

「二酸化炭素排出抑制に資する革新的技術の創出」
平成20年度採択研究代表者

吉川 暹

京都大学エネルギー理工学研究所・特任教授

有機薄膜太陽電池の高効率化に関する研究

§ 1. 研究実施の概要

本研究では、二酸化炭素排出削減に資する、軽量・安価な次世代プラスチック太陽電池を開発する。そのために、セルの構成要素である、フラーレン誘導体、導電性高分子、色素超分子を新たに調製し、高分子および低分子からなるバルクヘテロ接合素子において吸収波長領域を広げたハイブリッドセル(異種の構造を含む複合構造をもつセル)を開発して10%以上の高効率化を実現する。このため年度計画を、大略、設計、創製、評価、解析、最適化、製品化の6つのカテゴリーに別け、3年後の中間目標7%、最終目標10%を目指す。以下に各グループが当該年度までに実施した研究概要と見通しを示す。

高分子ハイブリッドセル：新規導電性高分子とフラーレン誘導体の合成に着手し、4.4%の効率を実現すると共に、新規ドナー/アクセプター複合体として、ポルフィリンとフラーレン C_{60} で構成された一次元分子複合体および導電性ポリマーあるいは酸化チタンの1D ナノワイヤーの設計を行った。とくにポルフィリン/ C_{60} においては溶液中で高い電荷分離能を実現し、有機薄膜中での光電変換能の高度化への指針を得た。また、デバイスの時間分解光電流密度を系統的に調べ、本邦初の CELIV によるキャリア移動度と寿命評価を実施、バルクヘテロ接合構造におけるキャリア輸送特性を解析した結果、素子構造と寿命との相関性を得た。酸化亜鉛1D ナノロッドアレイの高密度化と表面への色素吸着による超階層ナノ構造素子の改良により、目標とする高分子ハイブリッドセル構築への指針を得た。

低分子ハイブリッドセル：ナノインプリント用モールドを作製してポリ(3-ヘキシルチオフェン)(P3HT)をパターンニングした上層に C_{60} を蒸着させると、平面接合と対比して電流密度が2倍に増大することを明らかにした。また、フリーベースフタロシアニン、亜鉛フタロシアニン、鉛フタロシアニン、ペリレン顔料および C_{60} の超高純度化を前年度に引き続いて実施すると共に、それらを組合せた低分子タンデムセルは、中間層の C_{60} 膜厚を調整することで実現できることを見出した。今後、デ

バイス構造に関する最適化をさらに進めることで7%の実現をめざす。

有機半導体：C₇₀誘導体の新規合成に着手する前に、C₆₀誘導体に関してLUMOレベルを上昇させて開放電圧を増大させる分子設計とその合成プロセス改良を実現した。さらに、P3HT系ではカバーできない650nm以上を吸収できるドナーを精製後に成膜し、長波長領域での高い光吸収を確認した。

§ 2. 研究実施体制

(1)「吉川」グループ

① 研究分担グループ長：吉川 暹（京都大学、特任教授）

② 研究項目

高分子ハイブリッドセルの開発

「ドナー/アクセプター複合体の開発」を行う。並行して、将来の低分子セルの基盤技術となる、「バルクヘテロ構造の最適化」を進める。また、その限界を超えるために不可欠となる「超階層ナノ構造セルの開発」を進め、1D ナノ構造材料の2D アレイを製作するとともに、自己組織化集合体形成技術を開発する。最終的には、最適化したバルクヘテロ構造素子と、ドナー/アクセプター複合体を組み込んだ超階層ナノ構造セル技術を複合化し、「高分子ハイブリッドセルの創製」を図り、有機薄膜太陽電池で効率10%をめざす。

(2)「平本」グループ

① 研究分担グループ長：平本 昌宏（自然科学研究機構分子科学研究所、教授）

② 研究項目

低分子ハイブリッドセルの開発

「ナノインプリントによる直立超格子理想構造の構築」によって、実際に効率向上が可能なことを証明する。有機半導体のイレブンナインレベルの「超高純度化技術」を確立し、種々の有機半導体に応用し、「低分子ハイブリッドセルの組み立て」を展開することで、近赤外光の利用による短絡光電流の増大、開放端電圧の増大を行い、低分子系有機太陽電池の変換効率を7%程度まで向上させる。

(3)「大野」グループ

① 研究分担グループ長：大野 敏信（地方独立行政法人大阪市立工業研究所、研究主幹）

② 研究項目

有機半導体の創製

有機薄膜太陽電池に必要な要素技術として、「新規アクセプターの開発」(C70 誘導体、ヘテロ原子を導入したフラーレン誘導体)またそのプロセスの改良、さらに P3HT 系ではカバー

できない650nm以上を吸収できるp型半導体としての近赤外吸収スペクトルを開発する。すなわち、「ドナー分子の設計・合成の展開」を進める。さらに、「分子集合体の設計・合成」を展開し、光捕集、キャリア移動、キャリア収集効率を高めた新デバイスを開発する。

§ 3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)

(1) 高分子ハイブリッドセルの開発

①ドナー/アクセプター複合体の開発

ドナー/アクセプター複合体として、ポルフィリンとフラーレン C_{60} で構成された一次元複合体および導電性ポリマーあるいは酸化チタンのナノワイヤーの設計を行い、とりわけ、ポルフィリン/ C_{60} において溶液中での高効率電荷分離の実現に成功した。これまでのメタノフラーレン骨格を有するPCBMに加えアクセプター分子として、より多様な分子設計を可能とするピロリジノフラーレン骨格を持つ誘導体(図1)を新たに設計し、PCBMより約10%高い効率を持つものの合成に成功した。ポルフィリン系ドナー・フラーレン系アクセプターの複合体からなる分子集合体の励起子寿命、電荷移動効率、色素の吸光係数を測定し、デバイスの光電変換特性との相関を解析した結果、ドナー/アクセプターの混合比率のみならず、用いた溶媒、アニーリング条件、膜厚といった多くの因子が、素子の光電変換の量子収率向上に直結する因子であることがわかってきた。

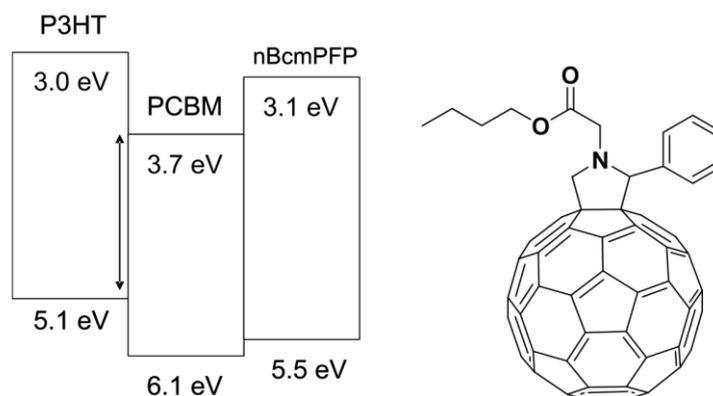


図1 新たに合成した n-butoxy carbonyl methyl phenyl fulleropyrrolidine (ⁿBcmPFP)

②バルクヘテロ構造の最適化

新規導電性高分子とフラーレン誘導体の合成に着手し、4.4%の効率を実現すると共に、我が国初のPhotoCELIVを用いての素子の光電変換特性と素子構造との相関を解析した結果、多くの知見が得られたが、特に、電荷移動度が、用いた有機半導体の特性とアニーリングなどの電荷チャネ

ル形成に大きく依存するのに対して、電荷寿命は素子構造に大きく依存しており、これが効率を大きく支配する物であることを明らかにした。このことにより、我々がこれまでに開発した、TiO_x 層の安定化効果の原因が主として電荷再結合反応を抑えることによるものであることを明らかにした。

デバイスの時間分解光電流密度を系統的に計測し、キャリア移動度とキャリア寿命を評価してバルクヘテロ構造の最適化を行った。有機半導体の導電性やキャリア移動特性について、Photo-induced Charge carrier Extraction in a Linearly Increasing Voltage 法で評価した。セル特性とキャリア移動特性の相関を調べることにより、成膜後の界面

(接合)の状態や、個々の層内における結晶性、配向性の仕上がり具合と、電荷分離効率、キャリア密度、寿命と移動度、電荷注入効率のプロセスとの関係を考察することができた。

種々の PCBM 含有率のバルクヘテロ接合セルの移動度 μ と寿命 τ を Photo-CELIV 法により測定したところ、図2のように PCBM 含有率が 0.3 から 0.5 の間で増大するのに伴って移動度 μ は増加する一方で、寿命 τ は短くなることが確認された。すなわち、デバイスの効率向上には、移動度と寿命の両方が重要であり、両者のバランスのとれた組成において最も高効率となることがわかった。

高分子半導体(P3HT)を用いてバルクヘテロ接合素子を作製し、溶媒法、ホットプレート熱処理、レーザー法などこれまでに知られてきた各種モルフォロジー制御手法をサーベイした結果、シングルモードマイクロ波処理が、最も温和な条件下で活性層のモルフォロジー制御を行いうることを実証した。

③超階層ナノ構造セルの開発

超階層ナノ構造化については、酸化亜鉛1D ナノロッドアレイの優れた電荷移動体としての機能を電荷寿命と電界発光特性から明らかにした^{8, 14, 16}。素子構造が変換効率に与える影響の中で、速い電荷移動プロセスを保証し逆反応を遁減することが重要であることが明らかになってきたことから、活性層の厚さを出来るだけ薄くし、電子輸送層とホール輸送層の1D ナノアレイを利用した速い電荷移動チャンネルを設けた超階層ナノ構造素子を、独自の次世代のデバイス構造として提案してきた。今年度は図3に示すように ZnO-1D ナノアレイが微結晶焼結体に比較して5倍以上の高い寿命と優れた電界発光特性を示すことを初めて明らかに出来たことから、今後、多様な1D 体の

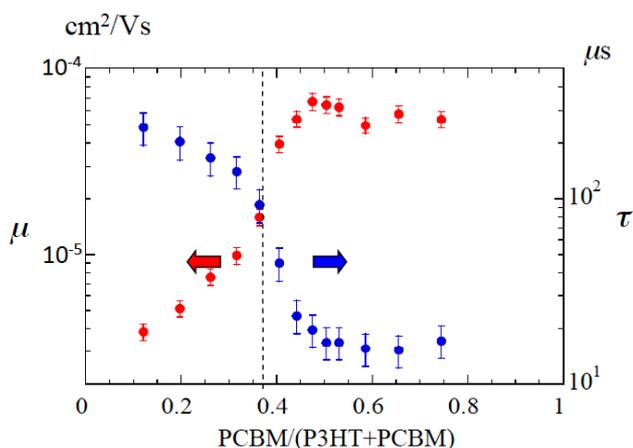


図2 種々の PCBM 含有率における P3HT-PCBM バルクヘテロ接合セルのキャリア移動度

中での最適化と共に、機構の解明を進める。

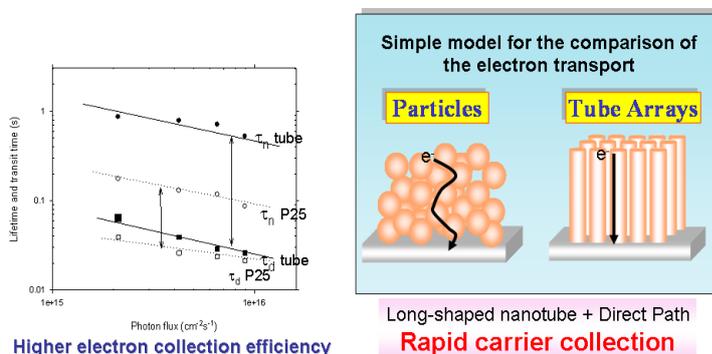


図3 ZnO 粒子焼成体と ZnO ナノロッドにおける Lifetime と遷移時間の比較(左)から、電荷の輸送経路としての 1D アレイの優位性が示された(右)。

④高分子ハイブリッドセルの創製

有機系の特徴である、高い吸光係数・広い波長領域への対応と、無機系のもつ高いキャリア移動特性という両者の特長を生かした無機有機のハイブリッド型太陽電池の高性能化を検討した。実用的なセル構造として、既に実現している TiO₂、ZnO 等の 1D アレイ構造を有する電子輸送層へのドナー分子を結合することによる、ポリマーセルと低分子色素のハイブリッド化による性能向上の可能性を実証するために、各種色素、金属酸化物ナノロッドなどの因子を検討した結果、ZnO と D149 色素を組み合わせた系が優れた特性を示した。構造的には、低分子と高分子とのタンデム構造化が可能であり、その実現に向けた素子構造を検討した。具体的には、上記③で作製した酸化亜鉛ナノロッドアレイを基板として利用したルテニウム色素/P3HT-PCBM 高分子ハイブリッドを作製し、単セル 1.2%の効率がハイブリッド化により η 2.0%にまで増大する (V_{oc} 0.36 V→0.57 V) という結果をベースに、今年度は、デバイス構造を改良し、色素の導入なしで短絡電流密度 12 mA/cm²を実現、変換効率 3.2%を達成した。今後、色素の導入によるさらなる高効率化を図る。

(2)低分子ハイブリッドセルの開発

①有機半導体の超高純度化

フリーベースフタロシアニン、亜鉛フタロシアニン、鉛フタロシアニン、ペリレン顔料および C₆₀ の超高純度化を前年度に引き続いて実施した。

共蒸着 i 層中のホール輸送ハイウエー

(i) H₂Pc:C₆₀ 共蒸着 i 層

平本グループは、無金属フタロシアニン(H₂Pc)とセブツナイン(99.99999%, 7N)まで超高純度化したフラーレン(C₆₀)から成る共蒸着 i 層を持つ p-i-n 接合セルにおいて、低分子シングルセルにおけ

る世界最高効率 5.3%を観測した(図4)。曲線因子(Fill Factor)を低下させることなく、1 ミクロンもの厚さの $\text{H}_2\text{Pc}:\text{C}_{60}$ i 層を用いることができたことで、可視光全域を吸収利用できるようになり、 $20 \text{ mA}/\text{cm}^2$ もの短絡光電流、5.3%の変換効率が実現できた。

図5は、1 ミクロン厚の $\text{H}_2\text{Pc}:\text{C}_{60}$ i 層の断面 TEM 像である。約 20 nm の直径の H_2Pc ウィスカー構造が明瞭に観察できた。光キャリア生成は、 H_2Pc ウィスカー/ C_{60} 界面で起こり、光生成ホールはこの H_2Pc ウィスカーを通して電極まで輸送される。この結果は、 $\text{H}_2\text{Pc}:\text{C}_{60}$ 共蒸着 i 層の中に、ホール輸送ハイウェイが形成されていることを強く示唆している。

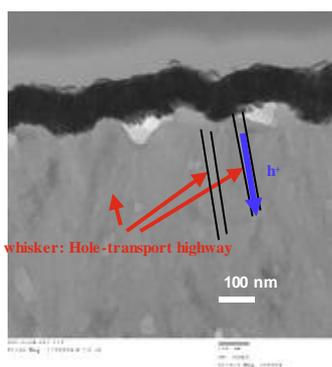


図5 TEM image of 1 μm -thick $\text{H}_2\text{Pc}:\text{C}_{60}$ codeposited i -interlayer.

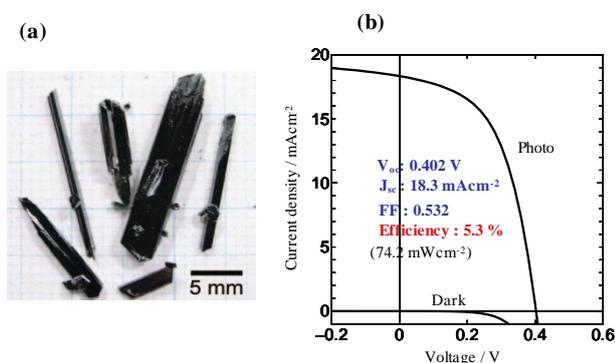


図4 (a) Photograph of 7N(99.99999%)- C_{60} single crystals. (b) Current-voltage characteristics for p - i - n cell having 1 μm -thick $\text{H}_2\text{Pc}:\text{C}_{60}$ i -interlayer.

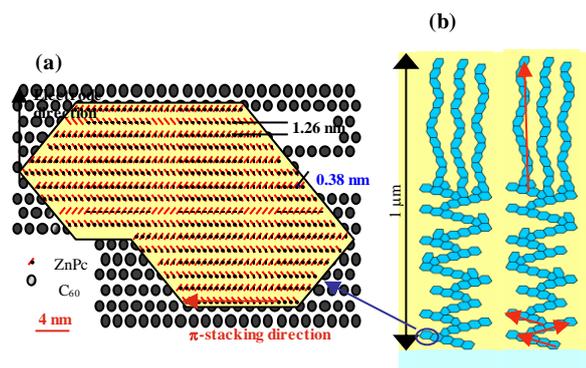


図6 (a) Schematic illustration of a ZnPc nanocrystal surrounded by C_{60} . (b) Schematic illustration of 1 μm -thick $\text{ZnPc}:\text{C}_{60}$ i -interlayer. Red arrows represent the direction of π -stacking, i.e., hole transport direction. Hole-transport highway between electrodes is formed.

(ii) $\text{ZnPc}:\text{C}_{60}$ 共蒸着 i 層

1 ミクロン厚の亜鉛フタロシアニン(ZnPc): C_{60} 共蒸着 i 層においても、 $\text{H}_2\text{Pc}:\text{C}_{60}$ 系と本質的に同じ結果が得られた。図6に、 ZnPc ナノ結晶(a)と ZnPc ナノ結晶が連結して形成されたナノ構造を模式的に示す。これらの構造は、断面 SEM と XRD 測定から推定した。(i) 約 20 nm の直径の ZnPc ナノ結晶がアモルファス C_{60} に取り囲まれている。(ii) $\text{ZnPc}:\text{C}_{60}$ 膜厚 < 300 nm; π スタッキング方向は基板電極に平行になっている(図6(a)(b))。(iii) 300 nm < $\text{ZnPc}:\text{C}_{60}$ 膜厚 < 1 ミクロン; π スタッキング

方向は基板電極に垂直方向に変化する(図6(b))。

光生成ホールは、 π スタッキングを通して輸送されるので、2つの金属電極間に部分的ながらも(図6(b)上部)、ホール輸送ハイウェーが形成されていることを示唆している。図5の H_2Pc ウィスカー構造が、図6のホール輸送ハイウェーと極めて類似していることに注意して欲しい。このようなホール輸送ハイウェー形成があつて初めて、 20 mA/cm^2 の短絡光電流、5.3%の効率が達成できたと考えている。

図6(b)から予想できるように、光照射を下部電極(ITO)でなく、上部電極側から行くと、効率がさらに向上する可能性がある。

今回の結果は、共蒸着 i 層のナノ構造設計・製作がいかに重要であることを示している。

(3) 有機半導体の創製

①アクセプター分子の開発(その1)

高い開放端電圧と短絡電流を達成するフラレン誘導体の開発

開放端電圧はドナーの HOMO とアクセプターの LUMO により決定づけられることから、高 LUMO レベルを有するアクセプターの開発により、有機薄膜太陽電池の変換効率の向上を目指した。これまで PCBM のフェニル基ならびに酪酸エステル部分を電子供与性にした XCY を設計することにより LUMO を引き上げることに成功したが、更に、特殊な供与性官能基 X' を導入した、X'CY の設計によりもう一段 LUMO の引き上げを図っている。具体的には、メタノフラレンのシクロプロパン環をとりさり、ドナーをフラレン核にさらに近接させることにより LUMO の上昇を意図した分子 X'Y' の設計を行った。

これら新規フラレン誘導体は、分子軌道計算により LUMO レベルを計算し合成している。新規に合成したフラレン誘導体の酸化還元電位は、その第一還元電位と分子軌道計算による LUMO 値に良い相関がみられる事を見出しており、計算の確かさを確認するとともに、第一還元電位が 100mV も陰極シフトを示すことから今回設計したフラレン誘導体が極めて高い LUMO を有することがわかった。

表1. フラレン誘導体の第一還元電位

フラレン誘導体	第一還元電位(mV)
PCBM	1153
X'Y-3	1259
X'Y-4	1254
X'Y-5	1258

Ag/Ag⁺、フェロセン/フェロセン⁺カップル、
0.1 M BU₄NClO₄/ODCB、20 mV/s

しかし、実際に新規のフラレン誘導体を P3HT/PCBM における PCBM 代替として用いたデバイスでは、開放端電圧で 0.62V しか得られず、最大でも 0.95% の変換効率であった。このことは、モルフォロジーコントロールが十分でなく、バルクヘテロ接合が形成されていないことを示している。

そこで、蛍光スペクトル測定を行った結果、熱処理前の P3HT/PCBM 系薄膜の蛍光が大きくないのに対し、150℃、6 分のアニール処理をすることにより蛍光の増大が見られ、アニールにより相分離が進行し、P3HT 本来の蛍光が PCBM による消光なしに観測されたのに対し、新規フラーレン誘導体 X'Y-4 では、スピコーティングした直後が最も蛍光が大きくこの状態ですでに十分相分離していることがわかる。P3HT/PCBM と同様に、150℃、6 分のアニール処理を行うと、蛍光強度は小さくなった。

また、XRD による分析でも、P3HT/PCBM の場合、スピコーティングしたままでは、アモルファス状態であり、アニールすることで、結晶化が進んでいることがわかったが、

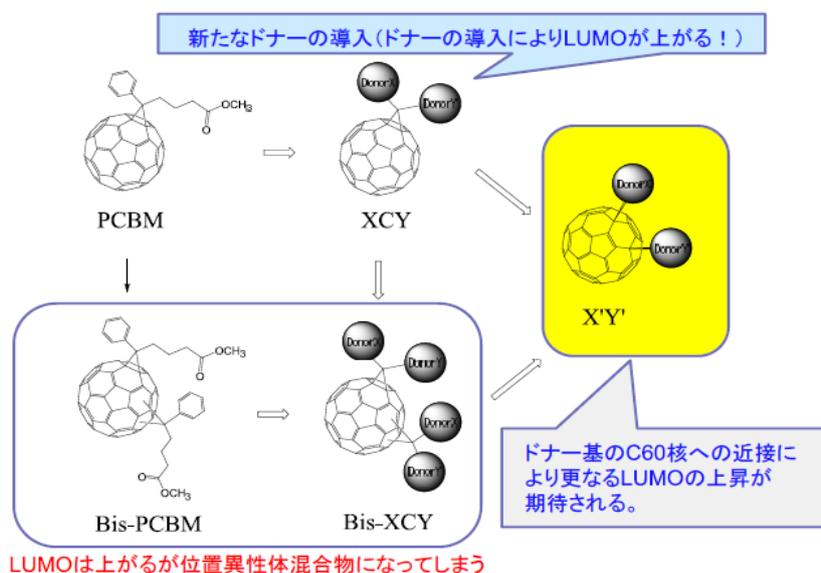


図7 新規フラーレン誘導体の開発

P3HT/X'Y-4 では、スピコーティングした段階で結晶化が進んでおり相分離構造が形成されている。このように新規フラーレン誘導体の場合、P3HT/PCBM と同条件での製膜では問題があり、改めて最適化が必要であることが判明した。

②分子集合体の設計・構築

ポリマー型有機薄膜太陽電池における活性層は P3HT などのポリチオフェンとフラーレン誘導体 PCBM の形成する分子集合体の構造がデバイス性能に重要な影響を与える。

各フラーレン誘導体のクロロベンゼン溶液からスピコートした膜表面を原子間力顕微鏡 (AFM) により観察した。得られた位相像には P3HT の結晶に由来する縞模様(白色部分)が見られた。フラーレン誘導体の違いにより、フラーレン誘導体の構造の違いがモルフォロジーに大きく影響することがわかったが、これらの相分離と溶解性には明確な相関が見られなかった。むしろフラーレン誘導体の分子体積の違いにより相分離が変化した傾向が見られる¹⁹⁾。

また、製膜する際に使う溶媒の種類を変えて、エネルギー変換効率に及ぼす影響を検討し、溶媒の違いが活性層のモルフォロジーに関与することを明確にした。すなわち、フラーレン誘導体の

溶解性やポリマーへの相溶性は、ポリマーと作る有機活性層が自己分子配向した結果(相分離)の“モルフォロジー”に大きく影響を与える意味で重要である。

今後さらに、創製したフラーレン誘導体の置換基がどのようにモルフォロジーに影響を与えるかをAFM観察などにより検討し、最適な分子集合体の設計・構築に生かしていく。

§ 4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

● 論文詳細情報

1. “A facile route to TiO₂ nanotube arrays for dye-sensitized solar cells”
P. Charoensirithavorn, Y. Ogomi, T. Sagawa, S. Hayase, and S. Yoshikawa, *Journal of Crystal Growth*, Vol. **311**, 757-759 (2009).
DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2008.09.092
2. “Effects of Electrode Structure on Photoelectrochemical Properties of ZnO Electrodes Modified with Porphyrin-Fullerene Composite Layers with an Intervening Fullerene Monolayer”
H. Hayashi, A. Kira, T. Umeyama, Y. Matano, P. Charoensirithavorn, T. Sagawa, S. Yoshikawa, N. V. Tkachenko, Helge Lemmetyinen, and Hiroshi Imahori, *The Journal of Physical Chemistry C*, Vol. **113**, 10819-10828 (2009).
DOI: 10.1021/jp902623g
3. “Low Temperature Hydrothermal Synthesis of Monodispersed Flower-Like Titanate Nanosheet”
J. Jitputti, T. Rattanaoravipa, S. Chuangchote, S. Pavasupree, Y. Suzuki, S. Yoshikawa *Catalysis Communication*, Vol. **10**, Issue 4, pp. 378-382 (2009).
DOI: 10.1016/j.catcom.2008.09.026
4. “Hybrid Bulk Heterojunction Solar Cells with Anatase Titanium Dioxide Nanotubes Arrays from Liquid Phase Deposition Using ZnO Template”
T. Rattanaoravipa, T. Sagawa, S. Yoshikawa
ECS Transactions, Vol. **16**, Issue 33, pp. 11-15 (2009).
DOI: 10.1149/1.3115517
5. “Fine-Tuning of TiO₂ Nanofibers-Mixed Nanoparticles-Photoelectrode for High Efficient Dye-Sensitized Solar Cells”
S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa
ECS Transactions, Vol. **16**, Issue 33, pp. 21-26 (2009).
DOI: 10.1149/1.3095823
6. “Chirally Self-Assembled Porphyrin Nanowires Assisted by L-Glutamide-Derived Lipid for Excitation Energy Transfer”
H. Jintoku, T. Sagawa, M. Takafuji, H. Ihara

- Organic & Biomolecular Chemistry*, Vol. **7**, Issue 11, pp. 2430-2434 (2009).
DOI: 10.1039/b818358a
7. “Photocatalytic Activity for Hydrogen Evolution of Electrospun TiO₂ Nanofibers”
S. Chuangchote, J. Jitputti, T. Sagawa, S. Yoshikawa
ACS Applied Materials & Interfaces, Vol. **1**, No. 5, pp. 1140-1143 (2009).
DOI: 10.1021/am9001474
 8. “Electrochemiluminescence Devices Consisting of ZnO Nanorods Vertically Grown on Substrate”
T. Tanaka, H. Takishita, T. Sagawa, S. Yoshikawa, S. Hayase
Chemistry Letters, Vol. **38**, No.7, pp. 742-743 (2009).
DOI: 10.1246/cl.2009.742
 9. “Electrospinning of Poly(vinyl pyrrolidone): Solvent Effects on Electrospinnability for Fabrication of Poly(*p*-phenylene vinylene) and TiO₂ Nanofibers”
S. Chuangchote, T. Sagawa, S. Yoshikawa
Journal of Applied Polymer Science, Vol. **114**, No.5, pp. 2777-2791 (2009).
DOI: 10.1002/app.30637
 10. “Pd-Catalyzed Cross-Coupling Reactions of Pyridine Carboxylic Acid Chlorides with Alkylzinc Reagents”
T. Iwai, T. Nakai, M. Mihara, T. Ito, T. Mizuno, T. Ohno
Synlett, **7**, 1091-1094 (2009).
DOI: 10.1055/s-0028-1088113
 11. “Effect of Heat Treatment on Electron Transport Process in TiO₂ Nanotube Arrays Prepared through Liquid Phase Deposition for Dye-sensitized Solar Cells”,
P. Charoensirithavorn, Y. Ogomi, T. Sagawa, S. Hayase, and S. Yoshikawa,
Journal of The Electrochemical Society, **156** (11), H803-H807 (2009).
DOI: 10.1149/1.3211840
 12. “TiO₂ Rutile Nanorod Arrays Grown on FTO Substrate Using Amino Acid at a Low Temperature”
Y. Hayami, Y. Suzuki, T. Sagawa, S. Yoshikawa
Journal of Nanoscience and Nanotechnology, **10**, 2284-2291 (2010).
DOI: 10.1166/jnn.2010.1900
 13. “Versatile Chiroptics of Peptide-Induced Assemblies of Metalloporphyrins”
H. Jintoku, T. Sagawa, T. Sawada, M. Takafuji, H. Ihara
Organic & Biomolecular Chemistry, **8**, 1344-1350 (2010).
DOI: 10.1039/b920058d
 14. “One-Dimensional Nanostructure Arrays for Dye-sensitized Solar Cell”
P. Charoensirithavorn, T. Sagawa, S. Hayase, and S. Yoshikawa,
ASME - Journal of Solar Energy Engineering, in press.

15. “Improvement of Dye-Sensitized Solar Cell Through TiCl₄-Treated TiO₂ Nanotube Arrays”
P. Charoensirithavorn, Y. Ogomi, T. Sagawa, S. Hayase, and S. Yoshikawa
Journal of The Electrochemical Society, **157** (3) B354-B356 (2010).
DOI: 10.1149/1.3280229
16. “One-Dimensional Nanostructured Semiconducting Materials for Organic Photovoltaics”
T. Sagawa, S. Yoshikawa, H. Imahori
The Journal of Physical Chemistry Letters, Vol. **1**, 1020-1025 (2010).
DOI: 10.1021/jz100065u
17. “Solvent-Free Iron (III) Chloride-Catalyzed O-, S-, and N-Acylation under Mild Conditions”
M. Mihara, T. Nakai, T. Iwai, T. Ito, T. Ohno, T. Mizuno,
Synlett, **8**, 253-255 (2010).
DOI: 10.1055/s-0029-1219163
18. “Photooxidation of phenol derivatives using μ -(dihydroxo)dipalladium(II) bisporphyrin complex”
Y. Takao, T. Ohno, K. Moriwaki, F. Matsumoto, J. Setsune
J. Porphyrins and Phthalocyanines, **14**, 64-68 (2010).
DOI: 10.1142/S1088424610001799
19. “Investigation of Novel PCBM analogs containing Thienyl Groups for organic photovoltaic devices”
F. Matsumoto, K. Moriwaki, Y. Takao, T. Ohno
Synthetic Metals, available on line 5 March 2010.
DOI:10.1016/j.synthmet.2010.02.008

(4-2) 知財出願

- ① 平成21年度特許出願件数(国内 2件)
- ② CREST 研究期間累積件数(国内 3件)