

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ АМОРФНОГО КРЕМНИЯ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММЫ PV LIGHT HOUSE ONLINE

**Носиров Мурод Закирович**

*преподаватель кафедры физики Андижанского госуниверситета*

**Ашурова Хамидахон Ботиржон кизи**

*студенка направления физики Андижанского госуниверситета*

**Юлдашева Назокатхон Мурод кизи**

*преподаватель кафедры физики Андижанского госуниверситета*

*e-mail: nmz1964@yandex.ru*

**Аннотация:** В статье представлена методика исследования оптических свойств солнечных элементов из аморфного кремния на базе онлайн-платформы PV Lighthouse и проведен анализ результатов. Результаты показали, что фотогенерация происходит в фотоэлементах на основе аморфного кремния при толщине основы 10 нм и 100 нм, то есть даже в очень тонких слоях.

**Ключевые слова:** PV Lighthouse, аморфный кремний, кристаллический кремний, фотогенерация, коэффициент поглощения, солнечный элемент, солнечная энергия, оптические свойства.

**Abstract:** The article presents the method of studying the optical properties of amorphous silicon solar cells based on the PV Lighthouse online platform and analyzes the results. The results showed that photogeneration occurs in amorphous silicon-based photocells when the thickness of the base is 10 nm and 100 nm, that is, even in very thin layers.

**Keywords:** PV Lighthouse, amorphous-silicon, crystalline-silicon, photogeneration, absorption coefficient, solar cell, solar energy, optical properties.

Постоянно растущий спрос на энергоресурсы в мире и обострение глобальных экологических проблем требуют стремительного расширения использования возобновляемых источников энергии. Поэтому проводится ряд научно-практических исследований по повышению эффективности экологически чистых возобновляемых источников энергии - полупроводниковых фотоэлектрических преобразователей энергии. Увеличение поглощение светового потока, падающего на поверхность фотоэлектрических преобразователей энергии, получение новые перспективные моно- и поликристаллические структуры для высокоэффективных фотоэлектрических устройств, изучение их электрофизические и фотоэлектрические свойства, а также выяснение уникальные возможности использования источников энергии является одной из актуальных проблем современности.

Известно, что солнечные элементы производятся на основе кремния, перовскита, арсенида галлия и т.д.. Среди них, который производится в больших масштабах, — это солнечный элемент на основе кремния. Потому что кремний является самым распространенным и дешевым сырьем на земле. Кроме того, технология производства очень хорошая, а их КПД составляет 19,6%. Другие типы солнечных элементов имеют КПД 20–40 % в лабораторных условиях, но они намного дороже [1]. Это препятствует их крупномасштабному производству.

Солнечные элементы на основе аморфного кремния рассматриваются как недорогая альтернатива солнечным элементам на основе монокристаллического кремния. Такие солнечные элементы были созданы в 1975 г., а оптическое поглощение аморфного кремния в 20 раз выше, чем у монокристаллического кремния [2]. Поэтому вместо монокристаллического кремния толщиной 300 мкм можно использовать пленку a-Si:N толщиной 0,5–1 мкм. Кроме того, в технологии получения аморфного кремния с большой поверхностью не выполняются такие операции, как резка, шлифовка и полировка, инструменты из аморфного кремния создаются при относительно низких температурах (300°C) и на дешевых подложках, что позволяет снизить расход кремния до 20 раз.

Пока максимальный КПД солнечных элементов на основе a-Si:N составляет (12%), что ниже, чем КПД солнечных элементов на основе монокристаллического кремния (15%) [3]. Производство солнечных элементов на основе аморфного кремния является безотходным, что значительно снижает их себестоимость. Несмотря на низкий КПД, элементы из аморфного кремния способны эффективно использовать рассеянный солнечный свет, а при нагреве элементов их мощность выше, чем у элементов из кристаллического кремния. Силикат водорода (SiH<sub>4</sub>) используется в качестве основного материала для солнечных элементов на основе аморфного кремния. Слой осажденного кремния в 100 раз тоньше фотоэлемента из кристаллического кремния. По сравнению с солнечными элементами на основе кристаллического кремния элементы на основе аморфного кремния имеют ряд преимуществ, одним из которых является простота и возможность создания элементов большой площади (более 1 м<sup>2</sup>) при более низких температурах осаждения, а также их уникальные свойства [5].

Онлайн-платформа PV Lighthouse была запущена в июне 2011 года и в настоящее время расширена Китом Макинтошом, Малкольмом Эбботтом, Беном Садбери и несколькими другими экспертами индустрии фотоэлектроники. Текущая пользовательская база PV Lighthouse быстро растет, насчитывая более 10 000 рефералов в месяц. Онлайн-платформа PV Lighthouse работает в режиме онлайн, и с помощью программы можно сделать ряд исследований. В частности, можно ввести параметры, полученные при создании солнечных элементов, и провести их теоретический анализ. Для этого в главном окне PV Lighthouse

выбирается меню " CALCULATORS ". Полученная часть попадает в раздел меню «WAFERS». Этот раздел содержит команды Wafer Dimensions и Wafer ray tracer, из которых выбирается Wafer ray tracer. С помощью этого раздела изучаются оптические факторы солнечных элементов - параметры поглощения, отражения и перехода.

Данная работа основана на PV Lighthouse для изучения оптических свойств солнечных элементов. В основном здесь сравниваются два случая, то есть в первом случае элемент GaAs размещается на переднем слое, а элемент из аморфного кремния a-Si размещается на базовом слое. Затем, не изменяя толщины базового слоя, устанавливают  $\alpha$ -Si равным 100 мкм, а толщину лицевого слоя увеличивают на 10 нм. Поскольку элемент GaAs расположен в переднем слое, он имеет прямую запрещенную зону, что означает, что он может эффективно принимать и излучать свет. Это свойство делает его полезным материалом для оптоэлектронных сред, таких как фотогальванические элементы и светоизлучающие диоды (СИД).

Для запуска программы использовались следующие входные параметры: Параметры излучения: зенит -  $0^\circ$ , спектр - солнечный свет (Am1.5g(Gue95)). Морфология поверхности: передний слой - крутопирамидальный, задний - плоский. Материалы слоя: среда - атмосфера (воздух), минимальная длина волны - 300 нм, максимальная длина волны - 1200 нм, диапазон длин волн - 20 нм, количество лучей для запуска - 5000, максимальное количество лучей - 50000, максимальный скачок для каждого луча - 1000 , предел интенсивности составляет 0,01%.

В таблица 1 представлена зависимость фотогенерации солнечного элемента на основе аморфного кремния от толщины оптического слоя.

Таблица 1. Зависимость фотогенерации солнечного элемента на основе аморфного кремния от толщины оптического слоя.

Передний слой (GaAs (Crystalline [Asp83])), нм	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Фотогенерация, %	84.2	81.1	78.3	75.9	73.6	71.8	70.1	68.5	66.9	65.6

На рис. 1 представлены зависимости от длины волны коэффициентов поглощения, отражения и пропускания солнечного элемента GaAS с толщиной переднего слоя 10 нм и солнечного элемента на основе аморфного кремния с толщиной базового слоя 100 мкм. На рис. 2 представлены зависимости от длины волны коэффициентов поглощения, отражения и пропускания солнечного элемента на основе GaAS с толщиной переднего слоя 100 нм и базового слоя из аморфного кремния толщиной 100 мкм.

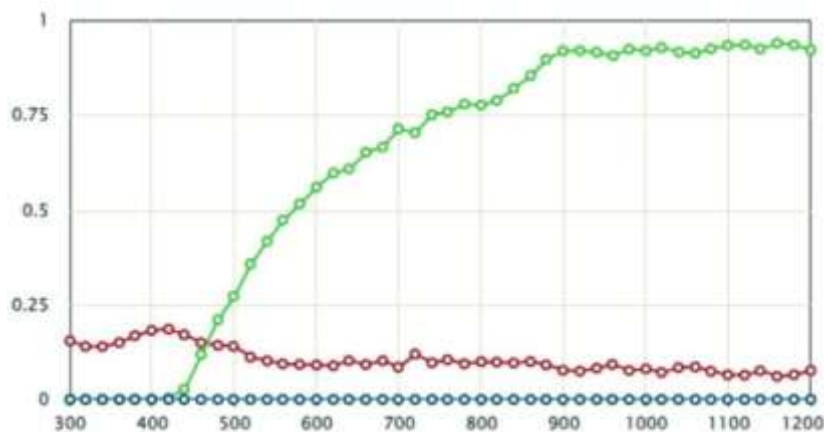


Рис. 1. Зависимости от длины волны коэффициентов поглощения, отражения и пропускания солнечного элемента GaAS с толщиной переднего слоя 10 нм и солнечного элемента на основе аморфного кремния с толщиной базового слоя 100 мкм.

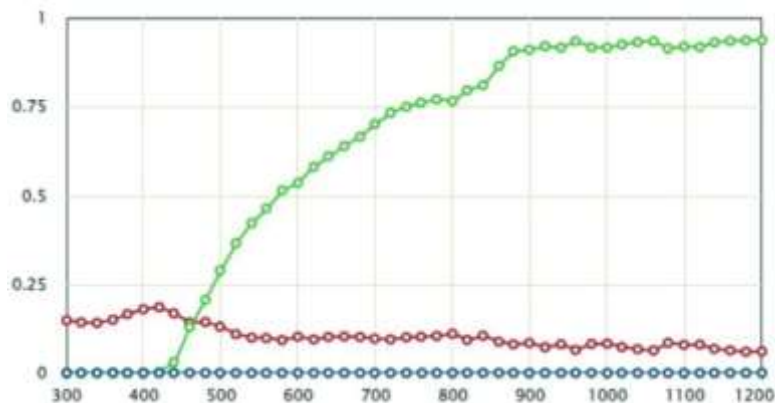


Рис. 2. Зависимости от длины волны коэффициентов поглощения, отражения и пропускания солнечного элемента на основе GaAS с толщиной переднего слоя 100 нм и базового слоя из аморфного кремния толщиной 100 мкм.

Как видно из результатов, при размещении GaAs на оптическом слое с увеличением его толщины процесс фотогенерации снижается. Это связано с тем, что коэффициент светопоглощения GaAs больше, чем коэффициент светопоглощения аморфного кремния.

Во втором случае на передний слой помещался элемент GaAs, а на базовый слой - элемент из аморфного кремния a-Si. Тогда во втором случае толщина лицевого слоя была оставлена равной 100 нм, а толщина базового слоя увеличена с 10 мкм.

Таблица 2. Зависимость фотогенерации солнечных элементов на основе аморфного кремния от толщины подложки.

Базовый слой (Si (Amorf [Pal85d])), мкм	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Фотогенерация, %	65.49	65.67	65.51	65.31	65.60	65.59	65.66	65.83	65.68	65.49

На рис. 3 представлена зависимость коэффициентов поглощения, отражения и пропускания солнечного элемента из GaAs с толщиной переднего слоя 100 нм и солнечного элемента на основе аморфного кремния с толщиной базового слоя 10 мкм от длины волны света. На рис. 4 представлены зависимости от длины волны коэффициентов поглощения, отражения и пропускания солнечного элемента GaAs с толщиной переднего слоя 100 нм и солнечного элемента на основе аморфного кремния с толщиной базового слоя 100 мкм.

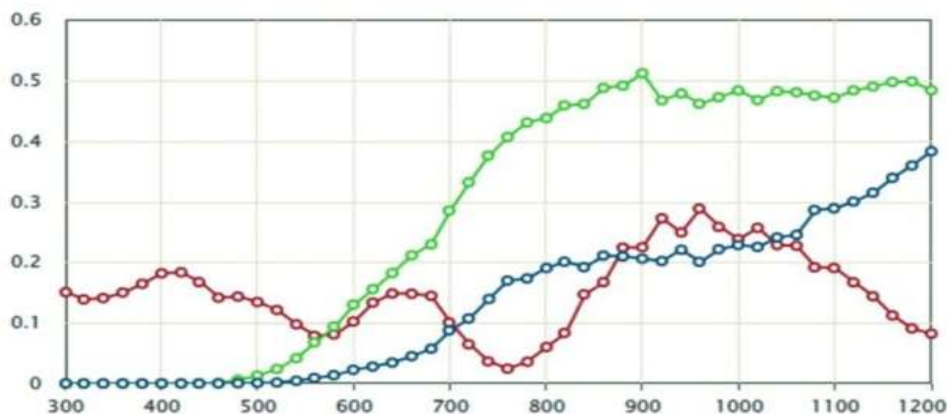


Рис. 3. Зависимость коэффициентов поглощения, отражения и пропускания солнечного элемента из GaAs с толщиной переднего слоя 100 нм и солнечного элемента на основе аморфного кремния с толщиной базового слоя 10 мкм от длины волны света.

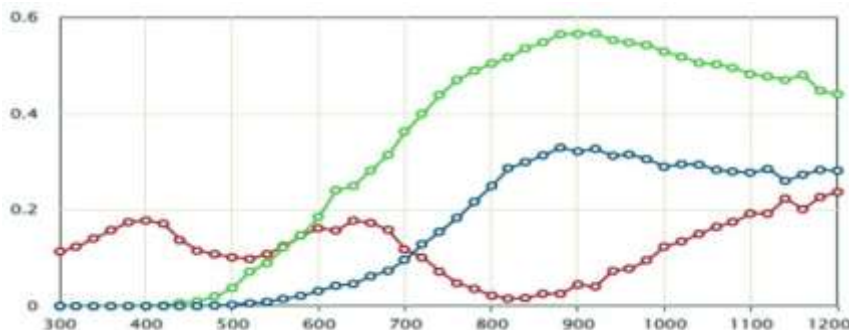


Рис. 4. Зависимости от длины волны коэффициентов поглощения, отражения и пропускания солнечного элемента GaAs с толщиной переднего слоя 100 нм и солнечного элемента на основе аморфного кремния с толщиной базового слоя 100 мкм.

По результатам второго случая видно, что при изменении толщины базы от 10 мкм до 100 мкм процесс фотогенерации практически не меняется. Отсюда можно сделать вывод, что процесс фотогенерации в фотоэлементах на основе аморфного кремния эффективен даже в очень тонких слоях.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. <https://www.pvlighthouse.com.au>.

2. <http://fn//bmstu.ru/phys/bib/physbook/tom6/content.htm>
3. [http://journal.issep.rssi.ru/t\\_cat.php.id=4033](http://journal.issep.rssi.ru/t_cat.php.id=4033)
4. <http://solbat.narod.ru/indeks.htm>
5. В.И.Струнин, Л.В.Баранова, А.А.Ляхов, В.В.Попов, Г.Ж.Худайбергенов, С.С.Якоб Оптические свойства пленок аморфного кремния, полученные струйным плазмохимическим методом // Вестн. Ом. ун-та, 2010, № 2, С. 87–90.
6. Fukutani K., Kanbe M., Futako W., Kaptan B., Kamiya T., Fortmann C. M., Shimizu I. // J. NonCryst. Solids. B. 63. P. 227–230 (1998).
7. Kushner M. // J. Appl. Phys. 1988. Vol. 63 (8). P. 2532–2551.