

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03854

研究課題名(和文)有機無機CT結晶太陽電池構築への液相製膜技術開発

研究課題名(英文) Solution processing of thin films for organic / inorganic charge transfer crystal solar cells

研究代表者

吉田 司 (Yoshida, Tsukasa)

山形大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：90273127

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)：エネルギーオフセットに基づく異種材料間での電荷分離に依存した従来型の有機太陽電池で問題となる過大な電圧損失を回避するための、有機CT材料の溶液プロセスによる創出と製膜を、電解析出、マイクロ波反応、再沈法によるナノ結晶化等多様な手段の複合によって構築した。有機塩戦略による新規有機CT結晶の創出、電気化学的自己組織化による無機/有機ハイブリッド薄膜の作製、CTナノ結晶と製膜による高電圧デバイスの創出、オストワルド熟成を利用したサイズ選択鉛ハライドペロブスカイトナノ結晶の獲得、CoドープZnOナノ微粒子の合成と水酸化電極触媒機能の発見などの数々の成果を得た。

研究成果の概要(英文)：In order to avoid large voltage loss inherent in traditional organic solar cells in which carrier generation relies on energy offset, a novel concept to extract high voltage carriers from organic CT crystals has been proposed. Various solution-based techniques such as electrodeposition, chemical precipitation and microwave reaction have been developed to obtain novel CT materials and their thin films. Organic salt approach to employ tetracyano indanyl anion as donor and alkyl viologen cation as acceptor has been successful to yield variety of organic CT crystals with NIR absorption and emission. Reprecipitation of DBTTF-TCNQ CT nanocrystal and thin film device employing it has proven high voltage extraction. Co-doped ZnO nanocrystals has exhibited water oxidation electrocatalysis superior to renowned Co3O4.

研究分野：電気化学

キーワード：太陽電池 有機無機ハイブリッド 電極触媒 ナノ微粒子 電荷移動錯体

1. 研究開始当初の背景

制約のない太陽光発電の拡大に向け、製造に要するエネルギーが小さく、資源枯渇の恐れが無い有機太陽電池が注目され、10%を超える変換効率が達成されるに至った。しかし結晶シリコンに代表される実用太陽電池のそれが20%を超えるのに対し、色素増感型(DSSC)やバルクヘテロ接合型(BHJ)有機太陽電池の改良によっては同等の効率達成は困難となっている。その主たる理由は、エネルギーオフセットに依存した電荷分離であり、吸収フォトンエネルギーに対する大幅な電圧低下を生じることにある。

そこで我々は、光吸収に伴いCT励起状態を直接生成する有機CT錯体結晶に注目し、高エネルギーなキャリアを直接生成、取り出す新コンセプト有機太陽電池の実現に向けて研究の舵を切った。本科研究費研究と同時期に実施した、H26-28年度頭脳循環プログラムによる、オーストリア、リンツ大学及び米国、バーモント大学との国際共同研究において、分子内CT性有機色素蒸着単膜を吸収層とする太陽電池で、実際に0.5 eV程度にまで電圧損失を低減できることを確認する一方、低い結晶性ゆえに電荷分離効率や移動度が低下し、電流の担保が困難となることなどを同時期に明らかにした。

上記に対し本研究では、高結晶性な二分子系CT錯体を吸収層に用いた太陽電池の構築に必要となる材料開発と製膜技術の確立を目標とした。室温暗状態でCTが起こらず、光吸収に伴いCT遷移が起こる程度のエネルギーギャップを持ち、吸収係数の高いCT錯体を得ること、そして高結晶性ゆえに薄膜デバイス化が容易でないことから、ナノ結晶化とその成膜法の確立も課題となる。

2. 研究の目的

上記の背景から、本研究においては新規有機CT結晶の創出、ナノ結晶化と薄膜デバイス化を目的とし、それらにおいて得られた個々の材料の機能を評価した。それらの検討は単一材料について順次行うものではなく、材料に応じてマイクロ波反応、再沈法による化学析出、電解析出などの多様な溶液プロセスを複合的に用いる。また、有機太陽電池の高効率化技術開発を当初の目的としたが、発光素子や電極触媒への応用に関する機能も見出したため、それらの研究も目的となった。

3. 研究の方法

本報告書に記載する内容については、以下の方法により実験等を行った。

(1) TCNI⁻アニオンをドナー、ピオロゲンカチオンをアクセプタとする、有機塩新規CT結晶

テトラシアノインダンアニオン(TCNIH⁻)と*N,N'*-ジアルキルピオロゲンカチオン(メチル=MV²⁺, エチル=EV²⁺, ヘプチル=HV²⁺, オクチル=OV²⁺)の2:1混合エタノール溶液か

ら室温でゆっくり溶媒を蒸発させ、共結晶を得た。粉末及び単結晶X線回折による構造決定、吸収スペクトル、77-298 KでのPL測定等により評価した。

(2) CuSCN/DASハイブリッド薄膜の電気化学的自己組織化

CuClO₄, LiSCNを含むメタノール溶液からのp-CuSCNカソード電析において、浴中に4-*N,N*-dimethylamino-4'-*N'*-methylstilbazolium tosylate (DAST)を種々の濃度(比)添加し、ハイブリッド薄膜を得た。結晶構造配向、組成変化から析出機構を明らかにした。

(3) DBTTF-TCNQのナノ結晶化と薄膜デバイス特性

再沈法によりdibenzotetrathiafulvalene-tetracyanoquinodimethane(DBTTF-TCNQ)錯体をナノ結晶化した。吸収スペクトル、走査型電子顕微鏡(SEM)、粉末X線回折(XRD)等で解析した。

(4) オストワルド熟成を利用した鉛ハライドペロブスカイトのナノ結晶サイズ制御と発光特性

臭化鉛(3.6 mg)と臭化メチルアンモニウム(14.7 mg)を*N,N*-ジメチルホルムアミド1 mlに溶かし、オクチルアミン20 μlとオレイン酸0.5 mlを添加した溶液を貧溶媒であるクロロホルムに注入して、CH₃NH₃PbBr₃ペロブスカイトナノ結晶を得た後、遠心分離し粗大粒子を取り除いた。上澄みを50°Cで一定時間保持した後、再度遠心分離してサイズ均一な粒子を得た。

(5) CoドーピングZnOナノ微粒子のマイクロ波合成と水酸化触媒機能

任意の比で混合した総濃度0.2 MのZnCl₂, CoCl₂水溶液をNaOHでpH 13とし、樹脂製耐圧容器中マイクロ波照射により160°C、30分反応させ、分離、洗浄、乾燥して粉体試料を得た。粉体についてCoドーピングの状態を調べると共に、これをペースト化し、FドーピングSnO₂(FTO)導電膜付きガラス基板に塗布したメソポーラス膜電極の中性電解質水溶液中での電気化学挙動を調べ、水酸化触媒機能を評価した。

4. 研究成果

(1) 有機塩戦略による新規CT結晶の創出

1,3-bis(dicyanomethylidene)indan(TCNIH₂)は白色の粉末だが、極性溶媒中ではメチレン部位のプロトンが脱離し、濃い青色のTCNIH⁻アニオンとなる。この状態を固定化したNa(TCNIH)塩と各ピオロゲンカチオンとの塩を得た。Na塩は紫色がかかった黒色で、TCNIH⁻溶液に類似した吸収スペクトルを示すのに対し、MV, EV塩は金属光沢のある黒色粉末で、1,000 nm付近まで伸長したNIR吸収を示す(Fig. 1)。CV測定により決定したエネルギー準位とDFT計算からは、TCNIH⁻をドナー、ピオロゲンをアクセプタとするCT遷移であることが示された。一方HV, OV塩はNa塩と大差なく、吸収域は僅かに長波長側に伸びるの

みであった。

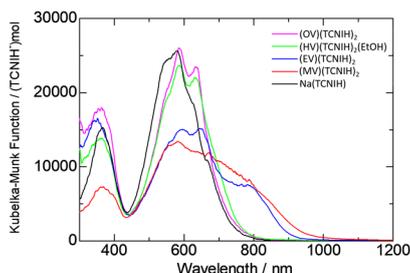


Fig. 1 各 TCNIH 塩の拡散反射吸収スペクトル。

単結晶 X 線構造解析から、MV 塩が単斜晶、その他が三斜晶構造であり、TCNIH とピオロゲンカチオンが 2 : 1 で交互積層され、HV 塩のみ溶媒のエタノール分子を含むことが分かった (Table 1)。MV, EV 塩ではクーロン引力により、TCNIH とピオロゲンが van der Waals 半径以下に近接しており、そのことが CT 遷移確率を向上させていることが分かった。一方 HV, OV 塩では立体的阻害により格子サイズと歪みが大きく、CT 確率が低下したと理解できる。

Table 1 各 TCNIH 塩の結晶構造

	(MV)(TCNIH) ₂	(EV)(TCNIH) ₂	(HV)(TCNIH) ₂ (EtOH)	(OV)(TCNIH) ₂
Crystal system	Monoclinic	Triclinic	Triclinic	Triclinic
A (Å)	16.31	8.150	10.96	10.60
B (Å)	19.58	10.85	13.50	13.38
C (Å)	11.11	10.89	17.64	17.79
α (°)	90	73.51	72.09	95.67
β (°)	108.0	71.66	89.15	91.04
γ (°)	90	89.39	76.16	111.8
Volume (Å ³)	3376	873.4	2407	2326

各塩の PL スペクトルを Fig. 2 に示した。Na 塩は TCNIH 溶液のそれに似ており、吸収スペクトルと励起スペクトルの鏡像的で、77 K 時の増強も小さい。すなわち、単一の TCNIH に局在した励起子からの発光であると分かる。一方 MV, EV 塩は、室温では NIR 域にブロードな PL を示し、励起波長によってはあまり変化しない。77 K とすると PL が大きく増強され、2 つのピークに分解される。これは励起子-フォノン相互作用により、CT 励起子が結晶中に非局在化していることを現わしている。HV, OV 塩の PL はユニークで、吸収スペクトルが Na 塩とあまり変わらないにも関わらず、PL の極大エネルギーは Na 塩よりも明瞭に小さい。さらに、77 K での増強も著しく、OV 塩では明瞭に 2 つのエネルギー帯に分解される。TCNIH 中に局在した励起子が CT 状態に緩和され、非局在化した状態からの発光であると考えられる。

TCNIH アニオンをドナーとする有機塩戦略により、新規有機 CT 塩の創出に成功した。可視~NIR に渡る高い吸収係数を有し、CT 状態からの PL も観察されたことから、新規な太陽

電池用光吸収材料として有望であり、今後ナノ微粒子化と薄膜デバイス評価を進める計画である。

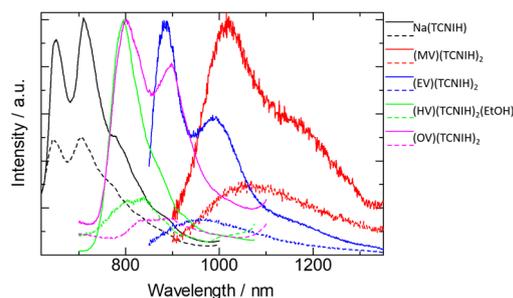


Fig. 2 各塩の PL スペクトル。77 K (実線) の強度を揃えた一方、298 K (破線) の相対強度はそれぞれの塩について元データの比の通りに示している。

(2) CuSCN/DAS ハイブリッド薄膜の電気化学的自己組織化

薄膜電析法により、光吸収、電荷分離と輸送の全てを担う無機/有機ハイブリッド薄膜の直接形成も試みた。溶液からのカソード析出により、高結晶性の p-CuSCN 薄膜が得られる。その電析浴に、有機非線形光学結晶として知られる DAST を添加することで、DAS⁺ 発色団で強く着色され、ユニークなナノ構造を有する CuSCN/DAS ハイブリッド薄膜を得ることに成功した (Fig. 3)。

浴中 DAST 濃度と得られる薄膜の組成、構造等との相関を調べたところ、低 DAST 濃度領域では DAS⁺ の膜中への導入が拡散律速となり、CuSCN 粒内に DAS⁺ が取り込まれた状態になるのに対し、高 DAST 濃度下では表面反応が律速し、結晶配向の変化、ユニークな櫛形 (hair-comb) のナノ構造の出現と、無機/有機相の分離をもたらすことが明らかになった。

CuSCN と同様に広バンドギャップ p 型半導体として振る舞う CuI と DAS⁺ の複合塩、(DAS)(Cu₅I₆) をキャリア抽出層と積層した単純なデバイスが変換効率約 3% の太陽電池となることが見出されており、本材料を用いてシングルアブソーバー型のハイブリッド太陽電池を構築できる可能性が見出された。



Fig. 3 CuSCN/DAST ハイブリッド薄膜の電気化学的自己組織化とナノ相互分離構造

(3) DBTTF-TCNQ のナノ結晶化と薄膜デバイス特性

Fig. 4(a) に DBTTF-TCNQ ナノ結晶と、再結晶法で作製したバルク結晶の XRD パターンを

示した。バルク単結晶で確認した $2\theta=9^\circ$ 付近のピークがナノ結晶では消失しており、これら 2 つの結晶は異なる結晶構造を有することが示唆された。

結晶構造の同定を行なった結果、バルク結晶は、DBTTF と TCNQ 分子が規則的に交互積層した構造(Fig. 4(b))を有するのに対し、ナノ結晶は、それぞれの分子がわずかにずれて交互積層した構造(Fig. 4(c))を有することを明らかにした。これは、再結晶法で作製したバルク結晶は熱力学的に安定な結晶構造をとるのに対し、再沈法では、核生成・結晶成長が急速に行われることで、速度論的に安定な結晶構造をとるため、ナノ結晶とバルク結晶で結晶構造の違いが現れたと考える。

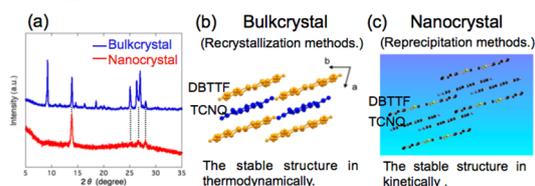


Fig. 4 DBTTF-TCNQ バルク、及びナノ結晶の XRD パターンとそれぞれの推定構造。

次に作製した DBTTF-TCNQ バルク結晶とナノ結晶の堆積膜の光伝導性の測定をした。暗電流を比較したところ、ナノ結晶の堆積膜のほうが、バルク結晶よりも小さい値となった。また、受光感度を計算した結果、ナノ結晶の堆積膜は $34 \mu\text{A/W}$ 、バルク結晶は $38 \mu\text{A/W}$ となり、どちらも同等の値を示した。通常ナノ結晶の堆積膜には無数の結晶粒界が存在するため、バルク結晶より小さな受光感度を示す。再沈法で作製した DBTTF-TCNQ ナノ結晶は、DBTTF と TCNQ がわずかにずれて交互積層することで(Fig. 4(c))、同種分子間の π 軌道の重なりが増え、伝導性が向上し、結晶粒界が存在するにも関わらず、バルク結晶と同等の受光感度を示したと云える。

次に DBTTF-TCNQ ナノ結晶を ITO 電極と Al 電極で挟み OPV を作製した。J-V 特性を測定したところ、整流性が現れ、電圧を 0.32 V 取り出すことに成功した。DBTTF と TCNQ のバンドギャップが 0.30 eV であること、また、通常有機太陽電池では吸収した光エネルギーの 40% 近くが電圧損失となることを考慮すると、電圧 (0.32 V) は DBTTF-TCNQ 錯体の電荷移動吸収由来 ($\sim 0.70 \text{ eV}$) と考えられる。つまり、本研究の目的の 1 つである「電荷移動吸収による電圧の取り出し」を確認できた。

(4) オストワルド熟成を利用した鉛ハライドペロブスカイトのナノ結晶サイズ制御と発光特性

溶液プロセスで作製できる鉛ハライドペロブスカイトは、太陽電池のみならず、発光デバイスへの応用研究が盛んとなっている。しかし、デバイス応用に向けて極めて重要であるナノレベルでのペロブスカイトナノ結晶のサイズ・形状制御は達成されていない。本研究

では、再沈法によるペロブスカイトナノ結晶の作製にオストワルド熟成を積極的に取り入れることで、ナノ結晶サイズを数ナノメートルオーダーで制御し、及び幅広い発光波長の制御も同時に達成することに成功した。

Fig. 2 には、0-4 時間、 50°C で加温保持させたペロブスカイトナノ結晶分散液 (Fig. 2(a)) とその吸収および発光スペクトル (Fig. 2(b), $\lambda_{\text{exc}} = 370 \text{ nm}$) を示した。作製直後のナノ結晶の分散液では、極大発光波長が 518 nm (FWHM = 21 nm) であったのに対し、4 時間 50°C で加温保持させることで、その極大発光波長が 457 nm (FWHM = 27 nm) までブルーシフトし、保持時間の増加に伴う明確な発光スペクトルのブルーシフトを確認できた。また透過型電子顕微鏡観察の結果から、加温時間の増加に伴い、 $16.7, 12.1, 7.2, 6.1, 5.3 \text{ nm}$ まで段階的なナノ結晶の結晶サイズの減少を確認した (Fig. 2(c))。これは、ナノ結晶分散液を加温保持させることにより、ナノ結晶分散液中でオストワルド熟成による結晶成長が促されたためである。本手法では、加温保持にて促されたオストワルド熟成により結晶成長した粗大結晶を遠心分離にて取り除くことで、溶け出した微小なナノ結晶のみの抽出に成功した。そのため、ナノ結晶のサイズが減少した結果、量子サイズ効果が顕著に発現したものと考えられる。

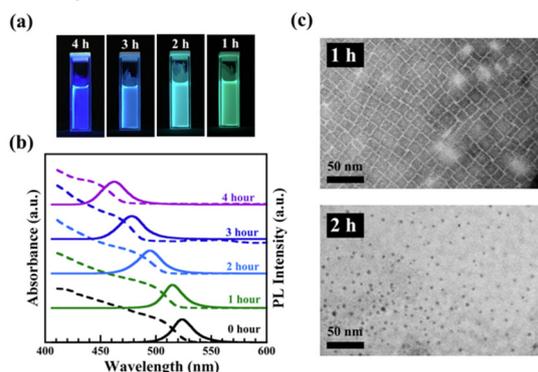


Fig. 5 サイズ分離されたペロブスカイトナノ結晶の写真、吸収・発光スペクトルと TEM 写真。

さらに、発光挙動の解明のため、時間分解発光スペクトルと発光量子効率を測定した。その結果、加温時間の増加に伴い、ナノ結晶の発光寿命は、 $23.8, 22.4, 8.1, 4.8, 4.9 \text{ ns}$ 、発光量子効率は $57, 58, 70, 64, 47\%$ まで段階的に発光寿命の短寿命化及び量子収率が低下した。これは、ナノ結晶の結晶サイズの減少に伴い、発光挙動がナノ結晶表面の結晶欠陥の影響を受けやすくなり、その結果、無放射失活速度定数の増加したためである。

(5) Co ドープ ZnO ナノ微粒子のマイクロ波合成と水酸化触媒機能

マイクロ波加熱水熱反応により、高結晶性の ZnO ナノ微粒子を得ることが出来る。ここに少量の Co(II) を添加すると、Zn(II) に置換した 4 配位 Co(II) の $d-d$ 遷移に基づく強い可視域吸

収を示す、緑色の粉体が得られる。本来その可視域吸収特性から太陽電池用の新規光吸収材料としての検討を計画していたが、本研究期間においてさえ、太陽光発電のコストが一層低下し、ついには3円/kWhを下回るという例が聞かれるに至った。これは、化石燃料等の1/3-1/5程度であり、もはや太陽光発電は高価という時代が去り、発電の方式としては自然エネルギーの利用が最も安価となった。一方で、気象条件によって必然的に発電量が揺らぐため、計画的な発電が不可能で、系統に負荷をかける上に「頼りにならない」のが再生可能電力の最も重大な問題であり、それが一定以上の普及拡大の妨げとなっている。この時代の変化を直視した時、代替となる太陽電池の研究開発よりも、その(余剰)電力を変換貯蔵する技術が望まれていることは疑う余地が無い。そこで、本研究では得られたCoドープZnOナノ微粒子を水電解による水素製造等で最も困難な課題となる水酸化反応の電極触媒としてその機能を評価した。材料合成においては、Co(II)のドープ限界はおおよそ10%程度であり、ZnO格子中のZn(II)をCo(II)が置換していることが確認された。5% CoドープZnOをノンドープZnOおよび高い水酸化触媒活性が知られるCo₃O₄のメソポーラス電極を比較すると、ZnOが全く活性を持たないのに対し、Zn_{0.95}Co_{0.05}Oは顕著なアノード電流の増大を示した(Fig. 6)。定電位電解においても定常的にCo₃O₄電極よりも高い電流を示し、酸素ガスの発生も確認された。水酸化反応場は電極表面であるため、化学的に安定かつ高導電性なZnOにCoを微量ドープすることで、その表面に触媒サイトを形成できることが分かった。反応過電圧の低減には、多段階酸化反応の中間体結合安定性を相対的に制御することが重要と考えられており、今後Fe, Mn, Ni等の他の遷移金属ドープ、並びにその合金化を検討し、安価な非貴金属触媒による水の高電解系を構築できる可能性が見出された。

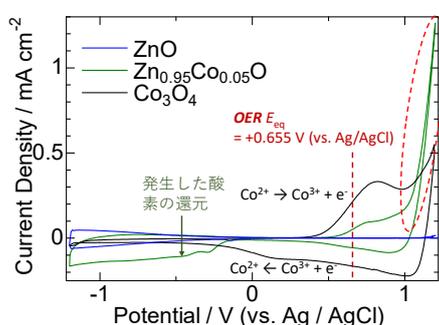


Fig. 6 ZnO, Zn_{0.95}Co_{0.05}O および Co₃O₄ 電極の0.1 M KCl (pH = 6.42) 水溶液中での CV ; 掃引速度 50 mV/s、窒素雰囲気下、対極 Pt、参照電極 Ag / AgCl

(6) まとめと展望

以上、研究期間を通じて、様々な溶液プロセスによる太陽電池材料の創出に成功した。有

機 CT 材料を吸収層に用いる太陽電池の実証と高性能化については、今後さらなる検討が必要となるが、高結晶性材料と薄膜デバイスを両立する手段として、ナノ結晶化技術を構築することが出来た。

一方 4-5 に記載のとおり、太陽電池の予想を上回る低価格化を受け、シリコン代替としての有機太陽電池の研究開発よりは、緊急課題となりつつある余剰再生可能電力の変換貯蔵技術が重要との考えから、本研究で得られた新規材料の電極触媒機能評価にも取組み、その可能性を見出すことも出来た。創エネからその変換貯蔵まで、エネルギー材料に求められるのは資源枯渇の恐れが無い元素を用い、且つ高エネルギープロセスをその製造に要さないことである。すなわち、今後のいかなる展開に対しても、本研究を通じて得られた溶液プロセスによる材料創出ノウハウは活かされることになる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 15 件)

- 1) 武田 将貴ら(吉田 6/7, 増原 7/7), “電荷移動錯体ナノ結晶の有機薄膜太陽電池への応用”, *化学工業*, **69**, 258-262 (2018).
- 2) K. Shito et al. (Masuhara4/5), “Proton conductivity of poly (acrylic acid)-b-polystyrene-coated silica nanoparticles synthesized by reversible addition fragmentation chain transfer polymerization with particles”, *Chem. Lett.*, **47**, 9-12 (2018) (査読有).
- 3) Y. Matsukubo et al. (Yoshida5/8, Masuhara8/8), “Fabrication of hybrid-dized microparticles composed of mesoporous manganese dioxide and fullerene C₆₀ nanocrystals”, *Chem. Lett.*, **47**, 347-349 (2018) (査読有).
- 4) Y. Shimbori et al. (Yoshida6/9), “Development of non-platinum oxygen reduction catalysts prepared from metal-organic framework using 4,4'-bipyridine as a bridging ligand”, *Mater. Sci. Eng. B*, **228**, 190-197 (2018) (査読有).
- 5) B. Fortuni et al. (Masuhara10/13), “In situ synthesis of Au-shelled Ag nanoparticles on PDMS for flexible, long-life, and broad spectrum-sensitive SERS substrates”, *Chem. Commun.*, **53**, 11298-11301 (2017) (査読有).
- 6) M. Chamtoury et al. (Masuhara7/9), “Facet-dependent diol-induced density of states of anatase TiO₂ crystal surface”, *ACS Omega*, **2**, 4032-4038 (2017) (査読有).
- 7) K. Umamoto et al. (Yoshida7/10, Masuhara10/10), “Size control of CH₃NH₃PbBr₃ perovskite cuboid fine crystals synthesized by ligand-free reprecipitation method”, *Microsys. Technol.*,

- 24, 619-623 (2017) (査読有).
- 8) 吉田 司ら, (増原 4/8) “有機エレクトロニクスが拓く未来社会—有機太陽電池部門の概要”, *工業材料*, **65**, 50-62 (2017).
 - 9) A. Toba et al. (Yoshida4/10, Masuhara10/10), “Organic microboxes prepared by self-assembly of a charge-transfer dye”, *Chem. Lett.*, **46**, 557-559 (2017) (査読有).
 - 10) H. Sun et al. (Yoshida6/6), “ZnO/TiO₂ core-shell photoelectrodes for dye-sensitized solar cells by screen printing and room temperature ALD”, *Microsys. Technol.*, **24**, 647-654 (2017) (査読有).
 - 11) Y. Tsuda et al. (Masuhara7/8, Yoshida8/8), “Selective hybridization of organic dyes with CuSCN during its electrochemical growth”, *Microsys. Technol.*, **24**, 715-723 (2017) (査読有).
 - 12) Y. Tsuda et al. (Masuhara5/9, Yoshida9/9), “Electrochemical self-assembly of CuSCN-DAST hybrid thin films”, *Monatsh. Chem.*, **148**, 845-854 (2017) (査読有).
 - 13) Y. Hirai et al. (Masuhara6/11, Yoshida11/11), “Microwave-assisted hydrothermal synthesis of ZnO and Zn-terephthalate hybrid nanoparticles employing benzene dicarboxylic acids”, *Microsys. Technol.*, **24**, 699-708 (2017) (査読有).
 - 14) H. Sun et al. (Masuhara7/8, Yoshida8/8), “Microwave-assisted hydrothermal synthesis of structure-controlled ZnO nanocrystals and their properties in dye-sensitized solar cells”, *Electrochem.*, **85**, 253-261 (2017) (査読有).
 - 15) H. Miyaji et al. (Yoshida4/4), “A dye-sensitized solar cell using an anthraquinone bearing anion recognition moieties”, *Chem. Lett.*, **45**, 881-883 (2016) (査読有).
- [学会発表] (計 58 件)
- 1) A. Masuhara, “Recent progress of organic and hybridized nanocrystals”, SPIE. Photonics west opto (OPTO 2018), The Moscone Center San Francisco, California Jan. 27 - Feb.1, 2018 (invited).
 - 2) T. Yoshida et al. (Masuhara3/13), “Solution-based organic and hybrid charge-transfer absorbers for solar cells”, 2017 MRS Fall Meeting, Boston Massachusetts USA, Nov. 26 - Dec. 1, 2017.
 - 3) A. Masuhara, “Prospective study on CT nanocrystals for organic solar cells”, The 30th International Microprocess and Nanotechnology Conference (MNC 2017), Nov. 6-9, Ramada Plaza JeJu Hotel, JeJu, Korea (invited).
 - 4) K. Nakayama, et al. (Masuhara6/12, Yoshida12/12), “Single absorber organic solar cells based on intramolecular charge transfer photoabsorption”, 2016 European MRS Fall Meeting, Warsaw University of Technology, Poland, Sep. 19-22, 2016 (invited).

- 5) M. White et al. (Yoshida10/10), “Nano-scale Turing patterns in electrodeposited hybrid thin films”, 2016 European MRS Fall Meeting, Warsaw University of Technology, Poland, Sep. 19-22, 2016 (invited).
- 6) T. Yoshida et al. (Masuhara4/9), “Organic CT salts of TCNIH⁻ and MV²⁺ as a light absorber in CTC solar cells”, 2016 European MRS Fall Meeting 2016, Warsaw University of Technology, Poland, Sep. 19-22, 2016 (invited).
- 7) J. Matsui et al. (Masuhara3/10, Yoshida10/10), “Photoconductive properties of charge transfer crystals for organic solar cells application”, 2016 European MRS Fall Meeting 2016, Warsaw University of Technology, Poland, Sep. 19-22, 2016 (invited).
- 8) T. Yoshida, et al., “Electrochemical self-assembly of ZnO/Rhodamine B nano-Turing pattern”, 2015 MRS Fall Meeting, Boston, USA, Nov. 29 - Dec. 4, 2015 (invited).
- 9) T. Yoshida, et al., “Solar cells from electrochemical self-assembly of inorganic/organic hybrid nanostructures”, ECHEMS-11, Bad Zwischenahn, Germany, Jun.15 - 18, 2015 (invited).

※その他 49 件省略

[図書] (計 0 件)

該当なし

[産業財産権]

該当なし

[その他]

研究室ホームページ

<http://yoshidalab.yz.yamagata-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 司 (YOSHIDA Tsukasa)

山形大学大学院理工学研究科・教授

研究者番号：90273127

(2) 研究分担者

増原 陽人 (MASUHARA Akito)

山形大学大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：30375167

(3) 連携研究者

中山 健一 (NAKAYAMA Kenichi)

大阪大学大学院工学研究科・教授

研究者番号：20324808

岡田 修司 (OKADA Syuji)

山形大学大学院理工学研究科・教授

研究者番号：30250848