

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：53101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K14305

研究課題名(和文)鉛フリー新規ヨウ化物光吸収層材料を用いたプリンタブル新型化合物薄膜太陽電池の創製

研究課題名(英文)Development of printable thin-film solar cells using lead-free iodide absorber

研究代表者

荒木 秀明(Araki, Hideaki)

長岡工業高等専門学校・物質工学科・教授

研究者番号：40342480

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鉛フリーヨウ化物としてBiI₃に着目した。BiI₃薄膜は、DMF溶媒を用いてスピンコート法によって作製した。光学測定からBiI₃のバンドギャップは1.8 eVと見積もられ、光吸収係数は670 nm 以下において10000 cm⁻¹以上であった。光吸収層としてBiI₃層を用いて、FTO/compact-TiO₂/porous-TiO₂/BiI₃/spiro-MeOTAD/Au構造の塗布型薄膜太陽電池を作製した。BiI₃層を塗布後、70度でアニールした試料において、開放電圧0.25V、短絡電流密度0.96 mA/cm²、曲線因子0.42、変換効率0.10%を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, we have focused on bismuth iodide (BiI₃), which is lead-free, and thus has less environmental impact. A BiI₃ thin-film was prepared by spin-coating a solution of BiI₃ in N,N-dimethylformamide. From the optical measurements, the band gap energy of BiI₃ was estimated to be 1.8 eV and the absorption coefficient was higher than 10000 cm⁻¹ at wavelengths of less than 670 nm. Printable thin-film solar cells were fabricated with a FTO/compact-TiO₂/porous-TiO₂/BiI₃/spiro-MeOTAD/Au structure using BiI₃ as the light-absorbing layer. The solar cell fabricated with a BiI₃ thin film annealed at 70 °C had an open-circuit voltage of 0.25 V, a short-circuit current density of 0.96 mA/cm², a fill factor of 0.42, and a conversion efficiency of 0.10%.

研究分野：電子材料工学

キーワード：ヨウ化物 化合物薄膜太陽電池 太陽電池 薄膜 塗布

1. 研究開始当初の背景

近年、プリンタブルな太陽電池として、 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Pb}(\text{I},\text{Cl})_3$ に代表される有機-無機複合ペロブスカイト化合物太陽電池が大きな注目を集めている。すでに光電変換効率 19% を超える報告がなされる一方で、高い光電変換効率が報告されているものは、ほぼ全てが鉛を用いた材料に限られてきた。実用化の観点から、再現性の確立とさらなる高効率化の実現に加えて、鉛を含まない環境に調和した元素を用いた材料開発が望まれる。

特にバンドギャップ $E_g=1.8 \text{ eV}$ の塗布型太陽電池が実現できれば既存の Si や CIGS 太陽電池 ($E_g=1.1\sim 1.2\text{eV}$) と組み合わせたタンデム型太陽電池を構成することで、ほぼ限界に迫った太陽電池の変換効率の更なる向上も期待される。

2. 研究の目的

本研究では、塗布可能なヨウ化物系光吸収層材料として BiI_3 に着目し、塗布プロセスにより光吸収層を形成することで、鉛フリー新規プリンタブル薄膜太陽電池の実現を目指して、以下の課題に取り組んだ。

- (1) $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3(\text{MAPbI}_3)$ 薄膜太陽電池の作製によるヨウ化物薄膜及び太陽電池素子の作製技術の開発
- (2) BiI_3 薄膜太陽電池の作製

3. 研究の方法

(1) $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3(\text{MAPbI}_3)$ 薄膜太陽電池の作製によるヨウ化物薄膜及び太陽電池素子の作製技術の開発

① 気相反応法を用いた MAPbI_3 薄膜の作製

FTO 基板の上にスプレー法により compact- $\text{TiO}_2(\text{c-TiO}_2)$ 層を成膜した後、porous- $\text{TiO}_2(\text{p-TiO}_2)$ および前駆体 PbI_2 をスピコートにより成膜した。作製した前駆体 PbI_2 膜と $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}(\text{MAI})$ 粉末を図 1 のように設置し、窒素雰囲気下で反応条件 $130\sim 180^\circ\text{C}$ 、保持時間 4 時間で MAI 蒸気と反応させることで MAPbI_3 薄膜を作製した。作製した試料を XRD による結晶構造解析および SEM による表面と断面の観察により評価を行い、比較検討した。MAPbI₃ 薄膜上にホール輸送層 spiro-MeOTAD をスピコートにより堆積し、Au 電極を蒸着することで太陽電池素子化を行った。ソーラーシミュレータを用いて AM1.5, $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 照射下で光起電力特性を測定し、光起電力特性の反応温度依存性について検討した。

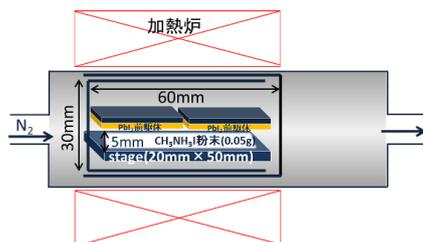


図 1 MAPbI₃ 薄膜作製のための気相反応炉

② ホットプレートを用いた気相アシスト法による MAPbI_3 薄膜太陽電池の作製

FTO ガラス基板の上にスプレー熱分解法およびスピコート法により緻密 $\text{TiO}_2(\text{c-TiO}_2)$ 層および多孔質 $\text{TiO}_2(\text{p-TiO}_2)$ 層を順に堆積させ、それぞれ焼結させることで、酸化チタン基板 ($\text{FTO}/\text{c-TiO}_2/\text{p-TiO}_2$) を作製した。次に、スピコート法により DMF 溶媒を用いて調整した 1M-PbI_2 溶液を酸化チタン基板上にスピコート法で塗布し、 PbI_2 前駆体基板を作製した。図 2 のように、ホットプレート上に設置したシャーレ底面に $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 源 (MAI 粉末) を敷き、それに対面するようにシャーレ蓋の内側に PbI_2 前駆体基板をセットし、 N_2 雰囲気下で MAI 源を加熱することで発生させた MAI 蒸気と PbI_2 前駆体を反応させ、 MAPbI_3 薄膜を作製した。この時の MAI 源の加熱温度を 140°C から 170°C 、反応時間を 30 分から 60 分に変化させ、加熱温度および反応時間の依存性を検討した。その後、2-プロパノール溶液中で過剰な MAI を除去し、 N_2 雰囲気下にて 85°C で乾燥した。得られた薄膜は XRD による生成化合物の同定および SEM による表面形態の観察により評価した。最後に、スピコート法により spiro-MeOTAD と真空蒸着法により Au 電極を積層することで太陽電池セルとし、ソーラーシミュレータを用いて光起電力特性を測定した。また、MAI 蒸気と PbI_2 薄膜を反応時間 45 分、反応温度 150°C にて反応させ MAPbI_3 薄膜を作製後、 N_2 雰囲気下で 1 時間アニールし、この時の温度を 130°C から 150°C に変化させ、太陽電池セルの光起電力特性を測定し、アニール温度に伴う変化も調べた。

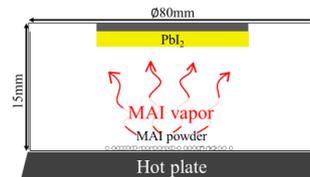


図 2 ホットプレートを用いた気相アシスト法による MAPbI_3 薄膜作製のセットアップ

(2) BiI_3 薄膜太陽電池の作製

MAPbI_3 セルの光吸収層を BiI_3 に換えた $\text{FTO}/\text{c-TiO}_2/\text{p-TiO}_2/\text{BiI}_3/\text{spiro-MeOTAD}/\text{Au}$ 構造をもつ低環境負荷・高耐久性の太陽電池の作製を行った。FTO 基板の上に電子輸送層として、スプレー熱分解法により c-TiO_2 、スピコート法によって p-TiO_2 を成膜した。作製した $\text{FTO}/\text{c-TiO}_2/\text{p-TiO}_2$ 基板の上にスピコート法により、光吸収層として BiI_3 を製膜し、 $70\sim 170^\circ\text{C}$ 30 分間アニール処理を行った。得られた薄膜に対し、X 線回折による試料の同定と走査型電子顕微鏡による形態観察を行った。次に BiI_3 上にスピコート法で正孔輸送層として spiro-MeOTAD、真空蒸着法により Au 電極を成膜し、 $\text{FTO}/\text{c-TiO}_2/\text{p-TiO}_2/\text{BiI}_3/\text{spiro-MeOTAD}/\text{Au}$ 構造の太陽電池素子を作製した (図 3)。得られた素子を AM1.5, 100

mW/cm² 照射下にて光起電力特性及び外部量子効率を測定した。

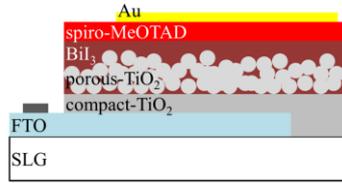


図3 BiI₃薄膜太陽電池の素子構造

また、作製した素子構造の検討を行うためにバンドダイアグラムの作成を行った。FTO基板上にTiO₂, BiI₃, spiro-MeOTAD, Auを太陽電池素子の作製と同様の手順にてそれぞれ成膜しFTO/TiO₂, FTO/BiI₃, FTO/spiro-MeOTAD, FTO/Auを作製した。分光光度計にて透過・反射スペクトル測定を行い、光吸収係数 α を見積り、 $(\alpha h\nu)^2 \propto (h\nu - E_g)$ の関係式より縦軸に $(\alpha h\nu)^2$ 、横軸に光のエネルギー($h\nu$)をとり、立ち上がりを外挿することによって E_g の見積もりを行った。光電子収量分析装置(PYS)にて光電子収量を測定し、 $Yield \propto (hv-IP)^3$ の関係式より、縦軸に収量(Yield)の3乗根横軸にエネルギー(波長)をとって、立ち上がりを外挿することで、イオン化ポテンシャルIPの評価を行った。測定したバンドギャップ E_g 及びイオン化ポテンシャルIPから素子構造に対するエネルギーダイアグラムを作成した。

4. 研究成果

(1) CH₃NH₃PbI₃(MAPbI₃)薄膜太陽電池の作製によるヨウ化物薄膜及び太陽電池素子の作製技術の開発

①気相反応法を用いたMAPbI₃薄膜の作製

XRDによる結晶構造回折の結果を図4に示す。反応温度140℃以上においてMAPbI₃のピークが確認され、160℃以上において前駆体PbI₂のピークが全て消失したことから、全ての前駆体PbI₂がMAPbI₃に反応したといえる。図5にSEMによる気相反応後の膜の表面と断面の観察結果を示す。反応温度130℃において前駆体PbI₂とほぼ変わらない膜が確認され、さらに140℃以降温度が上がるに伴い粒径が増大した。

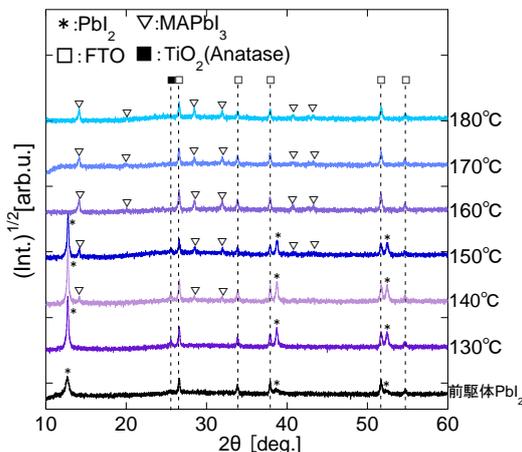


図4 XRDによる結晶構造回折

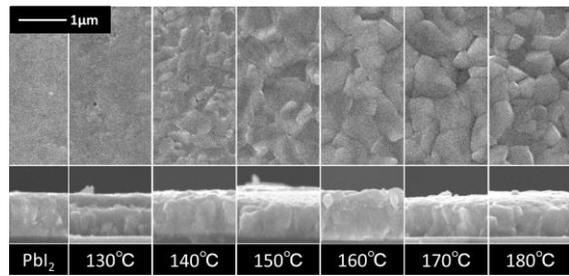


図5 XRDによる結晶構造回折

また、作製した試料を用いて素子化を行い、光起電力特性の測定を行った結果を表1に示す。反応温度140℃および150℃において比較的高い変換効率が得られたが、反応温度160℃以上において変換効率の低下が見られた。これらのことからTiO₂/MAPbI₃界面に残留したPbI₂によりTiO₂界面の欠陥準位がパッシベーションされることで、TiO₂/MAPbI₃界面でのキャリアの再結合が抑制され比較的高い変換効率が得られたと考えられる。

表1 各反応温度における光起電力特性(-0.1~1.1V, delay:0.5s, step:0.025V, 測定方向:Jsc→Voc, 照射面積:0.2cm²)

| 反応温度 | V _{oc} [V] | J _{sc} [mA/cm ²] | F.F. | PCE [%] |
|------|---------------------|---------------------------------------|-------|---------|
| 130℃ | 0.752 | 1.54 | 0.342 | 0.396 |
| 140℃ | 0.922 | 11.9 | 0.408 | 4.46 |
| 150℃ | 0.867 | 9.62 | 0.526 | 4.38 |
| 160℃ | 0.685 | 0.989 | 0.504 | 0.341 |
| 170℃ | 0.676 | 0.632 | 0.423 | 0.181 |
| 180℃ | 0.532 | 0.186 | 0.231 | 0.023 |

②ホットプレートを用いた気相アシスト法によるMAPbI₃薄膜太陽電池の作製

図6に各反応条件により得られた薄膜試料のXRDパターンを示す。全ての試料に対して、140℃からMAPbI₃のピークが観察され、反応時間30分の試料では170℃、反応時間45分以上では160℃以上においてPbI₂のピークが消失したことから、全てのPbI₂がMAIと反応し、MAPbI₃が形成したことがわかる。

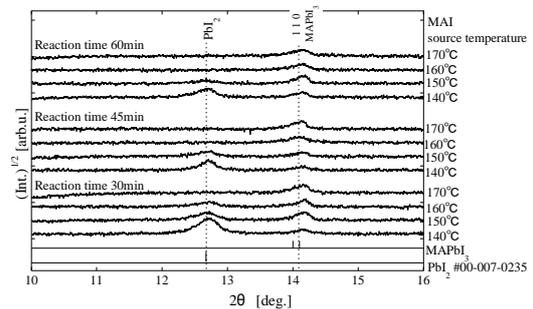


図6 XRDによる結晶構造回折

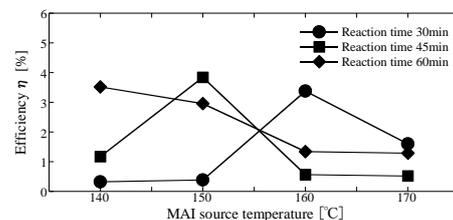


図7 セルの変換効率のCH₃NH₃I源の温度依存性

図7に変換効率のMAI源の加熱温度依存性を示す。反応時間 30 分では 160°C, 45 分では 150°C, 60 分では 140°Cにおいて比較的良好な変換効率が得られた。XRD より PbI₂ がこれらの MAPbI₃ 薄膜中で観察されており、TiO₂/MAPbI₃ 界面に PbI₂ が残留していると考えられる。TiO₂/MAPbI₃ 界面に残留した PbI₂ により TiO₂ 表面の欠陥準位が不活性化され、TiO₂/MAPbI₃ 界面でのキャリアの再結合を抑制されることが報告されており (Q. Chen et al., Nano. Lett. 14, 4158 (2014)), PbI₂ が適度に残留する反応条件において比較的良好な変換効率を得られたと考えられる。

図8に各アニール温度において得られた薄膜試料の表面 SEM の二次電子像および反射電子像を示す。アニール無しと比較するとアニール処理した試料では、粒径の増大が観察された。反射電子像は、試料を構成する物質の原子番号が大きいほど反射電子が多く放出されるため、原子番号が大きい元素は明るく、小さい元素は暗く表示される。そのため、140°C以上の反射電子像においてアニール温度の上昇に伴い増加する明るい結晶粒は、原子番号の大きい元素からなる結晶であり、MAPbI₃ の熱分解により発生した PbI₂ であると考えられる。これらの MAPbI₃ を用いたセルの光起電力特性を測定した結果を表2に示す。アニール無しに比べアニール処理した試料では、変換効率が4%以上に向上し、150°Cにおいて若干減少した。これは、アニールによる粒径の増大により変換効率が向上したが、140°C以上では、熱分解により生じた高抵抗な PbI₂ が増加し、変換効率が減少したと考えられる。

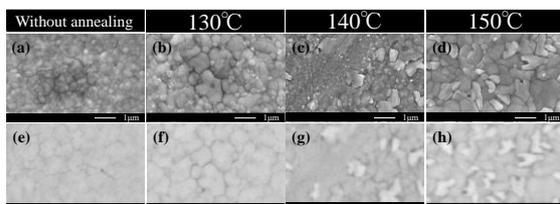


図8 MAPbI₃ 薄膜の(a-d)二次電子像と(e-h)反射電子像

表2 各アニール温度に対するセル特性(-0.1~1.1V, delay:0.5s, step:0.025V, 測定方向:Jsc→Voc, 照射面積:0.2cm²)

| | V _{oc} [V] | J _{sc} [mA/cm ²] | FF [-] | PCE [%] |
|------------------|---------------------|---------------------------------------|--------|---------|
| Before annealing | 0.866 | 3.87 | 0.562 | 1.88 |
| 130°C | 0.902 | 10.5 | 0.471 | 4.47 |
| 140°C | 0.903 | 10.1 | 0.498 | 4.56 |
| 150°C | 0.903 | 8.69 | 0.527 | 4.13 |

以上のように、気相アシスト法により MAPbI₃ 薄膜を作製し、反応条件に伴う変化を検討した結果、適度に PbI₂ が残留する反応条件において比較的良好な変換効率が得られた。残留 PbI₂ により TiO₂ 表面の欠陥準位が不活性化され、キャリアの再結合が抑制されたと考えられる。さらに気相アシスト法によ

り得られた MAPbI₃ 薄膜のアニール温度に伴う変化を検討した結果、130°C以上でアニール処理をすることで粒径が増大し、変換効率4%以上が得られた。

(2) BiI₃ 薄膜太陽電池の作製

図9に各アニール温度で作製した BiI₃ 薄膜の XRD パターンを示す。図10に SEM による表面形態の観察結果を示す。XRD から、全てのサンプルにおいて BiI₃ に帰属されるピークが観察された。低温で作製した BiI₃ 膜では(0 0 3)面による回折ピークの強度が強く、高温で作製したサンプルでは(3 0 0)面による回折ピークの強度が強く確認されアニール温度に依存して配向が異なることが示唆された。SEM による表面形態の観察より、90°C以下で作製したサンプルと 100°C以上で作製したサンプルにおいて表面形態大きな変化が見られた。90°C以下で作製した膜では網目状に空隙が多く見られたのに対し、100°C以上で作製した膜では細かい結晶粒からなり、空隙が減少した。図11に70, 100, 130, 170°Cで BiI₃ を成膜した太陽電池素子の光起電力特性を示す。70°Cで作製したサンプルにおいて、開放電圧 0.25 V, 短絡電流密度 0.96 mA/cm², 曲線因子 0.42, 変換効率 0.10%を得た。BiI₃ 成膜時の温度の上昇に伴って変換効率が低下した。これは 100°C以上で作製した BiI₃ 膜では 70°Cで作製した BiI₃ 膜に対し、表面モフォロジーの変化や XRD でみられた配向の変化に起因すると考えられる。

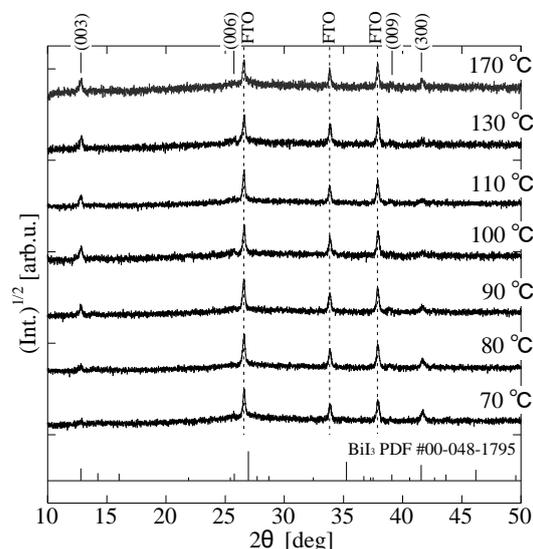


図9 XRD パターンのアニール温度依存性

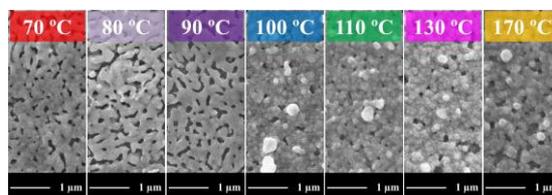


図10 BiI₃ の表面 SEM 像

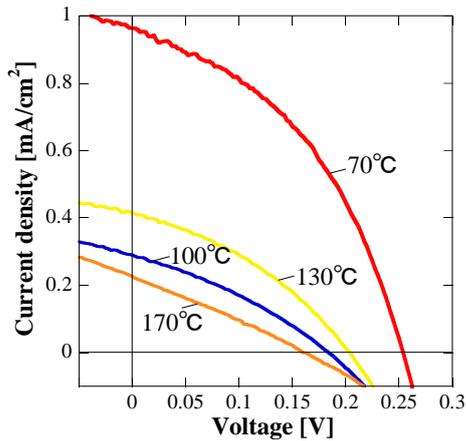


図 11 BiI₃太陽電池の光起電力特性

図 12 に 70°C で作製したセルの外部量子効率を示す。BiI₃ の吸収端以下の波長領域において約 5% の外部量子効率を得られた。またこの吸収端波長から見積もられる BiI₃ のバンドギャップ $E_g=1.82$ eV は、FTO 基板上に作製した BiI₃ 薄膜の透過・反射スペクトルより得られた $E_g=1.86$ eV と良い一致を示しており、BiI₃ が光電変換層として寄与しているといえる。しかしながら、最も良好なセルにおいても変換効率が 0.10% と低いことから、この原因を探るために透過・反射スペクトルより得られたバンドギャップ値と光電子収量分析によるイオン化ポテンシャル値からバンドダイアグラムを作成した (図 13)。

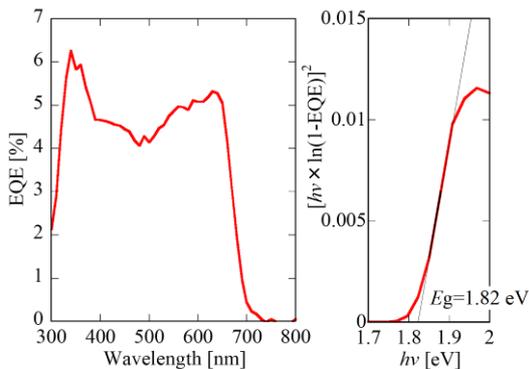


図 12 BiI₃セルの外部量子効率(左) E_g の推定(右)

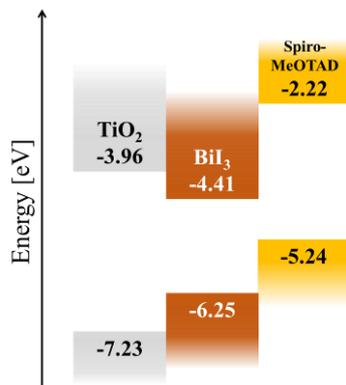


図 13 BiI₃太陽電池セルのバンドダイアグラム

図 13 より、TiO₂/BiI₃ 界面において TiO₂ の伝導帯下端が BiI₃ の伝導帯下端よりも高いエネルギー準位にあるため、電子輸送にエネルギー障壁が存在し、バンドミスマッチが示唆された。また、BiI₃/Spiro-MeOTAD 界面においても価電子帯上端の差が大きく、低い開放電圧の一因となっていることが考えられ、BiI₃ 太陽電池の高効率化のためには、適切な伝導帯下端準位を持つ電子輸送層材料と適切な価電子帯上端準位を持つホール輸送層材料の選択が重要であることが明らかとなった。今後、これらの材料の最適化することでプリント可能な鉛フリーヨウ化物太陽電池を実現できると考えられる。

5. 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 5 件)

- ① Shohei Sasagawa, Hinako Ebe, Hideaki ARAKI, "Fabrication of printable thin film solar cells using BiI₃ absorption layer", *Science of Advanced Materials*, 査読有, 10, 647-650 (2018), doi:10.1166/sam.2018.3139.
- ② Hinako Ebe, Shohei Sasagawa, Hideaki Araki, "Fabrication of perovskite solar cells by reaction between spin-coated precursor films and CH₃NH₃I vapor", *Physica Status Solidi C*, 査読有, 14, No. 6, 1600192-1 - 1600192-4 (2017). doi: 10.1002/pssc.201600192.
- ③ Hinako Ebe and Hideaki Araki, "Fabrication of lead halide perovskite solar cells by annealing spin-coated PbI₂ thin films in CH₃NH₃I vapor", *Japanese Journal of Applied Physics*, 査読有, 55, 02BF11-1 - 02BF11-4 (2016). doi: 10.7567/JJAP.55.02BF11
- ④ Hinako Ebe, Hideaki Araki, "Fabrication of CH₃NH₃PbI₃ Perovskite Solar Cells Using Gas-Phase Reaction", *Proceedings of 5th International Symposium on Technology for Sustainability, ISTS2015 papers*, 査読有, 104-1 - 104-5(2015)
- ⑤ 江部日南子, 笹川祥平, 荒木秀明, 「気相アシスト法による CH₃NH₃PbI₃ 薄膜の作製条件の検討」, 平成 27 年度多元系化合物・太陽電池研究会年末講演会 論文集, 査読無, 130-131 (2015)

[学会発表] (計 15 件)

- ① 樋浦一樹, 荒木秀明, 「鉛フリーヨウ化物光吸収材料を用いた太陽電池の作製」, 平成 29 年度高等専門学校機構第 2 ブロック研究情報交換会, 2017 年 12 月 23 日, 筑波大学 東京キャンパス文京校舎 (東京都・文京区)

- ② 笹川祥平, 家後和美, 江部日南子, 南 愛海, 荒木秀明, 伊崎昌伸, 「 BiI_3 を用いた塗布型薄膜太陽電池の開発」, 平成 28 年度高専連携教育研究プロジェクト進捗状況報告会, 2016 年 12 月 27 日, 豊橋技術科学大学 (愛知県・豊橋市)
- ③ 江部日南子, 荒木秀明, 「非鉛ヨウ化物薄膜の作製と太陽電池への応用」, 第 6 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム, 2016 年 12 月 10 日~2016 年 12 月 11 日, 小山工業高等専門学校 (栃木県・小山市)
- ④ 江平 希, 山谷はな, 佐藤悠斗, 江部日南子, 荒木秀明, 「初学者を対象としたペロブスカイト太陽電池の作製プロセスの検討」, 第 6 回高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム, 2016 年 12 月 10 日~2016 年 12 月 11 日, 小山工業高等専門学校 (栃木県・小山市)
- ⑤ Hinako Ebe, Shohei Sasagawa, Hideaki Araki, "Fabrication of Perovskite Solar Cells by Reaction Between Spin-coated Precursor Films and $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ vapor", International Conference on Ternary and Multinary Compounds ICTMC-20 (国際学会), 2016 年 09 月 05 日~2016 年 09 月 09 日, The Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, Halle(Saale) (ドイツ)
- ⑥ Ryoma TAKANO, Takuma TANAKA, Ryosuke ABE, Tay JIA YIK, Hideaki ARAKI, Toshihiko SAKAI, "Solid state photovoltaic devices based on Fe_2O_3 thin films", 20th International Vacuum Congress (IVC-20) (国際学会), 2016 年 08 月 21 日~2016 年 08 月 26 日, Busan Exhibition Convention Center (BEXCO) (韓国)
- ⑦ Shohei SASAGAWA, Hinako EBE, Hideaki ARAKI, "Fabrication of printable thin film solar cells using BiI_3 absorption layer", 20th International Vacuum Congress (IVC-20) (国際学会), 2016 年 08 月 21 日~2016 年 08 月 26 日, Busan Exhibition Convention Center (BEXCO) (韓国)
- ⑧ 笹川祥平, 江部日南子, 荒木秀明, 「 BiI_3 を用いた塗布型薄膜太陽電池の作製」, 第 63 回応用物理学会春季学術講演会, 2016 年 03 月 19 日~2016 年 03 月 22 日, 東京工業大学 大岡山キャンパス (東京都・目黒区)
- ⑨ 江部日南子, 笹川祥平, 荒木秀明, 「気相アシスト法による $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ 薄膜の作製条件の検討」, 平成 27 年度 応用物理学会「多元系化合物・太陽電池研究会」年末講演会, 2015 年 12 月 11 日~2015 年 12 月 12 日, アオーレ長岡 (新潟県・長岡市)
- ⑩ 江部日南子, 笹川祥平, 荒木秀明, 「気相アシスト法による鉛ハライドペロブスカイト太陽電池の作製」, 第 5 回 高専-TUT 太陽電池合同シンポジウム, 2015 年 12 月 12 日~2015 年 12 月 13 日, 長岡工業高等専門学校 (新潟県・長岡市)
- ⑪ 笹川祥平, 江部日南子, 荒木秀明, 「 BiI_3 を用いた塗布型薄膜太陽電池の開発」, 平成 27 年度 応用物理学会「多元系化合物・太陽電池研究会」年末講演会, 2015 年 12 月 11 日~2015 年 12 月 12 日, アオーレ長岡 (新潟県・長岡市)
- ⑫ 江部 日南子, 笹川 祥平, 荒木 秀明, 「気相アシスト溶液法による有機無機ペロブスカイト太陽電池の作製」, 2015 年 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 2015 年 09 月 13 日~2015 年 09 月 16 日, 名古屋国際会議場 (愛知県・名古屋市)
- ⑬ Hinako Ebe, Hideaki Araki, "Fabrication of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ Perovskite Solar Cells Using Gas-Phase Reaction", 5th International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS2015) (国際学会), 2015 年 08 月 04 日~2015 年 08 月 06 日, Shah Alam (マレーシア)
- ⑭ Hinako Ebe and Hideaki Araki, "Fabrication of Lead Halide Perovskite Solar Cells by Annealing Spin-coated PbI_2 Thin Films in $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ Vapor", The 5th International Symposium on Organic and Inorganic Electronic Materials and Related Nanotechnologies(EM-NANO 2015) (国際学会), 2015 年 06 月 16 日~2015 年 06 月 19 日, 朱鷺メッセ (新潟県・新潟市)
- ⑮ 江部日南子, 荒木秀明, 「気相反応法を用いたペロブスカイト太陽電池の作製」, 第 12 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム, 2015 年 05 月 28 日~2015 年 05 月 29 日, ホテル華の湯 (福島県・郡山市)

6. 研究組織

(1)研究代表者

荒木 秀明 (ARAKI Hideaki)

長岡工業高等専門学校・物質工学科・教授

研究者番号：40342480