

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560004

研究課題名(和文)低電圧駆動有機トランジスタの素子動作・劣化機構のマイクロ解明と特性向上

研究課題名(英文)Elucidation of device operation and degradation mechanism of low voltage ion gel-gated organic transistors from microscopic viewpoints and performance improvement

研究代表者

丸本 一弘 (MARUMOTO, Kazuhiro)

筑波大学・数理物質系・准教授

研究者番号：50293668

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)：分子レベルで材料評価を行える高感度な手法である電子スピン共鳴(ESR)を、イオンゲルを用いた低電圧駆動有機トランジスタに適用し、素子動作中のESR観測によるマイクロ特性評価を進めながら、特に、これまでESR法により研究されてこなかった、高電荷密度状態での素子動作機構と素子劣化機構の解明を微視的な観点で行った。有機材料における電荷キャリアの電子状態(スピン状態やキャリア間磁気相互作用等)をゲート電圧の関数として詳細に研究した。その結果、電荷密度増加と共に、磁気相互作用の次元が0次元から2次元や3次元へと変化する現象や、高電荷密度下における完全な非磁性電荷状態の実現を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We applied an electron spin resonance (ESR) method to low voltage ion gel-gated organic transistors to clarify the operation and degradation mechanisms of the devices under high charge density conditions through microscopic characterization by ESR under device operation. The ESR method is high sensitive and capable of characterizing materials at the molecular level. Using the ESR method, we studied electronic states of charge carriers in organic materials, such as spin states and magnetic interactions among carriers, as a function of gate voltage in detail. As a result, we clarified the phenomena of the dimensionality variation in the magnetic interactions from zero-dimensional to two- or three-dimensional and the realization of the complete nonmagnetism with increasing charge density.

研究分野：有機エレクトロニクス

キーワード：有機トランジスタ 電子スピン共鳴 ミクロ特性評価 素子動作機構 素子劣化機構 イオンゲル 低電圧駆動 高電荷密度状態

1. 研究開始当初の背景

有機エレクトロニクスはプリンタブルな新しい革新技術として期待され、電界発光 (EL)、電界効果トランジスタ (FET)、太陽電池などの有機デバイスの開発・応用が近年盛んに進められている。有機 EL は液晶にかわるディスプレイとして既に実用化され、有機 FET もアモルファスシリコン FET を凌駕する特性を示し、注目されている。また、最近、低消費電力化を目指した低電圧駆動可能な有機トランジスタ研究も進められ、イオン液体やイオンゲル、更に、極薄ゲート絶縁膜を用いた素子開発と研究が行われている。有機トランジスタ特性の更なる向上のためには、トランジスタチャネルにおける本質的な伝導機構の解明が必要不可欠である。以上の問題に取り組むため、申請者らは、分子レベルで材料評価を行える高感度な手法である ESR を、有機 FET 等に適用し、グレイン内やデバイス界面などにおける有機分子集合体のミクロ特性評価を行った。それにより、デバイス中の分子集合体構造や、その中の電界注入キャリアの電子状態を明らかにした。例えば、ペンタセン FET の電界注入キャリアの ESR 観測に世界で初めて成功し、そのキャリアの空間広がりが 10 分子程度であることを解明し、バンド的な伝導機構をミクロな立場で初めて立証した (K. Marumoto et al., *Phys. Rev. Lett.*, **97** (2006) 256603、ほか)。また、ルブレ単結晶 FET の電場誘起 ESR 研究にも世界で初めて成功し、FET 界面におけるキャリアトラップ時間の直接評価とその界面処理依存性等の界面状態を微視的に解析した (K. Marumoto et al., *Phys. Rev. B*, **83** (2011) 075302、ほか)。その他、有機高分子の電界効果デバイスの ESR 研究も推進してきた。

有機デバイスの研究は国内外で広く行われているが、基礎的立場に立って研究を進めているグループはまだ少ない。また、スピンを直接観測することが出来る磁気共鳴による研究は、我々が初めて行った。上記のように、ESR 法は有機 FET 等のミクロ評価に有効である。今後、低電圧駆動有機トランジスタで問題となっている高電荷密度状態での素子動作機構と素子劣化機構の解明を微視的な観点で詳細に研究することは、未だ行われていない未解決の重要な課題として残されている。

2. 研究の目的

本研究では ESR 法を、イオンゲル等を用いた低電圧駆動有機トランジスタに適用し、素子動作中の ESR 観測によるミクロ特性評価を進めながら、特に、これまで ESR 法により研究されてこなかった、高電荷密度状態での素子動作機構と素子劣化機構の解明を微視的な観点で行うことを目的にした。ESR 法は電荷キャリアの spin 状態を詳細に調べることが出来るので、この研究により、まず、(a) 素子駆動時の電荷キャリアの電子状態 (スピ

ン状態やキャリア間相互作用) を明らかにする。次に、(b) 低電圧駆動トランジスタにおける電荷キャリアの伝導機構を解明する。さらに、(c) 長時間素子駆動による素子安定性の評価と素子劣化機構の解明を微視的観点により行う。そして、以上の素子動作・劣化機構のミクロ解明により得られた高特性高安定性な素子の作製指針に基づいて素子開発を行い、素子特性の向上を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、イオンゲル絶縁膜を用いて低電圧駆動有機トランジスタを作製し、スピンを持つ電荷キャリアを ESR で検出すると共に、FET 特性を調べ、その系統的な研究により、トランジスタチャネル中の分子集合体構造や電荷キャリア状態などのミクロ特性と、FET 特性との相関を解明した。特に、高電荷密度状態での電荷キャリアの電子状態や伝導機構、素子劣化機構の解明を行った。そして、低電圧駆動素子での本質的な素子動作機構を解明し、高特性高安定な素子の作製指針をミクロな観点から得て素子開発を行い、素子特性の向上を目指した。

素子としては、実績があるイオンゲルを用いた高分子薄膜トランジスタとルブレ単結晶トランジスタを作製し、ESR 研究を進めた。

4. 研究成果

ここでは、イオンゲルを用いた高分子薄膜トランジスタとルブレ単結晶トランジスタとの研究成果を主に紹介する。

(1) 高分子薄膜トランジスタの ESR 研究

素子駆動時の電荷キャリアの電子状態の電荷密度依存性を明らかにするために、高分子薄膜トランジスタの ESR 研究を行った。ESR 試料管 (内径 3.5 mm) に挿入可能なサイズのイオンゲルを用いた有機トランジスタを作製した。高分子薄膜作製はスピンコート法により行った。薄膜材料には高移動度を示す立体規則性ポリヘキシルチオフエン (RR-P3HT) (図 1 (a)) を使用した。イオンゲル絶縁膜はイオン液体 ([EMIM][TFSI]) と共重合体高分子 ([PS-PMMA-PS]) を用いて作製し、有機薄膜に貼り付ける方法でトランジスタ構造を作製した。作製されたトランジスタを ESR 試料管に挿入し真空排気後、ヘリウムガスにて封入した。

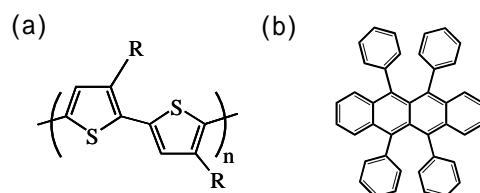


図 1 (a) 立体規則性ポリアルキルチオフエン (RR-P3HT) の化学構造式 (R = C₆H₁₃)、(b) ルブレの化学構造式。

作製された素子の FET 特性を、半導体デバイスアナライザにより精密に評価した。半導体材料の p 型等の極性を調べ、電荷蓄積状態を確認し、ドレイン電流のゲート電圧依存性から電界効果移動度やドレイン電流のオンオフ比などを求めた。注入電荷数は、準静的電気容量測定から求めた。また、作製された種々のトランジスタ構造を用いて電場誘起 ESR 観測を行い、電界注入キャリアの電子状態を研究した。

得られた ESR 信号を図 2 に示す。正のゲート電圧印可時には殆ど信号が観測されないのに対し、負のゲート電圧印可時には明瞭な電場誘起 ESR 信号が測定された。得られた ESR 信号のパラメータである g 値、ESR 線幅 $\Delta H_{1/2}$ より、この信号の起源は RR-P3HT にゲート電圧により電荷蓄積された正のポーラロンであることが同定された。また、 θ は外部磁場と基板法線のなす角度であり、外部磁場方向に対し明瞭な異方性が観測された。

g 値、ESR 線幅 $\Delta H_{1/2}$ の詳細な異方性を図 3 に示す。 g 値の異方性は分子配向を反映し、分子面が基板面に垂直なラメラ構造が形成されていることを示している。この結果は、低い負のゲート電圧でも同じ結果であった。しかしながら、ESR 線幅の角度依存性はゲート電圧の変化により、劇的な変化を示した。低い負のゲート電圧では、正ポーラロンと水素核スピンとの超微細相互作用の異方性を反映した角度依存性が観測されているが、高いゲート電圧では、図 3 で示すように正ポーラロンの 2 次元的な磁気双極子相互作用に支配された角度依存性が観測された。この場合、ESR 線幅は $\Delta H_{1/2} = A(3\cos^2\theta - 1)^2 + B$ の角度依存性を持ち、実験結果を良く再現する。このような 2 次元磁気双極子相互作用が高分子材料で観測されたのは初めての例である。

更に、高い負ゲート電圧領域では、電荷キャリアのスピンの状態が非磁性化する現象が観測された。図 4 に RR-P3HT 薄膜トランジスタの ESR 強度とドレイン電流のゲート電圧依存性を示す。ドレイン電流は負のゲート電圧印可と共に単調に増加し、正電荷蓄積が生じていることを示している。しかしながら、ESR 強度は、負のゲート電圧印可と共に増加し極大を示した後、単調に減少した。つまり、電

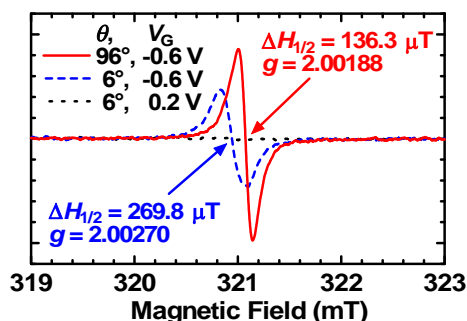


図 2 RR-P3HT 薄膜トランジスタの電場誘起 ESR 信号。

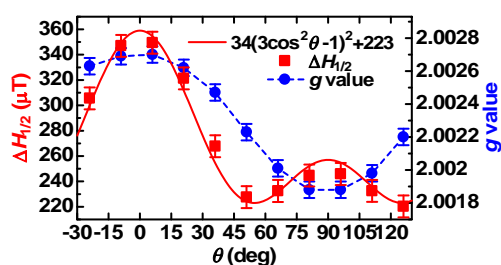


図 3 RR-P3HT 薄膜トランジスタの電場誘起 ESR 信号の外部磁場方向への異方性。

荷のスピンの状態が非磁性化したことを明瞭に示した。その電荷状態として、バイポーロンかポーロン対が考えられる。この結果は、有機トランジスタ中の非磁性電荷輸送を示した初めての例である。以上の結果は Appl. Phys. Lett. (2013) に掲載された。

(2) ルブレ単結晶トランジスタの ESR 研究

RR-P3HT 薄膜トランジスタで観測された現象の材料依存性を明らかにするために、低分子トランジスタを用いた比較研究を行った。低分子として、結晶粒界などの非本質的な効果を排除できる有機単結晶ルブレン (図 1 (b)) を使用した。物理気相輸送法により単結晶を成長させ、貼り付け法により単結晶トランジスタを作製した。高電荷密度状態を実現するためにイオンゲル絶縁膜を用い、ルブレ単結晶に張り付けることでトランジスタ構造を作製した。そして、RR-P3HT 薄膜トランジスタの場合と同様な研究を行った。

高分子薄膜トランジスタの場合はイオンゲルが薄膜中に浸透する電気化学ドーピングとなるが、有機単結晶トランジスタの場合、有機単結晶とイオンゲル絶縁層との界面で電気二重層が形成され、これにより高電荷密度状態が形成される。実験では高電荷密度状態を反映し、低電圧で明瞭な電場誘起 ESR 信号を観測できた。

g 値、ESR 線幅 ΔH_{pp} の詳細な異方性を測定した。その結果、 g 値の異方性はルブレ単結晶の分子配向を反映し、有機界面でもバルク中と同様な結晶構造を持っていることを示した。しかしながら、ESR 線幅は明瞭な角度依存性を示さず、RR-P3HT 薄膜トランジスタ

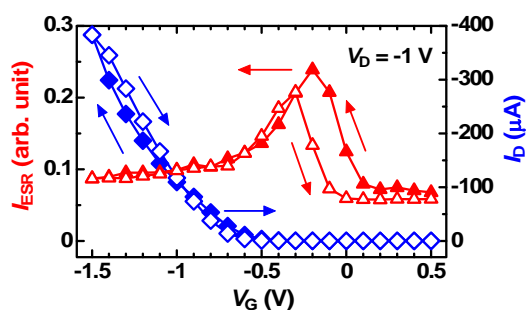


図 4 RR-P3HT 薄膜トランジスタの ESR 強度とドレイン電流のゲート電圧依存性。

タで生じた2次元磁気双極子相互作用は観測されなかった。この理由として、素子破壊を伴わず安定して達成できた高電荷密度状態での電荷キャリア濃度は、ルブレユニット当たり6%であり、この場合、キャリアスピンの距離が遠いためと考えられる。

高電荷密度下での電子状態解析のため、電場誘起スピン数とESR線幅 ΔH_{pp} のゲート電圧依存性を測定した。その結果、高ゲート電圧領域でも、電荷キャリアの非磁性化は観測されず、ゲート電圧と共にスピン数は単調に増加した。これは、電荷キャリア間の相互作用が弱いことを示しており、線幅の角度依存性の結果とも符合する。なお、 ΔH_{pp} はゲート電圧に依存しない非常に狭い線幅を示した。この結果は電荷キャリアに対して深いトラップ準位が存在せず、運動による尖鋭化がESR線幅に生じていることを意味する。従って、イオンゲル絶縁膜を貼り付け法で作製した場合でもルブレ単結晶にダメージを与えず、高電荷密度下においてもイオンゲル絶縁膜/ルブレ単結晶界面はクリーンに保たれていることが示された。従って、貼り付け法によるトランジスタ作製手法が、様々な有機材料を用いたクリーンな界面での微視的な研究に有用であると言える。以上の結果はAppl. Phys. Express (2013)に掲載された。

その他、イオンゲルを用いた半導体単層カーボンナノチューブ薄膜電気二重層トランジスタや単層グラフェン電気二重層トランジスタのESR研究も行い、これらカーボン材料中のスピン状態の電界制御にも成功した。なお、電荷蓄積状態の研究に関連して、有機薄膜太陽電池のESR研究も行った。その結果、素子駆動時に、素子中の電荷蓄積を微視的な観点から直接的に明らかにすることに成功した。この結果はAdv. Mater. (2013)に掲載され、JSTプレスリリースや記者会見、日本経済新聞、日刊工業新聞、日経産業新聞、化学工業日報、科学新聞、電波新聞、電気新聞などの新聞等でも報道された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計20件)

K. Marumoto, M. Tsuji, Y. Yomogida, T. Takenobu and Y. Iwasa, "Microscopic Characterization of Printable Low Voltage Electrolyte Gated Transistors by Electron Spin Resonance", *Japanese Journal of Applied Physics* **52**(5) (2013) 05DC05-1-05DC05-4. 査読有 (DOI: 10.7567/JJAP.52.05DC05)
M. Tsuji, Y. Takahashi, Y. Sakurai, Y. Yomogida, T. Takenobu, Y. Iwasa and K. Marumoto, "Two-dimensional magnetic interactions and magnetism of high-density charges in a polymer transistor", *Applied Physics Letters* **102**(13) (2013) 133301-1-133301-5. 査読有 (DOI: 10.1063/1.4800550)

Y. Takahashi, M. Tsuji, Y. Yomogida, T. Takenobu, Y. Iwasa and K. Marumoto, "Electron Spin Resonance Study of Organic Interfaces in Ion Gel-Gated Rubrene Single-Crystal Transistors", *Applied Physics Express* **6**(4) (2013) 041603-1-041603-4. 査読有 (DOI: 10.7567/APEX.6.041603)
T. Nagamori and K. Marumoto, "Direct Observation of Hole Accumulation in Polymer Solar Cells during Device Operation using Light-Induced Electron Spin Resonance", *Advanced Materials* **25**(16) (2013) 2362-2367. 査読有 (DOI: 10.1002/adma.201204015)
H. Tanaka, M. Hirate, S. Watanabe, K. Kaneko, K. Marumoto, T. Takenobu, Y. Iwasa and S. Kuroda, "Electron spin resonance observation of charge carrier concentration in organic field-effect transistors during device operation", *Physical Review B* **87**(4) (2013) 045309-1-045309-7. 査読有 (DOI: 10.1103/PhysRevB.87.045309)

〔学会発表〕(計94件)

国際会議

K. Marumoto, "Direct Observation of Charge Accumulation in High Efficiency Polymer Solar Cells During Device Operation using Light-Induced Electron Spin Resonance" <Invited>, The 6th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-6) Satellite Meeting on Organic Photovoltaic Cells, Kyoto International Conference Center, Kyoto, Japan, November 22, 2014.
K. Marumoto, "Development of New Analytical Methods for Organic Devices: Applications of ESR to Transistors, Solar Cells and Light-Emitting Diodes" <Invited>, Joint Conference of 9th Asia-Pacific EPR/ESR Society Symposium 2014, 1st International EPR(ESR) Society Symposium and the 53rd The Society of Electron Spin Science and Technology Annual Meeting (APES-IES-SEST2014), Todaiji Culture Center, Nara, Japan, November 16, November 12-16, 2014.
K. Marumoto, Development of New Analytical Methods for Microscopic Characterization of Organic Devices with Electron Spin Resonance" <Invited>, DAE-BRNS Conference on Organic Devices: The Future Ahead (ODEFA-2014), Bhabha Atomic Research Centre, Mumbai, India, March 5, March 3-6, 2014.

K. Marumoto, "Direct Observation of Hole Accumulation in Polymer Solar Cells During Device Operation using Light-Induced Electron Spin Resonance" <Invited>, 2013 EMN Fall Meeting, Orlando, Florida, USA, December 8, December 7-10, 2013.

Y. Sakurai, D. Matsumoto, T. Takenobu, Y. Iwasa and K. Marumoto, "Electron spin resonance study on accumulated charge states in ion gel-gated RR-P3HT thin film transistors", International Workshop on Science and Patents 2013 (IWP2013), IWP036, Tsukuba, Japan, September 6, 2013.

K. Marumoto, "Charge transport and ESR spectroscopy in organic semiconductors" <Invited>, OFET 2012: an International Symposium on Fundamental Electronic Processes in Organic Semiconductors and Functional Interfaces, Princeton, New Jersey, USA, October 30, October 27-31, 2012.

D. Matsumoto, M. Tsuji, Y. Nobusa, Y. Yomogida, K. Yanagi, T. Takenobu and K. Marumoto, "Microscopic characterization of ion gel-gated semiconductor carbon nanotube thin-film electric double-layer transistors by electron spin resonance", International Workshop on Science and Patents 2012 (IWP2012), 1P17, Tsukuba, Japan, October 23, 2012.

K. Marumoto, "Microscopic Properties of Electric Double Layer Transistors as Investigated by Electron Spin Resonance" <Invited>, International Workshop on Electric Double Layer (EDLT TOKYO), Tokyo, Japan, September 9, September 9-10, 2012.

K. Marumoto, "Microscopic Characterization of Printable Low Voltage Electrolyte Gated Transistors by Electron Spin Resonance" <Invited>, The 2012 International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE2012), S30-02, Tokyo, Japan, September 6, September 6-8, 2012.

国内学会等

藤田直大, 松本大佑, 櫻井勇希, 吾郷浩樹, 竹延大志, 丸本一弘, 「単層グラフェン電気二重層トランジスタの電子状態の ESR 研究」, 2014 年 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 18p-B1-15, 北海道大学, 札幌, 北海道, 2014 年 9 月 17 日-20 日

丸本一弘, 松本大佑, 柳和宏, 岡田晋,

竹延大志, 「半導体単層カーボンナノチューブにおける両極性電場誘起スピン消失の ESR 直接観測」, 日本物理学会 2014 年秋季大会, 7aAH-4, 中部大学, 春日井, 愛知県, 2014 年 9 月 7 日-10 日

丸本一弘, 「有機半導体デバイスの電荷状態の ESR 直接観測と素子性能との相関の解明」(招待講演) 日本学術振興会 情報科学用有機材料第 142 委員会 ABC 合同研究会, PORTA 神楽坂, 東京, 2014 年 3 月 12 日

丸本一弘, 「高分子太陽電池の電荷蓄積の直接観測と性能劣化機構の解明」(招待講演) 高分子学会 13-2 有機エレクトロニクス研究会, 「有機薄膜太陽電池の研究最前線」, 東京工業大学, 東工大蔵前会館ロイヤルブルーホール, 東京, 2013 年 12 月 13 日

丸本一弘, 「ESR 法を用いた有機太陽電池のミクロ解析」(招待講演) 高分子学会 13-2NMR 研究会「常磁性の磁気共鳴」, 東京海洋大学, 楽水会館, 東京, 2013 年 12 月 13 日

丸本一弘, 「ESR を用いた有機エレクトロニクス材料と素子のミクロ解析」(招待講演) 高分子学会関東支部第 49 回茨城地区活動講演会「有機エレクトロニクスの最新動向」, 住友化学株式会社, つくば, 茨城県, 2013 年 11 月 27 日

櫻井勇希, 松本大佑, 竹延大志, 岩佐義宏, 丸本一弘, 「イオンゲルを用いた RR-P3HT 薄膜トランジスタにおける蓄積電荷状態の ESR 研究」, 2013 年 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 19p-C5-9, 同志社大学, 京田辺, 京都府, 2013 年 9 月 16 日-20 日

丸本一弘, 「ESR 法を用いた有機半導体デバイスのミクロ解析」(招待講演) 2013 年 第 74 回応用物理学会秋季学術講演会, 分科企画シンポジウム「有機半導体材料・デバイスの解析に役立つ分光技術」, 17p-C6-2, 同志社大学, 京田辺, 京都府, 2013 年 9 月 16 日-20 日

丸本一弘, 高橋優貴, 松本大佑, 櫻井勇希, 野房勇希, 蓬田陽平, 柳和宏, 竹延大志, 岩佐義宏, 「イオンゲルを用いた電気二重層トランジスタの ESR 研究」, 日本物理学会第 68 回年次大会, 27pXP-6, 広島大学, 東広島, 広島県, 2013 年 3 月 26 日-29 日

丸本一弘, 「有機薄膜太陽電池の ESR によるトラップ状態の評価」(招待講演) 日本学術振興会 アモルファス・ナノ材料第 147 委員会 第 117 回研究会「有機薄膜太陽電池の評価法」, 弘済会館, 東京, 2012 年 10 月 5 日

丸本一弘, 「電子スピン共鳴 (ESR) 法を用いた有機デバイスのミクロ解析と特性向上」(招待講演) 有機エレクトロニクス講演会, 大阪大学産業科学研究所,

- 茨木、大阪府、2012年9月27日
- 21 丸本一弘、辻大毅、高橋優貴、松本大佑、野房勇希、蓬田陽平、柳和宏、竹延大志、岩佐義宏、「電気二重層トランジスタにおける高密度電荷の2次元磁気相互作用と磁性」、日本物理学会2012年秋季大会、19aFH-2、横浜国立大学、横浜、神奈川県、2012年9月18日-21日
- 22 松本大佑、辻大毅、野房勇希、蓬田陽平、柳和宏、竹延大志、丸本一弘、「イオンゲルを用いた半導体カーボンナノチューブ薄膜電気二重層トランジスタの電子スピン共鳴によるマイクロ評価」、2012年秋季 第73回応用物理学会学術講演会、12p-H2-15、愛媛大学・松山大学、松山、愛媛県、2012年9月11日-14日
- 23 高橋優貴、辻大毅、蓬田陽平、竹延大志、岩佐義宏、丸本一弘、「イオンゲルを用いたルプレ単結晶電気二重層トランジスタの電子スピン共鳴によるマイクロ評価」、2012年秋季 第73回応用物理学会学術講演会、12p-H2-14、愛媛大学・松山大学、松山、愛媛県、2012年9月11日-14日

〔図書〕(計1件)

丸本一弘、「有機薄膜太陽電池の劣化機構の解析」、ウェットプロセスによる精密薄膜コーティング技術、(技術情報協会、東京、2014) 第4章1節(415-421頁)総ページ数:7頁。

〔その他〕

記者会見

丸本一弘、「発電中の高分子太陽電池の劣化の原因を解明」、記者会見、筑波大学、つくば、2013年2月28日。

プレスリリース

丸本一弘、「発電中の高分子太陽電池の劣化の原因を解明」、科学技術振興機構(JST)プレスリリース、2013年2月27日。

丸本一弘、「筑波大学など、発電中の高分子太陽電池の劣化の原因を解明」、日本経済新聞(プレスリリース)、2013年2月27日。

新聞掲載

丸本一弘、「太陽電池 耐久性劣化の原因解明 実用化へ一歩近づく」、筑波大学新聞、2013年4月8日、第306号、13面。

丸本一弘、「次世代型・高分子太陽電池劣化原因を解明 筑波大」、日経産業新聞、2013年3月18日、朝刊、全国版10面。

丸本一弘、「高分子太陽電池の劣化 電荷蓄積と明白な相関」、科学新聞、2013年3月15日、朝刊、全国版2面。

丸本一弘、「次世代太陽電池の耐久性向上へ手がかり発見」、電気新聞、2013年3月6日、朝刊、全国版1面。

丸本一弘、「筑波大学 高分子太陽電池の特性劣化 世界で初めて解明」、電波新聞、2013年3月5日、朝刊、全国版3面。

丸本一弘、「高分子太陽電池 劣化の要因解明 素子内部に電荷蓄積で悪化精密計測技術を開発 筑波大」、化学工業日報、2013年2月28日、朝刊、全国版8面。

丸本一弘、「有機薄膜太陽電池の劣化セル蓄積電荷が関与 筑波大」、日刊工業新聞、2013年2月28日、朝刊、全国版31面。

報道(計5件)

丸本一弘、「筑波大など、発電中の高分子太陽電池の劣化原因を特定」、環境ビジネスオンライン、2013年3月1日。

丸本一弘、「筑波大など、有機薄膜太陽電池の劣化機構を分子レベルで解明」、Yahoo!ニュース、2013年2月28日。

丸本一弘、「筑波大、発電中の高分子太陽電池の劣化の原因を解明」、マイナビニュース、2013年2月28日。

丸本一弘、「有機薄膜太陽電池の発電中の劣化、セル蓄積電荷が関与 - 筑波大が解明」、日刊工業新聞、2013年2月28日。

ホームページ

http://www.ims.tsukuba.ac.jp/~marumoto_lab/index.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

丸本一弘(MARUMOTO, Kazuhiro)
筑波大学・数理物質系・准教授
研究者番号:50293668

(3) 連携研究者

竹延大志(TAKENOBU, Taishi)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号:70343035

岩佐義宏(IWASA, Yoshihiro)
東京大学・工学研究科・教授
研究者番号:20184864

阿澄玲子(AZUMI, Reiko)
独立行政法人産業技術総合研究所・電子光技術研究部門・グループ長
研究者番号:40356366