

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04814

研究課題名(和文) 応力によるキャリア変調機能を備えたフレキシブル材料の創出

研究課題名(英文) Development of flexible materials equipped with carrier modulation capability by stress

研究代表者

中嶋 宇史 (Nakajima, Takashi)

東京理科大学・理学部第一部応用物理学科・准教授

研究者番号：60516483

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、化学ドーピングや電界効果に頼らず、外力として加えられた応力のみによって、半導体内にキャリアドーピングを実現するための新材料と新技術の創出を目的としたものである。フレキシビリティの優れた強誘電性ポリマーとナノカーボン材料を複合化し、ナノカーボン材料の電気的特性、特に熱電特性の変調に成功することができた。また、熱電特性の高精度な評価が可能となる新たな評価手法も新規に開発することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果は、環境下に存在する振動や熱を電気的エネルギーに変換し、その微小エネルギーを活用するエネルギーハーベスティング技術の特性向上に貢献するものである。従来の材料の特性向上の方法以外に、異種材料との複合構造や力学的な力の入力によって特性を効果的に制御する手法を見出すことに成功している。これは、新たな材料創出に繋がるものであるとともに、振動や熱のエネルギー変換を単なる足し算ではなくて、相乗効果として活用するものである。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research is to create a structure and technology for realizing carrier doping in semiconductors by stress applied as an external field without conventional chemical doping or electric field effect. We have succeeded in modulating the electrical properties of nanocarbon materials, especially the thermoelectric properties, by combining a flexible ferroelectric polymer with nanocarbon materials. In addition, we developed a novel evaluation method that enables accurate evaluation of thermoelectric properties.

研究分野：有機機能材料

キーワード：キャリア注入 自発分極 強誘電性ポリマー 熱電 圧電

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

身の回りに存在する環境エネルギーから、比較的小さな電気エネルギーを獲得する“エネルギーハーベスティング技術”に関する研究への関心が高まっている。環境に存在するエネルギーを常に利用可能とすることで、社会の中で数億～数兆と利用されることが想定されるセンサーや、無線素子への自立電源としての活用が期待され、国内外で科学技術イノベーションや実用化に向けた取り組みが活発に進められている状況がある。このような背景の中、振動、熱、光など個々の発電技術の特性向上を目的とした研究の他に、複数のエネルギーを組み合わせた環境発電に関する検討も行われ始めている。このようなハイブリッド発電技術は、発電量の向上という点では重要であるが、特性の優れた材料を単純に足し合わせたものが一般的であり、複合化による相乗効果に着目した研究はほとんど例を見ない。このような相乗作用を実現するためには、圧電材料、熱電材料、光電変換材料等のエネルギー変換の土台となっている電子構造の変調が必要となるが、そもそも微小エネルギーの獲得を前提とした発電規模において、電子構造を変調させうる外部刺激を生み出すことは一般的に困難であると言える。一方で、トランジスタ構造による電界効果キャリア注入によってエネルギー変換機能が劇的に変化した研究例は報告されており[Nat. Mater. 7, 321, (2008)]、このようなキャリア注入機構を外部電源なしで実現することは、極めて重要な研究課題と言える。

2. 研究の目的

本研究の研究代表者は、強誘電性ポリマーを用いた振動発電素子の作製とその発電特性向上に向けた研究を推進してきた。一般的に強誘電性ポリマーは無機材料に比べて圧電性能が低いために、大きな発電特性を得ることが困難であるとされている。しかし、圧電性に基づいた発電量予測を行い、大きな歪領域(2%以上)で変形させることによって、無機材料を凌駕した発電が得られることを明らかにしている[Jpn. J. Appl. Phys. 50, 09ND14, (2011)]。このシーズ技術に基づき、強誘電性ポリマーの自発分極ならびに外部応力を活用することで、様々な半導体材料に対してキャリア変調を実現する技術を新たに確立することを本研究の目的とした。複合構造の最適化や特性変調の効果を定量的に理解するための測定手法の開発も研究の課題とした。

3. 研究の方法

(1) ナノカーボン材料/強誘電性ポリマー複合構造におけるキャリア注入に関する研究

強誘電体の自発分極を用いてナノカーボン材料にキャリア注入を行い、その熱電特性の変調効果を検証した。ナノカーボン材料である SW-CNT と代表的な強誘電性ポリマーである フッ化ビニリデン-三フッ化エチレン(vinylidene fluoride-trifluoroethylene: VDF-TrFE)共重合体との複合膜を作製した。製法としては、VDF-TrFE と SW-CNT を NMP 溶媒に均一になるようにホモジナイザーで混合したのち、溶液キャスト法によって固化乾燥と結晶化熱処理を行った。得られた試料をコロナ分極装置によって強誘電体の分極方向を制御するとともに、延伸処理によって分子配向を制御した。

(2) 電流測定法による熱電特性評価手法の新規開発

キャリア注入による熱電特性の変調効果に関しては、従来電気伝導度 L_{11} とゼーベック係数 S の評価によって行われている。一方で、ゼーベック係数は熱電伝導度 L_{12} と L_{11} の比($S=L_{12}/L_{11}/T$)で表すことができるため[T. Yakamoto and H. Fukuyama, J. Phys. Soc. Japan 87, 024707, (2018)]、その効果の定量的理解を進めるためには、 L_{12} の評価が重要となる。本研究では、電流測定に基づく L_{12} の評価方法を新規に開発するとともに(特願 2017-142754「熱電物性測定装置及び熱電物性測定方法」)、ナノカーボン材料の複雑構造における熱電特性の不均一性を可視する熱電応答顕微鏡の実現に取り組んだ。

(3) キャリア変調を実現する強誘電性ポリマー相界面実現に関する研究

電氣的な分極処理なしで分極を自己組織的に形成し、半導体材料との界面において分極によるキャリア注入を効果的に行うことが期待される特異な相界面の形成手法の確立を目的とした研究を推進した。VDF-TrFE 共重合体の薄膜を形成し、190 で融解させた後、90～160 の温度域で 300 min の等温結晶化を行うことで、その分極形成がどのように変化するかについて詳細に調査し、そのメカニズムについて検討を行った。

4. 研究成果

(1) ナノカーボン材料/強誘電性ポリマー複合構造におけるキャリア注入に関する研究

図1は、延伸前後での CNT/VDF-TrFE 複合膜の試料写真と表面 SEM 像である。本複合材料は延伸が比較的容易であり、図に示すようにランダム状複合膜と異方性複合膜を連続的に得ることができた。この延伸効果によって、熱電特性の指標となるゼーベック係数が延伸長ならびに CNT 複合比によって、20～100%増大するという結果を得た。延伸過程において、電気伝導度が配向性向上とともに増大しており、延伸によるゼーベック係数の増加は、電気伝導度の減少によって相対的に生じるものではなく、本質的に熱電特性が向上していること

を意味しているといえる。また、分極処理なしでは p 型半導体としての熱電特性を示していたが、分極処理後においては、分極の向きに応じて、p 型のゼーベック特性の変化、ならびに n 型化を観測することができた。これは、強誘電体の自発分極によるキャリア注入で説明できるが、電界効果によるキャリア注入と異なり、半永久的な熱電特性の変調も期待できる。このゼーベック効果の増加と n 型化の可能性を同時に実現できたという点で、今後 CNT を用いた熱電デバイスへの新しい応用展開が期待できると考えている。

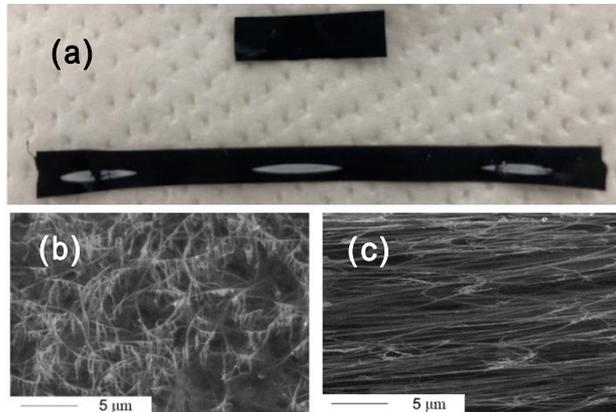


図 1 (a) 試料形状 (b) 延伸前 SEM 像 (c) 延伸後 SEM 像

(2) 電流測定法による熱電特性評価手法の新規開発

図 2 は電流測定法による熱電特性の評価回路を示したものである。試料両端に温度勾配を形成した際に生じる電流と、電圧を印加した際に生じる電流をそれぞれ計測もしくは、線形応答理論に基づく範囲で同時に計測する。材料によって接触抵抗が問題となる場合においては、4 端子法を用いることでこの影響を厳密に差し引く。図 3 に、単層グラフェンにおいて、イオン液体 N,N-Diethyl-N-methyl-N-(2-methoxyethyl) ammonium bis(trifluoromethanesulfonyl) imide を用いて、電界効果によってキャリア注入を連続的に行った場合の L_{11} と L_{12} ならびに S の測定結果の一例を示す。電気伝導度 L_{11} はゲート電圧 V_G によって変化し、 $V_G = 0$ 近傍で最小となった。熱電伝導度 L_{12} は V_G によって正負が反転し、バンド端近傍で極大となることが確認できた。この時のゼーベック係数の変化はこれらの結果によって表現でき、キャリアドーピングが最適に行われた場合においては、 $100 \mu\text{V}/\text{K}$ の出力が得られることがわかる。なお、CVD 法で作製された本グラフェンはわずかにギャップが開いていることが確認できる。

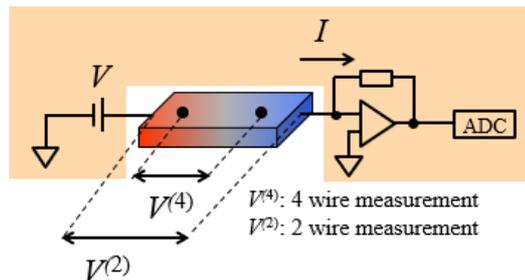


図 2 電流測定法による熱電特性評価

この測定技術を熱電特性の不均一評価に応用した研究も進めた。電流測定の高いダイナミックレンジに注目し、AFM のカンチレバー先端から電圧を印加し、温度勾配下での電流をマッピングすることで、 L_{11} と L_{12} ならびに S のマッピング測定を行った。図 4 が CNT のバンドル構造におけるゼーベック係数の不均一性を可視化したものである。バンドル内において、ゼーベック係数の違いがみられ、CNT の半金状態や接点の状況などの不均一性を反映して、その熱電特性に違いが生じていると考えられる。本手法をより発展させることで、マクロスコピックに観測される熱電特性を局所的な観点から理解することができると考えている。

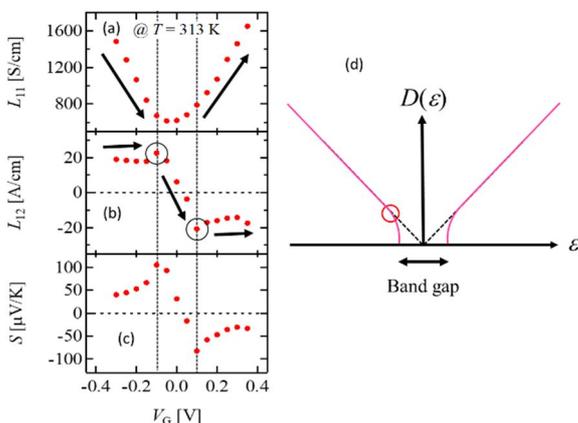


図 3 グラフェンにおける電界効果キャリア注入と電流測定法による特性評価

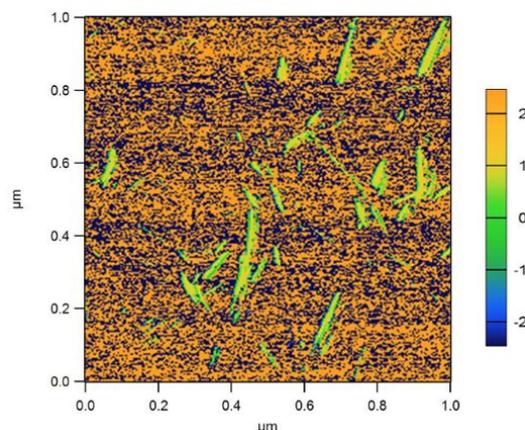


図 4 熱電応答顕微法による CNT の熱電マッピング測定

(3) キャリア変調を実現する強誘電性ポリマー相界面実現に関する研究

強誘電性ポリマー-VDF-TrFE の融解後、凝固点直下の高い温度で熱処理を行うことで、最も大きな分極を自己組織的に形成可能であることを圧電応答顕微鏡によって観測することができた。この時の自発分極の向きは、熱処理温度によらず試料下部から上部方向になることも明らかとなった。結晶形成過程のその場観察結果から、より高温側では分子鎖が基板平行方向になると推測される針状結晶が形成されており、この分子鎖の配向性の違いが自己分極形成の起源になっていると推測している。一方向に分極が形成される駆動力については、基板と結晶界面の相互作用であり、今後の研究課題であるが、運動性の高い融解状態から、降温過程で分極が自己組織的に形成されるという現象はキャリア注入の相界面を形成する上で大変有用であると考えている。今後はインクジェット法といったプリンタブル成膜技術を本技術に活用することで、大面積かつ任意のパターンにて分極面を実現することで、この界面を活用した新たな展開などが期待される。

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 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Hashizume Yoichiro, Suzuki Masuo, Nakajima Takashi, Okamura Soichiro	4. 巻 522
2. 論文標題 Extended quantum distance on thermo-field dynamics and its applications	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 1~8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physa.2019.01.135	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 Fukuda Shigeki, Hashizume Yoichiro, Nakajima Takashi, Okamura Soichiro	4. 巻 57
2. 論文標題 Composition dependence of energy storage properties of antiferroelectric (Pb,Y)(Sn,Zr)O ₃ thin film capacitors	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 11UF08 ~ 11UF08
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/JJAP.57.11UF08	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 Kamata Yuki, Sekiguchi Tetsushi, Nakajima Takashi, Sasaki Toshio, Dong-Hyun Yoon, Tanaka Daiki, Shoji Shuichi	4. 巻 56
2. 論文標題 Analysis of vinylidene fluoride-trifluoroethylene copolymer film for nonpolarized energy harvester	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 070301 ~ 070301
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/JJAP.56.070301	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 Karaya Ryota, Baba Ikki, Mori Yosuke, Matsumoto Tsubasa, Nakajima Takashi, Tokuda Norio, Kawae Takeshi	4. 巻 56
2. 論文標題 B-doped diamond field-effect transistor with ferroelectric vinylidene fluoride-trifluoroethylene gate insulator	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 10PF06 ~ 10PF06
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7567/JJAP.56.10PF06	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 Honmi Hitoshi、Hashizume Yoichiro、Nakajima Takashi、Okamura Soichiro	4. 巻 56
2. 論文標題 Thermodynamic analysis of a cooling system using electrocaloric effect	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 10PC09 ~ 10PC09
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.10PC09	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 Enomoto Naoto、Hashizume Yoichiro、Nakajima Takashi、Okamura Soichiro	4. 巻 56
2. 論文標題 Polarization-induced resistance switching phenomenon in metal Au/ferroelectric vinylidene fluoride-trifluoroethylene/semiconductor Si junction	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 10PF13 ~ 10PF13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7567/JJAP.56.10PF13	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 -

〔学会発表〕 計34件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Takashi Nakajima
2. 発表標題 Materials development of piezoelectric polymers for vibrational energy conversion
3. 学会等名 The 10th Japan and China Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications, Inuyama International Sightseeing Center(Aichi), (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 和暉、中嶋 宇史、橋爪 洋一郎、岡村 総一郎
2. 発表標題 シアン化ビニリデン (VDCN) / 酢酸ビニル (VAc) 共重合体膜の微構造観察
3. 学会等名 2018年第79回応用物理学会秋季学術講演会、名古屋国際会議場
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Noriyuki Nagahata, Yoichiro Hashizume, Takashi Nakajima, and Soichiro Okamura
2. 発表標題 Polarization-Induced Resistance Switching Characteristics of Morphology-Controlled VDF/TrFE Copolymer Ultrathin Films
3. 学会等名 IUMRS-ICEM2018, Daejeon convention center (Korea) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shota Hasegawa, Takashi Nakajima, Jun Fujioka, Yoichiro Hashizume, Takayuki Imai, Koichi Tsukiyama, and Soichiro
2. 発表標題 Selective Decomposition of Ferroelectric Pb(Zr,Ti)O ₃ Precursor by Infrared Free Electron Laser
3. 学会等名 IUMRS-ICEM2018, Daejeon convention center (Korea) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakajima, Yoichiro Hashizume, and Soichiro Okamura
2. 発表標題 Vibrational Energy Harvesting Based on Flexible Polymers
3. 学会等名 IUMRS-ICEM2018, Daejeon convention center (Korea) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masanari Miyamoto, Yoichiro Hashizume, Takashi Nakajima, and Soichiro Okamura
2. 発表標題 In-Situ Observation of Crystallization Process from Molten Phase of Ferroelectric Vinylidene Fluoride/Trifluoroethylene Copolymer
3. 学会等名 IUMRS-ICEM2018, Daejeon convention center (Korea) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Fukuda, Y. Hashizume, S. Okamura and T. Nakajima
2. 発表標題 Composition dependence of energy storage properties of antiferroelectric (Pb,Y)(Sn,Zr)O ₃ thin film capacitors
3. 学会等名 2018 ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference at Hiroshima (IFAAP Hiroshima2018), International Conference Center at Hiroshima (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本美仁志、橋爪洋一郎、中嶋宇史、岡村総一郎
2. 発表標題 電気熱量効果を用いた冷却システムの熱力学的解析
3. 学会等名 第34回強誘電体応用会議
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 榎本尚人、橋爪洋一郎、中嶋宇史、岡村総一郎
2. 発表標題 金属 Au/強誘電体 VDF-TrFE/半導体 Si 接合における分極誘起抵抗変化現象
3. 学会等名 第34回強誘電体応用会議
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 清水勝基、渡辺貞宗、川江健、中嶋宇史
2. 発表標題 MoS ₂ を用いた強誘電体メモリ構造の作製
3. 学会等名 第34回強誘電体応用会議
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 森陽介、柄谷涼太、馬場一気、吉田稜、松本翼、徳田規夫、川江健、中嶋宇史
2. 発表標題 P(VDF-TrFE)をゲートとしたボロンドープダイヤモンドFET
3. 学会等名 第34回強誘電体応用会議
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Nakajima
2. 発表標題 Functional Properties of Ferroelectric Polymer and its Device Application
3. 学会等名 EM-NANO 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Satoshi Itoh, Iwan Dwi Antoro, Takashi Nakajima, Takeshi Kawae
2. 発表標題 Estimation of Activation Energy of Si-doped α -Ga ₂ O ₃ Thin Films
3. 学会等名 EM-NANO 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sadamune Watanabe, Takashi Nakajima, Takeshi Kawae
2. 発表標題 1T Type Ferroelectric Random Access Memory with MoS ₂ Channel
3. 学会等名 EM-NANO 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Nakajima
2. 発表標題 Vibrational Energy Harvesting Using Ferroelectric Polymers
3. 学会等名 The 7th Asian Conference on Colloid & Interface Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Nakajima, Masanari Miyamoto, Yuuta Nakagawa, Yoichiro Hashizume, Soichiro Okamura
2. 発表標題 Structure and piezoelectric properties of self-polarized ferroelectric polymer thin film
3. 学会等名 16th International Symposium on Electrets (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 引地優嘉、伊藤雅浩、金勇一、中嶋宇史、山本貴博、西川英一
2. 発表標題 液中アーク放電法によって合成されたカーボンナノチューブの熱電特性
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 掘井耀、藤崎裕太郎、伊藤雅浩、橋爪洋一郎、中嶋宇史、小鍋哲、山本貴博
2. 発表標題 強誘電体を利用したグラフェンへのキャリア注入に関する第一原理計算
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 藤崎裕太郎、掘井耀、伊藤雅浩、小鍋哲、山本貴博、橋爪洋一郎、中嶋宇史、岡村総一郎
2. 発表標題 強誘電体ゲートグラフェンFETにおける熱電変調効果
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 伊藤雅浩、岡本和也、中嶋宇史、阿武宏明、山本貴博
2. 発表標題 PEDOT/PSS-有機強誘電体ハイブリッド材料の熱電物性制御
3. 学会等名 第 14 回日本熱電学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 掘井 耀、藤崎裕太郎、伊藤雅浩、橋爪洋一郎、中嶋宇史、小鍋哲、山本貴博
2. 発表標題 グラフェン/有機強誘電体ハイブリッド材料の熱電特性に関する第一原理計算
3. 学会等名 第 14 回日本熱電学会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 掘井耀、藤崎 裕太郎、伊藤 雅浩、橋爪 洋一郎、中嶋 宇史、小鍋哲、山本 貴博
2. 発表標題 Thermoelectric Performance of Graphene/Organic Ferroelectrics Hybrid Materials in Simulation and Experiment
3. 学会等名 第53回 フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋宇史
2. 発表標題 強誘電ポリマーの機能物性と 応用展開
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中嶋宇史
2. 発表標題 強誘電性ポリマーの階層構造と機能物性
3. 学会等名 金研ワークショップ「多自由度・多階層性が協奏する物質材料システムの科学」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長畑範之、橋爪洋一郎、中嶋宇史、岡村総一郎
2. 発表標題 低TCを持つVDF/TrFE (54/46) 共重合体薄膜を用いたFTJ素子の作製
3. 学会等名 第27回日本MRS年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yutaro Fujisaki, Hikaru Horii, Masahiro Ito, Satoru Konabe, Takahiro Yamamoto, Yoichiro Hashizume, Takashi Nakajima, and Soichiro Okamura
2. 発表標題 An experimental study on thermoelectric properties of graphene modulated by ferroelectric gate FET
3. 学会等名 International Conference on Organic and Hybrid Thermoelectrics 2018 (ICOT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Hashizume, M. Tsukuda, T. Yamamoto, T. Nakajima, S. Okamura
2. 発表標題 Analytical approach to thermoelectric properties of carbon nanotube thin film using a random graph theory and machine learning
3. 学会等名 International Conference on Organic and Hybrid Thermoelectrics 2018 (ICOT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Horii, Y. Fujisaki, M. Ito, Y. Hashizume, T. Nakajima, S. Konabe, T. Yamamoto
2. 発表標題 First-Principles Study on Thermoelectric Performance of Graphene/Ferroelectric PVDF Hybrid Organic Materials
3. 学会等名 International Conference on Organic and Hybrid Thermoelectrics 2018 (ICOT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takashi Nakajima, Takahiro Yamamoto, Yoichiro Hashizume, Masahiro Ito, Takashi Utsu, Keishi Nishio, Hidetoshi Fukuyama and Soichiro Okamura
2. 発表標題 Evaluation of conductivity L11 and thermoelectric coefficient L12 by current-voltage measurement
3. 学会等名 International Conference on Organic and Hybrid Thermoelectrics 2018 (ICOT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro Ito, Kazuya Okamoto, Takashi Nakajima, Hiroaki Anno and Takahiro Yamamoto
2. 発表標題 Modulation of thermoelectric of PEDOT/PSS by carrier injection with ferroelectrics
3. 学会等名 International Conference on Organic and Hybrid Thermoelectrics 2018 (ICOT2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 岡本和也, 阿武宏明, 伊藤雅浩, 山本貴博, 中嶋宇史
2. 発表標題 有機強誘電体の自発分極を用いた有機熱電材料のキャリア変調
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 中嶋宇史
2. 発表標題 圧電性高分子を用いた振動エネルギーハーベスティング
3. 学会等名 第65回応用物理学会 春季学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤雅浩, 山田敦史, 橋爪洋一郎, 中嶋宇史, 山本貴博, 岡村総一郎
2. 発表標題 SWNT/VDF-TrFE複合膜の熱電特性の濃度依存性
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 宮本 将成、橋爪 洋一郎、中嶋 宇史、岡村 総一郎
2. 発表標題 強誘電性フッ化ピニリデン/フッ化エチレン共重合体の熔融結晶化過程のその場観察
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

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計6件

産業財産権の名称 圧電型発電装置及びその製造方法	発明者 関口哲志、佐々木敏夫、笹川健太、中嶋宇史	権利者 学校法人早稲田大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-3881	出願年 2018年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 無線センサ装置及び状態推定システム	発明者 中嶋宇史	権利者 学校法人東京理科大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-125320	出願年 2018年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 圧電性ポリアミドフィルムの製造方法	発明者 岡村総一郎、中嶋宇史、橋爪洋一郎、齋藤修平、中塚祐太郎	権利者 学校法人東京理科大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-064148	出願年 2018年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 位置検出装置、モデル学習装置、位置検出システム、及びプログラム	発明者 山田秀祐、中嶋宇史、橋爪洋一郎、岡村総一郎	権利者 学校法人東京理科大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-87663	出願年 2017年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 熱電物性測定装置及び熱電物性測定方法	発明者 中嶋宇史、山本貴博、福山秀敏、橋爪洋一郎	権利者 学校法人東京理科大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-168514	出願年 2017年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 圧電型発電装置及びその製造方法	発明者 関口哲志、佐々木敏夫、笹川健太、中嶋宇史	権利者 学校法人早稲田大学、学校法人東京理科大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-3881	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

https://www.tus.ac.jp/fac_grad/p/index.php?40ab

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
---------------------------	-----------------------	----