

令和 2 年 5 月 22 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K05003

研究課題名(和文) 四量化反応による自発的有機pn接合ナノロッド形成と有機薄膜太陽電池の高効率化

研究課題名(英文) Fabrication of p-n junction nano-rods of organic semiconductor for organic photovoltaic devices

研究代表者

小柴 康子 (Koshiba, Yasuko)

神戸大学・工学研究科・助手

研究者番号：70243326

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：有機薄膜太陽電池の効率向上に向けて、p型有機半導体とn型有機半導体が接合したナノロッドの作製を目指した。有機半導体としてフタロシアニン(Pc)化合物に注目し、p型のPcナノロッドを実装した有機薄膜太陽電池では、通常の構造と比較してエネルギー変換効率が向上した。化学気相成長法によりp型のPc薄膜上にn型のPcのロッドを作製することを試みた。薄膜作製条件(基板温度、基板の表面エネルギー)を詳細に検討することにより真空蒸着法で基板に垂直方向に成長する直径数10ナノメートル(nm)のpn接合ナノロッドを作製することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

再生可能エネルギーに対する関心は高まり様々な研究が行われている。本研究では、光電変換材料として有機半導体を用いた有機半導体薄膜構造に注目して研究を行った。真空蒸着法を用いて、基板温度と基板の表面エネルギーを最適化することで基板と垂直方向に直径数10nmのサイズの有機半導体のナノロッドを作製することができた。このサイズとナノロッドの成長方向は有機半導体を用いた有機薄膜太陽電池の光電変換効率向上に有利であると考えられ、有機薄膜太陽電池の効率向上に繋がる成果を得ることができた。

研究成果の概要(英文)： In this study, we focused on the 1D p-n junctions; and tried to fabricate p-n junction nanorods with phthalocyanine compounds using vacuum deposition and chemical vapor deposition. Organic photovoltaic cells containing copper phthalocyanine (CuPc) nanorods as a p-type semiconductor were fabricated and photovoltaic characteristics were observed. We tried to fabricate metal-2,3,9,10,16,17,23,24-octacyanophthalocyanine-metal [CuPc(CN)₈-Cu] nanorods by the tetramerization of TCNB on the CuPc thin films. CuPc as p-type semiconductor, copper hexadecafluoro-phthalocyanine (F16CuPc) as n-type were vacuum-deposited on substrates with optimized substrate temperature and surface energy. Consequently, p-n junction nanorods of CuPc and F16CuPc were fabricated with out-of-plane growth.

研究分野：物質物理化学

キーワード：有機半導体 ナノロッド pn接合 化学気相成長法 真空蒸着法 有機薄膜太陽電池

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

再生可能エネルギーへの関心が世界的に高まっている。太陽光による発電もその一つで、なかでも有機薄膜太陽電池(OPV)は次世代太陽電池の有力候補として注目を集めているが、シリコン太陽電池に比べてエネルギー変換効率(PCE)が低いことが課題になっている。しかし近年、国内外の企業による研究開発が進み、有機薄膜太陽電池もいよいよ実用化のフェーズに入ってきたと考えられる。しかし、国内外の企業による研究開発においては技術内容が殆ど公開されていないのが現状である。このような背景の下、Vohra らは有機半導体ポリマーを用いた有機薄膜太陽電池において、光電変換効率 10%を達成し、半導体ポリマーの結晶性や分子配向が光電変換効率に大きく影響することを報告している(Nature Photonics, 9 (2015) 403)。有機半導体の励起子拡散長は 20nm 程度と短いことから有機半導体薄膜中での電荷分離・電荷輸送の過程が PCE に大きく影響を及ぼす。我々は電荷分離に有利な p 型/n 型界面を得るために、有機半導体層の薄膜構造に注目し、Chemical Vapor Deposition (CVD) 法を用いて n 型有機半導体であるオクタシアノ金属フタロシアニン(MPc(CN)₈)のナノロッド形成に関する研究を行ってきた。昇華した 1,2,4,5-テトラシアノベンゼン(TCNB)はアルカリハライドあるいは各種金属蒸着膜上で金属原子と選択的に四量化反応し、MPc(CN)₈ 薄膜が生成、薄膜中で MPc(CN)₈-金属(M)錯体がロッド状に成長する。これまで、申請者らは、KCl 単結晶上での CVD 条件制御により「ナノサイズ」の KPc(CN)₈-K₂ ロッドを作製し、n 型半導体特性と光電変換特性について報告をし、さらに TCNB の真空中から大気下での熱物性を実測し CVD 条件を探索、金属極薄膜上での MPc(CN)₈-M ナノロッド作製を試み、金属種によるロッド成長の違いを明らかにしてきた。TCNB の四量化反応による MPc(CN)₈ の合成には、フタロシアニン環の中心金属になる金属源が必要である。これまで金属源としてアルカリハライド、金属蒸着膜を用いていたが、新たな金属源として MPc(CN)₈ と同様にフタロシアニン化合物であり p 型有機半導体である金属フタロシアニン(MPc)に注目した。MPc 分子の中心金属を金属源として、CVD 法による TCNB の四量化反応を行うことで、選択的な反応による MPc 上に直接 MPc(CN)₈ 分子を生成、ホモエピタキシャルのロッド成長で有機 pn 接合ナノロッドの構築をめざした。

2. 研究の目的

本研究では、Chemical Vapor Deposition (CVD) 法を用いて、p 型有機半導体である金属フタロシアニン(MPc)ロッド上で、テトラシアノベンゼン (TCNB) の四量化反応により n 型有機半導体である MPc(CN)₈ を合成と同時にロッド成長させ、自発的に有機 pn 接合ナノロッドを形成する方法を開発する。具体的には真空蒸着法により基板の表面エネルギーと基板温度の制御を行い p 型 MPc のロッド成長の制御を行い、MPc 薄膜上での CVD により n 型有機半導体であるのロッド成長を試みる。ナノロッドを実装した有機薄膜太陽電池を作製し光電変換特性評価を行う。

3. 研究の方法

p 型有機半導体として銅フタロシアニン(CuPc)を用いた。ITO 基板の表面エネルギーを変化させるためにホスホン酸 SAM 試薬を用いて ITO の表面修飾を行った。1H,1H,2H,2H - Perfluoro - n- octylphosphonic acid (FOPA,同仁化学研究所)溶液に ITO 基板を浸漬して SAM を作製した。ITO および ITO /FOPA 上に p 型有機半導体として CuPc を 5~40nm の膜厚で真空蒸着法にて堆積し構造を評価した。次に OPV を ITO/FOPA (or without)/CuPc nanorods/[6,6]-phenyl-C61-butyric acid methyl ester (PCBM)/LiF (0.5 nm)/Al (60 nm)の構造で作製し、光電特性評価を行った。

CuPc 薄膜を真空蒸着法により基板上に作製し、この基板と原料であるテトラシアノベンゼン(TCNB)をパイレックスガラス管(φ10mm、長さ約 10cm)に入れ、アルゴン雰囲気下で 1.5 KPa 程度まで減圧しながら封管した。この封管を 300 の電気炉中で、6 時間および 24 時間加熱し作製した薄膜の構造を観察した。

Au を 20 nm 真空蒸着した基板上に昇華精製した p 型有機半導体 CuPc、n 型有機半導体であるフッ素化銅フタロシアニン F₁₆CuPc を基板温度 25 および 110 で真空蒸着した。作製した薄膜中の分子配向および構造評価を行った。pn 接合ナノロッドの作製として CuPc 上に F₁₆CuPc を真空蒸着し得られたナノロッドの構造評価を行った。

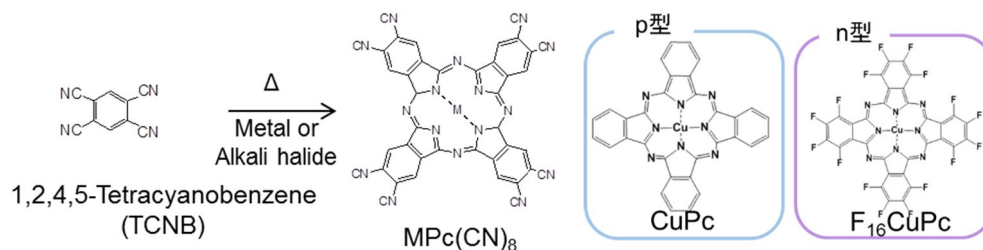


図 1. TCNB、MPc(CN)₈:OcPc の分子構造と環化反応の反応式と、CuPc、F₁₆CuPc の構造式

4. 研究成果

ITO および ITO /FOPA 上に蒸着した CuPc 薄膜は、紫外可視吸収(UV-vis)スペクトル、および X 線回折測定結果より、全ての成膜条件において α 型 CuPc の結晶構造を示した。走査型電子顕微鏡(SEM) 観察より、基板温度室温($T_s=RT$)では、ナノロッド構造は観察されず、ITO 上では直径 20nm の球形、ITO/FOPA 上では 70nm の楕円形の粒子状となった。基板温度を高くすると、両基板上においてナノロッド構造が観察された。ITO 上では基板温度 150 から均一な長さのナノロッド(約 300nm)が形成したのに対し、ITO/FOPA 上では 100 から不均一なナノロッド(500 ~ 1000nm)の形成がみられた。図 2 に基板温度室温、および 200 で ITO、および ITO/FOPA に作製した薄膜の SEM 像、および $T_s=150$ で作製したナノロッドを実装した OPV の J-V カーブを示す。いずれのセルも暗所下、光照射下で整流性を示した。FOPA による表面修飾なしで作製したセルの短絡電流密度(J_{sc})、開放電圧(V_{oc})、フィルファクター(FF)、光電変換効率(η)はそれぞれ 1.85 mA/cm², 0.54 V, 0.425, 0.42 %, FOPA による表面修飾をしたセルでは 1.54 mA/cm², 0.23 V, 0.36, 0.12 %であった。FOPA 修飾基板のセルでは FOPA 無しのセルと比較して、 V_{oc} と FF が低くなったため光電変換効率が低くなったと考えられた。これは FOPA 上でのナノロッド成長が不均一で良好な pn 界面の形成が阻害されたことと、長いものでは 1 μ m 以上に成長しリークしたためと考えられる。

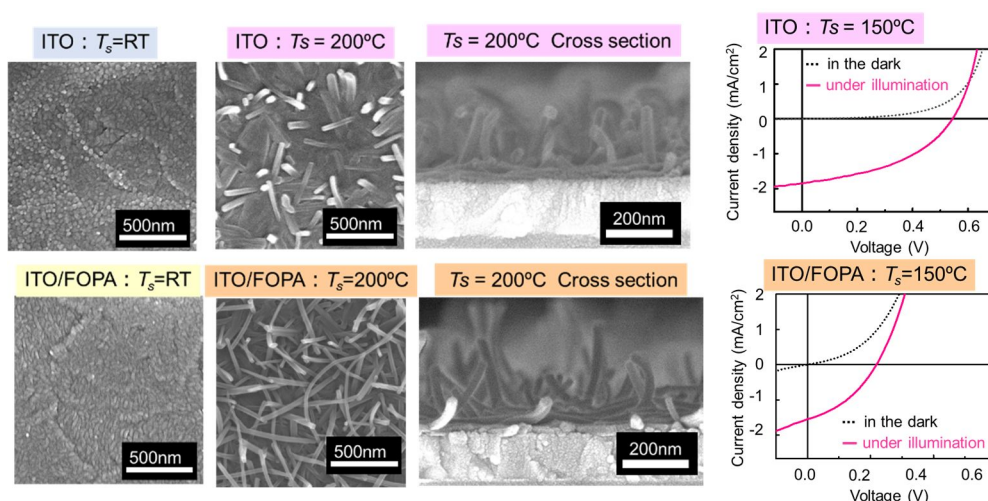


図 2. ITO および ITO /FOPA 上に基板温度室温、200℃で作製した CuPc 薄膜の SEM 像と基板温度 150℃で作製したロッド状薄膜を実装した OPV セルの J-V カーブ:

しかし、FOPA なし $T_s=RT$ で作製したグレイ状の薄膜で作製した OPV の η は 0.21 %であり、ロッド状に成長した $T_s=150$ の CuPc 薄膜を用いて作製したセルの $\eta=0.42$ %と比較して低い値であったことかナノロッド構造は OPV の光電変換特性の向上に有効であることを示すことができた。

CuPc 蒸着膜(石英基板上、200 nm)と TCNB を封管中で 300 °C、6 時間および 24 時間加熱し、CVD での成膜を試みた。CuPc 蒸着膜は青色を呈していたが、作製した薄膜は青緑色になった。6 時間、および 24 時間加熱後の薄膜の SEM 像と、6 時間加熱後の薄膜、CuPc 蒸着膜、Cu 蒸着膜上で CVD で作製した CuPc(CN)₈ 薄膜の UV-vis スペクトルを図.3 に示す。

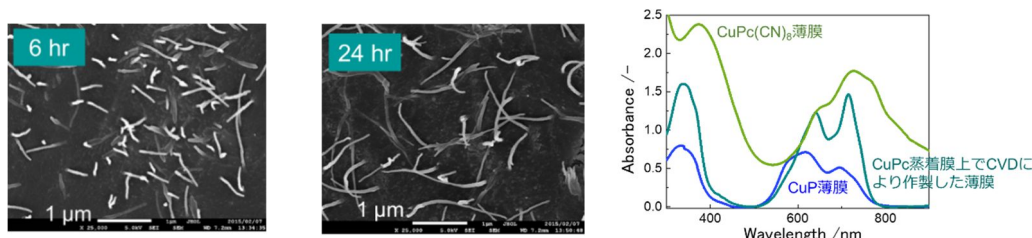


図 3. CuPc 蒸着膜上で CVD 法により作製した薄膜の SEM 像と UV-vis スペクトル

SEM 観察より、CuPc 蒸着膜上で CVD 法による CuPc(CN)₈ ロッド状膜作製を試みた結果、6 時間、24 時間の加熱により、CuPc 薄膜には見られないロッドが形成されていることがわかった。ロッドの直径は 30 ~ 40 nm、長さは 80 ~ 150 nm で 24 時間加熱後の薄膜では、6 時間加熱の薄膜と比べてロッドの長さは長くなっていた。金属蒸着膜、またはアルカリハライド上での CVD に

より $\text{MPc}(\text{CN})_8$ がロッド状に成長することはこれまでの研究で明らかになっているが、CVD による TCNB の四量化反応には中心金属になる金属源が必要であり、これまで基板として金属蒸着膜、アルカリハライドを用いて $\text{MPc}(\text{CN})_8$ を作製していた。CuPc 薄膜との CVD 法でナノロッドが生成できたことから、CuPc 分子中の Cu を引き抜き TCNB が四量化、 $\text{CuPc}(\text{CN})_8$ ロッドを形成した可能性が示唆された。UV-vis スペクトルからは 337 nm にフタロシアニン類の π - π^* 遷移に基づくソーレー帯に基づく吸収、および 642、718 nm に同様に π - π^* 遷移に基づく Q バンドの吸収が見られた。CuPc 蒸着膜では、617、695 nm に Q バンドの吸収がみられ、CVD 後の薄膜では Q バンドの吸収の長波長シフトが観測された。Cu 蒸着膜上で作製した薄膜の吸収スペクトルでは 643、670、713 nm に Q バンドに基づく吸収がみられたことから CuPc 薄膜上に $\text{CuPc}(\text{CN})_8$ が生成された可能性が高いと考えられた。

FOPA 修飾した ITO 基板上的 CuPc ナノロッド作製では、FOPA により ITO の表面エネルギーが低下したため面内方向でナノロッド成長しその後原因はわかっていないがロッドが面外方向に成長することがわかった。Pn 接合ナノロッドの作製にはロッド成長初期から面外方向にロッド成長をさせるために、表面エネルギーが高い金(Au)蒸着膜上で CuPc のロッド成長を試みた。図 4 に Si 基板上、および Au を蒸着した石英基板上に基板温度 25°C および 110°C で真空蒸着した CuPc の SEM 像、と ITO 基板 (Au なし) 上と Au 蒸着基板上に同様の温度条件で作製した CuPc 薄膜の高感度反射法(RAS)で測定したフーリエ変換赤外吸収(FT-IR)スペクトルを示す。

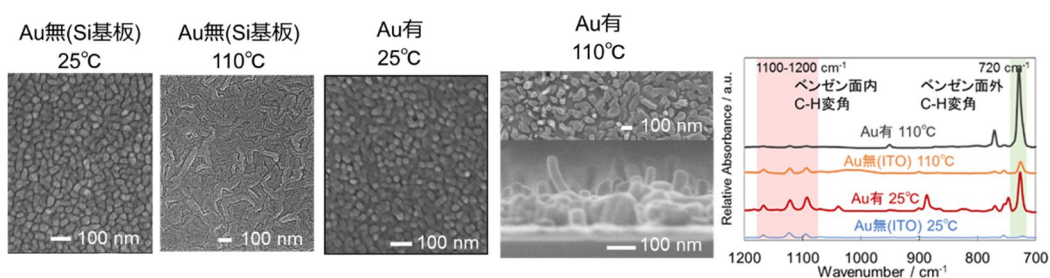


図 4. Si 基板、Au 蒸着した Si 基板上に作製した CuPc 薄膜の SEM 像と ITO 基板、Au 蒸着基板上に作製した CuPc 薄膜の RAS スペクトル

SEM 像より Au なし Si 基板上では 25°C で粒子状、110°C で面内成長したロッドが観察された。RAS スペクトルからフタロシアニン分子が基板に対して垂直配向していることに起因するとベンゼン環の面内方向への C-H 変角に由来する 1100~1200 cm^{-1} 付近のピークが観測され、平行配向に起因するベンゼン環の面外方向への C-H 変角振動に由来する 720 cm^{-1} 付近のピークの吸光度が小さいことから、Au なしの基板上では、フタロシアニン環は基板面に垂直配向していると考えられる。一方、Au 蒸着基板上では、SEM 像より 25°C で粒子状、110°C では長さ 70-160 nm、直径約 45 nm のナノロッドが観察された。RAS スペクトルより、ベンゼン環の面外方向への C-H 変角振動に由来する 720 cm^{-1} 付近のピークの吸光度が大きくなり、Au 無の基板に比べて、分子面は基板に平行方向に配向していることが示唆された。ロッド状に成長した基板温度 110°C では面内 C-H 変角に由来する 1100~1200 cm^{-1} 付近のピークが殆ど観測されなかったことから、より平行配向性が高くなっていると考えられる。表面エネルギーの高い Au 上で、基板温度を高くすることで、ロッド中で CuPc 分子の分子面がロッド長軸方向にスタックした CuPc ナノロッドを作製することができた。

作製した CuPc ナノロッド上に真空中で基板温度を 110°C に保ったまま n 型半導体である F_{16}CuPc を連続して蒸着した。作製したナノロッドの断面 SEM 像とエックス線光電子分光 (XPS) 測定結果を図 5 示す。

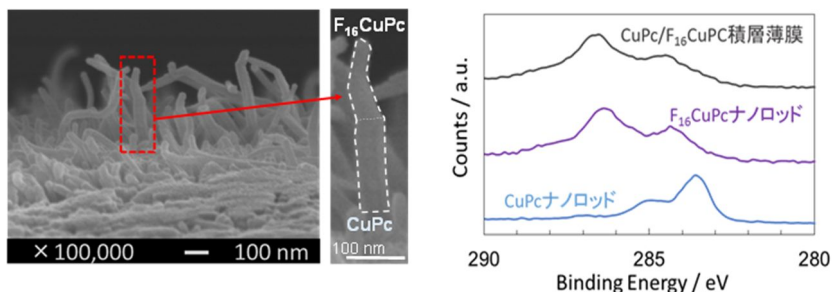


図 5. CuPc ロッド上に F_{16}CuPc を蒸着した薄膜の SEM 像と XPS(C1s)スペクトル

SEM 像から、長さ 80-400nm と pn 単体のナノロッドよりも長いナノロッドが観察された。さらに、単層のときは見られなかったような直径が上下で異なるナノロッドが見られ、下は約 45nm と p 型の CuPc ロッドの直径とほぼ一致し、上は 33nm と n 型の F_{16} CuPc ロッドの直径とほぼ一致しており pn 接合ナノロッドを形成が示唆された。また CuPc/ F_{16} CuPc ナノロッドおよび CuPc ナノロッド、 F_{16} CuPc ナノロッドの 280~290eV における C1s の XPS スペクトルを測定すると、CuPc/ F_{16} CuPc ナノロッドのスペクトル形状は F_{16} CuPc ナノロッドのスペクトル形状とほぼ一致し、CuPc ナノロッド由来のピークが観測されなかったため、表面数 nm には F_{16} CuPc のみが存在すると考えられる。以上の結果から、p 型、n 型ナノロッドの接合が確認でき、pn 接合ナノロッド作製に成功した。

以上より、本研究では有機半導体の薄膜構造に注目した研究を行い、真空蒸着法で基板の表面エネルギーと表面温度を最適化することで、基板の面外方向に成長する直径数 10nm のナノロッドを作製することができた。このサイズは有機半導体の励起子拡散長が 20nm と短いことから光電変換特性向上に有利な構造であると考えられる。また、CVD 法での pn 接合ナノロッドの作製の可能性を示すことができ、連続真空蒸着法では p 型、n 型のフタロシアニンを用いて数 10nm 径の pn 接合ナノロッドを作製することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Yasuko Koshiba, Mana Hirai, Shohei Horike, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida	4. 巻 688
2. 論文標題 Preparation of poly(3,4-ethylenedioxythiophene) by vapor-phase polymerization at the interface between 3,4-ethylenedioxythiophene vapor and oxidant melt	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Molecular Crystal and Liquid Crystals	6. 最初と最後の頁 53-59
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1080/15421406.2019.1651068	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 Monamie Yamada, Yasuko Koshiba, Shohei Horike, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida	4. 巻 59
2. 論文標題 Thermophysical properties of the parylene C dimer under vacuum	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 SDDA15-1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.7567/1347-4065/ab5919	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 -
1. 著者名 小柴 康子, 福島 達也, 石田 謙司	4. 巻 34
2. 論文標題 化学気相成長法によるMPc(CN)8-M錯体生成とナノロッド成長モデル	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 応用物理学会 有機分子・バイオエレクトロニクス分科会誌	6. 最初と最後の頁 108-111
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 Yasuko Koshiba, Mana Hirai, Shohei Horike, Masahiro Morimoto, Masahiro Misaki, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida	4. 巻 30
2. 論文標題 In situ Monitoring of Vapor-phase Polymerization and Characterization of Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) Thin Films	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 2873-2879
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.18494/SAM.2018.1986	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 -

1. 著者名 Yasuko Koshiba, Toshiki Ohnishi, Masahiro Morimoto, Masahiro Misaki, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida	4. 巻 365
2. 論文標題 Nanorod growth of copper phthalocyanine on fluorinated phosphonic acid SAM-modified indium tin oxide substrate for organic photovoltaic devices	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Molecular Crystals and Liquid Crystals	6. 最初と最後の頁 157-163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://dx.doi.org/10.1080/15421406.2017.1351280	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 平井 愛, 小柴康子, 堀家匠平, 森本勝大, 三崎雅裕, 福島達也, 石田謙司	4. 巻 117
2. 論文標題 熱電変換材料開発に向けたEDOT気相重合条件の最適化	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 IEICE Technical Report	6. 最初と最後の頁 21-26
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 -

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Yasuko Koshiba, Iori Sugimoto, Shohei Horike, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida
2. 発表標題 Formation of p-n junction nanorods by heteroepitaxial growth of phthalocyanine
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectronics (M&BE10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Monamie Yamada, Yasuko Koshiba, Shohei Horike, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida
2. 発表標題 Thermophysical properties of parylene C dimer under vacuum
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectronics (M&BE10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroki Ozaki, Tatsuya Fukushima, Yasuko Koshiba, Shohei Horike, Kenji Ishida
2. 発表標題 Molecular origin of photostability for fluorene-based photovoltaic polymer materials
3. 学会等名 10th International Conference on Molecular Electronics & BioElectronics (M&BE10) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 萌菜美, 小柴 康子, 堀家 匠平, 福島 達也, 石田 謙司
2. 発表標題 パリレンCダイマーの真空中熱挙動の観察
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 小柴 康子, 福島 達也, 石田 謙司
2. 発表標題 化学気相成長法によるMPc-M錯体とナノロッド成長モデル
3. 学会等名 応用物理学会 有機分子バイオエレクトロニクス分科会研究会「繋がり広がり深まる有機分子・バイオエレクトロニクス研究」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Iori Sugimoto, Yasuko Koshiba, Syohei Horike, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida
2. 発表標題 Formation of heterojunction nanorods with organic p-n semiconductor
3. 学会等名 2018 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasuko Koshiba, Mana Hirai, Syohei Horike, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida
2. 発表標題 Vapor-Phase Polymerization of Poly(3,4-ethylenedioxythiophene) (PEDOT) at Interface between EDOT Vapor and Oxidant Melt
3. 学会等名 2018 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 杉本 伊央理, 小柴 康子, 堀家 匠平, 福島 達也, 石田 謙司
2. 発表標題 真空蒸着法によるpn接合フタロシアニンナノロッドの作製と評価
3. 学会等名 第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuko Koshiba, Yumi Miyake, Minako Matsumoto, Chikayo Takechi, Masahiro Morimoto, Masahiro Misaki, Tatsuya Fukushima, and Kenji Ishida
2. 発表標題 Green synthesis of octacyanometalphthalocyanine in ionic liquid
3. 学会等名 9th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE9) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉本 伊央理, 小柴 康子, 福島 達也, 森本 勝大, 石田 謙司
2. 発表標題 真空蒸着法によるpn接合フタロシアニンナノロッドの作製と評価
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasuko Koshiba, Hiroshi Horii, Masahiro Morimoto, Masahiro Misaki, Tatsuya Fukushima, Kenji Ishida
2. 発表標題 Photo-responsible polarization switching in TiOPc/P(VDF-TrFE) stacking films
3. 学会等名 2017 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 平井 愛, 小柴 康子, 堀家 匠平, 森本 勝大, 福島 達也, 石田 謙司
2. 発表標題 酸化剤融液上で気液界面重合したPEDOT膜の構造と電子物性評価
3. 学会等名 第65回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小柴康子、森本勝大、石田謙司
2. 発表標題 光導電体 / 有機強誘電体積層薄膜の光分極スイッチング
3. 学会等名 (株)日本学術振興会 「情報科学用有機材料第142委員会」合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yasuko Koshiba, Toshiki Ohnishi, Masahiro Morimoto, Kenji Ishida
2. 発表標題 Nanorod Growth of Copper Phthalocyanine on SAM-coated Indium Tin Oxide Substrate for Organic Photovoltaic Cells
3. 学会等名 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics 2016 (KJF-ICOMEF 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 平井愛、堀家匠平、小柴康子、森本勝大、石田謙司
2. 発表標題 気相重合PEDOT薄膜の導電率制御と熱電特性評価
3. 学会等名 第77回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Mana Hirai, Shohei Horike, Yasuko Kosiba, Masahiro Morimoto, Kenji Ishida
2. 発表標題 Doping Level Control and Thermoelectric Property of Vapor Phase Polymerization PEDOT thin films
3. 学会等名 2016 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

神戸大学大学院工学研究科応用化学専攻物質物理化学研究室 http://www.research.kobe-u.ac.jp/eng-cx1/
--

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	石田 謙司 (Kenji Ishida) (20303860)	神戸大学・工学研究科・教授 (14501)	