

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820113

研究課題名(和文)希土類添加窒化物半導体の希土類周辺構造制御による高励起効率化

研究課題名(英文) Fabrication of highly efficient luminescence of rare-earth doped nitride semiconductors by control of local structures around rare-earth ions

研究代表者

小泉 淳 (KOIZUMI, ATSUSHI)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30418735

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、Eu添加窒化物半導体による赤色発光デバイスにおいて高い励起効率を得るために、不純物共添加によるEuイオン周辺局所構造制御を目的とした。共添加不純物として、Zn(アクセプタ)とO(ドナー)を同時に添加することで、新たな発光中心が形成されることを見出した。さらに、共添加を効果的に行うための試みとして、成長温度依存性と極性に対する依存性を調べた。また、Eu添加GaNにおいて、Euがバンド構造に形成する欠陥準位をラプラスDLTS法により評価することで、Eu-N空孔-Ga空孔による複合欠陥の形成が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The effects of co-doping on local structures around Eu ions in Eu-doped GaN were investigated to obtain highly efficient excitation of the Eu ions for the application of red light emitting devices using nitride semiconductors. In Eu,Zn,O codoped GaN, a new Eu luminescent center was obtained, while the luminescent center was not observed in Eu-doped GaN and Eu,Zn-codoped GaN. The growth temperature and GaN polarity dependence of the doping of Eu and luminescence properties were investigated. Laplace deep-level transient spectroscopy spectra implied the formation of Eu, N vacancy, and Ga vacancy related defect complex in Eu-doped GaN.

研究分野：工学

キーワード：希土類添加半導体 窒化物半導体 ユウロピウム 有機金属気相エピタキシャル法 赤色発光ダイオード 半導体物性 DLTS 半導体物性

1. 研究開始当初の背景

窒化物半導体はワイドギャップを有し、青色や緑色発光ダイオード(LED)を構成する半導体材料として実用化され、街頭で見かけられるような大画面フルカラーLEDディスプレイなどに応用されている。この窒化物半導体を用いて、さらに赤色LEDが実現すれば、同一材料による光の三原色発光が揃うため、半導体微細加工技術を生かしたモノリシック型高精度LEDディスプレイなどへの応用が期待できる。既に実用化されている青色や緑色LEDでは、発光層に $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ 多重量子井戸構造が用いられており、In組成を増加させてバンドギャップを小さくすることで、物性としては赤色LEDも可能である。しかしながら、高いIn組成とすることで下地層となるGaN層との格子定数差が増大し、ミスフィット転位や相分離が生じる。また、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ は圧縮歪みを受けるため、構成元素のイオン性に起因した分極が相殺されず、ピエゾ分極に由来する内部電界が発生する。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 量子井戸内では、その内部電界により電子と正孔が空間的に分離され、その結果として、発光再結合確率が低くなる。

これに対して、本研究ではGaN中に添加された希土類イオンによる発光色の制御を提案している。絶縁体に不純物として添加された希土類元素の発光特性はよく知られており、母体材料の種類に大きく左右されず、各元素に特有の波長で、鋭くかつ温度依存性の極めて小さな4f殻内遷移に起因する発光スペクトルを示す。このような希土類元素特有の発光特性を絶縁体ではなく半導体を母体として電流注入により実現することは、実用上極めて魅力的である。赤色発光の実現には、ブラウン管タイプのカラーテレビの赤色蛍光体にも使われてきた3価のユウロピウム(Eu)イオンが有用である。GaNにEuを添加することで、半導体のバンド端遷移とは一線を画する半値幅の狭いスペクトルを、電流注入により簡便に得られる。これまでにEu添加GaNを活性層とするLEDを作製し、室温赤色発光に成功している。近年、Eu添加GaN赤色LEDの発光効率、Euイオンの励起効率によって制限されていることがわかり、意図的な励起効率の増大方法が望まれている。

2. 研究の目的

GaNに添加されたEuの発光は、Euイオン周辺の原子配置(周辺局所構造)による結晶場の影響を受け、そのエネルギー準位がわずかに変化する。そのため、Euイオンが窒素空孔などの点欠陥との複合体を形成することによって、さまざまな発光中心が形成される。本研究では、GaNに添加したEuイオンの励起効率を増大させるため、Euイオン周りの局所構造を不純物添加により意図的に形成すること、さらにEuイオンを導入す

ることによってできる高い励起効率に寄与するトラップ準位を電氣的に評価することを目的とした。

3. 研究の方法

Eu添加GaNは、有機金属気相エピタキシャル装置によりc面サファイア基板上に成長した。III族原料、V族原料、Zn原料には、それぞれトリメチルガリウム(TMGa)、アンモニア(NH_3)、ジエチルジンク(DEZn)を用いた。Eu原料には、ビスノルマルプロピルシクロペンタジエニルユウロピウム($\text{EuCp}^{\text{pm}_2}$)を用いた。この原料は、分子中に酸素を含まないため、意図的に酸素共添加の影響を調べることができる。意図的な酸素添加には、Ar希釈 O_2 ガスを用いた。作製した試料構造は、サファイア基板上に低温GaNバッファ層を30nm、無添加GaN層を1.7 μm 成長した後、Euを含むGaN活性層を300nm程度成長した。

発光特性評価として、フォトルミネッセンス(PL)測定を行った。Eu濃度は、SPRING-8の放射光を利用して測定した蛍光X線強度を二次イオン質量分析(SIMS)測定した標準試料と比較して求めた。発光中心の種類は、CEES(combined excitation-emission spectroscopy)測定により調べた。CEES測定では、色素レーザーを用いて励起エネルギーを変化させながら発光スペクトルを測定することで、 Eu^{3+} イオンの 7F_0 - 5D_0 遷移に相当する光エネルギーでEu発光中心を光直接励起し、 5D_0 - 7F_2 遷移による発光スペクトルを観測することによって励起-発光スペクトルの2次元マッピングを得る。このとき、 7F_0 - 5D_0 遷移は、結晶場による分裂がないため、Eu発光中心を励起エネルギーの違いにより識別することができる。

トラップ準位の電氣的測定には、ラプラスDLTS法により行った。DLTS法では、ショットキーダイオードやpn接合ダイオードに逆バイアスを印可し、パルス電圧を加えることでトラップ準位にキャリアを捕獲させ、再び逆バイアスを印可した際のキャパシタンス過渡応答の温度変化を調べることで、トラップ準位の深さや捕獲断面積を調べることができる。このとき、複数種類のトラップ準位が関与するキャパシタンスの過渡応答は、指数関数の和で表される。ラプラスDLTS法では、キャパシタンス過渡応答の測定データをラプラス逆変換することで、測定した温度における複数のトラップ準位からのキャリア放出レートをトラップ準位の数を仮定することなく求めることができる。

4. 研究成果

(1) Eu,Zn,O共添加GaNにおける新しい発光中心の形成

Eu添加GaNの発光強度は、注入されたキャリアのエネルギーが母体材料のGaNからEu発光中心に移る励起効率によって制限さ

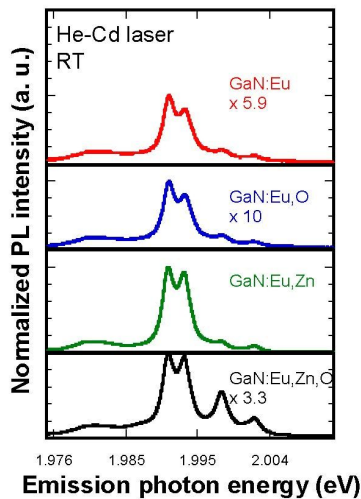


図 1: 共添加元素の異なる Eu 添加 GaN 試料の PL スペクトル。

れている。これまでに Mg などの不純物添加により、新たな発光中心の形成と高い励起効率による発光強度の増大は可能であることが示されていたものの、GaN 系 LED の p 型層を活性化するために必要な N₂ 雰囲気アニールを行うと Eu-Mg 発光中心に由来した発光が消光してしまう問題が生じる。そこで、キャリアを捕獲しやすい新たな Eu 発光中心の形成を目的として、GaN にアクセプタである Zn とドナーである O の共添加を行った。

図 1 に Eu 添加 GaN、Eu,O 共添加 GaN、Eu,Zn 共添加 GaN、及び Eu,Zn,O 共添加 GaN の PL スペクトルを示す。PL スペクトルより、Zn に加えて O を共添加した場合にのみ、1.998 eV と 2.003 eV 付近に新たな発光ピークが観測された。これらのピークが新しい Eu 発光中心に起因することを CEES 測定により調べた。図 2 に Eu 添加 GaN と Eu,Zn,O 添加 GaN の CEES 測定により得られた 2 次元マッピングを示す。図 2(b) に示すように、PL ピークと同様な発光エネルギー位置に、Eu 添加 GaN では観測されない発光を示していることから、新たな発光中心が形成されていることがわかる。

Eu,Zn,O 共添加 GaN において新たに形成された発光中心による発光は、図 1 で示したように Eu,Zn 共添加 GaN では観測されていない。このことから、酸素を意図的に導入することで Eu-O-Zn 発光中心が形成されることが示唆された。また、相対的な励起効率を光直接励起による発光特性と He-Cd レーザーによる母体 GaN を介した発光特性との比較により求めた。その結果、新たな発光中心の励起効率は、従来の OMVPE4 と同程度であることがわかった。

Eu 添加 GaN において、空孔密度や共添加する Zn や O のドーピング密度は、成長温度に対する依存性がある。本研究で用いた Eu 原料では、従来の Eu 原料 (Eu(DPM)₃) での 1030°C よりも低温の成長温度 960°C において、ブロードな PL スペクトルであるもの

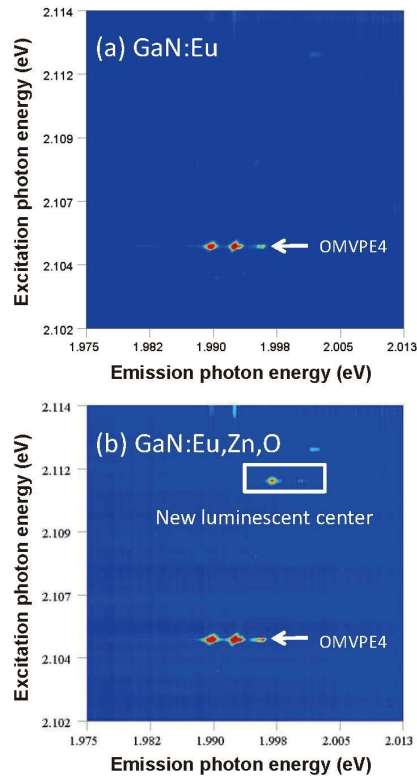


図 2: CEES 測定により得られた 2 次元マッピング。(a) Eu 添加 GaN (GaN:Eu) (b) Eu,Zn,O 共添加 GaN (GaN:Eu,Zn,O)

の、積分強度の増大が観測された。また、Eu,Zn,O 共添加 GaN においては、成長温度 700°C まで下げることで新たな発光中心が観測された。SIMS 測定の結果、Zn 濃度が発光中心形成のボトルネックとなっていることがわかった。また、低温成長した Eu 添加 GaN や Eu,Zn,O 共添加 GaN 試料では、XANES (X-ray absorption near edge structure) 測定により二価の Eu イオンの存在を示すスペクトルが観測され、発光強度低下の原因と考えられる。そこで、従来の Ga 極性 GaN よりも不純物濃度の増加が期待できる N 極性 GaN への Eu 添加を行った。しかしながら、N 極性 GaN の Eu ドーピング効率は、同時に成長した Ga 極性 GaN と比べて著しく低くなることがわかった。その原因として、イオン半径の大きな Eu イオンが GaN に取り込まれるためには、N 空孔が関与した成長メカニズムの違いが考えられる。

(2) ラプラス DLTS 測定による Eu 添加 GaN の電氣的評価

GaN 中の Eu イオンは、添加した Eu に関連したトラップ準位を介してエネルギーが輸送されることで効率よく励起されると考えられている。Eu 添加 GaN 中の Eu に関連するトラップ準位からは、複数の準位からなるブロードな DLTS スペクトルが観測される。これらの準位を高分解能な DLTS 測定法であるラプラス DLTS 測定により分離した。図 3 に 165 K におけるラプラス DLTS スペクトル

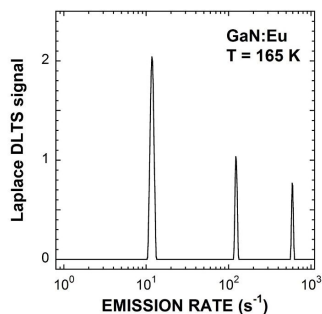


図3: Eu 添加 GaN の 165 K におけるラプラス DLTS スペクトル。

を示す。DLTS 測定では、この温度領域付近において発光中心 OMVPE4 に関連したトラップ準位のピークが現れる。ラプラス DLTS 測定により、非常に近い放出レートを持つ 3 つのトラップ準位に分離することに成功した。温度変化による放出レートの変化から活性化エネルギーを調べたところ、放出レートの大きなピークから順に、0.13, 0.18, 0.077 eV であった。ラプラス DLTS スペクトルが鋭いピークを示すことから、OMVPE4 に関連したトラップ準位は、比較的単純な欠陥構造であると考えられる。観測されたピークの数 が 3 つであること、その強度比がおおよそ 1 : 1 : 2 であること、さらにそれぞれの欠陥形成確率が同程度であり、これまで報告されているように窒素空孔 (V_N) とガリウム空孔 (V_{Ga}) が関連していることを考慮すると、Eu の第 1 近接に V_N 、その隣に V_{Ga} が配置された組み合わせの複合欠陥によるトラップ準位であることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 8 件)

1. W. Zhu, B. Mitchell, D. Timmerman, A. Uedono, A. Koizumi, and Y. Fujiwara, "Enhanced photo/electroluminescence properties of GaN:Eu through optimization of the growth conditions and defect environment", *APL Materials*, 4, 056103 (2016). (査読有)
DOI: 10.1063/1.4950826
2. J. Wang, A. Koizumi, Y. Fujiwara, and W. M. Jadwisienczak, "Study of defects in GaN in situ doped with Eu³⁺ ion grown by OMVPE", *Journal of Electronic Materials*, 45, 2001-2007 (2016). (査読有)
DOI: 10.1007/s11664-016-4337-4
3. B. Mitchell, D. Timmerman, J. Poplawsky, W. Zhu, D. Lee, R. Wakamatsu, J. Takatsu, M. Matsuda, W. Guo, K. Lorenz, E. Alves, A. Koizumi, V. Dierolf, and Y. Fujiwara, "Utilization of native oxygen in Eu(RE)-doped GaN for

enabling device compatibility in optoelectronic applications", *Scientific Reports*, 6, 8808/1-8, (2016). (査読有)

DOI: 10.1038/srep18808

4. M. Ishii, A. Koizumi, and Y. Fujiwara, "Nanoscale determinant to brighten up GaN:Eu red light-emitting diode: Local potential of Eu-defect complexes", *Journal of Applied Physics*, 117, 155307/1-7 (2015). (査読有)
DOI: 10.1063/1.4918662
5. A. Koizumi, K. Kawabata, D. Lee, A. Nishikawa, Y. Terai, H. Ofuchi, T. Honma, and Y. Fujiwara, "In situ Eu doping into Al_xGa_{1-x}N grown by organometallic vapor phase epitaxy to improve luminescence properties", *Optical Materials*, 41, 75-79 (2015). (査読有)
DOI: 10.1016/j.optmat.2014.11.005
6. M. Ishii, A. Koizumi, and Y. Fujiwara, "Enhancement in light efficiency of a GaN:Eu red light-emitting diode by pulse-controlled injected charges", *Applied Physics Letters*, 105, 171903/1-4 (2014).
DOI: 10.1063/1.4900840
7. B. Mitchell, J. Poplawsky, D. Lee, A. Koizumi, Y. Fujiwara, and V. Dierolf, "The role of donor-acceptor pairs in the excitation of Eu-ions in GaN:Eu epitaxial layers", *Journal of Applied Physics*, 115, 204501/1-7 (2014). (査読有)
DOI: 10.1063/1.4879253
8. 藤原康文, 小泉淳, "希土類添加 GaN と LED 応用", *レーザー研究*, 42, 211-215 (2014). (査読有)

〔学会発表〕(計 40 件)

1. Y. Fujiwara, T. Nunokawa, M. Matsuda, W. Zhu, T. Kojima, and A. Koizumi, "Valence state of Eu ions in Eu-doped GaN grown by organometallic vapor phase epitaxy", Workshop on Computational Nano-Materials Design and Realization for Energy-Saving and Energy-Creation Materials, 大阪大学 (大阪府・吹田市), March 25-26, 2015.
2. 布川拓未, 小泉淳, 松田将明, 朱婉新, 藤原康文, "Eu 添加 GaN における 2 価 Eu イオンの出現とその制御", 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学大岡山キャンパス (東京都・目黒区), 2016 年 3 月 19-22 日.
3. W. Zhu, M. Ishii, A. Koizumi, and Y. Fujiwara, "Relationship between electrical and luminescence properties of GaN/Eu-doped GaN multiple-nanolayer structures investigated with impedance spectroscopy", 第 63 回応用物理学会春季学

- 術講演会, 東京工業大学大岡山キャンパス (東京都・目黒区), 2016年3月19-22日.
4. 布川拓未, 小泉淳, 松田将明, 朱婉新, 藤原康文, “Eu添加 GaNにおけるEuイオンの価数制御”, 日本材料学会 平成 27 年度第 4 回半導体エレクトロニクス部門委員会第 1 回講演会・見学会, 福井大学(福井県・福井市), 2016年1月30日.
 5. Y. Fujiwara, T. Inaba, B. Mitchell, T. Kojima, and A. Koizumi, “Towards highly efficient wavelength-stable red light-emitting diodes using Eu-doped GaN”, The 2nd International Workshop on Luminescent Materials 2015, 京都大学(京都府・京都市), December 12-13, 2015.
 6. T. Shigemune, A. Koizumi, and Y. Fujiwara, “Separation of Eu-related levels in Eu-doped GaN by Laplace deep level transient spectroscopy”, The 19th SANKEN International, The 14th SANKEN Nanotechnology Symposium, The 3rd KANSAI Nanoscience and Nanotechnology, The 11th Handai Nanoscience and Nanotechnology International Symposium, 大阪大学(大阪府・吹田市), December 7-9, 2015.
 7. A. Koizumi, Y. Maruyama, K. Okada, T. Shigemune, T. Kojima, and Y. Fujiwara, “Electrical properties of trapping level related to the excitation of Eu luminescent center in Eu-doped GaN investigated by thermally stimulated current”, The 6th International Symposium on Growth of III-Nitrides, アクトシティ浜松(静岡県・浜松市), November 8-13, 2015.
 8. Y. Fujiwara, M. Matsuda, W. Zhu, T. Kojima, and A. Koizumi, “Valence control of Eu ions in Eu-doped GaN grown by organometallic vapor phase epitaxy”, SPIE NanoScience + Engineering, San Diego, USA, August 9-13, 2015. (invited)
 9. W. Zhu, D. Timmerman, B. Mitchell, A. Koizumi, T. Gregorkiewicz, and Y. Fujiwara, “Characterization of GaN/Eu-doped multiple-nanolayer structures grown by low-temperature organometallic vapor phase epitaxy”, The 11th International Conference on Nitride Semiconductors, Beijing, China, August 30-September 4, 2015.
 10. A. Koizumi, S. Yamanaka, M. Matsuda, and Y. Fujiwara, “Luminescence properties of Eu-doped $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ grown by organometallic vapor phase epitaxy”, The 34th Electronic Materials Symposium, ラフォーレ琵琶湖(滋賀県・守山市), 2015年7月15-17日.
 11. Y. Fujiwara, T. Kojima, and A. Koizumi, “Towards highly efficient wavelength-stable red light-emitting diodes using Eu-doped GaN as an active layer”, Workshop on Frontier Photonic and Electronic Materials and Devices – 2015 German-Japanese-Spanish Joint Workshop –, 芝蘭会館(京都府・京都市), July 11-14, 2015.
 12. 朱婉新, B. Mitchell, D. Timmerman, 小泉淳, T. Gregorkiewicz, 藤原康文, “GaN/Eu添加 GaN ナノ構造によるEu発光効率の著しい増大”, 日本材料学会平成 27 年度第 2 回半導体エレクトロニクス部門委員会第 1 回研究会, 大阪工業大学うめきたナレッジセンター(大阪府・大阪市), 2015年7月11日.
 13. Y. Fujiwara, R. Wakamatsu, A. Koizumi, and V. Dierolf, “Present understanding of Eu luminescent centers in Eu-doped GaN”, Collaborative Conference on 3D and Materials Research 2015, Bussan, Korea, June 15-19, 2015.
 14. M. Masaaki, A. Koizumi, T. Kojima, D. Timmerman, Y. Fujiwara, “Formation of a new Eu luminescent center by Zn,O-codoping in Eu-doped GaN”, The 7th International Symposium on Advanced Plasma Science and Its Application for Nitrides and Nanomaterials, 名古屋大学(愛知県・名古屋), March 26-31, 2015.
 15. K. Okada, R. Wakamatsu, D. Timmerman, T. Kojima, A. Koizumi, and Y. Fujiwara, “Investigation of energy transfer processes in Eu-doped GaN by two-wavelength excited photoluminescence”, The 7th Asia-Pacific Workshop Semiconductors, Seoul, Korea, May 17-20, 2015.
 16. Y. Fujiwara, R. Wakamatsu, D. Timmerman, and A. Koizumi, “Energy migration between Eu luminescent sites in Eu-doped GaN”, The 7th Asia-Pacific Workshop Semiconductors, Seoul, Korea, May 17-20, 2015.
 17. 重宗翼, 小泉淳, 児島貴徳, 藤原康文, “Eu,O共添加 GaNにおけるトラップ準位のDLTS評価”, 第26回応用物理学会春季学術講演会, 東海大学湘南キャンパス(神奈川県・平塚市), 2015年3月11-14日.
 18. 藤原康文, D. Timmerman, 児島貴徳, 小泉淳, “希土類元素の精密ドーピングによる半導体光機能の制御”, 第25回光物性研究会, 2014年12月12-13日.
 19. A. Koizumi, K. Okada, T. Shigemune, T. Kojima, and Y. Fujiwara, “Temperature dependence of photoconductivity in Eu-doped GaN”, The 2nd KANSAI Nanoscience and Nanotechnology, ナレ

- ッジキャピタル コングレコンベンションセンター(大阪府・大阪市), December 10-11, 2014.
20. W. Zhu, D. Timmerman, B. Mitchell, A. Koizumi, and Y. Fujiwara, "Low-temperature growth of Eu-doped GaN by organometallic vapor phase epitaxy", 2014 MRS Fall Meeting, Symposium T: Wide-Bandgap Materials for Solid-State Lighting and Power Electronics, Boston, USA, November 30-December 5, 2014.
 21. Y. Fujiwara, R. Wakamatsu, D. Lee, B. Mitchell, A. Koizumi, and V. Dierolf, "Eu site-dependent energy transfer in red light emitter of Eu-doped GaN", 2014 MRS Fall Meeting, Symposium T: Wide-Bandgap Materials for Solid-State Lighting and Power Electronics, Boston, USA, November 30-December 5, 2014.
 22. Y. Fujiwara, D. Timmerman, T. Kojima, and A. Koizumi, "Europium-doped gallium nitride and its application to environmentally-friendly red light-emitters", The 1st International Symposium on Interactive Materials Science Cadet Program, ホテル阪急エキスポパーク(大阪府・吹田市), November 16-19, 2014. (invited)
 23. Y. Fujiwara, D. Timmerman, T. Kojima, and A. Koizumi, "Eu-doped GaN and its application to environmentally-friendly red light-emitting diodes", The 2nd International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology, Hanoi, Vietnam, October 29-November 1, 2014. (invited)
 24. 藤原康文, 児島貴徳, D. Timmerman, 小泉淳, "希土類元素を極める -希土類添加半導体から何が見えてくるのか-", 日本金属学会 2014 年秋期講演大会, 名古屋大学(愛知県・名古屋市), 2014 年 9 月 24-26 日.
 25. A. Koizumi, S. Kuwata, and Y. Fujiwara, "Optical and electrical properties of Eu,Si-codoped GaN grown by organometallic vapor phase epitaxy", Energy Materials Nanotechnology Open Access Week, Chengdu, China, September 22-25, 2014. (invited)
 26. 岡田浩平, 若松龍太, D. Timmerman, 児島貴徳, 小泉淳, 藤原康文, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学(北海道・札幌市), 2014 年 9 月 17-20 日.
 27. 松田将明, 朱婉新, 児島貴徳, 小泉淳, 藤原康文, "Eu 添加 GaN における Zn,O 共添加による新たな Eu 発光中心の形成", 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学(北海道・札幌市), 2014 年 9 月 17-20 日.
 28. 朱婉新, D. Timmerman, 小泉淳, 藤原康文, "Growth and characterization of Eu-doped GaN by low-temperature organometallic vapor phase epitaxy", 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 北海道大学(北海道・札幌市), 2014 年 9 月 17-20 日.
 29. 松田将明, 李東建, 高津潤一, 児島貴徳, 小泉淳, 藤原康文, "Eu 添加 GaN に及ぼす O 共添加の効果", 日本材料学会平成 26 年度第 2 回半導体エレクトロニクス部門委員会第 1 回研究会, 2014 年 7 月 26 日.
 30. 岡田浩平, 若松龍太, D. Timmerman, 児島貴徳, 小泉淳, 藤原康文, "二波長励起 PL 測定による Eu 添加 GaN のエネルギー輸送機構の解明", 日本材料学会平成 26 年度第 2 回半導体エレクトロニクス部門委員会第 1 回研究会, 2014 年 7 月 26 日.
 31. 藤原康文, 若松龍太, 小泉淳, "Eu 添加 GaN における赤色発光効率の Eu イオン局所構造依存性", 第 353 回蛍光体同学会講演会, 化学会館ホール(東京都・千代田区), 2014 年 6 月 6 日.(招待講演)
 32. Y. Fujiwara, D. Lee, A. Koizumi, B. Mitchell, and V. Dierolf, "Effects of impurity cooping on luminescence properties in Eu-doped GaN", The 5th International Workshop on Photoluminescence Rare Earths, San Sebastian, Spain, May 14-16, 2014. (invited)
- [図書] (計 1 件)
1. A. Koizumi, B. Mitchell, V. Dierolf, and Y. Fujiwara, "Growth of Eu-doped GaN and its Magneto-Optical Properties" in *Rare Earth and Transition Metal Doping of Semiconductor Materials: Synthesis, Magnetic Properties and Room Temperature Spintronics*, Woodhead Publishing, 2016. (in press)
- [その他]
ホームページ等
<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/mse6/>
- 6 . 研究組織
- (1) 研究代表者
小泉 淳 (KOIZUMI, Atsushi)
大阪大学・工学研究科・助教
研究者番号 : 3 0 4 1 8 7 3 5
 - (2) 研究分担者
なし
 - (3) 連携研究者
なし