

プロジェクトプレ終了評価報告書

評価委員会開催日：平成22年3月26日

評価委員：（敬称略、五十音順）

天野 浩 名城大学 理工学部 教授
 水島公一 東芝リサーチ・コンサルティング（株） シニアフェロー
 武藤俊一 北海道大学大学院 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22年6月21日

プロジェクト名	次世代白色LEDのための発光材料の開発
研究責任者の所属・役職・氏名	ナノセラミックスセンター 窒化物粒子グループ グループリーダー 広崎尚登
実施予定期間	平成19年度～平成22年度
研究目的と意義	白色LEDは、水銀レス、長寿命、低消費電力という特徴を有し、白熱灯や蛍光体に替わる次世代の照明としてその応用が期待されている。その白色LEDに用いられる蛍光体には、耐久性（4万時間以上）と演色性（色彩の再現性）を共に満足することが求められる。しかし、現行の蛍光体では、その両方を同時に満足することはできていない。NIMSが提案するサイアロン（Si-Al-O-N）蛍光体は耐久性と演色性に優れることが分かっているが、発光効率の向上と基本色以外の中間波長の発色が今後の課題である。そこで、本研究では「サイアロン系蛍光体材料」に関して、光変換効率の向上と発色チューニング技術の研究を行い、白色LED用途に適した高性能蛍光体を開発することを目的とする。
研究内容	サイアロン蛍光体の高性能化と実用化に必要な、①演色性の向上、②発光効率の向上、③白色LEDへの蛍光体の実装、という3点について検討する。「①演色性の向上」については、発光イオンの配位環境制御による発光色チューニングを目指し、組成、結晶構造、局所構造と物性との相関の解明を進める。「②発光効率の向上」については、粒子内の欠陥制御技術の確立を目指し、蛍光体合成のための高度合成プロセスの開発を行う。「③白色LEDへの蛍光体の実装」については、サイアロン蛍光体の特徴を活かした実装技術を開発するため、企業と連携してサイアロン蛍光体を用いた固体照明の実用化に向けた実証的な検証を進める。
ミッションステートメント（具体的な達成目標）	①変換効率：変換効率70%以上の性能を有する蛍光体を開発し、高効率白色LEDに応用可能な蛍光体を得る。 ②発光色制御：青緑色(500nm)から赤色(650nm)までの範囲の任意の色を発する波長チューニング技術を開発する。 ③高性能白色LEDの試作：サイアロン蛍光体に適した実装技術を開発し、平均演色性評価数(Ra)が95以上の白色LEDを作製する。これにより、サイアロン蛍光体の優位性を実証する。
平成19年度～平成22年プレ終了評価時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）	1) 主な研究成果（アウトプット）： (1)新規蛍光体の発見：AlN:Euなどの10種の新規蛍光体を発見し、論文発表・特許出願を行った。 (2)結晶構造と発光機構の解明： β -Sialon:EuにおけるEuの固溶箇所はこれまで不明であった。HAADF STEMを用いて結晶中のEu原子を直接観察した結果、Euは β -Si ₃ N ₄ 格子の六角形のチャンネルの中心に存在することが観察された。 (3)高演色LEDランプの試作：開発した4種類の蛍光体の混合により、白色LEDの色温度を2900Kから6400Kの範囲で変化させることに成功した。電球色LEDは平均演色性評価数Ra=98であり、演色性向上を実証した。 (4)液晶バックライト用3波長LEDランプの設計：開発した赤色および緑色蛍光体を用いて液晶バックライト用途に適した白色LEDのスペクトル設計を行った。従来のLEDでは、ディスプレイの色域がNTSC比72%と狭かったのに対し、開発品ではカラーフィルターでの色分離性能が良く、NTSC比91%まで色域が拡大するこ

	<p>とを確認した。この成果は、液晶テレビに実用化されている。</p> <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）： 本プロジェクトの波及効果として、赤色蛍光体（CaAlSiN₃·Eu）と緑色蛍光体（β-Sialon）の工業化がある。これらの蛍光体は本プロジェクトに先駆けてNIMSで発見されたものであるが、本プロジェクトの知見を活用して発光効率の向上により商品化された。さらに、液晶バックライト用途へのスペクトル設計の結果を受けて、携帯電話や液晶テレビ用のLEDバックライトとして、サイアロン蛍光体を使用したLEDが商品化された。</p>
<p>プレ終了評価時の進捗状況とそれから予測したプロジェクト終了時の目標の達成度合い及び自己点検</p>	<p>プレ終了評価の時点で、蛍光体の効率、発光色制御、照明用LEDデバイスの試作に関する設定目標はほぼ達成している。これに加えて、計画外の液晶バックライト用LEDにも取り組み、既に製品の実用化まで到達した。高圧ガスプロセスは計画より遅れているが、プロジェクト終了時には目標達成見込みである。</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメント</p>
<p>①研究計画、実施体制、マネージメント、連携 （計画はきめ細かったか、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、マネージメントの是非、連携の範囲や連携課題、連携の成果はどうだったか、どこが問題なのか、など）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・研究計画は合理的であり、ロードマップに従い段階的に研究を遂行しており、特段の問題は見受けられない。 ・比較的長期的視野の下で進められるサブテーマ1と短期的成果が期待されるサブテーマ2、3を組み合わせることで、全体としてバランスの良い研究計画と実施体制が組まれている。 ・3つの数値目標は、ほぼ達成されている。実用化までの時間や産業育成の観点からも、これらの目標達成は、満足されるものである。もともと、実施体制、マネージメント、連携も、上記の視点を第一としたものであり、その成果は十分である。 ・目標達成には十分な実施体制であった。強いて言えば、発光に関する理論解析、および実際のLEDで効率、Ra（平均演色評価数）、CCT（相関色温度）を総合的に評価するシステムになっていれば、もっと大きなインパクトを社会に与えられる。 ・連携の範囲や連携課題は役割分担がはっきりしており、分かりやすい。連携により大きな成果が出ている。 ・サブテーマ1では外部の大学と、サブテーマ3では企業との連携も適切に配慮されている。サブテーマ間の連携も心がけられている。この連携による具体的なシナジー効果に関しては必ずしも明らかでないが、研究者の意識統一には役立っていたのではないかと。 ・グループ内で若干不足している応用面で企業と共同研究を行っており、優れたマネージメントといえる。 ・サブテーマ1と3との連携の有無が良く見えなかった。 ・本プロジェクトを、更なる機能性物質や高性能物質の開発の基礎とするためには、性能が得られた物質の物理的解析を進めることが必須である。 ・シミュレーションによる物質制御の予想は、開発のポイントを明らかにすることで有効に作用した。 ・実験における外部制御環境（雰囲気ガス種、温度、圧力等）が、シミュレーションで言うところの発光イオンの隣接原子の配位環境をどの程度制御できたのかについては、解析結果が示されていない。これでは、更なる物質開発を進めていくためには想像していくしかなく、解析結果が新規の物質探索の背景となっていることを望む。局所構造解明が平成22年度の見通しとしてあげられているが、解明の手掛かりが示されれば、より期待度は高まる。 ・白色で発光する半導体が開発された場合の住み分けに若干懸念がある。

<p><u>②研究開発の進捗状況及び具体的目標の達成度</u> (研究責任者の自己評価を踏まえて、進み具合はどうだったか、目標は達成されそうか、目標は具体的であったか、世界レベルで見て目標は高かったか・低かったか、問題点は何か、など)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・研究計画以上に進展している。 ・目標設定が具体的な性能の数値目標であり、しっかりとした目標設定となっている。それを達成できたことは、マネジメント、実施体制ともに、適切であったことを物語っている。 ・物質開発においては、多くの要因が作用し、出現効果を変化させるものであるが、本成果は、当初目標通り、概ね物質制御はできていると推定される。 ・本プロジェクトで扱う材料はユニークであり、目標水準は高い。 ・それぞれのサブテーマについて適切な目標が設定され、その目標はほぼ達成されている。サブテーマ1では10種の新物質が発見されているが、探索の指導原理、方法についても明瞭な説明がなされた。同一サブテーマで進められた局所構造解析や発光機構解明の研究が新物質探索に生かされたのか、についての詳細は不明であるが、今後の探索に生かされることを期待する。サブテーマ2ではプロセス開発により光変換効率70%の蛍光体開発に成功しているが、現行品や競合蛍光体との性能比較(耐久性以外)がなされていると、この蛍光体の価値が分かりやすい。サブテーマ3についても競合LEDランプとの比較が示されているとその価値が分かりやすい。 ・問題点を強いて挙げれば、効率に関する評価が不足している。特に粒径制御など、様々な要因が関係するので、材料開拓とともに効率向上に関する取り組みも今後は必要である。また、Raのみで考えれば、赤色蛍光体ではストークスシフトとともに、赤外発光が効率低下の要因となるため、半値幅の制御、波長制御は今後の最重要課題と思われる。 ・本質的な物質制御がどのようになされているかについて、シミュレーションの知見との関連性などとの議論が報告されておらず、さらなる発展を遂げるために、これに関する研究を大いに加速する必要がある。 ・低コスト化・均一化も、LED普及にとって大きな課題であるため、今後ぜひ検討してほしい。
<p><u>③論文・特許等の直接の成果(アウトプット)、効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)</u> (世界レベルの質の成果が出たか、どのような効果・効用あるいは波及効果が出たか/期待されるか、研究タイプを考慮した費用対効果は、問題点は何か、など)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・世界に誇る独自の成果が出ている。 ・競争が激しい分野において多くの論文が評価の高い一流論文誌に発表され、世界レベルの研究が進められている。招待講演にも成果は出ている。 ・一般の関心もあるので、NatureやScienceなどへの投稿、宣伝も積極的にするのが良い。 ・ほとんどの論文がサブテーマ1のグループからのもので、確かに最大グループであるが、他のサブテーマについて、特に、サブテーマ2については、欠陥制御という本研究の2本柱の一つであり、本質的な研究アプローチの道筋をつくるものであり、高い波及効果が期待される研究分野である。このことを考慮すると、奮起を促したい。 ・多くの特許出願がなされており、権利化が期待される。この研究を通じてサイアロン蛍光体の理解が進むと同時に、技術移転や本格的実用化が期待される。 ・今後の市場の大幅な拡大が期待されるLED照明の主要部品である。 ・作製方法の確立が最も重要であり、研究費以上の成果が得られている。 ・問題点は強いて挙げれば、波長チューニングに関して理論的な解明が必要なことである。 ・標準化・規格化についても言及して欲しい。

<p>④総合評価 (研究全体に対する総合的所見、及び上記評価項目①～③に含まれない、その他の評価ポイントがあれば追加してコメント)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・当初の計画に対しては十分な成果が出ている。評価項目①～③においても、何ら問題点は見出されない。 ・素晴らしい成果が得られていると考える。サイアロンという独自の蛍光材料を長いスパンで開発していることを高く評価する。 ・極めてアクティブに研究が進められているが、この分野におけるNIMSに蓄えられたポテンシャルの大きさも同時に感じられる。今後は発光機構や局所構造に関する知見をもとに、新材料探索が進められることを期待する。 ・具体的な数値目標を達成したことは、マネジメントの成果と言える。あえて言う、研究成果の出方がサブテーマ1に偏っており、サブテーマ2への注力も予測以上の大きい成果に結びつく可能性があり、リソース配置およびマネジメントを見直すことが望まれる。 ・評価項目①でも述べたが、RaとLEDのトータル効率、CCTについて、総合的な評価が可能な体制ができればもっとインパクトが上がるであろう。 ・実際のLEDへの応用に関しては企業頼みになっている印象があり、特に一般照明応用に関して、問題点がフィードバックされているかどうか不明である。 ・液晶用のバックライトに関して、どの程度各色強度の制御性があるか、実用化にはまだ課題を残している。また、発光強度および波長の方位分布についても検討が必要であり、企業との強い共同開発体制が望まれる。 ・この分野は極めて進展が早いので、光変換効率70%が妥当かどうか、現段階で再検討が必要である。この70%という値は、赤色も含めてのパワー効率なのかはっきりしない。 ・HIP（熱間等方圧加圧法）については検討の価値を認めるが、ある時点でコスト面からの将来性に結論を出す必要がある。 	
<p>総合評価点 (10点満点)</p>	<p>9.3 (小数第二位以下四捨五入)</p>	
<p>各委員の評価点 (10点満点)</p>	<p>10, 9, 9, 9 (順不同)</p>	
<p>評価点</p>	<p>評価</p>	<p>評価基準</p>
<p>10</p>	<p>S</p>	<p>全ての点において模範的に優れている。</p>
<p>9</p>	<p>S</p>	<p>計画を変更することなく継続すべきである。</p>
<p>8</p>	<p>A</p>	<p>総合的に優れている。</p>
<p>7</p>	<p>A</p>	<p>一部計画を見直し継続すればS評価になる可能性がある</p>
<p>6</p>	<p>A</p>	<p>平均的なプロジェクトである。</p>
<p>5</p>	<p>A</p>	<p>継続は認めるが、継続する時に、一部計画を見直した方が良い点がある。</p>
<p>4</p>	<p>B</p>	<p>期待されたほどではない。</p>
<p>3</p>	<p>B</p>	<p>計画を見直して継続すべきである。</p>
<p>2</p>	<p>C</p>	<p>大きな問題があり、継続を中止すべきである。</p>
<p>1</p>	<p>C</p>	<p>プロジェクトの見直し、計画の抜本的な変更が必要である。</p>