

令和 6 年 5 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H02012

研究課題名（和文）電子ドナー/アクセプター界面における究極的に「無駄」の無い電荷分離の実現

研究課題名（英文）Realizing loss-less charge separation at donor:acceptor interface

研究代表者

玉井 康成（Tamai, Yasunari）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授

研究者番号：30794268

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：ドナーにPM6、アクセプターにY6を用いたPM6/Y6素子について過渡吸収分光測定を行い、電荷生成メカニズムを検討した。過渡電場吸収信号の時間発展を詳細に解析した結果、この系ではCT状態が自由電荷に解離するのに10 ps程度の時間を要していることがわかった。また電荷解離効率は温度に依存しないことから、既存のOnsagerモデル、Ballistic電荷分離モデルのどちらとも異なる機構で電荷分離していることがわかった。詳細な解析からこの系では界面近傍にポテンシャルエネルギー勾配が形成され、この勾配を電荷がダウンヒル緩和することで電荷解離していることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

次世代の太陽電池として期待されている有機薄膜太陽電池の光電変換メカニズムを明らかにした。本研究成果は有機薄膜太陽電池のさらなる高効率化を促進するとともに、電荷分離・再結合を扱う広範な光物理・光化学分野の基礎的知見となる。

研究成果の概要（英文）：We performed transient absorption measurements for organic solar cells consisting of PM6 and Y6. We found that after hole transfer from Y6 to PM6, we observed slow yet efficient spatial charge dissociation on a time scale of picoseconds. Based on temperature-dependence measurements, we found that this slow yet efficient free charge generation is driven by downhill energy relaxation of charges through the energy cascade generated near the interfaces.

研究分野：光物理化学

キーワード：励起子 電荷 エネルギー移動 電荷移動 電荷再結合 高速分光

## 1. 研究開始当初の背景

有機薄膜太陽電池 (OSC) は電子ドナー性の共役高分子と電子アクセプター性材料との混合膜を仕事関数の異なる電極で挟んだ構成となっている。OSC は安価・軽量・フレキシブルといった利点から次世代の太陽電池として盛んに研究されているが、光電変換効率の面では結晶シリコンなど既存の無機系太陽電池に遅れを取っている。OSC の最大の課題は、結晶シリコンなどに比べて素子内部におけるエネルギー損失が大きい、言い換えれば OSC の課題は材料のバンドギャップに対して実際に得られる開放電圧が低いことである。これは主に OSC では電荷の無輻射再結合に由来する損失が大きいことに起因する。

Shockley と Queisser の詳細釣り合い理論 (*J. Appl. Phys.* 1961, 32, 510) に基づいて考えると、太陽電池内での電荷再結合が全て光の放出をとまなう場合に最もエネルギー損失が小さくなる。一方、OSC では電荷再結合の中間状態として、極めて振動子強度が小さく、ほとんど光らない電荷移動状態 (CT 状態) を経由するため、無輻射的な余剰再結合が加わり、エネルギー損失が大きい。我々は CT 状態のエネルギー  $E_{CT}$  と材料の励起状態 (LE 状態) のエネルギー  $E_g$  の差である「オフセット」(図 1) を 0.1 eV 以下にすることで発光性のハイブリッド LE-CT 状態を形成させ、その結果 OSC の無輻射再結合損失を 0.185 V まで抑制することに成功した。これは従来の OSC と比較すると突出して小さな値である。一方、これまでの研究では同時に電荷生成効率 (短絡電流) の低下も招いており、低損失ではあるが光電変換効率の向上には直結していない。通常の OSC ではオフセットを駆動力として電荷生成しており、経験則としてオフセットは 0.3 eV 以上必要であると考えられてきた。我々の研究ではオフセットを 0.1 eV 以下まで減らしたことで電荷生成の駆動力を失ったと考えられる。

一方、実験事実としてオフセットがほとんど無くても高い電荷生成効率を示す OSC が存在する。例えば我々は 0.1 eV 程度のオフセットしか無いにもかかわらず 70% 程度の光電変換外部量子収率を示す、高効率・低損失素子の開発に世界で初めて成功している。この実験事実は従来の電荷分離メカニズムおよび材料設計指針に再考を求めるものである。しかしながら現在においてもなぜオフセットが無くても電荷分離可能なのかは未だ明らかになっていない。そこで本研究ではオフセットが無いドナー/アクセプター界面 (D/A 界面) における電荷生成・再結合ダイナミクスを明らかにすることを目的とした。

## 2. 研究の目的

本研究では広バンドギャップドナー高分子 (PMn) および狭バンドギャップ非フラレン系アクセプター (Yn) をモデル化合物として使用する。その中で PM6/Y6 プレンド系は 0.1 eV 程度のオフセットで 85% 程度の光電変換外部量子収率が報告されており (*Joule*, 2019, 3, 1140)、現在市販されている材料の中で最も高い水準で高効率・低損失を両立している系の一つである。

我々はオフセットレス電荷分離のメカニズムに対する次のような仮説を構築している。一般に有機半導体の最高被占有軌道 (HOMO) および最低空軌道 (LUMO) 準位は材料が結晶化することで安定化されるため、材料が結晶化することで D/A 界面近傍ではエネルギーカスケードが形成される。すると、たとえ D/A 間にオフセットが無くても界面から結晶相へ電荷が移動することで系の自由エネルギーは安定化されるため、電荷が界面混合相から結晶相へ移動することで自発的に電荷分離が進行すると考えら

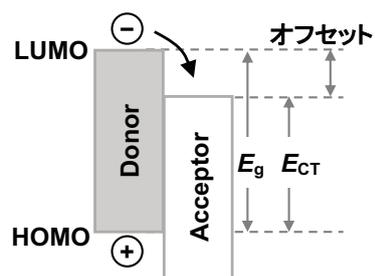


図 1. D/A 界面における各種エネルギーの模式図。OSC では D/A 界面におけるオフセットを駆動力として電荷分離する。

れる。無輻射再結合損失の大きさを決定するのは再結合中心である混合相での CT 状態エネルギーなので、カスケードの存在はエネルギー損失には影響しない。

本研究では PM6/Y6 系においてエネルギーカスケードの存在がトリガーとなって自発的な電荷分離が進行していることを明らかにする。また、どのような D/A 界面を構築すればオフセットレス電荷分離を促進させることができるのかについて検討を行う。PMn や Yn は側鎖を置換することでエネルギー準位や結晶性が大きく変化することが知られているため(例えば *Nat. Commun.* 2019, 10, 2515)、種々の組み合わせで PMn/Yn ブレンド膜を作製し、系統的に結晶性やオフセットの大きさを制御した D/A 界面について分光測定を行う。一方、光電流を得るためには生成した電荷が再結合する前に電極まで回収される必要がある。カスケードの存在により再結合が抑制されている可能性が示唆されるため、本研究ではオフセットの無い D/A 界面における再結合ダイナミクスについても検討する。

### 3. 研究の方法

本研究では結晶性およびオフセットの異なる種々の PMn/Yn 系ブレンド膜に対して分光測定を行うことで、前項で示した仮説についての検証を行う。予備検討段階では PM6/Y6 ブレンド膜について界面混合相から結晶相へ Y6 アニオンがシフトしている様子を確認したが、現段階ではエネルギーカスケードおよび電子シフトと電荷生成・再結合ダイナミクスとの因果関係は不明である。すなわち、電子シフトすることによって電荷分離が達成されているのか、電子シフトする前に既に電荷分離は完了しているかが判別できておらず、カスケードが電荷分離を誘起していることの証明になっていない。そこで本研究では次の各項目を検証することでカスケードが電荷分離を促進し、また再結合を抑制していることを実証する。

#### 温度依存過渡吸収測定

カスケードに誘起された自発的な電荷分離が進行していれば、電荷分離の活性化障壁は極めて小さいと予想される。そこで過渡吸収分光法により電荷生成ダイナミクスの温度依存性を評価し、電荷分離の活性化障壁の大きさを求める。

#### 過渡電場吸収測定

CT 状態と自由電荷の過渡吸収スペクトルには差が無いことから、通常の過渡吸収分光法ではどのタイミングで電荷分離が完了したのかはわからない。カスケードに誘起された電荷シフトによって電荷分離が完了したことを示すためには、各時刻における電子-正孔対間距離を評価する必要がある。そのためには過渡吸収データに含まれる微弱な電場吸収(EA)シグナルを解析することが有効である。過渡 EA シグナルの強度は CT 状態の電子-正孔対間距離に依存するため、EA シグナルの時間発展を測定することで電荷分離速度を実時間観測することができる。電荷分離が従来系で提案されている”Ballistic 電荷分離モデル”で進行しているのであれば電荷分離は<200 fs のタイムスケールで進行するはずであるが、電荷分離が本研究で提案しているモデルで進行していると、電荷分離速度は電荷のホッピング速度に支配されるため数 ps ~ 数 10 ps 程度と予想される。時定数の違いからどちらの機構で電荷分離が進行しているのか、また電荷シフトの時定数との比較から電荷分離が完了するのは電荷シフトする前後どちらなのかを判別することができる。

#### 再結合発光測定

長時間域のダイナミクスはポンプ&プローブ法による過渡吸収分光法では観測できないため、時間分解発光スペクトルを測定する。発光スペクトル形状から再結合中心のエネルギーはカスケードの有無に影響されないことを示す。

#### 4. 研究成果

図2はPM6/Y6ブレンド膜の時間分解発光スペクトルを示す。励起直後に見られる950 nm付近の発光はY6の蛍光に帰属される。一方、長時間域に1050 nm付近に観測される微弱な発光はCT発光に帰属され、これらからPM6/Y6系におけるオフセットはわずか0.12 eVしかないことがわかった。これは、再結合中心のエネルギーはカスケードの存在に影響されないことを示している。

次に励起波長800 nmでY6を選択励起した際の過渡吸収スペクトルを図3に示す。励起直後には900 nm付近にY6一重項励起子、800 nm付近にY6の基底状態褪色(GSB)が観測され、その後時間と共に900–1000 nm付近に観測される電荷の吸収が顕著となった。Y6の蛍光消光率は>95%なので、生成したほぼ全てのY6励起子は界面まで拡散し、PM6との間で正孔移動していると考えられる。興味深いことにY6を選択励起しているにも関わらず、励起直後から<650 nmの領域にPM6のGSBが観測された。この結果はPM6/Y6系はオフセットが0.1 eV程度しか無いにも関わらず、界面における正孔移動はサブピコ秒オーダーの高速で進行していることを示している。

一方、680 nm付近に観測される正の信号はPM6の過渡EA信号に帰属される(*ACS Nano*, 2017, 11, 12473)。界面においてCT状態が生成すると、その周辺には双極子状の局所電場が発生する。すると局所電場に誘起されたStark効果によりCT状態周辺の基底状態分子が摂動を受け、過渡吸収データに過渡EAスペクトルが重畳する。過渡EAの信号強度はCT状態の電子-正孔対間距離に依存することから、過渡EA強度の時間発展を計測することで電荷分離速度を実時間観測することができる。図4に示すように過渡EA信号の時間発展は600 nm付近に見られるPM6のGSBの時間発展に比べ僅かに遅いことがわかった。この結果は正孔移動により生成したCT状態が自由電荷に分離するまでにタイムラグが存在することを意味している。これはオフセットが十分に存在する系について報告されている電荷分離速度(<200 fs)に比べ二桁程度遅く、従来考えられてきた所謂”hot”機構とは異なるメカニズムで電荷分離が進行していることを示している。こ

ここで自由電荷生成効率は温度に依存しなかったことから、PM6/Y6系の電荷分離には活性化障壁が存在しないことがわかった。また850 nm付近に見られるY6のGSBはピーク位置が時間と共に

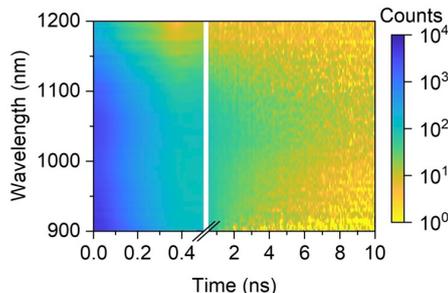


図2. PM6/Y6膜の時間分解発行スペクトル。

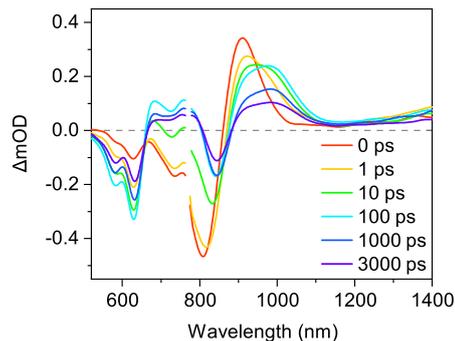


図3. PM6/Y6膜の過渡吸収スペクトル。

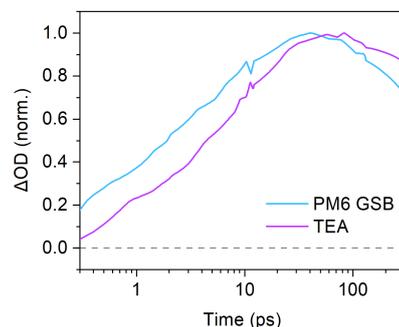


図4. 過渡TA信号とPM6のGSBの時間発展。

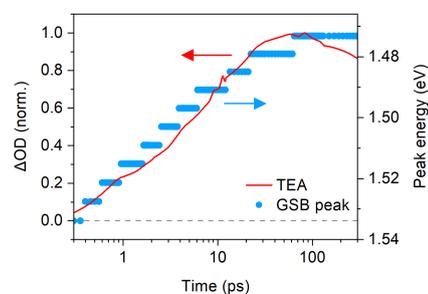


図5. 過渡TAとY6のGSBピーク位置の時間発展。

に長波長シフトしており、TEA の時間発展がピーク変化のダイナミクスと一致していることがわかった (図 5)。これらの結果は、PM6/Y6 系におけるオフセット電荷分離は、界面近傍に生じたポテンシャル勾配を電子がダウンヒル緩和することで進行していることを示唆している (*Energy Environ. Sci.*, **2022**, *15*, 1545)。

最後にドナーとアクセプターの HOMO 準位差 ( $\Delta I_{E_{P_{YSA}}}$ ) を系統的に変化させた時の  $EQE_{PV}$  を図 6a に示す。 $\Delta I_{E_{P_{YSA}}}$  が十分大きな領域ではいずれの素子においても高い  $EQE_{PV}$  を示す一方、 $\Delta I_{E_{P_{YSA}}}$  が 0.42 eV を下回ると  $EQE_{PV}$  が急激に低下した。同じブレンド膜について蛍光消光率  $\Phi_q$  を測定したところ、同じく  $\Delta I_{E_{P_{YSA}}}$  が 0.42 eV を下回る領域で  $\Phi_q$  の低下が観測された (図 6b) ことから、 $EQE_{PV}$  低下の一因はオフセットが低下したことでドナー/アクセプター界面での電荷移動速度が低下し、CT 状態が生成しにくくなったことによると結論した。一方、 $EQE_{PV}$  の低下量は  $\Phi_q$  の低下度合いよりも大きいことから、他の要因も寄与していることがわかる。そこで、 $EQE_{PV}$  を  $\Phi_q$  で除したものを  $\Delta I_{E_{P_{YSA}}}$  に対してプロットしたところ (図 6c)、同じ領域で  $EQE_{PV}/\Phi_q$  の低下が観測された。この結果はオフセットが低下することで、CT 状態の解離効率も低下していることを示唆している。そこで、 $\Delta I_{E_{P_{YSA}}}$  が 0.42 eV を下回るブレンド膜について過渡吸収測定を行ったところ、電荷解離効率は <50% と低い値を示したことから、オフセットの大きさは界面での電荷移動速度のみならず、電荷解離速度にも影響を及ぼしていると結論した。

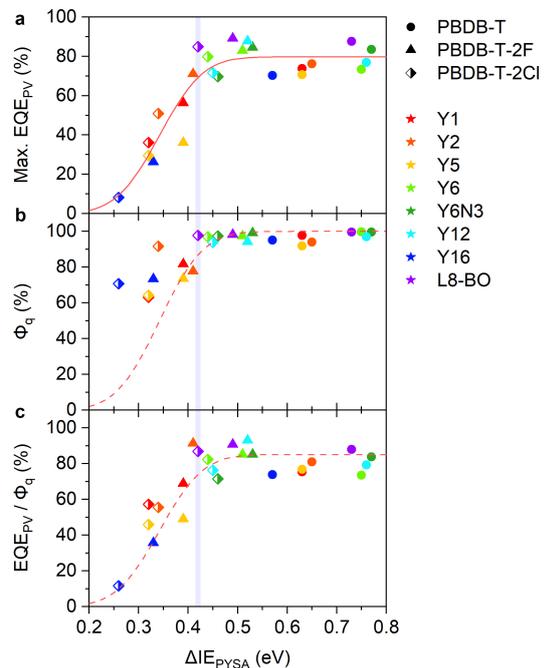


図 6. 各素子の (a) EQE 最大値、(b) 蛍光消光率、および (c) (a)/(b)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Natsuda Shin-ichiro, Saito Toshiharu, Shirouchi Rei, Imakita Kenta, Tamai Yasunari	4. 巻 54
2. 論文標題 Delocalization suppresses nonradiative charge recombination in polymer solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymer Journal	6. 最初と最後の頁 1345 ~ 1353
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41428-022-00685-1	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 Sakamoto Yuji, Izawa Seiichiro, Ohkita Hideo, Hiramoto Masahiro, Tamai Yasunari	4. 巻 3
2. 論文標題 Triplet sensitization via charge recombination at organic heterojunction for efficient near-infrared to visible solid-state photon upconversion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-022-00300-z	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 Sakamoto Yuji, Tamai Yasunari	4. 巻 11
2. 論文標題 Unlocking the Full Potential of Polymer-Based Solid-State Photon Upconversion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ECS Journal of Solid State Science and Technology	6. 最初と最後の頁 121005 ~ 121005
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1149/2162-8777/acab84	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 Tamai Yasunari	4. 巻 3
2. 論文標題 Charge generation in organic solar cells: Journey toward 20% power conversion efficiency	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aggregate	6. 最初と最後の頁 e280
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/agt2.280	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 Tamai Yasunari	4. 巻 4
2. 論文標題 What's Next for Organic Solar Cells? The Frontiers and Challenges	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Energy and Sustainability Research	6. 最初と最後の頁 2200149 ~ 2200149
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aesr.202200149	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 Murata Yasuhiro, Tamai Yasunari	4. 巻 13
2. 論文標題 Intrachain Exciton Motion Can Compete with Interchain Hopping in Conjugated Polymer Films with a Strong J-Aggregate Property	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 2078 ~ 2083
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.2c00226	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 Natsuda Shin-ichiro, Saito Toshiharu, Shirouchi Rei, Sakamoto Yuji, Takeyama Taiki, Tamai Yasunari, Ohkita Hideo	4. 巻 15
2. 論文標題 Cascaded energy landscape as a key driver for slow yet efficient charge separation with small energy offset in organic solar cells	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Energy & Environmental Science	6. 最初と最後の頁 1545 ~ 1555
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1EE03565G	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 Natsuda Shin-ichiro, Sakamoto Yuji, Takeyama Taiki, Shirouchi Rei, Saito Toshiharu, Tamai Yasunari, Ohkita Hideo	4. 巻 125
2. 論文標題 Singlet and Triplet Excited-State Dynamics of a Nonfullerene Electron Acceptor Y6	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 20806 ~ 20813
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.1c06448	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 Saito Toshiharu, Natsuda Shin-ichiro, Shirouchi Rei, Imakita Kenta, Kohzuki Kazuki, Tamai Yasunari	4. 巻 220
2. 論文標題 Intrinsic Advantage of Fused Ring Nonfullerene Acceptor Based Organic Solar Cells to Reduce Voltage Loss	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 2300121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.202300121	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 Tamai Yasunari, Shirouchi Rei, Saito Toshiharu, Kohzuki Kazuki, Natsuda Shin-ichiro	4. 巻 11
2. 論文標題 Role of the energy offset in the charge photogeneration and voltage loss of nonfullerene acceptor-based organic solar cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 17581 ~ 17593
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3TA01928D	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 Kohzuki Kazuki, Shirouchi Rei, Natsuda Shin-ichiro, Saito Toshiharu, Sakamoto Yuji, Tamai Yasunari	4. 巻 7
2. 論文標題 Charge Separation from Triplet Excited States in Nonfullerene Acceptor Based Organic Solar Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Solar RRL	6. 最初と最後の頁 2300359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/solr.202300359	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 Tamai Yasunari, Murata Yasuhiro, Natsuda Shin ichiro, Sakamoto Yuji	4. 巻 14
2. 論文標題 How to Interpret Transient Absorption Data?: An Overview of Case Studies for Application to Organic Solar Cells	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Energy Materials	6. 最初と最後の頁 2301890
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aenm.202301890	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 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 玉井康成
2. 発表標題 電子ドナー・アクセプター界面におけるオフセットレス電荷分離
3. 学会等名 2022年光化学討論会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasunari Tamai
2. 発表標題 Cascaded Energy Landscape As a Key Driver for Slow Yet Efficient Charge Separation with Small Energy Offset in Organic Solar Cells
3. 学会等名 241st ECS meeting（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasunari Tamai
2. 発表標題 Charge separation with small energy offset at donor:acceptor interface
3. 学会等名 ICNME2022（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 城内嶺, 齊藤俊晴, 夏田慎一郎, 玉井康成, 大北英生
2. 発表標題 非フラーレン高分子太陽電池における高効率光電変換とエネルギー損失の関係
3. 学会等名 第31回ポリマー材料フォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 齊藤隼人, 北尾陽輝, 奥山拓夢, 玉井康成, 大北英生
2. 発表標題 非晶性高分子太陽電池における電荷移動状態からの電荷生成
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 城内嶺, 齋藤俊晴, 夏田慎一郎, 玉井康成, 大北英生
2. 発表標題 非フラーレン系高分子太陽電池における高効率電荷生成とエネルギー損失の関係
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山田尚平, 城内嶺, 夏田慎一郎, 齋藤俊晴, 玉井康成, 大北英生
2. 発表標題 低エネルギー損失高分子太陽電池における電荷再結合による三重項励起子生成
3. 学会等名 第68回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 城内嶺, 齋藤俊晴, 夏田慎一郎, 玉井康成, 大北英生
2. 発表標題 非フラーレン高分子太陽電池における高効率光電変換とエネルギー損失の関係
3. 学会等名 第71回高分子学会年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 玉井康成, 夏田慎一郎, 齋藤俊晴, 城内嶺, 坂本雄治, 大北英生
2. 発表標題 PM6/Y6 ブレンド有機薄膜太陽電池におけるオフセットレス電荷分離メカニズムの解明
3. 学会等名 2021年光化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 玉井康成, 夏田慎一郎, 齋藤俊晴, 城内嶺, 坂本雄治, 大北英生
2. 発表標題 PM6/Y6系有機太陽電池における電荷生成メカニズム
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 城内嶺, 齋藤俊晴, 夏田慎一郎, 玉井 康成, 大北英生
2. 発表標題 非フラーレン高分子太陽電池における高効率電荷生成とエネルギー損失の関係
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 城内嶺, 齋藤俊晴, 夏田慎一郎, 玉井康成, 大北英生
2. 発表標題 高分子太陽電池における光電変換効率とエネルギー損失の関係
3. 学会等名 第67回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yasunari Tamai
2. 発表標題 Charge Separation and Recombination in Polymer Solar Cells
3. 学会等名 2023 Annual Spring Meeting of the Polymer Society Korea (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上月一輝, 城内嶺, 夏田慎一郎, 玉井康成, 大北英生
2. 発表標題 有機薄膜太陽電池における三重項励起状態ダイナミクス
3. 学会等名 第72回高分子学会年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yasunari Tamai
2. 発表標題 Ternary-Cascaded Triplet Energy Landscape for Solid-State Photon Upconversion
3. 学会等名 243rd ECS Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤和真, 齊藤隼人, 福原友裕, 玉井康成, 尾坂格, 大北英生
2. 発表標題 エネルギーカスケード構造を有する高分子/フラーレンブレンド膜における電荷生成ダイナミクス
3. 学会等名 第69回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上月一輝, 城内嶺, 夏田慎一郎, 玉井康成, 大北英生
2. 発表標題 有機薄膜太陽電池における三重項励起状態からの電荷分離
3. 学会等名 第69回高分子研究発表会(神戸)
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
---------	---------