

事後評価報告書

評価委員会開催日：平成18年7月27日

評価委員：（敬称略、順不同）

齋木敏治 慶應義塾大学理工学部 助教授 （主査）

大泊 巖 早稲田大学理工学部 教授

市川昌和 東京大学大学院工学系研究科 教授

原 正彦 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授 （書面評価）

記入年月日：平成18年11月10日

課題名	単一光子発生を目指した自立型量子ナノ構造の形成位置制御技術と新たな半導体量子点発光材料に関する研究
研究責任者名及び所属・役職	佐久間芳樹 ナノマテリアル研究所ナノ電子光学材料グループ 主幹研究員 （現在：半導体材料センター半導体特性評価グループ 主幹研究員）
【実施期間、使用研究費、参加人数】	実施期間：平成16年度～平成17年度 使用研究費（期間合計）：運営費交付金：60.8百万円、外部資金：0百万円 参加人数：（平成17年度）1.5人（専任：1人、ポスドク：0.5人）
【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>量子情報処理技術の根幹に関わる光通信波長帯の量子ドットの波長制御技術、形成位置制御技術を開発する。また、S-Kモード量子ドットの最大の問題であるサイズとエネルギーの揺らぎを回避できる新たな量子点発光材料の開発を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・光通信波長帯（1.3-1.55 μm）での単一光子発生器に利用可能な優れた光学特性を有する半導体量子ドットの作製技術や発光波長の制御技術を開発する。 ・光通信波長帯での単一光子発生の実証を行う。 ・上記の量子ドットの精密な形成位置制御技術を開発する。 ・サイズ揺らぎのない新たな量子ドット技術として、等電子トラップ準位を用いた半導体量子点の利用可能性を探索する。 <p>研究計画概要：</p> <p>まず、光通信波長帯での量子ドット材料として、光デバイス用のエピタキシャル成長として実績のあるMOCVD法を用いて、InAs/InP系のS-Kモードの量子ドット成長技術を立ち上げ、発光波長制御技術を確立する。また、バイアス電圧印加AFMによる局所酸化によるナノホール部に、InAs/InP量子ドットを位置制御して形成する技術を確立する。次に、InAs/InP系の単一量子ドットを用いて、光通信波長帯での単一光子の発生確認実験を行う。InAs/InP系量子ドットの成長メカニズムについても考察を加え、ナノ領域でのエピタキシャル成長技術に対する理解を深める。さらに、サイズ揺らぎと量子エネルギー準位の揺らぎを回避するための新たな技術として、等電子トラップ準位を量子点として利用するための材料研究を行う。</p>
【全研究期間の成果等（研究全体）】	<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> <p>MOCVD法を利用して、光通信波長帯（1.3-1.55 μm）で強く発光するInAs/InP系S-K量子ドットの形成技術を開発した。ダブルキャップ法と呼ばれる手法を開発し、ドットの高さを人為的に調整することで発光波長を制御することにも成功した。また、東大・富士通研との共同研究を通じて、メサ構造を形成した単一のドットに束縛された励起子からの明瞭な輝線スペクトルの観察に成功し、Hanbury-Brown Twiss型の光学系でこの励起子発光を評価して、光通信波長帯での単一光子発生を世界で初めて実証した。ドットの形成位置制御においても、計画に記した手法でInAs/InP系量子ドットの位置制御に成功し、顕微PLを用いて線幅の狭い単一励起子の発光スペクトルを観測できた。さらに、ダブルキャップ法の成長メカニズムとしてドット表面でのAs/P置換反応とlayer-by-layerのドット平坦化を予測し、TEM観察や断面STMによる原子レベルの評価を使って成長モデ</p>

	<p>ルの正当性を確かめた。</p> <p>等電子トラップの量子点材料としての可能性を探索する目的で、間接遷移半導体中に窒素 (N) 原子を希薄にドーブした試料を作製し、PLでN原子あるいはNNペア分子に束縛された励起子発光を確認した。マクロPLによるアンサンブル評価にも関わらず極めて線幅の狭いPL発光を示し、S-Kモードで問題となっている inhomogeneousなエネルギー準位のブロードニングを回避できる見通しを得た。</p> <p>以上の研究成果は、いずれも量子情報処理技術を支える材料要素技術として極めて重要なものであり、当初の研究目標の殆どの部分は達成されたと思われる。特に、ダブルキャップ法によるInAs/InP系量子ドットの発光波長制御技術と位置制御技術は材料技術として非常に重要なものである。また、このドットを用いて東大・富士通研との共同研究で実証した光通信波長帯での単一光子発生は世界に先駆けた重要な成果であり、この分野の研究者にも極めて大きなインパクトを与えた。</p> <p>論文：4. 0件*、プロシーディングス：2. 0件*、解説・総説：0件*、招待講演数：6. 0件* (*：研究の寄与率を考慮した平成16-17年の値) 特許出願：0件、登録：0件、実施許諾：0件</p>
【評価項目】	コメ ン ト お よ び 評 価 点
<p>マネジメント 実施体制 (サブテーマ間関係、外部との共同研究の有効性)</p>	<p>コメント： 目標は明確であり、外部専門家との連携も十分に取っており、共同研究が大変効果的に実施されている。その一方で、NIMS内の他のグループの研究者との共同研究がやや弱かったように感じる。今後の新しい研究体制の構築が望まれる。この他、サブテーマが6つあるが、2年間のテーマとしては多いように思われる。</p>
<p>* 評価点 (10点満点) : 8 評価基準 9点：研究の効率向上に明確に寄与している 7点：よく考えられている 5点：平均的な体制 3点：もう少し考慮の余地があった 1点：プロジェクト遂行の支障となった</p>	
<p>アウトプット (論文、特許等の直接の成果。費用対効果を考慮)</p>	<p>コメント： 2年間という期間を考えると、論文・招待講演等のアウトプットは評価してよい。とりわけ、1. 5 μm帯で単一光子を発生させた世界初の成果は、高く評価できる。「基礎研究」、「目的基礎研究」という研究タイプを考慮すると難しいかもしれないが、企業との共同研究もあることであるから、今後は特許取得も考えて欲しい。</p>
<p>* 評価点 (10点満点) : 8 評価基準 9点：質・量共に平均的プロジェクトの水準を大きく上回っている 7点：平均的水準より優れる 5点：平均的水準 3点：少ない 1点：問題がある</p>	
<p>目標の達成度 その他アウトカム、波及効果</p>	<p>コメント： 単一光子発生を現実的な手法で実現した意義は大きい。また、光通信帯でのアンチバンチング測定の成功は極めて大きな成果で、波及効果も大きい。以上、当初の目的は一部修正されたが、目標は十分に達成されたと考えられる。なお、企業連携という観点からの今後の展開と波及効果を期待したい。</p>
<p>* 評価点 (10点満点) : 8 評価基準 9点：一つの分野を形成した 7点：目標は十分達成され、当該分野に影響を与えた 5点：目標はなんとか達成された 3点：目標の部分的な達成 1点：目標達成にはほど遠い</p>	

<p>総合評価</p> <p>研究全体に対する総合的な所見を記入。 また上記設定評価項目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>	<p>コメント：</p> <p>企業出身の研究者の力量（現実的視点）が活かされ、産官学のコンパクトな連携に成功した優れた研究プロジェクトであった。今後は本研究を起点にし、新しい方向性を持った展開があることを期待したい。今後の進展が楽しみな研究である。</p>
<p>* 総合評価点（10点満点）：8</p> <p>評価基準</p> <p>9点：すべての点において模範的に優れている 7点：総合的に優れている 5点：平均的 3点：期待されたほどではなかった 1点：税金の無駄遣いである</p>	

なお評価点は、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を併記します。

- 9、10 S
- 8 A+
- 6、7 A
- 5 A-
- 3、4 B
- 0～2 C

評価点まとめ

マネジメント実施体制 (内外連携)	アウトプット	目標達成度、アウトカム 波及効果	総合評価
A+	A+	A+	A+