

令和 5 年 4 月 25 日現在

機関番号：30107

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05290

研究課題名（和文）外部磁場を用いた局在場制御技術の開発

研究課題名（英文）Development of localized mode control method using external magnetic field

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） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：レーザー誘起表面凹凸形成法を用いた外部変調可能なGaN表面凹凸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るだけでなく、印加する外部磁場の強さに応じてレーザー発振強度が変化する様子を確認し、スイッチング動作が可能となることを示した。また、磁場以外の外部刺激応答についても研究を進め、レーザー加熱によるVO<sub>2</sub>粒子の絶縁体-金属相転移を利用したランダムレーザーのスイッチング動作にも成功した。さらにプラズマエッチング手法を用い、外部変調機能や電気駆動化が可能な新たなランダムレーザー作製法の提案を行った。

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、構造の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、磁場や熱などの外部刺激により外部変調可能なランダムレーザーの作製手法の開発に成功した。本成果は、外部変調可能なランダムレーザーを簡便・安価に作製する新規手法を提供し、ランダムレーザーの応用・装置実装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 have proposed a method for fabricating externally-modulated GaN surface roughness random lasers using a laser-induced surface roughness formation method. I have succeeded in not only minimizing their threshold value under certain fabrication conditions but also observing a change in laser oscillation intensity depending on the strength of the applied external magnetic field, indicating that switching operation is possible. We also studied the response to external stimuli other than magnetic fields and succeeded in switching the behavior of a random laser using the insulator-metal phase transition of VO<sub>2</sub> particles induced by laser heating. Furthermore, we have proposed a new random laser fabrication method using plasma etching technique, which enables external modulation and electrical drive.

研究分野：応用光学

キーワード：ランダムレーザー 局在場 磁場応答

### 1. 研究開始当初の背景

全視野イメージング光源としてランダムレーザーが注目されている【B. Redding et al., Nat. Photon. 6, 355 (2012)】。このレーザーは、不規則構造の多重散乱に基づくフィードバックにより動作するため、高価で大型の精密作製装置を必要としないだけでなく、熱光源の低い空間コヒーレンスとレーザーの高輝度を同時に実現でき、強度ムラの無い明るい像を得ることが可能となる。このため、高速・高精度なイメージングに向けた新規なレーザー光源として期待されているが、従来のランダムレーザーは応用上の重要な課題として、電気駆動に適した構造ではなく(光学励起)、高しきい値動作、発振モード制御が難しい、深紫外や赤外領域での報告例が少ない、といった問題が存在する。特に発振モード制御に関しては、個々の散乱体の共鳴特性制御により発振モードを制御する方法や、電場による液晶配向制御や熱的・機械的な構造変化によりポストプロセス的に発振モードをチューニングする方法などが、私を含め幾つかのグループから提案されている。しかし、光学励起かつナノ粒子凝集膜を用いた報告がほとんどであり、もう一つの重要な課題である電気駆動化に適した半導体基板上への作り込みが可能な方法ではない。

このような状況に対し、近年、ナノ粒子凝集膜ではなく、電気駆動化の容易な2次元構造のランダムレーザーに注目が集まっている。しかし、トップダウン的に作製した乱れたフォトニック結晶や自発的に形成された半導体基板中の欠陥ピットを散乱体に用いた報告はあるものの、発振モード制御は高価で大型な装置を必要とするトップダウン的な方法以外では報告がなく、構造作製後に発振モードを自在に変調・制御することも難しい。そこで私は、電気駆動ランダムレーザーの実現を目指し、2次元的なランダム構造の低しきい値化やモード制御技術の確立を行うため、レーザー誘起表面凹凸形成法と磁気光学効果に注目した。レーザー誘起表面凹凸形成法【L. Wang et al., Optica 4, 637 (2017)】は、高強度レーザーを基板表面に数秒照射するだけで、簡単に狙った場所に擬似周期的な凹凸構造を作製できるだけでなく、照射条件の制御によりその形状を制御できる利点を持つ。既に私は、本手法により GaN 基板表面に凹凸構造を作製し、紫外域のランダムレーザーの誘起に成功している【Appl. Phys. Lett. 113, 171606 (2018)】。また、外部刺激による発振モード制御に関しても、磁性薄膜上の ZnO ナノ粒子膜において磁場印加によるフィードバック光の偏光回転により、発振ピーク強度が変化するスイッチング動作にも成功している【Appl. Phys. Lett. 113, 131108 (2018)】。本課題においてこれらの成果の融合を試み、磁性薄膜コート半導体基板にレーザー誘起表面凹凸形成法を適用することで、レーザープロセスによるマクロな構造制御に加え、同時にミクロな構造として磁性体材料の導入により、構造作製後にも発振モードを自在に変調・制御する外部刺激応答の機能の導入が可能となると考え、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レーザーの作製・発振モード制御技術のイメージング用レーザー光源への応用を目指している。レーザー誘起表面凹凸形成法を用いた簡易な手法により、半導体基板上に大面積に一括で構造を作製するだけでなく、レーザー発振のための構造最適化と磁場印加によるスイッチング機能を同時に実現する新しい作製手法を確立することを目的とした(図1)。この手法により、構造中に誘起される光局在場と利得媒質の周波数・空間的なマッチングを試み、レーザー発振の低しきい値化を達成するだけでなく、外部磁場による高速な発振状態のスイッチング動作を実現するための基盤技術の確立を行った。この成果により、ランダムレーザーの顕微鏡などへの実装を目指した応用研究の中で重要な一歩となるだけでなく、レーザープロセスによるマクロな形状制御とアブレーション・アニール効果による意図的な特異構造作製を同時に行うことが可能となるため、光源応用だけでなく、意図的な表面欠陥や色中心などの導入による光触媒やバイオセンサなどの応用展開にも繋がると期待される。

### 3. 研究の方法

本課題では、(1)高強度パルスレーザー照射による半導体基板表面のフィードバック構造の作製・最適化だけでなく、(2)同時に誘起されるコート材のアブレーションやアニールによる発振モードのチューニング機構の導入をも行うボトムアップ的な手法の開発を行う。この成果として、磁場応答機能を持つ低しきい値ランダムレーザーを半導体基板表面に直接形成する手法の開発を行った。また、磁

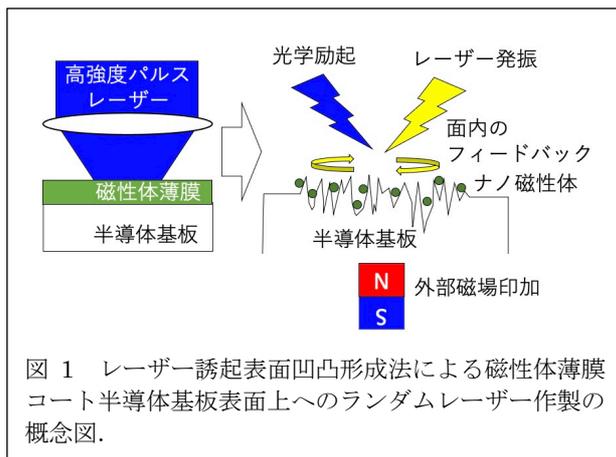


図1 レーザー誘起表面凹凸形成法による磁性体薄膜コート半導体基板表面上へのランダムレーザー作製の概念図。

場応答以外の遠隔操作方法の探索も行い、二酸化バナジウム ( $\text{VO}_2$ ) の加熱による絶縁体—金属相転移を利用した新規な制御方法の提案や、プラズマエッチングによる大面積に作製が可能な新規作製法の検討も行った。

レーザー誘起表面凹凸形成法を用いた実験では、スパッタリング装置を用い、市販の GaN 基板に磁性体である NiFe を 200 nm コートしたものを試料とした。この試料を顕微鏡下に配置し、40 倍対物レンズを介して高強度のパルスレーザーを試料表面に短時間集光照射することで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。

$\text{VO}_2$  を用いたランダムレーザーのスイッチング動作の実験では、市販の  $\text{VO}_2$  粒子はサイズのばらつきが大きい (数~数十  $\mu\text{m}$ )、 $\text{VO}_2$  粒子を水中に分散し、一晚静置した上澄溶液を実験に用いた。その結果、平均粒径 1  $\mu\text{m}$  の粒子を得た。この  $\text{VO}_2$  粒子と市販の ZnO 粒子を水中に分散し、ガラス基板に滴下・乾燥したものを試料とした。この試料を上記の実験と同様に顕微鏡ステージ上に配置し、40 倍対物レンズで ZnO を励起するための UV パルスレーザーを照射し、その発光を顕微分光装置でスペクトル測定を行った。また、 $\text{VO}_2$  の絶縁体—金属相転移を誘起するため、波長 405 nm の CW レーザーを同軸照射し、加熱パワーに応じた発振状態の変化を確認した。また、参照実験として、光加熱ではなく、ヒーター加熱による測定を行うため、ガラス基板にリングヒーターを取り付け、加熱温度を変化しながらレーザー発振状態の変化を観察した。この時、試料全体の温度が平衡状態となるようにするため、温度を変えるごとに 5~10 分間待ってから実験を行った。

プラズマエッチングによるランダムレーザー作製では、市販の GaN 基板を名大・大野研究室のダイバータプラズマ模擬実験装置を使用して表面凹凸構造の作製を行った。実験では、装置内に固定した GaN 基板直上に Mo ワイヤを配置し、Ar プラズマによるエッチングを行った。この時、Mo ワイヤから Mo が飛散し、GaN 基板上にランダムに堆積する。この堆積 Mo をマスクとしてエッチングが進行するため、GaN 基板に凹凸構造が形成される。印加する電圧や照射時間を制御しながら様々な形状の表面凹凸構造を作製した。試料は SEM 観察によって凹凸のサイズや形状を評価し、作製条件と構造の関係性を明らかにした。また、上述の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、ランダムレーザー発振が誘起されるかどうかの確認を行うとともに、低しきい値化を達成するためのプラズマエッチング条件の確認を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) レーザー誘起表面凹凸形成法を用いた磁場応答機能を持つ低しきい値ランダムレーザー作製法の開発

レーザー誘起表面凹凸形成法を用いた簡易な手法により、磁性体である NiFe 薄膜 (厚み 200 nm) をコートした GaN 基板表面上に磁性体粒子分散表面凹凸構造を作製し、そのランダムレーザー発振の確認と磁場応答の確認を行った (慶応大・海住教授との共同研究)。実験では、顕微鏡下に配置した NiFe コート GaN 基板に UV パルスレーザー (355 nm, 300 ps, 1 kHz) を 40 倍対物レンズを用いて集光照射し (スポット径  $\sim 40 \mu\text{m}$ )、照射強度や時間などの作製条件を変化させながら表面構造を作製した。試作した構造のスペクトル測定を行い、各作製条件におけるレーザー発振しきい値を比較した結果、照射強度 2 mW、照射時間 10 s 程度で作製した表面構造において一番低いしきい値を示すランダムレーザーの誘起に成功した (図 2)。この条件で作製した構

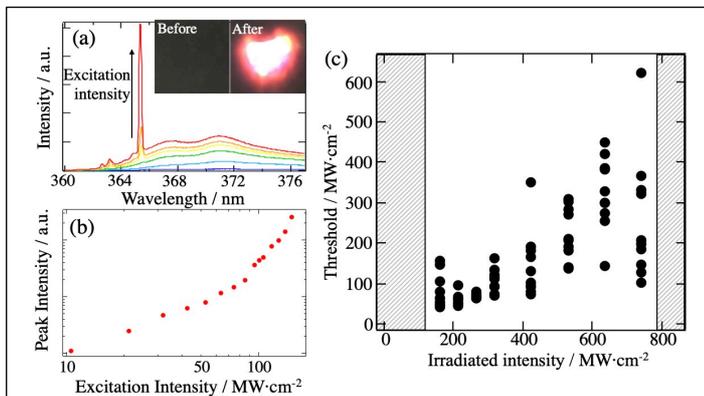


図 2 レーザー照射を行った NiFe コート GaN 基板表面凹凸における (a) レーザー発振スペクトルと (b) ピーク強度の励起光強度依存性. (c) 表面凹凸ランダムレーザーのしきい値の作製用パルスレーザーの照射強度依存性. 網掛けの部分はレーザー発振が確認できなかった領域を示す.

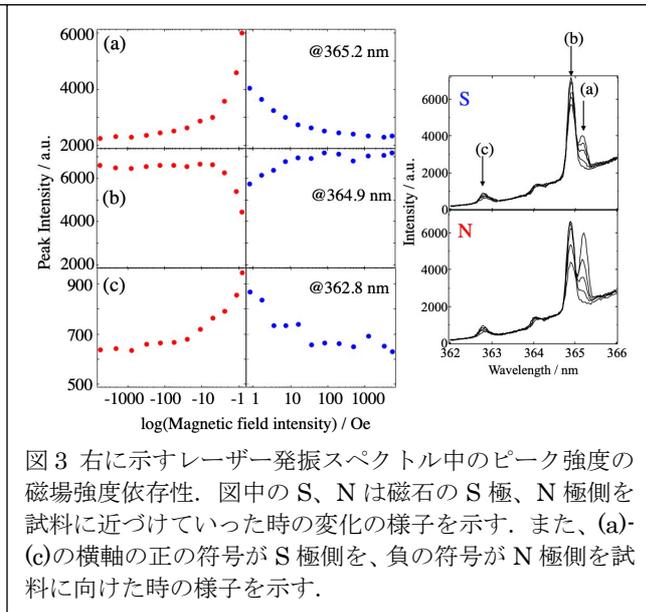


図 3 右に示すレーザー発振スペクトル中のピーク強度の磁場強度依存性. 図中の S、N は磁石の S 極、N 極側を試料に近づけていった時の変化の様子を示す. また、(a)-(c) の横軸の正の符号が S 極側を、負の符号が N 極側を試料に向けた時の様子を示す.

造を用い、試料に垂直に配置したネオジム磁石の距離を変えながらレーザー発振スペクトルを確認したところ、背景のブロードな発光スペクトルや発振ピーク波長は磁場の強さに対して変化せず、発振ピーク強度のみが磁場の強さにより変化する様子を確認した(図3)。さらにこの発振スペクトルの励起光強度依存性を測定したところ、磁場の有無によりレーザー発振しきい値が変化し、各発振ピークの局在場の周辺環境によって、磁場強度の増加に伴い、しきい値が増加したり、逆に低下したりするなど、異なる振る舞いを示すことが分かった(図4)。また、この試料のSEM観察およびEDS測定を行った結果を見ると(図5)、GaN基板の表面凹凸構造の上に適度にアブレーションされたNiFe粒子が分散している様子が確認できる。これらの結果は、磁場印加による局在光の偏光の磁気カー回転によるフィードバック量が局所的に変化するため、各発振モードの状態により磁場に応じて挙動が変化することを示している。これらの結果は、簡便安価に作製できる外部磁場応答ランダムレーザーを半導体基板上に直接形成できるだけでなく、チューニング機構を持った電気駆動ランダムレーザーの実現に寄与する成果だと考える。

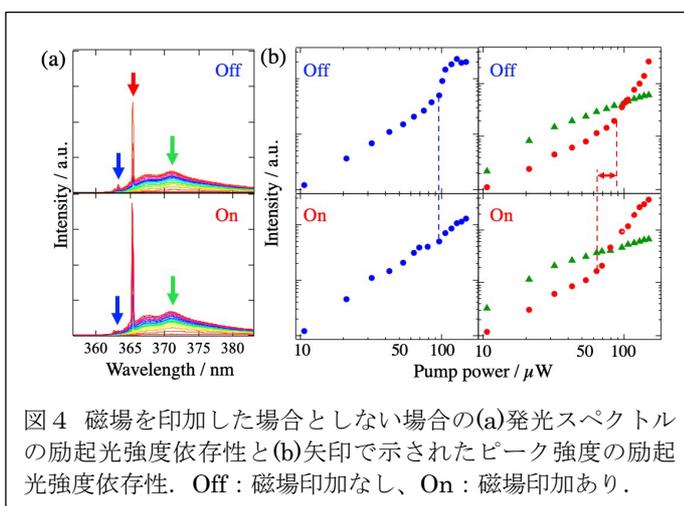


図4 磁場を印加した場合としない場合の(a)発光スペクトルの励起光強度依存性と(b)矢印で示されたピーク強度の励起光強度依存性. Off: 磁場印加なし, On: 磁場印加あり.

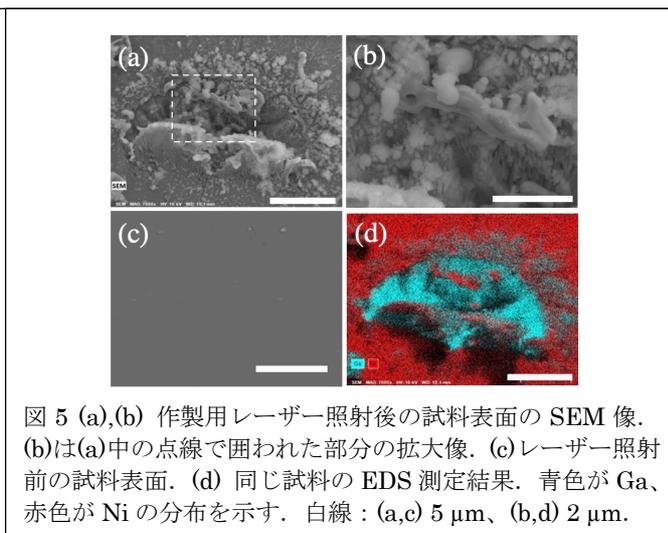


図5 (a),(b) 作製用レーザー照射後の試料表面のSEM像. (b)は(a)中の点線で囲われた部分の拡大像. (c)レーザー照射前の試料表面. (d) 同じ試料のEDS測定結果. 青色がGa、赤色がNiの分布を示す. 白線: (a,c) 5 μm、(b,d) 2 μm.

## (2) 絶縁体—金属相転移現象によるランダムレーザーのスイッチング動作の実現

磁場応答以外の外部刺激応答についても研究を進め、レーザー加熱による二酸化バナジウム( $\text{VO}_2$ )の絶縁体—金属相転移を利用したランダムレーザーのスイッチング動作についても研究を進めた(一部、北大・越崎教授との共同研究)。実験では、市販の $\text{VO}_2$ 粒子を水に分散させ、一晚静置した溶液の上澄み溶液を使用することで、平均粒径 $1\mu\text{m}$ の $\text{VO}_2$ 粒子を得た。この粒子と市販の $\text{ZnO}$ ナノ粒子を分散した水溶液をガラス基板上に滴下・乾燥させたものを試料とした。この試料を顕微鏡下に配置し、対物レンズを介してUVパルスレーザー( $355\text{ nm}$ ,  $300\text{ ps}$ ,  $1\text{ kHz}$ )を試料に照射し、 $\text{ZnO}$ 粒子膜のランダムレーザー発振の観測を行った。この時、励起用レーザーに加え、 $\text{VO}_2$ を光加熱するための青色CWレーザーを同時照射し、ランダムレーザー発振の変化を確認した。その結果、加熱用レーザーパワーを $0$ 、 $10$ 、 $20\text{ mW}$ とした時の励起光強度依存性を測定した結果、加熱用レーザーパワーが大きくなるにつれてレーザー発振しきい値が上昇する様子を確認した(図6)。また、励起光パワーを固定( $280\mu\text{W}$ )したまま、加熱用レーザーパワーを変化させた所、 $5\text{ mW}$ 程度以上のパワーにおいてレーザー発振強度が減少し始める様子を確認した(図7)。これらの結果は、加熱により $\text{VO}_2$ が金属相に変化し、レーザー発振に必要な多重散乱を阻害するように作用しているためであると考えられる。しかし、試料温度などの情報は得られておらず、この現象が本当に $\text{VO}_2$ の相転移に起因する現象かどうかは定かではない。そこで加熱用レーザーを使用せず、同じ試料をヒーター加熱しながら測定を行った(図8)。その結果、同様なレーザー発振の抑制が $40\sim 45^\circ\text{C}$ 付近で誘起されることを確認した。この加熱温度

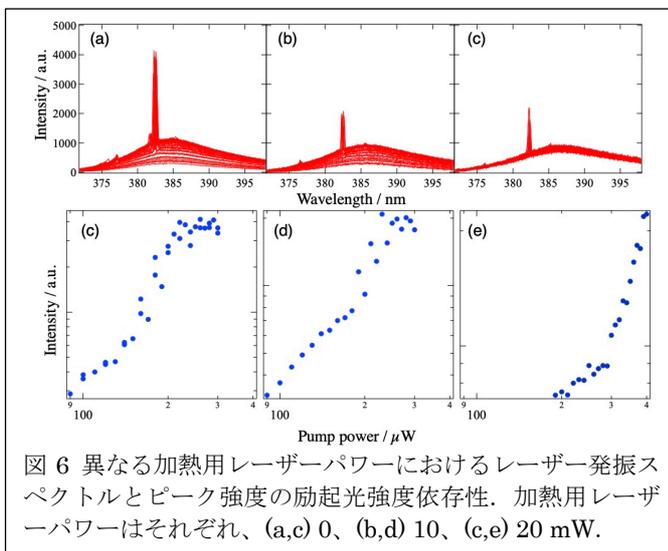


図6 異なる加熱用レーザーパワーにおけるレーザー発振スペクトルとピーク強度の励起光強度依存性. 加熱用レーザーパワーはそれぞれ、(a,c) 0、(b,d) 10、(c,e) 20 mW.

と、レーザー光による光吸収加熱による温度を比較するため、VO<sub>2</sub>粒子1個の光加熱による温度を見積もった。レーザー光のビーム径が粒子サイズよりも十分大きい場合、熱平衡状態を仮定して光吸収による1個のVO<sub>2</sub>粒子の温度(T)は以下の式で表される。

$$T = 298 + \frac{P \times Q_{abs}}{Nu \times \lambda_{air}} \left( \frac{d}{4} \right)$$

この式中のPは照射光パワー(W cm<sup>-2</sup>)、Q<sub>abs</sub>は粒子の吸収断面積(cm<sup>2</sup>)、Nuはヌルゼット数、λ<sub>air</sub>は熱伝導度(W m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>)、dは粒子サイズである。この式から粒子温度を見積もった結果、5 mW 照射で47°C、10 mW 照射で70°Cとなった。この数字は、ヒーター加熱によりレーザー発振に変化が現れる温度と良い一致を示すだけでなく、加熱用レーザー照射時に変化が現れるパワーとも良い相関を示すことがわかる。また、市販のVO<sub>2</sub>の商品データ(高純度化学研究所)では、昇温時に50°C付近から電気抵抗率の変化が始まることが示されており、上記実験結果ともよく一致する。これらの結果から、VO<sub>2</sub>の絶縁体-金属相転移を用いたランダムレーザーのスイッチング動作に成功したといえる。

### (3) プラズマエッチングを用いた大面積かつ低しきい値のランダムレーザー作製法の開発

表面凹凸ランダムレーザーの新規な作製方法として、基板直上に異種金属ワイヤを配置したプラズマエッチング法を利用した(核融合研・上原助教、東大・梶田教授、名大・大野教授、田中准教授との共同研究)。この実験では、市販のGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>基板の直上にMoワイヤを配置し、プラズマエッチングを行った。Moワイヤからプラズマで飛ばされた少量のMoがGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>上に部分的に堆積することでMoが浸食を防ぐマスクとして機能し、ナノメートルサイズの複雑な凹凸構造が形成され、Ga<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>基板の表面凹凸において紫外ランダムレーザー発振が誘起されることを示した(図9)。プラズマ照射条件(印加電圧、RFパワー)を変えながら構造の作成を行った結果、Moの堆積量やGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>のエッチングレートの変化によって凹凸構造のアスペクト比や深さが変化する様子を確認した(図10(a)-(c))。また、各条件で作製した構造のレーザー発振しきい値を測定したところ、形状の変化に応じてしきい値が変化する様子を確認し、低しきい値化を達成するための構造作製条件の最適化にも成功した(図10(d))。

本手法は、試料上に配置するワイヤ材料を磁性体や他の半導体に変えることで、様々な機能を持たせた表面凹凸構造を大面積に作製できる可能性がある。例えば、磁性体ワイヤを用いることで、研究1)のような外部変調可能なランダムレーザーを作製できる可能性がある。また、異種半導体材料を用いることで、pn接合界面を持つ凹凸構造の作製も可能となると期待され、電気駆動可能なランダムレーザーを少ない工程で大面積に作製できる可能性がある。

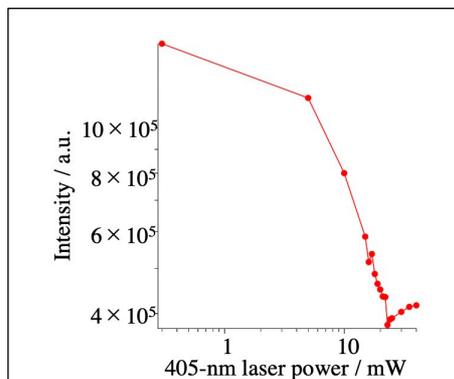


図7 レーザー発振ピーク強度の加熱用レーザーパワー依存性。励起レーザーパワーは280 μWで固定している。

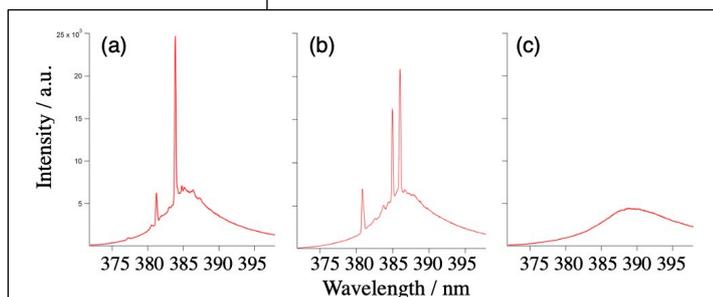


図8 リングヒーターの加熱によるレーザー発振スペクトルの加熱温度依存性。加熱温度：(a) 25、(b) 35、(c) 45°C。

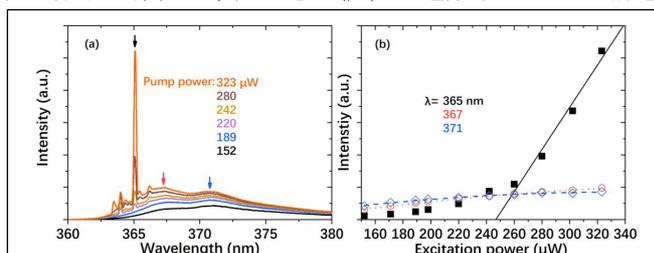


図9 プラズマエッチングで作製したGa<sub>0.5</sub>N<sub>0.5</sub>基板上表面凹凸におけるレーザー発振スペクトルとピーク強度の励起光強度依存性。

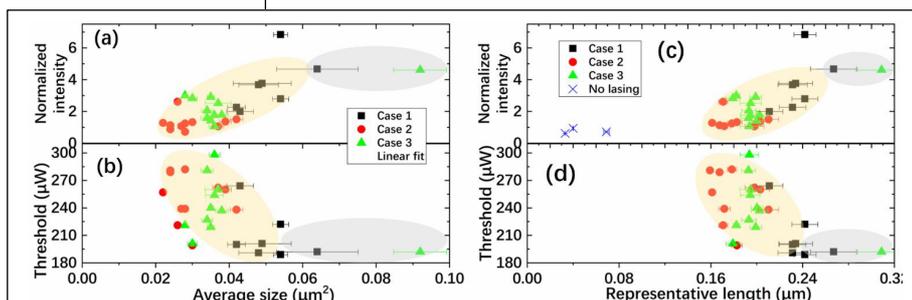


図10 (a,c)レーザー発振強度と(b,d)しきい値の粒子投影面積と凹凸サイズ依存性。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Shi Quan, Fujiwara Hideki, Kajita Shin, Yasuhara Ryo, Tanaka Hirohiko, Ohno Noriyasu, Uehara Hiyori	4. 巻 1
2. 論文標題 Structural Correlation of Random Lasing Performance in Plasma-Induced Surface-Modified Gallium Nitride	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Optical Materials	6. 最初と最後の頁 412 ~ 420
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaom.2c00085	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 Pin Christophe, Fujiwara Hideki, Sasaki Keiji	4. 巻 52
2. 論文標題 Controlled optical manipulation and sorting of nanomaterials enabled by photonic and plasmonic nanodevices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews	6. 最初と最後の頁 100534 ~ 100534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jphotochemrev.2022.100534	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 Fujiwara Hideki, Sudo Kota, Sunaba Yuji, Pin Christophe, Ishida Shutaro, Sasaki Keiji	4. 巻 21
2. 論文標題 Spin-Orbit Angular-Momentum Transfer from a Nanogap Surface Plasmon to a Trapped Nanodiamond	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 6268 ~ 6273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.1c02083	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 Pin Christophe, Fujiwara Hideki, Sudo Kota, Kakuta Ryo, Sunaba Yuji, Ishida Shutaro, Sasaki Keiji	4. 巻 124790
2. 論文標題 Nanoparticle orbital rotation, from a nanoscale plasmonic hotspot to the periphery of a laser beam	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. SPIE	6. 最初と最後の頁 124790X
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2659394	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	4. 巻 30
2. 論文標題 プラズモン場を用いたレーザー水熱合成による ナノ発光体の最適配置	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Form Tech Review	6. 最初と最後の頁 66-69
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 Fujiwara Hideki, Kawaguchi Shohei, Yonekawa Daiki, Kaiju Hideo	4. 巻 119
2. 論文標題 Development of magnetic responsive random lasers fabricated by a laser-induced surface roughness	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 041105 ~ 041105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0058284	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 藤原英樹、石原一、笹木敬司	4. 巻 29
2. 論文標題 性質の異なるナノ粒子を光圧で選別・分離・輸送する技術を開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 レーザ加工学会誌	6. 最初と最後の頁 43-45
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 藤原英樹、林恭平、海住英生、平井健二、雲林院宏	4. 巻 EFM-21
2. 論文標題 レーザー加熱によるグラファイト合成法の開発	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会研究会資料	6. 最初と最後の頁 1-5
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 藤原 英樹、石原 一、笹木 敬司	4. 巻 76
2. 論文標題 解説：光の力でナノ粒子を選別・分離する 高品質な医薬品、高感度なバイオセンサーの開発に貢献	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 化学	6. 最初と最後の頁 53-56
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 Wada Takudo, Fujiwara Hideki, Sasaki Keiji, Ishihara Hajime	4. 巻 9
2. 論文標題 Proposed method for highly selective resonant optical manipulation using counter-propagating light waves	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 3335 ~ 3345
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/nanoph-2020-0072	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 Hirai Kenji, Kitagawa Taisei, Fujiwara Hideki, Pirillo Jenny, Hijikata Yuh, Inose Tomoko, Uji-i Hiroshi	4. 巻 56
2. 論文標題 Multicolour photochromic fluorescence of a fluorophore encapsulated in a metal-organic framework	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 9651 ~ 9654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d0cc03624b	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 該当する

1. 著者名 Fujiwara Hideki, Yamauchi Kyosuke, Wada Takudo, Ishihara Hajime, Sasaki Keiji	4. 巻 7
2. 論文標題 Optical selection and sorting of nanoparticles according to quantum mechanical properties	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabd9551
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abd9551	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 Pin Christophe, Fujiwara Hideki, Suzuki Tatsuro, Sasaki Keiji	4. 巻 11696
2. 論文標題 Photothermal energy conversion in plasmonic nanoantennas as a new path for the local growth of ZnO in nanophotonic devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 116960H
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2577176	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 Pin Christophe, Fujiwara Hideki, Suzuki Tatsuro, Sasaki Keiji	4. 巻 11522
2. 論文標題 Photothermal energy conversion in plasmonic nano gap antennas: application to localized ZnO growth for nanophotonics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of SPIE	6. 最初と最後の頁 1152203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2573518	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	4. 巻 68
2. 論文標題 ナノサイズの光で金属 - 半導体ハイブリッド構造を作製	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 月間JETI	6. 最初と最後の頁 15-17
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 -

〔学会発表〕 計28件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 藤原英樹
2. 発表標題 局所レーザー加熱を利用したナノ材料の選択合成
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤原英樹、今井悠大
2. 発表標題 VO2 粒子分散 ZnO 粒子膜のランダムレーザーのスイッチング動作
3. 学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上原 日和、シー チュエン、藤原 英樹、梶田 信、安原 亮、田中 宏彦、大野 哲靖
2. 発表標題 先進的プラズマ加工技術を利用した第面積ランダムレーザー素子の開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第43回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤原 英樹、大黒谷 清吾、林 恭平、海住 英生、平井 健二、雲林院 宏
2. 発表標題 繰り返し照射によるレーザー誘起グラファイト合成条件の改善
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Pin Christophe, Ryo Kakuta, Hideki Fujiwara, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Laser-induced hydrothermal synthesis of VO2 on gold thin film and in solution
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Quan Shi, Hideki Fujiwara, Shin Kajita, Ryo Yasuhara, Hirohiko Tanaka, Noriyasu Ohno, Hiyori Uehara
2. 発表標題 Plasma and impurity induced surface-modified GaN and its random lasing performance
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原英樹
2. 発表標題 プラズモン場を用いたレーザー水熱合成によるナノ発光体の最適配置
3. 学会等名 Optics & Photonics International Exhibition 天田財団第5回レーザープロセッシング助成研究成果発表会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuji Sunaba, Hideki Fujiwara, Christophe Pin, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Optical rotation of a nanoparticle drive by optical torque of plasmonic nano-vortex field
3. 学会等名 SPIE Optics+Photonics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Quan Shi, Hideki Fujiwara, Ryusei Osaka, Shin Kajita, Ryo Yasuhara, Noriyasu Ohno, Hiyori Uehara
2. 発表標題 Plasma Induced Surface Nanostructure on Semiconductors for The Application of Random Laser
3. 学会等名 The 15th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Quan Shi, Hideki Fujiwara, Ryusei Osaka, Shin Kajita, Ryo Yasuhara, Noriyasu Ohno, Hiyori Uehara
2. 発表標題 Plasma induced surface nanostructure on compound-semiconductors and its application of random laser
3. 学会等名 The 13th Asia-Pacific Conference on Near-Field Optics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Christophe Pin, Hideki Fujiwara, Kota Sudo, Ryo Kakuta, Yuji Sunaba, Shutaro Ishida, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Nanoparticle orbital rotation, from a nanoscale plasmonic hotspot to the periphery of a laser beam
3. 学会等名 Optics & Photonics International Congress 2022, Optical Manipulation and Structured Materials Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原英樹
2. 発表標題 レーザー加熱によるVO <sub>2</sub> 粒子の絶縁体金属相転移を利用したランダムレーザーのスイッチング動作
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北川泰成、藤原英樹、ピリッロ ジェニー、土方優、平井健二、雲林院宏
2. 発表標題 金属有機構造体を用いたマルチカラーフォトクロミック材料
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Christophe Pin, Hideki Fujiwara, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Plasmonic nanostructures as controllable, nanoscale heat sources
3. 学会等名 第7回 北大・部局横断シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原 英樹、林 恭平、海住 英生、平井 健二、雲林院 宏
2. 発表標題 レーザー加熱によるグラファイト合成法の開発
3. 学会等名 電気学会 電子材料研究会 テーマ「レーザー技術を駆使した材料生成とその制御」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原 英樹
2. 発表標題 レーザー加熱を用いた局所材料合成法の開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第42回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤原 英樹、大黒谷 清吾、林 恭平、海住 英生、平井 健二、雲林院 宏
2. 発表標題 NiFe基板上へのレーザー誘起グラファイト合成条件の改善
3. 学会等名 第69回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Christophe Pin, Hideki Fujiwara, Tatsuro Suzuki, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Photothermal energy conversion in plasmonic nanoantennas as a new path for the local growth of ZnO in nanophotonic devices
3. 学会等名 SPIE Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Christophe Pin, Hideki Fujiwara, Tatsuro Suzuki, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Nanoscale ZnO growth via localized photothermal energy conversion in plasmonic nanoantennas
3. 学会等名 The 11th international conference on Metamaterials, photonic crystals and plasmonics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideki Fujiwara, Christophe Pin, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Selective ZnO growth in a plasmonic nanoantenna using a plasmon-assisted hydrothermal synthesis
3. 学会等名 Optics & Photonics Japan 2021 Joint Symposia on Optics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Christophe Pin, Hideki Fujiwara, Tatsuro Suzuki, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Photothermal energy conversion in plasmonic nanoantennas as a new path for the local growth of ZnO in nanophotonic devices
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yuji Sunaba, Hideki Fujiwara, Kota Sudo, Christophe Pin, Syutaro Ishida, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Orbital rotation of a nanoparticle using plasmonic multimer structures
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原英樹
2. 発表標題 レーザー誘起表面凹凸を利用した近赤外ランダムレーザーの作製
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤原英樹、海住英生
2. 発表標題 レーザー誘起表面凹凸形成法を利用した外部磁場応答ランダムレーザーの開発
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第41回年次大会
4. 発表年 2021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新奇ランダムレーザー光源作製法の開発
3. 学会等名 新学術領域研究 特異構造の結晶科学 オンライン成果報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原英樹、弥勒院達紀、大橋由梨、海住英生、平井健二、雲林院宏
2. 発表標題 局所レーザー加熱を用いたNi基板上へのグラファイト膜の選択合成
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Christophe Pin, Hideki Fujiwara, Tatsuro Suzuki, Keiji Sasaki
2. 発表標題 Photothermal energy conversion in plasmonic nanoantennas as a new path for the local growth of ZnO in nanophotonic devices
3. 学会等名 SPIE Photonics West (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hideki Fujiwara
2. 発表標題 Fabrication of semiconductor random lasers using a laser-induced surface roughness
3. 学会等名 The 8th Asian Conference on Crystal Growth and Crystal Technology
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Hideki Fujiwara	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Springer Nature Singapore Pte Ltd.	5. 総ページ数 22
3. 書名 High-Energy Chemistry and Processing in Liquids (Chapter6: Fabrication and Control of Semiconductor Random Lasers using Laser Processing Techniques)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>個人のページ  <a href="https://sites.google.com/view/hfujiiwara/">https://sites.google.com/view/hfujiiwara/</a></p> <p>第68回応用物理学会春季学術講演会 Editor's Picksでの研究紹介記事  <a href="https://annex.jsap.or.jp/photonics/backnumber/7-1">https://annex.jsap.or.jp/photonics/backnumber/7-1</a></p> <p>プラズマエッチングに関するプレスリリース  <a href="https://eng.hgu.jp/archives/5136.html">https://eng.hgu.jp/archives/5136.html</a>                      プレスリリースの記事  <a href="https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230112-2560279/">https://news.mynavi.jp/techplus/article/20230112-2560279/</a>                      プレスリリースの記事  <a href="http://ex-press.jp/lfwj/lfwj-news/lfwj-science-research/51913/">http://ex-press.jp/lfwj/lfwj-news/lfwj-science-research/51913/</a></p> <p>ナノ粒子の光輸送・選別に関するプレスリリース  <a href="https://www.hgu.jp/info/news/20210118-01.html">https://www.hgu.jp/info/news/20210118-01.html</a>                      プレスリリースの記事  <a href="http://ex-press.jp/lfwj/lfwj-news/lfwj-science-research/37798/">http://ex-press.jp/lfwj/lfwj-news/lfwj-science-research/37798/</a>                      プレスリリースの記事  <a href="https://optronics-media.com/news/20210115/71529/">https://optronics-media.com/news/20210115/71529/</a></p>
---

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------