

令和 2 年 4 月 17 日現在

機関番号：30107

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05016

研究課題名(和文)半導体ナノロッドアレイ構造の光局在場制御技術の開発とその応用に関する研究

研究課題名(英文)Development of method for the control of localized modes in semiconductor nanorod array structures and their applications

研究代表者

藤原 英樹 (Fujiwara, Hideki)

北海学園大学・工学部・教授

研究者番号：10374670

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：レーザー誘起水熱合成法を用いた酸化亜鉛ナノロッドアレイランダムレーザー作製法を提案し、特定の作製条件においてしきい値が最小となり、80%以上という高い確率でランダムレーザー発振を誘起する事に成功した。また、レーザー誘起水熱合成法を金属ナノ構造に応用することにより、金ナノ構造上の特定の部位に選択的に酸化亜鉛を合成できるプラズモンアシスト水熱合成法を提案した。さらに新規なランダムレーザー作製法として、半導体基板上に高強度パルスレーザー照射を行うことにより表面凹凸構造を作製するレーザー誘起表面凹凸形成法を開発し、GaNおよびGaAs基板において紫外および近赤外域のランダムレーザー発振に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ランダムレーザーは強度ムラの無い新規な光源として全視野イメージングやセンサー、殺菌用光源として幅広い応用が期待されているが、ランダムさのために電気駆動化やモード制御が困難であるといった問題がある。これに対し本研究では、レーザープロセス技術の応用により、光局在場の制御を可能とする2次元ランダムレーザーの作製・制御技術の開発を試みた。その結果、様々な形態のランダム構造を基板上に作製する新しい作製方法の提案に成功し、作製条件の最適化により低しきい値化が可能となることを示した。本成果は、2次元ランダム構造を半導体基板上に簡便安価に作製する新規手法を提供し、電流駆動化に向けた一歩となると期待される。

研究成果の概要(英文)：I proposed a method for fabricating ZnO nanorod array random lasers using a laser-induced hydrothermal synthesis method, and by systematically investigating the irradiation laser intensity and time, I succeeded to find the fabrication conditions for minimizing their threshold. Also, I applied this method to a plasmonic nanostructures and proposed a novel plasmon-assisted hydrothermal synthesis method, by which ZnO can selectively be synthesized at specific sites on a gold nanostructure. In addition, as another laser processing for the fabrication of random lasers, I also developed a simple method for fabricating random structures directly on GaN and GaAs thin films, in which only irradiation with strong laser pulses on the thin-film surface, the surface is roughened and random lasers in UV and near-infrared regions were able to be induced.

研究分野：応用光学

キーワード：ランダムレーザー ナノロッドアレイ 局在場 酸化亜鉛

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究で注目するナノロッドアレイ (NRA) 構造は、波長オーダーの直径のナノロッド構造が基板にランダムに配列した構造であり、一般的な水熱合成法 (半導体ナノ粒子、ナノロッド、薄膜等の熱水下的合成反応法) により簡便に作製が可能である。本構造では、ナノロッド間の面内では多重散乱による光局在現象が誘起され、垂直方向には開放系となっているため、電極の形成や反応溶液の還流が可能となる事により、光電変換や光触媒反応等の光捕集や光電場増強、電流駆動等の様々な光デバイス機能向上に寄与する構造として利用されている。しかし、一般的な水熱合成法では溶液全体の加熱により合成を行うため、電極上やマイクロリアクター内等の限られた領域に選択的かつ短時間にナノロッドを作製する事は難しい。また、光電変換や光触媒反応等の効率化のためには、物質と光局在場の周波数・空間的なマッチングが重要となるが、一般的な水熱合成法では加熱条件の制御が難しいため構造のばらつきが大きく、マッチングをとる事は困難である。

一方、これまでの私の研究では、サイズ・形状の揃った散乱体 (球状ナノ粒子) が均一に分散するランダム構造中に散乱体を配置しない「欠陥 (空隙)」を設けることにより、ランダムな構造にも関わらず、意図的に空間的、周波数的に特性を制御した光局在場 (単一モード、波長制御、高 Q 値化を実現) を誘起できる、新しい光局在場制御技術の確立に成功している【Appl. Phys. Lett. 102, 061110 (2013) など】。この技術を基に、構造内の分子や原子と光局在場の周波数・空間的なマッチングを制御した NRA 構造を簡便かつ選択的に作製する手法が可能となれば、レーザー発振の低しきい値化や光分解・合成等の反応効率の増大に光学的なデザインの面から寄与できるものと考え、本提案に至った。

2. 研究の目的

本研究では、私が提案・検証を行って来たランダム構造中の光局在場制御技術の光反応系への応用展開を目指し、レーザー誘起水熱合成法を利用したナノロッドアレイの構造制御により、光局在場を制御したナノロッドアレイランダムレーザーを簡便に作製する技術を確立することを目的とした。この成果を基に、デモンストレーションとして、構造中に誘起される光局在場と光反応現象の周波数・空間的なマッチングを試み、低しきい値のナノロッドアレイランダムレーザーの実現や光分解等の光反応過程の高効率化を達成し、ナノロッドアレイ構造に基づく高効率光反応場を実現するための基盤技術の確立を行った。この研究の実現により、新規なレーザープロセスとして、強度ムラが無く、高強度の全視野イメージング・センサー用光源への応用や、ランダムさによる無指向性、光局在特性から効率的な光捕集構造への応用が期待できる。

3. 研究の方法

期間内において、(1) レーザー誘起水熱合成法によるナノロッドアレイ構造作製方法の確立・評価を行い、(2) 構造内のレーザー発振特性、共振器効果の評価・観測を行う事で光局在場制御を実証し、この提案構造のデモンストレーションとして、(3) 光局在場制御ナノロッドアレイ構造をマイクロリアクター内に試作し、光分解反応効率の局在場制御による影響の検証を行う予定であった。しかし、研究期間中に、同じレーザープロセスの一つであるレーザー誘起周期構造作製法に注目し、溶液プロセスを必要とせず、数秒の高強度パルスレーザー照射だけでランダムレーザーを作製できるレーザー誘起表面凹凸形成法を考案した。この手法は半導体基板などの利得媒質に直接ランダム構造を描画できるため、既存の半導体プロセスにより電極形成などを容易に行うことが可能となると期待される。このため、レーザー誘起水熱合成法によるナノロッドアレイ構造とレーザー誘起表面凹凸作製法による表面凹凸構造の2つについて研究を行なった。

レーザー誘起水熱合成法では、前駆体溶液に浸した金薄膜コートガラス基板に、金に吸収のある波長を持つ CW レーザーを照射し、レーザー照射強度・時間と前駆体溶液濃度を系統的に変えながらナノロッドアレイ構造を作製した。試作試料は電子顕微鏡画像からナノロッドサイズや密度、形状を評価し、作製条件と構造の関係性を明らかにした。また、顕微分光装置により、試作構造の発光スペクトルを取得し、紫外と可視域における発光強度の変化を確認することで結晶性についても評価を行い、最終的にレーザー発振誘起の有無とそのしきい値を見積もった。

また、レーザー誘起表面凹凸形成法では、半導体基板上 (GaN または GaAs) に高強度のパルスレーザーを短時間照射し、表面凹凸構造を作製した。照射波長と強度、時間をパラメータとし、各条件での構造を作製した後、顕微分光装置によりレーザー発振特性について測定を行なった。また、電子顕微鏡による画像測定により形状の評価を行なった。

4. 研究成果

(1) レーザー誘起水熱合成法を用いたナノロッドアレイランダムレーザーの最適化

図 1 にレーザー誘起水熱合成法の概念図を示す。水熱合成を行う基板として、ガラス基板上に厚み 50 nm の金を蒸着したものを試料とした。また、前駆体溶液として、同濃度の硝酸亜鉛六水合物とヘキサメチレントラミンの水溶液 (25~150 mM) を等量混合したものをを用いた。金コート基板を用いてチャンバーを構成し、金薄膜に前駆体溶液が接するようにチャンバー内に充填した。この試料を顕微鏡上にセットし、波長 405 nm の CW レーザーを基板裏面から集光照射し、金薄膜を局所加熱した。実験では、作製条件 (レーザー照射強度、照射時間、前駆体溶液濃度) を

変えながらナノロッドアレイ構造を作製し、試作試料のランダムレーザー発振特性の測定を行なった。また、電子顕微鏡画像測定により作製したナノロッドアレイ構造の形状やサイズの評価を行なった。

図2は、前駆体溶液濃度を25 mM一定とし、照射レーザー強度とその照射時間を変えて作製したナノロッドアレイ構造の平均ロッド径と紫外発光強度を示している。照射時間を変化させる際には(図2(a))、作製光学系の最大照射強度1.25 kW/cm²で固定し、照射時間を5~20分の間で変化させた。一方、照射強度依存性測定の際には(図2(b))、照射時間を10分と固定し、照射強度を0.4~1.25 kW/cm²と変化させた。結果から、照射時間に対してロッド径が増加する様子が確認できるが、紫外発光強度は照射時間10分までは増加し、その後飽和する様子が確認できる。また、照射強度依存性の結果から、照射強度0.8 kW/cm²付近まではロッド径が増加し、その後減少するという結果が得られ、発光強度はロッド径同様に0.8 kW/cm²付近を境に急激に増加する様子が確認できた。SEM像観察の結果、この0.8 kW/cm²以下の照射光強度では、ナノロッド以外の構造物が形成されており、水熱合成温度が不十分であるため、形状の汚い、非発光性の低品質の副生成物が多く合成されると考えられる。これらの結果から、発光特性を改善したナノロッドを合成するには少なくとも1.0 kW/cm²程度以上の強度を10分以上の照射する必要があると言える。

次に上記の結果を踏まえ、照射強度1.25 kW/cm²、照射時間を10分と固定し、前駆体溶液濃度依存性についても検討を行なった。図3に結果を示す。濃度に対し、ロッド径は増加傾向を示すが、紫外発光強度に関しては、75 mM付近を境に挙動が異なる様子が確認された。低濃度側では、紫外発光が大きく、不純物や欠陥に依存した可視発光が抑制され、結晶性の良い構造が出来ていると期待できるが、高濃度側では、ナノロッド以外の構造が発生し、紫外発光の消失、可視発光の増大が確認された。この結果は、高濃度溶液中では作製レートが高すぎるために高品質の結晶構造が出来にくくなっていると考えられ、ロッド形状以外の構造と欠陥構造が増加していると考えられる。これらの結果から、ZnOのUV発光波長に共鳴するナノロッドサイズは約100nm程度となることがミー散乱理論から予想されるため、高い発光効率を示す直径100nm程度のナノロッドアレイ構造を作製するには、前駆体溶液75-100mM、照射強度1.25 kW/cm²、照射時間10分の条件で構造を作製する必要があることが明らかとなった。

以上の結果を基に、試作構造のランダムレーザー発振の確認を行った。図4は、照射強度1.25 kW/cm²、照射時間を10分と固定し、前駆体溶液濃度を50-150 mMと変化させた時の試料の発光スペクトルを示している。励起強度はいずれも同じ条件としている。結果を見ると、75、100 mMにおいてのみレーザー発振が確認でき、数 MW/cm²程度のしきい値を持つことがわかった。また、最適化を行う前のランダムレーザー発振の観測確率が10%程度だったのに対し、作製条件の最適化を行うことにより80%程度の観測確率でレーザー発振を誘起することに成功した。

本手法は、レーザー加熱という単純な手法で任意の場所に選択的に半導体を合成できるため、

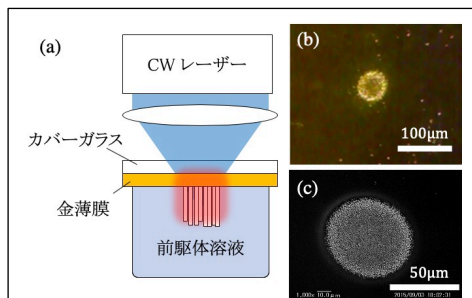


図1 レーザー誘起水熱合成法の(a)概念図と、合成後のナノロッドアレイ構造の(b)光学顕微鏡画像と(c)電子顕微鏡画像。

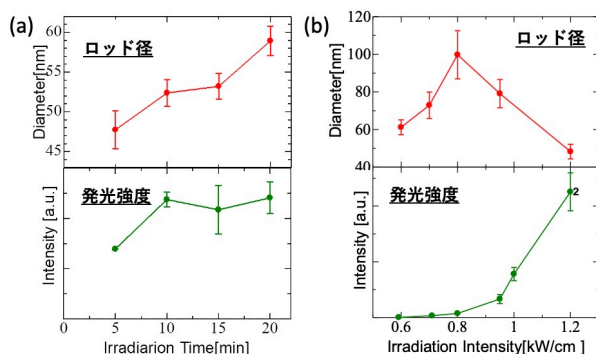


図2 ナノロッド径と紫外発光強度の(a)レーザー照射時間依存性と(b)照射強度依存性。

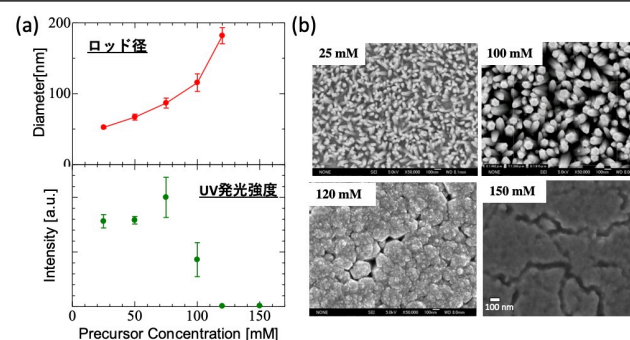


図3 (a)ナノロッド径と紫外発光強度の前駆体溶液濃度依存性と、(b)各濃度の試料の電子顕微鏡画像。

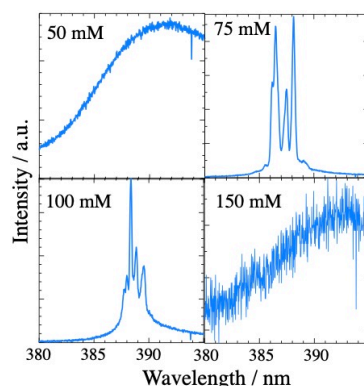


図4 同一励起条件下での発光スペクトルの前駆体濃度依存性。

金薄膜以外にも光を吸収し、熱を発生する材料であれば適用可能である。発光素子のみならず、太陽電池や光触媒反応の効率的な光捕集構造など、既存技術に付加価値を簡単に追加できる有用な技術であると期待している。

(2) プラズモンアシスト水熱合成法の開発と金属-半導体ハイブリッドナノ発光体の合成

レーザー誘起水熱合成法の知見を基に、本手法の応用としてプラズモンアシスト水熱合成法を提案し、選択的な酸化亜鉛合成を試みた。上記の実験では、加熱源として金薄膜を用いていたが、この薄膜の代わりに金ナノ構造を採用した。金ナノ構造は、形状やサイズ、厚みなどでプラズモン共鳴波長が敏感に変化し、その周辺に増強された電場分布を形成する。一般的にはこの電場増強効果を利用した研究が数多くなされている。特に半導体の分野では、金属と半導体のハイブリッド化により、発光や光電変換、光触媒反応などの高効率化に向けた研究が報告されているが、この効果を発揮させるには、ナノサイズの材料を金属ナノ構造の適切な位置に配置する必要がある。本研究では、電場増強と同時に発生する熱を利用した水熱合成により、半導体発光材料を金ナノ構造中の最適な位置に発光体を配置する手法の開発を試みた。本方法では、プラズモン共鳴波長のレーザーを照射することでナノサイズの金構造が加熱源となるため、波長オーダーよりも小さい領域に酸化亜鉛を合成することが可能となる。

実験では、図5に示すようなバタフライ構造を設計し、金ナノ構造の電場が集中するギャップ部分のみ酸化亜鉛の合成を試みた。まず、COMSOLを用いて数値解析的に金ナノ構造の共鳴スペクトルと強度分布、および、温度分布を計算し、最適な構造の探索を行なった。図5(a)-(d)は、計算結果を示しており、上段が強度分布、下段が温度分布を示している。設計した構造では、波長1064 nmの入射偏光により、異なる2つの局在場モードが励起され、横方向偏光では、中心のバー構造と両サイドのひし形構造の間のギャップ部に強く光が集光され、一方、縦偏光では、中心のナノバー構造に光が集光される(図5(a, b))。この光集光により、金ナノ構造が加熱され、照射偏光に応じて温度分布が異なる(図5(c, d))。構造設計では、中心のナノバー構造の温度が特異的に高くなるような設計を行い、この計算結果を基に、ナノサイズの金ナノ構造を最先端微細加工技術により作製した(図5(e))。ガラス基板上に厚み30 nmの金ナノ構造を作製後、上述したレーザー誘起水熱合成用の光学系にセットし、波長1064 nmのCWレーザーを照射することによって金ナノ構造のプラズモン励起による局所加熱を実現し、酸化亜鉛の水熱合成を試みた。図5(f)は、上記の手法により設計作製した金ナノ構造に、照射強度70 kW/cm²の波長1064 nmのレーザーを10 ms照射した前後の金ナノ構造の電子顕微鏡画像を示している。結果を見ると、数値解析的に設計した通り、中心のナノバー構造上のみ何らかの物質が合成されている様子が確認できる。また、エネルギー分散型X線分析(EDS)測定により、合成された物質の評価を行なったところ、金ナノ構造のナノバー構造からのみ亜鉛信号を検出し、プラズモンを介した局所加熱により選択的に酸化亜鉛を合成したことを確認した(図6)。

今回の結果は、金ナノ構造の光学的特性と熱的特性の両方を考慮することで、プラズモン共鳴の選択的励起により、金ナノ構造上に局所的かつ選択的に酸化亜鉛を合成できることを初めて実証し、プラズモン励起によるナノ構造の発熱をナノサイズの熱源として利用した新しい半導体合成法の開発に成功した。このため、ナノ発光体をプラズモン場中の電場増強効果を効率的に期待できる最適な位置に直接合成することが可能となり、電場増強効果を利用することにより高効率な発光体や光触媒などのデバイスに応用が可能となると期待される。

(3) レーザー誘起表面凹凸形成法によるランダムレーザー作製法の開発

上記の実験中に高強度のレーザー照射により表面に凹凸構造が作製されることに注目し、当初計画にはなかったものの、溶液などを必要とせず、基板の凹凸のみでより簡便にランダムレーザーを作製できると考え、その検証実験を行なった。

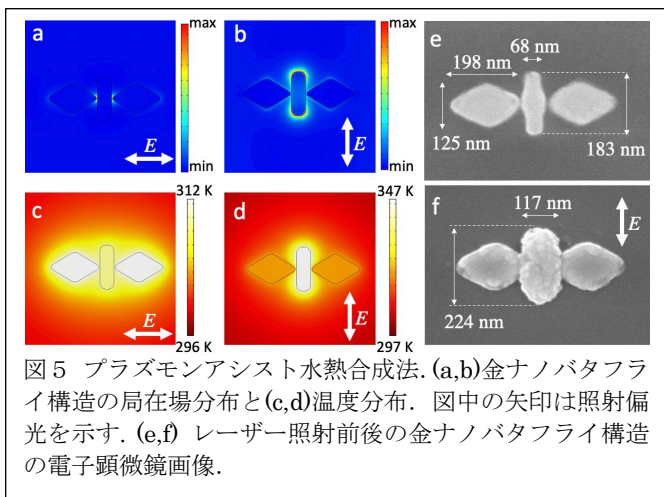


図5 プラズモンアシスト水熱合成法. (a,b)金ナノバタフライ構造の局在場分布と(c,d)温度分布. 図中の矢印は照射偏光を示す. (e,f) レーザー照射前後の金ナノバタフライ構造の電子顕微鏡画像.

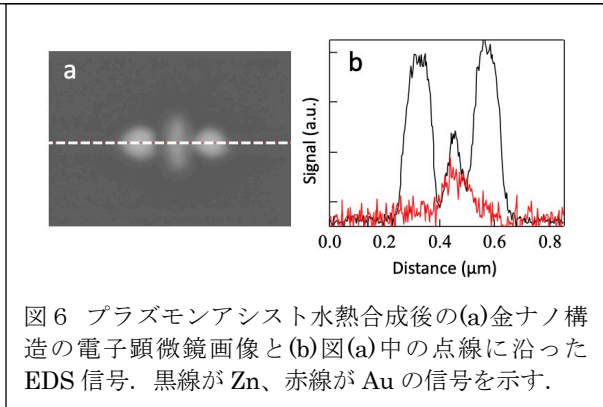


図6 プラズモンアシスト水熱合成後の(a)金ナノ構造の電子顕微鏡画像と(b)図(a)中の点線に沿ったEDS信号. 黒線がZn、赤線がAuの信号を示す.

実験では、レーザー媒質としてよく知られている GaN および GaAs 基板を用いた。半導体基板上に高強度紫外パルスレーザー (355 nm, 1 kHz, 300 ps) を 10 倍対物レンズで集光照射することで表面凹凸構造を作製した。表面凹凸構造を作製した後、1/10 程度に強度を下げた同じ紫外パルスレーザーを表面凹凸構造に照射し、発光スペクトルを測定した。また、その電子顕微鏡画像を取得し、凹凸構造の評価を行なった。図 7 は、照射強度約 1 GW/cm^2 、照射時間 10 s の時の GaN 基板の表面凹凸構造を示している。高強度パルスレーザー照射により、照射偏光とは垂直な向きに擬似的な周期構造が作製されている様子が確認できる。レーザー誘起周期表面構造作製法の先行研究によると、この現象は、フェムト秒レーザー照射により基板表面に瞬間的に誘起されたプラズマ中のプラズモン干渉によるものであり、縦波の干渉によるため、照射偏光と垂直な向きに周期構造ができると報告されている。この構造を光学励起し、発光スペクトルの励起光強度依存性を測定した結果が図 8 である。励起光強度の増大に伴い、一般的な GaN の発光スペクトル上にシャープな発光ピークが現れる様子が確認でき、レーザー発振が誘起されることが分かった。また、照射強度・時間を変化させながら同様の実験を繰り返し行い、ランダムレーザー発振の低い値を試みた (図 9)。その結果、照射強度 0.8 GW/cm^2 、照射時間 10 s においてしきい値が 60 MW/cm^2 まで低下することを確認した。これらの結果から、高強度パルスを数秒照射するだけで、GaN 基板表面にランダムレーザーを誘起できる新しいレーザープロセスを確立することができたと言える。

同様の方法を近赤外領域で利得媒質として利用される GaAs 基板に適用した。紫外波長のパルスレーザーではエネルギーが高く、熱の発生が無視できなくなるため、周期構造ができず、発振は確認できなかった。このため、緑色パルスレーザー (532 nm, 5 kHz, 700 ps) を作製・励起レーザーとして用いて同様に実験を行ったところ、図 10 に示すような擬似的な周期構造と、レーザー発振スペクトルの確認に成功した。この結果から、本手法は利得媒質となる半導体基板の種類に応じて照射波長を変更することにより、半導体基板上に直接ランダムレーザーを描画可能な汎用的なレーザープロセスとなることがわかった。

本手法は、高価な装置も複雑な加工プロセスも必要とせず、短時間のレーザー照射だけで半導体基板表面にレーザー素子を作製できることから、既存の半導体加工プロセスを併用することにより、ランダムレーザーの電気駆動化も可能となると期待している。

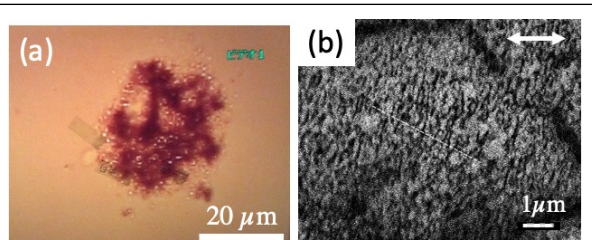


図 7 レーザー誘起表面凹凸形成法。高強度パルスレーザー照射後の GaN 基板表面の(a)光学顕微鏡像と電子顕微鏡画像。図(b)の矢印は照射偏光の向きを示す。

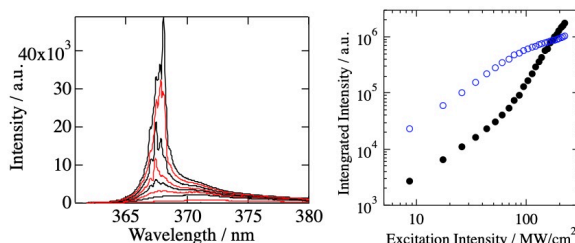


図 8 レーザー誘起表面凹凸形成法で作製した GaN 基板表面からの(a)発光スペクトルと(b)発光ピーク強度の励起光強度依存性。

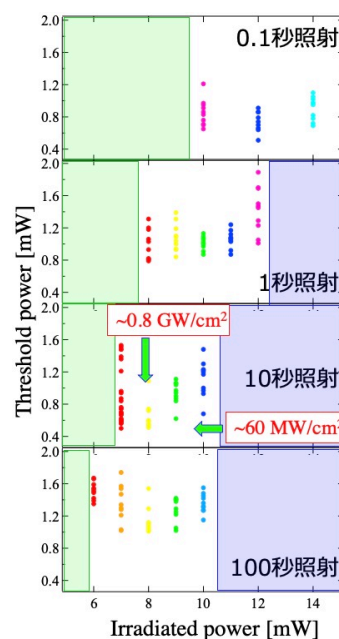


図 9 GaN 基板表面凹凸構造ランダムレーザーのしきい値のレーザー照射強度・時間依存性。図中の影の部分は発振が確認できなかった条件を示す。

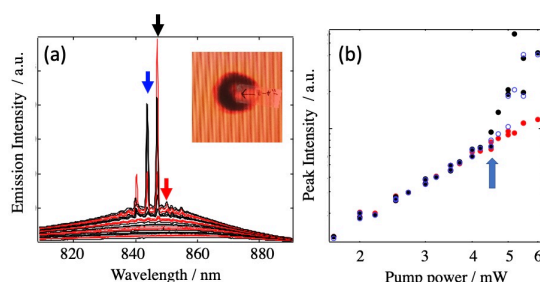


図 10 レーザー誘起表面凹凸形成法で作製した GaAs 基板表面からの(a)発光スペクトルと(b)発光ピーク強度の励起光強度依存性。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hideki Fujiwara, Keiji Sasaki	4. 巻 113
2. 論文標題 Amplified spontaneous emission from a surface-modified GaN film fabricated under pulsed intense UV laser irradiation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 171606
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040551	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hideki Fujiwara, Hideo Kaiju, Junji Nishii, Keiji Sasaki	4. 巻 113
2. 論文標題 Magnetic Response of Random Lasing Modes in a ZnO nanoparticle film deposited on a NiFe thin film	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 131108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5040720	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takeshi Tsuji, Shota Sakaki, Hideki Fujiwara, Hirotsugu Kikuchi, Masaharu Tsuji, Yoshie Ishikawa, Naoto Koshizaki	4. 巻 122
2. 論文標題 Stabilizer-Concentration Effects on the Size of Gold Submicrometer-Sized Spherical Particles Prepared Using Laser-Induced Agglomeration and Melting of Colloidal Nanoparticles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 21659-21666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b05911	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hideki Fujiwara, Kyosuke Yamauchi, and Keiji Sasaki	4. 巻 10712
2. 論文標題 Nanoparticle manipulation using a tapered fiber	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 107120A
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2319268	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 藤原 英樹、パン クリストフ、笹木 敬司	4. 巻 56
2. 論文標題 ナノ粒子の光マニピュレーション	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 光技術コンタクト (12月号)	6. 最初と最後の頁 23-30
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideki Fujiwara, Ryo Niyuki, Keiji Sasaki	4. 巻 2
2. 論文標題 White light induced photo-thermal switching in a graphene-flake-mixed ZnO nanoparticle random laser	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics Communications	6. 最初と最後の頁 035022 ~ 035022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/2399-6528/aab2d3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Fujiwara Hideki, Sasaki Keiji	4. 巻 -
2. 論文標題 Fabrication of low-threshold ZnO nanorod array random laser using a laser-induced hydrothermal synthesis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the Optofluidics 2017	6. 最初と最後の頁 4196
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/optofluidics2017-04196	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hideki Fujiwara, Yuki Yasuda, Hiroaki Orita, Shutaro Ishida, and Keiji Sasaki	4. 巻 10252
2. 論文標題 Localized field control at the nano-scale	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 1025216 ~ 1025216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2269158	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 藤原 英樹
2. 発表標題 共鳴制御ランダムレーザーの実現に向けて
3. 学会等名 非エルミート系, 及び光学実験に関する研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hideki Fujiwara, and Keiji Sasaki
2. 発表標題 Localized field control by plasmonic mode interference
3. 学会等名 The 9th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原 英樹、海住 英生、西井 準治、笹木 敬司
2. 発表標題 外部磁場に依存したランダムレーザー発振特性の解析
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木達朗、藤原 英樹、笹木 敬司
2. 発表標題 酸化亜鉛ナノ発光体のプラズモンアシスト水熱合成
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 英樹、笹木 敬司
2. 発表標題 テーパファイバーを用いたナノ粒子操作
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原 英樹、笹木 敬司
2. 発表標題 レーザー誘起表面凹凸形成法による半導体基板表面へのランダムレーザー素子の作製
3. 学会等名 第54回応用物理学会北海道支部/第15回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木達朗、藤原 英樹、笹木 敬司
2. 発表標題 酸化亜鉛ナノ発光体のプラズモンアシスト水熱合成
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原英樹
2. 発表標題 ランダムレーザー発振の外部磁場制御
3. 学会等名 人・環境と物質をつなぐイノベーション創出 ダイナミック・アライアンス平成30年度 エレクトロニクス物質・デバイス(G1)グループ分科会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原英樹、海住 英生、西井 準治、笹木 敬司
2. 発表標題 外部磁場印加によるランダムレーザーの光双安定性の観測
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原英樹、笹木敬司
2. 発表標題 ランダムレーザーの発振モード制御の実現
3. 学会等名 第27回 レーザー学会専門委員会「レーザーのカオス・ノイズダイナミクスとその応用」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻 剛志、榊 祥太、越崎 直人、石川 善恵、藤原英樹、菊池 裕嗣
2. 発表標題 コロイド状ナノ粒子のレーザー誘起凝集過程の解析と制御 -保護剤が球状サブミクロン粒子の粒径分布に与える影響-
3. 学会等名 電気学会 電子材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 辻 剛志、榊 祥太、越崎 直人、石川 善恵、藤原英樹、菊池 裕嗣
2. 発表標題 コロイド状ナノ粒子のレーザー誘起凝集過程の解析と制御 -保護剤が球状サブミクロン粒子の粒径分布に与える影響-
3. 学会等名 電気学会 電子材料研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 織田洋彰、藤原英樹、石田周太郎、笹木敬司
2. 発表標題 白色光全反射照明による局在プラズモン場分布の波長依存性の解析
3. 学会等名 第53回応用物理学会北海道支部/第14回日本光学会北海道支部合同学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原英樹、海住英生、西井準治、笹木敬司
2. 発表標題 外部磁場によるランダムレーザー発振モード制御
3. 学会等名 第65回応用物理学会 春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原英樹
2. 発表標題 高強度パルスレーザー照射によるGaN基板上へのランダムレーザー素子作製
3. 学会等名 人・環境と物質をつなぐイノベーション創出 ダイナミック・アライアンス エレクトロニクス 物質・デバイス(G1) グループ分科会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideki Fujiwara and Keiji Sasaki
2. 発表標題 Lasing from a GaN substrate by intense pulsed laser irradiation
3. 学会等名 653. WE-Heraeus-Seminar: Optical Microcavities and Their Applications (WOMA2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原英樹
2. 発表標題 レーザープロセス技術を利用した共鳴制御ランダムレーザーの開発
3. 学会等名 電子材料研究会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤原英樹, 笹木敬司
2. 発表標題 GaN 平面基板上への高強度パルスレーザー照射による自己形成ランダムレーザー発振
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 新宅 貴志、ヨウニ クイトゥネン、煮雪 亮、藤原英樹、笹木敬司
2. 発表標題 レーザー誘起水熱合成法を用いたランダムレーザー発振特性制御
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideki Fujiwara, Ryo Niyuki, and Keiji Sasaki
2. 発表標題 Fabrication of low-threshold ZnO nanorod array random lasers
3. 学会等名 SPIE Optics & Photonics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hideki Fujiwara and Keiji Sasaki
2. 発表標題 Fabrication of low-threshold ZnO nanorod array random laser using a laser-induced hydrothermal synthesis
3. 学会等名 The 7th International Multidiscipline Conference on Optofluidics 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Hideki Fujiwara, Yuki Yasuda, Hiroaki Orita, Shutaro Ishida, and Keiji Sasaki
2. 発表標題 Localized field control at the nano-scale
3. 学会等名 The 4th Optical Manipulation Conference 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

個人ページ http://optsys.es.hokudai.ac.jp/fuji/fuji1.html Researcher ID (D-7313-2012) http://www.researcherid.com/rid/D-7313-2012 ORCID https://orcid.org/0000-0003-1955-6415 Researchmap https://researchmap.jp/read0065256/ 電子科学研究所光システム物理研究分野ホームページ http://optsys.es.hokudai.ac.jp/ Research gate https://www.researchgate.net/ Researcher ID http://www.researcherid.com/rid/D-7313-2012 google scholar https://scholar.google.co.in/citations?user=dKML9kMAAAAJ&hl=en ResearchMap https://researchmap.jp/read0065256
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考