

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：34504

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14480

研究課題名（和文）スピロピラン誘導体と半導体量子ドット複合系のホットキャリア緩和過程の解明

研究課題名（英文）Unveiling Hot Carrier Relaxation Process in Spiropyran Derivatives-Semiconductor Quantum Dots Hybrid Systems

研究代表者

江口 大地（Eguchi, Daichi）

関西学院大学・理学部・助教

研究者番号：50844677

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：光異性化分子であるスピロピラン誘導体とPbS量子ドット（QDs）において、有機配位子の電場が励起子素過程に及ぼす影響を解析した。フェムト秒過渡吸収分光測定より、ホット電子の緩和過程に対応するブリーチの立ち上がりは、光異性化前後で変化が見られなかった。しかし、この複合系はPbS QDsから有機配位子へキャリア移動やエネルギー移動が起こらないにも関わらず、発光の消光が観測された。これは、光異性化によるQDs表面の歪みの誘起の可能性があり、新たな発光スイッチングメカニズムとなりうる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、半導体量子ドット（QDs）から有機配位子へ電子移動やエネルギー移動により、QDsの発光強度の制御を行っていた。そのため、可能なQDsと有機配位子の組み合わせに限りがあった。今回、提唱する新たな発光スイッチング過程は、電子移動やエネルギー移動によるものではないため、赤外や近赤外領域に吸収端や発光帯を持つQDsに適用可能であり、これまで発光スイッチングが達成できなかった発光帯でのスイッチングを可能とする。

研究成果の概要（英文）：We analyzed the effect of the electric field of organic ligands on the elementary exciton process in hybrid systems of spiropyran derivative and PbS quantum dots (QDs). Femtosecond transient absorption spectroscopy measurements showed that the growth of 1S bleach signal corresponding to the relaxation process of hot electrons did not change before and after photoisomerization. However, luminescence quenching was observed in this hybrid systems, despite the absence of carrier or energy transfer from the PbS QDs to the organic ligands. This quenching may be attributed to the induction of surface distortion on the QDs by photoisomerization, potentially representing a novel luminescence switching mechanism.

研究分野：ナノ材料化学

キーワード：PbS量子ドット スピロピラン フェムト秒過渡吸収分光測定

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

半導体量子ドット (QDs) は、粒径がナノ領域の半導体であり、量子サイズ効果が発現し、粒径に応じて光学特性を制御可能であることから、太陽電池への応用が期待されている。QDs の光物性解明は、太陽電池の高効率化に繋がるため重要な研究課題である。その中で、ホットキャリア、(半導体がバンドギャップ以上のエネルギーを持つ光子を吸収したときに生成する、高エネルギー状態のキャリア) の緩和過程が注目を集めている。このホットキャリアは、フォノンとの相互作用により、その高エネルギー状態を熱として散逸し、緩和する。このホットキャリアの高エネルギー状態をそのまま外部に抽出することができれば、単接合太陽電池の変換効率の理論限界 (ショックレー・クワイサー限界) の突破に繋がる [1]。

ホットキャリアを有効利用するためには、この緩和過程をいかに遅延させるかが重要な鍵となる。この緩和過程には、フォノンとの相互作用 [2] や電場によるクーロン遮蔽 [3] が重要な因子であることが報告されている。その中で、光異性化により電場が大きく変化するスピロピラン (SP) 誘導体が及ぼす影響は明らかとなっていない。この SP は紫外光照射で SP からメロシアニン (MC) へ異性化し、生成した MC は可視光照射もしくは熱により SP へと可逆的に異性化を起こす (Figure 1)。この異性化にともない、双極子モーメントの大きさは SP の 4 D から MC の 16 D と劇的に変化する [4]。

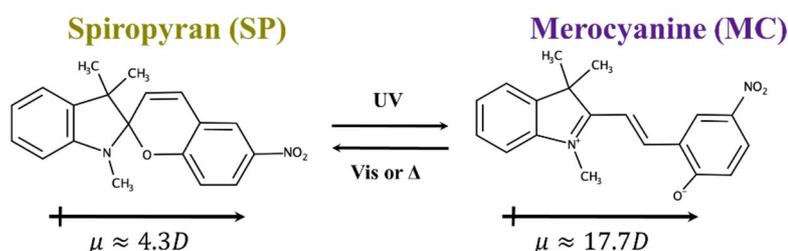


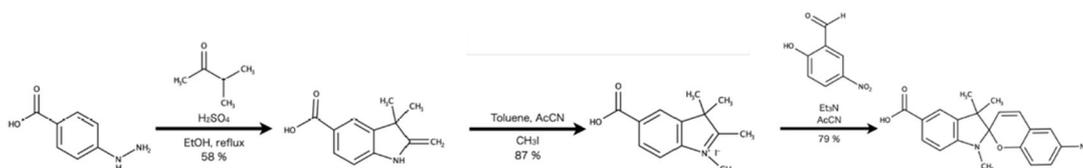
Figure 1. スピロピランとメロシアニンの異性化過程と双極子モーメントの変化

2. 研究の目的

本研究の目的は、有機配位子の双極子モーメントが生み出す電場により、ホットキャリアの緩和過程がどのような影響を受けるか解明することである。本研究では、まず SP 誘導体とキャリア移動及びエネルギー移動が起こらない PbS QDs の複合系を構築し、有機配位子の電場が及ぼすホットキャリア緩和過程への影響を解明する。

3. 研究の方法

市販の化合物を出発原料とし、3段階で QDs への配位部位であるカルボン酸を有する SP 誘導体を合成した [5] (Scheme 1)。得られた化合物は核磁気共鳴スペクトル測定により構造解析を行った。PbS QDs は、鉛前駆体としてオレイン酸鉛、硫黄前駆体としてビス(トリメチルシリル)スルフィドを用いてオクタデセン中で合成し、透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察、粉末 X 線回折測定吸収及び発光スペクトル測定により構造解析を行った。SP 誘導体と PbS QDs の複合系構築は、THF 中で行い、アセトンによる精製後、各種分光測定で用いた (SP もしくは MC-PbS QDs)。フェムト秒過渡吸収分光測定では、Ti:Sapphire レーザーの基本波をポンプパルスとして用い、基本波を Sapphire プレートに集光し発生させた白色光をプローブパルスとして用いた。



Scheme 1. SP 誘導体の合成経路

4. 研究成果

SP 誘導体は、UV 光照射により MC 誘導体へ異性化するが、その逆反応は可視光照射もしくは熱で進行する。有機配位子の電場がホットキャリアの緩和過程に与える影響を解析するためには、フェムト秒過渡吸収分光測定を行う。この測定前後で有機配位子の状態は同一である必要がある。そのため、どの温度で、どの程度逆反応が抑制されるかを明らかにするために、各温度で吸収スペクトルの経時変化を測定した。その結果、-40 °C では 1 時間程度逆反応が進行しなかったことから、以降の複合系における分光測定は -40 °C で行った。

PbS QDs の TEM 観察の結果、形状は等方的に結晶が成長したため球系に近く、粒径は 4.3 ±

0.2 nm であった (Figure 2)。PbS QDs の定常光の吸収及び発光スペクトル測定の結果、この PbS QDs の励起子吸収は 1250 nm ほどに明確に確認された。QDs は励起子を閉じ込める空間 (=半導体核の大きさ) により、量子サイズ効果が異なり、その結果励起子吸収の位置や発光帯が変化する。粒径分布が広い場合、様々な粒径の QDs の吸収スペクトルの足し合わせとなるため、励起子吸収が明確に観測されない。得られた QDs の励起子吸収が明確に観測されたことから、粒径分布が狭いことが考えられ、この結果は TEM 観察の結果と一致する。極大発光波長は 1300 nm 付近に観測され、IR140 を用いて算出した相対発光量子収率は 48% であった。PXRD 測定の結果、得られた PbS QDs の結晶構造は立方晶 (Fm-3m) の回折パターンと良い一致を示した。

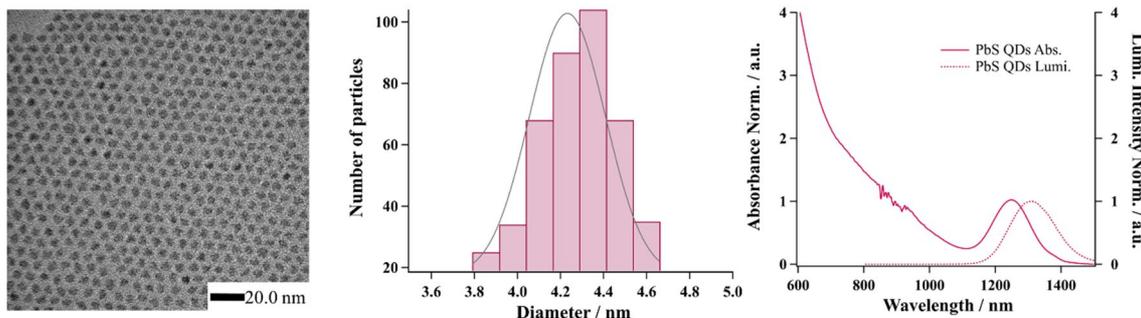


Figure 2. PbS QDs の (左) TEM 像、(真ん中) 粒径分布のヒストグラム、(右) 吸収及び発光スペクトル、

SP-PbS QDs の ^1H NMR 測定の結果、SP 誘導体単独では線幅の狭いスペクトルであったのに対して、複合系では線幅が広がっていた。これは近接する有機配位子との双極子-双極子相互作用による影響であると考えられる [6]。この複合系での NMR スペクトルから、線幅の狭いスペクトルが観測されなかったことから、QDs に配位していない SP 誘導体は精製により除けていることが分かった。

フェムト秒過渡吸収分光測定の結果、定常光の励起子吸収に対応するブリーチ信号が観測された (Figure 3)。このブリーチの強度は、最低励起子準位を占有する励起子の割合と相関がある。パルス励起後の高励起状態から、有機配位子へホット電子移動が起きた場合、最低励起子準位を占有するキャリアの割合が減少するため、ブリーチの強度は小さくなる。SP もしくは MC-PbS QDs において、このブリーチの初期強度は概ね同一であったことから、PbS QDs から有機配位子へホット電子移動が起きていないことが考えられる。また、ブリーチ信号の立ち上がりはホット電子の緩和過程に対応する。このブリーチ信号の立ち上がりは、SP もしくは MC-PbS QDs において同一であり、ホット電子の緩和過程には、有機配位子の電場は関係していないことが明らかとなった。フェムト秒過渡吸収分光測定において、励起光強度を強くすると、生成する平均励起子数が増え、励起子間相互作用に由来する新たな減衰成分が発現する (オージェ再結合)。このオージェ再結合過程も光異性化前後で同一であったことから、SP もしくは MC 誘導体と PbS QDs の複合系では、励起子の振る舞いに影響を与えないことが分かった。

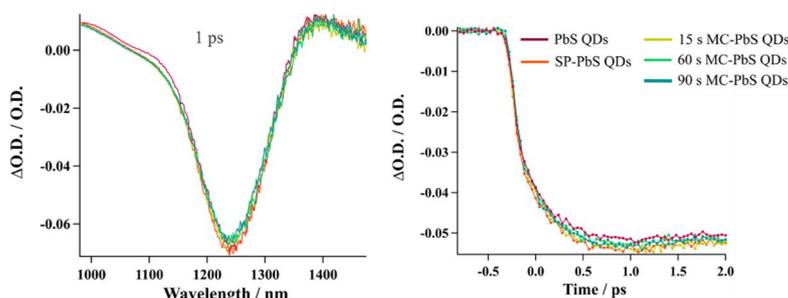


Figure 3. PbS QDs 及び SP/MC-PbS QDs の(左)フェムト秒過渡吸収スペクトル、(右) 1S ブリーチダイナミクス

有機配位子の電場が、ホットキャリアの緩和過程や励起子間相互作用に影響を与えなかったものの、基底状態への緩和過程には影響を与えることが分かった。この系は、PbS QDs から有機配位子へキャリアやエネルギーが移動しない系にも関わらず、光異性化に伴い、PbS QDs の発光強度が減少し、その減少率は UV 照射時間 (=光異性化分子数) と相関があった。この発光強度の減少は、1S ブリーチダイナミクスにおいても、SP から MC への異性化に伴い、数百 ps の緩和成分が発現したこともとも良い一致を示している。この消光のメカニズムとして、光異性化により、QDs 表面に歪みが誘起されたためであると考えている。現在、この発光メカニズムを解明するために、異なる QDs と複合化させ、同様の実験を行うことを検討している。この、キャリア移動やエネルギー移動を伴わない発光のスイッチングメカニズムは、可視域に発光帯を有する QDs だけでなく、赤外、近赤外領域に発光帯を持つ QDs へ適用可能であり、新たな発

光スイッチングメカニズムとなりうる。

参考文献

[1] A. J. Nozik *et al.*, *J. Appl. Phys.*, **1982**, *53*, 3813. [2] K. Wu *et al.*, *Nat. Commun.*, **2019**, *10*, 4532. [3] O. F. Mohammed *et al.*, *ACS Nano*, **2019**, *13*, 12621. [4] R. Klajn, *Chem. Soc. Rev.*, **2014**, *43*, 148. [5] D. B. Stubing *et al.*, *Org. Biomol. Chem.*, **2016**, *14*, 3752-3757. [6] Z. Hens *et al.*, *Chem. Mater.*, **2013**, *25*, 1211-1221.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Inada Kazuki, Eguchi Daichi, Tamai Naoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of Interfacial Potential on Elementary Exciton Processes in InP-based Core/shell Quantum Dots	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ChemRxiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.26434/chemrxiv-2023-1d3lx	査読の有無 無
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 Eguchi Daichi, Kagayama Tomoko, Shimizu Katsuya, Tamai Naoto	4. 巻 -
2. 論文標題 Elementary Exciton Processes of InP/ZnS Quantum Dots Under Applied Pressure	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 ChemRxiv	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.26434/chemrxiv-2024-7pt1w	査読の有無 無
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54件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 江口大地, 川嶋英佑, 中嶋隆人, 玉井尚登
2. 発表標題 ホスフィン保護 Au11 クラスターの超高速キャリアダイナミクスにおける配位子効果
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 尾野豪輝, 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 スピロピラン誘導体 - PbS QDs 複合系の可逆的誘電環境変化と励起子ダイナミクス
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 東優斗, 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 CdSe/ZnS コアシェル型ナノプレートレットの合成と励起子素過程の解明
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 稲田一輝, 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 InP系コアシェル量子ドットにおける励起子素過程の界面ポテンシャル依存性
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小竹誠, 玉井尚登, 江口大地
2. 発表標題 CdTe量子ドットの励起子素過程と圧力効果
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加古稜人, 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 CdSe ナノプレートレット-アクセプター複合系のホット電子緩和と電子移動
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 多賀佑樹, 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 Type-I型コア-シェル量子ドットのホット電子移動とシェル厚み依存性の研究
3. 学会等名 第16回分子科学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 InP系コアシェル量子ドットにおける超高压下での超高速分光
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 出嶋拓未, 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 トリ(2-ナフチル)ホスフィンで保護された金クラスターの合成と超高速緩和ダイナミクス
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山村拓摩, 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 CdTe量子ドットとアクセプター分子複合系でのホット電子移動過程の自由エネルギー変化依存性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹内蓮, 江口大地, 玉井尚登, 王莉
2. 発表標題 超高压下での金ナノロッドの局在表面プラズモン共鳴
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 李俊ソ, 江口大地, 玉井尚登, 王莉
2. 発表標題 ZnSe系ナノプレートレットの合成と励起子ダイナミクス
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 日原将貴, 江口大地, 玉井尚登, 王莉
2. 発表標題 ZnSe系コアシェル量子ドットの合成と励起子素過程
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下大樹, 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 半導体量子ドット-チオール系有機配位子複合系の超高压下での光物性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田彩莉, 稲田一輝, 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 銅イオンをドーブしたInP/ZnSコアシェル量子ドットの励起子素過程
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 江口大地, 玉井尚登
2. 発表標題 ZnSe/InP/ZnSe球状量子井戸の合成と励起子ダイナミクス
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Taga, K. Tsuji, D. Eguchi and N. Tamai
2. 発表標題 Hot Electron Transfer Dynamics of CdSe/ZnS Quantum Dots-Fullerene Systems
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 仲藪 直樹, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 半導体量子ドット - ポルフィリン誘導体複合系の励起子ダイナミクス
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 北島 弘貴, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 青色発光を示すカドミウムフリー量子ドット InGaP QDs の合成と励起子素過程の研究
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾野 豪輝, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 PbS 量子ドット - スピロピラン誘導体複合系における励起子の挙動
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江口 大地, 川嶋 英佑, 中嶋 隆人, 玉井 尚登
2. 発表標題 精密合成された金クラスターの超高速キャリアダイナミクスにおける配位子効果
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長澤 春佳, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdSe/CdTe core/crown型ナノプレートの合成とキャリア移動・再結合素過程の研究
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加古 稜人, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdSe NPLs - Auナノ粒子複合体におけるホット電子緩和の溶媒依存性
3. 学会等名 第15回分子科学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加古 稜人, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdSeナノプレートレット-Auナノ粒子複合体におけるホット電子緩和の溶媒依存性
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 東 優斗, 玉井 尚登, 江口 大地
2. 発表標題 CdSe/ZnSコアシェル型ナノプレートレットの合成と励起子素過程の研究
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 稲田 一輝, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 InP系ナノ結晶の励起子素過程に及ぼす界面ポテンシャルの影響
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 出嶋 拓未, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 トリ(2-ナフチル)ホスフィンで保護されたAu11クラスターの励起緩和過程
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小竹 誠, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdTe 量子ドットの励起緩和に及ぼす圧力効果
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 多賀 佑樹, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdSe/ZnS 量子ドット-フラレン系の電子移動ダイナミクス
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤 陸大, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdSe/ZnSコアシェル量子ドットとアクセプター分子複合系における ホット電子移動と自由エネルギー変化
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾野 豪輝, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 スピロピラン誘導体 - PbS QDs複合系における励起子の挙動
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 江口 大地, 川嶋 英佑, 中嶋 隆人, 玉井 尚登
2. 発表標題 精密合成された金クラスターの超高速キャリアダイナミクスにおける配位子効果
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daichi Eguchi, Naoto Tamai
2. 発表標題 Elementary Exciton Processes of InP-based Core/Shell Quantum Dots Under Ultrahigh Pressure
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Moe Yamamoto, Masakazu Morimoto, Eguchi Daichi, Masahiro Irie, Naoto Tamai
2. 発表標題 Luminescence switching of CdSe QDs by diarylethene derivative and the analysis based on stochastic model
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Junseo Lee, Tamai Naoto, Eguchi Daichi, Wang Li
2. 発表標題 Synthesis and Elementary Exciton Dynamics of ZnSe-based Nanoplatelets
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Taiki Yamashita, Daichi Eguchi, Naoto Tamai
2. 発表標題 Pressure-dependent elementary exciton processes of CdSe QDs assemblies
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yamada Ayari, Daichi Eguchi, Naoto Tamai
2. 発表標題 Elementary exciton dynamics of copper-doped InP and CdSe Quantum dots
3. 学会等名 The 31st International Conference on Photochemistry (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲田 一輝, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 InP系コアシェル量子ドットにおける励起子素過程の界面ポテンシャル依存性
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 InP系コアシェル量子ドットの励起子素過程に及ぼす圧力の影響
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 竹内 蓮, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 金ナノ結晶におけるコヒーレント音響フォノンの圧力依存性
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小竹 誠, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdTe量子ドットの励起子素過程と圧力効果
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山村 拓摩, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdTe量子ドット - アクセプター分子複合系のホット電子移動過程の自由エネルギー変化依存性
3. 学会等名 2023年光化学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 日原 将貴, 玉井 尚登, 江口 大地, 王 莉
2. 発表標題 セレン化亜鉛系コアシェル量子ドットの合成と励起子素過程の研究
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 稲田 一輝, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 InP系コアシェル量子ドットの励起子素過程における界面双極子モーメント依存性
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山田 彩莉, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 銅イオンをドーブしたInP及びCdSe量子ドットの励起子素過程
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本 萌愛, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 ジアリールエテン誘導体-CdSe量子ドット複合体の発光制御と確立論的モデルの解析
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山下 大樹, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdSe量子ドット集合体における光物性の圧力依存性
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 李 俊ソ, 王 莉, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 Cd _x Zn _{1-x} Seナノプレートレットの合成と励起子ダイナミクス
3. 学会等名 第17回分子科学討論会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本 萌愛, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 半導体量子ドットを用いたジアリールエテン誘導体のAuger再結合支援による光異性化反応
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 三澤 宏介, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 CdSe系コアシェル量子ドットにおける励起子素過程の圧力依存性
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 森山 虎太郎, 稲田 一輝, 江口 大地, 玉井 尚登
2. 発表標題 InP系コアシェル量子ドットの界面ポテンシャル形状と電子移動ダイナミクスの研究
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 澤口 建太, 稲田 一輝, 江口 大地, 鎌田 賢司, 玉井 尚登
2. 発表標題 量子ドットを用いた固体系での可視光から紫外光への三重項-三重項消滅光フォトンアップコンバージョン
3. 学会等名 日本化学会第104春季年会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Lee Junseo, Daichi Eguchi, Li Wang, Naoto Tamai
2. 発表標題 Synthesis and Elementary Exciton Dynamics of ZnSe-based Nanoplatelets
3. 学会等名 The 12th International Conference on Quantum Dots (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Daichi Eguchi, Tomoko Kagayama, Katsuya Shimizu, Naoto Tamai
2. 発表標題 The Effect of Pressure on Elementary Exciton Processes of InP-based Core/Shell Quantum Dots
3. 学会等名 The 12th International Conference on Quantum Dots (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 玉井尚登, 江口大地	4. 発行年 2023年
2. 出版社 株式会社エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 992
3. 書名 光と物質の量子相互作用ハンドブック (監修 荒川泰彦, 第5章コロイド粒子)	

〔産業財産権〕

〔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
---------	---------