

令和 3 年 8 月 24 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05029

研究課題名(和文) 農業応用を目指した3波長発電型透明有機薄膜太陽電池の開発

研究課題名(英文) Development of three-wavelength absorbing organic photovoltaic cells

研究代表者

佐野 健志 (SANO, Takeshi)

山形大学・有機エレクトロニクスイノベーションセンター・教授

研究者番号：20374142

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、吸収波長域の制御された「シースルー発電パネル」の実現を目指した。可視光及びその前後の波長域のうち、一部の必要な光を透過しつつ、残りの光を吸収して発電する新たな太陽電池を実現することを目的とした。本研究の成果として、材料面では、目標である500～600 nm(緑色光)や700～800 nm(近赤外光)を吸収し発電するスクアリリウム系発電材料(変換効率～7%)の開発に成功した。またそれらの材料を用いた多色・透明の有機薄膜太陽電池(平均光透過率：10～30%、変換効率～5%)を実現した。論文や学会発表の他、JFlex展やPV EXPO展等で「シースルー発電パネル」の展示を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「シースルー発電パネル」は、農業用、住宅用、車載用等、多くの応用可能性が期待でき、次世代太陽電池として、市場の伸びが期待されている(潜在市場規模～3600億円)。農業用では、光合成に必要な青色光と赤色光を透過しつつ、植物が不要な紫外光、緑色光、近赤外光を利用して発電する太陽電池が求められている。住宅用、車載用としては、遮光あるいは遮熱しつつ、可視光の一部を通し、屋外の景色を見ることができるようパネルが必要とされている。本研究では、それらの応用に対し、有機薄膜太陽電池を適用することが可能であることを示した。また実際に多色・透明の有機薄膜太陽電池パネルを試作し、デザイン面での可能性も示した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have developed a "see-through organic solar cell panel" with a controlled absorption wavelength range. The purpose of this study is to realize a new solar panel that transmits necessary light for agriculture or house-use while absorbing the remaining light for generating electricity. As a result of this research, in terms of materials, we have developed squaraine-based organic solar cell materials (conversion efficiency up to 7%) absorbing the target from 500 nm to 600 nm (green light) or 700 nm to 800 nm (deep red to near infrared light). We have also realized multicolor semitransparent organic solar cells (average light transmittance: 10% to 30%, conversion efficiency up to 5%) using these materials. "See-through organic solar cell panels" were exhibited at the JFlex and PV EXPO exhibitions.

研究分野：有機エレクトロニクス

キーワード：有機薄膜太陽電池 有機太陽電池 organic solar cell organic photovoltaic シースルー太陽電池
シースルー発電パネル スクアリリウム OPV

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

(1) 有機薄膜太陽電池の位置付け

シリコン系、化合物系に続く第三の太陽電池として、有機系太陽電池やペロブスカイト太陽電池の研究開発が行われている。太陽電池は、枯渇性エネルギー源に対し、再生可能エネルギーを代表するキーデバイスとして今後さらなる利用拡大が期待されている。一方で、その応用範囲は、新規着工住宅の屋根や工場、休閑地を利用した太陽光発電、電卓や時計等の小型機器等に限られ、いまだ生活や産業のあらゆるシーンに応用されているとは言い難い。

普及を妨げている要因としては、現在主流のシリコン系もしくは化合物系太陽電池が高価で、契約や初期投資が必要、重厚強大な架台を支える強固な家屋や土台が必要、系統連携における固定買取り価格の低下等、導入意欲を妨げる様々な条件が挙げられる。今後、新たな魅力と応用可能性を持ち、新規市場を開拓できるような特長を有した太陽電池の登場が待ち望まれている。

これらの背景を踏まえて我々は、「薄く、軽く、透明な」太陽電池を目指し、有機薄膜太陽電池の高性能化研究開発や、プロトタイプ試作等をこれまで行ってきた。特に材料の高純度化、多層積層化に有利な低分子系有機薄膜太陽電池において、スクアリリウム (SQ) 系や、ジベンゾペリフランテン (DBP) 系等を用いた有機薄膜太陽電池の検討を行っている。また、有機材料の特性を活かした透明有機太陽電池、フレキシブル太陽電池、カード型モジュール等の試作品開発を進めている。

(2) シースルー太陽電池の状況

これらの取り組みのうち、特に注目しているものは、透明有機太陽電池である。例えば、住宅機器や自動車関連分野等で、試作品への関心を持たれる場合がある。従来のシリコン系あるいは化合物系太陽電池の領域においては、透明な太陽電池というものは存在せず、唯一、アモルファスシリコン太陽電池にレーザー加工等でスリット状の覗き孔を開口した擬似透明型の太陽電池が三洋電機(株)やシャープ(株)等から開発され販売されていた。しかし景観の見通しが不十分であること、ガラス基板由来の重量 (1m²あたり 10kg 以上) や加工性に関する制限、発電性能等の課題から広く普及するには至っていなかった。

農業用では、農業用地に高い支柱を立て、上部空間にシリコン太陽電池等を設置、その隙間から注ぐ光を農業に利用する形で、太陽光発電と農業を両立させるという考え方 (ソーラーシェアリング) が近年出てきている。しかし、シリコン太陽電池は重量があり、農業機械の使用に邪魔にならないよう、支柱の間隔や高さに留意する必要がある、結果的に初期費用が高額化する。さらに、シリコン太陽電池パネルは非透明であるため、日陰部分が多くなるため、設置密度や角度によっては植物の生育への影響も心配される。それに対し、緑色光のみを吸収して発電しそれ以外の光を透過するような有機薄膜太陽電池が農業用として利用可能性があるということを報告している研究者も出てきている。

2. 研究の目的

(1) 吸収波長域の制御

本研究では、吸収波長域の制御された「シースルー発電パネル」の実現を目指した。可視光及びその前後の波長域のうち、一部の必要な光を透過しつつ、残りの光を吸収して発電する新たな太陽電池を実現することを目的とした。具体的には、ゼロエネルギーファーム用太陽電池に資する、3波長発電型有機薄膜太陽電池の材料や素子作製技術に関する開発を行う。そのためには、植物が光合成のために用いる青色光と赤色光を透過しつつ、植物に不要な紫外光、緑色光、近赤外光の3波長を吸収して発電する新たな太陽電池を実現する。詳細な吸収波長域として、葉緑素 (クロロフィル) が必要とする 400 nm~500 nm の青色光と 650 nm~700 nm の赤色光を透過させつつ、それ以外の 500~600 nm (緑色光) や 700~800 nm (近赤外光) を太陽電池パネルで吸収し発電する材料設計を取り入れる。

(2) シースルー有機薄膜太陽電池パネルの実現

吸収波長を自由に設計できるシースルー型太陽電池はこれまでになく、農業用のみならず、住宅用や車載用の「シースルー発電ウィンドウ」としても応用可能である。有機材料は、分子設計により材料自体の吸収波長をコントロールすることが可能であり、適切な発電材料を見つけることにより、吸収波長域の制御された多色の有機薄膜太陽電池を実現できる。

但し、有機薄膜太陽電池は、片方の電極をインジウム錫酸化物 (ITO) のような透明電極、もう一方をアルミニウムや銀などの金属電極を用いることが一般的であり、通常は、非透明な太陽電池になってしまう。それに対し、今回は、発電層を挟む両方の電極を透明化することにより、透明な太陽電池を実現する。これまで、米・コナルカテクノロジー社が開発した赤茶色のフィルム状有機薄膜太陽電池が知られているが、光の透過性は低く、着色度や色の選択性などが不十分で、吸収波長が制御されたあるいは、透明性の高い太陽電池であるとまでは言えなかった。紫外光や近赤外光を遮断し発電に利用しつつ、採光を行うことは、農業用のみならず、住宅用としても望まれている機能であり、吸収波長を自由に設計し組み合わせる太陽電池の具体的作製手段を明らかにすることで、他の太陽電池では実現できない、有機薄膜太陽電池の特長と応用可能性を明確に示すことができる。

本研究では、緑色光や、近赤外光を吸収して発電する有機太陽電池材料の開発や、両側の電極に透明電極を用いた透明有機薄膜太陽電池の開発を主として行う。さらに、太陽電池の開放電圧を上げるためのタンデム構造、特に中間層の開発についても実施する。さらには、多色・透明有機薄膜太陽電池パネル（プロトタイプ）の試作までを行う。シースルー発電パネルのプロトタイプ開発により、新領域の「薄く、軽く、透明な」太陽電池の応用領域を拓くための一歩となることを最終的に目指す。

3. 研究の方法

(1) 有機薄膜太陽電池材料の開発

3 波長発電型有機薄膜太陽電池を実現するため、各波長の吸収を分担する材料の選定を行う。具体的には、紫外光吸収：フラーレン系材料、緑色光吸収：低分子系材料、近赤外光吸収：低分子系材料もしくは高分子系材料を候補として材料開発もしくは選定する。基本性能として、変換効率 $>7\%$ を目標とする。低分子系材料としては、吸光係数が高く、有機薄膜太陽電池用材料としての研究開発実績があるスクアリリウム系色素材料を一つの候補とする。

吸収波長域としては、葉緑素の光吸収帯（400～500 nm 及び 650～700 nm）と相補的な波長、すなわち有機薄膜太陽電池において 500～600 nm（緑色光）あるいは 700～800 nm（近赤外光）に光吸収ピークを有し、かつ、高効率で発電することが可能な材料を見出す。

(2) シースルー有機薄膜太陽電池の開発

有機発電層を挟む両側の電極を透明化する必要があり、そのために、透明有機 EL 等で用いられる方法等を参考にする。具体的には、基板側の電極には従来通り、インジウム錫酸化物（ITO）を用い、発電層上部の電極としては、金属反射電極に代えて透明電極を用いる。材料としては、ITO もしくは半透明金属薄膜を検討する。ITO を用いる場合はスパッタリングによる下層へのダメージや、横方向へのシート抵抗による電流引き出しが課題となるため、本研究では主に極薄の半透明金属薄膜の利用を検討する。

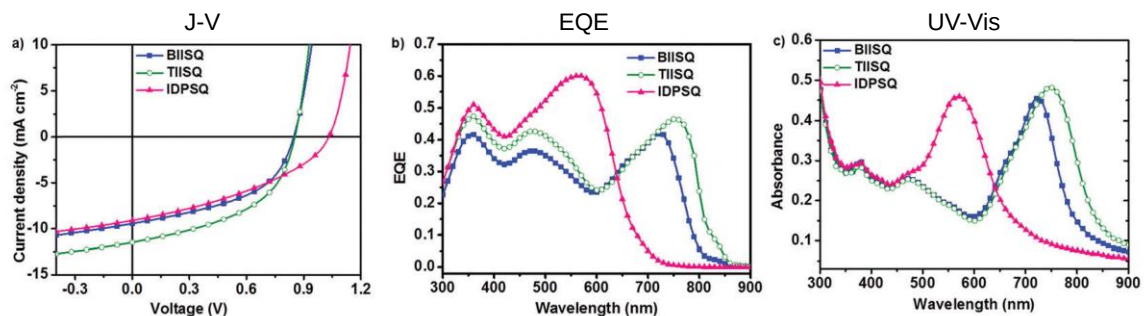
デバイス構造としては、ITO/電子選択層/有機発電層（活性層）/ホール選択層/半透明電極の構造を基本とする。さらには開放電圧を向上させるタンデム構造の開発、界面での電圧ロスの低減等についても基礎検討を行う。

最終的には、吸収波長域の制御された複数の材料を用い、多色・透明有機薄膜太陽電池の試作を行う。シースルー発電パネルのプロトタイプ開発を目指す。

4. 研究成果

(1) 吸収波長域の制御されたスクアリリウム系有機薄膜太陽電池材料の開発

吸収波長域を制御し、目標とする 500～600 nm（緑色光）、及び 700～800 nm（近赤外光）を吸収ピークとするスクアリリウム系発電材料の開発に成功した（Mater. Chem. Front., 2018, 2, 2116）。開発した非対称構造のスクアリリウム誘導体进行评估し、吸収波長が制御可能であること、かつ有機薄膜太陽電池として利用可能であることが分かった（薄膜の吸収極大：IDPSQ: 579 nm, BIISQ: 723 nm, TIISQ: 749 nm, AZUSQ:814 nm）。クロロフィルと相補的な吸収波長領域である、緑色光及び近赤外光で発電するスクアリリウム系発電材料の開発に成功した。また、吸収波長域の異なる 3 種類の材料を用いて有機薄膜太陽電池（素子構造：ITO/MoO₃ (8 nm)/USQ:PC₇₁BM (1:3, wt/wt, 60 nm)/BCP (6 nm)/Al (100 nm)) を作製し、発電特性を確認した。



OPV cell characteristics

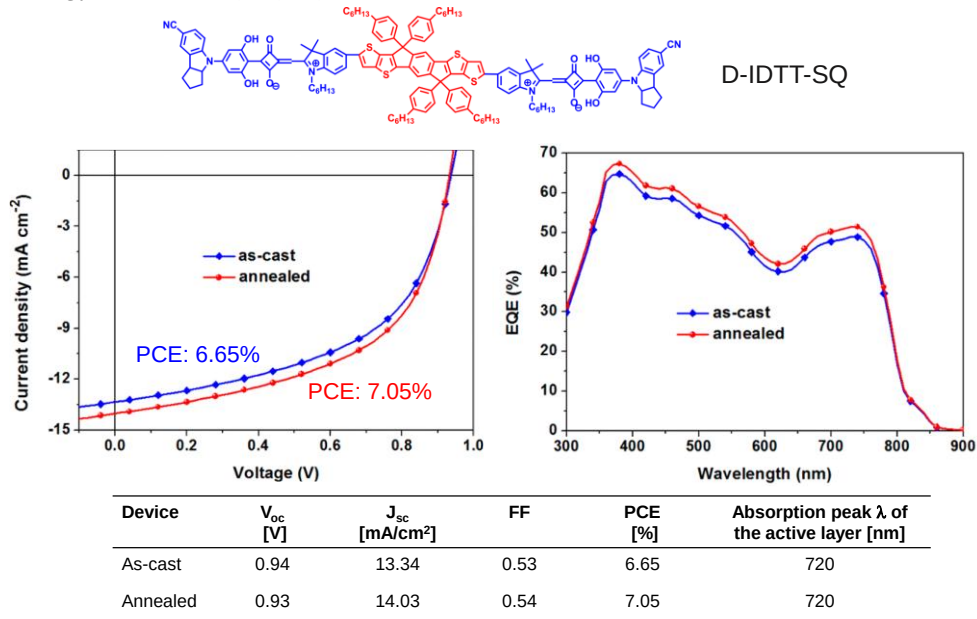
USQs Material	V _{oc} [V]	J _{sc} [mA/cm ²]	FF	PCE [%]	Absorption peak λ of the active layer [nm]
BIISQ	0.85	9.57	0.47	3.86	720
TIISQ	0.85	11.16	0.50	4.74	750
IDPSQ	1.04	9.48	0.41	4.04	570

非対称構造のスクアリリウム誘導体（USQ）を用いて作製した有機薄膜太陽電池の電流密度－電圧（J-V）特性、外部量子効率（EQE）、活性層の光吸収特性

(2) 有機薄膜太陽電池材料の高性能化

新規スクアリリウム色素として、「A-D-A」型の低分子系材料を開発した。スクアリリウム色素材料には移動度が低いという課題があったが、今回、「スクアリリウム-縮合チオフェン-スクアリリウム」型のオリゴマー的な分子を設計し合成した。その設計指針で得られた材料を評価したところ、モル吸光係数としては単量体の2倍を示し、ホールオンリーデバイスでは、単量体を用いた場合に比べて大幅に電流値が増加した。「A-D-A」型スクアリリウム系材料であるD-IDTT-SQの吸収ピーク波長（フィルム）は720 nmであり、本研究で目標の一つとする深赤～近赤外域（700～800 nm）に光吸収ピークを有することを確認した。

D-IDTT-SQを用いて、有機薄膜太陽電池（素子構造：ITO/MoO₃（8 nm）/D-IDTT-SQ:PC₇₁BM（1:5, wt/wt, 80 nm）/BCP（3 nm）/Al（100 nm））を作製した。得られた太陽電池の特性を以下に示す。開放電圧：0.93V、短絡電流：14.03 mA/cm²、フィルファクター：0.54、変換効率：7.05%と、目標の変換効率7%を超える、低分子系有機薄膜太陽電池材料として優れた特性を示した。また、材料固有のバンドギャップと太陽電池が示す開放電圧の差である、エネルギーロス（E_{loss}）を最小化（多くの有機太陽電池材料の中でも最小クラスのE_{loss}: 0.56 eV）することに成功した（ACS Energy Lett. 2017, 2, 9, 2021）。開発した材料については、特許出願を行った。



D-IDTT-SQ を用いて作製した有機薄膜太陽電池の特性

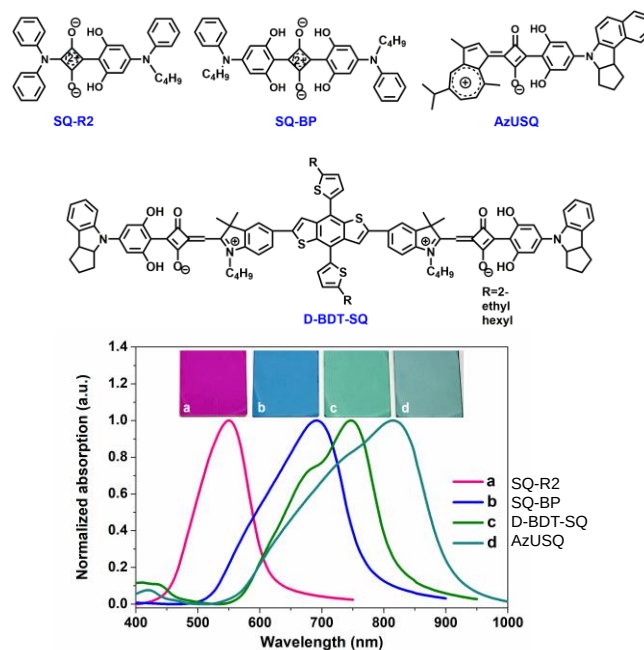
また、分子設計として近赤外光を吸収し発電する材料の開発を目指した結果、長波長化に有効な「 π -D1-A-D2」型の色素材料の合成指針を見出し、それを実際の材料合成に適用、スクアリリウム色素の吸収ピークを711 nm から748 nm に長波長化（レッドシフト）させることに成功した。加えて太陽電池の変換効率を、4.15%から5.69%に向上させることができた（Dyes and Pigments 163 (2019) 564）。

(3) タンデム型有機薄膜太陽電池の基礎検討

デバイス面では、タンデム構造、特に逆型タンデム構造の素子の試作を行った。有機太陽電池材料としては、蒸着型の低分子材料として、テトラフェニルジベンゾペリフランテン（DBP）を用いた。励起子拡散距離の小さい低分子系有機薄膜太陽電池の欠点をカバーし、高いフィルファクター（0.77）を得ることに成功した（RSC Adv. 2017, 7, 34664）。

(4) シースルー有機薄膜太陽電池の開発

吸収波長がそれぞれ異なる4種のスクアリリウム誘導体（吸収ピーク波長：580 nm、700 nm、760 nm、820 nm）を用い、吸収波長域が制御された、カラフルな半透明有機薄膜太陽電池素子を試作した。上部電極としては、薄膜銀（膜厚：10～20 nm）を利用した。銀膜厚や発電材料の差による透過率の波長依存性や太陽電池特性について詳細なデータを得た。上部電極に応じて平均光透過率を10%～30%の範囲で制御でき、発電材料との組み合わせで波長域ごとの光透過率を制御可能であることを実証した。試作した多色・透明有機薄膜太陽電池素子それぞれの発電特性や分光感度特性を確認し、5%を超える変換効率（D-BDT-SQを用いた半透明の有機薄膜太陽電池で変換効率5.03%）を得た。カラフルな「シースルー発電素子」の試作に成功し、透過波長を制御した有機発電パネル実現に向け大きく前進した（ACS Appl. Mater. Interfaces 2018, 10, 31, 26465）。



多色・透明有機薄膜太陽電池に用いた材料の分子構造及び光吸収特性（フィルム）

多色・透明太陽電池の特性

Squaraines	Ag (nm)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA cm ⁻²)	FF	PCE (%)	AVT (%)
IDPSQ	12	1.00	8.24	0.37	3.05	24.3
	20	1.00	9.38	0.39	3.69	10.0
SQ-BP	12	0.97	10.56	0.44	4.51	21.4
	20	0.97	11.47	0.45	5.01	9.3
D-BDT-SQ	12	0.88	11.38	0.49	4.91	25.1
	20	0.88	11.90	0.48	5.03	11.2
AzUSQ	12	0.77	5.86	0.38	1.71	26.6
	20	0.77	6.35	0.37	1.81	12.1

最終的に、「シースルー発電パネル」のプロトタイプ開発と展示を行った。ここまでの研究開発成果を活用し、外形 50 mm 角、75 mm 角、50 mm×100 mm、100 mm 角の大きさのシースルー型太陽電池パネルを試作した。プロトタイプ開発は、JST センター・オブ・イノベーション(COI)プログラムで連携する、伊藤電子工業(株)（山形県寒河江市）の協力を得て行った。

4 色の「シースルー型太陽電池パネル」の試作を行った。試作品は、都内（西新宿）リビングデザインセンター OZONE 6F ショールームに展示した（山形大学ニュースリリース 2019 年 5 月 15 日、朝日新聞等に掲載）。2019 年秋季応用物理学学会シンポジウムでは、シースルー太陽光発電に関する講演を行い、開発成果を発表した。さらに、複数の太陽電池パネルを組み合わせた、多色・透明有機薄膜太陽電池パネル「発電する窓」（最大外形 70 cm 角）を試作し、JFlex 展（2020 年 1 月 29 日～31 日、東京ビッグサイト）や、スマートエネルギー Week 国際太陽光発電展（PV EXPO 2021、2021 年 3 月 3 日～5 日、東京ビッグサイト）において展示した。材料及びシースルー有機薄膜太陽電池に関して特許出願を行った（特願 2018-1348831、半透明有機薄膜太陽電池ほか）。



試作した多色・透明有機薄膜太陽電池パネル

(5) まとめ

本研究では、吸収波長域の制御された「シースルー発電パネル」の実現を目指し、多数の材料開発及びデバイス開発成果を得た。各成果は論文、出願特許等に集約されるとともに、学会及び展示会において発表を行い、プロトタイプ開発や実用化に向けた取り組みへと進展させている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 7件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yang Daobin, Sano Takeshi, Sasabe Hisahiro, Kido Junji	4. 巻 163
2. 論文標題 A novel π -D1-A-D2 type low bandgap squaraine dye for efficient small molecular organic solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dyes and Pigments	6. 最初と最後の頁 564～572
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.dyepig.2018.12.044	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 Yang Daobin, Wang Yuming, Sano Takeshi, Gao Feng, Sasabe Hisahiro, Kido Junji	4. 巻 6
2. 論文標題 A minimal non-radiative recombination loss for efficient non-fullerene all-small-molecule organic solar cells with a low energy loss of 0.54eV and high open-circuit voltage of 1.15 V	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 13918～13924
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/C8TA04665D	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 Yang Daobin, Sano Takeshi, Sasabe Hisahiro, Yang Lin, Ohisa Satoru, Chen Yao, Huang Yan, Kido Junji	4. 巻 10
2. 論文標題 Colorful Squaraines Dyes for Efficient Solution-Processed All Small-Molecule Semitransparent Organic Solar Cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials & Interfaces	6. 最初と最後の頁 26465～26472
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acsami.8b08878	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 Yang Lin, Yang Daobin, Chen Yao, Wu Jianglin, Lu Zhiyun, Sasabe Hisahiro, Kido Junji, Sano Takeshi, Huang Yan	4. 巻 2
2. 論文標題 Effects of different types of unsymmetrical squaraines on the material properties and Coulomb interactions in organic photovoltaic devices	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Chemistry Frontiers	6. 最初と最後の頁 2116～2123
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/C8QM00327K	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 Yang Daobin, Hayashi Yuya, Sasabe Hisahiro, Igarashi Tsukasa, Sano Takeshi, Kido Junji	4. 巻 66
2. 論文標題 Elucidating the impact of N-arylanilino substituents of squaraines on their photovoltaic performances	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 188~194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2018.12.031	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 Yang Daobin, Sano Takeshi, Sasabe Hisahiro, Kido Junji	4. 巻 163
2. 論文標題 A novel π -D1-A-D2 type low bandgap squaraine dye for efficient small molecular organic solar cells	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Dyes and Pigments	6. 最初と最後の頁 564~572
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dyepig.2018.12.044	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 Yang Daobin, Sasabe Hisahiro, Sano Takeshi, Kido Junji	4. 巻 2
2. 論文標題 Low-Band-Gap Small Molecule for Efficient Organic Solar Cells with a Low Energy Loss below 0.6 eV and a High Open-Circuit Voltage of over 0.9 V	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Energy Letters	6. 最初と最後の頁 2021~2025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenenergylett.7b00608	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 Wang Zhongqiang, Sano Takeshi, Zhuang Taojun, Wang Xiao-Feng, Sasabe Hisahiro, Kido Junji	4. 巻 50
2. 論文標題 Rubrene-based interfacial engineering toward enhanced performance in inverted polymer solar cells	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 191~197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2017.07.042	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 Wang Zhongqiang, Sano Takeshi, Zhuang Taojun, Sasabe Hisahiro, Kido Junji	4. 巻 7
2. 論文標題 DBP and C70 based inverted tandem solar cells using a simple interconnecting layer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 RSC Advances	6. 最初と最後の頁 34664～34668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7ra04501h	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8件（うち招待講演 3件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 佐野健志
2. 発表標題 シースルー太陽電池に求められる性能と 応用展開
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐野健志、楊道賓、城戸淳二
2. 発表標題 低温形成逆型太陽電池における 電荷輸送層の検討
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 楊 道賓、佐野 健志、林 祐弥、笹部 久宏、城戸 淳二
2. 発表標題 スクアリリウム誘導体を用いた多色半透明有機薄膜太陽電池
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Yang, T. Sano, H. Sasabe, J. Kido
2. 発表標題 Colorful Squaraines for Efficient Solution-Processed Small Molecules Semitransparent Organic Solar Cells
3. 学会等名 2018 MRS Spring Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 D. Yang, T. Sano, Y. Yaguchi, H. Sasabe, J. Kido
2. 発表標題 Achieving 20% Efficiency for Low-Temperature-Processed Inverted Perovskite Solar Cells
3. 学会等名 The 10th Asian Conference on Organic Electronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeshi Sano
2. 発表標題 Small-molecule-based organic photovoltaic cell
3. 学会等名 International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takeshi Sano, Yutaka Okuyama, Yoshiyuki Suzuri, Mitsuhiro Koden, Toshinao Yuki, Makoto Mizukami, Hitoshi Nakada, Junji Kido
2. 発表標題 Applications of organic electronics toward the new normal lifestyle
3. 学会等名 11th International Symposium on Molecular Electronics (ISOME2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takeshi Sano
2. 発表標題 Semitransparent & Multicolor Organic Solar Cells
3. 学会等名 9 th Germany-Japan Joint Workshop (online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 半透明有機薄膜太陽電池	発明者 佐野 健志、ダオビ ン ヤン、笹部 久 宏、城戸 淳二	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-1348831	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 スクアリリウム誘導体、及びそれを用いた有機薄膜太陽電池	発明者 佐野 健志、ダオビ ン ヤン、笹部 久 宏、城戸 淳二	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-146241	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

山形大学有機エレクトロニクスイノベーションセンター https://inoel.yz.yamagata-u.ac.jp 山形大学有機エレクトロニクスイノベーションセンター https://inoel.yz.yamagata-u.ac.jp/research-group/ 山形大学有機エレクトロニクスイノベーションセンター 研究概要 http://inoel.yz.yamagata-u.ac.jp/research.html

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