



ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК С НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

ANTIREFLECTIVE COATINGS BASED ON POLYMER FILMS WITH SILVER NANOPARTICLES FOR SOLAR CELLS

О.А.Фарус*, к.х.н., доцент, (ORCID: 0000-0002-1426-6534) / farusok@yandex.ru
O.A.Farus*, Cand. of Sci. (Chemical), Docent

DOI: 10.22184/1993-8578.2021.14.2.120.126

Получено: 08.04.2021 г.

Работа посвящена вопросам получения и оценки эффективности пленочных просветляющих покрытий для солнечных батарей на основе наночастиц серебра. Функциональная роль просветляющих покрытий заключается в уменьшении степени отражения электромагнитных волн видимого и инфракрасного излучения. Эффект просветления достигается за счет нанесения на поверхность солнечной батареи раствора полимера с наночастицами серебра, который по истечении 24 ч превращается в тонкую пленку. Синтез покрытия осуществляли золь-гель-методом. Преимущество рассматриваемых покрытий заключается в несложном аппаратном оформлении их получения. Произведенный сравнительный анализ КПД солнечных батарей показал, что модификация солнечной батареи просветляющим покрытием повышает ее КПД на 9,5%.

The work is devoted to obtaining and evaluating the effectiveness of film antireflection coatings for solar cells based on silver nanoparticles. The development aim of antireflection coatings is to reduce reflection of electromagnetic waves of visible and infrared light. The illumination effect is achieved by applying a polymer solution containing silver nanoparticles on the surface of the solar battery, which turns into a thin film in 24 hours. The coating was synthesized by the sol-gel method. The advantage of the considered coatings lies in the simple hardware design of their production. The comparative analysis of the solar cells efficiency showed that the modification of the solar battery with an antireflection coating increases its efficiency by 9.5%.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционные источники энергии, такие как газ, нефть или уголь, истощаются с каждым годом все сильнее, в то время как потребление энергии растет из-за увеличения численности населения. За счет сокращения земных запасов энергоресурсов цена за 1 кВт энергии постоянно увеличивается. Все это приводит к необходимости поиска новых возобновляемых энергоресурсов, то есть альтернативных источников энергии. Одним из наиболее перспективных

альтернативных источников энергии является Солнце. Высокая конкурентоспособность солнца как источника энергии обусловлена его всеобщей доступностью во многих точках земной поверхности [1, 2]. Согласно литературным данным, на 1 м² площади приходится 1367 Вт/м² солнечного излучения [4].

В основе функционирования солнечных батарей лежит фотогальванический эффект, который был открыт Александром Эдмондом Беккерелем в 1839 году. Первый модуль солнечной

* Оренбургский государственный педагогический университет / Orenburg State Pedagogical University.

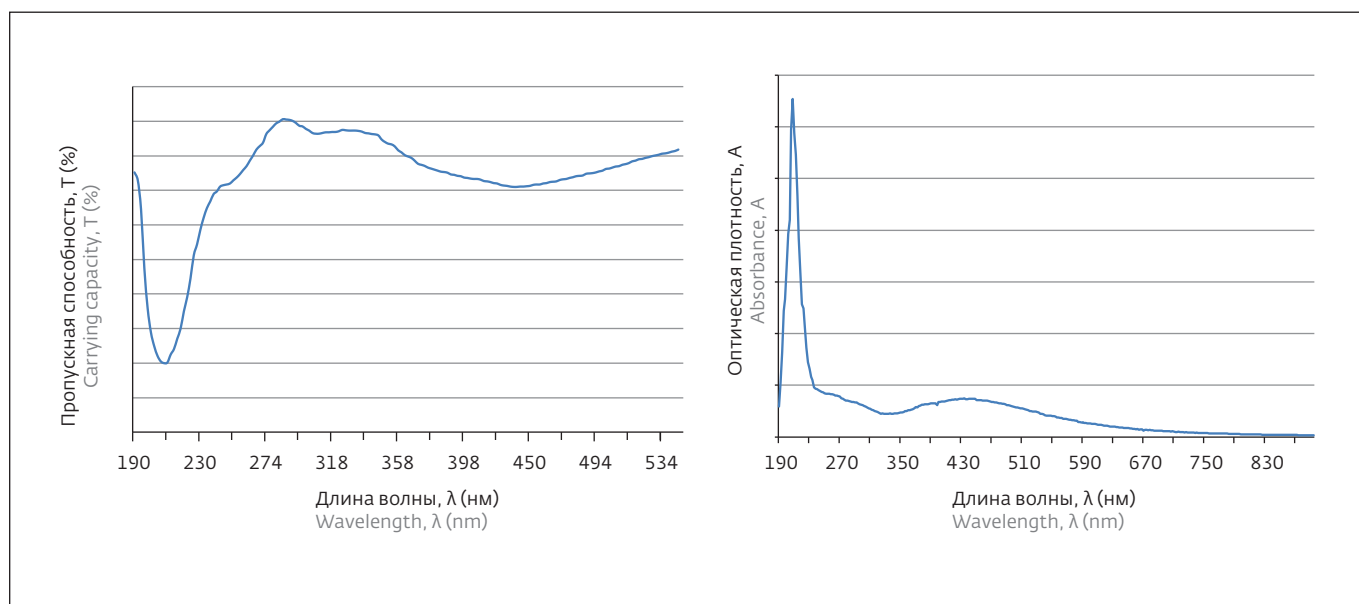


Рис.1. Спектры пропускания и поглощения просветляющего покрытия

Fig.1. Transmission and absorption spectra of the anti-reflection coating

батареи был сконструирован Чарльзом Фритсу через 44 года. Существуют различные типы солнечных батарей. Наибольшее распространение получили фотоэлементы на основе тонких кремниевых пластин. В настоящее время солнечные батареи используются во многих областях, например в медицине, космической промышленности, телекоммуникациях и др. [7].

При этом необходимо учитывать, что многие процессы приводят к уменьшению КПД солнечных батарей. Одна из наибольших потерь происходит за счет отражения света от поверхности полупроводника. Уменьшить потери можно за счет покрытия стекол солнечной батареи интерференционным просветляющим слоем. Просветляющее покрытие – это специальные

INTRODUCTION

Traditional energy sources, such as gas, oil or coal deplete year by year while energy consumption is growing due to increased human population. As the energy reserve of the Earth reduces at an ever increasing rate, the price of 1 kW is growing every year. That leads to a necessity to look for new renewable energy resources, i.e. alternative energy sources. One of the most promising alternative energy sources is the Sun light. The high competitiveness of the Sun light as a source of energy is due to its universal accessibility in any point of the Earth's

surface [1, 2]. According to literary data, 1 m² area accounts for 1,367 W / m² of solar radiation [4].

The solar battery performance is based on the photovoltaic effect, which was discovered by Alexander Edmond Becquerel in 1839. The first solar battery module was constructed by Charles Fritz 44 years later. There are various types of solar panels. Nowadays, photocells based on thin silicon plates are most popular. Currently, solar panels are used in many areas, for example, in medicine, space industry, telecommunications and others [7].

It is necessary to understand that many processes lead to decreasing of the solar cells efficiency. One of the greatest losses occurs due to reflection of light from the semiconductor surface. One way to reduce losses is to apply an interference enlightening cover on the solar battery glass surface. The enlightening coating is a special kind of coatings which refractive index is lower than the refractive index of glass [4].

RESEARCH METHODS

During the study, an antireflective coating was developed on the basis



Таблица 1. Оценка основных параметров солнечной батареи до модификации

Table 1. Estimation of the solar battery basic parameters before modification

Сопrotивление, R (Om) Resistance, R Ohm	Сила тока I, (мА) Electric current, mA	Напряжение, U (В) Voltage, V
10	13,8	0
30	13,5	1
50	13,3	1,4
100	12,5	1,8
250	11,3	2
550	8,0	2,4
1000	4,2	3
1500	0	4,5

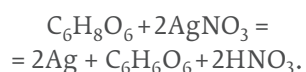
покрытия, показатель преломления которых ниже, чем у стекла [4].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе проведения исследования было разработано просветляющее покрытие на основе искусственного водорастворимого полимера - поливинилового спирта (ПВС)

of an artificial water-soluble polymer - polyvinyl alcohol (PVA) and silver nanoparticles. The coatings were obtained by sol-gel technology [8].

The coating was made on the basis of a dry polyvinyl alcohol $((C_2H_4O)_x$, where x is the degree of polymerization), silver nitrate ($AgNO_3$) and ascorbic acid ($C_6H_8O_6$). The polyvinyl alcohol was diluted with water and heated while being constantly stirred until the transparent liquid is formed. After that, a solution of silver nitrate was introduced into the resulting liquid and the ascorbic acid solution was added while constant stirring.



A part of the resulting solution was transferred to Petri dishes for the formation of films, which were further studied using a spectrophotometer, and another part was applied to the solar battery glass cover. To obtain films of the same thickness, the solutions were selected with the aid of measuring pipettes.

Evaluation of the optical properties of the resulting coating was carried out using the two-bearing Area 303UV spectrophotometer. The spectra of transmission

и наночастиц серебра. Покрытия получали методом золь-гель-технологии [8]. Покрытие изготавливалось на основе сухого поливинилового спирта $((C_2H_4O)_x$, где x - степень полимеризации), нитрата серебра ($AgNO_3$) и аскорбиновой кислоты ($C_6H_8O_6$). Разбавляли поливиниловый спирт водой и нагревали, постоянно перемешивая, до образования прозрачной жидкости. После чего в получившуюся жидкость вносили раствор нитрата серебра и добавляли раствор аскорбиновой кислоты при постоянном перемешивании:



Часть полученного раствора переносилась в чашки Петри для образования пленок, которые в дальнейшем исследовались при помощи спектрофотометра, а вторая часть наносилась на солнечную батарею. Для получения пленок одинаковой толщины отбор растворов осуществлялся с помощью мерных пипеток.

Оценка оптических свойств полученного покрытия проводилась с помощью двулучевого спектрофотометра APEL-303UV. Спектры пропускания и поглощения снимали в диапазоне от 190 до 900 нм с шагом 5 нм (рис.1).

Сравнительный анализ полученных спектров поглощения и пропускания покрытия показывает их зеркальность и наличие двух небольших максимумов на длинах волн 220 и 470 нм. Это говорит о способности данного покрытия уменьшать процент отраженного света [3, 9].

and absorption were obtained in the range from 190 to 900 nm with step of 5 nm (Fig.1).

A comparative analysis of the obtained absorption and transmission spectra shows their mirror and presence of two small maxima at wavelengths 220 and 470 nm correspondingly. This indicates the ability of applied coating to reduce percentage of the reflected light [3, 9].

RESULTS AND THEIR DISCUSSION

To assess efficiency of the obtained coating, the basic parameters of the solar battery were evaluated before and

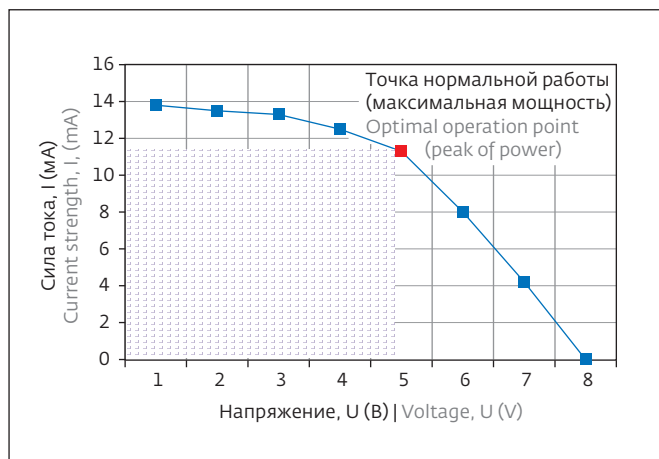


Рис.2. Вольт-амперная характеристика солнечного элемента до модификации

Fig.2. Volt-ampere characteristic of the solar cell before modification

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки эффективности полученного покрытия была проведена оценка основных параметров солнечной батареи до модификации и после нанесения просветляющего покрытия.

В качестве объекта исследования была выбрана солнечная батарея типа Blooma для садового освещения. На начальном этапе эксперимента при постоянной освещенности (с помощью люксметра) определялась

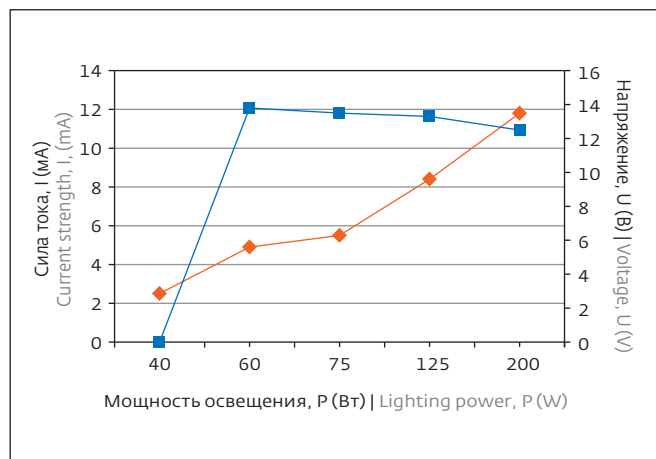


Рис.3. Ток и напряжение, вырабатываемые солнечной батареей при разном освещении, не покрытой просветляющими элементами батареи

Fig.3. Current and voltage generated by the solar battery under different lighting conditions not covered with anti-reflective elements of the battery

нагрузочная вольт-амперная характеристика (ВАХ). Для этого производили замер величины тока (I_n) в цепи фотоэлемента при изменении сопротивления (R_n) (табл.1).

Полученные экспериментальные данные позволяют построить график зависимости силы тока от напряжения (рис.2).

Анализ полученного графика показывает, что солнечный элемент до модификации имеет следующие параметры:

after applying the antireflective coating.

As an object of study, the "Bloom" solar battery for garden lighting was chosen. At the initial stage of the experiment with permanent illumination (was determined using a luxmeter), a load volt-ampere characteristic (VAC) was determined. In so doing, the current (I_n) in the photocell circuit was measured while the resistance (R_n) was being changed (Table 1).

The volt-ampere diagram was constructed on the basis of the experimental data obtained (Fig.2).

Analysis of the diagram shows that the solar element before the modification has the following parameters:

- float voltage (U_{xx}) – 4.5 V;
- short circuit current (I_{sc}) – 13.8 mA;
- maximum capacity (power) voltage (U) – 2.0 V;
- maximum power current (I) – 11.3 mA.

The resulting volt-ampere characteristic allows of calculating the maximum power of the solar battery, which is equal to the area of the dashed rectangle in Fig.1. The area of this rectangle can

be found according to formulas 1, 2:

$$W = I_m \cdot U_m; \quad (1)$$

$$W = 11.3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0.0226 \text{ W}. \quad (2)$$

Also, at the first stage of the experiment the dependencies of voltage and current produced by the solar battery versus illumination were constructed (Fig.3).

Analysis of the obtained graphs shows that with an increase of power there is an increase in the current and voltage. The obtained data based on the VAC enabling to calculate



Таблица 2. Основные параметры солнечной батареи после модификации

Table 2. Basic parameters of the solar battery after modification

Сопrotивление, R (Om) Resistance, R Ohm	Сила тока, I (мА) Electric current, mA	Напряжение, U (В) Voltage, V
10	14,5	0
30	14,1	1,3
50	13,8	2
100	13,2	2,4
250	10,6	2,7
550	8,5	3
1000	5,3	3,4
1500	0	5,5

- напряжение холостого хода (U_{xx}) – 4,5 В;
- ток короткого замыкания (I_{sc}) – 13,8 мА;
- напряжение максимальной мощности (U) – 2,0 В;
- ток максимальной мощности (I) – 11,3 мА.

Полученная вольт-амперная характеристика позволяет рассчитать максимальную мощность солнечной батареи, которая равна площади заштрихованного прямоугольника на рис.1. Площадь данного прямоугольника можно найти по формулам 1, 2 (W, Вт):

$$W = I_m \cdot U_m; \quad (1)$$

$$W = 11,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 0,0226 \text{ Вт}. \quad (2)$$

Также на первом этапе эксперимента был построен график зависимости тока и напряжения, вырабатываемых солнечной батареей, от освещенности (рис.3).

Анализ полученных графиков показывает, что при увеличении мощности происходит увеличение силы тока и напряжения. Полученные данные на основе ВАХ позволили рассчитать нам КПД исследуемой солнечной батареи (формулы 3-7).

$$\eta = \frac{I_m U_m}{ES} \cdot 100\%. \quad (3)$$

где η – КПД солнечной батареи;

$$S_{\text{photocell}} = a \cdot b, \text{ м}^2. \quad (4)$$

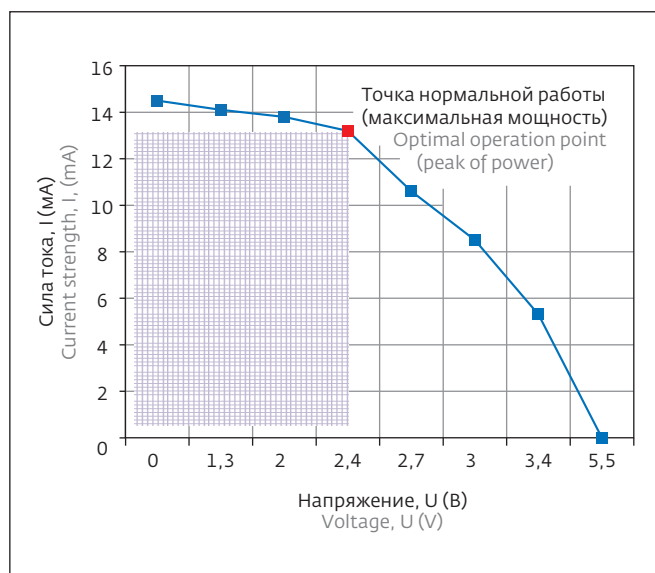


Рис.4. Вольт-амперная характеристика солнечного элемента после модификации

Fig.4. Current-voltage characteristic of the solar cell after modification

$$S = S_{\text{photocell}} \cdot n, \text{ м}^2, \quad (5)$$

где n – количество фотоэлементов

$$S_{\text{photocell}} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ (см}^2\text{)} = 0,0016 \text{ м}^2; \quad (6)$$

$$\eta = \frac{11,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,0}{60 \cdot 0,0016} \cdot 100\% = 23,54\%. \quad (7)$$

Таким образом, нами была проведена оценка исходных параметров солнечной батареи, используемой в быту для садового освещения. КПД данной батареи лежит в пределах 20-23%, что хорошо соответствует литературным данным [2].

Аналогичные параметры были определены для солнечной батареи после нанесения просветляющего покрытия. Полученные экспериментальные данные занесены в табл.2.

На основании полученных экспериментальных данных была построена ВАХ модифицированной солнечной батареи (рис.4).

Анализ полученного графика показывает, что солнечный элемент после модификации характеризуется следующими параметрами:

- напряжение холостого хода (U_{xx}) – 5,5 В;
- ток короткого замыкания (I_{sc}) – 14,5 мА;
- напряжение максимальной мощности (U) – 2,4 В;
- ток максимальной мощности (I) – 13,2 мА.

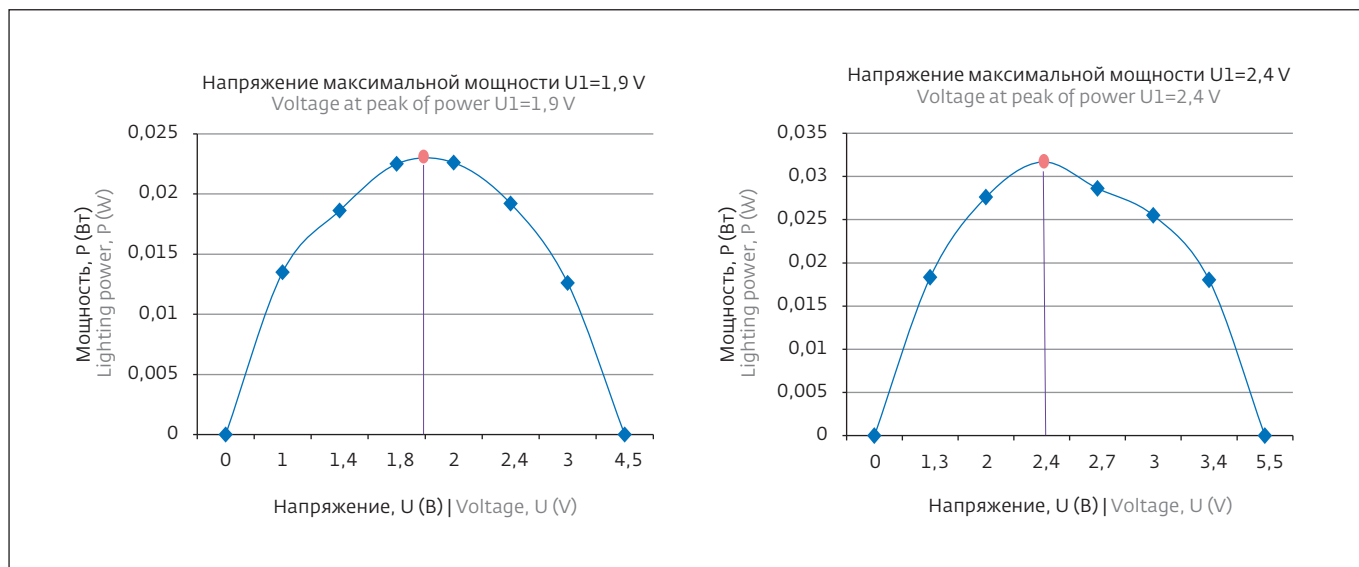


Рис.5. Сравнительный анализ мощности солнечной батареи до и после модификации
 Fig.5. Comparative analysis of solar battery power before and after modification

Полученная вольт-амперная характеристика позволяет рассчитать максимальную мощность солнечной батареи (формула 8), которая равна площади заштрихованного прямоугольника на рис.4:

$$W = 13,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2,4 = 0,03168 \text{ Вт.} \quad (8)$$

В соответствии с полученными данными был рассчитан КПД солнечной батареи после модификации:

$$\eta = \frac{13,2 \cdot 10^{-3} \cdot 2,4}{60 \cdot 0,0016} \cdot 100\% = 33\%. \quad (9)$$

Полученные результаты позволили провести сравнительный анализ мощности батареи до и после модификации (рис.5).

Из полученных результатов видно, что модификация солнечных батарей приводит к уменьшению отражающей способности солнечных батарей и, как следствие, к увеличению мощности на 0,5 Вт.

ВЫВОДЫ

Представленная методика синтеза просветляющего покрытия является экономичной

efficiency of the investigated solar battery (formulas 3-7).

$$\eta = \frac{I_m U_m}{ES} \cdot 100\%, \quad (3)$$

here η – solar battery efficiency;

$$S_{\text{photocell}} = a \cdot b, \text{ m}^2; \quad (4)$$

$$S = S_{\text{photocell}} \cdot n, \text{ m}^2, \quad (5)$$

where n – quantity of photo cells;

$$S_{\text{photocell}} = 4 \cdot 4 = 16 \text{ (cm}^2\text{)} = 0.0016 \text{ m}^2; \quad (6)$$

$$\eta = \frac{11,3 \cdot 10^{-3} \cdot 2,0}{60 \cdot 0.0016} \cdot 100\% = 23,54\%. \quad (7)$$

Thus, we have assessed the initial parameters of the solar battery used in everyday life for garden lighting. The efficiency of this battery lies within 20-23%, which is well consistent with the literal data [2].

Similar parameters were determined for the solar battery after applying an antireflective coating. The obtained experimental data have been entered in Table 2.

Based on the obtained experimental data the VAC of the modified solar battery was constructed (Fig.4).

Analysis of the obtained graph indicates that the solar element after modification is characterized by the following parameters:

- Float voltage (U_{xx}) – 5.5 V;
- Short circuit current (I_{sc}) – 14.5 mA
- Maximum capacity (power) voltage (U) – 2.4 V
- Maximum power current (I) – 13.2 mA

за счет отсутствия необходимости в дорогостоящем оборудовании. Внедрение наночастиц в матрицу полимера приводит к появлению полосы поглощения в области 470 нм, что соответствует плазмонному резонансу наночастиц серебра. Проведенный анализ нагрузочной вольт-амперной характеристики и мощности солнечной батареи до и после модификации синтезированными пленками демонстрирует увеличение КПД солнечных батарей после модификации, что говорит о ее эффективности.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. **Алехин В.А.** Области применения солнечной энергетики // Технические науки. 2013. № 12. С. 25-40.
2. **Бернер Г.Я., Раяк М.Б., Кинкер М.** Солнечная энергетика за рубежом // Energy fresh. 2009. № 5. С. 20-40.
3. **Лунин Л.С., Лунина М.Л., Кравцов А.А., Сысоев И.А., Блинов А.В.** Синтез и исследование свойств тонких пленок TiO_2 , легированных наночастицами серебра, для просветляющих покрытий и прозрачных контактов фотопреобразователей // Физика и техника полупроводников. 2016. Т. 50. Вып. 9. С. 1253-1257.
4. **Немкова А.А., Путилин Э.С.** Выбор оптимального просветляющего покрытия для задач солнечной энергетики. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2008. № 58. С. 22-25.
5. **Парфенов В.В., Закиров Р.Х., Болтакова Н.В.** Изучение работы солнечной батареи. Казань: Издательство Казанского Университета, 2014. 33 с.
6. **Петровнина М.С., Гришин П.В., Катнов В.Е., Степин С.Н.** Просветляющие покрытия на основе наноразмерного диоксида кремния. Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 6. С. 67-69.
7. **Тарнижевский Б.В.** Перспективы развития отечественной солнечной энергетики // Современные проблемы науки и образования. 2003. № 5. С. 12-18.
8. **Фарус О.А.** Получение и сравнительный анализ свойств полимерных наноструктурированных пленок на основе различных органических полимеров и наночастиц серебра // Композиты и наноструктуры. 2019. Т. 11. № 3 (43). С. 125-129.
9. **Фарус О.А., Игнатьева К.Н.** Перспективы использования волокнистых нанокompозитных материалов для очистки воды в закрытых системах // Экологическая химия. 2018. Т. 27. № 6. С. 301-308.

Декларация о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

The resulting volt-ampere characteristic enables to calculate the maximum power of the solar battery (formula 8), which is equal to the area of the dashed rectangle in Fig.4:

$$W=13.2 \cdot 10^{-3} \cdot 2.4=0.03168 \text{ W.} \quad (8)$$

In accordance with the obtained data, the efficiency of the solar battery after modification was calculated:

$$\eta = \frac{13.2 \cdot 10^{-3} \cdot 2.4}{60 \cdot 0.0016} \cdot 100\% = 33\%. \quad (9)$$

The obtained results allowed of making a comparative analysis

of the battery power before and after modification (Fig.5).

On the basis of the obtained results, it is clear that modification of solar cells leads to decreasing of solar cells reflectivity and, as a result, to increasing of power by 0.5 W.

CONCLUSIONS

The presented method of synthesizing the antireflective coating is a profit-proved technology due to absence of the need in expensive equipment. Introduction of nanoparticles in the polymer matrix leads to appearance of the absorption band in the region

of 470 nm, which corresponds to the plasmon resonance of silver nanoparticles. The analysis of the load volt-ampere characteristic and power of the solar battery before and after modification of the synthesized films demonstrates that the solar cells efficiency increases after modification which indicates its effectiveness. ■

Declaration of Competing Interest.

The author declares that he has no competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



Белоус А.И.,
Красников Г.Я.,
Солодуха В.А.

Основы проектирования субмикронных микросхем

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2021. – 782 с.
ISBN 978-5-94836-603-6

Цена 1960 руб.

В объеме 14 глав одной книги детально и последовательно рассмотрен весь комплекс взаимосвязанных теоретических и практических аспектов сквозного проектирования и организации производства кремниевых субмикронных микросхем: теоретические основы работы полевых и биполярных транзисторов, методы и особенности конструктивно-схематического проектирования, базовые схемотехнические и системотехнические решения биполярных, КМОП-, БиКМОП- и КНИ-микросхем, методы и средства повышения их радиационной стойкости, стандартные библиотеки проектирования и типовые маршруты проектирования.

Впервые в отечественной научно-технической литературе здесь детально рассмотрены методы логического проектирования КМОП-микросхем с пониженным энергопотреблением, а также основные принципы и методы проектирования кибербезопасных микросхем и систем-на-кристалле.

Детально рассмотрены современные методы и средства управления качеством изготовления субмикронных микросхем, современные технологии корпусирования микросхем, систем-на-кристалле и систем в корпусе.

Отдельная глава посвящена анализу состояния и тенденций развития современной микроэлектроники, включая методологический анализ существующих проблем и новых угроз.

Книга ориентирована на широкий круг читателей: студентов и преподавателей технических университетов, а также инженеров и менеджеров, специализирующихся в области разработки и организации производства субмикронных микросхем.

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphera.ru
sales@technosphera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphera.ru