

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月10日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560002

研究課題名（和文） グラフェン／有機半導体接合を活用した高性能有機薄膜素子開発

研究課題名（英文） Development of high performance organic thin film devices by utilizing the junction between graphene and organic semiconductor

研究代表者

上野 啓司 (UENO KEIJI)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：40223482

研究成果の概要（和文）：化学的薄片剥離法により形成した可溶化グラフェンを、太陽電池や電界効果トランジスタの構成材料として用いることで、素子性能の向上を試みた。その結果、可溶化グラフェンを添加した塗布形成薄膜太陽電池において、12%超の光電変換効率を達成した。また、有機薄膜電界効果トランジスタの移動度を可溶化グラフェン添加により3倍向上することや、グラフェン透明電極を有する透明トランジスタを作製することにも成功した。

研究成果の概要（英文）：In the present research, it has been tried to improve the performance of solar cells and field-effect transistors by using chemically exfoliated solubilized graphene as the constituent material of these devices. By adding solubilized graphene, photoconversion efficiency of the solution-processed thin film solar cell was improved to be higher than 12%. It was also realized to obtain three times higher mobility of an organic thin film field-effect transistor by adding the solubilized graphene, and to fabricate a transparent transistor by using graphene transparent electrodes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：【分科】 応用物理学・工学基礎 【細目】 応用物性・結晶工学

キーワード：グラフェン，酸化グラフェン，可溶化，有機FET，有機薄膜太陽電池，単層剥離，ヘテロ接合太陽電池

1. 研究開始当初の背景

グラフェンが有機薄膜太陽電池の透明電極や、有機薄膜電界効果トランジスタ（FET）のソース／ドレイン電極として応用可能であることは研究開始前に実証されていたが、応用する相手であるそれぞれの有機半導体素子自身の性能は頭打ち状態にあった。有機半導体活性層の単結晶化は、素子性能の向上には非常に有効であるが、そのプロセスは複

雑／困難であり、「簡便かつ安価に新規な機能性を持つ素子を実現する」という有機半導体素子の本来の開発目的には合致しない。

そこで本研究では、 π 電子共役系による高い導電性を有するグラフェンの機能性を薄膜素子の中で最大限に活用することで、素子性能を向上させることを目標とした。また可溶化されたグラフェンを用いることで、塗布成膜法を用いて素子を形成することを主眼

として研究課題を選定した。

2. 研究の目的

本研究では、化学的薄片剥離法により形成し可溶化した単層グラフェン薄片を、有機薄膜素子の構成材料として用いることによって、電荷注入/取り出し効率の向上と有機半導体薄膜内での電荷移動度の向上を試みた。それにより、有機薄膜太陽電池および有機薄膜 FET の性能を、現状よりも大きく引き上げることを目指した。素子作製においては、高コストで煩雑な真空蒸着法は一切用いず、溶液塗布法のみを用いて薄膜形成を行った。最終的に、有機薄膜太陽電池においては 10% 超の光電変換効率、有機薄膜 FET においては $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 超の電界効果移動度、といった性能を持つ大面積な素子を、塗布成膜法のみにより実現することを目標とした。

3. 研究の方法

上記の研究目的を達成するため、下記の課題の実施を計画し、研究を進めた。また研究途中で新規な成果が得られた場合は随時研究課題を追加し、塗布形成薄膜太陽電池・薄膜 FET 素子の性能向上に務めた。

・当初の研究課題

- (1) 塗布形成グラフェン透明電極の低抵抗化と素子電極への応用
- (2) 有機半導体素子活性層への可溶化グラフェン添加による有機薄膜素子性能向上の追求
- (3) 有機薄膜 FET 用グラフェン電極の塗布形成手法改良
- (4) グラフェン/有機半導体界面の構造・電子状態探索
- (5) グラフェンを活用した大面積薄膜素子の塗布形成

・追加された研究課題

- (1) 酸化グラフェンの正孔輸送層応用
- (2) 可溶化グラフェン添加導電性高分子とシリコンのヘテロ接合による高効率太陽電池開発
- (3) 塗布形成グラフェン電極の無機半導体 FET への応用

4. 研究成果

- (1) 可溶化グラフェン添加による有機薄膜 FET の高性能化

本研究では、可溶化酸化グラフェン (GO) を有機半導体活性層に添加することにより、有機 FET の性能向上を試みた。

GO の可溶化では、まず modified Hummers 法により粉末グラファイトを酸化して酸化グラファイトを合成し、これを層間剥離して GO 水溶液を調製した。次に得られた GO とイソシアヌ酸フェニルを反応させ、イソシアネート処理による可溶化を行った。得られた

可溶化 GO を α -ジクロロベンゼンに分散させ、可溶化 GO 分散溶液を調製した。

FET の作製では、この可溶化 GO 分散溶液を rr-poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) (P3HT) に加えて活性層溶液とした。この溶液を熱酸化 SiO_2 膜付き $p^{++}\text{Si}$ 基板上にスピコート成膜し、Au 電極を真空蒸着することでトップコンタクト型の GO 添加 P3HT FET を作製した。次に、低分子系有機半導体でも GO 添加により性能が向上するか調べるため、6,13-Bis(triisopropylsilylethynyl)pentacene (TIPS ペンタセン) を活性層とする GO 添加 TIPS ペンタセン FET を作製し、評価した。

作製した全ての FET 素子において、GO 添加による性能向上が確認できた。P3HT FET、および TIPS ペンタセン FET の出力特性を図 1 に示す。活性層に P3HT を用いた場合、GO 添加によりオン電流値が増加し、GO 無添加における移動度 $1.9 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ (図 1(a)) が、GO 添加量 2 wt% のとき $7.6 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ となり (図 1(b))、約 4 倍にまで移動度が向上した。また、TIPS ペンタセンを活性層に用いた場合でも同様に GO 添加によってオン電流値が増加し、GO 無添加における移動度 $9.2 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ (図 1(c)) が、GO 添加 4 wt% のとき $7.7 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ まで向上した (図 1(d))。このように、高分子系有機半導体、低分子系有機半導体どちらにおいても GO 添加による性能の改善が可能であることが確認された。

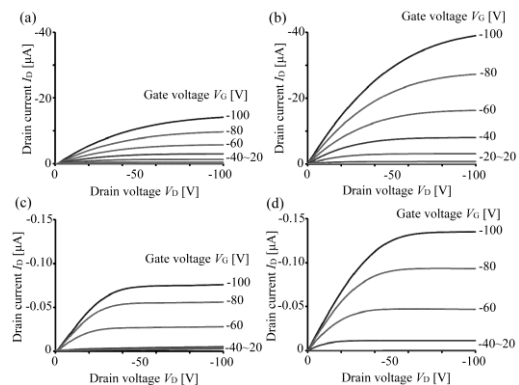


図 1 (a) P3HT FET の出力特性, (b) P3HT:GO FET の出力特性, (c) TIPS ペンタセン FET の出力特性, (d) TIPS ペンタセン:GO FET の出力特性

P3HT は分子間の π - π スタッキングにより配向し、ナノファイバーを形成する。P3HT はナノファイバーの伸長方向に高い導電性を持つため、P3HT 薄膜の導電性はその結晶性、配向性によって大きく変化する。今回作製した P3HT 薄膜の表面形態を原子間力顕微鏡 (AFM) で観察したところ、GO 添加によりナノファイバーの伸長が促進され、薄膜の結晶性が改善されることが発見された (図 2)。また、TIPS ペンタセン薄膜においても、GO 添加による結晶ドメインサイズの拡大が見られた。このような可溶化 GO の添加による

有機半導体薄膜の結晶性向上が、有機 FET の性能向上をもたらしたと考えられる。

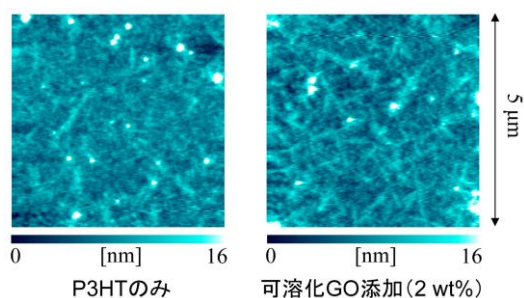


図 2 可溶化 GO 添加による P3HT ナノファイバーの伸長。左：GO 未添加，右：2 wt% 可溶化 GO 添加

可溶化されたグラフェンや GO との複合化による有機半導体薄膜の特性変化については国内外で多くの報告があるが、その起因については詳細が不明である。今後は他の構造解析手法やラマン分光法なども用いて、両者間の相互作用を究明する必要がある。その結果をフィードバックし、添加する可溶化グラフェン類のサイズや官能基を最適化することで、有機 FET の性能をさらに向上させたい。

(2) 透明グラフェン電極を用いた透明有機薄膜 FET 素子の形成

本課題では GO 溶液を用いて塗布形成した透明グラフェン電極を有するトップコンタクト型 FET 素子を作製し、性能評価を行った。

電極の塗布形成を行う場合、溶媒が半導体活性層を侵すため、トップコンタクト型デバイスの形成は困難である。そこで非真空かつ溶媒を用いずに電極を形成する手法として、別基板上に塗布形成したグラフェンの転写成膜を試みた。電極の転写は熱剥離テープを用いて行った。熱剥離テープは加熱により粘着力を失うため、電極を任意の基板上に転写することが可能である。この熱剥離転写により、透明ポリイミドフィルム上に半透明、フレキシブルな P3HT-FET 素子の塗布形成を行った。図 3 に素子の作製プロセスを示す。

図 4(a)に作製した FET 素子の写真、(b)に素子の FET 出力特性を示す。(a)の写真に見られる右上の角が欠けた長方形の着色領域が

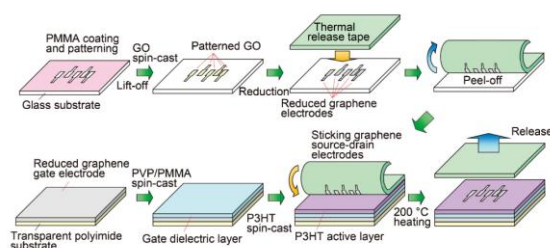


図 3 透明グラフェン電極を用いた半透明 FET 素子の作製プロセス。

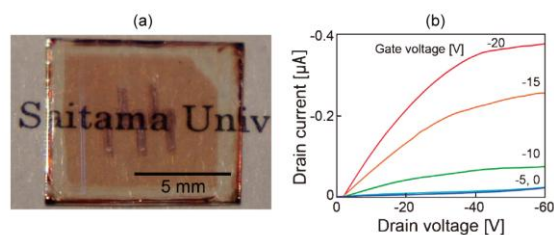


図 4 (a)作製した半透明 FET 素子の写真。(b)素子の FET 出力特性。

P3HT 活性層、縦長の 5 本の帯が塗布膜を転写して形成したグラフェンソース・ドレイン電極である。この素子は p 型動作を示し、正孔の電界効果移動度は $2.3 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{Vs}$ と、塗布型 P3HT FET としては比較的高い値が得られた。塗布形成グラフェン電極は蒸着した金電極よりも低い接触抵抗を持つことも判明しており、有機薄膜 FET の電極材料として高い機能性を持つことが示されている。

塗布形成グラフェン電極は、塗布 p 型有機薄膜 FET の他にも、[6,6]-phenyl-C₆₁-butyric acid methyl ester (PCBM) を活性層とする塗布 n 型有機薄膜 FET や、塗布形成 Li ドープ ZnO 薄膜を活性層とする n 型 FET のソース・ドレイン電極としても有効であることが実証されている。また、これらの p, n 各型のグラフェン電極 FET を組み合わせることで、CMOS インバーター回路を形成することにも成功している。今後は FET 素子をさらに大規模に集積した回路の塗布形成にも、グラフェン電極を応用していきたい。

(3) 酸化グラフェンを利用した正孔輸送層を有する有機薄膜太陽電池

GO 薄膜は還元することで導電性を示し、上述のような透明電極としての利用が期待できるが、GO 自体はその層内方向にはほとんど電気伝導を示さない。しかし、層の垂直方向には正孔輸送特性を持つため、GO 薄膜は正孔輸送層としての利用が可能である。現在、有機薄膜太陽電池では多くの場合、poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene sulfonate) (PEDOT:PSS) が正孔輸送層として用いられている。しかしこの物質は吸湿性を持ち、水に溶解すると強酸性、腐蝕性を示すため、太陽電池素子の劣化を引き起こす要因の一つと考えられている。そこで本課題では、GO 薄膜を正孔輸送層として利用することを試み、P3HT/PCBM バルクヘテロ層を光電変換層とする有機薄膜太陽電池での実証を試みた。作製した太陽電池素子の構造を図 5(a) に示す。

図 5(b)に、GO および従来の PEDOT:PSS を正孔輸送層に用いた各太陽電池素子の電流密度-バイアス電圧 (J - V) 曲線を示す。GO を用いた素子は開放電圧 V_{OC} と曲線因子 FF が若干低いものの、高い短絡電流密度 J_{SC} が

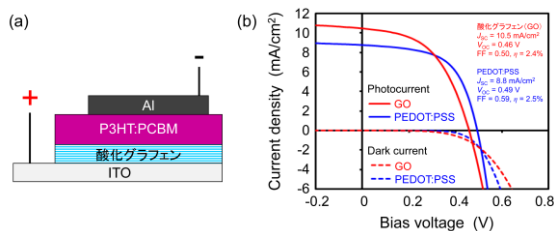


図5 (a) GO正孔輸送層を有する有機薄膜太陽電池の構造。(b) GOおよびPEDOT:PSSを正孔輸送層とする有機薄膜太陽電池のJ-V曲線。

得られており、PEDOT:PSSを用いた素子とほぼ同等の光電変換効率 η が得られている。

以上の結果に加え、GOを用いた素子はPEDOT:PSSを用いた素子に比べ、大気中での性能劣化が遅いことも判明している。また、やはり正孔輸送性を示す酸化モリブデン MoO_3 とGOの混合膜を用いることで、それぞれ単独に用いた素子より高性能な素子が作製可能であることも見いだしている。今後は膜作製プロセスの改良により、 V_{oc} やFFの低下を抑制することを目指す。

(4) 酸化グラフェン添加導電性高分子/シリコンヘテロ接合太陽電池の開発

(3)で示したように、GOとPEDOT:PSSは共に正孔輸送特性を示すが、これは両物質がp型半導体として利用可能であることを意味している。そこでこの混合溶液をn型結晶Si表面に塗布し、ヘテロ接合型の太陽電池を形成したところ、10%を超える、塗布形成素子としては高い光電変換効率を得ることに成功した。

図6(a)に作製した素子の構造を示す。洗浄後、フッ化水素酸処理で水素終端されたSi基板表面に、まず12.5 wt%のGOを含むPEDOT:PSS水溶液を塗布してp型正孔輸送層を形成した。その上に透明電極層としてジメチルスルホキシド(DMSO)を添加したPEDOT:PSS層を形成し、さらにその上に銀ペーストで集電グリッド電極を形成した。Si基板裏面にはAl蒸着あるいはGa/In共晶塗布により電極を接合した。

図6(b)にこのヘテロ接合太陽電池素子の

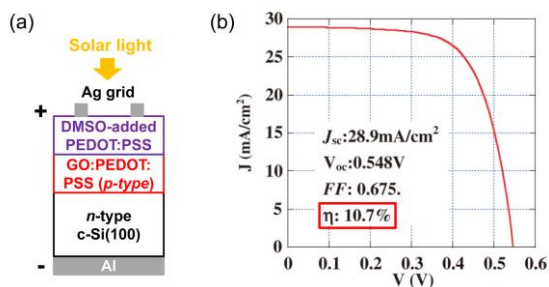


図6 (a) Ag/PEDOT:PSS(DMSO)/GO:PEDOT:PSS/c-Si/Alヘテロ接合太陽電池の構造。(b)ヘテロ接合太陽電池のJ-V曲線。

J-V曲線を示す。GOの添加により η は向上し、この添加量で最高値を示したが、過剰に添加すると性能は劣化した。現在、GO:PEDOT:PSS層に界面活性剤を添加して膜の濡れ性を改善したり、あるいはSi表面に反射防止のテクスチャー構造を導入したりすることで、12%を超す光電変換効率を示す素子も得られている。

この太陽電池は、通常の薄膜太陽電池で透明電極として用いられる酸化インジウム錫(ITO)が不要で、希少なインジウムを消費しない。またAl電極以外は塗布プロセスで形成され、しかもそのプロセス温度は塗布膜乾燥時の 150°C 以下、である。これらは現在主流の結晶Si太陽電池や薄膜Si太陽電池に対する大きな利点となり得る。現在、GO添加量の最適化、界面構造の最適化による光電変換効率の向上、素子劣化の抑制、大面積化などに取り組んでおり、将来的には15%以上の光電変換効率を持つ、10 cm角以上の素子を実現することを目指している。

(ページ数の制約により、他の研究成果は割愛する。)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計33件)

- (1) Q. Liu, I. Khatri, R. Ishikawa, K. Ueno, and H. Shirai, "Effects of molybdenum oxide molecular doping on the chemical structure of poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(stylenesulfonate) and on carrier collection efficiency of silicon/poly(3,4-ethylene dioxythiophene):poly(stylenesulfonate) heterojunction solar cells", *Appl. Phys. Lett.* (査読有) **102** (2013) 183503 (4 pages) DOI:10.1063/1.4804298
- (2) I. Khatri, Z. Tang, Q. Liu, R. Ishikawa, K. Ueno, and H. Shirai, "Green-tea modified multiwalled carbon nanotubes for efficient poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(stylenesulfonate)/n-silicon hybrid solar cell", *Appl. Phys. Lett.* (査読有) **102** (2013) 063508 (5 pages) DOI:10.1063/1.4792691
- (3) M. Kishi, Y. Kubo, R. Ishikawa, H. Shirai, and K. Ueno, "Efficient Organic Photovoltaic Cells Using MoO_3 Hole-Transporting Layers Prepared by Simple Spin-Cast of Its Dispersion Solution in Methanol", *Jpn. J. Appl. Phys.* (査読有) **52** (2013) 020202 (3 pages) DOI:10.7567/JJAP.52.020202
- (4) K. Suganuma, T. Gotou, and K. Ueno, "Top-contacted Organic Field-effect Transistors with Graphene Electrodes Prepared by Laminate Transfer method",

- Appl. Phys. Express (査読有) **5** (2012) 125104 (3 pages)
DOI:10.1143/APEX.5.125104
- (5) R. Ishikawa, H. Shirai, and K. Ueno, “Increased Organic Photovoltaic Cell Efficiency by Incorporating a Nonionic Fluorinated Surfactant Cathode Interlayer”, Appl. Phys. Express (査読有) **5** (2012) 121601 (3 pages)
DOI:10.1143/APEX.5.121601
- (6) Q. Liu, M. Ono, Z. Tang, R. Ishikawa, K. Ueno, and H. Shirai, “Highly efficient crystalline silicon/Zonyl fluorosurfactant-treated organic heterojunction solar cells”, Appl. Phys. Lett. (査読有) **100** (2012) 183901 (4 pages)
DOI:10.1063/1.4709615
- (7) M. Ono, Z. Tang, R. Ishikawa, T. Gotou, K. Ueno, and H. Shirai, “Efficient Crystalline Si/Poly(ethylene dioxythiophene):Poly(styrene sulfonate):Graphene Oxide Composite Heterojunction Solar Cells”, Appl. Phys. Express (査読有) **5** (2012) 032301 (3 pages)
DOI:10.1143/APEX.5.032301
- (8) S. Kato, R. Ishikawa, Y. Kubo, H. Shirai, and K. Ueno, “Efficient Organic Photovoltaic Cells Using Hole-Transporting MoO₃ Buffer Layers Converted from Solution-Processed MoS₂ Films”, Jpn. J. Appl. Phys. (査読有) **50** (2011) 071604 (5 pages)
DOI:10.1143/JJAP.50.071604
- (9) T. Ino, T. Hayashi, K. Ueno, and H. Shirai, “Atmospheric-pressure argon plasma etching of spin-coated 3,4-polyethylene dioxythiophene:polystyrenesulfonic acid (PEDOT:PSS) films for copper phthalocyanine (CuPc)/C₆₀ heterojunction thin-film solar cells”, Thin Solid Films (査読有) **519** (2011) 6834-6839
DOI:10.1016/j.tsf.2011.04.042
- (10) K. Suganuma, S. Watanabe, T. Gotou and K. Ueno, “Fabrication of Transparent and Flexible Organic Field-Effect Transistors with Solution-Processed Graphene Source-Drain and Gate Electrodes”, Appl. Phys. Express (査読有) **4** (2011) 021603 (3 pages)
DOI:10.1143/APEX.4.021603
- [学会発表] (計 59 件)
- (1) Keiji Ueno, “Device Application of Graphene and Similar Layered Materials Thin Films”, 2013 NIMS CONFERENCE (招待講演), 2013 年 7 月 2 日, 物質・材料研究機構
- (2) 喜志真佑子, 「MoO₃ 前駆体:酸化グラフェン混合溶液を用いた有機薄膜太陽電池正孔輸送層の塗布形成」, 2013 春季第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 2013 年 3 月 30 日, 神奈川工科大学
- (3) 菅沼洗一, 「可溶化酸化グラフェン添加による有機電界効果トランジスタの特性改善 (4)」, 2013 春季 第 60 回応用物理学会春季学術講演会, 2013 年 3 月 28 日, 神奈川工科大学
- (4) 喜志真佑子, 「MoO₃:GO 混合正孔輸送層を用いた有機薄膜太陽電池の性能向上」, 2012 年秋季 第 73 回応用物理学会学術講演会, 2012 年 9 月 11 日, 愛媛大学
- (5) 坂本舞, 「可溶化酸化グラフェン添加による有機電界効果トランジスタの特性改善 (3): グラフェンソース・ドレイン電極の利用」, 2012 年秋季 第 73 回応用物理学会学術講演会, 2012 年 9 月 13 日, 愛媛大学
- (6) 菅沼洗一, 「グラフェン電極を用いた有機/無機ハイブリッド CMOS 回路の塗布形成」, 2012 年秋季 第 73 回応用物理学会学術講演会, 2012 年 9 月 13 日, 愛媛大学
- (7) Keiji Ueno, “Solution Processed Graphene Transparent Conductive Film”, 2012 The Nineteenth International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices -TFT Technologies and FPD Materials- (AM-FPD'12), 2012 年 7 月 05 日, 京都アバンティ
- (8) 久保洋輔, 「酸化グラフェンを正孔輸送層とする有機薄膜太陽電池素子の UV-O₃ 処理による性能向上」, 2012 春季第 59 回応用物理学関係連合講演会, 2012 年 3 月 16 日, 早稲田大学
- (9) 菅沼洗一, 「グラフェンを電極とした n 型 FET の溶液塗布法による作製と評価」, 2012 春季 第 59 回応用物理学関係連合講演会, 2012 年 3 月 15 日, 早稲田大学
- (10) 坂本舞, 「可溶化酸化グラフェン添加による有機電界効果トランジスタの特性改善 (2)」, 2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会, 2011 年 9 月 1 日, 山形大学
- (11) 菅沼洗一, 「グラフェン電極を用いたトップコンタクト型有機 FET の作製と評価」, 2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会, 2011 年 9 月 1 日, 山形大学
- (12) 小野正浩, 「グラフェン/GO/c-Si ヘテロ接合薄膜太陽電池」, 2011 年秋季 第 72 回応用物理学会学術講演会, 2011 年 9 月 1 日, 山形大学
- (13) 久保洋輔, 「酸化グラフェンを正孔輸送層とする塗布型有機薄膜太陽電池の作製 (2)」, 2011 年秋季 第 72 回応用物理

- 学会学術講演会, 2011年9月1日, 山形大学
- (14) 石川良, 「有機薄膜太陽電池の光電変換層へのグラフェンドーピング効果(2)」, 2011年秋季 第72回応用物理学会学術講演会, 2011年9月1日, 山形大学
- (15) Ryo Ishikawa, “Fabrication of Polymer Solar Cells with Graphene-doped Active Layers”, ICMAT2011, 2011年6月29日, Suntec, Singapore
- (16) Koichi Suganuma, “Fabrication of Solution-processed Transparent Organic Field-effect Transistors with Graphene Electrodes”, ICMAT2011, 2011年6月29日, Suntec, Singapore
- (17) Keiji Ueno, “Application of Solution-processed Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide Thin Films to Organic Thin Film Photovoltaic Cells”, ICMAT2011, 2011年6月29日, Suntec, Singapore
- (18) 渡辺俊一郎, 「全塗布形成トップゲート構造グラフェン電極有機電界効果トランジスタの作製」, 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 2010年9月16日, 長崎大学
- (19) 菅沼洗一, 「トップコンタクト型グラフェン電極を有する塗布型有機 FET の作製と評価」, 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 2010年9月16日, 長崎大学
- (20) 久保洋輔, 「酸化グラフェンを正孔輸送層とする塗布型有機薄膜太陽電池の作製」, 2010年秋季 第71回応用物理学会学術講演会, 2010年9月14日, 長崎大学

[図書] (計9件)

- (1) 上野啓司, 他, シーエムシー出版, 「グラフェンの機能と応用展望 II」, 2012, 271 (119-135, 239-251)
- (2) 上野啓司, 他, 情報機構, 「透明導電膜有力材料の実力と各種プロセス技術, 実用・製品化」, 2012, 309 (169-182)
- (3) 上野啓司, 他, 電子ジャーナル, 「2013 ナノカーボン技術大全」, 2012, 250 (102-111)
- (4) 上野啓司, 他, シーエムシー出版, 「透明導電膜の新展開IV—多様な材料・形成技術の可能性—」, 2012, 282 (94-106)
- (5) 上野啓司, 他, シーエムシー出版, 「有機薄膜太陽電池の研究最前線」, 2012, 257 (235-246)
- (6) 上野啓司, 他, エヌ・ティー・エス, 「グラフェンが拓く材料の新領域—物性・作製法から実用化まで—」, 2012, 268 (166-177)

- (7) 上野啓司, 他, エヌ・ティー・エス, 「高性能透明ポリマー材料」, 2012, 188 (147-173)
- (8) 上野啓司, 他, 日経 BP, 「グラフェン・イノベーション 電子デバイスを変えるナノカーボン材料革命」, 2011, 255 (134-145)
- (9) 上野啓司, 他, 技術情報協会, 「透明導電膜・フィルムの高透明・低抵抗化と耐久性向上」, 2010, 495 (313-327)

[産業財産権]

○出願状況 (計3件)

- (1) 名称: 「積層体の製造方法」
 発明者: 白井肇, 上野啓司, 辻妹井子
 権利者: 同上
 種類: 特許
 番号: 特願 2012-192839
 出願年月日: 2012年09月03日
 国内外の別: 国内
- (2) 名称: 「疎水性基板上の親水性薄膜均一形成技術」
 発明者: 白井肇, 上野啓司, 福田武司
 権利者: 同上
 種類: 特許
 番号: 特願 2012-037573
 出願年月日: 2012年02月23日
 国内外の別: 国内
- (3) 名称: 「光誘起電荷分離素子、光電池及びそれらの製造方法」
 発明者: 白井肇, 上野啓司, 後藤拓也, 上等和良, 辻妹井子, 高瀬雄希
 権利者: 同上
 種類: 特許
 番号: 特願 2011-189165
 出願年月日: 2011年08月31日
 国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等
 埼玉大学 上野研究室 公式 Web ページ
<http://surface-www.chem.saitama-u.ac.jp/>

埼玉大学研究者総覧 上野啓司
<http://s-read.saitama-u.ac.jp/researchers/pages/researcher/TfwSdxoK>

6. 研究組織

- (1) 研究代表者
 上野 啓司 (UENO KEIJI)
 埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授
 研究者番号: 40223482

以上