

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05012

研究課題名(和文) 半導体ナノ構造体を用いた高機能フォトクロミック材料の創出

研究課題名(英文) Development of advanced photochromic materials using semiconductor nanostructures

研究代表者

小林 洋一 (Kobayashi, Yoichi)

立命館大学・生命科学部・教授

研究者番号：10722796

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：水溶性CuドーブZnSナノ結晶粉末のフォトクロミック反応は10-50 程度の範囲でフォトクロミック反応の消色速度が温度にほとんど依存しない。本研究では、その原因がナノ結晶表面の吸着水であり、温度に応じて脱着する過程が本質的なフォトクロミック反応の温度依存性を相殺していることを明らかにした。また、組成の異なる半導体ナノ結晶として、水溶性ZnOナノ結晶を合成し、それらが空気下でもフォトクロミック反応を示すことを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

外気温に依存せず、高速に発色、消色するフォトクロミック材料は産業界における革新的な材料となることが期待される。さらに、半導体ナノ結晶の高速応答フォトクロミズムの着色の起源は秒から分オーダーにわたる超長寿命の電荷分離状態であることから、本研究はフォトクロミック材料開発だけでなく、光触媒や固体光化学の観点からも重要である。

研究成果の概要(英文)：The photochromic reaction of water-soluble Cu-doped ZnS nanocrystal powder exhibits a decolorization rate that is almost independent of temperature within the range of 10 to 50 degrees Celsius. In this study, we revealed that the origin of the temperature dependence is the adsorbed water on the surface of the nanocrystals, and the process of adsorption and desorption of the adsorbed water with changes in temperature offsets the intrinsic temperature dependence of the photochemical reaction. Additionally, water-soluble ZnO nanocrystals, a semiconductor nanocrystal with a different composition, were synthesized and found to exhibit a photochemical reaction even in the presence of air.

研究分野：光化学

キーワード：ナノ結晶 フォトクロミズム 電荷分離 励起状態ダイナミクス

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

フォトクロミズムとは、光照射によって物質の構造が可逆的に変化する現象のことであり、色（吸収）、発光、屈折率、溶媒への溶解性、電気特性、さらには生命現象など、さまざまな物性を光で非侵襲、非接触に変化できることから、広範な分野における光スイッチ材料として幅広く研究されている。その中でも、光照射によって生成した着色状態が室温程度の熱エネルギーによって自発的にもとの色へと戻るものは熱消色型フォトクロミック分子といい、基礎研究分野では超解像顕微鏡のプローブや書き換え可能なホログラム材料、産業応用では調光レンズや紙幣、ブランド品、医薬品などの偽造防止ラベル材料など、多様な分野への応用が期待されている。これらの産業応用には、安価で大量供給が可能、高い光感度、速い消色速度、また消色過程が温度に依存しないフォトクロミック特性が求められている一方、既存のフォトクロミック化合物はこれらの条件を満たさず、限られた小規模の用途でしか産業展開ができていない。例えば、基礎、応用共に広く用いられている有機フォトクロミック分子は比較的高感度かつ消色速度が速い一方、耐久性が低く価格が極めて高い。古くから知られる AgCl ガラスなどの無機フォトクロミック材料は安価で大量に合成できる一方、光感度が低く、また消色速度が極めて遅い。また、どちらの材料においても熱によって消色する特性上温度依存性は避けられず、消色速度に温度依存性のない熱消色型フォトクロミック材料は代表者が知る限り現状存在しない。これは、一般にフォトクロミック反応が光照射によって分子構造や電子状態が大きく変化し、それに伴って活性化エントロピーが大きくなるためである。このように、従来のフォトクロミック材料では上記の ~ の特性を満たさず、高機能フォトクロミック材料の創出には抜本的な指針転換が求められていた。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、近年代表者が開発した室温近傍で温度の影響を受けづらく、高速に応答する Cu ドープ ZnS ナノ結晶の T 型フォトクロミズムを基盤として、上記の特性を満たす高機能フォトクロミック材料の創出を目指す。具体的には、本材料は既に、 の特性を満たしていることから、 のフォトクロミック反応の高感度化、高機能化に特化した研究を推進する。外気温に依存せず、高速に発色、消色するフォトクロミック材料は産業界における革新的な材料となることが期待される。さらに、半導体ナノ結晶の高速応答フォトクロミズムの着色の起源は秒から分オーダーにわたる超長寿命の電荷分離状態であることから、本研究はフォトクロミック材料開発だけでなく、光触媒や固体光化学の観点からも重要である。

### 3. 研究の方法

Cu ドープ ZnS ナノ結晶のフォトクロミズムは、光照射に伴う電荷分離に由来する。初年度は、サブマイクロ秒から秒オーダーの過渡吸収分光測定装置の構築を行い、電荷分離の早時間スケールでの緩和過程を解析し、着色効率向上のための基礎的な知見を得た。また、Cu ドープ ZnS ナノ結晶の温度依存性を詳細に解析し、フォトクロミック反応が室温近傍で温度に依存しない特性の起源を明らかにした。また、着色過程をさらに向上させるため、異なる組成の半導体ナノ結晶や、有機分子と組み合わせた複合ナノ材料を合成し、それらの光機能を明らかにした。

#### 4. 研究成果

##### (1) Cu ドープ ZnS ナノ結晶粉末のフォトクロミック反応の温度依存性の起源の解明

Cu ドープ ZnS ナノ結晶粉末は、紫外線照射により乳白色から灰色になり、照射を止めると数十秒以内にもとの色へと戻る。フォトクロミック反応は化学反応のため、温度に依存してその反応速度が変化する。一方、Cu ドープ ZnS ナノ結晶のフォトクロミック反応の消色速度は、10-50 付近までの温度変化にほとんど依存しない。種々の検討の結果、水分子のナノ結晶表面への吸脱着過程が温度とともに変化し、それが温度に依存しづらいフォトクロミック反応の起源であることを明らかにした (J. Phys. Chem. Lett., 2021, 12, 8129.)

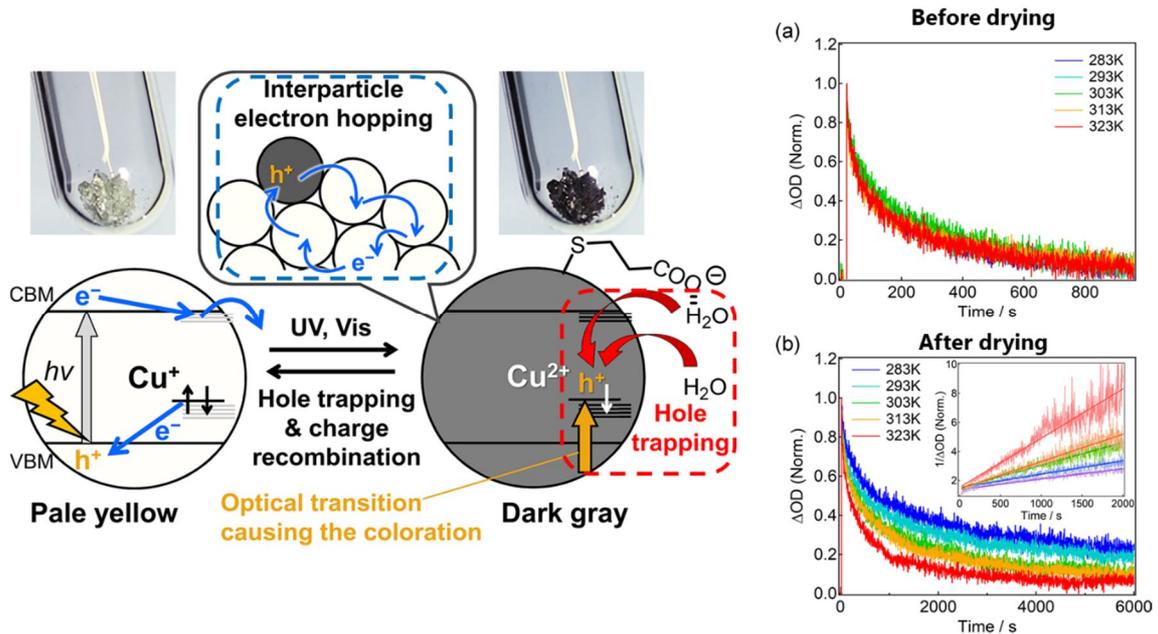


図 1 : (左) 親水性 Cu ドープ ZnS ナノ結晶粉末のフォトクロミズムの反応スキーム。表面の吸着水が正孔捕捉材として働き、温度に伴う脱着過程がフォトクロミック反応の温度依存性を相殺していることが明らかになった。(右) (a)粉末を未乾燥の時には温度にほとんど依存しない一方、(b)粉末を乾燥させると温度依存性が生じる。

##### (2) ZnO ナノ結晶固体粉末のフォトクロミズム

メルカプトプロピオン酸でキャップした ZnO ナノ結晶粉末が紫外光照射により近赤外領域全体に吸収を生じ、照射後元に戻るフォトクロミズムを示すことを明らかにした。ZnO ナノ結晶のフォトクロミック反応はこれまでも知られていた一方、湿潤空気下でもフォトクロミック反応を示す例はこれまでになく、ZnO ナノ結晶の新しい機能材料の可能性を見出した (Photochem. Photobiol. Sci.2022, 21, 1781-1791.)

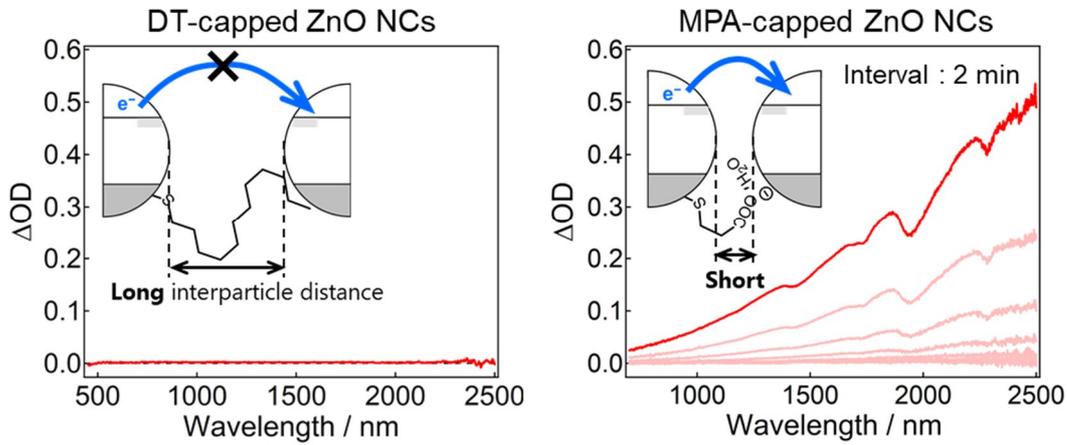


図2：ドデカンチオール (DT) およびメルカプトプロピオン酸 (MPA) で配位した ZnO ナノ結晶粉末の 365 nm の紫外線照射後の吸収スペクトルの時間変化

(3) 有機色素を配位した Ag<sub>2</sub>S ナノ結晶の合成とその光機能の解明

近赤外領域まで吸収帯を有し、極めて低毒性の Ag<sub>2</sub>S ナノ結晶に可視光応答性色素であるペリレンビスイミドを配位させた複合ナノ材料を合成し、その光誘起電荷分離挙動を明らかにした。これまでナノ結晶の電荷分離を形成するためには紫外光や可視光を用いる必要があった一方、本材料では 720 nm の近赤外光で励起しても電荷分離に由来するペリレンビスイミドのラジカルアニオンのシグナルが瞬時に生成した。Ag<sub>2</sub>S ナノ結晶高励起状態、または量子サイズ効果が強く表れた小さなナノ結晶からペリレンビスイミドの最低空軌道に高速な電子移動が起きていることが示唆された (ECS J. Solid State Sci. Technol.2022, 11, 101001.)

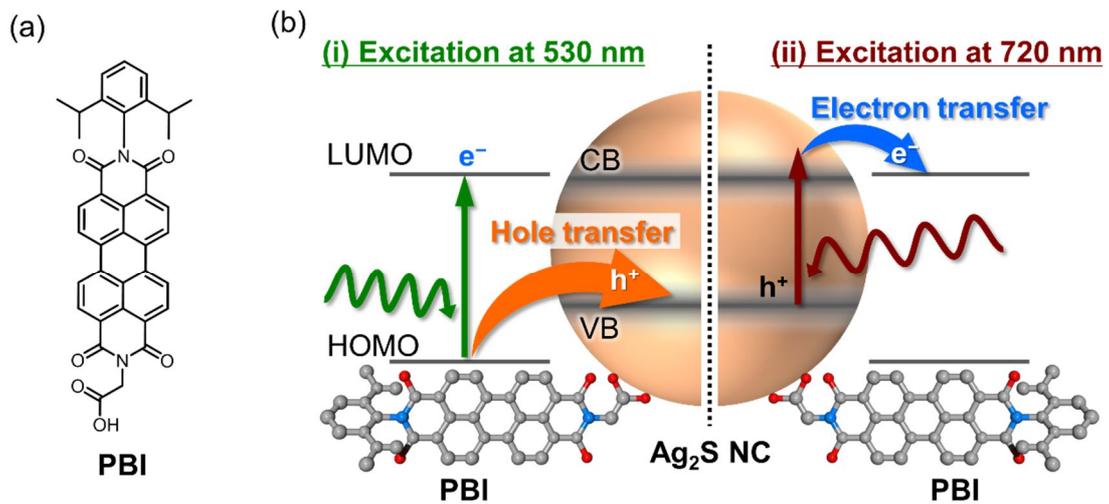


図3：(a)カルボキシ基を有するペリレンビスイミド (PBI) の分子構造と (b) PBI を配位した Ag<sub>2</sub>S ナノ結晶の近赤外光誘起電子移動反応の反応スキーム

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Toyota Yuto, Sagawa Masahiko, Yamashita Shohei, Okayasu Yoshinori, Nagai Yuki, Okada Yohei, Kobayashi Yoichi	4. 巻 14
2. 論文標題 Effect of the bulkiness of alkyl ligands on the excited-state dynamics of ZnO nanocrystals	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 2796 ~ 2803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3RA05166H	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 Fujisaki Sota, Nagai Yuki, Okayasu Yoshinori, Kobayashi Yoichi	4. 巻 5
2. 論文標題 Photochromic clock reaction of anthraquinone in supramolecular gel and its application to spatiotemporal patterning	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Materials Advances	6. 最初と最後の頁 1468 ~ 1472
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3MA00821E	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 Seri Tomoya, Okayasu Yoshinori, Nagai Yuki, Abe Jiro, Kobayashi Yoichi	4. 巻 14
2. 論文標題 Unraveling Steric Effects on Ultrafast Bond-Dissociation Processes of Photochromic Radical Complexes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 11474 ~ 11479
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.3c03232	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 Okayasu Yoshinori, Miyahara Takuya, Shimada Rintaro, Nagai Yuki, Sakamoto Akira, Abe Jiro, Kobayashi Yoichi	4. 巻 59
2. 論文標題 Photochromic dinuclear iridium( $\text{Ir}^{\text{III}}$ ) complexes having phenoxy-imidazolyl radical complex derivatives	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 8850 ~ 8853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3CC02208K	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 Yokoyama Miyu, Okayasu Yoshinori, Kobayashi Yoichi, Tanaka Hiroki, Haketa Yohei, Maeda Hiromitsu	4. 巻 25
2. 論文標題 Ion-Pairing Assemblies of DithienylNitrophenol-Based -Electronic Anions Stabilized by Intramolecular Interactions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Organic Letters	6. 最初と最後の頁 3676 ~ 3681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.orglett.3c01075	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 Yoshioka Daisuke, Yoneda Yusuke, Chang I-Ya, Kuramochi Hikaru, Hyeon-Deuk Kim, Kobayashi Yoichi	4. 巻 17
2. 論文標題 Quasi-Reversible Photoinduced Displacement of Aromatic Ligands from Semiconductor Nanocrystals	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 11309 ~ 11317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.2c12578	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 Ishii Wataru, Okayasu Yoshinori, Kobayashi Yoichi, Tanaka Rika, Katao Shohei, Nishikawa Yoshiko, Kawai Tsuyoshi, Nakashima Takuya	4. 巻 145
2. 論文標題 Excited State Engineering in Ag <sub>29</sub> Nanocluster through Peripheral Modification with Silver(I) Complexes for Bright Near-Infrared Photoluminescence	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 11236 ~ 11244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.3c01259	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 Sato Ryota, Okajima Hajime, Sugiura Shinya, Haketa Yohei, Kinoshita Yusuke, Tamiaki Hitoshi, Sakamoto Akira, Maeda Hiromitsu, Kobayashi Yoichi	4. 巻 24
2. 論文標題 Excited-state dynamics of dipyrrolyldiketone difluoroboron complexes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 1685 ~ 1691
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1cp04804j	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 Ito Hiroki, Yoshioka Daisuke, Hamada Morihiko, Okamoto Tsubasa, Kobori Yasuhiro, Kobayashi Yoichi	4. 巻 21
2. 論文標題 Photochromism of colloidal ZnO nanocrystal powders under ambient conditions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Photochemical & Photobiological Sciences	6. 最初と最後の頁 1781 ~ 1791
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s43630-022-00256-6	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 Nagai Yuki, Watanabe Tadashi, Yoshioka Daisuke, Okayasu Yoshinori, Tamai Naoto, Kobayashi Yoichi	4. 巻 11
2. 論文標題 Near-Infrared-Light Triggered Electron Transfer from Ag <sub>2</sub> S Nanocrystals to Perylene Bisimide	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ECS Journal of Solid State Science and Technology	6. 最初と最後の頁 101001 ~ 101001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2162-8777/ac93b2	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 Lian Zichao, Kobayashi Yoichi, Vequizo Junie Jhon M., Ranasinghe Chandana Sampath Kumara, Yamakata Akira, Nagai Takuro, Kimoto Koji, Kobayashi Katsuaki, Tanaka Koji, Teranishi Toshiharu, Sakamoto Masanori	4. 巻 5
2. 論文標題 Harnessing infrared solar energy with plasmonic energy upconversion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Sustainability	6. 最初と最後の頁 1092 ~ 1099
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41893-022-00975-9	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 Tanaka Hiroki, Kobayashi Yoichi, Furukawa Ko, Okayasu Yoshinori, Akine Shigehisa, Yasuda Nobuhiro, Maeda Hiromitsu	4. 巻 144
2. 論文標題 -Stacked Ion Pairs: Tightly Associated Charged Porphyrins in Ordered Arrangement Enabling Radical-Pair Formation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 21710 ~ 21718
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.2c09589	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 Tanaka Hiroki, Okayasu Yoshinori, Kobayashi Yoichi, Maeda Hiromitsu	4. 巻 29
2. 論文標題 Substituent Dependent Photoexcitation Processes of Stacked Ion Pairs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202203957
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202203957	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 Maeda Hiromitsu, Abiko Taichi, Haketa Yohei, Kobayashi Yoichi, Ishibashi Yukihide, Asahi Tsuyoshi, Yasuda Nobuhiro	4. 巻 ASAP
2. 論文標題 Electron-donating curved $\pi$ -electronic systems that complex with buckyball	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 ASAP
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CP01575G	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 Kawanishi Yasuki, Segawa Yasutomo, Mutoh Katsuya, Abe Jiro, Kobayashi Yoichi	4. 巻 58
2. 論文標題 A photochromic carbazoyl-imidazolyl radical complex	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 4997 ~ 5000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2CC01196D	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 Kobayashi Yoichi, Abe Jiro	4. 巻 51
2. 論文標題 Recent advances in low-power-threshold nonlinear photochromic materials	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Society Reviews	6. 最初と最後の頁 2397 ~ 2415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1cs01144h	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 Sanada Yusuke, Yoshioka Daisuke, Kobayashi Yoichi	4. 巻 12
2. 論文標題 Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 8129 ~ 8133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.1c02386	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 Mutoh Katsuya, Toshimitsu Shota, Kobayashi Yoichi, Abe Jiro	4. 巻 143
2. 論文標題 Dynamic Spin-Spin Interaction Observed as Interconversion of Chemical Bonds in Stepwise Two-Photon Induced Photochromic Reaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 13917 ~ 13928
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.1c06775	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 Sasano Yoshifumi, Tanaka Hiroki, Haketa Yohei, Kobayashi Yoichi, Ishibashi Yukihide, Morimoto Tatsuki, Sato Ryuma, Shigeta Yasuteru, Yasuda Nobuhiro, Asahi Tsuyoshi, Maeda Hiromitsu	4. 巻 12
2. 論文標題 Ion-pairing $\pi$ -electronic systems: ordered arrangement and noncovalent interactions of negatively charged porphyrins	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Science	6. 最初と最後の頁 9645 ~ 9657
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1SC02260A	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 Kawanishi Yasuki, Mutoh Katsuya, Abe Jiro, Kobayashi Yoichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Extending the Lifetimes of Charge Transfer States Generated by Photoinduced Heterolysis of Photochromic Radical Complexes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Asian Journal of Organic Chemistry	6. 最初と最後の頁 891 ~ 900
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ajoc.202100032	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41件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 吉岡大祐、松廣香織、小林洋一
2. 発表標題 疎水性CuドーブZnSナノ結晶のフォトクロミズム
3. 学会等名 ナノ学会第20回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林洋一、吉岡大祐、米田勇祐、倉持 光、金 賢得
2. 発表標題 半導体ナノ結晶の表面有機配位子の擬可逆的光脱離過程
3. 学会等名 ナノ学会第20回大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Daisuke Yoshioka, Yusuke Yoneda, Yoshinori Okayasu, Yuki Nagai, Hikaru Kuramochi, Kim Hyeom-Deuk Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Quasi-reversible photoelimination of organic ligands on semiconductor nanocrystals
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoshinori Okayasu, Yuki Nagai, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Low-Power-Threshold Generations of Hydrated Electrons with Zinc-Based Semiconductor Nanocrystals
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 KAWAI Genki, OKAYASU Yoshinori, NAGAI Yuki, KOBAYASHI Yoichi
2. 発表標題 ローダミンスピロラクタム誘導体のフォトクロミック反応のメカニズム解明
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mai Yamaguchi, Yoshinori Okayasu, Yuki Nagai, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 電荷注入された酸化亜鉛ナノ結晶の光応答特性
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 福永 啓成、落合 奎介、岡安 祥徳、永井 邑樹、小林 洋一
2. 発表標題 キノイド構造を有するフェノチアジン誘導体の励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 第32回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 瀬理 智哉、武藤 克也、阿部 二郎、小林 洋一
2. 発表標題 ビスフェノキシルーイミダゾリルラジカル複合体誘導体の結合解離過程
3. 学会等名 第16回分子科学討論会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉岡 大祐、米田 勇祐、倉持 光、金 賢得、小林 洋一
2. 発表標題 ZnSナノ結晶の表面有機配位子の擬可逆的光脱離過程の解明
3. 学会等名 第16回分子科学討論会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林洋一
2. 発表標題 見える化学から魅せる化学へ ~ 複合ナノ材料を基盤とした新奇光機能の開拓 ~
3. 学会等名 第32回ケムステVシンポ「映える化学・魅せる化学で活躍する若手がつくばに集まる」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoichi Kobayashi Yusuke Sanada, Yuzo Arima, Yoshinori Okayasu, Yuki Nagai
2. 発表標題 Decomposition of Perfluoroalkyl Substances by Near-UV and Visible Light Irradiation to Semiconductor Nanocrystals
3. 学会等名 Soft/Hard2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sota Tokuoka, Daisuke Yoshioka, Yoshinori Okayasu, Yuki Nagai, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Synthesis and Optical Properties of ZnTe/ZnS Core-Shell Nanocrystals
3. 学会等名 Soft/Hard2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Sota Fujisaski, Yoshinori Okayasu, Yuki Nagai, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Spatiotemporal Control of Photochromic Reactions Based on Oxygen Transfer Suppressed in Supramolecular Gel
3. 学会等名 Soft/Hard2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mayu Kimura, Daisuke Yoshioka, Yoshinori Okayasu, Yuki Nagai, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Effect on Nanocrystal Surface on Photochromism of Cu-Doped ZnS Nanocrystals
3. 学会等名 Soft/Hard2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Keisuke Ochiai, Issei Fukunaga, Yoshinori Okayasu, Yuki Nagai, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Excited-state dynamics of quinoidal phenothiazine derivative
3. 学会等名 Soft/Hard2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yuto Toyota, Shohei Yamashita, Yuki Nagai, Yoshinori Okayasu, Yohei Okada, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Controlling Optical Properties of ZnO Nanocrystals by Bulkiness of Alkyl Ligands
3. 学会等名 Soft/Hard2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daisuke Yoshioka, Yusuke Yoneda, I-Ya Chang, Hikaru Kuramochi, KIM Hyeon-Deuk, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Quasi-reversible photoinduced displacement of functional organic ligands from colloidal semiconductor nanocrystals
3. 学会等名 Soft/Hard2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林洋一
2. 発表標題 半導体ナノ結晶の特異な光化学反応過程の開拓と応用
3. 学会等名 第1回学際化学若手育成シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 瀬理智哉、永井邑樹、岡安祥徳、武藤克也、阿部二郎、小林洋一
2. 発表標題 ビス(フェノキシルーイミダゾリルラジカル複合体)誘導体の段階的ニ光子フォトクロミズム
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小林洋一、真田 優介、有馬 佑蔵、岡安 祥徳、永井 邑樹
2. 発表標題 半導体ナノ結晶と近紫外・可視光を用いたパーフルオロアルキル化合物の分解
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 永井邑樹、河合彦希、岡安祥徳、小林洋一
2. 発表標題 ローダミンスピロラクタム誘導体における分子間フォトクロミック反応
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 落合奎介、福永宥成、岡安祥徳、永井邑樹、小林洋一
2. 発表標題 キノイド構造を有するフェノチアジン誘導体の励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岡安祥徳、小林洋一
2. 発表標題 希土類錯体における光耐久性と光分解反応の評価
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 有馬佑蔵、岡安祥徳、永井邑樹、小林洋一
2. 発表標題 硫化カドミウムナノ結晶への可視光照射によるパーフルオロアルキル化合物の分解
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Daisuke Yoshioka, Yusuke Yoneda, I-Ya Chang, Hikaru Kuramochi, KIM Hyeon-Deuk, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 コロイドZnSナノ結晶に配位したペリレンビスイミド誘導体の疑可逆的な光脱離
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 藤崎壮太、岡安祥徳、永井邑樹、小林洋一
2. 発表標題 三重項の増感・消光により制御されたスチルベンの自己加速的光異性化挙動
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 木村真優、岡安祥徳、永井邑樹、小林洋一
2. 発表標題 CuドーブZnSナノ結晶のフォトクロミズムの表面効果
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 豊田悠斗、山下翔平、岡安祥徳、永井邑樹、岡田洋平、小林洋一
2. 発表標題 ZnOナノ結晶の光物性の表面配位子依存性
3. 学会等名 日本化学会 第103春季年会 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Fast Photochromic Reactions of Zinc-Based Colloidal Nanocrystals
3. 学会等名 Third Indian Materials Conclave and 32nd Annual General Meeting of MRSI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Green and far-red-light induced electron injection from perylene bisimide to wide-bandgap semiconductor nanocrystals with stepwise two-photon absorption process Visible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process
3. 学会等名 Photonics in Chemical Physics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Sanada, Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Origin of the Anomalous Temperature Dependence of the Photochromic Reaction of Cu-Doped ZnS Nanocrystals
3. 学会等名 11th Asian Photochemistry Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ryota Sato, Shinya Sugiura, Yohei Haketa, Hiromitsu Maeda, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Excited State Dynamics of Dipyrrolydiketone Difluoroboron Complexes
3. 学会等名 11th Asian Photochemistry Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Visible and Far-Red Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to Wide-Bandgap Semiconductor Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process
3. 学会等名 11th Asian Photochemistry Conference
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Visible and Near Infrared Light-Induced Electron Extraction from Perylene Bisimide to CdS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process
3. 学会等名 The 22nd Ries-Hokudai International Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daisuke Yoshioka, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Visible and Near Infrared Light Induced Electron Injection from Perylene Bisimide to ZnS Nanocrystals with Stepwise Two-Photon Absorption Process
3. 学会等名 光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroki Ito, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 T-type Photochromism of ZnO Nanocrystals
3. 学会等名 光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yusuke Sanada, Yoichi Kobayashi
2. 発表標題 Mechanistic Studies on Temperature Dependence of Photochromism of Cu-Doped ZnS Nanocrystals
3. 学会等名 光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福田大樹、小林洋一
2. 発表標題 ペリレンビスイミド誘導体の高次励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤亮太、杉浦慎哉、羽毛田洋平、前田大光、小林洋一
2. 発表標題 ジピロリルジケトンフッ化ホウ素錯体の励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 基礎有機化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉岡大祐、小林洋一
2. 発表標題 可視及び近赤外光の段階的二光子吸収過程によるペリレンビスイミドからZnS半導体ナノ結晶への電子注入
3. 学会等名 第40回固体・表面光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林洋一、濱田守彦、I-Ya Chang、金 賢得、小堀康博
2. 発表標題 CuドーピングZnS ナノ結晶の高速フォトリソミズム
3. 学会等名 ナノ学会第19回大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 水和電子の生成方法	発明者 小林洋一、真田優介	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-111098	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ナノ粒子、それを用いる水和電子発生方法及びハロゲン含有有機材料分解方法	発明者 小林洋一、真田優介、山口真依	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-017879	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 水和電子発生用、ハロゲン含有有機材料分解用、フォトリソミック材料用のナノ粒子	発明者 小林洋一、有馬有蔵	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2023-017884	出願年 2023年	国内・外国の別 国内

〔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

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