

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22246001

研究課題名(和文) ナノ表面・界面制御による超薄型シリコン太陽電池の高効率化に関する研究

研究課題名(英文) Development of High Efficiency Thin-Substrate Silicon Solar Cells with Controlled Nano-Interface

研究代表者

小長井 誠 (KONAGAI, Makoto)

東京工業大学・理工学研究科・教授

研究者番号：40111653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,300,000円、(間接経費) 9,390,000円

研究成果の概要(和文)：ヘテロ接合構造を有するシリコン太陽電池は、今後の変換効率向上の決め手とされている。一般的にヘテロ接合には、水素化アモルファスSiが用いられ、優れたパッシベーション効果によって高い開放電圧が得られるが、製膜条件によっては、界面にエピタキシャル層が形成され、パッシベーション効果が著しく劣化するという問題があった。そこで、本研究では、ワイドギャップでエピタキシャル成長が起こりにくいアモルファスSiOあるいはナノ結晶3C-SiCを用いて、パッシベーション効果を高める研究を行った。その結果、開放電圧708 mVで変換効率20.1%という期待通りの値が得られ、当初の研究目標を達成した。

研究成果の概要(英文)：Silicon heterojunction solar cells have the potential to achieve high conversion efficiencies. In order to achieve high open circuit voltages, passivation of dangling bonds on the c-Si surface is indispensable. One of the most used passivation materials for heterojunction solar cells is the hydrogenated amorphous silicon (a-Si:H). a-Si:H is known to have a high passivation quality, but it shows harmful epitaxial growth when deposited at relatively high deposition temperatures, deteriorating the passivation effect. In this study wide-bandgap amorphous silicon oxide (a-SiO:H) or nano-crystalline 3C-SiC is applied as an alternative to the conventional a-Si:H to suppress the epitaxial growth, resulting with a very low surface recombination velocity. Up to now, an efficiency of 20.1% has been achieved with a high open circuit voltage of 708 mV, and the original goals have been met.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物性・結晶工学

キーワード：太陽電池 太陽光発電 ヘテロ接合 シリコン太陽電池

### 1. 研究開始当初の背景

かつてわが国は太陽電池分野で世界最高の技術を有していたが、本研究を開始した平成 21 年当時、中国、台湾、韓国の追い上げが激しく、国際競争力を失いつつある状況であった。太陽電池の国別生産量推移を眺めてみると、特徴的なところは中国と欧州の台頭であった。技術的に眺めてみると、我が国にとっての当面の競合相手は、中国製の安いシリコン太陽電池と、いわゆるターンキー装置によるシリコン薄膜太陽電池、ならびに、現在、世界で最も製造コストが低く、製造設備を爆発的に増やしている CdTe 太陽電池であると認識されており、わが国が太陽電池技術で世界一を保つには、非常にひっ迫した状況となっていた。

太陽電池には、厚さ 200 $\mu\text{m}$  前後の厚さのウェハを用いたバルクシリコン太陽電池と、厚さが 1 $\mu\text{m}$  前後の薄膜太陽電池がある。市場では、太陽電池総生産量の 90%程度が「バルクシリコン型」となっており、高効率・低コスト化という観点で、2020 年頃までは、バルクシリコン太陽電池が市場を先導していくものと予測されていた。また、2020 年以降、年間 100 ギガワット程度の太陽電池が製造され、扱うシリコンの総量が年間数 100 万トンになることを考えると、シリコン太陽電池も、厚さ 100 $\mu\text{m}$  といった超薄型であることが重要であり、超薄型で変換効率 25%を目指す新技術開発が世界的な研究対象となっていた。次の世代を担う超薄型シリコン太陽電池で技術的に圧倒的な差をつける必要があるとの認識が広まっていた。

### 2. 研究の目的

太陽光発電の本格普及期である 2020 年において圧倒的な技術優位を築くため、長年に亘って申請者のグループで培われてきたシリコン薄膜太陽電池技術と、バルクシリコン太陽電池技術を融合化して、最先端の超薄型高効率シリコン太陽電池研究を先導することを目的としている。具体的には、申請者が世界で初めて実現した低温成長微結晶 3C-SiC や SiO 系薄膜を用いた新型ヘテロ接合 Si 太陽電池を用いて、厚さ 100 $\mu\text{m}$  の CZ Si ウェハで 23%以上の高効率を得ることを目標とした。

### 3. 研究の方法

目標を達成するため、サブテーマの設定を行い、年度ごとにポイントを絞った研究を実施した。研究開始当初は、ヘテロ・ナノ界面制御による接合特性の改善技術の開発、新規パッシベーション膜の開発、超薄型シリコンヘテロ接合太陽電池のデバイス物理、の三つのサブテーマで研究を開始したが、最終年度は、p 型 nc-3C-SiC/Si ヘテロ接合の高品質化、テクスチャ基板上への高品質ヘテロ接合の形成、デバイスシミュレーションによる設計指針の確立、の 3 テーマで研究

の進捗を図り、最終的にエネルギー変換効率 20.1% (真性効率 21.6%) を達成するなど、目標をほぼ達成することができた。

### 4. 研究成果

#### 4.1 p 型 nc-3C-SiC/Si ヘテロ接合

禁制帯幅が 2.2eV とワイドギャップで、かつ低光吸収である p 型ナノ結晶 3C-SiC:H 薄膜 (厚さ 30 nm 程度以下) を作製し、電氣的・光学的特性を評価した。

Al ドープナノ結晶 3C-SiC:H の作製には多量の原子状水素を発生させる必要があるため、ガス分解効率の高い VHF-PECVD 法を採用した。ソースガスとしてモノメチルシラン (MMS) と水素 ( $\text{H}_2$ ) を、電気特性の向上のためにジメチルアルミニウムヒドライド (DMAH) を Al ドープメントとして使用した。まず窓層としての透明性を確認するために光吸収係数の測定を行った。従来用いていた B-doped a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H と比較すると、2~3eV における光吸収係数が 1/10 以下であり、p 型窓層として十分な透明性を有していることが分かった。これは 3C-SiC が間接半導体であり、ナノ結晶成分の増加に伴いアモルファスよりも低光吸収になっているためである。

この材料を太陽電池の p 型窓層に応用するためには 20~30 nm と非常に薄い膜厚において高い電気特性を持つことが必要である。そこで暗導電率の膜厚依存性について測定した。膜厚 20 nm 以下では、膜のほとんどがアモルファス成分であるためにキャリアが活性化せず、暗導電率が非常に低い。しかし、膜厚 20 nm 以上ではナノ結晶 3C-SiC が成長するために暗導電率は膜厚に比例して増加し、太陽電池への適用が可能な  $1 \times 10^6$  (S/cm) 以上の導電率が得られた。

また、ナノ結晶 3C-SiC:H の電氣的・光学的特性は水素希釈比に大きく影響されるため、水素希釈効果を詳細に検討した。水素希釈比 4300~8500 の領域では、暗導電率は水素希釈比に比例して増加した。これは水素希釈比の増加に伴い多量の原子状水素が発生し、結晶化率が増加・キャリアが活性化するためである。このほか、p 型ナノ結晶 3C-SiC:H 薄膜の結晶性を評価する新たな手法として Conductive-AFM 法を提案した。これにより、アモルファス成分とナノ結晶成分の電気特性の差を利用して結晶化率を推定することが可能となった。

つぎに、Al ドープナノ結晶 3C-SiC:H 薄膜を窓層に用いたヘテロ接合シリコン太陽電池を作製した。セル構造は、Al/Ag/ITO(60nm)/p-nc-3C-SiC:H(40nm)/i-a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H(4~9nm)/n-c-Si (CZ, 280 $\mu\text{m}$ , 2.5 cm)/n-a-Si:H(30nm)/Al である。初めにバッファ層を p 層とシリコン基板界面に挿入せずに作製したところ、開放電圧 302 mV、短絡電流 38.0 mA/cm<sup>2</sup>、曲線因子 0.651、変換効率 7.48% と接合特性が極めて悪いものであった。透過電子顕微鏡による断面観察の結果、

開放電圧が極端に低いのは、p 層製膜時に発生する原子状水素によりシリコン基板表面がエッチングされ、界面欠陥密度が増大・凹凸が形成されたためと判断された。そこで新規パッシベーション膜として $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$ の挿入を提案した。その結果、膜厚 10 nm 以下において表面再結合速度 40cm/s 程度を達成した。これをバッファ層として p 層とシリコン基板界面に挿入したところ、 $a\text{-Si}_{1-x}\text{C}_x\text{:H}$  層の膜厚に比例してパッシベーション効果が高まり、再結合速度が減少・開放電圧が向上した。最適化の結果、開放電圧 648 mV、短絡電流 35.9 mA/cm<sup>2</sup>、曲線因子 0.732、変換効率 17.0 % を達成した。図 1 にバッファ層挿入前後での光照射下の電流 電圧特性を示す。

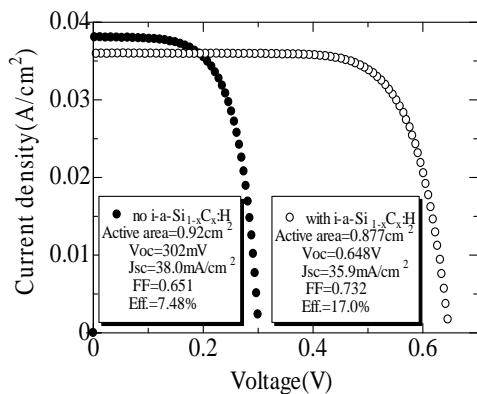


図 1 p 型 3C-SiC/n-Si ヘテロ接合太陽電池特性。バッファ層の有無による特性の変化。

#### 4.2 テクスチャ基板上への形成

薄型シリコン太陽電池に対して、光電流の増加を図るには、光閉じ込めが必要となる。一般的には、光閉じ込めのために、シリコン表面をアルカリ液でエッチングして表面に凹凸構造を作製する。ところが、表面に凹凸構造を形成すると、異なった結晶面が現れるほか、寸法の異なる凹凸構造が形成されるため、光閉じ込め効果のみならず、表面再結合速度への影響が大きく表れる。そこで本研究では、ヘテロエミッタとしてアモルファス SiO を用いてテクスチャー基板へのヘテロ接合形成に関する最適化を行った。これによりテクスチャーサイズが光閉じ込めだけでなく、表面再結合速度や曲線因子に大きな影響を与えていることが明らかになった。以上の検討の結果、凹凸基板を用いた場合の洗浄プロセスや凹凸形状などの最適化を図ることが可能となった。最終的に、700 mV を超える高い開放電圧を達成した。

#### 4.3 デバイス特性

##### 4.3.1 a-SiO/Si ヘテロ接合太陽電池

ヘテロ接合太陽電池で高い開放電圧を得

るには、界面における欠陥準位のパッシベーションが極めて重要になる。パッシベーション膜として水素化アモルファスシリコン (i-a-Si:H) が最も用いられているが、i-a-Si:H は高温製膜時にエピタキシャル成長しやすく、低いパッシベーション効果および少数キャリアライフタイム低下の原因になる。さらに、i-a-Si:H をテクスチャ基板に応用する場合、ピラミッド構造の山や谷において結晶方位が異なるため成長過程に違いが生じ、エピタキシャル成長が起こりやすくなる。本研究では、i-a-Si:H に代わる材料として水素化アモルファス酸化シリコン (i-a-SiO:H) に着目した。i-a-SiO:H は高温製膜時でもエピタキシャル成長を示すことなく、従来の材料と同等の少数キャリアライフタイムが得られる。

i-a-SiO:H 薄膜は VHF-PECVD 法を用いて作製した。原料ガスとして SiH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub> を用い、[CO<sub>2</sub>]/[SiH<sub>4</sub>] 流量比は 0.1~0.4 に変化させた。製膜温度は 210 °C である。実効ライフタイム評価には抵抗率 3.0 ohm·cm の n 型 FZ 単結晶シリコン基板を用いた。実効ライフタイムは、シリコン基板の両面に同じ厚さの i-a-SiO:H 膜を堆積し、QSSPC 法の Transient モードを用いて測定した。表面再結合速度はバルクライフタイムが無限大であると仮定し、 $SRV=W*(2\tau_{eff})^{-1}$  から算出した。ここでは W は基板厚である。また、パッシベーション効果を高めるため、i-a-SiO:H 膜製膜後にフォーミングガス雰囲気中でアニール処理を施した。その結果、製膜直後の場合、[CO<sub>2</sub>]/[SiH<sub>4</sub>] を増加させると実効ライフタイムが増加し、[CO<sub>2</sub>]/[SiH<sub>4</sub>]=0.3 で飽和することが分かった。熱処理後では [CO<sub>2</sub>]/[SiH<sub>4</sub>]=0.1 以外では実効ライフタイムの向上が見られた。この結果、最適条件下でキャリアライフタイム 3.5 msec という太陽電池応用に相応しい膜質を得ることができた。これらの基礎データをもとに、図 2 に示す太陽電池の試作を行ったところ、変換効率 20.1% (真性効率 21.6%) を得ることができた (図 3)。

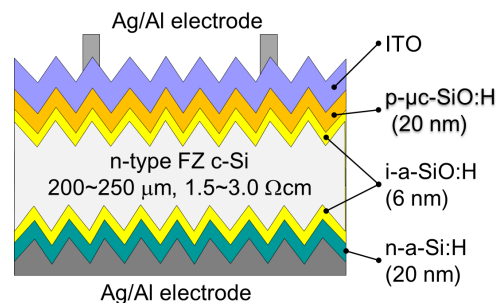


図 2 a-SiO/Si ヘテロ太陽電池構造

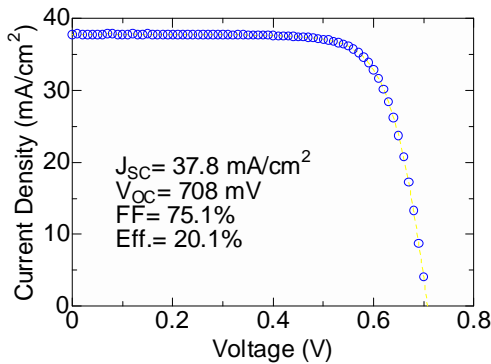


図 3 a-SiO/Si ヘテロ太陽電池で変換効率 20.1%の達成。

#### 4.3.2 nc-3C-SiC/Si/a-SiO ヘテロ接合太陽電池

nc-SiC の製膜技術は、もともと研究代表者らにより開発されたものである。この材料系では、p 型よりも n 型材料の方が微結晶化が容易であることが分かっている。p 型については、すでに 4.1 項で述べたとおりである。ここでは、比較的界面制御が容易な n 型 nc-SiC を用いたヘテロ接合太陽電池開発の成果を述べる。具体的には、図 4 に示すように p 型 Si ウェハを用いて光入射側に微結晶 n 型 nc-SiC を、裏面側に高品質パッシベーション効果を示す a-SiO/p- $\mu$ c-SiO を用いた。

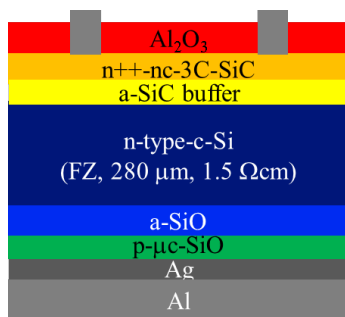


図 4 nc-3C-SiC/Si/a-SiO ヘテロ接合太陽電池の構造

各パラメータの最適化の結果、開放電圧 0.710 V、短絡電流密度 35.2 mA/cm<sup>2</sup>、曲線因子 0.725、変換効率 18.1% が得られた。0.710 V という開放電圧は、p 型基板を用いた太陽電池としては世界最高レベルであり、nc-3C-SiC:H 膜はデバイスレベルで優れたパッシベーション効果を有したエミッタであることが証明された。また、この太陽電池の量子効率、従来の a-Si:H を用いたヘテロ接合太陽電池に比べ、短波長側 (600 nm 以下の領域) でも高い内部量子効率を有していることが分かった。波長域 350 nm 以下には若干の吸収損失が見られるが、このほとんどは透明導電膜である In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:H 膜の吸収であ

る。これらのことから、nc-3C-SiC:H という膜を用いることにより、ヘテロ接合の利点である高いパッシベーション効果と、従来のヘテロ接合では得られなかった低光吸収損失を同時に達成できていることがわかった。

#### 4.4 まとめ

これまでの 4 年間の研究により、シリコン太陽電池の開放電圧は、0.60V から 0.73V へと大幅に向上した。これは、申請者が提案したアモルファス SiO ヘテロエミッタが、デバイス特性の向上に、非常に優れた特質を有していることを表したものである。また、バンドギャップが 2.2eV と大きな 3C-SiC を用いたヘテロエミッタに関しても界面制御により、開放電圧を 302mV から 648mV へと大きく向上させることに成功した。その一方で、短絡電流の向上を目指して凹凸基板を採用したが、凹凸処理後の洗浄工程での再現性に課題が残っており、開放電圧、短絡電流、曲線因子の各パラメータを同時に最大限まで向上させることができなかった。これまでに得られている各パラメータごとの最大値は、それぞれ 738mV、38.0mA/cm<sup>2</sup>、0.778 となっており、これらから期待される変換効率は 22% となり、研究開始当初の目標を達成することができた。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 10 件)

1. Kazuyoshi Nakada, [Shinsuke Miyajima](#), and [Makoto Konagai](#)

“Amorphous silicon oxide passivation films for silicon heterojunction solar cells studied by hydrogen evolution”

Japanese Journal of Applied Physics 53, (2014) 04ER13, 5 pages

2. Daisuke Hamashita, [Shinsuke Miyajima](#), and [Makoto Konagai](#),

“Preparation of Al-doped hydrogenated nanocrystalline cubic silicon carbide by VHF-PECVD for heterojunction emitter of n-type crystalline silicon solar cells”

SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, vol.107, pps.46-50 (2012)  
DOI: 10.1016/j.solmat.2012.07.029

3. Junpei Irikawa, [Shinsuke Miyajima](#), Tatsuro Watahiki and [Makoto Konagai](#)

“Development of the Transparent Conductive Oxide Layer for Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide/Silicon Heterojunction Solar Cells with Aluminum Oxide Passivation Layers”

JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, vol. 51, No.2, 02BP04, 4pages (2012)  
DOI: 10.1143/JJAP.51.02BP04

4. Daisuke Hamashita, Yasuyoshi Kurokawa, and [Makoto Konagai](#)

“Preparation of p-type Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide / n-type Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cells by VHF-PECVD”

Energy Procedia , vol.10, Jan. (2012) pp.14-19

5. Suttirat Rattanapan, Tatsuro Watahiki, Shinsuke Miyajima, Makoto Konagai

“Improvement of Rear Surface Passivation Quality in p-Type Silicon Heterojunction Solar Cells Using Boron-Doped Microcrystalline Silicon Oxide”  
JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS  
50(2011) 082301-1~082301-4

6. Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Tatsuro Watahiki, Makoto Konagai

“High Efficiency Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide/Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cells Using an Optimized Buffer Layer”  
APPLIED PHYSICS EXPRESS, 4(2011)  
092301-1~092301-3

7. Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Shuhei Kida, Tatsuro Watahiki, and Makoto Konagai

“Effects of Annealing and Atomic Hydrogen Treatment on Aluminum Oxide Passivation Layers for Crystalline Silicon Solar Cells”  
Japanese Journal of Applied Physics, 50 (2011)  
012301-1~012301-5

8. Shinsuke Miyajima, Junpei Irikawa, Akira Yamada, and Makoto Konagai

“Modeling and simulation of heterojunction crystalline silicon solar cells with a nanocrystalline cubic silicon carbide emitter”  
JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 109 (2011)  
054507, 6 pages

9. Shinsuke Miyajima, Junpei Irikawa, Akira Yamada and Makoto Konagai

“High-quality nanocrystalline cubic silicon carbide emitter for crystalline silicon heterojunction solar cells”  
APPLIED PHYSICS LETTERS, 97(2010) 023504, 3 pages

10. Shinsuke Miyajima, Junpei Irikawa, Akira Yamada and Makoto Konagai

“High Quality Aluminum Oxide Passivation Layer for Crystalline Silicon Solar Cells Deposited by Parallel-Plate Plasma-Enhanced Chemical Vapor Deposition”  
APPLIED PHYSICS EXPRESS, 3, (2010), 012301, 3 pages

#### [学会発表](計21件)

1. Kazuyoshi Nakada, Shinsuke Miyajima and Makoto Konagai

Evaluation of a-SiO:H passivation films for application to SHJ solar cells  
PVSEC-23, Oct.28-Nov.1, 2013, Taipei

2. Kazuyoshi Nakada, Shinsuke Miyajima and Makoto Konagai

Amorphous Silicon Oxide Passivation Films for Silicon Heterojunction Solar Cells Studied by Hydrogen Evolution  
SSDM2013, Hilton Fukuoka Sea Hawk, Fukuoka, September 24-27, 2013,

3. Ateto E. Omondi, Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Makoto Konagai

“Effect of chemical polish etching on performance of nanocrystalline cubic silicon carbide / crystalline

silicon heterojunction solar cells”

The 22th Photovoltaic Science and Engineering Conference, November 05–09, 2012, Hangzhou, China

4. Kazuyoshi Nakada and Makoto Konagai

“Application of intrinsic amorphous silicon oxide films as passivation layers for textured heterojunction solar cells”  
27<sup>th</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Frankfurt, 24-28 September, 2012

5. J. Irikawa, S. Miyajima, T. Watahiki and M. Konagai

“HIGH EFFICIENCY HYDROGENATED NANOCRYSTALLINE CUBIC SILICON CARBIDE / CRYSTALLINE SILICON HETEROJUNCTION SOLAR CELLS USING AN OPTIMIZED BUFFER LAYER”

21<sup>st</sup> International Photovoltaic Science and Engineering Conference  
Nov.28-Dec.2, 2011, Fukuoka, Japan

6. K. Nakada, T. Watahiki and M. Konagai

“EFFECT OF DEPOSITION TEMPERATURE OF MICROCRYSTALLINE SILICON OXIDE EMITTERS FOR HETEROJUNCTION SOLAR CELLS”

21<sup>st</sup> International Photovoltaic Science and Engineering Conference  
Nov.28-Dec.2, 2011, Fukuoka, Japan

7. Junpei Irikawa, Shinsuke Miyajima, Tatsuro Watahiki and Makoto Konagai

“Development of the TCO Layer for Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide / Silicon Heterojunction Solar Cells with Aluminum Oxide passivation layers”  
2011 International conference on Solid State Devices and Materials  
September 28-30, 2011, Nagoya, Japan

8. Yumiko Yamaguchi, Tatsuro Watahiki and Makoto Konagai

“CHARACTERIZATION OF INTRINSIC HYDROGENATED AMORPHOUS  $Si_{1-x}O_x$  LAYERS FOR HIGH EFFICIENCY HETEROJUNCTION SI SOLAR CELLS”  
26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition  
5-8 September, 2011, Hamburg, Germany

9. Daisuke Hamashita, Yasuyoshi Kurokawa, Makoto Konagai

“Effects of the Deposition Conditions of p-type Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide on n-type Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cell Performance”  
37<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference  
June 19-24, 2011, Seattle, Washington, USA

10. Daisuke Hamashita, Yasuyoshi Kurokawa, Makoto Konagai

“Preparation of p-type Hydrogenated Nanocrystalline Cubic Silicon Carbide / n-type Crystalline Silicon Heterojunction Solar Cells by VHF-PECVD”  
E-MRS 2011 SPRING MEETING  
MAY 9-13, 2011, NICE, FRANCE

11. Daisuke Hamashita, Shinsuke Miyajima, Akira Yamada, Makoto Konagai

“Aluminum Doped Hydrogenated Nanocrystalline

Cubic Silicon Carbide Films Deposited by VHF-PECVD for p-type Window Layer of Silicon Based Thin-Film Solar Cells”  
35th IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, June 20-25, 2010, Hawaiian Convention Center, Honolulu

12. 清水一希, Eric Ateto, 宮島晋介, 小長井誠  
結晶 Si 太陽電池用 n 型 nc-3C-SiC:H ヘテロエミッタの高品質化  
第 61 回応用物理学会春季学術講演会、青山学院大学相模原キャンパス、2014 年 3 月 17 日～20 日

13. 中田和吉, 宮島晋介, 小長井誠  
Si ヘテロ接合太陽電池用 a-SiO:H 薄膜のパッシベーション効果評価  
第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、金沢市、平成 25 年 5 月 23 日(木)、24 日(金)

14. 小長井誠  
「シリコン太陽電池における革新技術開発」  
日本学術振興会 半導体界面制御技術第 154 委員会第 6 回講習会、2012 年 10 月 24 日、東京大学先端知ビル武田ホール

15. 浜下大輔、黒川康良、小長井誠  
「Conductive-AFM法を用いたp型ナノ結晶 3C-SiC:H薄膜の結晶性評価」  
第 9 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム、平成 24 年 5 月 31 日～6 月 1 日、京都テルサ

16. 中田和吉, 小長井誠  
「a-SiO:H薄膜によるヘテロ接合太陽電池のパッシベーション効果向上」  
第 9 回次世代の太陽光発電システムシンポジウム、平成 24 年 5 月 31 日～6 月 1 日、京都テルサ

17. 入川淳平、小長井誠  
「Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いた結晶 Si 系パッシベーション技術」  
平成 24 年 応用物理学会応用電子物性分科学会研究例会「結晶シリコン太陽電池最前線」大阪 2012 年 1 月

18. 山口裕美子, 綿引達郎, 小長井誠  
「ヘテロ接合 Si 太陽電池用 i-a-SiO:Hパッシベーション膜の評価」  
第 73 回応用物理学会学術講演会  
2012 年 9 月 11 日～14 日、愛媛大学城北地区、松山大学文教キャンパス

19. 山口裕美子, 綿引達郎, 小長井誠  
「n 型ヘテロ接合 Si 太陽電池用 i-a-Si<sub>x</sub>O<sub>1-x</sub>:H 界面パッシベーション膜の高品質化」  
第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、平成 23 年 6 月 30 日(木)、7 月 1 日(金)  
じゅうろくプラザ、岐阜

20. 中田和吉, 綿引達郎, 小長井誠  
「p 型 nc-SiO:H 窓層を用いた n 型シリコンヘテロ接合型太陽電池の作製」  
第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、平成 23 年 6 月 30 日(木)、7 月 1 日(金)  
じゅうろくプラザ、岐阜

21. 浜下大輔、黒川康良、小長井誠  
「p 型ナノ結晶 3C-SiC:H 窓層を用いたヘテロ接合型結晶シリコン太陽電池」  
第 8 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、平成 23 年 6 月 30 日(木)、7 月 1 日(金)  
じゅうろくプラザ、岐阜

〔図書〕(計 1 件)

1. 小長井誠・植田謙共編  
「太陽電池技術ハンドブック」  
p.376 宮島晋介、太陽電池の動作シミュレーション  
Ohmsha (2013)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)  
取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等  
<http://solid.pe.titech.ac.jp/>

イノベティブ PV 奨励賞  
中田和吉、宮島晋介、小長井誠  
Si ヘテロ接合太陽電池用 a-SiO:H 薄膜のパッシベーション効果評価  
第 10 回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム、金沢市、平成 25 年 5 月 23 日(木)、24 日(金)

6. 研究組織

(1)研究代表者  
小長井 誠(東京工業大学大学院理工学研究科・教授)  
研究者番号：40111653

(2)研究分担者  
宮島 晋介(東京工業大学大学院理工学研究科・准教授)  
研究者番号：90422526