

令和 4 年 6 月 27 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05289

研究課題名（和文）放射光X線回折による有機薄膜成長過程のin situ構造解析

研究課題名（英文）In situ structural analysis of growing organic thin films by synchrotron radiation x-ray diffractometry

研究代表者

吉本 則之（Yoshimoto, Noriyuki）

岩手大学・理工学部・教授

研究者番号：80250637

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：有機薄膜形成過程の結晶成長機構を解明するため、成膜中のin situ2次元X線回折実験を行った。この方法により有機薄膜の初期層および膜の形成過程の結晶構造を解明することが可能となり、有機半導体の分子構造と成長機構の解明や結晶構造の膜厚依存性を明らかにした。また、電子線ホログラフィーによって有機半導体薄膜内の電位分布の観測を行うことにより、有機半導体薄膜の構造と物性を総合的に明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機薄膜形成過程のin-situ2次元X線回折実験用の成膜・観察装置および実験方法を開発した。この方法により有機半導体薄膜の成長機構の解明や結晶構造を明らかにすることが可能となった。特に2D-GIXDによる薄膜の評価は現在多くの研究者に利用されておりこの分野における標準的な評価方法として普及・定着している。また、電子線ホログラフィーによって有機半導体デバイス内部の電位分布を定量的に計測できること実証した。これらのことは、学術的意味のみならず、有機半導体を用いた電子デバイスの実用化にあたって直面するさまざまな困難を解決する基礎的な知見として社会の発展に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：In situ 2D X-ray diffraction experiments were performed during film deposition to elucidate the crystal growth mechanism during organic thin film formation. This method enabled us to elucidate the crystal structure of the initial layer and the film formation process of organic thin films, and to elucidate the molecular structure and growth mechanism of organic semiconductors and the dependence of the crystal structure on film thickness. In addition, the structure and physical properties of organic semiconductor thin films was comprehensively clarified by observing the potential distribution in the organic semiconductor thin films using electron holography.

研究分野：材料工学

キーワード：有機薄膜 X線回折 電子線ホログラフィー 放射光 電位分布 結晶成長 2D-GIXD その場観察

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

大型高解像度テレビやスマートフォンに有機 EL ディスプレイが採用されるなど、有機電子デバイスの実用化が急速に進展している。これらに続く有機トランジスタや有機薄膜太陽電池などの有機電子デバイスのさらなる高性能化と実用化のためには、現在多結晶や非晶質で構成されている有機半導体層の分子配列を制御し、単結晶化することが強く望まれている。これまで、有機半導体活性部位の結晶制御をしようとする数多くの試みが行われてきたが、未だに決定的な作製技術は確立されていない。

これらの課題を解決するために、基板上や電極との界面における有機分子の詳細な構造を解明し、有機分子の配向、配列の制御する方法を確立し、単結晶の薄膜を作製する技術を開発する必要がある。そのために、有機薄膜の蒸着過程の膜の構造を知ることにより成膜制御に関する極めて重要な情報が得られる。著者らは放射光施設 (SPring-8, BL19B2) の多軸ゴニオメーターに設置可能な有機薄膜用真空蒸着装置(図 1)を独自に開発し、2次元 X 線検出器(PILATUS)と組み合わせることにより有機薄膜成長過程の 2次元 X 線回折測定を行ってきた。本研究では、この装置と手法を用いて有機半導体薄膜の形成過程の構造解析を行った。

また、有機 EL デバイスは外部電圧を印加することで発光するため、デバイス内部の電位分布を正確に把握することが重要である。これまで、光電子分光法やケルビンプローブ法によって、電極から有機層への電極注入特性に関する知見が得られてきたが、これらの手法は表面近傍の電位解析に限定されるため、有機層内部については計算機シミュレーションの結果を実証することが困難であった。今回、半導体内部の電位分布を観察するのに有効な手法である電子線ホログラフィーを使って有機 EL デバイスの静的な電位分布を測定した。これまで、我々のグループでは有機層が 5 層からなる有機 EL デバイスの静的な電位分布を観察してきたが、有機層の構成材料や各有機層の界面が多くあることから正確な物理現象の解釈までは至らなかった。有機材料の層内および界面では、キャリア挙動が複雑であるため、各物理現象の発生要因を理解する目的で、正確な電位分布の計測が求められている。

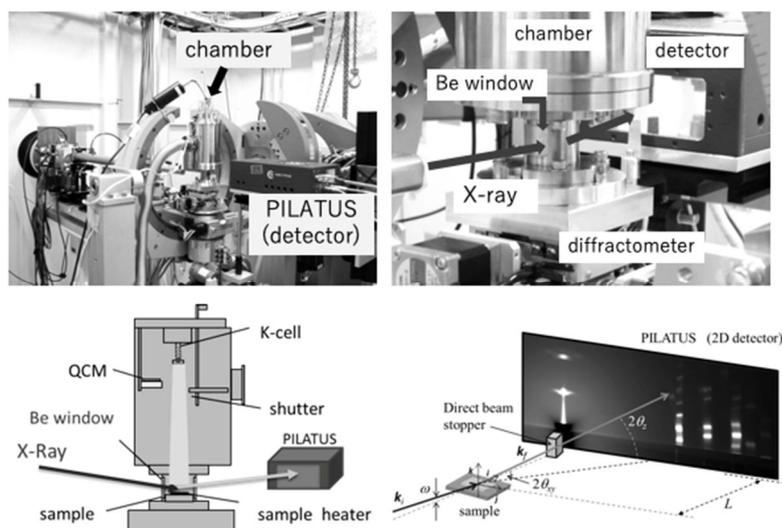


図 1 in-situ 構造解析を可能とする有機薄膜作製装置の概要と測定法

### 2. 研究の目的

著者らは過去にクォーターチオフェン(4T)のアルキル鎖長の異なる分子を合成し、成膜過程の 2D-GIXD 観察を行い、成膜機構や薄膜構造及び物性に及ぼすアルキル鎖長の効果を明らかにしてきた。その結果、鎖長の短い 4T においては、第 1 層目と厚層化した膜ではパッキング構造が異なり、膜厚の増加に伴って密度が増加することが観測された。今回は 4T およびその誘導体について、薄膜の成長や構造、物性に及ぼす、鎖長や成膜条件の効果を明らかにすることを目的と

して実験を行った。

また、有機 EL デバイスの電位分布を測定については、2 層の有機層からなるデバイスについて短絡状態での電子線ホログラフィー測定を行うことを目的とした。

### 3. 研究の方法

用いた成膜装置、測定法は、基板は装置低部に設置し、蒸発源 (K-セル) を装置上部配置し上から下に向けて材料を蒸着する構造となっている。ゴニオメーターの耐荷重の制限のため、チタン製のチャンバーを導入することにより全体を 5 kg 以下に抑えた。装置下部の Be 窓を通して放射光 X 線をすれすれに入射し基板上に形成される超薄膜からの回折、散乱 X 線を 2 次元検出器 (PILATUS) により捕らえるものである。本研究では、この装置と手法を用いて有機半導体薄膜の形成過程の構造解析を行った。今回は C10 のアルキル鎖を有するクォーターチオフェン (C10-4T) を試料として用いた。SPring-8、BL19B2 で C10-4T 薄膜の形成過程の 2D-GIXD 測定を行った。X 線のエネルギーは 12.40 keV、入射角は 0.12° で測定した。また基板温度を独自に開発した温度可変ステージを用いて、-45°C から 65°C の温度範囲で基板表面の温度を制御して観測を行った。

今回、有機 EL 試料の観察に用いた電子線ホログラフィーは、透過電子顕微鏡 (TEM) 技術の一つであり、ナノメートル領域の電位分布を定量的に観察できる特長がある。本手法は入射電子線の干渉性を上げるためにできるだけ電子線を上げた低い照射密度の条件で観察するため、通常の TEM 観察よりも試料への電子線ダメージを抑えることができる。そのため、一般的に電子線に対して脆弱である有機材料の観察に有効である。さらに、より高い精度で電位分布を計測するため、位相シフト電子線ホログラフィーを用いた。これにより、1.8 nm の空間分解能と 0.01 V の電位検出感度を実現し、シャープな電位分布像を得ることに成功した。図 2 (a) に、本研究で用いた電子線ホログラフィー観察用の TEM を示す。この TEM によって、図 2 (b) に示す構造の有機 EL 試料を観察した。この試料は、透明電極である ITO/ガラス基板上に、正孔輸送層の  $\alpha$ -NPD、電子輸送兼発光層の Alq<sub>3</sub>、陰極の Al の順で、図に示す厚さを真空蒸着法によって成膜したものである。また、各有機材料の構造式を図 2 (c) に示す。Al 上に試料保護のための Pt 膜を成膜した後、有機 EL 試料を集束イオンビーム (FIB) 装置によって試料厚さ 360 nm に薄片化し、TEM 試料を作製した。

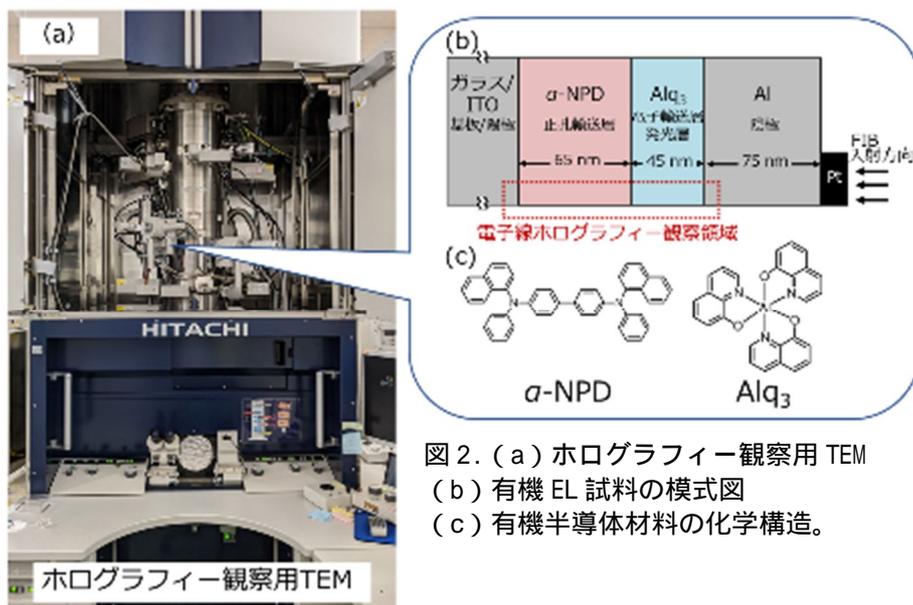


図 2. (a) ホログラフィー観察用 TEM  
(b) 有機 EL 試料の模式図  
(c) 有機半導体材料の化学構造。

### 4. 研究成果

アルキル鎖が比較的短い C4-C9 の 4T では、層状の結晶成長が観測され、有機薄膜トランジスタ (OTFT) において高い移動度が得られた。一方、アルキル鎖 (C10-C12) の長い 4T では、結晶構造に劇的な変化が見られ島状成長を示し、OTFT の移動度が鎖長の短い 4T と比較して低下した。これは、長いアルキル鎖ではインターディジット構造を形成し、4T 部位の結晶性が低下し

たためと考えられる。このようにアルキル鎖長によって結晶成長様式が異なり、OTFT の性能に影響をおよぼすことが明らかになった。さらに、基板温度を上昇させて C10-4T の薄膜初期過程を観察したところ、2D-GIXD およびインプレーン測定においてピークシフトがみられ、基板温度によって異なる成膜機構の存在が確認された。また、成膜後の温度変化の 2D-GIXD によるその場観察では、融解後に液晶相が蒸発することなく安定に存在し、冷却により再び結晶化することが明らかとなった。さらに、基板を冷却した状態で真空蒸着により C10-4T 薄膜を作製した。また、冷却した基板上的での C10-4T 薄膜の成長過程と、基板温度を上昇していく過程での C10-4T 薄膜の構造を観察した。基板の温度変化ごとの 2D-GIXD 測定の結果を図 3 に示す。 $-45^{\circ}\text{C}$  において  $q_z$  軸上  $12\sim 15^{\circ}$  にピーク(黒囲み部分)が観察された。基板温度を  $20^{\circ}\text{C}$  まで上昇させても同様にピークが観察された。 $q_z$  方向のピーク強度は  $-5^{\circ}\text{C}$  のときに最大となり、基板温度上昇と共に 0 以降小さくなった。さらに  $65^{\circ}\text{C}$  まで上昇させると上記のピークは消失し、代わりに垂直配向に由来するピーク(黄色囲み部分)が観察された。以上のことから、基板温度が低い条件で真空蒸着によって成膜すると平行配向が見られ、その後基板を加熱することで、配向が平行配向から垂直配向に変化したと考えられる。一般的に、基板温度が低いとき、基板表面との相互作用を多くとるように平行に配向することが知られている。一方、基板温度が高い時は基板表面を分子が拡散し、分子間のファンデルワールス力により分子同士が自己凝集のため垂直配向が得られたと考えられる。

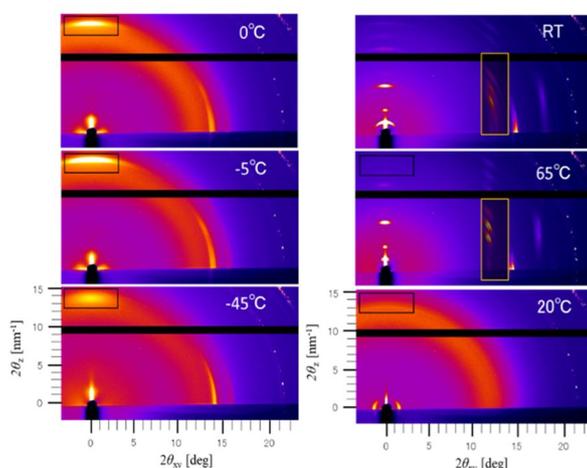


図 3. 異なる基板温度における C10-4T の 2D-GIXD パターン。

一方、有機 EL デバイスの観察について、図 4(a) に TEM 像、図 3(b) に TEM 像の強度プロファイルを示す。挿入図に示すわずかな強度差から 2 つの有機材料界面を定めることができた。図 3(c) は、同一領域における電子波干渉像(ホログラム)である。試料内部の電位分布の情報は、干渉縞の微妙な曲がりとして記録され、このホログラムから画像解析によって図 3(d) の電位分布像が得られ、層内に生じる電位分布を観察することができた。さらに、図 3(e) の電位プロファイルから、電位の傾きである電場が異なる領域 (i) ~ (iii) が形成されていることが分かった。各層における電場の値は、 $-NPD$  層である領域 (i) では  $-1.8 \pm 0.4$  MV/m、 $-NPD/Alq_3$  界面近傍である領域 (ii) では、 $-10.0 \pm 2$  MV/m、 $Alq_3$  層である領域 (iii) の電場は  $3.1 \pm 0.6$  MV/m であり、ナノスケールでの電気的特性を詳細に明らかにした。これらの電場が形成された要因について考察し、(1)  $-NPD$  層内での正孔の蓄積、(2)  $-NPD/Alq_3$  界面でのキャリアの拡散、(3)  $Alq_3$  の電氣的偏りによって、図 4(e) に示すようにキャリアが蓄積し、電場を形成していることを示した。以上のように、本手法を用いることによって、有機 EL 内部に形成された電位分布を定量的に観察することに成功した。また、計測された電場の方向と値は他の手法で計測された値と同等であり、電子線ホログラフィー計測による有機 EL 試料内部の電位分布計測が極めて有効であることを示した。

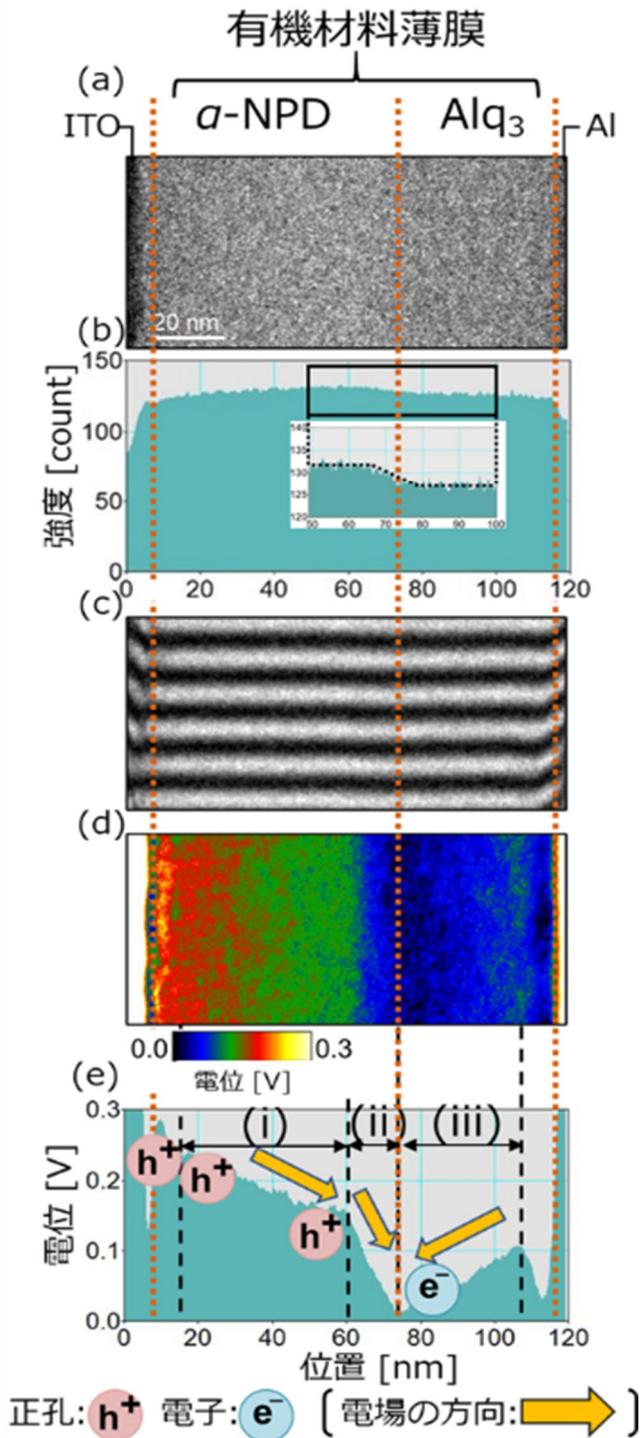


図 4. 有機 EL 試料の電子線ホログラフィー計測  
 (a) TEM 像。(b) TEM 像の強度プロファイル。挿入図は  $\alpha$ -NPD/Alq<sub>3</sub> 界面近傍の拡大図。  
 (c) 電子波干渉像 (ホログラム) (d) 電位分布像  
 (e) 電位プロファイル。キャリアの蓄積を模式的に示す。オレンジの点線は各層の界面を示す。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 P. Perkhun, W. Kintges, F. Pourcin, D. Esteouille, E. Barulina, N. Yoshimoto, P. Pierron, O. Margeat, C. Videlot-Ackermann, A.K. Bharwal, D. Duch, C. R. Herrero, C. Gonzales, A. Guerrero, J. Bisquert, R. Schrider, M. Pfannmoller, S. B. Dkhil, J.-J. Simon, and J. Ackermann	4. 巻 2
2. 論文標題 High-Efficiency Digital Inkjet-Printed Non-Fullerene Polymer Blends Using Non-Halogenated Solvents	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Adv. Energy Sustainability Res.	6. 最初と最後の頁 2000086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/aesr.202000086	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 S. B. Dkhil, P. Perkhun, C. Luo, D. Moller, R. Alkarsifi, E. Barulina, Y. Alejandra A. Quiroz, O. Margeat, S. T. Dubas, T. Koganezawa, D. Kuzuhara, N. Yoshimoto, C. Caddeo, A. Mattoni, B. Zimmermann, U. Wurfel, M. Pfannmoller, S. Bals, J. Ackermann, and C. Videlot-Ackermann	4. 巻 12
2. 論文標題 Direct Correlation of Nanoscale Morphology and Device Performance to Study Photocurrent Generation in Donor-Enriched Phases of Polymer Solar Cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Appl. Mater. Interfaces	6. 最初と最後の頁 28404 - 28415
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsmi.0c05884	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 Kazuo Yamamoto, Satoshi Anada, Takeshi Sato, Noriyuki Yoshimoto, Tsukasa Hirayama	4. 巻 70
2. 論文標題 Phase-Shifting Electron Holography for Accurate Measurement of Potential Distributions in Organic and Inorganic Semiconductors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Microscopy	6. 最初と最後の頁 24-38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jmicro/dfaa061	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 Nagesh B. Kolhe, Sarah M. West, Duyen K. Tran, Xiaomei Ding, Daiki Kuzuhara, Noriyuki Yoshimoto, Tomoyuki Koganezawa, and Samson A. Jenekhe	4. 巻 32
2. 論文標題 Designing High Performance Nonfullerene Electron Acceptors with Rylene Imides for Efficient Organic Photovoltaics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chem. Mater.	6. 最初と最後の頁 195 - 204
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.9b03329	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 Nagesh B. KolheSarah M. WestDuyen K. TranXiaomei DingDaiki KuzuharaNoriyuki YoshimotoTomoyuki KoganezawaSamson A. Jenekhe*	4. 巻 32
2. 論文標題 Designing High Performance Nonfullerene Electron Acceptors with Rylene Imides for Efficient Organic Photovoltaics	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Chem. Mater.	6. 最初と最後の頁 195-204.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.9b03329	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 Nagesh B. Kolhe, Duyen Ky Tran, Hyunjong Lee, Daiki Kuzuhara, Noriyuki Yoshimoto, Tomoyuki Koganezawa, Samson A. Jenekhe	4. 巻 4
2. 論文標題 New Random Copolymer Acceptors Enable Additive-Free Processing of 10.1% Efficient All-Polymer Solar Cells with Near Unity Internal Quantum Efficiency	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACS Energy Lett.	6. 最初と最後の頁 162-1170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsenerylett.9b00460	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

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 佐々木 祐聖;佐藤 岳志;山本 和生,葛原 大軌, 吉本 則之
2. 発表標題 電子線ホログラフィーによる有機EL素子内部の電位分布の可視化
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松原 亮介, 尾崎 幸潤, 阿部 優輝, 菊池 護, 葛原 大軌, 吉本 則之, 小金澤 智之, 久保野 敦史
2. 発表標題 QCM/2D-GIXD同時測定によるペンタセン薄膜成長における核形成過程の解析
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐々木祐聖, 山本和生, 吉本則之
2. 発表標題 電子線ホログラフィーによる有機EL素子内部の電位分布計測
3. 学会等名 第63回日本顕微鏡学会シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuji Yamaguchi, Tomoyuki Koganezawa, Daiki Kuzuhara, Noriyuki Yoshimoto
2. 発表標題 Thin-Film Structure Analysis and Organic Field-Effect Transistor Performance of a Liquid Crystalline Material Ph-BTBT-10
3. 学会等名 MRS Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daiki Terui, Daiki Kuzuhara, Takeshi Watanabe, Tomoyuki Koganezawa, Ichiro Hirozawa, Noriyuki Yoshimoto
2. 発表標題 Crystal Structure Analysis of $\alpha$ , $\omega$ -Di-decyl-quaterthiophene by Two-Dimensional Grazing Incidence X-ray Diffractometry
3. 学会等名 The International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuya Chiba, Daiki Kuzuhara, Noriyuki Yoshimoto
2. 発表標題 Synthesis and Semiconducting Property of Pentaphene Derivatives
3. 学会等名 The International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Noriyuki Yoshimoto, Daiki Kuzuhara, Mamoru Kikuchi, Tomoyuki Koganezawa, Ichiro Hirose
2. 発表標題 In-Situ Observation of Thin Film Growth of Organic Semiconductors by 2D-X-ray Diffraction
3. 学会等名 Materials Research Meeting 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木 祐聖;佐藤 岳志;山本 和生;葛原 大軌;吉本 則之
2. 発表標題 電子線ホログラフィーによる有機積層膜の評価
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 二次元斜入射X線回折法によるC10-4T薄膜の構造解析
2. 発表標題 照井 大貴, 菊池 護, 葛原 大軌, 渡辺 剛, 小金澤 智之, 廣沢 一郎, 吉本 則之
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 阿部 優輝, 葛原 大軌, 小金澤 智之, 吉本 則之
2. 発表標題 2D-GIXDによるC10-4T薄膜の配向変化のその場観察
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川 倫弥, 葛原 大軌, 吉本 則之
2. 発表標題 Fabrication of Insoluble Thin Films by Sholl Reaction
3. 学会等名 化学系学協会東北大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤 慧, 大場 涼矢, 葛原 大軌, 吉本 則之
2. 発表標題 Molecular Orientations of Quarterthiophenes with Symmetric and Asymmetric Alkyl chains
3. 学会等名 化学系学協会東北大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉 裕矢, 葛原 大軌, 吉本則之
2. 発表標題 分子内環化反応によるペンタフェン誘導体の合成
3. 学会等名 第30回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐々木 祐聖, 佐藤 岳志, 山本 和生, 葛原 大軌, 吉本 則之
2. 発表標題 電子線ホログラフィーによる有機EL素子内部の電位分布の可視化
3. 学会等名 第48回結晶成長国内会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 照井 大貴;菊池 護;葛原 大軌;渡辺 剛;小金澤 智之;廣沢 一郎;吉本 則之
2. 発表標題 二次元斜入射X線回折法によるC10-4T薄膜の構造解析
3. 学会等名 第48回結晶成長国内会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 大生,菊池 護,葛原 大軌,吉本則之
2. 発表標題 チヨクラルスキー法によるベンゾフェノン単結晶育成
3. 学会等名 第48回結晶成長国内会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊藤 大生;菊池 護;葛原 大軌;吉本則之
2. 発表標題 Cz法によるベンゾフェノン単結晶育成と結晶性評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小川 倫弥,葛原 大軌,吉本 則之
2. 発表標題 光縮環反応を用いた不溶性薄膜の作製と評価
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾崎 幸潤, 松原 亮介, 阿部 優輝, 菊池 護, 葛原 大軌, 吉本 則之, 小金澤 智之, 久保野 敦史
2. 発表標題 2次元X線回折/水晶振動子マイクロバランス同時測定によるペンタセン薄膜形成初期過程のin-situ 観察
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石川 渉太, 羽生大亮, 松原 亮介, 佐藤 慧, 葛原大軌, 吉本則之, 久保野 敦史
2. 発表標題 有機半導体の薄膜形成素過程に対するアルキル側鎖の影響
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 谷山 功起, 佐藤 慧, 葛原 大軌, 吉本 則之
2. 発表標題 ジチエノピラシレンの合成と性質
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村田 哲平, 千田 一聖, 葛原 大軌, 吉本 則之
2. 発表標題 1,7位ハロゲン置換ペリレンジイミドの合成と物性
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

## 〔図書〕 計2件

1. 著者名 八瀬 清志, 石田 謙司, 石田 敬雄, 久保野 敦史, 島田 敏宏, 谷垣 宣孝, 中村 雅一, 星野 聡孝, 山本 雅人, 吉田 郵司, 吉本 則之	4. 発行年 2020年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 276
3. 書名 分子の薄膜化技術 -有機EL, 有機トランジスタ, 有機太陽電池などの有機薄膜デバイス作製技術に向けて-	

1. 著者名 権田 俊一監修吉本則之他多数	4. 発行年 2020年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 1570
3. 書名 2020版 薄膜作製応用ハンドブック	

## 〔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
研究 分 担 者	葛原 大軌  (Kuzuhara Daiki)  (00583717)	岩手大学・理工学部・准教授    (11201)	

## 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		
フランス	CINaM CNRS UMR 7325		