

令和 6 年 5 月 11 日現在

機関番号：14303

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K19004

研究課題名(和文)超微細ナノ空間内での固相重合による配向カーボンナノワイヤアレイの創製

研究課題名(英文) Fabrication of Oriented Carbon Nanowire Arrays via Solid-State Polymerization in Ultrafine Nanospaces

研究代表者

櫻井 庸明 (Sakurai, Tsuneaki)

京都工芸繊維大学・分子化学系・准教授

研究者番号：50632907

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：昇華性を有する低分子化合物に粒子線固相重合法を適用し、昇華によるナノワイヤの単離を通じて、基板上に垂直に配向したナノワイヤを作製できることを見出した。ハロゲン化芳香族化合物および炭素-炭素三重結合を有する多くの市販試薬を用いた薄膜は、粒子線から与えられるエネルギーにより引き起こされる重合/架橋反応の反応性が高く、ナノワイヤ径が大きく高い剛直性が達成され、昇華によって単離されるナノワイヤが直立する傾向を与えた。加えて、連結ナノワイヤや同軸ナノワイヤ等のヘテロ界面を構築することや、垂直配向に由来する表面撥水性(構造撥水性)を確認し、配向制御が導く特性制御が可能であることを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

無機材料ではSiやZnO等の半導体ナノワイヤの「ボトムアップ成長」や「電子線リソグラフィによるトップダウン構築」が確立され、垂直配向ワイヤの報告例がある。一方、有機材料では一部の有機化合物を結晶成長制御でのみ達成されており、可能な有機物の種類が極めて限定的であるばかりか、その径は100 nm以上であり、ナノワイヤと呼ぶには大きな構造体であった。本研究成果は、この背景を覆す革新的なものである。本成果は、半導体微細加工技術の革新につながることで期待される。また、極微細な直立ナノワイヤの巨大表面積を利用した化学物質・ウイルス等を対象にした高感度センサーや、高効率な触媒特性表面への展開も期待される。

研究成果の概要(英文)：The unique method in this research yields wire-shaped nano-objects with controlled length and number density by just tuning the thickness of the target thin films and fluence of the incident high-energy ion beams, respectively. High-energy particles give their kinetic energy to a limited nm-sized cylindrical area along their trajectories, affording insoluble nanogels (nanowires) via polymerization and cross-linking of the materials. We have established the method to allow uniaxially-aligned vertical nanowire arrays and their functionalization by using small molecular materials as starting materials and applying sublimation instead of solvent immersion. After the nanowires formed by irradiations, the use of sublimation results in the uniaxially-orientated nanowires. Block-co-type and coaxial-type nanowires were prepared by using bilayer organic films as starting films and by the post-electropolymerization of thiophenes around oriented nanowires on an electrode, respectively.

研究分野：機能物性化学

キーワード：ナノワイヤ 垂直配向 直立構造 粒子線 固相重合 ヘテロ界面

1. 研究開始当初の背景

原子・分子を組み上げて nm スケールの一次元 (ワイヤ)・二次元 (シート) 構造の構築が可能な時代になって久しい。ここでは異方性の高い一次元 (ナノワイヤ) 構造、特に有機ナノワイヤについて考える。有機ナノワイヤの作製手法として、高分子化合物の溶液を出発としたエレクトロスピニングや電気流体力学的印刷法などによるトップダウン的な方法や、低分子化合物の結晶成長やポーラスアルミナテンプレート法といったボトムアップ的な構築手法などが報告されている。その一方で、nm スケールでは異方的な構造がマクロ (実デバイス) スケールではランダムに配向するために、望みとする異方機能が効果的に発揮されない問題がある。配向ナノワイヤは、一次元ナノ細線が同一方向に揃った構造であり、ナノスケールの一次元異方性を損なうことなく所望の機能がマクロスケールで発現する構造である。しかし、上述の従来法では、垂直配向した微細な有機ナノワイヤ構築の実現は困難であった。

研究代表者らは、様々な低分子有機物を出発原料とした粒子線照射固相重合法を開発し、超微細有機ナノワイヤの作製に成功している。この手法では、高エネルギー粒子線を低分子化合物の薄膜へ垂直照射し、粒子の一次元飛跡に沿って低分子にエネルギーを与えることでその固相重合・架橋反応を引き起こし、ナノワイヤが形成される。その後、未照射部位の低分子を溶媒に溶解させると水平配向したナノワイヤを単離可能なことがわかっていた (Fig. 1 左~中央)。それに対し、未照射部位を昇華により除去する新しい方法を試したところ、溶媒の張力が働かないことから、垂直配向したナノワイヤを単離できるという予備知見を得たところであった。この方法をさまざまなありふれた有機物原料薄膜に適用できれば、高度に垂直配向した半径 10 nm 程度の有機ナノワイヤを所望のアスペクト比・数密度で形成する新手法が確立でき、ナノテクノロジー分野に寄与できると考えた。

2. 研究の目的

本研究では、有機化合物薄膜を出発点として、高エネルギー荷電粒子ビームが引き起こす超微細ナノ空間での重合反応により、高度に垂直配向した半径 10 nm 程度の有機ナノワイヤを所望のアスペクト比・数密度で形成することを目的とする。最終的に、カーボンナノワイヤへの変換を通じて熱・電子・力学機能を追求する。

3. 研究の方法

スピコート法あるいは真空蒸着法により各種基板上に膜厚を制御した有機薄膜を作製した。サイクロトロンあるいはペレットロン型加速器を用い、真空下、490 MeV $^{192}\text{Os}^{30+}$, 350 MeV $^{129}\text{Xe}^{26+}$, 450 MeV $^{129}\text{Xe}^{23+}$, あるいは 120 MeV $^{197}\text{Au}^{9+}$ の高エネルギー重イオンを $10^9\sim 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ の面内密度で、作製した薄膜に垂直照射した。粒子線照射後、試料を有機溶媒で現像あるいは真空加熱下で昇華することにより、未照射部位の低分子化合物を除去し、ナノワイヤを単離した。原子間力顕微鏡 (AFM) あるいは走査型電子顕微鏡 (SEM) によってナノワイヤの形態を観察した。

有機ナノワイヤの炭素化は、まず真空下 400 °C に加熱する過程、続いて Ar 下 1000 °C で 24 h 静置する過程により試みた。Si 基板、HBT ナノワイヤ、400 °C の焼成後のナノワイヤ、1000 °C

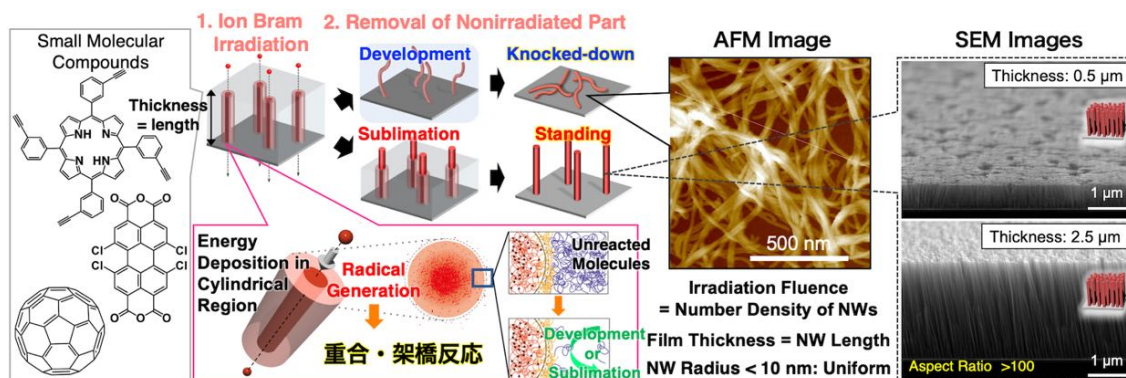


Fig. 1. Schematic illustration of fabrication and isolation of organic nanowires with knocked-down or standing orientations via solid-state polymerization of small organic molecules by irradiation with high-energy charged particles. Examples of atomic force micrograph of knocked-down nanowires and scanning electron micrographs of standing nanowires.

の焼成後のナノワイヤの4サンプルで、ERDA およびラザフォード後方散乱分光法 (RBS) を行い、ERDA/RBS ピーク面積比から、高温加熱プロセスにより末端水素が脱離していく様子を定量評価した。ここで、ERDA 測定において、水素原子のみを選択的に検出するために、検出器の前に 6 mm の Al 層を用意した。なお、ERDA/RBS 測定の入射粒子には 9 MeV O⁴⁺ を選択した。

4. 研究成果

(1) 芳香族有機化合物を原料とした直立有機ナノワイヤの創製

有機蒸着によって作成した C₆₀ (フラーレン) 薄膜に $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ で 490 MeV ¹⁹²Os 粒子線を照射した。1,2-ジクロロベンゼンによる現像後の AFM 観察では倒れたナノワイヤが確認されたが (Fig. 2a), 未照射部位を昇華させると、基板上に垂直に配向したナノワイヤの形成が確認された (Fig. 2b, 2d)。また AFM の断面形状測定から垂直配向ナノワイヤの高さが元の薄膜の厚さ 250 nm を反映していることも確認した (Fig. 2c)。単離の過程でこれまでのように溶媒を使用しないため、溶媒の張力によるナノワイヤの倒壊と基板への不可逆な吸着が起らず、ナノワイヤ形成時の元の配向を保持することができた。この際、本手法の特徴である“1つの荷電粒子が1つのナノワイヤを形成する”ことを活かし、原料膜厚を制御することでナノワイヤ長の制御、粒子線の粒子密度を制御することでナノワイヤ数密度を完全制御している。

次に Fig. 3a に示すテトラフェニルベンジジン (TPB) 薄膜に 350 MeV ¹²⁹Xe を照射し、同様の操作を行った。現像・昇華によって形態の異なるナノワイヤが観察された (Fig. 3b-3e) が、昇華単離によっても、直立するには至らなかった。

さまざまな昇華性化合物を同様に検討した結果、直立ナノワイヤを形成するためには、対象物質が昇華性であること以外に、形成されるナノワイヤが剛直である必要があると考えられる。また、今回、照射密度 $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ という、本手法の中では比較的高いものを用いた。Fig. 1 右の SEM 像からもわかるように、近傍のナノワイヤ同士が寄り添って集まることで直立を保持しているようにも見える。実際に、 10^{10} cm^{-2} オーダーに照射密度を低下させた際は、昇華過程でナノワイヤが消失してしまう現象が観測された。これは、垂直配向性を失ったナノワイヤが基板と広く接触し、熱分解してしまったと考えている。これらを総合すると、照射密度を一定以上高くした上で、粒子線照射で効率良く反応し、太い直径のナノワイヤを与えることが必要条件として考えられる。反応効率が高い化合物は、ハロゲン化芳香族、アルキンのような不飽和炭素-炭素結合を有する芳香族化合物、といった傾向を得た。なお、そのような化合物の一種である、ペリレンテトラカルボン酸無水物やヘキサプロモトリフェニレンの蒸着膜への粒子線照射により、ナノワイヤの形成・単離に成功した。これらは低い溶解性を理由に溶媒現像が不可能とこれまで考えられてきた化合物であるが、蒸着による薄膜の形成と昇華による未照射部位の除去によりナノワイヤを形成・単離できることが示され、ナノワイヤを形成できる物質群の幅が広がったと解釈することもできる。

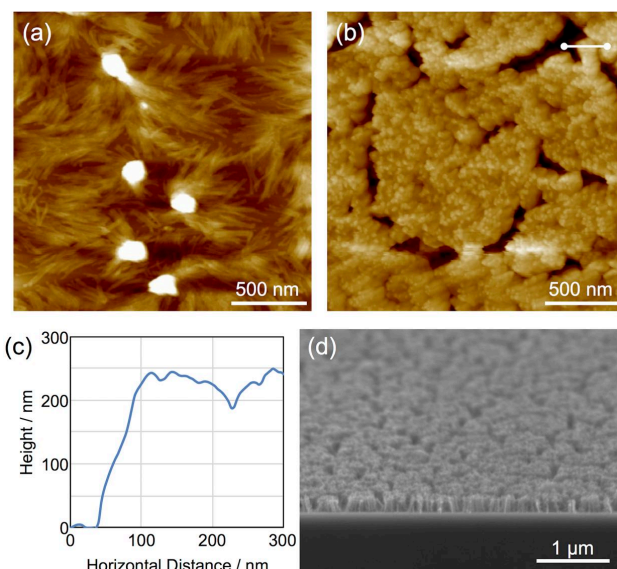


Fig. 2. AFM images of nanowires from C₆₀ after 490 MeV Os irradiation at 10^{11} cm^{-2} and subsequent (a) development with 1,2-dichlorobenzene or (b) sublimation. (c) Height profile indicated as white line in (b). (d) SEM image of C₆₀ nanowires after sublimation.

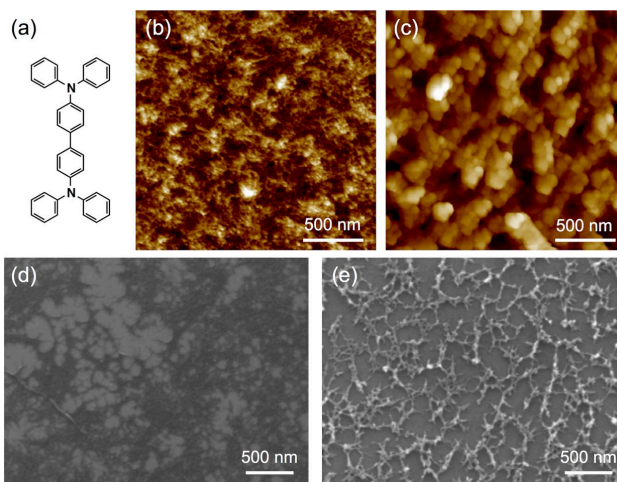


Fig. 3. (a) Chemical structure of tetraphenylbenzidine (TPB). (b,c) AFM and (d,e) SEM images of nanowires from TPB after 350-MeV Xe irradiation at 10^{11} -ions/cm² and subsequent (b,d) development with toluene or (c,e) sublimation.

(2) ブロック型および同軸型のヘテロ構造を有する直立有機ナノワイヤの創製

二種類の低分子化合物の積層膜を出発原料とすることで、任意の成分の連結ナノワイヤを作成する手法を開拓した (Fig. 4a)。多層膜から多数の連結部位を有する配向ナノワイヤ作成も可能であった。別の形態の異種物質接合配向ナノワイヤを実現するため、同軸型配向ナノワイヤの作成を目指した。C₆₀やペリレン誘導体を出発原料とし、ITO電極基板上に垂直配向ナノワイヤを作成し、その基板をチオフェン誘導体を溶かした溶液に浸漬し、電解重合する

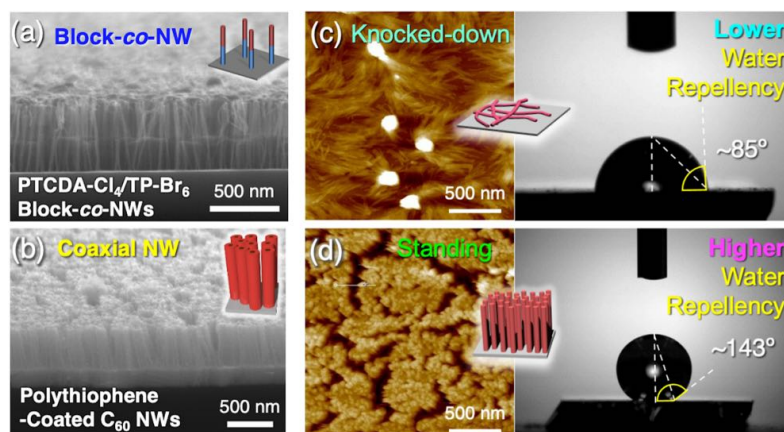


Fig. 4. SEM images of (a) block-co- and (b) coaxial- type standing nanowires with heterointerfaces. AFM images and water contact-angle snapshots of (c) knocked-down and (d) standing nanowire surfaces fabricated from C₆₀ films.

ことにより、ポリチオフェンを配向ナノワイヤの周囲に成長させた (Fig. 4b)。電解重合の時間制御により太さ (~被覆の程度) を制御した p/n 型同軸ナノワイヤが得られることを見出した。同じ原料低分子薄膜から作成したナノワイヤであっても、昇華単離による垂直配向状態と溶媒現像処理による水平配向状態とは、表面撥水性が大きく異なることを見出し、ナノ構造に由来する撥水表面作製が可能であることを実証した (Fig. 4c, 4d)。

(3) 直立有機ナノワイヤの炭素化

2,3,6,7,10,11-ヘキサブロモトリフェニレン (HBT) 薄膜に $5.0 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ の照射密度で 450 MeV ¹²⁹Xe²³⁺ の粒子線照射をおこない、作製した直立ナノワイヤは、400 °C で熱処理操作をした後も、その垂直配向構造は保たれていた (Fig. 5)。この試料に対して XPS 測定を行ったところ、熱処理に伴う顕著な臭素ピークの減少が確認された。ほぼベースラインと一致していたことから、真空条件下で 400 °C の熱処理は臭素を脱離させるに十分であり、この焼成操作を行ったナノワイヤにはほぼ炭素および水素のみが含まれていると考えられる。

続いて、焼成操作を行っていないナノワイヤ、1000 °C で焼成を行ったナノワイヤに 500 μC の 9 MeV O⁴⁺ 照射を行った。この際、顕著なナノワイヤ構造の崩壊は確認されなかった (Fig. 5)。そこで ERDA ピークで検出された水素原子は、Si 基板表面およびナノワイヤ末端由来の水素が O⁴⁺ ビームによりはじき出されたと結論付けた。また、今回の実験では、非常に鋭い ERDA ピークが得られた。ナノワイヤ半径は 5 nm 程度とかなり小さく、そのためナノワイヤ中心部に到達するまでに入射 O⁴⁺ ビームがほとんど運動エネルギーを失わず、ナノワイヤの中心部もしくは表面ではじき出された水素原子の運動エネルギーに大きな違いがないことが原因だと推測される。O⁴⁺ ビームを任意の電流量で照射し、得られた ERDA, RBS ピークを積分し、プロットした結果を Fig. 6 に示す。ERDA 測定のためにサンプルフォルダーを傾ける際に、照射電流値がうまく測定できないという問題点があったため、照射電流値に比例したカウント数が検出できる RBS を疑似的な照射電流値と捉え、横軸に取った。この結果から、1000 °C 焼

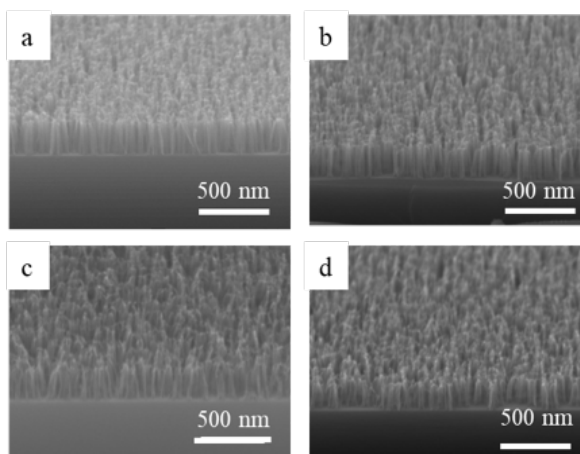


Fig. 5. SEM images of HBT nanowires given by 450 MeV ¹²⁹Xe²³⁺ irradiation at $5.0 \times 10^{11} \text{ ions cm}^{-2}$ (a,b) followed by sublimation at 180 °C and (c,d) further calcination at 1000 °C for 60 min. The nanowires were visualized (a,c) before and (b,d) after 9 MeV O⁴⁺ irradiation at 500 μC.

Table 1. ERDA/RBS peak ratio of each sample. HBT nanowires were given by 450 MeV Xe irradiation at $5.0 \times 10^{11} \text{ ions cm}^{-2}$ and 9 MeV O⁴⁺ beam was irradiated at 500 μC.

	Si Substrate	HBT NWs	HBT NWs at 400 °C	HBT NWs at 1000 °C
ERDA/RBS Ratio	0.24	10.0	9.46	4.37

成に伴う水素検出量の減少が確認された。また、ナノワイヤ試料、400 °C 焼成試料では、照射電流値が大きくなるほど、ERDA ピーク検出量は緩やかな増加になった。この結果は、O⁺ビーム照射に伴いナノワイヤ表面の水素が除去され、試料中の水素濃度が減少したためだと考えられる。500 μC のビーム電流時の、各サンプルの RBS ピーク検出量に対する ERDA ピーク検出量の比 (ERDA/RBS ratio) を算出した (Table 1)。以上の結果より、1000 °C 焼成を行うことでナノワイヤ末端の水素結合が切断され、カーボンワイヤへと変換されていく過程が示唆された。

(4) まとめ

昇華性を有する低分子化合物に粒子線固相重合法を適用し、昇華によるナノワイヤの単離を通じて、基板上に垂直に配向したナノワイヤを形成させることを試みた。C₆₀ 薄膜を原料とした検討の結果、溶媒現象と比較し、昇華単離したナノワイヤは基板垂直方向により高い配向性を有している様子が観察された。種々の低分子化合物を用いた検討の結果、昇華によって単離されるナノワイヤが直立するためには、ナノワイヤ径が大きく高い剛直性が必要であることが示され、すなわち粒子線から与えられるエネルギーにより引き起こされる重合/架橋反応の反応性が高い必要があることがわかった。具体的には、ハロゲン化芳香族化合物および炭素-炭素三重結合を有する芳香族化合物であれば多くの市販試薬から直立ナノワイヤが形成できることが明らかとなった。加えて、連結ナノワイヤや同軸ナノワイヤ等のヘテロ界面を構築することや、垂直配向に由来する表面撥水性 (構造撥水性) を確認し、配向制御が導く特性制御が可能であることを見出した。

(5) 将来展望

本系は直径・長さが均一なナノワイヤを作製できることが長所であるが、重要な点として、ナノワイヤ一本内での物質組成/化学構造は均一ではない。これは与えられるエネルギーがナノワイヤ動径方向の関数になっているためであり、すなわち、ナノワイヤ表面では原料低分子の構造が強く保たれているのに対し、ナノワイヤ中央部位では、激しい結合の組み換えに基づき組成が全く異なるものが生成していると考えている。このことにより、例えばナノワイヤ表面での原料発光分子から発される蛍光が中央部位によってクエンチしてしまう、伝導性も外側と内側で大きく異なる、等の難しさが生じてくる。この課題を踏まえ、より均質構造とするため、ナノワイヤ作成後に処理を施すことにより、一次元構造は保ったままさらなる化学構造変換を試みる選択が挙げられた。実際に、本挑戦的研究課題の後半では、芳香族炭化水素構造を多く有するナノワイヤを熱処理 (焼成) することで末端炭素-水素結合を開裂させ脱水素化し、カーボンナノワイヤを得る検討を実施した。他の候補として、低分子シロキサンアナログであるカゴ型シルセスキオキサン (POSS) を低分子原料として作製したナノワイヤを焼成することによりシリカナノワイヤを開発できる可能性がある。また、discrete な金属錯体等の薄膜に対し重粒子線照射による金属酸化物への変換等を目指し、超微細ナノセラミックスの開発なども視野に入る。

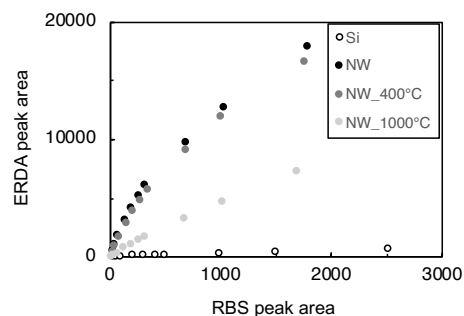


Fig. 6. ERDA versus RBS peak area detected from HBT nanowires (5.0×10^{11} ions cm^{-2}) using 9 MeV $^{16}\text{O}^{4+}$ beam. The plot circles correspond to Si substrate in open circle, and HBT nanowires after sublimation (black), thermal treatment at 400 °C for 30 min (gray), and calcination at 1000 °C for 60 min (light gray), respectively.

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 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Koshi Kamiya, Kazuto Kayama, Masaki Nobuoka, Shugo Sakaguchi, Tsuneaki Sakurai, Minoru Kawata, Yusuke Tsutsui, Masayuki Suda, Akira Idesaki, Hiroshi Koshikawa, Masaki Sugimoto, G. B. V. S. Lakshmi, D. K. Avasthi, Shu Seki	4. 巻 12
2. 論文標題 Ubiquitous organic molecule-based free-standing nanowires with ultra-high aspect ratios	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4025
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-021-24335-x	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 Nobuoka Masaki, Koshi Kamiya, Shugo Sakaguchi, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki	4. 巻 34
2. 論文標題 Oriented Nanowire Arrays with Phthalocyanine-C60 Multi-Heterojunctions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 167-174
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2494/photopolymer.34.167	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 Masaki Shimizu, Tsuneaki Sakurai	4. 巻 3
2. 論文標題 Organic Fluorophores That Emit Ultraviolet Light in the Aggregated States	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aggregate	6. 最初と最後の頁 e144
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/agt2.144	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 Kojiro Naito, Yuhi Inada, Tsuneaki Sakurai, Masaki Shimizu, Takeshi Yamao	4. 巻 51
2. 論文標題 Charge Carrier Mobility of 1,6-Dibromopyrene Single Crystal Grown by Solution Method on Substrate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 813-821
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s11664-021-09345-1	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 Tsuneaki Sakurai, Masaya Kobayashi, Hiroyuki Yoshida, Masaki Shimizu	4. 巻 11
2. 論文標題 Remarkable Increase of Fluorescence Quantum Efficiency by Cyano Substitution on An ES IPT Molecule 2-(2-Hydroxyphenyl)benzothiazole: Highly Luminescent Liquid Crystal Dopant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 1105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11091105	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 Lan Peng, Qianying Guo, Chaoyu Song, Samrat Ghosh, Huoshu Xu, Liqian Wang, Dongdong Hu, Lei Zhao, Qiaowei Li, Tsuneaki Sakurai, Hugen Yan, Shu Seki, Yunqi Liu, Dacheng Wei	4. 巻 12
2. 論文標題 Ultra-fast single-crystal polymerization of large-sized covalent organic frameworks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5077
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24842-x	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

[学会発表] 計8件(うち招待講演 5件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Fabrication of Standing Nanowire Arrays by Heavy Ion Irradiation-Triggered Intra-Track Polymerization of Organic Molecules
3. 学会等名 IAEA Technical Meeting on "Recent Development in Nanomaterials and Nanotechnology" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 粒子線照射固相重合法による超微細直立有機ナノワイヤの構築
3. 学会等名 第76回放射線科学研究会(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 粒子線照射固相重合を用いた超微細高分子ナノワイヤの形成
3. 学会等名 第68回高分子研究発表会(神戸)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 有機薄膜へのイオンビーム照射による超微細ナノワイヤの構築
3. 学会等名 第4回先鋭固体化学・物理に関する討論会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Fabrication of Organic Nanowires Developed by Radiation-Triggered Polymerization of Organic Molecules in Heavy Ion Tracks
3. 学会等名 The Miller Online Workshop on Radiation Chemistry(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Standing Organic Nanowire Arrays Developed by Radiation-Induced Polymerization of Organic Molecules in Heavy Ion Tracks
3. 学会等名 2nd Research Coordination Meeting on "Enhancing the Beneficial Effects of Radiation Processing in Nanotechnology"(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 坂口 周悟, 櫻井 庸明, 出崎 亮, 越川 博, 杉本 雅樹, 八巻 徹也, 関 修平
2. 発表標題 単一粒子と有機分子の相互作用によるナノ構造体形成
3. 学会等名 第 64 回放射線化学討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaki Nobuoka, Koshi Kamiya, Shugo Sakaguchi, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki
2. 発表標題 Oriented Nanowire Arrays with Phthalocyanine-C60 Multi-Hetero Junctions
3. 学会等名 The 38th International Conference of Photopolymer Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------	---------