

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究(S)
 研究期間：2010～2014
 課題番号：22226007
 研究課題名(和文) MDC・SHGによる誘電現象としての有機薄膜の電子輸送・分極構造評価と素子特性

 研究課題名(英文) Analysis of carrier transport and polarization in organic films as dielectric phenomena by using MDC and SHG, and its application to organic device characterization

 研究代表者
 岩本 光正 (Iwamoto, Mitsumasa)

 東京工業大学・理工学研究科・教授

 研究者番号：40143664

 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 151,200,000円

研究成果の概要(和文)：誘電分極現象の源である永久双極子の動的挙動の観測を可能とするマックスウェル変位電流測定と、過剰電子がもたらす非線形分極現象を通じて電子輸送を可視化する電界誘起光第2次高調波測定を用いて、フレキシブルな有機材料がもつ独特な分極構造・電子輸送を観測・解析する方法を提案した。プロジェクト遂行により、分極現象に由来して発生する界面現象・量子的現象を電子物性と結び、有機素子を評価・解析するための手法を確立できた。

研究成果の概要(英文)：We proposed a novel method for analyzing behaviors of dipoles and electrons in organic materials, on paying attention to dielectric polarization phenomena due to dipoles and electrons. Maxwell Displacement Current (MDC) allows us to directly probe orientational motion of dipoles in monolayers, while electric field induced optical second harmonic generation (EFISHG) measurement allows dynamical electron and hole transport in solids to be probed directly. Experiments making use of time-resolved EFISHG technique reveals carrier transport phenomena in organic devices, and thus enables us to model the carrier transport mechanism. By using optical second harmonic generation technique, we visualized and analyzed lipid Langmuir monolayers on focusing the shape and polarization structure of the domains of the monolayers. Observed polar structure is well supported by the solution of shape equation.

研究分野：誘電体物性工学

キーワード：誘電分極 分極構造評価 キャリア輸送 電界分布 光第2次高調波 マックスウェル変位電流 界面膜 ドメイン形状

1. 研究開始当初の背景

近年、導電性高分子などの開発を背景に機能性有機材料のフレキシブル性にも関心が集まっており、有機トランジスタ、EL、太陽電池の試作など、関連の研究は世界的に活況である。しかし、大半の研究は固体結晶物理(バンド理論など)を基礎とし、フレキシブルな材料の電子輸送の扱いは不十分である。一方、様々な有機分子形状は独特な材料物性の源泉でもある。例えば、棒状分子集合体の持つ弾性的性質は液晶表示の要である。しかし、界面では分子集合体の配列が制約されるため、バルクに見られない自発分極が発現するなど、その理解は単純ではない。フレキシブルな有機デバイス内のキャリア挙動の特徴を理解し、そのデバイス機能を探究するためには、分子形状の特徴、フレキシブル性、界面で特異的に発生する電気現象に目を向ける必要がある。しかし、これらを踏まえた研究は十分ではない。誘電性と構成分子の配列によって生ずる界面現象・量子的現象を理解した上で、キャリア挙動を理解する必要があるが、これを総合的に扱うことが難しいためである。そのため、有機エレクトロニクス¹の結実に向け、『有機材料のフレキシブル性に潜む物理を究め、分子形状・配列に起因する界面現象・量子的現象を制御可能として、有機デバイス物理・工学へと学術分野を開拓すること』が国内外で待望されていた。

2. 研究の目的

本研究は、分極現象の源である永久双極子の動的挙動の評価を可能とするMDC(マクスウェル変位電流測定)と、過剰電荷と高強度レーザ光の相互作用がもたらす非線形分極現象を通じて電子輸送を可視化とするEFISHG(電界誘起光第2次高調波)測定を用いることで、フレキシブルな有機材料に潜む独特な分極構造・電子輸送を観測・解析し、有機デバイス²を評価・解析するための手法を確立することを目的とする。

ここでは、界面における双極子配列やデバイスに注入されたキャリアが材料を分極させる有機材料特有の誘電分極現象に着目しており、分極現象に由来して発生する界面現象・量子的現象を電子物性と結び、有機素子を評価・解析する系統的手法の確立を目指す。具体的には、電子・双極子・四重極子を原因とする有機材料内の分極現象に着目し、フレキシブルな有機材料の電子輸送・双極子に由来する分極構造を統一的な視点から取り上げて実測(可視化含む)し、有機デバイスを評価・解析する手法を研究する。特に、有機物の特徴を捉えるため、()分子形状とフレキシブル性、()ナノ界面の特異性、()分極現象としてのキャリア挙動の3点に着目し、以下の4項目の研究を推進し、これらをまとめる。

(1)MDC-SHGによるナノ界面のフレキシブル性評価とマクスウェル応力による量子

的ドメイン形状制御

双極子と四重極子が自発分極や非線形分極を界面で特異的に発生し、MDCとSHGを発生させることに着目し、オーダパラメータを指標として「有機ナノ界面のフレキシブル性」を評価する手法を確立する。次いで、マクスウェル静電応力により量子的ドメイン形状制御を確認する。四重極子の効果により渦状の量子的ドメイン形成(キラル構造ドメイン)が可能であることを示し、ドメイン内の双極子配列の分極構造を解析し、偏光SHG測定・MDC測定によりそれを実証する。

(2)3電極系の有機FET構造を用いた柔構造分子膜素子のキャリア輸送の可視化と伝導解析

顕微SHG法により有機FET構造素子のチャンネル内電界分布を、時間分解SHG法によりキャリア注入、蓄積、輸送過程を分離測定・評価する。また、MW効果素子としてFETを扱い、注入過程、移動度、トラップの効果³を解析する。さらに、キャリア輸送が分極伝搬を伴うことに着目して、伝導層や絶縁層への分極伝播の効果をSHGにより測定し、分極伝搬の視点から有機デバイス評価手法を研究する。

(3)2電極系有機積層構造素子の電荷ダイナミクスおよび再結合・発光に至る過程と劣化機構解析

積層構造のEL素子を作成し、時間分解SHGにより、キャリア注入、輸送、再結合・発光に至る電子・正孔キャリアの動的挙動を計測する。また、MW効果素子としての動作と劣化機構を解析する。

(4)有機量子形状効果素子の試作・特性評価・及び量子形状制御による圧電効果

マクスウェル静電応力により生ずる量子的形状変化に基づく圧電効果の実測と解析をする。次いで、この形状に起因した記憶機能のある量子的I-V特性の発現に繋がる有機素子の試作・特性解析を行う。

3. 研究の方法

(1)MDC・SHGによる有機界面膜のフレキシブル性評価とマクスウェル応力による量子的ドメイン形状制御

()柔構造単分子膜内の分子挙動と誘電的性質に関する評価・解析手法の研究

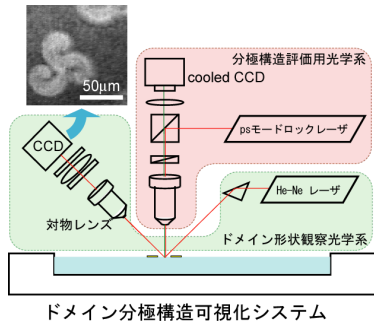
棒状分子とキラル構造分子に着目し、界面分子膜の変位電流(MDC)と光第2次高調波発生(SHG)を計測する。特に、非対称ドメイン構造の起源となるキラル構造を特徴付ける四重極子の効果を表現するオーダパラメータを決定する方法を実験と理論で示す。双極子エネルギー蓄積と4重極子による摂動効果により、ドメイン構造は対称な円形、双葉、三つ葉から渦状になると推定される。そこで、非対称形状ドメイン内の面内分極構造を偏光SHGにより観測する。

()水面上単分子膜のドメイン分極構造の可視化と量子的ドメイン形状の制御

(a)分子膜のフレキシブル性の特徴は、面内ドメインに分極構造を形成する点にある。そこで、MDC、BAM システムに加えて SHG イメージングシステムを導入し、水面上分子膜のドメイン形状・ドメイン内分極構造評価法を構築する。脂質・液晶性分子膜の水面上膜のドメインを可視化し、キラル分子が起源となる渦状ドメイン形状とその面内分極構造を観測する。

(b)界面膜の自由エネルギー最小条件はドメイン内外圧力差、ドメイン境界の線張力、マックスウェル静電応力との釣合から決まる。ここでは、4重極子の効果を取り入れたドメイン形状決定基本式を導出・解法し、安定なドメイン形状を推定する。形状の実験結果との比較を行う。

(c)マックスウェル静電応力が量子的ドメイン形状の制御(円 双葉、三つ葉など)に有効であることから、表面圧力を制御してドメイン形状変化のその場観察と制御を行う。また、この研究を新しい膜パターン形成技術と位置付ける。



(2) 3電極系の有機 FET 構造を用いた柔構造分子膜素子のキャリア輸送の可視化と伝導解析

()顕微 EFISHG 法により FET 構造素子のチャンネル内電界分布測定と電界解析

(a)平板状やらせん状など様々な形状をもつ共役系分子で構成される FET 構造素子を試作し、顕微 EFISHG によりデバイスの動作状態に応じたチャンネル内電界分布を可視化・評価する(分子構造とキャリア輸送の明確化)。

(b)3電極電位による電界(ラプラス場)は理論解析が可能であるので、等角写像法・電界計算プログラムにより求め、EFISHG の測定結果と対応させる。また定常状態についての EFISHG 測定の結果を解析する。

(c) (a)の結果を、MW 素子として解析した FET 内のキャリア分布と比較する。さらに、ラマン分光測定から得られるバックグラウンド信号に着目し、キャリア分布を求め比較する。

()時間分解 EFISHG 法による FET 構造素子内の注入・蓄積・輸送過程の分離測定と素過程の解析

(a)Au、Al などの電極材料選択や絶縁層表面に SAM 膜など界面膜を導入し、キャリアの注入・輸送機構の違いを明らかにする(注入機構、移動度)。また、2次元キャリア輸送方程式について注入機構を境界条件に加えて

MW 効果素子として解析、その妥当性を検証し、トラップ密度の評価法を確立する。

(b)可視化像が分極伝搬像であることから、界面層・絶縁層への分極伝搬の効果を明確にする。

(c)EFISHG 法の波長選択性・電場光吸収法(EA)により、選択した層の電界の歪みを光学的に評価する。

(d)電荷変調スペクトル法(CMS)を用い、輸送キャリアのエネルギー状態を解析しトラップ・輸送キャリアとの関係を明確にする

(3) 2電極系有機積層構造素子のキャリア輸送のダイナミクスと再結合・発光に至る過程・劣化機構

()顕微 EFISHG 法による 2層 EL 構造素子の電界分布評価と MW 効果解析

(a)2層 MIM 構造試料の厚さは 200 nm 程度と薄いため、斜入射による SHG 測定システムを構築する。

(b)2層構造有機 EL 素子(AIq3/NPD)を製作する。また単層試料も準備し、各層からの EFISHG 信号の取出しに必要な波長を決定する。PL が問題となるので、これを除去するシステムを構築する。

(c)印加電圧に対する各層の電界強度分布を決定し、MW 効果として界面に蓄積される電荷量を決定する。ついで、I-V 特性(ON-OFF 状態)と発光特性との関係を明らかにする。EA 測定も実施し比較する。

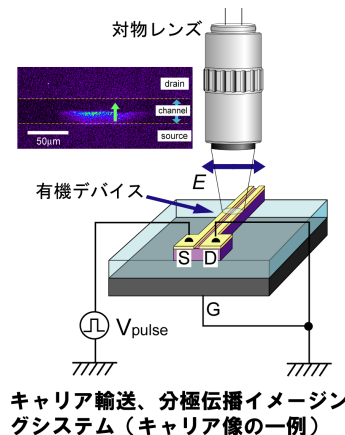
()時間分解 SHG 法による EL 構造素子内への電子・正孔注入・蓄積・輸送過程の解析

(a)試料に電圧パルスを印加し、キャリアの注入・輸送過程を TRM-SHG により測定し移動度を決定する。

(b)MIM 構造におけるキャリア輸送の解析を実施し、SHG 伝搬から得られる結果との対応を明確にする。

()時間分解 SHG 法による EL 界面に蓄積される電荷量評価と EL 素子の MW 効果

発光前後の 2層電界分布を決定し、蓄積界面電荷を MW 効果として解析する。

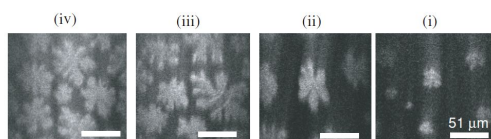


4. 研究成果

(1)MDC・SHG による有機界面膜のフレキシブル性評価とマックスウェル応力による量子的ドメイン形状制御

本研究項目では、この分極構造を可視化することで、ドメイン形状に与える影響を検討した。まず、平成 22 年度から 23 年度の前半にかけて、水面上単分子膜のドメイン分極構造イメージングシステムを構築した。このシステムは、フェムト秒波長可変レーザーを用いて分極構造を可視化する SHG イメージング系と、ドメイン形状を可視化するプリユスター角顕微鏡 (BAM) からなっている。これらを、小型の LB トラフと組み合わせ、水面上単分子膜の圧縮・拡張過程に伴うドメイン形成およびその成長を観測できるようにセットアップした。光学的なスループットが最大となるように光学系を最適化した結果、色素を含有したリン脂質分子の水面上単分子膜において 0.5 秒で 1 枚の SHG 像を得ることに成功した。これにより、膜圧縮におけるドメイン形成の過程を、ほぼリアルタイムで観測できるシステムが完成した。

図は、実際にこのシステムを用いて得られたドメインの SHG 像である。我々のこれまでの理論計算から、界面膜の自由エネルギー最小条件はドメイン内外圧力差、ドメイン境界の線張力、マックスウェル静電応力との釣合から決まることがわかっており、実際に脂質分子において、ドメインの量子的成長が確認されている。ここで図に示したドメインの SHG 像は、分極の構造を示したものと見える。また、ドメイン形状は材料のキラリティと密接に関連しており、通常のリン脂質分子では、分子のキラリティが起源となる渦状のドメインが観測される。一方、色素を含有したリン脂質分子ではキラリティを有するにも係わらず渦状のドメインは得られなかったが、通常のリン脂質分子と混合すると渦状のドメインを得られることが分かった。その際に、ある濃度比においては、ドメイン形状はアキラル (渦状とはならない) ながら、内部の分極構造はキラル (渦状となる) となるような状態が観測された。このような結果は世界で初めて得られたものであり、ドメインの形状を支配する決定的な要素を確認できた。また、アキラルなドメイン内に発生するキラル相転移などを理論的に示した。



水面上 D-DPPC+NBD-PE 混合単分子膜の圧縮過程で観測される分極像。

(2)3 電極系の有機 FET 構造を用いた柔構造分子膜素子のキャリア輸送の可視化と伝導解析

本研究項目では、顕微 SHG 法により有機 FET 構造素子のチャンネル内電界分布を評価し、さらに時間分解計測と組み合わせることでキャリア注入、蓄積、輸送過程を分離測定・評価

する。まず、分極構造イメージングシステムと同様、フェムト秒波長可変レーザーを用いた有機 FET 用の顕微時間分解 SHG イメージングシステムを構築した。レーザーのパルス幅をフェムト秒オーダー (100 fs) としたことと、レスポンスの高速な高圧アンプを導入することで、時間分解能 5 ns、空間分解能 500 nm を実現することができた。ついで、計画に従い、様々な形状をもつ 共役系分子で構成される FET 構造素子を試作し、デバイスの動作状態に応じたチャンネル内電界分布を可視化・評価した。また、トラップがキャリア輸送に及ぼす影響を調べるため、プレフィリングと呼ばれる手法を新たに開発した。これは、ソース電極に電荷注入パルスを印加する前に、ゲートパルスを加え、あらかじめチャンネルにキャリアを注入することによりトラップ量を制御するものであり、トラップ量が減少することで実際に移動度が変化する様子を捉えることに初めて成功した。また、この挙動に関しては、理論的な解析も行った。

一方で、物理的にトラップを制御する方法として、金属ナノ粒子をゲート絶縁膜界面上に分散させた素子も作製した。金属ナノ粒子は微小なキャパシタンスとして働くため、これをチャンネル部分に配置することでトラップを制御するというアイデアである。実際に素子作製・測定をしたところ、電極から注入されるキャリアが金属ナノ粒子によってトラップされ、このトラップキャリアが作る空間電荷電界のため、注入機構や輸送機構が制限されていることが明らかとなった。これは、フレキシブルなメモリデバイスとしての応用が期待できる。また、金属ナノ粒子として銀を用いた場合には、光照射によるプラズモン発生の結果として、FET のコンダクタンスが大きくなることも新たに発見した。

また、本手法を用いることで、有機単結晶性薄膜や、配向膜において異方的なキャリア輸送の様子を直接可視化し、移動度異方性評価法として活用できることも示した。

さらに、これまでなかった新しい評価手法として、顕微 CMS 法を開発・構築した。これは、注入したキャリアにより有機半導体の微小な光学的性質の変化を捉えることで、注入したキャリアの様子を調べる測定法である。通常、KFM などのプローブ顕微鏡ではプローブをスキャンさせて 2 次元画像を得るが、本手法では、画像を直接取得することが可能である。また、この手法は、SHG と同様に分光学的な測定であるため、材料ごとのスペクトル分離が可能である。これを利用して、2 層両極性トランジスタの動作解析を試みた。有機材料の特徴を生かした両極性トランジスタが提案されてきているが、その動作機構については明確になっていない部分も多かった。例えば、p 型と n 型の有機半導体材料を積層したトランジスタにおいて、両極性動作が観測されるものの、どの層に電流が流れるのかといった問題も残っていた。ここでは、

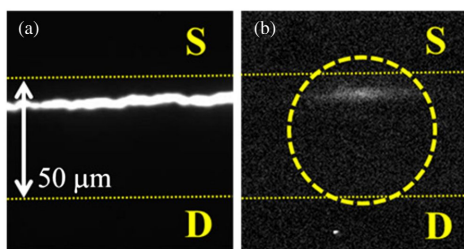
C60 とペンタセンの 2 層からなる半導体層を持つトランジスタを試作し、電子が C60 層内を、正孔がペンタセン層内を移動することなどはじめて実験的に示すことができた。

3) 2 電極系有機積層構造素子のキャリア輸送のダイナミクスと再結合・発光に至る過程・劣化機構

本研究項目では EL 発光現象が絶縁体工学分野で絶縁破壊の前駆現象として着目されてきた歴史を踏まえつつ、有機 EL 素子の EL 発光に至るキャリア挙動の観測と解析手法の確立を目指した。

まず、交流駆動下の EL 発光のスペクトルについて検討した。例えばテトラセンを用いた単層 EL において、通常は波長 545 nm に発光ピークを持つが、交流矩形波電圧駆動を用いると、波長 615 nm の長波長側にもピークが現れることを発見した。そのうえで、この原因が Al 電極近傍のトラップ準位に正孔が捕獲され、かつ、空間電荷電界を発生するためであることを明らかに示すことができた。このようなピークはデバイス劣化と強く関連している。また、-NPD/Alq3 構造素子において、Alq3 由来 EL 発光 (波長 517 nm) の周波数依存性を評価したところ、直流成分をもった矩形波でドライブすることにより信号強度が高周波領域で増大することを観測し、これも界面におけるキャリアの捕獲にその原因があることを明らかにした。さらに、積層構造素子における正孔注入層として pentacene 層を挿入した IT0/pentacene/-NPD/Alq3/Al 構造の三層積層有機 EL 素子を試作し、EFISHG 法を用いて -NPD/Alq3 界面に蓄積される電荷の挙動を直接観測することで、pentacene 層が正孔注入を促進する働きがあることを初めて直接実証した。

横型の発光トランジスタにおけるキャリアダイナミクスと再結合・発光に至る過程についても検討した。発光トランジスタでは、3 電極系のため、デバイス中の電界 (電位) 分布を 2 電極系に比べて自由に制御できる。そのため、例えばゲート電圧を変えることで発光位置をチャンネル中で任意に移動可能といった特徴をもつ。ここでは、TRM-SHG 測定から電子とホールキャリア輸送の様子を直接観測し、同時注入時に再結合位置を予想



両極性発光トランジスタで観測される EL (左) と SHG 像 (右)。電子とホールが再結合する場所で電界が強まることを初めて観測した。

した。その結果、この予想位置と定常状態における発光位置が一致することを示すことができた。これにより、発光に至る過程を初めて観測することに成功した。また、2 電極系素子に対する新しい測定法として、多層膜において SHG と IV 測定を組み合わせることにより、各層の電気特性を素子の状態で評価できることも示した。

また、EL プロセスとは逆である有機太陽電池をモデルとして 2 層太陽電池を形成し、光照射によるエキシトン発生・分離による電子・正孔対の発生、電子・正孔の逆方向への輸送、起電力発生という太陽電池発生機構に関する知見が得られる見通しを得た。

(4) 「有機量子形状効果素子の試作・特性評価及び電界を活用する評価手法」

本研究項目では、マクスウェル静電応力を活用し、ドメイン形状の量子的形状制御に基づく圧電効果を調べ、また分子形状に起因する記憶機能のある有機量子形状効果素子を試作、素子特性解析を行った。まず、記憶機能に着目して、強誘電体 (PVDF) ゲート絶縁膜を用いたデバイス中の電界分布を評価した。具体的には、Au/pentacene/PVDF/Al 構造素子を作製し、三角波印加による変位電流法を用いて、電荷注入・蓄積の様子を検討した。その結果には複雑な電流ピークが観測されたが、それぞれのピークを単純に帰属することは困難であった、そこで TR-SHG 測定により、ペンタセン内部の電界を直接評価したところ、キャリア注入によるピークと強誘電層の分極反転ピークを明確に分離することに成功した。

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 151 件)

M. Iwamoto, D. Taguchi, Z. C. Ou-Yang, "Texture transformation in circular domain of polar smectic films: Chiral elasticity induced by coupling of flexoelectric and spontaneous polarizations", Chem. Phys. Lett., 628, 96-100, (2015). 10.1016/j.cplett.2015.03.061

M. Iwamoto, T. Manaka, D. Taguchi, "Probing and modeling of carrier motion in organic devices by electric-field-induced optical second-harmonic generation", Jpn. J. Appl. Phys., 53, 100101/1-100101/11, (2014). 10.7567/JJAP.53.100101

X. Chen, D. Taguchi, T. Manaka, M. Iwamoto, "Selective observation of photo-induced electric fields inside different material components in bulk-heterojunction organic solar cells", Appl. Phys. Lett., 104, 013306/1-013306/5, (2014). 10.1063/1.4861620

Y. Matsuoka, D. Taguchi, T. Manaka, M. Iwamoto, "Visualizing polarization structure of

lipid Langmuir monolayer by surface second-harmonic generation technique", Thin Solid Films, 554, 8-12, (2014). 10.1016/j.tsf.2013.04.099

T. Manaka, K. Matsubara, K. Abe, M. Iwamoto, "Direct Observation of Anisotropic Carrier Transport in Organic Semiconductor by Time-Resolved Microscopic Optical Second-Harmonic Imaging", Appl. Phys. Express, 6, 101601, (2013). 10.7567/APEX.6.101601

A. Sadakata, K. Osada, D. Taguchi, T. Yamamoto, M. Fukuzawa, T. Manaka, M. Iwamoto, "Probing interfacial charge accumulation in ITO/ α -NPD/Alq3/Al diodes under two electroluminescence operational modes by electric-field induced optical second-harmonic generation", J. Appl. Phys., 112, 083723, (2012). 10.1063/1.4762014

Y. Mashiko, D. Taguchi, M. Weis, T. Manaka, M. Iwamoto, "The Maxwell-Wagner model for charge transport in ambipolar organic field-effect transistors: The role of zero-potential position", Appl. Phys. Lett., 101, 243302, (2012). 10.1063/1.4771989

M. Iwamoto, Fei Liu, Ou-Yang Zhong-can, "Polarization-dependence of optical second harmonic generation for chiral cylindrical structure and explanation for nonlinear optical imaging of cholesteric liquid crystals", Chem. Phys. Lett., 511(4-6), 455-460, (2011).

D. Taguchi, T. Shino, L. Zhang, J. Li, M. Weis, T. Manaka, M. Iwamoto, "Direct Probing of Photovoltaic Effect Generated in Double-Layer Organic Solar Cell by Electric-Field-Induced Optical Second-Harmonic Generation", Appl. Phys. Express, 4(2), 021602(3 pages), (2011).

T. Manaka, S. Kawashima, M. Iwamoto, "Charge modulated reflectance topography for probing in-plane carrier distribution in pentacene field-effect transistors", Appl. Phys. Lett., 97(11), 113302(3 pages), (2010).

〔学会発表〕(計 192 件)

M. Iwamoto, "Visualization of carrier motion and dielectric polarization in organic thin films by optical second harmonic generation measurement", IUMRS-ICA2014, Fukuoka, Japan, Invited, 2014/8/27.

T. Manaka, K. Abe, K. Matsubara, D. Taguchi, M. Iwamoto, "Study of anisotropic carrier transport in organic semiconductor films by using time-resolved microscopic optical second harmonic generation", KJF International Conference on Organic Materials for Electronics & Photonics, Invited, Busan, Korea, Invited, 2013/8/30.

M. Iwamoto, "Observation of carrier motion and induced polarization in organic films by optical second harmonic generation, 13th European conference on organized films, Cork, Ireland,

Invited, 2013/6/30-7/7.

M. Iwamoto, "Direct probing of ambipolar carrier motion in organic devices by electric field induced optical second harmonic generation", 4th International Conference of Solid State Science and Technology (ICSSST 2012), Plenary 1, Maraca, Malaysia, (Plenary).2012/12/18

M. Iwamoto, "Visualization of dynamical carrier motion in organic films: Direct physics approach based on optical second harmonic generation and Maxwell displacement current measurements (Key note)", VII International Symposium on Advanced Materials and Nanostructures, K-8, Sorocaba, Brazil, 23 May. 2012

M. Iwamoto, T. Manaka and D. Taguchi, "Direct Probing of Carrier motion and interfacial Phenomena in Organic Devices by Optical Second Harmonic generation, "The 15th international Symposium on the physics of Semiconductors and applications, A5-I-1, Juju, Korea, 5 July 2011 (Invited).

〔図書〕(計 2 件)

M. Iwamoto, Y. S. Kwon, and T. K. Lee. Ed., "Nanoscale-Interface for Organic Electronics" World Scientific, Singapore, 2010.

岩本光正、田口大, "熱刺激電流による電気電子材料評価: 基礎と応用", オーム社, 2014.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 1 件)

名称: ヘテロ接合電界効果トランジスタ現象を観察する方法及び装置

発明者: 勝野高志、石川剛、上田博之、上杉勉、間中孝彰、岩本光正

権利者: 株式会社豊田中央研究所

種類: 特許

番号: 特願 2014-109220

出願年月日: 2014 年 05 月 27 日

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩本 光正 (IWAMOTO MITSUMASA)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 40143664

(2) 研究分担者

間中 孝彰 (MANAKA TAKAAKI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 20323800

田口 大 (TAGUCHI DAI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 00531873