

令和 3 年 6 月 29 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02451

研究課題名（和文）30%超タンデム太陽電池用超薄膜ペロブスカイト太陽電池と光閉じ込め貼り合わせ技術

研究課題名（英文）Ultra thin perovskite solar cell for over 30% tandem solar cell and light confining bonding technology

研究代表者

伊原 学（Ihara, Manabu）

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：90270884

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,900,000円

研究成果の概要（和文）：太陽電池の変換効率30%超に向けて、異なるバンドギャップの発電層を積層するタンデム太陽電池の開発、トップセル、ボトムセルと接合面それぞれの効率ロスの最小化が必要である。トップセルのペロブスカイト薄膜の結晶粒径を独立に制御する手法を開発し、変換効率との関係を明らかにした。ボトムセルは単結晶Siのコスト低減に向け、多孔質基板表面のナノレベル粗さ低減と急速蒸着法による、ウェハと同等品質を持つ薄層単結晶Si作成プロセスを開発した。界面層は、Siの表面再結合を抑制するパッシベーション層とペロブスカイトの電子輸送層を兼ねるTiO₂膜とSi界面の熱処理によるパッシベーション特性の向上を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

太陽電池の効率30%超を達成するためのタンデム太陽電池の開発は、脱炭素電源の主力化に向けて重要である。また、本研究の各項目において得られた学術的な意義は大きい。ペロブスカイト太陽電池においては、これまでできていなかった、発電効率に他の要素を一定にして結晶粒径のみを変化させる手法を確立し、発電特性との直接の関連性をはじめ明らかにした。Si単結晶薄膜製造プロセスでは、結晶化しながら急速に堆積する本プロセスにおいて、原子レベルの凹凸の違いが得られる単結晶の欠陥密度に大きな影響を与えるという、結晶学的に重要な知見となった。

研究成果の概要（英文）：To achieve the solar cell with above 30% conversion efficiency, to develop the tandem solar cells which have the multiple power generation layers is necessary with different bandgaps with minimizing the efficiency loss at top cells, bottom cells and their interface. The method to independently control the grain size of perovskite thin film was developed and the effect of grain size on the efficiency of perovskite solar cell was clarified. To reduce the cost of monocrystalline Si bottom cell, the fabrication process of wafer level thin monocrystalline Si was developed by nanometer-level smoothing of porous Si underlayer and the epitaxy by rapid vapor deposition on it. As for the Si/perovskite interface, the effect of thermal annealing process on the TiO₂ interlayer was investigated which works as the passivation layer of the bottom Si surface and the electron transfer layer of perovskite top cell.

研究分野：化学工学

キーワード：solar cell tandem solar cell monocrystalline thin Si perovskite passivation

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ペロブスカイト/Si ハイブリッドタンデム太陽電池では、理論的には30%以上の変換効率が可能である。しかし、電流マッチングの必要ない4端子型タンデム構造でさえ、14%程度の変換効率にとどまったと報告されている。実験的に得られたペロブスカイト/Si ハイブリッド4端子型タンデム太陽電池14%の変換効率から、この論文発表時でのペロブスカイト太陽電池の変換効率レコード15% (開放電圧: 0.993V、短絡電流密度: 20.0mA/cm²、フィルファクター: 0.73) をトップセルとして想定するとタンデム太陽電池の変換効率は、17.6%となり、さらに Si ハイブリッド太陽電池の効率レコードである 24.7%を想定すると 18.7%の効率になると予想している。

さらに、ペロブスカイト太陽電池の反射損失と量子収率が急激に低下して利用できなくなる 800nm 以上の光に対して完全に透明なペロブスカイト太陽電池を開発した場合には、27.6%となり (8.9%向上)、さらに、タンデム太陽電池のトップセルとボトムセルの電流密度を合致させる電流マッチングをおこなうことで、その効率は31.6%に達すると報告している。つまり、ペロブスカイト太陽電池の光のマネージメントによって12.92%もの効率向上が実現するとしている。

(ペロブスカイト/Si ハイブリッド2端子タンデム太陽電池)

ここで、2015年現在のトップデータである20.1%および19.3%の発電特性と上記タンデム太陽電池の論文における期待できるトップセルの特性として示している特性を比較してみると、論文では開放電圧: 1.05Vを想定しているのに対して、それぞれ1.059V、1.13V、短絡電流密度: 21.73 mA/cm²に対して、それぞれ24.65mA/cm²、22.75mA/cm²、フィルファクター: 0.8に対して0.77、0.751となっていてフィルファクター以外の開放電圧、短絡電流密度はすでに上記論文期待値を上回っていることから、30%以上のペロブスカイト/Si ハイブリッドタンデム太陽電池の実現には、ペロブスカイト太陽電池単独での性能はほぼ期待する値以上の性能が報告されており、ペロブスカイト太陽電池の長期安定性の向上の他、上述する電流マッチングを含めた光のマネージメントが必要であることがわかる。

ペロブスカイト層は800nm以上の波長の光ではEQEはほぼ0であることから、波長800nm以上(赤外光)での20%ものペロブスカイト層での光吸収による透過光の減少は、解決すべきKey技術の一つである。また、TCOガラスの表面での反射や吸収、上述した電流マッチングは、光マネージメント技術によって解消すべき最大のKey技術である。

もう一つは、2端子タンデム太陽電池の作製方法についてである。シリコンウエハを基板として用いることになるため、Siハイブリッド太陽電池の上に、通常の手法であればチタニアのスラリーをスピンコーティングで塗布後、450°C空気中で焼成してTiO₂膜を形成、ペロブスカイト前駆体溶液を塗布後N₂中100°Cでのアニーリング、その後のSpiro-OMeTADの形成へと続く。アモルファスシリコンを使ったSiハイブリッド太陽電池では、特に加熱などによるs-Si中の水素の脱離、結晶構造の変化、界面での酸化や反応などによるボトムセルの効率低下を最小限にする必要がある。実際、24.7%のSiハイブリッド太陽電池では、すべてのプロセスを200°C以下にすることで高効率化が実現したと報告されている。また、同様に、トップセルであるペロブスカイト太陽電池も上面の透明導電膜をスパッタで作成時にSpiro-OMeTAD膜のダメージによって効率低下がおきたことが報告されている。したがって、もう一つのKey技術は、二つのセルを接合する界面を含めた、ペロブスカイト太陽電池、Siハイブリッド太陽電池、それぞれのセルへの変換効率への影響を最小限にした高効率ペロブスカイト/Siハイブリッド2端子タンデム太陽電池作製プロセスの開発である。

2. 研究の目的

30%超ペロブスカイト/Siハイブリッド2端子タンデム太陽電池の開発の最大のボトルネックとなっているKey技術は、1. 赤外光に対して完全に透過なトップ層ペロブスカイト太陽電池の開発、2. ペロブスカイト太陽電池、Siハイブリッド太陽電池のそれぞれの効率を低下させずに2端子タンデム太陽電池を作製する作製方法の開発、の二点である。

本研究では、研究代表者らがこれまで先駆的に研究をおこなってきた自己組織化などによって金属ナノ粒子を配列させ、局在表面プラズモンおよび表面プラズモンポラリトンを利用する“光のマネージメント”(特定波長の量子収率の向上、透過/反射/吸収の制御)によって、「1. タンデムトップセル用“赤外光に対して透過な逆型ペロブスカイト太陽電池”の開発」をおこない、「2. 光閉じ込め貼り合わせ技術の開発」をおこなうことで、それぞれのセルへの変換効率への影響を最小限にした高効率ペロブスカイト/Siハイブリッドタンデム太陽電池を開発する。

それに向けて、トップセル、ボトムセル及びそれらの界面層それぞれに対する課題を整理した。トップセルは厚さの制御された平坦なペロブスカイト層を形成するため、ペロブスカイト多結晶薄膜においては明らかにならなかった結晶粒径と発電特性の関係を明らかにし、粒径増大のプロセスを開発した。ボトムセルは単結晶Siの低コスト化が必要なことから、単結晶ウエハの品質を維持した薄層単結晶Siの高速作製プロセスを開発した。界面層はトップセルの電子

輸送層とボトムセルのパッシベーション層の機能を兼ね備える TiO₂ 層の制御を行った。

3. 研究の方法

3. 1 トップセル用ペロブスカイト太陽電池作成とグレインサイズ制御

2016 年度に行ったコンセプトの検証の結果、ペロブスカイト/Si タンデム太陽電池に必要な“赤外光に対して透過な逆型ペロブスカイト太陽電池”の開発の実現のためには、薄く、平坦なペロブスカイト層の実現が必要であり、そのためには結晶の核発生、成長を制御することが重要であることが分かった。よって、PbI₂ を経由する二段階成長法と、直接ペロブスカイト層を形成する一段階成長法の両成長方法について、結晶成長を制御する方法を検討した。他の太陽電池においてグレインサイズと発電特性の関係は明確になっているが、ペロブスカイトにおいては、グレインサイズの異なる薄膜を作成するために膜厚や組成といった他の要素が同時に変化し、グレインサイズの効果を独立に検討できていなかったが、本研究において TiO₂ 層表面のナノレベルの粗さによってペロブスカイト層のグレインサイズを変化させることができ、それによってグレインサイズと変換効率の関係を明らかにした。

電子輸送層の TiO₂ 結晶層の上にペロブスカイト前駆体である PbI₂ とヨウ化メチルアンモニウム(MAI)の DMF 溶液をスピコートし、DMSO で貧溶媒析出を行う一段階成長法において、スプレー熱分解法により表面粗さが異なる TiO₂ 層を形成し、その上に成長するペロブスカイト層のグレインサイズとの関係を調べた。また、PbI₂ を経由する二段階成長法においてグレインサイズを制御する方法として、本研究室独自のゾーンヒーティング再結晶化(ZHR)法を用いた。PbI₂ を成膜したのち、ランプヒーターの走査加熱により PbI₂ を短時間熱処理し、グレインサイズの拡大を図り、その上 MAI との反応によるペロブスカイト層の形成を行った。また、一段階法で形成したペロブスカイト層に対しても同様に、ZHR 法による短時間の熱処理がグレインサイズに与える影響を検討した。

3. 2 ボトムセル用薄層単結晶 Si 作成技術の開発

変換効率 30%超の太陽電池を、これまでのものと同等以下のコストで製造するためには、ボトムセルの低コスト化が必要で、特にモジュール価格の 40%程度を占める単結晶 Si を 40 μm 程度に薄層化することが期待される。ボトムアップによる成膜、単離技術として、単結晶 Si を鋳型とするエピタキシーによる成膜、単離が有力で、その中で剥離層として表面を電気化学的に多孔化した層、特に剥離層となる高多孔度層とエピタキシー鋳型層となる低多孔度層を持つ二層多孔質 Si(DLPS)の上に単結晶 Si を製膜、剥離するプロセスを検討した。課題として、低多孔度層表面の粗さによってエピタキシャル薄膜の膜質が変化すること、化学蒸着 (CVD) による成膜速度や収率が十分でなくコストが低減できないことが挙げられる。そこで、ZHR によって多孔層表面の粗さをナノレベルで低減することで、その上に形成するエピタキシャル薄膜の結晶性向上を狙い、さらに高速エピタキシーとして早大野田研究室で開発された急速蒸着法(RVD)を適用した。二段階の電気化学エッチングによって単結晶ウェハ表面に DLPS を形成し、ランプヒーターを走査加熱する ZHR により表面のナノレベル粗さ低減を試みた。その DLPS 上に、原料 Si を 2000°C に加熱することで 10 μm/min の高速で蒸着する RVD 法により単結晶 Si をエピタキシャル成長し、剥離することで単結晶薄層 Si を得た。

3. 3 ペロブスカイト/Si 界面 TiO₂ 層の制御

ペロブスカイト/Si タンデム太陽電池を開発するにあたり、トップセル、ボトムセルの特性だけでなく、必要な特性を満たす界面層の形成が必要である。具体的には、ボトムセルの単結晶 Si 層に対して良好なパッシベーション特性を有すること、トップセルペロブスカイト層に対して電子輸送層となることである。ペロブスカイト太陽電池の電子輸送層である TiO₂ は単結晶 Si のパッシベーション層としての報告もされているが、その特性は十分ではない。よって、単結晶 Si に対する TiO₂ によるパッシベーション処理を検討した。特に単結晶 Si と TiO₂ の界面の状態に着目し、ゾーンヒーティング法による熱処理による変化がパッシベーション特性に与える影響を調べた。

また、全シリコンタンデム太陽電池の開発に向け、ウェハ表面をナノ多孔質化し、量子サイズ効果によってバンドギャップを広げ、そのナノ多孔層をトップセルとするナノポーラス Si 太陽電池の開発を行った。その際、ナノ孔内の均一な表面パッシベーションが必要となるため、電気化学酸化による酸化膜形成法を開発した。

4. 研究成果

4. 1 トップセル用ペロブスカイト太陽電池作成とグレインサイズ制御

トップセルとなるペロブスカイト層は、平滑な電子輸送層 TiO₂ 上に、薄く均一な膜厚で形成し、かつ高い変換効率が得られる必要がある。そのために、特にペロブスカイト層のグレインサイズと変換

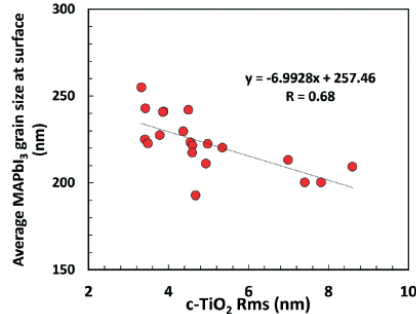


図1 下地 TiO₂ 層の表面粗さとペロブスカイト層グレインサイズの相関[1]

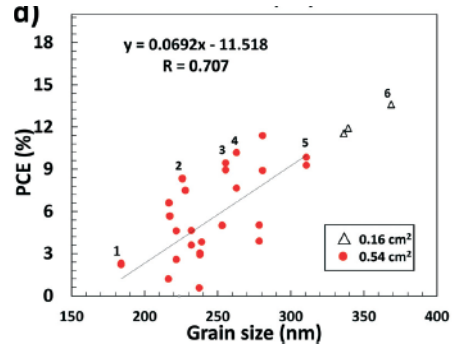
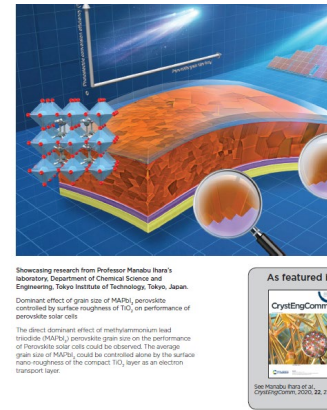


図2 ペロブスカイト層グレインサイズと変換効率の関係[1]

効率の関係を明らかにし、その制御を可能にすることを目指した。1段階法で TiO₂ 上にペロブスカイト層を成膜する際に下地となる TiO₂ 層は、スプレー熱分解法により製膜した。成膜に用いる溶媒の種類(エタノール、プロパノール、ブタノール)や成膜温度(350-550°C)、製膜後の加熱温度(400-600 °C)等を変化させて、表面粗さが異なる TiO₂ 層を形成し、その上にペロブスカイト層を成膜した。その結果、図1に示すように、TiO₂ 層の表面粗さが 3-9 nm の範囲で変化するとペロブスカイト層グレインサイズが 150-360 nm と変化することがわかった。さらに、図2に示すようにグレインサイズと変換効率に明確な相関関係があることを明らかにした[実績 1]。膜厚や組成、添加剤やパッシベーション効果といった、発電特性に影響を与える他の要素を変化させることなくグレインサイズのみを変化させ、その効果を明らかにした。(成果は、CrystEngComm の back cover に採用(図3))

また、グレインサイズを拡大する方法として、製膜した PbI₂ 及びペロブスカイト層に対して ZHR による高速短時間の熱処理をおこなった。PbI₂ に対しては一定以下の積算加熱量においてグレインサイズの増大が確認された。一方、その後 MAI との反応により生成したペロブスカイト層のグレインサイズは変化が見られなかった。1段階法によって成膜したペロブスカイト層に対して ZHR を行った結果、大粒径化の進行が示唆され、電流密度や効率についても高い値を示す傾向が見られた。また、加熱量が過剰にならない高速スキャンによる加熱によって、ペロブスカイト層の劣化が抑制されることが示唆された(投稿準備中)。



ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY

rsc.li/crysten

図3 CrystEngComm 22 back cover に掲載[1]

4. 2 ボトムセル用薄層単結晶 Si 作成技術の開発

ボトムセル用薄層単結晶 Si の形成にあたり、エピタキシー下地層である DLPS 表面のナノレベルの粗さ制御を行い、その上に RVD による高速製膜及びその評価を行った。DLPS に対し、ZHR によりその表面を選択的に熱処理することで、その表面粗さ Rms を 0.3 nm 以下に低減できることが分かった(Takazawa et al. and Ihara, ECS Transactions 75 (31) 11-23 (2017))。

ZHR 処理によって得られた、表面粗さの異なる多孔質層を鋳型層として、ノンドープ Si を原料とした RVD によってエピタキシャル製膜した単結晶 Si (図4) を、電子スピン共鳴法(ESR)によって欠陥密度を測定した結果を図5に示す(ノンドープの Si を原料として製膜した Si は、ドーパントによる電子対が検出されないため、検出さ

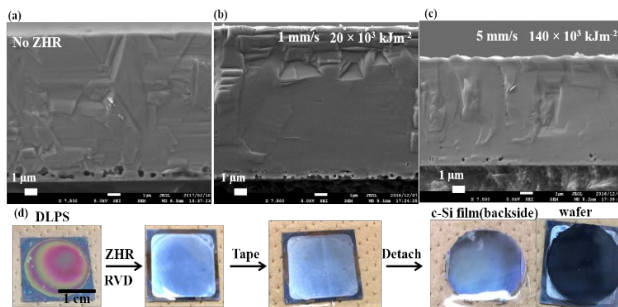


図4(a-c) DLPS 上にエピタキシャル成長させた単結晶 Si 薄膜の SEM 像 (d) 単結晶薄膜 Si の作製プロセス[2]

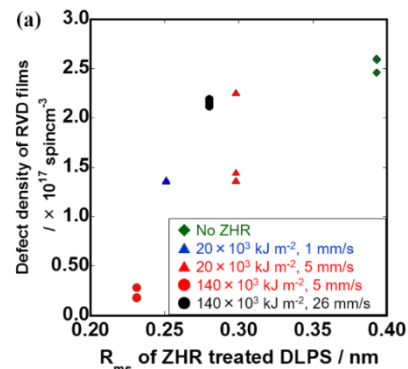


図5 DLPS 表面粗さと、製膜した単結晶 Si の欠陥密度との関係 [2]

れる電子対が主に欠陥由来となる)。特に表面粗さ 0.3 nm 以下において、粗さ 0.1 nm 程度の低減されることで欠陥密度が1桁以上低減されることがわかり、原子層レベルの鋳型層の表面粗さの違いによって、Si 薄膜の結晶性に大きな差異が生じることが分かった。表面粗さと結晶性の関係の要因は、RVD の高速製膜条件下において、基板表面への成膜種の吸着、表面拡散による再構成の時定数が短いため、鋳型多孔質層表面の原子層レベルの粗さによる結晶の歪みが大きな影響を与えたことと考えられる。(本論文は CrystEngComm の inside front cover に採用された(図 6,[実績 2])).) さらに、厚さ 35 μm 製膜した単結晶 Si に対して原子層体積(ALD)を用いて Al_2O_3 によるパッシベーション処理を行い、キャリアライフタイムの測定をおこなった結果、200 μs 程度と、薄層であることを考慮すると現在利用されている単結晶ウェハと同等の結晶品質が得られることが分かった。

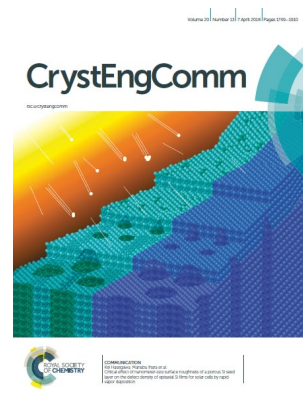


図 6 CrystEngComm 20(13) inside front cover に掲載[2]

4. 3 ペロブスカイト/Si 界面 TiO_2 層の制御

トップセルのペロブスカイト層に対する電子輸送層として機能する TiO_2 による良好なパッシベーション層を単結晶 Si 上に形成できれば、タンデム太陽電池の界面層として機能する。一方、スパッタ法などによって製膜し、通常の方法で加熱処理をした TiO_2 層はパッシベーション層として十分に機能せず、少数キャリアライフタイムは 4-6 μs と低かった。そこで、ZHR によって短時間、高温での熱処理を行った。その結果、ZHR 処理によってライフタイムは 200 μs 前後と大きく向上し、パッシベーション層として機能することが示唆された。また、ランプ熱源の走査速度を増加させてより短時間の加熱にすると、ライフタイムがより向上した。その原因を明らかにするために断面 TEM による観察を行ったところ、Si と TiO_2 の界面に SiO_x 層が形成していることがわかり、ZHR の走査速度が大きいと SiO_x 層は薄く、ライフタイムは長くなった。酸化物-Si 界面に生成する層の厚さとパッシベーション特性の関係、熱処理によるその制御は、タンデム太陽電池の界面層としてだけでなく Si 太陽電池のパッシベーション処理に対しても重要な知見と考えられる(投稿準備中)。また、界面のパッシベーション処理がタンデム太陽電池に与える効果をデバイスシミュレーターにより検討し、n 層厚を調整するなどデバイス構造を調整したとしても、短絡電流、解放電圧ともに向上させるためには、適切なパッシベーションによってキャリアライフタイムを向上させることが必要であることが示唆された。

また、ペロブスカイトだけでなく、単結晶 Si を陽極酸化によってナノ多孔化しバンドギャップを広げることを目指した多孔質 Si を発電層とする、図 7 に示すようなポーラス Si 太陽電池を検討した。この技術の発展により、全シリコン型のタンデム太陽電池の開発が期待できる。その際、表面積の大きいナノ構造において表面再結合を抑制するパッシベーション処理はより重要となるが、アスペクト比 10 以上の縦孔に対して ALD を含めたドライプロセスによる均一な製膜は難しい。よって、ナノ構造などにも適用可能で、処理膜厚を電流値、処理時間などで正確に制御可能な電気化学的パッシベーション法を開発した。定電流における電気化学酸化では多孔層底部から反応が進行し、酸化膜厚を反応時間で制御できると考えられる。実際にパッシベーション処理をおこなった結果、ウェハを用いて作成した太陽電池より高い短絡電流が得られ、より広い波長範囲での高い光吸収が確認できた[実績 3]。

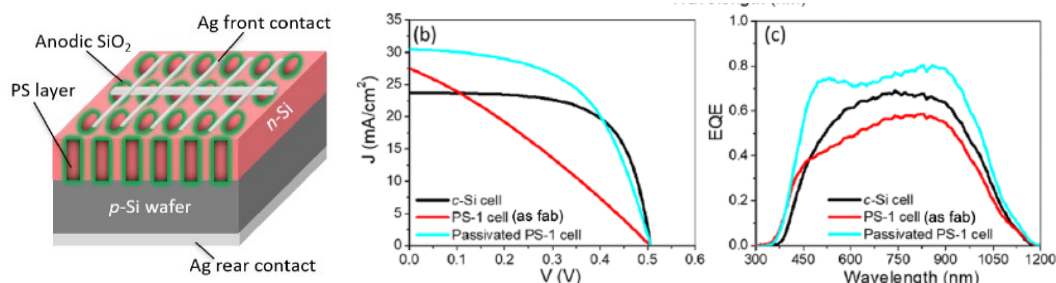


図 7 (左)ナノポーラス Si 太陽電池(中)パッシベーション処理を行った多孔質 Si を n 層にもつ太陽電池の発電特性及び(右)外部量子収率[3]

文中に図を引用した主要実績

- [1] Nukunodompanich et al. and Ihara, CrystEngComm 22, 2718-2727, 2020.
- [2] Hasegawa et al. and Ihara, CrystEngComm 20, 1774-1778, 2018.
- [3] Sundarapura et al. and Ihara, Nanomaterials, 2021, 11, 459.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Nukunodompanich Methawee, Budiutama Gekko, Suzuki Kazuma, Hasegawa Kei, Ihara Manabu	4. 巻 22
2. 論文標題 Dominant effect of the grain size of the MAPbI3 perovskite controlled by the surface roughness of TiO2 on the performance of perovskite solar cells	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CrystEngComm(Royal Society of Chemistry), featured as a back cover image	6. 最初と最後の頁 2718 ~ 2727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/DOCE00169D	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 Kei Hasegawa, Chiaki Takazawa, Makoto Fujita, Suguru Noda and Manabu Ihara	4. 巻 20
2. 論文標題 Critical effect of nanometer-size surface roughness of a porous Si seed layer on the defect density of epitaxial Si films for solar cells by rapid vapor deposition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 CrystEngComm(RSC)	6. 最初と最後の頁 1774-1778
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CE02162C (Communication)	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 Anatolii Lukianov and Manabu Ihara	4. 巻 648
2. 論文標題 Free-standing epitaxial silicon thin films for solar cells grown on double porous layers of silicon and electrochemically oxidized porous silicon dioxide	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2017.12.025	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 Hasegawa Kei, Takazawa Chiaki, Fujita Makoto, Noda Suguru, Ihara Manabu	4. 巻 20
2. 論文標題 Critical effect of nanometer-size surface roughness of a porous Si seed layer on the defect density of epitaxial Si films for solar cells by rapid vapor deposition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 CrystEngComm	6. 最初と最後の頁 1774 ~ 1778
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7CE02162C	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 -

〔学会発表〕 計42件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 17件）

1. 発表者名 伊原学
2. 発表標題 ナノ表面粗さ制御によるウエハレベル太陽電池用Si膜の高速成膜
3. 学会等名 第80回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Methawee Nukunudompanich, Kazuma Suzuki, Kei Hasegawa, Manabu Ihara
2. 発表標題 Correlation of surface roughness of TiO ₂ , grain size of MAPbI ₃ and perovskite solar cell performance
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 鈴木一馬, Nukunudompanich Methawee, 長谷川馨, 伊原学
2. 発表標題 ゾーンヒーティング再結晶法によるペロブスカイト太陽電池光吸収層大粒径化の検討
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 Budiutama Gekko, Suzuki Kazuma, Nukunudompanich Methawee, Hasegawa Kei, Zhang Xiaomei, Fourmond Erwann, Fave Alain, Ihara Manabu
2. 発表標題 Study of Si/TiO ₂ /Perovskite interfaces for perovskite/Si tandem solar cell
3. 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Sundarapura Panus, Yogai Ryoji, Zhang Xiaomei, Hasegawa Kei, Fourmond Erwann, Fave Alain, Ihara Manabu
2 . 発表標題 Surface Passivation of Porous Silicon for Tandem Solar Cell
3 . 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ryotaro Shibahara, Kei Hasegawa, Alain Fave, Erwann Fourmond, Suguru Noda and Manabu Ihara
2 . 発表標題 Electrical properties of monocrystalline Si film for solar cells fabricated by nano-surface controlling double layer porous Si in H ₂ atmosphere
3 . 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Zhang Xiaomei, Sian-Hong TSENG, Ming-Yen LU
2 . 発表標題 p-Type Doped Large-Area Multilayer MoS ₂ Enabled by Mild Plasma Treatment for Phototransistors Application
3 . 学会等名 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE 2019) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 R. Shibahara, K. Hasegawa, A. Fave, E. Fourmond, S. Noda, and M. Ihara
2 . 発表標題 Electrical Properties of Monocrystalline Thin Film Si for Solar Cells Fabricated By Rapid Vapor Deposition with Nano-Surface Controlling Double Layer Porous Si in H ₂
3 . 学会等名 236th ECS Meeting (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木 一馬、長谷川 馨、伊原 学
2. 発表標題 タンデム化にむけたペロブスカイト太陽電池光吸収層の二次元結晶成長手法と構造解析
3. 学会等名 第50回化学工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nukunodompanich Methawee, Suzuki Kazuma, Hasegawa Kei, Ihara Manabu
2. 発表標題 Correlation between TiO2 roughness and perovskite grain size effect on solar cell performance
3. 学会等名 第50回化学工学会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nukunodompanich Methawee, Suzuki Kazuma, Hasegawa Kei, Ihara Manabu
2. 発表標題 Influence of Perovskite Grain Size and TiO2 Surface States to the Performance of Perovskite Solar Cell
3. 学会等名 234th ECS and SMEQ2018 Joint International Meeting (AIMES 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Nukunodompanich Methawee, Suzuki Kazuma, Hasegawa Kei, Ihara Manabu
2. 発表標題 Relationship between Surface state of compact TiO2, the grain size of Perovskite layer and the performance of Perovskite solar cell
3. 学会等名 The Asia-Oceania Top University League on Engineering (AOTULE 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 X. M. Zhang, and M. Ihara
2. 発表標題 Plasma-Assisted Fabrication and Gate-Tunable Transport Properties of 'In-Depth' Doped MoS ₂ Vertical Homostructure
3. 学会等名 2018 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 長谷川 馨、柴原 竜太郎、松浦 明、高澤 千明、Fave Alain、Fourmond Erwann、野田 優、伊原 学
2. 発表標題 ナノレベルで荒さ制御した下地への急速蒸着で作製したウェハー級の太陽電池用薄層Si
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴原 竜太郎、長谷川 馨、Fave Alain、Fourmond Erwann、野田 優、伊原 学
2. 発表標題 2層多孔質Si基板ナノ表面制御と超高速成膜による太陽電池用薄膜Siの電気特性評価
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sundarapura Panus, Zhang Xiaomei, Hasegawa Kei, Ihara Manabu
2. 発表標題 Electrochemical Passivation of Nano-Porous Silicon Solar Cell
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Budiutama Gekko Patria, Suzuki Kazuma, Nukunodomanich Methawee, Hasegawa Kei, Zhang Xiaomei, Ihara Manabu
2. 発表標題 Investigation of Si/TiO ₂ /Perovskite interfaces for tandem solar cells
3. 学会等名 化学工学会第84年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 伊原学
2. 発表標題 Monocrystalline Si Thin Film By High Speed Zone Melting / Heating Crystallization with Controlling Nano-Surface Roughness for Cost-Cutting Solar Cells with High Efficiency
3. 学会等名 234th ECS and SMEQ2018 Joint International Meeting (AiMES 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊原学
2. 発表標題 ポーラスシリコンのナノ構造を利用した低コスト、高効率太陽電池へのアプローチ --低コスト剥離およびタンデムトップセルを目指して--
3. 学会等名 第100回ARS例会, 一般社団法人 表面技術協会 金属のアノード酸化皮膜の機能化部会 (ARS) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鈴木 一馬、長谷川 馨、伊原 学
2. 発表標題 ペロブスカイト薄膜タンデム太陽電池に向けた光吸収層の二次元結晶成長手法の検討
3. 学会等名 第49回 化学工学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長谷川 馨、高澤 千明、藤田 誠、野田 優、伊原 学
2. 発表標題 多孔基板のナノ平滑化による高速で低欠陥な太陽電池用単結晶薄膜Siの作製
3. 学会等名 第49回 化学工学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nukunudompanich Methawee、Phaomethavarithorn Apatsanan、鈴木 一馬、長谷川 馨、伊原 学
2. 発表標題 Effect of nano-roughness of compacted TiO ₂ layer by using various precursors and deposition techniques on characteristics of perovskite solar cell
3. 学会等名 第49回 化学工学会秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Hasegawa, C. Takazawa, M. Fujita, S. Noda, and M. Ihara
2. 発表標題 Monocrystalline Si Thin Film for Solar Cells Grown on Double Layer Porous Si Treated By Zone Heating Recrystallization
3. 学会等名 232th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. Suzuki, K. Hasegawa, and M. Ihara
2. 発表標題 Effects of Reaction Conditions with Methylammonium Iodide on the Grain of CH ₃ NH ₃ PbI ₃ Perovskite for Thin Top Cell of Tandem Solar Cells
3. 学会等名 232th ECS Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Zhang Xiao-Mei, M. Ihara
2. 発表標題 Zero and Two-Dimensional Nanomaterials Towards Solar Cells Applications
3. 学会等名 Nano Science and Technology-2017 (Nano S&T-2017)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Methawee Nukunudompanich, Kazuma Suzuki, Kei Hasegawa, and Manabu Ihara
2. 発表標題 Temperature Dependence on Spray Pyrolysis of TiO ₂ and Its Perovskite Solar Cell Application
3. 学会等名 The Sixth International Education Forum on Environment and Energy Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuma Suzuki, Kei Hasegawa, and Manabu Ihara
2. 発表標題 Investigation of 2-dimensional crystal growth of the light absorbing layer for perovskite thin film tandem solar cell
3. 学会等名 The Sixth International Education Forum on Environment and Energy Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 用貝 亮二、村上 和生、張 曉梅、長谷川 馨、伊原 学
2. 発表標題 ポーラスシリコン太陽電池におけるナノ構造の役割の検討
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松浦 明、柴原 竜太郎、藤田 誠、高澤 千明、長谷川 馨、野田 優、伊原 学
2. 発表標題 単結晶薄膜 Si 太陽電池作製に向けた 2 層多孔質Si基板のナノ表面制御と超高速成膜により得られたSi 薄膜特性の評価
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柴原 竜太郎、松浦 明、高澤 千明、藤田 誠、長谷川 馨、野田 優、伊原 学
2. 発表標題 高速成膜法による単結晶薄膜Si太陽電池の作製とSi薄膜の電気特性評価
3. 学会等名 化学工学会第83年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木 一馬、Nukunodompanich Methawee、長谷川 馨、伊原 学
2. 発表標題 ペロブスカイト/Siタンデム太陽電池に向けたトップセル光吸収層薄膜の二次元結晶成長手法の検討
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Nukunodompanich Methawee、鈴木 一馬、長谷川 馨、FOURMOND Erwann、FAVE Alain、伊原 学
2. 発表標題 タンデム太陽電池への応用に向けたスプレー法によるTiO ₂ 緻密層の検討と界面への影響
3. 学会等名 電気化学会第85回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木一馬, トーベンジャミン, 長谷川馨, 伊原学
2. 発表標題 タンデム化に向けた長波長側で光透過な薄膜ペロブスカイト太陽電池の検討
3. 学会等名 化学工学会第48回秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 村上和生, 長谷川馨, 伊原学
2. 発表標題 プラズモニックポーラスSi太陽電池に向けたナノ細孔中への金属ナノ粒子と酸化膜の導入
3. 学会等名 化学工学会第48回秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高澤千明, 藤田誠(早大先進理工), 長谷川馨, A. Lukianov, 野田優(早大先進理工), 伊原学
2. 発表標題 単結晶薄膜 Si 太陽電池作製に向けたエピタキシャル成長用ポーラス Si のナノ表面平滑化
3. 学会等名 化学工学会第48回秋季大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 X. M. Zhang and M. Ihara
2. 発表標題 Epitaxial growth of silicon nanowire arrays at wafer-scale using high-speed rotating-disk CVD for improved light-trapping
3. 学会等名 Asia NANO (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 C. Takazawa, K. Hasegawa, A. Lukianov, X. Zhang, and M. Ihara
2. 発表標題 Nano-Scale Smoothing of Double Layer Porous Si Substrates for Detaching and Fabricating Low Cost, High Efficiency Monocrystalline Thin Film Si Solar Cell By Zone Scanning Annealing
3. 学会等名 230th ECS Meeting Honolulu (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 X. M. Zhang, R. Yogai, and M. Ihara
2. 発表標題 One-pot solution synthesis of indium nanoparticles and their application in solar cell devices
3. 学会等名 Nano S&T (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 X. M. Zhang, R. Yogai, and M. Ihara
2. 発表標題 Shape and size control of indium nanoparticles intended for silicon solar cells application
3. 学会等名 MRS Fall Meeting & Exhibit (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松浦 明, 高澤 千明, 藤田 誠, 長谷川 馨, 野田 優, 伊原 学
2. 発表標題 単結晶薄膜 Si 太陽電池作製のための2層多孔質Si基板のナノ表面制御と超高速成膜の評価
3. 学会等名 化学工学会第82年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 用貝 亮二, 村上 和生, 長谷川 馨, 張 曉梅, 伊原 学
2. 発表標題 金属ナノ粒子の形状変化による局所電場制御とプラズモニック太陽電池への応用
3. 学会等名 化学工学会第82年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鈴木 一馬, Nukunudompanich M. 長谷川 馨, 伊原 学
2. 発表標題 ペロブスカイト太陽電池の高効率化へ向けた光吸収層の結晶粒径制御と電池特性への影響
3. 学会等名 化学工学会第82年会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 薄膜単結晶シリコン太陽電池用エピタキシャルシリコン薄膜の製造に用いられるシリコン基板及びその製造方法	発明者 伊原学, 長谷川馨, 高澤千明, 松浦明	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願 2017-170037	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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