

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26410088

研究課題名(和文)電子スピン角運動量保存則による有機太陽電池の磁気伝導効果

研究課題名(英文) Magnetoconductance Effect of Organic Solar Cell due to the Conservation Rule of Electron Spin Angular Momentum

研究代表者

生駒 忠昭 (Tadaaki, Ikoma)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：10212804

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：有機物質からなる薄膜における電気の流れやすさが外部磁場によって変化する現象を磁気伝導効果という。本研究は、磁気伝導効果を利用して有機太陽電池の中でおこる荷電キャリアが関係する反応を明らかにした。電子と正孔の再結合反応・励起子とキャリアの衝突に由来するトラップ反応・一重項励起子解裂の存在を明らかにした。本研究で開発した解析方法は、太陽電池素子を破壊せず動作条件下(室温・太陽光照射・低電圧)におけるキャリア反応を半定量的に評価できる新しいデバイス評価技術である。

研究成果の概要(英文)：To overcome main factors lowering the energy conversion efficiency of organic solar cells (OSCs), recently there is great interest in singlet fission and triplet fusion because of the potentially ultrahigh efficiency of the conversion from photon to charge. In those elementary dynamics, the electron spin plays an essential role due to the conservation of angular momentum. Here we show that the magnetoconductance (MC) effect originated from depressing the spin mixing in encounter pairs under the external magnetic field provides quantitative information about the singlet fission, the charge recombination and the trap-related dynamics with triplet exciton in a bilayer device of pentacene|fullerene. The results obtained by the simple non-destructive MC measurements indicate that energy turning and/or harvest of the triplet excitons are key issues for enhancing the performance of OSCs.

研究分野：物理化学

キーワード：電子スピン角運動量保存 磁気伝導効果 有機太陽電池 キャリア動力学 電荷再結合 一重項励起子
解裂 トラップ反応

1. 研究開始当初の背景

有機デバイス開発において、有機半導体におけるキャリア素過程に関する基礎研究の重要性が再認識されてきた。例えば、実用化に最も近いと期待されているバルクヘテロ接合 (BHJ) 太陽電池の理論研究で、エネルギー変換効率が理論限界値 (約 25%) に比べて著しく低い主要原因はキャリア再結合であると指摘されている。隠れた表面である界面でのキャリア再結合によって、エネルギー変換効率が約 10% も低下すると見積もられている。高効率化をめぐる激しい技術開発競争を背景に基礎研究への関心が高まる中、キャリア素過程を定量的に評価できる実験が期待されている。しかしながら、太陽電池は複数の薄膜を積層した構造をもつため、界面が膜内部に埋もれている。さらに、大気暴露を回避するための封止構造によって、従来の分析技術では素子におけるキャリア反応の素過程を評価することができない。

2. 研究の目的

有機太陽電池の暗状態および明状態で観測される MC 効果の機構を解明し、素子の内部で起こるキャリア素過程を明らかにできる新しい定量的分析法を開発する。

3. 研究の方法

(1) ペンタセン/C₆₀の p/n 接合 (PNJ) 太陽電池を対象に、ソースメータと電磁石を用いて素子特性に対する高磁場実験を行い、三重項-二重項 (TD) 対機構を明らかにする。
 (2) 外場を取り入れた拡散方程式 (現象論的方程式) および Liouville 方程式 (量子論的方程式) を用いて、ナノ空間における電荷およびスピン動力学のモデル計算を行う。実験結果と理論計算を比較することで、定量的評価法を確立する。

4. 研究成果

(1) 電流密度/電圧特性

Pen|C₆₀ 素子を擬似太陽光 (Solar)、波長 627 nm の光 (ペンタセン (Pen) 選択励起) および 455 nm の光 (フラーレン (C₆₀) 選択) で励起したときの素子因子を表 1 にまとめた。明状態で 5.28 mA/cm² の短絡電流 (J_{sc}) が検出され、0.78 % のエネルギー変換効率を有する太陽電池であることが分かる。また、Pen 選択励起及び C₆₀ 選択励起は白色光励起と同様に光起電力が観測され、Pen 励起子も C₆₀ 励起子も電荷分離することが示された。また、J_{sc} は光強度に比例したので、光電変換はほぼ 1

表 1 電流密度電圧特性から求まる素子因子

	J _{sc} (mA/cm ²)	V _{oc} (V)	FF (%)	η (%)
Solar	5.28	0.328	45.3	0.78
Pen	4.78	0.318	43.1	2.06
C ₆₀	3.33	0.317	53.0	1.75

光子過程であると解釈される。

(2) 磁気伝導効果

MC 効果は、磁場を印加したときに誘起される電流密度 (J) の変化量の割合を示し、百分率で表される。

$$MC(B) = [(J_B - J_0) / J_0] \times 100. \quad (1)$$

図 1 には、暗状態と明状態の MC 効果を示した。観測された MC 効果をもとに、ガウス関数を用いて曲線回帰を行った。曲線回帰で得られた半値磁場 (B_{1/2}) ならびに MC 効果最大値 (MC_{MAX}) を見積もった。暗状態では 2 種類の負性 MC 効果、明状態では 3 種類の正性 MC 効果が存在することが明らかとなった。線幅 B_{1/2} が狭い MC₁ (B_{1/2} ~ 5 mT) と中程度の MC₂ (B_{1/2} ~ 25 ± 15 mT) は、暗状態でも明状態でも MC 効果を示し、線幅 B_{1/2} が広い MC₃ (B_{1/2} > 150 mT) は明状態でのみ観測された。

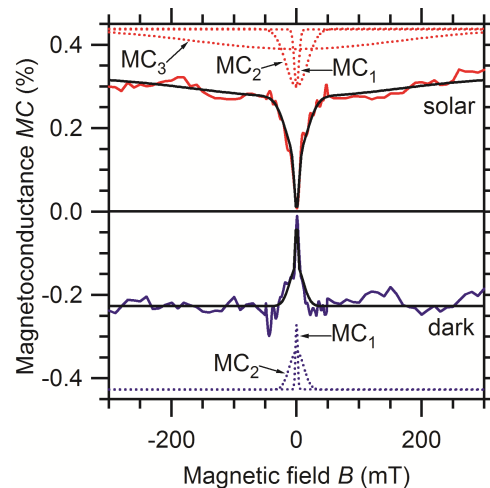


図 1 暗状態及び明状態における磁気伝導効果。黒実線はシミュレーション。破線はシミュレーションに含まれる各成分の曲線。

暗状態の MC₁ 成分はバイアス電圧 0.16 V 付近でピークを持ち、MC₂ 成分は電圧の増加で単調に減少した。MC₁ のピーク位置は暗電流の立ち上がり電圧と一致しており、MC₁ 成分が活性層のバンド構造と密接に関わっていることが示唆される。

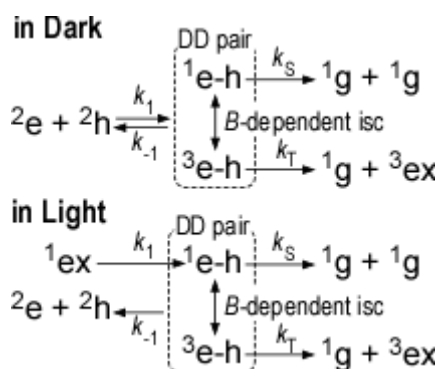
Pen 励起したときに観測された MC₁ の B_{1/2} は C₆₀ 励起の B_{1/2} と同じであるが、MC₂ 及び MC₃ の B_{1/2} は大きい。また、MC₁ 成分の MC_{MAX} は励起光強度にほぼ依存しないが、MC₂ 成分と MC₃ 成分の MC_{MAX} は励起光強度を大きくすると増加した。

(3) 低磁場領域で観測された MC₁ 成分

MC₁ 成分の B_{1/2} は著しく小さく、有機ラジカルにおける超微細相互作用程度の大きさであることから、スピン選択的電荷再結合反応における遷移状態、二重項-二重項 (DD) 対 (スキーム 1) に由来すると帰属される。

二重項電子(2e)と二重項正孔(2h)の電荷再結合の遷移状態として、PN 界面で電子 - 正孔(e-h)対を形成される。e-h 対は一重項と三重項スピンを有する DD 対である。1,3DD 対それぞれのスピン角運動量保存的再結合の速度は、お互い異なる場合が多い($k_S \neq k_T$)。また、DD 対の項間交差は超微細相互作用によって起こり、強磁場中における速度定数(k_{isc})は、ゼロ磁場の 1/3 程度まで減少する。外部磁場に依存する k_{isc} が MC 効果の原因である。 k_{isc} が再結合速度 k_S , k_T や解離速度 k_{-1} よりも著しく早い条件下での e-h 対の速度方程式より、再結合量子収率 ϕ_r を求めた。

スキーム I 電荷再結合反応と DD 対



なお、 ϕ_r の表式の導出においては、e-h 対の初期条件が暗状態と明状態で異なることを考慮した。再結合収率の磁場効果 ($[\phi_r(B) - \phi_r(0)]/\phi_r(0)$) に対する相対速度依存性を計算した。PN 素子の暗電流は界面における再結合に由来するので、再結合収率の磁場効果は暗状態 MC_{MAX} に相当する。暗状態における負性効果は $k_S < k_T$ が原因であり、再結合におけるスピン選択性が大きい ($k_S/k_T \ll 1$) ほど、MC 効果が増加することが分かる。また、解離速度 k_{-1} と k_T が同程度のとき、最も大きな負性 MC 効果が現れており、暗状態 MC_{MAX} のバイアス依存性と良い対応を示した。暗状態 MC_{MAX} のピーク電位は平坦バンド構造をもつので、 $k_{-1} \sim k_T$ 条件を満たした結果、最大値を示したと考えられる。

明状態の MC_1 成分の位相は、励起光強度に依存しないことからジェミネート e-h 対由来の効果であると帰属できる。界面の一重項励起子から生成するジェミネート e-h 対 (スキーム I 参照) は、解離することで光電流となることを考慮すると、明状態 MC_{MAX} は散逸収率の磁場効果 ($[(1-\phi_r(B)) - (1-\phi_r(0))]/(1-\phi_r(0))$) で表現できる。また、 k_{-1}/k_T は増加すると単調に増加することが明らかとなった。実測の暗状態 MC_{MAX} と明状態 MC_{MAX} を再現する速度定数比を見積もったところ、 $k_S:k_T:k_{-1} = 0.65:1:61$ が得られ、明状態の短絡時におけるジェミネート再結合収率は ≈ 0.01 であると導かれる。極めて小さなジェミネート再結合収率が、良好なエネルギー変換効率の要因の一つであること

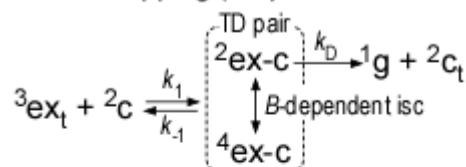
が明らかとなった。

(4) 中間および高磁場領域で観測された MC_2 と MC_3 成分

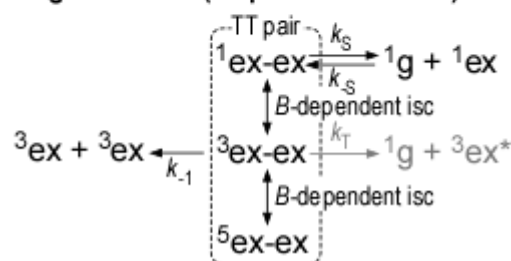
MC_2 と MC_3 成分の $B_{1/2}$ は、超微細相互作用に比べて著しく大きいことから、ゼロ磁場分裂を有する三重項励起子が関与する MC 効果であると言える。明状態 MC_2 成分は多光子過程に由来しており、暗状態 MC_2 成分の位相と異なった。一方、 MC_3 成分は Pen 相で一重項励起子が生成する条件でのみ観測された。以上の結果から、 MC_2 成分は三重項励起子が関与したトラップ反応における遷移状態、三重項-二重項 (TD) 対に由来すると考えた。また、 MC_3 成分は一重項励起子解裂反応における遷移状態、三重項-三重項 (TT) 対に起因すると結論した。(スキーム II 参照)

スキーム II トラップ反応と TD 対および一重項励起子解裂反応と TT 対

Carrier Trapping (TD pair mechanism)



Singlet Fission (TT pair mechanism)



帰属の妥当性を調べるために TD 対および TT 対の密度演算子 (ρ) を用いた運動方程式を立てた。TD 対および TT 対に関する定常状態近似のもとで計算した反応収率の磁場効果は観測された MC_2 と MC_3 成分を再現しており、帰属の確からしさを示すことができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計9件)

1. Miura, Tomoaki; Fujiwara, Dai; Akiyama, Kimio; Horikoshi, Takafumi; Suzuki, Shuichi; Kozaki, Masatoshi; Okada, Keiji; Ikoma, Tadaaki, Magnetic Control of the Charge-Separated State Lifetime Realized by Covalent Attachment of a Platinum Complex, The J. Phys. Chem. Lett., 査読有, Vol. 8, 2017, pp.661-665, DOI:10.1021/acs.jpcllett.6b02887.
2. Isozaki, Tasuku; Oba, Hikari; Ikoma,

- Tadaaki; Suzuki, Tadashi, Simultaneous Two-Photon Absorption to Gerade Excited Singlet States of Diphenylacetylene and Diphenylbutadiyne Using Optical-Probing Photoacoustic Spectroscopy, *J. Phys. Chem. A*, 査読有, Vol. 120, 2016, pp.6137-6145, DOI:10.1021/acs.jpca.6b02929.
- Miura, Tomoaki; Maeda, Kiminori; Murai, Hisao; Ikoma, Tadaaki, Long-Distance Sequential Charge Separation at Micellar Interface Mediated by Dynamic Charge Transporter: A Magnetic-Field Effect Study, *J. Phys. Chem. Lett.*, 査読有, Vol. 6, 2015, pp.267-271, DOI:10.1021/jz502495u.
 - Hasegawa, Eietsu; Ohta, Taku; Tsuji, Shiori; Mori, Kazuma; Uchida, Ken; Miura, Tomoaki; Ikoma, Tadaaki; Tayama, Eiji; Iwamoto, Hajime; Takizawa, Shin-Ya; Murata, Shigeru, Aryl-Substituted Dimethylbenzimidazolines as Effective Reductants of Photoinduced Electron Transfer Reactions, *Tetrahedron*, 査読有, Vol. 71, 2015, pp.5494-5505, DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.tet.2015.06.071.
 - Ogiwara, Tashinari; Wakikawa, Yusuke; Ikoma, Tadaaki, Mechanism of Intersystem Crossing of Thermally Activated Delayed Fluorescence Molecules, *J. Phys. Chem. A*, 査読有, Vol. 119, 2015, pp.3415-3418, DOI:10.1021/acs.jpca.5b02253.
 - Wakasa, Masanobu; Kaise, Mana; Yago, Tomoaki; Kato, Ryuzi; Wakikawa, Yusuke; Ikoma, Tadaaki, What Can Be Learned from Magnetic Field Effects on Singlet Fission: Role of Exchange Interaction in Excited Triplet Pairs, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, Vol. 119, 2015, pp.25840-25844, DOI:10.1021/acs.jpcc.5b10176.
 - Yokoyama, Kana; Wakikawa, Yusuke; Miura, Tomoaki; Fujimori, Jun-Ichi; Ito, Fuyuki; Ikoma, Tadaaki, Solvent Viscosity Effect on Triplet-Triplet Pair in Triplet Fusion, *J. Phys. Chem. B*, 査読有, Vol. 119, 2015, pp.15901-15908, DOI:10.1021/acs.jpcc.5b11208.
 - 脇川, 祐介; Ambe, Escabarte Christopher; 生駒, 忠昭, 時間分解磁気光伝導測定法を用いた有機薄膜における光伝導研究, *光化学*, 査読有, Vol. 45, 2014年, pp.64-71.
 - Omori, Takuya; Wakikawa, Yusuke; Miura, Tomoaki; Yamaguchi, Yuji; Nakayama, Ken-Ich; Ikoma, Tadaaki, Carrier Dynamics in Pentacene|C₆₀ Bilayer Solar Cell Investigated through the Magnetoconductance, *J. Phys. Chem. C*, 査読有, Vol. 118, 2014, pp.28418-28424, DOI:10.1021/jp508799j.
- [学会発表](計34件)
- 秋山, 諒弥; 三浦, 智明; 生駒, 忠昭, P3HT:PCBM バルクヘテロ薄膜の過渡吸収・光伝導同時測定によるキャリアダイナミクスの研究, 日本化学会 第97春季年会(2017), 2017年3月17日, 慶應義塾大学日吉キャンパス(神奈川県横浜市).
 - Shoji, Ryota; Wakikawa, Yusuke; Miura, Tomoaki; Ikoma, Tadaaki, Magnetoconductance and Carrier Dynamics in Organic Thin Film Solar Cell, Joint Seminar and Research Champ on Photoscience, 2017/02/14, Building of Life Science and Environmental Science, Niigata University (Niigata, Japan).
 - Ikoma, Tadaaki, Spin Dynamics in Encounter Complexes of Solution and Solid State Reactions, 平成28年度化学系学協会東北大会, 2016年9月11日, いわき明星大学(福島県いわき市).
 - Ambe, Christopher; Wakikawa, Yusuke; Yagai, Shiki; Ikoma, Tadaaki, Magnetic Field Effect on the Photocarrier Dynamics in Swallow-Tailed Perylene Bisimide Derivative: Experimental and Computational Studies, Asia-Pacific EPR/ESR Symposium 2016, 2016/08/31, Mayak Hotel (Listvyanka, Russia).
 - Ikoma, Tadaaki, Excited Triplet States of Thermally Activated Delayed Fluorescent Molecules, Asia-Pacific EPR/ESR Symposium 2016, 2016/09/02, Mayak Hotel (Listvyanka, Russia).
 - Miura, Tomoaki; Maeda, Kiminori; Murai, Hisao; Ikoma, Tadaaki, Recent Development in Spin Chemistry of Photo-Generated Radical Pairs Confined in Surfactant-Based Soft Nanomaterials, Asia-Pacific EPR/ESR Symposium 2016, 2016/08/31, Mayak Hotel (Listvyanka, Russia).
 - 板越, 知佳; 宮崎, 駿弥; 三浦, 智明; 脇川, 祐介; 生駒, 忠昭, 高効率三重項増感法を用いたアントラセン三重項融合の研究, 第7回一重項解裂研究会, 2016/05/30, 新潟大学物質生産棟161(新潟県新潟市)
 - 生駒, 忠昭, 有機エレクトロニクス材料中のキャリア反応におけるスピン効果, 日本化学会第96春季年会, 2016年3月27日, 同志社大学(京都府京田辺市).

9. 工藤, 尚輝; 東海林, 良太; 脇川, 祐介; 三浦, 智明; 生駒, 忠昭, バルクヘテロ接合有機太陽電池の磁気インピーダンス分光研究, 分子研研究会「生体や物質機能の起源にせまる先端的電子スピン計測」, 2016/12/07, 分子科学研究所(愛知県岡崎市).
10. 生駒, 忠昭; 脇川, 祐介, 磁気伝導計測法による一次元的自己組織体の光伝導機構の研究, 分子研研究会「生体や物質機能の起源にせまる先端的電子スピン計測」, 2016年12月8日, 分子科学研究所(愛知県岡崎市).
11. 生駒, 忠昭, 三重項ハーパーベスト動力学に関するスピン化学, 有機EL 討論会第23回例会, 2016年11月18日, 富山市民プラザ(富山県富山市).
12. 工藤, 尚輝; 東海林, 良太; 脇川, 祐介; 三浦, 智明; 生駒, 忠昭, 極性の異なる有機ダイオードの磁気インピーダンス分光, 第55回電子スピンサイエンス学会年会, 2016年11月11日, 大阪市立大学杉本キャンパス(大阪府大阪市).
13. 宮路, 希生; 三浦, 智明; 岡田, 恵次; 生駒, 忠昭, 白金錯体-ドナー-アクセプター連結系における電子移動反応に対する分子運動効果, 異分野融合ワークショップ「有機太陽電池開発の現状と展望」, 2015年11月28日, 奈良先端科学技術大学院大学(奈良県生駒市).
14. 東海林, 良太; 脇川, 祐介; 三浦, 智明; 生駒, 忠昭, 有機太陽電池の電流の磁気応答とキャリアダイナミクス, 異分野融合ワークショップ「有機太陽電池開発の現状と展望」, 2015年11月28日, 奈良先端科学技術大学院大学(奈良県生駒市).
15. 内田, 賢; 脇川, 祐介; 三浦, 智明; 古川, 貢; 根本, 一輝; 長谷川, 英悦; 生駒, 忠昭, ベンズイミダゾリウム塩薄膜の光キャリアダイナミクスにおける対イオン効果, 異分野融合ワークショップ「有機太陽電池開発の現状と展望」, 2015年11月28日, 奈良先端科学技術大学院大学(奈良県生駒市).
16. 工藤, 尚輝; 内田, 賢; 生駒, 忠昭; 高橋, 功太郎; 葛原, 大軌; 山田, 容子; 熊谷, 大地; 山口, 裕二; 中山, 健一, 熱変換型ベンゾポルフィリンで作製したバルクヘテロ電池の過渡光電流に対する側鎖依存性, 異分野融合ワークショップ「有機太陽電池開発の現状と展望」, 2015年11月28日, 奈良先端科学技術大学院大学(奈良県生駒市).
17. Ikoma, Tadaaki, Molecular Rotation Effect on Triplet Fusion, The 9th Japanese-Russian Workshop on Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices, 9 November 2015, Awaji Yumebutai International Conference Center (Awaji, Hyogo, Japan).
18. 工藤, 尚輝; 内田, 賢; 生駒, 忠昭; 高橋, 功太郎; 葛原, 大軌; 山田, 容子; 熊谷, 大地; 山口, 裕二; 中山, 健一, 広帯域吸収バンドを有する前駆体を用いた有機太陽電池の過渡光電流, 第54回電子スピンサイエンス学会年会, 2015年11月3日, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター(新潟県新潟市).
19. 東海林, 良太; 脇川, 祐介; 三浦, 智明; 生駒, 忠昭, P3HTとPCBMからなる太陽電池のキャリア動力学に対する磁場効果, 第54回電子スピンサイエンス学会年会, 2015年11月2日, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター(新潟県新潟市).
20. 脇川, 祐介; 生駒, 忠昭; MDMO-PPV有機薄膜における磁気光インピーダンス分光研究, 第54回電子スピンサイエンス学会年会, 2015年11月3日, 朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター(新潟県新潟市).
21. Ambe, Christopher; Wakikawa, Yusuke; Yamada, Hiroko; Ikoma, Tadaaki, Carrier Dynamics and Computational Spectroscopic Study in Small Heterocyclic Acene Derivative, The 4th International Congress on Natural Sciences (ICNS2015), 11, September, 2015, National Changhua University of Education (Changhua, Taiwan).
22. Shoji, Ryota; Wakikawa, Yusuke; Miura, Tomoaki; Ikoma, Tadaaki, Magnetoresponses of Heterojunction Solar Cell Using P3HT and PCBM, The 4th International Congress on Natural Sciences (ICNS2015), 2015/09/10-12, National Changhua University of Education (Changhua, Taiwan).
23. Ikoma, Tadaaki, Spin Polarization in the Lowest Excited Triplet State of Thermally Activated Delayed Fluorescent Molecule, 2015年光化学討論会, 9, September, 2015, 大阪市立大学杉本キャンパス(大阪府大阪市).
24. Ambe, Christopher; Wakikawa, Yusuke; Yokoyama, Kana; Ikoma, Tadaaki; Yamada, Hiroko, Time-Resolved Investigation of the Triplet Exciton and Trapped Carrier Interaction in Donor-Acceptor Blend Films, 30th Philippine Chemistry Congress "ASEAN Chemistry in Resonance", 2015/04/16, Davao, (Philippines).
25. Tacbianan, Celybhel V.; Burnea, Francis Kirby P.; Fernandez, Marvin Jose F.; Balanay, Mannix P.; Ikoma, Tadaaki; Ambe, Christopher E., Temperature and Solvent Effects on the Singlet Fission Capability of

- Rubrene-Based Organic Semiconductors Studied Using Time-Dependent Density Functional Theory, 30th Philippine Chemistry Congress "ASEAN Chemistry in Resonance", 2015/04/16, Davao (Philippines).
26. 生駒, 忠昭, 有機太陽電池におけるキャリアスピン動力学, 分子技術イニシアティブセミナー「分子技術とスピン」, 3月18日, 大阪大学シグマホール(大阪府豊中市).
27. 東海林, 良太; 尾森, 拓也; 脇川, 祐介; 三浦, 智明; 生駒, 忠昭, 有機太陽電池におけるキャリアスピン動力学, 第5回 新潟大学自然系附置グリーンケミストリー連携教育研究センター 研究シンポジウム, 2015/03/17, 新潟大学物質生産棟(新潟県新潟市).
28. 脇川, 祐介; 生駒, 忠昭, Diphenylhexatriene 結晶における一重項開裂の磁場効果の計算, 一重項解裂研究会, 2015/03/13, 埼玉大学東京ステーションカレッジ(東京都千代田区).
29. Akaishi, S.; Ambe, C. E.; Wakikawa, Y.; Miura, T.; Ikoma, Tadaaki, Morphology Dependence of Carrier Dynamics in P3ht Thin Film Studied by Magnetoconductance and Magnetocapacitance Effects, Chemistry Seminar in Joint Seminar and Research Camp program on Natural Sciences (JSRC2015) between CYCU, NSYSU, NCKU, NCUE, NTNU, NTHU, PKNU, NEU, IIT-MSU and Niigata University (NU), 2015/03/05, Building of Science of Matter and Material Science, Niigata University (Niigata, Japan).
30. Wakikawa, Y.; Omori, T.; Ikoma, T., Study on Magnetophotoconductance in Fullerene-Based Diode, Joint Conference of APES (Asia-Pacific EPR/ESR Society) 2014 · IES (International EPR(ESR) Society) · SEST (The Society of Electron Spin Science and Technology) 2014, 2014/11/14, Todaiji Culture Center (Nara, Japan).
31. Akaishi, S.; Ambe, C. E.; Wakikawa, Y.; Miura, T.; Ikoma, T., Annealing Effect on Photocarrier Dynamics in P3ht Thin Film Studied by Time-Resolved Magnetophotoconductance Measurements, Joint Conference of APES (Asia-Pacific EPR/ESR Society) 2014 · IES (International EPR(ESR) Society) · SEST (The Society of Electron Spin Science and Technology) 2014, 2014/11/14, Todaiji Culture Center (Nara, Japan).
32. Ambe, C. E.; Wakikawa, Y.; Yagai, S.;

- Ikoma, T., Magnetoconductance in Photoconductive Thin Films of Perylene Bisimide, Joint Conference of APES (Asia-Pacific EPR/ESR Society) 2014 · IES (International EPR(ESR) Society) · SEST (The Society of Electron Spin Science and Technology) 2014, 2014/11/16, Todaiji Culture Center (Nara, Japan).
33. Omori, T.; Wakikawa, Y.; Miura, T.; Yamaguchi, Y.; Nakayama, K.; Ikoma, T., Magnetoconductance of Pentacene/C₆₀-Bilayer Solar Cell, Joint Conference of APES (Asia-Pacific EPR/ESR Society) 2014 · IES (International EPR(ESR) Society) · SEST (The Society of Electron Spin Science and Technology) 2014, 2014/11/12, Todaiji Culture Center (Nara, Japan).
34. Omori, T.; Wakikawa, Y.; Miura, T.; Yamaguchi, Y.; Nakayama, K.; Ikoma, T., Carrier Dynamics in Organic Solar Cells Explored through the Magnetoconductance Effect, 5th Topical Meeting on Spins in Organic Semiconductors, Egret Himeji (Hyogo, JAPAN).

〔図書〕(計1件)

1. 生駒, 忠昭, 朝倉書店, 光化学の事典, 2014, pp. 68-69.

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

生駒 忠昭 (IKOMA, Tadaaki)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号: 10212804

(2) 研究分担者

三浦 智明 (MIURA, Tomoaki)
新潟大学・自然科学系・助教
研究者番号: 80582204

(3) 連携研究者

脇川 祐介 (WAKIKAWA, Yusuke)
静岡理工科大学・先端機器分析センター・
研究員
研究者番号: 90708512