

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月10日現在

機関番号：35504
 研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2009～2012
 課題番号：21310077
 研究課題名（和文） 環境に優しい導電性高分子・ナノ粒子ハイブリッド熱電変換材料の創製
 研究課題名（英文） Creation of Environmentally Friendly Hybrid Thermoelectric Materials Composed of Conducting Polymers and Nanoparticles
 研究代表者
 戸嶋 直樹 (TOSHIMA NAOKI)
 山口東京理科大学・工学部・教授
 研究者番号：50011010

研究成果の概要（和文）：導電性のポリアニリンをテルル化ビスマスナノ粒子とハイブリッド化させることで、1桁以上の熱電特性の向上に成功した。また、より環境に優しい白金や金のナノ粒子をポリアニリンや PEDOT/PSS に分散させることで導電率を向上させることができた。さらに十分に小さくて良く分散した金ナノ粒子を用いると、ゼーベック係数も向上させることができることを世界で初めて明らかにした。一方、性能は低い n 型の高分子錯体よりなる熱電材料の作製にも成功した。

研究成果の概要（英文）：Hybridization of electroconducting polyaniline with bismuth telluride nanoparticles improved the thermoelectric performance of polyaniline by one order of magnitude. Dispersion of Pt or Au nanoparticles, which are environmentally more friendly than bismuth telluride ones, into polyaniline or PEDOT/PSS enhanced the electrical conductivity of the conducting polymers as well. It was first reported that the dispersion of enough small Au nanoparticles into PEDOT/PSS increased not only electrical conductivity but also Seebeck coefficient. We also succeeded in the preparation of n-type thermoelectric materials composed of polymer complexes although the performance was still low.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	10,400,000	3,120,000	13,520,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2012年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
総計	15,200,000	4,560,000	19,760,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学 ・ ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：ナノ機能材料、熱電変換材料

1. 研究開始当初の背景

低品位排熱の有効利用は古くからの課題である。1997年、有機熱電変換材料の探索を課題とし、ポリアニリン（PANI）について検討した。その結果、①ドーパントの選択

により導電性とゼーベック係数が向上する、②導電性の PANI と絶縁性 PANI で積層膜を構成すると熱電性能が向上する、③PANI の延伸は導電性を向上させ、熱電性能を向上させるのに優れた方法である。④熱伝導性はド

ーパントによりあまり変化せず、一般の高分子と比べても変わらない、ことなどを明らかにした。

熱性能指数 ZT は 1 以上の材料で実用が可能とされる。1998 年にアメリカの研究者が、PANI の ZT は室温で $ZT = 10^{-5}$ であり、実用化は不可能と結論していた。NEDO の研究で我々は ZT を 10^{-2} まで向上させることができた。さらに、2007 年には、ポリフェニレンビニレンを用いることで $ZT = 0.1$ まで向上させた。この 10 年間で、4 桁 (1 万倍) の向上を果たしたことになる。もう 1 桁上げることができれば、実用化が可能となる。ここで注目される技術が無機ナノ粒子とのハイブリッド化である。そこで工夫を凝らしたハイブリッド化により一段の進展を図る。

2. 研究の目的

低品位排熱から電気エネルギーを取り出すことができれば、環境問題・エネルギー問題の解決に大きく一歩を踏み出すことができる。この問題解決のために、最近急速に進歩しているナノテクノロジーを活用する。1990 年代に、半導体材料の熱電変換効率を大幅に向上させることができる超格子の概念が提案された。しかし、現実の材料はまだできていない。一方、本研究代表者らは、無機の材料の代わりに、熱電変換材料として有機の導電性高分子を用いるという独創的な提案を世界で初めて行った。

そこで本研究では、ナノ粒子化した半導体材料と導電性高分子とのハイブリッド化により熱電変換性能の向上をはかり、環境に優しい熱電変換材料を創製する。

3. 研究の方法

ナノ粒子材料は物理的あるいは化学的手法により合成した。導電性高分子材料 PANI、ポリアセン、ポリイソキノリンは合成して得た。ポリ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) は市販のものを用いた。

自作の装置で薄膜試料の導電率、ゼーベック係数の測定を行った。また、熱拡散率、密度、定圧比熱の各測定から熱伝導率 κ を見積もった。これらの測定値から熱電特性 (ZT) の評価を行った。

4. 研究成果

4. 1. 無機半導体ナノ粒子の合成

(1) 物理的方法

① テルル化ビスマス (Bi_2Te_3) ナノ粒子
遊星ボールミルを用いて熱電変換性能の優れた半導体として知られる Bi_2Te_3 (平均粒径 ~ 20 nm) の合成に成功した。

(2) 化学的方法

① Bi_2Te_3 ナノ粒子

塩化ビスマス BiCl_3 と塩化テルル TeCl_4 を出発原料として、テトラエチレングリコール中、高温加熱還流下でポリビニルピロリドン (PVP) 保護の三テルル化ビスマス Bi_2Te_3 ナノ粒子を得た。粒径は $3\sim 4$ nm のものと約 20 nm のものと得られた。界面活性剤 AOT を用いてヒドラジン還元でも合成したが、AOT を洗浄で除去すると凝集した。

② 金 (Au) ナノ粒子

保護剤の異なる金ナノ粒子を化学還元法により合成した。用いた保護剤は、ターチオフェンチオール (TSH)、ドデカンチオール (DT)、メルカプトプロピオン酸 (MPA)、メルカプトヘキサ酸 (MHA)、クエン酸三ナトリウム (Citr) の 5 種類である。条件を選ぶことで $3\sim 5$ nm まで粒径の異なる金ナノ粒子を合成することに成功した。

③ 高分子錯体

ポリ (ニッケル 1,1,2,2-エテンテトラチオラート) (PETT) は不溶性の n 型半導性を示す高分子錯体である。この合成時に界面活性剤を用いることで、PETT の有機溶媒への分散可溶化に成功した。

4. 2. 導電性高分子の合成と評価

(1) PANI の合成と評価

① PANI の合成

低温下でアニリンの酸化重合を行い、脱ドーブして PANI のエメラルジン塩基を得た。これをカンファスルホン酸 (CSA) でドーブした後、キャスト法で作製した薄膜は高い導電率 (約 200 S/cm) を示した。

② PANI 膜の熱伝導

PANI キャスト膜の熱拡散係数、定圧比熱、密度を測定し、熱伝導率 κ を見積もった。PANI の基板に対して平行 (面内) と垂直 (面直) 方向の熱伝導率を評価し、異方性があることを明らかにした。例えば、面直、面内方向の κ はそれぞれ 0.21 ± 0.03 、 0.48 ± 0.15 $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ の値を得た。熱伝導率は、面内方向の方が大きく、また、膜厚が厚くなるとその異方性が小さくなることが明らかとなった。これは、PANI の高分子鎖が主なフォノン伝搬を担っていると仮定すると、面内と面直の PANI の高分子鎖の配向性が異なり、面内の高分子鎖の配向性が高いためと考える。

③ CSA ドープ量を制御した PANI 膜の熱電特性

PANI で CSA ドープ量を制御してキャリア濃度を定量的に変化させた膜を合成した。その膜の $4\sim 380$ K での抵抗率の温度依存性の解析から、PANI のキャリア伝導が 3 次元広範囲ホッピング伝導であることを明らかにした。一方ゼーベック係数は、室温 ~ 380 K の温度範囲におけるゼーベック係数の温度依存性の解析から、PANI の高分子鎖の電子構造に起因する金属的な振る舞いで説明で

きることを明らかにした。

これらの結果より、PANI 膜の熱電特性は、PANI の高分子鎖の配向性に起因する面内・面直方向で異方性があることを突き止め、初めて異方性を考慮した PANI 膜の熱電性能指数の評価を行い、面内の ZT が $ZT=10^{-3}$ であることを明らかにした。

(2) ポリアセンの合成

フェノール樹脂の熱分解で導電性高分子のポリアセン (PAS) を得た。PAS への電子ドープには成功しなかったが、強誘電体のチタン酸バリウム (BTO) ナノ粒子や導電性のグラファイト微粒子とのハイブリッド化に成功した。BTO 分散 PAS では導電性の増加が認められなかったのに対し、グラファイト分散 PAS では、グラファイトの増加に伴って、導電性が向上した。

(3) ポリイソキノリンの合成

1,4-ジプロモイソキノリンの 4 位での位置選択的な金属-ハロゲン交換反応を見つけた。生じた 1-ブロモ-4-メタロイソキノリンをモノマーとする交差カップリングを行うことにより、新しい経路でのポリイソキノリンの合成に成功した。

(4) PEDOT/PSS 膜の作製と熱電特性評価

石英基板およびポリイミド基板上に強靱かつ熱安定性に優れた PEDOT/PSS 膜の合成に成功した。熱電特性は、基板の表面状態、成膜プロセス、添加剤に大きく依存し、また、膜厚との相関があることが分った。基板の表面処理および成膜プロセス条件の検討により、室温で導電率 $\sigma=800$ S/cm、ゼーベック係数 $\alpha=15$ μ V/K を持つ再現性が良い膜の成膜法を確立した。さらに、添加剤の検討により PEDOT/PSS 膜のゼーベック係数 $\alpha=15$ μ V/K からゼーベック係数 α が 2 倍程度向上する添加剤を見出し、この結果として PEDOT/PSS 膜の ZT が 2 倍相当高まる成果を得た。

4. 3. 無機ナノ粒子と導電性高分子のハイブリッド化とハイブリッド材料の熱電変換特性評価

(1) 化学法による Bi_2Te_3 ナノ粒子と PANI のハイブリッド膜

化学的手法で得た Bi_2Te_3 ナノ粒子を含む PANI 薄膜を作製した。 Bi_2Te_3 ナノ粒子との複合により、導電率には変化が見られなかったが、十分に小さなナノ粒子を用いるとゼーベック係数が 1 桁以上増加することがわかった。その結果パワーファクターが大幅に向上した。

(2) 物理法による Bi_2Te_3 ナノ粒子と PANI のハイブリッド膜

熱電半導体の無機材料と PANI とのハイブリッドの方法として、無機材料を PANI に分散するモデル(分散モデル)と無機材料の薄膜

と PANI 膜の層状構造のモデル(層状モデル)を提案し、それぞれの熱電特性シミュレーションとその実験的な検証を行った。無機材料の体積比が高い領域(パーコレート領域)において無機材料の特性が支配的になることを予測し、n 型 Bi_2Te_3 と PANI とのハイブリッド膜で n 型の伝導型を示すハイブリッド膜の合成に成功した。層状モデルにおける熱電特性シミュレーションから、層を形成する膜の導電率 σ の比によってハイブリッド膜の熱電性能が支配されることを予測し、導電率の高い金属ペースト膜との組み合わせで、導電率が 10 倍の値を持つ PANI ハイブリッド膜の合成に成功した。

(3) 金ナノ粒子-PANI ハイブリッド膜

PVP 保護 Au ナノ粒子と PANI とよりなるキャスト膜では、ナノ粒子添加膜の導電率は低下した。これは PVP が絶縁性のためである。そこで、PANI モノマーのアニリンと Au イオンとの間で酸化還元を起こさせ、直接 PANI 保護 Au ナノ粒子を合成し、ハイブリッド膜を作製したところ、1%以下の Au ナノ粒子のドープで、導電率を 2 倍向上させることに成功した。Au ナノ粒子をドープしてもゼーベック係数は変化しないので熱電変換性能も 2 倍向上させることができた。

(4) 金ナノ粒子-PEDOT ハイブリッド膜

化学合成で得た金ナノ粒子 5 種と市販の PEDOT/PSS とでハイブリッド膜を作製し、各々の熱電特性を評価した。ハイブリッド膜の導電率に関しては、5 種類すべての金ナノ粒子において、導電率は向上することがわかった。一方でゼーベック係数は、Au-TSH、DT-Au ナノ粒子では減少、Citr-Au ナノ粒子では変化なし、MPA-Au、MHA-Au ナノ粒子では増加することがわかった。特に、高い導電性を有する PEDOT/PSS と MPA や MHA 保護した Au ナノ粒子を用いた際に、安定的に $ZT=0.1$ を有するハイブリッド膜を得ることに成功した。

また、キャリア濃度を制御する目的で、テトラキス(ジメチルアミノ)エチレン (TDAE) を用いた還元処理も試みた。MPA 保護金ナノ粒子を含むハイブリッド膜をこの TDAE で処理したところ、ゼーベック係数が増加した。導電率にはほとんど変化が見られなかったことから、結果的として ZT が 80%以上向上することを見出した。

(5) 高分子錯体ナノ粒子のハイブリッド膜

n 型半導体の PETT の分散可溶性に成功したので、このナノ粒子を用いて導電性高分子 PEDOT/PSS とのハイブリッド化を試みたが強い自立膜を得ることはできなかった。そこでより複合化の容易なポリ塩化ビニルとの複合化を試みたところ、一応負のゼーベック係数を持つ自立膜とすることができた。しかし残念ながら十分な導電率は得られなかつ

た。

5. 成果のまとめと将来の課題

本研究を始める前は導電性高分子を用いる有機熱電材料の研究は世界に殆どない状態であった。それがこの4年間で大きく変化し、最近では世界中で研究されるようになった。SciFinder®で”Organic thermoelectric materials”を引くと2008年に7件だった発表件数が4年後の2012年には31件まで増えている。如何に急に注目され始めたかが分る。これは有機エレクトロニクスの発展につれ、無次元熱電性能指数 ZT も、室温付近で2007年に我々の発表した0.1から、つい最近の印刷前公表のデータでは0.42まで向上している。この値は極めて薄い膜での値であり、このまますぐに実用化に繋がるものではないが、有機熱電材料が実用化も近づいてきたと感じさせる値である。

我々は、無機ナノ粒子とのハイブリッド化で熱電変換性能の向上を目指した。初め、無機材料で室温付近で高いゼーベック係数を持つ Bi_2Te_3 のナノ粒子化に成功し、これを用いての性能改善に取り組み成功した。しかし、三テルル化ビスマスは不安定で毒性もあることを考慮し、それ以上の追究は止め、代わりに安定なAuナノ粒子を用いることにした。その結果、金ナノ粒子は、導電性高分子の導電率の向上に有効であることを見出した。さらに、特筆すべきは、十分に小さなAuナノ粒子を用いて導電率のみならず、ゼーベック係数も向上させることができることを見出した。今後はこれをさらに進め、無機ナノ粒子の組み合わせに加え、高分子の配列制御にも取り組み、実用可能で、印刷で素子を組み立てることができるようなハイブリッド材料を得たいと考える。

6. 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 21件)

- ① M. Hokazono, H. Anno, F. Akagi, M. Hojo, N. Toshima, Thermoelectric Properties and Their Stability of (\pm)-10-Camphorsulfonic Acid Doped Polyaniline Films on flexible Substrate, Trans. Materials Research Society of Japan (MRS-J), 査読有, 2013, in press
- ② H. Anno, M. Hokazono, F. Akagi, M. Hojo, N. Toshima, Thermoelectric Properties of Polyaniline Films with Different Doping Concentrations of (\pm)-10-Camphorsulfonic Acid, J. Electronic Materials, 査読有, 2013, in press
DOI: 10.1007/S11664-012-2368-z

- ③ N. Toshima, N. Jiravanichanun, Improvement of Thermoelectric Properties of PEDOT/PSS Films with Addition of Gold Nanoparticles: Enhancement of Seebeck Coefficient, J. Electronic Materials, 査読有, 2013, in press
DOI: 10.1007/S11665-012-2458-y
- ④ N. Toshima, Metal Nanoparticles for Energy Conversion, Pure and Applied Chemistry, 査読有, 85(2), 2013, pp.437-451
DOI: 10.1351/PAC-CON-12-08-17
- ⑤ 戸嶋直樹, 新熱電変換材料としての導電性高分子, パターンダイナミクス紀要, 査読無, 7(1), 2012, pp. 44-50
URL: <http://www.7a.biglobe.ne.jp/~PatternDynamics/index1.html>
- ⑥ 戸嶋直樹, 新しい熱電変換材料としての導電性高分子—省エネルギーのための有機エレクトロデバイス— (化学レビュー), 化学, 査読無, 67(6), 2012, pp.37-41
URL: <http://www.kagakudojin.co.jp/search/g2271.html>
- ⑦ N. Toshima, N. Jiravanichanun, H. Marutani, Organic Thermoelectric Materials Composed of Conducting Polymers and Metal Nanoparticles, J. Electronic Materials, 査読有, 41(6), 2012, pp.1735-1742
DOI: 10.1007/s11664-012-2041-6
- ⑧ 戸嶋直樹, ナノによる融合で新分野を! (巻頭言), 高分子, 査読無, 60(6), 2011, 373
URL: <http://www.spsj.or.jp/>
- ⑨ N. Toshima, M. Imai, S. Ichikawa, Organic-Inorganic Nanohybrids as Novel Thermoelectric Materials: Hybrids of Polyaniline and Bismuth(III) Telluride Nanoparticles, J. Electronic Materials, 査読有, 40(5), 2011, pp.56-60
DOI: 10.1007/s11664-010-1403
- ⑩ 戸嶋直樹, 有機熱電材料—廃熱利用のための新技術の提案—, 理大科学フォーラム (化学教養講座), 査読無, 28(7), 2011, pp.56-60
URL: <http://www.tus.ac.jp/info/publish/kagakuforum/>
- ⑪ N. Toshima, Polyaniline-Nanoparticle Hybrid Thermoelectric Materials (Hot Topics), Kobunshi, 査読無, 60(8), 2011, 499
URL: <http://www.spsj.or.jp/>
- ⑫ 戸嶋直樹, 金属ナノ粒子での展開: 異分野との交流を通して発展し続ける新分野 (私の自慢), 化学と工業, 査読無, 64(8), 2011, pp.622-624
URL: <http://www.chemistry.or.jp/>
- ⑬ H. Anno, K. Yamaguchi, T. Nakabayashi, H. Kurokawa, F. Akagi, M. Hojo, N. Toshima, Thermoelectric

Properties of Conducting Polyaniline/BaTiO₃ Nanoparticle Composite Films, Materials Science and Engineering, 査読有, 18, 2011, 142003

DOI: 10.1088/1757-899X/18/14/142003

⑭ M. Hokazono, H. Anno, K. Yamaguchi, H. Kurokawa, F. Akagi, M. Hojo, N. Toshima, Thermal Conductivity of Oxide-Nanoparticle-Dispersed Polyaniline Films for Thermoelectric Applications, Proceedings of ECO-MATES 2011, 査読無, 2011, pp.9-10

URL: <http://www.casi.osaka-u.ac.jp/ecomates2011/>

⑮ H. Anno, K. Yamaguchi, T. Nakabayashi, H. Kurokawa, F. Akagi, M. Hojo, N. Toshima, Thermoelectric Properties of Conducting Polyaniline/BaTiO₃ Nanoparticle Composite Films, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 査読有, 18, 2011, pp.142003

DOI: 10.1088/1757-899X/18/14/142003

⑯ 戸嶋直樹, 有機熱電変換材料としての導電性高分子の可能性, Material Stage, 査読無, 10(1), 2010, pp.42-45

URL: http://www.gijutu.co.jp/doc/magazine_material%20stage.htm

⑰ 戸嶋直樹, 有機-無機ハイブリッド熱電変換材料, 未来材料, 査読無, 10(4), 2010, pp.38-46

URL: <http://www.nts-book.co.jp/>

⑱ 戸嶋直樹, ナノテクノロジーを推進する金属粒子-一事始めから最近の展開まで-, 現代化学, 査読無, 472, 2010, pp.56-62

URL: <http://www.tkd-pbl.com/news/nc243.html>

⑲ 戸嶋直樹, ハイブリッド・ナノ粒子の液晶ディスプレイおよび熱電変換材料への展開, 月刊ディスプレイ, 査読無, 17(3), 2011, pp.63-70

URL: <http://www.techno-times.co.jp/display-latest.htm>

⑳ 戸嶋直樹, 有機熱電変換材料としての導電性高分子, 日本熱電学会誌, 査読有, 6(1), 2009, pp.8-12

URL: <http://www.thermoelectrics.jp/>

㉑ H. Anno, M. Fukamoto, Y. Heta, K. Koga, H. Itahara, R. Asahi, R. Satomura, M. Sannomiya, N. Toshima, Preparation of Conducting Polyaniline-Bismuth Nanoparticle Composites by Planetary Ball Milling, J. Electronic Materials, 査読有, 38(7), 2009, pp.1443-1449

DOI: 10.1007/s11664-009-0786-3

[学会発表] (計 52件)

(招待講演のみを列挙)

① N. Toshima, Metal Nanoparticles for Energy Conversion, The 12th Eurasia Conference on Chemical Sciences (EuAsC2S12), April 16-21, 2012, Corfu (Greece) (Invited)

② N. Toshima, Metal Nanoparticles for Conversion of Material and Energy, MANA Seminar, March 14, 2013, Tsukuba (Invited)

③ 戸嶋直樹, 金属ナノ粒子の構造制御とその有機熱電変換材料への応用, 北海道大学大学院工学研究院材料化学部門主催第9回マテリアルセミナー, 2012年6月11日, 北海道大学 (招待講演)

④ N. Toshima, Organic Thermoelectric Materials of Conducting Polymers and The Improvement of Their Properties by Metal Nanoparticles, Seminar at Department of Energy Conversion and Storage, Technical University of Denmark, July 6, 2012, Rkilde (Denmark) (Invited)

⑤ N. Toshima, Conducting Polymers and Their Hybrids with Metal Nanoparticles as Thermoelectric Materials, International Workshop on Green Innovation (12th and 9th Joint Symposium of Institutes at Tokyo University of Science Yamaguchi), March 12, 2012, Tokyo University of Science Yamaguchi (Invited)

⑥ H. Anno, Semiconductor Silicon Clathrates for Thermoelectric Application, International Workshop on Green Innovation (12th and 9th Joint Symposium of Institutes at Tokyo University of Science Yamaguchi), March 12, 2012, Tokyo University of Science Yamaguchi (Invited)

⑦ 戸嶋直樹, 導電性高分子及びその無機ナノ粒子とのハイブリッド熱電材料, 日本熱電学会第14回研究会, 2012年1月10日, 阪大吹田コンベンションセンター (大阪) (招待講演)

⑧ N. Toshima, Structure Control of Metal Nanoparticles and Their Applications to Various Fields, Diamond Jubilee Symposium on Recent Trends in Chemistry (DJSRTC-2011), Nov. 21-23, 2011, Indian Institute of Technology, Kharagpur (India) (Invited)

⑨ 阿武宏明, 熱エネルギーを直接電気に変える熱電発電技術, シリーズ先端講演会 (第6回) 「熱電発電技術の最近の展開とその応用」, 2011年7月1日, 山口東京理科大学 (招待講演)

[図書] (計 5件)

① 戸嶋直樹, シーエムシー出版, 有機電子

デバイスのための導電性高分子の物性と評価, 2012年, pp.210-218

② 戸嶋直樹, サイエンス&テクノロジー社, 熱電材料と製造プロセス技術～熱電学シリーズII～, 2012年, pp.69-84

③ 戸嶋直樹, サイエンス&テクノロジー社, PEDOTの材料物性とデバイス応用, 2012年, pp.386-398

④ 戸嶋直樹, シーエムシー出版, 有機-無機ハイブリッド材料の新展開 (新材料・新素材シリーズ), 2009年, pp.167-176

⑤ 大野尚典, 巖虎, 戸嶋直樹, シーエムシー出版, 導電性高分子の応用展開 (普及版) (新材料・新素材シリーズ), 2009年, pp.121-128

[産業財産権]

○出願状況 (計 3件)

名称: 熱電変換材料及び熱電変換素子
発明者: 戸嶋直樹、ジラーワニチャーナン・ナッター、吉田晃人、市川章子
権利者: 学校法人東京理科大学
種類: 特許
番号: 特願 2012-149662
出願年月日: 2012年7月3日
国内外の別: 国内

名称: 有機-無機ハイブリッド熱電材料、当該熱電材料を用いた熱電変換素子及び有機-無機ハイブリッド熱電材料の製造方法
発明者: 戸嶋直樹、今井将太
権利者: 学校法人東京理科大学
種類: 特許
番号: 特願 2010-123510
出願年月日: 2010年5月28日
国内外の別: 国内

名称: 有機-無機ハイブリッド熱電材料、当該熱電材料を用いた熱電変換素子及び有機-無機ハイブリッド熱電材料の製造方法
発明者: 戸嶋直樹、今井将太
権利者: 学校法人東京理科大学
種類: 特許
番号: 特願 2009-21281
出願年月日: 2009年9月14日
国内外の別: 国内

○取得状況 (計 3件)

名称: ポリピロール類膜、その製造方法およびそれよりなる熱電材料
発明者: 戸嶋直樹、巖虎、石田友子
権利者: 学校法人東京理科大学
種類: 日本国特許登録
番号: 特許第 4901018号
取得年月日: 2012年1月13日

国内外の別: 国内

名称: テルルナノ粒子製造方法及びテルル化ビスマスナノ粒子の製造方法
発明者: 戸嶋直樹、渡邊法久
権利者: 学校法人東京理科大学
種類: 日本国特許登録
番号: 特許第 4865210号
取得年月日: 2011年11月18日
国内外の別: 国内

名称: ポリアニリン類製膜状物、それを用いた熱電材料
発明者: 戸嶋直樹、巖虎、福岡直彦
権利者: ケミプロ化成株式会社
種類: 日本国特許登録
番号: 特許第 4766735号
取得年月日: 2011年6月24日
国内外の別: 国内

[その他]
ホームページ等
<http://www.ed.yama.tus.ac.jp/toshima/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸嶋 直樹 (TOSHIMA NAOKI)
山口東京理科大学・工学部・教授
研究者番号: 50011010

(2) 研究分担者

北條 信 (HOJO MAKOTO)
山口東京理科大学・工学部・教授
研究者番号: 50229150

阿武 宏明 (ANNO HIROAKI)
山口東京理科大学・工学部・教授
研究者番号: 60279106

(3) 連携研究者

赤木 史生 (AKAGI FUMIO)
山口東京理科大学・工学部・助教
研究者番号: 80513126