

令和 4 年 6 月 10 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01473

研究課題名(和文)有機デバイスの動作機構解明に向けた新奇なオペランド測定による実動作解析

研究課題名(英文)Operand measurements for evaluating and analyzing organic device operation

研究代表者

間中 孝彰 (Manaka, Takaaki)

東京工業大学・工学院・教授

研究者番号：20323800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年性能の向上が著しい有機ELなどの有機半導体デバイスにおいて、依然としてデバイスの動作機構などの基礎的理解が進んでいない部分もある。我々は、光学的な手法を用いて、電子デバイスを評価する新しい手法を開発し、これらを用いたデバイスの動作評価を行っている。その成果として、有機半導体材料における一般化されたアインシュタインの関係の評価や、有機トランジスタ中のキャリア輸送機構、有機太陽電池における励起子からのキャリア生成過程などを評価することができた。また、直接観測ができない電界の三次元的な情報を可視化するための顕微鏡を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機半導体デバイスは、軽量や安価、柔軟性などの特徴を持ち、実用化されれば我々の生活を豊かにすることが期待される。一方、現状では、有機EL以外のデバイスは実用化させておらず、今後有機トランジスタや有機単葉電池の実用化が待たれている。本研究で提案している測定手法は、これらデバイスの実用化に不可欠となる、デバイスの動作機構解明に関する情報を与えてくれるため、デバイスの実用化に貢献することができる。

研究成果の概要(英文)：In organic semiconductor devices such as organic light emitting diodes (OLEDs), the performance of which has been remarkably improved in recent years, there are still fundamental aspects of device operation mechanisms that are not well understood. We have developed new methods to evaluate electronic devices using optical techniques and have been evaluating device operation using these methods. This is called operando measurement. As a result, we were able to evaluate the generalized Einstein relationship in organic semiconductor materials, the carrier transport mechanism in organic transistors, and the carrier generation process from excitons in organic solar cells. We also constructed a novel microscope to visualize three-dimensional information of electric fields, which cannot be directly observed.

研究分野：有機エレクトロニクス

キーワード：有機デバイス 光第二次高調波発生

1. 研究開始当初の背景

環境負荷が少ない次世代デバイスとして、有機太陽電池や有機発光素子や有機薄膜トランジスタなどの有機デバイスが注目されている。これまで有機 EL 素子が実用化され、有機 FET や太陽電池が次なるターゲットとして研究が盛んに行われているが、アプリケーション寄りの研究や、移動度や動作電圧など数値目標の達成に重点をおいた研究に終始している場合が多い。デバイス研究において、応用を見据えた研究の重要性は疑う余地がないが、現状行われている研究は試行錯誤的な要素が強く、学術的に見劣りがする。また、このままでは有機材料が次世代エレクトロニクスで活躍するためのブレークスルーは望めない。

これまで、デバイスの動作原理など、基本的課題に対する研究が乏しかった一因には、複雑な素子動作がある。例えば、有機太陽電池においては、光吸収による励起子発生がトリガーとなり、励起子の拡散と分離によって電荷が生成される。この電荷が材料中を輸送され、電極から取り出される。このような一連の過程を同一素子で、連続的・系統的に観測する手法がなかったため、例えばデバイス中のキャリア輸送に着目しても、なかなか理解が進んでいないのが現状である。キャリアがどのように生成され、輸送を経て電極から取り出されるのかという基本的な問題を理解し、高効率な素子へつなげるシナリオが、有機デバイスの発展には不可欠であった。

一方、原子レベルでの物性評価や、高速現象を観測する時間分解技術、高エネルギー分解能を持つ分光評価など、近年の分析・評価技術は進展著しい。このような材料評価技術の最近の方向性は「見えないものの可視化」と「オペランド測定」であろう。前者はイメージング技術の発展とともに生命科学分野などで多用され、後者は特に電子デバイスにおいて期待されている技術である。もともと「オペランド測定」という言葉は、触媒を動作させながらラマン分光測定を行ったことが端緒となっており、電子デバイスでは電圧などの外場を加え、動的過程を観測することで、デバイスの動作機構や劣化メカニズムなどを明らかにすることを目的とした手法である。ある材料を用いてデバイスを作製した場合、材料単体とデバイス化した後では微妙に物性が異なり、さらに動作下にあるデバイスでは状態が異なってくる。そのため、最先端のデバイス開発においては、このような動作下にある測定（オペランド測定）が重要となっている。

2. 研究の目的

有機デバイスでは、標準的な無機半導体とは異なり有効なデバイスモデルが確立されておらず、従来手法で評価した結果を実デバイスに反映させることが困難である。そこで本研究では、このオペランド測定を実動作下にある有機デバイスに対して行い、「デバイス内部で何が起きているのか」を正確に把握したうえで、デバイスのモデル化につなげることを目的とする。その際、申請者らが培ってきた、過渡的に変化する電界分布の可視化技術やキャリアの可視化技術を活用して、研究を進めていく。具体的には、縦型素子として有機太陽電池（OPV）、横型素子として有機 FET（OFET）を選び、以下の項目に関して順次、必要に応じて並行して研究を進める。

- ・ オペランド蛍光減衰法による発光性有機半導体中のキャリア輸送評価
- ・ ポンププローブ SHG 法による有機太陽電池中の励起子およびキャリア挙動評価
- ・ 量子化学計算に基づく移動度計算とキャリア輸送のモデル化
- ・ 等価回路モデルとオペランド測定による評価との比較

申請者が提案した時間分解 SHG イメージングは、素子中を走行するキャリアを直接画像化できるだけでなく、注入過程も分離して同時計測可能なオペランド測定に最適な画期的手法である。蛍光減衰法に代表される「有機デバイス分光」という概念も、動作状態にある実デバイスに対する評価法として、他に類を見ない独創的なものである。通常の電氣的測定は、誘電率や導電率といったマクロな物理量を議論の対象としており、その分子論的な起源は得ることができない。一方で、分光測定では分子と電荷の相互作用にも着目するため、ミクロな情報が得られ、さらにはトラップ等のエネルギー的な情報もモデルに取り込むことが可能となる。申請者らは、キャリアの輸送機構を評価する適切な方法を唯一用いることができ、デバイスの動作機構解明や高効率化において重要な位置を占め、その波及効果は大きい。

3. 研究の方法

「サンプル作製」

本研究では、有機トランジスタおよび有機太陽電池を測定対象としている。トランジスタについては、蒸着法とスピコート、またはブレードコート法によって有機半導体層を製膜している。有機太陽電池については、蒸着法により二層積層型デバイスを作製し、スピコート法によりバルクヘテロ型のデバイスを作製した。用いている有機半導体材料は、有機トランジスタに対しては、ペンタセンおよび TIPS ペンタセン、有機太陽電池についてはフタロシアニンとフラーレン：C60（二層積層型）および、バルクヘテロ構造については、p 型の高分子半導体と、n 型のフラー

レン誘導体を用いた。

「オペランド測定系」

今回の研究の中心となるオペランド測定では、デバイスを動作させながら光学的な測定 (SHG, 電荷変調分光、PL イメージング) を行っている。そのため、いわゆる小型のプローパーシステムを構築し、これを光学系の中に組み込んでいる。また、真空化や温度可変測定ができるチャンパーも用意した。

SHG については、フェムト秒波長可変レーザシステムを用いた時間分解顕微 SHG 測定系を構築した。トランジスタに対しては従来のイメージング光学系でキャリア輸送等を可視化した。本測定系でも高感度冷却 CCD を用いて SHG を直接画像化する。SH 光は可視領域にあり、可視域で 90% 以上量子効率を有する裏面入射型の冷却 CCD を用いた。一方、有機ドナー/アクセプタ界面における励起子およびキャリアダイナミクス評価においては、45 度入射の SHG 測定、また三次元電界計測顕微鏡においては、デュアルビーム光学系によるイメージングを行った。そのほかにも、電荷変調イメージングや PL イメージング測定を行えるように設計した。なお、改良した時間分解顕微 SHG イメージング測定系に、電荷変調イメージングシステムを組み合わせた。電荷変調イメージングでは、電荷を注入している状態としていない状態において、チャンネル間からのそれぞれの反射像およびスペクトルを測定し、その差分を取ることで、変調量をイメージとして捉えた。これにより、SHG イメージングによる電界像と電荷変調イメージングによる電荷像をほぼ同時に同一サンプルから得ることができるようになる。

4. 研究成果

「時間分解光第二次高調波発生法を用いた有機ドナー/アクセプタ界面における励起子およびキャリアダイナミクス評価」

有機太陽電池では、光吸収によって発生した励起子がバルク中を拡散し、ドナー・アクセプタ界面で電子とホールに分離する。分離後のキャリアは、それぞれドナー層・アクセプタ層内を移動し、最終的に電流となる。この励起子発生から分離、キャリア生成といった発電の初期素過程を十分に理解することが重要であるが、これらは 10-14 秒から 10-9 秒程度の時間領域で生じる現象のため測定手法が限定される。例えば、励起素過程の研究では、時間分解過渡吸収分光などの超高速分光技術が用いられるが、キャリア発生を含めた現象を理解するのは困難である。ここでは、ポンプ・プローブ SHG 法を用いて、10-13 秒から 10-8 秒の時間領域で電界の過渡的变化を評価した。

まず、単層サンプルにおけるポンプ光照射と SHG 強度の関係を評価した。CuPc および C60 薄膜は分子が反転対称性を有するものの、高次の寄与による SHG が観測される。図 2 は CuPc および C60 の膜厚が 10 nm の単層サンプルにおける測定結果である。CuPc 単層素子では、ポンプ光照射直後から SHG 強度が大きく減少し、その後はほぼ一定の値となった。これは CuPc 分子がポンプ光を吸収したことによる光退色 (フォトリチング) を表している。言い換えれば、CuPc 層内の分子がポンプ光吸収により励起状態に遷移することで基底状態の分子数が減少し、結果として SHG 強度が減少する。よって、この SHG の減少は励起子の生成を意味する。また、1.5 ns 程度までは減少したままであることから、励起状態の寿命は 1.5 ns よりも十分に長いことがわかる。一方で、C60 においてはポンプ光を照射しても SHG の減少が見られず、このことはポンプ光

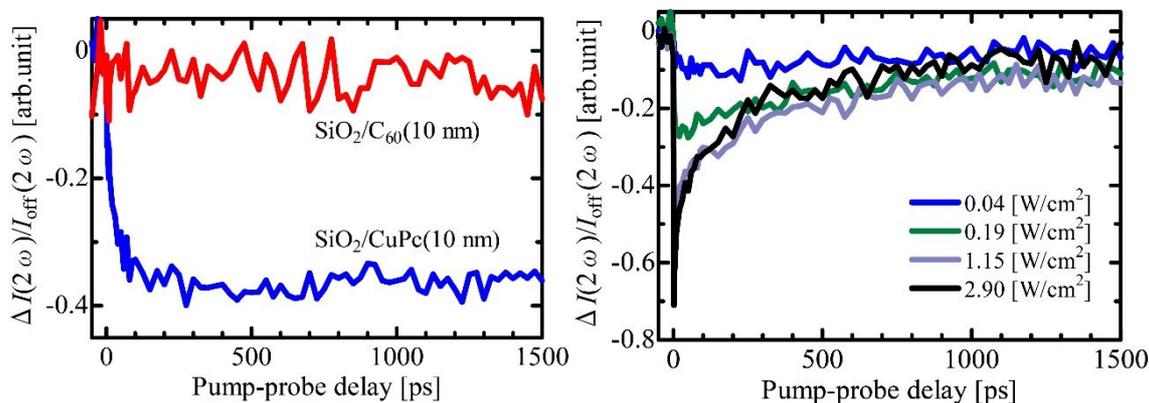


図 1 単層サンプルにおけるポンプ光照射と SHG 強度の関係 (左図) および CuPc および C60 の膜厚が 10 nm の単層サンプルにおける測定結果 (右図)

が CuPc 層のみを励起できていることを示している。続いて、積層サンプル SiO₂/C60(10 nm)/CuPc(5 nm)における測定結果を図 3 に示す。ポンプ光強度 0.04 W/cm² (青線)の結果では、

図2で示した結果と同様、数ピコ秒でのSHGの減少がみられ、励起子の生成が確認できるが、減少分が ≈ -0.1 程度と小さいため、図2の結果に比べて励起子密度が小さい。ポンプ光強度を大きくするにつれて、SHGの減少量が増大していく様子が確認された。これはポンプ光強度を強くすることで、励起子密度が大きくなっていることを意味している。また、ポンプ光強度が(緑線)以上に大きくなると、遅延時間に伴ってSHGが緩やかに増大する様子がみられた。例えば、 2.90 W/cm^2 (黒線)の結果では、遅延時間 2 ps で ≈ -0.65 まで減少したSHGが、遅延時間 1500 ps では ≈ -0.1 まで戻っている。これはDA界面で励起子分離が起きてキャリアが発生し、その結果として電界が形成されていることを意味している。一方で、シミュレーションから、光強度 1 W/cm^2 の励起パルスを積層素子 CuPc(10 nm)/C60(10 nm)に照射した場合、光起電力により界面では 2.5 MV/cm の電界が発生することがわかった。また、CuPc層が厚くなった場合では、生成した励起子の一部が界面に到達できずに失活してしまい、キャリア生成に寄与しなくなることが示された。例えば、膜厚 15 nm のCuPc層では60%の励起子がキャリアに分離されずに失活することがわかった。このことは、励起子拡散長が、 15 nm よりも短いことを示唆している。

「三次元電界計測顕微鏡の構築」

電界は電荷の駆動力となるため、材料中の電界分布に関する情報はオランダ計測において1つの鍵になる。薄膜トランジスタでは、面内方向の電界(横電界)が重要となるが、有機ELや太陽電池では、膜厚方向の電界(縦電界)がデバイス動作を支配している。そもそも電界はベクトル量であり、EFISHG法をより汎用的な電界測定・デバイス評価手法として確立するためには、電界の3次元的情報が得られるようにする必要がある。そこで、2本のレーザー光をデバイス表面に同時に斜入射するダブルビーム顕微光学系を新たに設計・構築し、縦電界を含む3次元電界分布を可視化・計測する装置を構築した。

図2に実際に観測されたSHG像を示す。上図はシングルビームで照射した際の結果である。まず、太陽電池に電圧を印加することで、電圧の2乗に比例して信号強度が増加することが確認でき、電界誘起のSHGであることを確認できた。また、一方のレーザー光を遮断し、シングルビームにすると、強度が極端に弱くなることから、 k ベクトルの保存則が成立していることがわかる。SHGが発生するためには、2つのビームが空間的だけでなく時間的にも重なる必要がある。フェムト秒レーザーを使っているため、時間的な重なりが限定されるため、実際に、2光束に時間差を与えるとイメージが消えることも確認した。これらの結果から、縦方向の電界イメージングに成功したと言える。また、太陽電池には面内に縦方向電界の分布が存在することも明確に捉えることができた。

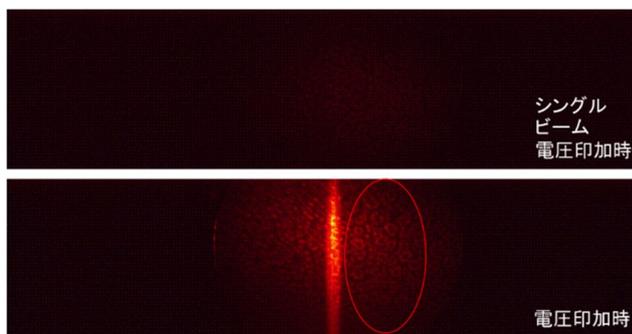


図2 有機太陽電池素子で観測される実際のSHG像

「有機FETを用いた有機半導体のキャリア輸送機構に関する研究」

半導体のキャリア輸送を記述する上で、輸送のパラメータであるキャリア移動度と拡散係数の関係を表すアインシュタインの関係($D/\mu = kT/q$)は非常に重要である。しかし、有機半導体においては、通常のアインシュタインの関係ではなく、状態密度に依存する量である σ を取り入れた一般化されたアインシュタインの関係($D/\mu = \zeta kT/q$)も提案され、その重要性が議論されている。ここでは、TRM-SHG法によりデバイス中の過渡的なキャリア輸送を可視化し、デバイスシミュレーションと組みあわせることで、キャリア移動度と拡散係数を直接決定し、一般化されたアインシュタインの関係における σ を評価した。

実験に先立ち、デバイス動作をシミュレーションする際に、一般化されたアインシュタインの関係を取り入れるために、シミュレーションコードを自作した。本研究におけるデバイスシミュレーションは、ポアソン方程式と電流連続の式を、デバイス構造について適当にメッシュを切り、反復解法 (SOR 法) を用いて有限差分解析的に解いた。中間電極を挿入しない場合でのシミュレーションにおいて、 ζ の効果を取り入れない場合の正孔移動度と、 ζ の値を変化させた場合の正孔移動度について評価した。結果として、ソース電極から注入されたキャリアのキャリアシート先端位置が、時間経過とともにドレイン側移動している様子を確認できた。これは、SHG によって観測されるキャリア挙動を一致しており、キャリア挙動が自作のシミュレーションコードによって再現できていることを示している。その上で、 ζ の効果を取り入れた計算を行った結果、例えば図3のように、 ζ を大きくしているとともに、移動度が大きく見積もられることがわかる。中間電極を挿入した系においては、 ζ が増加すると、ソース - 中間電極間の見かけのキャリア移動度が減少するのに対して、中間電極 - ドレイン間の見かけの移動度は増加する傾向にあることが分かる。これは、 ζ は拡散に寄与するため、ソース - 中間電極間ではソースから中間電極への拡散が ζ の増加とともに大きくなることで算出される移動度が減少するが、中間電極 - ドレイン間では中間電極からドレインに向かう拡散が ζ の増加によりさらに強くなり、移動度が増加するからである。この、ソース - 中間電極間と中間電極 - ドレイン間の移動度を比較することで、 ζ を見積もることが可能となる。実験結果と比較したところ、 $3 < \zeta < 4$ を得ることができた。

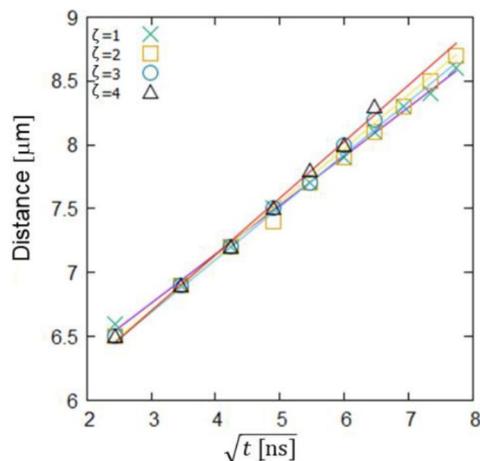


図3 キャリア輸送 (輸送距離を時間の平方でプロット) の ζ 依存性

「TIPS ペンタセンの結晶多形におけるキャリア輸送異方性の評価」

高移動度という観点から、有機単結晶のデバイスにおける利用が期待されている。一方で、単結晶において、キャリア輸送には異方性が現れ、これを評価することが重要となる。また有機結晶は結晶多形を示すことが多く、同じ有機分子を用いた場合でも、移動度や異方性が異なる結晶が得られる。ここでは、TIPS ペンタセンの結晶多形において、結晶構造と移動度およびその異方性について検討した。SHG 法によってキャリア輸送を可視化することで、移動度異方性についても評価できるため、この手法を利用した。

TIPS ペンタセンでは、様々な結晶多形が報告されているが、ここでは、Form I および Form II と呼ばれる構造に着目した。この2つの構造を比較すると、Form II の構造で移動積分が大きく向上し、移動度が大きくなる。このような TIPS ペンタセンの成膜には主に Solution-Share 法が用いられており、製膜条件を変化させることで、結晶構造を制御できることが分かっている。なお、移動積分の計算には結晶構造の情報が必要となるが、ここでは文献値の結晶構造パラメータをもとに分子動力学法で Form I および Form II に対応する安定な結晶構造結晶構造を求め、それについて移動積分を計算した。これらの理論計算により異方性を見積もったところ、Form I の異方性が 1.66、Form II の異方性が 15.0 となった。また、Form I から Form II に結晶構造が変化することで、輸送の異方性が増加するが、これによって ab 軸方向へのキャリア輸送がより支配的になり、結果的に移動度が向上すると結論した。

Form I から Form II への構造変化に伴う異方性の増加は、SHG の結果とも一致することが分かった。ただ、Form I の異方性は SHG 結果と計算値に近い値を示すのに対して、Form II では計算値と誤差が大きくなってしまった。ただ、SHG 法により明確に両結晶のキャリア輸送を可視化することができ、単結晶中でのキャリア輸送は b 軸方向ではなく、ab 方向が支配的となり、移動度 μ が $15.8\text{cm}^2/\text{Vs}$ まで上昇することが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 17件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Manaka Takaaki, Taguchi Dai, Chiang Tai-Chin	4. 巻 217
2. 論文標題 Visualization of Carrier Transport in Luminescent Polymer Thin Film by Using Transient Photoluminescence Decay Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 1901031 ~ 1901031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.201901031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Ahmad Zubair, Taguchi D., Paek Sanghyun, Mishra Arti, Bhadra Jolly, Iwamoto M., Manaka T., Nazeeruddin Mohammad Khaja	4. 巻 17
2. 論文標題 Detection of voltage pulse width effect on charge accumulation in PSCs using EFISHG measurement	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Results in Physics	6. 最初と最後の頁 103063 ~ 103063
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rinp.2020.103063	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 田口 大、間中 孝彰、岩本 光正	4. 巻 J103-C
2. 論文標題 光第2次高調波発生 (SHG) による摩擦発電の電荷と双極子の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌 C	6. 最初と最後の頁 395 ~ 402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Alrougy Ibrahim M., Taguchi Dai, Manaka Takaaki	4. 巻 32
2. 論文標題 Effect of 1,8-Diiodooctance additive on the charge carriers behavior in the PCPDTBT:PC71BM BHJ films investigated by using electric-field-induced optical second-harmonic generation measurement	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science: Materials in Electronics	6. 最初と最後の頁 2845 ~ 2852
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10854-020-05037-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yin Win Lei Lei, Taguchi Dai, Manaka Takaaki	4. 巻 75
2. 論文標題 Transient carrier visualization of organic-inorganic hybrid perovskite thin films by using time-resolved microscopic second-harmonic generation (TRM-SHG)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Organic Electronics	6. 最初と最後の頁 105416 ~ 105416
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.orgel.2019.105416	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noma Taishi, Taguchi Dai, Manaka Takaaki, Iwamoto Mitsumasa	4. 巻 686
2. 論文標題 Study of I-V Hysteresis of Tin Perovskite Solar Cells Using Capacitance-Voltage Measurement Coupled with Charge Modulation Spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Crystals and Liquid Crystals	6. 最初と最後の頁 92 ~ 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/15421406.2019.1648042	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Taguchi Dai, Manaka Takaaki, Iwamoto Mitsumasa	4. 巻 114
2. 論文標題 Imaging of triboelectric charge distribution induced in polyimide film by using optical second-harmonic generation: Electronic charge distribution and dipole alignment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 233301 ~ 233301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5094171	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Manaka Takaaki, Taguchi Dai, Chiang Tai-Chin	4. 巻 -
2. 論文標題 Visualization of Carrier Transport in Luminescent Polymer Thin Film by Using Transient Photoluminescence Decay Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 physica status solidi (a)	6. 最初と最後の頁 1901031 ~ 1901031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/pssa.201901031	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 間中 孝彰、田口 大	4. 巻 119(357)
2. 論文標題 有機ドナー・アクセプタ界面における励起子およびキャリア輸送評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 17-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 L. L. Y. Win, D. Taguchi, T. Manaka	4. 巻 58
2. 論文標題 Direct observation of carrier transport in organic-inorganic hybrid perovskite thin film by transient photoluminescence imaging measurement	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Jpn. J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 SBBG18-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/1347-4065/ab027c	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 D. Taguchi, T. Manaka, M. Iwamoto, K. Sakuma, K. Watariguchi, M. Kawahara,	4. 巻 E102C
2. 論文標題 Probing Internal Electric Field in Organic Photoconductors by Using Electric-Field-Induced Optical Second-Harmonic Generation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Electron.	6. 最初と最後の頁 113-118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2018OMP0002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 I. M. Alrougy, D. Taguchi, T. Manaka,	4. 巻 E102C
2. 論文標題 Spectroscopic Study of Electric Field Induced Optical Second Harmonic Generation from PCPDTBT and PC71BM Thin Films	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEICE Trans. Electron.	6. 最初と最後の頁 119-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/transele.2018OMP0007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Noma, D. Taguchi, T. Manaka, M. Iwamoto,	4. 巻 124
2. 論文標題 Modeling and analysis of I-V hysteresis behaviors caused by defects in tin perovskite thin films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 J. Appl. Phys.	6. 最初と最後の頁 175501-1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5050557	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T. Katsuno, T. Manaka, N. Soejima, T. Ishikawa, M. Iwamoto,	4. 巻 113
2. 論文標題 Degradation analysis of AlGaIn/GaN high electron mobility transistor by electroluminescence, electric field-induced optical second-harmonic generation, and photoluminescence imaging	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Appl. Phys. Lett.	6. 最初と最後の頁 012106-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5019998	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計46件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 Takaaki Manaka, Dai Taguchi
2. 発表標題 Spectroscopic operand measurements for studying the organic semiconductor devices
3. 学会等名 CEMS Topical Meeting on Organic Photoelectronics: Theory, materials, Interfaces and Spectroscopy (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Manaka, Mitsumasa Iwamoto
2. 発表標題 Observation and Analysis of the Organic Semiconductor Devices based on the Operand Measurements
3. 学会等名 The 30th International Conference on Molecular Electronics and Devices (IC ME&D 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Manaka
2. 発表標題 Asymmetric Polymerization of Polydiacetylene Films by Using Circularly Polarized Light
3. 学会等名 19th International Discussion and Conference on Nano Interface Controlled Electronic Devices (IDC-NICE2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Manaka
2. 発表標題 Study of the Organic Semiconductor Materials Using Operand Measurements
3. 学会等名 The 5th International Conference on Advanced Electromaterials(ICAE 2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Manaka
2. 発表標題 Spectroscopic operand measurements for studying the organic semiconductor devices
3. 学会等名 11th International Conference on Precision, Meso, Micro and Nano engineering (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaaki Manaka
2. 発表標題 Operand Spectroscopic Measurements for Studying Organic Semiconductor Devices
3. 学会等名 The 10th ICFPE (2019 International Conference on Flexible and Printed Electronics, 2019 ICFPE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Manaka, M. Iwamoto
2. 発表標題 Optical and Electrical Anisotropy of Aligned -Conjugated Copolymer Film Studied by the Spectroscopic Measurements
3. 学会等名 India-Japan Workshop on Biomolecular Electronics and Organic Nanotechnology for Environment Preservation-2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Manaka, M. Iwamoto
2. 発表標題 Spectroscopic imaging for studying carrier behavior in organic semiconductor thin films
3. 学会等名 12th International Conference on Advanced Semiconductor Devices and Microsystems (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Manaka, M. Iwamoto
2. 発表標題 Study of Optical and Electrical Anisotropy of Aligned Donar-accepter Copolymer Thin Film Based on the Spectroscopic Measurement
3. 学会等名 The 18th International Discussion & Conference on Nano Interface Controlled Electronic Devices (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------