

戦略的創造研究推進事業 CREST

研究領域「新機能創成に向けた光・光量子科学技術」

研究課題「フォトニック結晶を用いた究極的な  
光の発生技術の開発」

## 研究終了報告書

研究期間 平成17年10月～平成23年3月

研究代表者：野田 進  
(京都大学工学研究科、教授)

## § 1 研究実施の概要

**目的**：フォトニック結晶は、光場の制御を通じて、様々な革新的な光操作を可能にする光ナノ構造として、現在、世界的な関心を集めている。研究代表者等は、このフォトニック結晶の分野において、本 CREST 開始前に、(i)世界で最も理想的な結晶の開発、(ii)自然放出抑制の可能性の実証、(iii)世界最大の  $Q$  値をもつナノ共振器の実現、(iv)大面積コヒーレントレーザの提案・実証など、世界をリードする様々な成果を挙げてきた。本研究は、これらの実績をベースに、フォトニック結晶による光場の制御を通じて、「光・光量子科学技術分野」における戦略目標の第 1 項目に挙げられている「究極的な光の発生技術」を開発していくことを目的とするものである。具体的には、

- (A) 2次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発、
- (B) 3次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発、
- (C) 大面積コヒーレント動作可能なレーザ技術の開発

を 3 本柱に設定して研究を進めている。

### 主な成果の概要：

本 CREST 研究を通じて、(A)においては、2次元結晶において最も理想的な自然放出制御を実現するとともに、ナノ共振器+量子ドット結合系における新たな発光メカニズムの発見、430 万を越える世界最大の  $Q$  値をもつナノ共振器の実現、また、ナノ共振器の  $Q$  値の動的制御に成功した。さらに、ナノ共振器間の新たな強結合システムの構築とその結合状態制御に世界で初めて成功した。(B)においては、3次元結晶の特徴を活かし 2次元結晶を越える自然放出抑制効果の実現、新たな 3次元結晶実現法の確立、さらには、表面における光伝播現象の観測と強い光局在効果の発見など、3次元結晶の新しい方向性を示すことに成功した。(C)においては、大面積単一縦・横モード動作可能という本レーザの特徴を活かし、世界最大の単一モード面発光出力の実現 (>35 W)、自在なビームパターンの発生、さらには、青紫色領域での世界初の電流注入面発光動作、さらには赤色領域での動作に成功した。さらに極最近、ビーム出射方向を電子的に制御可能な新しいレーザの実現に成功するなど、多くの世界をリードする成果を得ることができた。

以下、主な成果を、上記、(A)-(C)の順に、まとめて下記に示す。

### (A) 2次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発

- a) 2次元フォトニック結晶と、量子ナノ構造の融合により、2次元フォトニック結晶により実現可能な最も理想的な自然放出抑制効果を引き出すことに成功した。
- b) 2次元フォトニック結晶+量子ナノ構造融合系において、ナノ共振器の導入により、a)で述べた自然放出抑制効果により蓄積された励起キャリアが、ナノ共振器に極めて効率良く配分されることを見出した。また、ナノ共振器 QED における第 3 の発光メカニズムを発見することに成功した。すなわち、量子アンチゼノ効果が発光に関与するという、本系独特の特異な発光現象の解明に成功した。
- c)  $Q$  値を決める各種構造揺らぎについても定量的に調べ、平均構造揺らぎ 0.5 nm という、ナノメートルを切る超高精度作製の技術の確立に成功した。その結果、世界最大の  $Q$  値 430 万をもつナノ共振器の実現に成功した。
- d) ナノ共振器の  $Q$  値制御に世界で初めて成功した。本概念を、量子ナノ構造とフォトニック結晶ナノ共振器融合系に適用し、光子・電子系の相互作用の状態の動的制御に道を開いた。
- e) さらに、高  $Q$  値ナノ共振器を用いた新たな強結合システムの構築を提案し、結合状態制御に世界で初めて成功した。

### (B) 3次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発

- a) 独自のウエハ融着法による 3次元フォトニック結晶形成法により、世界最大の自然放出抑制効果 (-30dB) の実現に成功した。

- b) 結晶揺らぎが、発光制御に与える影響について、系統的に検討し、有限性と揺らぎの関係を始めて明らかにした。
- c) 2方向斜めエッチング法という新たな3次元結晶形成法を開発し、ドライエッチングによる一括3次元形成法において、世界最大のフォトニックバンドギャップ効果をもつ結晶の開発に成功した。また、本試料を用いて自然放出制御の実証に成功した。
- d) 3次元結晶の3次元性を活かした垂直導波路の実現に初めて成功した。
- e) さらに、3次元フォトニック結晶の表面モードの存在を見出し、表面における光伝播現象の観察や、表面での光局在現象の観察に世界で初めて成功し、3次元結晶の新たな方向性を示すことに成功した。

(C) 大面積コヒーレント動作可能なレーザ技術の開発

- a) フォトニック結晶の格子点形状や、格子位相の制御により、ドーナツビームから真円ビームに至る様々なビームを発生させることに世界で初めて成功した。
- b) CW状態で、100 mWを越え、さらに、パルス状態では、1 Wを超える世界最大の単一縦横モード面発光動作に成功した。さらに、極最近、本CRESTの目標を大幅に上回る35 W動作の実現にも成功した。これは、研究代表者の提案になるフォトニック結晶レーザの特徴を活かした重要な成果である。
- c) 本レーザの解析手法として、2次元結合波理論を新たに構築した。
- d) 本レーザを青紫色領域に展開することに成功し、電流注入において、世界で初めて、面発光動作に成功した。得られたビームは、1°以下と狭く、またユニークなドーナツ形状であった。さらに、本レーザの動作波長のさらなる拡大に取り組み、赤色領域での発振にも世界で初めて成功した。
- e) さらに、正方格子と長方格子を複合した新たなフォトニック結晶の構築により、ビーム出射方向を電子的に制御可能な全く新しいフォトニック結晶レーザの実現に世界で初めて成功した。

以上の成果は、幸いにも、米科学誌 *Science* 2 編、英科学誌 *Nature* 2 編、*Nature Materials* 2 編、*Nature Photonics* 3 編にも掲載され（注：中間評価後、*Nature* 1 編、*Nature Materials* 1 編、*Nature Photonics* 2 編が加わった）、併せて、各種の新聞、雑誌、Web等で報道された（全部で、130 件以上）。さらに、各種国際会議にて、85 件以上の、Plenary、招待講演を行なった。また、**OSA Joseph Fraunhofer Award / Robert M. Burley Prize、Gent University Honorary Degree、IEEE LEOS (PS) Distinguished Lecturer Award、IEEE Fellow、IEEE Nanotechnology Pioneering Awards、江崎玲於奈賞**を始めとする数多くの賞を受賞することができた。

## § 2. 研究構想

### (1) 当初の研究構想

一般に、物質からの発光は、多くの光の状態（モード）をもつ場の中で生じるために、望まない発光現象までもが同時に起こることになり、このことが現在の光デバイス技術におけるボトルネックの1つとなっている。例えば、半導体レーザにおいては、レーザモード以外の不要モードに結合する自然放出成分が、閾値の増大や雑音をもたらしている。また発光ダイオードにおいては、デバイス外部への放射モード以外に結合する光が、量子効率の低減をもたらしている。さらに、大面積レーザにおいては、数多くの縦・横モードの存在が、動作の不安定性をもたらしている。

究極的な光の発生・制御技術の開発には、従って、発光体（電子系）を取り囲む光子場を様々な制御していくことが極めて重要となる。例えば、(i)電子系を取り囲む光子場のモードを1つに限定でき、かつ電子系へ注入したエネルギーがそのモードに結合する光の発生のみを利用できるようになると、極限的に効率の高い光の発生が可能となる。また、(ii) そのモードにおける光子寿命を十分に長く出来ると、電子系と光子系の結合状態が、弱結

合から強結合状態へと変化し、新たな量子状態の形成が可能となり、究極的には量子演算等の分野へも応用可能となる。これらは、電子系の動的挙動（物性）を、それを取り囲む光子系の状態制御により様々に制御していくことを目指すものとも言える。

一方、大面積のレーザ共振器について考えた場合、(iii)発振可能なモードを、どのような大面積においても、1つに限定することができれば、従来は不可能であった安定な大面積コヒーレントレーザの実現が可能となる。さらに、(iv)発振モードを1つに限定した状態で、面内の電磁界分布を制御できれば、様々な興味深い出射ビームパターンをもつレーザまでもが、実現可能になるものと期待される。

以上のような背景のもと、本研究では、研究代表者等がこれまで培ってきたフォトニック結晶技術を用いて、発光体を取り囲む光子場を様々に制御し、究極的な光の発生技術を開発することを目指すものである。以下に、研究代表者の研究実績に基づいた、より詳細な狙いについて説明する。

フォトニック結晶は、周期的な屈折率分布をもつ誘電体材料であり、特定の波長域において光のモードが存在しないフォトニックバンドギャップをもつことを特徴とする。フォトニック結晶を用いた究極の発光制御のためのシナリオの第1は、以下の通りである。(a)バンドギャップ効果により、不要モード（すなわち不要発光）を除去し、それによる励起キャリアの蓄積（発光寿命の増大）を行うこと、(b)光の波長程度の極微小点欠陥を導入し、電子系と光子系の相互作用の場となるナノ共振器を形成し、この共振器モードにバンドギャップ効果により蓄積された励起キャリアを集中的に再分配して極めて高効率な発光を得ること、(c)さらに、共振器のモード体積を小さく保ったまま、電子系と光子系あるいは光子系同士の結合状態（相互作用状態）を様々に制御するなど、より高度な光制御へと展開していくこと。本プロジェクトの第1の狙いは、上記の(a)-(c)のシナリオを基本として、これまでの研究代表者の成果（バンドギャップ効果による不要な発光の除去と、世界最大の閉じ込め効果をもつナノ共振器の実現）をもとに、2次元フォトニック結晶における電子系・光子系の様々な相互作用を深く検討し、究極の光の発生・制御技術を開発することである。

上述のような2次元フォトニック結晶における光の発生/制御においては、バンドギャップ効果の存在しない上下方向へのわずかな光の漏れが最終的なボトルネックとなると考えられる。従って、真の意味で、究極的な発光制御を実現するためには、全方向にバンドギャップをもつ完全3次元結晶を用いることが不可欠となる。言い換えれば、前述のシナリオ(a)-(c)を、3次元フォトニック結晶を用いて行っていくことが重要となる。本研究の第2の狙いは、これまでの研究代表者独自の3次元結晶の効果の増大を図るとともに、得られた3次元結晶により、様々な光子系・電子系の相互作用を検討し、究極の光の発生技術を開発していくことにある。このため新たな3次元結晶作製法の実現にも取り組んでいく。

以上のような2次元、3次元結晶を用いた極微小領域での光の究極的な発生技術の開発に加え、本研究では、逆に大面積でも安定なコヒーレント動作を可能とするレーザ技術の開発にも取り組んでいく。本レーザは、フォトニックバンドギャップ端での定在波状態を利用することにより、どのような大面積においても発振モード数が単一になりうるという研究代表者等の独自のコンセプト（2001年米科学誌 *Science*）に基づくものがある。研究代表者等は、これまで、このような独自のレーザ技術の原理実証から、室温連続発振の実現に至るところまで達成している。本CRESTにおいては、レーザビームパターンの様々な制御、高出力動作の実証、波長範囲の拡大、さらにはデバイス理論の確立が挙げられ、本研究では、これらを深く研究し、大面積コヒーレントレーザ技術を確立することを目指す。これが本研究の第3のねらいである。

以上をもとに、本研究では、

- (A) 2次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発、
- (B) 3次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発、

(C) 大面積コヒーレント動作可能なレーザ技術の開発  
を3本柱に設定して研究を進めた。

## (2)新たに追加・修正など変更した研究構想

上記、(A)-(C)の各研究項目において、当初想定していなかった新たな展開を複数、達成することができた。以下に、項目毎に、その内容と、展開状況を記す。

### (A) 2次元フォトリック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発

- ・ナノ共振器の  $Q$  値制御に成功
- ・量子ナノ構造+ナノ共振器 QED における新しい発光メカニズムの発見
- ・ナノ共振器を用いた新たな強結合システムの構築とその結合状態制御に成功

本項目において、当初想定していなかった最も興味深い展開の1つは、ナノ共振器の  $Q$  値制御に成功したことである。 $Q$  値の大きなナノ共振器は、光をより長く閉じ込めることを可能とするが、半面、光を導入するために、より長い時間がかかるようになる。また、共振スペクトル幅も極めて狭くなり、入射パルスのスペクトル幅との大きなミスマッチが生じるようになる。すなわち、高  $Q$  値ナノ共振器はそのままでは、非常に使いにくい。重要なことは、光をナノ共振器に導入する時には  $Q$  値を低くして、光をすばやくナノ共振器に導入できるようにしておき、光がいったんナノ共振器に導入されると、速やかに  $Q$  値を増大させ、光を無駄なくナノ共振器に留めることである。また必要とあれば、さらに  $Q$  値を低下させ、光をすばやく取り出せるようにすることである。これまで、ナノ共振器の  $Q$  値を動的に制御するための概念は存在しなかったが、本研究では、この  $Q$  値の動的制御のための新たな基本概念を提唱するとともに、その基本動作の実証に成功した。この成果は、光と物質との相互作用を動的に制御することを可能にすることにつながるものと期待され、量子演算システムの発展にとって、極めて重要な成果と言える。また光を一瞬、極微小域に蓄えておく光メモリーチップの開発などにとっても、極めて重要な成果と言うことができる。

本項目における2つ目の興味深い発見は、ナノ共振器と量子ナノ構造との融合系において、共振器の共振波長と、量子ナノ構造のエキソン発光波長が離調しているときにおいても、“量子アンチゼノ効果”により、共振器から非常に強い発光が起こりうることを見出したことである。これまで、ナノ共振器と量子ナノ構造との融合系において、大きな離調がある場合でも共振器から強い発光が起こりうるかが謎であり、多くの論争をよんできたが、本研究により、その起源を明らかにすることに成功した。

本項目における3つ目の興味深い展開は、高  $Q$  値ナノ共振器を用いた新たな強結合システムの構築とその結合状態の動的制御に成功したことである。現在、我々が提唱している高  $Q$  値ナノ共振器の概念を活用し、量子ナノ構造と融合させ、強結合状態を形成することが、世界的にも盛んに行われつつあるが、重要な課題は、得られた強結合状態が、数ピコ秒程度しか維持しないことである。これは、量子ナノ構造のコヒーレンス時間がナノ共振器と比較して本来的に非常に短いことである。本研究では、ナノ共振器の高  $Q$  値性(>数10万)を保ったまま強結合状態を形成するため、量子ナノ構造を導入せず、ナノ共振器のみからなる強結合状態を形成することに挑戦した。ナノ共振器間に結合を形成するには、エバネッセント結合の利用が考えられるが、この場合、ナノ共振器同士を波長程度の距離で近接させる必要があるため、形成された強結合状態を、外部から制御することは極めて困難となる。本研究では、遠く(>波長の数100倍)離れた高  $Q$  値ナノ共振器において、強結合状態を形成する新たな方法を見出した。本方式において、数100 ps 以上という、これまで量子ナノ構造とナノ共振器の融合系に比べて、100倍以上の強結合状態が維持されることを示すことに成功するとともに、任意の時間において、一方の共振器の波長を動的に変化させることで、共振器間の強結合状態を、動的に停止させることに成功した。この成果は、ナノ共振器をベースとした光量子情報ナノシステムを構築するための、極めて重要な一歩を与える成果と言える。

### (B) 3次元フォトニック結晶による究極的な光の発生技術の開発

- ・3次元フォトニック結晶の表面における光伝播および光局在効果の観察に世界で初めて成功
- ・自動位置あわせ装置の開発

本項目において、当初想定していなかった最も興味深い展開の1つは、3次元フォトニック結晶の表面における光制御の可能性を見出したことである。通常、3次元フォトニック結晶においては、その内部における光の制御が議論されてきたが、本研究により、表面に光が局在し、かつ光伝播までも可能であることを示すことに成功したことから、新たな応用の道につながりうる重要な成果とすることが出来る。さらに興味深いことは、3次元結晶の積層数が極めて少なくとも、非常に高い $Q$ 値が得られることを示すことに成功したことである。わずか8層の積層において、1万を超える $Q$ 値が得られたのは、世界初の成果であり、2009年の*Nature*誌に掲載されるという栄誉を得た。

一方、作製面では、当初の計画で想定していなかった展開として、ストライプ積層型3次元結晶作製のための、位置あわせの自動化に成功したことにある。これにより、50nm程度以下の精度のウェハ間の位置あわせが、全くの自動で行なえるようになった。今後、さらなる改良の余地は残されているものの、3次元結晶作製のための大きな武器になるものと期待している。

### (C) 大面積コヒーレント動作可能なレーザ技術の開発

- ・GaN系面発光レーザにおけるAROG法の開発
- ・ビーム出射方向を電子的に制御可能な全く新しいフォトニック結晶レーザの実現に成功

本項目における新たな展開は、青紫色におけるフォトニック結晶レーザにおける研究において新しいフォトニック結晶形成法を見出したことである。当初、フォトニック結晶形成法として、従来から行なっているウェハ融着法を用いることを考えていたが、将来的な産業展開を考え、新たな形成法を考案・実現した。具体的には、再成長空気孔形成法(Air-hole Retained Over-Growth, AROG)と命名するGaN/空気2次元フォトニック結晶形成法を考案した。これは、半導体の結晶成長法の1つである有機金属気相成長(MOCVD)法において、GaNの結晶成長が横方向に極めて速く進むという現象に着目したものである。2次元結晶構造のGaN/空気孔を形成したのち、極薄のSiO<sub>2</sub>の下敷きを形成し、その後、MOCVDを行なうと、SiO<sub>2</sub>の存在により、空気孔底部の結晶成長が阻止され、孔を設けない部分から、横方向の結晶成長が進展し、空気孔がきれいに、2次元フォトニック結晶をデバイス内部に埋め込むことが出来るようになった。このようにして、作製したデバイスは、十分なフォトニックバンド端効果を持ち、青色面発光レーザの電流注入による発振に世界で初めて成功することが可能となった。

本項目におけるもう一つの新たな展開は、ビーム出射方向を自在に制御可能な半導体レーザの開発に成功である。これまで、半導体レーザの出射ビーム方向は、一方向に固定されており、外部に設置した反射鏡の向きを機械的に制御することにより、そのビームの方向を制御していた。そのため、(i)小型化が困難である、(ii)耐久性が悪い、(iii)動作スピードが遅い、などの課題があった。本研究では、光の波長程度の周期的な屈折率分布をもつフォトニック結晶を用いることで、半導体レーザそのもので、ビーム出射方向を自在に制御することに成功した。具体的には、2種類の少しずつ周期の異なるフォトニック結晶を組み合わせることにより、様々な角度にビームが出射可能な共振(発振)状態が形成できることを見出し、かつ、この共振器を実際にレーザ共振器として用いることにより、様々な角度にビームが出射可能なことを示すことに初めて成功した。この成果は、外部光学系なしに、レーザ単体でビーム方向を高速に、自在に操作することのできる全く新しいレーザの誕生を意味するものであり、半導体レーザの新たな方向を示す極めて重要な成果と言える。レーザディスプレイ、超小型レーザレーダ探知システム、チップ間光インターコネクションなど、次世代型光システムの新たなレーザ光源として、極めて有望な技術と言える。

### § 3 研究実施体制

(1) 「総合研究推進グループ (京大+ローム+住友電工+三菱電機)」 グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
野田 進	京都大学	教授	H17.10～
浅野 卓	〃	准教授	〃
富士田 誠之	〃	講師	〃
今田 昌宏	〃	助手	H17.10～H18.7
酒井 恭輔	〃	特定助教	H17.10～
田中 良典	〃	〃	〃
小島 一信	〃	〃	H20.4～
岡野 誠	〃	研究員(JST)	H17.10～H18.3
川島 祥一	〃	〃	H17.10～H.18.12
山口 真	〃	研究員(JST)	H17.10～
黒坂 剛孝	〃	研究員(光拠点)	H17.10～H.22.3
Wolfgang Stumpf	〃	研究員(GCOE)	H18.6～H.21.12
石崎 賢司	〃	研究員(GCOE)	H17.10～
高橋 重樹	〃	D3	H17.10～H21.3
Jeremy Upham	〃	〃	H18.4～
北村 恭子	〃	〃	〃
MENAKA CHAMINDA	〃	D2	H19.4～
岩橋 清太	〃	D1	H20.4～
児島 貴徳	〃	〃	〃
佐藤 義也	〃	〃	〃
鈴木 克佳	〃	〃	〃
山田 翔太	〃	〃	〃
中西 純弥	〃	M2	H17.10～H.18.3
永島 拓志	〃	〃	H17.10～H.19.3
中森 毅	〃	〃	H18.3～H20.3
萩野 裕幸	〃	〃	〃
柏木 淳一	〃	〃	〃
望月 敬太	〃	〃	〃
Park Sanguk	〃	M2	H18.4～H.21.3
大塚 晃嗣	〃	〃	H19.4～H.21.3
杉谷 知昭	〃	〃	〃
SUN QI	〃	〃	〃
岳 江林	〃	〃	〃
井上 博揮	〃	〃	〃
山内 浩司	〃	〃	H20.4～H.21.3
太田 雄至	〃	〃	H20.10～
田口 裕樹	〃	〃	〃
中村 達也	〃	〃	〃
梁 永	〃	〃	〃
湊 康明	〃	〃	H22.4～
信岡 俊之	〃	M1	〃
Kang Dong Yeon	〃	〃	〃

大西 大	ローム(株)・ フォトリクス 研究開発センター	センター長	H17.10～
国師 渡	〃	研究員	〃
宮井 英次	〃	〃	〃
坂口 拓生	〃	〃	H21.4～
松原 秀樹	住友電気工業(株)・ 半導体技術研究所・ 光デバイス研究部	主任研究員	H17.10～
杉立 厚志	三菱電機(株)・ 情報技術総合研究所	〃	〃
宋 奉植	成均館大学	准教授	〃
高橋 和	大阪府立大学	特別講師	H18.6～
新開 桜子	京都大学	事務員(JST)	H18.4～H21.7
井上 ゆき子	〃	〃	H21.8～

## ② 研究項目

京都大学が全研究項目に責任をもって研究を推進した。ロームと住友電工は、研究項目(C)、すなわち、大面積コヒーレント動作可能なレーザ技術の開発に関与した。特に、ロームは、2次元フォトリック結晶レーザにおけるビームパターンの制御や、高出力化に関する項目に関与し、住友電工は、2次元フォトリック結晶レーザの GaN/InGaN 系への展開に参画した。一方、三菱電機は、研究項目(A)、すなわち2次元フォトリック結晶による究極的な光の発生技術の開発に関与した。3社とも、京都大学へ来て、大学設置の装置を使用して、研究を進めた。

## §4 研究実施内容及び成果

本研究は、京都大学を中心とする総合研究推進グループが、産学一体となって、p.4に記載したサブテーマ、すなわち、

- (A) 2次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発、
- (B) 3次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発、
- (C) 大面積コヒーレント動作可能なレーザ技術の開発

の研究を推進した。

### 実施体制：

研究代表者 野田のリーダーシップのもと、§3に記載のとおり、総勢50名以上の研究者の参加のもと、研究を実施してきた。京都大学を中心に、ローム、住友電工、三菱電機からの派遣研究員の協力もと研究を進めた。研究推進に当たっては、週一回、研究代表者の統括のもと、ミーティングを行い、各研究課題の進捗や問題点などの議論を行なって研究を滞りなく進めた。

### 試料作製：

A)では、材料としては、GaAs基板上InAs量子ドットを中心に用いつつ、高Q値ナノ共振器の実現およびQ値の動的制御には、SOIをも併用した。フォトニック結晶の作製には、電子ビーム露光、ICPエッチングを用いた。特に、本CRESTにおいて、目玉としてH18年度に購入した新しい電子ビーム露光装置は、世界最大のQ値の実現およびその動的制御などの用途に大きな威力を発揮している。また、H19年度に購入したICPエッチング装置も、構造揺らぎを抑制する上で、極めて有効であった。

B)では、ストライプ積層型3次元結晶開発においては、GaAsを母体として用い、InGaAsP量子井戸を発光層として用いた。また、新たに開発をスタートさせた斜めエッチング法による3次元フォトニック結晶では、Siを母体として用いてきた。作製には、やはり、新しく購入した電子ビーム露光装置が、広域均一描画に極めて大きな威力を発揮した。また、3次元ストライプ積層のためには、全自動ウエハ位置合わせ装置の開発を進めた。

C)のフォトニック結晶レーザの研究では、2つの材料系：InGaAs/GaAsおよびGaN/InGaNを用いていた。また、20年度より、AlGaInP/GaAs系の赤色材料にも取り組んだ。フォトニック結晶形成には、電子ビーム露光、ウエハ融着法を主として用いつつ、後述するような新たに開発（AROGと命名）した再成長によるフォトニック結晶形成法を用いた。

構造評価・光学特性評価：作製した試料の構造評価には、高精度電子顕微鏡や、走査型プローブ顕微鏡、レーザラマン分光装置等を駆使し、構造揺らぎの定量的な評価を行った。また、光学特性評価には、本CRESTにて購入した各種の装置（顕微PL装置、短波長レーザパルス高原など）を始め、現有の時間分解発光特性評価装置、波長可変レーザ、高精度波長計、モードロックファイバーレーザ等を用いた。特に、H21年度に購入したデバイス特性評価装置は、フォトニック結晶+量子ナノ構造の相互作用を明らかにする上で、極めて重要な役割を果たした。

解析：フォトニック結晶の設計や、動作解析、構造揺らぎ解析には、大型計算機を用いて、FDTD法、平面波展開法により行なった。また、フォトニック結晶レーザの解析には、後述するように、2次元結合波理論を新たに構築した。

以上の研究は、チーム全体＝総合研究推進グループにより進めたため、以下、総合研究推進グループの成果をサブテーマ順に示す。

#### 4. 1 サブテーマ(A): 2次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発

##### (1)研究実施内容及び成果

本サブテーマは、2次元フォトニック結晶スラブ(薄板)構造を基本とし、研究代表者等が世界に先駆け実証したバンドギャップ効果による自然放出制御と、世界最大の閉じ込め効果をもつナノ共振器の実現をもとに、§2 (1)で述べた狙いの1に従い、究極の光の発生技術開発へと展開していくものである。

##### (A-1) バンドギャップ効果による2次元面内への発光抑制と励起キャリアの蓄積：

本項目は、2次元結晶のバンドギャップ効果に基づく不要発光の除去と励起キャリアの蓄積効果を完全な状態へと導くことを目指すものである。このため、発光体として、キャリアの蓄積効果を阻害する非発光プロセスを除去するため、3次元的なキャリア閉じ込めが可能な量子ナノ構造である量子ドットを用い、これを2次元フォトニック結晶と図1のように融合させた。まず、H17年度は、励起キャリアの蓄積効果が、キャリアの3次元閉じ込めにより、理論的に予想される値に達しうること(すなわち発光寿命の増大が15倍程度となること)を実証することを目指した。

図2に示すように、量子ナノ構造の導入により、非発光プロセスが確かに抑制され、ほぼ理論通り、(すなわち15~17倍)のキャリア寿命の増大を実証することに成功した。また図2の右図より、蓄積されたキャリアが、最終的に上下方向の発光に再配分され、上下方向の発光効率が大幅に増大していることが分かる。H18年度以降は、様々なフォトニックバンドギャップ波長域をもつ試料を作製し、バンドギャップ波長域と、キャリア寿命増大の関係を図3のように系統的に調べ、フォトニックバンドギャップ全波長域にて、理想的なキャリア寿命増大効果と蓄積キャリアの上下方向への発光再配分現象が現れることを実証することに成功した。また、励起強度の増大とともに、

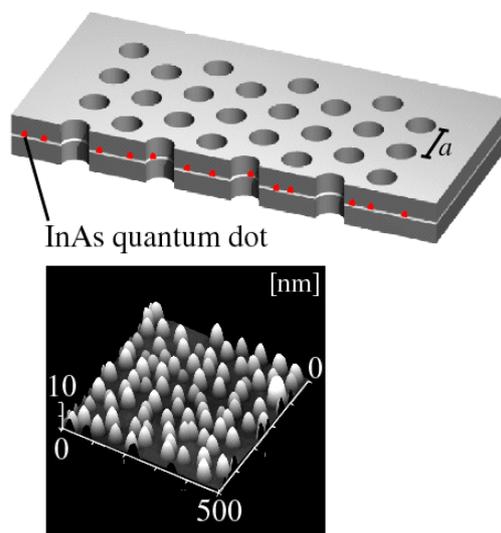


図1: 2次元フォトニック結晶と量子ドットの融合

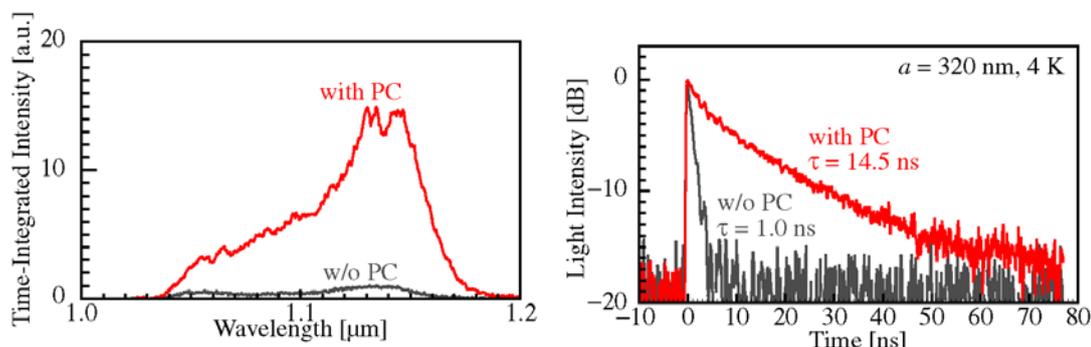


図2: (左図) 2次元フォトニック結晶により、量子ドットのキャリア寿命が、15倍程度に増大。(右図) 2次元フォトニックバンドギャップ効果により蓄積されたキャリアが、フォトニック結晶の存在しない上下方向に再配分され、上下方向の発光積分強度が、大幅に増大している様子を示す。

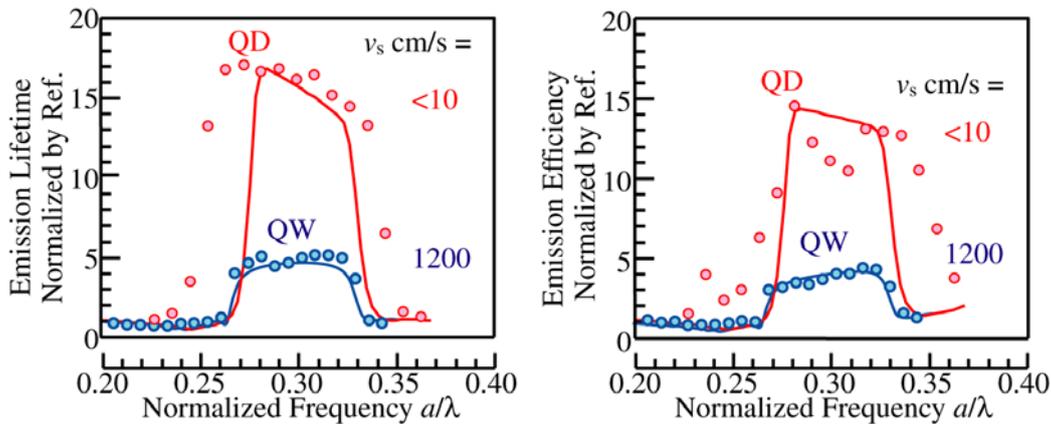


図 3: (左図) 様々なフォトニックバンドギャップ波長域をもつ試料を作製し、バンドギャップ波長域と、キャリア寿命増大の関係を系統的に調べた結果。(右図) 同じく、様々なバンドギャップ波長域をもつ結晶に対して、キャリアの上下方向への再配分効果を調べたもの。量子井戸(QW)に比べ、量子ドット(QD)を用いることで、大幅にその効果が増大していることがわかる。

Auger 効果などにより、キャリアのオーバフロー等の効果が生じることをも見出した。以上の成果は、下記の(A-2)の成果と併せて米科学誌 *Science* およびに英科学誌 *Nature Photonics* に掲載されるとともに、朝日、読売、日経新聞を始めとする国内外の各誌で報道されるなど大きな注目を集めた。以上のように、当初の研究計画に沿って、順調に研究を進めることができたと言える。

(A-2) 点欠陥共振器への量子ナノ構造の導入と弱結合状態での発光過程の検討：

本項目は、前項の 2 次元フォトニック結晶による発光制御の基礎技術の確立と平行して、人為的な欠陥共振器の導入を試み、弱結合状態での発光プロセスを明らかにすることを目指すものである。

17 年度は、点欠陥共振器モードへ蓄積キャリアが効果的に再配分され、極低励起レベル(<1 W/cm<sup>2</sup> 程度以下)から点欠陥共振器での高効率発光が生じうることを実証することを目指して研究を行った。具体的には、2 次元フォトニック結晶中に Q 値 3,000 ~5,000 程度のナノ共振器を形成し、共振器中に、量子ドットを~100 個程度導入した。その結果、0.4 W/cm<sup>2</sup> という極めて低励起レベルから明確な点欠陥共振器モードを観測することに成功した。この成果は、フォトニックバンドギャップ効果により蓄積されたキャリアが、点欠陥モードに高効率に再配分されることを強く示唆している。H18-19 年度は、前年度の成果を受け、まず、最初に、点欠陥共振器への蓄積キャリアの再配分効果に関する検討を行った。具体的には、ナノ共振器に存在する量子ナノ構造の密度や位置等により点欠陥モードの発光量子効率が変わるかを検討した。共振器内に存在するドットの数、100-200 程度の試料（共振器中のドット位置やドットの波長がランダムな試料）を作製し、その発光特性を実験的に検討した。試料温度を変化させることにより、ナノ共振器の共鳴波長と量子ドット集団のエキシトン波長の関係を様々に変化した場合の発光現象を詳細に調べた。図 4 に示すように、

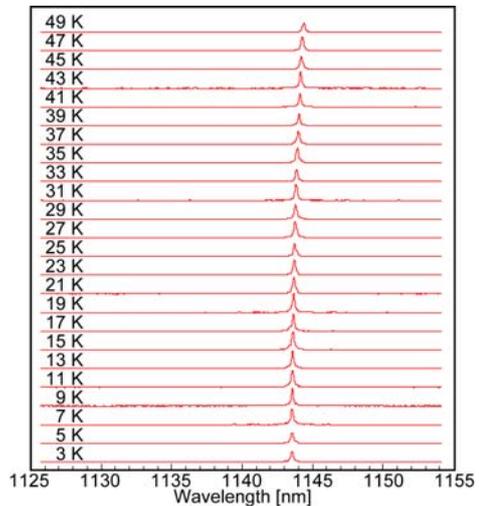


図 4: 100 個のオーダの量子ドットをナノ共振器に分散させたときのナノ共振器の発光スペクトル特性の温度依存性。

発光は、ナノ共振器の共鳴波長において強く起こり、温度を変えても、発光強度に大きな差が見られないという実験結果を得た。この結果は、量子ドットエネルギーとナノ共振器共鳴波長が、離調状態にあっても、量子ドットから共振器モードへのエネルギー移動が起こっているということを強く示唆するものである。H19年度後半からH20年度にかけて、ナノ共振器+量子ドット系に見られる、上述の特異な振る舞いの起源を明らかにすることを検討した。その結果、“量子アンチゼノ効果”、すなわち、観測をすればするほど対象とする量子現象が、より加速的に進んでいくという物理法則に起因していることを突き止めた。以下、その詳細を述べる。

図5に理論検討に用いたモデルを模式的に示す。光ナノ共振器と2準位電子系が相互作用しており、散逸過程として2準位電子系が直接自由空間モードに緩和する過程と、光ナノ共振器の光子が自由空間モードに緩和する過程との2つを考慮している。このモデルにおいて、初期状態を2準位電子系のみが励起されている状態とし、マスター方程式を用いて系全体の時間発展と発光スペクトルを計算した。電子系(QD)と光ナノ共振器(Cavity)のエネルギー差を様々に変えつつ計算した発光スペクトルを図6(a)に示す。同図においては、電子系と光ナノ共振器のエネルギーが一致している場合には、光ナノ共振器の波長において発光ピークが観測されるが、両者がずれている場合には光ナノ共振器からの発光は生じないという結果が得られた。しかし、ここで固体系に特有の現象である、電子系の双極子の位相が周辺の物質(別の電子やフォノン等)による弾性散乱のために乱されるという過程(純位相緩和過程)を計算に取り入れたところ、エネルギーに離調がある場合にもナノ共振器からの発光が生じるという計算結果が得られることが図6(b)のようにわかった。ここでパラメータ $\gamma_{\text{phase}}$ は純位相緩和過程が生じるレートであり、このレートを増やすほどナノ共振器からの発光が強くなることが図6(c)のようにわかる。この結果から純位相緩和が、エネルギー的に一致していない共振器からの発光を支配する過程であることが明らかとなった。これは前述のアンチゼノ効果という物理現象であり、その原理は、本系の場合、純位相緩和によって電子系のエネルギーが僅かにぼけて広がり、その僅かな裾が共振器のエネルギーと一致することにより電子系とエネルギー的にずれた共振器からの発光が可能になる過程と定性的には説明できる。しかし、実際に計算結果を見てみると、図6(b)、(c)からわかるように電子系のエネルギー広がりが共振器と電子系のエネルギー差に比べて小さく、直感的にはその裾が共振器のエネルギーにかかっているようには見えない場合においても共振器からの発光が生じている。さらに詳しい検討の結果、これは光ナノ共振器と量子ドットの

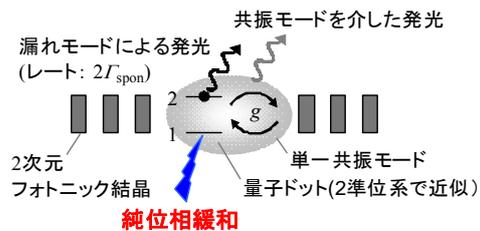


図5: 2次元フォトニック結晶ナノ共振器と量子ドットの融合系の解析モデル。

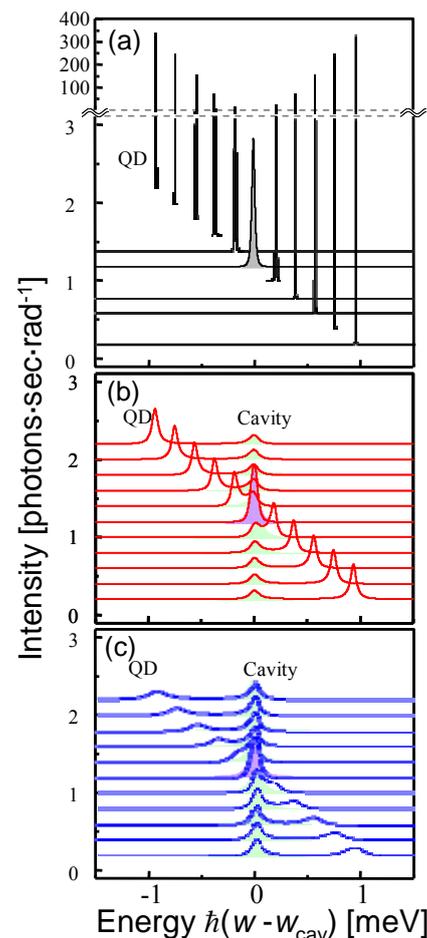


図6: 2次元フォトニック結晶ナノ共振器と量子ドットの融合系の発光スペクトル。(a) 純位相緩和なし、(b)  $\hbar\gamma_{\text{phase}} = 33 \mu\text{eV}$ 、(c)  $\hbar\gamma_{\text{phase}} = 94 \mu\text{eV}$ 。

融合系ならではの現象であることがわかった。具体的には、(a)共振器体積が小さいことに起因して電子-光子相互作用が非常に強くなっていること、(b)フォトニック結晶のバンドギャップ効果によって電子系が共振器モード以外の光モードと結合する発光緩和過程が非常に抑制されており、また低温の量子ドットでは非発光緩和パスも抑制されていること、(c)電子系がナノ共振器を強制振動させて自由空間モードへ緩和するパスも、共振器の  $Q$  値が高いために強く抑制されていること、という 3 つの効果に基づくものである。まず(a)によって電子系の励起エネルギーが共振器に移るレートが増強され、また(b)、(c)によって電子系の励起エネルギーが他の緩和過程を通じて失われるレートが極端に抑制される。このため電子系のエネルギーが共振器のエネルギーからずれている場合でも、エネルギー広がり の裾を介して共振器にエネルギーが移ってから、そのエネルギーが自由空間に放出されるという過程が主要なエネルギー緩和過程となり、その結果共振器のエネルギーにおける強い発光が観測されることになる。ここで、エネルギー広がりを与える過程が純位相緩和ではなく、エネルギー緩和に付随するものであった場合、緩和レートの増大に伴って(a)と同時に(b)の過程も速くなるために、今回のような効果は生じ得ない。よって、エネルギー緩和を伴わない純位相緩和過程が生じていることが重要である。

以上により、本項目において目的とした弱結合状態における電子・光子系の相互作用に関して、系統的な理解を得ることができたと言える。特に、ナノ共振器と量子ドットのそれぞれの共鳴波長、エキシトン波長が少々離調していても、ナノ共振器から強い発光現象が生じうることを明らかにしたことは、超効率ナノ発光デバイスを形成する上で極めて有益な知見が得られたものといえることができる。

#### (A-3) 高 $Q$ 値点欠陥共振器の実現および量子ナノ構造との融合による弱結合～強結合状態での発光過程の検討：

本項目は、前 2 項(A-1)-(A-2)の成果を踏まえつつ、ナノ共振器の  $Q$  値を高めることにより、さらに高度な発光制御（量子状態の形成を含めて）を目指すものである。ここで重要なことは、1)いかに高い  $Q$  値をもつ共振器を実現しうるかということと、2)高い  $Q$  値をもつナノ共振器と量子ナノ構造の融合による光子-電子系の結合状態の体系的な理解を行なっていくことである。

まず、H18 年度には、ナノ共振器の  $Q$  値増大を目指し、これまでのスペクトル領域での  $Q$  値評価から、時間領域での  $Q$  値の評価を行い、世界に先駆け 1 ns の光子寿命をもつ共振器の実現に成功した。この成果は、他機関によっても追認され、我々の提唱するコンセプトの有効性が検証されることとなった。また、幸いにも、我々の基本論文(Nature Materials)は、材料分野で最も高い率で引用され、H18 年 7 月に、Thomson ISI から、New Hot Paper として顕彰された。(ちなみに、Nature Materials 誌 5 周年を記念する、ハイライト論文ベスト 10 の 1 つにも選ばれるという栄誉を得た。)

H19 年度以降には、ナノ共振器の  $Q$  値のさらなる増大を目指して、ナノメートルオーダーの孔径の揺らぎ、格子間隔の揺らぎが共振器特性に与える影響について、理論計算を行った。図 7 に構造揺らぎがナノ共振器の特性に与える影響を調べるために用いたモデルを示す。共振器構造は三角格子状に円孔を配置した 2 次元フォトニック結晶に導入した線状の欠陥を基本としており、線状欠陥に沿って格子定数を変えることで、中心の格子定数の大きな領域に光を閉じ込めることができる。計算対象とした構造では格子定数が 410 nm、415 nm、420 nm と 3 段階に変化しており、空気孔の半径は 115 nm、スラブの厚さは 250 nm である。この構造を基本として、乱数ルーチンを用いて空気孔の位置および半径がランダムに揺らいだナノ共振器構造を設定し、マクスウェル方程式を差分法を用いて数値的に解いて行くことで、構造揺らぎによって共振器の特性がどのように影響を受けるかを計算した。特性としては  $Q$  値、共振波長、電磁界分布、および偏光特性を評価したが、ここでは最も興味深い  $Q$  値と共振波長についての結果を述べる。

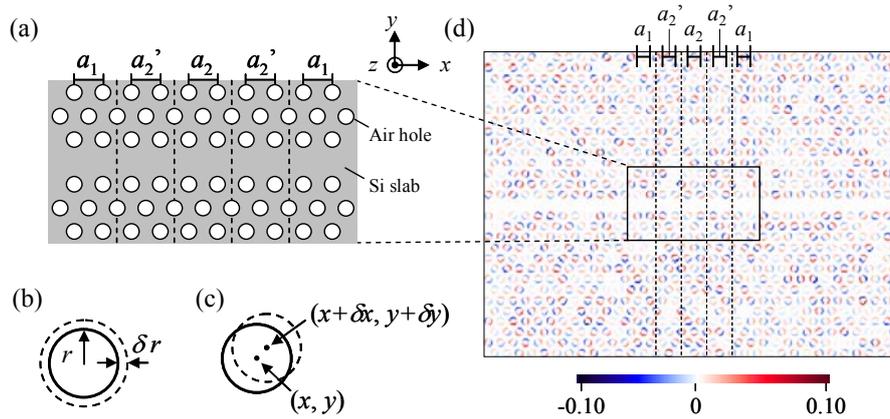


図 7：構造揺らぎがナノ共振器の特性に与える影響を解析するためのモデル。(a) 基本共振器構造、(b) 孔半径揺らぎの模式図、(c) 孔位置揺らぎの模式図、(d) 誘電率分布の変化の一例。(位置揺らぎの標準偏差が 1 nm の場合。) 誘電率は空気を 0、スラブ材料を 1 として正規化してある。

まず揺らぎがないとき、この共振器の  $Q$  値は約 1500 万、共振波長は 1589.28 nm と計算された。次に、26 種類の異なる構造揺らぎパターンを用意し、揺らぎの大きさを様々に変化させて  $Q$  値と共振波長を計算し、その依存性を調べた。揺らぎの大きさは孔半径および位置のばらつきの標準偏差で表すことができ、一般に両者は独立であるが、本計算では孔半径および位置の揺らぎが同じ加工プロセスで決まることから、両者の標準偏差は同じ大きさをもつと仮定して計算を行った。図 8(a) に構造揺らぎの標準偏差に対する共振器  $Q$  値の計算結果を示す。揺らぎのパターンが異なると、得られる  $Q$  値は異なるが、どのパターンに対しても揺らぎが増加すると損失が構造揺らぎの大きさの 2 乗に比例して増大することがわかった。また、揺らぎの大きさを固定した場合、様々な揺らぎパターンに対して得られる  $Q$  値はばらつきをもつものの、その分布は正規分布的なものとなることが分かった。例えば、構造揺らぎの標準偏差が 1 nm のとき、 $Q$  値のばらつきの平均値は 121 万となり、ばらつきの標準偏差内で取り得る  $Q$  値は 84~212 万となる。構造揺らぎがないときの共振器  $Q$  値は 1500 万であるので、この結果から 1 nm 程度の構造揺らぎであっても共振器特性に大きな影響を与えることがわかった。また、共振波長についての計算結果を図 8(b) に示す。同じ揺らぎパターンの場合、構造揺らぎの大きさに比例して共振波長がシフトすることがわかる。また、揺らぎの大きさを固定した場合、揺らぎパターンによって共振波長はばらつく。例えば構造揺らぎの標準偏差が 1 nm のとき、共振波長のばらつきの標準偏差は 0.73 nm 程度となる。共振スペクトルの線幅が 0.001 nm 程度であることを考慮すると、共振波長に関しても 1 nm 程度の構造揺らぎが与える影響は無視できない大きさであると言える。

以上の結果を基に、本 CREST で購入した電子ビーム露光装置による共振器パターンの描画

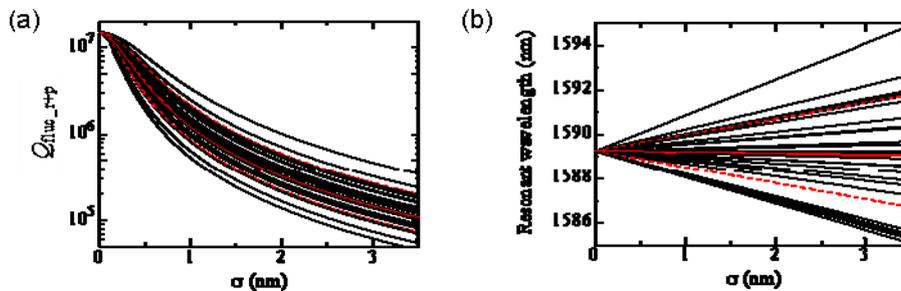


図 8：穴半径および位置の揺らぎの標準偏差に対する(a)  $Q$  値および(b) 共振波長。26 種類の揺らぎパターンに対して計算は行われており、各線は揺らぎパターンを固定して揺らぎの大きさを変化させていることに対応する。揺らぎパターンの違いに対する  $Q$  値および共振波長の分布を見たときの平均が赤直線で、標準偏差分の範囲が赤波線で示されている。

方法を向上させて構造揺らぎをさらに低減させるべく様々な検討を行った。その結果、格子寿命 2ns を達成し、200 万を超える  $Q$  値をもつナノ共振器の実現に成功した。この成果は、*Nature Photonics* にも掲載され、各種の新聞雑誌等で報道され、大きな注目を集めることとなった。さらに、その後のより詳細な検討により、我々の提唱する一連の高  $Q$  値ナノ共振器の概念は、様々に活用され、強結合状態の観測が世界各国で可能になるという極めて重要な貢献をすることができた。このような強結合状態の形成が可能になると、これまで想定されていなかった極めて興味深い現象が観測されるようになってきた。それは、強結合に伴うラビ分裂スペクトルの中央に第 3 の発光ピークが発生する（言い換えればトリプレット発光が観測される）という原子系では起こりえない現象が見られたことである。本研究では、このような新現象の解明に取り組み、世界で初めて、その起源を明らかにすることに成功した。以下、その詳細について述べる。

前項(4-2)では、量子アンチゼノ効果を導入し、弱結合状態における離調時における共振器準位の発光の起源を明らかにした。本研究では、さらに理論モデルを精緻にすることで、強結合状態のトリプレット現象を理論的に説明すべく検討を行った。そのために、前項のような、量子ドットを単純な 2 準位電子系で近似するのではなく、スピン状態を考慮したモデルを導入した。量子ドットに注入されるキャリアはスピン角運動量をもつため、注入されるキャリアの数やスピンの向きに応じて電子および正孔の最低エネルギー準位からなる S-シェルだけを考えても 16 通りの電子・正孔の配置が図 10 のように存在する。そして、それぞれの電子や正孔はクーロン相互作用や交換相互作用を生じるため、S-シェル内部の電子・正孔の配置に応じて発光の遷移エネルギーや偏光方向が変化する。さらに、量子ドットにはより高次の準位も存在するが、

S-シェルについてのみ 16 通りの配置と注入キャリア間の相互作用を厳密に考慮し、他の準位の影響は従来のモデルと同様にクーロン相互作用および交換相互作用による純位相緩和として取り扱った。またナノ共振器は図 10(a)中の  $y$  方向に偏光した電界をもち、自由空間への光子放出に伴うダンピングで決まる  $Q$  値をもつ共振モードとして取り扱った。量子ドットはナノ共振器モードと相互作用するだけでなく、ナノ共振器内に染み込んでいる自由空間モードとも相互作用する。より具体的には、S-シェル内の電子および正孔がもつ合成角運動量とキャリア同士のクーロン相互作用および交換相互作用によって、光学的に活性な状態としては、逆方向のスピンをもつ電子・正孔対からなるブライトエキシトン( $BX^0$ )、3 つのキャリアが注入された状態である正に荷電したエキシトン( $X^+$ )、負に荷電したエキシトン( $X^-$ )、4 つのキャリアが注入された状態であるバイエキシトン( $XX^0$ )が生じ、これらの状態がナノ共振器および自由空間モードと相互作用する。そして、この量子ドット・ナノ共振器から自由空間に設定したスペクトルフィルターを通して光検出器に入射する光強度を量子マスター方程式により計算し、フィルターを中心周波数を変化させて行くことで発光スペクトルを計算した。

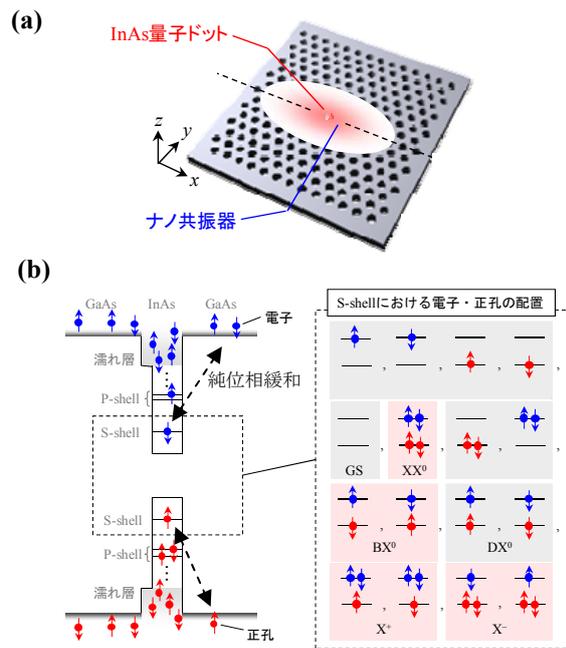


図 10: 量子ドット・光共振器結合系の模式図。(a) 2次元フォトニック結晶ナノ共振器と InAs 量子ドット。(b) 量子ドットの様々な状態。

まず純位相緩和あるいはアンチゼノ効果が生じない場合において、共振器の共振波長を徐々に変化させながら計算した発光スペクトルを図 11(a)に示す。実際には  $x$  偏光成分および  $y$  偏光成分が得られるが、ここではナノ共振器との相互作用に着目しているため後者のみを示す。量子ドットからの発光スペクトルは短波長側から順番に  $X^+$ ,  $BX^0$ ,  $XX^0$ , および  $X^-$  からの 4 つの発光ピークから構成されていることが分かる。ここで  $X^{+/-}$  の発光ラインは右回り、および左回りに円偏光した 2 つの発光ピークが、2 重縮退のために重複して 1 つの発光ピークとなっている。一方、 $BX^0$  と  $XX^0$  の発光ラインにおいては閉じ込めポテンシャル

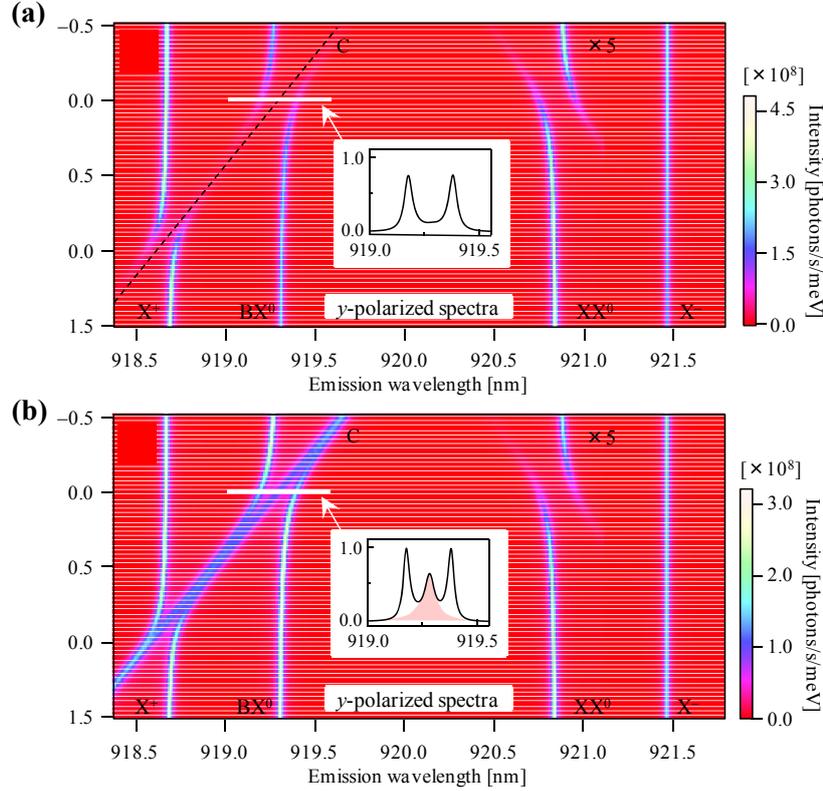


図 11: 量子ドット・光共振器結合系の  $y$  偏光発光スペクトル。(a) 純位相緩和あるいはアンチゼノ効果がない場合。(b) 純位相緩和あるいはアンチゼノ効果がある場合 (線幅広がり  $30 \mu\text{eV}$ )。

の異方性による微細構造分裂で生じた  $x$  方向および  $y$  方向に直線偏光した 2 つの発光ピークのうちの  $y$  方向のピークが現れている。このような状況において、まず共振器 (C) が  $X^+$  の発光ラインと共鳴すると、発光ピークは 2 つに分裂していることが分かる。これは共振器と  $X^+$  によるラビ分裂である。さらに、共振器の共振波長が長波長側へと移動して  $BX^0$  の発光ラインと共鳴すると、再度、ラビ分裂が生じていることが分かる。両者の分裂幅の違いは前者が円偏光であるのに対して、後者が直線偏光であることに起因する。また共振器が  $BX^0$  の発光ラインに共鳴した際、 $XX^0$  の発光も同時にラビ分裂していることが分かる。この現象は、 $XX^0$  の発光遷移の終状態が  $BX^0$  であることに起因する。このように、量子ドット中のスピン状態を考慮することで、量子ドットの性質が発光スペクトルに詳細に再現されている。しかしながら、この純位相緩和が存在しない状況では、共鳴時にはラビ分裂が生じるのみであり、実験で観測されているトリプレットは生じていない。

次に純位相緩和あるいはアンチゼノ効果が存在する場合 (位相緩和による線幅広がり  $30 \mu\text{eV}$ ) における発光スペクトルの計算結果を図 11(b)に示す。同図から共振器準位が量子ドットの全ての発光準位 ( $XX^0$ ,  $BX^0$ ,  $X^{+/-}$ ) とも離調しているにもかかわらず、共振器準位の発光を確認することができる。これはアンチゼノ効果によって離れた量子ドットの準位から共振器準位へとエネルギーが供給されるためである。さらに、共振器が  $X^+$ 、および  $BX^0$  と共鳴する際には、ラビ分裂した 2 つの発光ピークの中央に共振器の共振波長に沿って発光

するピークが存在し、共鳴時のトリプレットが再現されていることが図 11(b)の挿入図のように分かる。このトリプレットの形成は下記のように説明できる。本モデルにおいては S-シェル内部における図 10 に示す様々な電子・正孔の配置を考慮して計算をしているが、ある特定の時刻において S-シェル内部に生じる電子状態は 1 つに限られる。このため、例えば  $BX^0$  と共振器とが共鳴した際には、ランダムなキャリア注入により  $BX^0$  が形成された場合には、共振器との相互作用によりラビ分裂が生じる。その一方で、 $X^+$ ,  $X^-$ , および  $XX^0$  が生じた場合には、アンチゼノ効果によって共振器準位が発光する。この場合、共振器はラビ分裂することはできないので、共振器内の光子はそのまま自由空間へと放出され、発光スペクトルにおいては共振器の発光がそのまま現れる。ラビ分裂と純粋な共振器準位の発光はランダムに生じるため、時間的に平均された発光スペクトルはトリプレットを形成する。さらに

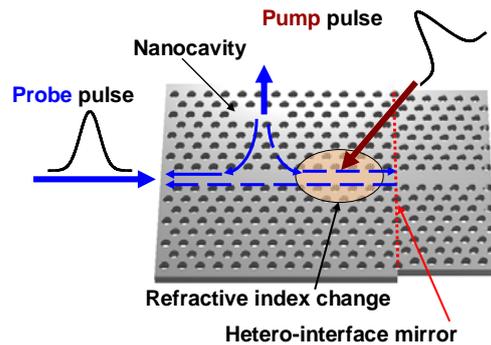


図 12：共振器  $Q$  値制御の概念図

詳細な検討によると、アンチゼノ効果以外にも共振器と相互作用している  $BX^0$  に対して、別のキャリアがさらに注入することで生じる高次過程によってもトリプレットは生じうるが、これは強励起状態でのみ生じることが分かった。よって弱励起状態で観測される共鳴時のトリプレットは、主にアンチゼノ効果の帰結であることが明らかにされた。ここで、共鳴時のトリプレットは全ての実験において観察されているわけではなく、通常の Rabi 分裂だけが得られている実験報告も存在することを述べておく必要がある。これは共鳴時のトリプレットは基本的にアンチゼノ効果に起因しているため、共振器の  $Q$  値が十分高く、かつ結合定数が十分大きい場合にしか発現しない現象であるためと考えられる。

以上のように量子ドット・ナノ共振器結合系を精密に表現できるようになったことは、今後、この系を用いて超高効率発光やナノ共振器レーザ等を実現し、また量子ゲート等の応用を検討していく上できわめて有用であると考えられる。

#### (A-4) ナノ共振器の制御と新機能の創出

本研究では、今後の光量子情報システムの構築を始めとする様々な新たな応用展開(光子—電子系の結合状態の動的制御や、オンチップに集積された様々なエレメント間の光子移動の動的制御の実現など)を念頭に入れ、さらに高度な光の発生/制御技術を開発すべく、(a)ナノ共振器の  $Q$  値の制御、および(b)高  $Q$  値ナノ共振器を用いた新たな強結合システムの構築とその結合状態の動的制御にも取り組んだ。これらの研究項目は、§ 2(2)で述べたように、当初の計画に含まれていなかった新たな展開である。

まず、(a)のナノ共振器の  $Q$  値制御の成果について述べる。我々が提唱する  $Q$  値制御の概念図を図 12 に示す。本システムは、共振器と導波路、ヘテロ界面を利用した完全反射鏡からなる。このシステムでは、共振器の  $Q$  値は、共振器と導波路との結合により決まる面内  $Q$  値( $Q_{in}$ )と、共振器と自由空間との結合により決まる面垂直方向の  $Q$  値( $Q_v$ )に分けることができる。この系における  $Q_{in}$  は、共振器から導波路右方向へ漏れる光と左方向へ漏れ、ヘテロ界面を經由して漏れる光の干渉によって決まるため、共振器とヘテロ界面の間の屈折率を変化させることにより  $Q_{in}$  を動的に変化させることが可能である。屈折率変化は、スラブ上方の自由空間から共振器-ヘテロ界面間の導波路に光パルス(制御光)を照射し、自由キャリアを生成する方法を利用する。共振器全体の  $Q$  値( $Q_{total}$ )は、前述の 2 波の位相差を  $\theta$ 、ヘテロ界面がない場合の面内  $Q$  値を  $Q_{in0}$  として

$$1/Q_{total} = (1 + \cos \theta)/Q_{in0} + 1/Q_v$$

と表せる。この式より、 $\theta$  を 0 から  $\pi$  に変化することで  $Q_{total}$  を最小値の  $Q_{in0}/2$  から最大値の  $Q_v$  まで変化させることが可能である。また逆に  $\theta$  を  $\pi$  から  $2\pi$  まで変化させることで  $Q$  値を最大値の  $Q_v$  から最小

値の  $Q_{in0}/2$  まで変化させることが可能である。図 13 に、実際に実験にて得られた  $Q$  値変化の様子を示す。同図より、 $Q$  値は、3,800 から 22,000 まで増大し、かつスペクトル強度も大幅に増大していることがわかる。この結果は、我々が提案方法により、 $Q$  値が確かに制御できていることが示された。以上の成果は、幸いにも、英科学誌 *Nature Materials* に掲載され、併せて、朝日、毎日新聞を始めとする各種のメディアで報道され、多くの注目を集めた。

以上のように、本項目において、当初の計画を遥かに超える成果が数多く出てきており、極めて順調に研究が進展したと結論づけることが出来る。

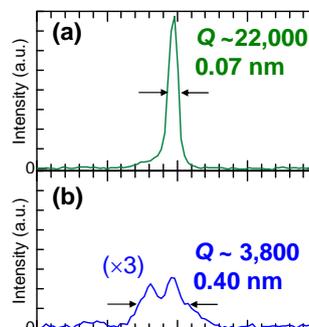


図 13: 共振器  $Q$  値の動的制御の実験結果 (a) 動的制御を行った場合 (b) 動的制御を行わない場合。

### 成果の位置づけ、類似研究との比較

すでに述べたように、本サブテーマで、得られた成果は、幸いにも、米科学誌 *Science* 2 編、*Nature*

*Materials* 1 編、*Nature Photonics* 2 編にも掲載され、併せて、各種の新聞、雑誌等で報道されるなど、科学的・技術的インパクトが極めて高く、国内外の大きな注目を集めることが出来た。以下に、項目毎に、インパクト、国内外の他の研究動向と比べた位置づけを具体的に述べる。

1) 2次元フォトニック結晶による自然放出制御、特に、2次元フォトニックバンドギャップによる2次元面内の自然放出の禁止と、垂直方向への自然放出再配分効果の実証は、世界的に例の存在しない極めてユニークな成果である。特に、量子ナノ構造との融合により、2次元結晶における最も理想的な自然放出の抑制と再配分(15-17倍)を実現したことは、特筆に値する。現在、固体照明技術が注目を集めている中で、最も究極的な自然放出制御を示したことにより、その科学的・技術的インパクトも極めて高いと言える。

2) ナノレーザや、電子・光子強結合デバイス(光量子演算デバイス)実現のキーとなる、ナノ共振器に関しても、本グループが、世界をリードする成果を挙げている。本CREST研究を通じて実現した  $Q$  値は、世界最大の値である。幸いにも、我々の提案するナノ共振器およびその基本的な考え方は、世界各国(例えば、Caltech、ETH、UCSB、東大、NTT など)で採用され、世界標準となりつつある。(なお、東京大学とは、今後も、連携研究を積極的に進め、本分野の進展に益々寄与していきたいと考えている。)

3) 2)で述べたナノ共振器と量子ナノ構造(量子ドット)の融合は、現在、世界的に研究が進みつつあるが、常に、議論を呼んできたのは、ナノ共振器の共鳴波長と量子ドットの波長に大きな離調があっても、ナノ共振器の共振波長において、極めて強い発光が得られることであり、これまで、謎の現象であった。本研究において、その原因が、量子ドットの純位相緩和(観察に相当)に伴う、“量子アンチゼノ効果”(観察により、緩和レートが増大する効果)によることを初めて明らかにし、その定量化に成功した。この成果は、ナノ共振器+量子ドット系の発光メカニズムを明らかにするもので、その科学的インパクトは極めて高いと言える。

4) 上記2でも述べたように、本研究で、世界最大の  $Q$  値をもつナノ共振器実現に成功しているが、先にも述べたように、次に重要になってくるのは、その動的制御である。前項でも述べたように、この  $Q$  値の制御は、もともと本CREST研究には、含まれていなかったが、幸いにも、世界に先駆け、ナノ共振器の  $Q$  値の動的に制御に成功した。この成果は、光メモリーチップや、光と物質との相互作用の増大を利用した光量子演算素子などに向けた第一歩と言え、その科学的インパクトは極めて高い。

## 4.2 サブテマ(B): 3次元フォトニック結晶による究極的な光の発生/制御技術の開発

### (1) 研究実施内容及び成果

2次元結晶における発光制御においては、バンドギャップ効果の存在しない上下方向へのわずかな光の漏れが最終的なボトルネックとなると考えられる。従って、真の意味で、究極的な光の発生/制御を実現するためには、全方向にバンドギャップをもつ完全3次元結晶の開発・利用が不可欠である。

#### (B-1) ストライプ積層法による多層化結晶作製と発光制御

フォトニック結晶としては、これまで研究代表者等が取り組んできたウエハ融着法に基づくストライプ積層型3次元結晶構造を基本とした。H17年度は、積層数を本CREST開始前の倍、すなわち全体で17層を積層した結晶(図18(a)に示すように、発光層を含んで上下8層ずつ積層した構造)の実現を目指して研究を進め、幸いにも、その実現に成功することができた。積層方向への透過率の基礎特性評価により、図18(b)、(c)に示すように、従来の9層結晶における透過率の減衰が-30dBであったのに対して、17層とすることで-46dBの減衰へと大幅に増大させることに成功した。

H18年度には、3次元フォトニック結晶中に埋め込まれた発光体に対する発光抑制効果について、検討した。図19(a)、(b)に示すように、自然放出の抑制効果について、従来の9層結晶に比べて10dB以上の増大に成功し、3次元結晶において世界最大の自然放出抑制効果の実証に成功した。さらに、結晶中央に埋め込んだ点欠陥ナノ共振器の $Q$ 値についても評価を行った。この結果、3次元フォトニック結晶において、当時、世界最大の $Q$ 値 $\sim 350$ を実現した。(3次元フォトニック結晶における、さらなる $Q$ 値増大に関しては、後述する。)

理論面では、ストライプ積層型3次元フォトニック結晶のもつ発光抑制効果(完全結晶部における発光制御効果)について、積層数および構造揺らぎの影響を検討した。計算モデルを、図20(a)に示す。作製工程において生じる揺らぎを再現するために、中心層のストライプ位置が平行にずれるモデルとなっている。また、発光体(ダイポール)は中央層

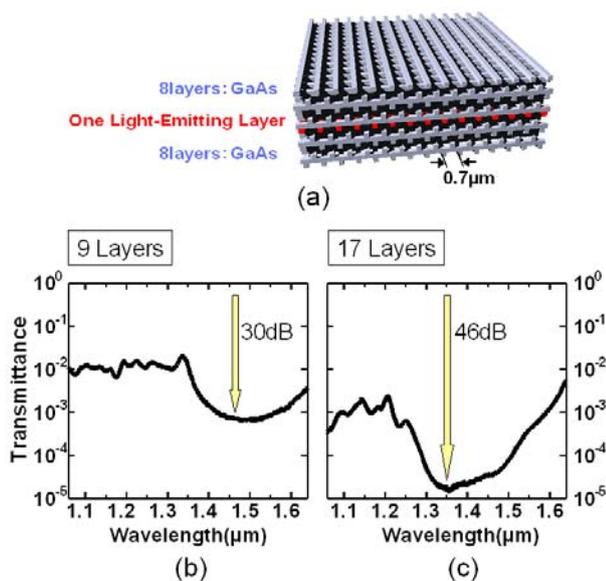


図18: (a) 発光層を挟んで上下に8層のフォトニック結晶を形成した、17層積層構造の模式図。(b) 9層積層3次元フォトニック結晶の透過スペクトルの測定結果。(c) 17層積層3次元フォトニック結晶の透過スペクトルの測定結果。

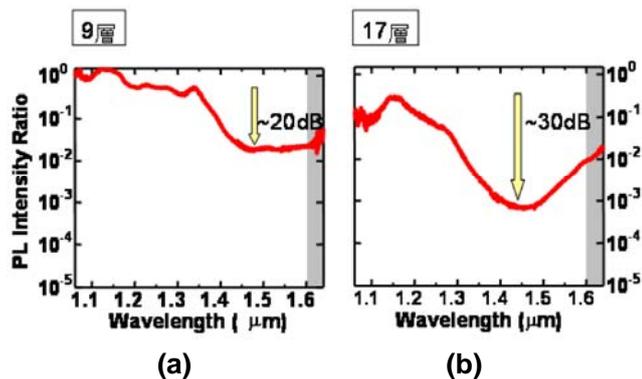
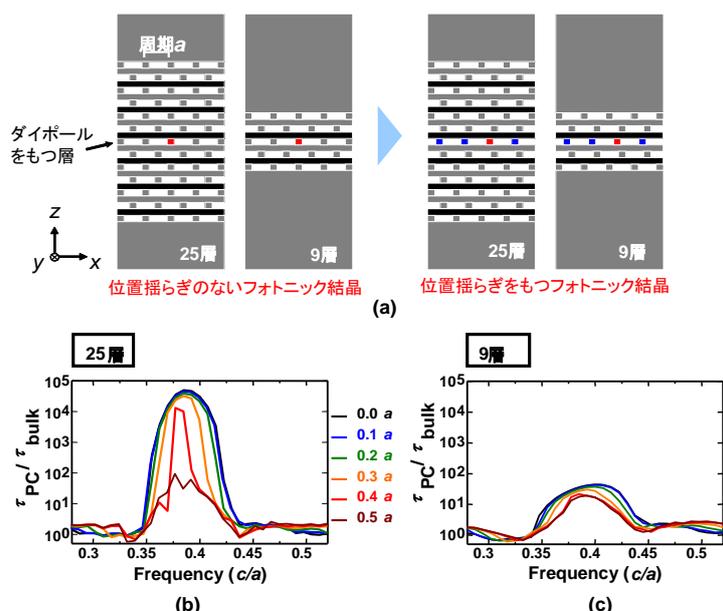


図19: (a) 従来の9層積層3次元フォトニック結晶の発光スペクトルの測定結果。(b) 今回得られた17層積層3次元フォトニック結晶の発光スペクトルの測定結果。

に導入されている。積層数としては、様々なものを検討したが、ここでは代表的なものとして、9層および25層の場合に対する計算結果を図20(b)、(c)に示す。まず、同図(b)に示すように、25層の結晶においては、揺らぎのない場合、40 dB以上の発光抑制効果（4桁以上の発光寿命増大）が見られるのに対し、構造揺らぎが増大するとともに、フォトニックバンドギャップの両側から発光抑制効果が減少することが分かる。具体的に、揺らぎが $0.3a$ （ $a$ は格子定数）までの場合には、バンドギャップ中央付近で、40 dBを越える発光抑制効果が得られるが、揺らぎが $0.4a$ 以上に達すると、全バンドギャップ域で、発光抑制効果が10–20 dB程度に減少することが分かる。一方、図20(c)に示すように9層のフォトニック結晶においては、揺らぎ量に関わらず発光抑制効果が変化しないという極めて興味深い結果が得られた。これらの結果は、ある程度の積層数（ここでは、9層）までは、揺らぎの有無に関わらず、積層方向のバンドギャップ効果が発光過程を支配しており、揺らぎが存在しても発光抑制効果に影響を与えないが、積層数がある程度以上（ここでは、25層）になると、積層方向のバンドギャップ効果が十分に大きくなり、揺らぎの影響が無視出来なくなることを意味している。このような積層数および揺らぎの影響を明解に示したのは本研究が初めてである。特に興味深いのは、9層積層程度までは、揺らぎの有無に関わらず、10–20dB程度の発光抑制効果が得られることであり、3次元結晶の有効性を示していると言える。もちろん、25層のように（ここでは示していないが、17層の場合も同様に）、積層数が十分に増えると、揺らぎを十分に押える必要があることは言うまでもない。



**図 20:** (a) 3次元フォトニック結晶の積層数およびストライプ位置の揺らぎが、発光抑制効果に与える影響を検討するための理論モデル。作製工程における揺らぎを再現するために中心層のストライプ位置が平行にずれるモデルとなっている。(b)、(c) 25層および9層積層フォトニック結晶に揺らぎを導入した際の発光再結合寿命の変化の解析結果。縦軸は構造のない誘電体中での発光再結合寿命で規格化している。

以上のように、3次元結晶による発光制御の基盤技術の確立を、理論および実験により行った。本CRESTにより、2次元結晶に比べて、十分大きな自然放出抑制効果が得られたことは、3次元結晶ならではの上下方向の光の状態数の低減の賜物と言える。一方、3次元フォトニック結晶のナノ共振器の $Q$ 値（ $\sim 350$ ）に関しては、同じく本CRESTで実現した2次元結晶の $Q$ 値と比べると、さらに改善の余地がある。3次元結晶において、強い光閉じ込めを実現するためには、構造揺らぎの十分に少ない結晶を、大面積で（面内閉じ込めを十分大きく）、かつ大きな積層数で（積層方向への光閉じ込め効果をも十分大きく）実現していくことが重要である。また、このような十分大きなサイズの3次元結晶を開発するこ

とは、フォトニック結晶分野の夢であった 3 次元光回路の実現にも資するものと考えられる。本研究では、以上を踏まえ、当初の研究項目には含まれていなかったが、本ストライプ積層型 3 次元結晶作製の高度化・深化にも、取り組むこととした。

**(B-2) ストライプ積層法による 3 次元結晶作製法の深化 – 自動位置合わせ法の導入–**

結晶の積層数を大幅に増大させるとともに揺らぎの影響を極力低減するため、精密自動位置合わせ・ウエハボンディング装置の検討を行った。開発した装置の概略を、図 21 に示す。位置合わせ用パターンを表面に形成した試料を相対・接近させた状態で、近赤外光を用いた透過観察により両試料間の相対位置を評価し、位置合わせを行い、最終的にボンディングを行うシステムである。

積層位置ずれの評価においては、計算機を用いた画像パターン認識を導入し、位置ずれの評価精度の向上を試みた。図 22 のような、グレーティング構造を複数配置した位置合わせパターンを設計し、画像認識により位置ずれを評価した結果、試料や観察用顕微鏡に多少の振動がある場合にも、安定して  $3\sigma \sim 10 \text{ nm}$  程度の高い位置ずれ計測精度が得られた。さらに、この計測結果を利用して、試料を保持するピエゾステージをフィードバック駆動させることにより、自動位置合わせを可能とした。自動動作を実現した結果、図 23 のように、2 ステップ以内の迅速な位置合わせ動作が達成できた。最終的に、以上のような位置ずれ計測・位置合わせを繰り返しながら試料を接近・接触させてウエハボンディングを行う

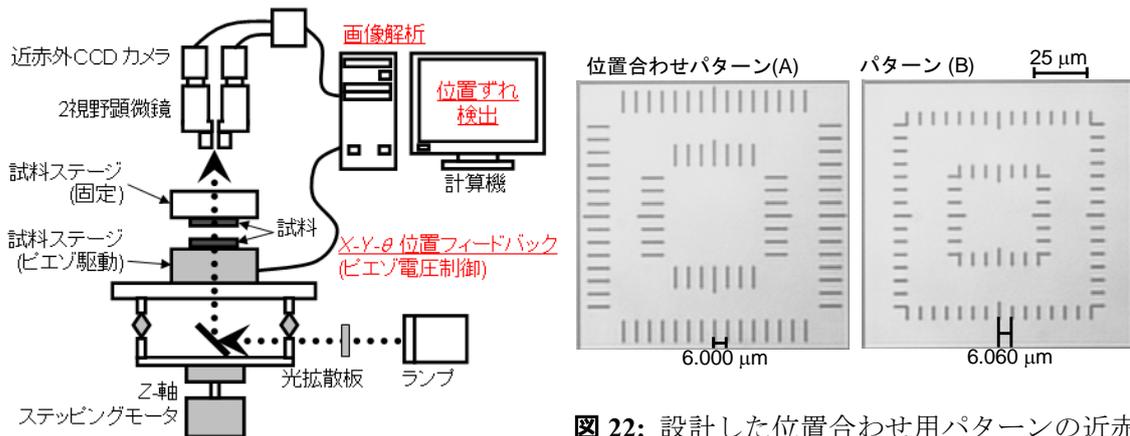


図 21: 開発した装置の概略図。

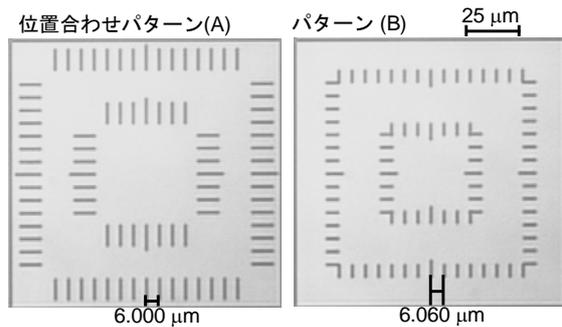


図 22: 設計した位置合わせ用パターンの近赤外光透過観察結果。2 つのパターンを対象にそれぞれ形成し、重ね合わせ画像を取得する。

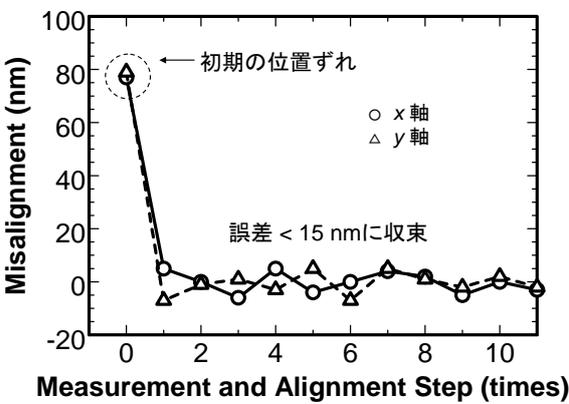


図 23: 自動位置合わせ動作の一例。初期に生じていた 80 nm 程度の位置ずれが、およそ 2 ステップ以内に 15 nm 以下に抑えられている。

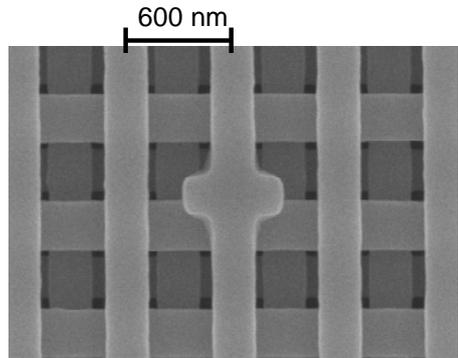


図 24: 自動位置合わせ / ウエハボンディング装置により作製した 5 層積層フォトニック結晶。

たところ、50 nm ( $\sim 0.1a$  に相当) 程度以下の誤差範囲での再現性のよい積層を可能とすることに成功した。さらに、2 視野の顕微鏡 (図 21 に既に記載済み) を導入し、2 点の位置ずれの同時計測を可能とすることで、回転補正も含めた自動積層による、大面積の精密 3 次元結晶の形成が可能となった。今回開発したシステムにより、図 24 のような高精度な 3 次元フォトニック結晶の形成にも成功しており、精密かつ多層の構造をもつストライプ積層型 3 次元結晶作製の基礎技術が確立したと言える。

### (B-3) 3次元フォトニック結晶による新たな光制御法の発見 —表面光制御—

前項に示した高度な自動位置合わせ・ボンディング法により、大面積かつ極めて高精度な 3 次元結晶の形成のための基盤技術が構築出来たとと言える。この技術により、課題である、3 次元フォトニック結晶ナノ共振器における強い光閉じ込め効果を実現できるものと期待される。

本 CREST では、新たに、3 次元結晶の表面に着目し、結晶内部にナノ共振器を埋め込むよりも、遥かに少ない積層数で、強い光閉じ込め効果が得られることを発見した。通常、3 次元フォトニック結晶においては、その内部における光の制御が議論されてきたが、本研究により、表面に光が局在し、かつ極めて強い光閉じ込めが実現可能であることを発見した。これにより、3 次元結晶の新たな応用の道が開けるものと期待される。以下、その詳細について述べる。

まず、3 次元フォトニック結晶表面における光操作に向けて、3 次元結晶の表面に実際に光の状態が形成されるかを理論的に検討した。図 25(a)に、3 次元フォトニック結晶の模式図を示す。この図には、光の様々な伝搬方向が示されている。図 25(b)には、表面が存在しない場合、すなわち 3 次元フォトニック結晶の大きさが無限であると仮定した場合のフォトニックバンド図を示す。この図から、周波数  $0.29-0.34 c/a$  近傍において、光の状態が存在しない完全フォトニックバンドギャップが形成され、結晶中に光が存在できないことが分かる。しかし、表面を形成した場合には図 25(c)のように、これまでフォトニックバンドギャップが形成されていた周波数帯域に赤色で示される光の状態 (モード) が形成されることが分かる。この状態では、同図・左の挿入図が示すように、光が確かに表面に存在している。

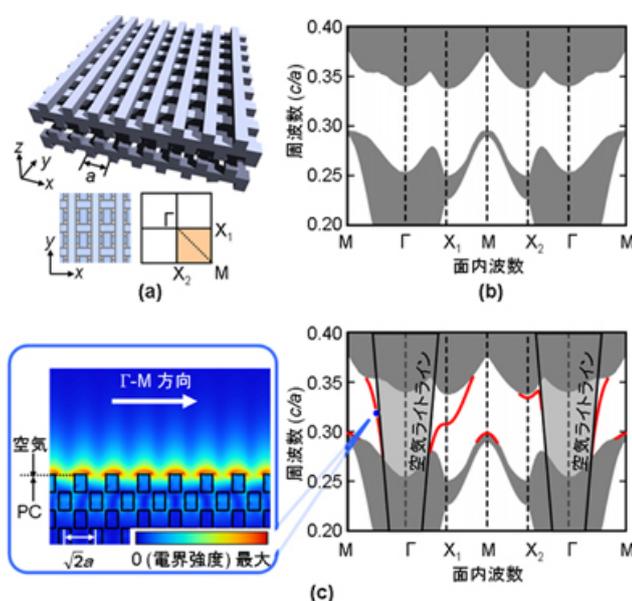


図 25: 3 次元フォトニック結晶の構造とバンド構造。  
**(a)** フォトニック結晶の構造模式図。  
**(b)** 表面をもたない無限の 3 次元結晶のバンド図。周波数  $0.29-0.34 c/a$  近傍において、光の状態が存在しない完全フォトニックバンドギャップが形成され、この周波数においては、結晶中に光が存在できないことがわかる。  
**(c)** 表面が存在する場合のバンド図。赤い線が、表面に形成されるモードを表す。左の添付図は、表面に光が局在している様子を示す。なお、空気ラインと書かれている灰色領域は、光が表面から自由空間へ逃げていく領域を示す。

このような理論的予測を実証するため、完全なフォトニックバンドギャップを持つ3次元フォトニック結晶の表面に、光の局在状態が形成されるかどうかを実験により調べた。試料としては、前項で述べた新たな位置合わせ装置を用いて形成した、8層積層3次元結晶を用いた。図26(a)のような実験系を用意し、フォトニック結晶表面の極近傍に、プリズムを配置した。プリズムに入射した光は底部で反射され外部へ出射されるが、底部にはわずかに光が染み出した状態（減衰波）ができる。もし、フォトニック結晶の表面に光の状態が存在するならば、この染み出した光はフォトニック結晶の表面に結合し、結果としてプリズムからの反射光強度が減少するものと考えられる。実際、図26(b)のように、ある特定の入射角 ( $\theta=52.3^\circ$ ) で特定の周波数 ( $\sim 0.36c/a$ ) の入射光に対して反射率が減少する現象が見られた。これは、まさしくフォトニック結晶の表面に光が結合したことを意味する。図26(c)は、このような測定をさまざまな光の入射角と周波数を測定した結果を示す。同図より、確かにフォトニック結晶表面に光の状態（光のモード）が形成される（光が局在する）ことがわかった。さらに、表面に光が閉じ込められ、実際に伝搬しうるかを、フォトニック結晶表面を直接的に顕微鏡観察することで、評価した。図27には、前述と類似したプリズム結合法を用いて、結晶表面に光を導入した後、光が表面を伝搬した様子を示している。フォトニック結晶の終端部分まで伝搬した光が、散乱されている様子が明確に見て取れる。伝搬距離（強度が  $1/e$  に減衰するまでの距離）を見積もった結果、 $385\ \mu\text{m}$  以上の長距離の伝搬を生じていることが明らかになった。このように、3次元フォトニック結晶において、表面に光が局在し得ることをはじめて実証することに成功した。

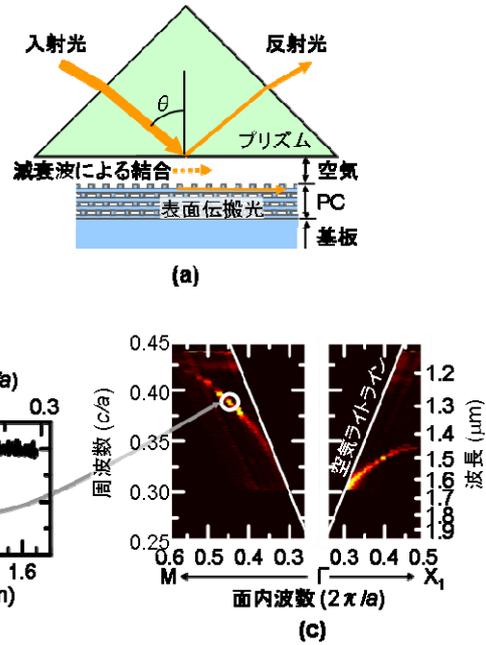


図26: 3次元フォトニック結晶の表面モード（表面状態）の存在の実験的検証。(a) 表面モードの測定法。(b) 入射角 ( $\theta=52.3^\circ$ ) の場合の測定結果の一例。(c) さまざまな角度と波長で、反射スペクトルを測定することにより得られた表面モードのバンド構造。

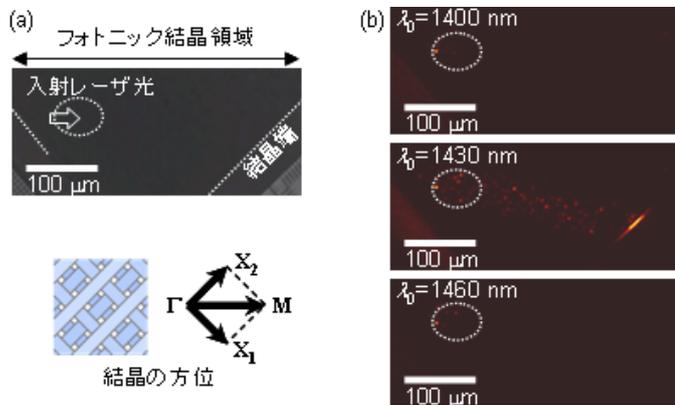
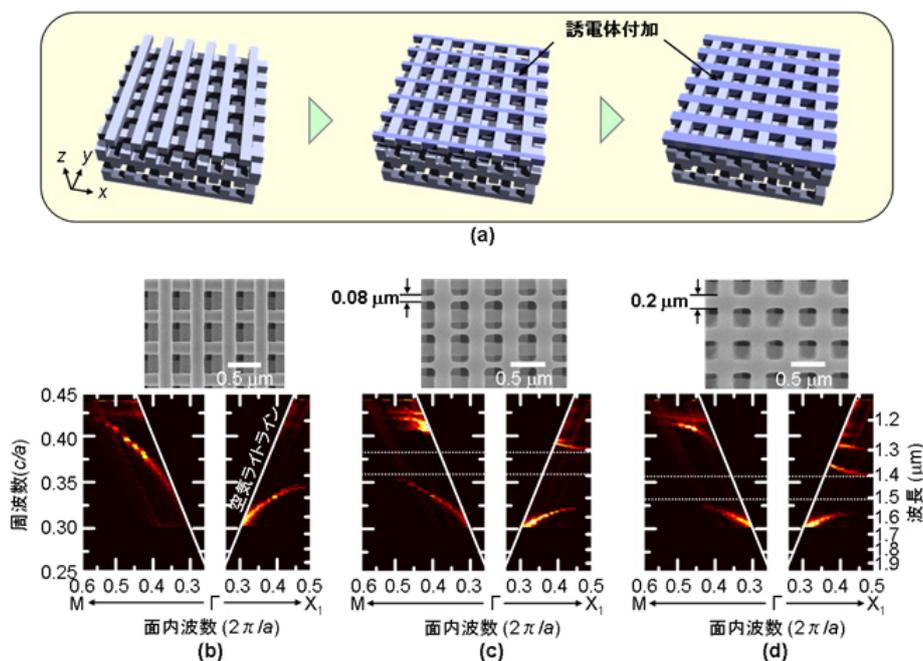
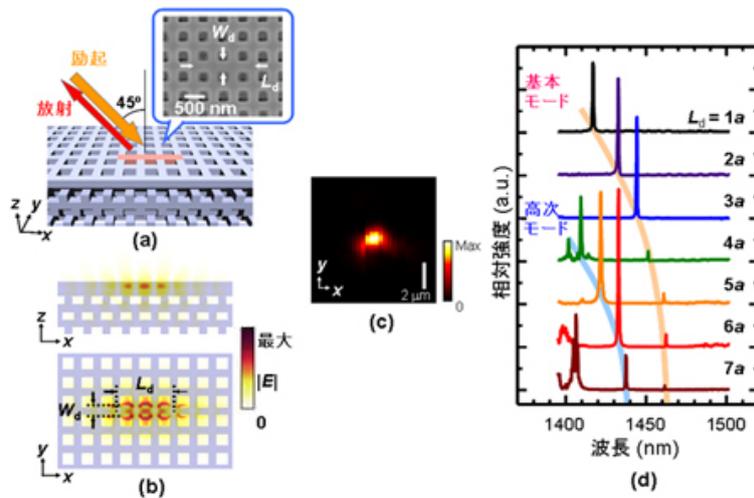


図27: (a) 表面モードへの光結合の測定法。(b) 表面を光が伝搬した後、フォトニック結晶端で散乱される様子の一例（入射角  $\theta=45.7^\circ$  の場合）。様々な波長について評価を行った結果、入射波長が表面モードと一致した場合（波長  $1430\ \text{nm}$ ）にのみ、明確な伝搬光が観察された。

以上の結果を踏まえて、フォトニック結晶の表面を用いて光を自在に制御する方法を検討した。そのためには、任意の表面位置に光を強く閉じ込めることが自在にできるようになることが重要である。そこで、まずフォトニック結晶表面に全く光の状態が存在しない状況「表面モードギャップ」を形成することを考えた。さまざまな試行錯誤の結果、図 28(a)のようにフォトニック結晶表面の構造を変化させる方法が有効であることを発見した。具体的には、もともとのストライプ状の表面に対して、これと直交する方向に誘電体を付加した格子状の表面にすることが有効である。図 28(b)から(d)は、このような表面構造を実際作製し、表面モードを実験的に評価した結果を示している。図 28(b)は、もともとの表面構造に対する評価結果であり、全ての周波数域（波長域）に表面状態が存在するが、図 28(c)のように幅  $0.08 \mu\text{m}$  の直交する誘電体を付加すると、波長  $1.3\text{--}1.4 \mu\text{m}$  域に表面モードの存在しない帯域である表面モードギャップが形成されることがわかった。さらに、図 28(d)のように、幅  $0.2 \mu\text{m}$  の誘電体を付加した場合には、波長  $1.4\text{--}1.5 \mu\text{m}$  域に表面モードギャップが形成されることがわかる。このような 3 次元結晶の表面モードギャップの特長として、光の偏光状態に依らずに表面への光の存在を禁止することができることが挙げられる。表面においても、3 次元結晶ならではの偏光に依存しない光制御が可能となることは、自在な光制御に向けて極めて有効な結果である。



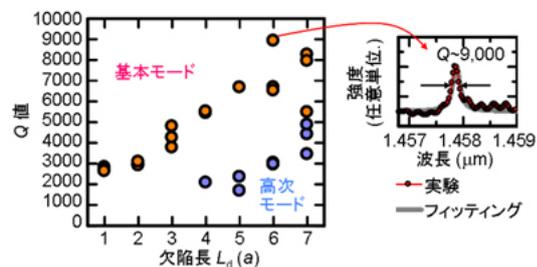
**図 28:** 3 次元フォトニック結晶の表面構造の制御による表面モードギャップの形成。(a) 表面構造の制御の概念図。もともと最表面に存在するストライプと直交する方向に、誘電体を少しずつ付加していく。(b) もともとの表面構造と表面状態のバンド構造。表面モードは、バンドギャップ帯域全域に存在する。(c), (d) 直交する誘電体を付加した場合の表面バンド構造の変化。(c) のように、幅  $0.08 \mu\text{m}$  の誘電体を付加すると、波長  $1.3\text{--}1.4 \mu\text{m}$  域に表面モードの存在しない状況（表面モードギャップ）が形成され、(d) のように幅  $0.2 \mu\text{m}$  の誘電体を付加すると、波長  $1.4\text{--}1.5 \mu\text{m}$  域に表面モードギャップが形成される。



**図 29:** 3次元フォトニック結晶表面への人為的な表面欠陥モードの導入とその特性。(a) 表面における人為欠陥（ピンク色の部分）の導入。挿入図は、表面欠陥部の電子顕微鏡写真を示している。通常の部分よりも、わずかにその幅 ( $W_d$ ) を増加させている。(b) 表面欠陥局在モードの計算結果。欠陥部分に光が局在し、欠陥モードが形成されていることがわかる。(c) 表面欠陥モードの測定結果。わずか数  $\mu\text{m}$  以下の部分に光が強く局在している様子がわかる。(d) 表面欠陥モードの共振スペクトル。表面欠陥の長さ  $L_d$  を長くすると、欠陥モード波長が長波長側へシフトし、かつ高次のモードが現れてくることがわかる。

このように、表面に光が全く存在できない状態を作り上げることに成功した。そこで続いて、一部分だけ構造を乱して人為的な「表面欠陥」を形成すると、その位置に光が局在するとの予想から、表面構造を図 29(a)のように変化させた場合について検討した。具体的には、誘電体の幅をわずかに増加させた。電磁界シミュレーションを行ったところ、図 29(b)のように、幅を増加させた部分にだけ点状に光が局在することが分かった。そこで実際に、幅をもとの  $0.2 \mu\text{m}$  から  $0.275 \mu\text{m}$  に増加させた欠陥構造を、8層の積層構造をもつ3次元結晶の表面に作製し、実験を行った。人為的に導入した欠陥を中心とした領域について、光の局在の様子を観察した結果を図 29(c)に示す。わずか数  $\mu\text{m}$  以下の非常に狭い欠陥領域のみに、光が局在していることが確認できた。

さらに、さまざまな大きさの欠陥を作製したところ、図 29(d)のように、欠陥の大きさに依存して異なる波長の光を欠陥部に蓄えられることがわかった。図 30に示すように、形成した表面ナノ共振器の  $Q$  値は最大で 9,000 以上にも達した。この値は、前述の3次元フォトニック結晶内部のナノ共振器の  $Q$  値を 30 倍程度以上、上回るものであった。表面を利用したにもかかわらず、フォトニック結晶の中に埋め込んだ場合よりもよい性能が得られたことは、予想を上回る結果であった。図 30の結晶の積層数は8層であるが、この積層数を増やしていくとさらに、 $Q$  値が増大していくものと期待される。以上の結果は、表面の構造を工夫することにより、さまざまな光制御の可能性が広がることを示している。



**図 30:** 8層積層構造の表面に形成したさまざまな表面ナノ共振器モードの  $Q$  値の測定結果。

図 30の結晶の積層数は8層であるが、この積層数を増やしていくとさらに、 $Q$  値が増大していくものと期待される。以上の結果は、表面の構造を工夫することにより、さまざまな光制御の可能性が広がることを示している。

本成果は、3次元フォトニック結晶の応用範囲と自由度を格段に広げるもので、幸いにも、英国科学雑誌 Nature に掲載され、朝日、読売をはじめとする各新聞等に取り上げられ、大きな注目を集めた。本研究で得られた知見は、金属における表面プラズモンとも類似性があるため、物理的にも大変興味深い内容あり、金属表面の欠点である光吸収の影響が完全に排除できることから、高感度かつ高度な光-物質相互作用が実現でき、従来よりも桁違いに高い感度を持つバイオセンサーなどへの応用も考えられる。さらには、NEMS と呼ばれる微小な機械素子と 3次元フォトニック結晶表面との融合によるナノオプトメカニカル素子の実現など、新たな分野開拓も期待される。

#### (B-4) 作製法の簡潔化に向けた新たな 3次元フォトニック結晶形成法の検討

研究代表者は、従来からのウエハ融着法に基づく、3次元結晶作製法に加え、本 CREST 開始前に、図 31 に示すような新たな 3次元結晶作製法を考案した [特願 2005-106729 号]。これは、左右 45°の斜め方向から、エッチングを 2度繰り返し、基本結晶を作製するもので、3次元結晶の作製法を大幅に簡略化できるものと期待される。

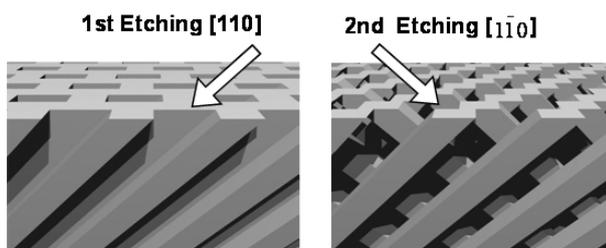


図 31: 2方向斜めエッチング法による 3次元結晶の実現法。作製した結晶構造は、従来のストライプ積層型結晶を 90°回転したものとなる。

H17 年度は、この新しい 3次元結晶作製の基礎技術を開発するための研究を開始し、基本設計および斜めエッチング技術の検討を行い、サブミクロン周期の斜めエッチングが確かに可能なことを実証した。まず、平面波展開法、FDTD 法に基づく理論計算により、結晶作製のための具体的なパラメータの抽出を行った。図 32 には、FDTD 法により計算した、結晶の垂直方向 ( $z$  方向と定義) に伝搬する光の透過率の計算結果 (入射光が  $x$ 、 $y$  方向にそれぞれ偏光する 2つの場合の結果) を示している。これより、 $2a_z$  ( $a_z$  は  $z$  方向に対する 1 周期) 以上の厚みがある場合に、20 dB 程度以上の透過率の減衰が得られることが判明した。また、波長 1.55  $\mu\text{m}$  域に完全バンドギャップを実現するためには、 $a_z$  を 0.8–0.9  $\mu\text{m}$  程度とすることが適切であることがわかった。以上の設計をもとに、実際に、サブミクロン周期の斜めエッチングの試みを行った。その結果、図 33(a) に示すように、確かに、斜め方向に対するエッチングが可能であることを実証することに成功した。さらに、図 31 に示した概念に従って、実際に 2次元パターンに対して 2方向からの斜めエッチングを試み、初期的ながら、図 33(b)、(c) に示すように、初めて 2方向斜めエッチングの可能性を示すことに成功した。

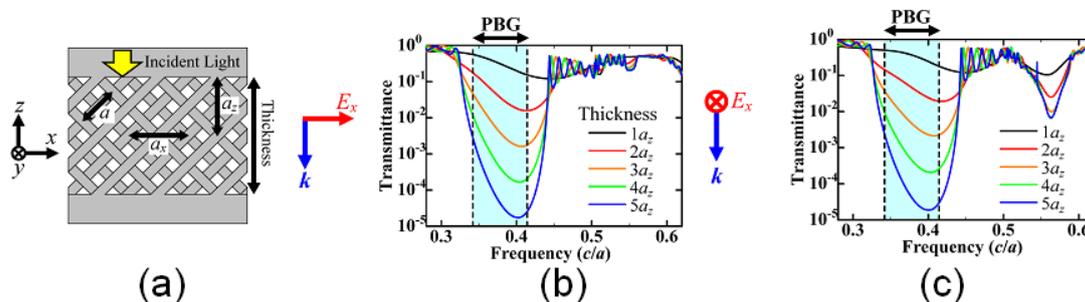


図 32: 3次元 FDTD 法による斜めエッチング型 3次元フォトニック結晶の透過率の計算結果。(a) 計算に用いた構造の模式図。(b) 入射光が  $x$  方向に偏光する場合、および (c)  $y$  方向に偏光する場合について、 $z$  方向の厚さ ( $a_z$ ) をさまざまに変化させたときの透過率の計算結果。 $2a_z$  以上の厚みがある場合 20 dB 以上の減衰が得られていることがわかる。

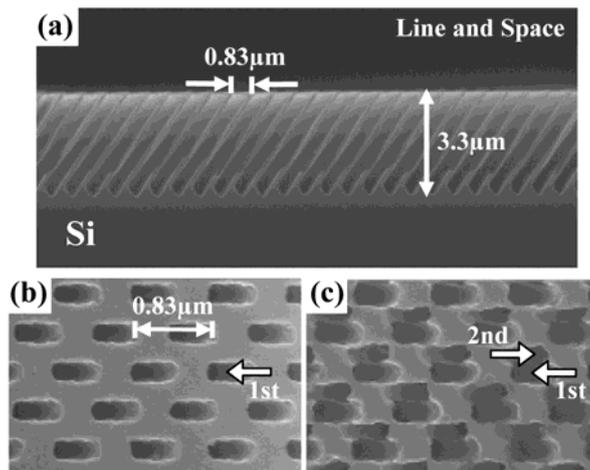


図 33: (a) サブミクロン周期の構造（1次元構造）を斜めエッチングした試料の断面電子顕微鏡像。(b) 2次元パターンに対して1回目の斜めエッチングを行った後の平面電子顕微鏡像。(c) 2次元パターンに対して、2回目の斜めエッチングを行った後の平面電子顕微鏡像。

H18年度は、詳細なプラズマ条件の検討を行い、45°斜めエッチングに適した条件の検討を行った。斜めエッチングプロセスにおけるプラズマ解析のために、自己無撞着シース解析法と名づける計算手法を開発し、イオンシース形状および入射イオン軌道とエッチング角度分布の導出に成功した。プラズマエッチングにおけるイオンシース長は、数十  $\mu\text{m}$  ~ 数十  $\text{mm}$  であり、基本的にシースは半導体ウエハ表面に沿って形成されるため、通常は斜め方向に対するエッチングは不可能である。そこで本研究では、電界制御板をウエハ上方に設置し、ウエハ表面に形成されるイオンシースおよびシース電界を直接制御するという独自の技術を用いた。この技術を用いた斜め方向エッチングを解析するために必要な情報は、シース端位置、シース内の電荷分布（イオン軌道）、シース内の電位分布、の3つであるが、これらの間には相互に依存関係が存在するため、量子力学の第一原理計算等で使用される自己無撞着法を適用することによって解を導出することが可能となる。解析により、電界制御板の周囲を取り囲むようにして正電荷層、すなわちイオンシースが形成され、シース中では急激に電位が変動して加速電界が発生し、この電界により加速されたイオンが、おおよそ45度の角度で制御板中に入射するという解析結果が得られた。さらに、実験において得られたエッチング角度分布など、実験結果を定量的に説明することに成功した。このように、自己無撞着イオンシース解析法によって、電界制御板の効果を効率的に解析することが可能となり、より深くかつ側壁の垂直性の良い斜め45°エッチングを行なうための知見を得ることができるようになった。

さらに、大面積のエッチングに向けた、効果的な電界制御板の設計についての検討も行った。異方性の高い斜めエッチングを実現するには、イオンの平均自由行程よりも小さな領域で軌道を曲げ、同時に加速する必要がある。様々な解析の結果、本技術の核心として、先述の電界制御板をシース中に挿入し、

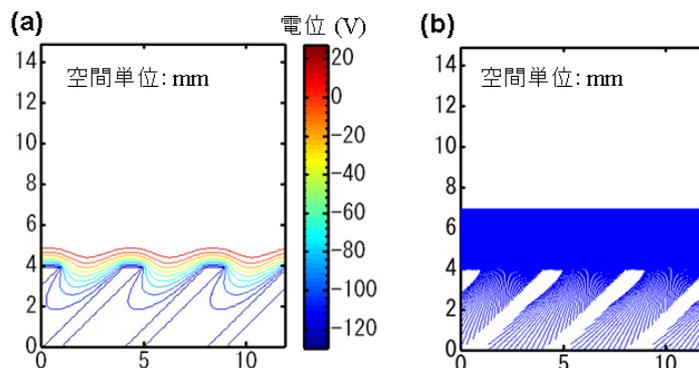


図 34: 並列の斜めの溝をもつ電界制御板における自己無撞着シース解析結果。(a) 電界制御板周辺での電位分布、(b) イオン軌道。

イオンに対する発散レンズを形成することが肝要であることが明らかにした。図 34 に示すような斜めの溝を並列に複数形成した電界制御板では、孔の横幅をシース長と同程度にすることによって、適切な発散レンズを形成することが可能であり、所望の角度にイオン軌道を曲げることができることが判明した。

以上の知見をもとに、2 方向からの斜めエッチングを試みた結果、広帯域で、反射率 > 97%をもつ結晶を実現することに成功した（図 35 は電子顕微鏡写真を、図 36 は透過・反射特性をそれぞれ示している）。図 35(b)に示す結晶表面の電子顕微鏡写真からも、まさしく 3 次元フォトニック結晶と呼ぶべき構造が形成できたと言える段階へと達したと言える。以上のように、当初の研究計画に沿って、順調に研究を進めることができた。特に、プラズマを用いたドライエッチング法により、世界最高性能の 3 次元フォトニック結晶を実現出来たことは特筆に値する。

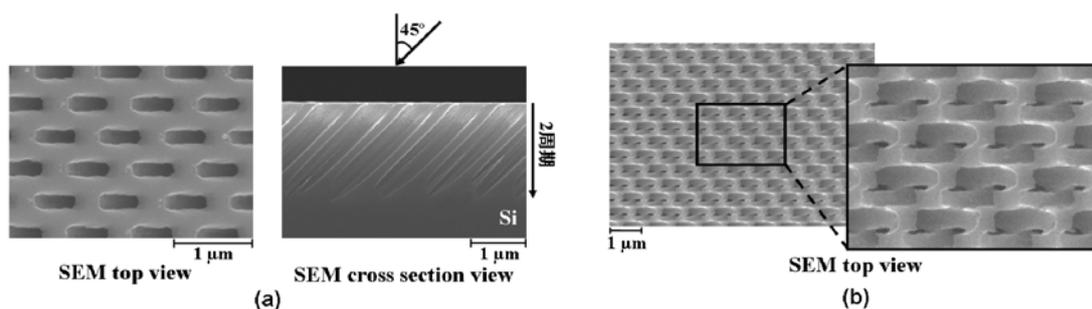


図 35: 2 方向斜めエッチング法による 3 次元結晶。(a) 1 回目エッチング後の、表面および断面電子顕微鏡像。(b) 2 回目のエッチング後の表面電子顕微鏡写真。

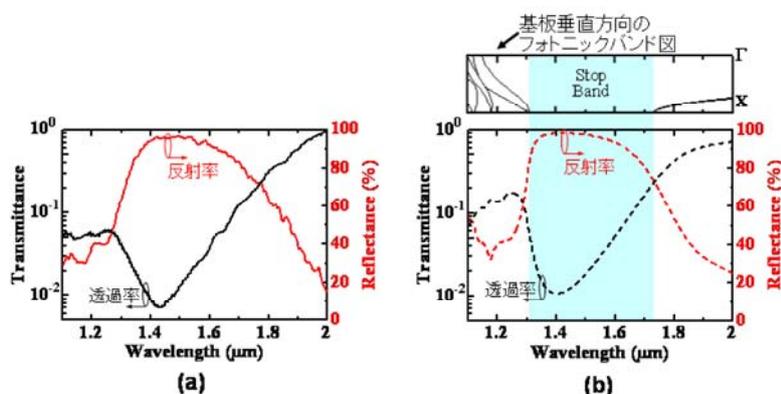


図 36: (a) 2 方向斜めエッチング法による 3 次元結晶の透過・反射スペクトル。(b) 理論計算結果。実験結果と計算結果が、よく一致していることがわかる。

### (B-5) 新たな 3 次元結晶への発光体、点欠陥ナノ共振器の導入と光の発生 / 制御

(B-4) に示したように、極めて強いフォトニックバンドギャップ効果をもつ 3 次元結晶の簡便な作製条件が確立されるようになると、今度は、いよいよ結晶内部に発光体や欠陥共振器を導入することが可能となる。H17 年度は、作製技術の確立に先立ち、新たな 3 次元結晶の中央部への点欠陥の導入に関して、その基礎特性の解析を、平面波展開法、FDTD 法等を用いて行い、確かに 3 次元ナノ共振器として動作しうることを示すことに成功した。H18 年度は、さらに、作製誤差が特性に与える影響についての理論的な検討を行い、斜めエッチング面がボーイングする場合でも、完全バンドギャップが維持されうる（すなわち点欠陥が共振器としてとして作用しうる）ことを示した。H19 年度以降は、新たな作製法による結晶の内部への発光体導入に向けた検討を行った。初期的な構造として、発光層として、

結晶中央部に極薄の量子井戸層（平坦層）を導入することを想定した。さまざまな厚さの量子井戸層の導入した場合の特性について理論検討を進め、30 nm 程度まで薄くすることにより、完全フォトニックバンドギャップを保持した状態で自然放出の抑制を行なうことが可能であることを明らかにした。

以上の知見をもとに、実際に、斜めエッチング法により作製した 3 次元フォトニック結晶に発光層の導入を行い、自然放出制御の実証を試みた。まず、図 37(a)に示すように、3 次元フォトニック結晶上に、厚さ 30 nm の InGaAsP 量子井戸発光体をウエハ融着法により貼り付けた構造を実現した。この結果、同図中に示した発光スペクトルから明らかであるように、3 次元結晶上に貼り付けた発光体からの発光が、フォトニック結晶上に形成していない参照用の発光体からの発光に比べて、約 40 倍にも強くなることが判明した。これは、3 次元フォトニック結晶のバンドギャップ効果により、発光が上部方向にしか許されなくなったことに起因するものである。第二に、この発光体を 2 つの 3 次元フォトニック結晶で挟み込んだ構造の作製を行った。このような構造の場合には、図 37(b)に示すように、発光が 40 分の 1 以下にまで抑制されるという結果が得られた。これは、上下を 3 次元フォトニック結晶で覆われたことにより、発光できる経路がなくなったためである。

以上の結果は、本研究において開発した作製法によって、非常に質の高い 3 次元フォトニック結晶が作製できることを示すと同時に、さまざまな用途に応じて、時には光を効率よく外部へ放出し、時には不要な放出を抑制するといった光の発生の自在な制御が可能となることを示している。以上により、半導体に斜め 2 方向からエッチングするという極めてシンプルな作製法により一括形成される 3 次元フォトニック結晶による光制御の可能性を示すことに成功した。本成果は、3 次元フォトニック結晶の実用化に向けての大きな一歩と言え、幸いにも、英国科学雑誌 *Nature Materials* に掲載され、2009 年 8 月 10 日にオンライン速報版で公開された。さらに朝日、読売を始めとする様々な新聞雑誌にて、世の中に伝えられた。

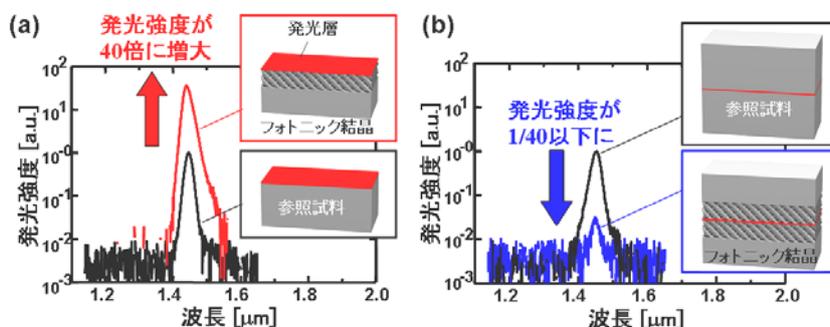


図 37: 斜めエッチング法による 3 次元フォトニック結晶による発光制御。(a) フォトニック結晶上に貼り付けられた量子井戸発光体の発光スペクトル。フォトニック結晶の無い参照試料に比べて発光が約 40 倍に増強されている。(b) 量子井戸層を 2 つの 3 次元フォトニック結晶で挟み込んだ場合の発光スペクトル。今度は逆に、40 分の 1 程度にまで発光が抑制されている。

### 成果の位置づけ、類似研究との比較

本サブテーマで得られた成果は、幸いにも、英科学誌 *Nature* 1 編、*Nature Materials* 1 編、*Nature Photonics* 1 編にも掲載され、併せて、各種の新聞、雑誌等で報道されるなど、科学的・技術的インパクトが極めて高く、国内外の大きな注目を集めることができた。以下に、項目毎に、インパクト、国内外の他の研究動向と比べた位置づけを具体的に述べる。

- 1) 3 次元結晶は、2 次元結晶の欠点である上下方向の光の漏れをも抑制できるため、さ

らに完全な自然放出制御が期待できる。本研究において、研究代表者独自のウエハ融着法によるストライプ積層型3次元結晶により実現した自然放出抑制効果 (-30 dB)は、世界で最も大きな値である。

2) 3次元状の立体構造を精密かつ多層にわたって作製する技術は、ナノ共振器における強い光閉じ込め効果の実現をはじめとして、光制御において極めて重要な役割を果たす。本研究では、自動位置合わせ・ウエハボンディング技術を確立し、この技術により、3次元結晶において最大級となるQ値をもつナノ共振器など、高い性能をもつ3次元結晶光素子の形成に成功した。大面積かつ高精度の積層を実現可能な本技術は、本研究独自のものであり、任意の微細構造とナノ発光構造との自在な融合をも可能とする、光ナノテクノロジーの進展にとって欠くことのできない技術と位置づけられる。

3) 3次元結晶の表面モードに注目した研究は、これまで世界的に存在しなかった。本研究で初めて、表面モードの存在および表面モードを介した光伝搬現象や、表面モードギャップを利用した光の閉じ込めの観察に成功するとともに、少ない積層構造でも高いQ値をもつ表面ナノ共振器など、表面の構造を工夫することによる多様な光制御への応用を提案・実証した。このような表面光制御の概念は、3次元フォトニック結晶の新たな展開へと繋がるものであり、科学的・技術的なインパクトは非常に高い。

4) 3次元結晶の最も重要な課題の1つは、如何に簡便でありながらも、完全な性質をもった結晶作製法を確立するかである。そのための重要なアプローチとして、本研究において、2方向斜めエッチングによる3次元結晶の一括作製法を提案・検討し、幸いにも、これまでに報告されている一括作製法と比べて、最も大きなバンドギャップ効果をもつ結晶の実現に成功することが出来た。この方法は、3次元結晶の作製の新たな方向性を示すもので、その科学的・技術的意義は極めて高いと言える。

5) 3次元的に自在かつ簡便な発光の制御技術は、学術的にも応用上も非常に重要である。本研究では、従来の作製技術による3次元結晶による発光制御を発展させ、新たな斜めエッチング法により作製した3次元フォトニック結晶において、発光体の導入を実現し、発光体の導入形態により、用途に合わせた効率的な光の放出や、不要な放出の抑制といった、発光の制御が可能であることを実証することに成功した。極めてシンプルな作製法により一括形成される3次元フォトニック結晶における、明快な光制御効果の実現は初めてであり、科学的・技術的なインパクトは極めて高いといえる。

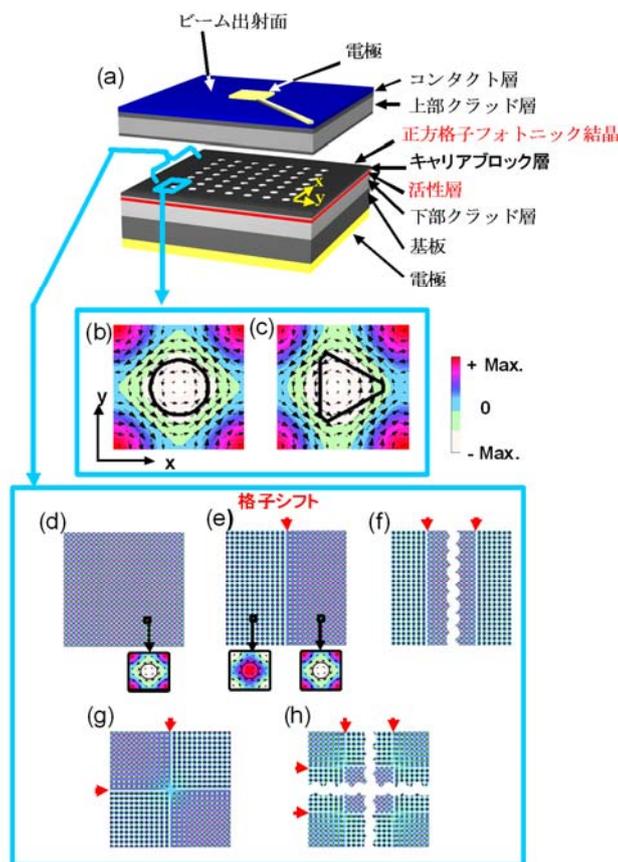
#### 4.3 サブテーマ(C): 大面積コヒーレント動作可能なレーザ技術の開発

##### (1)研究実施内容及び成果

本レーザは、2次元フォトニックバンドギャップ端での定在波状態を共振器として利用するという研究代表者独自のアイデア(1999年 *Appl.Phys.Lett.*, 2001年 *Science*)に基づくものである。これまでの研究で、この定在波状態を用いて、大面積での単一縦横モードでの室温連続発振に成功していた。本CRESTの開始時における、最も重要な課題としては、出射ビームパターンへの制御、高出力動作の実証、波長範囲の拡大、さらにデバイス理論の確立などが挙げられ、これらを本研究にて深く検討していくことを目指した。

##### (C-1) 出射ビームパターンの制御

本デバイスは、先にも述べたように、大面積でコヒーレント動作可能であることを特長とする。このとき、面発光出射ビームの形状や偏光特性は、デバイス内部の電磁界分布のフーリエ変換で与えられるため、内部の電磁界分布を様々に制御することで、各種ビームパターンが得られるものと期待される。本項では、このような本デバイスのもつ極めて興味深い特徴を活かすことを目的として研究を進めた。まず、様々な電磁界分布を得るために、格子点の形状や、結晶中に、格子点シフトなどの導入を行うことを試み、ビームパ



**図 38:** 開発したフォトニック結晶レーザ。(a) デバイス構造の模式図。(b)、(c) 真円格子点、三角格子点に対する単位格子中の電磁界分布。磁界は色で表され、面内の電界ベクトルは矢印で表されている。(d)-(h) 様々な格子シフトの導入と電磁界分布を表す。(d) 格子点形状が真円で格子シフトなし、(e) 真円格子点で、格子シフトを1本導入したもの、(f) 真円格子点形状で、格子シフトを2本平行に導入したもの、(g) 真円格子点形状で格子シフトを十字状に導入したもの、(h) 真円格子点で、2本の平行格子シフトを直交させて導入したもの。(d)、(e)の中には、単位格子中の電磁界分布の拡大図を示す。

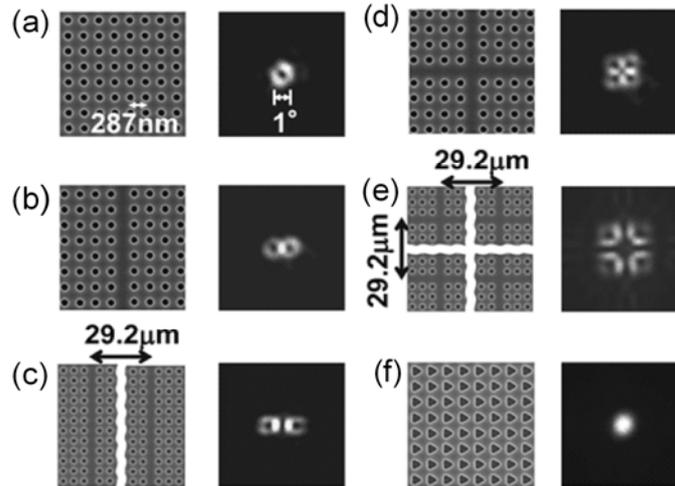


図 39: フォトニック結晶パターンを変化させたときのレーザ出射ビームパターンの変化。(a) 真円格子点、格子シフトなし。(b) 真円格子点、格子シフト1本。(c) 真円格子点、平行格子シフト2本。(d) 真円格子点、交差格子シフト2本。(e) 真円格子点、交差格子シフト4本。(f) 三角格子点、格子シフトなし。

ターンが変化する様子を、系統的に調べた。図 38 にデバイス構造と各種の構造的な工夫を、図 39 には、得られたビームパターンを示す。単一縦・横モードを維持したまま、ドーナツビーム（接線偏光、径偏光の2種）、2連および4連ドーナツビーム、さらには、単峰性ビームを得ることに成功した。ここで、ドーナツビームの形成は、真円形状格子点において、高い回転対称性を有する電磁界分布が、ビーム中心で打ち消し合うことで理解される。一方、三角形の格子点では、対称性が崩れるため、打ち消し合いが低減した結果、単峰性ビームとなる。（なお、打ち消し合いの低減は、出力向上にも寄与するため、高出力化に適している。(C-2)では、この非対称構造の効果が活かされることとなる。）このように、様々なビームパターンが簡単な構造制御により得られることは極めて興味深く、幸いにも、この成果は、英科学誌 *Nature* に掲載され、朝日、毎日、読売、日経新聞を始め、各種の雑誌等で報道されるなど大きな注目を集めた。

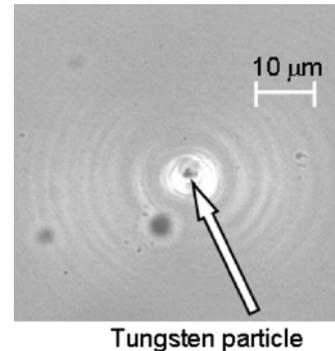


図 40: ドーナツビームで、不透明物質タングステンを捕獲している様子。

本 CREST では、こうして得られた多様なビームパターンの有用性を活かす研究にも取り組んだ。まず、接線偏光のドーナツビームに関し、図 40 にも示すように、金属微粒子などの不透明物質の捕獲、操作が可能であることを示すことに成功した。また、偏光状態が双対関係にある径偏光をもつドーナツビームでは、電界方向が中心から外側(動径方向)に揃うため、集光点において光軸方向の電界成分が微小な焦点を形成すると期待される。このビームの特徴を明らかにするべく、理論、実験面から検討を進めた。集光点の大きさを評価するため、微小な円孔を透過する光強度を、円孔の径を変化させつつ測定したところ径偏光ドーナツビームがガウスビームより小さくなることを示唆する結果を得た。さらに、ドーナツビームの内径と外径を調整し、両者の大きさを近づけるにつれ、焦点位置でのビームの大きさが大幅に縮小し、かつ焦点距離が大幅に伸びることを、図 41 のように見出した。これらの結果は、近接場光学を始め、様々な応用に向けて極めて重要な成果と言える。

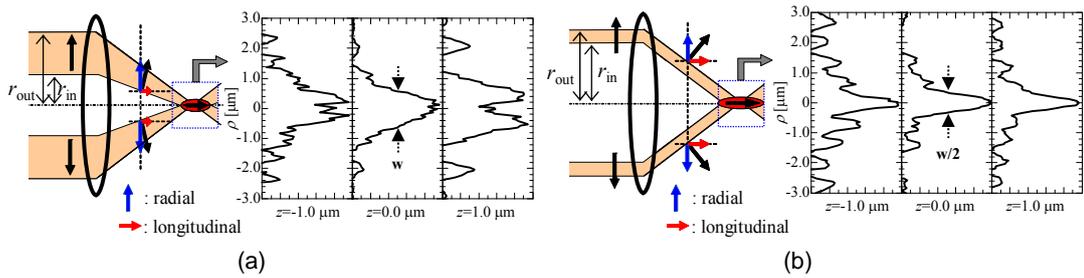


図 41: 径偏光ドーナツビームの集光の概念図と焦点での光強度分布の測定結果。(a) 外径  $r_{out}$  : 内径  $r_{in} = 10:2$  の場合。(b)  $r_{out} : r_{in} = 10:8$  の場合。内径が外径にほぼ等しい(b)の場合、焦点深度の長い焦点が形成された。

### (C-2) 高出力動作への展開

先にも述べたように、本レーザの最大の特長は、大面積コヒーレント動作可能な点、すなわち単一モードを維持したままで高出力動作が期待出来るところにあるが、本 CREST を開始した時点では、出力は数 mW 程度に留まり、その増大が重要な課題であった。

研究開始後、まず、出力増大のために、共振器の上下方向の光閉じ込めの強さを適度に弱くすることが重要で、そのためには、面内電界分布の対称性を一部崩すことが有効であることを突き止めた。具体的には、前項で述べた三角形格子点を用いることが、出力増大にとって極めて有効であることを見出した。図 42 に示すように、実際に、この格子点構造を用いることで、室温連続条件で、世界最大の 60 mW を達成することに成功することが出来た。なお、この際、図 43 に示すように、光を最大限外部に取り出すため、(a)窓状電極構造の導入、さらには(b)裏面電極からの反射光の有効活用も同時に行った。図 42 の結果は、格子点形状の非対称化が確かに有効であることを示唆しているため、さらに適切な非

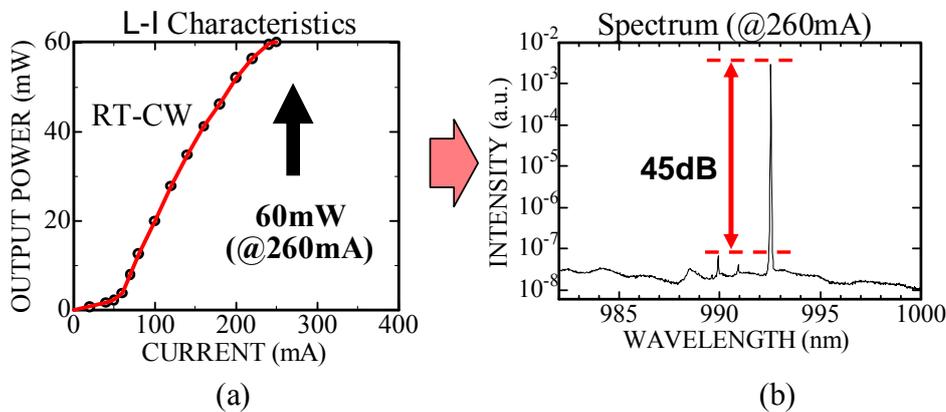


図 42: 三角格子点をもつフォトニック結晶の室温連続条件電流-光出力およびスペクトル。

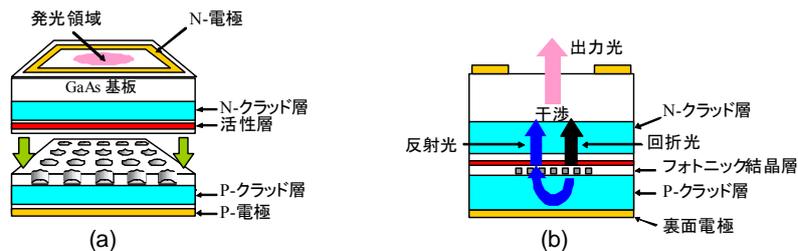


図 43: (a) フォトニック結晶レーザ構造の鳥瞰図。(b) レーザ構造の断面図。裏面電極による反射光と直接上方へ回折される光との位相を調整することにより高出力化が実現。

対称格子点形状の探索を行った。図 44(a)に示すように、直角 3 角形を用いることで、同図 (b), (c)に示すように、最大で 1 W (パルス駆動) という高出力単一モード動作に成功した。

その後の検討の結果、さらなる高出力化のためには、図 43(b)に示した裏面反射の利用

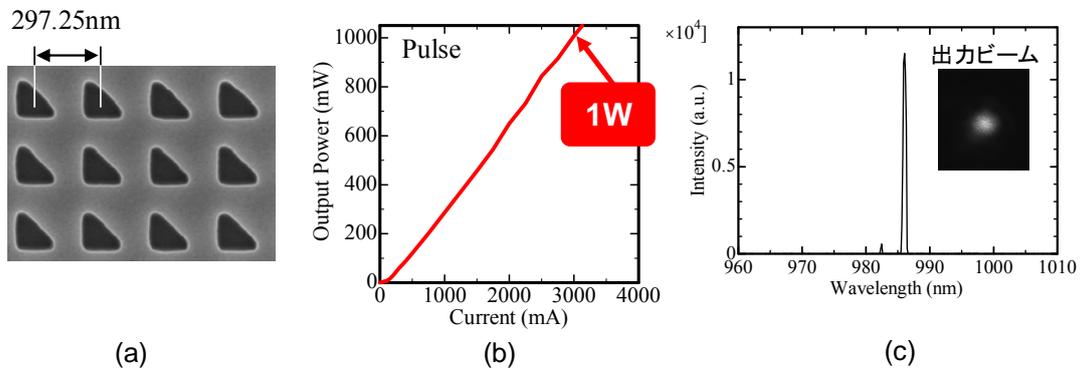


図 44 : (a) 非対称性を強調した格子点形状。(b) 電流-光出力特性。(c) 発振スペクトルとビーム形状。

を、より厳密に進めることが重要であることが判明した。すなわち、反射鏡として活用していた金属電極の反射率を別途測定したところ、50%程度に留まっていることがわかった。そこで、電極に比べ、より高反射率を期待できる分布反射鏡(DBR)を導入した。さらに、反射鏡とフォトニック結晶との距離を厳密に制御し、フォトニック結晶から上下に出射した光の干渉条件を厳密に制御し、スロープ効率として 0.85 W/A と、極めて高い値を得ることに成功した。さらに、

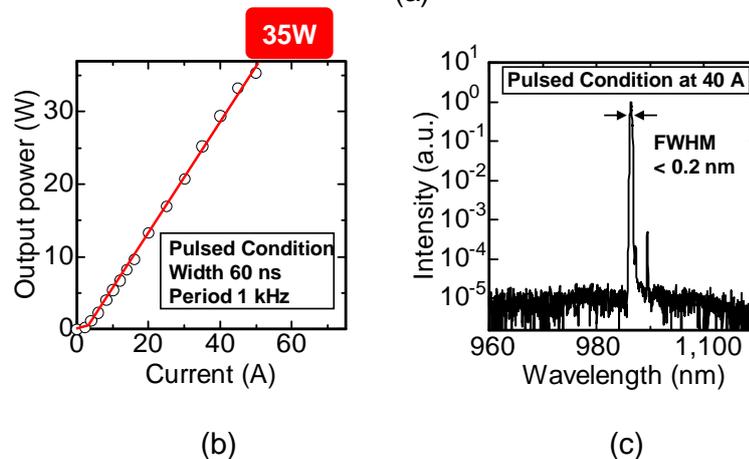
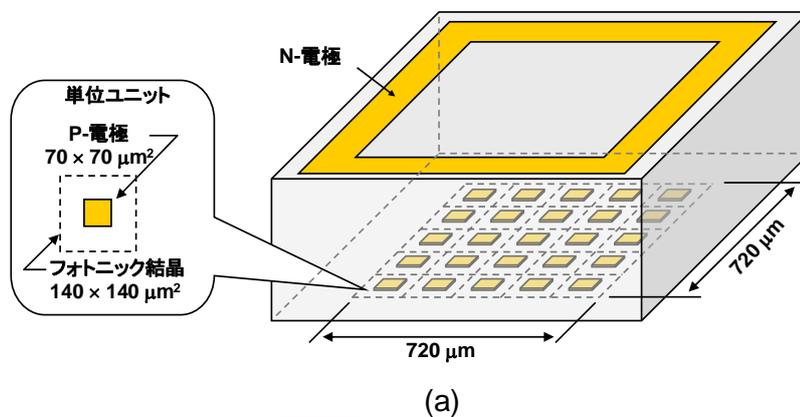


図 45: 作製したアレイデバイスの(a) 模式図、(b) 電流-光出力特性、(c) 発光スペクトル。

こうして得られた高効率デバイスを図 45(a)のようにアレイ状することで、35 W（パルス駆動）という極めて大きな光出力を実現することに図 45(b)のように成功した。このとき、発振スペクトル幅は、測定限界の 0.2 nm 以下と単一デバイスに相当する狭い値を図 45(c)のように示した。以上のように、格子点形状やデバイス構造の検討の結果、得られた出力は、研究開始時点に比べ、1000 倍にも達した。

### (C-3) 2次元結合波理論の確立

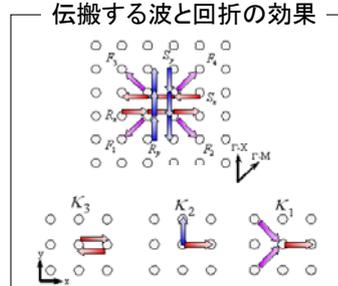
前述の高出力化を始め、様々なデバイス特性を設計する上で、これまでは、主として平面波展開法や FDTD 法などのシミュレーションを行ってきたが、レーザ物理を深く理解し、より使いやすい解析法を得るためには、2次元結合波モデルによる解析法を確立することが重要である。

本 CREST では、まず、正方格子2次元フォトニック結晶における TM 波、TE 波のそれぞれに対する 2次元結合波モデルの基礎方程式を導くことを第1の目標として研究を進めた。その結果、TM 波に対しては、4つの等価な  $\Gamma$ -X 方向に伝搬する光波の結合により、また TE 波については、この4波に加え、 $\Gamma$ -M 方向に伝搬する高次の4波を加えることで基礎方程式が導かれることを見出した（下記、式 C-3-1, C-3-2）。

ここで、 $\alpha$ は閾値利得、 $\delta$ は周波数、 $\kappa_i(i=1, 2, 3)$ は回折の強度を与える光結合係数である。フ

#### TM波の結合波方程式 (C-3-1)

$$\begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial x} R_x + (\alpha - i\delta)R_x &= i\kappa_3 S_x + i\kappa_2 (S_y + R_y) \\ \frac{\partial}{\partial x} S_x + (\alpha - i\delta)S_x &= i\kappa_3 R_x + i\kappa_2 (S_y + R_y) \\ -\frac{\partial}{\partial y} R_y + (\alpha - i\delta)R_y &= i\kappa_3 S_y + i\kappa_2 (S_x + R_x) \\ \frac{\partial}{\partial y} S_y + (\alpha - i\delta)S_y &= i\kappa_3 R_y + i\kappa_2 (S_x + R_x) \end{aligned}$$



#### TE波の結合波方程式 (C-3-2)

$$\begin{aligned} -\frac{(\beta - 2i\alpha)}{\beta_0} \frac{\partial}{\partial x} R_x + \{\alpha - i(\beta - \beta_0)\} R_x &= i\kappa_3 S_x - i\kappa_1 (F_2 + F_4), & \frac{(\beta - 2i\alpha)}{\beta_0} \left( \frac{\partial}{\partial x} F_1 + \frac{\partial}{\partial y} F_1 \right) + \{2\alpha - i(\beta - 2\beta_0)/2\} F_1 &= -i\kappa_1 (S_y + S_x) \\ \frac{(\beta - 2i\alpha)}{\beta_0} \frac{\partial}{\partial x} S_x + \{\alpha - i(\beta - \beta_0)\} S_x &= i\kappa_3 R_x - i\kappa_1 (F_1 + F_3), & \frac{(\beta - 2i\alpha)}{\beta_0} \left( -\frac{\partial}{\partial x} F_2 + \frac{\partial}{\partial y} F_2 \right) + \{2\alpha - i(\beta - 2\beta_0)/2\} F_2 &= -i\kappa_1 (S_y + R_x) \\ -\frac{(\beta - 2i\alpha)}{\beta_0} \frac{\partial}{\partial y} R_y + \{\alpha - i(\beta - \beta_0)\} R_y &= i\kappa_3 S_y - i\kappa_1 (F_3 + F_4), & \frac{(\beta - 2i\alpha)}{\beta_0} \left( \frac{\partial}{\partial x} F_3 - \frac{\partial}{\partial y} F_3 \right) + \{2\alpha - i(\beta - 2\beta_0)/2\} F_3 &= -i\kappa_1 (R_y + S_x) \\ \frac{(\beta - 2i\alpha)}{\beta_0} \frac{\partial}{\partial y} S_y + \{\alpha - i(\beta - \beta_0)\} S_y &= i\kappa_3 R_y - i\kappa_1 (F_1 + F_2), & \frac{(\beta - 2i\alpha)}{\beta_0} \left( -\frac{\partial}{\partial x} F_4 - \frac{\partial}{\partial y} F_4 \right) + \{2\alpha - i(\beta - 2\beta_0)/2\} F_4 &= -i\kappa_1 (R_y + R_x) \end{aligned}$$

フォトニック結晶構造により決定される光結合係数を上式に与えることにより、共振モードのしきい閾値利得や周波数、電界分布が解析可能となる。

以上の基礎方程式をもとに、まず、TM 波に対する解析を完成させた。この際、デバイス端面での反射や位相の効果を導入し、デバイス特性がどのように変化するかをも明らかにした。さらに、TE 波に対する解析をも完成へと導いた。式(C-3-2)に対し、面発光の効果を導入し、格子点形状が真円の場合において、各バンド端における閾値利得、共振波長を導いた。図 46(a)に、実際作製しているデバイスの構造パラメータを用いて計算した共振モードの周波数(横軸)および閾値利得(縦軸)を示す。各点が、共振モードを表しており、それぞれに対して閾値利得が示されている。このうち、A, B, C(or D)と示すモードが、共振に寄与するバンドギャップ端モードに対応する。図 46(b)に、各モードの共振器全体に渡る強度分布を示すが、いずれも共振器中央で強度が大きくなる特徴を持つことがわかる。以上の解析から、各モードのうち、発振は閾値利得の最も低いモード A で起こることが導かれるが、この結果は、真円格子点をもつフォトニック結晶レーザの実験結果と良く一致している。さらに、図 46(c)に示すように、実験的に見積もられる閾値利得と、計算により得られ

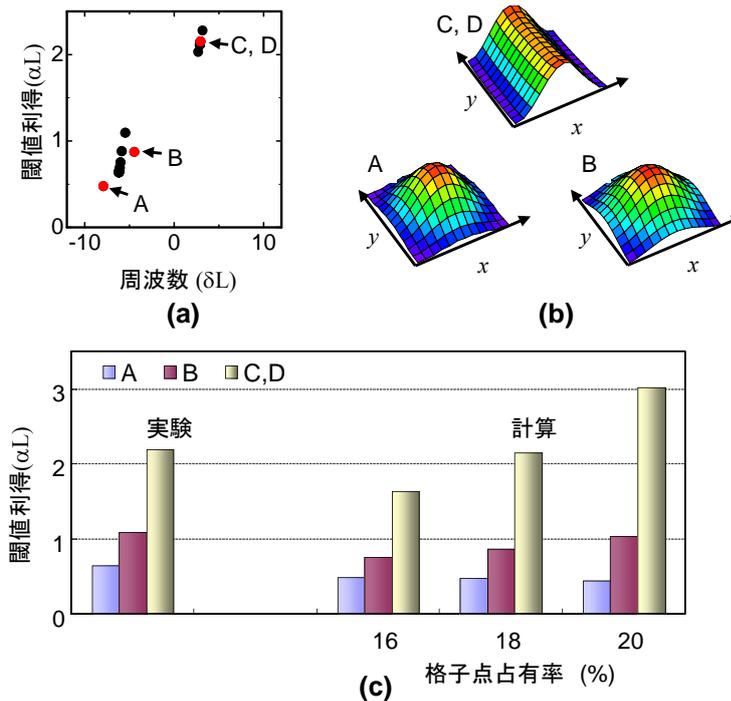


図 46 : TE 波に対する 2 次元結合波方程式の解析結果。(a) 共振モードの周波数と閾値利得の関係。(b) 代表的なモードの電磁界分布の包絡線関数。(c) 代表的なモードに対する閾値利得の実験結果と計算結果。

た閾値利得(格子点占有率:18%)も良く一致しており、実際のデバイスにおける閾値利得が本解析により、良く表現できることが確認できた。

#### (C-4) 青紫色レーザ等への展開

現在の赤外域に対応する InGaAs/GaAs の他、可視光域へフォトニック結晶レーザの展開を図ることは、各種応用へ向けて、極めて重要である。本 CREST では、短波長化の第一歩として、まず、GaN 系半導体へのフォトニック結晶パターンの形成技術の確立を目標に研究を進め、周期 150~160 nm の正方格子および三角格子 2 次元フォトニック結晶の作製条件を見出した。続いて、デバイス内部への GaN フォトニック結晶形成のために、新たに、AROG(Air-hole retained overgrowth)と命名した形成法を開発した。AROG は、半導体の結晶

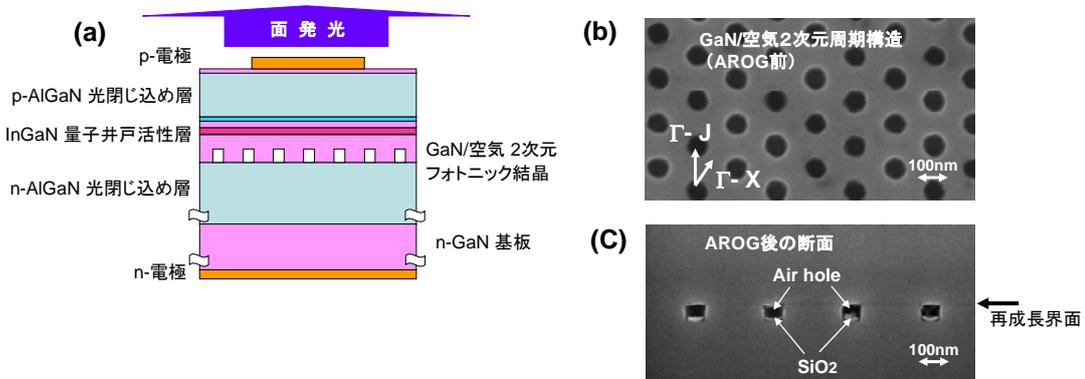


図 47 : (a) フォトニック結晶面発光レーザの模式図。(b) GaN/空気 2 次元周期構造の AROG 前の表面電子顕微鏡写真。(c) AROG 後の 2 次元周期構造の断面電子顕微鏡写真。

成長法の1つである有機金属気相成長(MOCVD)法において、GaNの結晶成長が横方向に極めて速く進むという現象に着目したものである。まず、図47(a)に示す光閉じ込め層となるAlGaIn層およびフォトニック結晶となるGaIn層をGaIn基板上に成長させる。続いて、最上部のGaIn層に、ドライエッチング法にて、直径85 nm、深さ100 nm、周期185 nmの円

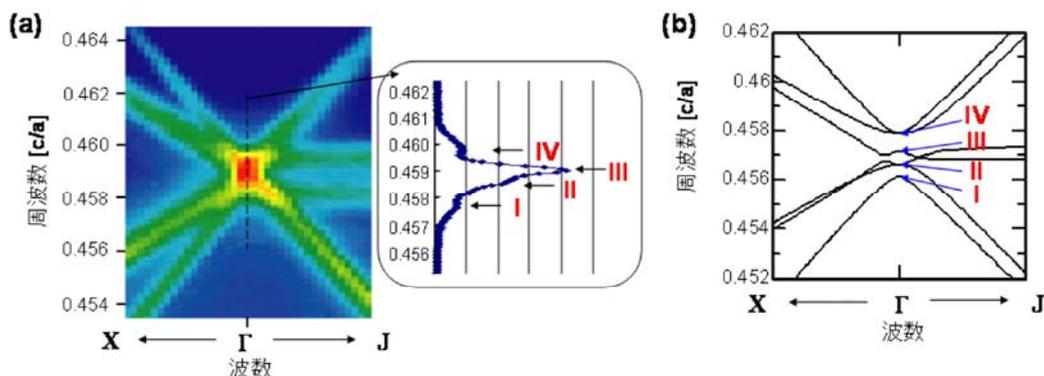


図48: (a) デバイス内部に埋め込まれたGaIn/空気2次元周期構造のフォトニックバンド構造の測定結果。挿入図は、バンド端におけるスペクトル。(b) バンド構造の計算結果。(a)(b)の比較により、作製した構造は、2次元フォトニック結晶としての性質をもつことがわかる。

形空気孔を図47(b)のように三角格子状に形成する。その空気孔の底部に極薄SiO<sub>2</sub>層を形成し、引き続きMOCVD法にてGaIn層を再成長させる。このとき、空気孔底部の極薄SiO<sub>2</sub>層により空気孔内の結晶成長が阻止され、空気孔の存在しないGaIn最上面にのみGaInが成

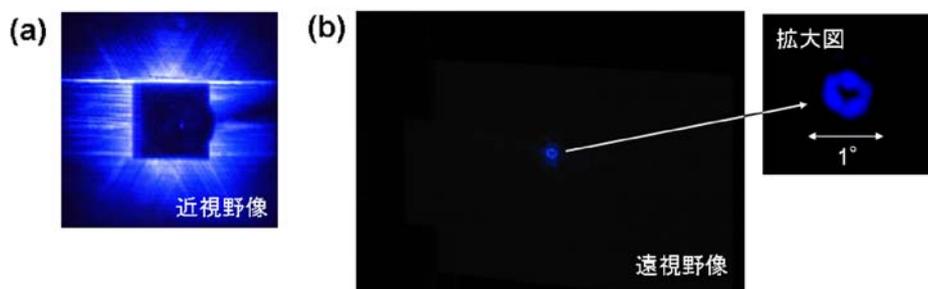


図49: GaInフォトニック結晶レーザの発振の様子。(a)青紫色発振時の近視野像。(b)遠視野像。

長するようになる。GaInの成長は横方向へより速く進むため、空気孔上部を覆うように成長し、やがてそれらが融合し、図47(c)のように空気孔が結晶内部に埋め込まれるようになる。こうして、GaIn/空気2次元フォトニック結晶を形成した後、活性層であるInGaIn量子井戸層、AlGaIn光閉じ込め層などを成長させ、デバイスの基本構造を完成させる。透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた詳細な観察により、再成長した空気孔上部の結晶中には転位などの欠陥は発生していないことを確認した。さらに、形成したGaIn/空気2次元周期構造が2次元フォトニック結晶としての性質を持つことを確認するために、図48(a)のようにフォトニックバンド構造を実験的に測定するとともに、図48(b)のようにバンド構造を理論的に計算した。両者は、よく一致することから、形成したGaIn/空気2次元周期構造が2次元フォトニック結晶としての性質を示すことが判明した。

このようにして、作製したデバイスは、図48のバンド構造に示すように、2次元フォトニック結晶としての性質をもつことが判明した。その結果、本原理に基づくGaInフォトニック結晶面発光レーザの電流注入による発振に世界で初めて成功することができた。図

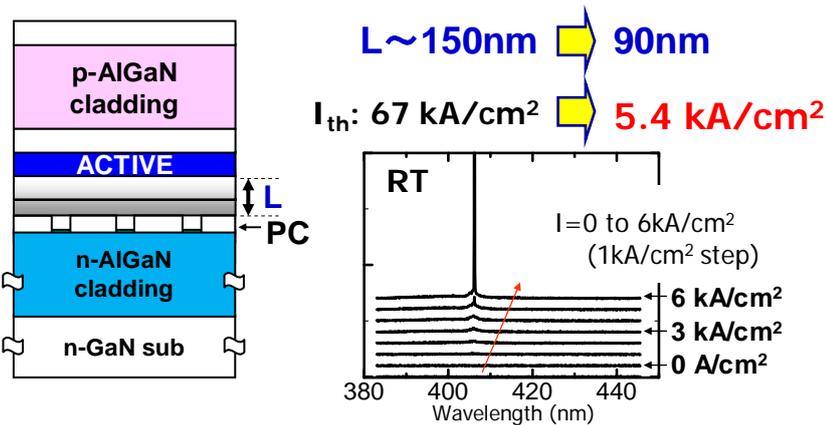


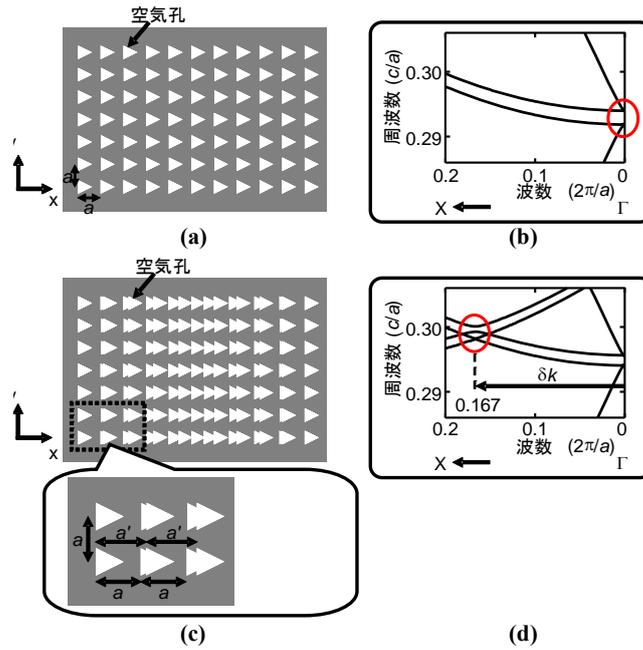
図 50: GaN 系デバイスの断面構造と注入電流密度に対するスペクトル変化。電流密度が  $6 \text{ kA/cm}^2$  で明確な発振を確認。

49(a), (b)は、それぞれ、発振後の近視野像および遠視野像を示し、本原理に基づく GaN フォトニック結晶面発光レーザの電流注入による発振に世界で初めて成功した。この成果は、米科学誌 *Science* に掲載され、併せて、朝日、読売、京都、日経産業、日刊工業など各紙で報道され、大きな注目を集めた。さらに、連続動作へ向けての検討も押し進めてきた。フォトニック結晶によるフィードバック効果を增强するため、結晶層と活性層のと距離を、これまでの  $150 \text{ nm}$  から  $90 \text{ nm}$  まで近接させることができる構造を見出し、デバイスを作製した。これにより、閾値電流密度を、 $67 \text{ kA/cm}^2$  から  $5.4 \text{ kA/cm}^2$  へ大幅に低減することに成功している(図 50)。パルスの Duty 比としては、室温で 83%まで発振を確認しており、連続動作まで目前の状態まで到達することができた。

#### (C-5) ビーム出射方向を自在に制御可能な半導体レーザの開発

これまで、半導体レーザの出射ビーム方向は、一方向に固定されており、外部に設置した反射鏡の向きを機械的に制御することにより、そのビームの方向を制御していた。そのため、(i) 小型化が困難である、(ii) 耐久性が悪い、(iii) 動作スピードが遅い、などの課題があった。本研究では、光の波長程度の周期的な屈折率分布をもつフォトニック結晶を用いることで、半導体レーザそのもので、ビーム出射方向を自在に制御することは、半導体レーザ分野の夢であった。本 CREST では、フォトニック結晶を用いて、この夢の実現にも取り組んだ。

図 51 (a)に、これまで検討してきたフォトニック結晶の構造例を示すが、この構造では、発振する周波数近傍のバンド構造は、図 51(b)のようになる。図中、発振は、赤丸で囲んだ結晶面内波数が零の点( $\Gamma$ 点)にあるバンド端で起こる。この場合、発振したレーザ光は、結晶面に垂直方向へ出射されることになる。もし、 $\Gamma$ 点からずれた点で発振が起こる場合には、レーザ光は、結晶面に垂直な方向から、ずれた方向へと出射されることになり、斜め方向への光の出射が可能になる。様々な検討の結果、図 51 (c)に示すような 2 種類の周期をもったフォトニック結晶を組み合わせると、その周期差に相当する分だけ (周期をそれぞれ  $a$ 、 $a'$ として、 $\delta k = \pi (1/a - 1/a')$ だけ)、面内波数が  $\Gamma$ 点からずれた点で、バンド端が形成されることが明らかとなった。本構造に対するバンド構造を図 51(d)に示す。このバンド端で発振が起こる場合には、レーザ光は、面垂直方向から、 $\delta\theta = \pm \sin^{-1}(\delta k / k_0)$  だけ、ずれた角度に出射されることになる。ここで、 $k_0 (= 2\pi/\lambda_0)$  は、自由空間での光の波数 ( $\lambda_0$ は自由空間での光の波長)である。以上より、周期の異なる 2 種類のフォトニック結晶を複合した結晶を用い、その周期の差を変化させることで、様々な斜め方向に光が出射されることが可能になることが明らかとなった。



**図 51:** (a) 通常のフォトニック結晶構造と (b) 対応するバンド構造。赤丸で囲った点 ( $\Gamma$  点) で発振が起こる。(c) 2つの異なる格子定数をもつフォトニック結晶の複合結晶と (d) 対応するバンド構造。x方向に間隔  $a$  と  $a'$  で並んだ三角格子点が複合している。y方向の間隔は両者とも  $a$  とした。結晶面内の波数が、零以外の点 (赤丸) においてもバンド端が形成され、そこでレーザー発振が起こる。

以上の検討に基づき、実際に作製したデバイスの模式図を図 52 に示す。デバイス内部には、2種類のフォトニック結晶の周期差を連続的に変化させた複合結晶を内蔵している。具体的には、一方のフォトニック結晶の周期  $a$  を、294 nm に固定し、もう一方のフォトニック結晶の周期  $a'$  を、294 nm から 426 nm まで連続的に変化させた複合フォトニック結晶をデバイスに内蔵させた。同図下部の写真は、複合フォトニック結晶の一部の電子顕微鏡像を示す。周期の異なる複合結晶が良好に形成されていることが分かる。デバイス上面には、複数の小さな電極を、x 方向に、30~40 個並べて設置した。1つの電極サイズは  $17 \mu\text{m}$ (x 方向)  $\times$   $50 \mu\text{m}$ (y 方向) とし、電極間隔は、 $3 \mu\text{m}$  とした。上部電極のうち、隣り合う数個の電極を同時に駆動しつつ、それらの駆動位置を、x 方向に電極 1 つ分ずつ順にずらしていくことにより、様々な格子定数差をもつフォトニック結晶 (共振器) 部を選択励起し発振させることが出来る。これにより、まず、ビーム出射角を、励起位置により、粗く変化させていくことが可能となる。続いて、上部電極に流す電流バランスを、細かく精密に変化させることにより、発振領域の実効的な格子定数差をなめらかに変化させることが可能となり、連続的にビーム出射角度を変化させることができると期待される。

以上の考えのもと、作製したデバイスを室温において動作させた結果を図 53 に示す。発振波長は 980 nm 近傍になるように設定した。この図は、隣り合う 2 個の電極に均等に電流を注入し、駆動位置をレーザー共振器の一方の端から他方の端までに、順に変化させた場合のビーム出射角度を示している。広がり角が  $1^\circ$  程度と非常に狭いビームが、ちょうど車のワイパーのように左右へと変化して出射されていることが分かる。ビームの出射角は、駆動する位置での周期差に応じて変化しており、 $0^\circ$  から最大で  $\pm 30^\circ$  まで変化することがわかる。

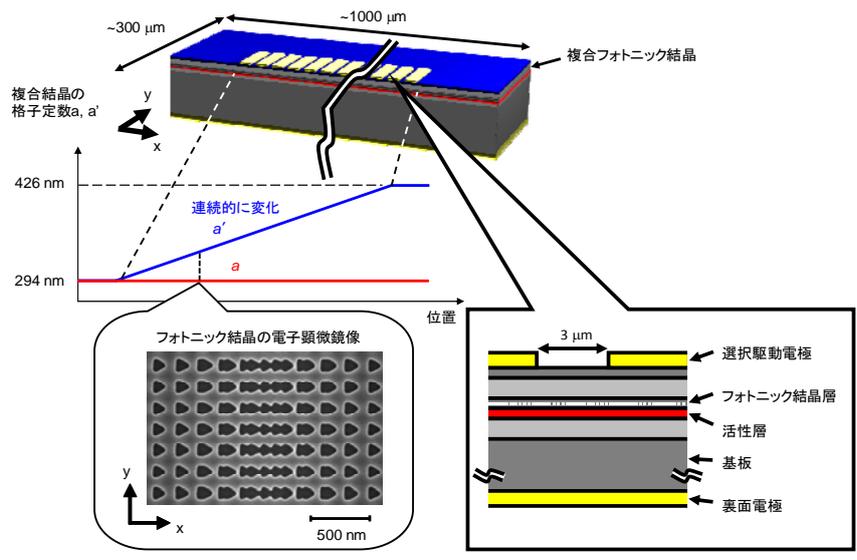


図 52: 周期差を連続的に変化するように工夫したレーザ共振器を含むデバイスの模式図。

なお、ここで、左右対称にビームが出射されているのは、デバイスの対称性による。図を良く見るとわかるように、一部の周期差のときに、片方のビーム強度が極めて弱い場合が観測されるが、これは、意図しない非対称性が導入されたことによるものと考えられる。そこで、逆にこれを利用することにより、片方向にのみビームを出射することも可能となると考えられる。

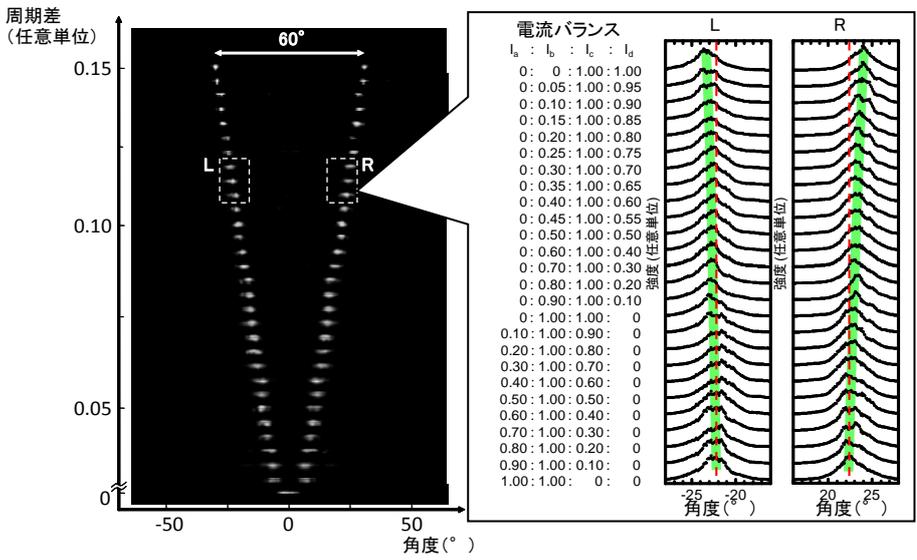


図 53: 実測されたビーム出射角度。隣接する 2 つの電極を同時に駆動し、駆動位置をレーザ共振器の一方の端から他方の端まで離散的に変化させた場合のビーム出射角度。1 つの駆動位置において、拡がり角が 1° 程度のビームが 2 つ、左右へ出射していることが分かる。ビームの出射角度は、駆動する位置での複合結晶の周期差に応じて変化しており、0° から最大で片角 30° まで変化する様子が確かめられた。(挿入図): 隣接する 3 つの電極へ注入する電流バランスを精密に制御し、滑らかに駆動位置を変化させた場合のビーム出射角度。この場合には、角度が ±22.0° から ±23.5° まで連続的に変化している様子を示す。

続いて、隣接する電極へ注入する電流バランスを精密に制御し、等価的な格子定数差を連続的に変化させることを試みた結果を、図 53 の挿入図に示す。同図では、出射角度が  $\pm 22.0^\circ$  から  $\pm 23.5^\circ$  の間で連続的に変化する様子を示している。その他の角度においても同様の制御が可能であることが確かめられた。以上の結果から、本デバイスにより、ビーム広がり角を  $1^\circ$  と非常に狭く保ったまま、ビーム出射角を  $\pm 30^\circ$  という極めて大きな範囲で、連続的に変化させることが可能であることが実証することに成功した。

以上のように、研究項目(C)フォトリソニック結晶レーザの研究においても、極めて順調に研究が進展し、当初の予定を越える成果を数多く実現することができた。

### **成果の位置づけ、類似研究との比較**

本サブテーマで、得られた成果は、幸いにも、英科学誌 *Nature* 1 編、*Nature Photonics* 1 編、*Science* 1 編にも掲載され、併せて、各種の新聞、雑誌等で報道されるなど、科学的・技術的インパクトが極めて高く、国内外の大きな注目を集めることができた。以下に、項目毎に、インパクト、重要性を具体的に述べる。なお、いずれの項目とも、他に競合する相手は存在せず、世界を牽引する成果である。

1) フォトリソニック結晶レーザは、2 次元共振器で発振したレーザ光を結晶面垂直方向へ取り出す面発光型レーザである。本研究では、研究代表者独自の着想による結晶構造設計により、結晶面内の電磁界分布を制御し、応用上重要な単峰性ビームを始め、多様なビームパターンの実現に成功した。ビームパターンの制御に先例は存在せず、極めてユニークな結果と言える。

2) フォトリソニック結晶レーザの最も重要な特長の1つは、既存の半導体レーザの限界をくつがえす、高出力単一モードレーザの実現が可能である点にある。本研究において、結晶格子点の形状設計、窓状電極、下面反射鏡の導入により、スロープ効率を 0.85 W/A まで向上させることに成功した。さらに、アレイ状に素子を配置した複合デバイスでは、マルチモードながらも発振線幅の小さい( $<0.2$  nm)単一ピークで、高出力な動作(35 W)を達成するなど、究極的な高出力動作の実現へ向け確実な進展を見せている。

3) フォトリソニック結晶レーザは、2 次元的な周期構造を光共振器とした新しいタイプのレーザである。そのため、その物理の理解から最適設計までを、系統的に進める強力な解析手法が必要であった。本研究では、結合波理論という半解析的な理論を構築し、体系的な理解から、効率的な設計を可能とした。(C-5)で得られた成果は、本理論によるデバイス物理の理解があったからこそその結果である。今後も、本レーザの発展の核として、本理論が果たしていく役割は大きい。また、2 次元周期構造を共振器とするレーザの基礎理論でもあることから、学術的価値は非常に高い。

4) フォトリソニック結晶レーザは、結晶周期を変化させることにより、原理的にはどの波長帯域でも動作が可能である。各材料系において、実際に実現可能かという技術的問題はあるが、応用を考えた場合には、広い波長展開が求められる。本研究により、近年需要の高まる青紫領域での動作に加え、産業界へのインパクトも非常に大きくなってきている。

5) レーザ光の応用としては、ビーム方向の操作を必要とする製品も数多い。これまでに、半導体チップ単体での十分なビーム方向操作を実現した例は存在せず、本研究で実現したビーム偏向レーザは、その先駆的成果となる。実際に応用されるには、自在な 2 次元方向のビーム操作など課題も存在するが、これを実現した先には、既存のシステムの小型化・高性能化に加え、携帯機器へのビーム操作機能の組み込みも可能となり、全く新しい応用展開も期待される。異なる結晶を複合させた光共振器の理解という学術的価値ももちろんのこと、産業界への大きなインパクトが期待され、技術的価値が非常に高い成果である。

## § 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 6件、国際(欧文)誌 65件)

1. M. Imada, S. Ogawa, S. Yoshimoto, and S. Noda: "Introduction of an InP-based light emitter into a GaAs-based 3D photonic crystal by improved wafer bonding of dissimilar materials", *Sensors and Materials*, vol. 17, no. 6, pp. 343-353 (2005).
2. S. Kawashima, L. H. Lee, M. Okano, M. Imada, and S. Noda: "Design of donor-type line-defect waveguides in three-dimensional photonic crystals", *Optics Express*, vol. 13, no. 24, pp. 9774-9781 (2005).
3. S. Noda: "Photonic-crystal lasers - Photonic crystals promise unprecedented lasers and efficient LEDs", *Laser Focus World*, vol. 41, no. 12, pp. 82-86 (2005).
4. K. Kounoike, M. Yamaguchi, M. Fujita, T. Asano, J. Nakanishi and S. Noda: "Investigation of spontaneous emission from quantum dots embedded in a two-dimensional photonic-crystal slab", *Electronics Letters*, vol. 41, no. 25, pp. 1402-1403 (2005).
5. Y. Tanaka, T. Asano, R. Hatsuta, and S. Noda: "Investigation of point-defect cavity formed in two-dimensional photonic crystal slab with one-sided dielectric cladding", *Applied Physics Letters*, vol. 88, no. 1, pp. 011112-1-011112-3 (2006).
6. T. Uesugi, B. S. Song, T. Asano, and S. Noda: "Investigation of optical nonlinearities in an ultra-high- $Q$  Si nanocavity in a two-dimensional photonic crystal slab", *Optics Express*, vol. 14, no. 1, pp. 377-386 (2006).
7. T. Asano, B.-S. Song, and S. Noda: "Analysis of the experimental  $Q$  factors ( $\sim 1$  million) of photonic crystal nanocavities", *Optics Express*, vol. 14, no. 5, pp. 1996-2002 (2006).
8. M. Fujita, S. Takahashi, T. Asano, Y. Tanaka, K. Kounoike, M. Yamaguchi, J. Nakanishi, W. Stumpf, and S. Noda: "Controlled spontaneous emission phenomena in semiconductor slabs with a two-dimensional photonic bandgap", *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, vol. 8, no. 4, pp. S131-S138 (2006).
9. E. Miyai, K. Sakai, T. Okano, W. Kunishi, D. Ohnishi, and S. Noda: "Lasers producing tailored beams", *Nature*, vol. 441, no. 7096, pp. 946-946 (2006).
10. S. Noda: "Seeking the ultimate nanolaser", *Science*, vol. 314, no. 5797, pp. 260-261 (2006).
11. T. Asano, W. Kunishi, B.-S. Song, and S. Noda: "Time-domain response of point-defect cavities in two-dimensional photonic crystal slabs using picosecond light pulse", *Applied Physics Letters*, vol. 88, no. 15, pp. 151102-1-151102-3 (2006).
12. M. Imada, L. H. Lee, M. Okano, S. Kawashima, and S. Noda: "Development of three-dimensional photonic crystal waveguides at optical-communication wavelengths", *Applied Physics Letters*, vol. 88, no. 17, pp. 171107-1-171107-3 (2006).
13. H. Takano, B. S. Song, T. Asano, and S. Noda: "Highly efficient multi-channel drop filter in a two-dimensional hetero photonic crystal", *Optics Express*, vol. 14, no. 8, pp. 3491-3496 (2006).
14. S. Kawashima, M. Okano, M. Imada, and S. Noda: "Design of compound-defect waveguides in three-dimensional photonic crystals", *Optics Express*, vol. 14, no. 13, pp. 6303-6307 (2006).
15. K. Sakai, E. Miyai, and S. Noda: "Coupled-wave model for square-lattice 2D photonic crystal with TE-like mode", *Applied Physics Letters*, vol. 89, no. 2, pp. 021101-1-021101-3 (2006).
16. Y. Tanaka, M. Tymczenko, T. Asano and S. Noda: "Fabrication of two-dimensional photonic crystal slab point-defect cavity employing local three-dimensional structures", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 45, no. 8A, pp. 6096-6102 (2006).
17. H. Takano, B. S. Song, T. Asano, and S. Noda: "Highly effective in-plane channel-drop filters in two-dimensional heterostructure photonic-crystal slab", *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 45, no. 8A, pp. 6078-6086 (2006).
18. S. Takahashi, M. Okano, M. Imada, and S. Noda: "Three-dimensional photonic crystals based on double-angled etching and wafer-fusion techniques", *Applied Physics Letters*, vol. 89, no. 12, pp. 123106-1-123106-3 (2006).
19. B. S. Song, T. Asano, and S. Noda: "Physical origin of the small modal volume of ultra-high- $Q$  photonic double-heterostructure nanocavities", *New Journal of Physics*, vol. 8, no. 9, pp. 209-1-209-12 (2006).
20. 大西大, 野田進: "2次元フォトニック結晶レーザー開発の現状", *レーザー研究*, vol. 34, no. 11, pp. 736-739 (2006).

21. 杉立厚志, 野田進: "フォトニック結晶線欠陥レーザー", *レーザー研究*, vol. 34, no. 11, pp. 740-744 (2006).
22. 富士田誠之, 野田進: "フォトニックバンドギャップを利用した発光制御技術", *レーザー研究*, vol. 34, no. 11, pp. 761-766 (2006).
23. T. Asano, B.-S. Song, Y. Akahane and S. Noda : "Ultra-high- $Q$  nanocavities in two-dimensional photonic crystal slab", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 12, no. 6, pp. 1123-1134 (2006).
24. S. Noda: "Recent progresses and future prospects of two and three-dimensional photonic crystals", *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol. 12, no. 6, pp. 1123-1134 (2006).
25. K. Sakai, and S. Noda: "Optical trapping of metal particles in a doughnut-shaped beam emitted by a photonic-crystal laser", *Electronics Letters*, vol. 43, no. 2, pp. 107-108 (2007).
26. B. S. Song, T. Asano, and S. Noda: "Recent advances in two-dimensional photonic crystals slab structure: Defect engineering and heterostructure", *Nano*, vol. 2, no. 1, pp. 1-13 (2007).
27. 野田進: "フォトニック結晶の進展と展望", *電子情報通信学会会誌*, vol. 90, no. 9, pp. 783-786 (2007).
28. W. Stumpf, M. Fujita, M. Yamaguchi, T. Asano, and S. Noda: "Light-emission properties of quantum dots embedded in a photonic double-heterostructure nanocavity", *Applied Physics Letters*, vol. 90, no. 23, pp. no. 231101-1- no. 231101-3 (2007).
29. S. Noda, M. Fujita, and T. Asano: "Spontaneous-emission control by photonic crystals and nanocavities", *Nature Photonics*, vol. 1, no. 8, pp.449-458 (2007).
30. B. S. Song, T. Asano, and S. Noda: "Heterostructures in two-dimensional photonic-crystal slabs and their application to nanocavities", *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 40, no. 9, pp. 2629-2634 (2007).
31. Y. Tanaka, J. Upham, T. Nagashima, T. Sugiya, T. Asano and S. Noda: "Dynamic control of the  $Q$  factor in a photonic crystal nanocavity", *Nature Materials*, vol. 6, no. 11, pp. 862-865 (2007).
32. Y. Takahashi, H. Hagino, Y. Tanaka, B. S. Song, T. Asano, and S. Noda: "High- $Q$  nanocavity with a 2-ns photon lifetime", *Optics Express*, vol. 15, no. 25, pp. 17206-17213 (2007).
33. S. Tomljenovic-Hanic, C. M. de Sterke, M. J. Steel, B. J. Eggleton, Y. Tanaka, and S. Noda: "High- $Q$  cavities in multilayer photonic crystal slabs", *Optics Express*, vol. 15, no. 25, pp. 17206-17213 (2007).
34. S. Kawashima, M. Imada, K. Ishizaki, and S. Noda: "High-precision alignment and bonding system for the fabrication of 3-D nanostructures", *Journal of Microelectromechanical Systems*, vol. 16, no. 5, pp. 1140-1144 (2007).
35. K. Sakai, E. Miyai, and S. Noda: "Two-dimensional coupled wave theory for square-lattice photonic-crystal lasers with TM-polarization", *Optics Express*, vol. 15, no. 7, pp. 3981-3990 (2007).
36. H. Kitagawa, T. Suto, M. Fujita, Y. Tanaka, T. Asano, S. Noda: "Green photoluminescence from GaInN photonic crystals", *Applied Physics Express*, vol. 1, no. 3, pp. 32004-1-32004-3 (2008).
37. H. Matsubara, S. Yoshimoto, H. Saito, Y. Jianglin, Y. Tanaka, and S. Noda: "GaN photonic-crystal surface-emitting laser at blue-violet wavelengths", *Science*, vol. 319, no. 5862, pp. 445-447 (2008).
38. S. Ogawa, K. Ishizaki, T. Furukawa, and S. Noda: "Spontaneous emission control by 17 layers of three-dimensional photonic crystals", *Electronics Letters*, vol. 44, no. 5, pp. 377-378 (2008).
39. W. Stumpf: "Quantenpunkte als photonenquellen (Quantum dots as photon sources)", *Physik in unserer Zeit (Contemporary Physics)*, vol. 39, no. 2, pp. 71-76 (2008).
40. B. S. Song, T. Nagasima, T. Asano, and S. Noda: "Resonant-wavelength control of nanocavities by nanometer-scaled adjustment of two-dimensional photonic crystal slab structures", *IEEE Photonic Technology Letters*, vol. 20, no. 7, pp. 532-534 (2008).
41. 宮井英次, 野田進: "フォトニック結晶面発光レーザー", *電気学会論文誌 C*, vol. 128, no. 5, pp. 763-767 (2008).
42. E. Miyai, K. Sakai, T. Okano, W. Kunishi, D. Ohnishi, and S. Noda: "Linearly-Polarized Single-Lobed Beam in a Surface-Emitting Photonic-Crystal Laser", *Applied Physics Express*, vol. 1, no. 6, pp. 62002-1-62002-3 (2008).
43. Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "Design of photonic crystal nanocavity with  $Q$ -factor of ~

- 10<sup>9</sup>", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 26, no. 11, pp. 1532-1539 (2008).
44. M. Yamaguchi, T. Asano, M. Fujita, and S. Noda: "Theoretical analysis of light emission from a coupled system of a photonic nanocavity and a quantum dot", *Physica Status Solidi c*, vol. 5, no. 9, pp. 2828-2830 (2008).
  45. Y. Takahashi, Y. Tanaka, H. Hagino, T. Asano, and S. Noda: "Higher-order resonant modes in a photonic heterostructure nanocavity", *Applied Physics Letters*, vol. 92, no. 24, pp. 241910-1-241910-3 (2008).
  46. M. Fujita, Y. Tanaka, and S. Noda: "Light emission from silicon in photonic crystal nanocavity", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 14, no. 4, pp. 1090-1097 (2008).
  47. M. Yamaguchi, T. Asano, and S. Noda: "Photon emission by nanocavity-enhanced quantum anti-Zeno effect in solid-state cavity quantum-electrodynamics", *Optics Express*, vol. 16, no. 22, pp. 18067-18081 (2008).
  48. Y. Kurosaka, K. Sakai, E. Miyai and S. Noda: "Controlling vertical optical confinement in two-dimensional surface-emitting photonic-crystal lasers by shape of air holes", *Optics Express*, vol. 16, no. 22, pp. 18485-18494 (2008).
  49. J. Upham, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "Dynamic increase and decrease of photonic crystal nanocavity  $Q$  factors for optical pulse control", *Optics Express*, vol. 16, no. 26, pp. 21721-21730 (2008).
  50. H. Hagino, Y. Takahashi, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "Effects of fluctuation in air hole radii and positions on optical characteristics in photonic crystal heterostructure nanocavities", *Physical Review B*, vol. 79, no. 8, pp. 085112-1-085112-8 (2009).
  51. S. Noda and M. Fujita: "Photonic crystal efficiency boost", *Nature Photonics*, vol. 3, no. 3, pp. 129-130 (2009).
  52. K. Ishizaki, M. Okano, S. Noda: "Numerical investigation of emission in finite-sized, three-dimensional photonic crystals with structural fluctuations", *Journal of the Optical Society of America B*, vol. 26, no. 6, pp. 1157-1161 (2009).
  53. Y. Kurosaka, S. Iwahashi, K. Sakai, E. Miyai, W. Kunishi, D. Ohnishi, and S. Noda: "Band structure observation of 2D photonic crystal with various V-shaped air-hole arrangements", *IEICE ELECTRONICS EXPRESS*, vol. 6, no. 13, pp. 966-971 (2009).
  54. K. Ishizaki, S. Noda: "Manipulation of photons at the surface of three-dimensional photonic crystals", *Nature*, vol. 460, no. 16, pp. 367-370 (2009).
  55. S. Takahashi, K. Suzuki, M. Okano, T. Nakamori, Y. Ota, K. Ishizaki, and S. Noda: "Direct creation of three-dimensional photonic crystals by a top-down approach", *Nature Materials*, vol. 8, no. 9, pp. 721-725 (2009).
  56. 酒井恭輔, 野田進: "フォトニック結晶面発光レーザーの多様なビームパターン", *レーザー研究*, vol. 37, no. 9, pp.689-693 (2009).
  57. B. S. Song, T. Nagashima, T. Asano, and S. Noda: "Resonant-wavelength tuning of a nanocavity by subnanometer control of a two-dimensional silicon-based photonic crystal slab structure", *APPLIED OPTICS*, vol. 48, no. 26, pp. 4899-4903 (2009).
  58. Y. Takahashi, Y. Tanaka, H. Hagino, T. Sugiyama, Y. Sato, T. Asano, and S. Noda: "Design and demonstration of high- $Q$  photonic heterostructure nanocavities suitable for integration", *Optics Express*, vol. 17, no. 20, pp. 18093-18102 (2009).
  59. T. Asano, K. Mochizuki, M. Yamaguchi, M. Chaminda, and S. Noda: "Spectrally selective thermal radiation based on intersubband transitions and photonic crystals", *Optics Express*, vol. 17, no. 21, pp. 19190-19203 (2009).
  60. M. Yamaguchi, T. Asano, K. Kojima, and S. Noda: "Quantum electrodynamics of a nanocavity coupled with exciton complexes in a quantum dot", *Physical Review B*, vol. 80, no. 15, pp. 155326-155335 (2009).
  61. S. Kawashima, K. Ishizaki, and S. Noda: "Light propagation in three-dimensional photonic crystals", *Optics Express*, vol. 18, no. 1, pp. 386-392 (2010).
  62. Y. Tanaka, S.-I. Takayama, T. Asano, Y. Sato, and S. Noda: "A polarization diversity two-dimensional photonic-crystal device", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 16, no. 1, pp. 70-76 (2010).
  63. K. Kitamura, K. Sakai, and S. Noda: "Sub-wavelength focal spot with long depth of focus

- generated by radially polarized, narrow-width annular beam", *Optics Express*, vol. 18, no. 5, pp. 4518-4525 (2010).
64. K. Sakai, E. Miyai, S. Noda: "Coupled-wave theory for square-lattice photonic crystal lasers with TE polarization", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 46, no. 5, pp. 778-795 (2010).
  65. S. Iwahashi, K. Sakai, Y. Kurosaka, and S. Noda: "Air-hole design in a vertical direction for high-power two-dimensional photonic-crystal surface-emitting lasers", *Journal of the Optical Society of America B*, vol. 27, no. 6, pp. 1204-1207 (2010).
  66. J. Upham, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "On-the-fly wavelength conversion of photons by dynamic control of photonic waveguides", *Applied Physics Express*, vol. 3, no. 6, pp. 062001-1-062001-3 (2010).
  67. Y. Kurosaka, S. Iwahashi, Y. Liang, K. Sakai, E. Miyai, W. Kunishi, D. Ohnishi and S. Noda: "On-chip beam-steering photonic-crystal lasers", *Nature Photonics*, vol. 4, no. 7, pp. 447-450 (2010).
  68. W. C. Stumpf, T. Asano, T. Kojima, M. Fujita, Y. Tanaka, and S. Noda: "Reflectance measurement of two-dimensional photonic crystal nanocavities with embedded quantum dots", *Physical Review B*, vol. 82, no. 7, pp. 075119-1-075119-7 (2010).
  69. S. W. Jeon, J. K. Han, B. S. Song, and S. Noda, "Glass-embedded two-dimensional silicon photonic crystal devices with a broad bandwidth waveguide and a high quality nanocavity", *Optics Express*, vol. 18, no. 18, pp. 19361-19366 (2010).
  70. M. Burrese, T. Kampfrath, D. van Oosten, J. C. Prangma, B. S. Song, S. Noda, and L. Kuipers, "Magnetic Light-Matter Interactions in a Photonic Crystal Nanocavity", *Physical Review Letters*, vol. 105, no. 12, pp. 123901-1-123901-4 (2010).
  71. M. Fujita, B. Gelloz, N. Koshida, and S. Noda: "Reduction in surface recombination and enhancement of light emission in silicon photonic crystals treated by high-pressure water-vapor annealing", *Applied Physics Letters*, vol. 97, no. 12, pp. 121111-1-121111-3 (2010).

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 野田進: フォトニック結晶技術の新展開 -産業化への動向- (川上彰二郎編集、シーエムシー出版), "第 22 章 2 次元フォトニック結晶高機能光デバイス・回路の実現に向けて、第 24 章 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ", 2005 年 9 月(全 328 ページ).
2. 野田進: "総論-フォトニックナノ構造を中心とした光技術の最新動向-", オプトロニクス:特集「フォトニックナノ構造を中心とした光技術の最新話題」, vol.24, no.11, pp.110-111 (2005).
3. 富士田誠之, 野田進: "フォトニック結晶による自然放出制御", オプトロニクス:特集「フォトニックナノ構造を中心とした光技術の最新話題」, vol.24, no.11, pp.121-126 (2005).
4. 浅野卓, 赤羽良啓, 宋奉植, 野田進: "フォトニック結晶による高  $Q$  値光ナノ共振器", オプトロニクス:特集「フォトニックナノ構造を中心とした光技術の最新話題」, vol.24, no.11, pp.113-119 (2005).
5. 野田進: "フォトニック結晶技術の最新動向", 電気評論 (2005).
6. 野田進: "2 次元フォトニック結晶面発光レーザ [フォトニック結晶技術の新展開 -産業化への動向-]", pp.245-249, CMC 出版, (2005).
7. 浅野卓: "洛中洛外ナノテクばなし(京都ナノテククラスター本部編)", 2006 年 2 月(全 177 ページ).
8. 野田進: ナノフォトニックデバイスの基礎とその展開 (荒川泰彦編著、コロナ社), "ナノフォトニックデバイスの基礎とその展開", 2006 年 12 月.
9. 野田進: "科学立国日本を築く—極限に挑む気鋭の研究者たち— (榊裕之 監修、財団法人丸文研究交流財団選考委員会 編):第 3 章フォトニック結晶で光を操る", pp.86-102, 2006 年 3 月(全 372 ページ)..
10. 野田進、宮井英次: "各種のビームパターンを発するレーザ", セラミクス, vol.41, no.10,

pp.895-895 (2006).

11. 野田進: "ナノ構造", レーザー研究, vol. 34, no. 11, pp. 735-735 (2006).
12. 宮井英次, 酒井恭輔, 岡野誉之, 國師渡, 大西大, 野田進: "様々な形のビームを出社できる半導体レーザー=フォトニック結晶エンジニアリングによるビーム制御=", 光アライアンス, 5月号, pp.20-23 (2007).
13. 野田進, 田中良典, 高橋和, 浅野卓: "フォトニック結晶ナノ共振器の  $Q$  値の増大と動的制御", 応用物理, vol. 77, no. 2, pp.150-154 (2008).
14. I. P. Kaminow, T. Li, A. E. Willner, and S. Noda: "Optical Fiber Telecommunications (Chap. 13, Photonic crystal technologies: Experiment)", (2008).
15. 富士田誠之, 野田進: "フォトニック結晶を用いた発光制御", 照明学会誌, vol.92, no.10, pp.699-704 (2008).
16. 野田進: "フォトニック結晶レーザの進展-フォトニック結晶が織りなす新しいレーザ制御-", 電子情報通信学会誌, vol.91, no.11, pp.965-970 (2008).
17. 富士田誠之, 田中良典, 野田進: "フォトニックナノ構造をもつシリコンからの発光現象=フォトニック結晶・ナノ共振器によるシリコンの発光制御=", 光アライアンス, 1月号, pp.8-13 (2009).
18. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", *MRS BULLETIN*, vol.34, no.10, pp.751-755 (2009).
19. 野田進: "フォトニック結晶による光の発生・制御技術の最近の進展", 鉱山, vol. 62, no. 4, pp. 47-57 (2009).
20. 野田進: "フォトニック結晶による光の発生・制御技術の最近の進展", *OPTRONICS*, 2009年6月号.
21. 野田進, 酒井恭輔: "フォトニック結晶面発光レーザー", *O PLUS E*, vol. 31, no.11, pp.1271-1276 (2009).
22. 野田進: "フォトニック結晶が拓く光学技術の未来像", 日本電気硝子 60 周年記念誌, pp.98-99 (2009).
23. 野田進: "フォトニック結晶による高度な光の制御と生成", 光科学研究の最前線 2 (強光子場科学研究懇談会編), vol. 2, p. 20 (2009).
24. K. Sakai, S. Yoshimoto, H. Matsubara, and S. Noda: "GaN Photonic-Crystal Surface-Emitting Laser", *MRS Proceedings*, 1202-I12-03 (2009).
25. 岩橋清太, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 野田進: "面心長方格子を用いた 2 次元フォトニック結晶レーザー", 信学技報, vol.109, no.403, pp.5-9 (2010).
26. 酒井恭輔, 田中良典, 富士田誠之, 野田進: "フォトニック結晶技術の最新展開", 工業材料, vol.58, no.3, (2010).
27. 富士田誠之, 野田進: "フォトニック結晶発光素子=フォトニック結晶を利用した超高効率発光素子へ向けて=", 光アライアンス, vol. 24, no. 4, pp.14-19 (2010).
28. 野田進: "フォトニック結晶レーザー —究極のナノレーザーと大面積コヒーレントレーザー—", 応用物理, vol. 79, no. 6, pp. 0530-0536 (2010).

### (3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

#### ① 招待講演 (国内会議 47 件、国際会議 85 件)

1. B. S. Song, T. Asano, and S. Noda: "Ultra-high- $Q$  photonic nanocavities", First Conference on Advances in Optical Materials (AIOM) 2005, Doubletree Hotel at Reid Park, Tucson, USA, Oct. (2005) (Invited).
2. S. Noda: "Simultaneous inhibition and redistribution of spontaneous emission in 2D photonic

- crystal slabs", SPIE International Symposium Photonics WEST, 6127-45, San Jose Convention Center, San Joes, California, USA, Jan. 21-26 (2006) (Invited).
3. S. Noda: "Photonic Crystals: Ultrahigh- $Q$  nanocavities/Spontaneous emission control", Frontiers in Nanoscale Science and Technology Workshop (FNST), Stanford Court Hotel, San Francisco, California, USA, Jan. 26-28 (2006) (Invited).
  4. S. Noda: "Recent Progresses in 2D Photonic Crystals -Spontaneous Emission Control / Ultrahigh- $Q$  Nanocavities-", The 4th NIMS International Conference on Photonic Processes in Semiconductor Nanostructures, Tsukuba International Congress Center, Tsukuba, Japan, Mar. 8-10 (2006) (invited, Keynote Lecture).
  5. S. Noda: "Photonic Crystal for Manipulation of Photons", Memorial Lecture for Honorary Degree, Gent University, Belgium, March 23, 2006. (invited)
  6. S. Noda: "Engineering in Photonic Crystals and Manipulation of Photons", CIAR Nanoelectronics Meeting, Hotel Club Tremblant, Quebec, Canada, Apr. 30-Apr. 2 (2006) (invited).
  7. 野田進: "フォトニック結晶の研究動向と将来展望", JST「ナノ製造・デバイス・システム」戦略ワークショップ, 東京都, 2005年11月26日.
  8. 野田進, "光ナノ構造「フォトニック結晶」の現状と将来展望", 電気関係学会関西支部連合大会, 京都大学桂キャンパス桂ホール, 京都市, 2005年11月12-13日(招待講演).
  9. 野田進, "最近のフォトニック結晶技術の進展" 第9回NAIST科学技術セミナー, 奈良先端科学技術大学院大学, 奈良県, 2005年11月25日(招待講演).
  10. 野田進, "半導体フォトニック結晶の研究", 第98回微小光学研究会「微小光学の発展ー最近の受賞からー」, キャンパスプラザ京都, 京都市, 2005年12月2日(招待講演).
  11. 野田進, "フォトニック結晶", 第16回光物性研究会, TL-1, 大阪市立大学, 大阪市, 2005年12月9-10日(招待講演)(チュートリアル講義).
  12. 野田進, "フォトニック結晶の現状と将来展望", 第60回分子科学フォーラム, 岡崎コンファレンスセンター, 愛知県岡崎市, 2005年12月14日(招待講演).
  13. 野田進, "フォトニック結晶と超小型超高性能光デバイスの展望", 第6回ファイバーオプティクス EXPO 専門技術セミナー「限界を打ち破る新しい通信用光デバイスへの期待」, 東京ビッグサイト, 東京都, 2006年1月18-20日(招待講演).
  14. 浅野卓, 野田進, "フォトニック結晶を用いた高 $Q$ 値光ナノ共振器", レーザー学会年次大会, シンポジウム: 躍動し始めたフォトニック回路, 大宮ソニックシティ, さいたま市, 2006年2月9-10日(招待講演).
  15. 浅野卓, 宋奉植, 野田進, "フォトニック結晶による超短パルス光の伝搬制御と動的トラップの検討", 第4回超高速光エレクトロニクス研究会, 上智大学3号館3階3-348, 東京都千代田区, 2006年3月17日(招待講演).
  16. 野田進, "フォトニック結晶と光子制御", 東京工業大学21世紀COEプログラム「量子ナノ物理学」第2回公開シンポジウム, 五反田ゆうぽうと, 東京都, 2006年3月16-17日(招待講演).
  17. T. Asano and S. Noda: "Ultra-high  $Q$  photonic nanocavity", International Conference on Indium Phosphide and Related Materials Conference (IPRM 2006), CMKK1, Princeton University, Princeton, USA, May 21-26 (2006) (Invited).
  18. W. Kunishi, D. Ohnishi, E. Miyai, K. Sakai, and S. Noda: "High-Power Single-Lobed Surface-Emitting Photonic-Crystal Laser", Conference on Lasers and Electro-optics (CLEO)/ Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) 2006, CMKK1, Long Beach Convention Center, Long Beach, USA, May 21-26 (2006) (Invited).
  19. S. Noda: "Manipulation of photons based on various engineering in photonic crystals", OSA Topical Meeting and Tabletop Exhibit on Photonic Metamaterials: From Random to Periodic ,

- MC2, Westin Grand Bahama Island Our Lucaya Resort, Grand Bahama Island, The Bahamas, Jun. 38845 (2006) (Invited).
20. S. Noda: "Recent Progress of Photon Manipulation by Photonic Crystals", 3rd Annual CNS Nanotechnology Symposium, Nanophotonics - From Discovery to Systems, Clark Hall, Cornell University, New York, USA, Jul. 7 (2006) (Invited).
  21. S. Noda: "Photonic Crystals for Manipulation of Photons", 28th International Conference on the Physics of Semiconductors, WeM1, Holfburg, Vienna, Austria, Jul. 24-28 (2006) (Plenary).
  22. S. Noda: "Recent Progresses in Photonic Crystals", 15th International Laser Physics Workshop, L'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland, 24-28 (2006) (Plenary).
  23. T. Asano and S. Noda: "Ultra-high- $Q$  Photonic Nanocavities and Trapping of Ultra-short Optical Pulses", Slow and Fast Light Topical Meeting, MB4, OSA Headquarters, Washington DC, USA, Jul. 23-26 (2006) (Invited).
  24. S. Noda: "Photonic Crystals for Various Manipulations of Photons", Asia-Pacific Optical Communications Conference 2006, Plen-07, Kimdaejung Convention Center, Gwangju, Korea, Sep. 3-7 (2006) (Plenary).
  25. S. Noda: "Experimental Advances in Photonic Crystals", 2006 Stanford Photonics Research Center Symposium, Fairchild Auditorium, Stanford University, Stanford, USA, Sep. 18-20 (2006) (Invited).
  26. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", 2006 OSA Annual Meeting, FTuO1, Rochester Convention Center, Rochester, USA, Oct. 8-12 (2006) (invited).
  27. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", First Annual Meeting in Optical Society of Europe, Porte de Versailles, Paris, France, Oct. 17-19 (2006) (Plenary).
  28. S. Noda: "Current Status of Photonic Crystal Technology" International Workshop on Nitride Semiconductors 2006 (October 22-27, 2006, Kyoto, Japan)
  29. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", Japan - Germany Joint Workshop, 2006, Nano-Electronics, Session9-4, Hotel Villa Fontaine Conference Center, Shiodome, Tokyo, Oct.31-Nov.1 (2006) (Invited).
  30. S. Noda: "Photonic Crystals -From Nano-photonics to Display", The 13th International Display Workshop, LAD2 - 1, Ohtsu Prince Hotel, Ohtsu, Japan, Dec. 6-8 (2006) (invited).
  31. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", The 8th RIES-Hokudai International Symposium, Session1-1, Hokkaido University Conference Hall, Sapporo, Japan, 11-12 (2006) (invited).
  32. 野田進: "フォトニック結晶工学の進展と将来展望", 第36回結晶成長国内会議 (NCCG-36), 11月2日の2, 大阪大学, 大阪, 2006年11月2日(特別講演).
  33. 野田進: "フォトニック結晶の基礎と展望", 第5回ナノサイエンス・サマー道場—量子オプティクス基礎と応用—, 飯綱高原「ホテルアルカディア」, 長野市, 2006年8月18日.
  34. 野田進: "フォトニック結晶: 進展と未来", 丸文学術フォーラム「21世紀を築く日本の研究開発を目指して」, 東京大学, 9月30日.
  35. 野田進: "フォトニック結晶工学の深化と新展開", JST ナノテクノロジー分野2領域合同研究報告会, 東京大学, 12月14日
  36. S. Noda: "Recent progress in semiconductor photonic crystals—Ultrahigh- $Q$  nanocavities and 2d band-edge lasers", International Symposium on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures VII, MoP1, Monterey Conference Center, Monterey, USA, Apr. 8-11 (2007)(invited).
  37. S. Noda: "Present status of semiconductor 3D photonic crystals", Material Research Symposium, AA9.1, Moscone West, San Francisco Marriott, San Francisco, USA, Apr. 10-13 (2007)(invited).
  38. S. Noda: "High- $Q$  photonic crystal cavities", The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2007, CFH1, The Baltimore Convention Center, Baltimore, Maryland, USA, May 6-11 (2007)(invited).
  39. B. S. Song, T. Asano, and S. Noda: "Heterostructures in 2-D photonic crystal slab and their application to ultra-high  $Q$  nanocavities", The 14th Conference on Optoelectronics and Optical Communications (COOC2007), T1D-1, Jeju, Korea, May 16-18 (2007)(Invited).

40. S. Noda: "Manipulation of photons by photonic crystals", International Conference on Nanoscience & Technology, China 2007, PL003, International Convention Center, Beijing, China, Jun. 4-6 (2007) (plenary).
41. S. Noda: "Recent progress of manipulation of photons by photonic crystals", The OSA Topical Conference on Nanophotonics, PI-I-2, Zhejiang University, Hangzhou, China, Jun. 18-21 (2007) (plenary).
42. S. Noda: "Manipulation of photons by photonic crystals", International Conference on Materials for Advanced Technologies 2007, DA-1-IN1, Suntec Singapore International Convention & Exhibition Centre, Singapore, Singapore, Jul. 1-6 (2007) (invited).
43. T. Asano and S. Noda: "Optical pulse trapping by ultra-high- $Q$  nanocavity", Topical Meeting on Slow and Fast Light, STuB1, Hilto Salt Lake City Center, Salt Lake City, USA, Jul. 8-11 (2007) (invited).
44. S. Noda: "Photonic crystal nanocavities and their applications", OSA Topical Meeting on Nonlinear Optics: Materials, Fundamentals and Applications, WD2, Sheraton Keauhou Bay Resort & Spa Kona, Hawaii, USA, Jul. 30-3 (2007) (invited).
45. S. Noda: "High- $Q$  photonic crystal nanocavities", IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, MB1, Farglory Hotel, Hualien, Taiwan, Aug. 12-16 (2007) (invited).
46. T. Asano and S. Noda: "Optical pulse trapping by ultra-high- $Q$  nanocavity", The 20th Annual meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society, Wyndham Place Resort & Spa, Lake Buena Vista, Florida, U.S.A., Oct. 21-25 (2007) (invited).
47. S. Noda: "PHOTONIC CRYSTALS – A NEW TOOLBOX FOR TELECOM DEVICES –", Nature Photonics Technology Conference, Tokyo, Japan, Oct. 24-25 (2007) (Invited).
48. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", The 1st Int. Symp. Information Electronics Systems, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Nov.26 (2007) (Invited).
49. S. Noda: "Recent progress and future prospect of photonic crystals", SPIE Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology 2008, AU07P1-101, Australian National University, Canberra, Australia, Dec. 9-12 (2007) (Plenary).
50. S. Noda: "Recent Progress in Photonic Crystals", 日瑞量子ナノエレクトロニクスに関するワークショップ, Lund University, Lund, Sweden, Dec. 13-14 (2007) (invited).
51. Y. Tanaka, J. Upham, T. Nagashima, T. Sugiyama, T. Asano and S. Noda : "Ultra-fast dynamic control of the Q factor in a photonic crystal nanocavity", SPIE Photonic West 2008, 6892-11, San Jose Convention Center, San Jose, Jan. 20 (2008) (invited).
52. S. Noda: "Recent progress of photonic crystals", 7th Cudos Workshop, Murrumbidgee Resort, South Durras, Australia, Feb. 19-22 (2008) (plenary).
53. S. Noda: "Manipulation of photons by 2D and 3D photonic crystals", Optical Fiber Communication Conference, OFC 2008, San Diego Convention Center, San Diego, USA, Feb. 24-28 (2008) (tutorial).
54. 富士田誠之, 石原邦亮, 浅野卓, 野田進, 大畑浩, 平沢明, 宮口敏: "フォトニック結晶有機ELデバイス", 2007年秋季第68回応用物理学会学術講演会, 5pR-6, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月5日(招待講演).
55. 富士田誠之: "GFP2007 報告 特別講演 3 : Cavity-mode light emission in silicon photonic nanocavities at room temperature", 第7回電子情報通信学会シリコン・フォトニクス研究会, 特別講演 3, 東京大学, 東京, 2007年10月16日(招待講演).
56. 富士田誠之, 高橋重樹, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "フォトニックバンドギャップを利用した発光制御技術", レーザー学会学術講演会第28回年次大会, 31aIV5, 名古屋国際会議場, 名古屋市, 2008年1月31日(招待講演).
57. 野田進: "フォトニック結晶工学の進展と展望", 応物関西支部60周年記念講演会, 大阪大学, 大阪市, 2007年9月25日(基調講演).
58. 野田進: "フォトニック結晶による究極の発光制御 –新しいLED/LD開発に向けて–", 新産業を創る先端科学技術フォーラム2007, インテック大阪, 大阪市, 2007年10月19日(招待講演).
59. 野田進: "フォトニック結晶の最先端", ナノ量子情報エレクトロニクスシンポジウム,

- 東京大学, 東京都, 2007 年 10 月 25 日(招待講演)
60. 野田進: "フォトニック結晶による光制御の現状と展望", 応用物理学会第 36 回薄膜・表面物理基礎講座, 東京理科大学, 東京都, 2007 年 11 月 9 日 (招待講演).
  61. 野田進: "フォトニック結晶の最近の進展", フォトニクスイノベーションシンポジウム, 京都大学, 京都府, 2007 年 11 月 30 日(特別講演)
  62. 野田進: "フォトニック結晶による光の操作 –基礎と応用–", 第 28 回レーザー学会年次大会, 名古屋国際会議場, 愛知県, 2008 年 1 月 30 日 (基調講演).
  63. 野田進: "フォトニック結晶面発光レーザ(PC-SEL) –発振原理から青紫色発振の実現まで–", 光産業技術振興協会フォトニックデバイス・応用技術研究会, 機械振興会館, 東京都, 2008 年 3 月 12 日 (招待講演) .
  64. 野田進: "フォトニック結晶の最近の進展 –超高  $Q$  値ナノ共振器から青紫色面発光レーザまで–", 光産業技術マンスリーセミナー, 光技術振興協会, 東京都, 2008 年 3 月 18 日 (招待講演)
  65. T. Asano, Y. Tanaka and S. Noda: "Ultra-fast dynamic control of the  $Q$  factor in a photonic crystal nanocavity ", Conferencia Espanola de Nanofotonica 2008, Invited-Thu-2, Hotel Imperial Taraco, Tarragona, Spain, Apr. 2-4 (2008)(Invited).
  66. S. Noda: "High- $Q$  photonic nanocavities", 8th International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures, TuA-1, Komaba Research Campus, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Apr. 7-11 (2008)(invited).
  67. S. Yoshimoto, H. Matsubara, H. Saito, Y. Jianglin, Y. Tanaka, S. Noda: "GaN Photonic-Crystal Surface-Emitting Laser Operating at Blue-Violet Wavelengths", The Conference on Lasers and Electro-Optics , CMI3, Marriott San Jose Salon 5 and 6, San Jose, America, May 4-9 (2008)(Invited).
  68. S. Noda: "Photonic-crystal surface-emitting lasers", 20th International Conference on Indium Phoshide and related materials, MoB3.2-Inv, Palais des Congres de Versailles, Versailles, France, May 25-29 (2008)(invited).
  69. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", The 37th International School on the Physics of Semiconducting Compounds, Mo01, Kolejars hotel, Ustron-Jaszowiec, Poland, Jun. 7-13 (2008)(invited).
  70. S. Noda: "Ultrahigh- $Q$  nanocavities and their dynamic control", 10th Anniversary International Conference on Transparent Optical Networks, Athens Information Technology, Athens, Greece, Jun. 22-26 (2008)(invited).
  71. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", The 8th International Conference on Excitonic Processes in Condensed Matter, F1, Clock Tower Centennial Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Jun. 22-27 (2008)(plenary).
  72. S. Noda, S. Yoshimoto, H. Matsubara, H. Saito, Y. Jianglin and Y. Tanaka: "Photonic-crystal surface-emitting laser at blue-violet wavelengths", 第 27 回電子材料シンポジウム, G2, ラフォーレ修善寺, 伊豆, 日本, Jul. 9-11 (2008)(招待講演).
  73. 野田進: "フォトニック結晶面発光レーザの進展", (財) 光産業技術振興協会多元技術融合光プロセス研究会, 2008 年 7 月 8 日 (招待講演)
  74. S. Noda: "Recent Progress in Photonic Crystals for Manipulation of Photons", International Symposium on Optical Memory and Optical Data Storage 2008, MC, Waikoloa, Hawaii, USA, Jul. 13-16 (2008)(invited).
  75. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", International Conference on Electronic Materials 2008, PLENARY2-S1.2, Hilton Sydney, Sydney, Australia, Jul. Jul. 28 - Aug. 1 (2008)(plenary).
  76. S. Noda: "Recent Progress in Photonic Crystals for Manipulation of Photons", International Nano-Optoelectronic Workshop, M2-1, Shonan Village, 神奈川県三浦郡, Japan, Aug. 2-15 (2008)(invited).
  77. 野田進, 「フォトニック結晶の現状と展望」, JST 量子情報夏学校, 2008 年 9 月 9 日(招待)
  78. 田中良典, Jeremy Upham, 永島拓志, 杉谷知昭, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶光ナノ共振器の  $Q$  値の動的制御", 電子情報通信学会 2008 年ソサエティ大会, C-3-82,

- 明治大学生田キャンパス, 川崎市, 日本, Sep. 16-19 (2008)(招待)
79. S. Noda, "Recent Progress of Photonic Crystals", DFG (German Physical Society) Summer School on Functional Nanostructures, Sep. 14-19, 2008.
  80. S. Noda: "III-nitride optoelectronic devices based on photonic crystal structures", International Workshop on Nitride semiconductors, Tu-II-2, Montreux Convention Centre., Montreux, Switzerland, Oct. 6-10 (2008)(plenary).
  81. S. Noda: "Surface Emitting Nitride Laser Diode Using Photonic Crystal", The 2nd IEEE Nanotechnology Materials and Device Conference 2008, TuC I-1, Kyoto University Clock Tower Centennial Hall, Kyoto, Japan, Oct. 20-22 (2008)(invited).
  82. S. Noda: "GaN Photonic-Crystal Surface-Emitting Lasers", The 21st Annual Meeting of The IEEE Lasers & Electro-Optics Society, TuN1, Marriott Newport Beach Resort & Spa, Newport Beach, USA, Nov. 9-13 (2008)(invited).
  83. S. Noda, "Photonic Crystals: From fundamentals to GaN photonic-crystal lasers", 8th Akasaki Research Center Symposium "To the New Horizon of the Nitride Research", Nagoya, Nov. 20, (2009) (invited).
  84. 野田進, "Recent Progress of Photonic Crystals", 光材料・応用技術研究会、京都、2008年11月21日.
  85. 野田進, 「光を自由自在に制御する: フォトニック結晶」、丸文交流財団シンポジウム、11月シンポジウム、大阪大学、2008年11月28日.
  86. S. Noda, J. Upham, Y. Tanaka, T. Asano: "Dynamic control of photonic crystals", EuroPhysics Conference on Nanophotonics and Matamaterials, TUE5s.5, Seefeld ski resort, Tirol, Austria, Jan. 5-9 (2009)(invited).
  87. M. Fujita, Y. Tanaka, Y. Takahashi, T. Asano and S. Noda: "Manipulation of Photons by Silicon Photonic Crystals", 1st International Conference on Silicon Photonics, Hongou Campus, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Jan. 23 (2009)(invited).
  88. M. Fujita: "Light emission from silicon in photonic crystal and nanocavity", Symposium on Silicon Lasers and Silicon Photonics, Uji Campus, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 11 (2009)(invited).
  89. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals", 5th Optoelectronic and Photonic Winter School on CMOS Photonics, Photonic Crystal1,2, Fai della Paganella, Trento, Italy, Mar. 15-21 (2009)(invited).
  90. S. Noda: "Recent Progress in Photonic Crystals - From Dynamic Control to Blue-Violet Lasers", The 8th International Photonic & Electromagnetic Crystal Structures Meeting, Session3-1, Cockle Bay Wharf, Sydney, Australia, Apr. 5-9 (2009) (Invited).
  91. S. Noda: "Silicon Photonic Crystals", International Nanotechnology Conference, INC5, California, May 20 (2009) (Invited)
  92. S. Noda: "New Trends in Photonic Crystals", Sir Mark Nanophotonics Down Under 2009 Device and Applications, Melbourne Convention Exhibition Centre, Melbourne, Australia, Jun. 21-24 (2009) (Plenary).
  93. S. Noda and T. Asano: "New Trends in Photonic Crystals", International Conference on Materials for Advanced Technologies 2009 / Int'l Union of Materials Research Societies-International Conference in Asia 2009, O1-S2.3-4(KN) A02239-03820, Suntec Singapore International Convention & Exhibition Centre, Singapore, Singapore, Jun. 28- Jul. 3 (2009) (Keynote).
  94. S. Noda and T. Asano: "New Trends in Photonic Crystals", UK Semiconductor 2009, O1-S2.3-4(KN) A02239-03820, Sheffield University, Sheffield, United Kingdom, Jul. 1-2 (2009) (Plenary).
  95. 野田進: "フォトニック結晶による光の操作", 第11回シリコンフォトニクス研究会, 東京工業大学, 東京, 2009年7月4日 (招待講演).
  96. Y. Tanaka, J. Upham, Y. Takahashi, T. Asano and S. Noda: "Dynamic Control of Q Factor of Nanocavity for Stopping of Light", OSA The Slow and Fast Light Topical Meeting, SWA6, Hilton Hawaiian Village Beach Resort & Spa, Honolulu, America, Jul. 13-17 (2009) (Invited).
  97. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals— Recent Progress and New Trends", EP2DS-18/MSS-14, Kobe, Japan, July 24 (2009) (Plenary).

98. 富士田誠之, 野田進: “光ナノ構造フォトニック結晶による発光制御”, ナノオプティクス研究グループ第 18 回研究討論会, 京都大学, 宇治, 2009 年 7 月 24 日 (招待講演).
99. S. Noda: “Photonic crystals and nanophotonics”, The 9th International Conference on Nanotechnology (IEEE NANO 2009), Genoa University, Genoa, Italy, Jul. 26 – 30 (2009) (Plenary).
100. T. Asano and S. Noda: “High-Q Nanocavities in Two-Dimensional Photonic Crystal Slabs and their Dynamic Control”, International Workshop on Microcavities and Their Application”, Aug. 25 (2009) (invited).
101. S. Noda: “New Trends in Photonic Crystals”, The Conference on Lasers and Electro-Optics and the Quantum Electronics /Pacific Rim 2009, Shanghai International Convention Center, Shanghai, China, Aug. 30 – Sep. 3 (2009) (Plenary).
102. S. Noda: “New Trends in Photonic Crystals”, 10th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (CIF-10), Chitose Institute of Science and Technology, Chitose, Japan, Nov. 13 –14 (2009) (Invited).
103. S. Noda: “Photonic Crystals and Nanophotonics —Recent Progress and New Trends —” Quantum Photonics Workshop, Bristol, UK, Sep. 16 (2009) (Key Note Lecture).
104. S. Noda: “Photonic Crystals — A Powerful Tool to Control Light and Color —” The Third KI Symposium, Korea, Sep. 25 (2009) (Plenary).
105. 野田進: “フォトニック結晶デバイス開発”, 第 10 回光量子シンポジウム, 関西原研, 2009 年 10 月 21 日
106. S. Noda, “Manipulation of Photons by Photonic Crystals — Recent Progress and New Trends —” Photonics Distinguished Lecturer Seminar, Oct. 28 (2009) (Invited).
107. S. Noda, “Manipulation of Photons by Photonic Crystals — Recent Progress and New Trends —” MIT Seminar, Oct. 29 (2009) (Invited).
108. S. Noda, “Recent Progress of Photon Manipulation by Photonic Crystals”, QNano (Sweden - Japan) Seminar, Tokyo, Nov. 14 (2009).
109. 野田進: “フォトニック結晶による光の操作”, かわさき サイエンス&テクノロジーフォーラム, 2009 年 11 月 18 日.
110. S. Yoshimoto, H. Matsubara, K. Sakai, and S. Noda: “GaN Photonic-Crystal Surface-Emitting Laser”, MRS\_Fallmeeting 2009, I12.3, Boston hynes convention center, Boston, America, Nov. 30- Dec. 4 (2009) (Invited).
111. 野田進: “フォトニック結晶と太陽電池” 『超高効率太陽電池フォーラム 2009 ～異分野技術との融合で変換効率 40%超へ～』東京, 2009 年 12 月 16 日.
112. 野田進: “フォトニック結晶による光操作の最近の進展と将来展望”, 学振第 179 委員会公開シンポジウム, 京都大学, 京都, 2009 年 12 月 18 日 (招待講演).
113. 大西大: “フォトニック結晶レーザ”, 学振第 179 委員会公開シンポジウム, 京都大学, 京都, 2009 年 12 月 18 日 (招待講演).
114. 高橋和, 野田進: “高 Q フォトニック結晶 Si ナノ共振器の光デバイス応用”, 日本光学会, 大学コンソーシアム大阪, 大阪市, 2010 年 1 月 20 日(招待講演).
115. 野田進: “フォトニッククリスタルズ-A Powerful to too Control Light-”, JAXA きぼう利用フォーラム名古屋セミナー 新材料の創成と「きぼう」利用の可能性を探る, 1, 名古屋工業大学, 名古屋, 2009 年 1 月 21 日(招待講演).
116. 野田進: “フォトニック結晶による光波・光子制御”, 電子情報通信学会集積光デバイスと応用技術時限研究会 第 3 回研究会「光集積技術の歩みと応用展開」, 7, ホテル箱根アカデミー, 箱根町, 2010 年 2 月 4 日(招待講演).
117. 野田進: “フォトニック結晶技術の現状と将来展望”, 光産業技術振興協会 シリコンフォトニクスブレイクスルー技術講演会, 東京, 2010 年 2 月 10 日(招待講演).
118. S. Noda: “Manipulation of Photons by Photonic Crystals”, International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics, Cairo Marriott Hotel & Omar Khayyam Casino , Cairo, Egypt, Feb. 22-25 (2010)(Plenary).
119. S. Noda: “Photonic Crystals and Their Application to Wide Bandgap Materials”, 2nd International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and

- Nanomaterials, 9p-A01KB, Meijo University, Nagoya, Japan, Mar. 9 (2010)(Keynote Lecture ).
120. 野田進: “フォトニック結晶による光制御技術の新展開”, ナノ量子情報エレクトロニクスの新展開, No. 4, 東京會館 11F シルバールーム, 東京, 2010年3月29日(招待講演).
  121. 野田進: “フォトニック結晶の現状と将来展望”, 日本学術会議公開シンポジウム「先端フォトニクスの展望」, 日本学術会議講堂, 東京, 2010年4月9日(招待講演).
  122. S. Noda: "Recent Progress of Manipulation of photons by photonic crystals", International Conference on Nanophotonics, Epcal Tsukuba, Tsukuba, Japan, Jun. 1 (2010)(Invited).
  123. 野田進: “Recent Progress and Future Prospect of Photonic Crystals”, 国際高等研究所「メタマテリアルの開発と応用」第1回研究会, 国際高等研究所, 木津市, 2010年6月4日(招待講演).
  124. S. Noda: "Recent Progress of Manipulation of photons by photonic crystals", Eramua Mundus Summer Course in Photonics 2010, Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, Jun. 25 (2010)(Invited).
  125. M. Fujita, and S. Noda: "Light Emission Control by Photonic Crystals ", 15th Optoelectronic and Commun. Conf (OECC2010), 7D-4-2, Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, Jul. 7 (Invited).
  126. S. Noda: "Manipulation of Photons by Photonic Crystals: Recent Progress and New Trends", iNow 2010, Tsinghua University, Beijing, China, Aug. 3 (2010)(Invited).
  127. S. Noda: "Recent Progress of Manipulation of Photons by Photonic Crystals ", The 10th International Workshop on Nonlinear Optics and Excitation Kinetics in Semiconductors (NOEKS10), University of Paderborn, Paderborn, Germany, Aug. 18 (2010)(Invited).
  128. 野田進: “フォトニック結晶レーザーの進展”, 2010年秋季 第71回応用物理学学会学術講演会, 15p-NA-5, 長崎大学, 長崎市, 2010年9月15日(招待講演).
  129. S. Noda: "Recent Progress in Manipulation of Photons by Photonic Crystals ", 36th International Conference on Micro & Nano Engineering (MNE2010), O-PLN-02, C. Columbus International Expo, Genoa, Italy, Sep. 20 (2010)(Keynote).
  130. 酒井恭輔: “フォトニック結晶レーザーとベクトルビーム”, 2010年日本物理学会秋季大会 領域1シンポジウム, 15p-NA-5, 大阪府立大学, 堺市, 2010年9月24日(招待講演).
  131. S. Noda: "Recent Progress in Photonic Crystals - Dynamic Control of Light and Novel Photonic-Crystal Lasers ", 9th International Conference on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-IX), C. the Palacio de Exposiciones y Congresos de Granada, Granada, Spain, Sep. 30 (2010)(Invited).
  132. K. Sakai and S. Noda: "Photonic-Crystal Surface-Emitting Laser", The 22nd IEEE International Semiconductor Laser Conference (ISLC2010), ThA1, ANA Hotel, Kyoto, Japan, Sep. 30 (2010)(Invited).

② 口頭発表 (国内会議 255 件、国際会議 50 件)

1. M. Fujita, S. Takahashi, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "Spontaneous emission control by defect-free 2D photonic crystal slabs", The 18th Annual Meeting of IEEE Lasers & Electro-Optics Society (LEOS2005), Hilton Sydney, Sydney, Australia, Oct. 23-27 (2005).
2. Y. Tanaka, S. Takayama, T. Asano, and S. Noda: "Polarization mode converter based on 2D photonic crystal slab", The 18th Annual Meeting of IEEE Lasers & Electro-Optics Society (LEOS2005), Hilton Sydney, Sydney, Australia, Oct. 23-27 (2005).
3. M. Fujita, M. Yamaguchi, K. Kounoike, S. Takahashi, Y. Tanaka, J. Nakanishi, T. Asano and S. Noda: "Controlling spontaneous emission phenomena in defect-free 2D photonic crystals with quantum dots", Conference on Lasers and Electro-optics (CLEO)/ Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) 2006, Long Beach Convention Center, Long Beach, USA, May 21-26 (2006) (to be presented).
4. W. Kunishi, D. Ohnishi, E. Miyai, K. Sakai, and S. Noda: "High-Power Single-Lobed Surface-Emitting Photonic-Crystal Laser", Conference on Lasers and Electro-optics (CLEO)/

Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) 2006, Long Beach Convention Center, Long Beach, USA, May 21-26 (2006) (to be presented).

5. 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶による光機能デバイス", 2005年度次世代フォトニックネットワーク(OPN)研究会, オーシャンリゾートホテル マホロバマインズ三浦, 三浦市, 2006年3月18日.
6. 北川均, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "傾斜孔2次元フォトニック結晶スラブの理論解析", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 22a-L-11, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
7. 高橋重樹, 今田昌宏, 岡野誠, 中森毅, 野田進: "2方向斜めエッチングによるストライプ積層型3次元フォトニック結晶の作製", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 22a-L-7, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
8. 石崎賢司, 小川新平, 古川哲也, 野田進: "多層化3次元フォトニック結晶に導入した点欠陥共振器における発光特性評価", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 22a-L-5, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
9. 川島祥一, 石崎賢司, 岡野誠, 今田昌宏, 野田進: "積層型点欠陥を有する3次元フォトニック結晶の作製", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 22a-L-4, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
10. 岡野誠, 高橋重樹, 中森毅, 今田昌宏, 野田進: "2方向斜めエッチングによるストライプ積層型3次元フォトニック結晶の理論解析", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 22a-L-8, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
11. 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "2次元フォトニック結晶レーザの結合波理論による解析 II -構造変数の導入-", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 23p-L-5, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
12. 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "2次元フォトニック結晶レーザの結合波理論による解析 III -TE偏光の共振モード-", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 23p-L-6, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
13. 宮井英次, 國師渡, 大西大, 酒井恭輔, 野田進: "裏面反射による2次元フォトニック結晶面発光レーザの共振モード制御と高効率化", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 23p-L-3, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
14. 國師渡, 大西大, 宮井英次, 酒井恭輔, 今田昌宏, 野田進: "2次元フォトニック結晶面発光レーザの高出力化およびビーム形状制御", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 23p-L-2, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
15. 田中良典, 浅野卓, 野田進: "偏波変換器をもつ2次元フォトニック結晶波長合成分波デバイス", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 23a-L-4, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
16. 富士田誠之, 山口真, 中西純弥, 杉山和道, Stumpf Wolfgang, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶スラブ・量子ドット融合系における自然放出現象", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 23p-L-12, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
17. 望月敬太, 浅野卓, 中村誠宏, 野田進: "FDTD法を用いた2次元フォトニック結晶スラブからの熱輻射スペクトルの解析", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 23p-L-15, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
18. 宋奉植, 萩野裕幸, 浅野卓, 野田進: "マルチステップダブルヘテロ構造高Q値(~100万)光ナノ共振器", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 24p-L-7, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.

19. 上杉利次, Jeremy Upham, 田中良典, 宋奉植, 石崎賢司, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶共振器の $Q$ 値の超短パルス光による動的制御", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 24p-L-11, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
20. 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶スラブ点欠陥共振器の放射損失と群速度の関係についての考察", 2006年春季第53回応用物理学関係連合講演会, 24p-L-4, 武蔵工業大学世田谷キャンパス, 東京都, 2006年3月22-26日.
21. M. Fujita, M. Yamaguchi, K. Kounoike, S. Takahashi, Y. Tanaka, J. Nakanishi, T. Asano and S. Noda: "Controlling spontaneous emission phenomena in defect-free 2D photonic crystals with quantum dots", Conference on Lasers and Electro-optics (CLEO)/ Quantum Electronics and Laser Science Conference (QELS) 2006, QTuL2, Long Beach Convention Center, Long Beach, USA, May 21-26 (2006).
22. S. Noda: "Manipulation of Photons in Photonic Crystals", COE International Symposium on Advanced Photonic and Electronic Devices for Information and Electric Power Networks , I-2, Rohm Plaza, Kyoto University, Kyoto, Japan, Oct. 23-24 (2006).
23. T. Asano, S. Noda, M. Fujita, and M. Imada: "Progresses of Photonic Crystal Research", COE International Symposium on Advanced Photonic and Electronic Devices for Information and Electric Power Networks , P-1, Rohm Plaza, Kyoto University, Kyoto, Japan, Oct. 23-24 (2006).
24. T. Asano and S. Noda: "High- $Q$  photonic nanocavities", MSF/MEXT 日米ナノテクノロジー若手研究者交流プログラム, Kyoto University, Kyoto, Japan, Nov. 6 (2006).
25. 浅野卓, 野田進: "高 $Q$ 値 (~100万) ナノ共振器の $Q$ 値決定要因に関する考察", ナノ光・電子デバイスシンポジウム”量子ドットとフォトニック結晶”, P-19, 主婦会館プラザエフ, 東京都, 2006年5月29日.
26. 野田進: "フォトニック結晶による光子制御-高 $Q$ 値ナノ共振器/自然放出制御-", ナノ光・電子デバイスシンポジウム”量子ドットとフォトニック結晶”, セッション1-2, 主婦会館プラザエフ, 東京都, 2006年5月29日.
27. 高橋重樹, 今田昌宏, 中森毅, 野田進: "2方向斜めエッチングによるストライプ積層型3次元フォトニック結晶の作製 (II)", 2006年秋季第67回応用物理学学会学術講演会, 29a-ZD-4, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006年8月29日.
28. 石崎賢司, 岡野誠, 野田進: "3次元フォトニック結晶の構造揺らぎと自然放出寿命", 2006年秋季第67回応用物理学学会学術講演会, 29a-ZD-8, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006年8月29日.
29. 川島祥一, 石崎賢司, 岡野誠, 今田昌宏, 野田進: "積層点欠陥から成る3次元フォトニック結晶垂直導波路の作製と光学特性評価", 2006年秋季第67回応用物理学学会学術講演会, 29a-ZD-9, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006年8月29日.
30. 山口真, 富士田誠之, Stumpf Wolfgang, 浅野卓, 野田進: "量子ドットを含む2次元フォトニック結晶ナノ共振器の偏光共鳴励起と光学特性", 2006年秋季第67回応用物理学学会学術講演会, 29p-ZD-5, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006年8月29日.
31. Stumpf Wolfgang, 富士田誠之, 山口真, 浅野卓, 野田進: "量子ドットを含むフォトニックダブルヘテロナノ共振器の発光特性", 2006年秋季第67回応用物理学学会学術講演会, 29p-ZD-6, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006年8月29日.
32. 富士田誠之, 山口真, Stumpf Wolfgang, 浅野卓, 野田進: "フォトニック結晶ナノ共振器/量子ドット融合系の発光効率のドット数依存性", 2006年秋季第67回応用物理学学会学術講演会, 29p-ZD-10, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006年8月29日.
33. 山口真, 浅野卓, 富士田誠之, Stumpf Wolfgang, 野田進: "2次元フォトニック結晶ナノ共振器中の電子・光子強結合状態についての考察", 2006年秋季第67回応用物理学学会学術講演会, 29p-ZD-11, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006年8月29日.
34. 田中良典, 浅野卓, 野田進: "偏波無依存2次元フォトニック結晶波長合成分波デバイス

- の提案", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 30a-ZD-12, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 30 日.
35. 宮井英次, 酒井恭輔, 國師渡, 大西大, 野田進: "フォトニック結晶レーザによる各種のビームパターン発生", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 30p-ZD-8, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 30 日.
  36. 酒井恭輔, 宮井英次, 黒坂剛孝, 柏木淳一, 大西 大, 國師 渡, 野田 進: "2 次元フォトニック結晶レーザのリング状ビームを用いた光ピンセット動作", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 30p-ZD-9, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 30 日.
  37. 國師渡, 大西大, 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 今田昌宏, 野田進: "2 次元フォトニック結晶面発光レーザの単一モード高出力動作", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 30p-ZD-11, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 30 日.
  38. 黒坂剛孝, 宮井英次, 酒井恭輔, 大西大, 國師渡, 今田昌宏, 野田進: "2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおける格子点形状と面垂直閉じ込め効果", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 30p-ZD-12, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 30 日.
  39. 酒井恭輔, 宮井英次, 黒坂剛孝, 柏木淳一, 大西 大, 國師 渡, 野田 進: "2 次元フォトニック結晶レーザの結合波理論による解析 IV -面垂直方向への回折効果の導入-", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 30p-ZD-15, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 30 日.
  40. 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 柏木淳一, 國師渡, 大西大, 野田進: "フォトニック結晶面発光レーザの  $\Gamma$  点以外での発振の可能性の検討", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 30p-ZD-16, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 30 日.
  41. 田中良典, 浅野卓, 野田進: "光ナノ共振器の  $Q$  値の理論限界に関する考察", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 31a-ZD-2, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 31 日.
  42. 宋奉植, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶導波路のモードギャップ内の減衰特性に関する実験的検討", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 31a-ZD-3, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 31 日.
  43. 高橋和, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "マルチステップヘテロ構造光ナノ共振器の構成導波路の高エネルギー共振モードの考察", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 31a-ZD-6, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 31 日.
  44. 浅野卓, 永島拓志, 萩野裕幸, 宋奉植, 高橋和, 野田進: "高  $Q$  値点欠陥共振器の光子寿命の時間領域測定", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 31a-ZD-9, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 31 日.
  45. 北川均, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "傾斜孔 2 次元フォトニック結晶スラブの理論解析 (2)", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 31a-ZD-11, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 31 日.
  46. 永島拓志, Jeremy Upham, 上杉利次, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶共振器の  $Q$  値の動的制御(3)", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 31p-ZD-2, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 31 日.
  47. 望月敬太, 浅野卓, 北川均, 野田進: "サブバンド間遷移をもつ量子井戸を導入した 2 次元フォトニック結晶スラブからの熱輻射スペクトルの解析", 2006 年秋季第 67 回応用物理学会学術講演会, 31p-ZD-12, 立命館大学びわこ・くさつキャンパス, 草津市, 2006 年 8 月 31 日.
  48. S. Noda: "フォトニック結晶工学の進展", 極微細構造デバイス・ブレイクスルーフォーラム フォトニクスイノベーションシンポジウム, コープイン京都 202 号室, 京都, 2006 年 11 月 24 日.
  49. 高橋重樹, 中森毅, 野田進: "2 方向斜めエッチングによるストライプ積層型 3 次元フォ

- トニック結晶の作製 (III)", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27a-ZB-5, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
50. 高橋重樹, 中森毅, 野田進: "2 方向斜めエッチングによるストライプ積層型 3 次元フォトニック結晶の理論解析 (II)", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27a-ZB-6, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  51. 川島祥一, 石崎賢司, 野田進: "3 次元フォトニック結晶垂直導波路の偏光特性制御", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27a-ZB-2, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  52. 石崎賢司, 川島祥一, 孫琦, 野田進: "ストライプ積層型 3 次元フォトニック結晶のフォトニックバンドギャップ帯域制御", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27a-ZB-3, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  53. 柏木淳一, 國師渡, 大西大, 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 今田昌弘, 野田進: "2 次元フォトニック結晶面発光レーザの単一モード高出力動作", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZB-6, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  54. 黒坂剛孝, 宮井英次, 酒井恭輔, 大西大, 國師渡, 柏木淳一, 野田進: "2 次元フォトニック結晶面発光レーザの格子点形状と面垂直光閉じ込め効果", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZB-7, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  55. 酒井恭輔, 宮井英次, 黒坂剛孝, 柏木淳一, 大塚晃嗣, 大西大, 國師渡, 野田進: "2 次元フォトニック結晶レーザの結合波理論による解析 V-円孔占有率と閾値利得 -", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZB-9, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  56. 大塚晃嗣, 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 國師渡, 大西大, 野田進: "2 次元フォトニック結晶レーザの大面積安定動作に向けた格子点形状の設計", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZB-10, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  57. 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 柏木淳一, 大塚晃嗣, 國師渡, 大西大, 野田進: "フォトニック結晶面発光レーザにおける TE-TM モード混合と非バンド端での発振の可能性", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZB-11, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  58. 大塚晃嗣, 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 國師渡, 大西大, 野田進: "ダブルホール格子点による 2 次元フォトニック結晶レーザのバンド構造の制御", 2007 年春季第 55 回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZB-12, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  59. 上辻康人, 今本浩史, 青山茂, 宮井英次, 黒坂剛孝, 浅野卓, 野田進: "光吸収測定によるフォトニック結晶レーザの評価", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZB-15, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  60. 北村恭子, 酒井恭輔, 宮井英次, 黒坂剛孝, 柏木淳一, 大塚晃嗣, 國師渡, 大西大, 野田進: "2 次元フォトニック結晶レーザより生成されたドーナツビームの集光特性", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZB-16, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  61. 望月敬太, 浅野卓, 北川均, 野田進: "熱輻射光源に向けた 3 層積層型 2 次元フォトニック結晶スラブの理論解析", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZB-18, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 27 日.
  62. 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶デバイスの偏波ダイバーシティ動作", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 28a-ZB-5, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 28 日.
  63. 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: "シリコンフォトニック結晶の発光特性の観察", 2007 年

- 春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZB-2, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 28 日.
64. Jinsong Xia, Masayuki Fujita, Koudai Nemoto, Yuta Ikegami, Noritaka Usami, Susumu Noda and Yasuhiro Shiraki: "Light emission from triangular-shaped photonic crystal microcavities with Ge quantum dots", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZB-4, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 28 日.
  65. 山口真, Menaka De Zoysa, 浅野卓, Wolfgang Stumpf, 富士田誠之, 野田進: "2 次元フォトニック結晶ナノ共振器と量子ドットの相互作用の観測", 2007 年春季第 54 回応用物理学学会学術講演会, 28p-ZB-8, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県相模原市, 2007 年 3 月 28 日.
  66. 山口真, Menaka De Zoysa, 浅野卓, Wolfgang Stumpf, 富士田誠之, 野田進: "2 次元フォトニック結晶ナノ共振器を用いた発光制御についての考察", 2007 年春季第 54 回応用物理学学会学術講演会, 28p-ZB-11, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県相模原市, 2007 年 3 月 28 日.
  67. 宋奉植, 朴相昱, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "SiC を用いた 2 次元フォトニック結晶スラブ構造の設計と作製", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZB-15, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 28 日.
  68. 萩野裕幸, 高橋和, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "マルチステップヘテロ構造光ナノ共振器のさらなる  $Q$  値増大の検討", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 29a-ZB-2, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 29 日.
  69. 高橋和, 田中良典, 萩野裕幸, 浅野卓, 野田進: "マルチステップヘテロ構造を用いた光ナノ共振器の  $Q$  値の導波路長さ依存性", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 29a-ZB-3, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 29 日.
  70. 田中良典, 浅野卓, 野田進: " $Q$  値 10 億をもつマルチヘテロ光ナノ共振器の設計", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 29a-ZB-7, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 29 日.
  71. 高野仁路, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶ナノ共振器による誘導ラマン効果に関する考察", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 29a-ZB-8, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 29 日.
  72. Jeremy Upham, 永島拓志, 杉谷知昭, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶導波路における光の波長変換動作", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 29p-ZB-2, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 29 日.
  73. 永島拓志, 杉谷知昭, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶共振器の  $Q$  値の動的制御(4)", 2007 年春季第 54 回応用物理学関係連合講演会, 29p-ZB-5, 青山学院大学 相模原キャンパス, 神奈川県, 2007 年 3 月 29 日.
  74. S. Takahashi, T. Nakamori, M. Okano, M. Imada, S. Noda: "Three-dimensional photonic crystals fabricated by double-angled plasma etching", The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2007, JMB5, The Baltimore Convention Center, Baltimore, Maryland, USA, May 6-11 (2007).
  75. K. Sakai, K. Kitamura, E. Miyai, W. Kunishi, D. Ohnishi, S. Noda: "Radially polarized doughnut beam emitted by a two-dimensional photonic-crystal laser", The Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO) 2007, CMV4, The Baltimore Convention Center, Baltimore, Maryland, USA, May 6-11 (2007).
  76. W. C. Stumpf, M. Fujita, M. Yamaguchi, T. Asano, and S. Noda: "Light emission from quantum dots embedded in a photonic double-heterostructure nanocavity", 2007 Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO/PR-2007), TuF4-2, COEX Convention & Exhibition Center, Seoul, Korea, 8/26-8/31 (2007).
  77. M. Fujita, Y. Tanaka, S. Noda: "Cavity-mode light emission in silicon photonic nanocavities at room temperature", 4th International Conference on Group IV Photonics, FC 4, Sheraton Miyako Hotel, Tokyo, Japan, Sep. 19-21 (2007).
  78. K. Ishihara, M. Fujita, T. Asano, S. Noda, H. Ohata, A. Hirasawa, S. Miyaguchi: "Organic

- light-emitting diodes with photonic crystals imprinted on spin-on-glass", The 6th International Conference on Nanoimprint and Nanoprint Technology 2007, F2, Espace Saint-Martin, Paris, France, Oct. 10-12 (2007).
79. K. Sakai, K. Kitamura, Y. Kurosaka, W. Kunishi, D. Ohnishi, S. Noda : "Photonic-crystal lasers with radially polarized doughnut beams for tighter spot focusing", The 34th International Symposium on Compound Semiconductors, ThB I-5, Kyoto University, Kyoto, Japan, Oct. 15-18 (2007).
  80. J. Upham, Y. Tanaka, T. Asano, S. Noda: "Dynamic wavelength conversion of optical pulses traveling in 2D photonic crystal waveguides", The 20th Annual meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society, TuV5, Wyndham Place Resort & Spa, Lake Buena Vista, Florida, U.S.A., Oct. 21-25 (2007).
  81. K. Otsuka, K. Sakai, Y. Kurosaka, J. Kashiwagi, W. Kunishi, D. Ohnishi, S. Noda: "High-power surface-emitting photonic crystal laser", The 20th Annual meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society, WR2, Wyndham Place Resort & Spa, Lake Buena Vista, Florida, U.S.A., Oct. 21-25 (2007).
  82. Y. Tanaka, J. Upham, T. Nagashima, T. Sugiya, T. Asano and S. Noda: "Dynamic Q factor control of photonic crystal nanocavities", The 20th Annual meeting of the IEEE Lasers & Electro-Optics Society, TuN2, Wyndham Place Resort & Spa, Lake Buena Vista, Florida, U.S.A., Oct. 21-25 (2007).
  83. 野田進: "フォトリソニック結晶をもちいた究極的な光の発生技術", CREST 領域平成 19 年度 研究報告会, 3, JST ホール, 東京, 2007 年 4 月 27 日.
  84. 高橋重樹, 中森毅, 野田進: "2 方向斜めエッチングによるストライプ積層型 3 次元フォトリソニック結晶の作製 (IV)", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7aR-2, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.
  85. 中森毅, 高橋重樹, 石崎賢司, 野田進: "2 方向斜めエッチングによるストライプ積層型 3 次元フォトリソニック結晶への発光層導入の検討", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7aR-3, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.
  86. 石崎賢司, 川島祥一, 孫琦, 野田進: "ストライプ積層型 3 次元フォトリソニック結晶の表面モードの検討", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7aR-5, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.
  87. 川島祥一, 石崎賢司, 野田進: "3 次元フォトリソニック結晶垂直導波路と面内導波路の作製と光学特性評価", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7aR-7, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.
  88. 柏木淳一, 國師渡, 大西大, 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 大塚晃嗣, 野田進: "2 次元フォトリソニック結晶面発光レーザの単一横モード高出力動作", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7pR7, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.
  89. 柏木淳一, 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 大塚晃嗣, 國師渡, 大西大, 野田進: "2 次元フォトリソニック結晶面発光レーザにおける孔径揺らぎに関する考察", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7pR8, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.
  90. 大塚晃嗣, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 國師渡, 大西大, 野田進: "ダブルホール格子点をもつ 2 次元フォトリソニック結晶レーザ共振器", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7pR9, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.
  91. 萩野裕幸, 高橋和, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "マルチステップヘテロ構造光ナノ共振器の Q 値増大の検討 (II)", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7pR-11, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.
  92. S. Wolfgang, 富士田誠之, 山口真, 浅野卓, 野田進: "活性媒質を含むフォトリソニックナノ共振器の反射スペクトルによる Q 値の評価", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7pR13, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.
  93. 富士田誠之, 田中良典, 野田進: "シリコンフォトリソニックナノ共振器からの共振モード発光の観察", 2007 年秋季 第 68 回応用物理学会学術講演会, 7pR16, 北海道工業大学, 札幌市, 2007 年 9 月 7 日.

94. 望月敬太, 浅野卓, 山口真, 野田進: "レート方程式を用いた2次元フォトニック結晶微小共振器からの熱輻射に関する考察", 2007年秋季 第68回応用物理学学会学術講演会, 7pR18, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月7日.
95. 杉谷知昭, 田中良典, J. Upham, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶共振器の $Q$ 値の動的制御(5) —解析—", 2007年秋季 第68回応用物理学学会学術講演会, 8aZS-9, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月8日.
96. 田中良典, J. Upham, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶共振器の $Q$ 値の動的制御(6) —トランプ寿命に関する考察—", 2007年秋季 第68回応用物理学学会学術講演会, 8aZS-10, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月8日.
97. J. Upham, 田中良典, 杉谷知昭, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶共振器の $Q$ 値の動的制御(7) —2連パルスへの導入—", 2007年秋季 第68回応用物理学学会学術講演会, 8aZS-11, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月8日.
98. J. Upham, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶導波路における光の波長変換動作(2)", 2007年秋季 第68回応用物理学学会学術講演会, 8pZS-6, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月8日.
99. 山口真, 浅野卓, 野田進: "光共振器と量子ドット結合系からの発光の理論解析", ナノ量子情報エレクトロニクスシンポジウム, P-35, 東京大学駒場Iキャンパス, 東京都, 2007年10月25日."
100. 田中良典, J. Upham, 永島拓志, 杉谷知昭, 浅野卓, 野田進: "フォトニック結晶共振器の $Q$ 値の動的制御", 電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会, LQE2007-134, 大阪電気通信大学, 寝屋川市, 2008年1月28日.
101. 石崎賢司, 川島祥一, 野田進: "画像認識を用いた高精度3次元ナノ構造形成装置の開発", 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 27a-ZX-3, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008年3月27日.
102. 高橋重樹, 中森毅, 鈴木克佳, 石崎賢司, 野田進: "2方向斜めエッチングによるストライプ積層型3次元フォトニック結晶の作製(V)", 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 27a-ZX-4, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008年3月27日.
103. 石崎賢司, 川島祥一, 野田進: "ストライプ積層型3次元フォトニック結晶の表面モードによる光伝搬", 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 27a-ZX-6, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008年3月27日.
104. 高橋和, 富士田誠之, 萩野裕幸, 杉谷知昭, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶光ナノ共振器の顕微ラマン分光測定", 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZX-17, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008年3月27日.
105. 田中良典, 浅野卓, 野田進: "周囲場の制御による光ナノ共振器の $Q$ 値増大の検討", 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZX-18, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008年3月27日.
106. 萩野裕幸, 高橋和, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "フォトニック結晶光ナノ共振器の $Q$ 値増大の検討(III)", 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 27p-ZX-19, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008年3月27日.
107. 望月敬太, M. Chaminda, 浅野卓, 野田進: "サブバンド間遷移からの熱輻射の観測-フォトニック結晶による熱輻射制御に向けて-", 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 28a-ZX-3, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008年3月28日.
108. 児島貴徳, W. Stumpf, 山口真, 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: "反射スペクトル測定による量子ドットを含むフォトニックナノ共振器の評価(2)", 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 28a-ZX-6, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008年3月28日.
109. 山口真, 浅野卓, 児島貴徳, W. Stumpf, 井上博揮, 富士田誠之, 野田進: "ナノ共振器・量子ドット結合系における離調時の発光現象の解明", 2008年春季 第55回応用物理学関係連合講演会, 28a-ZX-9, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008年3月28日.
110. 富士田誠之, 田中良典, 野田進: "シリコン・フォトニックナノ共振器の発光測定", 2008

- 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28a-ZX-11, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
111. 柏木淳一, 國師渡, 大西大, 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 野田進: "2 次元フォトニック結晶面発光レーザのスロープ効率に与える裏面反射の効果", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-1, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  112. 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 岩橋清太, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "異周期 2 次元フォトニック結晶面発光レーザーバンド構造—", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-3, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  113. 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 岩橋清太, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "異周期 2 次元フォトニック結晶面発光レーザー発振特性—", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-4, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  114. 酒井恭輔, 北村恭子, 柏木淳一, 黒坂剛孝, 大西大, 國師渡, 野田進: "2 次元フォトニック結晶レーザへの戻り光の影響に関する検討", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-8, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  115. 岩橋清太, 酒井恭輔, 宮井英次, 黒坂剛孝, 柏木淳一, 大塚晃嗣, 國師渡, 大西大, 野田進: "2 次元フォトニック結晶レーザの結合波理論による解析 VI -高次の結合係数の導入—", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-9, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  116. 北村恭子, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 國師渡, 宮井英次, 大西大, 野田進: "2 次元フォトニック結晶レーザの出射ビームの集光特性: 評価系の構築", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-10, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  117. 吉本晋, 松原秀樹, 齊藤裕久, 岳江林, 田中良典, 野田進: "青紫色領域における 2 次元 GaN/空気フォトニック結晶面発光レーザの作製", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-13, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  118. J. Upham, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶共振器の  $Q$  値の動的制御(8)—光パルスの捕獲と放出—", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-17, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  119. J. Upham, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶導波路を伝播する光パルスの動的波長変換と選択ドロップ動作", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-19, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  120. 宋奉植, 山田翔太, 浅野卓, 野田進: "2 次元 SiC フォトニック結晶ナノ共振器 (III) ", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-ZX-20, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  121. 北川均, 須藤俊英, 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶をもつ緑色 GaInN における表面再結合割合の評価", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 28p-B-11, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 28 日.
  122. 吉本晋, 松原秀樹, 齊藤裕久, 岳江林, 田中良典, 野田進: "GaN フォトニック結晶面発光レーザ", 2008 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 30p-B-8, 日本大学理工学部, 船橋市, 2008 年 3 月 30 日.
  123. M. Fujita, Y. Tanaka, S. Noda: "Light-emission properties in silicon photonic crystals and nanocavities", 8th International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures, TuA-4, Komaba Research Campus, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Apr. 7-11 (2008).
  124. Y. Takahashi, H. Hagino, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "High- $Q$  photonic nanocavity with a 2-ns photon lifetime", CLEO/QELS 2008, QFO1, San Jose Mcenery Convention Center, San Jose, USA, May 4-9 (2008).
  125. J. Upham, Y. Tanaka, T. Asano, S. Noda: "Catch and release of optical pulses by dynamic  $Q$  control of a photonic crystal nanocavity", CLEO/QELS 2008, QFH1, San Jose Mcenery Convention Center, San Jose, USA, May 4-9 (2008).
  126. W.C. Stumpf, T. Asano, T. Kojima, M. Fujita, Y. Tanaka, and S. Noda: "Spectral Reflectance

- Measurement of Two-Dimensional Photonic Nanocavities with Embedded Quantum Dots", 2008 IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics, M1.2, Kongresszentrum Konzerthaus, Freiburg, Germany, Aug. 11-14 (2008).
127. 野田進: "フォトニック結晶の進展と展望", 電子情報通信学会 集積光デバイス技術時限研究 専門委員会 第3回研究会, IPD08-07, ホテルまほろば, 登別, 2008年5月16日.
  128. 岩橋清太, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 宮井英次, 野田進: "2次元フォトニック結晶レーザにおける面垂直方向の構造変化と放射係数", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2aV1, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  129. 岩橋清太, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 國師渡, 大西大, 宮井英次, 野田進: "スーパーセルを有するフォトニック結晶レーザのバンド解析", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2aV2, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  130. 黒坂剛孝, 岩橋清太, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "異周期複合2次元フォトニック結晶面発光レーザ(IV) - 発振原理 -", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2aV3, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  131. 黒坂剛孝, 岩橋清太, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "異周期複合2次元フォトニック結晶面発光レーザ(V) - 周期差の連続変化 -", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2aV4, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  132. 北村恭子, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 國師渡, 宮井英次, 大西大, 野田進: "2次元フォトニック結晶レーザの出射ビームの集光特性", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2aV7, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  133. De Zoysa Menaka, 望月敬太, 浅野卓, 野田進: "量子井戸のサブバンド間遷移と2次元フォトニック結晶スラブによる熱輻射の制御", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2pV7, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  134. 北川均, 黒川要一, 須藤俊英, 富士田誠之, 小島一信, 浅野卓, 野田進: "ベキ乗関数を用いたGaInNからの室温時間分解フォトルミネッセンスの解析", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2pV8, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  135. 富士田誠之, 田中良典, 高橋和, 野田進: "強制起条件におけるシリコンフォトニック結晶ナノ共振器の発光増強現象", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2pV11, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  136. 山口真, 浅野卓, 小島一信, 野田進: "ナノ共振器・量子ドット強結合系における共鳴時の3番目の発光ピーク", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2pV17, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  137. 小島一信, 山口真, 浅野卓, 野田進: "ナノ共振器と量子ドット結合状態の動的制御 (1)", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 2pV19, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月2日.
  138. 高橋重樹, 鈴木克佳, 野田進: "3次元ナノ構造形成のための斜めプラズマエッチング技術の開発", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3aV1, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  139. 鈴木克佳, 中森毅, 高橋重樹, 石崎賢司, 野田進: "2方向斜めエッチング型シリコン3次元フォトニック結晶へのInP系量子井戸の導入", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3aV2, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  140. 石崎 賢司, 孫琦, 野田進: "3次元フォトニック結晶表面局在モードの表面構造依存性", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3aV4, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  141. 杉谷知昭, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶共振器の Q 値の動的制御 (9) ~高 Q 共振器での光トラップ~", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3pV1, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  142. Jeremy Upham, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶共振器の Q 値の動的制御(10) - 機能性の向上 -", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3pV2, 中部

- 大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
143. 佐藤義也, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶導波路の動的変化を用いた光パルスストラップの検討", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3pV4, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  144. Jeremy Upham, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶導波路を伝播する光パルスの多段階的波長変換", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3pV5, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  145. 山田翔太, 宋奉植, 浅野卓, 野田進: "可視領域における2次元SiCフォトニック結晶", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3pV9, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  146. 高橋和, 田中良典, 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶光ナノ共振器の顕微ラマン分光測定(II)", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3pV10, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  147. 高橋和, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶波長分合波デバイスにおける100 GHz間隔波長多重動作", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3pV12, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  148. Stumpf Wolfgang, 富士田誠之, 山口真, 浅野卓, 野田進: "反射スペクトルによるフォトニックナノ共振器の評価", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3pV13, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  149. 田中良典, 浅野卓, 野田進: "周囲場の制御による光ナノ共振器の  $Q$  値増大の検討(2)", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 3pV15, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  150. 吉本晋, 松原秀樹, 齊藤裕久, 岳江林, 田中良典, 野田進: "GaN フォトニック結晶面発光レーザの閾値低減", 2008年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 中部大学, 愛知県春日井市, 2008年9月3日.
  151. M. Fujita, Y. Tanaka, Y. Takahashi and S. Noda: "Enhanced light emission from silicon photonic crystal nanocavity", 5th International Conference on Group IV Photonics, FA6, Hilton Sorrento Palace, Sorrento, Italy, Sep. 17-19 (2008).
  152. M. Fujita, H. Kitagawa, T. Suto, Y. Kurokawa, Y. Tanaka, T. Asano and S. Noda: "Green GaInN photonic crystal structure with small surface recombination effect", The 2nd IEEE Nanotechnology Materials and Device Conference 2008, MoC-I2, Kyoto University Clock Tower Centennial Hall, Kyoto, Japan, Oct. 20-22 (2008).
  153. W. Stumpf: "Spectral reflectivity of two-dimensional photonic crystal nanocavities with embedded quantum dots", 1st Young Researchers International Symposium, QE6, Kyoto University Katsura Hall, Kyoto, Japan, Oct. 31 (2008).
  154. M. Yamagichi: "Photon emission by nanocavity-enhanced quantum anti-Zeno effect in solid-state cavity quantum-electrodynamics", 1st Young Researchers International Symposium, QE7, Kyoto University Katsura Hall, Kyoto, Japan, Oct. 31 (2008).
  155. 北村恭子, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 國師 渡, 宮井英次, 大西大, 野田進: "2次元フォトニック結晶レーザの出射ビームの集光特性", 電子情報通信学会LQE研究会, LQE-Thu29-am 2, 京都工芸繊維大学松ヶ崎キャンパス, 京都, 2009年1月29日.
  156. T. Asano and S. Noda: "Recent Progress of Phonic Crystals", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Session1-1, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009).
  157. 高橋重樹, 鈴木克佳, 太田雄至, 野田進: "3次元ナノ構造形成のための斜めプラズマエッチング技術の開発と展望", 2009年春季 第56回応用物理学関係連合講演会, 30aZN1, 筑波大学, つくば市, 2009年3月30日.
  158. 鈴木克佳, 高橋重樹, 石崎賢司, 太田雄至, 野田進: "2方向斜めエッチング型シリコン3次元フォトニック結晶へのInP系量子井戸の導入(2)", 2009年春季 第56回応用物理学関係連合講演会, 30aZN2, 筑波大学, つくば市, 2009年3月30日.
  159. 石崎賢司, 孫琦, 野田進: "3次元フォトニック結晶表面における表面モードギャップの形成

- ", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30aZN5, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
160. 田口裕樹, 高橋和, 佐藤義也, 浅野卓, 野田進: "マルチステップヘテロ構造光ナノ共振器の Q 値の統計的評価", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30aZN7, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
  161. 韓鎮圭, 宋奉植, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "SOG を用いた SiO<sub>2</sub> 埋め込み 2 次元 Si フォトニック結晶ナノ共振器の設計および作製", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30aZN9, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
  162. 山田翔太, 宋奉植, 朴相昱, 浅野卓, 野田進: "SiC フォトニック結晶導波路・共振器結合系の開発ー広波長帯域ドロップ動作ー", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30pZN3, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
  163. 杉谷知昭, 田中良典, Jeremy Upham, 高橋和, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶共振器の Q 値の動的制御~時間領域測定~", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30pZN5, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
  164. J. Upham, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "2 次元フォトニック結晶共振器の Q 値の動的制御ー前方へのパルス解放ー", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30pZN6, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
  165. 井上博揮, Jeremy Upham, 田中良典, Wolfgang Stumpf, 小島一信, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶における新たな光パルスラップ方法の提案", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30pZN11, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
  166. 佐藤義也, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "2 次元フォトニック結晶導波路の動的変化を用いた光パルスリリースの検討", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30pZN14, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
  167. 山内浩司, 富士田誠之, 田中良典, 浅野卓, 野田進, 大畑浩, 平沢明, 宮寺敏之: "フォトニック結晶有機 EL 素子の光取り出しの解析", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30pZN17, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
  168. 高山直樹, 北村恭子, 酒井恭輔, 野田進: "螺旋状位相変化を有する高次ベクトルビームの集光", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 30aZT4, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 30 日.
  169. 坂口拓生, 國師渡, 有村聡一郎, 長瀬和也, 宮井英次, 大西大, 酒井恭輔, 野田進: "ピーク出力 35 W 級フォトニック結晶面発光レーザ", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 31aZN1, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 31 日.
  170. 岩橋清太, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 國師渡, 大西大, 野田進: "面心立方格子フォトニック結晶レーザの解析", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 31pZN2, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 31 日.
  171. 岩橋清太, 梁永, 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 國師渡, 宮井英治, 大西大, 野田進: "スーパーセルを用いた異周期複合フォトニック結晶レーザの解析", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 31aZN5, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 31 日.
  172. 北村恭子, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 高山直樹, 國師渡, 宮井英次, 大西大, 野田進: "2 次元フォトニック結晶レーザの出射ビームの集光特性 II", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 31aZN7, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 31 日.
  173. 北川均, 黒川要一, 須藤俊英, 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: "活性層貫通型 GaInN フォトニック結晶発光ダイオードの電流注入動作", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 31aZN9, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 31 日.
  174. 田中良典, 浅野卓, 野田進: "光ナノ共振器の勾配力を用いた片もちスラブの振動制御", 2009 年春季 第 56 回応用物理学関係連合講演会, 31aZN11, 筑波大学, つくば市, 2009 年 3 月 31 日.
  175. 山口真, 浅野卓, 小島一信, 野田進: "ナノ共振器・量子ドット強結合系における共鳴時の 3 番目の発光ピーク(2)", 2009 年春季 第 55 回応用物理学関係連合講演会, 31pZN3, 筑波大

- 学, つくば市, 2009年3月31日.
176. 小島一信, 井上博揮, Wolfgang Stumpf, 中村達也, 山口真, 児島貴徳, 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: "量子ドットを含んだナノ共振器・導波路結合系の基礎光学特性", 2009年春季第56回応用物理学関係連合講演会, 31pZN8, 筑波大学, つくば市, 2009年3月31日.
  177. De Zoysa Menaka, 浅野卓, 野田進: "量子井戸のサブバンド間遷移と2次元フォトニック結晶による熱輻射の制御-(2)", 2009年春季第56回応用物理学関係連合講演会, 1aZN1, 筑波大学, つくば市, 2009年4月1日.
  178. 吉本晋, 赤羽良啓, 齊藤裕久, 岳江林, 唐引, 田中良典, 野田進: "GaN フォトニック結晶面発光レーザ(3)p 側クラッド層へのフォトニック結晶導入", 2009年春季第56回応用物理学関係連合講演会, 1pZJ22, 筑波大学, つくば市, 2009年4月1日.
  179. S. Iwahashi, K. Sakai, and S. Noda: "Two-Tiered Air-Hole Design for High-Power Two-Dimensional Photonic-Crystal Surface-Emitting Lasers", The International Conference on Nanophotonics 2009, NANO-09-117, Harbin Friendship Palace Hotel, Harbin, China, May 11-14 (2009).
  180. T. Sakaguchi, W. Kunishi, S. Arimura, K. Nagase, E. Miyai, D. Ohnishi, K. Sakai, and S. Noda: "Surface-Emitting Photonic-Crystal Laser with 35W Peak Power", The Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference 2009, CTuH1, Baltimore Convention Center, Baltimore, America, May 31- Jun. 5 (2009).
  181. K. Kitamura, K. Sakai, Y. Kurosaka, W. Kunishi, E. Miyai, D. Ohnishi, and S. Noda: "Tight Focal Spot and Long Depth of Focus by Radially Polarized, Narrow-Width Annular Beams from Photonic-Crystal Lasers", The Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference 2009, CTuH3, Baltimore Convention Center, Baltimore, America, May 31- Jun. 5 (2009).
  182. Y. Takahashi, T. Sugiya, S. Yamada, Y. Taguchi, T. Asano, and S. Noda: "Increasing the  $Q$  Factor and Controlling the Resonant Wavelength of Photonic Crystal Nanocavities", The Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference 2009, CFE1, Baltimore Convention Center, Baltimore, America, May 31- Jun. 5 (2009).
  183. M. De Zoysa, T. Asano, and S. Noda: "Control of thermal radiation using intersubband transitions in quantum wells", The 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18) and the 14th International Conference on Modulated Semiconductor structures (MSS-14), Tu-mP38, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan, Jul. 19-24 (2009).
  184. Y. Tanaka, T. Sugiya, J. Upham, Y. Takahashi, T. Asano, and S. Noda: "Optical Pulse Trapping into High- $Q$  Photonic Crystal Nanocavity", The Conference on Lasers and Electro-Optics and the Quantum Electronics /Pacific Rim 2009, ThH3-3, Shanghai International Convention Center, Shanghai, China, Aug. 30 – Sep. 3 (2009).
  185. 佐藤義也, 田中良典, Jeremy Upham, 浅野卓, 野田進: "2次元フォトニック結晶導波路のモードギャップ反射鏡の動的生成", 2009年秋季第56回応用物理学関係連合講演会, 8aB7, 富山大学, 富山市, 2009年9月8日.
  186. J. Upham, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "2次元フォトニック結晶共振器の $Q$ 値の動的制御—時間領域測定—", 2009年秋季第56回応用物理学関係連合講演会, 8aB9, 富山大学, 富山市, 2009年9月8日.
  187. 石崎賢司, 野田進: "3次元フォトニック結晶表面における光ナノ共振器", 2009年秋季第56回応用物理学関係連合講演会, 8pB1, 富山大学, 富山市, 2009年9月8日.
  188. 太田雄至, 石崎賢司, 鈴木克佳, 野田進: "2方向斜めエッチング型3次元フォトニック結晶における表面モードの検討", 2009年秋季第56回応用物理学関係連合講演会, 8pB4, 富山大学, 富山市, 2009年9月8日.
  189. 黒坂剛孝, 岩橋清太, 梁永, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "異周期複合2次元フォトニック結晶レーザ(VI)", 2009年秋季第56回応用物理学関係連合講演会, 8apB9, 富山大学, 富山市, 2009年9月8日.
  190. 岩橋清太, 岳江林, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 北村恭子, 高山直樹, 國師渡, 大西大, 野田進:

- “三角格子フォトニック結晶レーザによる2種類のドーナツビームの生成”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 8pB11, 富山大学, 富山市, 2009年9月8日.
191. 北村恭子, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 高山直樹, 國師渡, 宮井英次, 大西大, 野田進: “2次元フォトニック結晶レーザの出射ビームの集光解析”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 8pB13, 富山大学, 富山市, 2009年9月8日.
  192. 岩橋清太, 梁永, 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 宮井英次, 國師渡, 大西大, 野田進: “面心長方格子フォトニック結晶レーザの発振特性”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 8pB15, 富山大学, 富山市, 2009年9月8日.
  193. 北川均, 須藤俊英, 小暮竜矢, 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: “活性層貫通型GaInNフォトニック結晶発光ダイオードの時間分解電流注入発光”, 2009年春季 第56回応用物理学関係連合講演会, 8pB17, 富山大学, 富山市, 2009年9月8日.
  194. 高橋和, 佐藤義也, 田口裕樹, 浅野卓, 野田進: “2次元フォトニック結晶波長分合波デバイスにおける100 GHz 間隔波長多重動作(II)”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9aB1, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  195. 田口裕樹, 高橋和, 佐藤義也, 浅野卓, 野田進: “マルチヘテロナノ共振器における空気孔の半径・位置揺らぎの統計的見積もり”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9aB2, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  196. 佐藤義也, 田中良典, 浅野卓, 野田進: “2次元フォトニック結晶における導波路を介した結合共振器”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9aB4, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  197. 中村達也, Wolfgang Stumpf, 児島貴徳, 小島一信, 田中良典, 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: “2次元フォトニック結晶ナノ共振器の反射スペクトルの理論解析”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9aB6, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  198. Wolfgang Stumpf, 浅野卓, 中村達也, 児島貴徳, 小島一信, 富士田誠之, 野田進: “ナノ共振器の $Q$ 値の反射増強効果とそのモデル”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9aB8, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  199. 山口真, 浅野卓, 小島一信, 野田進: “ナノ共振器・量子ドット強結合系における時分解スペクトルの解析”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9pB1, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  200. 児島貴徳, Wolfgang Stumpf, 小島一信, 井上博揮, 中村達也, 浅野卓, 富士田誠之, 野田進: “反射・PL スペクトル同時測定による量子ドット-ナノ共振器融合系の評価”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9pB3, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  201. 小島一信, Wolfgang Stumpf, 山口真, 児島貴徳, 中村達也, 浅野卓, 野田進: “ナノ共振器-量子ドット結合系におけるパーセル効果の制御”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9pB4, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  202. 富士田誠之, 西川敦, 寺井慶和, 藤原康文, 野田進: “Er 発光中心をもつ光ナノ共振器”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9pB7, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  203. 韓鎮圭, 宋奉植, 浅野卓, 野田進: “Si フォトニック結晶ナノ共振器の $Q$ 値に与える埋め込み材料の屈折率の影響”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9pB10, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  204. De Zoysa Menaka, 湊康明, 浅野卓, 野田進: “量子井戸のサブバンド間遷移と2次元フォトニック結晶による熱輻射の制御(3)”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9pB11, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  205. 田中良典, 浅野卓, 野田進, Kwan Lee, Warwick Bowen: “2次元フォトニック結晶における振動モードの解析”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9pB16, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  206. 山田翔太, 宋奉植, 浅野卓, J. Upham, 野田進: “フォトニック結晶ナノ共振器の非線形光学特性 -Si vs SiC-”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9pB20, 富山大学,

- 富山市, 2009年9月9日.
207. 高山直樹, 北村恭子, 酒井恭輔, 岩橋清太, 野田進: “螺旋状位相変化を有するベクトルビームの集光特性”, 2009年秋季 第56回応用物理学関係連合講演会, 9pA10, 富山大学, 富山市, 2009年9月9日.
  208. K. Suzuki, S. Takahashi, M. Okano, M. Imada, K. Ishizaki, T. Nakamori, Y. Ota, and S. Noda: “Three-Dimensional Photonic Crystals Developed by Double-Angled Reactive-Ion Etching Technique”, The 22nd Annual Meeting of the IEEE Photonics Society, MC3, Ela Quality Resort, Belek-Antalya, Turkey, Oct. 4-8 (2009).
  209. S. Iwahashi, K. Sakai, Y. Kurosaka, Y. Liang, W. Kunishi, D. Onishi, and S. Noda: “Two-Dimensional Photonic-Crystal Lasers with Centered-Rectangular Lattice Structure”, The 22nd Annual Meeting of the IEEE Photonics Society, WH2, Ela Quality Resort, Belek-Antalya, Turkey, Oct. 4-8 (2009).
  210. K. Ishizaki and S. Noda: “Photon manipulation at the surface of three-dimensional photonic crystals”, The 22nd Annual Meeting of the IEEE Photonics Society, MC2, Ela Quality Resort, Belek-Antalya, Turkey, Oct. 4-8 (2009).
  211. K. Ishizaki and S. Noda: “Manipulation of photons at the surface of three-dimensional photonic crystals”, The 2nd GCOE Young Researchers International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, QE3, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Kyoto, Nov. 11 (2009).
  212. M. Yamaguchi, T. Asano, K. Kojima, and S. Noda: “Quantum electrodynamics on a nanocavity coupled with a quantum dot”, International Symposium on Quantum Nanophotonics and Nanoelectronics, FrE4, University of Tokyo, Tokyo, Tokyo, Nov. 20 (2009).
  213. 田中良典, Jeremy Upham, 杉谷知昭, 浅野卓, 野田進: “フォトリック結晶共振器の  $Q$  値の動的制御による光の捕獲・解放”, 電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会, A1, 京都大学桂キャンパス, 京都市, 2010年1月28日.
  214. 岩橋清太, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 野田進: “面心長方格子を用いた2次元フォトリック結晶レーザ”, 電子情報通信学会レーザ・量子エレクトロニクス研究会, A2, 京都大学桂キャンパス, 京都市, 2010年1月28日.
  215. M. Yamaguchi: “Quantum anti-Zeno Effect in a Coupled System of a Nanocavity and a Quantum Dot”, Next Generation Photonics Symposium, No. 6, Caltech, Los Angeles, USA, Feb. 24 (2010).
  216. Y. Liang: “Two-dimensional Photonic Crystal Surface-Emitting Lasers”, Next Generation Photonics Symposium, No. 8, Caltech, Los Angeles, USA, Feb. 24 (2010).
  217. S. Noda: “Manipulation of Photons by Photonic Crystals”, 3rd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Session1-2, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2010).
  218. 北村恭子, 酒井恭輔, 高山直樹, 野田進: “FDTD 法を用いた径偏光ビームの集光解析”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 18aK5, 東海大学, 平塚市, 2010年3月18日.
  219. Jeremy Upham, 井上博揮, 田中良典, 小島一信, Wolfgang Stumpf, 浅野卓, 野田進: “GaAs系フォトリック結晶ナノ共振器の  $Q$  値の動的制御とストップライト— 時間領域測定 —”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 18pL3, 東海大学, 平塚市, 2010年3月18日.
  220. Jeremy Upham, 藤田有, 佐藤義也, 田中良典, 浅野卓, 野田進: “Si系2次元フォトリック結晶共振器の  $Q$  値の動的制御とストップライト— ナノ共振器と2つの導波路結合系における光パルスの捕獲と放出 —”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 18pL6, 東海大学, 平塚市, 2010年3月18日.”
  221. 佐藤義也, 田中良典, Jeremy Upham, 高橋和, 浅野卓, 野田進: “導波路を介した光ナノ共振器の強結合動作の観測”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 18pL9, 東海大学, 平塚市, 2010年3月18日.
  222. 國師 渡, 長瀬 和也, 坂口 拓生, 宮井 英次, 大西 大, 野田進: “660 nm 帯 2 次元フォトリック結晶面発光レーザの開発”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19aM1,

- 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
223. 岩橋清太, 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 梁永, 宮井英次, 國師渡, 坂口拓生, 大西大, 野田進: “面心立方格子フォトニック結晶レーザーの発振特性II”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19aM2, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
224. 梁永, 酒井恭輔, 岩橋清太, 黒坂剛孝, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: “2次元フォトニック結晶レーザーの結合波理論による解析—孔形状と垂直放射係数—”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19aM5, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.”
225. 黒坂剛孝, 岩橋清太, 梁永, 信岡俊之, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: “ビーム偏向操作2次元フォトニック結晶レーザー”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19aM6, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
226. 岩橋清太, 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 北村恭子, 高山直樹, 野田進: “フォトニック結晶レーザーによる様々さベクトルビームの生成”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19aM8, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
227. 北村恭子, 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 岩橋清太, 高山直樹, 野田進: “径偏光・狭リング形状ビームを出射するフォトニック結晶レーザーデバイス構造の提案と基礎特性の評価-”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19aM9, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
228. 山口真, 浅野卓, 小島一信, 児島貴徳, 中村達也, Wolfgang Stumpf, 野田進: “ナノ共振器・量子ドット結合系における純位相緩和の影響の検討(5)”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM2, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
229. 中村 達也, 浅野 卓, 小島 一信, Wolfgang Stumpf, 児島 貴徳, 野田進: “窒素堆積・剥離によるナノ共振器-量子ドット結合系の結合状態制御”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM4, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
230. 児島貴徳, 小島一信, Wolfgang Stumpf, 中村達也, 山口真, 浅野卓, 富士田誠之, 野田進: “単一量子ドットの位置検出と発光特性評価-量子ドットとナノ共振器の結合系の高度化に向けて”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM6, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
231. 小島一信, 児島貴徳, 中村達也, 山口真, 浅野卓, 野田進: “単一量子ドットとフォトニック結晶ナノ共振器の相対位置および発光波長の精密調整”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM7, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
232. 富士田誠之, Bernard Gelloz, 越田信義, 野田進: “高圧水蒸気アニール処理を行ったシリコンフォトニック結晶の発光特性”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM9, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
233. 北川均, 須藤俊英, 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: “活性層貫通型 GaInN フォトニック結晶のフォトルミネッセンスの温度依存性”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM11, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
234. De Zoysa Menaka, 湊康明, 浅野卓, 野田進: “量子井戸のサブバンド間遷移と2次元フォトニック結晶による熱輻射の制御-(4)”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM13, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
235. 重田博昭, 富士田 誠之, 田中良典, 八代有史, 津田裕介, 野田進: “光起電力素子の光電変換効率増大に向けたフォトニック結晶共振作用の最適化”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM14, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
236. De Zoysa Menaka, 浅野卓, 湊康明, 野田進: “電子系・光子系の状態制御に基づく高効率熱輻射光源を用いた熱光発電”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM16, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
237. 田中良典, Kang Dongyeon, 浅野卓, 野田進, Kwan Lee, Warwick Bowen: “フォトニック結晶ナノ共振器にかかる放射圧の解析”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 19pM17, 東海大学, 平塚市, 2010年3月19日.
238. 石崎賢司, 太田雄至, 鈴木克佳, 野田進: “3次元フォトニック結晶表面における光制御”, 2010年春季 第57回応用物理学関係連合講演会, 20aM1, 東海大学, 平塚市, 2010年3月

- 20 日.
239. 太田雄至, 鈴木克佳, 石崎賢司, 野田進: “2 方向斜めエッチング型 3 次元フォトニック結晶における表面モードの検討(II)”, 2010 年春季 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 20aM2, 東海大学, 平塚市, 2010 年 3 月 20 日.
  240. 寺脇 了, 千原 賢大, 高橋 和, 野田 進: “高  $Q$  値フォトニック結晶光ナノ共振器の動作波長域の拡大”, 2010 年春季 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 20aM5, 東海大学, 平塚市, 2010 年 3 月 20 日.
  241. 宋奉植, 李潤植, 野田進: “誘電体フォトニック結晶・金属スプリットリング共振器の結合系”, 2010 年春季 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 20aM7, 東海大学, 平塚市, 2010 年 3 月 20 日.
  242. 山田翔太, 宋奉植, 浅野卓, 野田進: “SiC フォトニック結晶共振器の熱光学特性”, 2010 年春季 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 20aM9, 東海大学, 平塚市, 2010 年 3 月 20 日.
  243. 山田翔太, 宋奉植, 浅野卓, 野田進: “可視領域 SiC フォトニック結晶導波路・共振器結合系の開発”, 2010 年春季 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 20pM2, 東海大学, 平塚市, 2010 年 3 月 20 日.
  244. 宋奉植, 田昇愚, 野田進: “ガラス埋め込み型超高  $Q$  値シリコン光ナノ共振器”, 2010 年春季 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 20pM4, 東海大学, 平塚市, 2010 年 3 月 20 日.
  245. 千原賢大, 寺脇了, 佐藤義也, 高橋和, 野田進: “マルチヘテロ構造光ナノ共振器の高エネルギーモード”, 2010 年春季 第 57 回応用物理学関係連合講演会, 20pM6, 東海大学, 平塚市, 2010 年 3 月 20 日.
  246. K. Sakai, N. Takayama, K. Kitamura, S. Iwahashi, Y. Kurosaka, and S. Noda: “Focusing properties of vector vortex beam”, International Conference on Optical Angular Momentum, Th2-2, University of York, York, United Kingdom, Mar. 25 (2010).
  247. 北村恭子: “フォトニック結晶レーザとその集光特性”, 日本学術会議 主催 公開シンポジウム先端フォトニクスの展望, 東京, 平塚市, 2010 年 4 月 9 日.
  248. S. Iwahashi, Y. Kurosaka, K. Sakai, K. Kitamura, N. Takayama, S. Noda: "Sophisticated Vector Beams Produced by Photonic-Crystal Lasers", The Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference 2010, CTuO1, San Jose McEnergy Convention Center, San Jose, California, USA, May 5/16-5/21 (2010).
  249. Y. Kurosaka, S. Iwahashi, Y. Liang, K. Sakai, E. Miyai, W. Kunishi, D. Ohnishi, and S. Noda: "On-chip beam-steering photonic-crystal lasers", The Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference 2010, CTuO3, San Jose McEnergy Convention Center, San Jose, California, USA, May 5/16-5/21 (2010).
  250. M. De Zoysa, T. Asano, Y. Minato, and S. Noda: "Control of Thermal Radiation by Intersubband Transitions in Quantum Wells and Two-Dimensional Photonic Crystals", The Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference 2010, CTuH4, San Jose McEnergy Convention Center, San Jose, California, USA, May 5/16-5/21 (2010).
  251. S. Yamada, B.S. Song, T. Asano, S. Noda: "Silicon-Carbide-Based Two-Dimensional Photonic Crystal Nanocavities", The Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference 2010, CWB4, San Jose McEnergy Convention Center, San Jose, California, USA, May 5/16-5/21 (2010).
  252. M. Fujita, A. Nishikawa, Y. Terai, Y. Fujiwara, and S. Noda: "GaAs photonic nanocavities with erbium luminescent centers ", The 37th International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS2010), FrD3-4, Takamatsu Symbol Tower, Takamatsu, Japan, Jun. 4 (2010).
  253. K. Kitamura, K. Sakai and S. Noda: "Tighter focal spot with longer depth of focus generated by radially polarized beams from photonic-crystal lasers", 11th APRU Doctoral students conference, D10, Universitas Indonesia, Jakarta, Indonesia, Jul. 13 (2010).
  254. 浅野卓, 野田進: "フォトニック結晶の現状と将来展望", Fundamental Physics Using Atoms 2010, S-8, 大阪大学 豊中キャンパス シグマホール, 豊中市, 2010 年 8 月 7 日.
  255. M. Fujita, B. Gelloz, N. Koshida and S. Noda: "Reduction of surface recombination and

- enhancement of light emission in silicon photonic crystals treated by high-pressure water-vapor annealing ", 7th International Conference on Group IV Photonics (GFP2010), FB6, Beijing Friendship Hotel, Beijing, China, Sep. 3 (2010).
256. 田中良典, Jeremy Upham, 藤田有, 佐藤義也, 浅野卓, 川本洋輔, 野田進: "2次元フォトリニク結晶共振器の Q 値の動的制御とストップライトー捕獲・保持の損失に関する検討ー", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 15p-ZW-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月15日.
  257. 佐藤義也, 田中良典, Jeremy Upham, 浅野卓, 野田進: "導波路を介した結合ナノ共振器の動的結合制御", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 15p-ZW-8, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月15日.
  258. 山田 翔太, 宋 奉植, Jeremy Upham, 浅野卓, 野田進: "フォトリニク結晶ナノ共振器の非線形光学特性ーSi vs SiCー (2)", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 15p-ZW-12, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月15日.
  259. 児島貴徳, 小島一信, 浅野卓, 野田進: "児島貴徳, 小島一信, 浅野卓, 野田進", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16a-J-2, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  260. 中村達也, 小島一信, 児島貴徳, 浅野卓, 野田進: "窒素堆積・剥離によるナノ共振器-量子ドット結合系の結合状態制御(2)", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16a-J-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  261. 山口 真, 浅野卓, 小島一信, 児島貴徳, 野田進: "量子ドットを含むナノ共振器の Q 値制御についての理論検討", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16a-J-6, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  262. 浅野卓, 山口 真, 佐藤義也, 野田進: "2次元フォトリニク結晶を用いた量子計算機の検討", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16a-J-8, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  263. 千原賢大, 寺脇了, 高橋和, 野田進, 浅野卓: "マルチヘテロ構造光ナノ共振器のラマンレーザ応用", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-2, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  264. 高橋和, 浅野卓, 野田進: "高 Q 値シリコン光ナノ共振器からのラマン散乱光測定", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  265. 富士田誠之, 西川敦, 寺井慶和, 藤原康文, 野田進: "Er 発光中心をもつ GaAs ナノ共振器の発光中心と共振モードの相互作用の検討", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-6, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  266. 重田博昭, 富士田誠之, 田中良典, 津田裕介, 野田進: "光起電力素子の光電変換効率増大に向けたフォトリニク結晶共振作用の最適化(II)", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-8, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  267. 坂口 拓生, 長瀬和也, 國師渡, 三浦義勝, 宮井英次, 大西大, 野田進: "MOCVD を用いた再成長によるフォトリニク結晶レーザの作製(II)", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-10, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  268. 岩橋清太, 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 梁永, 宮井英次, 國師渡, 坂口 拓生, 大西大, 野田進: "面心立方格子フォトリニク結晶レーザの発振特性 III-単一モード高出力動作に向けた検討-", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-12, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  269. 梁永, Chao Peng, 酒井恭輔, 岩橋清太, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "2次元フォトリニク結晶レーザの結合波理論による解析 IIー高次結合波モデルと垂直放射係数ー", 2010年秋季第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-14, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
  270. C. Peng, Y. Liang, K. Sakai, S. Iwahashi, E. Miyai, D. Ohnishi, W. Kunishi and S. Noda: "次

- 元フォトニック結晶レーザの結合波理論による解析 III —垂直方向への反射構造と垂直放射係数—, 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 16p-J-15, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 16 日.
271. 北村恭子, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 岩橋清太, 西本昌哉, 野田進: "径偏光・狭リング形状ビームを出射するフォトニック結晶レーザ II -発振および集光特性の評価", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 16p-J-17, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 16 日.
272. 田中良典, Kang Dongyeon, 浅野卓, 野田進, Warwick Bowen: "光ナノ共振器結合系を利用した機械振動制御", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 17a-J-2, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 17 日.
273. 田口 裕樹, 高橋 和, 浅野 卓, 野田 進: "格子定数シフトを変化させたマルチヘテロ構造光ナノ共振器による Q 値の増大", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 17a-J-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 17 日.
274. 寺脇 了, 千原 賢大, 高橋 和, 野田 進: "高 Q 値フォトニック結晶光ナノ共振器の動作波長域の拡大(2)", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 17a-J-5, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 17 日.
275. 宋奉植, 李潤植, 野田進: "ガラス埋め込みシリコンフォトニック結晶共振器・金属スプリットリング共振器の結合系", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 17a-J-8, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 17 日.
276. 石崎賢司, 鈴木克佳, 太田雄至, 野田進: "3 次元フォトニック結晶表面における光制御(II)", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 17p-J-2, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 17 日.
277. 太田 雄至, 石崎 賢司, 鈴木 克佳, 野田 進: "3 次元フォトニック結晶の表面における発光制御", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 17p-J-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 17 日.
278. 鈴木克佳, 石崎賢司, 太田雄至, 野田進: "2 方向斜めエッチング型 3 次元フォトニック結晶の表面モード測定", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 17p-J-6, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 17 日.
279. De Zoysa Menaka, 湊康明, 浅野卓, 野田進: "量子井戸のサブバンド間遷移と 2 次元フォトニック結晶を用いた電流注入型熱輻射光源の開発", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 17p-J-7, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 17 日.
280. 田中良典, Jeremy Upham, 藤田有, 佐藤義也, 浅野卓, 川本洋輔, 野田進: "2 次元フォトニック結晶共振器の Q 値の動的制御とストップライト —捕獲・保持の損失に関する検討—", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 15p-ZW-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 15 日.
281. 佐藤義也, 田中良典, Jeremy Upham, 浅野卓, 野田進: "導波路を介した結合ナノ共振器の動的結合制御", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 15p-ZW-8, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 15 日.
282. 山田 翔太, 宋 奉植, Jeremy Upham, 浅野 卓, 野田 進: "フォトニック結晶ナノ共振器の非線形光学特性—Si vs SiC— (2)", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 15p-ZW-12, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 15 日.
283. 児島貴徳, 小島一信, 浅野卓, 野田 進: "児島貴徳, 小島一信, 浅野卓, 野田 進", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 16a-J-2, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 16 日.
284. 中村達也, 小島一信, 児島貴徳, 浅野卓, 野田進: "窒素堆積・剥離によるナノ共振器-量子ドット結合系の結合状態制御(2)", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 16a-J-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010 年 9 月 16 日.
285. 山口 真, 浅野 卓, 小島 一信, 児島 貴徳, 野田 進: "量子ドットを含むナノ共振器の Q 値制御についての理論検討", 2010 年秋季 第 71 回応用物理学会学術講演会, 16a-J-6, 長崎

- 大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
286. 浅野 卓, 山口 真, 佐藤 義也, 野田 進: "2次元フォトニック結晶を用いた量子計算機の検討", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16a-J-8, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
287. 千原 賢大, 寺脇 了, 高橋 和, 野田 進, 浅野 卓: "マルチヘテロ構造光ナノ共振器のラマンレーザ応用", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-2, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
288. 高橋 和, 浅野 卓, 野田 進: "高Q値シリコン光ナノ共振器からのラマン散乱光測定", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
289. 富士田誠之, 西川敦, 寺井慶和, 藤原康文, 野田進: "Er発光中心をもつGaAsナノ共振器の発光中心と共振モードの相互作用の検討", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-6, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
290. 重田博昭, 富士田誠之, 田中 良典, 津田 裕介, 野田 進: "光起電力素子の光電変換効率増大に向けたフォトニック結晶共振作用の最適化(II)", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-8, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
291. 坂口 拓生, 長瀬 和也, 國師 渡, 三浦 義勝, 宮井 英次, 大西 大, 野田 進: "MOCVDを用いた再成長によるフォトニック結晶レーザの作製(II)", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-10, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
292. 岩橋清太, 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 梁永, 宮井英次, 國師渡, 坂口 拓生, 大西大, 野田進: "面心立方格子フォトニック結晶レーザの発振特性 III-単一モード高出力動作に向けた検討-", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-12, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
293. 梁永, Chao Peng, 酒井恭輔, 岩橋清太, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "2次元フォトニック結晶レーザの結合波理論による解析 II -高次結合波モデルと垂直放射係数-", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-14, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
294. C. Peng, Y. Liang, K. Sakai, S. Iwahashi, E. Miyai, D. Ohnishi, W. Kunishi and S. Noda: "次元フォトニック結晶レーザの結合波理論による解析 III -垂直方向への反射構造と垂直放射係数-", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-15, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
295. 北村恭子, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 岩橋清太, 西本昌哉, 野田進: "径偏光・狭リング形状ビームを出射するフォトニック結晶レーザ II -発振および集光特性の評価", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 16p-J-17, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月16日.
296. 田中良典, Kang Dongyeon, 浅野卓, 野田進, Warwick Bowen: "光ナノ共振器結合系を利用した機械振動制御", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 17a-J-2, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月17日.
297. 田口 裕樹, 高橋 和, 浅野 卓, 野田 進: "格子定数シフトを変化させたマルチヘテロ構造光ナノ共振器によるQ値の増大", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 17a-J-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月17日.
298. 寺脇 了, 千原 賢大, 高橋 和, 野田 進: "高Q値フォトニック結晶光ナノ共振器の動作波長域の拡大(2)", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 17a-J-5, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月17日.
299. 宋奉植, 李潤植, 野田進: "ガラス埋め込みシリコンフォトニック結晶共振器・金属スプリットリング共振器の結合系", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 17a-J-8, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月17日.
300. 石崎賢司, 鈴木克佳, 太田雄至, 野田進: "3次元フォトニック結晶表面における光制御(II)", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 17p-J-2, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎

市, 2010年9月17日.

301. 太田 雄至, 石崎 賢司, 鈴木 克佳, 野田 進: "3次元フォトニック結晶の表面における発光制御", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 17p-J-4, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月17日.
302. 鈴木克佳, 石崎賢司, 太田雄至, 野田進: "2方向斜めエッチング型3次元フォトニック結晶の表面モード測定", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 17p-J-6, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月17日.
303. De Zoysa Menaka, 湊康明, 浅野卓, 野田進: "量子井戸のサブバンド間遷移と2次元フォトニック結晶を用いた電流注入型熱輻射光源の開発", 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 17p-J-7, 長崎大学 文教キャンパス, 長崎市, 2010年9月17日.
304. T. Asano, J. Upham, Y. Tanaka, and S. Noda: "Pulse selection by on-the-fly wavelength conversion in 2D photonic crystals", 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2010), D-4-2, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Sep. 23 (2010).
305. B. S. Song, S. W. Jeon, and S. Noda: "A glass-embedded photonic crystal nanocavity with ultrahigh quality( $Q$ ) factor", 9th International Conference on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures (PECS-IX), the Palacio de Exposiciones y Congresos de Granada, Granada, Spain, Sep. 27 (2010)(Invited).

③ ポスター発表 (国内会議 28件、国際会議 25件)

1. M. Fujita, M. Yamaguchi, W. Stumpf, J. Nakanishi, K. Sugiyama, T. Asano, and S. Noda: "Controlling the spontaneous emission in 2D photonic crystal slabs with InAs quantum dots", 25th Electronic Material Symposium, L3, ホテルサンバレー富士見, 伊豆の国市, 2006年7月7日 (poster).
2. K. Ishizaki, S. Ogawa, T. Furukawa, S. Noda: "Development of Three-Dimensional Photonic Crystal with Seventeen Stacked-Striped Layers", 25th Electronic Material Symposium, L4, ホテルサンバレー富士見, 伊豆の国市, 2006年7月7日 (poster).
3. T. Asano, S. Noda, M. Fujita, M. Imada: "PROGRESSES OF PHOTONIC-CRYSTAL RESEARCH", JAPAN NANO 2007, P-3-9, Tokyo Big Site, Tokyo, Japan, 20-21 (2007) (poster).
4. M. Fujita, W. Stumpf, M. Yamaguchi, T. Asano, S. Noda: "Dot-number effect on emission efficiency from randomized quantum dots in photonic nanocavity", International Symposium on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures VII, A-41, Monterey Conference Center, Monterey, USA, Apr. 8-11 (2007) (poster).
5. M. Fujita and S. Noda: "Light-Emission Properties of Silicon Photonic Crystals", 第26回電子材料シンポジウム, M9, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 2007年7月6日 (poster).
6. 北村恭子, 酒井恭輔, 野田進: "フォトニック結晶レーザーより生成された径偏光ドーナツビームの微小集光", 第26回電子材料シンポジウム, M8, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 2007年7月6日 (poster).
7. 吉本晋, 松原秀樹, 岳江林, 田中良典, 野田進: "埋め込み再成長による GaN 系フォトニック結晶構造の作製", 2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会, 6aP9-1, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月6日 (poster).
8. 北川均, 須藤俊英, 田中良典, 富士田誠之, 浅野卓, 野田進: "緑色 InGaN 系活性層貫通孔型2次元フォトニック結晶の室温光励起発光", 2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会, 6aP9-2, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月6日 (poster).
9. 高橋和, 萩野裕幸, 田中良典, 浅野卓, 野田進: "局所的にマルチステップヘテロ構造を導入した光ナノ共振器", 2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会, 6aP-8, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月6日 (poster).
10. 宋奉植, 浅野卓, 野田進: "ワイドバンドギャップ半導体 SiC を用いた2次元フォトニック結晶導波路およびナノ共振器", 2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会, 6aP9-9, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月6日 (poster).
11. 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 柏木淳一, 大塚晃嗣, 宮井英次, 大西大, 國師渡, 野田進: "異周期

- 2次元フォトニック結晶複合共振器の特性", 2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会, 6aP9-12, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月6日(poster).
12. 大塚晃嗣, 酒井恭輔, 國師渡, 大西大, 野田進: "結合波理論によるバンド端近傍モードの解析", 2007年秋季 第69回応用物理学会学術講演会, 6aP9-13, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月6日(poster).
  13. 山口真, 浅野卓, M. Chaminda, S. Wolfgang, 富士田誠之, 野田進: "2次元フォトニック結晶ナノ共振器を用いた発光制御についての考察(2)", 2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会, 6aP11-4, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月6日(poster).
  14. 北村恭子, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 國師渡, 宮井英次, 大西大, 野田進: "2次元フォトニック結晶レーザより生成されたドーナツビームの集光特性(II)", 2007年秋季 第68回応用物理学会学術講演会, 6aP11-6, 北海道工業大学, 札幌市, 2007年9月6日(poster).
  15. M. Fujita, W. Stumpf, M. Yamaguchi, T. Asano, S. Noda: "Dot-count effect on emission efficiency of randomized quantum dots in photonic nanocavity system", The 34th International Symposium on Compound Semiconductors, ThCP6, Kyoto University, Kyoto, Japan, Oct. 15-18 (2007) (poster).
  16. M. Yamaguchi, T. Asano, M. Fujita, S. Noda: "Theoretical analysis of light emission from a coupled system of photonic nanocavities and quantum dots", The 34th International Symposium on Compound Semiconductors, ThCP4, Kyoto University, Kyoto, Japan, Oct. 15-18 (2007) (poster).
  17. H. Kitagawa, T. Suto, M. Fujita, Y. Tanaka, T. Asano, S. Noda: "Green photoluminescence of GaInN photonic crystals at room temperature", White LED-07, P-W-50, Tokyo, Japan, Nov. (2007) (poster).
  18. K. Ishizaki and S. Noda: "Spontaneous emission phenomenon in three-dimensional photonic crystals", Global COE 1st International Symposium on Photonics and Electronics Science and Engineering, P-5, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 4 (2008) (poster).
  19. W. C. Stumpf, M. Fujita, M. Yamaguchi, T. Asano, and S. Noda: "Light-emission phenomena of quantum dots in a photonic double-heterostructure nanocavity", Global COE 1st International Symposium on Photonics and Electronics Science and Engineering, P-2, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 4 (2008) (poster).
  20. S. Takahashi, K. Suzuki, T. Nakamori, and S. Noda: "Three-dimensional photonic crystals based on double-angled plasma etching technique", Global COE 1st International Symposium on Photonics and Electronics Science and Engineering, P-4, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 4 (2008) (poster).
  21. M. Yamaguchi, T. Asano, S. Noda: "Origin of unexpected light emission in a coupled system of a photonic-crystal nanocavity and a quantum dot", 8th International Conference on Physics of Light-Matter Coupling in Nanostructures, WeP-2, Komaba Research Campus, The University of Tokyo, Tokyo, Japan, Apr. 7-11 (2008)(poster).
  22. K. Kitamura, K. Sakai, and S. Noda: "Characterization of the focused doughnut beam generated by photonic-crystal lasers", 第27回電子材料シンポジウム, H1, ラフォーレ修善寺, 伊豆, 日本, Jul. 9-11 (2008)(poster).
  23. M. Fujita, H. Kitagawa, T. Suto, Y. Kurokawa, Y. Tanaka, T. Asano and S. Noda: "Green-emitting GaInN photonic crystal", 第27回電子材料シンポジウム, H2, ラフォーレ修善寺, 伊豆市, 日本, Jul. 9-11 (2008)(poster).
  24. Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "Design of Photonic Crystal Nanocavity with Q-factor of  $\sim 10^9$ ", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009)(poster).
  25. K. Kojima, Y. Kawakami, and S. Noda: "Enhancing radiative recombination process in low dimensional semiconductor structures", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009)(poster).
  26. Y. Takahashi, T. Sugiyama, S. Yamada, Y. Taguchi, T. Asano, and S. Noda: "Increasing the Q factor and controlling the resonant wavelength of photonic crystal nanocavities", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Kastura Hall,

- Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009)(poster).
27. W. Stumpf, T. Asano, T. Kojima, M. Fujita, Y. Tanaka, and S. Noda: "Q-factor evaluation and slab coupling effect of photonic crystal nanocavities via reflectance", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009)(poster).
  28. Y. Kurosaka, K. Sakai, E. Miyai and S. Noda: "Air hole shape influence on vertical optical confinement in 2D surface-emitting photonic-crystal lasers", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009)(poster).
  29. K. Ishizaki, Q. Sun, S. Kawashima, and S. Noda: "Surface propagation of photons in 3D photonic crystals", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009)(poster).
  30. M. Yamaguchi, T. Asano, K. Kojima, and S. Noda: "Quantum electrodynamics on a nanocavity coupled with quantum dot", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009)(poster).
  31. K. Kitamura, K. Sakai, and S. Noda: "Characterization of the focused doughnut beam generated by photonic crystal lasers", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009)(poster).
  32. J. Upham, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "In-plane catch and release of optical pulses by dynamic  $Q$  control of photonic crystal nanocavity", 2nd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2009)(poster).
  33. 富士田誠之, 田中良典, 野田進: "フォトリック結晶光ナノ共振器におけるシリコンからの発光増大現象", ナノ量子情報エレクトロニクス公開シンポジウム, p-41, 東京大学, 東京, 2009年4月22日 (poster).
  34. M. Yamaguchi, T. Asano, K. Kojima, and S. Noda: "Impact of anti-Zeno Effect on a Coupled Nanocavity-Quantum-Dot System", The Conference on Lasers and Electro-Optics and the International Quantum Electronics Conference 2009, JWA97, Baltimore Convention Center, Baltimore, America, May 31- Jun. 5 (2009) (poster).
  35. M. Fujita, H. Kitagawa, T. Suto, Y. Kurokawa, T. Asano and S. Noda: "Green GaInN Photonic-Crystal Light-Emitting-Diodes", 第28回電子材料シンポジウム, J-8, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 日本, Jul. 8-10 (2009)(poster).
  36. M. De Zoysa, T. Asano, and S. Noda: "Intersubband transitions in quantum wells for controlling thermal radiation spectrum", 第28回電子材料シンポジウム, J-15, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 日本, Jul. 8-10 (2009)(poster).
  37. T. Kojima, W. Stumpf, T. Asano, K. Kojima, H. Inoue, M. Yamaguchi, T. Nakamura, M. Fujita and S. Noda: "Reflectance measurement of two-dimensional photonic crystal cavities including quantum dots", 第28回電子材料シンポジウム, J-16, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 日本, Jul. 8-10 (2009)(poster).
  38. S. Iwahashi, K. Sakai, K. Kurosaka, and S. Noda: "Two-Dimensional Photonic-Crystal Laser with Centered-Rectangular Lattice", 第28回電子材料シンポジウム, J-17, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 日本, Jul. 8-10 (2009)(poster).
  39. K. Kitamura, K. Sakai, N. Takayama and S. Noda: "Tight focal spot with long depth of focus by radially polarized beams from photonic-crystal lasers", 第28回電子材料シンポジウム, J-18, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 日本, Jul. 8-10 (2009)(poster).
  40. Y. Sato, Y. Tanaka, T. Asano, and S. Noda: "Investigation of catch and release of optical pulse using dynamic change in two-dimensional photonic crystal waveguides", 第28回電子材料シンポジウム, J-19, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 日本, Jul. 8-10 (2009)(poster).
  41. K. Kojima, H. Inoue, W. Stumpf, T. Nakamura, M. Yamaguchi, T. Kojima, M. Fujita, T. Asano, and S. Noda: "Fundamental properties and  $Q$  factor control of a nanocavity coupled with a waveguide including quantum dots", 第28回電子材料シンポジウム, J-20, ラフォーレ琵琶湖,

- 守山, 日本, Jul. 8-10 (2009)(poster).
42. K. Suzuki, S. Takahashi, T. Nakamori, Y. Ota, and S. Noda: "Development of three-dimensional photonic crystals based on double-angled plasma etching", 第 28 回電子材料シンポジウム, J-25, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 日本, Jul. 8-10 (2009)(poster).
  43. S. Yamada, B. S. Song, Y. Tanaka, T. Asano, S. Noda: "Development of silicon-carbide based two-dimensional photonic crystals", 第 28 回電子材料シンポジウム, J-27, ラフォーレ琵琶湖, 守山, 日本, Jul. 8-10 (2009)(poster).
  44. Y. Tanaka, D. Kang, T. Asano and S. Noda: "Analysis of mechanical modes in 2D photonic crystals", 3rd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, P-1, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2010).
  45. K. Kojima, T. Asano and S. Noda: "Control of the Purcell effect in a quantum dot coupled with a nanocavity", 3rd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, P-2, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2010).
  46. K. Ishizaki and S. Noda: "Nanocavities at a surface of 3D photonic crystals", 3rd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, P-3, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2010) (poster).
  47. M. Yamaguchi, T. Asano, K. Kojima and S. Noda: "Analysis of non-Markovian pure dephasing of excitation complexes in a quantum dot coupled with a nanocavity", 3rd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, P-4, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2010) (poster).
  48. K. Kitamura, K. Sakai and S. Noda: "Small focal spot with long depth of focus generated by radially polarized beams from photonic-crystal lasers", 3rd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, P-5, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2010) (poster).
  49. J. Upham, Y. Tanaka, T. Asano and S. Noda: "Time-resolved pulse catch and release by dynamic  $Q$  factor control of a photonic crystal nanocavity", 3rd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, P-6, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2010) (poster).
  50. M. D. Zoysa, T. Asano and S. Noda: "Control of thermal radiation spectrum by using intersubband transitions in quantum wells", 3rd GCOE International Symposium on Photonics and Electronic Science and Engineering, P-7, Kastura Hall, Kyoto University, Kyoto, Japan, Mar. 13 (2010) (poster).
  51. K. Kojima, T. Kojima, T. Nakamura, M. Yamaguchi, T. Asano, and S. Noda: "Fine tuning of relative position and wavelength between a single quantum dot and a photonic crystal nanocavity", 第 29 回電子材料シンポジウム, We3-1, ラフォーレ修善寺, 伊豆市, 日本, Jul. 14-16 (2010)(poster).
  52. T. Nakamura, K. Kojima, T. Kojima, T. Asano, and S. Noda: "Control of coupling between a quantum dot and a photonic nanocavity using gas adsorption and desorption", 第 29 回電子材料シンポジウム, We3-2, ラフォーレ修善寺, 伊豆市, 日本, Jul. 14-16 (2010)(poster).
  53. Y. Liang, K. Sakai, S. Iwahashi, Y. Kurosaka, and S. Noda: "Coupled-wave analysis of two-dimensional photonic-crystal lasers – Air-hole shapes and radiation constants –", 第 29 回電子材料シンポジウム, We3-3, ラフォーレ修善寺, 伊豆市, 日本, Jul. 14-16 (2010)(poster).

#### (4)知財出願

##### ①国内出願 (27 件)

1. 野田進, 宮井英次, 大西大: 「2 次元フォトニック結晶面発光レーザ光源」, 京都大学, ローム株式会社, 特願 2005-374208, 2005.12.27,
2. 野田進, 大西大: 「フォトニック結晶発光ダイオードおよびその製造方法」, 京都大学, ローム株式会社, 特願 2005-366117, 2005.12.27.
3. 永島拓志, 宋奉植, 浅野卓, 野田進: 「2 次元フォトニック結晶製造方法」, 京都大学, 特願 2006-009994, , 2006.1.18.
4. 野田進, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡: 「2 次元フォトニック結晶面発光レーザ」, 京

- 都大学, ローム株式会社,特願 2006-077469, 2006.3.20.
5. 野田進, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡:「2次元フォトニック結晶面発光レーザ」, 京都大学, ローム株式会社, 特願 2006-077470, 2006.3.20.
  6. 野田進, 宮井英次, 大西大, 國師渡:「2次元フォトニック結晶面発光レーザ光源」, 京都大学, ローム株式会社, 特願 2006-077471, 2006.3.20,.
  7. 野田進, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡:「2次元フォトニック結晶面発光レーザ光源」, 京都大学, ローム株式会社,特願 2006-077472, 2006.3.20.
  8. 野田進, 浅野卓, 北川均:「2次元フォトニック結晶」, 京都大学, アルプス電気株式会社, 特願 2006-077600, 2006.3.20.
  9. 野田進, 黒坂剛孝, 宮井英次, 大西大, 國師渡:「2次元フォトニック結晶面発光レーザ光源」, 京都大学, ローム株式会社, 特願 2006-097651, 2006.3.31.
  10. 野田進, 望月敬太, 浅野卓, 北川均:「2次元フォトニック結晶熱輻射光源」,京都大学, アルプス電気株式会社, 特願 2006-230128 号, 2006.8.28.
  11. 野田進, 浅野卓, 田中良典:「偏波無依存2次元フォトニック結晶合分波器」,京都大学, 特願 2006-230509 号, 2006.8.28.
  12. 野田進, 浅野卓, 山口真:「発光素子」, 科学技術振興機構, 特願 2007-078817, 2007.3.26.
  13. 野田進, 浅野卓, 田中良典:「2次元フォトニック結晶光共振器」,京都大学, 特願 2007-079343, 2007.3.26.
  14. 野田進, 浅野卓, 望月敬太:「2次元フォトニック結晶」,京都大学, 特願 2007-079342, 2007.3.26.
  15. 大塚晃嗣, 宮井英次, 酒井恭輔, 黒坂剛孝, 野田進, 大西大, 國師渡:「2次元フォトニック結晶面発光レーザ」, 京都大学, ローム株式会社, 特願 2007-079639, 2007.3.26.
  16. 野田進, 柏木淳一, 大西大, 國師渡:「2次元フォトニック結晶面発光レーザ」, 京都大学, ローム株式会社, 特願 2007-079640, 2007.3.26.
  17. 野田進, 黒坂剛孝, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡:「フォトニック結晶面発光レーザ」, 京都大学, ローム株式会社, 特願 2007-226255, 2007.8.29.
  18. 野田進, 浅野卓, 富士田誠之, 北川均, 須藤 俊英:「回折格子型発光ダイオード」,京都大学, アルプス電気株式会社, 特願 2007-228178, 2007.9.3.
  19. 野田進, 黒坂剛考, 酒井恭輔, 宮井秀次, 國師渡, 大西大:「フォトニック結晶レーザ」,科学技術振興機構, ローム株式会社、特願 2008-220386、2008.8.28.
  20. 野田進, 岩橋清太, 黒坂剛考, 酒井恭輔, 宮井秀次, 國師渡, 大西大:「二次元フォトニック結晶レーザ」, 科学技術振興機構, ローム株式会社, 特願 2008-222384, 2008.8.29.
  21. 野田進, 高橋重樹:「プラズマエッチング方法及びフォトニック結晶製造方法」, 科学技術振興機構、特願 2008-224035, 2008.9.1.
  22. 松原秀樹, 齋藤祐久, 吉本晋, 野田進:「フォトニック結晶面発光レーザおよびフォトニック結晶面発光レーザの製造方法」, 京都大学, 住友電気工業株式会社, 特願 2008-288035, 2008.11.10.
  23. 野田進, 浅野卓, 富士田誠之, 須藤俊英, 鈴木徹夜, 高塚智正:「半導体発光素子」, 京都大学, アルプス電気株式会社, 特願 2009-168777, 2009.7.17.
  24. 野田進, 浅野卓, 富士田誠之, 須藤俊英, 北川均:「フォトニック結晶発光ダイオード」, 京都大学, アルプス電気株式会社, 特願 2009-203656, 2009.9.3.
  25. 野田進, 石崎賢司:「表面効果3次元フォトニック結晶」, 科学技術振興機構, 特願 2009-223937, 2009.9.29.
  26. 野田進, 浅野卓, 富士田誠之, 北川均:「フォトニック結晶発光ダイオード」, 京都大学, アルプス電気株式会社, 特願 2009-240213, 2009.10.19.
  27. 野田進, 北村恭子, 黒坂剛孝, 酒井恭輔:「フォトニック結晶レーザ」, 京都大学, 特願 2010-044255, 2010.3.1.

②海外出願 (12 件)

1. 野田進, 浅野卓, 高山 清一, 初田蘭子: 「2 次元フォトニック結晶」, 京都大学, TDK 株式会社, PCT/JP2006/301580, 2006.1.31.
2. 野田進, 浅野卓, 田中良典, 高山清市: 「偏波モード変換器」, 京都大学, TDK 株式会社, PCT/JP2006/304394, 2006.3.7.
3. 大西大, 國師渡, 宮井英次, 野田進: 「2 次元フォトニック結晶レーザ光源」, 京都大学, ローム株式会社, PCT/JP2006/316866, 2006.8.28.
4. 野田進, 宮井英次, 大西大: 「2 次元フォトニック結晶面発光レーザ光源」, 京都大学, ローム株式会社, PCT/JP/2006/317486, 2006.9.5.
5. 野田進, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡: 「2 次元フォトニック結晶面発光レーザ」, 京都大学, ローム株式会社, PCT/JP/2007/000267, 2007.3.20.
6. 野田進, 酒井恭輔, 宮井英次, 大西大, 國師渡: 「2 次元フォトニック結晶面発光レーザ光源」, 京都大学, ローム株式会社, PCT/JP/2007/000268, 2007.3.20.
7. 野田進, 黒坂剛孝, 宮井英次, 大西大, 國師渡: 「2 次元フォトニック結晶面発光レーザ光源」, 京都大学, ローム株式会社, PCT/JP/2007/000340, 2007.3.31.
8. 野田進, 浅野卓, 北川均: 「2 次元フォトニック結晶」, 京都大学, アルプス電気株式会社, PCT/JP/2007/000269, 2007.3.20.
9. 野田進, 浅野卓, 田中良典: 「偏波無依存 2 次元フォトニック結晶合分波器」, 京都大学, PCT 出願 PCT/JP2007/00918, 2007.8.27.
10. 野田進, 浅野卓, 望月敬太: 「2 次元フォトニック結晶」, 京都大学, PCT/JP2008/000709, 2008.3.25.
11. 野田進, 浅野卓, 田中良典: 「2 次元フォトニック結晶光共振器」, 京都大学, PCT/JP2008/000736, 2008.3.26.
12. 野田進, 岩橋清太, 黒坂剛孝, 酒井恭輔: 「2 次元フォトニック結晶レーザ」, 科学技術振興機構, PCT/JP2009/003924, 2009.8.18.

(5)受賞・報道等

①受賞

1. 2005 年 10 月: IEEE Distinguished Lecture Awards (2004-2005), IEEE Lasers and Electro-Optics Society (S. Noda).
2. 2005 年 12 月: Laser Focus World Commendation for Excellence in Technical Communications on Photonic Crystal Lasers (S. Noda).
3. 2006 年 1 月: Awarded as Fast Moving Frong Article by Thomson ISI for highly rated citation of "High Q nanocavity in a two dimensional photonic crystal" published in Nature (S. Noda, Y. Akahane, B.S.Song, T. Asano).
4. 2006 年 2 月: Award in recognition and appreciation for service on the LEOS Nano Photonic Technical Committee, IEEE Lasers and Electro-Optics Society (S. Noda).
5. 2006 年 3 月: Honorary Degree, Gent University, Belgium (S. Noda).
6. 2006 年 7 月: Awarded as New Hot Papers by Thomson ISI for highly rated citation of "Ultra-high- $Q$  photonic double heterostructure nanocavity" published in Nature Materials (S. Noda, B.S.Song, T. Asano, and Y. Akahane).
7. 2006 年 8 月: OSA Joseph Fraunhofer Award / Robert M. Burley Prize, for Significant Accomplishment for Optical Engineering (S. Noda).
8. 2006 年 8 月: 第 28 回応用物理学会論文賞 JJAP 論文奨励賞(Award for the Most Promising Young Scientist) "Optical and Electrical Characteristics of Organic Light-Emitting Diodes with Two-Dimensional Photonic Crystals in Organic/Electrode Layers" (富士田誠之).
9. 2006 年 9 月: 丸文学術特別賞授 受賞業績:「フォトニック結晶による光制御」(野田進).
10. 2007 年 3 月: 財団法人光科学技術研究振興財団 研究奨励賞、研究テーマ「フォトニック結晶による光の発生の制御」(富士田誠之).

11. 2007年5月: 第1回(2007年度)応用物理学会フェロー受賞,「フォトニック結晶に関する先駆的・独創的研究」, 応用物理学会(野田進).
12. 2007年5月: 第31回レーザー学会業績賞(論文賞解説部門)「フォトニックバンドギャップを利用した発光制御技術」, 社)レーザー学会(富士田誠之, 野田進).
13. 2007年7月: 第26回電子材料シンポジウム EMS 賞 受賞業績:「フォトニック結晶レーザーより生成された径偏光ドーナツビームの微小集光」, EMS26 実行委員会(北村恭子).
14. 2007年10月: LEOS 2007 Best Student Paper Award 受賞業績:「High-Power Surface-Emitting Photonic Crystal Laser」, IEEE LEOS (K. Otsuka, K. Sakai, Y. Kurosaka, J. Kashiwagi, W. Kunishi, D. Ohnishi and S. Noda).
15. 2008年1月: IEEE Fellow 受賞業績:”For contributions to photonic crystals and nanophotonics”, IEEE (S. Noda).
16. 2008年9月: 応用物理学会講演奨励賞:「GaN フォトニック結晶面発光レーザー」(吉本晋).
17. 2008年10月: CREST「新機能創成に向けた光・光量子科学技術」研究領域第一回公開シンポジウムポスター賞(浅野卓 他)
18. 2008年12月: 第25回応用物理学会講演奨励賞「3次元ナノ構造形成のための斜めプラズマエッチング技術の開発」(高橋重樹).
19. 2009年4月: 文部科学大臣表彰「フォトニック結晶に関する独創的・先駆的研究」(野田進)
20. 2009年6月: 第25回応用物理学会講演奨励賞「ナノ共振器・量子ドット強結合系における共鳴時の3番目の発光ピーク(2)」(山口真)
21. 2009年7月: IEEE Nanotechnology Pioneer Award “for pioneering contributions to photonic crystals and nanophotonics” (Susumu Noda).
22. 2009年9月: 第1回応用物理学会関西支部貢献賞(野田進)
23. 2009年10月: IEEE Photonics Society 2009 Best Student Paper Award: “Photon Manipulation at the Surface of Three-Dimensional Photonic Crystals” (K. Ishizaki).
24. 2009年11月: 第6回江崎玲於奈賞「ナノスケールで制御されたフォトニック結晶の先導的研究」(野田進).
25. 2009年11月: CREST「新機能創成に向けた光・光量子科学技術」研究領域第二回公開シンポジウムポスター賞(野田進 他)

## ②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. Laser Focus World, 2005年12月号, “Photonic crystals promise unprecedented lasers and efficient LEDs”
2. JST News 2006年1月号, “日本生まれの新型素子 光の新世界をひらくフォトニック結晶”
3. Laser Focus World 日本版 2006年1月号, “In My View フォトニック結晶技術の展望”
4. Laser Focus World 日本版 2006年2月号, “斬新なレーザーと高効率のLEDの実現を可能にするフォトニック結晶”
5. 日刊工業新聞: 2006/2/28, 「微細・大面積フォトニック結晶ガラス基板に直接形成。京大、高効率有機EL実現。」
6. 京都大学・JST プレスリリース 2006/6/22, 「様々な形状のビームを自在に出射出来る半導体レーザーを開発」
7. 毎日新聞: 2006/6/22, 「レーザー自由自在。京大など新装置開発。大容量光ディスクに応用可。」
8. 読売新聞: 2006/6/22, 「大容量光ディスク開発可能に。次世代DVDの10倍。京大など新型半導体レーザー開発。」
9. 朝日新聞: 2006/6/22, 「ディスク容量増へ。ドーナツ形ビーム 京大など開発。」
10. 日本経済新聞: 2006/6/22, 「ドーナツ形のレーザー開発。京大など。」

11. 京都新聞: 2006/6/22, 「ドーナツビーム形自在。超大容量の記録可能に。京大教授、ロームなど開発。」
12. 日刊工業新聞: 2006/6/22, 「半導体レーザービーム形状自在に制御。京大、ローム、JST フォトニック結晶で。」
13. 日経産業新聞: 2006/6/22, 「半導体レーザービームの形自由自在。次々世代 DVD の光源などに。京大やロームなど開発。」
14. 電波新聞: 2006/6/22, 「電子デバイス・部品:様々な形状のビームを自由自在に発生。面発光半導体レーザー開発に成功。京大大学院とローム。」
15. 化学工業日報: 2006/6/22, 「半導体レーザービーム形状自在制御。共振器にフォトニック結晶。京大・ロームが開発。」
16. MAINICHI Daily News: 2006/6/22, “Kyoto Univ.,Rohm team develop tech for high-capacity optical disc”
17. Optics.org: 2006/6/23, “Photonic crystals tailor beam patterns”
18. LaserFocusWorld JAPAN: 2006/6/23, 「京大と JST、様々な形状のビームを自在に出射出来る半導体レーザー開発」
19. Qj.net: 2006/6/29, “New Laser Technology to Boost DVD Storage Capacity Tenfold”
20. 科学新聞: 2006/6/30, 「ビームの形状自在に。大強度面発光レーザー開発。新規分野への応用期待 京大、JST など。」
21. 京都大学プレスリリース 2006/10/13, 「究極的なナノレーザー実現へ向けた一歩を達成」
22. 読売新聞: 2006/10/13, 「レーザー装置効率化。」
23. 日本経済新聞: 2006/10/13, 「半導体レーザー電力ロス最小限。京大、最適構造を解明。」
24. 京都新聞: 2006/10/13, 「効率的な半導体レーザー。京大教授ら考案。DVD など活用へ。」
25. 日刊工業新聞: 2006/10/13, 「レーザー発振源。不要発光 94%抑制。京大などフォトニック結晶で。」
26. 朝日新聞: 2006/10/20, 「ナノレーザーあと一歩。京大教授ら米誌で成果報告。」
27. 朝日新聞: 2007/1/16, 「光、1 ナノ秒間蓄積成功。」
28. 科学新聞: 2007/1/19, 「ナノ共振器実現の基本概念、世界に先駆け、京都大グループが報告。」
29. 日刊工業新聞: 2007/3/1, 「フォトニック結晶、ナノ構造で光閉じ込め」
30. 京都新聞: 2007/6/16, グローバル COE プログラム 28 大学 63 拠点を採択 文科省競争力を重視 京滋関係京大 6 件立命 2 件
31. 毎日新聞: 2007/6/16, 卓越した拠点プログラム 28 大学院を選考
32. 産経新聞: 2007/7/9, 知の先端 フォトニック結晶を開発 京都大学大学院工学研究科教授 野田進さん 光を曲げる、閉じ込める・・・自在に制御 夢物語実現に前進
33. 京都大学・JST プレスリリース 2007/8/2, 「 $Q$  値 200 万をもつ光ナノ共振器の開発に成功」
34. 京都新聞: 2007/8/2, 光の閉じ込め時間 2 倍に シリコン結晶板穴をより小さく 光メモリー実現へ 京大・野田教授
35. 日刊工業新聞: 2007/8/2, 1 マイクロメートル四方の微小領域 光を 2 ナノ秒閉じ込め 京大と JST
36. 日経産業新聞: 2007/8/2, シリコン結晶 光を 2 ナノ秒とじ込め 京大 大容量メモリーに道
37. TechOn: 2007/8/6, 京大と JST、光量子演算や光メモリに向けたフォトニック結晶共振器で  $Q$  値 200 万を達成
38. Laser Focus World JAPAN: 2007/8/7, 京大と JST、 $Q$  値 200 万をもつ光ナノ共振器の開発に成功
39. 科学新聞: 2007/8/17, 光メモリチップ実現に光 世界最大の  $Q$  値 200 万達成光ナノ共振器開発に成功 野田・京都大教授ら成果
40. Optronics: 2007/9, 京都大学と JST、 $Q$  値 200 万を持つ光ナノ共振器の開発に成功
41. 京都大学・JST プレスリリース 2007/9/3, 「光ナノ共振器の  $Q$  値の動的制御に世界で初めて成

- 功(光メモリーチップの開発など、次世代光科学進展に向けてさらに前進)」
42. 毎日新聞: 2007/ 9/ 3, 京大教授ら 光の制御法を発見 情報処理 100 倍高速化
  43. 朝日新聞: 2007/ 9/ 3, 光メモリー実用へ前進 京大チーム、出し入れに成功
  44. 京都新聞: 2007/ 9/ 3, 光出し入れ自由に制御 高速処理メモリー実用化へ前進
  45. 科学新聞: 2007/ 9/21, 光ナノ共振器の  $Q$  値 野田・京大教授ら 世界初動的制御に成功  
次世代光科学進展に一步
  46. Laser Focus World: 2007/10, PHOTONIC FRONTIERS: PHOTONIC-CRYSTAL LASERS -  
Photonic crystals make nanocavity lasers
  47. optics.org: 2007/11/14, Photonic crystal resonator catches light pulses
  48. 京都大学・JST プレスリリース 2007/ 12/21, 「青紫色 GaN フォトニック結晶面発光レーザーの電  
流注入発振に成功」
  49. 読賣新聞: 2007/12/21, 新レーザー素子開発 ディスク容量 BD の 10 倍 京大グループ
  50. 朝日新聞: 2007/12/21, 人工結晶で新型レーザー 京大グループ
  51. 京都新聞: 2007/12/21, 京大成功 次世代 DVD 密度 10 倍に 世界初青紫レーザー面発  
光
  52. 日刊工業新聞: 2007/12/21, 京大 青紫色領域で動作 GaN フォトニック結晶面発光レ  
ーザー
  53. 日経産業新聞: 2007/12/21, 青紫色レーザー 「面発光」で発振 京大など光ディスク容  
量増へ
  54. Laser Focus World JAPAN: 2007/12/27, 青紫色 GaN フォトニック結晶面発光レーザーの電  
流注入発振に成功
  55. Thomson Scientific: 2007/12, Emerging research fronts (see Physics)
  56. Physics Today: 2007/12, Achievements from Japan's Kyoto University in Optics Express Focus  
Issue
  57. Compound Semiconductor: 2008/1, Photonic crystal lasers move into the blue A short  
wavelength surface-emitting laser could help Japanese researchers to develop next-generation  
information storage devices
  58. optics.org: 2008/ 1/17, PC-SEL emits blue-violet for first time, (PC-SEL emits blue-violet for  
first time)
  59. 科学新聞: 2008/2/8, 広い応用範囲 青紫色領域で動作 GaN フォトニック結晶 面発  
光レーザー開発成功 野田・京都大教授らのグループ
  60. Nature Photonics: 2008/4, PHOTONIC-CRYSTAL LASERS : Designers blue beams
  61. O plus E: 2008, 一枚の写真「青紫色 GaN フォトニック結晶面発光レーザーの電流注入  
発振」
  62. optics.org--The Online Photonics Resource:2008/5/5, GaN laser emits blue at room temperature
  63. SPIE OE Magazine: 2008/6, A blue-violet photonic-crystal surface-emitting laser
  64. Materials Research Society, Materials Connections: 2008/7/29, Meeting Scene... International  
Conference on Electronic Materials 2008
  65. 日経エレクトロニクス TechOn: 2008/8/6, 【CEATEC】高出力フォトニック結晶を用いた面発光レ  
ーザーをロームが試作
  66. 科学新聞: 2009/4/17, 科学技術分野の文部科学大臣表彰「フォトニック結晶に関する独創  
的・先駆的研究」
  67. ロイター通信: 2009/6/15, “A LIGHT TOUCH” (ロイター通信の科学部門(Thomson Router)  
によるインタビュー記事)
  68. INFOX RU: 2009/7/15, “Ф о т о н н ы е м и к р о с х е м ы з а р а б о т а л и б е з у т е ч к и с в е т а ”  
(三次元フォトニック結晶表面における光子の制御)
  69. Science Centric: 2009/ 7/15, “Manipulation of photons at crystal surface”
  70. 時事通信: 2009/7/15:, 「高性能回路やメモリーへ前進=京大」
  71. 京都大学・JST プレスリリース: 2009/7/16, 「3次元フォトニック結晶の「表面」における光制御に  
成功 ー優れた信号処理能力を持つ光回路や高感度バイオセンサーなどの実現に道ー」
  72. WISSENSCHAFT aktuell: 2009/7/16, “Rasante Prozessoren werden Daten mit Licht

- verarbeiten”
73. Nature 誌 Press Release: 2009/7/16, “Photon manipulation”
  74. Nature 誌 News & View: 2009/7/16, “Photonics: Light control at will”
  75. 日経産業新聞: 2009/7/16, 「3次元フォトニック結晶 表面部分に光蓄積 京大センサーなどに応用」
  76. 日刊工業新聞: 2009/7/16, 「3次元フォトニック結晶 光の閉じ込めに成功 京大 LED など高効率化へ」
  77. 京都新聞: 2009/7/16, 「京大グループ結晶表面に光蓄積成功 効率発光体利用など期待」
  78. 時事ドットコム: 2009/7/16, 「高性能回路やメモリーへ前進=京大」
  79. J-Net21: 2009/7/16, 「3次元フォトニック結晶の「表面」における光制御に成功」
  80. Asahi.com: 2009/7/16, 「京大、3次元フォトニック結晶で光の閉じこめに成功」
  81. 2009/7/17: 47NEWS, 「江崎賞に京大・野田教授 光制御できる結晶開発」
  82. 日経ネット: 2009/7/18, 「江崎賞に京大・野田氏 フォトニック結晶を評価」
  83. 京都新聞: 2009/7/18, 「江崎賞に京大・野田教授」
  84. 読賣新聞: 2009/7/18, 「江崎玲於奈賞に野田氏」
  85. 朝日新聞: 2009/7/18, 「江崎賞に京大・野田教授」
  86. 科学新聞: 2009/7/24, 「京都大 3次元フォトニック結晶表面で光閉じ込め・制御に成功 高感度バイオセンサー実現に道」
  87. nanotechweb.org: 2009/7/28, “Photonic circuits move on”
  88. 朝日新聞: 2009/7/31, 「京大チーム 光を表面に閉じ込め 微小反射鏡で成功」
  89. YOMIURI ONLINE: 2009/8/3, 「半導体結晶表面に光を閉じこめる・・・野田・京大教授ら」
  90. Alibaba.com.cn: 2009/8/7, 「光子集成回路理想更近一步 操控光子新技問世」
  91. 2009/8/9: 47NEWS, 「光の操作、より簡単に京大、次世代素材作製に新手法」
  92. 京都大学・JSTプレスリリース: 2009/8/10, 「光を自在に操る3次元フォトニック結晶の作製プロセスの大幅な簡略化に成功 -実用化に向けた大きな一歩-
  93. 産経新聞: 2009/8/10, 「3次元フォトニック結晶 作製法を簡略化 京大院チーム」
  94. 京都新聞: 2009/8/10, 「光の制御結晶、より安価に 京大教授ら新作製法開発」
  95. 日刊工業新聞: 2009/8/10, 「3次元フォトニック結晶 京大が簡易作製法」
  96. Business Line: 2009/8/10, 「京大、3次元フォトニック結晶の簡易作製法を開発」
  97. MSM 産経ニュース: 2009/8/10, 「人工衛星や航空機の高度化も3次元フォトニック結晶、作製法の簡略化に成功、京大チーム」
  98. 読売新聞: 2009/8/11, 「発光ダイオード格段に明るく 光の結晶製造簡略化京大チーム」
  99. welt del Physik: 2009/8/13, “Neue Bausteine für Lichtchips”
  100. 科学新聞: 2009/8/14, 「光を自由自在に操作出来る 3次元フォトニック結晶 作製プロセスを大幅簡略化 京大の野田教授グループ成功」
  101. Semiconductor Japan Net: 2009/8/17, 「京大、三次元フォトニック結晶の作製プロセスを簡略化」
  102. Nanotech Japan: 2009/8/17, 「光を自在に操る3次元フォトニック結晶の作製プロセスの大幅な簡略化に成功～実用化へ向けた大きな一歩」
  103. Optics.org: 2009/8/19, “Controlling light becomes crystal clear”
  104. Nanotechweb.org: 2009/8/20, “Angular approach produces excellent photonic crystals”
  105. 朝日新聞: 2009/8/25, 「光自在に操る次世代材料 簡単な製造法 開発 京大」
  106. 自由時報: 2009/8, 「三次元光子結晶 日簡化製程」
  107. Nature asia-pacific materials: 2009/9/24, “featured highlight (Photonic crystals:Surface effects)”
  108. Nature Photonics: 2009/10, “PHOTONIC STRUCTURES Top-down approach”
  109. Nikkei Microdevices: 2009/11, 「フォトニック結晶で究極の太陽電池」
  110. 読売新聞: 2009/11/21, 「野田教授 江崎賞受賞」
  111. 読売新聞: 2009/11/29, 「顔、野田進さん」
  112. 日経エレクトロニクス Tech On: 2009/12/11, 「幅広い波長の光を余すところなく使う」

113. OSA Spotlight on Optics Light: 2010/1/8, “Light propagation in three-dimensional photonic crystals”
114. 京都大学・JST プレスリリース: 2010/5/3, 「ビーム出射方向を自在に制御可能な半導体レーザーの開発に成功」
115. 日刊電波新聞: 2010/5/3, 「世界初、半導体レーザーの出射 ビーム角制御の原理実証 2種のフォトニック結晶使用 京大とローム」
116. 京都新聞: 2010/5/3, 「半導体レーザー 自由な角度でビーム光照射 次世代 TV・医療用機器 広範囲の期待」
117. 産経新聞: 2010/5/3, 「半導体内でビームの方向制御 京大など研究チーム開発」
118. 日刊工業新聞: 2010/5/3, 「ビーム出射方向を制御 京大・ローム 半導体レーザー開発」
119. 日本経済新聞: 2010/5/3, 「半導体レーザー 光の方向 調節自在 次世代素子を利用 京大・ローム」
120. 毎日新聞: 2010/5/3, 「曲が〜る レ〜ザ〜 世界初成功 京大とローム」
121. 読売新聞: 2010/5/4, 「レーザー光 高速変化 医療用メスに応用も 京大など開発」
122. 科学新聞: 2010/5/21, 「出射ビームの方向を自在に制御可能 野田・京大教授ら半導体レーザー開発」
123. 日本経済新聞: 2010/5/24, 「緑色 LED 発光効率 100%実現へ 照明・表示装置に応用 京大」
124. 京都新聞: 2010/6/4, 「光の波長変換に成功 光通信、高速化期待 京大工学研究科グループ」
125. 読売新聞: 2010/6/4, 「レーザー波長 自在に変換 京大教授ら技術開発」
126. Nature Photonics: 2010/6, 「On-chip beam steering」
127. Optic&Photonik: 2010/6, 「Steering the Beam of a Microlaser」
128. nature asia-pacific materials Photonics: 2010/6/21, 「In the spotlight」
129. 中日新聞: 2010/8/17, 「結晶で光を操る技術開発」
130. 日経サイエンス: 2010/9, 「光を自在に操る人工結晶で未来を拓く」
131. 朝日新聞: 2010/9/28, 「探求人 光を自在に操る結晶開発」
132. TechOn: 2010/10/5, 「【CEATEC】ロームがフォトニック結晶レーザーを出展, 電流駆動で操作可能に」

### ③その他

- ・本 CREST の成果を発表した論文”Controlled spontaneous-emission phenomena in semiconductor slabs with a two-dimensional photonic bandgap”が、新規性・進歩性・将来性に優れた論文として、IOP(英国物理学会)の Select Paper に選ばれた。
- ・同じく、”Light propagation in three-dimensional photonic crystals” 話題性・発展性・内容に優れた論文として、OSA(米国光学会)の Spotlight on Optics に選ばれた。
- ・さらに、”Design and demonstration of high- $Q$  photonic heterostructure nanocavities suitable for integration”が、話題性・発展性・内容に優れた論文として、OSA(米国光学会)の Spotlight on Optics に選ばれた。

### (6)成果展開事例

#### ① 実用化に向けての展開

成果の技術移転等に関しても、積極的に努めている。特に、本研究プロジェクトには、多くの企業（ローム、住友電工、三菱電機等）が参加しているため、研究を進めることは同時に、企業への技術移転を行っていることに他ならないと言える。

上述の参画企業以外からのアプローチも多く、現在、指導、共同研究をスタートしている。

また、企業との共同研究成果は、毎年、CEATEC で展示を行い、各種メディアからも報道頂いている。

フォトリック結晶レーザの研究は、日本発の全く新しいレーザであり、大面積単一モード可能で、様々なビームパターンの制御が可能な極めてユニークなレーザである。kW級の単一モードレーザの開発は、世に革新をもたらす全く新しいレーザを提供するものと言え、様々なプロジェクトの核となりうるものと確信している。今後、10年間で20-30億程度の費用があれば、確実に大きな進展が見込める。

## ② 社会還元的な展開活動

日本学術会議からの光科学の提言に関し、「光科学研究の最前線 2」にてフォトリック結晶の魅力伝える情報提供を行った。

成果の社会への発信として、プレスリリースを始め、マスコミからの依頼に積極的に応じている。例：ニッポン放送『菅原文太 日本人の底力』への出演なども。

等々

## § 6 研究期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2006/11/24	フォトニクスイノベーション・シンポジウム	コープイン 京都	50 人程度	光協会と共同して、フォトニック結晶を含む最新光技術に関するシンポジウムを行なった。
2007/11/30	フォトニクスイノベーション・シンポジウム	京大桂キャンパス	80 人程度	光協会と共同して、フォトニック結晶を含む最新光技術に関するシンポジウムを行なった。
2008/3/4	1st International Symposium on Photonics and Electronics Science and Engineering	京大桂キャンパス	150 人程度	GCOE に共同してフォトニック結晶を含む最新光・電子技術に関するシンポジウムを行なった。
2008/4/18 2008/7/1 2008/8/9 2008/10/22 2009/3/6	光・電子理工学セミナー	京大桂キャンパス	毎回 30-40 人程度	GCOE と協力して、関連研究の著名な研究者のセミナーを行い、議論を行なった
2009/3/18	2 nd International Symposium on Photonics and Electronics Science and Engineering	京大桂キャンパス	150 人程度	GCOE に共同してフォトニック結晶を含む最新光・電子技術に関するシンポジウムを行なった
2009/7/10 2009/7/15 2009/9/18 2009/9/29 2009/10/27 2009/11/17 2009/12/7 2009/12/11	光・電子理工学セミナー	京大桂キャンパス	毎回 30-40 人程度	GCOE と協力して、関連研究の著名な研究者のセミナーを行い、議論を行なった
2009/11/6	若手研究者国際シンポジウム	京大桂キャンパス	150 人程度	GCOE と共同してフォトニック結晶研究者を含む若手研究者による最新光・電子技術に関するシンポジウムを行なった
2010/2/24	Next Generation Photonics Symposium	Caltech, USA	20 人程度	GCOE と共同してフォトニック結晶研究者を含む若手研究者による国際シンポジウムを行なった
2010/3/6	国際シンポジウム	京大桂キャンパス	150 人程度	GCOE と共同してフォトニック結晶を含む最新光・電子技術に関するシンポジウムを行なった

2010/4/16 2010/4/27 2010/5/14 2010/7/5 2010/7/6 2010/7/29	光・電子理工学セミナー	京大桂キャンパス	毎回 30-40 人程度	GCOE と協力して、関連研究の著名な研究者のセミナーを行い、議論を行なった
--	-------------	----------	--------------	--

## § 7 結び

幸いにも、当初の計画を十分に上回る成果を挙げることが出来たと自己評価している。具体的には、本研究を通じて、様々な新しい概念の創出（ユニークな自然放出制御の実現、世界最大の  $Q$  値の実現、 $Q$  値の動的制御の提案・実証、ナノ共振器+量子ドット系 QED における新しい発光メカニズムの発見、高  $Q$  値ナノ共振器を用いた新たな強結合システムの構築と結合状態制御、新しい 3 次元フォトニック結晶の構築、表面光制御の概念の提唱等々）とともに、今後の産業応用上も極めて重要な成果の創出（2 次元大面積レーザの大幅な性能向上、青紫色領域での初めての電流注入面発光動作の実現、赤色への展開、さらには、電子的にビーム出射方向を制御できる長年のレーザ分野の夢の実現）を達成することが出来た。これらの成果は、幸いにも、英科学誌 *Nature* 2 件、米科学誌 *Science* 2 件、英科学誌 *Nature Materials* 2 件、*Nature Photonics* 3 件の掲載に繋がるとともに、**OSA Joseph Fraunhofer Award / Robert M. Burley Prize**、**Gent University Honorary Degree**、**IEEE LEOS Distinguished Lecturer Award**、**IEEE Fellow**、**IEEE Nanotechnology Pioneering Awards**、**江崎玲於奈賞**を始めとする数多くの賞の受賞や、多くの新聞・雑誌報道に繋がり、その学術的、技術的、社会的インパクトは極めて高いと考えている。

また、本研究を進めるに当たり、当初より、複数の企業（ローム、住友電工、三菱電機）から、多大なる関心を持って頂き、多数の研究員の派遣を受け、本プロジェクトを核に、活発な活動を行なうことができたことは、研究成果の社会還元という観点からも、非常に重要であると考えている。研究開始後も関心を持っていただける企業が現れ、様々な共同研究がスタートしたことは大変ありがたいことであると思っている。

現在、フォトニック結晶研究は、多くの境界領域の研究との融合が進み、世界的な競争が益々盛んになり、油断を全く許さない状況にある。日本がこの分野において、今後もリーダーシップをとり続けるためには、一層の努力を続けていかなければならないと強く感じている。それに併せて、国からの支援が今後も継続して行なわれることを切に希望している。特に、この CREST のような集中的かつ柔軟な研究補助システムは、研究を進める上で、非常に有効である。日本が世界をリードする光分野の研究活動のさらなる活発化を図るため、新たな光領域における戦略目標の設定を是非お願いしたい。