

令和 2 年 6 月 11 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14921

研究課題名(和文)ホットプレス法によるシリコンナノ粒子膜の多結晶化とワイヤー型極薄膜太陽電池の作製

研究課題名(英文) Fabrication of polysilicon using silicon nanoparticles and its application for wire type solar cells

研究代表者

加藤 慎也 (Kato, Shinya)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：10775844

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：結晶シリコン太陽電池は、高効率で安定であることから広く用いられている。さらなる高効率化や低コスト化には薄膜化が必須で従来の技術では実現が困難であった。そこで、シリコンナノ粒子を用いて薄膜化を行った。また、ホットプレス法により膜の高品質化の手法を開発した。ホットプレス前は、シート抵抗は $2.05\text{M}\ \Omega/\text{sq}$ であったが、プレス後に抵抗が減少し、 $0.55\text{M}\ \Omega/\text{sq}$ まで低減した。そこで、イントリンジック層をシリコンナノ粒子で作製し、p型とn型の層をアモルファスシリコンでpin型太陽電池構造を作製した。光起電力を確認し、開放電圧 $155\text{mV}$ が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義は、従来では難しかった結晶シリコン太陽電池の薄膜化する新規技術を開発し、容易に $10\ \mu\text{m}$ 以下の膜厚の太陽電池構造を形成できることを示した。シリコンナノ粒子を用いた技術は世界でもほとんどなく、本研究の技術が確立できれば世界をリードできる。

社会的意義としては、太陽電池の高効率化・低コスト化技術を示したことで、さらなる普及に寄与することができる。太陽電池の普及は環境問題とエネルギー問題を解決するために必要であり、本研究がさらに発展すれば十分に普及が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Crystalline silicon (c-Si) solar cells have been widely used due to high efficiency and abundant material. Therefore, there is a growing interest in developing thin-film c-Si solar cells. This study fabricated a SiNP layer via a spin coating technique to simplify the process and reduce cost of execution. The influence of hot press treatment on the resistivity of the SiNP film was investigated. The resistivity of the SiNP film without any treatment was high owing to the improvement of connections among SiNPs. Resistivity of the SiNP film successfully decreased from  $2.05$  to  $0.50\ \text{Mohm}/\text{sq}$  because the necking of the SiNP film was improved via the hot press treatment. An intrinsic silicon nanoparticle (i-SiNP) layer was fabricated using the spin-coating technique and utilized as the active layer of a solar cell. To fabricate a solar cell with an i-SiNP active layer, a-Si was used to synthesize the p- and n-type doping layers. The open-circuit voltage of the cell was  $155\ \text{mV}$ .

研究分野：エネルギー学

キーワード：結晶シリコン太陽電池 ナノシリコン ホットプレス

1. 研究開始当初の背景

この十年間、結晶シリコン太陽電池の変換効率は 25 % 付近を推移しており、大幅な変換効率の向上のために革新的な技術開発が必要である。その一つが、膜厚 10 μm 以下の結晶シリコン極薄膜太陽電池の実現である。図 1 にシミュレーションの結果を示す。膜厚を低減すると、開放電圧が向上することがわかる。しかし、極薄膜化に向けてシリコンウエハを用いた場合、インゴットのスライシング技術や薄膜化技術、基板のハンドリング技術に課題がある。また、ガラス基板上に製膜したアモルファスシリコンを結晶化させる手法があるが、高温プロセスが必要になる。さらに、薄膜化に伴い光吸収が減少し、短絡電流が減少するなどの多くの課題がある。本研究は基板上へのシリコン膜の低温形成プロセスを確立し、ワイヤー構造により光吸収の増大させる

2. 研究の目的

本研究は、低温プロセスで光閉じ込め構造を有した膜厚 10 μm 以下の極薄膜結晶シリコン太陽電池を作製し、高い開放電圧および高い短絡電流を両立することが目的である。低温での多結晶シリコン膜の作製に向けて、ホットプレス法によるナノ粒子薄膜の粒形拡大という新規手法を提案し、その有用性とともメカニズムを明らかにする。さらに、サブミクロンオーダーのワイヤー構造を作製することで高い光吸収の極薄膜を開発する。これらを融合した太陽電池を作製し、高い開放電圧を維持したまま、高い短絡電流を実現させる。さらに、低コスト化に向けて溶液プロセスを用いる。

3. 研究の方法

透明基板上に、スピコート法によりシリコンナノ粒子層を作製した。膜厚の制御をスピコート回、回転数や回数を変化させることで行った。その後、ホットプレス法で圧力と温度を変化させ、シリコンナノ粒子層の緻密化を行った。電気特性は 4 端子測定とホール効果測定によって評価した。さらに、図 1 に示すような太陽電池構造を作製した。太陽電池構造を作製するため、イントリンジックなシリコンナノ粒子を用い、p 型と n 型のアモルファスシリコンでサンドイッチした。太陽電池構造に関して、電流電圧特性を評価した。

4. 研究成果

図 2(a) に圧力を変化させたときのシート抵抗を示す。スピコート後のシリコンナノ粒子層を基板上に形成できたが、層の密度が低いためシート抵抗が 2.05 M /sq と高い値を示した。この時、膜厚は 627 nm だる。そこで、ホットプレスの圧力を変化させて、シート抵抗を評価したところ、圧力の増加によって低減する示せた。15 MPa では 0.7 M /sq まで減少し、30 MPa で 0.5 M Pa/sq まで低減することに成功した。膜厚は 15 MPa で 513 nm に減少した。さらに 30 MPa では 409 nm まで低減できた。吸収率を測定すると、ホットプレス前後で変化はなく、膜厚の低下は膜密度の向上であることが確認できた。そこで、ホットプレス前後でホール測定効果の測定を行い、移動度を評価した。(図 2(b)) ホットプレス前は、移動度の測定ができなかった。15 MPa の時は評価が可能になり移動度が 0.74 cm<sup>2</sup>/Vs を示した。圧力を 20 Pa の時は 2.06 cm<sup>2</sup>/Vs まで増加した。さらに圧力を 30 MPa に増加させると、2.51 cm<sup>2</sup>/Vs まで増加した。膜のこれは、移動度が向上したことに起因

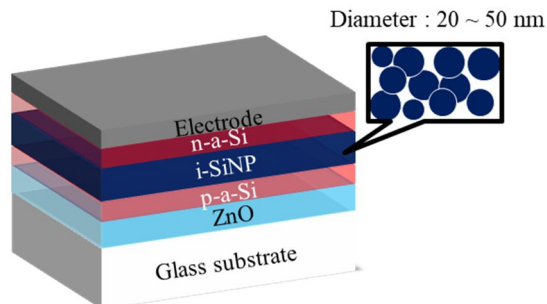


図 1 シリコンナノ粒子を用いた太陽太陽電池構造

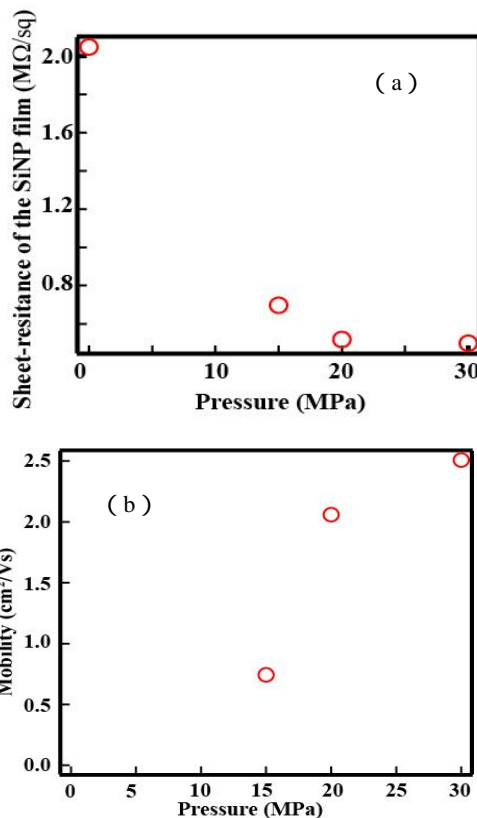


図 2 圧力を変化させたときの (a) シート抵抗 (b) 移動度

し、ホットプレスによって膜密度が増加し、シリコンナノ粒子同士の結合が増加することで導電パスが向上した。

ホットプレスによって、電気特性が向上することを確認したので、イントリンジックなシリコンナノ粒子を用い、p型とn型のアモルファスシリコンでサンドイッチした太陽電池構造を作製した。図3に電流電圧特性を示し、光起電力を確認した。スピコートをした2サイクル行ったとき電流密度が $6.0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ であった。サイクル数を8まで増加させると、短絡電流密度が $9 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ に増加した。一方で開放電圧と曲線因子はサイクル数によって変化しないため、短絡電流密度の増加は、膜厚の増加に伴い光吸収が増加したためである。

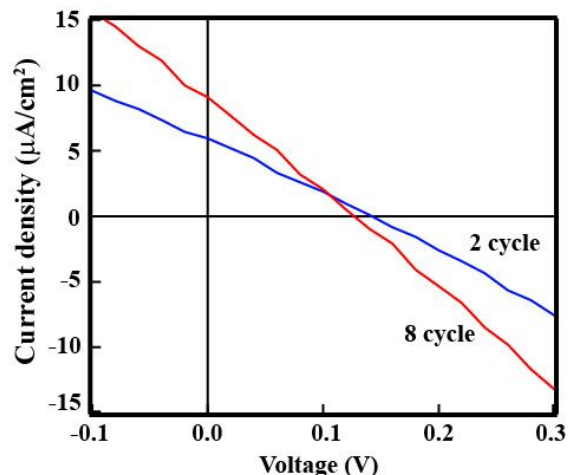


図3 サイクル数を変化させたときの電流電圧特性.

表1 サイクル数を変化させたときの太陽電池特性

	Eff (%)	FF	$V_{oc}$ (V)	$I_{sc}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )
2-cycle	0.0002	0.25	0.14	6.0
8-cycle	0.0003	0.26	0.13	9.1

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ichihara Eiji, Kato Shinya, Akaishi Ryushiro, Gotoh Kazuhiro, Kurokawa Yasuyoshi, Kishi Naoki, Soga Tetsuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Improving Intrinsic Silicon Nanoparticle Film by Press Treatment for use in p-i-n Solar Cells	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 7th Edition of the World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7)	6. 最初と最後の頁 0317 - 0320
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/PVSC.2018.8547319	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 Kato Shinya, Kumagai Shinsuke, Gabriel Caixeta Bonfim, Ichihara Eiji, Kishi Naoki, Soga Tetsuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Improvement of the Electrical Property of Silicon Nanoparticle Films Prepared via Hot Press Treatment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 7th Edition of the World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC-7)	6. 最初と最後の頁 0333 - 0337
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/PVSC.2018.8547336	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 Kato Shinya, Kurokawa Yasuyoshi, Gotoh Kazuhiro, Soga Tetsuo	4. 巻 14
2. 論文標題 Silicon Nanowire Heterojunction Solar Cells with an Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Passivation Film Fabricated by Atomic Layer Deposition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nanoscale Research Letters	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1186/s11671-019-2930-1">https://doi.org/10.1186/s11671-019-2930-1</a>	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 熊谷信亮、加藤慎也、岸直希、曾我哲夫
2. 発表標題 ホットプレス法を用いたシリコンナノ粒子膜の電気特性向上
3. 学会等名 第14回「次世代の太陽光発電システム」シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 熊谷信亮、加藤慎也、岸直希、曾我哲夫
2. 発表標題 スピンコート法を用いたpinシリコン太陽電池の作製と評価
3. 学会等名 第78回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----