

令和 4 年 6 月 4 日現在

機関番号：82502

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01483

研究課題名(和文)量子センサーの電氣的制御を室温で実現するランタノイド注入GaNダイオード

研究課題名(英文)Lanthanoid doped GaN quantum sensors electrically operated at room temperature

研究代表者

佐藤 真一郎(Sato, Shin-ichiro)

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 先端機能材料研究部・主幹研究員

研究者番号：40446414

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：GaNにイオン注入したPrの発光を利用したナノスケール温度計測(量子センシング)を提案し、実証した。また、Prの間接励起発光による量子センシング、すなわち電氣制御による量子センシングが可能であることを示した。これらの実現のために不可欠となるイオン注入したPrの高効率活性化を達成するため、イオン注入温度や熱処理条件に対するPrの活性化の変化を系統的に明らかにした。また、ナノスケール領域に注入されたPrおよびNdからの発光を高コントラストで検出するため、共鳴励起条件や励起光強度依存性、発光遷移寿命といった発光特性を詳細に明らかにし、Pr・Ndを高度に光制御するための知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ランタノイドドーブGaN量子センシングを提案し、実験的に実証したことは、近年世界的に注目されている量子技術のひとつである量子センシングをさらに発展させる社会的意義の大きい成果である。また、近年開発が進められているGaNパワー半導体の診断技術へと応用できれば、GaNパワーエレクトロニクス発展に寄与でき、デバイス高効率化による省エネ・CO2削減へと貢献できる。また、今回の成果のベースとなる高温Prイオン注入によるPr活性化および照射欠陥の回復に関する知見は、材料科学分野において学術的意義が高く、GaNイオン注入技術の発展にも寄与するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We have demonstrated nanoscale thermometry (quantum sensing) using photon emissions from Pr ions implanted in GaN. Also, we have shown that Pr-doped GaN quantum sensing under indirect excitation, in other words, electrical control of Pr-doped GaN quantum sensor was feasible. Prior to obtain those outcome, we have systematically clarified effects of implantation temperature and post-annealing conditions on optical activation of implanted Pr ions. In addition, to obtain signals from Pr/Nd ions implanted into nanoscale regions with high signal to background contrast, we have clarified optical properties such as resonant excitation conditions, dependence on excitation power, and luminescence lifetime. Those findings are indispensable to optically manipulate Pr and Nd ions implanted into nanoscale regions in GaN.

研究分野：量子科学

キーワード：半導体工学 材料科学 量子ビーム科学 量子技術 量子センシング

1. 研究開始当初の背景

結晶欠陥などに存在する電子スピン等をプローブとし、外部環境（磁場・電場・温度）との相互作用による電子の状態変化を光検出磁気共鳴(ODMR)により観測し、外部環境の情報を得る量子センシングが注目されている(図1)。センサーとなるのが結晶欠陥(点欠陥)ひとつひとつであるため、そのスケールは物理的に世界最小であり、超高感度(サブpT・Hz^{-1/2}の磁場感度)や超高位置分解能(ナノ(nm)スケール)が実現できる。局所磁場・電場・温度の高感度計測という観点から、生命科学・医学分野において特に注目されているが、材料科学研究においては結晶歪の検出などにも応用できる。また、単一の欠陥の電子スピンを操作できる(量子操作)ことや単一の光子を任意のタイミングで発生させられることから、量子コンピューティング(量子ビット)(PNAS, 107 (2010) 8513.)や原理的に盗聴不可能な量子情報通信(量子暗号・量子鍵配送)への応用が期待されている(Rep. Prog. Phys. 68 (2005) 1129.)。量子センシングを実現する系は、単一の電子スピンを(室温で)操作できるという物理学的面白さだけでなく、そうした新たな社会基盤を担う「量子技術」として高い注目を浴びているのである。

本研究では、ランタノイド(Ln)を局所的にドーピングした窒化ガリウム(GaN)半導体(以下、LnドーピングGaN)の室温での発光と、その発光コントラストに基づく電子スピン状態制御を実現し、量子センサーとしての実証を行う。固体中のLn³⁺では4f殻電子の発光遷移が起こるが、4f殻は最外電子殻によって遮蔽され孤立した系のように振る舞うため、室温でもクエンチング(消光)が起こりづらく、線幅が狭いという特長がある上、GaNのLn固溶度は他の半導体よりも高く(10¹⁹ cm⁻³以上)、極めて高輝度の発光が得られる。また、15種あるLnを選べば紫外・可視・近赤外の発光を生み出すことができるため、光学的応用の幅が広い。本研究では、特に近赤外発光を示すNd³⁺(1.1 μm)とEr³⁺(1.5 μm)に着目する。これまでの量子センシングでは主に可視発光を用いてきたが、生体内での透過率をもっとも高い近赤外光(1~1.6 μm)によるセンシングが実現すると、観察対象を細胞レベルから生体組織、さらには動物レベルまで広げることができ、生命科学の飛躍的な進展が期待できる。加えて、Er³⁺発光は光通信帯波長であるため、単一Er³⁺からの光子発生の操作ができれば、量子情報通信に必要な単一光子発生装置への応用も期待できる。

本研究のもうひとつのポイントは、電子デバイス化を行うという点である。現在実証されている量子センサーのほとんどは光励起・光読み出しを原理としており、電気的な制御は行われていない。しかし、実用化を見据え、ピクセル化・小型化・高速読み出しを実現するためには電気的制御が不可欠である。本研究では、nmスケールの局所領域に導入したLnの発光を電気的に制御し、Ln-4f殻電子のスピン状態を発光強度の変化によって読み出して量子操作を行うことに挑戦する。よって、本研究の学術的「問い」は、「GaNに局所的にドーピングしたLnの4f殻電子の状態を、どのようにして読み取り、制御するか?」である。

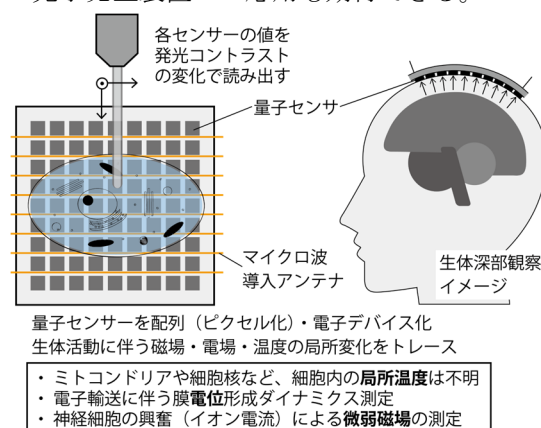


図1. 量子センシングのイメージ

2. 研究の目的

本研究の目的は、ランタノイド(Ln)を局所的に導入した窒化ガリウム(GaN)デバイスを作製し、電気的制御(電流・電圧制御)によって室温環境下で動作する量子センサーを開発することである(以下、LnドーピングGaN量子センサーデバイス)。結晶欠陥を用いた量子センサーの代表はダイヤモンドNVセンター(窒素・空孔複合欠陥)であり、赤色発光を利用した高感度のセンシングを室温で実現している(Phys. Rev. X 5 (2015) 041001.)。しかし、他の材料系も含めて、近赤外光による室温での量子センシングは未だ実現しておらず、それを電気的に制御した報告もない。量子ドットや超伝導量子干渉計(SQUID)など、極低温化することで極めて優れた特性をもつ量子センサーはあるが、室温で高感度となる系は極めて限られている。「室温動作」「近赤外発光」「電気的制御」という重要なポイントをクリアしうるのが、LnドーピングGaN量子センサーである。

本研究で提案するLnドーピングGaN量子センサーデバイスは、実用レベルの輝度のLEDが最近報告されていることから(e.g. MRS Advances, 2 (2017) 159.)、LnドーピングGaNダイオードによる量子センシングの原理的実証ができれば、速やかに実用的な量子センサーの開発へと結びつけられるという大きな産業的メリットがある。この点は、先行するダイヤモンドNVセンター等と比べても非常に高いアドバンテージである。

3. 研究の方法

(1) イオン注入したPrの高効率活性化

LnドーピングGaN量子センサーの実現のためには、ナノスケール領域にのみランタノイドをイオン注入し、さらに、注入後の熱処理によって光学的に活性化させる必要があるが、完全な活性化

(100%活性化)は未だ実現していない。本研究では、イオン注入によってドーピングしたPrの熱処理による光学的活性を詳しく調べるため、GaNにPrイオンを注入し、さまざまな温度条件での熱処理を行い、フォトルミネッセンス測定によりPr発光強度を調べた。また、活性化率がさらに向上する手段として、高温でのイオン注入を検討した。

(2) ナノスケール領域に注入したNd/Prの発光特性

これまで行われてきたLnドーピングGaNに関する研究は、主に発光デバイス(LED)に向けた研究であったため、発光層の大面积化や高濃度化が中心的課題であった。そのため、ナノスケール領域に注入されたLnの発光特性に関しては未知であった。そこで、本研究では、ナノスケール領域にイオン注入したNd・Prの室温での発光特性を調べた。具体的には、図2に示すように、電子ビーム描画を用いてイオン注入マスクを形成し、ナノスケールの注入領域を形成し、その後、熱処理を行うことで光学的に活性化させた。作製した試料に対し、波長可変の共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡(CFM)(図3)を用いて、共鳴励起条件の探索、励起光波長による発光スペクトル変化、励起光強度依存性、発光遷移寿命を調べると共に、光学的に検出可能なLn数を見積もった。

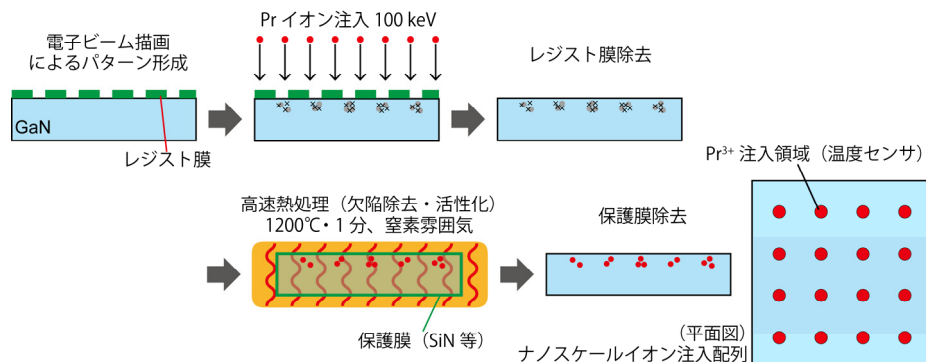


図2. ナノスケール領域にPrイオンを注入する方法(Ndの場合も同様)

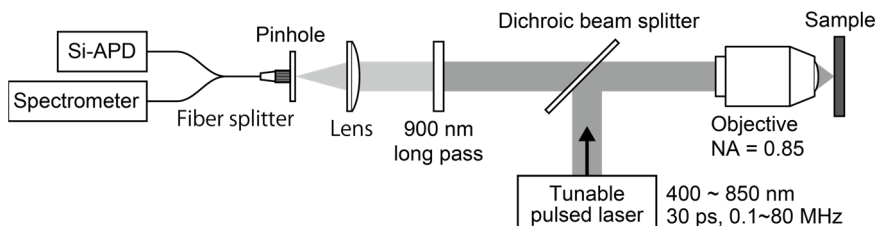


図3. 共焦点レーザー走査型蛍光顕微鏡(CFM)の模式図(Nd検出の場合)。Pr検出の場合、900 nm ロングパスフィルタではなく650 nm バンドパスフィルタ(13 nm バンド)を使用

(3) PrドーピングGaN量子センシング(ナノスケール温度計測)

項目(2)において作製した試料(ナノスケール領域にPrをイオン注入した試料)に対し、温度変化に伴うPr発光スペクトル変化を詳細に調べ、温度計測手法について検討した。

さらに、ナノスケール温度計測(量子センシング)の電氣的制御を行うため、Prドーピング量子センサーデバイスを作製し、電流注入によるPr発光(Pr-EL発光)の観測、および、それを利用した温度計測を検討した。具体的には、AlGaIn/GaN高電子移動度トランジスタ(High Electron Mobility Transistor: HEMT)およびn型ショットキーバリアダイオード(Schottky Barrier Diode: SBD)の2種類であり、試料作製プロセスは以下の通りである。

[PrドーピングGaN HEMT] サファイア基板上AlGaIn/GaNエピタキシャル膜(AlGaIn厚さ25 nm)に対し、電子ビーム描画を用いてイオン注入用マスクを形成し、 $1\ \mu\text{m}\ \phi$ ドットアレイ(間隔 $10\ \mu\text{m}$)状にPrイオンを注入した。AlGaIn/GaN 2次元電子ガス層にPrがよく注入される条件として、注入エネルギーを110 keV、注入量を $1 \times 10^{14}\ \text{cm}^{-2}$ とした。Prイオン注入後、SiN保護膜を形成し、 N_2 雰囲気中 1200°C 、1分の熱処理を行ってPrを活性化させ、その後SiN膜を除去、電子ビーム描画を用いてゲート電極およびソース・ドレイン電極の構造を形成し、電子ビーム蒸着によって各電極(ゲート=Ni/Au、ソース・ドレイン=Ti/Al/Ti/Au)を形成することで、PrドーピングGaN HEMTを作製した。

作製したデバイスは、まず、半導体パラメータアナライザーを用いて基本的な電流・電圧(I-V)特性を確認した後、CFMを用いて注入したPrの光学的活性の確認を行った。その後、デバイスに電圧ないしは電流を印加した状態でのフォトルミネッセンス(PL)測定、そして電流注入発光(エレクトロルミネッセンス: EL)測定を実施した。

4. 研究成果

(1) イオン注入した Pr の高効率活性化

イオン注入した Pr の光学的活性化における注入時温度の影響を室温~1200°Cという広い温度範囲で系統的に明らかにし、高温イオン注入および熱処理によって引き起こされる欠陥反応によって光学活性（発光強度）が大きく変化することを明らかにした (S.-I. Sato *et al.*, Nucl. Instr. Meth. B 479 (2020).).

サファイア基板もしくは GaN 基板上的の高純度半絶縁性 GaN エピタキシャル膜に、ランタノイドの一種であるプラセオジウム (Pr) を室温~1200°Cの範囲でイオン注入し、その後、赤外線加熱炉にて N₂ 雰囲気中 1200°C・1 分の熱処理を実施した。熱処理時の GaN 表面荒れを防ぐため、マグネトロンスパッタ法により 50 nm SiN 膜を形成した。熱処理後に HF 溶液に浸漬して SiN 膜を除去した。それぞれのプロセス後に PL 測定を行い、Pr 起因の発光強度 (4f 殻 $^3P_0 \rightarrow ^3F_2$ 遷移発光による 650 nm 付近の発光強度) を比較した。励起光は 266 nm (GaN バンド間励起)、532 nm (バンド内励起) とし、測定温度は全て室温とした。

結果を図 4 に示す。注入直後 (■) では、600°C 以上で Pr 起因発光が見られ、注入温度の上昇とともに発光強度が指数関数的に増大することから、活性化率が向上していることがわかる。その後、1200°C 熱処理を施すと、全ての試料から注入直後よりも高い Pr 起因発光が見出されたが、その発光強度はイオン注入時の温度が高いときほど低下するという結果になった (●)。SiN 膜除去後も同じ結果となった (△)。なお、励起光条件の違い (266 nm と 532 nm) この結果は、熱処理後の Pr 活性化率は、イオン注入温度が高くなるほどむしろ低下していることを示唆している。これは、高温イオン注入によって Pr 活性化を阻害するような欠陥種 (Pr 関連複合欠陥など) が形成されているためであると考えられる。本成果は、Pr の発光中心としての応用を目指した知見のみならず、照射欠陥に関する材料科学的に重要な知見を含んでおり、GaN パワーエレクトロニクスにおいて要求される Mg イオン注入に対しても意義のある成果となった。

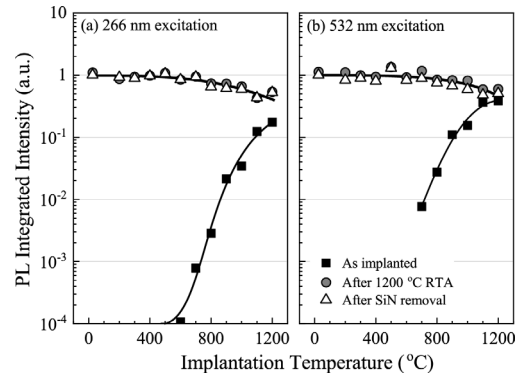


図 4. イオン注入した Pr の発光強度と注入温度の関係 (S.-I. Sato *et al.*, Nucl. Instr. Meth. B 479 (2020).). ■: 注入後、●: 1200°C 熱処理後、△: SiN 膜除去後。励起光波長は (a) 266 nm、(b) 532 nm

(2) ナノスケール領域に注入した Nd/Pr の発光特性

GaN のナノスケール領域にイオン注入したプラセオジウム (Pr) の赤色発光およびネオジウム (Nd) の近赤外発光を高コントラストで検出することに成功し、その発光特性を詳細に明らかにした (S.-I. Sato *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys. 58 (2019); S.-I. Sato *et al.*, Opt. Mater. Express 10 (2020)). 高コントラスト検出を実現するため、共鳴励起条件、励起光強度依存性、発光遷移寿命の注入サイズ依存性などを詳細に明らかにした。

図 5(a)-(e) に示すように、GaN のナノスケール領域にドーパした Nd の発光検出を達成し、Nd 注入領域の大きさ (Nd 注入数) に対する発光強度の変化が、理論的に得られる発光強度変化と一致していることを確認した (図 5(f)). このことは、ナノスケール領域での発光においても、Nd の量子効率や活性化が変化しないことを示唆している。また、図 5(g) に示すように、Nd 発光スペクトルにも変化がないことを明らかにした。以上の詳細な光学特性の解明により、最小約 3600 個の Nd からの発光の高コントラスト検出に成功しており、これは単一光子源応用や量子センサー応用に向けた重要なマイルストーンであるのみならず、新規バイオイメージング材料として生命現象の解明や創薬・診断への貢献が期待できる成果である。

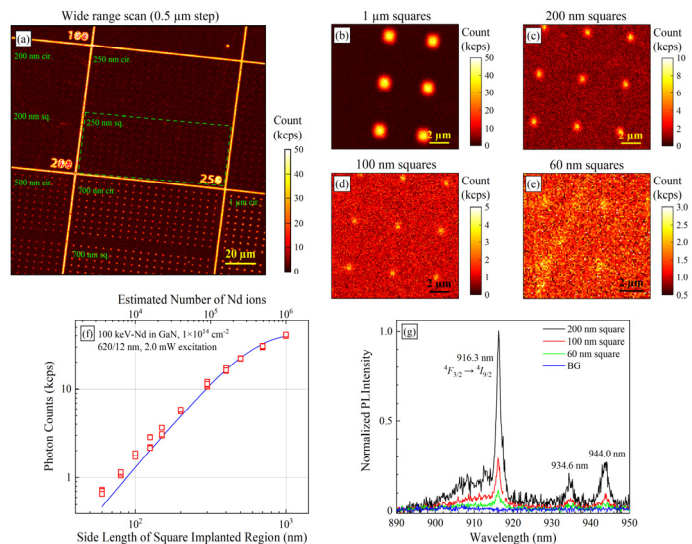


図 5. (a) GaN にイオン注入した Nd の広域 2 次元発光分布、(b)-(e) 詳細分布 (注入領域 1 μm²~60 nm²)、(f) 注入領域 (注入 Nd 数) に対する発光強度の変化 (赤 □) と、理論計算フィット (実線)、(g) ナノ注入領域の Nd からの発光スペクトル (S.-I. Sato *et al.*, Opt. Mater. Express 10 (2020).)

(3) Pr ドープ GaN 量子センシング (ナノスケール温度計測)

高純度 GaN の微小領域(100×100 nm²)に Pr をイオン注入し(注入エネルギー100 keV、注入量1×10¹⁴ cm⁻²)、高速熱処理(N₂雰囲気中1200°C、1分)によって活性化させた後、CFM(励起光波長525 nm)を用いて注入領域の発光スペクトルを取得した。また、試料の温度を変化させ、Pr 微小注入領域の発光スペクトルの変化を調べた。

図6は、GaN 上の100×100 nm²の領域に約1万個イオン注入した Pr の発光スペクトルの温度による変化を示している。Pr³⁺の4f 殻内発光遷移(³P₀→³F₂遷移)に起因する発光ピークが650 nmと652 nmに生じるが、高温になると650 nm ピークの相対強度が増加する。このピークの相対強度は20~50°Cの範囲では線形的に変化する。従って、2つの発光ピークの相対強度比から、ナノスケール領域の温度センシング(すなわち量子センシング)が可能となる(特願2021-032894、2021-032895)。

図6はPrへの直接励起(共鳴励起)を利用して高コントラストの発光検出およびナノスケール温度計測を実証した結果であるが、本研究ではさらに、266 nm 光照射によるPr発光でも同様の温度計測手法が可能であることも明らかにした。266 nm 光励起の場合、GaN バンド間励起によって生成した電子・正孔対の再結合エネルギーを受けて発光する(間接励起)が、原理的に電流注入励起と同等であることから、Pr量子センサーの電気的制御が実現可能であることを示す結果であるといえる。本手法はまた、レーザーや高周波が不要な極めて簡便な量子センシング手法を提案するものであり、実用上の意義も大きい。

次に、Pr ドープ GaN 量子センシングの電気制御を行うために、Pr ドープ GaN HEMT を作製し、ゲート電圧印加時の電流・電圧特性(I_D-V_D特性)を調べたところ、妥当なI_D-V_D特性が得られた。Pr ドープ GaN HEMT の典型的な2次元発光分布(CFM)像を図7に示す。ここでは、ソース・ドレイン間に電流は流れておらず(すなわちドレイン電流I_D=0)、励起光525 nmを照射してPrを励起している。また、650 nm バンドパスフィルタ(13 nm バンド)を用いて、Pr 起因の発光のみを取得している。図中の赤丸がPr注入領域であり、高いコントラストでHEMT内にドープしたPrの光学的検出を達成した。なお、得られた発光が確かにPr 起因であることは発光スペクトルから確認している。

ゲート電圧V_Gを一定にして(例えばV_G=+1V)、ドレイン電圧V_Dを上げていくとドレイン電流I_Dが発生する。その状態において励起光を止め、さまざまなV_D条件でPrの電流注入発光(EL)観測を試みたが、今回は明瞭なPr-EL発光を観測するに至らなかった。これは、イオン注入時に形成された照射欠陥が熱処理後も残留しているためPr注入領域が高抵抗化しており、十分な電流がPr注入領域を流れず、EL発光を引き起こす衝突イオン化が生じていないためであると考えられる。また、デバイス動作による発熱により試料は急激に高温になるため、試料や試料台の変形によりPr注入領域に焦点を合わせることが難しいといった技術的な問題をクリアする必要がある。

以上のことから、Pr ドープ GaN HEMT 量子センサーの実現のためには、衝突イオン化を引き起こすための適切なデバイス構造設計と、イオン注入領域の低抵抗化が不可欠であることがわかった。低抵抗化のためには、熱処理条件などをさらに最適化する必要がある。また、電流印加による発熱を低減しつつ、試料を冷却するための装置設計などを進める必要がある。

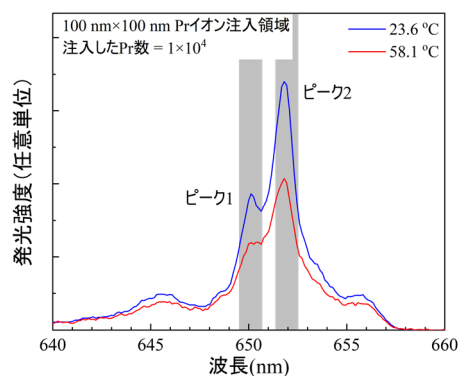


図6. Pr 注入領域(100×100 nm²、注入数は約1万個)の発光スペクトル。測定時の温度は、青:23.6°C、赤:58.1°C

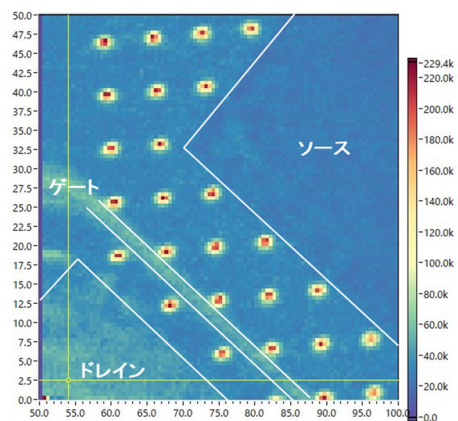


図7. Pr ドープ GaN HEMT の2次元発光分布。約7 μm 間隔の1 μmφ Pr 注入領域が明瞭にあらわれている。ソース・ドレイン間距離は20 μm

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shin-ichiro Sato, Manato Deki, Tomoaki Nishimura, Hiroshi Okada, Hirotaka Watanabe, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Hiroshi Amano, and Takeshi Ohshima	4. 巻 479
2. 論文標題 Photoluminescence properties of implanted Praseodymium into Gallium Nitride at elevated temperatures	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Inst. and Methods in Physics Research B	6. 最初と最後の頁 7-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nimb.2020.06.007	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 Shin-ichiro Sato, Manato Deki, Hirotaka Watanabe, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Tomoaki Nishimura, Barnt C. Gibson, Andrew D. Greentree, Hiroshi Amano, and Takeshi Ohshima	4. 巻 10
2. 論文標題 Optical properties of neodymium ions in nanoscale regions of gallium nitride	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optical Materials Express	6. 最初と最後の頁 2614-2623
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OME.401765	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 該当する
1. 著者名 Sato Shin-ichiro, Deki Manato, Nakamura Tohru, Nishimura Tomoaki, Stavrevski Daniel, Greentree Andrew D., Gibson Brant C., Ohshima Takeshi	4. 巻 58
2. 論文標題 Photoluminescence properties of praseodymium ions implanted into submicron regions in gallium nitride	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 051011 ~ 051011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab142b	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 R. A. Parker, N. Dontschuk, S.-I. Sato, C. T.-K. Lew, P. Reineck, A. Nadarajah, T. Ohshima, B. C. Gibson, S. Castelletto, J. C. McCallum, and B. C. Johnson,	4. 巻 130
2. 論文標題 Infrared erbium photoluminescence enhancement in silicon carbide nano-pillars	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 145101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0055100	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

[学会発表] 計13件(うち招待講演 2件/うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Shin-ichiro Sato, Shuo Li, Manato Deki, Tomoaki Nishimura, Hirotaka Watanabe, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Brant C. Gibson, Andrew D. Greentree, Hiroshi Amano, and Takeshi Ohshima
2. 発表標題 Enhanced Photon Extraction from Praseodymium Ions Implanted with Gallium Nitride NanopillarsARS
3. 学会等名 4th QST International Symposium (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shin-ichiro Sato, Manato Deki, Tomoaki Nishimura, Shuo Li, Hirotaka Watanabe, Shugo Nitta, Yoshio Honda, Andrew D. Greentree, Brant C. Gibson, Hiroshi Amano, and Takeshi Ohshima
2. 発表標題 Quantum Sensing Using Lanthanoid Doped Gallium Nitride
3. 学会等名 13th International Symposium on Advanced Plasma Science and its Applications for Nitrides and Nanomaterials / 14th International Conference on Plasma-Nano Technology & Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Shin-ichiro Sato, Manato Deki, Tomoaki Nishimura, Hiroshi Okada, Takeshi Ohshima
2. 発表標題 Photoluminescence Properties of Implanted Praseodymium into Gallium Nitride at Elevated Temperature
3. 学会等名 23rd International Workshop on Inelastic Ion-Surface Collisions (IISC-23) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin-ichiro Sato, Manato Deki, Tomoaki Nishimura, Brant C. Gibson, Andrew D. Greentree, Takeshi Ohshima
2. 発表標題 Luminescence Properties of Implanted Nd Ions into Submicron Regions of GaN Semiconductor
3. 学会等名 29th Annual Meeting of MRS-J (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shin-ichiro Sato, Manato Deki, Shuo Li, Andrew D. Greentree, Brant C. Gibson, Tomoaki Nishimura, Takeshi Ohshima
2. 発表標題 Photon Emission Enhancement of Praseodymium Ions Implanted with GaN Nanopillars
3. 学会等名 International Conference on Nanoscience and Nanotechnology (ICONN) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 真一郎、出来 真斗、Shuo Li、渡邊 浩崇、新田 州吾、本田 善央、西村 智朗、Brant C. Gibson、Andrew D. Greentree、天野 浩、大島 武
2. 発表標題 窒化ガリウムナノピラー中プラセオジウム(Pr)の室温での発光強度増幅
3. 学会等名 2020年 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤 真一郎
2. 発表標題 ワイドギャップ半導体の単一光子発生欠陥を利用した量子センシング
3. 学会等名 第10回ナノ構造・エピタキシャル成長講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐藤 真一郎、出来 真斗、中村 徹、西村 智朗、大島 武
2. 発表標題 窒化ガリウムの微小領域にイオン注入したプラセオジウム(Pr)の発光観測
3. 学会等名 2018年 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	Sato Shin-ichiro、Deki Manato、Nakamura Tohru、Nishimura Tomoaki、Stavrevski Daniel、Gibson Brant、Ohshima Takeshi
2. 発表標題	Photoluminescence Properties of Praseodymium Ions Implanted into Micro-Regions in Gallium Nitride
3. 学会等名	International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN 2018) (国際学会)
4. 発表年	2018年

1. 発表者名	佐藤 真一郎、大音 隆男、大島 武
2. 発表標題	NdドーブGaNフォトリック結晶L3共振器の近赤外発光特性
3. 学会等名	2022年第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	佐藤 真一郎、出来 真斗、西村 智朗、渡邊 浩崇、新田 州吾、本田 善央、天野 浩、A.D. Greentree、B.C. Gibson、大島 武
2. 発表標題	窒化ガリウム中プラセオジムの発光を利用したナノスケール領域温度計測
3. 学会等名	2021年 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	佐藤 真一郎
2. 発表標題	窒化ガリウムを用いたナノメートル領域の温度計測
3. 学会等名	R3年度量研新技術説明会
4. 発表年	2021年

1. 発表者名 佐藤 真一郎、大音 隆男、大島 武
2. 発表標題 イオン注入したNdとGaNフォトリック結晶共振器の光学カップリング
3. 学会等名 第22回「イオンビームによる表面・界面の解析と改質」特別研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 温度検出装置、温度センサ、温度検出方法、および温度検出プログラム	発明者 佐藤真一郎、出来真斗、西村智朗	権利者 量研、名古屋大学、法政大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-032894	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 温度センサ、温度検出装置、温度検出方法、温度検出プログラム、および温度センサの製造方法	発明者 佐藤真一郎、出来真斗、西村智朗	権利者 量研、名古屋大学、法政大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-032895	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 温度検出装置、温度センサ、温度検出方法、および温度検出プログラム	発明者 佐藤真一郎、出来真斗、西村智朗	権利者 量子科学技術研究開発機構
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/8900	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 温度センサ、温度検出装置、温度検出方法、温度検出プログラム、および温度センサの製造方法	発明者 佐藤真一郎、出来真斗、西村智朗	権利者 量子科学技術研究開発機構
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/8901	出願年 2022年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

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
研究分担者	西村 智朗 (Nishimura Tomoaki) (80388149)	法政大学・イオンビーム工学研究所・教授 (32675)	
研究分担者	出来 真斗 (Deki Manato) (80757386)	名古屋大学・工学研究科・准教授 (13901)	

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			
オーストラリア	RMIT大学	メルボルン大学		
ポーランド	ポーランド科学アカデミー			