

Title	n型結晶シリコン用高品質Cat-CVD窒化シリコンパッシベーション層の開発とその裏面コンタクト結晶シリコン太陽電池への応用
Author(s)	Trinh, Thi Cham
Citation	
Issue Date	2015-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	ETD
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/12772">http://hdl.handle.net/10119/12772</a>
Rights	
Description	Supervisor:大平 圭介, マテリアルサイエンス研究科, 博士

氏名	TRINH THI CHAM		
学位の種類	博士(マテリアルサイエンス)		
学位記番号	博材第 371 号		
学位授与年月日	平成 27 年 3 月 20 日		
論文題目	Development of high-quality Cat-CVD SiN <sub>x</sub> passivation layer for n-type c-Si and its application to back-contact c-Si solar cells (n 型結晶シリコン用高品質 Cat-CVD 窒化シリコンパッシベーション層の開発とその裏面コンタクト結晶シリコン太陽電池への応用)		
論文審査委員	主査	大平 圭介	北陸先端科学技術大学院大学 准教授
		下田 達也	同 教授
		鈴木 寿一	同 教授
		村田 英幸	同 准教授
		梅本 宏信	静岡大学 教授

## 論文の内容の要旨

Nowadays, besides the trends of innovating high technical products to take human life to the top luxury comfortable life, scientists have paid much attention to solving two problems: shortage of energy and environmental pollution. Solar cell, an electric device which can directly convert light to electricity, is a novel product to solve both problems. The ways to improve solar cell efficiency and decrease its cost are the most concerning for scientists in this field.

The purpose of my study is to increase solar cell efficiency by improving the passivation quality and transparency of passivation layers formed by catalytic chemical vapor deposition (Cat-CVD), aiming at application to back-contact crystalline silicon (c-Si) solar cells. Passivation layers play important roles in realizing high-efficiency solar cells because they can reduce optical loss caused by the reflection of coming sun-light and electrical loss caused by the recombination of photo-generated carriers on c-Si surfaces. To meet this purpose, my study aims to improve the passivation quality and transparency of Cat-CVD anti-reflective silicon nitride (SiN<sub>x</sub>) films.

I have succeeded to obtain Cat-CVD high-transparency SiN<sub>x</sub> films with high-passivation quality on n-type c-Si surfaces, and to significantly improve the passivation quality by doping phosphorous (P) on a n-type c-Si surface. This doping is performed by exposing a c-Si surface to P-related radicals generated by the catalytic cracking of PH<sub>3</sub> (Cat-doping), called P Cat-doped layer, before the passivation with the Cat-CVD SiN<sub>x</sub> single layer. By using the SiN<sub>x</sub>/P Cat-doped layer structure, an extremely low surface

recombination velocity (SRV) is obtained to be 2 cm/s on flat c-Si wafers. A SRV of 6.7 cm/s is also obtained for textured c-Si wafers, which are essential for high-performance solar cells due to its ability of lowering optical reflectance and enhancing light trapping inside c-Si absorber. For SiN<sub>x</sub>/P Cat-doped layer/c-Si textured samples, optical reflectance less than 10% in visible range can be achieved.

The obtained results indicate that Cat-CVD have potential application in passivation technique for high-efficiency solar cells, particularly for n-type back-junction solar cells. Based on the remarkable results for the passivation of n-type c-Si surfaces, I will investigate the application of these passivation layers to n-type back-contact solar cells. The solar cells which will be realized in my research have several advantages as below:

High transparency and high passivation quality by using SiN<sub>x</sub>/P Cat-doped layers.

No shading effect by metal grids on the front side.

Fabrication processes at low temperature (< 200 °C).

By these advantages, the solar cells with the highest efficiency ever should be expected.

*Keywords: Catalytic chemical vapor deposition (Cat-CVD), Phosphorus Cat-doping, surface recombination velocity, silicon nitride (SiN<sub>x</sub>), passivation quality.*

## 論文審査の結果の要旨

結晶 Si 太陽電池において、表面でのキャリア再結合を抑制するパッシベーション膜は、高効率化のために必須の構造である。特に近年、電極およびドーピング層を裏面に配置することで、表面電極による入射光損失を排除できる裏面電極型太陽電池の開発が進んでおり、表面(光入射)側のパッシベーションの重要性はますます高まっている。このパッシベーション膜には、反射防止膜の役割も求められるため、適切な屈折率と、高い光透過性も同時に必要となる。本論文は、膜堆積時に基板への損傷が少なく、パッシベーション膜形成に適している触媒化学気相堆積 (Cat-CVD)法を用いて、裏面電極型太陽電池に応用可能な窒化 Si 系パッシベーション膜の開発に取り組んだものである。

本論文では、3通りのパッシベーション構造を検討した。まず、窒化 Si と Si リッチ窒化 Si の積層パッシベーション膜において、製膜後のアニールにより表面再結合速度が効果的に低減できることを見出した。また、この原理として、膜中の固定電荷による電界効果ではなく、水素による界面欠陥低減が重要な働きをしていることを突き止めた。この知見をもとに、光透過性に優れる化学量論組成の窒化 Si 膜単層によるパッシベーションに取り組み、100 °C 程度の低温で窒化 Si 膜を堆積して膜中水素含有量を向上させ、その後の 350 °C 程度の高温熱処理で水素による欠陥終端を促進することで、表面再結合速度として、裏面電極型太陽電池に利用可能な水準である

10 cm/s を下回る、5 cm/s を実現した。さらに、フォスフィン(PH<sub>3</sub>)の触媒分解により生成されるラジカルに Si 表面を曝すことで Si の極表面 (数 nm 程度) リンのドーピングを行える Cat ドーピングを、この窒化 Si パッシベーションと組み合わせ、電界効果によるキャリアの追い返しとの相乗効果により、表面再結合速度を 2 cm/s まで低減できることを実証した。

この優れたパッシベーション構造の、実際の太陽電池への応用を検討するため、アルカリ溶液処理によりピラミッド状の凹凸が形成されたテクスチャ Si のパッシベーションを試み、表面再結合速度を 6.7 cm/s まで低減できることを明らかにした。また、得られた光透過率、反射率と、表面再結合速度を用い、裏面電極型太陽電池に応用した際に期待される特性を、シミュレーションにより確認し、既報の世界最高効率を示すセルを凌駕する可能性があるパッシベーション構造であることを明らかにした。

以上、本論文は、結晶 Si 太陽電池の特性向上に寄与しうる、応用物理学上優れた成果を示しており、背後にある原理についても深く吟味されていることから、学術的にも貢献するところが大きい。よって、博士 (マテリアルサイエンス) の学位論文として、十分価値のあるものと認めた。