

研究報告書

「高分子太陽電池の新発電原理の探求」

研究タイプ: 大挑戦型

研究期間: 平成21年10月～平成27年3月

研究者: 大北 英生

1. 研究のねらい

高効率な高分子太陽電池を創出するためには、光吸収による励起子生成から、励起子拡散、電荷分離、電荷輸送、電荷回収にわたるすべての素過程を正確に理解し、マクロ物性である素子特性をミクロな素過程の観点から定量的に評価する研究開発が不可欠である。これら一連の素過程を実時間で直接観測するために、本研究では短パルスレーザーを用いた過渡吸収法を駆使した分光測定を行う。本研究の目的は大きく分けて二つである。一つは、高分子太陽電池の内部で起こる一連の素過程を解明し、高効率化のための本質を探究することである。高分子半導体のヘテロ接合界面での電荷分離により生成した電荷対は強いクーロン引力により束縛されており、再結合による失活と競合するため室温での解離効率は低いと理論的には予測されている。しかし、実際の素子では高い光電変換特性を示すものが存在しており、高い解離効率を実現する機構が実在していることを示している。したがって、本研究では特に「電荷生成機構」に焦点をあて、自由キャリアへの解離効率を支配している機構を解明することにより、高効率化のための本質を明らかにする。二つ目は、高効率化の可能性を秘めた「色素増感高分子太陽電池」や「フラーレンの両極輸送」、「多重励起子生成」といった全く新しい現象の発電機構の解明にも挑戦し、高効率化のための新発電原理を探求する。後者の目標を達成するためには、高効率化のための本質が何であるのかを見極めることが不可欠であり、その中から新たな発電原理がさらに発見される可能性も高いと考える。すなわち、素過程の探究という基礎研究と新規現象の解明・探求という挑戦的探索研究を相補的に行うことで、高効率な次世代太陽電池の創出のためのブレークスルーを開拓することを目指す。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究では、基礎研究である「光電変換機構の探究」と挑戦的探索研究である「新発電原理の探求」を同時に展開しており、それぞれの研究成果の概要を以下にまとめる。

「光電変換機構の探究」については、高分子太陽電池のベンチマーク素子であるポリチオフェン(P3HT)とフラーレン誘導体(PCBM)のブレンド膜に対する光電変換素過程について、励起子拡散、電荷分離、電荷解離、電荷回収にいたるすべての素過程を過渡吸収分光測定によって包括的に解明することに初めて成功した(論文1, 2, 7)。さらに、非晶性の狭バンドギャップ高分子(PCPDTBT)や結晶性の狭バンドギャップ高分子(PSBTBT)とPCBMとのブレンド膜についても同様に素過程の解明に成功した。これらの素過程を詳細に比較検討した結果、結晶性共役高分子の π スタック方向の結晶子サイズと電荷解離効率に良い相関がみられることを見出した(論文8)。また、解離した電荷キャリアの寿命は、電荷解離効率が高い系

では Langevin 再結合から予測される寿命より長く、拡散律速ではない二分子再結合機構に起因することを明らかにした(論文4)。

「新発電原理の探求」については、色素増感高分子太陽電池、フラーレンの両極輸送、多重励起子生成について発電原理の解明を行った。色素増感高分子太陽電池については、P3HT と PCBM に近赤外色素である SiPc を導入した三元ブレンド膜の増感機構を過渡吸収分光法により解明した。その結果、P3HT 励起子から SiPc へのエネルギー移動、SiPc 励起子から P3HT への正孔移動、SiPc アニオンから PCBM への電子移動の各プロセスはほぼ 100% であることを明らかにした。また、孤立失活する SiPc 励起子はほとんど見られないことから、ほぼすべての SiPc が P3HT と PCBM の界面に偏在していることを実証した。さらに、この自発的な色素の界面偏在は、P3HT の結晶化による色素の排斥効果と、SiPc の表面エネルギーが P3HT と PCBM の中間に位置することによる界面エネルギーの効果が寄与していることを明らかにした(論文3)。フラーレンの両極輸送については、イオン化ポテンシャルの異なる共役高分子とのブレンド膜中における電荷生成ダイナミクスを系統的に解析した結果、フラーレンの HOMO 準位が 5 重に縮退していることと、HOMO のバンド幅が広いことが、フラーレンカチオン生成機構が発現する条件であることを明らかにした(論文5)。多重励起子生成については、非晶性のポリフルオレン(PFO)膜では三重項対の生成効率は高いもののフリー三重項への解離効率は低く、 β 相を示す PFO 膜ではポーラロン生成と競合するため三重項対の生成効率は低下するもののフリー三重項への解離効率は高いことを明らかにした(論文6)。

本研究領域に参画する研究者は、研究総括の指導の下、平成 25 年度より、さきがけ成果結集プロジェクト「ペロブスカイトを用いた高効率有機-無機ハイブリッド太陽電池の創製と機構解明」に取り組んだ。ペロブスカイト型太陽電池は、新たな高効率太陽電池として平成 25 年に大きく注目され、高効率化の機構解明が急務となっており、本研究領域で特別に取り組んだ。成果結集プロジェクトにて、本さきがけ研究で取り組んだ発電素過程の解析手法を活用し、若宮研究者(2期生)と連携して、ペロブスカイト太陽電池の開放電圧の起源に関する研究を行い、現在も共同研究を継続中である。

(2) 詳細

研究テーマ A 「光電変換機構の探究」

高分子太陽電池のベンチマーク素子であるポリチオフェン(P3HT)とフラーレン誘導体(PCBM)のブレンド膜に対する光電変換素過程について、図 1 に示すような、励起子拡散、電荷分離、電荷解離、電荷回収にいたるすべての素過程を過渡吸収分光測定によって包括的に解明することに初めて成功した。その結果、P3HT 結晶ドメインに生成した一重項励起子は1次元拡散ダイナミク

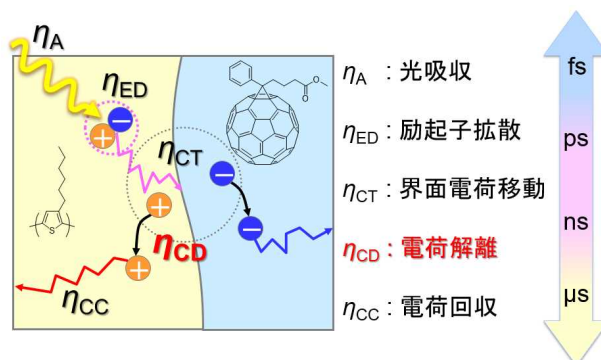


図 1. 高分子太陽電池の発電素過程

スを示し、拡散長は 20 nm にも及ぶことを明らかにした(論文7)。さらに、同じ主鎖骨格であっても非晶性 P3HT/PCBM ブレンド膜と結晶性 P3HT/PCBM ブレンド膜では、光電変換素過程が大きく異なることを明らかにした。界面への励起子拡散効率、非晶性 P3HT/PCBM ブレンド膜ではほぼ 100%であるのに対して、結晶性 P3HT/PCBM ブレンド膜では 90%にとどまり 10%程度のロスが見られた。界面での電荷分離効率はいずれの系でもほぼ 100%であり、励起子生成から電荷分離までは非晶性素子の方が高効率であることが分かった。一方、自由キャリアへの電荷解離効率は、非晶性 P3HT/PCBM ブレンド膜では対再結合による失活のため 30%にとどまるのに対して、結晶性 P3HT/PCBM ブレンド膜では 90%以上もの高い値を示した。電荷回収効率も非晶性素子では低く、結晶性素子で高い値を示し、電荷解離以降のプロセスに大きな違いが見られることを明らかにした(論文1)。さらに、結晶性 P3HT/PCBM ブレンド膜での二分子再結合ダイナミクスを過渡吸収分光測定により解析したところ、キャリア寿命が 10-100 μ s と電荷回収時間よりも長く、高い電荷回収が実現されていることを示した(論文2)。このような長いキャリア寿命は、界面での電荷解離効率が高いため、二分子再結合過程が拡散律速ではないことに起因することを見出した(論文4)。

非晶性の狭バンドギャップ高分子(PCPDTBT)とPCBMとのブレンド膜についても同様に素過程の解明を行ったところ、界面への励起子拡散効率、界面での電荷分離効率はともにほぼ 100%であるが、界面での電荷解離効率は界面 CT 状態からの対再結合失活のため 70%にとどまり、キャリア寿命も 0.1 μ s と短く、非晶性 P3HT/PCBM ブレンド膜に近い挙動を示すことを明らかにした。添加剤の有無により PCPDTBT の吸収帯が変化するとともに、解離効率が変化することから、PCPDTBT の π スタックといった秩序構造が解離効率を支配していることが示唆された。

PCPDTBT とほぼ同じ主鎖構造を有する結晶性の狭バンドギャップ高分子(PSBTBT)とPCBMとのブレンド膜についても同様に素過程の解明を行ったところ、結晶相では電荷解離効率がほぼ 100%であるのに対して、非晶相では PCPDTBT と同様に界面 CT を形成し、解離効率は 50%にとどまった。非晶相に生成したポーラロンの一部は結晶相に移動することにより自由電荷に解離し、全体としての解離効率は 75%と見積もられた。これまでに検討した系に対して電荷解離効率の違いについて検討した結果、結晶性共役高分子の π スタック方向の結晶子サイズと電荷解離効率に良い相関がみられることを見出した。したがって、電荷の非局在化によって実効的な初期電荷分離距離が長くなることが解離効率を高める要因であると考えられる(論文8)。

研究テーマ B 「新発電原理の探求」

・色素増感太陽電池

太陽光は、図 2 に示すように、可視のみならず近赤外領域にまで広く分布するため、近赤外光を有効に利用することが効率向上には不可欠である。P3HT と PCBM に近赤外色素(SiPc)を導入することで光電流が向上するが、導入した色素の何割が発電に効率よく寄与できているのか不明であった。そこで、色素増感高分子太陽電池の増感素過程を過渡吸収分光法により観測し、増感機構ならびに増感に寄与する色素の偏在位置について検討した。その結果、P3HT 励起により生成した P3HT 励起子はエネルギー移動によって効率よく SiPc へと捕集されることが分かった。励起エネルギー移動あるいは直接励起によって生成した SiPc 励

起子は、2 psの時定数で直ちに P3HT と電荷分離し、P3HT ポーラロンと SiPc アニオンが生成する。その後 SiPc アニオンは 50 ps の時定数でほぼすべて PCBM へと電荷移動し、各増感過程の効率はいずれもほぼ 100%であることが分かった。以上の結果は、ほぼすべての SiPc が P3HT と PCBM との界面に存在していることを示しており、スピコート法などの溶液プロセスであっても、色素と P3HT と PCBM の混合溶液から製膜するだけで、色素は自発的に界面に偏在していることを実証した。

以上のように、色素増感太陽電池では、生成した励起子はエネルギー移動により導入した色素によって捕集されるため、図 2 の挿入図に示すように、色素は P3HT と PCBM との界面に存在しなければ電荷生成に寄与できない。したがって、色素の界面偏在が色素増感高分子太陽電池の鍵となる。そこで、色素の界面偏在機構について詳細に検討を行った。その結果、P3HT の結晶化にともなって色素は界面相へと排斥される効果が存在することが分かった。さらに、P3HT、PCBM、SiPc の表面エネルギーを評価したところ、 $P3HT < SiPc < PCBM$ の順に大きくなり、SiPc が界面に存在することが熱力学的に安定であることを明らかにするとともに、色素偏在位置も界面エネルギーにより支配されていることをモデル実験により実証した(論文3)。

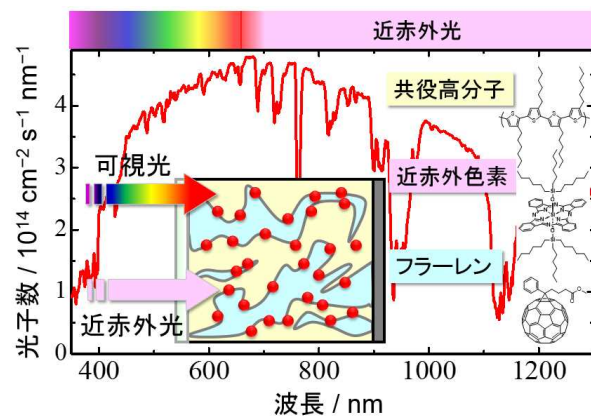


図 2. 可視から近赤外域にわたって幅広く分布する太陽光スペクトル (赤実線)。挿入図は、色素増感高分子太陽電池の素子構造 (左)、用いた材料の分子構造 (右)。

・フラレーンの両極輸送

フラレーンの両極輸送機構を検討するため、イオン化ポテンシャルの異なる共役高分子とのブレンド膜中における電荷生成ダイナミクスを過渡吸収測定により観測した。その結果、サブマイクロ秒の時間領域で、共役高分子に生成した正孔ポーラロンが PCBM ドメインへ移動し、PCBM カチオンが生成することを明らかにした。この正孔移動は、イオン化ポテンシャルの深い共役高分子と PCBM のブレンド膜ほど短い時定数で進行することから、HOMO 準位の重なりが重要であることを示唆している。モンテカルロ法により正孔注入過程をシミュレートした結果、図 3 に示すように、界面双極子や分極エネルギーに加え

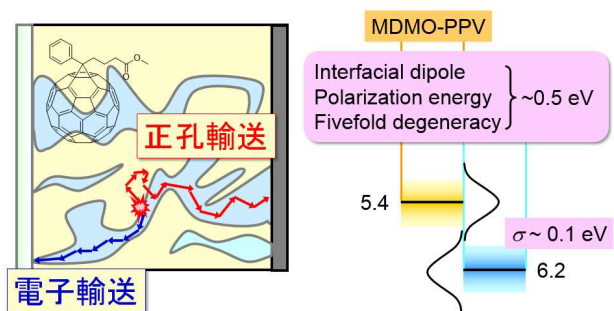


図 3. 高分子太陽電池におけるフラレーンの両極輸送。界面双極子、分極エネルギー、縮退度、バンド幅などを考慮すると、共役高分子とフラレーンの HOMO 準位には重なりが生じ、正孔移動が説明できる。

て、フラーレンの HOMO 準位が 5 重に縮退していることや HOMO のバンド幅が広いことが、フラーレンカチオン生成機構が発現する条件であることを明らかにした(論文5)。

・多重励起子生成

一つの一重項励起子から二つの三重項励起子が生成する Singlet Fission の生成ダイナミクスを非晶相および β 相のポリフルオレン (PFO) に対して過渡吸収分光によって観測し、Singlet Fission 効率を評価した。その結果、図 4 に示すように、非晶性 PFO 膜では三重項対の生成効率は高いもののフリー三重項への解離効率は低いことが分かった。低い解離効率は三重項励起子の拡散定数が小さいためであると推察される。

一方、 β 相 PFO 膜ではポーラロン生成と競合するため三重項対の生成効率は低下するものの、フリー三重項への解離効率は高いことが分かった。したがって、効率の良い Singlet Fission を実現するには、三重項対の生成効率とフリー三重項への解離効率を同時に高めることが重要であり、励起子拡散定数の高い結晶相においてポーラロン形成などの競合過程を排除することが重要であると考えられる。(論文6)

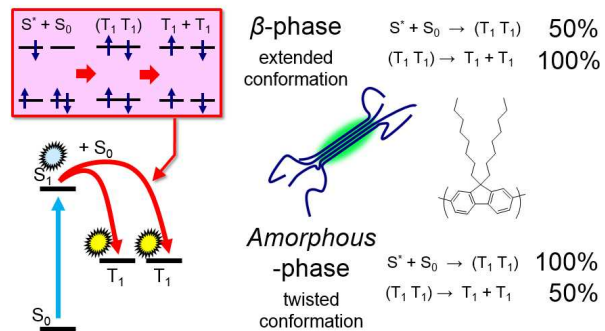


図 4. Singlet fission における電子配置変化とエネルギー図 (左)。ポリフルオレンの β 相と非晶相における singlet fission 効率 (右)。

3. 今後の展開

本研究の基礎研究によって、高効率化の要件として、高い電荷解離効率と長いキャリア寿命が必要であり、これらは結晶性共役高分子の結晶子サイズを大きくすることで実現できることを明らかにした。同時に、電荷生成機構には、励起後直ちに解離する機構と界面 CT を形成する機構が存在することも見出した。今後は、これらの二つの電荷生成機構の分配比、界面 CT からの解離効率を支配する因子について解明し、高分子太陽電池の電荷生成にともなうエネルギー損失極限を探究し、限界効率の解明に挑みたい。

一方、本研究の挑戦的探索研究によって、近赤外色素を導入した三元ブレンド高分子太陽電池が光捕集帯域を拡大する有効なアプローチであることを実証するとともに、効率よく機能するための機構をも解明することができた。今後は、高効率高分子太陽電池と近赤外色素を組み合わせることにより1種類の高分子のみでは到達できない高効率化の実現に取り組む。多重励起子生成については、共役高分子に対して1光子励起による二つの三重項励起子生成に成功した。今後は、生成効率をいかに高めることができるのか、電荷生成過程につなげることが可能であるのかについての探究を継続して行う予定である。

ペロブスカイト太陽電池については、成果結集プロジェクトにより開始した共同研究を継続し、発電素過程に関する基礎物性の研究に継続して取り組む予定である。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

本研究は大挑戦型研究課題として、二つの目標を設定して研究を遂行した。一つは、有機太陽電池の内部で起こる一連の素過程の中でも素子特性を大きく左右すると考えられる最も初期過程である電荷生成機構を解明し、高効率化のための本質を探究することである。二つ目は、高効率化の可能性を秘めた新規な現象を解明し、次世代太陽電池のためのブレークスルーとなる効率10%を超えるための新発電原理を開拓することである。後者が最終目標であるが、この目標を達成するためには、高効率化のための本質が何であるのかを見極めることが不可欠であり、その中から新たな発電原理がさらに発見される可能性も高いと考えた。すなわち、素過程の探究という基盤研究と新規現象の解明という発展研究を相補的に行うことによって着実な目標達成を目指した。結果的にこのアプローチは有効に機能し、二つの研究を相補的かつ相乗的に進めることができた。

基礎研究としては、高効率化の鍵を明らかにすることが当初のねらいであった。ベンチマーク素子である P3HT/PCBM の素過程を解明することによって、ヘテロ接合界面における高い電荷解離効率と長い電荷キャリア寿命が高効率化の鍵であることを明らかにした。この成果は、高分子太陽電池の素過程を初めて包括的に解明したものであり、先駆的な研究として現在でも広く引用されている。その後、種々のブレンド素子についても素過程を解明することによって、高い電荷解離効率は π スタック方向の結晶子サイズと強い相関を示すことを見出すことともに、長い電荷キャリア寿命が高い電荷解離効率に基づく非拡散律速再結合に起因することを明らかにすることができたので、所期の目的は達成できたと考える。また、増額申請により界面 CT 準位のより正確な評価が可能となり、界面 CT からの再結合速度のエネルギーギャップ依存を明らかにすることができた。これらの成果に基づき、電荷解離におけるエネルギーロス機構の探究を継続中である。

挑戦的探索研究としては、「色素増感高分子太陽電池」、「フラーレンの両極輸送」、「多重励起子生成」について、いずれも発電原理を解明することができたので、所期の目的は達成できたと考える。特に、近赤外色素を導入した三元ブレンド高分子太陽電池については、世界的に研究開発が進められるようになり、現在では Ternary Blend Solar Cells という用語として確立するに至っている。最近の理論モデルでは、単セルの高分子太陽電池の限界効率が10%程度であるのに対して、色素を導入した Ternary Blend Solar Cells では12%程度まで素子特性が向上することが予測されており(*Adv. Energy Mater.* 2015, 5, 1400891)、本研究の所期の目的である10%を超える新発電原理の実証を実現できたものと考えられる。素子作製工程がシンプルな単セル素子においても光捕集域を容易に広帯域化することで高効率化を実現する有用な手法として、今後も本アプローチが発展していくと予想される。また、研究後期には、新発電原理として多重励起子生成にも注力し、共役高分子においても一つの光子から二つの三重項励起子を生成することに成功した。効率面などまだまだ解決すべき課題は残っており、さらなる探究を継続する予定である。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

有機薄膜太陽電池が光を吸収してから電流を発生するまでの光電変換プロセスは、①励起子発生、②励起子拡散、③電荷分離、④電荷解離と再結合、⑤電荷輸送、⑥電荷回収の各過程で構成され、この一連の素過程の機構解明によって、分子論的な材料設計や素子設計が可能となり、より効果的、戦略的に高効率化の検討を進めることができる。この方針に沿って、大北研究者は、過渡吸収分光測定法を用いて、有機薄膜太陽電池の作動機構の解析を行い、光電変換の初期過程で興味深い知見を得ることができた。また、色素増感高分子太陽電池、多重励起子太陽電池等についても新しい発電機構を明らかにすることができ、今後の新発電原理に基づく「新型太陽電池」開発に重要な知見を得ている。具体的には、ポリチオフェン:フラレン誘導体 P3HT:PCBM 系太陽電池において、励起子拡散、電荷分離、電荷輸送効率が P3HT の結晶性に依存することを明らかにした。また、バンドギャップ高分子を用いた PCPDTBT:PCBM 系太陽電池を用いて、電荷分離効率が高分子の結晶性に依存していることを示した。さらに、新型太陽電池においては、初めて可視光を用いて多重励起子生成を観測することができた。世界一級の素晴らしい研究成果を上げ、有機太陽電池研究に多大な貢献をしている。このように高分子太陽電池の基礎的な物理過程を包括的に解明することに成功し、上記の研究成果を確実に論文として発表し、JACS、AFM 等、インパクト・ファクターの高い論文に採択され、基礎研究としての価値の高い研究成果を上げている。過渡吸収分光法に基づく独自の手法を確立した大北研究者は、多くの材料についての解析を行い、引用件数の多さ、表紙掲載、招待論文依頼を受けるなど、世界的に認められた研究者になりつつある。

過渡吸収分光法に基づく独自の解析法は新規な系に関しても適用可能な手法であり、電荷分離機構の解明に大いに役立つことが期待できる。今後、基礎的な解析から新たな分子設計を提案し、新しい分子の創出につなげてほしい。また、有機薄膜太陽電池の残された課題解決、またペロブスカイトも含めた新型太陽電池のさらなる原理解明を期待したい。基礎過程の解明を着実にやり、モデル提案、高効率化の指針まで提案できることは、大北研究者の努力と、深く広い知識に裏打ちされている。基礎に基づいた一般性の高いコンセプトをいずれの分野でも出し、広い分野で評価される研究者となることが大いに期待できる。ペロブスカイト系、3元系など、さらに研究範囲を広げており、有機太陽電池の基礎研究、その他の系の機構研究の世界的権威として、大成していくことを期待している。本研究課題は、5 年型大挑戦型として増額申請が承認され、高感度近赤外分光感度測定装置が導入された、その結果、界面 CT 状態のエネルギー準位をかなり正確に評価することができ、界面 CT 状態からの再結合速度が古典的なマーカス理論ではなくギャップ則にしたがうことを明らかできた。有用なデータが得られており現在も継続して電荷生成のロス機構の探究を進めている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. J. Guo, H. Ohkita, H. Benten, S. Ito, "Charge Generation and Recombination Dynamics in Poly(3-hexylthiophene)/Fullerene Blend Films with Different Regioregularities and Morphologies", *J. Am. Chem. Soc.*, **2010**, 132(17), 6154–6164. **Identified as a Highly Cited Paper (Top 1%) in Essential Science Indicators (Thomson Reuters)**

2. J. Guo, <u>H. Ohkita</u> , H. Benten, S. Ito, “Bimodal Polarons and Hole Transport in Poly(3-hexylthiophene):Fullerene Blend Films”, <i>J. Am. Chem. Soc.</i> , 2010 , 132(28), 9631–9637.
3. S. Honda, <u>H. Ohkita</u> , H. Benten, S. Ito, “Selective Dye Loading at the Heterojunction in Polymer/Fullerene Solar Cells”, <i>Adv. Energy Mater.</i> , 2011 , 1(4), 588–598.
4. S. Yamamoto, A. Orimo, <u>H. Ohkita</u> , H. Benten, S. Ito, “Molecular Understanding of Open-Circuit Voltage of Polymer:Fullerene Solar Cells”, <i>Adv. Energy Mater.</i> , 2012 , 2(2), 229–237. Featured in Cover Picture
5. S. Yamamoto, <u>H. Ohkita</u> , H. Benten, S. Ito, “Formation Mechanism of Fullerene Cation in Bulk Heterojunction Polymer Solar Cells”, <i>Adv. Funct. Mater.</i> , 2012 , 22(14), 3075–3082.
6. Y. Tamai, H. Ohkita, H. Benten, S. Ito, “Singlet Fission in Poly(9,9'-di- <i>n</i> -octylfluorene) Films”, <i>J. Phys. Chem. C</i> , 2013 , 117(20), 10277–10284.
7. Y. Tamai, Y. Matsuura, <u>H. Ohkita</u> , H. Benten, S. Ito, “One-Dimensional Singlet Exciton Diffusion in Poly(3-hexylthiophene) Crystalline Domains”, <i>J. Phys. Chem. Lett.</i> , 2014 , 5(2), 399–403. Identified as a Highly Cited Paper (Top 1%) in Essential Science Indicators (Thomson Reuters)
8. Y. Tamai, K. Tsuda, <u>H. Ohkita</u> , H. Benten, S. Ito, “Charge-Carrier Generation in Organic Solar Cells Using Crystalline Donor Polymers”, <i>Phys. Chem. Chem. Phys.</i> , 2014 , 16(38), 20338–20346. Invited Paper for Special Issue on Charge Generation Mechanism in Organic Solar Cells

(2)特許出願

研究期間累積件数:0件

(2)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

主要な学会発表(招待講演)

1. H. Ohkita, J. Guo, J. Kosaka, H. Benten, S. Ito, “Charge Generation in Polymer Solar Cells Studied by Transient Absorption Spectroscopy”, SPIE Optics & Photonics 2010, Organic Photovoltaics XI, San Diego, USA.
2. H. Ohkita, J. Guo, S. Honda, S. Yamamoto, H. Benten, S. Ito, “Charge Generation and Recombination Dynamics in Polymer Solar Cells”, 2013 MRS Spring Meeting, San Francisco, USA.
3. H. Ohkita, S. Honda, S. Yokoya, H. Benten, S. Ito, “Dye Sensitization of Polymer/Fullerene Solar Cells”, Sungkyun International Solar Forum 2013, Seoul, Korea.
4. H. Ohkita, S. Honda, S. Yokoya, H. Benten, S. Ito, “Interfacial Dye Sensitization in Polymer Solar Cells”, 15th Asian Chemical Congress, Sentosa, Singapore.
5. H. Ohkita, J. Guo, S. Honda, H. Benten, S. Ito, “Charge Generation Dynamics in Polymer Solar Cells”, Global Photovoltaics Conference 2013 & The 8th Aceanian Conference on Dye-Sensitized and Organic Solar Cells, Busan, Korea.

著作物

1. 大北英生, 伊藤紳三郎, “レーザ分光で明らかにする高分子太陽電池の光電変換プロセ

- ス”, 未来材料, 2010, 10, 16-22.
2. 大北英生, “高分子太陽電池”, CSJカレントレビュー07「高分子と光が織りなす新機能・新物性」, 日本化学会編, 2011, 第9章, 104-111, 化学同人, 東京.
 3. 大北英生, 伊藤紳三郎, “色素増感高分子太陽電池の研究開発”, 機能材料, 2011, 31, 48-53.
 4. 大北英生, “レーザ分光法による光電変換素過程の解明”, 「有機薄膜太陽電池の最前線」, 監修 松尾豊, 2012, 第5章1節, 188-198, シーエムシー出版, 東京.
 5. H. Ohkita, S. Ito, “Exciton and Charge Dynamics in Polymer Solar Cells Studied by Transient Absorption Spectroscopy”, 「Organic Solar Cells」, W. C. H. Choy Ed., 2013, Chap 5, 103-137, Springer-Verlag, London.

プレスリリース

1. JST・京都大学共同プレスリリース 2011年4月27日
せっけんに学ぶ高分子太陽電池高効率化の原理の解明
—新概念の「色素増感高分子太陽電池」の実現に貢献—
<http://www.jst.go.jp/pr/announce/20110427/index.html>
http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/news_data/h/h1/news6/2011/110427_1.htm
2. JST 広報誌(JSTNews) 2011年8月号「次世代太陽電池への道」
<http://www.jst.go.jp/pr/jst-news/backnumber1108.html>
3. JST Science News 2011年「再生可能エネルギー【太陽光編】」
<http://sc-smnjst.go.jp/playprg/index/3159>
4. Kyoto University Research Activities 2011, 1(1), 20.
“Selective Dye Loading at the Polymer/Fullerene Interface” *Improving efficiency of plastic solar cells by using dye surfactants similar to soap*
<http://www.activities.rp.kyoto-u.ac.jp/flash/research/1-1/>
5. 日刊工業新聞 2011年4月28日 18面
6. 京都新聞 2011年4月29日 25面
7. 日経産業新聞 2011年5月11日 9面
8. 科学新聞 2011年5月13日 3面