

УДК 621.315.592

К.К. Диханбаев<sup>1</sup>, Г.К. Мусабек<sup>1</sup>, В.А. Сиваков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, физико-технический факультет, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Leibniz Institut für Photonische Technologien, Albert Einstein Str. 9, 07745 Jena, Germany

## ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С ОБВОЛАКИВАЮЩИМ СЛОЕМ ИЗ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ

**Аннотация.** В данной работе рассматривается новый способ изготовления кремниевого солнечного элемента с обволакивающим покрытием из кремниевых нанонити, при этом кремниевые нанонити используются в качестве эффективного антиотражающего покрытия и активного поглощающего слоя для солнечного элемента. В работе рассмотрены спектры отражения света и спектральные характеристика СЭ.

**Ключевые слова:** солнечный элемент, кремниевые нанонити, диффузонт, спектр отражения, спектральная характеристика.

### Введение

Наноструктурированные материалы являются перспективными по причине наличия у них физических свойств, не характерных для объемных модификаций. Современные электронные приборы и устройства основаны на полупроводниковых материалах, поэтому класс наноструктурированных полупроводников привлекает особое внимание, как исследователей, так и инвесторов.

Очень интересным материалом для исследований с этой точки зрения оказался кремний, наноструктурированные модификации которого обладают разной морфологией и благодаря своим уникальным свойствам могут быть использованы в ключевых областях жизнедеятельности современных людей, таких как наноэлектроника, фотоника, энергетика и биомедицина.

В данной работе рассматривается новый способ изготовления кремниевого солнечного элемента с обволакивающим покрытием из кремниевых нанонитей без лицевого сеточного контакта. Все контакты расположены на тыльной стороне СЭ.

В качестве фоточувствительной области использованы кремниевые нанонити, сформированные травлением в смеси фтористоводородной кислоты и

пергидроля в присутствии наночастиц серебра.

В таком слое весь свет полностью поглощается в нанонити, следовательно, носители заряда разделяются на контактах в тыльной стороне, и коэффициент отражения составляет меньше 1% [1].

Здесь отсутствуют сеточные контакты, что нет необходимости использовать методы фотолитографии, напыления и дополнительные операции, таким образом, лицевую сторону не затеняют контактами освещаемой поверхности. Кроме того, освещение торцевого края подложки вносит вклад в фототок, увеличивая эффективность солнечного элемента.

Солнечные элементы (СЭ) с обволакивающим покрытием из столбчатых наноструктур, у которых оба электрические контактов выведенные на тыльную поверхность, имеют ряд существенных преимуществ перед СЭ обычной конструкции [2]. К ним относятся: простота крепления защитного стеклянного покрытия, низкая степень затенения рабочей поверхности, упрощение техоперации, увеличение поглощательной способности в области солнечного спектра, что дает более высокий КПД СЭ.

На основе этой технологии с некоторыми дополнительными усовершенствованиями в настоящее время возможно налаживание опытного производства эффективного СЭ с обволакивающим диэлектрическим покрытием из нанонитей.

### Методика эксперимента

Для изготовления СЭ исходная Si пластина p-типа с удельным сопротивлением 1-3 Ом·см травилась в 30% водном растворе КОН при температуре 100°C до получения нужной толщины пластины. Затем на рабочей поверхности пластины были сформированы нанонити, методом метал-индуцированного химического травления [3], которые служат в качестве антиотражающего покрытия к СЭ.

Диффузия фосфора проводилась с помощью быстрого термического отжига при температуре в 880°C в течение 45 секунд в инертной среде, состоящей из смеси аргона и азота. Твёрдый диффузانت на основе P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> наносился на поверхность кремниевых нанонитей методом «spin-on», после чего, поверхность подвергалась термодиффузии.

Нанесение контактной сетки осуществлялось методом термического вакуумного испарения металлов Al, Ti, In с последующим отжигом.

Микроструктура фронтальной поверхности нанонитей, спектры отражения и пропускания света, а также спектральная характеристика приготовленных образцов тонкопленочных солнечных элементов были измерены и проанализированы.

Анализ спектров пропускания и отражения СЭ показал, что создание нанонитей на фронтальной поверхности СЭ приводит к уменьшению коэффициента отражения до 1-2%, спектр поглощения света составляет 80-90% во всем рабочем диапазоне длин волн 400-1000 нм, таким образом, увеличивая поглощательную способность поверхности.

### Обсуждение результатов

Кремниевый солнечный элемент с обволакивающим покрытием в мире не существует, и впервые используются в данной работе. Конструкция солнечного элемента с обволакивающим контактом из кремниевых нанонитей показаны на рисунке 1.



Рисунок 1. - Конструкция солнечного элемента с обволакивающим покрытием из кремниевых нанонитей. Все несущие контакты расположены тыльной стороне.

Частицы серебро или золото является зародышами роста кремниевых нанонитей. В дальнейшем с увеличением времени травления длина нанокристаллов растет, на рисунке 2 показаны морфология столбчатых наноструктур полученных нанонити кремния, отснятые сканирующем электронном микроскопе. Диаметр поперечного сечения составляет порядка 50-100 нм.

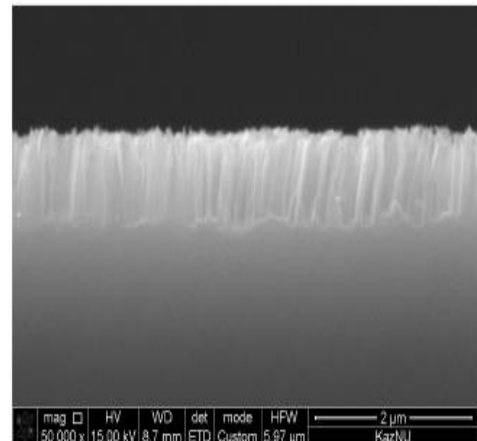


Рисунок 2 - Изображение СЭМ поперечного сечения скола образца нанонити полученного на подложке p-типа

В ранней работе [2], кремниевые нанонити были использованы в качестве антиотражающего покрытия для солнечных элементов. С этой целью были

отсняты спектры отражения при различной длине нанонити кремния. На рисунке 3 показаны спектры полного отражения кристаллического кремния и нанонити. Видно, что с ростом длины нити спектр отражения света в видимой области уменьшается, например для 500 нм отражения составляет порядка 3-4 %.

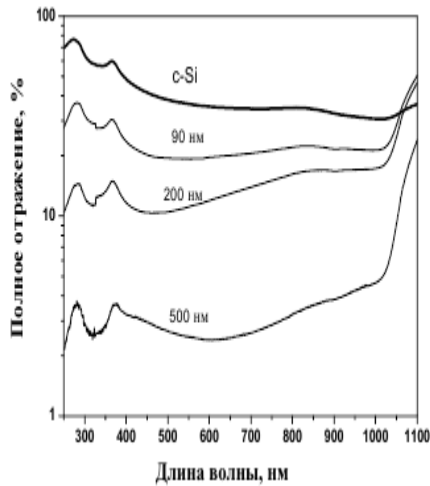


Рисунок 3- Спектры полного отражения света для различных длин нанонити.

При толщине слоя нанонити порядка 3,3 мкм отражения света в диапазоне длин волн от 300 до 1100 нм составляет почти 1% (Рисунок 4).

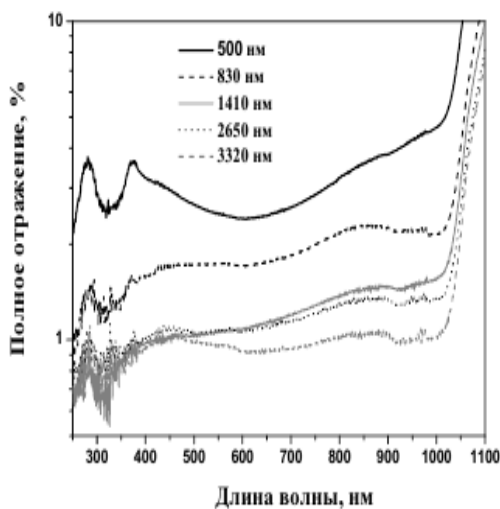


Рисунок 4- Спектры полного отражения света для различного времени травления.

Один из важных характеристик солнечного элемента является спектральная характеристика, измеренная на установке ИКС-21 в области длина волны 0,4-1,1 мкм. Иллюстрация картин показано на рисунке 5.

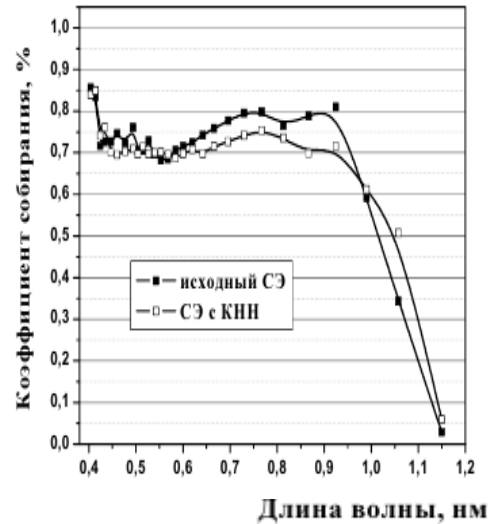


Рисунок 5 – Спектральные характеристики эталонного кремниевого СЭ и СЭ с антиотражающим покрытием из нанонити.

Коэффициент сбора носителей заряда в коротковолновой области спектра очень высокий, порядка 0,8 при длине волн 0,4 мкм, но в видимой области немного уступает по сравнению эталонного образца солнечного элемента. Фоточувствительность кремниевых нанонити (КНН) в длинноволновой области спектра выше, чем эталонного СЭ из-за эффективного сбора носителей с тыльной стороны.

### Заключение

Исследование оптического свойства солнечного элемента из кремниевой нанонити показало, что создание нанонитей на фронтальной поверхности СЭ приводит к уменьшению коэффициента отражения до 1-2%, спектр поглощения света составляет 80-90% во всем рабочем диапазоне длин волн 400-1000 нм, таким образом, увеличивая поглощательную способность поверхности.

Ростом длины нити спектр отражения света в видимой области уменьшается,

например для 500 нм отражения составляет порядка 3-4 %.

Из морфологического анализа исследования обнаружено, что высота столбчатых наноструктур сканирующем электронном микроскопе составил порядка 2 мкм. Диаметр поперечного сечения составляет порядка 50-100 нм.

Коэффициент собирания носителей заряда в коротковолновой области спектра очень высокий, порядка 0,8 при длине волн 0,4 мкм, но видимой области немного уступает по сравнению эталонного образца солнечного элемента. Фоточувствительность кремниевых нанонитей (КНН) в длинноволновой области спектра выше, чем эталонного СЭ из-за эффективного собирания носителей с тыльной стороны

#### **Список литературы**

1 Mussabek G.K., Dihanbayev K.K., Sivakov V., Timoshenko V. YU. Optical and photovoltaic of porous silicon films formed by metal-assisted chemical etching // Extended

abstracts of the 9<sup>th</sup> International Conference «Porous semiconductors – science and technology», Alicante-Benidorm, Spain, 2014. P. 326-327.

2 Taurbaev Ye.T., Mussabek G.K., Mansurov B.Z., Nikulin V.E., Kablanbekov B., Dihanbayev K.K.. Formation and optical properties of nanostructured antireflection coating for silicon solar cells // Solar energy materials, solar cells and energy applications. Kuala Lumpur, Malaysia, 2013. P. 247-250.

3 Osminkina L.A., Gonchar K.A., Marshov V.S., Bunkov K.V., Petrov D.V., Golovan L.A., Talkenberg F., Sivakov V.A., Timoshenko V.Yu Optical properties of silicon nanowire arrays formed by metal-assisted chemical etching: evidences for light localization effect // в журнале Nanoscale Research Letters, издательство Springer Verlag (Germany), 2012. Т.7, № 524, с.1-6

*Принято в печать 20.10. 14*

**К.К. Диханбаев<sup>1</sup>, Г.К. Мусабек<sup>1</sup>, В.А. Сиваков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы 050012, аль-Фараби 71  
dkadyrjan@mail.ru

<sup>2</sup>Leibniz Institut für Photonische Technologien, Albert Einstein Str. 9, 07745 Jena, Germany  
[vladimir.sivakov@ipht-jena.de](mailto:vladimir.sivakov@ipht-jena.de)

### **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА С ОБВОЛАКИВАЮЩИМ СЛОЕМ ИЗ КРЕМНИЕВЫХ НАНОНИТЕЙ**

**Аннотация.** В данной работе рассматривается новый способ изготовления кремниевого солнечного элемента с обволакивающим покрытием из кремниевых нанонити, при этом кремниевые нанонити используются в качестве эффективного антиотражающего покрытиях и активного поглощающего слоя для солнечного элемента. В работе рассмотрены спектры отражения света и спектральные характеристика СЭ.

**Ключевые слова:** солнечный элемент, кремниевые нанонити, диффузонт, спектр отражения, спектральная характеристика.

K.K. Dikhanbayev<sup>1</sup>, G.K. Mussabek<sup>1</sup>, V.A. Sivakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty 050012, Al-Farabi 71

[dkadyrjan@mail.ru](mailto:dkadyrjan@mail.ru)

<sup>2</sup>Leibniz Institut für Photonische Technologien, Albert Einstein Str. 9, 07745 Jena, Germany

[vladimir.sivakov@ipht-jena.de](mailto:vladimir.sivakov@ipht-jena.de)

## OPTICAL PROPERTIES OF SOLLAR CELLS WITH SHIELDING COATING OF SILICON NANOWIRES

**Abstract:** This paper describes a new method for manufacturing a silicon solar cell with shielding coating of silicon nanowires wherein silicon nanowire solar cells are used as an effective anti-reflection coating and active absorbing layer. The paper discusses the spectra of light reflection and spectral characteristics of a solar cell.

**Keywords:** solar cell, silicon nanowires, diffusant, reflection spectrum, spectral characteristic

Қ.К. Диханбаев<sup>1</sup>, Г.К. Мұсабек<sup>1</sup>, В.А. Сиваков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>әл-Фараби Қазақ ұлттық университеті, Алматы 050012, әл-Фараби 71

[dkadyrjan@mail.ru](mailto:dkadyrjan@mail.ru)

<sup>2</sup>Leibniz Institut für Photonische Technologien, Albert Einstein Str. 9, 07745 Jena, Germany

[vladimir.sivakov@ipht-jena.de](mailto:vladimir.sivakov@ipht-jena.de)

## НАНОТАЛШЫҚТАР БҮРКЕУІШ ҚАБАТЫ БАР КҮН ЭЛЕМЕНТІНІҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

**Абстракт.** Бұл жұмыста беттік нанокеуекті кремний бүркеуіш қабаты бар күн элементінің жаңа жасалу әдісі қарастырылған және кремний наноталшықтары тиімді керішағылысу қабаты ретінде әрі белсенді жұтылғыш қабаты ретінде күн элементі үшін қолданылады. Бұл жұмыста күн элементінің шағылысу спектрлері және спектралдық сипаттамалары қарастырылған.

**Кілттік сөздер:** күн элементі, кремний наножібі, диффузонт, шағылысу спектрі, спектралдық сипаттамасы.