

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01902

研究課題名(和文)有機半導体の伝導帯バンド構造観測の実現と電子-フォノン相互作用の研究

研究課題名(英文) Observation of conduction band structure of organic semiconductor and study of electron-phonon coupling

研究代表者

吉田 弘幸 (Yoshida, Hiroyuki)

千葉大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：00283664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：有機半導体は、軽量、フレキシブルなどの特徴をもつ次世代半導体である。半導体では、電荷(正孔・電子)が動くことで機能を発現する。この電荷の挙動理解に不可欠な最も基本的な情報は、エネルギーバンド構造(エネルギーと運動量の関係)である。有機半導体の電子伝導機構は謎が多く、解明が待たれている。

正孔輸送に関わる価電子帯バンド構造は1990年代から測定されてきた。これに対して、電子輸送に関わる伝導帯バンド構造については実験手法さえなかった。本研究は、角度分解低エネルギー逆光電子分光法を確立し、有機半導体の伝導帯バンド構造の観測を可能にした。これは有機半導体の電子伝導機構の解明への大きな一歩である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機半導体の伝導帯バンド構造の測定方法を確立し、これを基に実験的な証拠がなかった高移動度有機半導体で準粒子ポラロンが生成していることを初めて実証した。さらに新たな理論「部分ポラロン」モデルを提案した。

有機半導体では、正孔に比べ電子の移動度が低いことが知られているが、原因は明らかでない。代表的な有機半導体であるペンタセンについて、実験・理論による解析により電子-フォノン相互作用がその起源であることを明らかにした。この結果は、これまで不明であった有機半導体の電子輸送機構の解明に先鞭をつけ、高性能n型(電子輸送型)有機半導体の開発への道筋をつける。

研究成果の概要(英文)：Organic semiconductors are considered to be next-generation semiconductors with unique properties such as lightness and flexibility. In semiconductors, charge carriers (holes and electrons) move around and generate their functionality. The most fundamental information for understanding the behavior of these charge carriers is the energy band structure (the dispersion relationship between energy and momentum).

The structure of the valence band responsible for hole transport has been reported since the 1990s. Conversely, the structure of the conduction band related to electron transport has not even been investigated experimentally. In this study, we have established low-energy angle-resolved inverted photoelectron spectroscopy, which allows us to observe the conduction band structure of organic semiconductors for the first time. This is an important step towards elucidating the electronic conduction mechanism of organic semiconductors.

研究分野：有機半導体

キーワード：エネルギーバンド構造 角度分解低エネルギー逆光電子分光 電子-フォノン相互作用 部分ポラロン 電子輸送 移動度

## 1. 研究開始当初の背景

有機半導体の機能は、電子と正孔の伝導により発現する。このうち電子の伝導機構は未解明である。有機半導体の電荷（正孔と電子）の伝導を決定するのは、第一義的には分子間の電子的相互作用（波動関数の重なり）である。これに加えて、電荷キャリアが分子や格子を变形させたり、分子間振動により散乱されるため、電荷 - フォノン（分子内振動、分子間振動）相互作用が伝導機構を大きく変調する。これまで正孔については、角度分解光電子分光法により観測された価電子帯バンド構造（波数 エネルギー分散関係）から、電子的相互作用の指標である有効質量や移動積分、電荷(正孔) - フォノン相互作用定数など正孔伝導記述に不可欠なパラメータが決定されてきた(図 1)。これに対応する電子伝導の研究は皆無であり、伝導帯バンド構造さえ観測されていなかった。

バンド構造は、電荷のエネルギーと運動量(波数)の保存則に基づいて観測できる。価電子帯のバンド構造は、角度分解光電子分光法 (ARPES) により観測される。一方、伝導帯のバンド構造は、角度分解逆光電子分光法 (ARIPES) により観測できる。しかし、従来の ARIPES では電子線照射による有機試料の損傷により観測が事実上不可能であった。代表者は、2012 年に低エネルギー逆光電子分光法 (LEIPS) を開発し、有機半導体の空準位のエネルギーを損傷なく観測できるようになった。これを発展させ角度分解測定により伝導帯バンド構造の観測を可能にする角度分解低エネルギー逆光電子分光法 (AR-LEIPS) の開発に成功した。このようなことから、代表者の研究室では、有機半導体の本格的な伝導帯バンド構造の測定が可能な準備が整っていた。

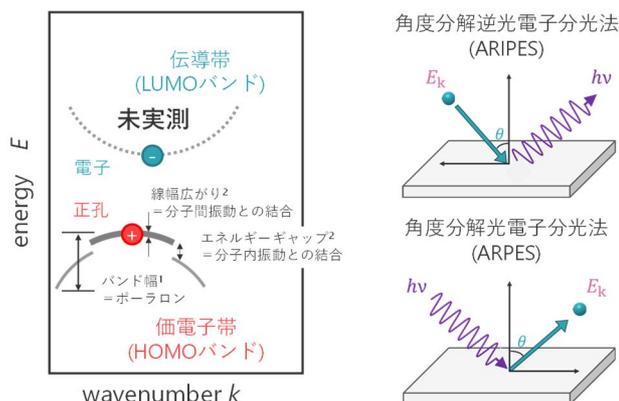


図 1 : エネルギーバンド構造と角度分解光電子分光法、角度分解逆光電子分光法

このように本研究は伝導帯バンド構造を初めて実測し、電子伝導パラメータ（移動積分、有効質量テンソル、電子 - フォノン相互作用定数）を決定する。70年前の有機半導体の発見以来、誰も手が付けられなかった電子伝導機構解明への歴史的一歩である。

## 2. 研究の目的

本研究では、代表者が開発してきた角度分解低エネルギー逆光電子分光法 (AR-LEIPS) により、有機半導体の結晶軸に対する伝導帯バンド構造を世界で初めて測定する。1990年代に始められた角度分解紫外光電子分光法 (ARUPS) による価電子帯の測定に対応するものであり、初めて伝導帯バンド構造を測定するだけでも大きな研究成果である。本研究では、さらに電子伝導機構の解明に向けて下記を行う。

- 伝導帯バンド構造を支配する主な移動積分を決定する
- 分散幅の温度依存測定からポーラロン形成を実証する
- 線幅の解析からダイナミックディスオーダーの電子 - 分子間相互作用定数を見積もるため装置の高分解能化を進める

これらを実現するには、目的に適合した分子の選択が重要である。本研究では、伝導機構研究で代表的なペンタセンを取り上げる。ペンタセンは、面内分子配向のそろった結晶性薄膜が得やすいことから ARUPS 測定の基準物質であり、最初の AR-LEIPS 試料として最適である。本研究で特に着目するペンタセンの特徴は、価電子帯と伝導帯のバンド構造の類似性（フェルミ準位に対して対称）である。代表者の第一原理バンド計算によれば、バンド構造が似ているため、バンド伝導を決める有効質量にもホッピング伝導を決める移動積分にも、正孔と電子に大きな差がない。この計算は電荷 - フォノン相互作用を含まない。しかし、実測した移動度は、電子が正孔よりも一桁も低い。相違点は電荷 - フォノン相互作用だから、伝導帯と価電子帯を比較すれば電荷 - フォノン相互作用の情報のみを引き出すことができる。

このように本研究は伝導帯バンド構造を初めて実測し、電子伝導パラメータ（移動積分、有効質量テンソル、電子 - フォノン相互作用定数）を決定する。70年前の有機半導体の発見以来、誰も手が付けられなかった電子伝導機構解明への歴史的一歩である。

### 3. 研究の方法

#### (1) ペンタセンの高度配向膜について結晶方向とバンド分散の関係を測定する

代表者の計算[Phys. Rev. B, 77, 235205(2008)]によれば、ペンタセンのバンド構造は強束縛近似に基づいて再隣接分子間の3つの移動積分だけで近似できる。本研究では、Cu (110)表面にペンタセンをエピタキシャル成長させ、結晶方位2方向以上 (例えば $\Gamma$ -M、 $\Gamma$ -Y方向) のバンド構造を測定すると、これら3つの移動積分を決定できる。

このようなAR-LEIPS測定では、ある角度 $\theta$ でのスペクトル測定に数時間を要する。角度 $\theta$ を手動で20点変えながら測定すると全測定に数週間かかり非現実的である。マニピュレーターにモーターを取り付けて $\theta$ の回転を自動化し、終夜連続測定を可能にする。

#### (2) バンド幅の温度依存

ポーラロンが生成すればバンド幅は狭小化する。この際、分子振動が温度に依存すれば、電荷-フォノン相互作用の大きさも温度に依存するため、バンド幅は温度依存する。そこで、本研究では温度70~350 Kの範囲でバンド幅を精査することで、ポーラロン生成を実証する。

#### (3) ポーラロンモデルによる解析

測定から求めた移動積分は、密度汎関数法により計算される値よりも明らかに小さかった。また、伝導帯のみ温度依存して、低温ではバンド幅が広がった。これはポーラロンによる移動積分のrenormalizationと考え、解析した。

#### (4) 高分解能測定

現在のAR-LEIPSのエネルギー分解能は、電子線エネルギーの温度広がり (0.2 eV) で制限されている。電子源にエネルギー分析器を導入することで装置分解能を0.1 eVまで向上させダイナミックディスオーダーによる線幅の広がり (~0.15 V) が観測できるようにする。

### 4. 研究成果

#### (1) ペンタセンの高度配向膜について結晶方向とバンド分散の関係を測定する

まず、実験装置の改造を行った。マニピュレーター(4軸)にステッピングモーターを取り付け、角度分解測定を自動で行えるようにした。また、試料の表面構造を観測するため、MCP-LEED (OCI BDL600IR) を導入した。

測定に用いるペンタセンの結晶性薄膜は、Cu(110)面上にペンタセンをエピタキシャル成長させることで得た。具体的には、Cu(110)単結晶表面を Ar イオンパターとアニールを繰り返すことで清浄面を得る。そこに0.1~1 nmのペンタセンを蒸着し、210 で加熱(アニール)することで配向した単分子層を得る。そこにペンタセンを蒸着することで配向のそろったペンタセン薄膜(薄膜相)を得た。

MCP-LEED による観測から、

最後のペンタセンの蒸着の際に、蒸着速度を  $0.45 \text{ nm min}^{-1}$  から  $0.15 \text{ nm min}^{-1}$  まで遅くすることで、結晶性が高められることが分かった。

ペンタセンの結晶性薄膜について、 $\Gamma$ -Y、 $\Gamma$ -X、 $\Gamma$ -M 方向に沿って ARLEIPS 測定を行った(図3)。 $\Gamma$ -Y方向について測定した LUMO 由来のピーク付近のスペクトルを図3bに示す。角度を変えることでスペクトルの形状が変化する。ピークに含まれるスペクトル成分のエネルギーを二次微分を用いて決定した。このエネルギーと波数の関係からバンド構造を求めた。この結果を図3cに示す。ブリルアン帯端で折り返しが見られており、角度によるスペクトル変化は確かにバンド構造によるものであることが分かる。

強束縛近似を仮定して、再隣接分子間の移動積分を求めたところ、 $t_1 = 27 \text{ meV}$ ,  $t_2 = 35 \text{ meV}$ ,  $t_3$

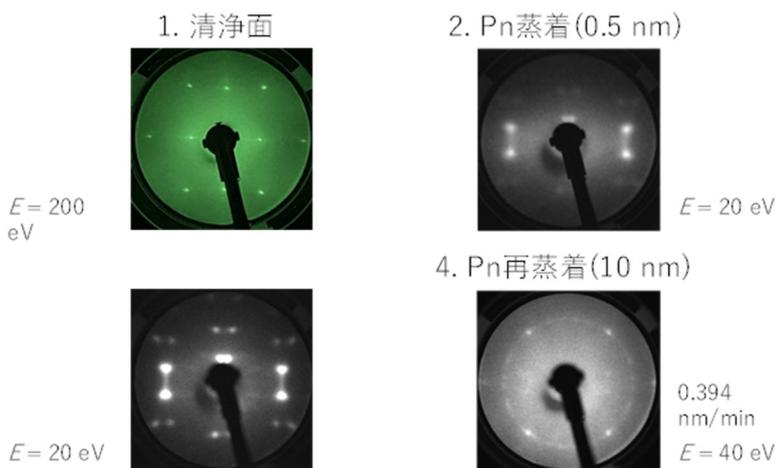


図2: ペンタセン/Cu(110)の製膜過程の MCP-LEED 像

= 75 meV となった。この結果は、密度汎関数法による計算結果  $t_1 = 47$  meV,  $t_2 = 74$  meV,  $t_3 = 81$  meV よりも明らかに小さい。

有機半導体に注入された電荷は、分子や格子の変形により安定化される。これを電荷が周囲のフォノン(分子振動、格子振動)を誘起した状態と描写し、フォノンの衣をまとった準粒子「ポーラロン」と呼ぶ。ポーラロンが形成されると、移動積分が renormalization されて値が小さくなる。さらに温度依存が現れる。

## (2) バンド幅の温度依存

ポーラロンが形成されると、バンド幅が温度に依存することから、先行研究で ARUPS によるペンタセンの価電子帯のバンド幅の温度依存が観測されている [Phys. Rev. 104, 047601 (2010)]。しかし、熱膨張の影響でも低温でのバンド幅の増加を説明できるため、ポーラロンが形成されているかどうか、議論に決着がついていなかった。

前述の移動積分の値がポーラロン形成によるものであることを確かめるため、価電子帯と伝導帯両方のバンド幅の温度依存を測定した。実験条件のわずかな違いによりピーク形状が影響するため、バンド幅の温度によるわずかな変化を観測するのは極めて困難な実験である。今回の測定に用いたペンタセンの薄膜相では、図3に示すように 点(角度 = 0°)で観測されるピークの分裂がバンド幅に対応するため、角度を変えずにバンド幅が観測できた。

図4のように、室温から液体窒素温度まで冷却すると、価電子帯のバンド幅はほとんど変化しない(温度係数  $0.05$  meV  $K^{-1}$ )のに対して、伝導帯のバンド幅は係数  $-0.14$  meV  $K^{-1}$  で広がった。基板であるシリコン酸化膜(シリコンの熱

膨張係数は  $2 \times 10^{-6} K^{-1}$ )の影響を評価するため、膨張係数が  $16 \times 10^{-6} K^{-1}$  とやや大きい Cu(110) 上に製膜したペンタセンの温度依存を測定すると、予想通りやや大きな温度依存性を示した。この結果は、観測した温度依存のバンド幅が熱膨張ではなく、確かにポーラロン形成によるものであることを裏付ける。

## (3) ポーラロンモデルによる解析

研究協力者の石井とともに解析を行った。従来のポーラロン計算のほとんどが、支配的な一つの分子振動モードとの結合を仮定していた。しかし、本研究のように価電子帯と伝導帯の違いを

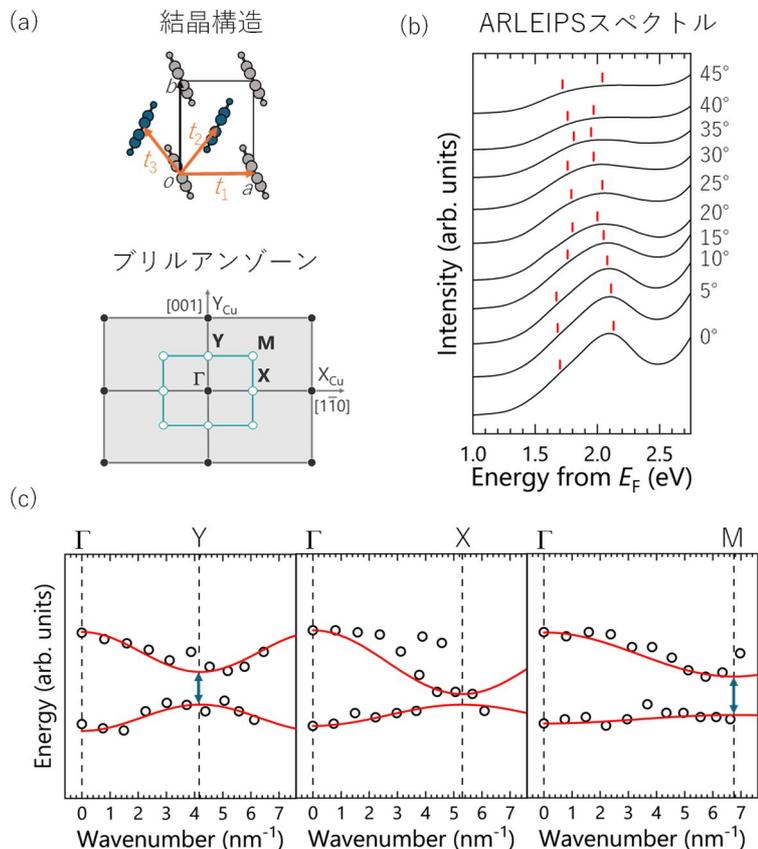


図3: ペンタセンの(a)実空間と逆空間(ブリルアンゾーン)の構造、(b)  $\Gamma$ -Y 方向の ARLEIPS スペクトル、(c) 観測したバンド構造。

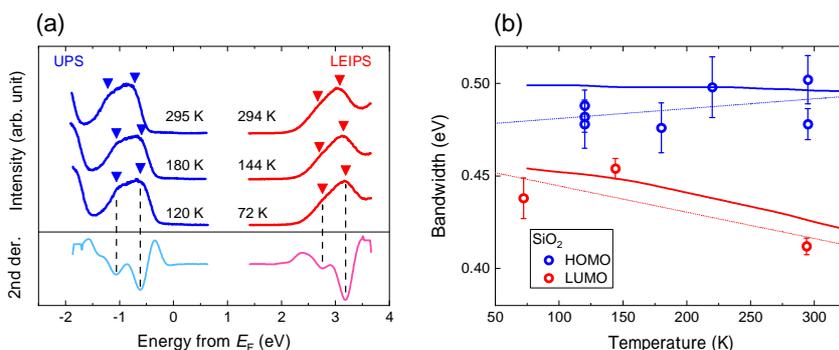


図4: ペンタセン薄膜相のバンド幅の温度依存。(a)温度依存の UPS と LEIPS スペクトル、(b)バンド幅と温度の関係。丸は測定結果、実線は部分ポーラロンモデル(後述)による計算。

解析するには、複数の振動モードを考慮したポーラロンの計算が必要である。ポーラロンによって狭小化したバンド構造を計算するには、まずバンド構造  $E(k)$  から移動積分を導出する。ポーラロンの効果を移動積分の減少として計算する。このようにして計算したバンド構造を図 5b に示す。ポーラロン生成により、価電子帯のバンド幅は 619 meV から 447 meV、伝導帯のバンド幅は、620 meV から 174 meV に狭小化した。価電子帯は実測値 480 meV とよく一致するが、伝導帯は、本研究の実測値 440 meV よりも狭くなりすぎており、ポーラロンの効果を過剰に評価している。

これは、電子が隣の分子に飛び移る時間  $\hbar/t$  ( $\hbar$  は換算プランク定数) と分子振動の振動周期 ( $2\pi/\omega$ ) の大小関係に着目すると理解できた。電子よりも遅い低振動数振動 ( $\omega < t/\hbar$ ) は電子の動きに完全には追従できないために、分子が完全に变形し終えないうちに電子が隣の分子に移動するため、従来のポーラロン理論による予測より効果が少ない。このような時間に依存したポーラロン形成を取り込むため、デバイ緩和の式を基にした振動数に対するポーラロンの寄与率を表す関数を開発した (図 5c)。これをポーラロンモデルに取り込んだ「部分ポーラロン」(partially-dressed polaron) モデルを新たに構築した。

これにより移動積分を計算すると、 $t_1 = 26$  meV,  $t_2 = 50$  meV,  $t_3 = 57$  meV と実験値と極めてよく一致する。これに基づいて計算したバンド構造も実験データと極めてよく一致した。バンド幅の温度依存についても、図 4b のように実験結果を定量的に再現した。この計算にはフィッティングパラメータは一切なく、すべて第一原理計算から求めた値だけであることを強調しておく。

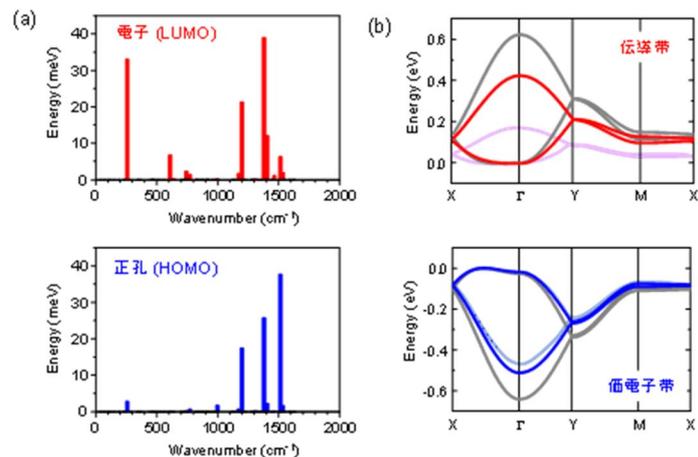


図 5 : (a)分子内振動モードと再配向エネルギー。(b)理論によるエネルギーバンド構造。ポーラロンを含まない(灰)、従来のポーラロンモデル(薄赤と青)、部分ポーラロンモデル(濃赤と青)

#### (4) ARLEIPS の高分解能化

Ibach型のHREELS電子源を基にして、研究協力者のH. IbachとF. Bocquet (独ユーリッヒ研究所) らと共同で高分解能電子源を開発した。HREELSとAR-LEIPSでは、電流が100倍 (500 nA)、分解能は1/40 (0.04 eV)、エネルギー掃引するなど、仕様が大きく異なることから、代表者がユーリッヒに滞在して基本構想を練り、ユーリッヒで作製した。電子源単体では、0.8 マイクロアンペアの電流のときにエネルギー幅が78 meVがえられた。AR-LEIPSの測定に十分な電流であり、AR-LEIPSの分解能を0.1 eV以上に改善することが可能と判断した。

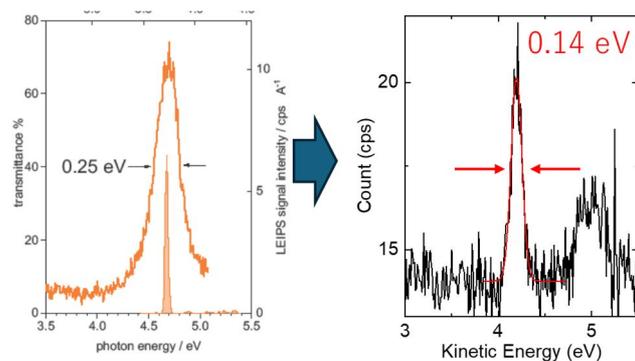


図 6 : グラファイトの鏡像準位の測定による分解能の評価(左:従来の電子源、右:新たに開発した電子源)

新型コロナウイルス感染症による渡航制限や研究所の閉鎖期間もあり、予定よりも大幅に時間がかかったが、2024年1月に、この電子源を千葉大のAR-LEIPS装置へ組み込み、装置の評価を始めた。図 6 のようにグラファイト (HOPG) の鏡像準位を測定して分解能を評価したところ、従来は0.25 eVであったが約 2 倍の0.14 eVまで改善した。設計では0.1 eV以上になるはずであることから最終的な調整を進めている

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 3件／うちオープンアクセス 1件）

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Nakazawa Ryotaro, Matsuzaki Atsushi, Shimizu Kohei, Nakamura Ikuko, Kawashima Emi, Makita Seiji, Tanaka Kiyohisa, Yasuno Satoshi, Sato Haruki, Yoshida Hiroyuki, Abdi-Jalebi Mojtaba, Stranks Samuel D., Tadano Shohei, Kruger Peter, Tanaka Yuya, Tokairin Hiroshi, Ishii Hisao | 4. 巻<br>135                 |
| 2. 論文標題<br>Reliable measurement of the density of states including occupied in-gap states of an amorphous In <sub>2</sub> Ga <sub>2</sub> Zn <sub>2</sub> O thin film via photoemission spectroscopies: Direct observation of light-induced in-gap states                                  | 5. 発行年<br>2024年             |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Applied Physics   | 6. 最初と最後の頁<br>85301         |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1063/5.0185405   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Sugie Ai, Nakano Kyohei, Tajima Keisuke, Osaka Itaru, Yoshida Hiroyuki   | 4. 巻<br>14                  |
| 2. 論文標題<br>Dependence of Exciton Binding Energy on Bandgap of Organic Semiconductors   | 5. 発行年<br>2023年             |
| 3. 雑誌名<br>The Journal of Physical Chemistry Letters  | 6. 最初と最後の頁<br>11412 ~ 11420 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1021/acs.jpcllett.3c02863  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Kashimoto Yuki, Ideta Satoshi, Sato Haruki, Orio Hibiki, Kawamura Keita, Yoshida Hiroyuki  | 4. 巻<br>94                  |
| 2. 論文標題<br>High-energy-resolution angle-resolved inverse-photoelectron spectroscopy apparatus for damage-free measurements of conduction band structures of functional materials   | 5. 発行年<br>2023年             |
| 3. 雑誌名<br>Review of Scientific Instruments   | 6. 最初と最後の頁<br>63903         |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1063/5.0138204   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |
| 1. 著者名<br>Ibach Harald, Sato Haruki, Kubo Mihiro, Tautz F. Stefan, Yoshida Hiroyuki, Bocquet Francois C.   | 4. 巻<br>94                  |
| 2. 論文標題<br>A novel high-current, high-resolution, low-kinetic-energy electron source for inverse photoemission spectroscopy  | 5. 発行年<br>2023年             |
| 3. 雑誌名<br>Review of Scientific Instruments   | 6. 最初と最後の頁<br>43908         |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1063/5.0138512   | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する                |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Minh Anh Truong, Funasaki T., Ueberricke L., Nojo W., Murdey R., Yamada T., Hu Shuaifeng, Akatsuka A., Sekiguchi N., Hira S., Xie Lingling, Nakamura T., Shioya N., Kan D., Tsuji Y., Iikubo S., Yoshida Hiroyuki, Shimakawa Y., Hasegawa T., Kanemitsu Y., Suzuki T., Wakamiya Atsushi | 4. 巻<br>145               |
| 2. 論文標題<br>Tripodal Triazatruxene Derivative as a Face-On Oriented Hole-Collecting Monolayer for Efficient and Stable Inverted Perovskite Solar Cells   | 5. 発行年<br>2023年           |
| 3. 雑誌名<br>Journal of the American Chemical Society  | 6. 最初と最後の頁<br>7528 ~ 7539 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/jacs.3c00805  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Sato Haruki, Abd. Rahman Syed A., Yamada Yota, Ishii Hiroyuki, Yoshida Hiroyuki                            | 4. 巻<br>21              |
| 2. 論文標題<br>Conduction band structure of high-mobility organic semiconductors and partially dressed polaron formation | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>Nature Materials   | 6. 最初と最後の頁<br>910 ~ 916 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1038/s41563-022-01308-z   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Z. Tiankai, W. Feng, K. Hak-Beom, C. In-Woo, W. Chuanfei, C. Eunkyung, K. Rafal, P. Yuttapoom, Terado Kosuke, K. Libor, C. Mengyun, Y. Mei, B. Sai, Y. Bowen, S. Jiajia, Y. Shih-Chi, L. Xianjie, F. Fan, Yoshida Hiroyuki, C. Weimin M., B. Jiri, C. Veaceslav, H. Anders, Bredas Jean-Luc, Fahlman Mats, Kim Dong Suk, Hu Zhangjun, Gao Feng | 4. 巻<br>377             |
| 2. 論文標題<br>Ion-modulated radical doping of spiro-OMeTAD for more efficient and stable perovskite solar cells   | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>Science  | 6. 最初と最後の頁<br>495 ~ 501 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1126/science.abo2757  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|  |                     |
|--|---------------------|
| 1. 著者名<br>Abd-Rahman Syed A., Yamaguchi Takuma, Kera Satoshi, Yoshida Hiroyuki | 4. 巻<br>106         |
| 2. 論文標題<br>Sample-shape dependent energy levels in organic semiconductors      | 5. 発行年<br>2022年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review B  | 6. 最初と最後の頁<br>75303 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/physrevb.106.075303                        | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. 著者名<br>Kubo Mihiro, Yoshida Hiroyuki  | 4. 巻<br>108                   |
| 2. 論文標題<br>Electron affinities of small-molecule organic semiconductors: Comparison among cyclic voltammetry, conventional inverse photoelectron spectroscopy, and low-energy inverse photoelectron spectroscopy | 5. 発行年<br>2022年               |
| 3. 雑誌名<br>Organic Electronics  | 6. 最初と最後の頁<br>106551 ~ 106551 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1016/j.orgel.2022.106551  | 査読の有無<br>有                    |
| オープンアクセス<br>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<br>-                     |

|   |                             |
|---|-----------------------------|
| 1. 著者名<br>Nakano Kyohei, Terado Kosuke, Kaji Yumiko, Yoshida Hiroyuki, Tajima Keisuke   | 4. 巻<br>13                  |
| 2. 論文標題<br>Reduction of Electric Current Loss by Aggregation-Induced Molecular Alignment of a Non-Fullerene Acceptor in Organic Photovoltaics | 5. 発行年<br>2021年             |
| 3. 雑誌名<br>ACS Applied Materials & Interfaces  | 6. 最初と最後の頁<br>60299 ~ 60305 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acsami.1c19275  | 査読の有無<br>有                  |
| オープンアクセス<br>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<br>-                   |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Aihara Takumi, Abd-Rahman Syed A., Yoshida Hiroyuki   | 4. 巻<br>104         |
| 2. 論文標題<br>Metal screening effect on energy levels at metal/organic interface: Precise determination of screening energy using photoelectron and inverse-photoelectron spectroscopies | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>Physical Review B   | 6. 最初と最後の頁<br>85305 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1103/physrevb.104.085305   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>-           |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Tomita Kazutaka, Shioya Nobutaka, Shimoaka Takafumi, Okudaira Koji K., Yoshida Hiroyuki, Koganezawa Tomoyuki, Hasegawa Takeshi                                | 4. 巻<br>21                |
| 2. 論文標題<br>Substrate-Independent Control of Polymorphs in Tetraphenylporphyrin Thin Films by Varying the Solvent Evaporation Time Using a Simple Spin-Coating Technique | 5. 発行年<br>2021年           |
| 3. 雑誌名<br>Crystal Growth & Design   | 6. 最初と最後の頁<br>5116 ~ 5125 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acs.cgd.1c00500   | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>-                 |

|   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. 著者名<br>Yang Jinpeng, Sato Haruki, Orio Hibiki, Liu Xianjie, Fahlman Mats, Ueno Nobuo, Yoshida Hiroyuki, Yamada Takashi, Kera Satoshi | 4. 巻<br>12                |
| 2. 論文標題<br>Accessing the Conduction Band Dispersion in CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> PbI <sub>3</sub> Single Crystals                 | 5. 発行年<br>2021年           |
| 3. 雑誌名<br>The Journal of Physical Chemistry Letters   | 6. 最初と最後の頁<br>3773 ~ 3778 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1021/acs.jpcllett.1c00530  | 査読の有無<br>有                |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する              |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>吉田 弘幸、石井 宏幸                                   | 4. 巻<br>93              |
| 2. 論文標題<br>有機半導体の電子移動度 (n型特性) はなぜ正孔移動度 (p型特性) に比べて低いのか? | 5. 発行年<br>2024年         |
| 3. 雑誌名<br>応用物理  | 6. 最初と最後の頁<br>284 ~ 288 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.11470/oubutsu.93.5_284   | 査読の有無<br>無              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

[学会発表] 計101件 (うち招待講演 27件 / うち国際学会 26件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸  |
| 2. 発表標題<br>有機薄膜太陽電池の電子準位・界面電子構造・励起子束縛エネルギーの評価法               |
| 3. 学会等名<br>AndTech WEB講座「有機薄膜太陽電池の効率化の最新状況と材料開発・今後の展望」(招待講演) |
| 4. 発表年<br>2024年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>村上 凱洋、甲斐 将也、鶴田 諒平、吉田 弘幸、山田 洋一    |
| 2. 発表標題<br>Ag(110)上でのPhC2-BQDDIの高配向多層膜の電子状態 |
| 3. 学会等名<br>第71回 応用物理春季学術講演会                 |
| 4. 発表年<br>2024年                             |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Truong Minh Anh、舟崎 司、ユーベリック ルーカス、能條 航、赤塚 有杜、塩谷 暢貴、マーデー リチャード、中村 智也、吉田 弘幸、長谷川 健、若宮 淳志 |
| 2. 発表標題<br>トリアザトリキセン骨格を用いたペロブスカイト太陽電池の正孔回収単分子膜材料の開発   |
| 3. 学会等名<br>第71回 応用物理春季学術講演会   |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>甲斐 将也、村上 凱洋、鶴田 諒平、山田 洋一、熊谷 翔平、岡本 敏宏、吉田 弘幸 |
| 2. 発表標題<br>PhC2-BQDDIの電子親和力とAg(110)上でのエピタキシャル膜作製     |
| 3. 学会等名<br>第71回 応用物理春季学術講演会                          |
| 4. 発表年<br>2024年                                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>古川 侑生、吉田 弘幸                    |
| 2. 発表標題<br>高真空ケルビンプローブを用いた有機半導体のギャップ内準位測定 |
| 3. 学会等名<br>第71回 応用物理春季学術講演会               |
| 4. 発表年<br>2024年                           |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>赤塚有杜、Minh Anh Truong、若宮淳志、Gaurav Kapil、早瀬修二、吉田弘幸 |
| 2. 発表標題<br>ヘテロ接合バンド接合モデルによる正孔収集単分子膜とペロブスカイト界面における正孔収集効率の検証  |
| 3. 学会等名<br>第71回 応用物理春季学術講演会（招待講演）                           |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Syed A. Abd Rahaman、山田陽太、石井 宏幸、吉田弘幸         |
| 2. 発表標題<br>有機半導体の伝導帯/価電子帯エネルギーバンド幅の温度依存測定によるポーラロン形成の実証 |
| 3. 学会等名<br>第71回 応用物理春季学術講演会                            |
| 4. 発表年<br>2024年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Mihiro Kubo, Hiroyuki Yoshida  |
| 2. 発表標題<br>Comparison of electron affinities in organic semiconductors measured by cyclic voltammetry, conventional inverse photoelectron spectroscopy, and low-energy inverse photoelectron spectroscopy |
| 3. 学会等名<br>DPG spring meeting2024 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Daichi Homma, Susumu Yanagisawa, Hiroyuki Yoshida  |
| 2. 発表標題<br>Direct observation of the energy band structure of the super atom molecular orbital in solid phase C60 |
| 3. 学会等名<br>DPG spring meeting2024 (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2024年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida  |
| 2. 発表標題<br>Conduction band structure of organic semiconductors and partially-dressed polaron formation |
| 3. 学会等名<br>International Symposium on Electron Spectroscopy Theory for Advanced Materials (国際学会)       |
| 4. 発表年<br>2024年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Haruki Sato, Syed A. Abd. Rahman, Yota Yamada, Hiroyuki Ishii, Hiroyuki Yoshida                                   |
| 2. 発表標題<br>Conduction band structure of organic semiconductors and partially-dressed polaron formation                       |
| 3. 学会等名<br>14th Japan-China Joint Symposium on Conduction and Photoconduction in Organic Solids and Related Phenomena (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida, Abduheber Mirzehmet   |
| 2. 発表標題<br>Surface/interface structures of perovskite films as studied by advanced electron spectroscopies |
| 3. 学会等名<br>2023 MRS fall meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yuki Kusano, Hiroyuki Yoshida   |
| 2. 発表標題<br>Automated determination of electron affinity from low-energy inverse photoelectron spectra using machine learning |
| 3. 学会等名<br>2023 MRS fall meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Aruto Akatsuka, Minh Anh Truong, Atsushi Wakamiya, Gaurav Kapil, Shuzi Hayase, Hiroyuki Yoshida                               |
| 2. 発表標題<br>Molecular orientations and hole-correction effects of monolayer materials for high-efficiency inverted perovskite solar cells |
| 3. 学会等名<br>2023 MRS fall meeting (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida   |
| 2. 発表標題<br>Direct measurement of conduction band structure of organic semiconductor |
| 3. 学会等名<br>Thin Films 2024 Webinar (招待講演) (国際学会)                                    |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>鶴田 諒平、小野 裕太郎、甲斐 将也、村上 凱洋、河野 優輝、佐々木 正洋、吉田 弘幸、山田 洋一 |
| 2. 発表標題<br>Ag基板上におけるPhC2-BQDDIの単分子層の構造および電子状態評価              |
| 3. 学会等名<br>第84回応用物理学会秋季学術講演会                                 |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>赤塚有杜、Minh Anh Truong、若宮淳志、Gaurav Kapil、早瀬修二、吉田弘幸 |
| 2. 発表標題<br>カルバゾール誘導体正孔収集単分子膜の分子配向と界面電子準位接続                  |
| 3. 学会等名<br>第84回応用物理学会秋季学術講演会                                |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>三浦真琴、中野恭兵、但馬敬介、山内光陽、山田容子、吉田弘幸         |
| 2. 発表標題<br>X線光電子分光法とCLS回帰法による電子準位のエネルギーシフト解析の新手法 |
| 3. 学会等名<br>第84回応用物理学会秋季学術講演会                     |
| 4. 発表年<br>2023年                                  |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>青木天哉、吉田弘幸                |
| 2. 発表標題<br>金属/電子輸送層BCP界面へのLiF挿入層の効果 |
| 3. 学会等名<br>第84回応用物理学会秋季学術講演会        |
| 4. 発表年<br>2023年                     |

|                                    |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>本間大智、柳澤将、吉田弘幸           |
| 2. 発表標題<br>C60固体の超原子分軌道のエネルギーバンド構造 |
| 3. 学会等名<br>第84回応用物理学会秋季学術講演会       |
| 4. 発表年<br>2023年                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>榎本 祐生、出田 智士、佐藤 晴輝、折尾 響、川村 啓太、本間 大智、吉田 弘幸 |
| 2. 発表標題<br>角度分解低エネルギー逆光電子分光装置                       |
| 3. 学会等名<br>第84回応用物理学会秋季学術講演会                        |
| 4. 発表年<br>2023年                                     |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐藤 晴輝、アブドラ - シェド、山田 陽太、石井 宏幸、吉田 弘幸 |
| 2. 発表標題<br>有機半導体の伝導帯バンド構造の実測と電子伝導機構の解明        |
| 3. 学会等名<br>第17回分子科学討論会                        |
| 4. 発表年<br>2023年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸   |
| 2. 発表標題<br>ペロブスカイト太陽電池の表面構造・界面電子構造の評価法                                      |
| 3. 学会等名<br>株式会社AndTech, ペロブスカイト太陽電池の技術開発動向・構造評価・高性能化/実用化への課題および今後の展望 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸  |
| 2. 発表標題<br>Low Energy Inverse Photoelectron Spectroscopy |
| 3. 学会等名<br>ULVAC PHI, LEIPS workshop (招待講演) (国際学会)       |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸   |
| 2. 発表標題<br>Direct measurement of conduction band structure of organic semiconductor |
| 3. 学会等名<br>Thin Films 2024 Webinar, Series#11 (招待講演) (国際学会)                         |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida  |
| 2. 発表標題<br>Precise Measurement of Exciton Binding Energies in Organic Semiconductors: Implications for High-Performance Organic Solar Cells    |
| 3. 学会等名<br>NYCU-DyEx Bilateral Symposium on Light Energy Conversion The 7th International Symposium on Dynamic Exciton in Taiwan (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida  |
| 2. 発表標題<br>Surface/interface structures of perovskite films studied by electron spectroscopies |
| 3. 学会等名<br>ICPST-40 (招待講演) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>赤塚有杜、Minh Anh Truong、若宮淳志、Gaurav Kapil、早瀬修二、吉田弘幸                                |
| 2. 発表標題<br>Molecular orientations of hole-collecting monolayers for perovskite solar cells |
| 3. 学会等名<br>ICPST-40 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>福島 駿、キム ヒョンド、大北 英生、吉田 弘幸   |
| 2. 発表標題<br>有機/金属界面での電子注入・収集障壁と金属拡散の影響 |
| 3. 学会等名<br>有機EL討論会                    |
| 4. 発表年<br>2023年                       |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                         |
| 2. 発表標題<br>低エネルギー逆光電子分光法                |
| 3. 学会等名<br>アルバックファイ LEIPSワークショップ (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2023年                         |

|                                       |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                       |
| 2. 発表標題<br>有機半導体の伝導帯観測と電子-フォノン相互作用の解明 |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2023年春季大会（招待講演）      |
| 4. 発表年<br>2023年                       |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                      |
| 2. 発表標題<br>有機半導体の伝導帯バンド構造の実測と伝導機構の解明 |
| 3. 学会等名<br>第70回 応用物理春季学術講演会（招待講演）    |
| 4. 発表年<br>2023年                      |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>草野佑紀、吉田弘幸                            |
| 2. 発表標題<br>機械学習を用いた低エネルギー逆光電子分光法スペクトルの自動解析の高精度化 |
| 3. 学会等名<br>第70回 応用物理春季学術講演会                     |
| 4. 発表年<br>2023年                                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田 弘幸、中野 恭兵、杉江 藍、但馬 敬介、尾坂 格 |
| 2. 発表標題<br>有機太陽電池材料の最適なバンドギャップはいくらか？   |
| 3. 学会等名<br>第70回 応用物理春季学術講演会            |
| 4. 発表年<br>2023年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>赤塚有杜、チョンミンアン、若宮淳志、吉田弘幸        |
| 2. 発表標題<br>マルチポッド型正孔収集材料の導電性酸化物電極上での分子配向 |
| 3. 学会等名<br>第70回 応用物理春季学術講演会              |
| 4. 発表年<br>2023年                          |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>久保美潤、吉田弘幸   |
| 2. 発表標題<br>溶媒和エネルギーを考慮したサイクリックボルタンメトリーと低エネルギー逆光電子分光による電子親和力の関係 |
| 3. 学会等名<br>第70回 応用物理春季学術講演会                                    |
| 4. 発表年<br>2023年  |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>久保美潤、吉田弘幸             |
| 2. 発表標題<br>準大気圧低エネルギー逆光電子分光装置の開発 |
| 3. 学会等名<br>高密度共役領域会議             |
| 4. 発表年<br>2023年                  |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                  |
| 2. 発表標題<br>分子四重極と有機薄膜太陽電池の電荷分離   |
| 3. 学会等名<br>第11回動的エキシトンセミナー（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2022年                  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida, Abduheber Mirzehmet   |
| 2. 発表標題<br>Surface/Interface Structures of Perovskite Films Studied By Electron Spectroscopies |
| 3. 学会等名<br>241th ECS meeting   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                        |
| 2. 発表標題<br>有機半導体のLUMO バンド構造の実測と伝導機構の解明 |
| 3. 学会等名<br>応物M & BE研究会                 |
| 4. 発表年<br>2022年                        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida   |
| 2. 発表標題<br>Electron injection and collection barriers at organic/metal interface  |
| 3. 学会等名<br>The 39 International Conference of Photopolymer Science and Technology |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                                    |
| 2. 発表標題<br>角度分解低エネルギー逆光電子分光の開発と有機半導体の伝導帯測定とポーラロン形成 |
| 3. 学会等名<br>応用物理学会 光機能研究会                           |
| 4. 発表年<br>2022年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida, Abduheber Mirzehmet, Peter Kruger, Muhammad Akmal Kamarudin, Shuzi Hayase (Chiba Univ, Univ Electro-Communications) |
| 2. 発表標題<br>Surface/interface structures of perovskite films studied by electron spectroscopies   |
| 3. 学会等名<br>PVSEC-33 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Kyohei Nakano, Kosuke Terado, Yumiko Kaji, Hiroyuki Yoshida, Keisuke Tajima |
| 2. 発表標題<br>Why is Y6 a good electron-acceptor for organic photovoltaics?               |
| 3. 学会等名<br>PVSEC-33 (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>久保 美潤、吉田 弘幸                        |
| 2. 発表標題<br>電気化学測定による還元電位からの有機半導体の電子親和力予測法の再検討 |
| 3. 学会等名<br>化学フェスタ                             |
| 4. 発表年<br>2022年                               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐藤晴輝, 鈴木哲成, 久保美潤, 本間大智, 甲斐将也, 吉田弘幸 |
| 2. 発表標題<br>角度分解低エネルギー逆光電子分光の開発と有機半導体の伝導帯の観測   |
| 3. 学会等名<br>VACUUM2022真空展                      |
| 4. 発表年<br>2022年                               |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                     |
| 2. 発表標題<br>ペロブスカイト薄膜の表面構造と界面電子準位接続  |
| 3. 学会等名<br>第83回 応用物理学会秋季学術講演会（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2022年                     |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>本間大智、吉田弘幸  |
| 2. 発表標題<br>角度分解低エネルギー逆光電子分光法によるC60固体の超原子分子軌道のエネルギーバンド構造東北大学 |
| 3. 学会等名<br>第83回 応用物理学会秋季学術講演会                               |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>佐藤晴輝、鈴木哲成、本間大智、吉田弘幸                 |
| 2. 発表標題<br>Cu(110)上のペンタセンエピタキシャル薄膜のLUMOバンド構造測定 |
| 3. 学会等名<br>第83回 応用物理学会秋季学術講演会                  |
| 4. 発表年<br>2022年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>草野佑紀、吉田弘幸                       |
| 2. 発表標題<br>機械学習を用いた低エネルギー逆光電子分光法スペクトルの自動解析 |
| 3. 学会等名<br>第83回 応用物理学会秋季学術講演会              |
| 4. 発表年<br>2022年                            |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>石井 宏幸、吉田 弘幸、小林 伸彦                    |
| 2. 発表標題<br>【注目講演】有機半導体の低振動数分子内振動による電子バンド変調と伝導物性 |
| 3. 学会等名<br>第83回 応用物理学会秋季学術講演会                   |
| 4. 発表年<br>2022年                                 |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>谷佳樹, 川島雅哉, 高橋龍之介, 下元直樹, 田原圭志朗, 阿部正明, 吉田弘幸, 和達大樹 |
| 2. 発表標題<br>X線光電子分光と低エネルギー逆光電子分光によるRu三核錯体の電子状態の観測           |
| 3. 学会等名<br>日本物理学会2022年秋季大会                                 |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>久保 美潤、吉田 弘幸                        |
| 2. 発表標題<br>電気化学測定による還元電位からの有機半導体の電子親和力予測法の再検討 |
| 3. 学会等名<br>高密度共役若手会                           |
| 4. 発表年<br>2022年                               |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>甲斐 将也、吉田 弘幸            |
| 2. 発表標題<br>高移動度n型有機半導体の伝導帯バンド構造測定 |
| 3. 学会等名<br>第17回有機デバイス・物性院生研究会     |
| 4. 発表年<br>2022年                   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>青木天哉                                |
| 2. 発表標題<br>金属/二次元層状物質/有機半導体の界面探査に向けたh-BN清浄面の作製 |
| 3. 学会等名<br>第17回有機デバイス・物性院生研究会                  |
| 4. 発表年<br>2022年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>久保 美潤、吉田 弘幸   |
| 2. 発表標題<br>サイクリック・ポルタンメトリーと低エネルギー逆光電子分光により 測定した低分子有機半導体の電子親和力の関係 |
| 3. 学会等名<br>有機EL討論会   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                        |
| 2. 発表標題<br>有機半導体のLUMO バンド構造の実測と伝導機構の解明 |
| 3. 学会等名<br>応物M&BE研究会（招待講演）             |
| 4. 発表年<br>2022年                        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸   |
| 2. 発表標題<br>Electron injection and collection barriers at organic/metal interface              |
| 3. 学会等名<br>The 39 International Conference of Photopolymer Science and Technology（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                                    |
| 2. 発表標題<br>角度分解低エネルギー逆光電子分光の開発と有機半導体の伝導帯測定とポーラロン形成 |
| 3. 学会等名<br>応用物理学会 光機能研究会 (招待講演)                    |
| 4. 発表年<br>2022年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida, Abduheber Mirzehmet   |
| 2. 発表標題<br>Surface/Interface Structures of Perovskite Films Studied By Electron Spectroscopies |
| 3. 学会等名<br>241th ECS meeting (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                   |
| 2. 発表標題<br>分子四重極と有機薄膜太陽電池の電荷分離    |
| 3. 学会等名<br>第11回動的エキシトンセミナー (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2022年                   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>石井 宏幸、吉田 弘幸、小林 伸彦            |
| 2. 発表標題<br>有機半導体における電子と正孔の移動度の差とその微視的起源 |
| 3. 学会等名<br>第69回 応用物理学会 春季学術講演会          |
| 4. 発表年<br>2022年                         |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>寺戸 航佑、吉田 弘幸                           |
| 2. 発表標題<br>低エネルギー電子線透過分光と主成分分析法による有機半導体の電子線損傷の解析 |
| 3. 学会等名<br>第69回 応用物理学会 春季学術講演会                   |
| 4. 発表年<br>2022年                                  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>鈴木 哲成、佐藤 晴輝、シェド アブドラー、石井 宏幸、ジョーダン ダル、バリー ランド、吉田 弘幸 |
| 2. 発表標題<br>結晶性ルブレン薄膜のLUMOバンド構造の実測                             |
| 3. 学会等名<br>第69回 応用物理学会 春季学術講演会                                |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>川島 雅哉、キム ミンジュン、夫 勇進、吉田 弘幸   |
| 2. 発表標題<br>ワイドギャップ有機半導体の低エネルギー逆光電子分光測定 |
| 3. 学会等名<br>第69回 応用物理学会 春季学術講演会         |
| 4. 発表年<br>2022年                        |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>久保 美潤、吉田 弘幸  |
| 2. 発表標題<br>サイクリック・ボルタンメトリーと低エネルギー逆光電子分光により測定した低分子有機半導体の電子親和力の関係 |
| 3. 学会等名<br>第69回 応用物理学会 春季学術講演会                                  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>佐藤 晴輝、久保 美潤、Bocquet Francois C.、Tautz F. Stefan、Ibach Harald、吉田 弘幸 |
| 2. 発表標題<br>100 meV以上の超高分解能逆光電子分光測定のための電子銃の開発                                  |
| 3. 学会等名<br>第69回 応用物理学会 春季学術講演会  |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸  |
| 2. 発表標題<br>電子分光で調べるペロブスカイトの表面・界面構造                             |
| 3. 学会等名<br>日本太陽光発電学会 第2回ペロブスカイト太陽電池分科会「ペロブスカイト太陽電池の基礎科学」(招待講演) |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                            |
| 2. 発表標題<br>LUMO準位の直接観測による有機/金属界面の電子注入・収集障壁 |
| 3. 学会等名<br>学振125委員会(招待講演)                  |
| 4. 発表年<br>2022年                            |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida, Haruki Sato, Hibiki Orio, Keita Kawamura                              |
| 2. 発表標題<br>Conduction band structure of organic semiconductors                                     |
| 3. 学会等名<br>International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (Pacifichem)2021(招待講演)(国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki YOSHIDA, Abduheber MIRZEHMET  |
| 2. 発表標題<br>Surface/interface structures of perovskite films as studied by electron spectroscopies |
| 3. 学会等名<br>MATERIALS RESEARCH MEETING 2021 (MRM2021) (国際学会)                                       |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Haruki Sato, Hibiki Orio, Hiroyuki Yoshida                       |
| 2. 発表標題<br>Measurement of LUMO Band Structure of Organic Semiconductor      |
| 3. 学会等名<br>The 9th International Symposium on Surface Science(ISSS9) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>S. A. Ab. Rahman, Y. Yamada, H. Sato, H. Ishii, H. Yoshida  |
| 2. 発表標題<br>Evidence of Polaron Formation in Organic Semiconductor proved by Temperature-Dependent HOMO/LUMO bandwidths |
| 3. 学会等名<br>The 9th International Symposium on Surface Science(ISSS9) (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸、佐藤晴輝、シェド・アブドラ、山田陽太、石井 宏幸 |
| 2. 発表標題<br>有機半導体の伝導帯バンド構造の実測とポラロン形成の実証   |
| 3. 学会等名<br>薄膜材料デバイス研究会 第18回研究集会 (招待講演)   |
| 4. 発表年<br>2021年                          |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Haruki Sato   |
| 2. 発表標題<br>Measurement of LUMO Band Structure of Organic Semiconductor |
| 3. 学会等名<br>ASOMEA-X (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Syed A. Ab Rahman   |
| 2. 発表標題<br>Evidence of Polaron Formation in Organic Semiconductor from Temperature-dependent |
| 3. 学会等名<br>ASOMEA-X (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Ishii, Hiroyuki Yoshida, and Nobuhiko Kobayashi  |
| 2. 発表標題<br>Impact of Small Polaron with Low-Frequency Molecular Vibration on Electron Mobility of Organic Semiconductors |
| 3. 学会等名<br>ASOMEA-X (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Haruki Sato, Syed A. Abd. Rahman, Yota Yamada, Hiroyuki Ishii, Hiroyuki Yoshida  |
| 2. 発表標題<br>Energy Band Structure of the Lowest Unoccupied Molecular Orbital and Polaron Formation in High-Mobility Organic Semiconductors |
| 3. 学会等名<br>ASOMEA-X (国際学会)  |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>中澤 遼太郎、松崎 厚志、清水 康平、川嶋 絵美、安野 聡、Adbi-Jalebi Mojtaba、Stranks D. Samuel、吉田 弘幸、田中 有弥、東海林 弘、石井 久夫 |
| 2. 発表標題<br>高感度紫外光電子分光、硬X線光電子分光、低エネルギー逆光電子分光を用いたアモルファスIn-Ga-Zn-O薄膜の状態密度の解析                              |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会   |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>中野 恭兵、寺戸 航佑、加地 由美子、吉田 弘幸、但馬 敬介 |
| 2. 発表標題<br>非フラーレンアクセプタY6の凝集構造中の面内配向       |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会              |
| 4. 発表年<br>2021年                           |

|                               |
|-------------------------------|
| 1. 発表者名<br>佐藤 晴輝、折尾 響、吉田 弘幸   |
| 2. 発表標題<br>有機半導体のLUMOバンド構造の実測 |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会  |
| 4. 発表年<br>2021年               |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>山田 陽太、Syed Abdulah Bin Syed Ab Raman、佐藤 晴輝、石井 宏幸、吉田 弘幸 |
| 2. 発表標題<br>有機半導体のHOMO/LUMO準位バンド幅の温度依存測定によるスモールポーラロン形成の実証          |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会                                      |
| 4. 発表年<br>2021年   |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>久保 美潤、吉田 弘幸           |
| 2. 発表標題<br>準大気圧低エネルギー逆光電子分光装置の設計 |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会     |
| 4. 発表年<br>2021年                  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>寺戸 航佑、キム ヒョンド、大北 英生、斎藤 慎彦、尾坂 格、吉田 弘幸 |
| 2. 発表標題<br>非フラーレンアクセプターの四重極と有機太陽電池の開放電圧         |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会                    |
| 4. 発表年<br>2021年                                 |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>福島 駿、キム ヒョンド、大北 英生、吉田 弘幸     |
| 2. 発表標題<br>有機太陽電池の陰極/有機電解質界面のLUMO電子準位接続 |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会            |
| 4. 発表年<br>2021年                         |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>折尾 響、佐藤晴輝、堤 潤也、解良 聡、吉田弘幸                |
| 2. 発表標題<br>溶液法で作製した高結晶性C8-BTBT薄膜のイオン化エネルギーと電子親和力測定 |
| 3. 学会等名<br>第82回応用物理学会秋季学術講演会                       |
| 4. 発表年<br>2021年                                    |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                                |
| 2. 発表標題<br>(チュートリアル講演)低エネルギー逆光電子分光法と有機半導体の電子状態 |
| 3. 学会等名<br>第16回 有機デバイス・物性院生研究会 (招待講演)          |
| 4. 発表年<br>2021年                                |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                        |
| 2. 発表標題<br>有機半導体の電子準位と低エネルギー逆光電子分光法    |
| 3. 学会等名<br>2021年アルバック・ファイ 技術講演会 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2021年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Hiroyuki Yoshida, Ai Sugie, Kosuke Terado, Kyohei Nakano, Keisuke Tajima, Itaru Osaka             |
| 2. 発表標題<br>Exciton Binding Energy of Organic Solar Cell Materials  |
| 3. 学会等名<br>The 38th International Conference of Photopolymer Science and Technology (ICPST-38) (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2021年  |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>吉田弘幸                      |
| 2. 発表標題<br>ペロブスカイト薄膜の表面終端構造と界面電子準位   |
| 3. 学会等名<br>21-1 有機エレクトロニクス研究会 (招待講演) |
| 4. 発表年<br>2021年                      |

〔図書〕 計1件

|                        |                 |
|------------------------|-----------------|
| 1. 著者名<br>安達千波矢、吉田弘幸、他 | 4. 発行年<br>2024年 |
| 2. 出版社<br>シーエムシー出版     | 5. 総ページ数<br>400 |
| 3. 書名<br>有機半導体の開発と最新動向 |                 |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)                | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-------|--|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 石井 宏幸<br><br>(Ishii Hiroyuki)            | 筑波大学                  |    |
| 研究協力者 | 佐藤 晴輝<br><br>(Sato Haruki)               |                       |    |
| 研究協力者 | アブドラ マン シェド<br><br>(Abd. Rahman Syed A.) |                       |    |
| 研究協力者 | 川村 啓太<br><br>(KAWAMURA Keita)            |                       |    |
| 研究協力者 | 山田 陽太<br><br>(Yamada Yota)               |                       |    |

6. 研究組織（つづき）

|       | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号)           | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|-------|-------------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | 鈴木 哲成<br><br>(SUZUKI Tessei)        |                       |    |
| 研究協力者 | 本間 大智<br><br>(HONMA Daichi)         |                       |    |
| 研究協力者 | ボケ フランソワ<br><br>(Bocquet Bocquet)   |                       |    |
| 研究協力者 | イーバツハ ハラルド<br><br>(Ibach Harald)    |                       |    |
| 研究協力者 | タウツ シュテファン<br><br>(Tautz F. Stefan) |                       |    |

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  |  |  |  |
|---------|----------|--|--|--|
| ドイツ     | ユーリッヒ研究所 |  |  |  |