

Влияние технологических параметров на оптические свойства фоточувствительных структур на основе пористого кремния

Н.В. Латухина¹, Д.А. Лизункова¹, Д.В. Паранин¹, Г.А. Рогожина¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34А, Самара, Россия, 443086

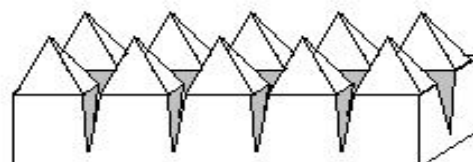
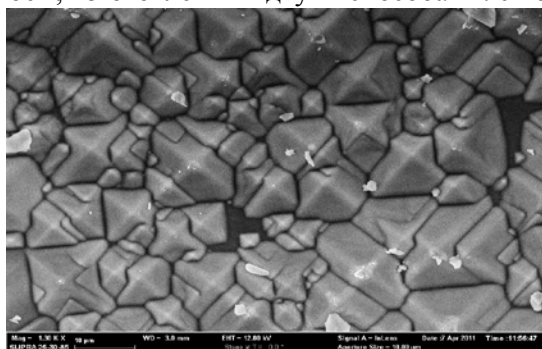
Аннотация. Мы изучаем фоточувствительные структуры, содержащие слои пористого кремния, изготовленные по различным технологическим маршрутам. Исследованы спектральные характеристики коэффициента отражения структур с пористым слоем и их фоточувствительность. Показано влияние диффузии на оптические свойства структур.

1. Введение

Фоточувствительные структуры на базе пористого кремния показывают хорошие перспективы использования их в солнечных элементах [1]. Наличие пористого слоя в структуре приводит к увеличению ее спектральной чувствительности, особенно заметному в коротковолновой части спектра, что объясняется наличием нанокристаллов кремния в порах. В то же время фоточувствительность структур сильно зависит от технологических параметров процесса их изготовления. Фоточувствительные структуры с р-п-переходом и пористым слоем создавались двумя способами. В первом пористый слой изготавливался электрохимическим травлением кремниевых подложек с текстурированной поверхностью и заранее созданным р-п-переходом. Порообразование на такой поверхности происходит в основном в местах соприкосновения оснований пирамид, где напряженность электрического поля максимальна, поэтому в результате травления структур с мелкозалегающим р-п-переходом исходный п-тип проводимости на гранях тетраэдрических вершин сохраняется, так что образующаяся структура представляет собой ряд вертикальных диодов, объединенных общей подложкой р-типа проводимости (рис. 1 а, б). Поглощение света в такой структуре происходит не только на гранях пирамид, но и на стенках пор, в области обедненного слоя, где генерированные светом электронно-дырочные пары эффективно разделяются полем р-п-перехода.

Во втором способе для образования слоя п-типа проводимости диффузия донорной примеси проводилась в уже сформированный пористый слой на подложке р-типа проводимости с текстурированной поверхностью. В этом случае вся развитая поверхность пористого слоя приобретает проводимость п-типа, образуя р-п-переход большой площади. Однако при проведении операции диффузии примеси в пористый слой при температурах 800-1000°C существует риск повредить его нанокристаллическую структуру. Экспериментально установлено в работе [2], что для нанокристаллов кремния диаметром 5nm температура плавления падает до 900 градусов. Эффект снижения точки плавления наблюдался также для пористого кремния (por-Si), который содержит нано- и микро-кристаллы размером от единиц

нанометров до десятков микрон. Авторами работы [3] было обнаружено, что в por-Si с пористостью 50% происходит плавление частиц при температуре на 600 градусов С ниже, чем для монокремния, т.е. уже при 800 градусов. В данной работе мы исследовали структуру, оптические и фотоэлектрические свойства образцов fotocувствительных структур с пористым слоем, изготовленных двумя способами: с порообразованием до и после проведения диффузии.



а) **Рисунок 1.** Изображение текстурированной поверхности образца со щелевидными порами, полученное с помощью растрового электронного микроскопа (а) и её схематичное изображение (б).

2. Методика эксперимента

Пористый слой сформирован в водно-спиртовом растворе плавиковой кислоты методом электрохимического травления в ячейке вертикального типа. В качестве подложек использовались монокристаллические пластины кремния р-типа проводимости с разной обработкой поверхности: текстурированной, шлифованной и полированной. Р-n-переход был создан легированием фосфора при температуре 1000 градусов.

Структура образцов исследовалась на растровом электронном микроскопе FEI Quanta 200/

Проведенные измерения включали в себя измерение коэффициента отражения и fotocувствительности структур. Спектральные зависимости коэффициентов отражения исследовались на спектрофотометре SHIMADZU UV-2450PC в диапазоне длин волн от 0.3 до 1мкм.

3. Спектральные зависимости квантовой эффективности

На рисунке 2 представлена спектральная зависимость квантовой эффективности образцов ФЭП, изготовленных на текстурированной поверхности с порообразованием до и после диффузии.

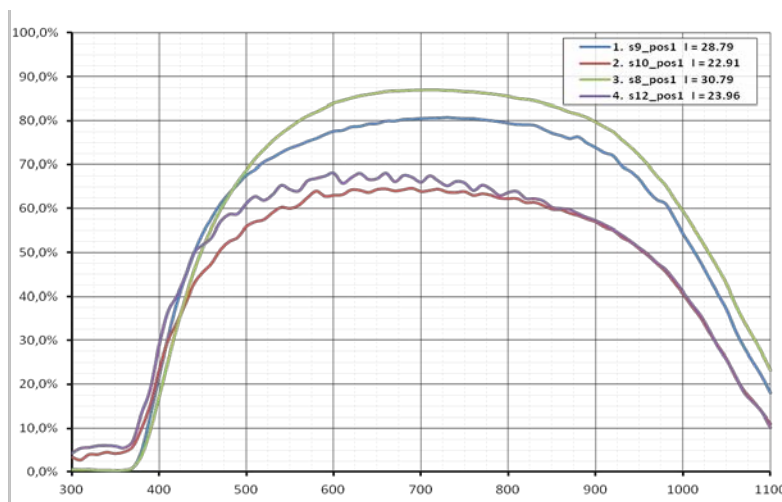


Рисунок 2. Квантовая эффективность для текстурированных образцов с порообразованием до (красн. и фиол.) и после диффузии (зел. и гол.).

Из рисунка видно, что квантовая эффективность выше для тех образцов, у которых порообразование шло после диффузии. Разница в квантовой эффективности составляет 17-20%.

4. Спектральные зависимости fotocувствительности

На рисунках 3 и 4 приведены спектральные зависимости fotocувствительности образцов с порообразованием до и после диффузии при различном времени травления.

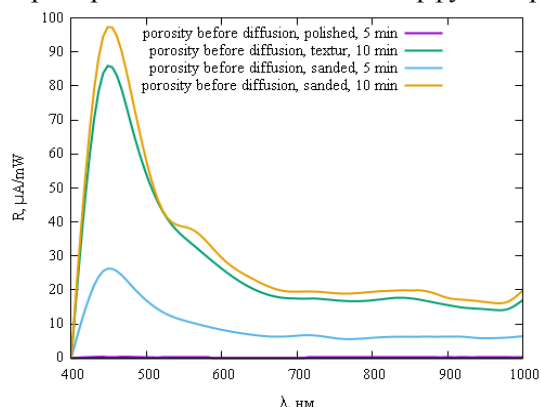


Рисунок 3. Спектральные зависимости fotocувствительности образцов ФЭП с порообразованием до диффузии, изготовленные на текстурированной (зеленая), шлифованной (голубая, желтая) и полированной (сиреневая) поверхностях при различном времени травления.

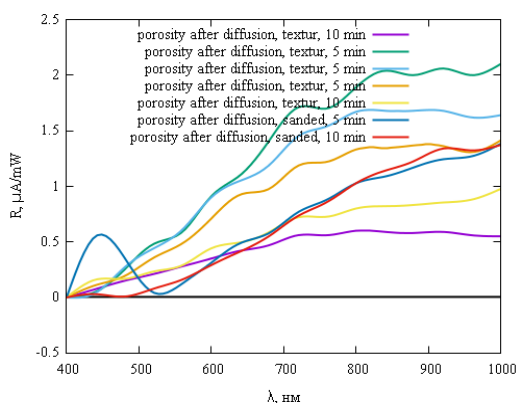


Рисунок 4. Спектральные зависимости fotocувствительности образцов ФЭП с порообразованием после диффузии (с готовым p-n-переходом), изготовленные на текстурированной (сиреневая, зеленая, голубая, желтая), шлифованной (синяя и красная) поверхностях при различном времени травления.

Хорошую чувствительность показали образцы с текстурированной и шлифованной поверхностью с порообразованием до диффузии и временем травления 10 минут. В то время как образцы с готовым p-n-переходом на текстурированной поверхности при увеличении времени травления до 10 минут становились менее чувствительными. Это можно объяснить вымыванием легирующей примеси и, соответственно, увеличением сопротивления верхнего поглощающего слоя структуры n-типа проводимости.

5. Спектральные зависимости коэффициента отражения

На рисунках 5-7 приведены спектральные зависимости коэффициента отражения для образцов ФЭП до и после диффузии на различных типах рабочей поверхности.

Из графиков 5-6 видно, что образование пористого слоя заметно уменьшает коэффициент отражения, при этом ход кривых спектральных зависимостей остается почти неизменным, что объясняется локальным характером образования пор. Исключение составляет образец с текстурированной поверхностью, который травился 5 мин., у него коэффициент отражения в коротковолновой части спектра заметно ниже, чем у других. Это объясняется динамикой порообразования на такой поверхности. На начальном этапе травления нанокристаллы кремния образуются практически по всей поверхности текстурированного слоя, а при дальнейшем травлении часть из них, расположенная на стенках пирамид, растворяется, и образование пористого слоя идет только в углублениях рельефа [4].

Из рисунка 7 мы можем заметить влияние пористого слоя на коэффициент отражения образцов с полированной поверхностью. С увеличением времени травления коэффициент отражения снижается во всем спектральном диапазоне.

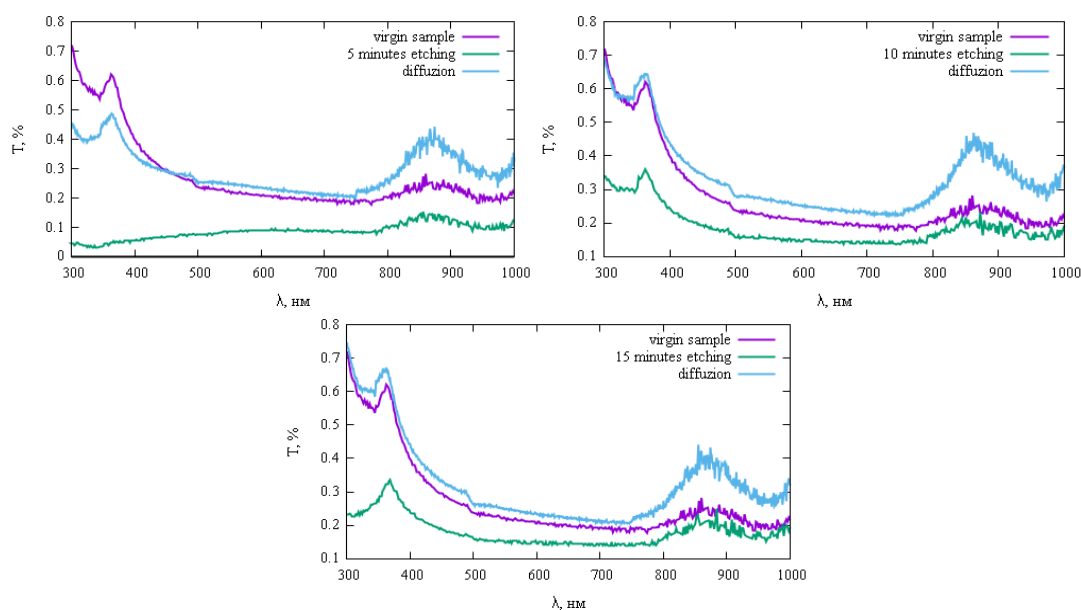


Рисунок 5. Спектральная зависимость коэффициента отражения текстурированных образцов с пористым слоем и после диффузии при различном времени травления.

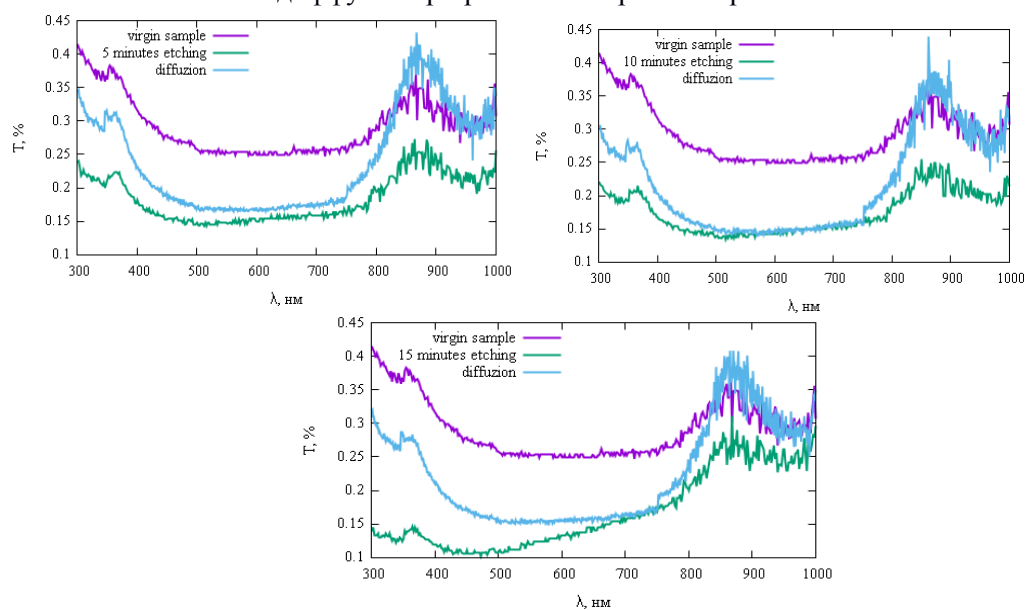


Рисунок 6. Спектральная зависимость коэффициента отражения шлифованных образцов с пористым слоем и после диффузии при различном времени травления.

Однако после проведения диффузии на всех типах ФЭП значение коэффициента отражения значительно возрастает и становится выше исходного образца без пористого слоя. Для полированных структур такая зависимость выражена сильнее. Коэффициент отражения меняется на 5-7% от исходного. Для других типов поверхности эта разность колеблется в долях процента. Это можно объяснить изменением пористого слоя в результате высокотемпературного воздействия при диффузии, т.е. оплавлением стенок пор, а также наличием в порах остатков диффузанта с высоким коэффициентом отражения.

6. Заключение

Таким образом, проведенный комплекс исследований позволяет сделать вывод о том, что процесс диффузии легирующей примеси в пористый слой, проходящий при температуре 800 – 1000°C отрицательно влияет на оптические и фотоэлектрические свойства всех структур, с

любым типом исходной поверхности, увеличивая коэффициент отражения и снижая фоточувствительность. Однако наиболее заметно это влияние на структуры, изготовленные на пластинах с полированной поверхностью из-за особенностей порообразования и диффузии примеси в пористый слой на такой поверхности [2,3]. Структуры с порообразованием после диффузии такого влияния не испытывают, но обладают несколько худшими фотоэлектрическими свойствами из-за высокого электрического сопротивления верхнего слоя. При использовании таких структур в солнечных элементах эта проблема может быть решена нанесением слоя проводящего покрытия типа сульфида цинка.

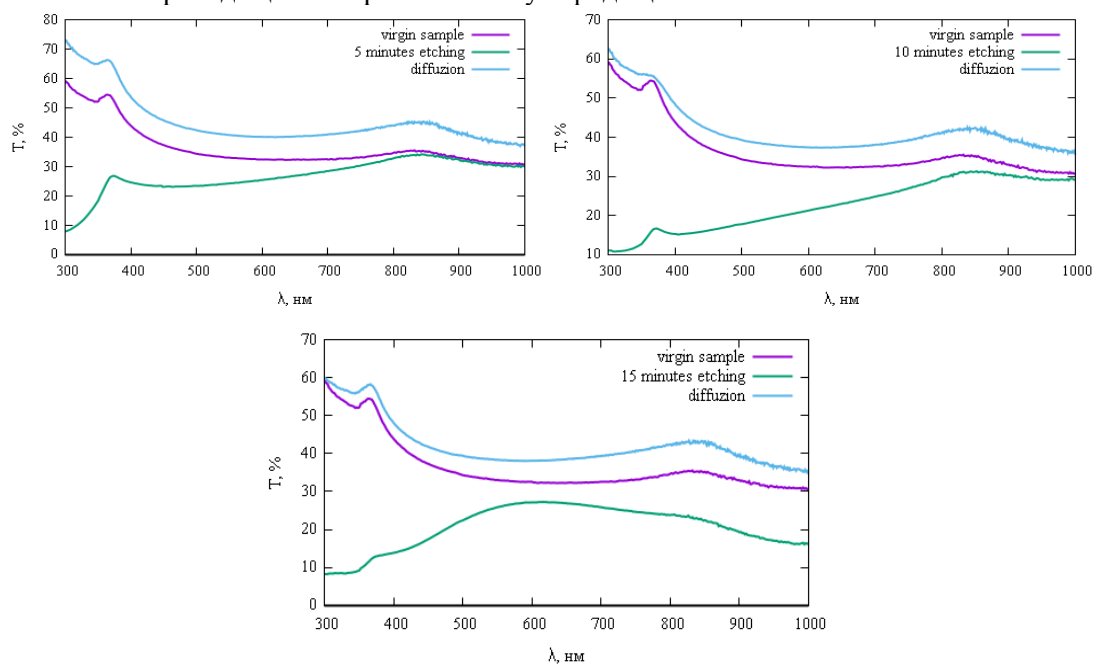


Рисунок 7. Спектральная зависимость коэффициента отражения полированных образцов с пористым слоем и после диффузии при различном времени травления.

7. Литература

- [1] Latukhina, N.V. Efficient silicon solar cells for space and ground-based aircraft / N.V. Latukhina // *Procedia Engineering*. – 2015. – Vol. 104. – P. 157-161.
- [2] Yang, C.C. Effect of pressure on melting temperature of silicon / C.C. Yang, G. Li, Q. Jiang // *J. of Physics C: Condensed Matt.* – 2003. – Vol. 15(29). – P. 4961-4965.
- [3] Timoshenko, V.Yu. Laser-induced melting of porous silicon / V.Yu. Timoshenko, T. Dittrich, I. Sieber, J. Rappich, B.V. Kamenev, P.K. Kashkarov // *Phys. Status. Solidi (A)*. – 2000. – Vol. 182. – P. 325-330.
- [4] Latukhina, N.V. Nanocrystalline Silicon and Silicon Carbide Optical Properties / N.V. Latukhina // *CEUR Workshop Proceedings*. – 2017. – Vol. 1900. – P. 84-89.

The influence of technological parameters on the optical properties of photosensitive structures based on porous silicon

N.V. Latukhina¹, D.A. Lizunkova¹, V.D. Pararin¹, G.A. Rogozhina¹

¹Samara National Research University, Moskovskoe Shosse 34A, Samara, Russia, 443086

Abstract. We study photosensitive structures containing porous silicon layers made on different technological routes. The spectral characteristics of the reflection coefficient of structures with a porous layer and their photosensitivity are investigated. The effect of diffusion on the optical properties of structures.

Keywords: porous silicon, a reflection coefficient, multilayer systems.