

プロジェクト事後評価報告書

評価委員会開催日：平成29年1月16日

評価委員：（敬称略、五十音順）

下山淳一 青山学院大学 理工学部 物理・数理学科 教授
 田中雅明 東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学専攻 教授
 田中陽一郎 山形大学大学院 理工学研究科 教授
 山部紀久夫 筑波大学大学院数理物質科学研究科 教授

確定年月日：平成29年4月7日

プロジェクト名	ワイドバンドギャップ光・電子材料の研究開発
研究責任者の所属・役職・氏名	機能性材料研究拠点・拠点長・大橋直樹
実施期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>本プロジェクトでは、電子機器・電子部品の高効率化を実現するための材料技術、および、光技術を活用した素子・装置のための材料開発を通じ、環境・エネルギー問題に対応するための技術に有用な材料の提供を目的とする。</p> <p>特に、パワーエレクトロニクス材料としてのワイドギャップ半導体の高品質・高機能化、計測・加工に威力を発揮するレーザー関連材料の開発、電子機器の高効率化のためのセラミックス電子部品の高機能化、LED照明の普及や効率化に向けた基盤的材料開発を狙う。そのため、これまでに蓄積された材料や材料合成に関する知見を駆使し、新物質の探索、バルク物性制御や構造制御、複合化、あるいは、表面・界面修飾を通じて、これらの材料開発を推進する。特に、元素戦略の視点を加味し、バルク特性がよく知られた材料であっても、その界面や表面を活用したり、ナノ構造を付与したりすることによって新たな機能を作り込む方向性を検討し、ありふれた材料から高い機能を引き出すことの可能性を追求する。</p> <p>また、特に、材料の基礎・基盤的研究を推進する機関の固体物性、無機固体化学、分光学を基礎とした物性計測、材料特性評価、理論的検討をすすめ、正確、かつ適切な知見を発信することにより、材料開発のブレークスルーをもたらす原動力となるよう努力する。</p>
研究内容	<p>本プロジェクトは、「極性スイッチング材料」、「超ワイドギャップ半導体」、「固体照明材料」、「レーザー光学結晶」、「ポーラードメインエンジニアリング」、「化学活性材料」の6つのサブテーマより構成する。これらは、各達成目標に対応し、本プロジェクトの縦糸を構成する。一方、目標の達成には、結晶成長、固体物性、界面・表面化学など、それを支える基礎科学の進展は不可欠である。「極性スイッチング材料」における極性結晶の研究や「化学活性表面材料」における界面・表面化学の研究によって「超ワイドギャップ半導体」の機能化に不可欠なゲート絶縁膜開発を支援するなど、サブテーマという縦糸に対して、基礎分野での連携を横糸として織り込むことによるシナジー効果をもって、各開発目標の達成を目指す。</p>
ミッションステートメント (具体的な達成目標)	<p>これまでに得た固体物性、固体化学、表面化学などの知見を駆使し、かつ、それら基礎科学分野の発展のための基礎・基盤的な検討を推進し、その大成として以下の各課題を克服・解決し、持続性ある社会の実現に向けた技術革新に資することを、本プロジェクトのミッションとする。</p> <ul style="list-style-type: none"> ○極性スイッチング材料：極性結晶の分極制御を中心とした界面機能素子 ○超ワイドギャップ半導体：ダイヤモンドトランジスタ等高出力半導体素子 ○固体照明材料：蛍光体等LED照明の高効率化に向けた新奇材料 ○レーザー光学結晶：高出力レーザー関連結晶等光学材料の開発 ○ポーラードメインエンジニアリング：強誘電体ドメインを活用した素子 ○化学活性材料：ナノ構造制御された活性表面を有するセンサー材料

<p>平成23年度～平成27年度までの主な研究成果(アウトプット)及び研究成果から生み出された(生み出される)効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)</p>	<p>1) 主な研究成果(アウトプット) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 酸化物/金属界面制御による高機能構造・素子を開発、電子分光や第一原理計算を駆使し、動作発現機構を解明 ○ ダイヤモンド集積回路実現への第一歩となる世界最高性能のダイヤモンド論理インバータ回路の試作に成功 ○ 高出力レーザー加工機用の耐性に優れたファラデー素子と光アイソレーターを開発するとともに、その適用波長領域を大幅に拡大 ○ 狭線幅の新規開発緑色蛍光体(γAlON)を用いて8Kテレビに適した広色域ディスプレイ用LEDバックライトを開発するとともに、電界放射ランプなどの次世代照明用蛍光体を開発。 ○ 酸化物半導体センサー特性の解明に最表面での構造、組成の関係を解明 ○ ZnO 薄膜の結晶極性制御技術を確立し、当該技術を用いて作製したZnOガスセンサの特性評価で結晶面依存性を解明 ○ 疑似位相整合光学素子を用いた探傷用パルス光源など、ドメイン構造を成業した材料・素子の開発に成功 <p>2) 研究成果から生み出された(生み出される)効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト) :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 開発したファラデー素子が私企業で製品化され、市場に供給された。 ○ 開発した探傷用光源は、そのシステム化に向けたプロジェクトへと進展、他の成果の一部も、社会実装に向けた企業連携に発展し、企業連携センターでのテーマとして発展継続している。 ○ 研究で得られた高品質窒化ホウ素をグラフェン用の高品質基盤として世界に供給し、多くの基礎的研究の発展に寄与
<p>プロジェクトの目標の達成度合い及び自己点検・評価</p>	<p>プロジェクトの目標の達成度合い :</p> <p>大きな成果を挙げており目標を十分上回った</p> <p>自己点検・評価 :</p> <p>社会実装を1つの目標として掲げた研究領域のプロジェクトとしてファラデー素子の製品化が達成され、また、コアコンピタンスである蛍光体開発や強誘電体単結晶素子においても次世代蛍光体の開発や探傷装置のシステム化への展開という顕著な進展が得られた。高品質窒化ホウ素によるグラフェン研究への多大な貢献により、プロジェクト発の論文は、既に、1万に達する被引用回数、h-indexで48を数えている。さらに、学術連携という視点では、フランス CNRS との共同運営ラボの開設に貢献するなど、国際的な visibility の獲得にも、大きく貢献した。これらにより、本プロジェクトは、目標を十分上回る成果を上げたと評価することが出来る。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>
<p>①研究計画、実施体制、マネジメント、連携 (事前・中間評価の結果を受けて、ロードマップに問題はなかったか、実施体制は十分だったか、マネジメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・材料をベースとした多彩な機能創出を目指した計画で、実際に基礎的な材料特性を生かしていく体制・姿勢ができており、NIMS のカラーが表れたプロジェクトである。 ・固体物性、無機科学、界面科学を駆使した広範な重要項目を目標テーマに設定し、個々のテーマの技術的強みをベースに、適切な連携形態を維持している。 ・マネジメントも適切である。 ・ワイドギャップ材料で多くの成果を挙げている。 ・論文数も多い方なので、動作原理説明なども進んでいると判断される。 ・実用化が強く進められており、登録特許も多く実施特許数も多い。 ・許諾使用料収入により共同研究での特許、出願はNIMS で占有使権は特に設けない。1つの戦略として成り立っている。

	<ul style="list-style-type: none"> ・特許マインドは良く育成されていることを示す。 ・比べてプレス発表は少な目である。 ・外部資金の継続的な増加を図っており、外部資金比率が増加傾向にある。 ・企業共同研究費が少ないのは対応し切れないためである。 ・ダイヤモンドトランジスタのゲート絶縁膜に Eg (バンドギャップ) あるいは ϕ_B (バリアハイト) の大きいものでないか。 ϵ (誘電率) なのか。現在は材料探索の段階。 ・ h BN (六方晶窒化ホウ素) 基板も世界でグラフェン基板として使われており高く評価できる。 ・但し、個々技術を束ねるだけでなく、プロジェクトとしての大戦略が明確になると更に良い。 ・目標設定が定量性に乏しいため、達成度の評価が難しい点がある。
<p>②プロジェクトの具体的な達成度 (目標は達成されたか、学術的価値、社会的価値、経済的価値の創造につながったか、技術レベルの向上につながったか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・各テーマについて研究目標は達成されている。 ・論文、特許共に多い。 ・学術的な成果は論文引用数から見ても高レベルであることがわかる。 ・それぞれに新材料や好ましい機能が実現されており、個々は新しい芽を見ることができている。 ・実装に至ることが重要な分野であるので成果を発展させるためのアクションが今後重要と思われるが、見通しがわからない。 ・光アイソレータの実用化まで達成したことはすばらしい。 ・ダイヤモンドデバイスとして、ヘテロ・ホモ接合界面の材料設計原理を構築した。 ・ダイヤモンドの界面制御に向けた絶縁膜種は今後も必要であろう。 ・ReRAM (抵抗変化型メモリ) 応用を目指した SrTiO₃ では、スイッチング動作を解明し、安定化条件を明確化した。 ・またアンテナ活用の可能性のある透明電極の試作を実施した。 ・バンドギャップの広さを活用した素子動作原理の構築に向けて期待したい。 ・蛍光体デバイスでは、レーザー励起白色光源や FE 型紫外線光源を開発した。 ・レーザー光学系技術としては、加工レーザーに適したファラデー回転素子結晶とアイソレータの開発に貢献した。 ・また検査技術として CFRP (炭素繊維コンポジット材料) の非破壊検査技術や化学センサー界面最適化のための技術に対する貢献がある。 ・当初の計画外であるが、光アイソレータ実用化開発やグラフェン研究用ヘキサゴナル BN の開発等、特筆できる成果も出ている。
<p>③研究開発の進捗状況 (研究により得られた成果は、世界レベルで比較して高いか、予算に見合った成果が得られたか、将来の新しい研究の芽が得られたか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・各サブテーマは十分な成果を挙げている。 ・個別技術の原理探求及び材料探索を主体として成果を出している。 ・世界的に注目される成果が多いことは論文数、被引用数にも表れている。 ・目の当たりの目標は達成されているが、根本原理的な研究成果としては説明が余りなくわからない。 ・但し、現象から取り出せる機能に育てる必要がある成果が多く開発面では、継続的な努力が必要である。
<p>④見込まれる直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)や波及効果(インパクト) (質の高い論文・特許が多く出たか、新技術や実用材料につながるか、思いがけない成果があったか、他分野への波及効果はあるか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・論文・特許の成果はきわめて多い。 ・充分である。 ・多数の論文発表、特許出願は今後のこのプロジェクトの発展の糧になっている。 ・連携研究・共同研究先への貢献含めた論文件数 725 件、特に蛍光体組成を主体とした特許登録総数 280 件は技術の資産化の観点で評価できる。 ・現状で特許収入が同支出を上回っている。 ・推せる成果はどんどん推してより積極的に社会に発信していくべきと考える。 ・今後は企業との共同研究も増やし、産業界にも貢献してほしい。 ・非常に多様な研究をされているが、グループ間の交流や相互刺激を高め、一

	<p>層の成果を挙げてほしい。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・但し成果は多くそれぞれ学術的、工学的に優れてはいるが、他分野に及ぼす効果やインパクトがやや弱い印象を受けた。
総合評価点平均 (10点満点)	8.3点 (小数第二位四捨五入)
その他 研究全体に対する総合的な 所見、①～④に入らない所 見、問題点、あるいはプロジ ェクトに対する印象など自 由にご記入ください	<ul style="list-style-type: none"> ・競合技術が多い分野であり、基礎的な成果のなかから他技術を差別化できるものを選択し、効率的かつ継続的に発展させていってほしい。 ・多くのサブテーマがあるが、サブテーマ間の連携や全体としての大きな方向性はあるか？

第3期中長期計画プロジェクトの事後評価基準

評価点	評価	評価基準
10	S	全ての点において模範的に優れていた。 多くの点において模範的に優れていた。
9		
8	A	総合的に優れていた。 顕著な成果が出た優れたプロジェクトであった。
7		
6		
5	B	平均的なプロジェクトであった。 一部の計画の見直しが必要であった。
4		
3		
2	C	期待されたほどではなかった。 計画を大幅に見直して実施すべきであった。
1		