

令和 6 年 9 月 12 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05318

研究課題名（和文）帯電ミスト成膜法による結晶Si/ペロブスカイト3接合素子の開発

研究課題名（英文）Crystalline Si/perovskite triple junction solar cells by mist deposition

研究代表者

白井 肇（Shirai, Hajime）

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：30206271

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）：MoO<sub>3</sub>/Au/IZO構造を利用してPSC系2接合およびN-Si/PSC/PSC 3接合素子作製を試みた。開放電圧VocはSi/PSC2接合素子で1.7Vまで増大したがJscは<20 mA/cm<sup>2</sup>に低減し、効率は3-4%であった。更にSi/PEDOT:PSS/FA0.9Cs0.1PbI<sub>3</sub> 2接合素子上にMoO<sub>3</sub>/IZOを中間電極および窓材として半透明FA0.9Cs0.1PbI<sub>3</sub>-zBrz素子を試作した。その結果効率：3-4%（Jsc：5 mA/cm<sup>2</sup>，Voc：1.7 V，FF：0.4）を得た。MoO<sub>3</sub>/IZO積層構造が2、3接合素子の中間電極・上部素子の窓材として適用可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在ペロブスカイト系薄膜太陽電池は塗布プロセスで高効率を実現されていることから異なるバンドギャップを有する太陽電池の他接合化による高電圧、高効率化が積極的に研究されている。その際中間電極および上部半透明素子の窓層に有望な部材探索およびプロセス技術の開発が必須となる。既存のスピンコート法に対して溶液原料からの気相成長法を利用してMoO<sub>3</sub>/IZOなどの透明電極および窓層の成膜技術は下地膜への損傷フリーな成膜技術として期待される。またMoO<sub>3</sub>/IZO積層構造は各種多接合素子の中間電極・窓層としての応用が期待される。

研究成果の概要（英文）：We attempted to fabricate PSC-based two-junction and N-Si/PSC/PSC three-junction devices using the MoO<sub>3</sub>/Au/IZO structure. Voc increased to 1.7 V, but Jsc decreased to <20 mA/cm<sup>2</sup>, and the efficiency was 3-4%. Furthermore, we fabricated a semi-transparent FA0.9Cs0.1PbI<sub>3</sub>-zBrz device using MoO<sub>3</sub>/IZO as the intermediate electrode and window material on a Si/PEDOT:PSS/FA0.9Cs0.1PbI<sub>3</sub> two-junction device. As a result, we obtained an efficiency of 3-4% (Jsc: 5 mA/cm<sup>2</sup>, Voc: 1.7 V, FF: 0.3-0.4). The MoO<sub>3</sub>/IZO stacked structure can be used as the intermediate electrode and window material for the upper element of two- and three-junction devices.

研究分野：応用物性、太陽電池

キーワード：ペロブスカイト薄膜 結晶Si系太陽電池 中間電極 半透明太陽電池 正孔輸送層 SnO<sub>2</sub>電子輸送層  
ミストCVD

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

ペロブスカイト薄膜太陽電池(PSC)の効率は年々高効率化し、2024年現在~26%まで向上している。現在大面積・モジュール化・信頼性の向上の他 pin 逆構造での SAM 処理による正孔輸送層の超薄膜化および結晶 Si や化合物半導体薄膜系素子との多接合化による高電圧化が研究対象になりつつある[1-6]。中でも信頼性の高い既存の c-Si 系ヘテロ接合太陽電池を下部素子とした PSC との多接合化は比較的初期の段階から検討されてきた。当該研究の最終目的は、溶液プロセスを主体とした n-Si/PEDO:PSS 素子を下部素子としてバンドギャップエネルギー $E_g$ の異なる PSC 2 接合素子との 3 接合素子による高効率化 (高電圧化:  $>3\text{ V}$ ) を実現することにある。先行研究で導電性高分子 PEDOT:PSS/結晶(c)-Si 接合太陽電池 N 型結晶 Si(c-Si) 上に正孔輸送能に優れた PEDOT:PSS を塗布し、Si 裏面に霧化塗布法により 2-5 nm 厚アモルファス  $\text{SnO}_2$  を電子輸送層として塗布することで効率 13-15% が得られることを報告した[7]。しかし開放電圧  $V_{oc}$  は 0.62-0.64 V であることから、より一層の高電圧化を目指し、並行して進めてきた溶媒化学を主体とした  $\text{FA}_{0.8}\text{Cs}_{0.2}\text{PbI}_3$  ( $\text{FA}=(\text{NH}_2)_2\text{CH}$ ) ( $E_g = 1.57\text{ eV}$ ) (PSC) 素子を上部素子とした 2 接合太陽電池を検討してきた。具体的には n-Si/PEDOT:PSS 素子と上部  $\text{FA}_{0.8}\text{Cs}_{0.2}\text{PbI}_3$  素子との接合および上部窓層の部材探索を主体に上部半透明 PSC 素子の検討を行った (図 1)。具体的には金ナノ粒子を挿入した  $\text{MoO}_3/\text{IZO}$  積層構造の各膜厚を真空蒸着およびスパッタ法で最適化した膜厚 ( $\text{IZO}:50\text{ nm}$ ,  $\text{MoO}_3:50\text{ nm}$ ) を採用することで効率 RS : 19.3% (FW : 17.5%) まで向上した (図 2)。中間電極として機能することを明らかにした。更に  $\text{MoO}_3/\text{IZO}$  積層構造が上部 PSC の窓層としても機能することを明らかにしている[8]。

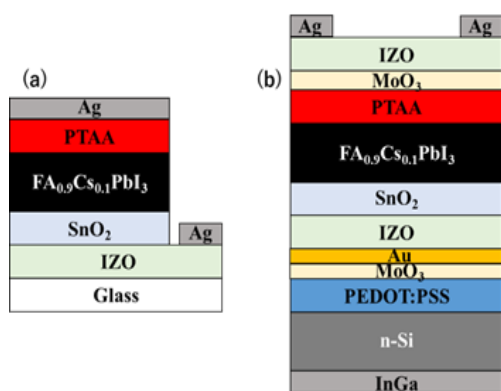


図 1. (a)PSC (b)Si/PS, PSC2 接合太陽電池の模式図

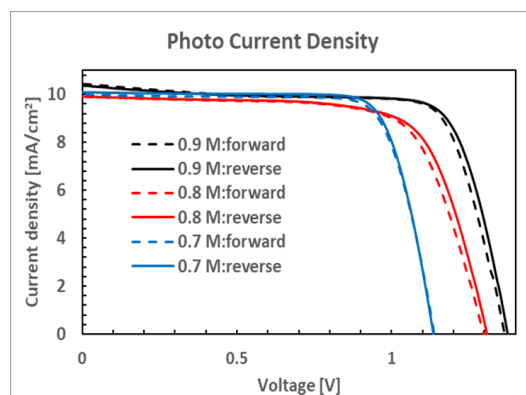


図 2. n-Si/PEDOT:PSS/ $\text{FA}_{0.8}\text{Cs}_{0.2}\text{PbI}_3$  系 2 接合素子の J-V 特性

### 2. 研究の目的

本研究は、 $\text{MoO}_3/\text{IZO}$  積層構造を  $E_g$  の異なる PSC 系薄膜 2 接合素子の中間電極、上部素子の窓層への応用および n-Si/PEDOT:PSS 素子との 3 接合素子による  $V_{oc}>3\text{ V}$  の実現を目的とする。

### 3. 研究の方法

PSC の作製は、電子輸送層  $\text{SnO}_2$  はスパッタおよびナノ粒子溶液のスピンコート成膜による二層構造を採用した。スパッタ法で 40 nm 厚  $\text{SnO}_2$  を成膜した。その後ナノ粒子溶液は塩化スズ(II)二水和物( $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )から精製し、スピンコート(SC)後 180 °C で 1 時間熱処理する

ことで膜厚 40 nm 成膜した。PSC の作製はガラス基板に IZO 層を Ar : O<sub>2</sub> (99 : 1) でガスを投入し、基板ターゲット間距離: 85 mm、RF 電力 30 W、内圧 6.0×10<sup>-4</sup> Pa で成膜(100 nm)し、電子輸送層として上記の二層構造 SnO<sub>2</sub> 層を用いた。その後 Cs/FA 比  $x$ 、Br/I 比  $y$  を変数として PS 前駆体溶液を SC した後、170 °C で 10 分間熱処理し FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>PbI<sub>3</sub>、FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>1-y</sub>Br<sub>y</sub>)<sub>3</sub> 薄膜(250~280 nm)を成膜した。正孔輸送層として 4-イソプロピル-4'-メチルジフェニルヨードニウムテトラキス(ペンタフルオロフェニル)ボラート(TPFB)をドーピングしたポリ[ビス(4-フェニル)(2,4,6-トリメチルフェニル)アミン(PTAA)層を塗布し、上部電極に Ag を用いた(図 1)。

### (1) E<sub>g</sub> の異なる FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>1-y</sub>Br<sub>y</sub>)<sub>3</sub> 薄膜の作製

FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>1-z</sub>Br<sub>z</sub>)<sub>3</sub> の作製では、 $z$  比率を変数として (FAPbI<sub>3</sub>)<sub>1-z</sub>(CsPbBr<sub>3</sub>)<sub>z</sub> 薄膜を  $y = 0.125, 0.25, 0.35$  で薄膜の作製を行った。また SnO<sub>2</sub> 電子輸送層上に FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>0.65</sub>Br<sub>0.35</sub>)<sub>3</sub> 薄膜を SC 法で成膜し、PL 法で面内ピーク波長分布の観察を行い、Cs/FA 比率  $x=0.1$  で最も面内均質性が向上したため、以下  $x=0.1$  を採用した。更に PS 層上に正孔輸送層(HTL)として大気安定性に優れた 2,2',7,7'-tetrakis[N,N-di(4-methoxy phenyl) amino]-9,9'-spirobifluorene 層を採用し、銀電極を設けることで素子を作製した。

### (2) MoO<sub>3</sub>/IZO 積層構造の中間電極・窓層の作製と評価

E<sub>g</sub> の異なる PSC2 接合素子の中間電極層および上部半透明 PSC の窓層には先行研究 n-Si/PEDOT:PSS/PSC(E<sub>g</sub>=1.57 eV)で利用した MoO<sub>3</sub>/Au ナノ粒子(5 nm)/IZO 積層構造を利用した。Au のプラズモンニック吸収が 500 nm 領域に存在するが透過率への影響は 5~10%であった。また IZO の再結合層のない SnO<sub>2</sub>/PEDOT:PSS では直列抵抗が 6.8 ohm cm<sup>2</sup>、IZO 層を挿入することで 6.2 ohm cm<sup>2</sup>、MoO<sub>3</sub>/IZO 界面に Au ナノ粒子 (5nm) 層挿入することで 4.6 ohm cm<sup>2</sup> まで減少した。

### (3) PSC/PSC モノリシック 2 接合薄膜素子の作製

本研究では前年度までに最適化した n-Si/PEDOT:PSS/PSC(E<sub>g</sub>=1.57 eV)の結果を基に I/Br=0.35 の FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>1-y</sub>Br<sub>y</sub>)<sub>3</sub>(E<sub>g</sub>=1.77 eV)/FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>PbI<sub>3</sub> (E<sub>g</sub>=1.57 eV) 構造 2 接合薄膜素子を試作した。FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>1-y</sub>Br<sub>y</sub>)<sub>3</sub>(E<sub>g</sub>=1.77 eV)単一素子の作製・評価を行った後に前年度までに最適化した MoO<sub>3</sub>/Au ナノ粒子/IZO を積層中間電極および MoO<sub>3</sub>/IZO 積層構造を上部 PSC (E<sub>g</sub>=1.77 eV) 素子の窓層に用いた半透明 PSC モノリシック 2 接合素子を作製した。

## 4. 研究成果

### (1) FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>1-y</sub>Br<sub>y</sub>)<sub>3</sub> 単一素子の作製と評価

図 3 は FTO 付ガラス基板上に SnO<sub>2</sub> を電子輸送層とした (FAPbI<sub>3</sub>)<sub>1-y</sub>(CsPbBr<sub>3</sub>)<sub>y</sub> (y= 0.35, E<sub>g</sub>=1.77 eV)PSC の I-V 特性および断面 SEM 像を示す。FS で 11.2%, BS で 13.5%を得た。また断面 SEM 観察から膜全体にわたって結晶粒径が 1 μm 以上に成長していることがわかった。

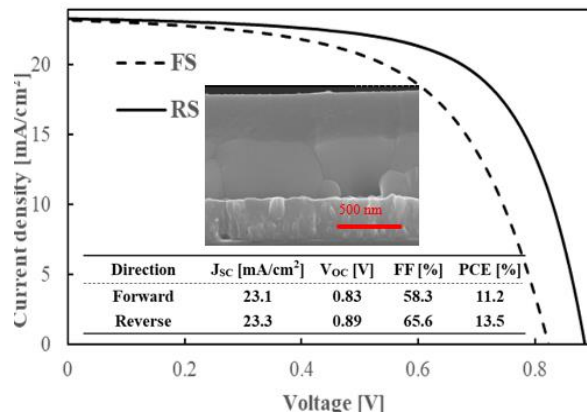


図 3 FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>0.6</sub>Br<sub>0.3</sub>)<sub>3</sub>PSC の I-V 特性および素子の断面 SEM 像

図 4 は半透明 FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>PbI<sub>3</sub>, FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>0.6</sub>Br<sub>0.3</sub>)<sub>3</sub> 単一 PSC 素子の AM1.5G, 100 mW/cm<sup>2</sup> 白色光照射時における J-V 特性を示す。測定は順方向 (5 V → 1.5 V) (FS :実線) 及び逆方向掃引 (5 V → -0.5 V) (RS :点線) で行った。また結晶粒径は I/Br 比を変化させても図 3 同様膜厚全体にわたって 1 μm 以上を維持し、高い結晶性が維持されていることがわかった。極性因子 FF は 60-65 %, PCE は 8-9% (RS) を示した。FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>PbI<sub>3</sub>, FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>0.6</sub>Br<sub>0.3</sub>)<sub>3</sub>PSC の J-V 特性を示す。J<sub>sc</sub> は両者で大きな差異は観察されなかったが、I<sub>3</sub> 素子で V<sub>oc</sub>(I)<sub>RS</sub>=1.05 V、Br/I=0.3 で V<sub>oc</sub>(II)<sub>RS</sub>=1.2 V を得た。

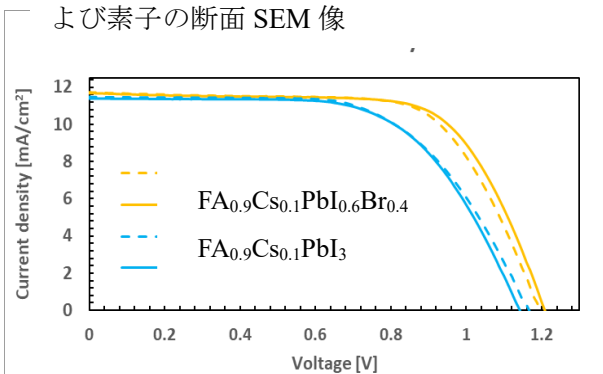


図 4 半透明 FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>PbI<sub>3</sub>, FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>0.6</sub>Br<sub>0.3</sub>)<sub>3</sub> 単一 PSC 素子の AM1.5G, 100 mW/cm<sup>2</sup> 白色光照射時における J-V 特性

## (2) MoO<sub>3</sub>/IZO 積層構造を用いた FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>PbI<sub>3</sub>/FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>0.6</sub>Br<sub>0.4</sub>)<sub>3</sub>2 接合薄膜太陽電池

図 5 は先行研究で最適化した IZO/A ナノ粒子/MoO<sub>3</sub> を中間電極および MoO<sub>3</sub>/IZO を上部素子の窓層に用いた SnO<sub>2</sub> 上 FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>PbI<sub>3</sub>/FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>0.6</sub>Br<sub>0.4</sub>)<sub>3</sub>2 接合薄膜素子および (n-Si/PEDOT:PSS)/FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>PbI<sub>3</sub>/FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>0.6</sub>Br<sub>0.4</sub>)<sub>3</sub> 接合素子の擬似太陽光照射下での J-V 曲線を n-Si/PEDOT:PSS 素子の結果とともに示す。V<sub>oc</sub> は単一素子の値から 2.1~2.2V 以上が期待されたが V<sub>oc</sub>:1.7 V(RS)であった。この要因には下部・上部素子および MoO<sub>3</sub>/IZO の膜厚の最適化が十分でないことが挙げられる。更に n-Si/ FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>PbI<sub>3</sub>/FA<sub>0.9</sub>Cs<sub>0.1</sub>Pb(I<sub>0.6</sub>Br<sub>0.4</sub>)<sub>3</sub> 接合素子の試作を行ったが、直列抵抗が大きく、効率<4%(BS)で V<sub>oc</sub>>3V 以上の目標には達しなかった。より一層の性能向上のためには、Si 上の PSC のバンドギャップ E<sub>g</sub> の再検討、各 PSC 層の膜厚の最適化および Au ナノ粒子に変わる部材探索、プロセス技術を含めた MoO<sub>3</sub>/IZO 成膜条件の再検討が必須となる。最近ではミスト塗布法による PSC 成膜で単一素子において効率 18%を達成していることから、継続して気相成長による PSC2 接合素子および 3 接合素子性能の向上を進めていくことを予定している。以上 PSC 積層薄膜素子でも IZO/Au/MoO<sub>3</sub> 積層構造は中間電極および窓層として機能することを実証した。

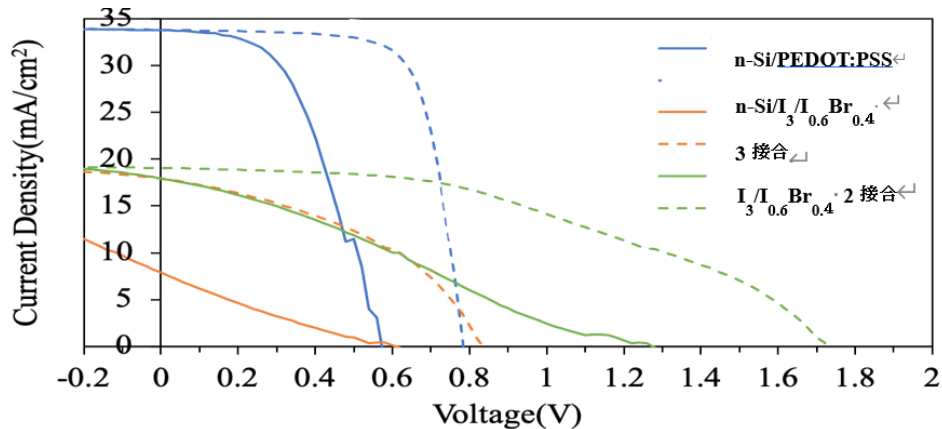


図 5. n-Si/PEDOT:PSS,  $\text{FA}_{0.9}\text{Cs}_{0.1}\text{Pb}(\text{I}_{0.6}\text{Br}_{0.4})_3/\text{FA}_{0.9}\text{Cs}_{0.1}\text{PbI}_3$  2 接合および  $(\text{n-Si/PEDOT:PSS})/\text{FA}_{0.9}\text{Cs}_{0.1}\text{PbI}_3/\text{FA}_{0.9}\text{Cs}_{0.1}\text{Pb}(\text{I}_{0.6}\text{Br}_{0.4})_3$  3 接合素子の J-V 特性

## まとめ

$\text{MoO}_3/\text{Au}$  ナノ粒子/ $\text{IZO}$ ,  $\text{MoO}_3/\text{IZO}$  が PSC 2 接合素子でも機能することを明らかにした。しかし n-Si/PSC/PSC 3 接合素子で  $V_{oc} > 3\text{V}$  を達成することはできなかった。残る課題については並行して進めてきたミスト気相成長法による損傷の少ない界面形成技術を適用することで界面損傷が抑制された多接合素子を実現できる可能性を得ていることから継続して検討を進めていく予定である。

## <引用文献>

1. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Best Research-Cell Efficiency Chart. 2023. Available online: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html> (accessed on). 2023, Dec.27<sup>th</sup>.
2. Shockley, W.; Queisser, H. Detail balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. *J. Appl. Phys.* **1961**, *32*, 510–519. <https://doi.org/10.1063/1.1736034>.
3. Ruhle, S. Tabulated values of the Shockley-Queisser limit for single junction solar cells. *Sol. Energy* **2016**, *130*, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.02.015>.
4. Akhil, S.; Akash, S.; Pasha, A.; Kulkarni, B.; Jalalah, M.; Alsaiani, M.; Harraz, F.A.; Balakrishna, R. Review on perovskite silicon tandem solar cells: Status and prospects, 2T, 3T, and 4T for real worlds conditions. *Mater. Des.* **2021**, *211*, 110138. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110138>.
5. Maioa, J.; Ballie, C.; John, E.; Hoke, E.; Akey, A.; Nguyen, W.; McGehee, M.; Bounassisi, T. A 2-terminal perovskite/silicon multijunction solar cell enabled by a silicon tunnel junction. *Appl. Phys. Lett.* **2005**, *106*, 121105. <https://doi.org/10.1063/1.4914179>.
6. 白井肇、A.T.M. S. Islam、石川良, Carrier Transport in PEDOT:PSS/n-Si Heterojunction Solar Cells. 応用物理学会誌 **2019**, 88-5, 351-355.
7. Ukai, R.; Wasai, Y.; Izumi, Y.; Shirai, H. Solution-processed monolithic tandem perovskite/n-Si hybrid solar cells efficient  $\text{MoO}_3/\text{InZnO}$  bilayer-based interconnecting and window layers. *Crystals*. **2023**, [10.3390/cryst14010068](https://doi.org/10.3390/cryst14010068).
8. Ishikawa, R.; Ueno, K.; Shiai, H. Fabrication of  $\text{FA}_{0.8}\text{Cs}_{0.2}\text{PbI}_3$  Perovskite Thin Films by One-step Method Using 1-Cyclohexyl-2-pyrrolidone as Additive with Application to n-i-p Planar-structured Solar Cells. *Chemistry Letters* **2018**, *47*, 905-908. [DOI.org/10.1246/cl.180216](https://doi.org/10.1246/cl.180216)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計17件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kuddus Abdul, Yokoyama Kojun, Fan Wenbo, Ueno Keiji, Shirai Hajime	4. 巻 5
2. 論文標題 Carrier Transport Properties in Few-Layer WS <sub>0.3</sub> Se <sub>1.7</sub> /(WO <sub>x</sub> )WS <sub>0.3</sub> Se <sub>1.7</sub> Lateral p+/n Junctions Using a Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor (MOSFET) Structure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 1546 ~ 1557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c01598	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 Kuddus Abdul, Yokoyama Kojun, Shirai Hajime	4. 巻 37
2. 論文標題 Direct synthesis of submillimeter-sized few-layer WS <sub>2</sub> and WS <sub>0.3</sub> Se <sub>1.7</sub> by mist chemical vapor deposition and its application to complementary MOS inverter	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Semiconductor Science and Technology	6. 最初と最後の頁 095020 ~ 095020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6641/ac84fb	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 Yokoyama Kojun, Kuddus Abdul, Hossain Md Faruk, Shirai Hajime	4. 巻 4
2. 論文標題 Mesh Bias Controlled Synthesis of TiO <sub>2</sub> and Al <sub>0.74</sub> Ti <sub>0.26</sub> O <sub>3</sub> Thin Films by Mist Chemical Vapor Deposition and Applications as Gate Dielectric Layers for Field-Effect Transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 2516 ~ 2524
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c00286	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 Rajib Arifuzzaman, Kuddus Abdul, Yokoyama Kojun, Shida Tomohiro, Ueno Keiji, Shirai Hajime	4. 巻 131
2. 論文標題 Mist chemical vapor deposition of Al <sub>1-x</sub> Ti <sub>x</sub> O <sub>y</sub> thin films and their application to a high dielectric material	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 105301 ~ 105301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0073719	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 Onishi Hideto, Miyake Mikio, Shirai Hajime	4. 巻 61
2. 論文標題 Resolution capability of resist patterns and throughput using alkaline treatment under ultrasonic irradiation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 021002 ~ 021002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac3ef6	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 Kuddus Abdul, Rajib Arifuzzaman, Yokoyama Kojun, Shida Tomohiro, Ueno Keiji, Shirai Hajime	4. 巻 33
2. 論文標題 Mist chemical vapor deposition of crystalline MoS2 atomic layer films using sequential mist supply mode and its application in field-effect transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanotechnology	6. 最初と最後の頁 045601 ~ 045601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6528/ac30f4	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 Rajib Arifuzzaman, Enamul Karim Md, Kurosu Shunji, Ukai Tomofumi, Tokuda Masahide, Fujii Yasuhiko, Hanajiri Tatsuro, Ishikawa Ryo, Ueno Keiji, Shirai Hajime	4. 巻 38
2. 論文標題 Synthesis of AlOx thin films by atmospheric-pressure mist chemical vapor deposition for surface passivation and electrical insulator layers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science and Technology A	6. 最初と最後の頁 033413 ~ 033413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/1.5143273	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 Rajib Arifuzzaman, Kuddus Abdul, Shida Tomohiro, Ueno Keiji, Shirai Hajime	4. 巻 3
2. 論文標題 AlOx Thin Films Synthesized by Mist Chemical Vapor Deposition, Monitored by a Fast-Scanning Mobility Particle Analyzer, and Applied as a Gate Insulating Layer in the Field-Effect Transistors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 658 ~ 667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaelm.0c00758	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. E. Karim, Y. Nasuno, A. Kuddus, T. Ukai, S. Kurosu, M. Tokuda, Y. Fujii, Y. Nakajima, T. Hanajiri, R. Ishikawa, K. Ueno, H. Shirai	4. 巻 128
2. 論文標題 Effect of Thermal Annealing of ALD-AlO <sub>x</sub> /Chemical Tunnel Oxide Stack Layer on the Junction Properties at the Organic/n-type Silicon Interface	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 45305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0007918	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 Mondal Bipanko Kumar, Mostaque Shaikh Khaled, Rashid Md. Abdur, Kuddus Abdul, Shirai Hajime, Hossain Jaker	4. 巻 152
2. 論文標題 Effect of CdS and In <sub>3</sub> Se <sub>4</sub> BSF layers on the photovoltaic performance of PEDOT:PSS/n-Si solar cells: Simulation based on experimental data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Superlattices and Microstructures	6. 最初と最後の頁 106853 ~ 106853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.spmi.2021.106853	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 Rajib Arifuzzaman, Kuddus Abdul, Yokoyama Kojun, Shida Tomohiro, Ueno Keiji, Shirai Hajime	4. 巻 131
2. 論文標題 Mist chemical vapor deposition of Al <sub>1-x</sub> Ti <sub>x</sub> O <sub>y</sub> thin films and their application to a high dielectric material	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 105301 ~ 105301
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0073719	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 Yokoyama Kojun, Kuddus Abdul, Hossain Md Faruk, Shirai Hajime	4. 巻 1
2. 論文標題 Mesh Bias Controlled Synthesis of TiO <sub>2</sub> and Al <sub>0.74</sub> Ti <sub>0.26</sub> O <sub>3</sub> Thin Films by Mist Chemical Vapor Deposition and Applications as Gate Dielectric Layers for Field-Effect Transistors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.2c00286	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 Onishi Hideto, Miyake Mikio, Shirai Hajime	4. 巻 61
2. 論文標題 Resolution capability of resist patterns and throughput using alkaline treatment under ultrasonic irradiation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 021002 ~ 021002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac3ef6	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 Rajib Arifuzzaman, Enamul Karim Md, Kurosu Shunji, Ukai Tomofumi, Tokuda Masahide, Fujii Yasuhiko, Hanajiri Tatsuro, Ishikawa Ryo, Ueno Keiji, Shirai Hajime	4. 巻 38
2. 論文標題 Synthesis of AlOx thin films by atmospheric-pressure mist chemical vapor deposition for surface passivation and electrical insulator layers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Vacuum Science & Technology A	6. 最初と最後の頁 033413 ~ 033413
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1116/1.5143273	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 Rajib Arifuzzaman, Kuddus Abdul, Shida Tomohiro, Ueno Keiji, Shirai Hajime	4. 巻 3
2. 論文標題 AlOx Thin Films Synthesized by Mist Chemical Vapor Deposition, Monitored by a Fast-Scanning Mobility Particle Analyzer, and Applied as a Gate Insulating Layer in the Field-Effect Transistors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 658 ~ 667
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsaem.0c00758	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 Karim Md Enamul, Nasuno Yuki, Kuddus Abdul, Ukai Tomofumi, Kurosu Shunji, Tokuda Masahide, Fujii Yasuhiko, Hanajiri Tatsuro, Ishikawa Ryo, Ueno Keiji, Shirai Hajime	4. 巻 128
2. 論文標題 Effect of thermally annealed atomic-layer-deposited AlOx/chemical tunnel oxide stack layer at the PEDOT:PSS/n-type Si interface to improve its junction quality	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 045305 ~ 045305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0007918	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 Bipanko KumarMondala, Shaikh KhaledMostaquea, Md. Abdur Rashid, Abdul Kuddus, HajimeShirai, Jaker Hossain	4. 巻 152
2. 論文標題 Effect of CdS and In3Se4 BSF layers on the photovoltaic performance of PEDOT:PSS/n-Si solar cells: Simulation based on experimental data	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Superlattices and Microstructures	6. 最初と最後の頁 106853
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.spmi.2021.106853	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

〔学会発表〕 計23件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 鶴飼隆一、石川良、白井肇
2. 発表標題 PEDOT:PSS/n-Si接合を下部素子としたF0.9Cs01PbI3ペロブスカイト系モノリシック2接合太陽電池の作製
3. 学会等名 第70回春季応用物理学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤亮汰、白井肇
2. 発表標題 分光エリブソメトリーによるPEDOT:PSS, SELFTRON膜のキャリア濃度評価
3. 学会等名 第70回春季応用物理学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐藤亮汰、伊達仁基、石川良、上野啓司、白井肇
2. 発表標題 導電性高分子SELFTRON/n-Si接合太陽電池
3. 学会等名 第70回春季応用物理学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山工純、范文博、白井肇
2. 発表標題 ミストCVD法によるAtiO <sub>2</sub> , A0x合金薄膜及び積層膜の作製
3. 学会等名 第70回春季応用物理学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 横山工純、Abdul Kuddus, 白井肇
2. 発表標題 Mist-CVD法によるTi(acac) <sub>2</sub> OiPr <sub>2</sub> ミスト挙動
3. 学会等名 第83回秋季応用物理学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 横山工純、Abdul Kuddus, 白井肇
2. 発表標題 Mist-CVD法によるTiO <sub>2</sub> 膜のマイクロキャビティ内へのコンフォーマル形成
3. 学会等名 第69回春季応用物理学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤亮汰、白井肇
2. 発表標題 分光エリブソメトリーによるミストCVD法で作製したCu <sub>2</sub> O膜の評価
3. 学会等名 第69回春季応用物理学術講演会
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 A. Kuddus, A. Rajib, K. Shimomura, K. Yokoyama, K. Ueno, H. Shirai
2 . 発表標題 Digitalized Mist-Chemical Vapor Deposition of atomic-layer Molybdenum Disulfide (MoS <sub>2</sub> ) Flakes at Low Temperatures
3 . 学会等名 第68回春季応用物理学会
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Kuddus, A. Rajib, R. Kizaki, K. Yokoyama, K. Ueno, H. Shirai
2 . 発表標題 Synthesis of 2D MoS <sub>2</sub> and WS <sub>2</sub> -xSex thin films by Mist-CVD
3 . 学会等名 第68回秋季応用物理学学术学会
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Kuddus, A. Rajib, R. Kizaki, K. Yokoyama, K. Ueno, H. Shirai
2 . 発表標題 Mist Chemical Vapor Deposition of Crystalline MoS <sub>2</sub>
3 . 学会等名 International Conference and Expo on Catalysis, Chemical Engineering and Technology ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Kuddus, and H. Shirai
2 . 発表標題 Synthesis of Two-Dimensional Transition-Metal Dichalcogenides by Mist Chemical Vapor Deposition for Field-Effect Transistors
3 . 学会等名 6th World Congress on Nanomaterials ( 国際学会 )
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 A. Kuddus, R. Kizaki, K. Yokoyama, and H. Shirai
2. 発表標題 Carrier transport in 2D WS <sub>2</sub> -xSex FETs
3. 学会等名 第69回春季応用物理学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石川良、上野啓司、白井肇
2. 発表標題 フルオロフェニルリン酸添加による ペロブスカイト太陽電池の高性能化
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山工純、Arifuzzaman Rajib、Abdul Kuddus、志田知洋、上野啓司、白井肇
2. 発表標題 Mist-CVD法によるAlO <sub>x</sub> , TiO <sub>2</sub> 成膜におけるメッシュバイアス印加の効果
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横山工純、Abdul Kuddus、白井肇
2. 発表標題 ミストCVD法によるTiO <sub>2</sub> 膜のマイクロキャピティ内へのコンフォーマル形成
3. 学会等名 第69回春季応用物理学会
4. 発表年 2022年

1 . 発表者名 A. Kuddus, R. Kizaki, K. Yokoyama, and H. Shirai
2 . 発表標題 PEDOT:PSS/2D WS <sub>2</sub> -xSex /n-Si Heterojunction Solar Cells
3 . 学会等名 第69回春季応用物理学会
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Yokoyama, A. Rajib, A. Kuddus, T. Shida, K. Ueno, and H. Shirai
2 . 発表標題 Synthesis of Aluminum Titanium oxide thin films by a mist chemical vapor deposition and their potential as High-K dielectric materia
3 . 学会等名 International Conference and Expo on Catalysis, Chemical Engineering and Technology ( 国際学会 )
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Rajib, A. Kuddus, T. Shida, K. Yokoyama, K. Ueno, and H. Shirai
2 . 発表標題 Al <sub>1-x</sub> Ti <sub>x</sub> O <sub>y</sub> Thin Films Synthesized by Mist-CVD and Applied as a Gate Insulating Layer
3 . 学会等名 The 68th JSAP Spring Meeting
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Rajib, A. Kuddus, K. Enamul, S. Kurosu, T. Ukai, M. Tokuda, Y. Fujii, T. Hanajiri, R. Ishikawa, K. Ueno, and H. Shirai
2 . 発表標題 The role of water in the synthesis of AlO <sub>x</sub> thin films by a mist chemical vapor deposition
3 . 学会等名 The 67th JSAP Spring Meeting
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 A. Rajib, A. Kuddus, T. Shida, K. Ueno, and H. Shirai
2 . 発表標題 Mist-CVD of AlO <sub>x</sub> thin films monitored by fast scanning mobility particle analyzer and its application to FETs
3 . 学会等名 The 30th Materials Research Meeting
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 A. Rajib, T. Shida, A. Kuddus, K. Ueno, and H. Shirai
2 . 発表標題 Synthesis of AlO <sub>x</sub> thin films by mist-CVD and its application to dielectric layer for MOS-FET
3 . 学会等名 The 51st The Society of Chemical Engineers SCEJ Autumn Meeting
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Md E. Karim, A. Rajib, Y. Nasuno, T. Ukai, S. Kurosu, M. Tokuda, Y. Fujii, T. Hanajiri, R. Ishikawa, K. Ueno, H. Shirai
2 . 発表標題 Effect of the tunnel oxide/AlO <sub>x</sub> stacked hole-selective contacts on the junction properties at PEDOT:PSS/n-type Si interface
3 . 学会等名 The 67th JSAP Spring Meeting
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Y. Nasuno, R. Ishikawa, and H. Shirai
2 . 発表標題 ペロブスカイト n-Si/PEDOT:PSS タンデム型太陽電池に向けた SnO <sub>2</sub> ナノ粒子溶液の合成と評価
3 . 学会等名 The 68th JSAP Spring Meeting
4 . 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 石川良、白井肇	4. 発行年 2022年
2. 出版社 日本オプトメカトロニクス協会	5. 総ページ数 8
3. 書名 自己偏析を活用したペロブスカイト太陽電池の高性能化	

〔産業財産権〕

〔その他〕

並行して推進していたミスTVD法により、各種金属酸化膜からなる太陽電池基盤材料の正孔輸送層、電子輸送層の成膜法を開発し、Si系太陽電池、リチウムイオン電池の正極・負極材料に応用できることを明らかにした。

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
研究分担者	花尻 達郎  (Hanajiri Tatsuro)  (30266994)	東洋大学・理工学部・教授    (32663)	
研究分担者	石川 良  (Ishikawa Ryo)  (90708778)	埼玉大学・理工学研究科・助教    (12401)	

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