

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：24403

研究種目：新学術領域研究(研究領域提案型)

研究期間：2012～2016

課題番号：24102011

研究課題名(和文) 元素ブロック高分子の物性評価、デバイスシミュレーションによる光電デバイス開発

研究課題名(英文) Optical and electrical characterization of element-block polymers, and development of opto-electronic devices based on the polymers using device simulation

研究代表者

内藤 裕義(Naito, Hiroyoshi)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90172254

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 32,300,000円

研究成果の概要(和文)：Eu錯体高分子、化学修飾したグラフェンナノドットなどの元素ブロック材料の光・電子物性を評価した。トップゲート構造有機トランジスタでは、チャネルとなる半導体表面に高秩序構造が形成され、高い移動度が発現することを示した。多結晶有機半導体で $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ の電界効果移動度を実現した。有機発光ダイオードではフレキシブルデバイスで重要となる逆構造有機発光ダイオードの動作機構を明らかにした。有機太陽電池では電力変換効率最適化においてデバイスシミュレーションの有用性を示した。インピーダンス分光により有機半導体の電荷輸送特性を特徴付ける物理量(移動度、寿命、局在準位)が同時測定できる手法を提案した。

研究成果の概要(英文)：Optical and electronic properties of element block materials such as Eu complex polymers and chemically-modified graphene nanodots have been studied. It has been shown that high mobility observed in organic field transistors with top-gate configuration is due to highly-ordered structures spontaneously formed at organic-semiconductor surfaces. Field-effect mobility of $10\text{ cm}^2/\text{Vs}$ has been observed in the organic transistors based on a polycrystalline organic semiconductor. Device operation mechanisms have been elucidated in inverted organic light-emitting diodes that play an essential role as display devices for flexible displays. The usefulness of device simulation for the prediction of optimum thickness of bulk heterojunction of organic solar cells has been demonstrated. A method for simultaneous determination of drift mobility, lifetime and localized-state distribution characterizing transport properties of organic semiconductors, based on impedance spectroscopy, has been proposed.

研究分野：有機エレクトロニクス

キーワード：元素ブロック高分子 シミュレーション 有機太陽電池 有機発光ダイオード 有機トランジスタ 物性評価法 デバイス

1. 研究開始当初の背景

有機・無機ハイブリッドは、極めて簡単な塗布プロセスで様々な機能性を有する材料を製膜できる。ハイブリッドの有する機能性は、次世代フレキシブルデバイスに用いる材料あるいは作製プロセスに最適である。研究代表者は2000年ごろからA03班の松川公洋と共同で、有機・無機ハイブリッドのエレクトロニクスおよびフォトニクス应用を手掛けてきた。最近では、以下のような成果を得ている。

●ゾル-ゲル法で成膜した poly(methyl silsesquioxane)(PMSQ)ゲート絶縁膜を開発し、他の塗布型ゲート絶縁膜と比較して高い絶縁抵抗、低い表面エネルギー、低い熱処理温度(～120℃)などを実証し、フレキシブルトランジスタ用ゲート絶縁膜を実現した(この成果に対し半導体理工学研究所 共同研究賞受賞)

●疎水性基板上でのフェニル基で化学修飾したシリカナノ粒子添加による bis(triisopropylsilylethynyl) pentacene (TIPS-pentacene)溶液のぬれ性向上および結晶性向上の発見。さらに、疎水性ゲート絶縁膜表面上に製膜し薄膜トランジスタを作製、その特性(閾値電圧)が向上し、移動度に大きな低下はないことを見出している

(International Display Workshop 2010で招待講演)。疎水性ゲート絶縁膜表面への有機半導体の塗布は、結晶性向上、電気的特性向上のため重要なプロセスである。この成果は、米国のグループ(Adv. Funct. Mater. 21, 3617 (2011))をはじめ国外のグループが追従している。

●低分子のみならず高分子有機半導体においてもシリカナノ粒子添加によるぬれ性、結晶性の向上、トランジスタ特性の向上を見出している。

●dioctylbenzothieno[3,2-b]benzothiophene (C8-BTBT)薄膜トランジスタで $5 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度の電界効果移動度を達成している。

このような結果から有機・無機ハイブリッドはエレクトロニクスおよびフォトニクス材料としてユニークで、かつ、優れた特性を有することを確信するに至った。しかし、非連続的な特性向上のためには、従来の概念の範疇では不可能である。そこで、無機元素ブロックに有機化学手法を取り入れ、元素ブロック高分子材料を創成し、さらに、高次構造や階層界面制御を行うことにより、従来の有機・無機ハイブリッドでは不可能であった革新的半導体デバイスの構築が可能になると思われた。

2. 研究の目的

本研究の対象とする元素ブロック高分子材料は、多彩な光、電子機能性を示すため、たいへんに興味深い光・電子材料である。ところが、有機合成研究者との密接な連携が必要なため、元素ブロック高分子の光・電子物

性、光電デバイス应用に関する研究はほとんど見当たらない。本研究では、典型元素、遷移金属元素や特異な元素間結合と有機骨格とを融合した元素ブロック、従来の有機化合物では達成できない機能を有する構造とサイズを精緻に制御した無機クラスター化合物に有機官能基を導入した元素ブロックを導入した元素ブロック高分子、領域代表者が既に開発したホウ素含有ブロック高分子を用いる。

元素ブロック高分子の光物性(屈折率、吸収、発光スペクトル、発光量子効率、励起状態構造、励起子束縛エネルギー、励起子拡散長など)、電子物性(ドリフト移動度、キャリア寿命、トラップレベルなど)を評価し、個々の元素ブロック高分子の特性を明らかにする。また、元素ブロック高分子における高次構造、階層界面制御にともなう光・電子物性への影響を把握し、物性制御法を確立する。さらに、発光素子、薄膜トランジスタ、太陽電池などの光電デバイスへ応用し、従来の有機光電デバイスを凌駕する高性能なデバイス特性を実証する。ここで実現する高性能光電デバイスは、フレキシブルで、低コスト、簡単な製膜プロセスで作製可能、さらには、低消費電力であるため、ユビキタスネットワーク社会、省エネルギー社会を実現するためにたいへん重要となる要素デバイスである。これら要素デバイスにより、具体例としては、プリンタブル集積回路、フレキシブル大面積ディスプレイ、フレキシブル太陽電池等が実現できる。

3. 研究の方法

下記の評価法により元素ブロック高分子の括弧内の物性を評価する。

- ・光吸収スペクトル、蛍光スペクトル(光的エネルギーギャップ、発光量子効率)
- ・time-of-flight 過渡光電流(キャリア発生効率)
- ・インピーダンス分光(キャリアドリフト移動度、局在状態)
- ・光吸収の電場変調スペクトル(励起エネルギー構造、励起子束縛エネルギー)
- ・誘導吸収スペクトル(キャリア種の同定、キャリア寿命)
- ・電流-電圧測定(電気伝導度)

一連の物性評価により元素ブロック高分子の構成元素、高次構造、階層界面構造と光・電子物性の関連を明らかにし、構造と物性の相関を把握する。これにより、優れた特性を有する高分子骨格を設計でき、効率的な材料合成が可能になる。さらに、デバイス応用を念頭に物性評価を進める(例えば、高い発光効率、高いキャリア移動度を示す元素ブロック高分子は発光素子へ応用する等)。

元素ブロック高分子の構造と物性の相関を明らかにし、デバイス应用到に適した元素ブロック高分子の探索を進める。各デバイスに最適な元素ブロック高分子でデバイス作製

を行う。作製するデバイスは、発光素子、薄膜トランジスタ、太陽電池である。

本研究で作製する発光素子、薄膜トランジスタ、太陽電池のデバイス構造は、従来の有機デバイスと類似の構造を採用する。これにより、研究代表者が確立しているデバイス作製プロセスをそのまま用いることができる。印刷プロセスによりこれらのデバイスを構築し、それぞれのデバイスの特徴づける素子特性を評価する。発光素子では、電流-電圧特性、輝度-電圧特性を測定することにより発光効率（外部量子効率）を、薄膜トランジスタではトランジスタの伝達特性から電界効果移動度、太陽電池では、ソーラーシミュレータを用いて電力変換効率を測定する。なお、太陽電池では、ドナー性、アクセプター性元素ブロック高分子を合成し、混合することによりバルクヘテロ接合太陽電池を構成する。

研究代表者らが発展させてきたインピーダンス分光法（平成22年度有機EL討論会業績賞受賞）はデバイス構造で物性評価が可能で、しかもデバイスの等価回路を解析することによりデバイスの局所情報を得ることが可能である（例えば、元素ブロック高分子/電極界面、ドナー/アクセプター界面）。これらの情報を検討、整理し、元素ブロック高分子合成、デバイス作製にフィードバックすると同時に、デバイスシミュレーションにより効率的なデバイス設計を実現し、飛躍的なデバイス高性能化を可能にする。

4. 研究成果

(1) デバイスシミュレーションにより積層型有機発光ダイオードにおけるインピーダンス分光による移動度測定を吟味した。2層の積層型有機発光ダイオードで正孔オンリー素子を作製し、インピーダンススペクトルを測定したところ、一つの走行時間効果を観察した。デバイスシミュレーションによりインピーダンススペクトルを再現し、観測された走行時間効果は正孔移動度の小さい層の移動度によることを明らかにした。これにより積層型有機発光ダイオードでは、移動度の一番小さい層が伝導を支配していることを示せた。デバイスシミュレーションにより有機発光ダイオードの他、有機トランジスタ、有機太陽電池の動作特性を再現することも可能にした。

(2) トップゲート構造を用いることにより、簡便な作製プロセスで有機トランジスタの高性能化が可能であることを実証した。代表的な塗布型有機高分子半導体であるpoly(3-hexylthiophene) (P3HT) を用いてトップゲート型有機トランジスタの輸送特性を調べ、トップゲート構造でチャンネルとして働くP3HT薄膜表面では、基板の表面エネルギーの影響を受けずに高秩序自己凝集構造が形成され、高移動度が発現することを見出した。さらに、ゲートバイアスストレスに対

して、水素化アモルファスシリコン薄膜トランジスタを上回る高い動作安定性を示した。トップゲート構造を用いることで、塗れ性の良い基板を用いた簡便な作製プロセスにより高移動度、高動作安定性が実現可能であることを明らかにした。

(3) 異なるアルキル側鎖を有するpoly(3-alkylthiophene) (P3AT) を有するトップゲート型有機トランジスタは、P3ATのアルキル側鎖長およびゲート絶縁層の誘電率に依存せず、高移動度、高動作安定性を示すことが分かった。これらの結果から、塗布製膜の際に気液界面を形成するP3AT薄膜表面で、edge on配向を有する高秩序凝集構造が自発的に発現していることが分かった。すなわち、edge on配向することにより、絶縁性をもつアルキル側鎖が電荷輸送を阻害しないこと、ゲート絶縁材料の双極子モーメントに由来するクーロン相互作用が抑制されることが高性能化に寄与していることが分かった。

(4) 塗布型有機半導体を用いたトップゲート型有機トランジスタで発現する高い動作安定性の起源を明らかにした。多結晶相を示す高分子半導体P3HTおよび低分子半導体C8-BTBTを用いたトップゲート型有機トランジスタでは、チャンネルである半導体薄膜表面に高秩序自己凝集構造が形成され、高い移動度が発現した。これらの有機トランジスタとアモルファス相を示す高分子半導体poly[bis(4-phenyl)(2,4,6-trimethylphenyl)amine] (PTAA) を有するトップゲート型有機トランジスタは、いずれもゲートバイアスストレスに対して高い動作安定性を示した。その安定性は過去に報告された有機トランジスタ（そのほとんどがボトムゲート構造である）に比べて優れていることを示し、トップゲート構造の優位性を明らかにした。トップゲート型PTAA、P3HTおよびC8-BTBT有機トランジスタと過去に報告された有機トランジスタの特性を詳細に解析し、チャンネル領域に存在する深い局在準位密度と輸送特性、動作安定性の関係を調べた結果、深い局在準位は移動度に影響しないが、動作安定性を悪化させる要因になることを示した。高性能を有する有機半導体素子においても、深い局在準位への電荷の捕獲特性が、素子の信頼性に影響することを見出した。

(5) ソース、ドレイン電極が埋め込み電極構造（基板上に電極形成後も基板面が平坦）を有するトップゲート型有機トランジスタで、高移動度、高動作安定性に加えて低駆動電圧化も実現した（10V以下の有機トランジスタ駆動が可能となった）。埋め込み電極構造を有するトップゲート型有機トランジスタでは、通常型電極構造（平坦な基板上に電極形成。従って、電極形成後は電極が凸状になる）を有するトップゲート型有機トランジスタに比べ移動度も増大することを見出した。この原因をデバイスシミュレーションで調べた

ところ、凸状の電極段差部分に由来するゲート絶縁膜／有機半導体層界面段差に正孔が蓄積されることによりチャンネルに供給される正孔が制限される（接触抵抗が増大する）ためであることがわかった。

(6) 2,7-didodecyl[1]benzothieno[3,2-b][1]benzothiophene (C12-BTBT) を塗布製膜したトップゲート構造有機トランジスタにおいて、約 $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ の電界効果移動度を実現した。従来の高移動度有機トランジスタは単結晶であったが、塗布製膜した C12-BTBT は多結晶であるため、電界効果移動度や閾値電圧などの特性ばらつきを小さく抑えることができた。さらに、この移動度の値は IGZO (InGaZnO) と同程度で、塗布型有機半導体の将来性を示した成果である。

(7) 深い局在準位に関する情報を得る手段としてインピーダンス分光法に着目し、深い局在準位への捕獲に由来する電荷寿命を評価する手法を提案した。従来評価法では困難であった有機半導体素子に典型的な 100 nm 程度の半導体膜厚を有する素子の電荷寿命の評価が可能にした。デバイスシミュレーションにより本方法の有効性を示した後、正孔輸送材料からなる正孔オンリー素子の測定結果に適用し、電荷寿命を決定できることを実証した。これまでに提案してきたインピーダンス分光による電荷移動度、局在準位分布評価法に加え、本研究で提案した電荷寿命評価法を用いることにより、 100 nm 程度の膜厚を有する半導体素子において、電荷輸送を特徴付けるこれら三つの物理量を同時に評価することが可能となった。

(8) 帝人、理研と共同で、塗布型有機トランジスタに向けた可溶性 dinaphtho[2,3-b:2',3'-f]thieno[3,2-b]thiophene (DNNT) 前駆体を開発した。実際に SiO_2 上に有機トランジスタを構成し、 $1.1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ なる移動度を得、熱的にも電氣的にも安定であることを示した。

(9) 逆構造有機発光ダイオードは、ボトムエミッション型デバイスの場合、基板に製膜した透明導電膜が陰極となり、電極積層構造が従来の有機発光ダイオードとは逆になる。酸素、水分に大きく影響を受けない電子注入層（金属酸化物）を用いるため、強固な封止構造を必要としない利点がある。このためガラス基板に比べガスバリア性が劣るフレキシブル基板では、逆構造有機発光ダイオードが極めて重要となる。陰極である Al を添加した酸化亜鉛透明導電膜 (AZO) 上に電子注入層として polyethyleneimine (PEI) を有する逆構造有機発光ダイオードの作製、評価を行い、電子注入特性の改善を確認した。PEI の電子機能性として、励起子のブロック、正孔のブロック、AZO の表面状態のパッシベーションを見出し、逆構造有機発光ダイオードの高効率化には PEI が不可欠であることを示した。

(10) (9) の逆構造有機発光ダイオードの作製

過程で Write Once Read Many メモリ現象を見出した。素子構造は、Ga-doped ZnO (GZO)/N,N-dicarbazolyl-3,5-benzene (m-CP)/ MoO_3/Au で、電圧を印加することにより素子抵抗が不可逆的に低下することで書き込みができることを示し、Au の拡散によりこの低抵抗状態が生じることを明らかにした。

(11) A03 班の長谷川研究室と共同で、複数の Eu 錯体高分子の光物性を明らかにした。この Eu 錯体高分子を発光層に用いた有機発光ダイオードを作製し、Eu に特有な赤色発光スペクトルを観察した。

(12) A01 班の大下研究室と共同で、disilanobithiophene and dithienyl benzothiadiazole (pDSBT-BHTBT)、[6,6]-phenyl C_{71} butyric acid methyl ester (PC₇₁BM) のバルクヘテロ接合有機太陽電池の作製と評価を行った。太陽電池構造を最適化した結果、電力変換効率 3.76% を得た。太陽電池の移動度のバランスを調べるため、このバルクヘテロ接合により有機トランジスタを作製し、電子、正孔移動度を評価した。その結果、正孔移動度は電子移動度の 4.8 倍であることがわかった。同様な太陽電池特性評価を bis(disilanobithiophene)-benzothiadiazole (pDTBT2-BT) でも行い、最高電力効率 3.3% を得た。

(13) A02 班の灰野研究室、A01 班の中研究室と共同で、化学修飾したグラフェン量子ドットの大気中光電子分光によるイオン化ポテンシャル測定を行い、化学修飾したグラフェン量子ドットのエネルギー構造を決定した。

(14) 「新学術領域研究」感性性化学種が拓く新物質化学 A02 班 池田研究室と領域を越えた共同研究を行った。アルキル鎖長の異なる tetrathieno[2,3-a:3',2'-c:2'',3''-f:3''',2'''-h]naphthalene (2TTN) により有機トランジスタを作製し、正孔移動度を評価した。この結果、C6、C8、C10 とアルキル鎖が長くなるほど正孔移動度が減少することを見出した。この結果は、量子化学計算に基づく正孔移動度予測と一致しており、量子化学計算によりマクロな物理量である移動度が予想可能であることを示した。

(15) 有機発光ダイオード、有機太陽電池などの複注入ダイオードにおけるインピーダンススペクトルにおいて低周波数域で静電容量が負になる現象が知られていたが、これは、電子、正孔が同時に有機半導体に注入される複注入状態で、かつ、二分子再結合定数が Langevin 再結合定数より小さいときに観察されることを理論的に示した。この際の複素インピーダンスの表式を用い、低周波数域の複素インピーダンススペクトルから決定する手法を提案した。本手法の有効をデバイスシミュレーションにより示した後、逆構造有機発光ダイオード、および、有機太陽電池の二分子再結合定数を決定した。あわせて、複注入ダイオードにおけるインピーダンス

スペクトル測定により、電子・正孔移動度、二分子再結合定数、伝導帯端・価電子帯端からバンドギャップ中央に向けての裾準位が同時に測定できることを示し、いままでにはなかった有機半導体素子、輸送特性の評価法を構築できた。

(16) 有機太陽電池においてインピーダンス分光測定を行い、電子・正孔移動度を実際に動作している太陽電池で評価できることを示した。その結果、P3HT: [6, 6]-Phenyl-C61-butyric Acid Methyl Ester (PCBM) バルクヘテロ接合太陽電池では、移動度バランスは、電力変換効率に無関係であるが、Poly[[4, 8-bis[(2-ethylhexyl)oxy]benzo[1, 2-b:4, 5-b']dithiophene-2, 6-diyl][3-fluoro-2-[(2-ethylhexyl)carbonyl]thieno[3, 4-b]thiophenediyl]] (PTB7):PC₇₁BM バルクヘテロ接合太陽電池では、移動度バランスが向上すれば、電力変換効率が上昇することを見出した。これより電力変換効率は必ずしも移動度と密接な関係があるとは結論できないことが示された。

(17) 前述の A01 班の天下研究室の元素ブロック高分子を含む多様な有機太陽電池の開放起電力減衰を観察した。減衰過程は二分子再結合過程により支配されていることを実験、理論により示し、開放起電力減衰過程から二分子再結合定数を決定する手法を提案した。ここで求めた二分子再結合定数は上のインピーダンス分光により求めた二分子再結合定数と一致した。

(18) P3HT:PCBM バルクヘテロ接合太陽電池の太陽電池特性のバルクヘテロ層膜厚依存性を実験的に明らかにした。この結果、200 nm 付近で電力変換効率が最大になることを見出した。インピーダンス分光で得られた P3HT:PCBM バルクヘテロ接合太陽電池の輸送特性を入力としてデバイスシミュレーションを行ったところ、この最適膜厚が再現できた。これは、輸送特性が評価できれば、最適膜厚がデバイスシミュレーションにより予測できることを意味し、太陽電池電力変換効率の最適化を飛躍的に効率的にする手段を示すことができた。

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] (計 64 件)

1. Kobayashi, T.; Niwa, A.; Takaki, K.; Haseyama, S.; Nagase, T.; Goushi, K.; Adachi, C.; Naito, H., Contributions of a higher triplet excited state to the emission properties of a thermally activated delayed-fluorescence emitter, *Physical Review Applied* **2017**, 7, 034002 (10 pages)
2. Yamamoto, A.; Matsui, Y.; Asada, T.; Kumeda, M.; Takagi, K.; Suenaga, Y.; Nagae,

- K.; Ohta, E.; Sato, H.; Koseki, S.; Naito, H.; Ikeda, H., Amorphous Solid Simulation and Trial Fabrication of the Organic Field-Effect Transistor of Tetrathienonaphthalenes Prepared by Using Microflow Photochemical Reactions: A Theoretical Calculation-Inspired Investigation, *Journal of Organic Chemistry*, **2016**, 81, 3168 - 3176.

3. Sekiya, R.; Uemura, Y.; Naito, H.; Naka, K.; Haino, T., Chemical Functionalisation and Photoluminescence of Graphene Quantum Dots, *Chemistry - A European Journal*, **2016**, 22, 8198 - 8206.

4. Takagi, K.; Nagase, T.; Kobayashi, T.; Naito, H., High operational stability of solution-processed organic field-effect transistors with top-gate configuration, *Org. Electron.* **2016**, 32, 65-69.

5. Takagi, K.; Nagase, T.; Kobayashi, T.; Naito, H., Determination of deep trapping lifetime in organic semiconductors using impedance spectroscopy, *Appl. Phys. Lett.* **2016**, 108, 053305.

6. Hasegawa, Y.; Sugawara, T.; Nakanishi, T.; Kitagawa, Y.; Takada, M.; Niwa, A.; Naito, H.; Fushimi, K., Luminescent thin films composed of nanosized europium coordination polymers on glass electrodes, *ChemPlusChem* **2016**, 81, 187-193.

7. Takagi, K.; Abe, S.; Nagase, T.; Kobayashi, T.; Naito, H., Characterization of transport properties of organic semiconductors using impedance spectroscopy, *J. Mater. Sci.: Mater. Electron.* **2015**, 26, 4463-4474. [Invited Review]

8. Kimura, Y.; Nagase, T.; Kobayashi, T.; Hamaguchi, A.; Ikeda, Y.; Shiro, T.; Takimiya, K.; Naito, H., Soluble organic semiconductor precursor with specific phase separation for high-performance printed organic transistors, *Adv. Mater.* **2015**, 27, 727-732.

9. Niwa, A.; Kobayashi, T.; Nagase, T.; Goushi, K.; Adachi, C.; Naito, H., Temperature dependence of photoluminescence properties in a thermally activated delayed fluorescence emitter, *Appl. Phys. Lett.* **2014**, 104, 213303.

10. Kushida, T.; Nagase, T.; Naito, H., Angular distribution of field-effect mobility in oriented poly[5,50-bis(3-dodecyl-2-thienyl)-2,20-bithiophene] fabricated by roll-transfer printing, *Appl. Phys. Lett.* **2014**, 104, 093304.

11. Takagi, K.; Nagase, T.; Kobayashi, T.; Naito, H., High performance top-gate field-effect transistors based on poly(3-hexylthiophene) with different

alkyl chain lengths, Org. Electron. **2014**, 15, 372-377.

12. Ishihara, S.; Hase, H.; Okachi, T.; Naito, H., Simulation of impedance spectra of double-layer organic light-emitting diodes for the determination of hole drift mobility of NPB/Alq3 diodes by means of impedance spectroscopy, Phys. Status Solidi **2012**, C 9, 2561-2564.

13. Matsukawa, K.; Watanabe, M.; Hamada, T.; Nagase, T.; Naito, H., Polysilsesquioxanes for gate insulating materials of organic thin-film transistors, International Journal of Polymer Science **2012**, 2012, 852063 (10 pages).

[学会発表] (計 360 件)

1. Naito, H., Characterization of metal oxides/polyethyleneimine/light-emitting polymer interface in inverted organic light-emitting diodes.

Material Research Society 2016 Spring Meeting, Phoenix, Arizona, USA, 2016/4/1 (招待講演).

2. Naito, H., High Performance of Solution-Processed Organic Field-Effect Transistors with Top-Gate Configuration. Asian Conference on Organic Electronics 2015, Beijing, China, 2015/10/30 (招待講演).

3. Naito, H.; Kobayashi, T.; Goushi, K.; Adachi, C., Temperature dependence of photoluminescence unique to a thermally activated delayed fluorescence emitter for highly efficient organic light-emitting diodes.

6th International Conference on Optical, Optoelectronic and Photonic Materials and Applications, Leeds, UK, 2014/7/29 (招待講演).

4. Kobayashi, T.; Nagase, T.; Naito, H., Photocarrier recombination kinetics in a bulk heterojunction solar cell studied by a frequency-domain measurement.

The 25th International Conference on Amorphous and Nano-crystalline Semiconductors, Toronto, Canada, 2013/8/22 (招待講演).

5. Naito, H., Impedance Spectroscopy for Characterization of Organic Light-emitting Diodes and Organic Solar Cells,

9th International Symposium on Electrochemical Impedance Spectroscopy, Okinawa, Japan, 2013/6/19 (基調講演).

6. Naito, H.; Kobayashi, T.; Nagase, T., Dielectric and Photoinduced Absorption Spectroscopies for Characterization of Organic Photovoltaic Devices.

2012 International Conference on Solid

State Devices and Materials, Kyoto, Japan, 2012/9/26 (招待講演)

[図書] (計 7 件)

1. 内藤裕義 有機太陽電池の太陽電池特性と電子物性、監修：中條善樹、元素ブロック材料の創出と応用展開、シーエムシー出版、2016.

[産業財産権]

○出願状況 (計 2 件)

名称：Eu 錯体及び有機 EL 素子

発明者：長谷川靖哉、名取詩織、中西貴之、北川裕一、伏見公志、赤木 努、内藤裕義、福留 淳

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2016-170553 号

出願年月日：2016 年 8 月 31 日

国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://pe3.pe.osakafu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内藤 裕義 (NAITO, Hiroyoshi)

大阪府立大学 工学研究科・教授

研究者番号：90172254

(2) 研究分担者

小林 隆史 (KOBAYASHI, Takashi)

大阪府立大学 工学研究科・

准教授

研究者番号：10342784

永瀬 隆 (NAGASE, Takashi)

大阪府立大学 工学研究科・

准教授

研究者番号：00399536