

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02001

研究課題名(和文) Si量子ドットの作製と高いEL量子収率を持つハイブリッド白色LEDの開発

研究課題名(英文) Synthesis of silicon quantum dot and development of white-light quantum dot LED with high efficiency

研究代表者

齋藤 健一 (Saitow, Ken-ichi)

広島大学・自然科学研究支援開発センター・教授

研究者番号：80302579

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、シリコン(Si)を発光体とする量子ドット(QD)を作製し、それを用いた高効率のSi QD LEDを開発する。そのために、SiQDを3つ以上の異なる製法で作製し、粒子サイズや表面官能基の異なるSiQDを得る。その結果、全ての手法で発光するSiQDを合成し、サイズや表面官能基を変え、青、緑青、オレンジ、赤で発光するSiQDの合成に成功した。また、QD溶液の塗布により、薄膜型のSiQD LEDの開発に成功した。特に、SiQDを発光体とする青白LEDは世界初の報告であったため、国内外の学术界とメディアからも注目された。なお、題目にあるハイブリッドとは無機と有機の複合体のLEDを指す。

研究成果の概要(英文)：This project suggested to synthesize luminescence silicon (Si) quantum dots (QDs) and to develop Si QD LED. To accomplish this project, we synthesized the Si QDs by utilizing three different methods; pulsed laser ablation, chemical synthesis, and thermal pyrolysis. The SiQDs, had different surface functional groups, were synthesized by the methods and showed blue, blue-green, orange, and red luminescence. As for QD LEDs, we developed Si QD LED using colloidal solutions of Si QDs via solution processes. In particular, a blue-white LED of Si QDs working as a light emitter attached much attention in academia and media for domestic and world wide.

研究分野：マテリアルサイエンス

キーワード：量子ドット LED 量子ドットLED ナノ粒子 ハイブリッド 発光ダイオード コロイド

1. 研究開始当初の背景

エネルギーの多極化と安定供給が世界中で求められ、震災後、これらの重要性が日々増加していることはいうまでもない。経済産業省のエネルギー白書(2014)によると、国内の使用電力の50%程を電灯が占める。これは、照明の省電力化が消費電力を大幅に低下し、持続可能な社会の形成に極めて重要であることを示している。一方、無機物質のLEDは、長寿命、高効率、低電力の光源として最近10年で急速に普及し、2014年には青色LEDの研究・開発として日本人にノーベル物理学賞が授与された。

LEDの研究は最近30年で大きく発展し、1)ワイドギャップ半導体を用いた紫外LED、2)実用化された有機EL、3)量子ドット(QD)を光源にしたQDLED、これら三分野の進展が著しい。最近5年間、QDLEDの研究では、カドミウム(Cd)系量子ドットで著しい成果があがっている。一方で、その毒性への懸念から、CdフリーのQDが強く求められている。特に、Si量子ドットを発光体としたQDLEDは国際学会で、大きな反響をよんでいる。その理由は、1)Siは発光が禁制(間接遷移)の半導体で、本来光らない物質を光源にしたLEDであること、2)ナノサイズにするとSiは可視領域で強く発光(量子サイズ効果、量子閉じ込め効果)、3)Siは安価で環境に優しい材料、4)Si電子デバイスで蓄積された多くの半導体技術、である。

2. 研究の目的

本研究では、SiQDを作製し、それを発光体とするQDLEDを塗布法で開発する。目的は、可視領域での発光効率の高いSiQD溶液を作製し、それを発光層とした白色LEDを開発する。そのために、以下の手順で研究を行う。1)量子ドットの合成と評価。複数の手法でSiQDを作製することにより、LEDの効率最適な作製法を検討する。特に、レーザーアブレーション法、化学合成法、焼成法、その他ボールミリング法等により、量子ドット合成を行う。2)LED発光効率を増加させるために、蛍光強度における電場増強効果を検証する。3)LEDは太陽電池とともにヘテロ接合が重要な素子で、両者の研究から得られた知見を本プロジェクトのLEDに反映する。

3. 研究の方法

(1) Si量子ドットの作製

Si量子ドットの合成は、液相レーザーアブレーション法、化学合成法、焼成法の三つの方法で行う。その他、余裕があれば粉碎法等による手法でも合成する。これらの手法により、サイズ、表面構造等の異なるSi量子ドットをそれぞれ合成する。

(2) Si量子ドットの評価

上記3種類以上の手法で作製したSi量子ドットの構造・物性測定を、以下の3つの手法より行う。1)量子ドットのサイズを動的

散乱、透過型電子顕微鏡を用いて測定する。2)量子ドットのPLスペクトル、PL量子収率、紫外・可視吸収スペクトルを測定する。3)量子ドットの表面構造をNMR、XPS、IRスペクトル等から測定する。

(3) 量子ドットLEDの作製

Si量子ドットLEDは、多くの成膜を溶液プロセスで作製する。すなわち、ITO透明電極付ガラスに正孔注入層、正孔輸送層、量子ドット層を順番にスピコート法で成膜し、その上に電子注入層、電極を順番に蒸着で行う。

(4) 量子ドットLEDの性能測定

LEDとしての性能評価を、以下3つの手法で行う。1)ダイオード特性を電流-電圧測定装置で評価する。2)ELスペクトルを測定する。3)EL外部量子収率を自作の測定装置で測定する。4)SPRING-8にて、LEDを形成している膜の構造解析を行う。5)LEDの多層膜のモルフォロジーを各種顕微鏡観測より行う。

4. 研究成果

(1) 量子ドットの合成

液相レーザーアブレーション法:

有機溶媒を満たしたセルにSiウエハ片を入れ、Nd:YAGレーザーの2倍波($\lambda=532\text{ nm}$)を一定時間照射し、Si量子ドットを作製した。複数の有機溶媒中でパルスレーザーアブレーションを行い、より発光性の高いSi量子ドットの作製条件を探した。その結果、不飽和炭化水素で生成したSiQDが最も発光効率が高いことが明らかとなった。

化学合成法:

テトラクロロシランを原料に化学合成法でSi量子ドットを作製した。第1段階として、還元剤を用いテトラクロロシランから、塩素で化学修飾されたSi量子ドットを作製した。第2段階として、このSi量子ドットをメタノールと反応させ、メトキシ基で化学修飾したSi量子ドットを作製した。第3段階として、第2段階で生成した量子ドットをシランカップリング反応させ、表面がシロキサンで修飾されたSi量子ドットを合成した。

焼成法:

高分子である水素シルセスキオキサン(HSQ)を高温で焼成し、Si量子ドットを作製した。第1段階として、HSQポリマーを合成した。具体的には、トリクロロシランを水と 0°C で反応させ、加水分解、脱水縮合により合成した。第2段階として、HSQポリマーを濃度5%の水素雰囲気下におき、高温($900\text{ - }1400^\circ\text{C}$)で還元し、水素終端されたSi量子ドットを作製した。第3段階:不飽和炭化水素のヒドロシリル化反応により、水素終端されたSiQDの表面を炭化水素で化学修飾した。その他、市販のHSQを用いて、その焼成によりSiQDの合成も行った。その際には反応温度等の実験条件を変え、SiQDの変化を検証した。

粉碎法：

ボールミリング法により，Si 量子ドットを合成した。具体的には，遊星型ボールミルで Si 微粒子を湿式粉碎した。生成溶液を，遠心分離，フィルターを用いて精製した。溶媒を変えることにより，粒子サイズ，安定性の異なる Si ナノ粒子が生成した。

(2) 量子ドットの評価：

上記4種類の手法で作製した Si 量子ドットの構造・物性測定を行った。

量子ドットのサイズ：

動的光散乱と透過型電子顕微鏡を用い，合成した SiQD のサイズ分布と平均サイズを測定した。その結果，1-8 nm 程に分布する SiQD が得られた。また，粒子サイズ分布，平均粒子サイズ，SiQD の結晶性は，合成した手法，試薬の量によって，顕著に異なった。

量子ドットの光物性：

PL スペクトル，PL 量子収率，紫外・可視吸収スペクトルを測定した。量子ドットの PL 発光波長は，励起波長，合成手法，表面構造，合成試薬の濃度等により，顕著に変化した。結果的に，青色，緑青，オレンジ，赤で発光する SiQD が得られた。また，全ての SiQD は溶液に分散する状態で得られた。PL 量子収率は，0.1-30 %変化し，合成法，表面構造により大きく異なった。

量子ドットの表面構造

SiQD の表面構造を NMR，XPS，IR スペクトルから測定した。NMR スペクトルからは，官能基と Si との化学結合状態，XPS からは表面被覆率を算出した。また，IR スペクトルからは官能基の振動子強度を用い，官能基の定量化を行うことができた。

(3) 量子ドット LED の作製

Si 量子ドット LED は，溶液プロセスで作製する。作製手順は以下の通り。

ITO 透明電極付ガラスを LED 用にパターンニングした。その基板を，溶液洗浄，UV オゾン洗浄でそれぞれクリーニングした。

ITO ガラス上に，導電性高分子である PEDOT:PSS 溶液をスピコートし，ホール注入層を成膜した。

PEDOT:PSS 膜上に，導電性高分子の polyTPD 溶液をスピコートし，ホール輸送層を成膜した。

polyTPD 膜上に，発光層となる Si 量子ドット溶液をスピコートで成膜した。

電子注入層となる AlQ₃ を真空蒸着した。

アルミ電極を真空蒸着した。

上記の多層膜により，量子ドット LED を作製した。

(4) 量子ドット LED の性能測定

薄膜型の量子ドット LED の性能評価を，以下の手法で行った。

ダイオード特性：

素子の電流 - 電圧測定を行うことで，ダイ

オードとして特性を評価した。まずは，そのための装置を作製した。具体的には，ソースメーターを測定プログラムで自動化させ，データ取得できるようにした。これを用いて，I-V 測定の形状より，ダイオードの性能を評価した。

EL スペクトル測定：

EL スペクトル測定装置を自作した。具体的には，素子に で測定した電流・電圧を印加し，発光面に光ファイバーを設置し，EL 発光を分光器と CCD カメラで分光測定した。また，測定用のホルダーを，よりよい測定が行えるデザインに複数回改良した。

EL 外部量子収率：

薄膜状の QD LED の EL 外部量子収率を測定する装置を自作した。詳細な手法は紙面の都合上ここでは割愛する。

薄膜の構造解析

LED を形成している多層膜の構造を，SPRing-8 の斜入射 X 線回折測定(GIXD)により行った。また，LED の多層膜のモルフォロジーを各種顕微鏡観測(AFM，レーザー顕微鏡，電子顕微鏡等)，3D 顕微分光マッピングにより分子レベルで解析した。

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 16 件)

- 1) S. Sakaki, K. Saitow, M. Sakamoto, H. Wada, Z. Swiatkowska-Warkocka, Y. Ishikawa, N. Koshizaki, Comparison of picosecond and nanosecond lasers for the synthesis of TiN sub-micrometer spherical particles by pulsed laser melting in liquid, *Applied Physics Express*, 査読有, 11, 3 (2018).
- 2) D. Kajiya, T. Koganezawa, K. Saitow, Uniaxial orientation of P3HT film prepared by soft friction transfer method, M. Imanishi, *Scientific Reports* 査読有, 5141/1-10 (2018).
- 3) Y. Xin, T. Kitasako, M. Maeda, K. Saitow, Solvent dependence of laser-synthesized blue-emitting Si nanoparticles: size, quantum yield, and aging performance, *Chemical Physics Letters*, 査読有, 674, 90-97 (2017).
- 4) Y. Xin, R. Wakimoto, K. Saitow, Synthesis of size-controlled luminescent Si nanocrystals from (HSiO_{1.5})_n polymers *Chemistry Letters*, 査読有, 46, 699-702 (2017).
- 5) 齋藤健一, 超臨界状態を利用したレーザーによるナノ粒子合成と光電変換デバイスへの応用レーザー加工学会誌, 査読有, 24, 24 (2017).
- 6) D. Kajiya, T. Koganezawa, K. Saitow, Enhancement of Out-of-plane Mobilities of Three Poly(3-alkylthiophene)s and Associated Mechanism, *J. Phys. Chem. C*,

- 査読有, 120, 23351-23357 (2016)
- 7) N. Ikeda, T. Koganezawa, D. Kajiya, K. Saitow, Performance of Si/PEDOT:PSS hybrid solar cell controlled by PEDOT:PSS film nanostructure, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, 120, 19043-19048 (2016)
 - 8) D. Kajiya, T. Koganezawa, K. Saitow, Enhancements of Out-of-plane Mobility in P3HT Film: Face-on Orientation Produced by Rubbing, *SPRING-8/SACLA Research Frontiers 2015*, 査読有, 116-117 (2016).
 - 9) 齋藤健一レーザー照射によるナノ粒子生成: 光電変換デバイスへの活用, *Colloid and Interface Communication*, 査読有, 41, 15-17 (2016).
 - 10) D. Kajiya, T. Koganezawa, and K. Saitow, Enhancement of out-of-plane mobility in P3HT film: Face-on orientation produced by rubbing, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, 119, pp 7987-7995 (2015).
 - 11) D. Kajiya, T. Koganezawa, K. Saitow, Hole mobility enhancement of MEH-PPV film by heat treatment at T_g, *AIP Adv.*, 査読有, 5, 127130/1-127130/7 (2015).
 - 12) 加治屋大介, 分子を並べた有機太陽電池化学, 査読有, 70, 59-60 (2015).
 - 13) D. Kajiya, K. Saitow, Si-Nanocrystal/P3HT Hybrid Film with 50- and 12Fold enhancement of hole mobility and density: films prepared by successive drop casting, *Nanoscale*, 査読有, 7, 15780-15788 (2015).
 - 14) 加治屋大介, 齋藤健一, 溶液の乾燥で分子を並べる, *化学と工業*, 査読有, 68, p613 (2015).
 - 15) Y. Xin, K. Nishio, and K. Saitow, White-blue electroluminescence from a Si quantum dot hybrid LED, *Applied Physics Letters*, 査読有, 106, 201102 (2015).
 - 16) D. Kajiya, S. Ozawa, T. Koganezawa, K. Saitow, Enhancement of out-of-plane mobility in P3HT film by rubbing: aggregation and planarity enhanced with low regioregularity, *The Journal of Physical Chemistry C*, 査読有, 119, 7987-7995 (2015).

〔学会発表〕(計 48 件)

1. Large amounts of hydrogen generated from mechanochemical reaction between H₂O and Si particles: how dangling bonds, specific surface area, and temperature affect the reaction? ○OHTA Haruhisa, UEDA Taiki, SAITOW Ken-ichi 日本化学会第 98 春季年会 2018 年 3 月千葉
2. 水と Si 微粒子とのメカノケミカル反応による大量の水素生成: ダングリングボンド, 比表面積, 温度の影響 ○大田晴久, 上田大樹, 齋藤健一 日本化学会第 98 春

- 季年会 2018 年 3 月 千葉
3. 高純度 H 凝集体 P3HT フィルムの作成 ○加治屋大介, 齋藤健一 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 2018 年 3 月 東京
 4. 層状物質 MoS₂ による蛍光・ラマン増強効果: 実験と理論計算による電場増強効果の観測 ○坂本全教, 齋藤健一 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 2018 年 3 月 東京
 5. 層状物質 WS₂ による蛍光増強の観測, および層数依存性の検証 ○坂本全教, 齋藤健一 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 2018 年 3 月 東京
 6. TiO₂ による蛍光増強: サイズ依存性 ○花谷快渡, 坂本全教, 吉原久未, 齋藤健一 第 65 回応用物理学会春季学術講演会 2018 年 3 月 東京
 7. Silicon Quantum Dots Synthesized from HSQ Polymer: Bluegreen and Red Photoluminescence Controlled by Chemical Etching ○Yuping Xu, Shiho Terada, Yunzi Xin, Ken-ichi Saitow, The 14th Nano Bio Info Chemistry Symposium 2017 年 12 月 広島
 8. MoS₂ quantum dots synthesized by pulsed laser ablation in a mixed-solvent, ○Tang Jingmin, 坂本全教, 齋藤健一 日本化学会中四国支部大会 鳥取大 2017 年 11 月 鳥取
 9. Silicon Quantum Dots Synthesized from Hydrogen Silsesquioxane and Photoluminescence Controlled by Etching, ○Xu Yuping, 寺田詩歩, Xin Yunzi, 齋藤健一, 日本化学会中四国支部大会 鳥取大会 2017 年 11 月 鳥取
 10. Si のダングリングボンドと水素生成の相関: メカノケミカル法による反応, ○大田晴久, 山本拓哉, 上田大樹, 齋藤健一, 日本化学会中四国支部大会 鳥取大, 2017 年 11 月 鳥取
 11. 超臨界流体および溶液中でのレーザー照射による微粒子創出とその応用展開: 量子ドット LED, 太陽電池等, 富士ゼロックス株式会社, 画像形成材料事業部研究会, ○齋藤健一(招待講演), 2017 年 6 月 静岡
 12. Si 量子ドットにおける可視発光の波長制御と LED への応用, ○齋藤健一(招待講演) 技術情報協会セミナー「量子ドットの合成技術と蛍光増強, 安定性の向上」, 2017 年 6 月 東京
 13. Significant Field Enhancement by MoS₂ Flake—Enhanced Intensities of Fluorescence and Raman Spectrum of Dye Molecule, ○Masanori Sakamoto, Ken-ichi Saitow, 2017 MRS Spring Meeting 2017 年 4 月 フェニックス(米国)
 14. 層状物質 MoS₂ による蛍光・ラマン増強効果の観測, ○坂本全教, 齋藤健一, 日本化学会第 97 春季年会 2017 年 3 月神

- 奈川
15. Facile synthesis of N-doped disordered TiO₂ with high photocatalytic activity under vis-NIR light irradiation, ○王 雨丰, 齋藤 健一 日本化学会第 97 春季年会 2017 年 3 月 神奈川
 16. Si 微粒子の比表面積とダングリングボンド: メカノケミカル法による生成, ○上田 大樹, 齋藤 健一, 日本化学会第 97 春季年会 2017 年 3 月 神奈川
 17. Si とアルカリ溶液のメカノケミカル反応による水素発生: 反応メカニズムの考察, ○中野 恭裕, 齋藤 健一 日本化学会第 97 春季年会 2017 年 3 月 神奈川
 18. シロキサン修飾した Si 量子ドット: 可視発光の量子収率, ○藤本 啓資, 辛 韵子, 齋藤 健一, 日本化学会第 97 春季年会 2017 年 3 月 神奈川
 19. Si 量子ドットにおける可視発光の波長制御: 2 種類の極性溶媒を用いた HSQ ポリマーの合成とその焼成, ○寺田 詩歩, 辛 韵子, 齋藤 健一, 日本化学会第 97 春季年会 2017 年 3 月, 神奈川
 20. 液中ピコ秒パルスレーザー加熱による窒化チタン球状粒子の合成, ○榊 祥太, 越崎 直人, 齋藤 健一, 坂本 全教, 和田 裕之, 石川 善恵, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017 年 3 月 神奈川
 21. ラビングによる P3AT フィルムの面外移動度の増加, ○加治屋 大介, 小金澤 智之, 齋藤 健一, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会 2017 年 3 月 神奈川
 22. T_g 付近での熱処理による MEH-PPV フィルムの移動度増加, ○加治屋 大介, 小金澤 智之, 齋藤 健一, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017 年 3 月 神奈川
 23. 量子ドット LED: 塗布プロセスで作製する無機・有機ハイブリッド構造, ○齋藤 健一(招待講演), 照明学会固体光源分科会 公開研究会 2017 年 1 月 東京
 24. メカノケミカル法を用いたシリコンとアルカリ溶液からの水素生成, ○中野 恭裕, 沖野 有希, 齋藤 健一, 日本化学会中国四国支部大会 香川大会 2016 年 11 月香川
 25. 2 種類の極性溶媒を用いた HSQ ポリマーの合成および発光性 Si ナノ粒子の作製, ○寺田 詩歩, 辛 韵子, 齋藤 健一, 日本化学会中国四国支部大会 香川大会 2016 年 11 月 香川
 26. メカノケミカル法による水と複数の金属からの水素生成, ○山本拓哉, 中野恭裕, 沖野有希, 齋藤健一, 日本化学会中国四国支部大会 香川大会 2016 年 11 月 香川
 27. 超臨界流体の局所構造と機能性ナノ構造の作製, ○加治屋大介(招待講演), 第 28 回中四国伝熱セミナー, 2016 年 9 月広島
 28. One-pot room temperature synthesis of colored TiO₂: high photocatalytic activity under visible light, ○王 雨丰, 齋藤 健一, ナノ学会第 14 回大会 2016 年 6 月 北九州
 29. 可視発光する Si 量子ドットの液相合成と表面修飾による光学特性, ○藤本 啓資, 辛 韵子, 齋藤 健一 ナノ学会第 14 回大会 2016 年 6 月, 北九州
 30. Nanomaterial synthesis and enhanced performances of optoelectrical devices ○Ken-ichi Saitow (招待講演), 4th Conference on Advanced Nanoparticle Generation and Excitation by Lasers in Liquids, 2016 年 5 月 エッセン(ドイツ)
 31. Effect of Annealing Temperature on Out-of-Plane Mobility and Structure of MEH-PPV Film, ○Daisuke Kajiy, Tomoyuki Koganezawa, Ken-ichi Saitow, 2016 MRS Spring Meeting, 2016 年 3 月 フェニックス(米国)
 32. レーザープロセスによるナノ粒子生成と光電デバイスへの活用, ○齋藤 健一(招待講演), 第 63 回応用物理学会春季学術講演会 2016 年 3 月 東京
 33. PEDOT:PSS 薄膜の構造とハイブリッド太陽電池の光電変換特性, ○池田 なつみ, 加治屋 大介, 小金澤 智之, 齋藤 健一 第 63 回応用物理学会春季学術講演会 2016 年 3 月 東京
 34. PEDOT:PSS/Si 太陽電池への 5 種類の添加物の効果, ○池田 なつみ, 加治屋 大介, 小金澤 智之, 齋藤 健一, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会 2016 年 3 月東京
 35. ピコ秒パルスレーザーを用いた液中レーザー溶融法による球状粒子生成, ○住岡 耕平, 越崎 直人, 齋藤 健一, 坂本 全教 第 63 回応用物理学会春季学術講演会 2016 年 3 月 東京
 36. TiO₂ 微粒子による蛍光強度増強と FDTD 法による解析, ○吉原 久未, 齋藤 健一 日本化学会第 96 春季年会 2016 年 3 月 京都
 37. メカノケミカル法による水素発生: 液相・固相での反応機構の考察, ○沖野 有希, 齋藤 健一, 日本化学会第 96 春季年会 2016 年 3 月 京都
 38. メカノケミカル法により生成したシリコン微粒子のダングリングボンド, ○上田 大樹, 齋藤 健一 日本化学会第 96 春季年会, 2016 年 3 月 京都
 39. メカノケミカル反応による水素生成: Si とアルカリ水溶液の反応, ○中野恭裕, 沖野有希, 齋藤健一 日本化学会第 96 春季年会 2016 年 3 月 京都
 40. 可視発光する Si 量子ドットの液相合成と表面修飾による光学特性, ○藤本 啓資, 辛 韵子, 齋藤 健一, 日本化学会第 96 春季年会 2016 年 3 月 京都
 41. Synthesis of blue-light-emitting alkyl-passivated silicon nanocrystals via (HSiO_{1.5})_n sol-gel polymer, ○Yunzi Xin,

- Ryo Wakimoto, Daisuke Kajiya, Ken-ichi Saitow, Pacifichem 2015 2015年12月, ホノルル
42. メカノケミカル法による水素発生：シリコンの表面酸化と水素発生, ○沖野 有希, 齋藤 健一, 日本化学会中国四国支部大会, 2015年11月岡山
 43. P3HT/Si ナノ結晶ハイブリッドフィルムの光伝導ダイナミクス, ○加治屋 大介, 齋藤 健一, 第24回有機結晶シンポジウム, 2015年11月 広島
 44. ソフト摩擦転写法で作製したP3HT 配向膜の面内・面外構造, ○今西 正義, 加治屋 大介, 小金澤 智之, 齋藤 健一, 第24回有機結晶シンポジウム 2015年11月 広島
 45. PEDOT:PSS 薄膜の膜構造とハイブリッド太陽電池の光電変換特性, ○池田 なつみ, 加治屋 大介, 齋藤 健一, 第24回有機結晶シンポジウム 2015年11月 広島
 46. TiO₂ 微粒子による蛍光強度増強とFDTD法による解析, ○吉原久未, 玉光弘典, 齋藤健一, 第76回応用物理学会秋季学術講演会 2015年9月 名古屋
 47. Enhancements of Out-of-plane Mobility and Face-on Orientation in P3AT Films by Rubbing Process, ○Daisuke Kajiya, Tomoyuki Koganezawa, Ken-ichi Saitow, 2015 E-MRS Spring Meeting, 2015年5月 リール(フランス)
 48. HSQの合成と熱処理法で作製した発光性Si ナノ粒子, ○脇本遼, 辛韵子, 加治屋大介, 齋藤健一, ナノ学会第13大会, 2015

〔図書〕(計 1件)

齋藤健一, 量子ドット LED, 「量子ドット材料の技術と応用展開」5章2節, 情報機構 2017年, 総ページ数 210 ページ

〔産業財産権〕

出願状況(計 3件)

- 1) 名称：光触媒用チタン酸化物の製造方法及び光触媒材料
発明者：齋藤健一, 王雨丰
権利者：広島大学
種類：特許
番号：特願 2017-094483
出願年：2017年
国内外の別：国内
- 2) 名称：電場増強基板
発明者：齋藤健一, 吉原久未
権利者：広島大学
種類：特許
番号：特願 2017-092153
出願年：2017年
国内外の別：国内
- 3) 名称：水素の製造方法
発明者：齋藤健一, 山本拓哉
権利者：広島大学

種類：特許

番号：特願 2018-038114

出願年：2018年

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1)研究代表者

齋藤 健一 (Saitow, Ken-ichi)

広島大学・自然科学研究支援開発センター・教授

研究者番号：80302579

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者

加治屋大介 (Kajiya, Daisuke)

広島大学・自然科学研究支援開発センター・助教

研究者番号：80448258

(4)研究協力者(大学院生)

辛 韵子 (XIN, Yunzi)

脇本 遼 (WAKIMOTO, Ryo)

藤本 啓資 (FUJIMOTO, Keisuke)

寺田 詩歩 (TERADA, Shiho)

徐 玉萍 (XU, Yuping)

玉光 弘典 (TAMAMITSU, Hironori)

上田 大樹 (UEDA, Taiki)

池田 なつみ (IKEDA, Natsumi)

沖野 有希 (OKINO, Yuki)

吉原 久美 (YOSHIHARA, Kumi)

今西 正義 (IMANISHI, Masayoshi)

坂本 全教 (SAKAMOTO, Masanori)

王 雨丰 (WANG, Yufeng)

中野 恭裕 (NAKANO, Yasuhiro)

坂田 俊樹 (SAKATA, Toshiki)

汤 京敏 (TANG, Jingmin)

山本 拓哉 (YAMAMOTO, Takuya)

大田 晴久 (OTA, Haruhisa)

竹本 昌一 (TAKEMOTO, Masakazu)

花谷 快渡 (HANATANI, Kaito)