

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420760

研究課題名(和文)14族系DA相互浸透接合中間バンド型自己組織量子ドット太陽電池開発と光起電力機構

研究課題名(英文)Development of self-organized interband-type 14-group-element quantum dot solar cells with DA interpenetrated-junctions

研究代表者

奥 健夫 (Oku, Takeo)

滋賀県立大学・工学部・教授

研究者番号：30221849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：TiO₂電子輸送層/ペロブスカイト層相互浸透型構造において、ハロゲンイオン位置や14族元素であるPb原子位置に、それぞれハロゲン・13、14、15族元素ドーピングも試み、粒子配列構造を形成し、光電変換効率を向上させることに成功した。また相互浸透型フラーレン系太陽電池にGe系ドット、ZnPc等を導入し、界面構造制御することで発電効率向上させ、反射防止膜SnO₂形成球状14族Si太陽電池の微細構造解析と物性評価なども行った。さらに第一原理計算によるナノ構造・電子状態予測、熱力学計算による界面反応予測等を行いながら、今後の新規太陽電池デバイス設計指針を構築した。

研究成果の概要(英文)：14-group-element-based solar cells with DA interpenetrated-junctions were developed in the present work. Various TiO₂/CH₃NH₃PbI₃-based photovoltaic devices were fabricated and characterized. Elemental doping to the perovskite structure and TiO₂ were studied by experiments and theoretical calculations, as follows: Cs and Rb doping to the CH₃NH₃ positions for stability of the structure; Ge, Sn and Sb doping to the Pb positions for improvement of the semiconducting properties; Cl and Br doping to the I positions for enhancement of carrier mobility. PCBM:P3HT:ZnPc DA interpenetrated-junction solar cells with an inverted structure were also fabricated, and the short-circuit current density of the solar cells were improved by the ZnPc addition and Ge dot formation. Conversion efficiencies of spherical Si solar cells coated with SnO_x:F anti-reflection thin films were also improved by controlling the interfacial structures. Guidelines for device design were constructed for the new solar cells.

研究分野：材料工学

キーワード：太陽電池材料 相互浸透型 ペロブスカイト 14族 有機無機複合

1. 研究開始当初の背景

太陽電池は、ほぼ無限のクリーンなエネルギー源、メンテナンス不要、サイズを自由に变化できるという、優れた特徴をもっている。アメリカでは、2050年までに全発電量の69%、2100年までに100%を太陽光でまなかうSolar Grand Planが提案されている。この目標実現のために、従来のシリコン系太陽電池、第二世代の薄膜系太陽電池に代わる、環境にやさしく高効率・低価格の第三世代太陽電池の開発が急務となっている。新規第三世代太陽電池の候補として、有機系及び量子ドット型太陽電池が提案されている。しかしいずれも、従来のpnヘテロ接合型とは、デバイス構造や光伝導機構が異なり、高効率太陽電池設計のために、より詳細な研究が必要とされている。

2. 研究の目的

有機系太陽電池は、プラスチック型で非常に簡易に作成でき、軽量でフレキシブルという特徴をもつ。2004年に報告されてから単層型では~4%、タンデム型で10%を超える最高効率のものが報告されている。一方、量子ドット型太陽電池は、Si量子ドットを用いて60%を超える高い効率が理論的に予言されている。しかし量子ドット制御技術が確立していないため、いまだ発電効率を詳細に評価した論文はでていない。いずれも原子配列制御・高効率化が必要不可欠であり、本研究ではこれらを克服するため、14族系DA相互浸透接合中間バンド型自己組織量子ドット太陽電池の研究開発を行う。第三世代太陽電池の研究開発にあたり、幅広い学際的なバックグラウンドを持つ研究者を結集し、14族(C-Si-Ge-Sn-Pb)系ナノ粒子自己組織配列制御技術の確立を目指し、さらに電気伝導・光特性測定・量子物理的計算から、光電変換機構・電気伝導機構・原子配列の解明及びデバイス設計指針の構築を行った。

3. 研究の方法

① 物質デザイン・研究詳細指針設定

14族系であるC-Si-Ge-Sn-Pbをベースとした高効率太陽電池のバンドデザインを行った。第一原理分子軌道法による構造・電子状態予測も行い、熱力学計算による合成プロセス予測も加味しながら、DA相互浸透構造新規合成プロセスを検討した。

② 太陽電池デバイス形成

光吸収波長やキャリア移動度が変化するC-Si-Ge-Sn-Pb系有機半導体の導入を検討し、DA相互浸透型太陽電池を形成した。光吸収は光電変換効率にも大きな影響を与えるので、デバイス設計時に適切な物質を選択した。その後、金属薄膜の仕事関数からAu、Al等の最適な電極材料を選択し蒸着した。またバルクヘテロ構造中の電荷分離のため、励起子分離層(EBL)を導入し、耐久性向上のためTiO₂層を導入した逆型構造を形成する。

③ 光電変換効率測定・物性評価

作製した太陽電池デバイスにおいて、ソーラーシミュレーター照射下にて、電流密度-電圧特性を測定し発電効率を評価する。また得られた薄膜を、外部量子効率測定、薄膜X線回折、ホール測定などにより、原子構造、電子状態、バンドギャップ、キャリア濃度・移動度等を調べ、光起電力発現機構を調べた。

4. 研究成果

太陽電池材料の新規合成プロセス開発及び光起電力特性・量子効率などのデバイス評価に重点を置きながら、結晶構造及びナノ構造制御によりさらなる発電効率の向上も目指した。主な成果は以下の通りにまとめられる。

- ① TiO₂電子輸送層/ペロブスカイト層相互浸透型構造において、13、14、15族元素ドーピングにより太陽電池を形成し光起電力特性向上
- ② 相互浸透型P3HT/PCBMフラーレン系太陽電池にフタロシアニン等を導入し、界面構造制御することにより発電効率向上
- ③ ZnTPP:C₆₀系太陽電池へのGe系ドット導入による光起電力向上
- ④ 相互浸透型ポリシラン系太陽電池の形成と微細構造解析
- ⑤ 反射防止膜SnO₂形成球状14族Si太陽電池の微細構造解析と物性評価

特に①においては、相互浸透接合型ペロブスカイト系光電変換デバイス構造形成および量子材料設計により、長波長まで広範囲の光を吸収可能な太陽電池を形成した。ホール移動度及び電子移動度を向上させるために、ポリシラン分子やNbイオン導入キャリア輸送層を形成し、ハロゲンイオン位置や14族元素であるPb原子位置にも、それぞれCl、Br及びSb、Sn、Ge、Asなど他元素導入も試み、ペロブスカイト結晶構造、キャリア輸送、光物性等を調べ、効率向上およびキャリア移動度増大などの結果を得た。さらに第一原理計算によるナノ構造・電子状態予測、熱力学計算による界面反応予測等を行いながら、今後の新規太陽電池デバイス設計の指針とした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者及び連携研究者に下線)

[雑誌論文] (計48件:すべて査読有り)

1. T. Oku, J. Nakagawa, M. Iwase, A. Kawashima, K. Yoshida, A. Suzuki, T. Akiyama, K. Tokumitsu, M. Yamada and M. Nakamura, Microstructures and photovoltaic properties of polysilane-based solar cells, Japanese Journal of Applied Physics 52 (2013) 04CR07-1-5.
2. K. Yoshida, T. Oku, A. Suzuki, T. Akiyama, K. Tokumitsu, M. Nakamura, M. Yamada, Fabrication and characterization of polysilane: PCBM bulk heterojunction solar cells, Central European Journal of Engineering 3 (2013) 165-169.

3. K. Yoshida, T. Oku, A. Suzuki, T. Akiyama, Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of PCBM:P3HT bulk heterojunction solar cells doped with germanium phthalocyanine or germanium naphthalocyanine, *Materials Sciences and Applications* 4 (2013) 1-5.
4. A. Takeda, T. Oku, A. Suzuki, T. Akiyama, Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of fullerene-based solar cells containing phthalocyanine and naphthalocyanine dimers, *Synthetic Metals* 177 (2013) 48–51.
5. K. Fujimoto, T. Oku and T. Akiyama, Fabrication and characterization of ZnO/Cu₂O solar cells prepared by electrodeposition, *Applied Physics Express* 6 (2013) 086503-1-3.
6. T. Oku, J. Nakagawa, A. Suzuki, T. Akiyama, M. Yamada, S. Fukunishi, K. Kohno and M. Sasaki, Effects of phosphorus addition to polymethyl-phenyl-silane based photovoltaic devices, *Physica Status Solidi C* 10 (2013) 1832-1835.
7. T. Oku, K. Yoshida, A. Suzuki, T. Akiyama and Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of PCBM:P3HT bulk heterojunction solar cells doped with silicon naphthalocyanine, *Physica Status Solidi C* 10 (2013) 1836-1839.
8. T. Oku, M. Kanayama, T. Akiyama, Y. Kanamori and M. Murozono, Microstructure analysis and properties of spherical silicon solar cells with anti-reflection thin films, *Physica Status Solidi C* 10 (2013) 1840-1843.
9. A. Suzuki, K. Nishimura and T. Oku, Effects of germanium tetrabromide addition to zinc tetraphenyl porphyrin / fullerene bulk heterojunction solar cells, *Electronics* 3 (2014) 112-121.
10. T. Oku, T. Yamada, K. Fujimoto and T. Akiyama, Microstructures and photovoltaic properties of Zn(Al)O/Cu₂O-based solar cells prepared by spin-coating and electrodeposition, *Coatings* 4 (2014) 203-213.
11. T. Oku, M. Kanayama, Y. Ono, T. Akiyama, Y. Kanamori, and M. Murozono, Microstructures, optical and photoelectric conversion properties of spherical silicon solar cells with anti-reflection SnO_x:F thin films, *Japanese Journal of Applied Physics* 53 (2014) 05FJ03-1-7
12. T. Oku, S. Hori, A. Suzuki, T. Akiyama and Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of PCBM:P3HT:silicon phthalocyanine bulk heterojunction solar cells with inverted structures, *Japanese Journal of Applied Physics* 53 (2014) 05FJ08-1-5.
13. M. Iwase, A. Suzuki, T. Akiyama and T. Oku, Fabrication and characterization of phthalocyanine-based organic solar cells, *Materials Sciences and Applications* 5 (2014) 278-284.
14. Fabrication and characterization of TiO₂/CH₃NH₃PbI₃-based photovoltaic devices M. Zushi, A. Suzuki, T. Akiyama, and T. Oku *Chemistry Letters* 43 (2014) 916–918.
15. A. Nagata, T. Oku, T. Akiyama, A. Suzuki, Effects of Au nanoparticle addition to hole transfer layer in organic solar cells based on copper naphthalocyanine and fullerene, *Progress in Natural Science: Materials International* 24 (2014) 179-183.
16. A. Suzuki, H. Suzuki, H. Maruhashi, S. Banya, T. Akiyama and T. Oku, Effect of annealing on photovoltaic properties and microstructure of conventional and inverted organic solar cells using active bilayer based on liquid-crystal semiconducting polymer and fullerene, *International Journal of Energy Research* 38 (2014) 1541–1550.
17. M. Iwase, A. Suzuki, T. Akiyama and T. Oku, Fabrication and characterization of organic solar cells using titanylphthalocyanine as hole transport layer, *Physica Status Solidi A* 211 (2014) 2861–2864.
18. T. Oku, M. Zushi, Y. Imanishi, A. Suzuki and K. Suzuki, Microstructures and photovoltaic properties of perovskite-type CH₃NH₃PbI₃ compounds, *Applied Physics Express* 7 (2014) 121601–1–4.
19. T. Oku, T. Matsumoto, A. Suzuki and K. Suzuki, Fabrication and characterization of a perovskite-type solar cell with a substrate size of 70 mm, *Coatings* 5 (2015) 646–655.
20. T. Oku, T. Iwata, and A. Suzuki, Effects of niobium addition into TiO₂ layers on CH₃NH₃PbI₃-based photovoltaic devices, *Chemistry Letters* 44 (2015) 1033–1035.
21. K. Suzuki, A. Suzuki, M. Zushi, and T. Oku, Microstructures and properties of CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x hybrid solar cells, *AIP Conference Proceedings* 1649 (2015) 96–101.
22. M. Kanayama, T. Oku, A. Suzuki, M. Yamada, S. Fukunishi, K. Kohno, and H. Sakamoto, Fabrication and characterization of photovoltaic devices based on perovskite compounds with TiO₂ nanoparticles, *AIP Conference Proceedings* 1649 (2015) 84–88.
23. H. Maruhashi, T. Oku, A. Suzuki, T. Akiyama, and Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of P3HT:PCBM-based thin film organic solar cells with zinc phthalocyanine, *AIP Conference Proceedings* 1649 (2015) 102–106.
24. T. Oku, N. Hibi, A. Suzuki, T. Akiyama, M. Yamada, S. Fukunishi, and K. Kohno, Effects of triphenylborane addition to decaphenylcyclopentasilane thin films, *JJAP Conference Proceedings* 3 (2015) 011404-1–6.
25. H. Maruhashi, T. Oku, A. Suzuki, and T. Akiyama, Fabrication and characterization of silicon naphthalocyanine/fullerene-based photovoltaic devices with inverted structures, *JJAP Conference Proceedings* 3 (2015) 011405-1–7.
26. T. Oku, Y. Ohishi and A. Suzuki, Effects of antimony addition to perovskite-type CH₃NH₃PbI₃ photovoltaic devices, *Chemistry Letters* 45 (2016) 134–136.

27. T. Oku, K. Suzuki and A. Suzuki, Effects of chlorine addition to perovskite-type $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ photovoltaic devices, *Journal of the Ceramic Society of Japan* 124 (2016) 234–238.
28. Y. Shirahata, A. Suzuki and T. Oku, Fabrication and characterization of bismuth ferrite as an electron transport layer in perovskite photovoltaic devices, *Journal of the Ceramic Society of Japan* 124 (2016) 602–605.
29. Y. Shirahata, B. Zhang, T. Oku, Y. Kanamori and M. Murozono, Microstructures and optical properties of silicon spheres for solar cells, *Materials Transactions* 57 (2016) 1082–1087.
30. T. Oku, Y. Ohishi, A. Suzuki and Y. Miyazawa, Effects of Cl addition to Sb-doped perovskite-type $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ photovoltaic devices, *Metals* 6 (2016) 147–1–13.
31. Y. Shirahata and T. Oku, Characterization and photovoltaic properties of BiFeO_3 thin films, *Coatings* 6 (2016) 68–1–9.
32. M. Kanayama, T. Oku, A. Suzuki, M. Yamada, H. Sakamoto, S. Minami and K. Kohno, Low temperature fabrication of perovskite solar cells with TiO_2 nanoparticle layers, *AIP Conference Proceedings* 1709 (2016) 020019–1–7.
33. J. Saito, T. Oku, A. Suzuki, and T. Akiyama, Fabrication and characterization of perovskite-type solar cells with Nb-doped TiO_2 layers, *AIP Conference Proceedings* 1709 (2016) 020027–1–7.
34. Y. Shirahata, T. Oku, Y. Kanamori, and M. Murozono, Microstructure analysis of spherical silicon solar cells with $\text{SnO}_x\text{:F}_y$ layers, *AIP Conference Proceedings* 1709 (2016) 020021–1–8.
35. Y. Ohishi, T. Oku, and A. Suzuki, Fabrication and characterization of perovskite-based $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}_{1-x}\text{Ge}_x\text{I}_3$, $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}_{1-x}\text{Ti}_x\text{I}_3$ and $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}_{1-x}\text{In}_x\text{I}_3$ photovoltaic devices, *AIP Conference Proceedings* 1709 (2016) 020020–1–8.
36. Y. Shirahata, K. Tanaike, T. Akiyama, K. Fujimoto, A. Suzuki, B. Jeyadevan, and T. Oku, Fabrication and photovoltaic properties of ZnO nanorods/perovskite solar cells, *AIP Conference Proceedings* 1709 (2016) 020018–1–9.
37. H. Maruhashi, T. Oku, A. Suzuki, T. Akiyama and Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of PCBM:P3HT-based thin-film organic solar cells with zinc phthalocyanine and 1,8-diiodooctane, *Chemical and Materials Engineering* 5 (2017) 1–7.
38. T. Hamatani, Y. Shirahata, Y. Ohishi, M. Fukaya and T. Oku, Arsenic and chlorine codoping to $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ perovskite solar cells, *Advances in Materials Physics and Chemistry* 7 (2017) 1–10.
39. J. Nakagawa, T. Oku, A. Suzuki, T. Akiyama, M. Yamada, S. Fukunishi, K. Kohno, Effects of PBr_3 addition to polysilane thin films on structures and photovoltaic properties, *Green and Sustainable Chemistry* 7 (2017) 20–34.
40. Y. Shirahata, T. Oku, S. Fukunishi and K. Kohno, Fabrication of perovskite-type photovoltaic devices with polysilane hole transport layers, *Materials Science and Applications* 8 (2017) 209–222.
41. Y. Shirahata, T. Oku, Y. Kanamori and M. Murozono, Effects of heat treatment on fluorine-doped tin oxide anti-reflection films coated on silicon spheres, *Journal of the Ceramic Society of Japan* 125 (2017) 145–149.
42. Effects of polysilane-doped spiro-OMeTAD hole transport layers on photovoltaic properties Y. Shirahata, Y. Yamamoto, A. Suzuki, T. Oku, S. Fukunishi, and K. Kohno, *Physica Status Solidi A* 214, Issue 3 (2017) 1600591–1–7.
43. T. Oku, Y. Ohishi, and A. Suzuki, Effects of SbBr_3 addition to $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ solar cells, *AIP Conference Proceedings* 1807 (2017) 020007–1–5.
44. Y. Shirahata and T. Oku, Photovoltaic properties of Cu-doped $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ with perovskite structure, *AIP Conference Proceedings* 1807 (2017) 020008–1–6.
45. N. Ueoka, Y. Ohishi, Y. Shirahata, A. Suzuki, and T. Oku, Fabrication and characterization of $\text{CH}_3\text{NH}_3(\text{Cs})\text{Pb}(\text{Sn})\text{I}_3(\text{Br})$ perovskite solar cells, *AIP Conference Proceedings* 1807 (2017) 020009–1–9.
46. J. Saito, A. Suzuki, T. Akiyama and T. Oku, Doping effects of transition metal elements to titanium dioxide for perovskite solar cells, *AIP Conference Proceedings* 1807 (2017) 020010–1–5.
47. T. Hamatani, Y. Shirahata, Y. Ohishi, M. Fukaya, and T. Oku, Fabrication and characterization of perovskite-based $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}_{1-x}\text{As}_x\text{I}_{3+x}\text{Cl}_y$ photovoltaic devices, *AIP Conference Proceedings* 1807 (2017) 020012–1–9.
48. T. Oku, N. Ueoka, K. Suzuki, A. Suzuki, M. Yamada, H. Sakamoto, S. Minami, S. Fukunishi, K. Kohno, and S. Miyauchi, Fabrication and characterization of perovskite photovoltaic devices with TiO_2 nanoparticle layers, *AIP Conference Proceedings* 1807 (2017) 020014–1–7.

[学会発表] (計 2 2 件 : 第一著者のみ)

- T. Oku, K. Yoshida, S. Hori, A. Suzuki, T. Akiyama and Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of organic solar cells using phthalocyanines and naphthalocyanine with inverted structures, Ninth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP 13), June 28–30, 2013, Kusatsu, Shiga, Abstracts P-22.
- T. Oku, J. Nakagawa, A. Suzuki, T. Akiyama,

- M. Yamada, S. Fukunishi and K. Kohno, Effects of phosphorus addition to polysilane thin films and the application to photovoltaic devices, Asia-Pacific Conference on Green Technology with Silicides and Related Materials 2013, July 27-29(28), 2013, Tsukuba, Abstract Book, 28-P25.
3. T. Oku, K. Yoshida, S. Hori, A. Suzuki, T. Akiyama, Y. Yamasaki, Fabrication and photovoltaic properties of silicon naphthalocyanine-based solar cells, Asia-Pacific Conference on Green Technology with Silicides and Related Materials 2013, July 27-29(28), 2013, Tsukuba, Abstract Book, 28-P26.
 4. T. Oku, M. Kanayama, T. Akiyama, Y. Kanamori, M. Murozono, Microstructure analysis and properties of spherical silicon solar cells with anti-reflection thin films, Asia-Pacific Conference on Green Technology with Silicides and Related Materials 2013, July 27-29(28), 2013, Tsukuba, Abstract Book, 28-P27.
 5. T. Oku, K. Yoshida, A. Suzuki, T. Akiyama and Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of organic solar cells using phthalocyanine and naphthalocyanine with inverted structures, 2013 JSAP-MRS Joint Symposia, September 16-20(19), 2013, Kyoto, Abstract JSAP-MRS-H-041.
 6. T. Oku, A. Suzuki, T. Akiyama, Fabrication, nanostructures and photovoltaic properties of organic solar cells, 8th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials, Granada, Spain, 22-25(23) September, 2013 Abstract Book P. 271.
 7. T. Oku, A. Suzuki, and T. Akiyama, Fabrication and characterization of thin film organic solar cells, 12th International Conference on Atomically Controlled Surfaces, Interfaces and Nanostructures, Tsukuba, 4-8(8) November, 2013 Abstract Book P. 246.
 8. T. Oku, A. Suzuki, and T. Akiyama, Fabrication, nanostructures and photovoltaic properties of organic thin film solar cells with inverted structures, The 8th General Meeting of Asian Consortium on Computational Materials Science - Virtual Organization, Sendai, 7-9(7) November, 2013. Abstract book PS-13.
 9. T. Oku, S. Hori, K. Yoshida, A. Suzuki, T. Akiyama and Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of inverted structure organic solar cells using silicon phthalocyanine and naphthalocyanine, Tenth International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP 14), May 30(31) - June 1, 2014, Kusatsu, Shiga, Abstracts P-25.
 10. T. Oku, Y. Yamamoto, T. Akiyama, Y. Kanamori, M. Murozono, M. Yamada, S. Fukunishi and K. Kohno, Microstructures and photoelectric properties of spherical silicon solar cells, International Conference and Summer School on Advanced Silicide Technology 2014, 19-21(19) July, 2014, Tokyo, Abstract 19-P13.
 11. T. Oku, N. Hibi, A. Suzuki, T. Akiyama, M. Yamada, S. Fukunishi and K. Kohno, Effects of triphenylborane addition to decaphenylcyclopentasilane thin films, International Conference and Summer School on Advanced Silicide Technology 2014, 19-21(19) July, 2014, Tokyo, Abstract 19-P15.
 12. 奥健夫、秋山毅、鈴木厚志、松本泰輔、菊地憲次、藤本和也、図師將仁、熊田和真、安田昌司、平松孝一、次世代太陽電池材料、びわ湖環境ビジネスメッセ 2014 びわ湖発新技術説明会、2014年10月23日 長浜ドーム 資料集 P. 30-35.
 13. 奥健夫、木野孝則、鈴木厚志、山田昌宏、福西佐季子、高野一史、ポリシランホール輸送層を用いたペロブスカイト系太陽電池の評価、応用物理応用物理学会関西支部平成26年度第3回講演会「関西発グリーンエレクトロニクス研究の進展」2015年2月27日 奈良先端科学技術大学院大学 P-05.
 14. T. Oku, H. Maruhashi, A. Suzuki, T. Akiyama and Y. Yamasaki, Fabrication and characterization of PCBM:P3HT thin film solar cells with zinc phthalocyanine, Eleventh International Workshop on Supramolecular Nanoscience of Chemically Programmed Pigments (SNCPP 15), May 29(30)-31, 2015, Kusatsu, Shiga, Abstracts P-18.
 15. T. Oku, Y. Okamoto, T. Matsumoto, Y. Kanamori, T. Usuki, M. Murozono, M. Yamada, S. Fukunishi and K. Kohno, Microstructures and photoelectric properties of spherical silicon solar cells with SnO_x:F anti-reflection films, The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies (EM-NANO2015), June 16(18)-19, 2015, Niigata, Abstracts P. 266.
 16. T. Oku, K. Suzuki, M. Zushi, T. Iwata and A. Suzuki, Fabrication and characterization of perovskite-type photovoltaic devices, Eighth International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE8), Funabori, Tokyo, June 22(22)-24, 2015, Abstracts P. 233.
 17. T. Oku, K. Suzuki, M. Zushi, T. Iwata and A. Suzuki, Fabrication and characterization of CH₃NH₃PbI₃ perovskite photovoltaic devices, 10th International Conference on Surfaces, Coatings and Nanostructured Materials, 13-16 September 2015, Manchester, United Kingdom, Abstract Book P. 110.
 18. 奥健夫、太陽光発電の高効率化技術、びわ湖環境ビジネスメッセ 2015、2015年10月21日 長浜ドーム
 19. T. Oku, K. Suzuki, T. Iwata, and A. Suzuki, Microstructures and photovoltaic properties of CH₃NH₃PbI₃-based perovskite-type solar cells, The Irago Conference 2015, October 22-23(23), 2015, Tahara, Abstract P73.

20. T. Oku, Y. Ohishi, A. Suzuki and Y. Miyazawa, Fabrication, microstructures and photovoltaic properties of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ -based perovskite-type solar cells, 3rd International Conference on Nanotechnology, Nanomaterials & Thin Films for Energy Applications, ENR-104, July 27-29(28), 2016, University of Liverpool, UK.
21. T. Oku, M. Kanayama, A. Suzuki, M. Yamada, H. Sakamoto, S. Minami, K. Kohno, and S. Miyauchi, Fabrication and characterization of perovskite solar cells with TiO_2 nanoparticle layers, The Irago Conference 2016, November 1-2, 2016, Tokyo, Abstract P58.
22. T. Oku, Y. Ohishi, and A. Suzuki, Effects of metal element addition to perovskite-type photovoltaic devices, The Irago Conference 2016, November 1-2, 2016, Tokyo, Abstract P71.
- [図書] (計 8 件)
1. T. Oku and A. Suzuki, Advances in Materials Science Research Vol. 16, Nova Science Publishers, Inc. Editor: Maryann C. Wythers : Fabrication and characterization of C_{60} -based solar cells with phthalocyanine, polyvinylcarbazole and germanium bromide, (2013) P. 301-312.
 2. T. Oku, N. Kakuta, K. Kobayashi, A. Suzuki, Solar Power: Technologies, Environmental Impacts and Future Prospects, Nova Science Publishers, Inc. Editor: Stephen Bailey: (2014) Chapter 3: Fabrication, electronic properties and microstructures of TiO_2 -based dye-sensitized solar cells P. 57-68.
 3. 奥健夫、藤本和也、木戸脇大希、秋山毅、ウェットプロセスによる精密薄膜コーティング技術、技術情報協会編: (2014) 第 3 章ウェット薄膜のパターン形成技術とデバイス応用 第 2 節太陽電池 [4]電解析出法による銅酸化物薄膜の作製と太陽電池への応用 P. 398-404.
 4. T. Oku, A. Takeda, A. Nagata, R. Motoyoshi, K. Fujimoto, T. Noma, A. Suzuki, K. Kikuchi, T. Akiyama, B. Jeyadevan, J. Cuya, Y. Yamasaki, and E. Ōsawa, Light Harvesting Nanomaterials, Bentham Science Publishers Ltd., Editor: Surya Prakash Singh (2015) Chapter 5: Microstructures and photovoltaic properties of C_{60} -based solar cells with copper oxides, CuInS_2 , phthalocyanines, porphyrin, diamond and exciton-diffusion blocking layer, P. 100-141.
 5. T. Oku, Solar Cells - New Approaches and Reviews, InTech, Editor: Leonid A. Kosyachenko (2015), Chapter 3: Crystal structures of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ and related perovskite compounds used for solar cells, P. 77-102.
 6. T. Oku, M. Zushi, K. Suzuki, Y. Ohishi, T. Matsumoto and A. Suzuki, Nanostructured Solar Cells, Intech, Edited by Narottam Das

(2017) Chapter 11: Fabrication and characterization of element-doped perovskite solar cells, P. 217-243.

7. 奥健夫、光エネルギー科学、三恵社 (2016) 232 pages.
8. T. Oku, Solar Cells and Energy Materials, Walter De Gruyter Inc (2016) 250 pages.

○出願状況 (計 3 件)

1. 名称: 太陽電池およびその太陽電池の製造方法太陽電池
発明者: 奥健夫、図師将仁、鈴木厚志、鈴木康平、今西悠馬、秋山毅、岩田太志、木田智康
権利者: 公立大学法人滋賀県立大学
種類: 特許
番号: 特願 2015-030358
出願年月日: 2015 年 2 月 19 日
国内外の別: 国内
2. 名称: 太陽電池およびその太陽電池の製造方法
発明者: 奥健夫、大石雄也、鈴木厚志
権利者: 公立大学法人滋賀県立大学
種類: 特許
番号: 特願 2015-146310
出願年月日: 2015 年 7 月 24 日
国内外の別: 国内
3. 名称: 光電変換素子及びその製造方法
発明者: 福西佐季子、高野一史、奥健夫、白幡泰浩、鈴木厚志
権利者: 大阪ガスケミカル株式会社、公立大学法人滋賀県立大学
種類: 特許
番号: 特願 2016-238926
出願年月日: 2016 年 12 月 9 日
国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.mat.usp.ac.jp/energy/index.html>

6. 研究組織
 - (1) 研究代表者
奥健夫 (Takeo Oku)
滋賀県立大学工学部・教授
研究者番号: 30221849
 - (3) 連携研究者
秋山毅 (Tsuyoshi Akiyama)
滋賀県立大学工学部・准教授
研究者番号: 20304751
鈴木厚志 (Atsushi Suzuki)
滋賀県立大学工学部・助教
研究者番号: 30281603