

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02556

研究課題名(和文)Cdフリー量子ドットの溶液・フィルム・LEDにおける劣化・耐久性の解明

研究課題名(英文)Studies on degradation and durability of Cd-free quantum dot solutions, films, and LEDs

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) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：量子ドットは夢の光材料とよばれ、テレビやタブレットが出回り始めた。しかし、本格的普及には2つの課題がある。1) 主要な量子ドットはカドミウム(Cd)等の重金属系である。2) 劣化の原因や耐久性向上の研究が少ない。これらの背景において、我々は過去17年間の研究で、三原色発光するシリコン(Si)量子ドット、白色発光するSi量子ドット、青白発光のSi量子ドットLEDを開発してきた。本研究では、表面構造の異なるSi量子ドットを合成、Si量子ドット溶液とSi量子ドットデバイスの劣化の要因と耐久性向上に必要な物性・構造を解明した。今後、実用化も見据えたCdフリーとなる量子ドットの開発に発展させる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、表面構造や被覆率の異なるSi量子ドットを合成した。次に、これらのSi量子ドット溶液、Si量子ドットフィルム、Si量子ドットLEDにおいて、それぞれの光物性や構造の変化を追跡した。得られた結果から、量子ドットの状態、物性の変化を数値化した。特に、3種類の方法で、3つの異なる発光波長(青・赤・緑)で発光するシリコン量子ドットの合成に成功した。また、それを用いた光デバイスの作製を行うことができた。

研究成果の概要(英文)：Quantum dots are called next generation optoelectrical materials, and televisions and tablets have recently appeared on the market. However, there are two issues for further implementation. Namely, i) principal quantum dots involve heavy metals such as cadmium. 2) there are few studies on the degradation and durability. Under these situations, in the past 17 years of research, we have developed silicon (Si) quantum dots that emit three primary colors, Si quantum dots that emit white light, and Si quantum dot LEDs that emit blue-white light. In this project research, we synthesized Si quantum dots with different surface structures, and clarified the factors of deterioration of Si quantum dot solutions and Si quantum dot devices and the physical properties and structures necessary for improving durability. In the future, we will develop Cd-free quantum dots with a view to practical application.

研究分野：物質・材料科学

キーワード：量子ドット ナノ粒子 半導体 シリコン

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

量子ドットとは、大きさが数 nm の半導体からなる発光性ナノ粒子である。量子ドットは多くの優れた特長をもち、代表的性質を以下に 4 つ示す。1) 粒子サイズによりフルカラー発光 (量子サイズ効果), 2) 高効率発光 (Cd 系量子ドットで 98% の量子収率), 3) 極採色ディスプレイが実現 (狭い発光スペクトル幅 (20-40 nm) のため、有機 EL の 3-4 倍の極採色), 4) 塗布法による常温・大気圧でのデバイス作製 (真空, 熱, クリーンルームが不要で大幅なコスト削減)。これら優れた特色より、量子ドットを用いた液晶テレビ (Samsung) や液晶タブレット (Amazon 等) が、市場に出回り始めた (量子ドットを高分子フィルムに分散し発光フィルムとして利用)。次のターゲットは、量子ドット LED を用いたテレビや照明と言われている。米国の有力調査会社 (MarketsandMarkets) によると、2014~20 年の量子ドット材料市場の年平均成長率は 63.6% で、20 年には 47 億ドルの市場に達すると試算されている。

上述した背景により、量子ドットは有機 EL に後続する夢の光学材料とよばれ、中国等の新興国の参入が産学ともに増えてきている。一方、量子ドットの本格的普及には、解決すべき重要な課題が二つある。一つは毒性である。具体的には、現在主力の量子ドットはカドミウム系 (CdSe, CdS など) の化合物半導体である。イタイタイ病でも有名な Cd の毒性への懸念から、2019 年 10 月以降における Cd 系量子ドットの商用禁止が欧州議会で決定し、Cd フリー量子ドットが極めて重要になってきている。このような背景をうけ、In 系量子ドットが開発されているが、In のレアメタル問題が懸念され、Cd フリー・レアメタルフリーが必須となっている。二つ目の課題は、量子ドットの耐久性である。具体的には、量子ドットの合成や光学特性に関する優れた論文・総説は多くあるが、発光の劣化や量子ドットの耐久性に関する報告は極めて少なく、最もメジャーな Cd 系量子ドットにおいてさえ総説も見当たらない。すなわち、保護フィルムで覆った量子ドットの耐久性向上の報告はあるが、量子ドット表面や内部構造と劣化との関連、耐久性に必要な化学・物理条件など不明なことが多い。すなわち、劣化の詳しいメカニズムや耐久性向上の具体的な指針は未踏領域であり、「学術的に大きな問い」である。このような背景を鑑み本研究では、環境にも優しく存在量も豊富な Si での量子ドットを対象とし、量子ドットの安定性、耐久性、劣化に関する分子レベルでのメカニズム解明を解明する。

2. 研究の目的

応募者はこれまでの研究において、バルクでは発光が禁制である Si において、光の三原色 (青・赤・緑) で発光する Si 量子ドット生成 (2009 年)、白色発光する Si 量子ドット生成 (2012 年) を報告してきた。その後、Si 量子ドットと導電性高分子からなる無機-有機ハイブリッド型、Si 量子ドット LED を開発した (2015 年)。この Si 量子ドットは多くの特長、1) 簡便な作製法 (常温・常圧での溶液の塗布)、2) 低電圧 (5 V) で高強度の青白発光、3) 発光強度は先行研究の 350 倍、4) 発光面積は市販の一般的な LED の 40 倍、5) 薄型 (0.5 mm) である。これら成果は社会的にも注目され、国内外のメディア (Web, 新聞等) にも取り上げられた。その理由は、i) 夢の光デバイスとよばれる量子ドット LED を Cd フリーで開発し、しかも光源が Si 量子ドット (Si の原料は砂や岩で環境に優しく、無尽蔵に存在)、ii) Si 量子ドットで世界初の青色系 LED、iii) 量子ドットの市場規模が極めて大きい、などの理由と考えられる。本研究の目的は、17 年間行ってきた研究 - Si 量子ドットの作製と Si 量子ドット LED の開発 - をもとに、量子ドットやそれを用いたデバイスの劣化原因、安定性・耐久性向上に必要な条件を、分子レベルで解明することである。具体的には、劣化や耐久性に関する研究が非常に少ない中、需要も高い Cd フリー量子ドットで、数か月に及ぶ安定性の長期追跡と耐久性向上のメカニズム解明を世界で初めて行う。独自で創造性の高い研究であり、得られる成果は産・学において貴重なデータになると判断される。更に、Si はバルクで発光禁制の物質であり、それが発光素子に利用できることは学術的にも大変興味深い。

3. 研究の方法

本研究では、表面構造や被覆率の異なる Si 量子ドットを合成する。次に、これらの Si 量子ドット溶液、Si 量子ドットフィルム、Si 量子ドット LED において、それぞれの光物性や構造の変化を長期間 (1 か月程を目標) 追跡する。得られた結果から、劣化程度を数値化し、その劣化した構造を 10 種類以上の分析法で特定する。次に、その構造変化が表面構造や量子ドットのサイズを変えることで、どのような傾向があるかを詳細に検討する。具体的な手法・計画・狙いは、以下 (1) ~ (6) である。

(1) 炭化水素修飾した Si 量子ドットの合成:

第 1 段階: シルセスキオキサン (HSQ) を高温 (900 - 1400°C) で加熱し、Si 量子ドット/SiO₂ マトリックスを作製する。第 2 段階: SiO₂ をフッ酸でエッチングし、水素末端の Si 量子ドットを得る。第 3 段階: 水素末端の Si 量子ドットをアルケンと還流し、ヒドロシリル化反応により炭化水素末端の Si 量子ドットを得る。アルケンの種類で置換基を、表面修飾時間と表面修飾法の両者により、表面被覆率を変える。

(2) シロキサン修飾した Si 量子ドットの合成 :

第1段階: SiCl_4 を液相還元し塩素末端の Si 量子ドットを作製。第2段階: 塩素末端の Si 量子ドットをアルコールと反応させ, アルコキシ末端の Si 量子ドットを合成。第3段階: 加水分解とシランカップリングにより, シロキサン修飾の Si 量子ドットを合成。

(3) アミン修飾した Si 量子ドットの合成 :

第1段階: SiBr_4 を液相還元し臭素末端の Si 量子ドットを作製。第2段階: 臭素末端の Si 量子ドットをアミンと置換反応させ, アミン修飾の Si 量子ドットを合成。

(4) Si 量子ドットフィルムの作製 :

上記(1)~(3)で合成した, それぞれの Si 量子ドット溶液を高分子溶液とまぜ, それを基板に塗布・乾燥させ, Si 量子ドットフィルムを作製する。

(5) Si 量子ドット LED の作製 :

1. 基板のクリーニング(溶液洗浄, UV オゾン洗浄), 2. 導電性高分子(PEDOT:PSS) 溶液をスピコートし, ホール注入層を成膜, 3. 導電性高分子(polyTPD) の溶液をスピコートしホール輸送層を成膜, 4. 発光層の Si 量子ドット溶液をスピコートし成膜, 5. 電子注入層(Alq_3) を真空蒸着で製膜, 6. Al 電極を真空蒸着。

(6) 量子ドット溶液とフィルムの劣化・耐久性 :

Si 量子ドット溶液を複数の異なる条件(光照射, 高温)におき, 数時間~数か月の変化を, 発光・励起スペクトル, 発光寿命, 量子収率, 吸収スペクトル, IR 測定等より追跡する。

4. 研究成果

(1) 炭化水素修飾した Si 量子ドットの合成: 上記3(1)で述べた手法で合成した。その結果, 赤色発光する Si 量子ドットの合成に成功した。発光量子収率は最大で 80% となり, これは世界最高レベルの値となった。

(2) シロキサン修飾した Si 量子ドットの合成: 上記3(2)で述べた手法で合成した。その結果, 青色発光する Si 量子ドットの合成に成功した。発光量子収率は 10% 程となった。

(3) アミン修飾した Si 量子ドットの合成: 上記3(3)で述べた手法で合成した。その結果, 緑色発光する Si 量子ドットの合成に成功した。発光量子収率は最大で 60% 程となった。

(4) Si 量子ドットフィルムの作製: 上記(1)~(3)で合成した, それぞれの Si 量子ドット溶液を高分子溶液とまぜ, それを基板に塗布・乾燥させ, Si 量子ドットフィルムを作製した。その結果, 赤, 青, 緑発光の Si 量子ドットフィルムが作製でき, フレキシブルの三原色フィルムの開発に成功した。

(5) Si 量子ドット LED の作製: 上記3.(5)の手法で Si 量子ドット LED を作製した。赤色発光する Si 量子ドット LED を開発し 表面構造と LED の効率を定量的に示すことに成功した。特に, 炭化水素, 塩素, 酸素などの置換基の被覆率が, 電流-電圧特性, 外部量子効率に大きく影響することを, 定量的に示すことができた。

(6) 量子ドット溶液とフィルムの劣化・耐久性: 上記3(1)~(3)で合成した Si 量子ドット溶液とフィルムを, 太陽光照射, 暗中保管, 80°C の高温条件下ならびに 80°C の熱水に暴露した。そして, 数時間~数か月のフィルムの変化を, 発光・励起スペクトル, 発光寿命, 量子収率, 吸収スペクトル, IR 測定等より追跡した。その結果, シロキサン修飾の量子ドットは太陽光, 熱水, とともに高い耐久性を持つことが示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名 Terada Shiho, Xin Yunzi, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 Cost-Effective Synthesis of Silicon Quantum Dots | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry of Materials | 6. 最初と最後の頁 8382 ~ 8392 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c02320 | 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 Sakata Toshiaki, Kajiya Daisuke, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 Brush Printing Creates Polarized Green Fluorescence: 3D Orientation Mapping and Stochastic Analysis of Conductive Polymer Films | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces | 6. 最初と最後の頁 46598 ~ 46608 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c08061 | 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 Hanatani Kaito, Yoshihara Kumi, Sakamoto Masanori, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Nanogap-Rich TiO ₂ Film for 2000-Fold Field Enhancement with High Reproducibility | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters | 6. 最初と最後の頁 8799 ~ 8809 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c02286 | 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 Wang Yufeng, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 32 |
| 2. 論文標題 Mechanochemical Synthesis of Red-Light-Active Green TiO ₂ Photocatalysts with Disorder: Defect-Rich, with Polymorphs, and No Metal Loading | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Chemistry of Materials | 6. 最初と最後の頁 9190 ~ 9200 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.0c02676 | 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 Sakamoto Masanori, Terada Shiho, Mizutani Tomoya, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Large Field Enhancement of Nanocoral Structures on Porous Si Synthesized from Rice Husks | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces | 6. 最初と最後の頁 1105 ~ 1113 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c14248 | 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 齋藤健一 | 4. 巻 30 |
| 2. 論文標題 光の強度を2,000倍に増強する酸化チタンの開発 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 クリーンエネルギー | 6. 最初と最後の頁 16-20 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 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 Sakata Toshiki, Ikeda Natsumi, Koganezawa Tomoyuki, Kajiya Daisuke, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 123 |
| 2. 論文標題 Performance of Si/PEDOT:PSS Solar Cell Controlled by Dipole Moment of Additives | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C | 6. 最初と最後の頁 20130 ~ 20135 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.9b05144 | 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 Saitow Ken-ichi, Okamoto Yoshinori, Suemori Hidemi | 4. 巻 4 |
| 2. 論文標題 Size-Selected Submicron Gold Spheres: Controlled Assembly onto Metal, Carbon, and Plastic Substrates | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ACS Omega | 6. 最初と最後の頁 14307 ~ 14311 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.9b01999 | 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 - |

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Sakamoto Masanori, Hanatani Kaito, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Spectral Visualization of Near-Infrared Enhancement in 2D Layered WS2 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials | 6. 最初と最後の頁 437 ~ 446 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b00673 | 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 Tang Jingmin, Sakamoto Masanori, Ohta Haruhisa, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 12 |
| 2. 論文標題 1% defect enriches MoS2 quantum dot: catalysis and blue luminescence | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Nanoscale | 6. 最初と最後の頁 4352 ~ 4358 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9NR07612C | 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 齋藤 健一 | 4. 巻 89 |
| 2. 論文標題 超臨界流体の構造・機能から量子ドットLEDへ | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 応用物理 | 6. 最初と最後の頁 13 ~ 19 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11470/oubutsu.89.1_13 | 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 Ono Taisei, Xu Yuping, Sakata Toshiki, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Designing Efficient Si Quantum Dots and LEDs by Quantifying Ligand Effects | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces | 6. 最初と最後の頁 1373 ~ 1388 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaami.1c18779 | 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 Terada Shiho, Ueda Honoka, Ono Taisei, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Orange-Red Si Quantum Dot LEDs from Recycled Rice Husks | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 ACS Sustainable Chemistry & Engineering | 6. 最初と最後の頁 1765 ~ 1776 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acssuschemeng.1c04985 | 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 Sakata Toshiki, Saitow Ken-ichi | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 4D Microspectroscopy Explores Orientation and Aggregations in π -Conjugated Polymer Films Prepared by Brush Printing | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters | 6. 最初と最後の頁 653 ~ 660 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c03283 | 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 - |

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 齋藤 健一 |
| 2. 発表標題 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 |
| 3. 学会等名 第73回CVD研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 神宮 なな, 早川 冬馬, 小野 大成, 齋藤 健一 |
| 2. 発表標題 Surface functionalized silicon quantum dots synthesized by liquid phase reduction method: optical properties by spectroscopic measurements |
| 3. 学会等名 web光化学討論会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 小野 大成, 齋藤 健一 |
| 2. 発表標題 高量子収率のSi量子ドットの合成：表面構造からの考察 |
| 3. 学会等名 日本化学会中四国支部大会島根大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 三浦 結衣, 齋藤 健一 |
| 2. 発表標題 メカノケミカル反応によるアルコキシシランの合成 |
| 3. 学会等名 日本化学会中四国支部大会島根大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kaito Hanatani, Kumi Yoshihara, Masanori Sakamoto, Ken-ichi Saitow |
| 2. 発表標題 Extraordinary Field Enhancement at TiO ₂ Nanogap: Plasmon-free Enhancement up to 2000-fold and Its High Reproductivity |
| 3. 学会等名 Material research meeting 2019 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Haruhisa Ohta, Ken-ichi Saitow |
| 2. 発表標題 H ₂ generation from reaction between H ₂ O and mechanically designed Si: role of strain and dangling bond |
| 3. 学会等名 The 16th Nano Bio Info Chemistry Symposium |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kaito Hanatani, Kumi Yoshihara, Masanori Sakamoto, Ken-ichi Saitow |
| 2. 発表標題 Extraordinary Field Enhancement at TiO ₂ Nanogap: Plasmon-free Enhancement up to 2000-fold and Its High Reproductivity |
| 3. 学会等名 The 16th Nano Bio Info Chemistry Symposium |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Masakazu Takemoto, Daisuke Kajiya, Ken-ichi Saitow |
| 2. 発表標題 A new method for preparing uniaxial oriented films via facile solution processes |
| 3. 学会等名 The 16th Nano Bio Info Chemistry Symposium |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大田晴久, 齋藤健一 |
| 2. 発表標題 Si微粒子と水の反応による水素生成：ひずみ・ダングリングボンドの寄与 |
| 3. 学会等名 日本化学会中四国支部大会 徳島大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|------------------------------|
| 1. 発表者名 竹本昌一, 加治屋大介, 齋藤健一 |
| 2. 発表標題 導電性高分子配向膜の新規作製法 |
| 3. 学会等名 日本化学会中四国支部大会 徳島大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 小野大成, 寺田詩歩, 齋藤健一 |
| 2. 発表標題 シリコン量子ドットLEDの作成: 化学構造とLEDの効率 |
| 3. 学会等名 日本化学会中四国支部大会 徳島大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ken-ichi Saitow |
| 2. 発表標題 Functional nanomaterials synthesized by physicochemical methods |
| 3. 学会等名 The International Conference on Chemical Sciences (ICCS) 2019 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 平田早紀子, 平尾岳大, 加治屋大介, 村松悟, 齋藤健一, 灰野岳晴, 江幡孝之, 井口佳哉 |
| 2. 発表標題 表面増強赤外吸収分光法によるランタノイド錯イオンの構造と電子状態の研究 |
| 3. 学会等名 第13回分子科学討論会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 早川慎二郎, 福田浩平, 瀨嶋 悠太, 加治屋大介, 齋藤健一 |
| 2. 発表標題 硫黄K 殻XAFS スペクトルの異方性を利用するポリチオフェン薄膜の面内配向性の評価 |
| 3. 学会等名 第79回分析化学討論会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 小野大成, Xu Yuping, 齋藤健一 |
| 2. 発表標題 Si 量子ドット LED の作製とその電子構造の考察 |
| 3. 学会等名 ナノ学会第17回大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Daisuke Kajiya, Ken-ichi Saitow |
| 2. 発表標題 One-Year Stable Silicon Nanocrystal Solution by Laser Ablation Synthesis |
| 3. 学会等名 2019 MRS Spring meeting |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名 神宮なな, 早川冬馬, 小野大成, 齋藤健一 |
| 2. 発表標題 表面修飾シリコンナノ粒子の合成：表面構造と発光特性 |
| 3. 学会等名 化学工学会第87年会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 三浦結衣, 柏木努, 福田健, 塩原利夫, 齋藤健一 |
| 2. 発表標題 アルコキシシランのメカノケミカル合成 |
| 3. 学会等名 化学工学会第87年会 |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計5件

| | | |
|--|------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 シリコン量子ドット前駆体、シリコン量子ドット、シリコン量子ドット前駆体の製造方法及びシリコン量子ドットの製造方法 | 発明者 齋藤健一 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-154517 | 出願年 2020年 | 国内・外国の別 国内 |
| 産業財産権の名称 金属化合物の製造方法 | 発明者 齋藤健一，三浦結衣 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-159968 | 出願年 2019年 | 国内・外国の別 国内 |
| 産業財産権の名称 配向膜作製法 | 発明者 齋藤健一，加治屋大介，竹本昌一 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-207508 | 出願年 2019年 | 国内・外国の別 国内 |
| 産業財産権の名称 金属材料及び水素の製造方法 | 発明者 齋藤健一，大田晴久 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-030374 | 出願年 2019年 | 国内・外国の別 国内 |
| 産業財産権の名称 水素の製造方法 | 発明者 齋藤健一，山本拓哉 | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2019/ | 出願年 2019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 |
|-------|-----------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 寺田 詩歩 (Terada Shiho) | | |
| 研究協力者 | 小野 大成 (Ono Taisei) | | |
| 研究協力者 | しゅう ゆーぴん (Xu Yuping) | | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|----------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 藤本 啓資 (Fujimoto Keisuke) | | |
| 研究協力者 | 植田 朋乃可 (UEDA Honoka) | | |
| 研究協力者 | 神宮 なな (JINGU Nana) | | |
| 研究協力者 | 坂田 俊樹 (Sakata Toshiki) | | |
| 研究協力者 | 竹本 昌一 (Takemoto Masakazu) | | |
| 研究協力者 | 坂本 全教 (Sakamoto Masanori) | | |
| 研究協力者 | 水谷 友哉 (MIZUTANI Tomoya) | | |
| 研究協力者 | 三浦 結衣 (MIURA Yui) | | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|-------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 大田 晴久 (OHTA Haruhisa) | | |
| 研究協力者 | 花谷 快渡 (HANATANI Kaito) | | |

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 |
|---------|---------|
| | |