

硝酸酸化膜による結晶型シリコン太陽電池の高効率化

Improvement of Crystalline Silicon Solar Cells by Use of Nitric Acid Oxidation Layer

○松本 健俊、中島 寛記、入鹿 大地、野中 啓章、今村 健太郎、小林 光 (阪大産研, CREST-JST)

○Takatoshi Matsumoto, Hiroki Nakajima, Daichi Irishika, Takaaki Nonaka, Kentaro Imamura,

Hikaru Kobayashi (ISIR, Osaka Univ., CREST-JST)

E-mail: tmatsumo@sanken.osaka-u.ac.jp

シリコン基板を硝酸水溶液に短時間浸漬するだけで 1.1~1.4 nm の超高性能の極薄酸化膜を形成できる硝酸酸化法を用い、結晶型シリコン太陽電池の特性向上に成功した。SiN/Si 界面に硝酸酸化膜を形成することにより、n 型シリコン太陽電池のエネルギー変換効率は 17.2%から 18.9%に増加した[1]。また、開放電圧も 630.0 mV から 633.4 mV に、短電流密度も 34.3 mA/cm² から 38.2 mA/cm² に大きく増加した。内部量子効率は、300-600 nm の短波長側で大きく向上した。p 型シリコン太陽電池においても、太陽電池のエネルギー変換効率が 16.6%から 17.5%に増加した[2]。また、開放電圧は、620 mV から 630 mV に大きく増加した。このエネルギー変換効率や開放電圧の増加は、固定電荷によるものではなく、界面準位密度の低減によるものと結論した。これは、<Al/SiN/Si> MIS 型ダイオード構造の電気容量-電圧曲線において、SiN/Si 界面に硝酸酸化膜を挿入したにもかかわらず、フラットバンド電位がシフトせず、硝酸酸化の有無により、固定電荷密度が変化しなかったからである。また、硝酸酸化膜でシリコン界面をパッシベーションすることにより、p 型および n 型太陽電池の特性が向上する結果も、シリコン界面に形成した硝酸酸化膜は、固定電荷による電界効果型パッシベーション膜ではなく、界面準位消滅型パッシベーション膜として機能することを示す。

硝酸酸化膜の形成後の熱酸化処理を追加することで、さらに SiN/Si 界面特性が向上することが分かった。n 型シリコン基板の場合、925°C での熱酸化処理と 450°C での水素中加熱処理を追加することにより、少数キャリアライフタイムが 11 μ s から 11 ms に大幅に向上した。また、硝酸酸化膜を SiN/Si 界面に挿入しない場合よりも 30%増加し、硝酸酸化膜が熱酸化後の SiN/Si 界面特性の向上にも効果があることが分かった。

また、硝酸酸化膜には、SiN 膜堆積時に Si 界面が直接窒化されて界面準位密度やトラップ準位密度が増加するのを防止する効果があり、さらに B や P を拡散した後に形成されるハイドロ層を除去する効果があることも明らかにした。硝酸酸化法が太陽電池特性を向上させる様々なメカニズムについて討論を行う。

[1] F. Shibata, D. Ishibashi, S. Ogawara, T. Matsumoto, C.-H. Kim, H. Kobayashi, ECS J. Solid State Sci. Technol. 3 (2014) Q137.

[2] T. Matsumoto, R. Hirose, F. Shibata, D. Ishibashi, S. Ogawara, H. Kobayashi, Sol. Energ. Mat. Sol. C. 134 (2015) 298.