

ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 661.666.232

DOI: 10.34680/2076-8052.2023.1(130).58-70

ГРНТИ 29.19.22

Специальность ВАК 2.2.2

Научная статья

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛБУТИРАЛЯ И УГЛЕРОДНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Корчагин В. Н.^{1,2}, Сысоев И. А.², Бобров А. А.²

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова (Новочеркасск, Россия)

²Северо-Кавказский федеральный университет (Ставрополь, Россия)

Аннотация В данном исследовании рассмотрены зависимости вольт-амперных характеристик солнечных элементов от концентрации углеродных квантовых точек в функциональном покрытии на основе поливинилбутираля. Целью данного исследования является изучение влияния углеродных квантовых точек, полученных в объеме пленки поливинилбутираля на поверхности кремниевых моно- и поликристаллических солнечных элементов (СЭ) на изменения параметров вольт-амперных характеристик для различных условий получения методом вытягивания и перекачки раствора. Раствор углеродных квантовых точек в ксилоле предоставлен фирмой ООО «Финтека», г. Москва. Методом фотолюминесценции на базе монохроматора МДР-41 были получены спектры люминесценции УКТ подтверждающие размер частиц, на комплексе SolarLab 20-UST получены вольт-амперные характеристики солнечных элементов до и после нанесения функциональных покрытий дающие сравнительный анализ основных параметров солнечных элементов. Данные покрытия с включениями углеродных квантовых точек позволяют увеличить эффективность кремниевых солнечных элементов на 2–4 %. Таким образом, функциональные покрытия на основе поливинилбутираля и углеродных квантовых точек являются перспективным аналогом другим функциональным покрытиям, для солнечных элементов, например, Si_3N_4 , CaF_2 .

Ключевые слова: поливинилбутираль, углеродные квантовые точки, солнечные элементы, вольт-амперные характеристики

Для цитирования: Корчагин В. Н., Сысоев И. А., Бобров А. А. Функциональные покрытия для солнечных элементов на основе поливинилбутираля и углеродных квантовых точек // Вестник НовГУ. 2023. 1(130). 58-70. DOI: 10.34680/2076-8052.2023.1(130).58-70

Research Article

FUNCTIONAL COATINGS FOR SOLAR CELLS BASED ON POLYVINYL BUTYRAL AND CARBON QUANTUM DOTS

Korchagin V. N.^{1,2}, Sysoev I. A.², Bobrov A. A.²

¹Platov South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk, Russia)

²North-Caucasus Federal University (Stavropol, Russia)

Abstract In this study, the dependences of the volt-ampere characteristics of solar cells on the concentration of carbon quantum dots in a functional coating based on polyvinyl butyral are considered. The purpose of this study is to investigate the effect of carbon quantum dots (CQD) obtained in the volume of a polyvinyl butyral film on the surface of silicon mono- and polycrystalline solar cells (SC) on changes in the parameters of the volt-ampere characteristics for various conditions of obtaining by pulling and pumping the solution. The solution of carbon quantum dots in xylene was provided by Finteca LLC, Moscow. The photoluminescence method based on the MDR-41 monochromator was used to obtain the luminescence spectra of the CQD

confirming the particle size, the volt-ampere characteristics of solar cells were obtained on the SolarLab 20-UST complex before and after the application of functional coatings, giving a comparative analysis of the main parameters of solar cells. The coatings with inclusions of carbon quantum dots make it possible to increase the efficiency of silicon solar cells by 2–4 %. Thus, functional coatings based on polyvinyl butyral and carbon quantum dots are a promising analogue to other functional coatings for solar cells, for example, Si_3N_4 , CaF_2 .

Keywords: polyvinyl butyral, carbon quantum dots, solar cells, volt-ampere characteristics

For citation: Korchagin V. N., Sysoev I. A., Bobrov A. A. Functional coatings for solar cells based on polyvinyl butyral and carbon quantum dots // Vestnik NovSU. 2023. 1(130). 58-70. DOI: 10.34680/2076-8052.2023.1(130).58-70

Введение

В 2020-х годах всё большее значение приобретают возобновляемые источники энергии [1-4]. Это связано как с экологической ситуацией в мире, так и с исчерпанием традиционных источников энергии. Одним из самых фундаментальных источников возобновляемой энергии является солнечная энергия. Борьба за более высокую эффективность СЭ ведётся на уровне сотых процента. Хорошо известно, что существует предел Шокли-Квиссера для однопереходного СЭ, равный 30% при $E_g = 1,1$ эВ. В связи с этим важно находить новые типы структур для СЭ и функциональные покрытия для них. Основным химическим элементом, применяемым в фотогальванике, как и в другой полупроводниковой технике является кремний. Залежи кремния в виде SiO_2 в Земле больше остальных полупроводниковых материалов и технологический процесс его получения разработан хорошо. На рисунке 1 представлено фото типичного кремниевого монокристаллического СЭ.

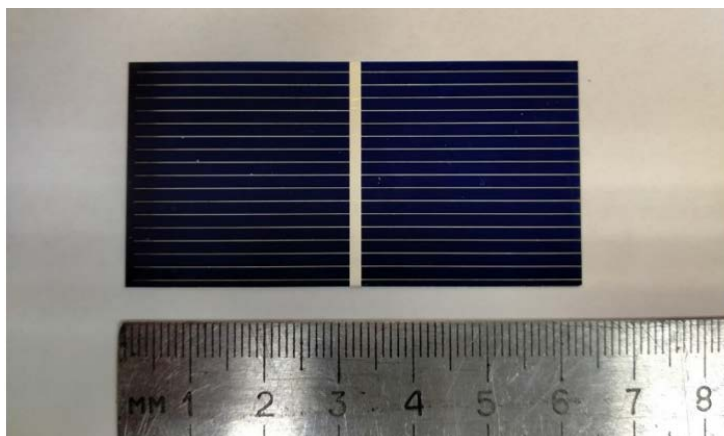


Рисунок 1. Типичный кремниевый монокристаллический солнечный элемент

Углеродные квантовые точки (УКТ), открытые в 2004 г. [5-9], с недавних пор успешно вошли в штудии учёных в разных отраслях науки, например, медицины, бионанотехнологии, оптроники и даже криминалистике для определения скрытых отпечатков пальцев. УКТ представляют собой дискретные наночастицы углерода, подобные нано-алмазам. Цель данной работы – исследовать зависимости ВАХ СЭ от концентрации УКТ в функциональном покрытии на основе ПВБ, используя механизма конверсии в УКТ.

Экспериментальная часть

1) Исследование размера УКТ синтезированных СВЧ методом

На начальном этапе было произведено исследование размера синтезированных УКТ, представленное на рисунке 2.

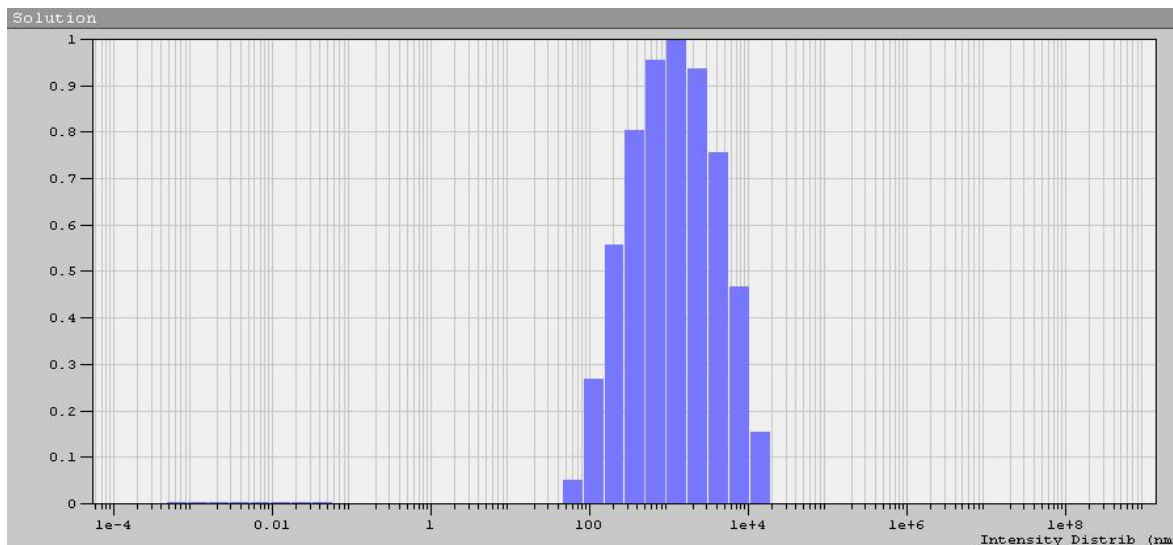


Рисунок 2. Размеры УКТ в ампулах, переданные заказчиком

Согласно представленным результатам, размеры углеродных частиц составляют от 50 нм до 1200 нм. Такие результаты, по нашим представлениям, получаются вследствие коагуляции углеродных квантовых точек при транспортировке. Поэтому желательно провести фильтрацию коагулированных УКТ перед процессом нанесения на поверхность солнечного элемента.

2) Исследование зависимости параметра получаемой плёнки с УКТ от технологических условий

Перед проведением процесса получения плёнок поливинилбутирала (ПВБ) было проведено исследование относительно того, какую концентрацию ПВБ в изопропанолe следует использовать в растворах для функциональных покрытий для СЭ. Процесс состоял из нескольких проб:

1. 1г/100 мл (растворение 5 часов);
2. 1,5 г/100 мл (растворение 10 часов);
3. 2 г/100 мл (растворение 15 часов);
4. 3 г/100 мл (растворение 24 часа);
5. 4 г/100 мл (растворение 36 часов);
6. 5 г/100 мл (растворение 48 часов);
7. 7 г/125 мл (растворение 96 часов).

На рисунке 3 показана зависимость времени растворения ПВБ в изопропанолe от его концентрации.

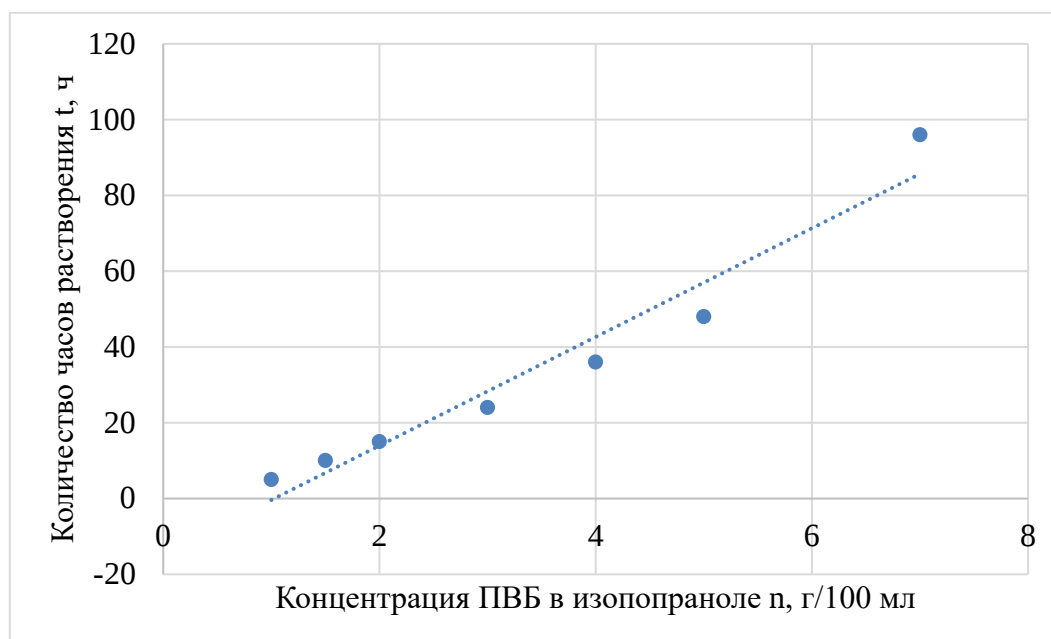


Рисунок 3. Зависимость времени t растворения ПВБ в изопропанолe от концентрации n

Зависимость описывается следующим уравнением $t = 14,35 \cdot n - 14,73$. Так как с увеличением концентрации ПВБ, выходные характеристики улучшались, было принято решение сделать концентрацию максимальной, но при концентрации ПВБ равной 7 г/125 мл процесс растворения занимает много времени. И к тому же, чем больше концентрация ПВБ, тем более вязкий раствор, поэтому все последующие эксперименты проводились при концентрации ПВБ равной 5 г/100 мл.

Приведем фотографию установки для процесса нанесения покрытия методом вытягивания, для получения плёнок ПВБ с УКТ. В кювету для нанесения покрытий на специальных подвесах помещался образец СЭ, после чего при помощи перистальтического насоса объем кюветы наполнялся раствором ПВБ-УКТ, причём образец СЭ был полностью погружён в раствор. Затем производилось откачивание раствора перистальтическим насосом с определённой скоростью до тех пор, пока образец СЭ не станет выше уровня раствора [10]. После чего образец СЭ сушился в течение 10 минут, и при необходимости проводилось повторное нанесение (рисунок 4).

Экспериментальные исследования проводились следующим образом: вначале был подготовлен раствор, который состоял из 100 г изопропилового спирта и 5 г ПВБ. Далее в него добавлялся исходный раствор УКТ в ксилоле, постепенно увеличивая его концентрацию через каждые 5 мл.

На начальном этапе исследований требуется провести исследование зависимости толщины получаемой плёнки от технологических параметров. Так как используется устройство, где основным технологическим фактором является скорость прокачки раствора, то при проведении процесса нанесения было проведено исследование зависимости толщины получаемой пленки ПВБ с УКТ от скорости прокачки.

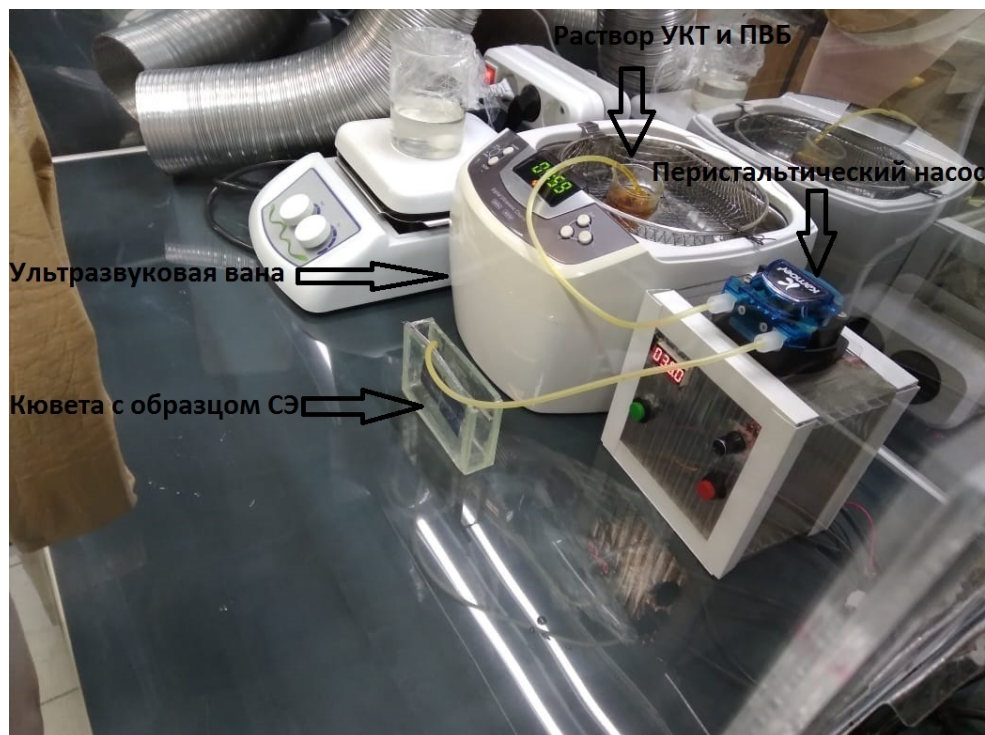


Рисунок 4. Установка для нанесения функциональных покрытий ПВБ-УКТ

Так, на рисунке 5 показана зависимость толщины плёнки от скорости нанесения в диапазоне от 13 до 47 мл/мин, где точками отмечены экспериментальные данные, сплошной линией аппроксимация.

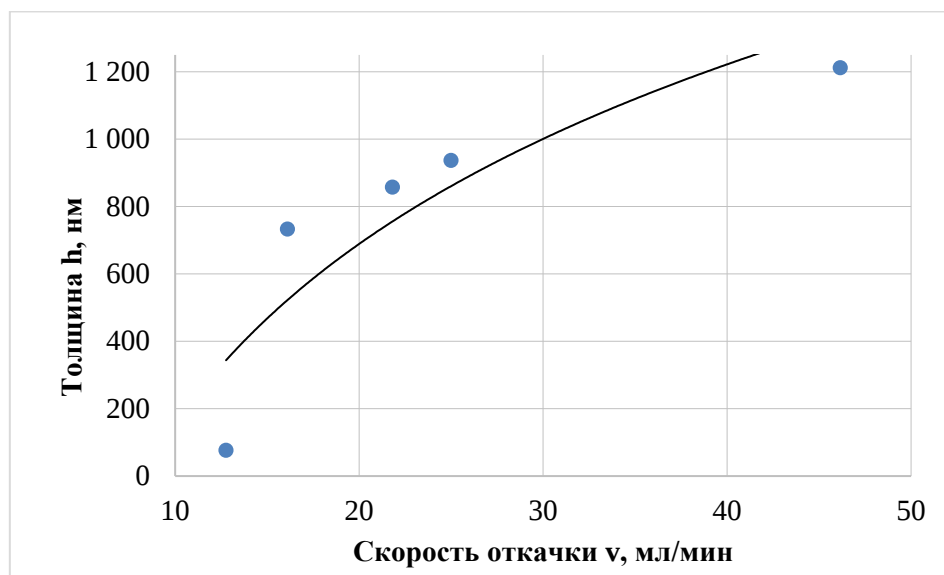


Рисунок 5. Зависимость толщины плёнки h от скорости откачки v

Исследования показали, что при уменьшении скорости откачки раствора до 13 мл/мин позволило уменьшить толщину получаемой плёнки ПВБ с УКТ до 270 нм.

По результатам эксперимента получена зависимость, которая лучше всего описывается логарифмической зависимостью уравнением $h = 768,99 \cdot \ln(v) - 1614,7$.

Коэффициент преломления является одним из важных параметров оптического покрытия для солнечного элемента. Поэтому были проведены исследования зависимости коэффициента преломления пленки ПВБ с УКТ от скорости откачки раствора.

Точками отмечены экспериментальные данные, сплошной представлена линия аппроксимации (рисунок 6).

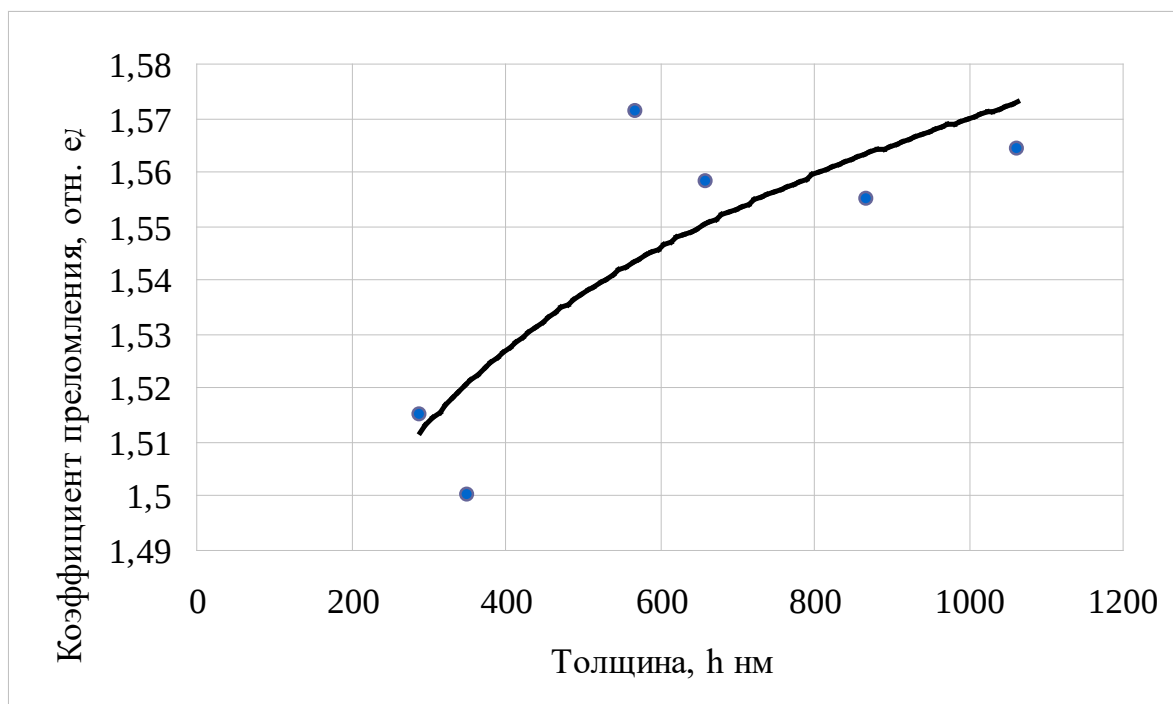


Рисунок 6. Зависимость коэффициента преломления n от толщины плёнки h

Проведённые исследования зависимости коэффициента преломления от скорости откачки раствора показали, что уравнение будет иметь следующий вид $n = 0,0468 \cdot \ln(h) + 1,2466$. Таким образом, после проведения исследований, можно сказать, что толщина плёнки ПВБ с УКТ напрямую зависит от скорости откачки раствора и имеет логарифмическую зависимость $h = 768,99 \cdot \ln(v) - 1614,7$ в диапазоне скорости откачки от 13 до 47 мл/мин. Также можно отметить, что коэффициент преломления плёнки ПВБ с УКТ тоже имеет логарифмическую зависимость $n = 0,0468 \cdot \ln(h) + 1,2466$ и изменяется в диапазоне от 1,5 до 1,57 отн. ед.

Обсуждение результатов

После нанесения плёнок ПВБ-УКТ на Si подложки были сняты спектры ИК отражения на ФСМ-1201 показанные на рисунке 7.

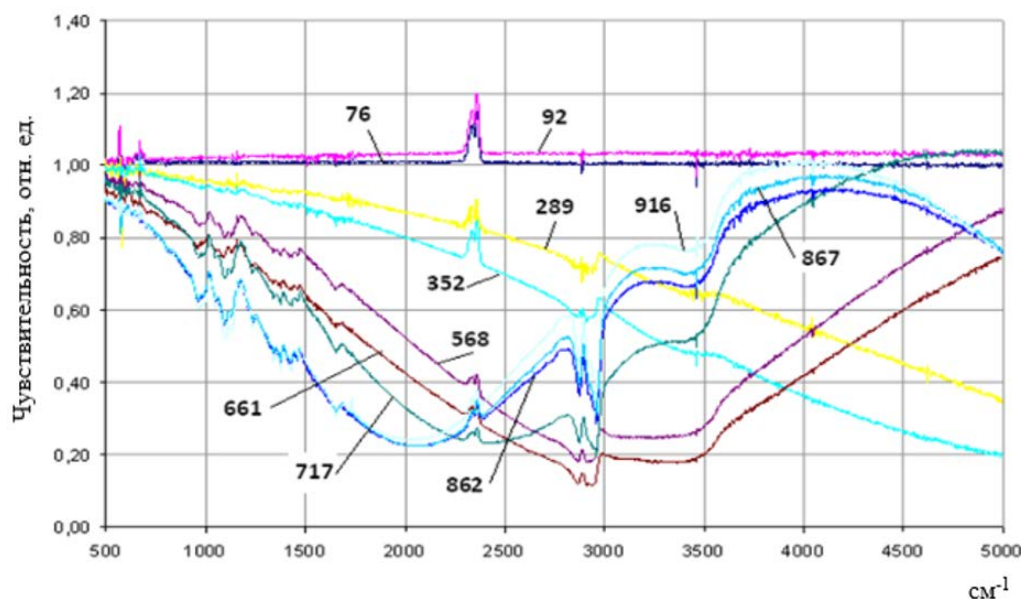


Рисунок 7. ИК-спектры пленок ПВБ с УКТ на кремниевых подложках. Цифрами указана толщина пленки ПВБ с УКТ в нм

Согласно представленным результатам видно, что чем толще плёнка ПВБ с УКТ тем больше поглощательная способность. Также наблюдается сдвиг поглощательной способности в сторону меньших значений см^{-1} . Максимум спектрального поглощения наблюдается в диапазоне 1500 до 3500 см^{-1} . На основании полученных данных были выбраны наиболее приемлемые толщины плёнок для их осаждения на солнечные элементы.

Были также проведены исследования спектра фотолюминесценции полученных плёнок ПВБ с УКТ, которые изображены на рисунке 8.

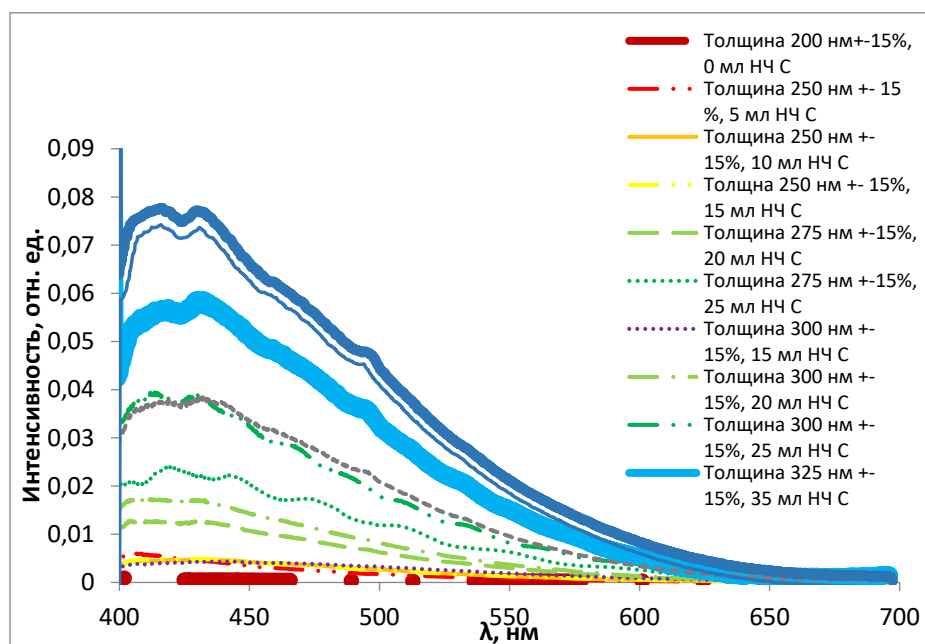


Рисунок 8. Спектр фотолюминесценции пленок ПВБ с УКТ в зависимости от толщины и концентрации с длиной возбуждения 365 нм

Исходя из полученных результатов видно, что чем толще плёнка ПВБ с массивом УКТ, тем больше интенсивность фотолюминесценции. Максимум спектра фотолюминесценции наблюдался в диапазоне от 400 до 450 нм. В результате проведённых исследований спектральных параметров плёнок ПВБ с УКТ можно сделать вывод, что для увеличения КПД солнечных элементов желательно использовать плёнки толщиной порядка 250 нм с концентрацией УКТ в диапазоне 25–35 мл на 100 мл изопропилового спирта.

1) Измерение вольтамперных характеристик солнечных элементов с углеродными квантовыми точками

На основании полученных предварительных результатов спектральных параметров пленок ПВБ с УКТ проведем исследования солнечных элементов следующим образом. Вначале подготовим несколько образцов кремниевых солнечных элементов для исследований, которые должны иметь одинаковые размеры. Далее проведем измерения вольт-амперных характеристик контрольных образцов до нанесения пленок ПВБ с УКТ.

1.1) Исследование ВАХ солнечных элементов с ПВБ

Получим плёнки ПВБ на кремниевых солнечных элементах без углеродных квантовых точек. Это нам необходимо, чтобы сравнивать результаты плёнок ПВБ с УКТ и без них. На рисунке 9 представлены ВАХ кремниевых солнечных элементов до нанесения ПВБ и после.

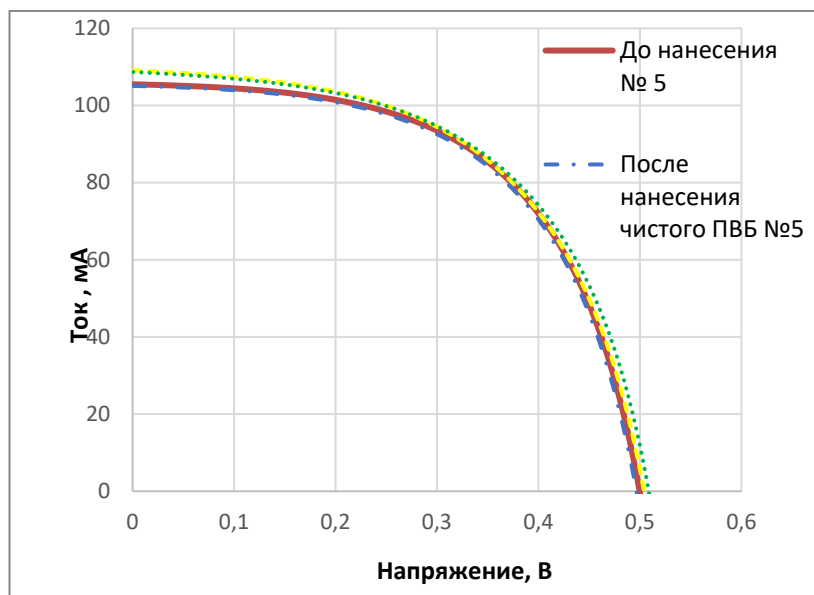


Рисунок 9. ВАХ 2-х (№5 и №6) кремниевых солнечных элементов до нанесения ПВБ и после

Из приведённых ВАХ кремниевых солнечных элементов с покрытием только ПВБ несколько увеличивается ток, но при этом немного падает напряжение. В результате КПД солнечного элемента практически не меняется для образцов №5 и №6.

1.2) Исследование ВАХ солнечных элементов с покрытием ПВБ и с 15 мл УКТ

На рисунке 10 приведены результаты измерения ВАХ кремниевое солнечного элемента, на поверхность которого нанесена плёнка ПВБ с УКТ. Количество УКТ составляло порядка 15 мл исходного раствора на 100 мл изопропилового спирта.

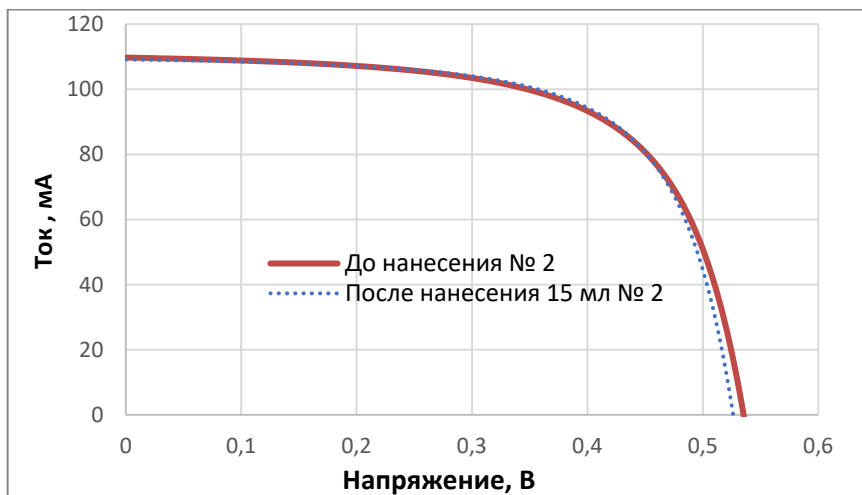


Рисунок 10. ВАХ 1-го (№2) кремниевое солнечного элемента до нанесения ПВБ и после с 15 мл. УКТ

Для образца № 2, на который было нанесено покрытие с УКТ, наблюдается не большое уменьшение напряжения, что возможно связано с некоторым затенением поверхности коагулированными УКТ, поскольку их размер соответствует длине волны видимого света (от 50 до 1200 нм).

1.3) Исследование ВАХ солнечных элементов с покрытием ПВБ и с 30 мл УКТ

При дальнейшем увеличении концентрации УКТ до 30 мл в 100 мл раствора изопропилового спирта наблюдается некоторое уменьшение тока генерации, но при этом фактор заполнения улучшается, см. рисунок 11.

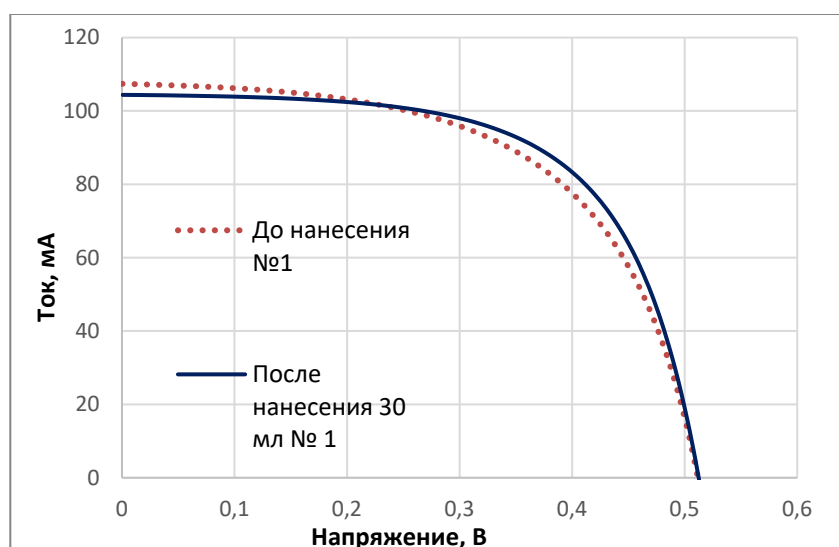


Рисунок 11. ВАХ 1-го (№1) кремниевое солнечного элемента до нанесения ПВБ и после с 30 мл. УКТ

Прирост КПД по фактору заполнения может быть связан с ростом количества УКТ на поверхности солнечного элемента, что способствует и их большей фотолюминесценции, соответственно большая максимальная мощность. Приведём результаты измерения ВАХ других образцов кремниевых солнечных элементов. В таблице 1 приведены значения КПД, напряжение холостого хода, ток короткого замыкания, плотность тока, фактор заполнения, максимальная мощность, а также последовательное и параллельное сопротивление.

Таблица 1. Прирост КПД

#	PCE %	V_{oc} (V)	I_{sc} (mA)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	P_{max} (W)	R_{sh}	R_{series}
1	13,67	0,4944	108,3378	5,42	51,07	0,027	46,34	1,12
2	14,41	0,4960	106,3841	5,32	54,62	0,029	83,55	1,00
3	14,88	0,5061	110,0555	5,50	53,44	0,030	48,28	0,97
4	16,08	0,5076	106,0332	5,30	59,74	0,032	101,63	0,86
5	17,88	0,5293	108,4599	5,42	62,29	0,036	74,01	0,76

Исходя из данных таблицы 1 наблюдается прирост КПД в среднем на 2–3% для кремниевых солнечных элементов с пленкой ПВБ с УКТ. На рисунке 12 приведены параметры ВАХ этих кремниевых СЭ до нанесения ПВБ с УКТ (образцы 1, 2, 3) и после нанесения ПВБ с 30 мл. УКТ (образцы 4, 5).

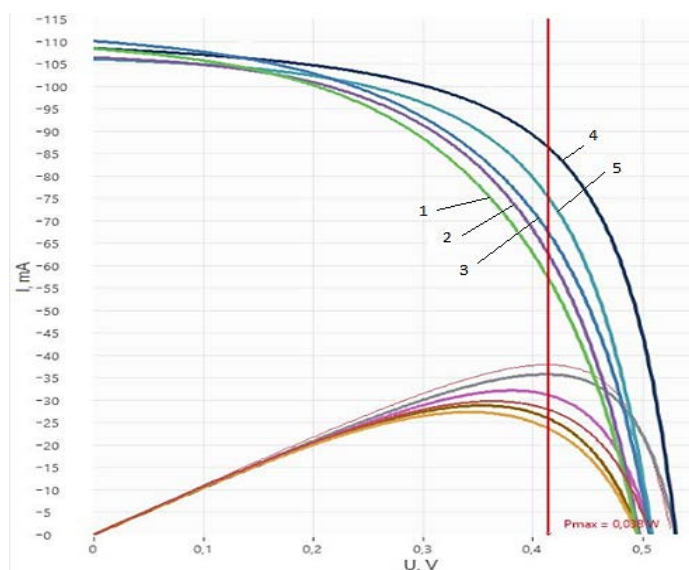


Рисунок 12. ВАХ 5-и образцов кремниевых солнечных элементов до нанесения ПВБ и после с 30 мл. УКТ

В результате проведенных исследований по измерению ВАХ и КПД кремниевых солнечных элементов с плёнкой ПВБ с УКТ можно сделать следующий вывод: для некоторых образцов КПД практически не изменятся, для других образцов солнечных элементов прирост КПД существенен.

Заключение

На основании проведённых исследований получения плёнок поливинилбутираля с углеродными квантовыми точками на поверхности кремниевых солнечных элементов и измерение их вольт-амперных характеристик можно сделать следующие выводы:

1. Чем больше толщина пленки ПВБ с УКТ, тем больше коэффициент преломления, который изменяется от 1,5 до 1,57.
2. Чем толще плёнка ПВБ с УКТ, тем больше поглощательная способность, где наблюдается сдвиг поглощательной (всасывающей испр.) способности в сторону меньших значений см^{-1} . При этом максимум спектрального поглощения наблюдается в диапазоне 1500 до 3500 см^{-1} .
3. Максимум спектра фотолюминесценции плёнок ПВБ с УКТ для различных концентраций УКТ наблюдался в диапазоне от 400 до 450 нм.
4. Для увеличения КПД солнечных элементов желательно использовать плёнки толщиной порядка 250 нм с концентрацией УКТ в диапазоне 25–35 мл на 100 мл изопропилового спирта.
5. КПД солнечного элемента с плёнкой ПВБ практически не меняется для образцов кремниевых солнечных элементов.
6. Для одних образцов солнечных элементов, имеющих плёнку ПВБ с УКТ КПД практически не изменяется, для других образцов солнечных элементов прирост КПД составил от 2 до 4%.

Благодарности

Работа выполнена в рамках использования ресурсов центра коллективного пользования Северо-Кавказского федерального университета и при финансовой поддержке Минобрнауки России, уникальный идентификатор проекта RF-2296.61321X0029 (соглашение № 075-15-2021-687), а также авторы выражают благодарность СКФУ за помощь в рамках конкурса поддержки проектов научных групп и отдельных ученых Северо-Кавказского федерального университета.

Список литературы

1. Девицкий О. В., Санакулов С. О. Численное моделирование функциональных характеристик солнечных элементов на основе гетероструктур InGaAsN/Si // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2021. 21(2). 191-197. DOI: 10.17586/2226-1494-2021-21-2-191-197
2. Сысоев И. А., Гусев Д. А., Дембицкий А. Е., Смолин А. Ю., Катаев В. Ф. Элементы для солнечных батарей на основе наноструктур GaInAs, полученные методом ионно-лучевого осаждения // Глобальная ядерная безопасность. 2019. 1(30). 67-73.
3. Лунин Л. С., Лунина М. Л., Пашенко А. С., Алфимова Д. Л., Арустамян Д. А., Казакова А. Е. Каскадные солнечные элементы на основе наногетероструктур GaP/Si/Ge // Письма в журнал технической физики. 2019. 45(6). 7-9. DOI: 10.21883/PJTF.2019.06.47489.17635

4. Battaglia C., Cuevas A., De Wolf S. High-efficiency crystalline silicon solar cells: status and perspectives // *Energy & Environmental Science*. 2016. 5. 1552-1576.
5. Xu X., Ray R., Gu Y., Ploehn H. J., Gearheart L., Raker K., Scrivens W. A. Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments // *Journal of the American Chemical Society*. 2004. 126(40). 12736-12737.
6. Sun Y.-P., Zhou B., Lin Y., Wang W., Fernando K. S., Pathak P., Mezzani M. J., Harruff B.A., Wang X., Wang H. Quantum-sized carbon dots for bright and colorful photoluminescence // *Journal of the American Chemical Society*. 2006. 128(24). 7756-7757. DOI: 10.1021/ja062677d
7. Baker S. N., Baker G. A. Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights // *Angewandte Chemie International Edition*. 2010. 49(3). 6726-6744. DOI: 10.1002/anie.200906623
8. Li H., Kang Z., Liu Y., Lee S.-T., Mater J. Carbon nanodots: synthesis, properties and applications // *Journal of Materials Chemistry*. 2012. 22(46). 24230-24253. DOI: 10.1039/C2JM34690G
9. Shen J., Zhu Y., Yang X., Li C. Graphenequantum dots: emergent nanolights for bioimaging, sensors, catalysis and photovoltaic devices // *Chemical Communications*. 2012. 48. 3686-3699.
10. Корчагин В. Н., Сысоев И. А. Исследование функциональных покрытий на основе поливинилбутирала и наночастиц серебра для солнечных элементов // *Computational nanotechnology*. 2020. 1. 19-25. DOI: 10.33693/2313-223X-2020-7-1-19-25

References

1. Devitsky O. V., Sanakulov S. O. Chislennoye modelirovaniye funktsional'nykh kharakteristik solnechnykh elementov na osnove geterostruktur InGaAsN/Si [Numerical Simulation of Functional Characteristics of Solar Elements InGaAsN/Si] // *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2021. 21(2). 191-197. DOI: 10.17586/2226-1494-2021-21-2-191-197
2. Sysoyev I. A., Gusev D. A., Dembitskiy A. Ye., Smolin A. Yu., Katayev V. F. Elementy dlya solnechnykh batarey na osnove nanostruktur GaInAs, poluchennyye metodom ionno-luchevogo osazhdeniya [Elements for Solar Batteries on the GaInAs Nanostructure Basis Obtained by Ion-Beamdeposition Method] // *Global Nuclear Safety*. 2019. 1(30). 67-73.
3. Lunin L. S., Lunina M. L., Pashchenko A. S., Alfimova D. L., Arustamyan D. A., Kazakova A. E. Kaskadnyye solnechnyye elementy na osnove nanogeterostruktur GaP/Si/Ge [Cascade Solar Cells Based on GaP/Si/Ge Nanoheterostructures] // *Technical Physics*. 2019. 45(3). 7-9. DOI: 10.21883/PJTF.2019.06.47489.17635
4. Battaglia C., Cuevas A., De Wolf S. High-efficiency crystalline silicon solar cells: status and perspectives // *Energy & Environmental Science*. 2016. 5. 1552-1576.
5. Xu X., Ray R., Gu Y., Ploehn H. J., Gearheart L., Raker K., Scrivens W. A. Electrophoretic Analysis and Purification of Fluorescent Single-Walled Carbon Nanotube Fragments // *Journal of the American Chemical Society*. 2004. 126(40). 12736-12737.
6. Sun Y.-P., Zhou B., Lin Y., Wang W., Fernando K. S., Pathak P., Mezzani M. J., Harruff B.A., Wang X., Wang H. Quantum-sized carbon dots for bright and colorful photoluminescence // *Journal of the American Chemical Society*. 2006. 128(24). 7756-7757. DOI: 10.1021/ja062677d
7. Baker S. N., Baker G. A. Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights // *Angewandte Chemie International Edition*. 2010. 49(3). 6726-6744. DOI: 10.1002/anie.200906623

8. Li H., Kang Z., Liu Y., Lee S.-T., Mater J. Carbon nanodots: synthesis, properties and applications // Journal of Materials Chemistry. 2012. 22(46). 24230-24253. DOI: 10.1039/C2JM34690G

9. Shen J., Zhu Y., Yang X., Li C. Graphenequantum dots: emergent nanolights for bioimaging, sensors, catalysis and photovoltaic devices // Chemical Communications. 2012. 48. 3686-3699.

10. Korchagin V., Sysoev I. Study of functional coatings based on polyvinyl butyral and silver nanoparticles for solar cells // Computational Nanotechnology. 2020. 7(1). 19-25. DOI: 10.33693/2313-223X-2020-7-1-19-25

Информация об авторах

Корчагин Владимир Николаевич – аспирант, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова; ведущий инженер, Северо-Кавказский федеральный университет (Ставрополь, Россия), ORCID: 0000-0002-8262-4364, vodnomlice@gmail.com

Сысоев Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент, директор, Северо-Кавказский федеральный университет (Ставрополь, Россия), ORCID: 0000-0001-5415-0782, eianpisia@yandex.ru

Бобров Анатолий Анатольевич – студент, Северо-Кавказский федеральный университет (Ставрополь, Россия), ORCID: 0009-0006-9587-1678