

## プロジェクト中間評価報告書

評価委員会開催日：平成20年12月4日

評価委員：（敬称略、五十音順）

熊谷 寛 大阪市立大学大学院工学研究科 教授

末宗幾夫 北海道大学電子科学研究所附属ナノテクノロジー研究センター 教授

松宮 徹 新日本製鐵株式会社技術開発本部 フェロー

確定年月日：平成21年1月6日

プロジェクト名	高度ナノ構造制御・創製技術の開発
研究責任者の所属・役職・氏名	量子ドットセンター センター長 迫田和彰
実施期間	平成18年度～平成22年度
研究全体の目的、目標、概要	<p>研究目的及び具体的な研究目標：</p> <p>物材機構がこれまでに培ってきた各種のナノ構造制御・創製技術のさらなる高度化を図ることにより、これらをナノテクノロジー共通基盤技術として確立する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サブテーマ1「フォトリック結晶に関する研究」では、(1-1)シュタルク効果による励起子発光のチューニング技術の開発、(1-2)フォトリック結晶共振器を利用したパーセル効果の検証と制御、(1-3)GaAs量子リングによる励起子アハラノフ・ボーム効果の実験検証、(1-4)ナノシートプラズモン共振器などを利用したラマン散乱の増強効果の実証を目指す。</li> <li>・サブテーマ2「量子ドットに関する研究」では、(2-1)結晶品質と光学特性の改善を目指した液滴エピタキシー法による量子ドット作製技術の高度化、(2-2)陽極酸化ドットを経由したドット配置制御技術の開発、(2-3)電子線誘起蒸着を用いたナノ配線技術による量子ドットの伝導特性の研究、(2-4)電流注入発振を目指したGaAs量子ドットレーザーの研究を実施する。</li> <li>・サブテーマ3「量子ドットの極限環境計測」では、極低温・強磁場下での物性測定技術の高度化により、各種量子ドット結合体の輸送現象・光学測定を通じて物性を明らかにする。</li> <li>・サブテーマ4「量子ナノ構造のデバイス応用探索に関する研究」では、量子ナノ構造のデバイス応用の開拓と探索を目的に、(4-1)量子ドットおよび量子リング構造の設計・特性予測・作製技術の開発、(4-2)量子細線および量子ドット列の形成と低次元電子伝導の解明と応用探索、(4-3)ナノ配線の形成技術の開発と極微ダイオード素子の新形成法の確立を図る。</li> </ul> <p>研究計画概要：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サブテーマ1：高Q値光共振器の開発と大きなパーセル効果の実現、フォトリック結晶共振器から光導波路への単一光子伝搬の実証、プラズモン共鳴型赤外光源の量産用製造プロセスの構築。</li> <li>・サブテーマ2：液滴エピタキシー法の機構解明と成長技術の高度化、電流注入型レーザー発振の探求、量子ドット型太陽電池の要素技術の検討、High-k絶縁膜およびハーフメタル強磁性体と化合物半導体の界面制御。</li> <li>・サブテーマ3：量子ドット結合体の極限環境を用いた量子物性測定、量子ドット2次元電子結合体の研究、極限環境計測技術の高度化。</li> <li>・サブテーマ4：量子ナノ構造のデバイス応用の開拓と探索、金属ナノ配線の形成法と極微ダイオード素子形成法の確立と特性評価、光検出器・太陽電池・FET素子への応用可能性の探索。</li> </ul>

<p>平成18年度～平成20年度中間評価時までの成果等</p>	<p>研究成果（アウトプット）、成果から生み出された効果・効用（アウトカム）、波及効果（インパクト）：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・サブテーマ1：GaAs 2重量子リングを用いて大きなシュタルク効果を達成、フォトニック結晶共振器中のGaAs量子ドットについてパーセル効果による発光速度の増大とフォトニックバンドギャップ効果による発光の抑制を実証、GaAs量子ドットのランダウのg因子を決定、励起子アハラノフ・ボーム効果測定用の超伝導磁石付き顕微分光クライオスタットをOxford社と共同開発、ナノシートプラズモン共振器により新型赤外光源とプラズモン増強ラマンチップを開発、単一光子自己相関法を用いて通信波長帯InAs量子ドットの位相緩和測定に成功、コロイド結晶（光材料センター澤田勉氏提供）のラマン増強の理論解析と実証を行った。</li> <li>・サブテーマ2：液滴エピタキシー法によるGaAs量子ドット・量子リングの構造形成機構の解明、高均一・高品質・高密度GaAs量子ドットの作製に成功、光励起による室温レーザー発振にも成功、(311)A面上のGaAs量子ドットで高効率エレクトロルミネッセンスを観測、GaAs(001)面に成長させたHfO<sub>2</sub>膜の初期表面組成と界面結合状態・電気特性の関連を解明した。</li> <li>・サブテーマ3：単一量子ドットへの電子顕微鏡内配線技術の確立、量子ドット-2次元電子結合系におけるスピントリッピング散乱と電子コヒーレンスの検証を行った。</li> <li>・サブテーマ4：液滴エピタキシー法でGaSb量子ドット・量子リングの形成に成功、InAsリングとドットの複合構造の形成に成功、微細In液滴をマスクとする微細加工法を開発してサブミクロン寸法共鳴トンネルダイオードの形成に成功、InGaAsナノ細線を伝導路に含むFETの伝導特性測定、電子線誘起堆積法でタングステンのナノ細線を形成して良好なオーミックコンタクトを実現した。</li> </ul>						
<p>【評価項目】</p>	<p>コメントおよび評価点</p>						
<p>①研究開発の目的・目標管理・マネジメント</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・個別の研究成果は優れている。個別の研究目標は大変高いが、現在のところまでは概ね順調に進捗していて、目標達成が期待できる。したがって、目的・目標の見直しは必要ない。マネジメントは正しく行われていると判断できる。</li> <li>・サブテーマ毎の研究項目が計画通り以上に達成されてきている。</li> <li>・量子ドット、フォトニック結晶等を中心としたナノ技術全般にわたるナノテク技術の展開を目標としているが、計画通りの成果が得られており、達成可能な目標設定となっている。</li> <li>・量子ドットやフォトニック結晶の研究分野が世界的に激しく競争している中で、本プロジェクトが最終的にはどのような独創的なデバイス開発に結集しようとしているのか、が分かりづらい。</li> </ul> <table border="1" data-bbox="432 1547 1477 1955"> <tr> <td data-bbox="432 1547 592 1805"> <p>評価基準</p> </td> <td data-bbox="592 1547 1477 1805"> <p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：            9：よく練られており、全く問題ない。            7：優れている。            5：概ね問題はない。            3：修正が必要である。            1：大きな問題がある。プロジェクトを中止すべきである。</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1805 592 1883"> <p>各委員の評価点</p> </td> <td data-bbox="592 1805 1477 1883"> <p>8、7、9（順不同）</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="432 1883 592 1955"> <p>平均評価点</p> </td> <td data-bbox="592 1883 1477 1955"> <p>8.0</p> </td> </tr> </table>	<p>評価基準</p>	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：            9：よく練られており、全く問題ない。            7：優れている。            5：概ね問題はない。            3：修正が必要である。            1：大きな問題がある。プロジェクトを中止すべきである。</p>	<p>各委員の評価点</p>	<p>8、7、9（順不同）</p>	<p>平均評価点</p>	<p>8.0</p>
<p>評価基準</p>	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：            9：よく練られており、全く問題ない。            7：優れている。            5：概ね問題はない。            3：修正が必要である。            1：大きな問題がある。プロジェクトを中止すべきである。</p>						
<p>各委員の評価点</p>	<p>8、7、9（順不同）</p>						
<p>平均評価点</p>	<p>8.0</p>						

<p>②研究開発の進捗状況及び進め方</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各サブテーマにおいて研究は計画通り順調に進捗している。それに加えてサブテーマ1では、ナノギャッププラズモン共振器アレイによる新型赤外光源の実用化の可能性、コンパクトな超伝導マグネット付顕微分光用クライオスタットの共同開発など想定外の成果があり、またサブテーマ2では、当初計画に無かったIII-V族半導体の界面制御による高性能CMOS開発の可能性が見出され、サブテーマ3では、当初計画に無かった連結微小球導波路による分波機能、分子会合体ファイバーによる励起子ポラリトン光伝搬の発見、サブテーマ4では当初計画に無かった液滴エピタキシー法によるGaSb量子ドットの作製やInSbやAlSb量子ドットへの展開などがあり、当初計画より進展している。このまま研究を継続して目標を達成されたい。</li> <li>液滴エピタキシー法を中心とした量子ドット、リングの作製、量子ドットの結合などが進展している。またその評価も、励起子のラビ振動の観測、量子リングにおけるアハラノフ・ボーム効果の観測等、成果を挙げている。</li> <li>予定していた達成項目の想定外の成果も挙げている。研究は十分に進捗している。</li> <li>液滴エピタキシー法の太陽電池への応用も、格子整合系のメリットを生かせる応用展開である。</li> <li>ドットの配置パターンニング、ドットの形状制御（量子リング）等の技術開発（形状制御については機構解明も含めて）にも期待したい。</li> <li>フォトニック結晶と量子ドットの結合でもパーセル効果を確認し、今後の進展が期待される。</li> </ul>
<p>評価基準</p>	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：</p> <p>9：極めて順調であり、研究資源の再配分を増やすべきである。</p> <p>7：優れており、このまま継続すべきである。</p> <p>5：進み具合は妥当である。</p> <p>3：進み具合が遅れており、計画の見直しが必要である。</p> <p>1：大幅に遅れており、研究を中止すべきである。</p>
<p>各委員の評価点</p>	<p>9、9、7（順不同）</p>
<p>平均評価点</p>	<p>8.3（小数第二位以下四捨五入）</p>
<p>③論文、特許等の直接の成果、効果・効用、波及効果</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>論文数、招待講演数からは十分な研究成果の公表が読み取れる。また質も高い。研究における費用対効果が極めて高い。</li> <li>特許出願数やプレス発表数などは必ずしも多いとは言えず、改善の余地が残る。</li> </ul>
<p>評価基準</p>	<p>評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。：</p> <p>9：質・量共に世界的水準である。</p> <p>7：優れた成果・効果が出ている（見込まれる）。</p> <p>5：平均的水準である。</p> <p>3：平均より少なく、対応策を練る必要がある。</p> <p>1：質・量共に大いに問題があり、プロジェクトは中止すべきである。</p>
<p>各委員の評価点</p>	<p>8、9、9（順不同）</p>
<p>平均評価点</p>	<p>8.7（小数第二位以下四捨五入）</p>

④総合評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>・説明資料の研究目標欄からは、ナノ構造制御・創製技術の高度化そのものが目標なのか、ナノ構造制御・創製技術の高度化によって作製される特定のデバイス作製が目標なのか、が分かりにくい。プロジェクトは総花的な印象があり、最終的に何に結集しようとしているのか、が分かりづらい。</li> <li>・個別の研究目標や研究成果の水準は極めて高い。このまま継続して目標を達成されたい。</li> <li>・計画外の達成課題が多いのは評価される。</li> <li>・量子構造全般にわたる、製作技術、評価技術の進展が見られ、今後、高効率太陽電池、単一光子源、量子ドットレーザー等への応用展開が期待される。</li> <li>・ナノ構造製造技術としてブレークスルーしたところが分かりづらい。淡々と課題をクリアしている印象が残る。</li> <li>・グループ（サブテーマ）間で融合的に取り組んでいる姿が見えなかった。</li> </ul>	
	評価基準	総合評価点（1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10の10点満点）を、下記評価基準を参考に記入してください。： 9：すべての点において模範的に優れている。 7：総合的に優れている。 5：平均的なプロジェクトである。 3：期待されたほどではない。計画の見直しが必要である。 1：上記評価項目①～③の評価結果に大きな問題があり、研究を中止すべきである。
	各委員の評価点	7、8、9（順不同）
	平均評価点	8.0
その他 （気になる点、ヒアリングの第一印象など、なんでも） 特になし。		

なお平均評価点は、公表時一般にもわかり易いように、以下のようにS, A, B, Cを併記する。  
 評価委員の点数の平均点（小数点第二位以下四捨五入）をXとすると、S:  $X=10$ , S-:  $9 \leq X < 10$ , A+:  $8 \leq X < 9$ , A:  $7 \leq X < 8$ , A-:  $6 \leq X < 7$ , B+:  $5 \leq X < 6$ ,（以下同じ考え方）・・・とする。

平均評価点まとめ

研究開発の目的・目標管理、マネジメント	研究開発の進捗状況及び進め方	論文、特許等の直接の成果、効果・効用、波及効果	総合評価
A+	A+	A+	A+