

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360140

研究課題名(和文) 可視光通信のための超高速発光・受光デバイスの実証

研究課題名(英文) Demonstration of ultra-high speed light emitters and detectors for visible light communication

研究代表者

上山 智 (Kamiyama, Satoshi)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：10340291

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、窒化物系青色LEDにおける高効率動作の実現と、可視光通信に求められる高速変調を実現するために、外部光変調器の超高速光変調動作を実証すること、および同じく青色に感度を持つ超高速フォトセンサーの動作確認を最終目標とした。青色LEDではモスアイパターン形成サファイア基板を適用することで、光取り出し効率70%を実現した。外部変調器としてPLZTのカー効果による光変調が可能となることを理論的に実証し、実験的にペロブスカイト型PLZTの成膜条件を確立できた。一方、高速変調可能な超高感度のHFET型フォトセンサーの実証を行い、従来のpin型フォトダイオードより4桁高い受光感度を確認できた。

研究成果の概要(英文)：The aims of this study are to realize high-efficiency nitride-based blue LEDs, to demonstrate high-speed optical modulation by an external oscillator, and to demonstrate high-sensitivity HFET type photosensors. A blue LED with light extraction efficiency of 70 % has been achieved by applying the moth-eye-patterned sapphire substrate. Light modulation by an external modulator with Kerr effect in PLZT thin film has been confirmed by FDTD simulation, and deposition condition for the perovskite-phase PLZT thin film was fixed. Super sensitive HFET-type photosensors, whose sensitivity is four orders of magnitude higher than conventional pin photodiode, are also realized.

研究分野：半導体工学

キーワード：GaN LED フォトセンサー 可視光通信 PLZT 光取り出し効率 高速変調 カー効果

1. 研究開始当初の背景

近年、窒化物半導体による短波長 LED と蛍光体との組み合わせによる白色 LED が実用化され、今後照明用光源としての普及が期待されている。一方、白色 LED は従来の照明光源である白熱電球や蛍光灯とは異なり比較的高速の直接変調が可能であり、この特長を生かした可視光通信への応用が見込まれている。将来的には照明装置からの 1~10 Mbps の可視光通信によって、インターネットをはじめとするオフィス、家庭内の情報通信網を構築することを目指した研究プロジェクトが、国内外で活発に推進されている。

しかしながら、現在の光ファイバーなどによるブロードバンド通信は 100Mbps にも達しており、これと比較すると、LED の変調速度は十分とは言いがたく、新規な情報インフラとしては魅力の薄いものと危惧される。また、100Mbps であっても数 m の距離で十分な受光パワーが得られるフォトダイオードは存在しておらず、可視光通信用ディテクターの実現はさらに大きな課題となっている。

我々の研究グループでは、LED 素子表面や界面に光波長オーダーの周期構造である「モスアイ」構造を形成する新しい製造法を開発し、青色 LED に適用して従来比 3 倍以上の光取り出し効率向上を達成した。その原理は、LED 光のコヒーレンス長以下の周期構造を用いることで光の波動性を利用可能となり、回折効果によって光の進行方向を制御していることによる。

現在我々の研究室では、GaN 等の半導体層や、サファイア基板、ITO 透明電極など、LED を構成する如何なる部位にも作製可能となっている。モスアイ構造の原理から、光の回折効果は屈折率の変調によって変化させることが可能であるのは自明である。また、結晶材料には一次の電気光学効果が存在し、電界の印加によって、屈折率を変化させることが可能であることも、広く知られている。したがって、モスアイ構造に電界を印加することで光の回折状態を変調し、その結果として光取り出し効率を変化させることが可能と考えられる。しかもこの変調には、キャリアの再結合過程を伴わないため、極めて高速に電界を変調することが可能である。

また、我々は既に高移動度トランジスタ構造において、極めて高速で動作可能な紫外フォトコンダクタを実現できることを実証している。これを可視光で動作させること、および一般的なフォトディテクタとして不可欠のノーマリーオフ動作とすることで、可視光通信用受光素子として最適な新デバイスの実現が可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、今後一般照明用光源としての普及、発展が期待される白色 LED のキーコンポーネントである窒化物系青色 LED における高効率動作の実現と、外部光変調器の開

発による GHz オーダーの超高速光変調動作を実証すること、および同じく青色に感度を持つ超高速ノーマリーオフ型フォトセンサーの動作確認を最終目標とする。

3. 研究の方法

1) LED 構造、モスアイ構造を形成する非線形光学膜の成膜条件確立

モスアイ構造は、LED 素子表面、もしくは屈折率差の大きい界面に形成することで、光の回折効果を生じさせて光り取り出し効率を向上させる。その部位には大きな二次の電気光学定数(カー定数)を持つ材料の利用が不可欠となる。しかも可視光を透過する材料でなければならない。ここでは非線形光学材料として PbLaZrTiO(PLZT)を選択し、成膜条件の確立と数 V の変調電圧で十分な回折変調が得られることを実証する。

2) LED 素子の試作と性能の実証

LED 光取り出し効率の理論的検討を基に、実際の青色 LED を作製し、超高速変調を実証する。構造としては図 1 および図 2 に示したものが基本となる。

3) フォトセンサーの試作と性能の実証

サブミクロンゲートと、十分な受光パワーが得られる広い受光面積を持つ電極パターン設計、また青色に感度のあるサブミクロン受光ゲートの形成を行い、青色領域で超高速動作可能なフォトセンサーの試作、性能実証を行う。

4. 研究成果

(1) ペロブスカイト PLZT 薄膜形成技術確立

高温スパッタ法とアニール処理との組み合わせにより、巨大カー効果を持つペロブスカイト型 PLZT 層の成膜条件の確立を行った。従来、ペロブスカイト型 PLZT は、r 面サファイア、Ni などの特定の基板上でしか形成できないと考えられていたが、GaN エピ層上においても、Ni や Au などの金属層を挟むことで、形成できることがわかった。特に原子間隔が最も近い Au 薄膜上にて図 1 に示すように比

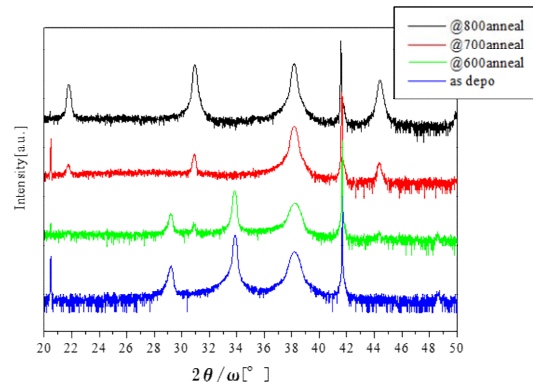


図 1 Au 薄膜上の PLZT 薄膜の X 線回折におけるアニール条件依存性。(22 度、31.5 度、45 度付近のピークがペロブスカイト PLZT)

較的良好な相純度を持つペロブスカイト相が得られた。

第2段階として電界印可と光吸収損失低減のために、ITO透明電極上へのペロブスカイト型PLZT成膜を試みた。Au上と同様の成膜プロセスでは、ペロブスカイト相の純度はAu上と比較して、低下するものの、一応ペロブスカイト相が部分的に形成されていることは確認できた。

(2) 外部光変調器の原理確認

外部光変調器に、電気光学定数が大きいPLZTを採用し、その巨大カー効果による光変調の可能性について、FDTD法による光学シミュレーションを用いて解析を行った。1V程度の電圧で変調度15%が実現できることがわかった。可視光通信には十分な変調度である。

Au上に形成したペロブスカイト型PLZTに電界を印可することで、実験的に検証を試みたが、光吸収のために十分な反射光が得られず、測定不能だった。ITO上PLZTに関しては、評価に至らなかった。

(3) LEDの効率化

可視光通信には高効率のLEDが不可欠であり、可視光通信の投光デバイスのベースとなる。ナノインプリント法を用いた微細パターンニング法の検討により、サファイア基板に最適構造を持つモスアイ構造の形成が可能となり、さらに高反射率電極の採用や光吸収損失の低減を図ることで、光取り出し効率70%の高効率青色LEDを実現した。この値は、従来最も発光効率の高い薄膜構造の青色LEDよりも優れた性能を持つ(図2参照)。

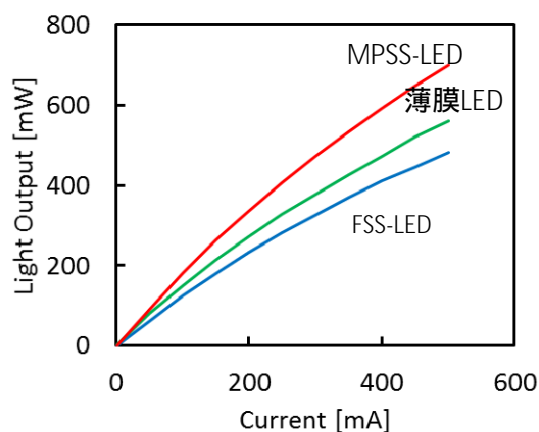


図2 モスアイ加工サファイア基板(MPSS)を用いた青色LEDの電流-光出力特性の、他構造との比較

(4) フォトセンサーの試作と性能検証

図3に示す紫外から可視光にまで感度を持つHFET型のフォトセンサーを設計、試作した。AlGaIn/GaNのヘテロ界面には、伝導帯のバンドオフセットにより2次元電子ガスが形成されているが、p-GaInN光ゲートは通常、そのポテンシャルにより2次元電子ガスチャ

ネルを遮断している。しかし光を吸収するとp-GaInN層のポテンシャルが変化し、その直下にも2次元電子ガスが生成されるため、2次元電子ガスチャネルがアノードカソード間で導通し、出力電流が流れる。p-GaInN層の吸収体を可視光領域になるように組成を調整することで、可視光領域で光をセンシングする素子にすることができる。今回試作したのは、ゲート長2μm、ゲート幅100μm、p-GaInNゲート層のInNモル分率0.14のデバイスである。この組成のp-GaInNは青色LEDの活性層に使用されるものと同程度のものであるため、青色においても光吸収が可能と考えられる。

バイアス電圧1Vにおいて、図4に示すように波長450nmで受光感度 2.5×10^4 A/Wと半導体光検出器としては、世界最高レベルの高感度を実現した。光電子増倍管に迫る値であり、PINフォトダイオードより4桁程度高い。ただし、高周波特性の改善が課題として残されている。

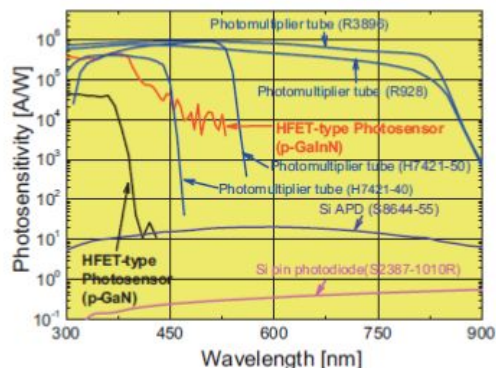


図3 GaInN光ゲートを持つHFET型フォトセンサーの分光感度および、他のセンサーとの比較

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10件)

[1] T. Kondo, T. Kitano, A. Suzuki, M. Mori, K. Naniwae, S. Kamiyama, M. Iwaya, T. Takeuchi and I. Akasaki, "Advantages of the moth-eye patterned sapphire substrate for the high performance nitride based LEDs", physica status solidi (c), Volume 11, Issue 3-4, pages 771-774, April 2014. (査読有)

[2] K. Aoyama, A. Suzuki, T. Kitano, S. Kamiyama, T. Takeuchi, M. Iwaya, and I. Akasaki: "Study on Efficiency Component Estimation of 405 nm Light Emitting Diodes from Electroluminescence and Photoluminescence Intensities" Japanese Journal of Applied Physics 52 (2013) 08JL16. (査読有)

[3] M. Ishiguro, . Ikeda, M. Mizuno, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, and I. Akasaki:

“Control of the Detection Wavelength in AlGaInN/GaN-Based Hetero-Field-Effect-Transistor Photosensors” Japanese Journal of Applied Physics 52 (2013) 08JF02. (査読有)

[4] T. Suzuki, M. Kaga, K. Naniwae, T. Kitano, K. Hirano, T. Takeuchi, S. Kamiyama, M. Iwaya, and I. Akasaki: “Trench-Shaped Defects on AlGaInN Quantum Wells Grown under Different Growth Pressures” Japanese Journal of Applied Physics 52 (2013) 08JB27. (査読有)

[5] D. Iida, Y. Kondo, M. Sowa, T. Sugiyama, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, and I. Akasaki: “Analysis of strain relaxation process in GaInN/GaN heterostructure by in situ X-ray diffraction monitoring during metalorganic vapor-phase epitaxial growth” Physica Status Solidi RRL 7 (2013) 211–214. (査読有)

[6] M. Ishiguro, K. Ikeda, M. Mizuno, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, and I. Akasaki: “Nitride-based hetero-field-effect transistor-type photosensors with extremely high photosensitivity” Physica Status Solidi RRL 7 (2013) 215–217. (査読有)

[7] H. Aoshima, K. Takeda, K. Takehara, S. Ito, M. Mori, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, I. Akasaki, and H. Amano, “Laser lift-off of AlN/sapphire for UV light-emitting diodes”, physica status solidi (c), Vol. 9(2012) 753. (査読有)

[8] S. Kamiyama, M. Iwaya, T. Takeuchi, I. Akasaki, R. Yakimova, M. Syväjärvi, “White light-emitting diode based on fluorescent SiC”, Materials Science Forum Vol. 717-720 (2012) pp 87-92. (査読有)

[9] S. Kamiyama, M. Iwaya, T. Takeuchi, I. Akasaki, R. Yakimova, M. Syväjärvi, “White light-emitting diode based on fluorescent SiC”, Thin Solid Films, Vol. 522, (2012) pp.23-25. (査読有)

[10] D. Iida, M. Sowa, Y. Kondo, D. Tanaka, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, and I. Akasaki: “In situ X-ray diffraction monitoring during metalorganic vapor phase epitaxy growth of low-temperature-GaN buffer layer” Journal of Crystal Growth 361 (2012). (査読有)

〔学会発表〕(計 44 件)

[1] S. Kamiyama, M. Iwaya, T. Takeuchi and I. Akasaki [Invited talk], “Growth and optical characterization of fluorescent SiC for white LED application”, Materials Research Society Fall Meeting, Boston, USA, Nov. 30-Dec. 5, 2014.

[2] S. Kamiyama, M. Iwaya, T. Takeuchi and I. Akasaki [Invited talk], “Growth and characterization of fluorescent SiC as a high color-rendering phosphor material”, The Collaborative Conference on Crystal Growth 2014, Phuket, Thailand, Nov. 4-7, 2014

[3] 上山 智 [招待講演]、”LED の光取り出し効率改善におけるシミュレーション”、第 8 回 SCIVAX セミナー、川崎、2014 年 9 月 26 日

[4] 河合俊介、飯田大輔、岩谷素顕、竹内哲也、上山智、赤崎勇、「高キャリア濃度 Si ドープ n 型 Al_{0.03}Ga_{0.97}N 上の Ag 電極を用いた高反射電極の検討」第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、札幌、2014 年 9 月 17 日～20 日

[5] 加藤 貴久、水野 尚之、伊藤弘晃、飯田 大輔、藤井高志、福田承生、上山 智、竹内 哲也、岩谷 素顕、赤崎 勇、「r 面サファイア基板上における a 面 GaN 成長に関する検討」第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、札幌、2014 年 9 月 17 日～20 日

[6] 山本 雄磨、村瀬 卓弥、草深 敏匡、岩谷 素顕、竹内 哲也、上山 智、赤崎 勇、「Mg ドープ AlGaIn による AlGaIn/GaN HFET 型紫外フォトセンサーの高性能化」第 75 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道大学、札幌、2014 年 9 月 17 日～20 日

[7] Y. Yamamoto, T. Murase, M. Ishiguro, T. Yamada, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, and I. Akasaki, Demonstration of flame detection under solar irradiation using externally high sensitivity and low dark current AlGaIn HFET photosensor”, International workshop on nitride semiconductors 2014, Wroclaw, Poland.

[8] 上山 智 [チュートリアル講演]、”窒化物系 LED 技術最前線”、日本結晶成長学会ナノエピ分科会第 6 回窒化物半導体結晶成長講演会、名古屋、2014 年 7 月 25 日-26 日

[9] 上山 智 [招待講演]、”モスアイ光取り出し構造を有する青色 LED”、光電相互変換第 125 委員会本委員会第 225 回研究会、産業用 LED 応用研究会「2014 年 7 月定例会」合同研究会、名古屋、2014 年 7 月 11 日

[10] 花井駿、鈴木敦志、北野司、飯田大輔、加藤貴久、岩谷素顕、竹内 哲也、上山智、赤崎勇、「窒化物系 LED 作製のレーザー加工による光取り出し効率向上の検討」、電子情報通信学会 電子部品・材料研究会、名古屋、2014 年 5 月 28 日～29 日

[11] 上山 智、岩谷素顕、竹内哲也、赤崎 勇 [招待講演]、”蛍光 SiC の窒化物系白色 LED への応用に向けた研究”、第 61 回春季応用物理学会学術講演会シンポジウム、相模原、2014 年 3 月 17 日-20 日

[12] 花井 駿、鈴木 敦志、北野 司、梅田 慎也、加藤 貴久、上山 智、竹内 哲也、岩谷 素顕、赤崎 勇、「窒化物系青色 LED における 光取り出し効率改善のためのレーザ加工方法の検討」、第 61 回 応用物理学会春季学術講演会、相模原、2014 年 3 月 17 日～20 日

[13] S. Kamiyama [Tutorial talk], “Technologies of nitride-based LEDs”, ISPlasma2014/IC-PLANT S2014, Nagoya, Mar. 3-6, 2014.

[14] T. Murase, M. Ishiguro, T. Yamada, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, and I. Akasaki, “Nitride-based hetero-effect-transistor

- type Photosensors with extremely high photosensitivity and complete solar blind", ISplasma, Nagoya, Japan, Mar. 3-6, 2014.
- [15] 曾和美保子, 北野司, 近藤俊行, 森みどり, 鈴木敦志, 難波江宏一, 上山智, 岩谷素顕, 竹内哲也, 赤崎勇: "モスアイ加工サファイア基板を用いた窒化物系 LED の性能向上検討" 応用物理学会 SC 東海地区学術講演会 2013, 名古屋大学, 名古屋, 2013 年 11 月 16 日.
- [16] 石黒 真未, 池田 和弥, 水野 正隆, 村瀬 卓弥, 岩谷 素顕, 上山 智, 赤崎 勇: "窒化物半導体を用いた HFET 型光センサーの暗電流検討" 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 同志社大学, 京都, 2013 年 9 月 15 日-20 日.
- [17] T. Kondo, T. Kitano, A. Suzuki, M. Mori, K. Naniwae, S. Kamiyama, T. Takeuchi, M. Iwaya, and I. Akasaki: "Moth-eye Patterned Sapphire Substrate technology for cost effective high performance LED" 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Doshisha Univ., Kyoto, Japan, September 18-19, 2013.
- [18] S. Umeda, T. Kato, T. Kitano, T. Kondo, S. Kamiyama, T. Takeuchi, M. Iwaya, and I. Akasaki: "MOVPE growth of embedded GaN nanocolumn" 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, Doshisha Univ., Kyoto, Japan, September 18-19, 2013.
- [19] M. Ishiguro, M. Mizuno, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, I. Akasaki: "Externally high sensitivity group III nitride semiconductor based heterostructure field effect transistor type photosensors" 3rd International Conference on Materials and Applications for Sensors and Transducers, Prague, Czech Republic, September 13-17, 2013.
- [20] T. Kondo, T. Kitano, A. Suzuki, M. Mori, K. Naniwae, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, and I. Akasaki: "Advantages of the Moth-Eye Patterned Sapphire Substrate for the High Performance Nitride Based LEDs" 10th International Conference of Nitride Semiconductors, Washington DC, USA, August 25-30, 2013.
- [21] 上山 智 [招待講演], "LED 技術の発展と今後の展望", 摩擦接合協会特別講演会, 名城大学, 名古屋, 2013 年 6 月 25 日
- [22] 飯田大輔, Yuntian Chen, Yiyu Ou, Ahmed Fadil, Oleksii Kopylov, 岩谷素顕, 竹内哲也, 上山智, 赤崎勇, Haiyan Ou: "表面プラズモンカップリングを利用した緑色 LED の内部量子効率の向上" 第 5 回 窒化物半導体結晶成長講演会, 大阪大学, 大阪, 2013 年 6 月 21 日-22 日.
- [23] M. Iwaya, M. Ishiguro, M. Mizuno, K. Ikeda, T. Takeuchi, S. Kamiyama, I. Akasaki: "High sensitivity group III nitride semiconductor based heterostructure field effect transistor type photosensors" The Collaborative Conference on Crystal Growth (3CG), Cancun, Mexico, June 10-13, 2013.
- [24] 上山 智 [招待講演], "窒化物系 LED の高効率化に向けた研究動向", セミフォーラム・ジャパン 2013, 大阪国際会議場, 2013 年 5 月 21 日 ~ 5 月 22 日
- [25] 石黒真未, 池田和弥, 水野正隆, 岩谷素顕, 上山 智, 竹内哲也, 赤崎 勇: "窒化物半導体 HFET 型光センサー構造の最適化" 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 厚木, 2013 年 3 月 26 日-30 日.
- [26] 土屋貴義, 梅田慎也, 曾和美保子, 河合俊介, 近藤俊行, 北野 司, 森みどり, 鈴木敦志, 赤崎勇, 関根 均, 難波江宏一, 岩谷素顕, 竹内哲也, 上山 智: "モスアイ加工サファイア基板による LED の光取り出し効率の改善" 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 神奈川工科大学, 厚木, 2013 年 3 月 26 日-30 日.
- [27] M. Ishiguro, K. Ikeda, M. Mizuno, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, I. Akasaki: "High-sensitivity HFET type photosensors with a p-GaN gate" SPIE Photonic west 2013, San Francisco, USA, 2013.2.2-8.
- [28] K. Aoyama, A. Suzuki, T. Kitano, N. Sone, S. Kamiyama, T. Takeuchi, M. Iwaya, I. Akasaki: "Influence of growth interruption on performance of nitride-based blue LED" SPIE Photonic west 2013, San Francisco, USA, 2013.2.2-8.
- [29] K. Naniwae, M. Mori, T. Kondo, A. Suzuki, T. Kitano, S. Kamiyama, M. Iwaya, T. Takeuchi, I. Akasaki [Invited]: "Introduction of the Moth-eye patterned sapphire substrate technology for cost effective high-performance LED" SPIE Photonic west 2013, San Francisco, USA, 2013.2.2-8.
- [30] T. Tsuchiya, S. Umeda, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, I. Akasaki, T. Kondo, T. Kitano, M. Mori, A. Suzuki, F. Teramae, H. Sekine: "Fabrication of moth-eye patterned sapphire substrate (MPSS) and influence of height of corns on the performance of blue LEDs on MPSS" SPIE Photonic west 2013, San Francisco, USA, 2013.2.2-8.
- [31] S. Mizutani, S. Nakashima, M. Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, I. Akasaki, T. Kondo, F. Teramae, A. Suzuki, T. Kitano, M. Mori, M. Matsubara: "Performance of nitride-based light emitting diodes using an Indium-zinc-oxide transparent electrode with moth-eye structure" SPIE Photonic west 2013, San Francisco, USA, 2013.2.2-8.
- [32] S. Kamiyama, M. Iwaya, T. Takeuchi and I. Akasaki [Invited], "Fluorescent SiC for white light-emitting diodes", The 16th International Workshop on Inorganic and Organic Electroluminescence, Hong Kong, Dec. 10-14, 2012.
- [33] S. Kamiyama [Invited], "Potential of SiC as a rare-earth-free fluorescent material", The 19th International Display Workshop, Kyoto, Dec. 4-7, 2012.
- [34] 土屋貴義, 梅田慎也, 曾和美保子, 近藤俊行,

北野 司、森 みどり、鈴木敦志、難波江宏一、
関根 均、岩谷素顕、竹内哲也、上山智、赤崎勇：
"サファイア基板上へのモスアイ構造の形成方法
の検討および LED への応用"電子情報通信学会
ED、CPM、LQE 合同研究会、大阪市立大学、大
阪、2012年11月29日-30日

[35] M. Ishiguro, K. Ikeda, M. Mizuno, M.
Iwaya, T. Takeuchi, S. Kamiyama, and I.
Akasaki [Invited], "High sensitivity extremely
nitride-based heterofield-effect-transistor-type
photosensors", The International Workshop on
Nitride Semiconductors (IWN2012), Sapporo,
Japan, 2012.10.14-19.

[36] S. Umeda, T. Kato, T. Kitano, T. Kondo, H.
Matsubara, S. Kamiyama, T. Takeuchi, M.
Iwaya, and I. Akasaki, "MOVPE growth of
embedded GaN nanocolumn", The International
Workshop on Nitride Semiconductors
(IWN2012), Sapporo, Japan, 2012.10.14-19.

[37] 上山 智 [招待講演], "モスアイ基板を使っ
た LED 技術", 日本学術振興会ワイドギャップ半
導体光・電子デバイス第 162 委員会研究会、東京、
2012年10月5日。

[38] 石黒真未、池田和弥、水野正隆、岩谷素顕、
竹内哲也、上山 智、赤崎 勇, "窒化物半導体
を用いた高感度な HFET 型光センサー", 第 73 回
応用物理学学会講演会、愛媛大学・松山大学、松山、
2012年9月11日-14日。

[39] 青山和樹、鈴木敦志、北野 司、上山 智、
竹内哲也、岩谷素顕、赤崎 勇, "EL と PL を組
み合わせた LED 効率成分の導出方法の検討", 第
73 回応用物理学学会講演会、愛媛大学・松山大学、
松山、2012年9月11日-14日。

[40] S. Mizutani, S. Nakashima, M. Iwaya,
T. Takeuchi, S. Kamiyama, I. Akasaki, T. Kondo,
F. Teramae, A. Suzuki, T. Kitano, M. Mori, and
M. Matsubara, "Performance of nitride-based
light-emitting diodes using an
Indium-zinc-oxide transparent electrode with
moth-eye structure", E-MRS 2012, Spring
Meeting, Strasburg, France, 2012.5.14-18.

[41] 梅田慎也、加藤高裕、北野司、近藤俊行、松
原大幸、上山智、竹内哲也、岩谷素顕、赤崎勇, "
埋め込み型 GaN ナノコラム結晶の MOVPE 成長
に関する検討", 第 4 回 窒化物半導体結晶成長講
演会 (プレ IWN2012)、東京大学、東京、
2012.4.27-28.

[42] 石黒真未、池田和弥、水野正隆、岩谷素顕、
竹内哲也、上山智、赤崎勇, "p 型 GaInN を用い
た高感度な FET 型光センサーに関する研究", 第 4
回窒化物半導体結晶成長講演会 (プレ IWN2012)、
東京大学、東京、2012.4.27-28.

[43] 水谷脩吾、中島聡志、岩谷素顕、竹内哲也、
上山 智、赤崎 勇、松原雅人、近藤俊行、寺前
文晴、鈴木敦志、北野 司、森みどり, "IZO (イ
ンジウム-亜鉛酸化物) を用いた窒化物半導体
LED", 第 59 回応用物理学学会講演会、早稲田大学、
東京、2012.3.14-18.

[44] 上山 智 [招待講演], "ナノ構造を用いた
LED 素子からの光取り出し効率の向上", 第 4 回

ライティングジャパン専門技術セミナー、東京、
2012.1.19.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 3 件)

名称：屈折率変調構造及び LED 素子
発明者：上山智、金子由基夫、鈴木敦志、寺
前文、近藤俊行
権利者：名城大学
種類：特許
番号：5 6 3 2 6 5 5
出願年月日：2 0 1 0 年 5 月 3 1 日
取得年月日：2 0 1 4 年 1 0 月 1 7 日
国内外の別：国内

名称：発光素子用サファイア基板の製造方法
発明者：上山智、岩谷素顕、竹内哲也、鈴木
敦志、寺前文晴
権利者：名城大学
種類：特許
番号：5 3 7 9 4 3 4
出願年月日：2 0 0 8 年 9 月 2 2 日
取得年月日：2 0 1 3 年 1 0 月 4 日
国内外の別：国内

名称：発光素子及びその製造方法
発明者：上山智、岩谷素顕、天野浩、赤崎勇、
鈴木敦志、北野司、寺前文晴、近藤俊行
権利者：名城大学
種類：特許
番号：5 3 0 6 7 7 9
出願年月日：2 0 0 8 年 1 1 月 4 日
取得年月日：2 0 1 3 年 7 月 5 日
国内外の別：国内

〔その他〕
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上山 智 (KAMIYAMA SATOSHI)
名城大学・理工学部材料機能工学科・教授
研究者番号：10340291