

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02813

研究課題名(和文)ペロブスカイト半導体膜の光生成キャリアの伝導・移動反応メカニズムの定量的解明

研究課題名(英文)Quantitative elucidation of photo-generated charge carrier mobility and transfer dynamics in perovskite semiconductor films

研究代表者

橘 泰宏 (Tachibana, Yasuhiro)

大阪大学・大学院理学研究科・招へい教授

研究者番号：30359856

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：次の3項目の成果が得られた。

(1)ペロブスカイト膜のキャリアダイナミクスの評価を行った結果、キャリアのトラップが、200 psから1 nsにかけて進行することが分かった。トラップ密度も見積ることが可能であった。(2)ホール輸送層にドーピングを行うと、電荷分離反応速度と効率には影響を与えず、電荷再結合反応速度が低下することが分かった。(3)CsSn₂Br₅ナノキューブの作製に成功した。空気中の水分と酸素により、2価のスズイオンが酸化され、構造がCs₂SnBr₆に変化することが分かった。更に、少量の水分と酸素がCs₂SnBr₆ナノ結晶の安定性に影響を与えることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題の成果から、高効率ペロブスカイト太陽電池を設計するための有益な指針が得られた。

(1)キャリアのトラップ密度を見積もる方法が確立されたことから、トラップ密度の太陽電性能に与える影響を評価することが可能になった。(2)ホール・電子移動度が高い輸送層を選択することにより、太陽電池の開放端電圧とフィルファクタの向上が期待できる。(3)スズペロブスカイト太陽電池の高効率化のためには、水分と酸素と反応しないようにバッファ層を設ける必要がある。一方、水分と酸素存在下でも分解を抑制可能な組成を見つけることが必要である。

研究成果の概要(英文)：The following three outcomes were obtained.

(1)As a result of studying charge carrier dynamics of lead halide perovskite films, charge carrier trapping occurs from 200 ps to 1 ns. We also found that it is possible to estimate charge carrier trap density by conducting excitation intensity dependence on electron-hole recombination dynamics. (2)We found that appropriate doping into the spiro-OMeTAD layer does not influence charge separation rate and yield, however retards charge recombination rates. (3)CsSn₂Br₅ nanocubes were successfully synthesized. Surprisingly, Sn²⁺ in CsSn₂Br₅ perovskite is oxidized by water and oxygen molecules in air, forming Cs₂SnBr₆ perovskite structure. Furthermore, Cs₂SnBr₆ nanocrystals were de-stabilised by a small amount of water and oxygen molecules inside non-polar solvent.

研究分野：物理化学

キーワード：太陽電池 光触媒 超高速分光

1. 研究開始当初の背景

ハロゲン化金属ペロブスカイト半導体は、スピコート法などの簡便な化学製膜プロセス法によって膜を作製することが可能であり、高光吸収効率、高速キャリア輸送特性並びに長寿命キャリア特性を持つことから、次世代の太陽電池や発光素子などの光電子デバイスに有力な材料として注目を浴びている。太陽電池への応用において、性能が飛躍的に向上し、2018年時点では、単一半導体膜を用いた太陽電池の太陽エネルギー変換効率として、22%を超えていた。更なる効率向上を目指して、単一半導体を用いた構造において、理論効率31%に近づけるために、ハロゲン化金属の組成を変えることによるペロブスカイトの光吸収特性・電荷移動特性の向上並びに電子輸送層・ホール輸送層とのマッチングによる性能向上が検討されている。これらの太陽電池性能向上において、光生成されたキャリアの特性を評価するために、過渡吸収スペクトル測定法（TAS）が有効である。TAS法は、太陽電池の作製・測定を不要とし、電極を接触することのないコンタクトレス法で、膜内の光キャリアダイナミクスを迅速簡便に評価することが可能である。また、吸光係数の算出により、膜内のキャリア密度を定量的に割り出し、キャリアロス機構を評価することが可能である。一方、その有効性に反して、TAS法は、未だ十分に太陽電池の性能向上のために活用されていない。特に、太陽電池の性能向上のためには、一つ一つの光生成キャリアのロスメカニズムを完全定量的に解明することが必要であるが、未だ系統的には用いられていない。

2. 研究の目的

本申請者らは、これまで様々な時間分解スペクトル測定法を開発し、光エネルギー変換材料に絞って、その効果を評価するために用いてきた。TAS法においては、**ブロードバンド（測定波長領域：350~6,600 nm）で150フェムト秒から10秒までのキャリアダイナミクスを高感度（限度： 10^{-5} OD）で評価することが可能となるレベルまで開発を行った。**また 10^{-6} ODに相当するシグナル変化のキャリア移動度を直接評価することが可能な時間分解マイクロ波測定法（TRMC）の開発も行った。

そこで、本研究では、「ハロゲン化金属ペロブスカイト層における光生成キャリアダイナミクスを様々な時間分解スペクトル測定法によって完全定量的に解明し、ペロブスカイト層のタイプ・形状・構造・界面制御の因子との相関を得て、高効率ペロブスカイト太陽電池を設計する指針を確立する」ことを目的とする。

3. 研究の方法

ペロブスカイト膜は、すでに確立しているスピコート法を用いて作製する。タイプとして、現在最もよい電池性能を示す鉛イオンを含む多金属カチオンを含む溶液を用いる。一方、非鉛金属イオンを用いたペロブスカイト膜も検討する。

上記目的を達成するために、以下の4項目に関して、ペロブスカイト半導体のタイプ・サイズ・構造・界面制御がキャリアダイナミクスにどのように影響を与えるか解明し、同時にダイナミクスの制御を試みる。

1. ペロブスカイト層形状におけるキャリア移動度並びに電荷移動反応の変化
2. ペロブスカイト層表面・界面制御による界面電荷移動反応の変化
3. 非鉛ペロブスカイト半導体膜の作製とダイナミクスの変化
4. ペロブスカイト層内のホットキャリア輸送並びに界面のホットキャリア注入

本研究は、ペロブスカイト層における光キャリアダイナミクスを完全定量的に解明し、さらに制御を試みることを目的としているので、キャリア特性を評価するために種々の時間分解スペクトル測定法を用いる。それぞれの分光法で成果を挙げている研究者で、すでに共同研究実績のある2グループに役割を分担し、さらに共同研究実績のある研究協力者らとサンプルの開発並びに特殊なTAS法を行う研究体制（表1）を構築した。

表1. 計画を遂行するための研究体制

分担	研究者	所属機関	役割
研究代表者	橘 泰宏	大阪大学	研究統括、実験、成果発表 研究項目：1~4
研究分担者	関 修平	京都大学	実験、成果発表 研究項目：1, 3
研究協力者	実験補助員	大阪大学	実験、成果発表 研究項目：2, 4
国内研究協力者 1	寺西利治	京都大学	研究項目2のサポート
国内研究協力者 2	若宮淳志	京都大学	研究項目1,3のサポート

4. 研究成果

4.1. ペロブスカイト構造におけるキャリアダイナミクスの評価

鉛ペロブスカイト膜内に発生したキャリアの再結合反応速度は、励起光強度、つまりペロブスカイト膜内に発生したキャリアの量に依存することが分かっている。キャリアの量が増えると、再結合反応速度は、一次から二次を経て、三次の速度論に従う。一方、太陽電池の評価は、通常 100 mW/cm² (1 sun)の強度を持つソーラーシミュレータを用いて行われることから、キャリアダイナミクスの評価において、一次の速度論に従うメカニズムを詳細に理解することが重要である。一次の速度論に従う励起光強度領域では、キャリアの再結合反応は、トラップ準位を介して進行することが知られている。ところが、このトラップ準位に関する情報、例えばトラップ準位のポテンシャルレベル、トラップ密度、トラップ準位の位置などは、あまり詳細には明らかになっていない。そこで、本研究項目では、ペロブスカイト膜の励起強度を変化させ、再結合反応速度の変化並びに詳細な解析によるトラップ密度を明らかにすることを目的とする。これらの研究成果は、学術論文として発表するために、すでに投稿を終えている。サンプルは、23%の太陽エネルギー変換効率を示す Cs_{0.05}FA_{0.80}MA_{0.15}PbI_{2.75}Br_{0.25} ペロブスカイト膜を用いた。

ペロブスカイト膜の過渡吸収スペクトルを図 1 に示す。770 nm 付近にピークを持つブリーチシグナルを示す。励起光強度は非常に小さいことから、このブリーチシグナルは、キャリアトラップ準位の遷移に由来するブリーチであると考えられる。また、このブリーチバンドのバンド幅が、200 ps から 1 ns にかけて減少することが分かった。ホットキャリアの緩和は、遅くとも数ピコ秒のオーダーで進行することが分かっていることから、このバンド幅の減少は、フリーキャリアがトラップに捕捉されることを示している。つまり、キャリアのトラップが、200 ps から 1 ns にかけて進行することが分かる。

電荷再結合反応を 770 nm のブリーチピークで観測した。その結果を図 2 に示す。シグナルの減衰挙動は、次の速度式によって Fitting を行った。

$$-\frac{dn}{dt} = k_1 n + k_2 n^2$$

ここで、 k_1 はトラップ準位を介した再結合反応の速度定数、 k_2 は電子-ホール再結合反応の速度定数、 t は時間である。Fitting の結果は、実線で図に示してある。結果から、励起光強度が高く、 $>20 \mu\text{J cm}^{-2}$ のときには、減衰は、ほぼ二次の速度式がしており、一方、励起強度が低く、 $<2 \mu\text{J cm}^{-2}$ の時には、減衰は、ほぼ一次の速度論に従うことが分かった。

これら異なる励起光強度を用いた際には、一次または二次の速度式に従って、シグナルが減衰するので、相対的に比較するのは容易でない。半減期を用いて比較した。その結果を図 3 に示す。一次の速度式に従う励起光強度領域と二次の速度式に従う励起光強度領域の半減期をそれぞれ直線で関連付けると、発生キャリア密度 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 付近で、一次から二次への速度式に変化することが分かる。つまり、本ペロブスカイト膜のトラップ密度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であることが見積もられる。

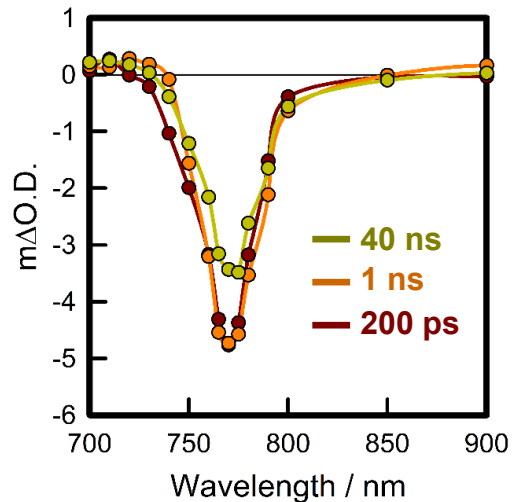


Fig. 1. Transient absorption spectra at 200 ps, 1 and 40 ns after 570 nm excitation with $0.9 \mu\text{J cm}^{-2}$.

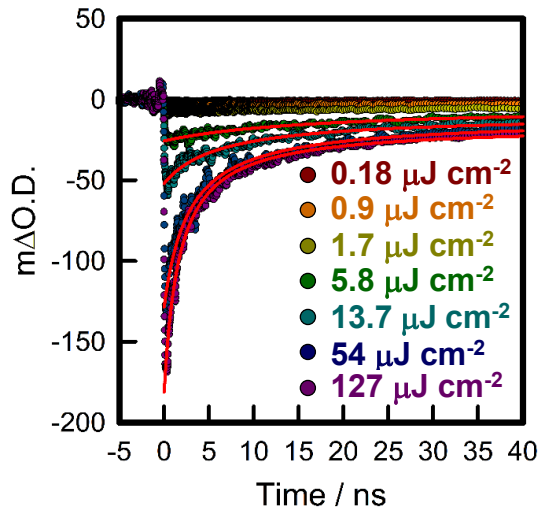


Fig. 2. Transient absorption decays at 770 nm, obtained with a range of excitation intensity from 0.18 to $127 \mu\text{J cm}^{-2}$. The red solid lines indicate results of fitting.

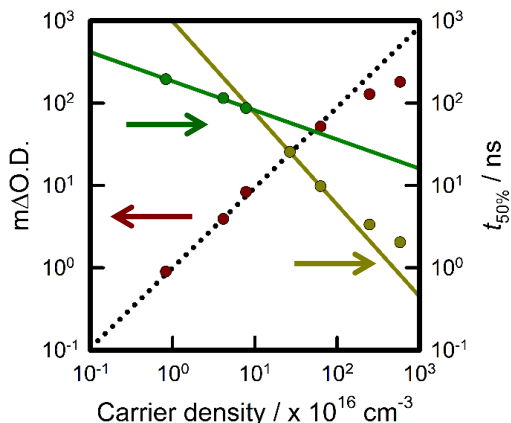


Fig. 3. Transient absorption decays at 770 nm, obtained with the excitation intensity of 0.18 or $0.9 \mu\text{J cm}^{-2}$. The blue solid lines indicate results of fitting with 1st order rate equation.

4.2. ペロブスカイト界面のキャリア移動の電荷分離・再結合反応への影響

これまで報告されている鉛ペロブスカイト膜を用いた高効率太陽電池は、電子輸送層として、酸化チタンナノポーラス膜または酸化スズ膜を用い、ホール輸送層として、2,2',7,7'-Tetrakis(*N,N*-di-*p*-methoxyphenylamine)-9,9'-spirobifluorene (spiro-OMeTAD)を用いている。しかし、ホール輸送剤としての機能を果たすために、つまり十分なホール移動度を示すために、spiro-OMeTAD 適したタイプと量のドーパントが必要となる。代用的なドーパントは、lithium bis(trifluoromethylsulfonyl)imide (LiTFSI)とコバルト塩 (tris[2-(1Hpyrazol-1-yl)-4-*tert*-butylpyridine]cobalt(III)tris-[bis(trifluoromethylsulfonyl)-imide]であり、ドーピングにより移動度が、 5×10^{-5} から $2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ に上昇することが知られている。一方、ドーピングにより、キャリアのダイナミクスがどのように変化し、太陽電池の性能にどのように影響を与えるかは、不明であった。そこで本研究項目では、様々な過渡吸収スペクトル測定装置を用いて、ドーピングにおける界面電荷分離反応・再結合反応への影響を評価することを試みる。これらの研究成果は、*J. Photopolym. Sci. Technol.*, **32**(5) 727-733 (2019)に発表済である。

ナノ秒過渡吸収スペクトル測定装置を用いて、770 nm 付近のブリーチ信号を観測することによるホール移動反応速度の評価を行った。結果を図4に示す。ドーパント有無の spiro-OMeTAD をコートした膜、どちらにおいても、同様の減衰挙動を示した。ブリーチ信号の減衰挙動は、1次速度式を用いて、Fittingを行った。その結果においても、ドーパント有無の spiro-OMeTAD をコートした膜、どちらも2成分必要とし、寿命は、ドーパントを含む膜においては、2.7, 2.2 ns となり、ドーパントを含まない膜においては、2.4, 8.8 ns となった。これまでの我々が発表した論文のデータと比較すると、速い方の寿命は、ホール移動反応に由来し、遅い方の寿命は、電子移動反応に由来することが推測される。

電荷再結合反応速度を評価した結果を図5に示す。ドーパント有に比べて、ドーパントがない状態では、再結合反応が一桁以上速く進行することが分かる。信号の減衰挙動をストレッチ指数関数の式を用いて Fitting を行った。それらの結果も図14に併せて示す。Fittingの結果、寿命は、ドーパントを含む膜においては、220 ms となり、ドーパントを含まない膜においては、6.5 ms となった。このことから、ドーパントを含むことにより、寿命が約30倍延びることが分かった。このことから、ドーパントを含むと、ホール移動度が、 5×10^{-5} から $2 \times 10^{-2} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ に上昇することから、ホール移動後、ホールがペロブスカイト・spiro-OMeTAD 層界面から遠ざかることにより、再結合反応速度が低下すると予想される。

ペロブスカイト界面で、電荷再結合反応が低下すると、開放端電圧並びに Fill Factor (FF)の向上が期待される。つまり、ホール輸送層の移動度が、太陽電池の光電流発生のために必要なだけでなく、開放端電圧並びに FFの向上にも重要な因子であることが分かった。

4.3. スズペロブスカイトナノ結晶膜の作製と評価

鉛ペロブスカイト太陽電池は、現在太陽エネルギー変換効率が、26%にまで達し、実用化が活発に進められている。一方、毒性がある鉛を使用していることから、環境への負荷を考慮すると、実用化への大きな懸念材料となっている。このことから、たとえ鉛ペロブスカイトの太陽電池が実用化されても、毒性の低い非鉛系のペロブスカイト太陽電池が開発されれば、次第に鉛ペロブスカイト太陽電池に置き換わることが予想される。このような観点から、本研究課題では、スズペロブスカイトナノ結晶を合成し、その特性を検討した。これらの研究成果は、*J. Photopolym. Sci. Technol.*, **35**(3) 199-204 (2022)に発表済である。

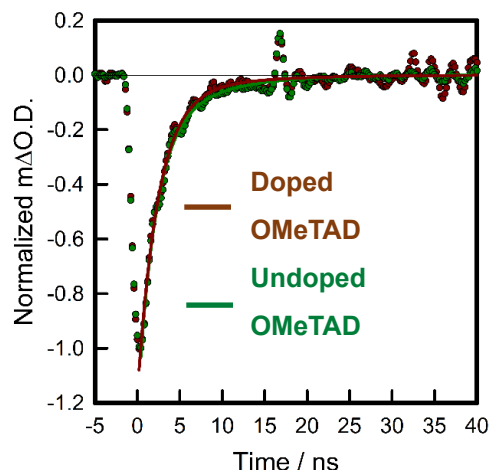


Fig. 4. Transient absorption decays monitored at 770 nm for FTO/c-TiO₂/m-TiO₂/MAPbI₃/OMeTAD with (red dots) and without (green dots) dopants in spiro-OMeTAD excited at 625 nm with excitation intensity of 30 μJ cm⁻². The solid line shows

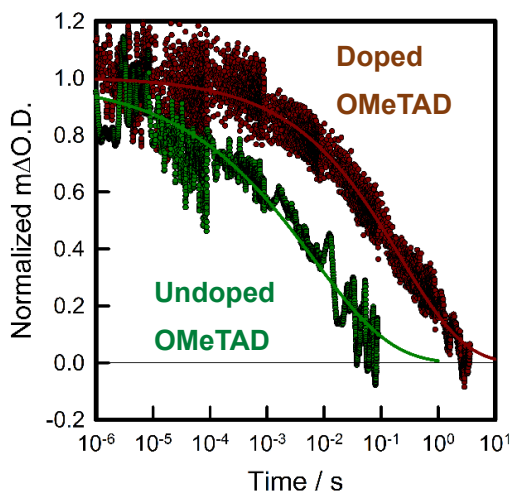


Fig. 5. Transient absorption decays monitored at 1600 nm for FTO/c-TiO₂/m-TiO₂/MAPbI₃/OMeTAD without (green dots) and with (red dots) dopants in spiro-OMeTAD. The solid line shows results from the stretched exponential fitting.

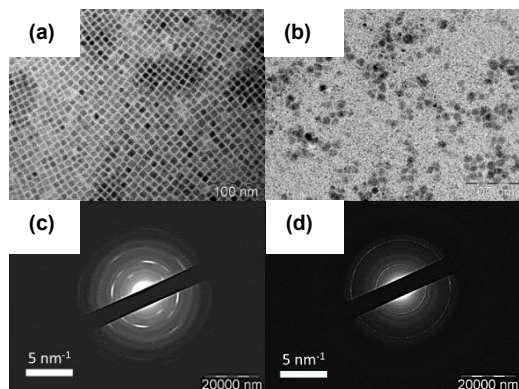


Fig. 6. TEM and electron diffraction images of the synthesized (a, c) and purified (b, d) PNCs.

Cs-Oleate 溶液をこの SnBr₂ 溶液に注入後、溶液の色が、薄い黄色から赤褐色に速やかに変化することが観測された。得られたナノ結晶は、TEM によって観測した。その結果を図 6 に示す。精製前のナノ結晶を図 6a、精製後のナノ結晶を図 6b に示す。精製前のナノ結晶は、一辺が約 12 nm の立方体であるが、精製すると球体に変化することが分かった。精製前後のナノ結晶の電子線回折像を図 6c と図 6d に示す。興味深いことに、精製前のナノ結晶は、CsSn₂Br₅ 構造を持つことが分かったが、精製後には、Cs₂SnBr₆ 構造に変化していた。つまり、ブタノールで生成するだけで、ペロブスカイトの Sn²⁺イオンが、Sn⁴⁺イオンに酸化されることが分かった。また、酸化される際には、SnO₂のような酸化物には変化せず、4 価のスズペロブスカイト構造を形成することが分かった。このような変化は、ブタノール溶媒中に含まれる水分が CsSn₂Br₅ と反応し、Cs₂SnBr₆ が生成したと予想される。

この結晶構造の変化を観察するために、XRD スペクトルの計時変化を観察した。まず、精製前のナノ結晶溶液をドロップキャストして、ナノ結晶膜を作製し、空气中に晒した状態にした。その後、一定時間ごとに XRD 測定を行った。結果を図 7 に示す。ナノ粒子膜作製直後では、CsSn₂Br₅ 構造のスペクトルを示しているが、時間が経過すると、構造のピークが徐々に大きくなり、50 分後には、ほとんど Cs₂SnBr₆ 構造に変化していた。これらの変化は、空气中に含まれる水分と酸素が CsSn₂Br₅ ペロブスカイトと反応することによって Cs₂SnBr₆ 構造に変化すると考えられる。更に、空气中に 12 時間放置すると、膜には、Cs₂SnBr₆ 構造のみ存在するスペクトルが得られた。

次に、生成した Cs₂SnBr₆ ナノ結晶の安定性を観察した。実験は、ナノ結晶を(1)何も処理を行っていないヘキサン、(2)窒素ガスでパージしたヘキサン、(3)脱気した非水ヘキサンにそれぞれ加え、計時変化を吸収スペクトル測定装置を用いて観察した。結果を図 8 に示す。図 8a から、(1)の溶液は、45 分までに、吸光度の大きな低下が見られた。このことから、ヘキサンに含まれる微量の水分や酸素が、Cs₂SnBr₆ と反応し、ペロブスカイト構造が分解されると考えられる。これらの吸光度の低下を比較するために、450 nm における吸光度の計時変化を観測した結果を図 8c に示す。窒素ガスでパージしたヘキサンを用いると(2)、吸光度低下の速度が若干低下し、脱気・脱水したヘキサンを用いると、吸光度低下がさらに抑えられた。これらの結果から、Cs₂SnBr₆ ペロブスカイトは、水と酸素両方に反応して分解するが、水との反応性がより高いことが分かる。

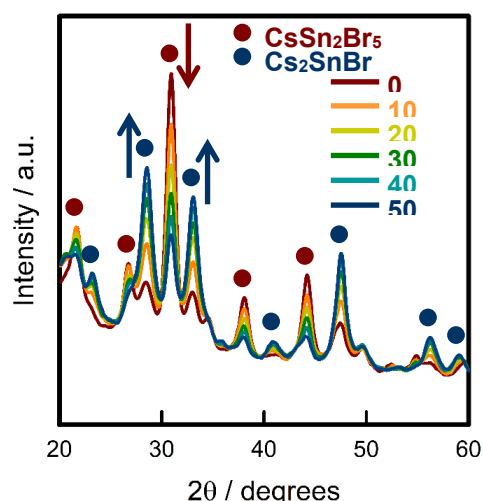


Fig. 7. Time dependent XRD pattern change of the NC film prepared by drop-casting the synthesized NC solution (without the purification) on a synthetic quartz glass substrate.

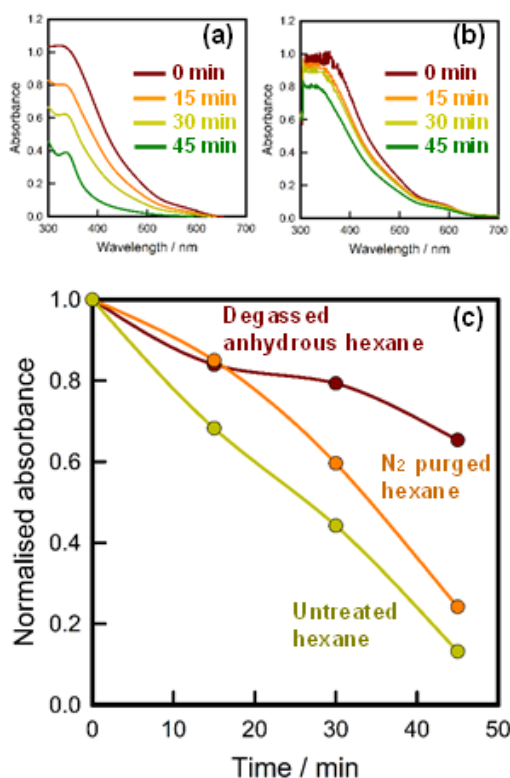


Fig. 8. Absorption spectral change of the purified Cs₂SnBr₆ NCs dispersed in untreated *n*-hexane (a) and in degassed anhydrous *n*-hexane (b). (c) Absorbance change of Cs₂SnBr₆ NCs dispersed in *n*-hexane treated by the specific condition at 450 nm.

次に、生成した Cs₂SnBr₆ ナノ結晶の安定性を観察した。実験は、ナノ結晶を(1)何も処理を行っていないヘキサン、(2)窒素ガスでパージしたヘキサン、(3)脱気した非水ヘキサンにそれぞれ加え、計時変化を吸収スペクトル測定装置を用いて観察した。結果を図 8 に示す。図 8a から、(1)の溶液は、45 分までに、吸光度の大きな低下が見られた。このことから、ヘキサンに含まれる微量の水分や酸素が、Cs₂SnBr₆ と反応し、ペロブスカイト構造が分解されると考えられる。これらの吸光度の低下を比較するために、450 nm における吸光度の計時変化を観測した結果を図 8c に示す。窒素ガスでパージしたヘキサンを用いると(2)、吸光度低下の速度が若干低下し、脱気・脱水したヘキサンを用いると、吸光度低下がさらに抑えられた。これらの結果から、Cs₂SnBr₆ ペロブスカイトは、水と酸素両方に反応して分解するが、水との反応性がより高いことが分かる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Liu Hanming, Liu Maning, Nakamura Ryosuke, Tachibana Yasuhiro	4. 巻 296
2. 論文標題 Primary photocatalytic water reduction and oxidation at an anatase TiO ₂ and Pt-TiO ₂ nanocrystalline electrode revealed by quantitative transient absorption studies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Catalysis B: Environmental	6. 最初と最後の頁 120226 ~ 120226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apcatb.2021.120226	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 該当する
1. 著者名 Liu Maning, Liu Hanming, Padmaperuma Safna Ravindi, Endo Masaru, Shimazaki Ai, Wakamiya Atsushi, Tachibana Yasuhiro	4. 巻 32
2. 論文標題 Influence of Hole Mobility on Charge Separation and Recombination Dynamics at Lead Halide Perovskite and Spiro-OMeTAD Interface	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 727 ~ 733
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.32.727	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 該当する
1. 著者名 Padmaperuma Safna Ravindi, Liu Maning, Nakamura Ryosuke, Tachibana Yasuhiro	4. 巻 34
2. 論文標題 Photoinduced Charge Carrier Dynamics of Metal Chalcogenide Semiconductor Quantum Dot Sensitized TiO ₂ Film for Photovoltaic Application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 271 ~ 278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.34.271	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 該当する
1. 著者名 Liu Maning, Abodya Mohamed, Dai Weisi, Kawawaki Tokuhisa, Sato Ryota, Saruyama Masaki, Teranishi Toshiharu, Tachibana Yasuhiro	4. 巻 35
2. 論文標題 Formation and Stability of Cs ₂ SnBr ₆ Perovskite Nanocrystals from Cs ₂ SnBr ₅ Nanocubes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 199 ~ 204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.35.199	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 該当する

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 13件 / うち国際学会 13件）

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Photoinduced Charge Carrier Dynamics of Metal Chalcogenide Semiconductor Quantum Dot Sensitized TiO ₂ Film for Photovoltaic Application
3. 学会等名 The 38th International Conference of Photopolymer Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Transient absorption studies of photocatalytic water oxidation and reduction at TiO ₂ and Pt- TiO ₂ surface
3. 学会等名 14th International Meeting of Pacific Rim Ceramic Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Comprehensive transient absorption studies of photocatalytic water oxidation and reduction at TiO ₂ and Pt- TiO ₂ surface
3. 学会等名 The 2021 International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Design of kinetically controlled solar energy conversion devices by time-resolved laser spectroscopies
3. 学会等名 the ENHANCE international symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Comprehensive kinetic analysis of photocatalytic water oxidation and reduction at TiO ₂ and Pt- TiO ₂ surface
3. 学会等名 The 2019 Spring Meeting of the European Materials Research Society (E-MRS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Design of nanomaterial based solar energy conversion devices by time-resolved laser spectroscopies
3. 学会等名 China-Japan-Singapore Joint Symposium on Supramolecular Systems and Optoelectronic Functions (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Interfacial charge transfer and transport dynamics in perovskite solar cells
3. 学会等名 5th Global Congress & Expo on Materials Science & Engineering (GCEMSE-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Structure Design of Metal Halide Perovskite Solar Cells by Charge Carrier Dynamics
3. 学会等名 The 36th International Conference of Photopolymer Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Design of metal halide perovskite film using time-resolved laser spectroscopy for solar cell application
3. 学会等名 PacRim 13: The 13th Pacific Rim Conference of Ceramic Societies (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Design of metal halide perovskite films by time-resolved laser spectroscopies
3. 学会等名 Photovoltaics Workshop at Monash University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Transient Absorption and Emission Spectroscopies to Develop Solar Energy Conversion Devices
3. 学会等名 Ultrafast Spectroscopy Symposium at Swinburne (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Photo-Induced Charge Carrier Dynamics of Metal Halide Perovskite
3. 学会等名 The 29th International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasuhiro Tachibana
2. 発表標題 Metal halide perovskite nanocrystals: optical property and stability
3. 学会等名 The 39th International Conference of Photopolymer Science and Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔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
研究分担者	関 修平 (Seki Shuhei) (30273709)	京都大学・工学研究科・教授 (14301)	
研究分担者	豊田 岐聡 (toyoda Michisato) (80283828)	大阪大学・理学研究科・教授 (14401)	

	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	寺西 利治 (Teranishi Toshiharu)	京都大学・化学研究所・教授 (14301)	
研究協力者	若宮 淳志 (Wakamiya Atsushi)	京都大学・化学研究所・教授 (14301)	

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
---------	---------