

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 3 日現在

機関番号：13901

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2019～2020

課題番号：19K22049

研究課題名(和文)機能性分子の分子間結合構造の制御による高性能熱電材料の創製

研究課題名(英文)Formation of high-performance thermoelectric materials by control of intermolecular chemical bonds between functional molecules

研究代表者

中谷 真人(Nakaya, Masato)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30725156

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：有機半導体には、ゼーベック係数 S が既存の熱電材料よりも数100倍の大きな材料が報告されており、次世代フレキシブル熱電材料として期待されているが、実用化のためには導電率の向上が課題である。本研究では、フラレン(C60)をモデル材料として取り上げ、分子間結合による S およびの制御について研究した。まず、紫外可視光照射や電子線照射による分子間結合制御および薄膜試料の熱電特性評価を真空一貫で行う装置を開発した。これを利用して、C60分子同士を[2+2]環化付加反応によって連結すると、C60薄膜の大きな S 値をほぼ保持しながらが約20倍まで増加し、出力因子が向上することを見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機半導体の示す巨大ゼーベック係数 S ($S > 100$ mV/K)を保持しつつ、導電率を向上させることができれば、柔軟かつ高性能な熱電素子への応用が拓かれる。分子薄膜の向上させる手法としては、不純物添加によるキャリアドーピングがより一般的であるものの、この方法では、の増加と共に S 値の著しい減少が起きる。本研究では、分子間結合の形成によって、分子薄膜の巨大 S を保持しながらを向上させることに初めて成功した。この方法論を様々な有機半導体へ応用することで S とが共に優れた値を示す高性能熱電材料の創製へと道が拓かれる。

研究成果の概要(英文)：High performance and flexible thermoelectric (TE) conversion devices are expected to be power sources for enormous number of wearable devices for future Internet-of-Things (IoT). Although a fullerene C60 film is one of candidates of novel flexible TE materials because of its giant Seebeck coefficient ($S > 100$ mV/K) at around room temperature, improvement of its very low electrical conductivity (σ : $\sim 10^{-5}$ - 1cm^{-1}) is required for practical use. However, it is generally difficult to realize TE materials exhibiting large values of both S and σ simultaneously owing to the trade-off relationship between them in bulk materials.

In this research project, I demonstrated that the σ is improved with maintaining a giant S for the C60 film by formation of intermolecular covalent bonds between adjacent C60 molecules. This is the novel methodology for control of TE property of organic semiconductors.

研究分野：ナノサイエンス、ナノ計測、ナノ物質科学、ナノエレクトロニクス

キーワード：エネルギーハーベスティング 熱電変換 ゼーベック効果 有機材料 フラレン 重合反応 有機薄膜 ウェアラブルデバイス

1. 研究開始当初の背景

人間の体温を電力変換する熱電素子は、モノのインターネットを構成する人体装着型センサーの電源として利用価値が高い。“人体装着型熱電素子”を実現するためには、高性能で低生体負荷の熱電材料が必要である。熱電材料の性能は、導電率 σ 、ゼーベック係数 S 、温度 T 、熱伝導率 κ を用いて、無次元性能指数 $ZT = \sigma S^2 T / \kappa$ として評価される。既存の無機材料 (BiTe 系材料等) では、「 σ と S のトレードオフ」や「 σ と κ の比例関係」が ZT の向上 ($ZT > 2.5$) を阻んできた。一方、フラーレン (C_{60}) や金属フタロシアニンに代表される高純度有機半導体薄膜は、既往材料に比べ、小さな κ (無機熱電材料の約 10^{-1} 倍) と非常に大きな S (無機熱電材料の $10^2 \sim 10^3$ 倍) を示すことが報告されており、人体装着型熱電素子への応用が期待されている。一方、これら有機薄膜の σ は非常に小さいため、十分な大きさの出力因子 $PF = \sigma S^2$ が得られないことが弱点である。 σ の向上には、不純物ドーピングによるキャリア導入が一般的だが、この場合、 S 値の著しい低下 (σ と S のトレードオフ) が発生するので、本質的な解決にはならない。

2. 研究の目的

本研究では、有機半導体から“ S と σ が共に大きな”高性能熱電材料群を創製するための指針を得ることを目的として、有機薄膜への分子間結合の形成が熱電特性と導電性に与える影響を詳しく調べた。特に、本研究では、代表的な有機半導体である C_{60} をモデル材料として、 C_{60} 分子間結合の形成 (重合反応) が薄膜の熱電特性と導電性に与える影響について研究を進めた。

3. 研究の方法

分子薄膜の物性計測では、構造欠陥 (ドメイン境界等) の影響が支配的に振る舞うことが多く、このため、分子薄膜本来の熱電物性には未だ不明な点が多い。これは、多くの熱電材料評価がミリメートル以上のスケールで実施されているからである。多くの高配向分子薄膜のドメインサイズは約 $100 \text{ nm} \sim$ 数 μm スケールなので、ドメイン境界等の影響を極力排除し、分子間結合が熱電物性や導電性に与える効果を詳しく議論するためには、分子薄膜の熱電物性を数 μm 以下のスケールで評価する必要がある。

本研究では、分子薄膜上に形成したマイクロギャップ電極間へ温度差 ΔT を与えたときの熱起電力 ΔV を計測し、 $S = -\Delta V / \Delta T$ を評価する装置を開発した (図 1)。開発した計測システムでは、真空蒸着法による有機薄膜の形成、シャドウマスクを利用したマイクロギャップ電極の形成、および S 評価までを真空一貫で実施できる。この装置を利用することで、 C_{60} 分子間結合の形成 / 制御が C_{60} 薄膜の S と σ に与える影響を詳しく調べた。なお、本研究では、シャドウマスクを自作することで、 C_{60} 薄膜上へ最小間隔が約 $2.5 \mu\text{m}$ のマイクロギャップ電極を形成し (図 1 右)、これを利用した S の評価に成功した。

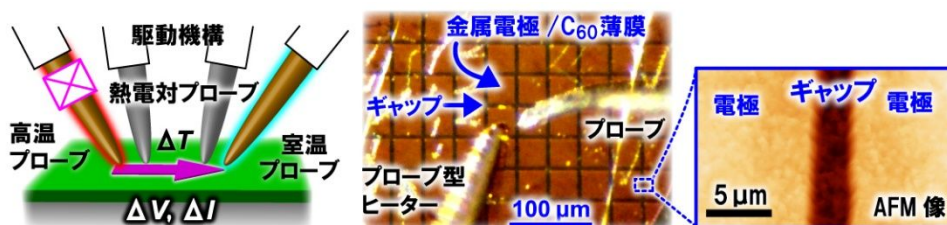


図 1. 超高真空マイクロスケール熱電物性計測システム

4. 研究成果

(1) C_{60} の光誘起重合による導電性および熱電特性の制御

C_{60} 薄膜への紫外可視光 (UV-Vis 光) 照射によって誘起される重合反応をフーリエ変換型赤外吸収分光 (FT-IR 分光) で詳しく調べた。ヨウ化セシウム (CsI) 基板上へ厚さ 200 nm の C_{60} 薄膜を形成し、UV-Vis 光をフルエンス 0.4 Wcm^{-2} の条件で照射した。UV-Vis 光は超高压水銀ランプを用いて発生させた。光照射の前および後に測定した FT-IR スペクトル (それぞれ、図 3a の緑線および赤線のスペクトル) を比較すると、37 時間の照射を行った段階で、 C_{60} に由来する 4 つの IR ピーク ($526, 575, 1182, \text{および } 1428 \text{ cm}^{-1}$) の強度が著しく減少し、逆に、 $680 \sim 810 \text{ cm}^{-1}$ の波数領域に新たな複数のピークが現れた。これら、新たな IR ピークの強度は光照射時間と共に増大し、逆に、 C_{60} 分子由来の IR ピークの強度は減少した。

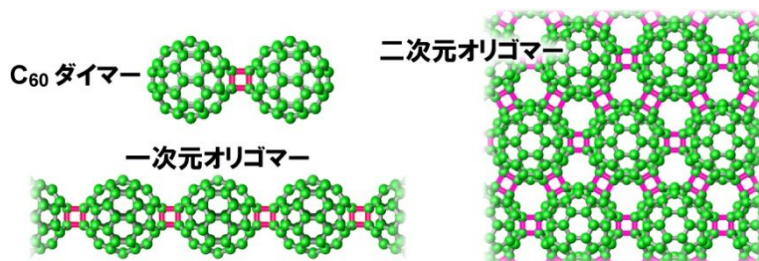


図 2. C_{60} 分子間の [2+2] 環化付加反応によって形成される C_{60} ダイマーや C_{60} オリゴマー。

UV-Vis 光照射によって新たに現れた IR ピークの多くは、2つの C_{60} 分子が [2+2] シクロ四員環を介して結合したダイマー (図 2) の理論 IR ピーク (図 3a 中の青線) と対応する。即ち、 C_{60} 薄膜へ UV-Vis 光を照射すると、[2+2] 環化付加反応 (重合反応) によって形成された C_{60} ダイマーを主生成物とする薄膜が形成されることが分かった。一方、ダイマー形成では説明できない複数の IR ピークも観測され、これらは、 C_{60} が 1 次元もしくは 2 次元方向に連結したサイズより大きなオリゴマー (図 2) に由来すると考えられる。

次に、 C_{60} 薄膜への UV-Vis 光照射が C_{60} 薄膜の導電性および熱電特性に与える影響を超高真空マイクロスケール熱電物性計測システム (図 1) によって調べた。室温に保持した雲母基板上へ C_{60} 分子を真空蒸着することで厚さ 300 nm の薄膜を形成し、UV-Vis 光 (フルエンス: 0.4 W/cm^2) を照射することで重合反応を誘起した。光誘起 C_{60} 重合体薄膜の室温近傍での S 値を評価するために、薄膜上へサイズ $150 \times 150 \mu\text{m}^2$ のチタン (Ti) 電極を $100 \mu\text{m}$ 間隔で形成し、電極間に $\Delta T = \sim 6 \text{ K}$ の温度差を与えた時の電極間の起電力 ΔV を評価した。

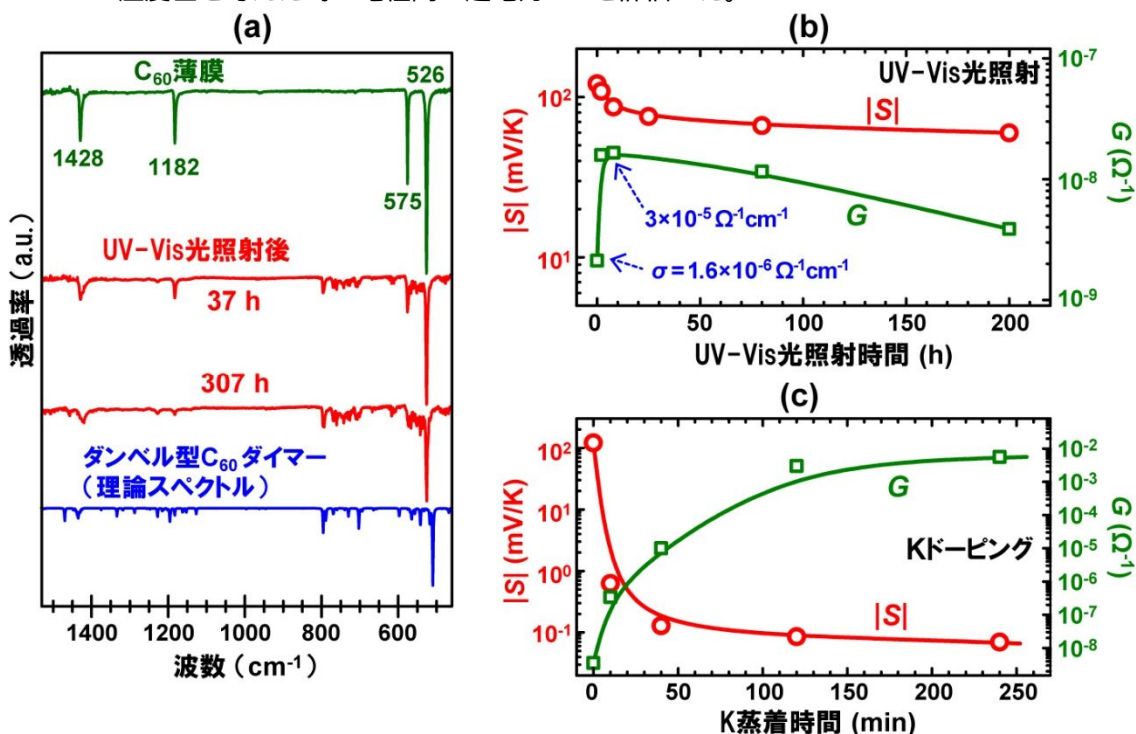


図 3. (a) UV-Vis 光照射の前 (緑線) および後 (赤線) に測定した C_{60} 薄膜の FT-IR スペクトル。(a) 中の青線はダンベル型 C_{60} ダイマーの理論スペクトルである。(b) UV-Vis 光照射および (c) K ドーピングした C_{60} 薄膜の $|S|$ (赤線) および電極間の G (緑線) の変化。

図 3b は光照射時間に対する S の絶対値 ($|S|$) と近接電極間のコンダクタンス G の変化を示している。光照射時間が 0 時間、即ち、 C_{60} 薄膜では $|S| = 121 \text{ mV/K}$ が得られた (図 3b)。これは既往の無機材料の数 100 倍の大きな値である。また、 C_{60} 薄膜の S の極性は負であった。これは、電子がキャリアとして振舞う N 型熱電材料であることを示している。以上の結果は先行研究と良く一致する。さらに、 C_{60} 薄膜への UV-Vis 光照射による S の変化を調べたところ、 S の極性は常に負に保持されたことから、 C_{60} 光重合体薄膜も N 型熱電材料であることが分かった。

光照射前における C_{60} 薄膜の導電性については、隣接電極間の G は非常に小さな値 ($2.1 \times 10^{-9} \Omega^{-1}$) を示しており (図 3b)、これは、 C_{60} 薄膜の極めて小さな導電率 ($1.6 \times 10^{-6} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$) に起因する。これに対して、UV-Vis 光照射によって重合反応を誘起すると、電極間の G は照射初期 (0 から 8 時間) までは急激に増加する傾向を示した (図 3b)。これは、 C_{60} 薄膜の σ が急増した可能性を示唆する。実際に、UV-Vis 光を 8 時間照射した C_{60} 薄膜の σ は $3 \times 10^{-5} \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$ と計測され、この値は C_{60} 薄膜の σ に比べ約 20 倍大きい。さらに、大変興味深いことに、導電性の向上と共に C_{60} 薄膜の $|S|$ 値は 121 mV/K から 86 mV/K まで 30% ほど減少するものの、既往材料に比べて数 100 倍の巨大な値を保持している。

なお、 C_{60} 薄膜の σ を向上させる方法として、アルカリ金属ドーピングが報告されている。本研究においても真空蒸着法によって C_{60} 薄膜へカリウムドーピングを行い、 $|S|$ と G の変化を系統的に調べた (図 3c)。その結果、 G の値はカリウムドーピングによって 5 桁以上向上するものの、 $|S|$ の値は G の増加と共に 10^{-3} mV/K オーダーまで急激に減少した。即ち、アルカリ金属ドーピングは、 $|S|$ と σ が共に優れた高性能熱電材料を創製する手法としては適切でないといえる。

UV-Vis 光照射による C_{60} 薄膜の導電性向上は次のように考察できる。 C_{60} 薄膜内の電気伝導は分子間のキャリアホッピングに支配される。ここで、 C_{60} 分子間に [2+2] 環化付加反応が誘起されると、分子間距離が約 10% 減少することが知られており⁴⁾、この局所的な構造変化が C_{60} 分子間のキャリアホッピングを促進した結果、導電性向上が実現したと考えられる。さらに、第一

原理計算によって、[2+2]環化付加反応による C_{60} の電子状態密度の変化を理論的に調べたところ、ダイマー形成においては、 C_{60} (2分子系) のエネルギーギャップがほぼ保持されることが分かった。一方、 C_{60} 薄膜へアルカリ金属をドープすると、アルカリ金属から C_{60} への電子供与やそれに伴う Jahn-Telle 効果等によって、 C_{60} 分子のエネルギーギャップが著しく減少することが知られており、このようなエネルギーギャップの減少は $|S|$ 値の減少をもたらす。即ち、 C_{60} 薄膜の光重合では、 C_{60} 分子の大きなエネルギーギャップを保持しつつ薄膜の導電性が向上したことにより、巨大 S 値の保持および導電性の向上が実現したと考えられる。以上の知見は、 σ と $|S|$ のトレードオフ関係を越えて σ と $|S|$ が共に優れた熱電材料を創製する指針となる。

また、実用的な電力出力を実現するためには、 C_{60} 薄膜の σ をさらに 10^3 倍程向上させる必要がある。しかしながら、 C_{60} 薄膜への UV-Vis 光照射では、照射初期には導電性が増加するものの、その後、光照射を続けると導電性が低下する傾向を示した(図 3b)。この原因を探るために、光照射前後の C_{60} 薄膜を走査トンネル顕微鏡によって分子スケール観察したところ、光照射によって薄膜の三次元化が誘起され、 σ の向上を妨げていることが明らかになった。即ち、光照射した C_{60} 薄膜では、分子間結合によって分子間キャリア伝導は向上するものの、薄膜の三次元化による連続性の低下によってドメイン間の電気伝導は劣化している可能性が高い。薄膜の三次元化を誘起する原因としては、UV-Vis 光照射による局所的な温度上昇の効果を考えている。従って、UV-Vis 光照射時の温度制御を行うことで、薄膜の連続性を保持しつつ重合反応を誘起できる可能性がある。また、 C_{60} 分子間の [2+2] 環化付加反応は高圧印可によっても誘起できるので、例えば、UV-Vis 光照射と高圧印可を併用することで重合反応を短時間かつ効率的に誘起できれば、三次元化による導電性の劣化を抑制できると期待される。

(2) C_{60} の電子線誘起重合による導電性および熱電特性の制御

C_{60} 分子間の電子線誘起重合が導電性および熱電特性へ与える影響について調べるために、以下の実験を真空一貫で行った。まず、温度 200°C に保持した雲母基板上へ C_{60} を真空蒸着することで、厚さ 200 nm の高配向 C_{60} 薄膜を形成し、その後、電子銃を用いてエネルギー 3 keV の電子線 (EB) をドーズレート $6.5 \times 10^{14}\text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ の条件で照射した。試料の導電性および熱電特性をそれぞれ超高真空マイクロ四探針法および超高真空マイクロスケール熱電物性計測システム (図 1) を用いて評価した。

図 4a は電子線照射時間に対する C_{60} 薄膜の電気抵抗率 ρ の変化である。 C_{60} 薄膜の ρ ($1.6 \times 10^5\ \Omega\text{cm}$) は EB 照射時間とともに著しく減少し、約 $0.5\ \Omega\text{cm}$ で飽和した(図 4a)。即ち、EB 照射による生成物は C_{60} に比べて非常に高い導電性を示すことが分かった。ここで、EB 照射初期 (16 時間) の C_{60} 薄膜を 400°C まで加熱処理すると ρ は再び増加した(図 4b)。一方、EB を 100 時間照射した C_{60} 薄膜を同様に加熱処理した場合は、 ρ の増加は起きなかった(図 4b)。ここで、温度 400°C は、[2+2] 環化付加体の熱解重合温度 (約 160°C) や固体 C_{60} の昇華温度 (約 330°C) よりも高い。即ち、EB 照射による生成物の熱的安定性は、照射時間と共に飛躍的に向上することが分かった。FT-IR 分光および第一原理計算を用いた先行研究によると、EB 照射した C_{60} 薄膜中では、[2+2] 環化付加反応による分子間結合の形成および Stone-Wales (GSW) 転移を介した分子間融合反応の進行によって金属的なピーナッツ型ポリマーが形成されることが指摘されており、これは、本研究で示した導電性と熱的安定性の著しい向上とも良く対応している。

さらに、EB 照射した C_{60} 薄膜の熱電特性についても評価を進めた。EB 照射時間に対する $|S|$ 値の変化を調べたところ、照射初期から S 値が急激に減少する傾向を示し、 ρ の減少が飽和する照射条件 (100 時間) において、 $|S|$ は 10^{-2} mV/K 以下まで減少した。このような導電性と $|S|$ の著しいトレードオフの原因として、 C_{60} 分子間の融合反応によるエネルギーギャップの減少との相関が考えられる。

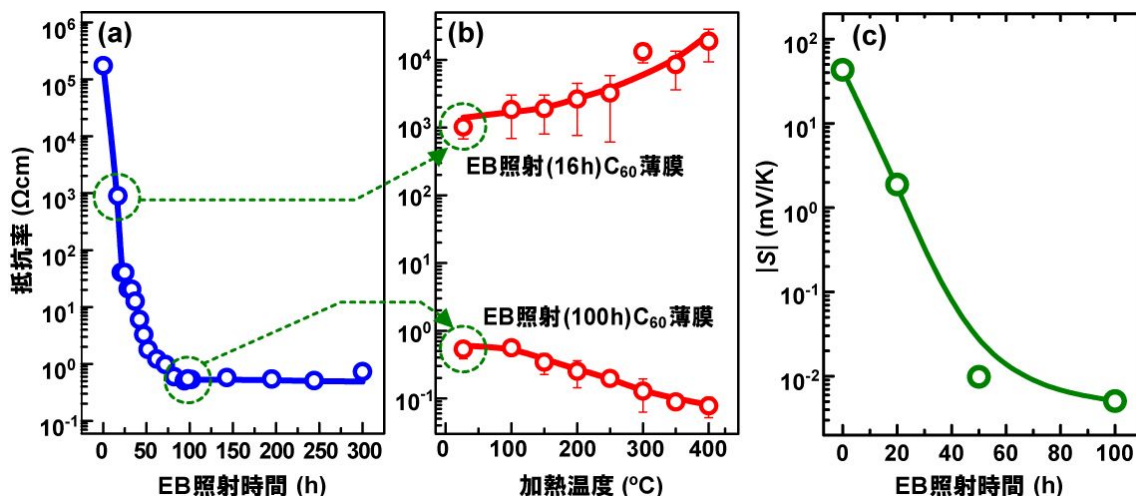


図 4. (a) C_{60} 薄膜への EB 照射による ρ の変化。(b) EB 照射 C_{60} 薄膜の加熱処理による ρ の変化 (c) EB 照射による C_{60} 薄膜の $|S|$ の変化。

<引用文献>

梶川武信 監修、熱電変換技術ハンドブック、エヌ・ティー・エス、2008.

H. Kojima, R. Abe, F. Fujiwara, M. Nakagawa, K. Takahashi, D. Kuzuhara, H. Yamada, Y. Yakiyama, H. Sakurai, T. Yamamoto, H. Yakushiji, M. Ikeda, and M. Nakamura, Universality of the giant Seebeck effect in organic small molecules, *Mater. Chem. Front.* **2**, 2018, 1276–1283.

J. Y. Kim and J. C. Grossman, Optimization of the Thermoelectric Figure of Merit in Crystalline C₆₀ with Intercalation Chemistry, *Nano Lett.*, **16**, 2016, 4203–4209.

④ T. Nakayama, J. Onoe, K. Nakatsuji, J. Nakamura, K. Takeuchi, and M. Aono, Photoinduced products in a C₆₀ monolayer on Si(111)($\sqrt{3}\times\sqrt{3}$)-Ag: An STM study, *Surf. Rev. Lett.* **6**, 1999, 1073–1078.

M. Núñez-Regueiro, L. Marques, J.-L. Hodeau, O. Béthoux, M. Perroux, Polymerized fullerene structures, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 1995, 278–281.

S. D. Kang and G. J. Snyder, *Nat. Mater.* **16**, 2017, 252–258.

J. Onoe, T. Nakayama, M. Aono, T. Hara, Structural and electrical properties of an electron-beam-irradiated C₆₀ film, *Appl. Phys. Lett.* **82**, 2003, 595.

A. Takashima, J. Onoe, T. Nishii, In situ infrared spectroscopic and density functional studies on the cross-linked structure of one-dimensional C₆₀ polymer, *J. Appl. Phys.* **108**, 2010, 033514.

J. Onoe, T. Ito, H. Shima, H. Yoshioka, S. Kimura, Observation of Riemannian geometric effects on electronic states, *Europhys. Lett.* **98**, 2012, 27001.

J. Onoe, T. Ito, S. Kimura, Time dependence of the electronic structure of an electron-beam-irradiated C₆₀ film, *J. Appl. Phys.* **104**, 2008, 103706.

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 0件）

1. 著者名 M. Nakaya, S. Watanabe, J. Onoe	4. 巻 152
2. 論文標題 Control of electric, optical, thermal properties of C60 films by electron-beam irradiation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 882-887
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2019.06.089	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 S. Tsukamoto, M. Nakaya, V. Caciuc, N. Atodiressei, T. Nakayama	4. 巻 159
2. 論文標題 Local dimerization and dedimerization of C60 molecules under a tip of scanning tunneling microscope: A first-principles study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Carbon	6. 最初と最後の頁 638-647
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.carbon.2019.12.046	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 該当する
1. 著者名 M. Nakaya, Y. Kitagawa, S. Watanabe, R. Teramoto, I. Era, M. Nakano, J. Onoe	4. 巻 5
2. 論文標題 Immobilization of CO2 at Room Temperature Using the Specific Sub-NM Space of 1D Uneven-Structured C60 Polymer Film	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Sustainable Systems	6. 最初と最後の頁 2000156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/advs.202000156	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 M. Shibuta, K. Yamamoto, T. Ohta, T. Inoue, K. Mizoguchi, M. Nakaya, T. Eguchi, A. Nakajima	4. 巻 15
2. 論文標題 Confined Hot Electron Relaxation at the Molecular Heterointerface of the Size-Selected Plasmonic Noble Metal Nanocluster and Layered C60	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 1199-1209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.0c08248	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 M. Kato, M. Nakaya, Y. Matoba, S. Watanabe, K. Okamoto, J.-P. Bucher, J. Onoe	4. 巻 153
2. 論文標題 Morphological and optical properties of - and -phase zinc() phthalocyanine thin films for application to organic photovoltaic cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 44704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0022262	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 該当する

1. 著者名 J. Onoe, M. Nakaya, S. Watanabe, T. Nakayama, K. Ohno, Y. Noda	4. 巻 10
2. 論文標題 Electron-beam irradiation of photopolymerized C60 film studied using in situ scanning tunneling microscope, in situ Fourier-transform infrared spectroscopy, and first-principles calculations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 85212
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0018985	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17件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 中谷真人、河合拓哉、渡邊真太、尾上 順
2. 発表標題 C60・モリブデン酸化物複合体の熱電・電気伝導特性
3. 学会等名 第68回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Izumi, S. Watanabe, M. Nakaya, J. Onoe
2. 発表標題 Formation of highly conductive N-type thermoelectric material by co-deposition of fullerene and cesium carbonate
3. 学会等名 The 60th Anniversary Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H. Yoshizawa, M. Kato, M. Nakaya, J. Onoe
2. 発表標題 Control of optical absorption property of PbPc donor film for development of full-spectra organic photovoltaic cells
3. 学会等名 The 60th Anniversary Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 M. Nakaya, S. Watanabe, J. Onoe
2. 発表標題 Formation of high-performance P-type thermoelectric materials composed of fullerene molecules and molybdenum oxide nanoclusters
3. 学会等名 The 60th Anniversary Fullerenes-Nanotubes-Graphene General Symposium
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 和泉 竜馬、中谷 真人、尾上 順
2. 発表標題 フラーレンと炭酸セシウムの共蒸着による高導電性N型熱電材料の創製
3. 学会等名 日本原子力学会中部支部 第52回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉沢駿人、加藤雅洋、中谷真人、尾上 順
2. 発表標題 フルスペクトル有機太陽電池の実現へ向けた鉛フタロシアニン蒸着膜の光吸収特性制御
3. 学会等名 日本原子力学会中部支部 第52回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊紘貴、高橋拓人、中谷真人、尾上順
2. 発表標題 希少金属元素のリサイクルの高効率化に向けた配位高分子の薄膜化と電気化学的荷電状態制御
3. 学会等名 日本原子力学会中部支部 第52回研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中谷真人，河合拓哉，渡邊真太，尾上 順
2. 発表標題 C60 とモリブデン酸化物の複合化による P 型熱電材料の創製
3. 学会等名 ナノ学会第 18 回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鈴木智也，中谷真人，渡邊 慎太，尾上 順
2. 発表標題 KxC60 の化学量論比制御によって駆動する抵抗変化型メモリの動作速度
3. 学会等名 ナノ学会第 18 回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中谷真人，柴田大地，河合拓哉，渡邊真太，尾上 順
2. 発表標題 マイクロギャップ電極を用いたC60薄膜の熱電物性評価
3. 学会等名 ナノ学会第17回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河合拓哉, 中谷真人, 渡邊真太, 尾上 順
2. 発表標題 P型熱電特性の発現へ向けたMo酸化物とC60分子の複合化
3. 学会等名 ナノ学会第17回大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Matoba, M. Kato, S. Watanabe, K. Okamoto, M. Nakaya, J. Onoe
2. 発表標題 Improvement of External Quantum Efficiency of C60/ZnPc Organic Photovoltaic Cells by Polymerization between C60 molecules
3. 学会等名 Compound Semiconductor Week 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河合拓哉, 中谷真人, 渡邊真太, 尾上 順,
2. 発表標題 C60と金属酸化物の複合化によるP型熱電材料の創製
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 中谷真人, 鈴木智也, 渡邊真太, 尾上 順
2. 発表標題 KxC60化学量論比制御駆動型不揮発メモリの動作速度
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 河合拓哉, 中谷真人, 尾上 順
2. 発表標題 フラーレンとモリブデン酸化物の複合化によるP型熱電特性の発現と制御
3. 学会等名 第51回日本原子力学会中部支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 河合拓哉, 中谷真人, 渡邊真太, 尾上 順
2. 発表標題 C60・金属酸化物複合化によるP型熱電特性の発現
3. 学会等名 第18回日本表面真空学会中部支部 学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中谷真人, 河合拓哉, 渡邊真太, 尾上 順
2. 発表標題 C60とモリブデン酸化物の複合化による熱電特性および電気伝導特性の制御
3. 学会等名 第67回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2020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
---------	---------