

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22245021

研究課題名(和文) 開殻化合物を用いる新しい有機エレクトロニクスの発展

研究課題名(英文) Organic electronics using open-shell compounds

研究代表者

阿波賀 邦夫 (AWAGA, KUNIO)

名古屋大学・物質科学国際研究センター・教授

研究者番号：10202772

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,900,000円、(間接経費) 11,070,000円

研究成果の概要(和文)：有機伝導体・磁性体研究の成果が応用展開される有機エレクトロニクスを目指す一方、有機エレクトロニクスの駆動技術を利用して有機伝導体・磁性体研究の発展を目指した。その結果、(1)チアジラジカル薄膜に見出された巨大過渡光電流のメカニズムを解明し、この機構を利用して近赤外光の光電変換を達成した。(2)イオン液体と有機強構造薄膜を用いて電気二重層トランジスタを作製し、キャリア注入機構を分子論的に明らかにした。(3)強い配位能を有する有機アニオンラジカルを合成し、その金属錯体において高温弱強磁性などの特異な分子磁性を見出した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a win-win relation between the research on molecular conductors/magnets and organic electronics. (1) The transient photocurrent of organic photocells was successfully interpreted in terms of cooperative phenomena between surface charge separation and bulk polarization. By using this guiding principle, effective optoelectronic conversion for NIR light was realized. (2) We studied the electric-double-layer (EDL) organic transistors with ionic liquids, using organic robust thin films. The transistor threshold voltages for carrier injections were found to be governed by the anion species of the ionic liquids. (3) We synthesized the novel anion radicals with strong coordination ability. The structural analysis and magnetic measurements for their metal salts, revealed multi-dimensional network structures and unusual magnetic properties such as high-temperature weak ferromagnetism.

研究分野：物性化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物性化学

キーワード：有機エレクトロニクス 有機半導体 有機ラジカル 光電流変換 電気二重層トランジスタ 分子磁性

1. 研究開始当初の背景

1950年代の有機半導体の発見に端を発する分子物性研究だが、マクロの物性とミクロの分子電子構造の相関を、結晶構造を介して精緻に理解することによって、有機超伝導体や強磁性体の発見という輝かしい成果がもたらされた。その一方、近年、有機エレクトロニクスへの関心が急速に高まり、トランジスタ機能や非線形電気伝導など、実際に役立つ物性としての有機半導体特性が再認識されている。しかしその研究開始時においては、無機半導体エレクトロニクスの作動機構がそのまま有機系にコピーされたようなものが多く、有機系の特長を活かしたものではない。そのため、有機物の弱点である移動度の低さや不安定性がその発展を妨げていた。そのため、「有機伝導体・磁性体」の研究蓄積が素直に応用展開された「有機エレクトロニクス」が志向されていた一方、「有機エレクトロニクス」の駆動技術を利用・発展させて新しい「有機伝導体・磁性体」の展開を目指す試みが期待されていた。

2. 研究の目的

本研究は、「有機伝導体・磁性体」「有機エレクトロニクス」の双方向性の研究を最大の特長とし、「有機伝導体・磁性体」の研究が素直に応用展開される「有機エレクトロニクス」を目指す一方、「有機エレクトロニクス」の駆動技術を発展させ、それを利用して新しい「有機伝導体・磁性体」の展開を目指す。

我々は、強く多次元的な分子間相互作用を求めて環状チアジラジカルなどの研究を推進してきたが、この系のラジカルは、1/2-filled などの金属的なバンド構造が予想されるにもかかわらず、2 量化や電荷秩序状態の形成によって常に絶縁化する。本研究では、強相関有機ラジカルがつくる絶縁体基底状態を物性発現の新しい舞台と捉え、ここに積極的に電荷注入や光照射を行うことにより隠された高伝導性を復活させることによって、新しい有機エレクトロニクスの発展を模索した。その一方、有機エレクトロニクスの方法論を「有機伝導体・磁性体研究」に持ちこむことによって、連続的なバンドフィリング制御などが可能となる。これまでは新しい化合物合成を通じてのみ実現されたバンドフィリング制御だが、トランジスタ構造をつくり込んでのゲート電圧制御や、固体電気化学による電位制御によって伝導性や磁気的性質の制御を試みたるなど、基礎と応用が一体となった取り組みを行った。

3. 研究の方法

「有機伝導体・磁性体」と「有機エレクトロニクス」に関する Win-Win の研究成果を得るため、以下の3課題について研究を行った。
(1) 有機光電セルに現れる巨大過渡光電流の

機構解明とその応用。これは、パイエルス相を基底状態にもつチアジラジカル BDTDA に見出された巨大過渡光電流のメカニズムを解明したうえで一般化し、光通信などへの応用を目指した。**(2) 固体電気化学の手法を利用した有機エレクトロニクスの発展。**イオン液体を利用した電気2重層トランジスタや電気化学ドーピングの手法を確立し、その特性を高めるための指導原理を獲得した。**(3) 新しい強相関アニオンラジカル分子系の合成。**強い電子相関をもつアニオンラジカル分子系を合成し、構造解析や基礎物性解析を行った。

4. 研究成果

以下、3テーマごとにその成果を説明する。

(1) 有機光電セルに現れる巨大過渡光電流の機構解明とその応用。

本研究項目の発端となった、有機ラジカル BDTDA (4,4-bis(1,2,3,5-dithiadiazolyl)) 薄膜を用いた [ITO | BDTDA | Al] セルの過渡電流について解析研究を進めた。すなわち、このセルの電流 - 電圧曲線、キャパシタンス - 電圧曲線の測定から、電荷分離は ITO 電極界面で生じること、BDTDA の絶縁性からスペースチャージがしやすいことを結論した。この実験結果に基づき、電極界面での電荷分離と、薄膜内部の絶縁分極を仮定しながら、過渡光電流の時間依存性を分極電流として定式化することに成功した。

$$J(t) = \frac{\xi}{(\tau - RC)} \left(e^{-\frac{t}{\tau}} - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (1)$$

ただし、 $\xi = \varepsilon_0 \varepsilon_i^2 d_a V / d_i (d_i \varepsilon_a + d_a \varepsilon_i)$ および $\tau = \varepsilon_0 (d_i \varepsilon_a + d_a \varepsilon_i) / d_i \sigma_a^*$ で、 ε_i と ε_a は内部と界面の誘電率、 σ_a^* は界面の光伝導度、 RC は回路定数である。このモデルにより、過渡光電流を定量的に説明することに成功した。このメカニズムは、有機エレクトロニクスの弱点である、有機物の低い移動度や電荷変位が問題とならず、逆に高効率の光電流変換をもたらすことを明らかにした。また式(1)を見ると、 $J(t)$ はパラメータ ξ に比例し、またこれは薄膜内部の誘電率 ε_i の増大に伴って、大きくなる。これは、[電極1 | 電荷分離層 | 絶縁分極層 | 電極2] なる2層膜セルへの発展を促すものとなった。

過渡電流生成に特化した有機光学セルとして、上記の二層膜構造を提案した。構造は複雑化するものの、絶縁層と電荷分離層を別々に選定することによって、過渡光電流の発生を最適化できる利点大きい。電荷分離層として効率的な電荷分離が既に知られている ZnPc と C60 の共蒸着膜、絶縁分極層として有機ポリマー PVDF とすることにより、予想通り BDTDA のものに匹敵する大きな過渡電流や交流電流を観測した。また絶縁分極層の物質を取りかえて誘電率を制御するこ

とによって、過渡光電流の大きさを2ケタ以上変化させることに成功した(国際特許出願)。

さらに本研究では、絶縁分極層の誘電特性がもたらす電荷分離や過渡光電流を明らかにするため、絶縁分極層として有機強誘電体を用いてその効果を調べた。このような強誘電体に蓄積された電場に基づく光電流変換は、薄膜型有機太陽電池の効率向上のために提案されているものの、詳細な研究例はない。本研究では、[電極 | 電荷分離層 | 有機強誘電体 | 電荷分離層 | 電極]として[Al | CuPc | P(VDF-TrFE) | CuPc | Al]なる左右対称の構造をもつ光電セルをつくり、有機強誘電体の電気双極子のみがつくる電場に起因する光電変換特性を調べた。光照射前の電流-電圧(J - V)曲線測定によって、CuPc層の厚さ $d_s=60$ nmとしても、20 V以上を印加することによって強誘電層を分極させることができることが分かった。CuPc層の外側には正と負電荷が存在することから、ここには10 MV/mにも達する巨大電場が予想される。当然ながら、このCuPc層での電荷分離を促進するはずである。分極の向きを変えながら光照射を行ったところ、分極の向きに依存した過渡光電流が得られた。過渡光電流のピーク値から、光応答度として0.1 mA/Wを見積もることができる。強誘電体に蓄積された電場に基づく光電流変換について、新機軸を打ち出すことができた。

(2) 固体電気化学の手法を利用した有機エレクトロニクスの発展。

近年、有機太陽電池や有機トランジスタなどに代表される有機エレクトロニクスに注目が集まっている。その中でも電気二重層トランジスタは、電解質溶液中に生じる電気二重層がつくる強電場を利用することによって、低電圧駆動などの利点が期待されているが、有機物には一般に電解質溶液への溶解性という難点があり、その研究は限定されていた。本研究では、強いvan der Waals相互作用や静電的相互作用によって強構造を有する薄膜を半導体層に用いることで、有機物の電気二重層トランジスタを作製し、固体酸化還元電位とトランジスタの閾値電圧の相関、移動度や閾値電圧に対するイオン液体の効果などを分子論的に解明した。

有機半導体として、サルフラワーと呼ばれる octathio[8]circulene やポルフィラジン骨格を有する phthalocyanine (Pc) 及び tetrakis-(thiadiazole)porphyrazine (TTDPz) を用いた。サルフラワーは2006年に発表された8角形の美しい分子だが、その構造や基礎物性は未定のままにされていた。本研究ではサルフラワーの単結晶育成と結晶構造解析を行い、その平面性と十分な芳香族性を明らかにした。さらに、サルフラワーの薄膜作製に成功し、高い配向性と結晶性を持つことを見出した。電気化学や化学ドーピングによって電子物

性の解明を行い、p型半導体であることを明らかにするとともに、この分子の安定性と不溶性を利用し、イオン液体を用いた電気二重層トランジスタを作製し、高い性能を得ることができた。

イオン液体を変えながら、サルフラワーやポルフィラジンの強構造薄膜を用いて、電気化学セルと電気二重層トランジスタを系統的に作製した。その結果、電気二重層からのキャリア注入は、対イオンの膜内侵入を伴う電気化学的酸化電位より低電位で生じることを突き止め、その差を定量的に決定した。さらに、トランジスタ閾値電圧はイオン液体の自然電位で説明される一方、参照電極から測定したキャリア注入電位は、イオン液体のアニオンのサイズや分極率に支配されることを見出した。すなわち、分極が大きくサイズの小さなアニオン分子が、ホールとより安定な電気二重層をつくり、キャリア注入電位を軽減する。さらに、イオン液体の静電容量が増大するとともに、半導体移動度の減少を見出したが、これはイオン液体のつくる強い電場によってホール移動が阻害されたためと結論付けた。

その他、有機エレクトロニクスへの展開を考え、二酸化ケイ素とイオン液体によるデュアルゲート構造を作製し、移動度を大きく引き上げるとともに、電気二重層トランジスタの欠点である低い on/off 比を克服した。また、n型とp型の有機半導体を組み合わせ、すべての電極が同一基板上にプリントさせた基板をイオン液体ゲルで覆うことによって20 Hzまで応答するインバータ駆動を実現し、フレキシブル有機エレクトロニクスへの道を拓いた。

さらに、この研究項目(2)と、先の研究項目(1)を結びつける研究も行った。すなわち、絶縁分極層にイオン液体をもちいて、過渡光電流を巨大化する試みを行った。絶縁分極層をイオン液体 DEME-TFSI とし、電荷分離層を ZnPc•C₆₀ として光電セルを作製した。[ITO | ZnPc•C₆₀ | DEME-TFSI | Al]セルは、これまでの固体絶縁分極層をもつ光電セルに対して、10倍程度の大きさの過渡電流を発生した。これを、透明電極を有しない光電流変換についても研究した。通常は、電極2枚の間に電荷分離層と絶縁分極層を挟み込む構造をつくる。本研究では、イオン液体中の電荷二重層の形成は、電極間距離や電極の構造に依存しないという利点を利用して、二つの電極を同一基板上に配する構造を提案した。このような構造は、透明電極を必要としないばかりか、フレキシブルな有機光電セルへの発展の可能性がある。現在まで、このような構造の光電セルからも十分強い過渡光電流を取り出すことに成功しており、イオン液体依存性や温度変化など、イオン液体にアシストされる過渡光電流発生について、基礎データを蓄積している。

(3) 新しい強相関アニオンラジカル分子系の合成。

分子性伝導体や磁性体の研究が広範に行われ、超伝導や強磁性など、次々と新しい分子物性が見出された。もともとは低次元物性の宝庫ともいえる物質群だが、近年では、強く多次元的な分子間相互作用をもたらす分子種の開拓が盛んに行われ、強相関電子系としての特長をもつ系が見出されている。我々は、窒素と硫黄を含むヘテロ環化合物の示す多次元的なネットワーク構造と、それに基づく特異な物性の研究を続けているが、本研究では、配位子として広く用いられている1,10-フェナントロリン誘導体に1,2,5-チアジアゾール環を付加した[1,2,5]-thiadiazolo[3,4-f]-[1,10]phenanthroline (tdap)および、その1,1-ジオキシド体である[1,2,5]thiadiazolo[3,4-f][1,10]phenanthroline 1,1-dioxide (tdapO₂)を合成し、さらにこれらの錯体および分子間化合物を作製して構造と物性を調べた。tdapを配位子とし、この第一周期遷移金属錯体の合成と結晶化を行ったところ、14種類もの錯体の合成と単結晶構造解析に成功した。いずれの場合も、チアジアゾール環を介した分子間相互作用により、多彩な結晶構造を見出した。なかでも、スピנקロスオーバー転移を示す鉄錯体は、無置換のフェナントロリン錯体よりも100 K以上高温でスピン転移を示す。チアジアゾール環導入による高密度パッキングにより、低温相の低スピン状態が著しく安定化されることが分かった。tdapO₂は新規物質だが、電子吸引効果によって極めて良好なアクセプター性を有し、還元により安定なラジカルアニオン種を与える。tdapO₂を拡散法や電解法により還元することで9種類のラジカルアニオン塩の結晶化に成功した。単結晶X線構造解析の結果、アルカリ金属塩ではジオキシド部位とフェナントロリン部位が配位子として働く一方、またプロトンドナーが含まれる結晶では両部位がプロトンアクセプターとして作用する。このような配位結合と水素結合に加え、 π - π ラジカル間相互作用により常に多次元的なネットワーク構造を形成する。tdapO₂ラジカルアニオンと中性分子が交互に並んだ電荷秩序状態の形成やカゴメ格子など、特徴的な構造を見出す一方、ラジカル間の磁気的相互作用が、分子間配置の極めて微妙な違いによって、強磁性的にも反強磁性的にもなることが分かった。その結果、反強磁性や弱強磁性に転移する系も見出すことができた。

さらに本研究では、4つのチオフェン環が縮環したフェナジン誘導体の合成と物性測定も行った。フェナジン骨格が*o*-ジアミンと*o*-キノンから脱水縮合反応で容易に合成できることを利用し、チオフェン環上の硫黄原子の位置の違いやアルキル鎖の有無が異なる6つの誘導体が系統的に合成された。これらの分子はいずれも各種スペクトルにより構造同定が行われ、そのうちの4種においては

結晶構造が明らかにされた。さらに、対応するアントラセン誘導体との比較や、理論計算に基づく解析から、硫黄原子の位置や窒素原子導入の効果が明らかにされた。これらの分子は電気化学測定からいずれも弱いドナー性をもつことが示され、アルキル鎖を持つ3種類の分子の薄膜はp型半導体特性を示すことが、電界効果トランジスタ素子の作成と測定を通じて明らかにされた。ホール移動度はいずれも $10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 程度と低い値であったが、単結晶試料へのヨウ素による化学ドーピングでは電導度が5桁上昇して $10^{-1} \text{ S cm}^{-1}$ に達し、分子性導体のビルディングブロックとしての有用性が示された。

本研究ではさらに、高いホール移動度やアルカリ金属ドーピングによる超伝導の発現から注目されている分子であるピセンについて、その骨格にチアジアゾールジオキシド部位を付加した化合物を合成した。結晶構造や電気化学物性ととも、比較的高い $10^{-4} \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ 程度のn型半導体特性が示された。さらに、安定なアニオンラジカル塩の調製にも成功し、EPRや磁化率の測定から分子上の不対電子の分布や結晶の磁気的挙動が明らかにされ、分子磁性体としての発展性も示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- [雑誌論文](抜粋計11件、合計44件)
- L. Hu, S. Dalgleish, M. M. Matsushita, H. Yoshikawa, and K. Awaga, Storage of an electric field for photocurrent generation in ferroelectric-functionalized organic devices, Nat. Commun., 査読有, 2014, 5, 4279/1-4279/8, DOI: 10.1038/ncomms4279
- Y. Xie, Y. Shuku, M. M. Matsushita, K. Awaga, Thiadiazole Dioxide-Fused Picene: Acceptor Ability, Anion Radical Formation, and n-Type Charge Transport Characteristics, Chem. Commun., 査読有, 2014, 50(32), 4178-4180, DOI: 10.1039/C3CC49500K
- Y. Shuku, R. Suizu, A. Domingo, C. J. Calzado, V. Robert, K. Awaga, Multidimensional Network Structures and Versatile Magnetic Properties of Intermolecular Compounds of a Radical-Anion Ligand, [1,2,5]Thiadiazolo[3,4-f][1,10]phenanthroline-1,1-Dioxid, Inorg. Chem., 査読有, 2013 52, 9921-9930, DOI: 10.1021/ic401078z
- H. Wang, S. Hamanaka, Y. Nishimoto, S. Irle, T. Yokoyama, H. Yoshikawa, and K. Awaga, In operando XAFS Studies of Polyoxometalate Molecular Cluter Batteries: Polyoxometalates as Electron Sponges, J.

Am. Chem. Soc., 査読有, 2012, 134, 4918–4924, DOI: 10.1021/ja2117206
S. Dalgleish, M. M. Matsushita, L. Hu, B. Li, H. Yoshikawa, and K. Awaga, Utilizing Photocurrent Transients for Dithiolene-Based Photodetection: Stepwise Improvements at Communications Relevant Wavelengths, J. Am. Chem. Soc., 査読有, 2012, 134, 12742–12750, DOI: 10.1021/ja304228c
T. Fujimoto, M.M. Matsushita, K. Awaga, Ionic-Liquid Component Dependence of Carrier Injection and Mobility for Electric-Double-Layer Organic Thin-Film Transistors, J. Phys. Chem. C, 査読有, 2012, 116, 5241–5246, DOI: 10.1021/jp2122642
Y. Miyoshi, T. Fujimoto, H. Yoshikawa, M.M. Matsushita, K. Awaga, T. Yamada, H. Ito, Photoconductivity and FET Performance of an n-Type Porphyrazine Semiconductor, Tetrakis(thiadiazole)porphyrazine, Organic Electronics, 査読有, 2011, 12, 239–243, DOI: 10.1016/j.orgel.2010.11.005
L.Hu, A. Iwasaki, R. Suizu, Y. Noda, B.Li, H. Yoshikawa, M. M. Matsushita, K. Awaga, and H.Ito, Effect of photoinduced charge displacement on organic optoelectronic conversion, Phys. Rev. B, 査読有, 2011, 84, 205329, DOI: 10.1103/PhysRevB.84.205329
Y. Shuku, R. Suizu, K. Awaga, Monovalent and Mixed-Valent Potassium Salts of [1,2,5]Thiadiazolo[3,4-f][1,10]phenanthroline 1,1-Dioxide: A Radical Anion for Multidimensional Network Structures, Inorg. Chem., 査読有, 2011, 50, 11859–11861, DOI: 10.1021/ic201506y
H. Wang, S. Hamanaka, T. Yokoyama, H. Yoshikawa, K. Awaga, In-situ XAFS Studies of Mn₁₂ Molecular-Cluster Batteries: Super-Reduced Mn₁₂ Clusters in Solid-State Electrochemistry, Chem. Asian J., 査読有, 2011, 6, 1074–1079, DOI: 10.1002/asia.201000782
L. Hu, Y. Noda, H. Ito, H. Kishida, A. Nakamura, K. Awaga, Optoelectronic conversion by polarization current, triggered by space charges at organic-based interfaces, Appl. Phys. Lett., 査読有, 2010, 96, 243303, DOI: 10.1063/1.3454915

〔学会発表〕(抜粋計 12 件、合計 52 件)

Kunio Awaga, Electron Transfer Processes in Highly-Correlated Electron Systems of Thiazyl Radicals, 7th Japanese- Russian International Workshop on Open Shell Compounds and Molecular Spin Devices, 2013.11.18, Awaji, Japan
Kunio Awaga, Organic Electronics Assisted by Ionic Liquids, International Workshop on

Organic Magneto-Optics, Magneto-Electronics, and Magneto-Thermoelectrics, 2013.10.26, Wuhan, China

Kunio Awaga, Electric-Double-Layer Interfaces Applied to Organic Electronics: Optoelectronic Conversion and Molecular Cluster Batteries, 11th International Conference on Materials Chemistry (MC11), 2013.7.10, University of Warwick, UK

Kunio Awaga, Molecular Magnetism of Redox Active Materials at Electrode Interfaces, 13th International Conference on Molecule-based Magnets, 2012.10.10, Orlando, USA

Kunio Awaga, Paramagnetic n-Type Transistors of Porphyrazine Compounds, 4th International Meeting on Spins in Organic Semiconductors, 2012.9.12, London, UK

Kunio Awaga, Electric-Double-Layer Interfaces For Organic Electronics: Opto-Electronic Conversion And Molecular Cluster Batteries, International Workshop on Novel Nanomagnetic and Multifunctional Materials 2012 (IW-NMM 2012), 2012.6.13, Jeju, Korea

Kunio Awaga, Rechargeable Molecular Cluster Batteries, GRI Symposium III on Cluster Science -Functionality of Clusters, 2012.2.1, Nagoya, Japan

Kunio Awaga, Application of Nano-Interfaces of Molecular Spins toward Organic Electronics, 田村記念シンポジウム, 2011.12.4, Osaka, Japan

Kunio Awaga, Anomalous Transient Photocurrent in Organic Photocells, International Photonics and OptoElectronics Meetings (POEM2011), 2011.11.3, Wuhan, China

Kunio Awaga, Optical and electrical responses of organic radical materials, Pacificchem 2010 Congress, 2010,12,21, Honolulu, Hawaii

阿波賀 邦夫、ナノラジカル界面を利用した有機/分子エレクトロニクス、電子スピサイエンス学会, 2010年11月12日, 名古屋

Kunio Awaga, Optoelectric Conversion by Organic Radical Photocells, 10th Japan-China joint Symposium on Conduction and Photoconduction in Organics Solids and Related Phenomena, 2010.10.19, Kyoto, Japan

〔図書〕(計 4 件)

Yoshiaki Shuku, Kunio Awaga, Molecules, Transition metal complexes and radical anion salts of 1,10-phenanthroline derivatives annulated with a 1,2,5-thiadiazole and 1,2,5-thiadiazole 1,1-dioxide moiety:

multidimensional crystal structures and various magnetic properties, 2014, 19(1), 609-640
Simon Dalglish and Kunio Awaga, Electrochemical Organic Electronics Based on Robust Thin-Films of Porphyrines, Handbook of Porphyrin Science – with Application to Chemistry, Physics, Materials Science, Engineering, Biology and Medicine, 2012, 213-238
阿波賀 邦夫、小谷 正博、横山 利彦、東京化学同人、大学院講義 物理化学第2版 . 固体の化学と物性、2012、1-301
阿波賀 邦夫、未来材料、ナノラジカル界面からの電子機能発現、2011、30-35

〔産業財産権〕
出願状況（計5件）

名称：電気二重層コンデンサ
発明者：阿波賀邦夫、吉川浩史、佐藤正春
権利者：同上
種類：特許
番号：特許願 2012-207080
出願年月日：24年9月20日
国内外の別：国内

名称：光電変換素子、及び光電変換装置
発明者：阿波賀邦夫、Hu Laigui、李博、佐藤正春
権利者：同上
種類：特許
番号：特許願 2012-089604
出願年月日：24年4月10日
国内外の別：国内

名称：組成物、及び二次電池
発明者：阿波賀邦夫、吉川浩史、信原一敬、上村光浩
権利者：同上
種類：特許
番号：特許願 2012-013261
出願年月日：24年1月25日
国内外の別：国内

名称：Organic photoelectric conversion device and imaging device
発明者：阿波賀邦夫、Hu Laigui、伊東裕
権利者：同上
種類：特許
番号：PCT/JP2011/001500
取得年月日：23年3月15日
国内外の別：国際

名称：Photoelectric conversion element and photoelectric conversion device
発明者：阿波賀邦夫、Hu Laigui、佐藤正春
権利者：同上

種類：特許
番号：PCT/JP2010/069493
取得年月日：22年11月2日
国内外の別：国際

取得状況（計2件）

名称：Organic photoelectric conversion device and imaging device
発明者：阿波賀邦夫、Hu Laigui、伊東裕
権利者：同上
種類：特許
番号：PCT/JP2011/001500
取得年月日：23年9月22日
国内外の別：国際

名称：Photoelectric conversion element and photoelectric conversion device
発明者：阿波賀邦夫、Hu Laigui、佐藤正春
権利者：同上
種類：特許
番号：PCT/JP2010/069493
取得年月日：23年5月5日
国内外の別：国際

〔その他〕
ホームページ等
<http://advmat.chem.nagoya-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

阿波賀 邦夫 (AWAGA KUNIO)
名古屋大学・物質科学国際研究センター・教授
研究者番号：10202772

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者

松下 未知雄 (MATSUSHITA MICHIO)
名古屋大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：80295477
吉川 浩史 (YOSHIKAWA HIROFUMI)
名古屋大学・大学院理学研究科・助授
研究者番号：60397453