

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 7 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2012～2016

課題番号：24226009

研究課題名(和文)希土類添加窒化物半導体における赤色発光機構の解明/制御による高輝度発光素子の開発

研究課題名(英文) Development of bright red light-emitting devices by elucidation and control of light-emitting mechanism in rare-earth-doped nitride semiconductors

研究代表者

藤原 康文 (FUJIWARA, Yasufumi)

大阪大学・工学研究科・教授

研究者番号：10181421

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 163,600,000円

研究成果の概要(和文)：従来の発光ダイオード(LED)とは全く発光原理が異なるEu添加GaNを用いた赤色LEDの開発に、我々は世界に先駆けて成功している。本研究では、計算機ナノマテリアルデザインとの強力な連携のもとに、Eu励起機構の解明と制御を可能とした。母体GaN励起によるEuイオンへのエネルギー輸送はEu発光中心の局所構造に大きく依存すること、Euイオンの近傍にドナーやアクセプタとなる不純物や結晶欠陥との複合体を配置することにより、エネルギー輸送効率が劇的に向上すること、ナノ超構造によりEu発光強度がさらに増大することを明らかにした。LEDを作製し、実用化レベルの高輝度化(1 mW以上)を世界で初めて達成した。

研究成果の概要(英文)：We succeeded in the development of a novel red light-emitting diode (LED) using Eu-doped GaN. The red emission is due to the intra-4f shell transitions of Eu<sup>3+</sup> ions, which is different in a conventional red LED using AlGaInP/GaAs. In this study, in collaboration with computational materials design, we elucidated and controlled light-emitting mechanism of Eu ions through the GaN host for bright red emission. Energy transfer efficiency to Eu ions from the GaN host has been optimized by purposeful engineering of local structures around Eu ions. The coexistence of donor- and acceptor-like impurities/defects in the vicinity of Eu ions made the energy transfer drastically effective. Furthermore, the Eu emission was greatly enhanced in nanostructures. Based on these findings, we were able to prepare an optimized bright LED with the nanostructure as an active layer, with the world record light output power of over 1 mW. Our LED is now ready for wide-scale industrial implementation.

研究分野：電気電子工学、電気電子材料工学

キーワード：電気・電子材料 薄膜 希土類元素 発光機能制御 発光ダイオード

### 1. 研究開始当初の背景

発光ダイオード(LED)はディスプレイや照明等、地球規模の「省エネ」や「CO<sub>2</sub>削減」など環境対策に貢献する「エコデバイス」として脚光を浴びている。このような背景の中、困難であった窒化物半導体を用いた赤色 LED の開発が強く求められている。我々は、従来の LED とは全く発光原理が異なる、ユロピウム(Eu)添加 GaN を用いた窒化物半導体赤色 LED の開発に、世界に先駆けて成功している。(図 1)

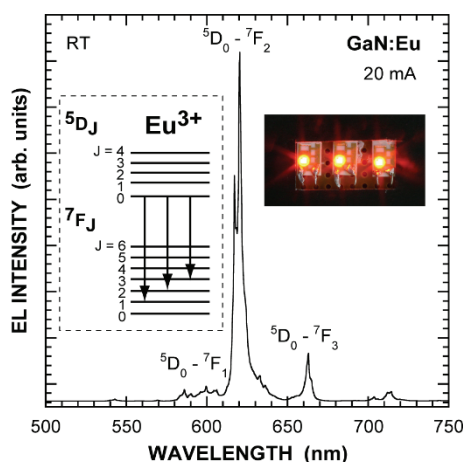


図 1 室温で動作する Eu 添加 GaN 赤色 LED

### 2. 研究の目的

本研究では、Eu 添加窒化物半導体における Eu 励起機構の解明と制御に立脚して、人工制御によるナノ超構造や自己組織化ナノ超構造を積極的に利用した高輝度化を実現し、実用化レベルの光出力 (1 mW) を示す「Eu 添加窒化物半導体を用いた赤色 LED」を実証することを目指す。

### 3. 研究の方法

本研究では、窒化物半導体へ添加された Eu を研究対象とし、Eu 特有の発光機能の究極を追求する。試料作製手法には原子層レベルでの結晶成長が可能な有機金属気相エピタキシャル(OMVPE)法を用い、下記の課題に取り組む。

- (1) Eu 原子周辺局所構造と発光機能との関連を明らかにし、原子レベルで制御された Eu 添加技術の更なる高度化を図る。また、励起・緩和に関わる、窒化物半導体母体から Eu イオンへのエネルギー輸送機構を定量的に明らかにする【課題 1】。
- (2) Eu 特有の発光機能を最大限に発揮させるために、(1)で明らかにしたエネルギー輸送機構の制御を目指して、Eu と他の不純物の同時添加【課題 2】や、トップダウンやボトムアップによるナノ超構造への Eu 添加【課題 3・4】を行う。
- (3) 本研究の成果として、LED を設計・試作し、実用化レベルの高輝度化 (1 mW) を実証する【課題 5】。

### 4. 研究成果

**【課題 1】 GaN 母体から Eu へのエネルギー輸送機構の解明：**(1) フェムト秒レーザを用いた過渡光吸収測定より、光励起されたキャリアはピコ秒の時間軸で Eu 起因のトラップ準位に捕獲されること、(2) Deep level transient spectroscopy (DLTS)測定より、伝導帯の下、0.11 eV (トラップ A)、0.29 eV (トラップ B)、0.49 eV (トラップ C) に Eu 起因のトラップ準位が観測され、トラップ B は類似した活性化エネルギーを示す 4 種類のトラップ準位から構成されること、(3) GaN 母体励起と共鳴励起の基で得られたフォトルミネッセンス(PL)スペクトルの比較より、GaN 母体から Eu へのエネルギー輸送効率が Eu 発光中心の局所構造に強く依存すること、(4) エネルギー輸送効率の高い Eu 発光中心の形成には Eu の近傍にアクセプタとして働く点欠陥とドナーとして働く点欠陥が共存する必要があること、(5) 試料作製条件依存性より、存在比率が全体の 80 %を占める Eu 発光中心 (OMVPE4) には Eu 原子の最近接格子点に N 空孔が存在し、第 2 近接格子点に Ga 空孔が存在すると高いエネルギー輸送効率を示すこと (図 2 (a))、(6) エネルギー輸送効率が最も高い Eu 発光中心 (OMVPE7) は存在比率が数%であり、Eu 原子の最近接格子点に O が、第 2 近接格子点に Ga 空孔が存在すること (図 2 (b))、(7) 二次元的な圧縮歪みが存在することにより、OMVPE7 の存在比率が向上するとともに、そのエネルギー輸送効率が増大すること、(8) 微小光共振器内に配置することにより、Eu 発光強度が 20 倍程度増大すること、を明らかにした。

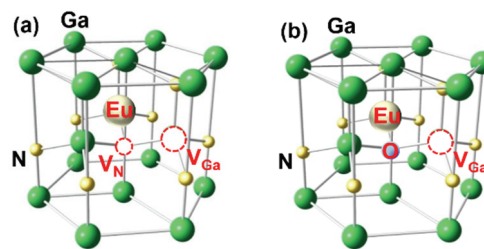


図 2 OMVPE4 (a)と OMVPE7 (b)の局所構造モデル

**【課題 2】 Eu 添加 GaN への不純物添加効果の解明：**(1) Mg 共添加について、①新しく形成された Eu 発光中心として、Eu-Mg (第 2 近接格子点)に加えて N 空孔 (最近接格子点) と H が関係した 3 種類の配置が存在すること、②H の脱離により非輻射プロセスが生じ、発光強度が激減すること、③電子線照射により、結晶中で H が動き回り、それに応じて H の配置が異なる 3 種類の Eu 発光中心に対応する発光スペクトルが観測されること (図 3)、④ Mg とともに Si を共添加することにより、熱処理に対して安定な Eu-Mg-Si に起因する新しい発光中心が形成されること、⑤第一原理計算より、Mgに加えて、ドナーとして働く O

を共添加することにより、発光強度の更なる増大が期待されること、を明らかにした。

一方、(2)O共添加について、①O共添加効果を明確にするため、分子内にOを含まないEu有機原料EuCp<sup>pm2</sup>を世界に先駆けて開発した。この原料の融点は49°Cでパブリックが可能であり、これまで用いてきた、分子内にOを含むEu(DPM)<sub>3</sub>に比べて、メモリ効果が小さいことを明らかにした。②新しく開発したEu有機原料を用いて作製した試料ではEu局所構造に揺らぎが生じ、Eu発光スペクトルがブロードとなるが、Oを共添加することにより、Eu局所構造の揺らぎが抑制され、発光スペクトルが先鋭化すること、③O添加量とともにOMVPE7の発光強度が増大すること、を明らかにした(図4)。

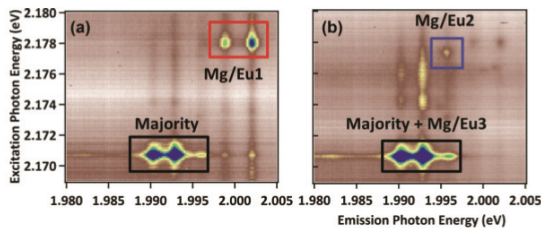


図3 電子線の照射前(a)と照射後(b)でのEu-Mg発光中心からの発光強度変化

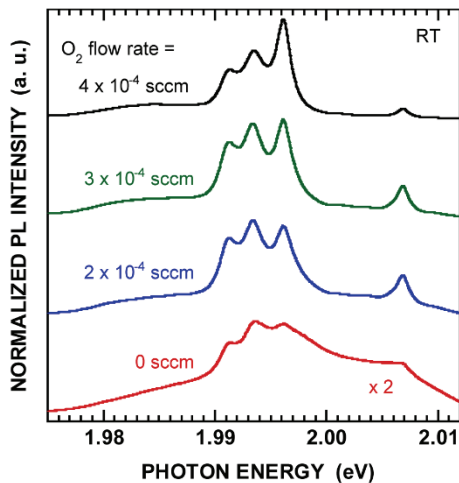


図4 新しく開発したEu有機原料を用いて作製したEu添加GaNで観測されるEu発光スペクトルと成長雰囲気へのO添加量依存性

**【課題3】人為的に形成されたナノ超構造へのEu添加効果の解明：**(1)Al<sub>0.08</sub>Ga<sub>0.92</sub>N/Eu添加GaN多重量子井戸構造において、①単位膜厚あたりのEu発光強度は量子井戸層厚の低下とともに増大し、4.3 nmにおいてバルク試料に比べて約4倍となること、②LED特性においてEu添加量で規格化した光出力がバルク構造LEDに比べて、約3倍増大すること、を明らかにした。

(2)Eu添加GaN/無添加GaN超格子構造薄膜においては、①単位膜厚あたりのEu発光強度は膜厚の減少とともに増大し、1 nmにおいて27倍となること(図5)、②Eu添加GaN膜厚を3 nmとした超格子構造LEDにおいて、

光出力がバルク構造LEDに比べて、約3倍増大すること、を明らかにした。一方、③本超格子構造を用いることにより、サファイア基板での転位密度が無添加GaN薄膜に比べて、2桁程度減少し、10<sup>6</sup>~10<sup>7</sup> cm<sup>-2</sup>となることを新たに見出し、特許出願を行った。

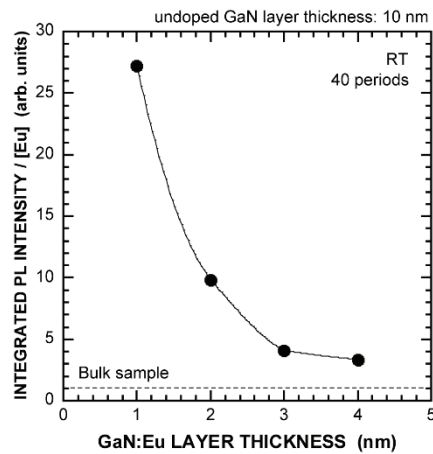


図5 Eu添加GaN/無添加GaN超格子構造薄膜におけるEu発光効率のEu添加GaN膜厚依存性

**【課題4】高輝度なEu赤色発光を示すEu含有自己組織化ナノ超構造の設計・形成：**(1)第一原理計算と多階層連結量子シミュレーションにより、①希土類金属原子は同時ドーピングしたアクセプタドナーと強く結合した不純物複合体を形成し、安定化すること、②母体半導体とこれらの不純物欠陥複合体は水と油のように一様には混合しないため、自己組織化によりタイプIのナノ超構造である量子ドットが形成されること、③その結果として、希土類金属原子内の励起状態と基底状態との間で電子遷移が効率的に生じ、高輝度な希土類発光が期待されること(図6)、④これらのマテリアルデザインは、スピノーダル・ナノ分解による自己組織化ナノ超構造の形成によるボトムアップ型のナノテクノロジーへ拡張可能であること、を明らかにした。(2)InGaNへのEu添加について、①InGaNの相分離に関与した量子閉じ込め効果を反映した、第2近接位置にInが配置する特徴的なEu発光が観測されること、②Euデルタドーピング

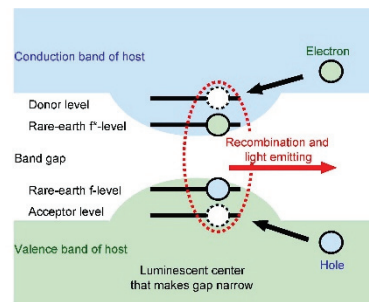


図6 アクセプタドナー、および希土類金属イオンとの同時ドーピング法による不純物複合体の形成と遷移発光機構のデザイン



を多数回、施すことにより、高輝度な Eu 発光が得られること、を明らかにした。

【課題 5】LED 高輝度化の実証: Eu 添加 GaN 層(3 nm)/無添加 GaN 層(10 nm)を 100 周期、積層した超格子構造を発光層とした LED を作製し、室温、20 mA において光出力 1.25 mW (外部量子効率: 3.3%) の世界最高輝度を達成した (図 7)。また、2 mA において、世界最高値である外部量子効率 9.2% が得られた。一方、本研究で開発した LED を用いた LED パネルを作製し、その実用可能性を実証した (図 8)。

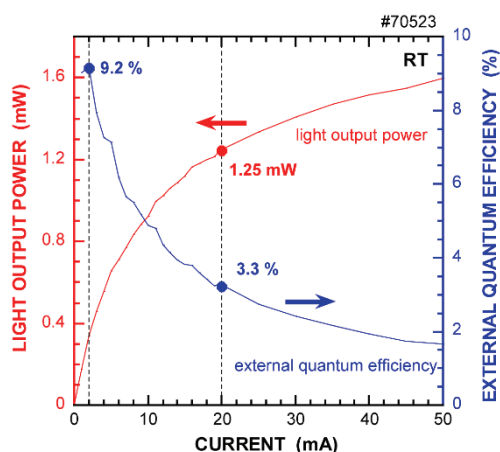


図 7 高輝度赤色 LED の電流-光出力特性

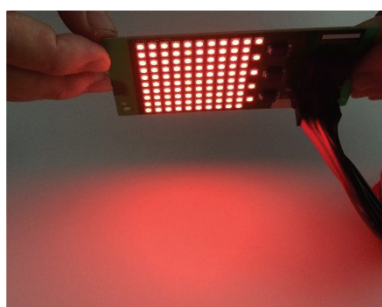


図 8 本研究で開発した赤色 LED パネル

## 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 91 件)

- ① B. Mitchell, A. Koizumi, T. Nunokawa, Y. Kuboshima, T. Mogi, S. Higashi, K. Kikukawa, H. Ofuchi, T. Honma, and Y. Fujiwara: "Synthesis and characterization of a novel liquid Eu precursor  $\text{EuCp}^{\text{pm}_2}$  allowing for the control of the Eu oxidation state ratio in GaN thin films grown by OMVPE," *Mater. Chem. Phys.* **193**, 140-146 (2017). [査読あり]  
<https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.02.021>
- ② A. Masago, M. Uemoto, T. Fukushima, K. Sato, and H. Katayama-Yoshida, "Computational materials design for efficient red luminescence:

InGaN cooped with Eu and the donor-acceptor pair of Mg and O," *Jpn. J. Appl. Phys.* **56**, 021001/1-5 (2017). [査読あり]

<https://doi.org/10.7567/JJAP.56.021001>

- 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," *Sci. Rep.* **6**, 18808/1-8 (2016). [査読あり]  
DOI: 10.1038/srep18808
- ④ A. Masago, T. Fukushima, K. Sato, and H. Katayama-Yoshida, "Computational nano-materials design of self-organized nanostructures by spinodal nano-decomposition in Eu-doped GaN," *Jpn. J. Appl. Phys.* **55**, 070302/1-3 (2016). [査読あり]  
<http://doi.org/10.7567/JJAP.55.070302>
- ⑤ 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 Mater.* **4**, 056103/1-7 (2016). [査読あり]  
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4950826>
- ⑥ T. Kojima, S. Takano, R. Hasegawa, D. Timmerman, A. Koizumi, M. Funato, Y. Kawakami, and Y. Fujiwara, "Control of GaN facet structures through Eu doping toward achieving semipolar {1-101} and {2-201} InGaN/GaN quantum wells," *Appl. Phys. Lett.* **109**, 182101/1-4 (2016). [査読あり]  
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4965844>
- ⑦ T. Arai, D. Timmerman, R. Wakamatsu, D. Lee, A. Koizumi, and Y. Fujiwara, "Enhanced excitation efficiency of Eu ions in Eu-doped GaN/AlGaIn multiple quantum well structures grown by organometallic vapor phase epitaxy," *J. Luminescence* **158**, 70-74 (2015). [査読あり]  
<https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2014.09.036>
- ⑧ (レビュー論文) Y. Fujiwara and V. Dierolf, "Present understanding of Eu luminescent centers in Eu-doped GaN grown by organometallic vapor phase epitaxy," *Jpn. J. Appl. Phys.* **53**, 05FA13/1-8 (2014). [査読あり]  
<http://dx.doi.org/10.7567/JJAP.53.05FA13>
- ⑨ W. D. Boer, C. McConigle, T. Gregorkiewicz, Y. Fujiwara, S. Tanabe, and P. Stallinga, "Optical activity and external photoluminescence quantum efficiency of  $\text{Eu}^{3+}$  in GaN," *Sci. Rep.* **4**, 5235/1-5 (2014). [査読あり]  
DOI: 10.1038/srep05235
- ⑩ D. Lee, B. Mitchell, Y. Fujiwara, and V. Dierolf, "Thermodynamics and kinetics of three Mg-H- $V_N$  complexes in Mg:GaIn - A combined

First-Principle and experimental study,” Phys. Rev. Lett. **112**, 205501/1-5 (2014).

[査読あり]

DOI:10.1103/PhysRevLett.112.205501

- ⑪ B. Mitchell, J. Poplawsky, D. Lee, **A. Koizumi**, **Y. Fujiwara**, and V. Dierolf, “The role of donor-acceptor pairs in the excitation mechanism of Eu-ions in GaN:Eu epitaxial layers,” J. Appl. Phys. **115**, 204501/1-7 (2014).

[査読あり]

http://dx.doi.org/10.1063/1.4879253

- ⑫ A. Masago, T. Fukushima, K. Sato, and **H. Katayama-Yoshida**, “Efficient luminescent center by codoping (Eu,Mg,O) into GaN,” Appl. Phys. Exp. **7**, 071005/1-3 (2014).

[査読あり]

http://dx.doi.org/10.7567/APEX.7.071005

- ⑬ B. Mitchell, D. Lee, D. Lee, **A. Koizumi**, J. Poplawsky, **Y. Fujiwara**, and V. Dierolf, “Electron-beam-induced migration of hydrogen in Mg-doped GaN using Eu as a probe,” Phys. Rev. B **88**, 121202(R)/1-5 (2013).

[査読あり]

DOI: 10.1103/PhysRevB.88.121202

- ⑭ R. Wakamatsu, D. Lee, **A. Koizumi**, V. Dierolf, and **Y. Fujiwara**, “Luminescence properties of Eu-doped GaN under resonant excitation and quantitative evaluation of luminescent sites,” J. Appl. Phys. **114**, 043501/1-5 (2013).

[査読あり]

http://dx.doi.org/10.1063/1.4816088

[学会発表]

(計 420 件 : 内、招待講演 103 件)

- ① (招待講演) **Y. Fujiwara**, T. Inaba, W. Zhu, B. Mitchell, **T. Kojima**, and T. Gregorkiewicz: “Challenge to highly efficient wavelength-stable red light-emitting diodes using Eu-doped GaN,” 12<sup>th</sup> International Conference on Nitride Semiconductors, **B4-1**, Strasbourg, France, July 24-28 (2017).
- ② (招待講演) B. Mitchell, W. Zhu, J. Poplawsky, **A. Koizumi**, V. Dierolf, and **Y. Fujiwara**, “The influence of local and extended defect environments on the optical and material properties of GaN:Eu,” 2016 MRS Fall Meeting, Symposium EM2: Rare-Earths in Advanced Photonics and Spintronics, **EM2.10.01**, Boston, USA, November 27-December 2 (2016).
- ③ (招待講演) **Y. Fujiwara**: “Eu-doped GaN for highly efficient wavelength-stable red LEDs,” Defects in Semiconductors, Gordon Research Conference, Colby-Sawyer College, New London, USA, August 14-19 (2016).
- ④ (招待講演) **Y. Fujiwara**, T. Inaba, T. Kojima, and A. Koizumi: “Towards highly efficient wavelength-stable red light-emitting diodes with Eu-doped GaN: effects of in-plane strain on Eu emission-,” 5th International Workshop

on Epitaxial Growth and Fundamental Properties of Semiconductor Nanostructures (SemiconNano2015), **I-26**, Lakeshore Hotel, Hsinchu, Taiwan, September 6-11 (2015).

- ⑤ (招待講演) **Y. Fujiwara**, T. Inaba, T. Kojima, and A. Koizumi: “Drastic enhancement of Eu emission from red light-emitting Eu-doped GaN in a microcavity,” 11th Conference on Lasers and Electro-Optics Pacific Rim (CLEO-PR 2015), **26H1-2**, BEXCO, Busan, Korea, August 24-28 (2015).
- ⑥ (招待講演) **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, **T4.05**, Boston, USA, November 30-December 5 (2014).
- ⑦ (招待講演) **Y. Fujiwara**, R. Wakamatsu, and **A. Koizumi**: “Strain-dependent energy transfer from GaN host to Eu ions in Eu-doped GaN,” 16th International Conference on High Pressure in Semiconductor Physics, **Inv-8**, Mexico City, Mexico, August 6-8 (2014).
- ⑧ (招待講演) **Y. Fujiwara** and **A. Koizumi**: “Development of properties and functionalities by precise control of rare earth doping,” 17th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-17), Warsaw, Poland, August 11-16 (2013).

[図書] (計 7 件)

- ① **A. Koizumi**, B. Mitchell, V. Dierolf, and **Y. Fujiwara**, “Growth of Eu-doped GaN and its magneto-optical properties (Chapter 8), Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials: Number 87, *Rare Earth and Transition Metal Doping of Semiconductor Materials; Synthesis, Magnetic Properties and Room Temperature Spintronics*, edited by V. Dierolf, I. T. Ferguson, and J. M. Zavada (Elsevier, Duxford, UK, 2016) pp. 259-280.
- ② **H. Katayama-Yoshida**, K. Sato, T. Fukushima, A. Masago, and M. Seike, “Computational nanomaterials design for nanospintronics: room-temperature spintronics applications (Chapter 1),” Woodhead Publishing Series in Electronic and Optical Materials: Number 87, *Rare Earth and Transition Metal Doping of Semiconductor Materials; Synthesis, Magnetic Properties and Room Temperature Spintronics*, edited by V. Dierolf, I. T. Ferguson and J. M. Zavada (Elsevier, Duxford, UK, 2016) pp. 3-42.

[産業財産権]

○出願状況 (計 3 件)

- ① 名称: AlInN 厚膜形成技術  
発明者: **藤原康文**、**稲葉智宏**  
権利者: 大阪大学

- 種類：特許  
番号：特願 2017-036446  
出願年月日：2017年2月28日  
国内外の別：国内
- ② 名称：窒化物半導体基板とその製造方法および半導体デバイス  
発明者：藤原康文、朱婉新、小泉淳、Brandon Mitchell、Tom Gregorkiewicz  
権利者：大阪大学  
種類：特許  
番号：特願 2016-229410  
出願年月日：2016年11月25日  
国内外の別：国内
- ③ 名称：赤色発光半導体素子とその製造方法  
発明者：藤原康文、小泉淳  
権利者：大阪大学  
種類：特許  
番号：特願 2013-047022  
出願年月日：2013年3月8日  
国内外の別：国内

○取得状況（計6件：国内3件、国外3件）

- ① 名称：赤色発光半導体素子とその製造方法、および窒化物半導体素子用基板とその製造方法  
発明者：藤原康文、小泉淳、寺井慶和  
権利者：大阪大学  
種類：特許  
番号：特許第 6048896 号  
取得年月日：2016年12月2日  
国内外の別：国内  
番号：US9455376  
出願年月日：2016年9月27日  
国内外の別：国外（米国）
- ② 名称：赤色発光半導体素子とその製造方法  
発明者：藤原康文、西川敦、寺井慶和  
権利者：大阪大学  
種類：特許  
番号：特許第 5896454 号  
取得年月日：2016年3月11日  
国内外の別：国内
- ③ 名称：赤色発光半導体素子および赤色発光半導体素子の製造方法  
発明者：西川敦、藤原康文、寺井慶和、川崎隆司、古川直樹  
権利者：大阪大学  
種類：特許  
番号：特許第 5388041 号  
取得年月日：2013年10月18日  
国内外の別：国内  
番号：US8409897  
取得年月日：2013年4月2日  
国内外の別：国外（米国）  
番号：KR10-1383489  
取得年月日：2014年4月2日  
国内外の別：国外（韓国）

〔その他〕

- (1) 新聞報道（計3件）  
① 「赤・緑・青 1つの素子で」、日本経済新

- 聞、2014年10月28日
- ② 「「希土類元素」極めて関西に貢献を」、毎日新聞、2012年12月4日
- ③ 「窒化ガリウム半導体 室温で高輝度赤色発光」、日刊工業新聞、2012年9月19日
- (2) 受賞（計16件）
- ① 藤原康文：フェロー表彰「希土類添加半導体における先駆的研究」（応用物理学会）、2017年9月5日（予定）
- ② Hiroshi Katayama-Yoshida：Helmholtz International Fellow Award “Computational Materials Design”（Helmholtz Gemeinschaft, Germany）、2016年12月21日
- ③ 藤原康文：平成26年大阪大学総長顕彰（研究部門）（大阪大学）、2014年7月8日
- ④ 吉田博：平成26年大阪大学総長顕彰（研究部門）（大阪大学）、2014年7月8日
- ⑤ 吉田博：フェロー表彰「計算機ナノマテリアルデザインに関する研究」（応用物理学会）、2013年9月16日
- ⑥ 藤原康文：平成25年大阪大学総長顕彰（研究部門）（大阪大学）、2013年8月22日
- 他、学生の受賞：10件

(3) ホームページ等  
<ホームページ>  
<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/mse6/kiban/>  
<研究紹介ビデオ>  
<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/mse6/?video>

## 6. 研究組織

- (1) 研究代表者  
藤原 康文 (FUJIWARA, Yasufumi)  
大阪大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号：10181421
- (2) 研究分担者  
吉田 博 (KATAYAMA-YOSHIDA, Hiroshi)  
大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授  
研究者番号：30133929
- 児島 貴徳 (KOJIMA, Takanori)  
大阪大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：70725100
- 寺井 慶和 (TERAI, Yoshikazu)  
九州工業大学・大学院情報工学研究院・教授  
研究者番号：90360049
- 小泉 淳 (KOIZUMI, Atsushi)  
大阪大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号：30418735  
（平成27年度まで分担者として参画）