

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：12605

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13814

研究課題名（和文）導電性高分子発泡体を用いた熱電変換デバイスの開発

研究課題名（英文）Thermoelectric devices using conducting polymer foam

研究代表者

下村 武史（Shimomura, Takeshi）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・教授

研究者番号：40292768

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：導電性高分子の発泡体を作製し、その導電率、ゼーベック係数、熱伝導率を測定し、空孔率と熱電変換効率の関係を明らかにし、発泡という方法論の有効性を示すことを目指した。発泡の方法として、発泡剤の添加、凍結乾燥、超臨界二酸化炭素の含浸によるものを実施した。特に、凍結乾燥を行ったものが、より低密度で、空孔導入率が高かったことから、その熱電変換性能を調査した。その結果、発泡をさせないものと同程度のゼーベック係数を得ることができ、熱電変換性能を示すことが明らかとなった。また、熱伝導率は極めて小さく、空気と同程度であった。一方で、導電率は極めて小さく、今後、密度の最適化が必要である。

研究成果の概要（英文）：We fabricated the conducting polymer foam, and investigated the electrical conductivity, Seebeck coefficient, and thermal conductivity. From the relation between the volume fraction of the introducing void and the thermoelectric property, we aim to clarify the advantage of the conducting polymer foam structure for the thermoelectricity. The foaming was performed by adding foaming agents, freeze drying, or using the supercritical carbon dioxide. In particular, a large void fraction was achieved by the freeze drying method, and we measured the thermoelectric properties of this structure. It was clarified that the foaming conducting polymer had the Seebeck coefficient similar to that of the neat conducting polymer, so this structure showed the thermoelectric property. Furthermore, the thermal conductivity of this structure was quite small comparable to the air. Whereas, the electrical conductivity was quite small, so we have to optimize a void fraction for increasing a total performance.

研究分野：高分子の電気物性

キーワード：導電性高分子 発泡体 熱電変換

1. 研究開始当初の背景

従来から無機材料の熱電変換は盛んに研究されており、特にピスマス-テルル合金を用いた熱電変換技術が確立されている。無次元性能指数 ZT が変換効率として用いられるが、Nature や Sciences 誌で性能競争が行われており、ピスマスやテルルといったレアメタルが用いられた合金で $ZT=2$ を突破する報告も複数行われている。

また、材料をナノスケールの細線にすると、ゼーベック係数の増大がみられること、重い原子を中心にもつクラストレートを組み込み、中心原子の運動による熱伝導率の低減（ラットリング効果）による効率の向上が報告されている。一般に導電率と熱伝導率には関係があり、熱伝導率を抑制すると導電率も低下してしまうが、これらの方法は導電率を低下させること無く、熱伝導率を低下させる方法として注目されている。

一方、有機材料としては導電性高分子が主に用いられており、戸嶋らがポリアニリン薄膜において得た $ZT=0.0029$ が最初の報告である。その後、順調な性能向上が行われてきたが、しばらくは目立った成果は報告されていなかった。ところが、最近になって(3,4-エチレンジオキシチオフェン):トルエンスルホン酸 (PEDOT:TOS) が薄膜状態で無機材料に匹敵する $ZT = 0.25$ をもつと報告され、ドーパントを変えた (3,4-エチレンジオキシチオフェン)-ポリ(スチレンスルホン酸) (PEDOT:PSS) が $ZT = 0.42$ 、PEDOT:TOS にブロック共重合体を混ぜた材料が $ZT = 1.02$ を達成し、急激な性能向上が報告されている。ただし、これらの報告は基本的に高分子の種類を変えた材料探索に終始しており、すべて薄膜状態で実現した性能である。

2. 研究の目的

現在、最も高い熱電変換性能が報告されている導電性高分子である(3,4-エチレンジオキシチオフェン):ポリ(スチレンスルホン酸) (PEDOT:PSS) は実用レベルの無機材料に近い性能 ($ZT = 0.42$) をもつ唯一の高分子材料である。本研究では発泡 PEDOT:PSS を作製し、その導電率、ゼーベック係数、熱伝導率を測定し、空孔率と熱電変換効率の関係を明らかとし、発泡という方法論の有効性を示す。また、フレキシブル熱電変換デバイスの試作を行う。

高分子としてはキャリア数の多い PEDOT:PSS の熱伝導率と導電率の関係はおおよそ Wiedemann-Franz 則にしたがうと想定される。しかし、発泡を行うことで、熱伝導率が小さく、大きな熱容量をもった空気と PEDOT:PSS が非常に大きな表面積で接し、界面を通して空孔に流れた熱がそこに蓄えられるため、熱伝導率と導電率の関係は Wiedemann-Franz 則を打破し、導電率を高く保ったままで、非発泡の PEDOT:PSS に比べて小さな熱伝導率をもたせることが可能

と考えた。熱電変換性能を示す ZT は導電率 σ 、ゼーベック係数 S 、熱伝導率 κ を用いて、 $ZT = \sigma S^2 / \kappa$ と表される。熱起電力を表すゼーベック係数は空孔の有無に依存しないはずであるため、高分子材料では最大の熱電変換性能を有する PEDOT:PSS を発泡させることで、実用レベルの $ZT > 1$ の達成を目指す。従来の低次元化やラットリング効果とは全く異なる機構で、熱電性能の向上を目指す点に本研究の学術的な特徴がある。

また、これまで導電性高分子の熱電変換の研究はすべて薄膜で実施されているが、発泡させることで嵩高くなり、厚膜やブロック形状での実験を実施することができるようになる。これはデータの信頼性を高める面でも、実用性を評価する面でも有効である。特に、異方性が一般に大きい薄膜における熱伝導率の測定は、慎重な扱いが必要とされており、有力雑誌の報告データでさえ、信頼性の疑義が指摘されている。発泡による嵩高さはこの問題の解決に大きく寄与する。

本研究により発泡 PEDOT:PSS が従来の PEDOT:PSS を超える高い熱電変換性能を示すことができれば、熱電変換デバイスに発泡という新しい方法論に基づく設計指針を提示できるとともに、安価、持続的生産が可能、簡便な製造プロセスをもったフレキシブルな熱電変換シートを開発することができ、家庭用電化製品の廃熱部分や生体を熱源とした発電を行うことができる。従来捨てていた廃熱の一部を回収するエネルギーハーベスティングの牽引役として、グリーンイノベーションを推進し、産業構造を変えていくインパクトのある発明となることが期待できる。

3. 研究の方法

(1) 発泡 PEDOT:PSS の作製

発泡の方法として、発泡材を添加する方法、超臨界二酸化炭素を用いる方法、発泡とは異なるが類似の構造を作り出す凍結乾燥を用いる方法があり、それらを調査した。導電性高分子 PEDOT:PSS には高い導電性を示す市販の CREVIOS PH-500 を用いた。

発泡剤を利用する方法では、発泡剤として無機系発泡剤である炭酸水素ナトリウム、有機発泡剤であるアゾジカルボンアミドを用いた。アゾジカルボンアミドによる発泡試料の作製には発泡助剤である尿素を添加した。自立膜を形成できるようにテフロン板にスピコートで成膜し、真空乾燥を行った。

凍結乾燥を用いる方法では PEDOT:PSS 水分散液を蒸留水で 2、5、10、20、50 倍に希釈した溶液を、スクリー管に入れ液体窒素により凍結し、凍結乾燥機を用いて凍結乾燥を行った。PEDOT:PSS 水分散液を蒸留水で希釈した溶液を液体窒素により凍結し、凍結乾燥機を用いて凍結乾燥を行った。

超臨界二酸化炭素を用いる方法では既設の圧力容器に入れ、圧力 10 MPa、温度 60 の条件下の超臨界状態の二酸化炭素中に 1 時

間静置し、二酸化炭素の含浸を行った後、大気圧まで-0.5 MPa/min程度で減圧を行い、二酸化炭素を発泡させ、PEDOT:PSS中に空孔を導入することを目指した。

学内共同設備の走査電子顕微鏡 (SEM) で断面の確認を行い、気泡導入の有無を確認した。発泡方法に応じたパラメータを変えながら空孔の有無、空孔率、空孔サイズを評価した。

(2) 熱電変換性能の評価

作製した発泡フィルムの両面に金や白金を蒸着し、導電率の評価を行う。測定には現有のソースメジャーユニット (Keithley社 Model 236) を用いて、現有のクライオスタット中で行う。電極金属によらず、接触抵抗が大きく2端子測定が向かないと判断される場合には、現有の低抵抗測定器 (三菱化学社 LORESTA) を用いて4端子測定を行った。ただし、この場合は膜の厚さ方向の導電率ではないため、膜に異方性がある場合には好ましい方法とは言えない。導電率の低下率から見積もられる空孔率と、SEM像により算出された空孔率を比較し、両者に矛盾がないかを確認する。空孔率から想定されるよりも実際の S が著しく小さい場合には、空孔により導電経路が大きな損傷を受けている可能性があるため、空孔サイズを小さくするか、空孔率を下げる必要があるため、この結果を発泡行程にフィードバックし、より導電率の高い条件での発泡を検討する。

作製した発泡フィルムの両面をアルミ板などではさみ、ゼーベック係数 S の評価を行う。測定には現有の設備を用いて測定を行う。クライオスタット中で高温側をシートヒータで、低温側を冷凍機で温度調節し、ナノボルトメータ (Keithley社 2182A) で起電力を測定することができる。原理的には S は空孔の有無によらないはずである。しかし、空孔の導入によって S が増大する場合には、まず前述の S が大幅に低下するのと同様に、空孔により導電経路が大きな損傷を受けている可能性がある。この結果との総合的な判断から空孔サイズを小さくするか、空孔率を下げる必要があるため、この結果を発泡行程にフィードバックし、より導電率の高い条件での発泡を検討する。

次に、作製した発泡フィルムの熱伝導率の測定を行った。この算出には現有の熱拡散率測定器 (ai-Phase社 Mobile 1u/2) および学内共同利用設備の示差走査熱量測定器 (島津製作所 DSC-60) を用いた。

以上の3つのパラメータから無次元性能指数 ZT を算出し、発泡の効果を総合的に評価する。

(3) 発泡フィルムの厚膜化とデバイス化

前年度に得られた知見に基づいて厚膜化を図る。膜最終的には発泡後の膜厚が1~5 mm程度のものでできれば、熱伝導を十分に抑え、

デバイス化が可能となると考えている。内部が十分に発泡しない場合には、発泡できる限りで厚い膜を重ねて作製することも検討する。貼り合わせの方法を検討する必要があるが、重ねた上でガラス転移温度付近まで加熱することで作製することを目指す。

作製した発泡 PEDOT:PSS の両面に電極をつけてデバイス化を行う。電極はアルミなどの金属の蒸着により作製することを想定しているが、発泡の影響により表面の凹凸が大きく、うまくいかない場合も想定できる。その場合は接触抵抗の問題により機能低下も予想されるが、金属板で挟んで試作品を作製する。発電能力を測定し、本手法の有効性を示す。

4. 研究成果

(1) 発泡試料の作製

本研究では、PEDOT:PSS は Clevios PH500 を用いた。発泡剤として無機発泡剤である炭酸水素ナトリウム、有機発泡剤であるアゾジカルボンアミドを用いた。

炭酸水素ナトリウム (NaHCO_3) による発泡試料の作製方法は以下のようである。PEDOT:PSS 水分散液 1 ml に、 NaHCO_3 0.048 g を蒸留水 0.5 ml に溶解したものを混合した。作製した溶液をテフロン板に 400 μL キャストして、真空乾燥を行い成膜した。

アゾジカルボンアミド (ADCA) による発泡試料の作製方法は以下のようである。PEDOT:PSS 水分散液 1 ml に、ADCA 0.01 g をジメチルスルホキシド (DMSO) 0.25 ml に溶解したものを混合した。作製した溶液に発泡助剤である尿素 0.005 g を溶解させた。作製した溶液をテフロン板に 400 μL キャストして、真空乾燥を行い成膜した。

凍結乾燥試料は PEDOT:PSS 水分散液を蒸留水で 2、5、10、20、50 倍に希釈した溶液を、スクリー管に入れ液体窒素により凍結し、凍結乾燥機を用いて凍結乾燥を行った。

PEDOT:PSS 水分散液を蒸留水で 2 倍に希釈した溶液に、エチレングリコールまたはジメチルスルホキシドを 5 wt% 添加し、スクリー管に入れ液体窒素により凍結し、凍結乾燥機を用いて凍結乾燥を行った。さらに、PEDOT:PSS 水分散液を蒸留水で 2~50 倍に希釈した溶液を、シャーレに入れ冷凍庫内で凍結し、凍結乾燥機を用いて凍結乾燥を行った。

超臨界二酸化炭素を用いた方法では PEDOT:PSS 水分散液を 1 wt% 添加し、PEG を完全に溶解させた後に、テフロン板上にキャストし成膜した。作製した試料をテフロン板から剥がし、超臨界装置のサンプル容器ごとヒーターの中に入れ、50 または 100 $^{\circ}\text{C}$ で 1 時間温めた。二酸化炭素ガスを流入し、15~25 MPa で 2 時間保持した。その後、0、15~25 MPa に等圧条件で急冷した。その後、毎分 0.5 MPa の速度で圧力を開放した。発泡の有無を確認するため、発泡前後で作製した試料を SEM 観察したが、現時点で所望の発泡

構造は得られていない。

(2) 走査型電子顕微鏡を用いた試料観察

作製した NaHCO_3 による発泡試料、ADCA による発泡試料、凍結乾燥試料の試料表面の SEM による観察結果を以下に示す。

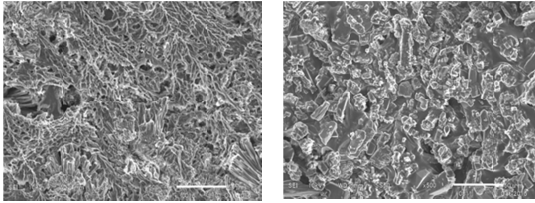


図 4.1 NaHCO_3 による発泡試料

図 4.2 ADCA による発泡試料

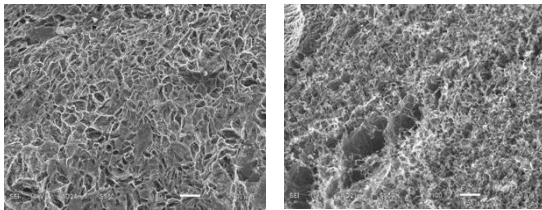


図 4.3 凍結乾燥試料(2倍希釈)

図 4.4 凍結乾燥試料(5倍希釈)

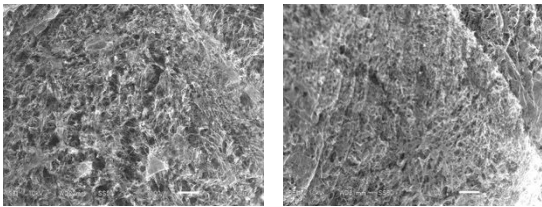


図 4.5 凍結乾燥試料(10倍希釈)

図 4.6 凍結乾燥試料(20倍希釈)

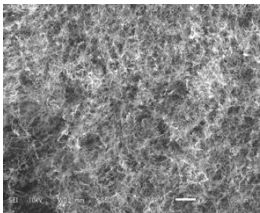


図 4.7 凍結乾燥試料(50倍希釈)

NaHCO_3 による発泡試料、ADCA による発泡試料は、表面に凹凸は見られたが、空孔は少なかった。

スクリー管に入れ液体窒素により凍結した凍結乾燥試料は、希釈倍率に関わらず、モルフォロジーに変化は見られなかった。EG および DMSO を添加した試料は、乾燥途中に融けて凝集してしまったため、空孔が見られなかった。

シャーレに入れ冷凍庫内で凍結した凍結乾燥試料は、希釈倍率に関わらず、モルフォロジーに変化は見られなかった。また、スクリー管で作製した試料とシャーレで作製した試料のモルフォロジーを比較すると、シ

ャーレで作製した試料の方が空孔のサイズが大きく、疎な構造になっていることが判明した。これは、凍結温度の差によるものであると考えられる。液体窒素で凍結した場合は、凍結温度が低く氷のサイズが小さくなるため、空孔サイズも小さくなった。一方、冷凍庫で凍結した場合は、凍結温度が高く氷のサイズが大きくなるため、空孔サイズが大きくなった。

(3) 凍結乾燥試料の熱電物性

シャーレに入れ冷凍庫内で凍結した凍結乾燥試料のゼーベック係数と導電率の測定の結果を以下に示す。

それぞれの試料のゼーベック係数 S 、導電率を以下の表にまとめた。

sample	$S / \text{V K}^{-1}$	$1/S \text{ m}^{-1}$
2倍希釈	5.45×10^{-6}	7.10×10^{-5}
	1.03×10^{-5}	6.61×10^{-5}
5倍希釈	1.17×10^{-5}	1.75×10^{-4}
	2.63×10^{-5}	6.31×10^{-5}
	1.03×10^{-5}	7.24×10^{-5}
	7.59×10^{-6}	7.29×10^{-5}

ゼーベック係数はキャスト膜と同程度の値となった。一方、導電率は試料の公称値よりも約7桁低くなった。これは、密度が小さいこと、空隙率が高く導電パスが切れてしまったことによるものである。導電率は低い値となったが、これにより発泡材料は熱電変換を示すことが明らかとなった。さらなる性能向上に向けては、導電性高分子の密度を発泡の効果が見られない程度に上昇させる必要がある。また、十分なドーピングが行われていないため、ドーピングを行う必要もある。これにより、導電率を2-3桁上昇させることは可能であると考えられる。

一方、PEDOT:PSS キャスト膜の熱拡散率、定圧比熱、値を以下の表に示す。

$\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$	$C_p / \text{J g}^{-1} \text{K}^{-1}$	$\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
1.23×10^{-7}	1.007	2.20×10^{-1}

この値を用いて求めた有効熱伝導率は

2倍希釈した試料は、

$$\kappa = 0.0273 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

5倍希釈した試料は、

$$\kappa = 0.0270 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

となり、空隙率が高いため、凍結乾燥試料の熱伝導率は空気に近い値となった。

それぞれの試料の発電能力を示すパワーファクターPFと熱伝導率を以下の表にまとめた。

sample	$\text{PF} / \text{W m}^{-1} \text{ K}^{-2}$	$\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$
2倍希釈	2.11×10^{-15}	2.73×10^{-2}
	7.01×10^{-15}	

	2.39×10^{-14}	
5 倍希釈	4.36×10^{-14}	
	7.64×10^{-14}	2.70×10^{-2}
	4.20×10^{-14}	

現時点では導電率が非常に低いため、パワーファクターがキャスト膜と比較して小さくなったが、先に挙げた方法論で今後、値を向上していくことを目指す。

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 6 件)

T. Ito, T. Shimomura, T. Miura, Simulation Study of the Effect of the Side-Chain Structure on the Initial Nucleation Process of Polythiophene Derivatives, *J. Phys Chem. B*, Vol. 121(5), 1108-1117, 2017, 査読あり, DOI: 10.1021/acs.jpcc.6b10848.

S. Kushi, R. Tsukada, K. Noguchi, T. Shimomura, Crystallization of Poly(3-hexylthiophene) Nanofiber in a Narrow Groove, *Polymers*, Vol. 8(6), 231(9pages), 2016, 査読あり, DOI: 10.3390/polym8060231.

M. Yagi, N. Ito, M. Kawasaki, T. Shimomura, Semiconducting properties of p- and n-type organic nanofiber/poly(methyl methacrylate) composite films for film rectifier, *Synth. Met.*, Vol. 213, 1-6, 2016, 査読あり, DOI: 10.1016/j.synthmet.2015.12.019.

T. Miura, T. Ito, T. Shimomura, Molecular Dynamics Simulation on the Nanofiber Formation of Conducting Polymers in Solutions, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, Vol. 629(1), 248-253, 2016, 査読あり, DOI: 10.1080/15421406.2015.1096994.

K. Tsuchiya, K. Ando, T. Shimomura, K. Ogino, Synthesis and characterization of poly(3-hexylthiophene)-block poly(dimethylsiloxane) for photovoltaic application, *Polymer*, Vol. 92, 125-132, 2016, 査読あり, DOI: 10.1016/j.polymer.2016.03.092.
下村武史, 導電性ナノファイバー, *工業材料*. Vol. 63(10), pp. 68-72, 2015, 査読なし.

[学会発表](計 23 件)

下村武史, 熱を電気に変換する高い導電性高分子の構造体, 高分子同友会勉強会, 2016 年 12 月 22 日, 高分子学会会議室(東京都中央区)(招待講演).

伊藤大樹, 三浦俊明, 下村武史, ポリチオフェン誘導体のナノファイバー形成メカニズムのシミュレーション, 高分子計算科学研究会・高分子基礎物性研究会・高分子ナノテクノロジー研究会合同討論会, 2016 年 11 月 08 日, 東京農工大学小金井キャンパス(東京都小金井市).

八木杜仁, 兼橋真二, 下村武史, 有機ナノファイバーコンポジットフィルムの半導体特性, 第 65 回高分子学会討論会, 2016 年 09 月 14 日, 神奈川大学(神奈川県横浜市).

成田光, 兼橋真二, 下村武史, 有機ナノファイバーコンポジットフィルムの半導体特性, 第 65 回高分子学会討論会, 2016 年 09 月 14 日, 神奈川大学(神奈川県横浜市).

伊藤大樹, 三浦俊明, 下村武史, ポリチオフェン誘導体のナノファイバー形成メカニズムのシミュレーション, 第 65 回高分子学会討論会, 2016 年 09 月 14 日, 神奈川大学(神奈川県横浜市).

下村武史, 導電性高分子ナノファイバー 1 本のキャリア輸送特性, 高分子基礎物性研究会, 2016 年 07 月 25 日, 京都テルサ(京都府京都市)(招待講演).

下村武史, 導電性高分子ナノファイバーの基礎と応用, 有機エレクトロニクス材料研究会, 2016 年 06 月 17 日, 新宿 NS ビル(東京都新宿区)(招待講演).

青木大地, 涌井純馬, 樋浦翔悟, 下村武史, ポリチオフェンナノファイバーの熱電特性評価, 平成 28 年度繊維学会年次大会, 2016 年 06 月 09 日, タワーホール船堀(東京都葛飾区).

元山光子, 下村武史, PEDOT:PSS 多孔体の熱電特性, 平成 28 年度繊維学会年次大会, 2016 年 06 月 09 日, タワーホール船堀(東京都葛飾区).

T. Shimomura, J. Wakui, and J. Aoki, Thermoelectric Property of Poly(3-hexylthiophene) Nanofiber Mats Made by Whisker Method, 1st International Conference on Organic and Hybrid Thermoelectrics, 2016 年 01 月 19 日~01 月 20 日, 京都テルサ(京都府京都市).

下村武史, 導電性高分子およびナノファイバー 1 本の電気物性と有機ナノエレクトロニクス, フォトニクスポリマー研究会, 2015 年 06 月 26 日, 慶応大学日吉キャンパス(神奈川県横浜市)(招待講演).

成田光, 下村武史, P3HT ナノファイバーの配向制御と熱電変換特性, 第 63 回応用物理学春期学術講演会, 2016 年 03 月 21 日, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都目黒区).

伊藤大樹, 三浦俊明, 下村武史, ポリ

チオフェン誘導体のナノファイバー形成メカニズムのシミュレーション, 第63回応用物理学春期学術講演会, 2016年03月21日, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都目黒区).

八木杜仁, 下村武史, 有機ナノファイバーコンポジットフィルムの半導体特性, 第63回応用物理学春期学術講演会, 2016年03月21日, 東京工業大学大岡山キャンパス(東京都目黒区).

下村武史, 青木大地, 成田光, 涌井純馬, ポリチオフェンナノファイバーの熱電変換特性, 第64回高分子討論会, 2015年09月15日, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市).

成田光, 涌井純馬, 下村武史, ポリチオフェン誘導体の熱電変換, 第64回高分子討論会, 2015年09月17日, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市).

八木杜仁, 下村武史, 有機ナノファイバーコンポジットフィルムの半導体特性, 2015年09月17日, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市).

伊藤大樹, 下村武史, 三浦俊明, ポリチオフェン誘導体のナノファイバー形成メカニズムのシミュレーション, 2015年09月17日, 東北大学川内キャンパス(宮城県仙台市).

伊藤大樹, 下村武史, 三浦俊明, ポリチオフェン誘導体のナノファイバー形成メカニズムのシミュレーション, 平成27年度繊維学会年次大会, 2015年06月12日, タワーホール船堀(東京都葛飾区).

涌井純馬, 樋浦翔悟, 下村武史, 導電性高分子ナノファイバーとPEDOT:PSS積層膜の熱電変換特性の評価, 第64回高分子学会年会, 2015年05月28日, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市).

⑳ 山根 健輔, 下村 武史, PEDOT/PASの合成と熱電変換特性の評価, 第64回高分子学会年会, 2015年05月28日, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市).

㉑ 鯨井 秀文, 下村武史, 溶媒蒸気アニール法によるポリチオフェン誘導体ナノファイバーの形成とキャリア輸送特性, 第64回高分子学会年会, 2015年05月28日, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市).

㉒ 塚田 涼太, 串 聡志, 下村武史, ナノインプリントを用いたポリアルキルチオフェンの結晶制御, 第64回高分子学会年会, 2015年05月27日, 札幌コンベンションセンター(北海道札幌市).

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 熱電変換材料及び熱電変換材料の製造方法

発明者: 下村武史, 兼橋真二, 元山光子

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2016-111278

出願年月日: 2016年06月02日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0件)

〔その他〕

<http://web.tuat.ac.jp/~simo/Publication/sv2.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下村 武史 (SHIMOMURA, Takeshi)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 40292768

(2) 研究分担者

荻野 賢司 (OGINO, Kenji)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 10251589