

令和 2 年 4 月 8 日現在

機関番号：52201

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14924

研究課題名(和文)革新的電荷マネジメント層の創製による塗布型超高効率有機無機複合太陽電池の開発

研究課題名(英文) Highly efficient for fully printable organic-inorganic hybrid bulk heterojunction thin-film solar cells

研究代表者

加藤 岳仁 (KATO, Takehito)

小山工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：90590125

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、従来の2成分系バルクヘテロ相分離構造における電荷生成能力を大きく上回る3成分系バルクヘテロ相分離構造によるマルチ電荷発生機構の構築とそれを用いた塗布型超高効率有機無機ハイブリッド太陽電池の開発を目指した。本太陽電池における電荷マネジメント層としての3成分バルクヘテロ相分離構造の作製に向けた相分離サイズの実験的な見積もりを行うことができ、更にそれらの結果を用いて、最適な相分離構造モデルの設計を行うことができた。また、機能層としても用いる酸化半導体プリカーサーのキャリア輸送能の改善を加水分解処理とナノ構造体の超高分散により実現できる可能性を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では従来の2成分系バルクヘテロ相分離構造における電荷生成能力を大きく上回る3成分系バルクヘテロ相分離構造によるマルチ電荷発生機構の構築とそれを用いた塗布型超高効率有機無機ハイブリッド太陽電池の開発を目指し、塗布プロセスの利用による低コスト化の実現と無毒材料の採用による安全性の兼備について、その可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：Recent years have witnessed extensive research for the development of electronic devices such as solar cells, thermal electrical conversion devices, and light-emitting devices comprising organic and organic-inorganic hybrid materials. Particularly, organic and organic-inorganic hybrid solar cells exhibit potential advantages like low manufacturing cost, low weight, and mechanical flexibility. These solar cells typically contain two electrodes and one photoactive layer. The photoactive layer is composed of bulk heterostructures of a p-type semiconducting material as the electron donor and an n-type semiconducting material as the electron acceptor. Hence, morphology control of functional layers is important for high performance. In this viewpoint, I described the effect of the morphology control of nanophase separation structures in the photoactive layer of organic thin-film solar cells and organic-inorganic hybrid thin-film solar cells in this research.

研究分野：エネルギー工学

キーワード：有機無機ハイブリッド太陽電池 電荷分離 相分離構造制御 金属アルコキシド

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有機材料を含む有機系及び有機無機複合太陽電池は、従来の無機系太陽電池とは異なる用途展開が期待でき、実用化に向けた取り組みが国内外で進められている。しかしながら、効率、コスト(プロセスを含む)、寿命、安全性等の理由で市場への普及には至っていない。そこで本研究では、マルチ電荷発生機構を備えた「革新的電荷マネージメント層」の創製により、有機系及び有機無機複合太陽電池の特徴を融合した、超高効率・低コスト・無毒な塗布型太陽電池の開発を目指した。

2. 研究の目的

本研究は、従来の2成分系バルクヘテロ相分離構造における電荷生成能力を大きく上回る3成分系バルクヘテロ相分離構造によるマルチ電荷発生機構の構築とそれを用いた塗布型超高効率有機無機ハイブリッド太陽電池の開発を目指す。更に塗布プロセスの利用による低コスト化の実現と無毒材料の採用による安全性の兼備について、その可能性を示すことも目的とする。

3. 研究の方法

初度は本研究で最も重要となる電荷マネージメント層としての3成分バルクヘテロ相分離構造の作製に向けた相分離サイズの実験的な見積もりとその結果から最適な相分離構造モデルの設計を行った。機能層における最大電荷輸送距離を実験的且つ定量的に示し、得られた値から相分離サイズ及び最適構造モデルを見出した。また、機能層として、キャリア移動度が低い酸化物質半導体ブリカーサーのキャリア輸送能の改善を行った。具体的には機能層中へのナノ構造体の超高分散により、キャリア輸送能の改善を実施した。前述した方法により得た定量的な実験データから電荷マネージメント層としての最適なバルクヘテロ相分離構造モデルの設計が可能となり、且つ1成分のキャリアの輸送能のみに制限されない相分離構造モデルを提言した。

4. 研究成果

本研究では従来の2成分系バルクヘテロ相分離構造における電荷生成能力を大きく上回る3成分系バルクヘテロ相分離構造によるマルチ電荷発生機構の構築とそれを用いた塗布型超高効率有機無機ハイブリッド太陽電池の開発を目指した。本太陽電池における電荷マネージメント層としての3成分バルクヘテロ相分離構造の作製に向けた相分離サイズの実験的な見積もりを行うことができ、更にそれらの結果を用いて、最適な相分離構造モデルの設計を行うことができた。これらの結果から金属アルコキシド、C60及びC60PCBM、ポリチオフェン誘導体を用い、3成分有機無機ハイブリッドバルクヘテロ太陽電池の機能を検証した。また、一般的な電子アクセプターにはフラレン誘導体を用いられているが、コスト及び安定性の観点から、代替材料の探索を目的とした研究も進められており、本研究ではフラレン誘導体の代替材料としてC60フラレン(C60)及び金属アルコキシド(TiOx)を単独または複合的に用いることにより、高効率なフラレン誘導体フリーな有機薄膜太陽電池の提案も試みた。太陽電池素子はITO/電子輸送層/発電層/正孔マネージメント層(HML)/有機電極の構造とし、発電層はP3HTを電子ドナー、電子アクセプターをC60、TiOx及びその複合材料とした。また、C60を含む発電層前駆体の調整にはアシザワ・ファインテック(株)のラポスターミニHFM02を用いた。太陽電池特性測定は100mW/cm²の擬似太陽光照射下にて行った。

図1に太陽電池のI-V特性を示す。いずれの電子アクセプターを用いた場合にも太陽電池特性を確認することができ、特にTiOxとC60の2成分を複合させた場合において、それぞれを単体で用いた場合に比べ、高い太陽電池特性を示した。また、HMLの導入による太陽電池特性の向上を確認した。また、発電層のモルフォロジーを図2に示す。

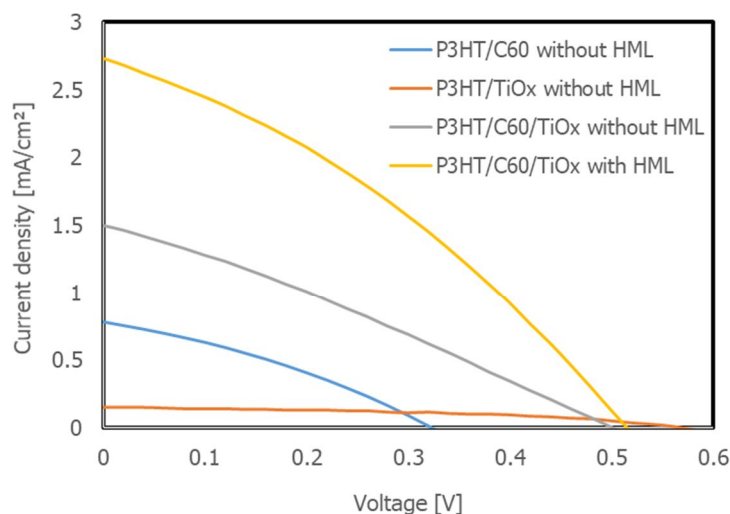


図1 I-V特性の比較

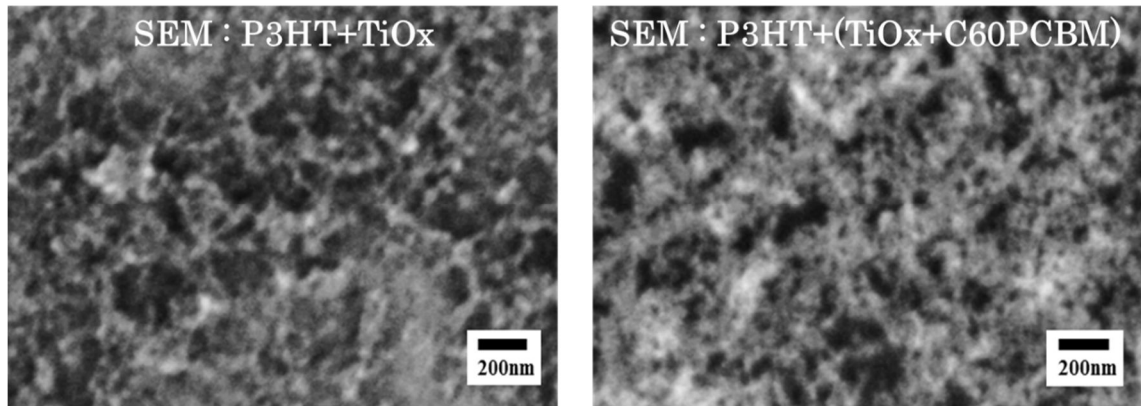


図2 発電層のモルフォロジーSEM像

図2のSEM像より、3成分系においては緻密で共連続な相分離構造の形成が認められ、電荷分離及び電荷輸送に適した状態であることが示された。

一方、機能層としても用いる酸化半導体プリカーサーのキャリア輸送能の改善を加水分解処理とナノ構造体の超高分散により実現できる可能性を示した。図3にチタンアルコキシドのキャリア輸送性の改善を目指し、加水分解処理とビーズミルを用いたナノ結晶体の超高分散を実現した発電層SEM像を示す。

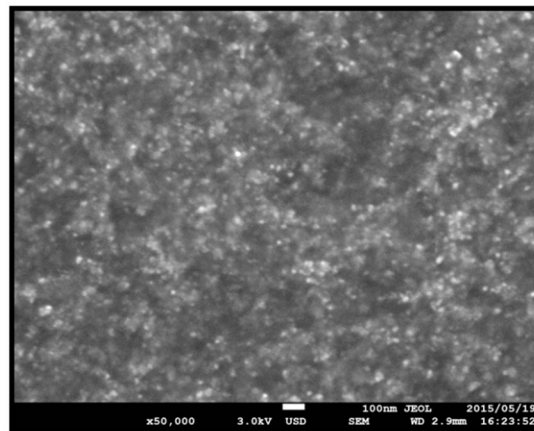


図3 ナノ構造体高分散発電層SEM像

即ち、本研究では3成分有機無機ハイブリッドバルクヘテロ太陽電池の機能を示し、本系に適した相分離構造制御の実現による電荷マネジメント効果を示し、有機無機ハイブリッド太陽電池の高効率化に資する結果を得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9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 3件）

1. 著者名 Takehito Kato, et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 Morphology control for nanophase separation structure in functional layers and application to electronic devices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Adv. Biochem. Biotechnol.	6. 最初と最後の頁 23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Takehito Kato, et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 Highly efficient for fully printable organic-inorganic hybrid bulk heterojunction thin-film solar cells based on metal-alkoxides	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Res. Rev. J. Mat. Sci.	6. 最初と最後の頁 19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Takehito Kato, et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 Morphology control for nano phase separation structures and application to electronic devices	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Res. Rev. J. Mat. Sci.	6. 最初と最後の頁 12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Takehito Kato, et al.	4. 巻 2
2. 論文標題 Carrier management by organic inorganic hybrid materials for fully printable bulk-heterojunction thin-film solar cell	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Current Alternative Energy	6. 最初と最後の頁 143-149
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2174/2405463102666180726142722	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 Takehito Kato, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Highly efficient for fully printable organic-inorganic hybrid bulk heterojunction thin-film solar cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 7th International Conference on Advanced Materials and Engineering Materials	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Takehito Kato, et al.	4. 巻 -
2. 論文標題 Highly efficient for fully printable organic-inorganic hybrid bulk heterojunction thin-film solar cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of 5th Global Conference on Polymer and Composite Materials	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Kato Takehito	4. 巻 1
2. 論文標題 Morphology control for nano-phase separation structures	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 J. Chem. Bio. and Med. Chem.	6. 最初と最後の頁 1,2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Kato Takehito, Oinuma Chihiro, Otsuka Munechika, Hagiwara Naoki	4. 巻 119
2. 論文標題 Morphology Control for fully-printable organic-inorganic bulk heterojunction solar cells based on a Ti-alkoxide and semiconducting polymer	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Visualized Experiments	6. 最初と最後の頁 e54923, e54923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3791/54923	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 大塚 宗親、川村 壮司、飯塚 敏明、加藤 岳仁	4. 巻 50
2. 論文標題 有機無機ハイブリッド太陽電池に関する研究 - ポリカーボネートを用いた大面積デバイスの開発 -	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 小山工業高等専門学校研究紀要	6. 最初と最後の頁 57,61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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36件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Takehito Kato
2. 発表標題 Morphology control for nanophase separation structure in functional layers and application to electronic devices
3. 学会等名 3rd International Conference on Advances in Biotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤岳仁
2. 発表標題 有機エレクトロニクスから見る環境科学と新エネルギー
3. 学会等名 国立高等専門学校機構 平成30年度研究プロジェクト経費助成事業 研究ネットワーク形成支援事業 「有機エレクトロニクス研究ネットワーク」推進会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤岳仁、他
2. 発表標題 ナノ高分散C60を用いたバルクヘテロ太陽電池の高効率化
3. 学会等名 2019年第66回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤岳仁
2. 発表標題 安価で印刷可能な光電変換素子と熱電変換素子&その融合によるハイブリッド発電シート
3. 学会等名 高専 新技術説明会 New Technology Presentation Meetings !
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 加藤岳仁
2. 発表標題 ナノ相分離構造制御による新型薄膜太陽電池と熱電変換素子の高効率化
3. 学会等名 第8回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤岳仁、他
2. 発表標題 ナノ高分散C60を用いたバルクヘテロ太陽電池に関する研究
3. 学会等名 第8回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤岳仁、他
2. 発表標題 金属アルコキッドを用いた有機薄膜太陽電池の高効率化に関する研究
3. 学会等名 第8回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤岳仁、他
2. 発表標題 有機無機ハイブリッド薄膜太陽電池の高機能化に関する研究
3. 学会等名 平成30年度日本機械学会栃木ブロック講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤岳仁、他
2. 発表標題 有機無機ハイブリッド熱電変換素子の高性能化に関する研究
3. 学会等名 平成30年度日本機械学会栃木ブロック講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤岳仁、他
2. 発表標題 ZnO電子アクセプターを用いた有機無機ハイブリッド薄膜太陽電池
3. 学会等名 平成30年度日本機械学会栃木ブロック講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤岳仁、他
2. 発表標題 ZnO電子アクセプターを用いた有機無機ハイブリッド薄膜太陽電池
3. 学会等名 第79回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takehito Kato
2. 発表標題 Morphology control for nanophase separation structures and application to electronic devices
3. 学会等名 22nd International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takehito Kato, et al.
2. 発表標題 Highly efficient for fully printable organic-inorganic hybrid bulk heterojunction thin-film solar cells based on metal-alkoxides
3. 学会等名 22nd International Conference on Advanced Materials and Nanotechnology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤岳仁
2. 発表標題 印刷で作る未来の発電シートとその展望
3. 学会等名 平成30年度おやま市民大学「楽しく学ぶ高等教育機関連携講座」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takehito Kato, et al.
2. 発表標題 Highly efficient for fully printable organic-inorganic hybrid bulk heterojunction thin-film solar cells
3. 学会等名 7th International Conference on Advanced Materials and Engineering Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takehito Kato, et al.
2. 発表標題 Highly efficient for fully printable organic-inorganic hybrid bulk heterojunction thin-film solar cells
3. 学会等名 2018 5th Global Conference on Polymer and Composite Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤岳仁、他
2. 発表標題 モノマーポリマー複合電子アクセプターを用いた有機無機ハイブリッド薄膜太陽電池の高効率化
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 加藤岳仁
2. 発表標題 未利用熱活用技術の研究開発について「未利用熱の有効活用技術の現状と最新動向」
3. 学会等名 平成29年度とちぎ環境産業振興協議会技術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤岳仁
2. 発表標題 有機無機ハイブリッド材料による塗布型発電素子の開発
3. 学会等名 日本板硝子材料工学助成会第35回無機材料に関する最近の研究成果発表会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takehito Kato, Yuki Kurokawa, Munechika Otsuka, Chihiro Oinuma, Shin-nosuke Suzuki, Sakio Nakamura
2. 発表標題 Highly efficient for fully printable organic-inorganic hybrid bulk heterojunction thin-film solar cells
3. 学会等名 2018 5th Global Conference on Polymer and Composite Materials (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 黒川 侑暉、大塚 宗親、生沼 千広、三室 龍也、加藤 岳仁、中村 先男
2. 発表標題 モノマーポリマー複合電子アクセプターを用いた有機無機ハイブリッド薄膜太陽電池の高効率化
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 加藤 岳仁
2. 発表標題 未利用排熱の有効活用技術の現状と最新動向「未利用熱活用技術の研究開発について」
3. 学会等名 とちぎ環境産業振興協議会技術講演会(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 岳仁
2. 発表標題 有機無機ハイブリッド材料による塗布型発電素子の開発
3. 学会等名 第35回無機材料に関する最近の研究成果発表会 - 材料研究に新しい風を - (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤 岳仁
2. 発表標題 有機無機ハイブリッド材料の塗布型発電素子への応用
3. 学会等名 第7回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大塚 宗親、生沼 千広、黒川 侑暉、塚田 賢一、加藤 岳仁
2. 発表標題 金属アルコキッドを用いたバルクヘテロ有機無機ハイブリッド太陽電池の相分離制御
3. 学会等名 第7回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三室 龍也、大塚 宗親、伊澤 悟、加藤 岳仁
2. 発表標題 有機無機ハイブリッド熱電変換層における相分離構造制御
3. 学会等名 第7回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 塚田 賢一、大塚 宗親、生沼 千広、加藤 岳仁
2. 発表標題 光吸収剤の適用による有機無機ハイブリッド薄膜太陽電池の高効率化
3. 学会等名 第7回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒川 侑暉、大塚 宗親、生沼 千広、加藤 岳仁、鈴木 真ノ介
2. 発表標題 モノマーポリマー複合電子アクセプターを用いた有機無機ハイブリッド薄膜太陽電池の高効率化
3. 学会等名 第7回高専-TUT太陽電池合同シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大塚 宗親、生沼 千広、黒川 侑暉、塚田 賢一、加藤 岳仁
2. 発表標題 金属アルコキンドを用いたバルクヘテロ有機無機ハイブリッド太陽電池の相分離構造制御
3. 学会等名 第9回半導体材料・デバイスフォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三室 龍也、大塚 宗親、伊澤 悟、加藤 岳仁
2. 発表標題 有機無機ハイブリッド熱電変換層における相分離構造制御
3. 学会等名 第9回半導体材料・デバイスフォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒川 侑暉、大塚 宗親、生沼 千広、加藤 岳仁、鈴木 真ノ介
2. 発表標題 モノマーポリマー複合電子アクセプターを用いた有機無機ハイブリッド薄膜太陽電池の高効率化モノマーポリマー複合電子アクセプターを用いた有機無機ハイブリッド薄膜太陽電池の高効率化
3. 学会等名 第9回半導体材料・デバイスフォーラム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大塚 宗親、加藤 岳仁
2. 発表標題 有機無機ハイブリッド材料による塗布型発電素子の開発
3. 学会等名 平成29年度国立高等専門学校機構第2ブロック研究情報交換会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大塚 宗親、尾上 寛尚、平野 仁、加藤 岳仁、加藤 梨佳、下山田 力
2. 発表標題 ハームレスな材料による色素増感型太陽電池の開発
3. 学会等名 平成29年度日本機械学会栃木ブロック講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三室 龍也、大塚 宗親、伊澤 悟、加藤 岳仁
2. 発表標題 有機無機ハイブリッド熱電変換素子の高性能化に関する研究
3. 学会等名 平成29年度日本機械学会栃木ブロック講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 黒川 侑暉、生沼 千広、大塚 宗親、加藤 岳仁
2. 発表標題 実用化に向けた有機無機ハイブリッド太陽電池の開発
3. 学会等名 平成29年度日本機械学会栃木ブロック講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大塚 宗親、生沼 千広、黒川 侑暉、塚田 賢一、加藤 岳仁
2. 発表標題 金属アルコキッドによるパルクヘテロ有機無機ハイブリッド太陽電池の相分離制御
3. 学会等名 2017年電気化学秋季大会講演
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 加藤岳仁	4. 発行年 2018年
2. 出版社 電気評論	5. 総ページ数 4
3. 書名 環境エネルギーの有効利用に資する新規創エネルギーシステムの開発	

〔産業財産権〕

〔その他〕

研究室ホームページ http://www.oyama-ct.ac.jp/M/kato/index.html 加藤岳仁研究室 http://www.oyama-ct.ac.jp/M/kato/papar_list.html
--

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