

令和元年6月5日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26248033

研究課題名(和文) 共役高分子結晶相における励起子ダイナミクス

研究課題名(英文) Exciton Dynamics in Crystalline Domains of Conjugated Polymers

研究代表者

大北 英生 (OHKITA, Hideo)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：50301239

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究にて取り組んだ課題の成果は以下の三つに大別できる。「結晶性共役高分子の結晶相における一重項励起子拡散」では、J凝集性の結晶性共役高分子PNOz4T薄膜においては室温付近では2次元拡散が、低温では1次元拡散が支配的になることを見出した。「高度に結晶化した共役高分子結晶相における励起子ダイナミクス」では、J凝集性を示す高結晶P3HTドメインの一重項励起子の輻射遷移速度と無輻射遷移速度がともに100倍程度増大するという特異な現象を発見した。「結晶性共役高分子における一重項励起子分裂」では、結晶性共役高分子PDPP3T薄膜では、H凝集性が高いほど一重項分裂が効率よく進行することを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

結晶性共役高分子の結晶相における一重項励起子拡散の次元性は高分子鎖の凝集形態に強く依存することを実証した。これにより、凝集形態を制御することにより必要に応じた励起子拡散を実現できると期待される。高度に結晶化したJ凝集性を示すP3HTにおける輻射遷移速度と無輻射遷移速度の増大機構について未解明であるが、高度な結晶化に由来した集団的協働現象である可能性があり学術的意義が高い新規物性である。結晶性共役高分子における一重項分裂は、H凝集形態において高効率に進行することから、形態制御による一重項分裂のさらなる高効率化が期待される。

研究成果の概要(英文)：In this project, we studied the following three issues. First, we studied the exciton dynamics in J-aggregated crystalline conjugated polymer PNOz4T films. As a result, we found that two-dimensional exciton diffusion is dominant at room temperature and one-dimensional exciton diffusion is dominant at lower temperatures. Second, we studied the exciton dynamics in highly crystalline J-aggregated conjugated polymer P3HT films. As a result, we found that singlet excitons exhibit rapid radiative and non-radiative rate ~100 time faster than those for H-aggregated normal P3HT films. Third, we studied singlet fission in crystalline conjugated polymer PDPP3T films. As a result, we found that singlet fission more efficiently proceeds in H-aggregated films rather than in J-aggregated films.

研究分野：高分子光化学・光物理

キーワード：一重項励起子拡散 共役高分子 励起子相互作用 J凝集 H凝集 H凝集

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

共役高分子固体を光励起すると、LUMO に遷移した電子と HOMO に生成した正孔から構成される励起子が生成する。この電子 - 正孔対はクーロン引力により強く束縛されているため、自由な電荷キャリアとはなれないが、電氣的に中性な励起子として固体膜内を拡散することができる。膜内に電子受容性の材料が存在すれば、共役高分子の LUMO の電子は電子受容性材料の LUMO へ移動することで、共役高分子の HOMO の正孔と空間的に分離する。その結果、電子および正孔はそれぞれ電荷キャリアとなり、光電流が発生する。この現象を利用したものが有機薄膜太陽電池である。したがって、励起子の寿命や拡散長といった基本物性が電流発生効率を支配しているのである。われわれは、これまでに有機薄膜太陽電池に用いられる代表的な共役高分子である poly(3-hexylthiophene) (P3HT) の固体膜に生成した励起子のダイナミクスを過渡吸収分光法によって明らかにしてきた。その結果、regiorandom P3HT (RRa-P3HT) と regioregular P3HT (RR-P3HT) では主鎖構造が同じであるものの結晶性の違いのため、励起子ダイナミクスが全く異なることを明らかにした。さらに、RR-P3HT では励起波長よっても異なる励起子ダイナミクスが観測されることを見出した。この結果は、結晶相に固有な励起子ダイナミクスを観測するには、励起波長を適切に選択する必要があることを示している。

共役高分子の励起子拡散長を評価する主な方法として二つ挙げられる。一つは、膜厚一定の電子受容性の膜の上に膜厚の異なる共役高分子膜を製膜した二層膜を作製し、共役高分子の励起子発光 (蛍光) 強度の膜厚依存性を解析する手法である。もう一つの手法は、共役高分子内に生成した励起子どうしの二分子的衝突による失活ダイナミクスの時間発展を解析するものである。非晶性の共役高分子であるポリパラフェニレンビニレン系の高分子では、これらの手法により励起子拡散長は 5-7 nm と評価されている。一方、結晶性高分子である RR-P3HT では、励起子拡散長は 4-27 nm と大きくばらついた値が報告されている。われわれは、このバラツキは結晶相に固有な励起子ダイナミクスを観測していないことに起因すると考えた。特に、二層膜の手法では、結晶相と非晶相が混在した状態しか観測することができず、結晶相の配向などの影響も無視できない。そこで、共役高分子の結晶相の選択励起により生成した励起子の二分子失活ダイナミクスを過渡吸収分光法により解析することで、結晶相に固有な励起子ダイナミクスのみを選択的に観測するという着想に至った。この着想にしたがって RR-P3HT の結晶相における励起子ダイナミクスを観測したところ、1 次元拡散挙動を示すという興味深い結果をすでに得ている。

2. 研究の目的

本研究では、結晶性共役高分子固体フィルムの結晶相における励起子ダイナミクスを明らかにすることを目的としている。結晶性共役高分子は、低分子有機半導体結晶のように結晶相のみで構成されるのではなく、結晶相と非晶相から構成されている。共役高分子の結晶相に由来する吸収帯を励起することによって、励起子を結晶相にのみ選択的に生成させることができる。このダイナミクスを解析することによって、結晶相に固有な励起子ダイナミクスを解明する。具体的な研究項目は以下の三つである。

(1) 励起子拡散ダイナミクスの異方性 (次元性) の解明

1 次元フィブリル状や 2 次元テラス状等の結晶形態が異なる結晶性共役高分子に対して、励起子拡散ダイナミクスの時間発展を解析し、結晶形態と励起子拡散ダイナミクスの次元性の関係を明らかにする。

(2) 励起子相互作用と励起子拡散ダイナミクスの関係解明

結晶性共役高分子では、低分子結晶とは異なり、結晶化度変化とともに スタック方向の励起子相互作用だけでなく、分子鎖内の有効共役長や秩序性も同時に変化するため、励起子拡散ダイナミクスがどのように変化するか不明である。結晶形態により励起子相互作用の異なる結晶性共役高分子に対して励起子拡散ダイナミクスや次元性がどのように変化するかを明らかにする。

(3) 高結晶共役高分子における新規励起子光物性の探究

共役高分子に生成する励起子は、局在化したフレンケル励起子であると一般に考えられているが、秩序性の高い高結晶相では非局在化が顕著となり、ワニエ励起子のような新しい光物理特性を示す可能性がある。結晶化度の高い結晶性共役高分子に生成する励起子の挙動ならびに後続する輻射遷移やイオン化などの緩和過程を探究し、従来にはない新しい励起子特性を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 励起子拡散ダイナミクスの異方性 (次元性) の解明

1 次元フィブリル状結晶、2 次元テラス状結晶、ならびに 3 次元微結晶分散系について、励起子拡散ダイナミクスの次元性を検討し、結晶形態と拡散ダイナミクスの関係性を次元性の観点から明らかにする。1 次元結晶場としては、1 次元フィブリル状結晶や 1 次元ナノファイバー状結晶を発現する結晶性共役高分子 (RR-P3HT) を、2 次元結晶場については、2 次元テラス状結晶を発現する結晶性共役高分子 (pBTBT) を、3 次元結晶場については、微結晶分散系の結晶性共役高分子 (PSBTBT) を用いて、励起子拡散ダイナミクスの時間発展を過渡吸収分光法によって観測し、励起子拡散ダイナミクスならびに拡散の次元性を明らかにする。

(2) 励起子相互作用と励起子拡散ダイナミクスの関係解明

分子鎖間励起子相互作用と分子鎖内励起子相互作用の観点から、H凝集性の結晶性共役高分子(RR-P3HT)とJ凝集性の結晶性共役高分子(PNO_z4T)に対して、励起子拡散ダイナミクスの時間発展を過渡吸収分光法によって観測し、励起子拡散ダイナミクスならびに拡散の次元性を明らかにする。

(3) 高結晶共役高分子における新規励起子光物性の探究

通常H凝集形態を示す結晶性共役高分子RR-P3HTをPMMAに少量添加して製膜すると、RR-P3HTが表面に偏析するとともに高度に結晶化することでJ凝集形態を示すことを見出している。この高度に結晶化した結晶場における励起子ダイナミクスを探究する。結晶性の高い他の共役高分子についても同様に励起子ダイナミクスについて検討を並行して進める。

4. 研究成果

(1) 励起子拡散ダイナミクスの異方性(次元性)の解明

1次元のフィブリル状結晶を示すH凝集性の結晶性共役高分子(RR-P3HT)については、過渡吸収測定による励起子拡散ダイナミクスの時間発展の解析を行った。その結果、励起子消滅速度 γ が時間 t の平方根の逆数に比例して時間依存することを見出し、1次元拡散モデルにより説明できることを明らかにした。

数百nmスケールの2次元のテラス状結晶を示す結晶性共役高分子(pBTTT)について、一重項励起子ダイナミクスを検討した。その結果、一重項励起子は、1次元フィブリル状結晶からなるRR-P3HTと同様に、1次元拡散ダイナミクスを示すことを明らかにした。高分解能AFMにより2次元のテラス状結晶ドメインを観察した結果、数十nmのグレインからなる集合構造であることが分かった。以上の結果から、2次元のテラス状結晶を構成するグレイン内でのスタック方向への1次元拡散が支配的であると考えられる。この結果は、マクロな結晶形態ではなく、ミクロな結晶形態に依存した励起子相互作用の次元性が励起子拡散の次元性を支配していることを示している。

3次元状に微結晶が分散した膜形態を示す結晶性共役高分子(PSBTBT)については、RR-P3HTと同様の手法により励起子拡散ダイナミクスの時間発展を解析した。その結果、励起子消滅速度 γ が時間 t の平方根の逆数に比例して時間依存することを見出した。この結果は、フェルスター型の3次元励起子消滅ダイナミクスにより定量的に説明できることを明らかにした。

(2) 励起子相互作用と励起子拡散ダイナミクスの関係解明

J凝集性を示す結晶性共役高分子PNO_z4Tについて、励起子拡散ダイナミクスを過渡吸収分光測定により観測した。その結果、薄膜においては室温付近では2次元拡散が支配的であり、低温では1次元拡散が支配的になることを見出した。この結果は、H凝集性のRR-P3HTの1次元拡散と異なり、J凝集性による分子内励起子相互作用が大きいため分子鎖内の拡散も効率よく進行したためであると考えられ、励起子相互作用の次元性が励起子拡散の次元性を支配しているといえる。また、溶液中に分散したPNO_z4Tについて同様の測定を行った結果、高分子分子鎖内方向の1次元拡散が支配的であることを見出した。このように励起子拡散の次元性が温度や環境により変化する原因は、励起子拡散の活性化エネルギーに異方性が存在するためであると考えられる。

(3) 高結晶共役高分子における新規励起子光物性の探究

通常H凝集形態を示す結晶性共役高分子RR-P3HTをPMMAに少量添加して製膜し、表面偏析効果により高度に結晶化しJ凝集形態を示すP3HTに対して過渡吸収分光測定を行った。その結果、通常数100psの一重項励起子の寿命が数psにまで短寿命化し、輻射遷移速度が100倍程度増大していることが分かった。振動バンド解析より有効共役長変化を見積もると通常のH凝集P3HT薄膜に比べると10倍程度であるので、超放射による短寿命化である可能性が示唆される。一方、無輻射遷移速度も同様に100倍程度増大していることが分かった。分子鎖内の有効共役長が著しく増大したことにより2Ag準位が1Bu準位よりも低い位置に低下したことが原因として考えられる。これらの励起子物性はまったく新しい現象であるので、機構等について議論するにはさらなる研究を進める必要がある。

3次元状に微結晶が分散した膜形態をとる狭バンドギャップ共役高分子PTB1における励起子ダイナミクスを検討したところ、励起直後に一重項励起子とともに三重項励起子が同時に生成する現象を偶然に見出した。励起波長依存性を検討したところ、三重項励起子のエネルギー準位の2倍相当の励起波長より短波長側で励起したときのみ三重項励起子の高速生成が起こることから振動緩和する前のホット励起状態からの一重項分裂が進行していると結論した。狭バンドギャップ共役高分子膜における初めての一重項励起子分裂の報告である。結晶性共役高分子の新たな励起子物性として、今後さらに研究が進められるものと期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計10件)

大北英生, 玉井康成, 笠井普文, “共役高分子膜における一重項分裂”, 日本化学繊維研究所講演集, Vol. 75, pp. 42-49 (2018).

大北英生, 玉井康成, “高分子太陽電池における励起子・キャリアダイナミクス”, 光化学, 査読有, Vol. 48, No. 3, pp. 139-146 (2017).

玉井康成, “高分子薄膜太陽電池における励起子および電荷ダイナミクス”, 高分子論文集 高分子科学・工学のニューウェーブ -2017-, 査読有, Vol. 74, No. 5, pp. 430-451 (2017). DOI: 10.1295/koron.2017-0028

Hideo Ohkita, Yasunari Tamai, Hiroaki Benten, Shinzaburo Ito, “Transient Absorption Spectroscopy for Polymer Solar Cells”, IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron., 査読有, Vol. 22, No. 1, 4100612 (2016). DOI: 10.1109/JSTQE.2015.2457615

Yukitomo Kasai, Yasunari Tamai, Hideo Ohkita, Hiroaki Benten, Shinzaburo Ito, “Ultrafast Singlet Fission in a Push-Pull Low-Bandgap Polymer Film”, J. Am. Chem. Soc., 査読有, Vol. 137, No.51, pp. 15980-15983 (2015). DOI: 10.1021/jacs.5b09361

Yanbin Wang, Hideo Ohkita, Hiroaki Benten, Shinzaburo Ito, “Highly Efficient Exciton Harvesting and Charge Transport in Ternary Blend Solar Cells Based on Wide- and Low-Bandgap Polymers”, Phys. Chem. Chem. Phys., 査読有, Vol. 17, No.40, pp. 27217-27224 (2015). DOI: 10.1039/c5cp05161d

Yasunari Tamai, Hideo Ohkita, Hiroaki Benten, Shinzaburo Ito, “Exciton Diffusion in Conjugated Polymers: From Fundamental Understanding to Improvement in Photovoltaic Conversion Efficiency”, J. Phys. Chem. Lett., 査読有, Vol. 6, No. 17, pp. 3417-3428 (2015). DOI: 10.1021/acs.jpcclett.5b01147

大北英生, 玉井康成, 郭嘉謨, 辨天宏明, 伊藤紳三郎, “共役高分子における一重項励起子ダイナミクス”, 日本写真学会誌, 査読有, Vol. 77, No. 4, pp. 301-307 (2014).

Yanbin Wang, Hiroaki Benten, Shunji Ohara, Daichi Kawamura, Hideo Ohkita, Shinzaburo Ito, “Measurement of Exciton Diffusion in a Well-Defined Donor/Acceptor Heterojunction Based on a Conjugated Polymer and Cross-Linked Fullerene Derivative”, ACS Appl. Mater. Interfaces, 査読有, Vol. 6, No. 16, pp. 14108-14115 (2014). DOI: 10.1021/am503434p

大北英生, 伊藤紳三郎, “超短パルスレーザ分光による高分子太陽電池の光電変換初期過程の解明”, 光アライアンス, 査読有, Vol. 25, No. 6, pp. 1-5 (2014).

[学会発表](計 36 件)

(1) Tomoki Ohmura, Shun Yamaguchi, Kota Tsujioka, Yasunari Tamai, Hideo Ohkita, “Energy Gap Dependence of Singlet Exciton Lifetimes in Non-Fullerene Acceptors”, Asia-Pacific International Conference on Perovskite, Organic Photovoltaics and Optoelectronics (1/27-29, Kyoto, Japan), 2019/1/28 ポスター発表

(2) Yasuhiro Murata, Kent Yamaguchi, Yasunari Tamai, Hideo Ohkita, “Two-Dimensional Exciton Diffusion Dynamics in Crystalline Conjugated Polymer Thin Films”, Asia-Pacific International Conference on Perovskite, Organic Photovoltaics and Optoelectronics (1/27-29, Kyoto, Japan), 2019/1/28 ポスター発表

(3) 吉高一輝, 笠井普文, 玉井康成, 大北英生, “結晶性共役高分子における一重項励起子分裂”, 2018KIPS 若手高分子シンポジウム (12/14, 京都大学ローム記念館), 2018/12/14 ポスター発表

(4) Yasunari Tamai, Tomoki Ohmura, Kota Tsujioka, Yukitomo Kasai, Shun Yamaguchi, Hideo Ohkita, “Fast Non-Radiative Decay of Singlet Excitons in Ultra-Low-Bandgap Polymer Films”, 2018 MRS Fall Meeting (11/25-30, Boston, USA), 2018/11/29 ポスター発表

(5) 村田恭大, 山口賢人, 玉井康成, 大北英生, “結晶性共役高分子薄膜における二次元励起子拡散”, 第 27 回ポリマー材料フォーラム (11/21-22, タワーホール船堀), 2018/11/21 ポスター発表 (受賞者招待発表)

(6) 玉井康成, 村田恭大, 山口賢人, 大北英生, “結晶性共役高分子薄膜における一重項励起子異方性拡散”, 第 79 回応用物理学会秋季学術講演会 (9/18-21, 名古屋国際会議場), 2018/9/21 口頭発表

(7) 村田恭大, 玉井康成, 大北英生, “結晶性共役高分子薄膜における二次元励起子拡散”, 2018 年光化学討論会 (9/5-7, 関西学院大学), 2018/9/7 口頭発表

(8) 大村智貴, 玉井康成, 大北英生, “非フラーレン系アクセプターの一重項励起子寿命に対するエネルギーギャップ依存性”, 第 64 回高分子研究発表会 (神戸) (7/13, 兵庫県民会館), 2018/7/13 口頭発表

(9) 村田恭大, 玉井康成, 大北英生, “結晶性共役高分子薄膜における二次元励起子拡散”, 第 67 回高分子学会年次大会 (5/23-25, 名古屋国際会議場), 2018/5/24 ポスター発表

(10) 大北英生, 玉井康成, 笠井普文, “共役高分子薄膜における一重項励起子分裂”, 公益財団法人日本化学繊維研究所第 75 回講演会 (11/15, 京都大学桂ホール), 2017/11/15 口頭発表

(11) Yasunari Tamai, Shun Yamaguchi, Kota Tsujioka, Hideo Ohkita, “Limits for Photocurrent Generation in Polymer Solar Cells Consisting of Near-IR Polymers”, SPIE Organic Photonics + Electronics (SPIE 2017) (8/6-10, San Diego), 2017/8/10 口頭発表

(12) 吉高一輝, 玉井康成, 大北英生, “狭バンドギャップ高分子における分子内一重項励起子分裂”, 第 63 回高分子研究発表会 (神戸) (7/14, 兵庫県民会館), 2017/7/14 口頭発表

(13) Yasunari Tamai, Yukitomo Kasai, Hideo Ohkita, “Singlet Fission in Conjugated Polymers”, 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE9) (6/26-28, Kanazawa), 2017/6/27 口頭発表

(14) 大北英生, 山口峻, 辻岡宏太, 玉井康成, “共役高分子薄膜に生成する一重項励起子の無輻射遷移”, 第 66 回高分子学会年次大会 (5/29-31, 幕張メッセ), 2017/5/30 口頭発表

- (15) 玉井康成, 山口賢人, 大北英生, “結晶性共役高分子薄膜における励起子拡散ダイナミクス”, 第 66 回高分子学会年次大会 (5/29-31, 幕張メッセ), 2017/5/30 口頭発表
- (16) 大北英生, “高効率高分子太陽電池のための新戦略”, フォトポリマー懇話会 (1/27, I-site なんば), 2017/1/27 招待講演
- (17) 山口峻, 辻岡宏太, 玉井康成, 大北英生, “共役高分子における一重項励起子のエネルギーギャップ則”, 第 26 回 日本 MRS 年次大会 (12/19-22, 万国橋会議センター), 2016/12/20 口頭発表
- (18) 大北英生, “有機薄膜太陽電池の高効率化を目指す新戦略”, 有機太陽電池研究コンソーシアム 第 22 回定例研究会 (12/6, 京大宇治キャンパス), 2016/12/6 依頼講演
- (19) Hideo Ohkita, “Toward Further Improvements in Photovoltaic Performance of Polymer Solar Cells”, Joint Kyoto University – Victoria University of Wellington Workshop 2016 (11/20-23, Wellington, New Zealand), 2016/11/23 招待講演
- (20) 大北英生, “有機薄膜太陽電池—発電機構—”, 光化学応用講座—有機無機ハイブリッド太陽電池の基礎技術— (11/9, 東京大学先端科学技術研究センター), 2016/11/9 依頼講演
- (21) 大北英生, 玉井康成, 郭嘉謨, 辨天宏明, “レーザ分光法による高分子太陽電池の発電素過程の解明”, 情報科学用有機材料 第 142 委員会 C 部会 第 71 回研究会 (10/4, キャンパスプラザ京都), 2016/10/4 依頼講演
- (22) Hideo Ohkita, “Efficiency Limiting Factors of Solution-Processed Photovoltaics”, E-MRS 2016 Fall Meeting (9/19-22, Warsaw, Poland), 2016/9/19 招待講演
- (23) 山口賢人, 玉井康成, 辨天宏明, 大北英生, “結晶性共役高分子薄膜における一重項励起子拡散”, 第 65 回高分子討論会 (9/14-16, 神奈川大学), 2016/9/16 口頭発表
- (24) Yukitomo Kasai, Yasunari Tamai, Hideo Ohkita, Hiroaki Benten, Shinzaburo Ito, “Singlet Fission in a Low-Bandgap Conjugated Polymer Film”, 2015 MRS Fall Meeting (11/29-12/4, Boston, USA), 2015/12/2 口頭発表
- (25) 大北英生, 玉井康成, 辨天宏明, 伊藤紳三郎, “レーザ分光法による高分子太陽電池の革新原理の探究～限界効率の追究～”, 第 5 回 CSJ 化学フェスタ 2015 (10/13-15, タワーホール船堀), 2015/10/14 依頼講演
- (26) 笠井普文, 玉井康成, 大北英生, 辨天宏明, 伊藤紳三郎, “狭バンドギャップ高分子薄膜における一重項励起子分裂”, 第 64 回高分子討論会 (9/15-17, 東北大学), 2015/9/16 口頭発表
- (27) 大北英生, 笠井普文, 玉井康成, 辨天宏明, 伊藤紳三郎, “共役高分子における非緩和励起子からの高速一重項分裂”, 2015 年光化学討論会 (9/9-11, 大阪市立大学), 2015/9/9 口頭発表
- (28) 山口賢人, 玉井康成, 大北英生, 辨天宏明, 伊藤紳三郎, “結晶性共役高分子薄膜における一重項励起子ダイナミクス”, 第 61 回高分子研究発表会(神戸) (7/17, 兵庫県民会館), 2015/7/17 口頭発表
- (29) 笠井普文, 玉井康成, 大北英生, 辨天宏明, 伊藤紳三郎, “狭バンドギャップポリマーにおける一重項励起子分裂”, 第 62 回応用物理学会春季学術講演会 (3/11-14, 東海大学), 2015/3/12 口頭発表
- (30) Yasunari Tamai, Yuu Matsuura, Hideo Ohkita, Hiroaki Benten, Shinzaburo Ito, “One-Dimensional Singlet Exciton Diffusion in Regioregular Poly(3-hexylthiophene) Films”, The 10th SPSJ International Polymer Conference (IPC 2014) (12/2-5, Tsukuba, Japan), 2014/12/3 口頭発表
- (31) Yasunari Tamai, Yuu Matsuura, Hideo Ohkita, Hiroaki Benten, Shinzaburo Ito, “One-Dimensional Singlet Exciton Diffusion in Crystalline Poly(3-hexylthiophene) Films”, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6) (11/23-27, Kyoto, Japan), 2014/11/25 口頭発表
- (32) Yasunari Tamai, Yuu Matsuura, Hideo Ohkita, Hiroaki Benten, Shinzaburo Ito, “One-Dimensional Singlet Exciton Diffusion in Crystalline Poly(3-hexylthiophene) Films”, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6) (11/23-27, Kyoto, Japan), 2014/11/26 ポスター発表
- (33) 玉井康成, 大北英生, 辨天宏明, 伊藤紳三郎, “結晶性ポリチオフェンの秩序性と一重項励起子拡散ダイナミクス”, 2014 年光化学討論会 (10/11-13, 北海道大学), 2014/10/13 口頭発表
- (34) 大北英生, 辨天宏明, 玉井康成, 伊藤紳三郎, “プラスチックでつくる太陽電池”, 京大アカデミックデイ 2014 (9/28, 京都大学), 2014/9/28 ポスター発表
- (35) 笠井普文, 玉井康成, 大北英生, 辨天宏明, 伊藤紳三郎, “狭バンドギャップポリマーの高次励起子における高速ダイナミクス”, 第 60 回高分子研究発表会(神戸) (7/24,25, 兵庫県民会館), 2014/7/25 口頭発表
- (36) 玉井康成, 松浦悠, 大北英生, 辨天宏明, 伊藤紳三郎, “結晶性ポリチオフェンの秩序性と一重項励起子拡散”, 第 63 回高分子学会年次大会 (5/28-30, 名古屋国際会議場), 2014/5/29 ポスター発表

〔図書〕(計 1 件)

大北英生, “分光学的手法による有機薄膜太陽電池の評価技術”, 光技術動向調査報告書, 第 6 章第 7 節, pp. 417-420, 一般財団法人光産業技術振興協会 (2017).

〔その他〕

ホームページ等

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：辨天宏明

ローマ字氏名：Benten, Hiroaki

所属研究機関名：京都大学

部局名：大学院工学研究科

職名：助教

研究者番号（8桁）：60422995

（平成26年4月から平成28年7月まで）

研究分担者氏名：玉井康成

ローマ字氏名：Tamai, Yasunari

所属研究機関名：京都大学

部局名：大学院工学研究科

職名：助教

研究者番号（8桁）：30794268

（平成28年11月から平成31年3月まで）

(2)研究協力者

研究協力者氏名：玉井康成

ローマ字氏名：Tamai, Yasunari

（平成26年4月から平成28年11月まで）

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、研究者個人に帰属されます。