

Title	Ultra-low Reflectivity Nanocrystalline Si Solar Cells Fabricated by Surface Structure Chemical Transfer Method
Author(s)	Francisco, C. Franco Jr.
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/26249
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

Synopsis of Thesis

Title: Ultra-low Reflectivity Nanocrystalline Si Solar Cells Fabricated by Surface Structure Chemical Transfer Method
(化学的転写法を用いて形成した極低反射ナノクリスタルシリコン太陽電池)

Name of Applicant: Francisco Franco Jr.

Solar cell is a very promising alternative source of energy to reduce carbon emissions from the burning of fossil fuels. However, the current solar cell technology and high production costs are still far from being the ideal alternative energy sources for supplying the world energy demand. Therefore, the main purpose of this work is to provide new methods on solar cell processing for the improvement of solar cell characteristics and more cost-effective device production.

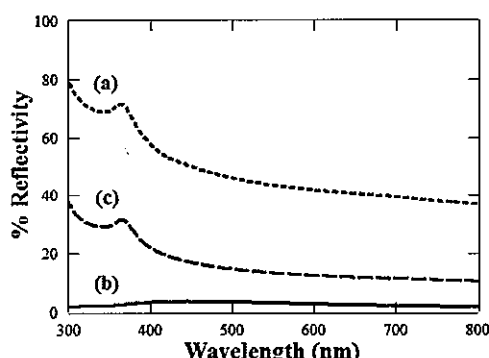


Fig. 3-4. Reflectance spectra of the Si(100) surfaces before (a) and after (b) the SSCT method. Reflectance spectrum of the pyramidal-textured Si surfaces formed on Si(100) surfaces by anisotropic alkaline etching is shown by curve (c) for reference.

Solar cells were produced from the ultra-low reflectivity nanocrystalline Si surface. The nanocrystalline Si surface could be easily doped by diffusing phosphorus from a P_2O_5 dopant source for the formation of pn-junction. Simple structured solar cells without anti-reflection coating and BSF were observed to generate high photocurrent density due to avoidance of reflection loss. The best solar cell produced, had a conversion efficiency of 16.6%, an absolute increase of 4.7% compared to the without treatment.

We have developed a method to fabricate ultra-low reflectivity Si surfaces using the “surface structure chemical transfer (SSCT) method”. A nanocrystalline Si layer was produced after the contact of a Pt mesh with a Si surface in hydrogen peroxide plus hydrofluoric acid solutions. The nanocrystalline Si layer possessed a 100 – 150 nm thickness and gave a photoluminescence peak at ~670 nm, indicating band-gap widening. The minority carrier lifetime increased after the production of the nanocrystalline layer most probably due to the enlargement of the band-gap in the Si/nanocrystalline Si interface.

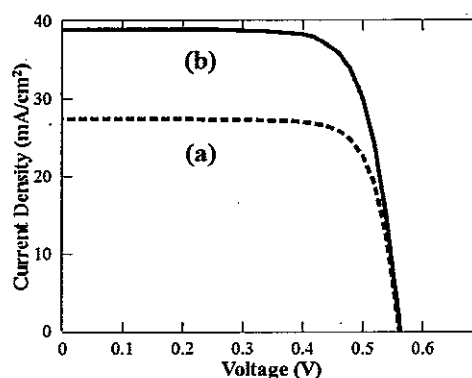


Fig. 4-9. I-V characteristics of the single crystalline Si solar cell with (b) and without (a) the SSCT method.

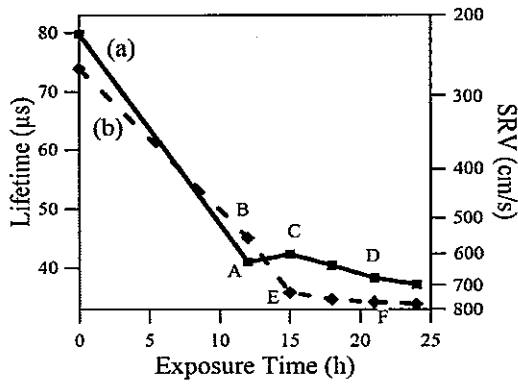


Fig. 5-2. Minority carrier lifetime of the HF-treated Si(100) surfaces vs. the period of time in the following atmospheres: (a) wet-air switched to dry-air at 12 h; (b) dry-air switched to wet-air at 12 h.

HF-treatment of Si produces a well-passivated H-terminated surface. However, after exposure to air, the Si surface was easily oxidized and the changes were observed to depend on the humidity conditions. It was shown by minority carrier lifetime measurements that the lifetime decreased in wet-air more rapidly than in dry-air. XPS measurements showed that Si formed Si-OH and Si-O-Si species in wet-air and dry-air respectively. Backbonded OH cannot form network, thus dangling bonds are generated leading to the lower lifetime. When the atmosphere was switched from dry-air to wet-air, the lifetime was observed to greatly decrease, and the workfunction increased. These results were attributed to the dominant formation of backbonded OH.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Franco Francisco Jr. Corpuz)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教 授	小林 光
	副 査	教 授	宗像 利明
	副 査	教 授	岡田美智雄

論文審査の結果の要旨

本論文では、結晶シリコン表面の反射率を極低にするため、化学的転写法を用いてシリコンナノクリスタル層を形成する方法を開発し、それを結晶シリコン太陽電池に利用して高効率化を行った。化学的転写法では、シリコンを $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HF}$ 水溶液に浸漬し、白金触媒メッシュを接触させるだけで、瞬間的に電気化学反応が起こり、100~200nm のシリコンナノクリスタル層がシリコン上に形成される。シリコンナノクリスタル層の空孔率は表面では高くそれが深さと共に減少する。したがって、屈折率は表面では低く、深さと共に増加する。その結果、表面と界面でそれぞれ空気/シリコンナノクリスタル層、シリコンナノクリスタル層/シリコン間で大きな屈折率の違いがなく、2%程度の極低反射率が得られると結論した。シリコンナノクリスタル層は、白金表面で H_2O_2 が分解される際に生成するホールがシリコンに注入され、これがシリコン表面に拡散して表面準位に捕獲され、この捕獲されたホールを用いてシリコンが HF によって不均一に溶解することによって形成される。シリコンナノクリスタル層は、量子サイズ効果によって拡大したバンドギャップを持ち、UV 光照射によって 670nm 近傍にフォトルミネッセンスピークが観測された。太陽電池の光起電力を支配する少数キャリアーライフタイムは、シリコンナノクリスタル層の形成によって増加した。これは、シリコンナノクリスタル層が欠陥準位を含まず、さらにバンドギャップが拡大していることからシリコンナノクリスタル層/シリコン界面でエネルギー障壁が形成され界面再結合が防止される結果と結論した。

シリコンナノクリスタル層/シリコン構造には良好な特性の pn 接合を形成できることを見出した。固相拡散法を用いて表面領域にリンを拡散して、その後表面銀電極、裏面アルミニウム電極を作製して pn 接合太陽電池構造とした。シリコンナノクリスタル層の形成によって極低反射率が達成できている結果、反射防止膜なしでも擬似太陽光 AM1.5 100mW/cm^2 の照射下、 38mA/cm^2 以上の高い短絡光電流密度と 16.6% の変換効率を達成した。この変換効率は、シリコンナノクリスタル層を形成しない場合よりも、4.7% 高いものであった。

シリコン表面の少数キャリアーライフタイムの時間変化を観測した。シリコンウェーハを HF 水溶液でエッチング処理し表面に Si-H を形成した場合、初期のライフタイムは高いが、空気中の放置時間と共に減少した。Wet-air 中に放置した場合、dry-air に放置した場合よりもライフタイムの低下が激しかった。Wet-air 中ではネットワークとならない Si-OH が多く形成され、一方 dry-air 中ではネットワークとなる Si-O-Si 結合が形成される結果、前者のライフタイムが低くなると結論した。

以上示したように、本論文は光電変換素子の基礎機構の解明と制御を行って学術的にも応用面からも重要な研究である。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。