

## プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成25年12月5日

評価委員：（敬称略、五十音順）

石原 一 大阪府立大学大学院工学研究科 教授

齋藤良行 早稲田大学大学院基幹理工学研究科 教授

平山 司 （一財）ファインセラミックスセンター ナノ構造研究所 副所長・主幹研究員

確定年月日：平成26年2月21日

プロジェクト名	革新的光材料技術の開発と応用
研究責任者の氏名・所属・役職	迫田和彰 先端フォトンクス材料ユニット長
実施予定期間	平成23年度～平成27年度
研究目的と意義	<p>本研究プロジェクトが関わる情報・通信分野について、20世紀にはその主役がエレクトロニクスであったのに対して、21世紀の今日ではフォトンクスの重要性がますます大きくなっている。一つには電子素子の集積化が極限まで進み、発熱の除去と一層の高集積化が困難になったことがある。その一方で、情報・通信基盤の高速・大容量化に対する要求は以前にも増して大きくなっており、高速化と低消費エネルギー化が同時に達成可能なフォトンクスに対する期待が大きい。また、光通信における安全性（秘匿性）の確保も潜在的には重要な課題であり、量子暗号通信による究極的な解決が期待されている。さらに、量子コヒーレンストモグラフィ等の光の量子性を利用した計測技術にも注目が集まっており、そのための高輝度もつれ合い光子源の開発が必要となっている。これらの課題の解決は民生の利便性の改善に寄与するとともに、我が国の国際競争力を向上させて、将来の産業育成に貢献すると期待できる。</p> <p>本研究プロジェクトはこれらの分野の中心課題である、革新的な発光・受光・導波デバイスの実現に資するフォトンクス材料の開発を目的とする。特に、フォトニック結晶やメタマテリアル、擬似位相整合などの現代的な輻射場制御技術と、量子ドットや等電子トラップ、非線形光学結晶などの電子波制御を可能とする材料科学の融合により、革新的なフォトンクス材料の創製を目指す。本プロジェクトでは、NIMS がこれまでに開発・蓄積した高度なナノ成長、ナノ集積、ナノドメイン形成、リソグラフィ、ナノ光計測、および、ナノ材料設計・解析の各技術を一層高度化・融合して上記の技術開発を進める。</p>
研究内容	<p>6つのサブテーマを実施する。①大面積ソフトコロイド結晶の創製技術の開発と、波長可変レーザー・構造歪み可視化技術への応用展開。②フォトニック結晶共振器・プラズモン共振器・メタマテリアルの創製技術の高度化と、高感度センシング・高効率発光・ビーム走査の実証。③格子整合系量子ドット・窒素ペア等電子トラップの創製技術の高度化と、高効率・高忠実な非古典光源の開発。④反転分極作製用電極の微細構造化による、擬似位相整合波長変換を用いた広帯域コヒーレント光源の実現。⑤量子ドットを用いた高輝度・高忠実な量子相関コヒーレント光源の開発と光子相関測定による基礎物性の解明。⑥ポラリトンファイバー・光ディラックコーン・トポロジカル光波状態を利用した、新機構に基づく低曲げ損失導波構造の創製と特性解明。</p>
ミッションステートメント （具体的な達成目標）	<p>①ソフトコロイド結晶について、大面積（<math>m^2</math>オーダー）での製造に拡張し得る材料プロセスの開発。②赤外ビーム走査素子・新概念のスイッチング素子の</p>

	<p>実現と、ナノインプリントによるメタ表面試料の供給体制の整備。③量子ドットの形状制御技術の高度化ともつれ合い光子対発生、等電子トラップによる単一光子発生の高温度化と発光エネルギー制御。④定比組成タンタル酸リチウム結晶について、サブミクロンサイズの非周期極性反転構造による広帯域波長変換の実現。⑤波長可変精度が <math>10\mu\text{eV}</math>、時間幅 <math>50\text{ps}</math> の単一光子源の開発と、高忠実度光子対発生の実現。⑥ポラリトンナノファイバーについて、低曲げ損失の機構解明、マッハ・ツェンダー干渉計等のマイクロデバイスと励起子ポラリトンのボーズ凝縮の実現。光波領域における光ディラックコーンの実現。</p>
<p>平成23年度～平成25年度中間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）</p>	<p>1) 主な研究成果（アウトプット）：      ① <math>100\text{cm}^2</math> 級ソフトコロイド結晶の作製を達成。コロイド結晶のイオン液体による安定化法を発見できたことで、再現性の良い波長可変レーザー発振を実現。当初計画には無かったマイクロパターンレーザー発振にも成功。② 期間後半に予定していた赤外線ビーム走査素子を平成25年度までに実現。効率的で大面積試料の作製が可能なナノインプリント法を導入し、当初計画には無かった異常透過を利用したカラーフィルターを実証。熱放射赤外光源やプラズモン増感赤外検出器の研究が順調に進み、実用性のあるデバイス作製の目途が得られた。③ AlGaAs 高指数基板面上の GaAs 量子ドットの自己成長により、精緻なドット形状の制御技術を開発。ドット形状の対称性が向上し、最終目標であった励起子微細構造分裂の抑制 (<math>10\mu\text{eV}</math> 以下) を平成25年度までに達成。窒素原子の <math>\delta</math> ドープ技術が進展して、従来の GaP に加えて GaAs や AlAs でも窒素等電子トラップを実現し、励起子準位からの単一光子発生を実証。④ 平成24年度末時点の目標である、ナノ微細電極 (<math>400\text{nm}</math> 幅) による周期反転分極構造を実現。⑤ 量子ドットのデコヒーレンスの機構解明と波長可変な単一光子源の開発を達成。最終目標である量子もつれ合い光子対発生 (世界最高の忠実度 <math>86\%</math>) を平成25年度までに達成。⑥ 当初計画には無かった、ポラリトンファイバーによる低曲げ損失光伝搬 (実験) や、蜂の巣格子フォトニック結晶による一方通行表面モード (理論)、光ディラックコーンの生成原理の解明 (理論) を達成。平成25年度には低曲げ損失の機構を解明するとともに、ポラリトンファイバーによる微小マッハ・ツェンダー干渉計の作製にも成功。</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）：      ① ソフトコロイド結晶による歪み分布の可視化技術について、社会インフラの老朽化対策への応用を目指した (独) 土木研究所との共同研究が進展。② インプリントリソグラフィによるナノ加工の多方面への応用が進展。反転分極形成用の極微電極や極薄偏光子の作製にも適用して性能を評価中。③ 液滴エピタキシーによる格子整合系量子ドットは超多層積層も可能であり、高効率光電変換が期待される量子ドット太陽電池にも適用できることから、NIMS 内の関連部署と共同研究を実施中。④ フルカラーレーザーディスプレイやスペクル防止などへの応用を期待。⑤ 量子効果に基づく高度なイメージングや量子暗号通信への応用。⑥ ポラリトンファイバーの低曲げ損失光伝搬は、半導体チップ間の光インターコネクットの基盤技術に発展する可能性。</p>
<p>中間評価時の進捗状況及び自己点検・評価</p>	<p>中間評価時の進捗状況：      複数の最終目標を早期に達成するとともに、当初計画には無かった成果が数多く得られたことから、予定を大幅に上回って研究が進捗した。また、学際的</p>

	<p>な研究協力が効果的に実施でき、効率的に研究を進めることができた。さらに、種々のチャンネルで産学独連携を行って、研究の加速と成果の応用に努めた。</p> <p>自己点検・評価：</p> <p>①現時点での当初目標を達成するとともに、コロイド結晶レーザーの安定化やマイクロパターンレーザーを実現する等、研究が大幅に進展。②赤外線ビーム走査素子をすでに実現し、インプリントリソグラフィによるナノ加工が多方面に波及するなど、研究が大幅に進展。③等電子トラップの研究が順調に進み、GaAs 量子ドットで最終目標である励起子微細構造分裂の抑制に成功するなど、研究が大幅に進展。④当初計画に沿って順調に進み、周期反転分極に関する現時点の当初目標を達成。⑤波長可変な単一光子源の開発等に加えて、最終目標である量子もつれ合い光子対発生（世界最高の忠実度 86%）を達成し、研究が大幅に進展。⑥ポラリトンファイバーによる低曲げ損失光伝搬の発見や機構解明、光ディラックコーンの生成原理の解明を達成するなど、研究が大幅に進展。</p>
【評価項目】	コメント
<p>①<u>研究計画、実施体制、マネジメント、連携</u>  （研究開発の方向性・目的・目標の見直し、計画・ロードマップの問題点、実施体制・マネジメントの改善、連携のあり方、ほか）</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本研究プロジェクトの研究対象はフォトニクス技術の開発と応用であり、21世紀になりその有用性が高くなっている分野である。高速化と低エネルギー化への要求が高い。光の量子性を利用した高度な計測技術にも注目が集まっており、本プロジェクトに対する期待も高い。</li> <li>・大変意欲的なテーマが設定されており、それぞれのグループの目指すものは魅力的で、成果に期待が持てる。</li> <li>・6つのサブテーマに関する研究が行われているが、サブテーマの設定も妥当であり、目的とするフォトニック結晶やメタマテリアル、電子デバイスの開発、革新的なフォトニクス材料の創製は実現の可能性が高い。</li> <li>・研究計画、目標設定も妥当であり、将来のアプリケーションへの期待も高い。ロードマップの策定も適切に行われている。</li> <li>・次世代社会に必要なフォトニクス技術を先取りして、テーマが設定されていると感じる。</li> <li>・適当なマネジメントにより、計画以上の成果が出ていると考えられる。</li> <li>・評価資料の中に若手のマンパワーが不足しているとの記述があったが、どの研究所でも抱えている一般的課題である。</li> <li>・運営費交付金に期待することは難しい時代であると思うので、大変だが新しいプロジェクト（外部資金）の導入などで、道を切り開くしかないのではないだろうかと思う。</li> <li>・革新的光技術材料の研究は、光技術の将来ビジョンやニーズと密接に関連したものであるため、期間後半では、どのようなビジョンに立ってテーマが設定されているかが明確にされることが望ましい。この観点からグループが持つ強みの最適配置やマネジメントの工夫があるとさらに期待が持てる。</li> <li>・大学では出来ない、チームとしての総合力を発揮すべきターゲットがさらに見えやすいことも望まれる。</li> <li>・サブテーマ4はNIMSが強みを発揮してきたテーマであるが、将来の発展が少し見えにくいのが気にかかる。付加価値を付ける方向性と開発の加速に一層の努力を要すると思われる。</li> </ul>

<p><b>②研究開発の進捗状況及び進め方</b>  (進捗状況の把握、研究責任者の自己点検・評価の妥当性、進め方の見直し(継続・変更・中止等)、研究資源(資金・人材)の再配分、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ チームが持つ個別技術や強みをうまく組み合わせて、グループの再配置などに気を配っており、進捗に応じた工夫が見られる。</li> <li>・ 新しい成果を軸にしたグループ設定などにも意欲が感じられる。</li> <li>・ 基礎的な研究成果だけでなく、実用に近い成果(土木研究所との共同研究の成果)まで出ていることは素晴らしい。この調子で後半2年半、さらに研究を推進するのが適当と思う。</li> <li>・ 研究責任者による各サブテーマの研究の進捗状況の把握は妥当であり、進捗状況の自己点検や評価も適切になされていると判断できる。</li> <li>・ 研究資源の配分も適切であり、見直すことなく研究を推進することを望む。</li> <li>・ 各グループともにデバイス指向の開発であるが、どこへ到達すれば目標達成となるのかが分かりやすくなるよう、光技術の将来ビジョンの中での位置づけなどをもっと明確にできれば一層期待が持てる。</li> <li>・ 進め方の中で、グループ間で、単に協力するというスタンスを超えて、さらにリーダーのマネジメントによる総合力が発揮できる工夫があれば良いのではないか。</li> </ul>
<p><b>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)</b>  (研究成果の質は世界レベルか、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どうか、セレンディピティー、ほか)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 論文等の成果も順調である。</li> <li>・ 論文はインパクトファクターの高い論文誌に掲載されている。</li> <li>・ 論文については、よりインパクトのある発表が可能と思われるので、意識的に取り組むと良い。</li> <li>・ 研究成果の質は非常に高いものであると判断できる。</li> <li>・ 学術的にも技術的にも意義深いアウトプットが順調に出ており、良好な成果と言える。特にコロイド結晶の各種応用、もつれ合い光子源の開発等で、ユニーク、かつ競争力のある成果が目立つ。</li> <li>・ 液滴エピタキシー法によるGaAs量子ドットの初めてのレーザー発光や量子もつれあい光子源など、極めて興味深い先進的成果が出ている。</li> <li>・ 多数の知的所有権を取得しており、研究の効果が高い。また本プロジェクトは大きな間接的な成果も得られていると考えることができる。</li> <li>・ 一見、研究予算や研究の人的負担が大きい様な印象を与えられるが、得られた成果を見れば、十分費用対効果は大きいものと判断できる。</li> <li>・ サブテーマ4の将来性が少し見えにくい。目標と競合相手の分かりやすいテーマだけに、進め方に工夫が必要かも知れない。</li> <li>・ サブテーマ6においては、新しい独自技術の萌芽が得られており、今後の進展が期待される。</li> </ul>
<p><b>④総合評価</b>  (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、問題点等があれば追加してコメント)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 総合評価として、世界水準の光材料開発技術を実現しており、当分野におけるNIMSの技術的な優位性を実現していると言える。この点でも高く評価できる。</li> <li>・ コロイド結晶の各種応用、もつれ合い光子源の開発等、独自性の高い技術が開発されており、重要な成果が得られている。</li> <li>・ 高い活力を維持しながら、大変すぐれた結果を出していると思う。</li> <li>・ グループ間の連携についてはグループの再配置や協力関係の構築などでよく気を配っており、期間後半の進展に期待できる。</li> <li>・ 革新的光技術材料の研究は、光技術の将来ビジョンやニーズと密接に関連したものであるため、どのようなビジョンに立ってテーマが設定されているかが明確にされることが望ましい。</li> <li>・ サブテーマ4の将来性が少し見えにくい。目標と競合相手の分かりやすいテーマだけに、進め方に工夫が必要かも知れない(評価項目③にも書いたが)。</li> <li>・ マンパワーの問題は難しいが、解を見つけてぜひ補強してほしい。</li> <li>・ 今後ともNIMS内外、国内外の研究機関と協調して当分野の発展に寄与す</li> </ul>

		ることを望みたい。
各委員の総合評価点 (10点満点)		9、8、8 (順不同)
総合評価点平均 (10点満点)		8.3 (小数第二位四捨五入)
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る。 計画を変更することなく継続すべきである。
9		
8	A	総合的に優れている。 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 平均的なプロジェクトである。 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。
7		
6		
5	B	期待されたほどではない。 計画を見直して継続すべきである。
4		
3		
2	C	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。 大きな問題があり、継続を中止すべきである。
1		