 研究開発成果について	2.9	A	A	A	B	A	A	A	
2. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	2.3	A	A	B	C	A	B	B	
大口径基板上的高品質エピタキシャル結晶成長技術									
1. 研究開発成果について	2.7	A	A	B	A	A	B	A	
2. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	2.3	A	B	B	C	A	A	B	
窒化物半導体単結晶基板上電子デバイスの評価									
1. 研究開発成果について	2.6	A	A	B	A	A	C	A	
2. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて	1.9	B	B	B	C	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. 研究開発成果について

- ・非常によい
- ・よい
- ・概ね適切
- ・適切とはいえない

2. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

- A ・明確 A
- B ・妥当 B
- C ・概ね妥当 C
- D ・見通しが不明 D

<参考>

「次世代照明等の実現に向けた窒化物半導体等基盤技術開発／
ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発」（事後評価）
に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) NEDO の事業としての妥当性

- ・ 「エネルギーイノベーションプログラム」、「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」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること、又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

(2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断できる具体的かつ明確な開発目標を設定しているか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマごとの配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

(3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 適切な研究開発実施体制になっており、指令命令系統及び責任体制が明確

になっているか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 知的財産取扱（実施者間の情報管理、秘密保持、出願・活用ルール含む）に関する考え方は整備され、適切に運用されているか。

(4) 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化・事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化・事業化シナリオに基づき、成果の活用・実用化の担い手、ユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダーが選任されている場合、成果の実用化・事業化シナリオに基づき、適切な研究開発のマネジメントが行われているか。
- ・ 成果の実用化・事業化につなげる知財戦略（オープン／クローズ戦略等）や標準化戦略が明確になっており、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向等に機敏かつ適切に対応しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度と成果の意義

- ・ 成果は目標を達成しているか。
- ・ 成果は将来的に市場の拡大あるいは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 目標未達成の場合、達成できなかった原因が明らかで、かつ目標達成までの課題を把握し、この課題解決の方針が明確になっているなど、成果として評価できるか。
- ・ 設定された目標以外に技術的成果があれば付加的に評価する。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、又は汎用性のある成果については、将来の産業につながる観点から特に顕著な成果が上がっている場合は、海外ベンチマークと比較の上で付加的に評価する。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 大学または公的研究機関で企業の開発を支援する取り組みを行った場合には、具体的に企業の取り組みに貢献しているか。

(2) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表は、将来の産業につながる観点から戦略的に行われているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

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

本項目における「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されること、または当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することを言う。

(1) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 成果は市場やユーザーのニーズに合致しているか。
- ・ 実用化に向けて、競合技術と比較し性能面、コスト面を含み優位性は確保される見通しはあるか。
- ・ 量産化技術が確立する見通しはあるか。
- ・ 事業化した場合に対象となる市場規模や成長性等により経済効果等が見込まれるものとなっているか。
- ・ プロジェクトの直接の成果ではないが、特に顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)がある場合には付加的に評価する。

(2) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

- ・ プロジェクト終了後において実用化・事業化に向けて取り組む者が明確になっているか。また、取り組み計画、事業化までのマイルストーン、事業化する製品・サービス等の具体的な見通し等は立っているか。