

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H02069

研究課題名(和文) 金属ハライドペロブスカイトにおける多励起子生成系の構築と光エネルギー変換

研究課題名(英文) Development of multi-exciton generation system and photo-energy conversion in metal halide perovskite

研究代表者

木下 卓巳 (Kinoshita, Takumi)

東京大学・大学院総合文化研究科・講師

研究者番号：60635168

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鉛ハライドペロブスカイト薄膜微結晶に希土類イオンを導入することにより、光励起時の余剰エネルギーを利用した多励起子生成が可能であることを明らかにした。また、このペロブスカイトをエネルギーギャップ以上の十分に大きな光子エネルギーで励起すると、励起子生成の内部量子効率が200%以上を示し、発光量子収率が1を超えることが分かった。一方、希土類の内部量子収率はペロブスカイト母結晶の格子歪みに依存し変化することが確認された。結晶の格子の歪みを低減することにより発光量子収率の向上を実現した。今後、励起子エネルギーの取り出し方を工夫することにより、熱損失の少ない高効率太陽電池への展開が期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ペロブスカイト薄膜中に希土類元素をドーピングすることによりドナーアクセプター材料が混合した半導体薄膜を作製し、多励起子生成系の構築に成功した。これらの成果は、太陽光のエネルギーを効率的に獲得できる技術としてデバイスのエネルギー変換効率の向上につながると期待される。さらに、本研究ではホットキャリアの余剰エネルギーの取り出しも成功した。これにより、本来は熱として失われるエネルギーを光エネルギーとして活用できるため、エネルギーロスを低減し、効率的なエネルギー利用が可能になるなど、エネルギー変換技術やエレクトロニクス分野において、持続可能な社会の実現に向けた意義のある成果が得られた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we found that the introduction of rare earth ions into lead halide perovskite thin film nanocrystals enables multi-exciton generation by utilizing the excess energy upon photoexcitation.

It was also found that the luminescence quantum yield of rare earths exceeds 1 by excitation at photon energies above the energy gap of perovskite.

On the other hand, the internal quantum yields of the rare earths were found to vary depending on the lattice distortion of the perovskite matrix crystal. The luminescence quantum yield was improved by reducing the lattice distortion of the crystal. In the future, it is expected to be developed into a high-efficiency solar cell with low thermal energy loss by improving the exciton energy extraction.

研究分野：光物理化学

キーワード：ペロブスカイト 多励起子生成 ホットキャリア 時間分解分光 光エネルギー変換 ペロブスカイト太陽電池

## 1. 研究開始当初の背景

近年、カーボンニュートラルの実現やエネルギー転換の一環として太陽光発電の大量導入が進められている。太陽電池は光吸収材料のエネルギーギャップ ( $E_g$ ) 以上の光子エネルギーを吸収すると、電子-正孔対 (励起子) を生成し、これを自由キャリアとして外部回路へと取り出すことにより発電する。太陽光は約 5800K の黒体放射に相当する幅広い放射分布 (図 1) を示すが、光子エネルギーのうち  $E_g$  を超える余剰エネルギーは、電子-電子散乱やフォノン放出によって失われ熱損失となる。

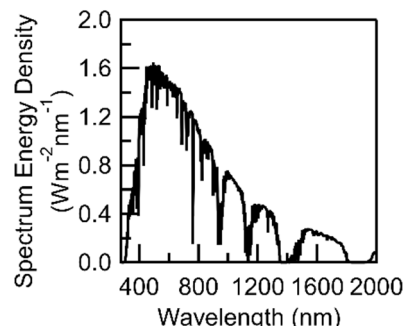


図 1 太陽光スペクトル (AirMass 1.5)

また、 $E_g$  未満のエネルギーの太陽光は吸収されず透過損失となる。単接合太陽電池ではこれらの損失を伴うため、Shockley-Queisser Limit (SQ 限界) と呼ばれる変換効率の限界が存在する。単接合太陽電池の理論最大変換効率は  $E_g = 1.31$  eV の場合に 32.5 % であり、熱損失は 29.8 % にのぼる。このため、太陽電池の熱損失の低減に向けた研究が盛んに行われている。マルチジャンクション太陽電池は、この理論限界を超えることのできる太陽電池の代表例である。トリプルジャンクション型では、効率 37.9% を達成している。ただし、高い生産コストのため、これらは宇宙アプリケーションなどの特殊用途に限定されている。近年ではそのコストを下げるべく、溶液プロセスで作製できるペロブスカイト太陽電池や量子ドット太陽電池との組み合わせによる低コスト化に向けた研究も行われている。しかし接合数を増やすほどエネルギー変換高率の上限が頭打ちとなるため費用対効果には限界がある。一方、多励起子生成 (Multiple Exciton Generation: MEG) は、高エネルギーの光子によって励起された電子が持つ余剰エネルギーを利用してさらに電子を励起し、単一光子から複数の励起子を得ることができるため、エネルギーロス低減できる次世代技術として注目されている。MEG は生成された励起子が速いオージェ再結合過程によって失われやすいことが課題である。

近年安価で高効率な次世代太陽電池として研究が進められている鉛ハライドペロブスカイト (図 2) は、長い励起子寿命と大きな励起子拡散長、高い吸収係数を示すことが報告されており、効率的な MEG を実現する材料として有望視されている。しかしながら、未だペロブスカイトでの余剰エネルギーの効率的な取り出しは実現していない。本研究では、鉛ハライドペロブスカイト薄膜にエネルギーアクセプターとして希土類イオンの  $Yb^{3+}$  を導入することによりペロブスカイトをエネルギードナーとした新たな MEG 材料の実現を目指した。

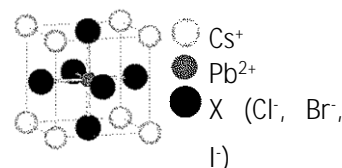


図 2 鉛ハライドペロブスカイトの結晶構造  $CsPbX_3$  ( $X=Cl, Br, I$ )

## 2. 研究の目的

本研究では、ペロブスカイト薄膜を用いた多励起子生成系の構築を目指した。この実現のために、本研究ではエネルギードナーと励起子エネルギーを分割して受容するエネルギーアクセプターの両方の性質を持つ半導体材料の開発を行った。この系が機能的に動作するためには、I. エネルギードナーの光捕集に優れること、II. 長寿命の励起子が生成すること、

III.半導体エネルギーギャップが自在に制御できること、IV.エネルギードナー・アクセプター間でのエネルギー移動が素早いこと、V.エネルギーアクセプターはエネルギードナーのエネルギー準位に対して半分程度の単純なエネルギー準位を持つことが求められる。本研究では、これらの条件を満たす材料として、鉛ハライドペロブスカイトと希土類元素に着目した。鉛ハライドペロブスカイトは I~III までの性質を示すことが分かっている。一般的なエネルギー移動はドナーアクセプター間の距離のべき乗に反比例したエネルギー移動速度を示すため、半導体中にエネルギーアクセプターをドーピングすることにより IV が実現するのではないかと考えた。また希土類は特有の f-f 遷移を近赤外領域に示すものがあるため V を満たす。本研究では、これらの新規半導体材料の合成と、希土類ドーピングによる発光挙動の変化について調べ、励起子分割による多励起子生成の実現に向けた検討を行った。

### 3. 研究の方法

本研究では、鉛ハライドペロブスカイトである  $\text{CsPbX}_3$  ( $X=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ ) を母結晶とし、これに  $\text{Yb}^{3+}$  イオンを添加することによって、 $\text{Cs}^+$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  と置換したペロブスカイト構造の薄膜結晶を溶液プロセスで製膜した。作成した薄膜の吸収スペクトル測定、発光スペクトル測定、励起スペクトル測定、絶対発光量子収率 (PLQY) 測定、時間分解フォトルミネッセンス測定、過渡吸収測定を行い、光物性を評価した。また X 線結晶構造回析、走査型電子顕微鏡を用いて結晶構造を評価した。

また、ペロブスカイト前駆体溶液中では  $\text{Pb}$  と溶媒の  $\text{N,N}$ -ジメチルホルムアミド ( $\text{N,N}$ -Dimethylformamide: DMF) の錯体  $\text{PbI}_2 \cdot \text{DMF}$  を形成し、乾燥プロセスで溶媒の脱離が起こることが報告されているが、本研究で扱う  $\text{Yb}$  ドープペロブスカイトについては、結晶構造や合成条件について知見がない。そこで、 $\text{Yb}$  を添加した際の前駆体溶液錯体を作製し、 $\text{Yb}$  を添加することによる前駆体中の錯体への影響を調べた。さらに、この前駆体溶液錯体の熱物性を調べ、ことで、アニール条件の検討を行った。

ペロブスカイト薄膜については、DMSO/DMF 溶媒中に任意割合の  $\text{CsX}$ 、 $\text{PbX}_2$ 、 $\text{YbX}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $X=\text{Cl}, \text{Br}, \text{I}$ ) を溶かし前駆体溶液を調製した。この前駆体溶液を基板にスピコートし、直ちにアニールすることで  $\text{Yb}$  添加のペロブスカイト薄膜を得た。

### 4. 研究成果

#### 希土類をドーピングしたペロブスカイト前駆体の結晶構造解析

$\text{PbBr}_2$  および  $\text{YbBr}_3$  の混合溶液に対して温度差での析出、貧溶媒での析出の 2 つの方法で透明のペロブスカイト前駆体単結晶が得られた。どちらの単結晶で  $\text{Yb}$  に 7 つの DMSO が配位した構造が確認された。温度差により析出させた前駆体単結晶では、2 つの  $\text{PbBr}_2$  がハロゲンで架橋した 5 量体 3 次元構造  $(\text{Pb}_5\text{Br}_{16})_6^{-2} \cdot 2[\text{Yb}(\text{DMSO})_7^{3+}]$  が得られたが、貧溶媒で析出させた前駆体単結晶では  $\text{PbBr}_2$  間での結合は確認されず、 $\text{PbBr}_5^{3-}$  と

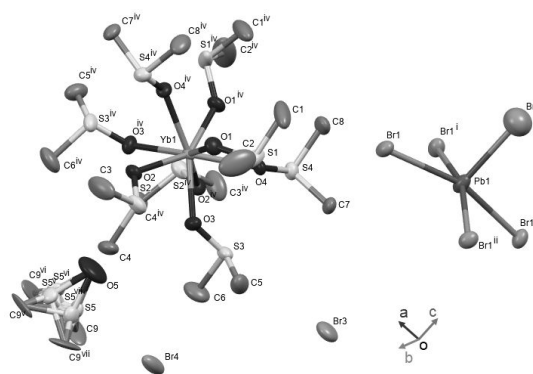


図 3 貧溶媒により析出させた鉛ハライドペロブスカイトの前駆体結晶構造

$\text{Yb}(\text{DMSO})_7^{3+}$  の塩となっていた (図 3)。貧溶媒で作製された前駆体結晶は過熱されていないため、 $\text{PbBr}_2$  同士の架橋反応が進まなかったと考えられる。従って、前駆体溶液の調整時の温度はその後のペロブスカイト結晶の成長に影響を与えることが示唆された。

## 希土類をドーブしたペロブスカイト薄膜の結晶構造

Ybの添加量がCs, Pbに対して20 mol%を超えると、結晶の歪みや格子定数が増加し、60 mol%を超えると母結晶のペロブスカイトが立方晶を維持できなくなることが確認された。添加量の増加に伴いX線回折ピークとエキシトン由来の光吸収ピークがシフトするためYbは母結晶内に取り込まれていることが示唆された。製膜したペロブスカイトのX線回折パターンと発光特性からアニール温度は250 °Cが最適であることが明らかになった。Yb添加ペロブスカイト結晶中間体の単結晶X線構造解析からYbは有機溶媒と溶媒和しており、それらが脱離して結晶化するのに高温が必要であると考えられる。

## ペロブスカイトからエネルギーアクセプターへのエネルギー移動効率

作製した Yb 添加ペロブスカイト薄膜は、Yb の f-f 遷移(1.26eV,  $E_{Yb}$ )由来の発光を示し、可視領域の励起スペクトルがペロブスカイト母結晶の吸収スペクトルと一致した(図4)。このことから、ペロブスカイトから Yb へエネルギー移動により発光していることが示唆された。Yb を添加したペロブスカイト薄膜ではペロブスカイト由来の発光が消失したことから、ペロブスカイトから Yb へのエネルギー移動が速いことが示唆された。過渡吸収分光測定を用いてエネルギー移動効率を調べたところ、Yb を添加していない CsPb(Cl<sub>0.2</sub>Br<sub>0.8</sub>)<sub>3</sub> 薄膜では励起子の緩和時間がナノ秒オーダーであるのに対し、Yb を 10 mol%添加した CsPb(Cl<sub>0.2</sub>Br<sub>0.8</sub>)<sub>3</sub>:Yb 薄膜ではピコ秒オーダーで励起子の失活が確認された。従ってペロブスカイトから Yb へのエネルギー移動は非常に速く、エネルギー移動効率は 100 %近くに達すると見積もられた。

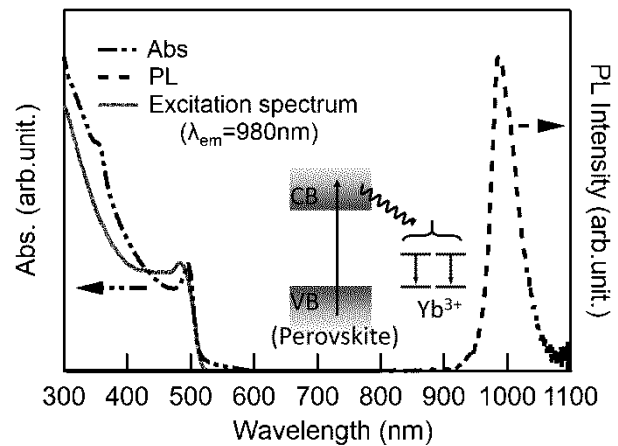


図4 10 mol%Yb 添加 CsPb(Cl<sub>0.2</sub>Br<sub>0.8</sub>)<sub>3</sub> 薄膜の吸収スペクトル・発光スペクトル・980 nm の発光の励起スペクトル

## ペロブスカイト内におけるドーパントの発光メカニズム

Yb の発光挙動を明らかにするために、ペロブスカイトの  $E_g$  ( $E_{\text{perovskite}}$ ) に対する Yb の発光量子収率の依存性を調べた。 $E_{\text{perovskite}}$  は含まれるハロゲン種を変えることによって制御できる。これはハロゲンのイオン半径に比例して格子定数が大きくなることと、伝導帯と価電子帯にハロゲン種の軌道の寄与があるためである。本研究では Cl, Br を混合させ  $E_{\text{perovskite}}$  を 2.4-3.0 eV で制御した。Yb の PLQY は  $E_{\text{perovskite}}$  が  $E_{Yb}$  の約 2 倍付近で極大値を示し、それより小さい  $E_{\text{perovskite}}$  においては発光しなかった(図5)。このことから Yb が発光するためには  $2E_{Yb}$

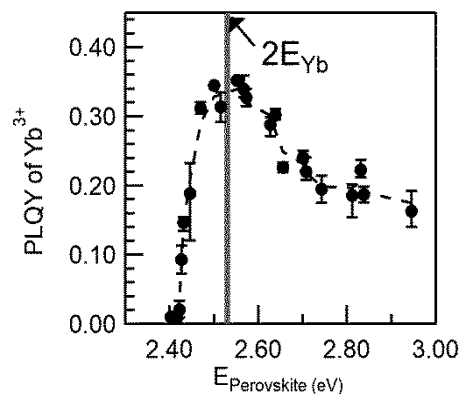


図5 Yb 由来の PLQY の変化.

以上のエネルギーをもつペロブスカイトの励起子が必要であることが明らかになった。Yb 励起子の生成効率を調べるために、ペロブスカイト母結晶内の Yb の内部発光量子収率を近赤外時間分解蛍光測定で調べた。Yb を 10 mol%添加した CsPb(Cl<sub>0.2</sub>Br<sub>0.8</sub>)<sub>3</sub>:Yb 薄膜の発光寿命は、室温に対し 2.8 K では大幅に長くなった。従って低温で得られた発光寿命は Yb の自

然輻射速度に近いと考えた。これらの結果から、室温での Yb の内部発光量子収率は約 26 % であると見積もられた。内部発光量子収率とエネルギー移動効率、PLOQY から CsPb(Cl<sub>0.2</sub>Br<sub>0.8</sub>)<sub>3</sub>:Yb の励起子生成効率を求めたところ、490 nm の可視光で 100 % を超えており、一光子から複数の励起子が生成していることが明らかになった。PLOQY はおよそ  $E_{\text{Perovskite}} = 2.55 \text{ eV}$  のとき極大値を示し、 $2E_{\text{Yb}}$  に対しておよそ 0.03 eV 高エネルギーに位置していた。このエネルギー差は多励起子生成におけるエネルギー障壁に相当すると考えられる。Yb ドープペロブスカイトは薄膜結晶であるにもかかわらず、従来の半導体量子ドットにおける MEG に比べて低い励起子生成障壁エネルギーを示した。

### 多励起子生成効率の励起波長依存性

以上より Yb 添加ペロブスカイト薄膜で可視光により多励起子生成が起きることを明らかにしたが、高エネルギー励起時のキャリア余剰エネルギーと励起子生成の関係は明らかになっていない。そこで、Yb 添加ペロブスカイト薄膜の励起波長依存性を調べると共に、より高い多励起子生成効率を実現するための最適化を行った。Yb の添加量を 10 mol% から減らすと Yb 由来の PLOQY が向上し、3 mol% で最も高い PLOQY が得られた。近赤外時間分解 PL 測定から Yb の蛍光寿命を測定したところ、Yb の寿命は添加量の減少に伴い長寿命化することが明らかになった。Yb の添加量の増加に従い母結晶のペロブスカイトは格子の歪みを伴うことが明らかになっており、Yb の内部量子収率が母結晶のひずみの影響を受けて変化していることが考えられる。3 mol%、10 mol% Yb 添加ペロブスカイト薄膜の励起波長依存性を測定すると、いずれも PLOQY は紫外領域において段階的に向上した (図 6(a))。この PLOQY の向上は、励起エネルギーが  $h\nu = E_{\text{perovskite}} + E_{\text{Yb}}$  のときにおよそ 1.5 倍、 $h\nu = E_{\text{perovskite}} + 2E_{\text{Yb}}$  で約 2 倍になることが明らかになった。紫外領域では PLOQY が 1 を超えており、また励起子生成効率が 200 % を超えていることから、 $E_{\text{Perovskite}}$  以上の光子で励起した場合、余剰エネルギーを用いた励起子の生成が起きていると考えられる。この余剰エネルギーを用いた励起子生成過程を調べるため、 $E_{\text{Perovskite}}$  を変えた際の PLOQY の変化を調べた。 $E_{\text{Perovskite}}$  が大きくなるにつれて PLOQY の励起スペクトル変化が高エネルギーシフトした (図 6(b))。このシフトは、 $E_{\text{Perovskite}}$  のシフトにおよそ等しくなった。また、フェムト秒時間分解過渡吸収から、高エネルギー光子により生じたペロブスカイト内のホットキャリアが Yb により消失される過程が観測された。以上の結果からペロブスカイト内の余剰キャリアエネルギーを利用した新たな励起子生成が起きていることが明らかになった。

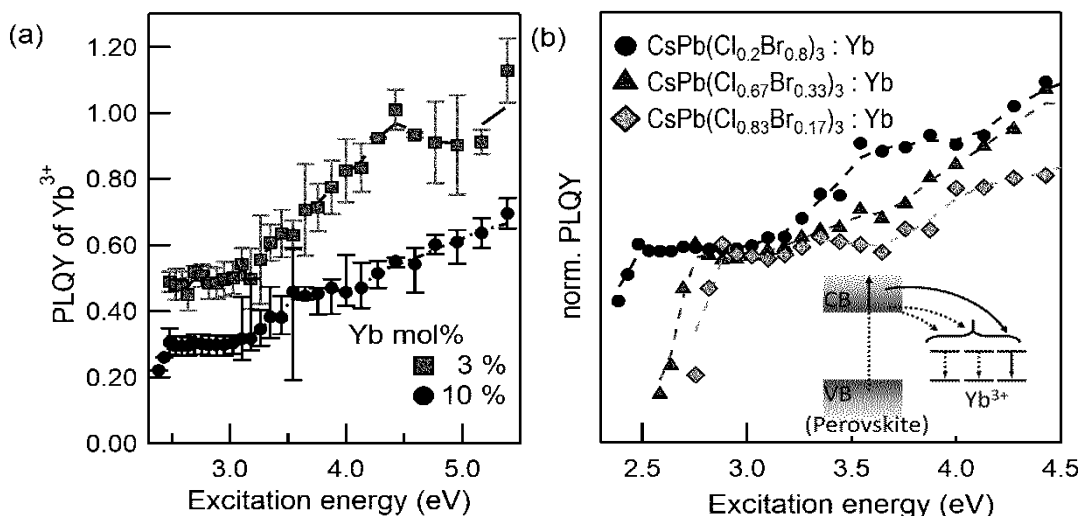


図 6 (a) 励起エネルギーを変えた際の CsPb(Cl<sub>0.2</sub>Br<sub>0.8</sub>)<sub>3</sub>:Yb 薄膜の PLOQY.

(b) Yb を 10 mol% 添加した CsPb(Cl<sub>x</sub>Br<sub>1-x</sub>)<sub>3</sub>:Yb の PLOQY (エキシトンピークで規格化).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nakamura Motoshi, Tada Keishi, Kinoshita Takumi, Bessho Takeru, Nishiyama Chie, Takenaka Issei, Kimoto Yoshinori, Higashino Yuta, Sugimoto Hiroki, Segawa Hiroshi	4. 巻 23
2. 論文標題 Perovskite/CIQS Spectral Splitting Double Junction Solar Cell with 28% Power Conversion Efficiency	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 101817 ~ 101817
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isci.2020.101817	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 Kinoshita Takumi, Otsubo Miki, Ono Takaaki, Segawa Hiroshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Enhancement of Near-Infrared Singlet-Triplet Absorption of Ru(II) Sensitizers for Improving Conversion Efficiency of Solar Cells	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 7052 ~ 7063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.1c01113	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 Kinoshita Takumi, Kakeno Rentaro, Segawa Hiroshi	4. 巻 48
2. 論文標題 Solid-state Dye-sensitized Solar Cells Using (CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> SnI <sub>6</sub> Perovskite with Wideband Sensitizer	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 637 ~ 639
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190165	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 Geffroy Camille, Grana Eftychia, Bessho Takeru, Almosni Samy, Tang Zeguo, Sharma Anirudh, Kinoshita Takumi, Awai Fumiyasu, Cloutet Eric, Toupance Thierry, Segawa Hiroshi, Hadziioannou Georges	4. 巻 3
2. 論文標題 p-Doping of a Hole Transport Material via a Poly(ionic liquid) for over 20% Efficiency and Hysteresis-Free Perovskite Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Energy Materials	6. 最初と最後の頁 1393 ~ 1401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.9b01819	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 Tang Zeguo, Uchida Satoshi, Bessho Takeru, Kinoshita Takumi, Wang Haibin, Awai Fumiyasu, Jono Ryota, Maitani Masato M., Nakazaki Jotaro, Kubo Takaya, Segawa Hiroshi	4. 巻 45
2. 論文標題 Modulations of various alkali metal cations on organometal halide perovskites and their influence on photovoltaic performance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nano Energy	6. 最初と最後の頁 184 ~ 192
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nanoen.2017.12.047	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 Kinoshita Takumi, Segawa Hiroshi	4. 巻 47
2. 論文標題 Near-infrared Photoelectric Conversion by Singlet-Triplet Transition of the Iminopyridine Ru(II) Complex	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 1311 ~ 1313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.180574	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 Amboy Jefril M., Jeco Bernice Mae F. Yu, Wang Haibin, Kubo Takaya, Kinoshita Takumi, Li-Kao Zacharie Jehl, Shoji Yasushi, Ahsan Nazmul, Segawa Hiroshi, Okada Yoshitaka, Balbin Jessie Jaye R.	4. 巻 -
2. 論文標題 Cesium lead halide perovskite quantum dot deposition on GaAs substrates by dip coating	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion	6. 最初と最後の頁 467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/PVSC.2018.8548078	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 Kinoshita Takumi, Fukumoto Kanna, Segawa Hiroshi	4. 巻 79
2. 論文標題 Crystal structure of bis[octakis(dimethyl sulfoxide- $\lambda$ - <i>o</i> )ytterbium(III)] pentabromidoplumbate(II) tribromide dimethyl sulfoxide monosolvate: a ytterbium-doped lead halide perovskite precursor	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Acta Crystallographica Section E Crystallographic Communications	6. 最初と最後の頁 402 ~ 405
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S2056989023002852	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 Wang Haibin, Nakao Shoichiro, Miyashita Naoya, Oteki Yusuke, Giteau Maxime, Okada Yoshitaka, Takamoto Tatsuya, Saito Hidenori, Magaino Shinichi, Takagi Katsuhiko, Hasegawa Tetsuya, Kubo Takaya, Kinoshita Takumi, Nakazaki Jotaro, Segawa Hiroshi	4. 巻 7
2. 論文標題 Spectral Splitting Solar Cells Constructed with InGaP/GaAs Two-Junction Subcells and Infrared PbS Quantum Dot/ZnO Nanowire Subcells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 2477 ~ 2485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenenergylett.2c01380	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 Kinoshita Takumi	4. 巻 95
2. 論文標題 Highly Efficient Wideband Solar Energy Conversion Employing Singlet-Triplet Transitions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 341 ~ 352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20210423	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 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 木下卓巳
2. 発表標題 ペロブスカイトの光基礎物性と太陽電池への応用
3. 学会等名 京大先端科学技術研究センターWEBセミナー (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木下卓巳
2. 発表標題 スピン反転励起による高効率近赤外光エネルギー変換系の開拓
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2020年



1. 発表者名 K. Fukumoto, T. Kinoshita, H. Segawa
2. 発表標題 Multiple Exciton Generation in Doped Metal Halide Perovskites
3. 学会等名 The 8th LIA NextPV International Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takumi Kinoshita
2. 発表標題 Solution processed multijunction perovskite solar cells with wideband photosensitizers
3. 学会等名 2018 Taiwan-Japan Bilateral Symposium on Green Energy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木下卓巳
2. 発表標題 スピン反転励起を利用する光エネルギー変換デバイスの固体化と高効率化
3. 学会等名 2018光化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木下卓巳
2. 発表標題 金属ハライドペロブスカイトを用いた有機系多接合太陽電池の開発
3. 学会等名 光機能材料研究会 第70回講演会「多接合・マルチバンド太陽電池」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kanna Fukumoto, Takumi Kinoshita, Hiroshi Segawa
2. 発表標題 Photophysical Properties of Excitons in all Inorganic-Perovskite Nanocrystals
3. 学会等名 7th LIA-NextPV Workshop 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takumi Kinoshita
2. 発表標題 Material Design of Lead Halide Perovskite towards Next Generation Solar Cells
3. 学会等名 The 5th International Union of Materials Research Societies International Conference of Young Researchers on Advanced Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木下卓巳
2. 発表標題 金属ハライドペロブスカイトのホットキャリアエネルギー抽出
3. 学会等名 2022年光化学討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木下卓巳
2. 発表標題 光エネルギー変換に資する ハイブリッド材料開発
3. 学会等名 和歌山県工業技術センター合成技術セミナー (招待講演)
4. 発表年 2023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
--	---------------------------	-----------------------	----

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