



# SCIENTIFIC BULLETIN

## PHYSICAL AND MATHEMATICAL RESEARCH

**ILMIY HABARNOMA  
FIZIKA-MATEMATIKA  
TADQIQOTLARI**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Физика

|   |    |
|---|----|
| <b>С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.С. САИДОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАШЕВ</b>  |    |
| Получения, морфология и фотоэлектрические свойства гетероструктуры $n\text{-Si}-p\text{-(Ge}_2\text{)}_{1-x-y}\text{(GaAs)}_x\text{(ZnSe)}_y$ ..... | 7  |
| <b>Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, К.А. ИСМАЙЛОВ, С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, З.Т. КЕНЖАЕВ, Б.К. ИСМАЙЛОВ</b>   |    |
| Влияние легирования никелем на спектральную чувствительность кремниевых солнечных элементов .....   | 16 |
| <b>М.Ш. ИСАЕВ, А.Т. МАМАДОЛИМОВ, Ш.К. АКБАРОВ</b>   |    |
| Структура приповерхностного слоя диффузационно-легированного кремния атомами хрома и кобальта.....  | 21 |
| <b>М.В. TAGAEV, A.A. ABDREYMOV, U.D. BAIRAMOV</b>   |    |
| Kremniyli p-n o'tishda mikroplazmalarning shakllanishi.....   | 27 |
| <b>М.В. FOZILJONOV, I.N. KARIMOV, A.E. ABDIKARIMOV</b>  |    |
| Influence of the local trapped charge in oxide to the gate - drain capacitance in a FinFET .....  | 33 |
| <b>Ш.Х. ЙУЛЧИЕВ, И.М. СОЛИЕВ, Х.Ж. МАНСУРОВ</b>   |    |
| Рентгеноструктурные исследования кремния марки КДБ-20 с участием кислорода.....   | 37 |

### Техника

|  |    |
|--|----|
| <b>Р.А. МУМИНОВ, В.Г. ДЫСКИН, О.Ф. ТУКФАТУЛЛИН, Б.Н. БУТУНБАЕВ, К.А. ДЖУМАМАРУТОВ</b>  |    |
| К вопросу применения гидрофобных плёнок для пассивной очистки фронтальной поверхности фотоэлектрических модулей.....               | 42 |
| <b>С. ЗАЙНАБИДИНОВ, Б. УРМАНОВ, С. АЛИЕВ</b>   |    |
| Разработка конструкции нового солнечного осветительного устройства.....  | 47 |
| <b>С.С. НАСРИДДИНОВ, А.К. ХАМРАКУЛОВ, Н.Т. МОВЛОНОВ, М.И. МАННАНОВ</b>   |    |
| Метод определения удельного сопротивления почвы.....   | 53 |
| <b>Ш.А. ГУЛАМОВ, Г.М. МҮМИНОВА</b>   |    |
| Легирланган ва лнгирланмаган қўға ўсимлиги толаларини таййорлаш хамда уларнинг оптоэлектроник хоссалари тадқиқ қилиш усуллари..... | 58 |

### Математика

|  |    |
|--|----|
| <b>А.К. УРИНОВ, Д.А. УСМОНОВ</b>   |    |
| Нелокальная задача для вырождающегося уравнения второго порядка, содержащего интегро-дифференциальный оператор дробного порядка с функцией бесселя в ядре..... | 64 |
| <b>N. UMRZAQOV, I.S. ZAYNABIDDINOV</b>   |    |
| On a pursuit differential game with integral constraints in $R^n$ .....  | 75 |
| <b>Д.Д. АХМЕДОВА</b>   |    |
| Динамические системы симплекса квадратичных гомеоморфизмов.....  | 83 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Ф.А. ЮСУПОВ, Д.Д. АХМЕДОВА</b>  |     |
| Инвариантность некоторых стохастических квадратичных операторов<br>неволтеррного типа в двухмерном симплексе.....              | 87  |
| <b><u>Информатика</u></b>  |     |
| <b>Р.К. АЗИМОВ, Б.Р. АЗИМОВ</b>  |     |
| Машинали ўқитишда регрессия усуллари.....  | 90  |
| <b>М.К.МАХКАМОВ, Х.А.МАМАДАЛИЕВ, Ш.Ш.ХОЖИКУЛОВ</b>   |     |
| Метод Фурье для исследования распространения волны уплотнения в<br>трубопроводах установленном демпфером.....                  | 96  |
| <b>Ғ.О. ТАЖИБАЕВ, М.М. МИРЗАЕВА, Ш.О. ТҮРАХОНОВА.</b>  |     |
| Юпқа пластина эгилиши масаласини интегралли усулда ечишда чегаравий<br>шартларга боғлиқ бўлган маҳсусликни эътиборга олиш..... | 104 |
| <b><u>Персоналии</u></b>   |     |
| Академиг М.Мусахонов 80 ёшда.....  | 111 |
| <i>Правила оформления<br/>статьи</i> .....   | 113 |

УДК 621.039.53

# К вопросу применения гидрофобных плёнок для пассивной очистки фронтальной поверхности фотоэлектрических модулей

**Р.А. Мүминов<sup>1</sup>, В.Г. Дыскин<sup>2</sup>, О.Ф. Тукфатуллин<sup>3</sup>, Б.Н. Бутунбаев<sup>1</sup>, К.А. Джумамуратов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Физико-технический институт НПО «Физика – Солнце» АН РУз, Узбекистан, 100084, Ташкент, ул. Чингиза Айтматова.

<sup>2</sup>Институт материаловедения НПО «Физика – Солнце» АН РУз, Узбекистан, 100084, Ташкент, ул. Чингиза Айтматова, 2Б

<sup>3</sup>НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз им. М. Улугбека, Узбекистан, 100057, Ташкент, ул. Янги Алмазар, 20

Получена 10 марта 2023 г. Принята к печати 30 марта 2023 г.

**Аннотация.** Загрязнение фронтальной поверхности фотоэлектрического модуля (ФЭМ) уменьшает объем генерируемой электроэнергии. Для очистки поверхности ФЭМ требуется вода. Для экономии воды предлагается наносить на фронтальную поверхность ФЭМ гидрофобные плёнки. Неправильно выбранный материал плёнки уменьшает эффективность преобразования ФЭМ. В работе выведен критерий выбора материала гидрофобной плёнки для пассивной очистки от загрязнения фронтальной поверхности ФЭМ. Правильно подобранный материал плёнки приводит к увеличению мощности ФЭМ.

**Ключевые слова:** фотоэлектрический модуль, фотоэлектрическая станция, фронтальная поверхность, гидрофобная плёнка, показатель преломления.

**Annotation.** Pollution of the front surface of a photovoltaic module (PEM) reduces the amount of generated electricity. Water is required to clean the FEM surface. To save water, it is proposed to apply hydrophobic films to the front surface of the FEM. An incorrectly chosen film material reduces the FEM conversion efficiency. In this paper, a criterion for choosing the material of a hydrophobic film for passive cleaning of the front surface of the FEM from contamination is derived. Properly selected film material leads to an increase in the power of the PEM.

**Key words:** photovoltaic module, photovoltaic station, front surface, hydrophobic film, refractive index.

**Annotatsiya.** Fotoelektrik modullar (FEM) frontal sirtining ifloslanishi elektroenergiya generasiya miqdorining kamyishiga olib keladi. FEM sirtini tozalash uchun esa suv talab etiladi. Suvni tejash maqsadida FEM frontal sirtiga gidrofob plenka qoplash taklif etiladi. Noto'g'ri tanlangan plenka materiali FEM samaradorligini kamaytiradi. Ushbu ishda FEM frontal sirti changlanishini passif tozalash uchun gidrofob materialni tanlash kriteriyasi keltirib chiqarilgan. To'g'ri tanlangan plenka materiali FEM quvvatining oshishiga olib keladi.

**Kalit so'zlar:** fotoelektrik modul, fotoelektrik stansiya, frontal yuza, hidrofob plynka, nur sindirish ko'rsatgichi.

## Введение

Согласно прогнозам, к 2030 году 10% мирового производства электроэнергии будет приходиться на фотоэлектрические станции (ФЭС) [1]. ФЭС преимущественно строят в местах непригодных для сельскохозяйственной деятельности, т.е. в пустынных районах. Пустыни и полупустыни, как известно, характеризуются высокой (более сорока градусов) дневной температурой и сильной запылённостью. Загрязнение фронтальной поверхности фотоэлектрического модуля (ФЭМ) приводит к уменьшению количества генерируемой электроэнергии. Так всего за один месяц загрязнение может уменьшить производительность на тридцать и более процентов [1–6]. Если эффективность 100 МВт

станции уменьшится хотя бы на один процент, то потребители недополучат 1 МВт, а срок окупаемости ФЭС увеличится. В состав ФЭС мощностью 100 МВт входит около 340000 ФЭМ. Ежемесячно на их очистку требуется 1875 тонн технической (очищенной) воды, обеспечение которой в условиях пустынного и полупустынного климата достаточно затруднительно. Заметим, что любой способ очистки поверхности ФЭМ увеличивает эксплуатационные расходы и, соответственно, стоимость электроэнергии. Поэтому разработка эффективных и недорогих способов очистки поверхности ФЭМ от неорганических и органических загрязнений является актуальной задачей в современной фотоэнергетике. Решение этой задачи актуально и для

Узбекистана, климат которого является аридным.

Действительно, в топливно-энергетическом комплексе Узбекистана значительную роль начинают играть ФЭС. Согласно Постановлениям Президента, в Узбекистане будут построены ФЭС: в Нурабадском районе Самаркандской области мощностью 100 МВт, в Шерабадском районе Сурхандарьинской области мощностью 456,6 МВт, в Галляральском районе Джизакской области мощностью 220 МВт, в Нуратинском районе Навоийской области мощностью 200 МВт.

Задача очистки от загрязнения остро стоит не только в солнечной энергетике, но и в градостроительстве — строится множество зданий с большой степенью остекления, которые также необходимо очищать от загрязнения.

С целью экономии технической воды и облегчения очистки стекла от грязи предлагается наносить на поверхность стекла гидрофобные плёнки [6–8]. Гидрофобная плёнка уменьшает поверхностную энергию стекла и тем самым облегчает очистку стекла, требуется меньшее количество воды на очистку. Имеется большое количество оригинальных статей и обзоров, в которых рассматриваются различные аспекты получения гидрофобных (ГФП) и супергидрофобных покрытий, способы их нанесения, изучается их структура и свойства [3–6]. В обзора утверждается, что гидрофобные плёнки одновременно могут быть антиотражающими покрытиями, но конкретные примеры или экспериментальные результаты не приводятся. Ни в одной из этих публикаций не рассматривается влияние ГФП на эффективность ФЭМ.

Целесообразность и эффективность применения ГФП применительно к фотовольтаике, насколько нам известно, ещё недостаточно изучена. Неправильно выбранный материал плёнки уменьшает поток солнечного излучения, проникающего в здание или к *p-n*-переходу, т.е. снижает эффективность преобразования ФЭМ.

В работе приведён вывод критерия выбора материала ГФП.

### Теоретическая база

Исходя из вышеизложенного, рассмотрим то, каким критерием следует руководствоваться при выборе материала ГФП для покрытия поверхности ФЭМ и зданий с высоким уровнем остекления.

Запишем формулу мощности ФЭМ в виде:

$$P_i = T_i P_0, \quad (1)$$

где  $T_i$  — коэффициент пропускания системы воздух–стекло, а  $P_0$  — мощность ФЭМ, определяемая выражением

$$P_0 = ff \cdot U_{OC} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) \cdot Q(\lambda) \cdot T_A(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

в котором  $ff$  — коэффициент заполнения вольтамперной характеристики,  $U_{OC}$  — напряжение холостого хода,  $\lambda$  — длина волны солнечного излучения,  $E(\lambda)$  — спектральное распределение потока энергии солнечного излучения,  $Q(\lambda)$  — внутренняя квантовая эффективность,  $T_A(\lambda)$  — коэффициент пропускания системы антиотражающее покрытие–поверхность СЭ,  $\lambda_1 = 0,4$  мкм и  $\lambda_2 = 1,12$  мкм — границы области спектральной чувствительности. В области спектральной чувствительности солнечных элементов фотоэлектрического модуля дисперсией показателя преломления большинства материалов (стёкол и полимеров) можно пренебречь и, заменив коэффициент пропускания средним значением и вынеся  $T_i$  за знак интеграла в (2), можем получить формулу (1). Введём обозначение  $T_0$  для коэффициента пропускания чистого стекла,  $T_1$  — коэффициент пропускания системы ГФП–стекло. Плёнка на поверхности стекла изменит его коэффициент пропускания, одновременно изменяя (уменьшая или увеличивая) на величину  $\Delta P$  мощность ФЭМ:

$$\Delta P = (T_1 - T_0) P_0 \quad (3)$$

Если  $\Delta P > 0$ , то ГФП увеличивает пропускание, уменьшает отражение и увеличивает мощность ФЭМ. Если  $\Delta P < 0$ , то ГФП уменьшает пропускание, увеличивает отражение и уменьшает мощность ФЭМ.

Теперь выведем условие, которому должна удовлетворять оптическая постоянная (показатель преломления) ГФП. Если показатель преломления плёнки в солнечной области спектра меньше  $10^{-3}$ , то плёнка считается непоглощающей. Будем считать, что это условие выполняется. Тогда правомерно использовать формулы для расчёта коэффициента пропускания плоскопараллельной стеклянной пластины без плёнки [7]:

$$T_0 = \frac{2n_2}{n_2^2 + 1} \quad (4)$$

и с плёнкой

$$T_1 = \frac{4n_1 n_2}{(n_2 + 1)(n_1^2 + n_2)} \quad (5)$$

где  $n_1$  — показатель преломления плёнки,  $n_2$  — показатель преломления стекла. Подставляя (4) и (5) в (3), получим:

$$\delta = \frac{\Delta P}{P_0} = \frac{2n_2}{(n_2 + 1)(n_1^2 + n_2)(n_2^2 + 1)} (2n_1(n_2^2 + 1) - n_1^2(n_2 + 1) - n_2(n_2 + 1)) \quad (6)$$

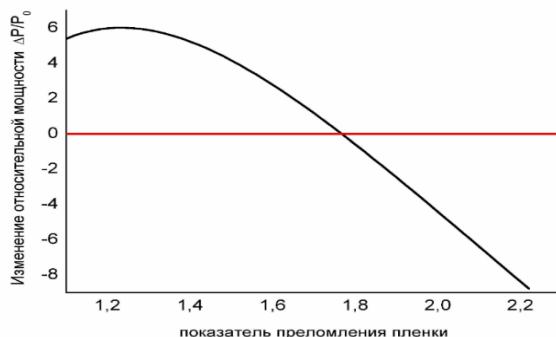
Знак  $\delta$  определяется вторым множителем в (6), который, как легко заметить, есть квадратный трёхчлен относительно  $n_1$ . Откуда следует, что условие  $\delta > 0$  выполняется, если показатель преломления ГФП удовлетворяет неравенству:

$$n_1 < \frac{n_2^2 + 1 + \sqrt{(n_2^2 + 1)^2 - n_2(n_2 + 1)^2}}{n_2 + 1}, \quad (7)$$

которое может служить критерием при выборе материала ГФ покрытия.

### Результаты

На рис. 1 приведены результаты расчета по формуле (6). Если  $\delta < 0$  ( $n_1 > 1,77$ ), относительная мощность уменьшается вследствие уменьшения коэффициента пропускания (увеличивается отражение). Если  $\delta = 0$  ( $n_1 = 1,77$ ), то ГФП не влияет на величину генерируемой электроэнергии. Если  $\delta > 0$  ( $n_1 < 1,77$ ), то относительная мощность увеличивается за счет увеличения коэффициента пропускания (уменьшается отражение). Показатель преломления плёнки  $n_1 = \sqrt{n_2} = 1,23$ , на котором расположен максимум кривой на рис. 1, соответствует условию просветления [7].



**Рис. 1. Изменение относительной мощности  $\delta$  ФЭМ в зависимости от величины показателя преломления плёнки. Показатель преломления стекла  $n_2 = 1,52$ .**

В табл. 1 приведены показатели преломления двуокиси титана и некоторых полимерных плёнок [8], результаты расчёта по формуле (6). Видно, что плёнки двуокиси титана и полиэтилентерефталата нельзя применять для очистки поверхности ФЭМ.

**Таблица 1.**  
**Показатели преломления плёнок и изменение их относительной мощности в случае их применения**

| Материал                    | Показатель преломления, $n_1$ | $\delta, \%$ |
|-----------------------------|-------------------------------|--------------|
| TiO <sub>2</sub>            | 2,30                          | -10,34       |
| Полиметилметакрилат (ПММА)  | 1,49                          | 4,28         |
| Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) | 1,87                          | -2,00        |

В последнее время перспективными для облегчения очистки поверхности ФЭМ от загрязнения считаются покрытия из аморфного гидрогенизированного углерода а-С:Н (DLC) [5, 9]. В ряде обзоров, отмечается, что можно варьировать величину поверхностной энергии стекла, добавляя в плёнку DLC примеси фтора, кремния или бора. Так как оптические постоянные DLC плёнки не удовлетворяют условию (6), то её применять для облегчения очистки поверхности ФЭМ не рекомендуется.

Следует отметить, что условие (6), справедливо и при выборе ГФП для остекления современных зданий.

### Выходы

1. Введён критерий для выбора материала ГФП для пассивной очистки от загрязнения поверхности ФЭМ или зданий с большой степенью остекления.
2. Показано, что правильно подобранный материал ГФП может привести к увеличению генерируемой мощности ФЭМ за счёт эффекта просветления.
3. Критерий выбора материала ГФП может быть полезным при проектировании ФЭС и в градостроительстве.

### Литература

1. K. Ilse, L. Micheli, B.W. Figgis, K. Lange, D. Daßler, H. Hanifi, F. Wolfertstetter, V. Naumann. Techno-Economic Assessment of Soiling Losses and Mitigation Strategies for Solar Power Generation // Joule, 2019, vol. 3, pp. 2303–2321.

<https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.08.019>

2. M. Mani, R. Pillai. Impact of Dust on Solar Photovoltaic (PV) Performance // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, vol. 14, pp. 3124–3131.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.065>
3. W. Zhao, Y. Li, Z. Wei, W. Van, Q. Zhou. Review on dust deposition and cleaning methods for solar PV modules // Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2021,.  
<https://doi.org/10.1063/5.0053866>
4. V.S. Saravanan, S. K. Darvekar. Solar Photovoltaic Panels Cleaning Methods A Review // International Journal of Pure and Applied Mathematics, 2018. <https://acadpubl.eu/hub/2018-118-24/4/698.pdf>
5. V.A. Ganesh, H.K. Raut, A.S. Nair, S. Ramakrishna. A review on self-cleaning coatings // Journal of Materials Chemistry, 2011, vol. 21, issue 41, pp. 16304–16322.  
<https://doi.org/10.1039/C1JM12523K>
6. L. Yao, J. He. Recent progress in antireflection and self-cleaning technology – From surface engineering to functional surfaces // Progress in Materials Science, 2014, vol. 61, pp. 94–143.  
<https://doi.org/10.1016/J.PMATSCL.2013.12.003>
7. M. Born, E. Wolf. Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light, 4th Ed., 1970. Pergamon Press, Oxford, London, Edinburg, New York, Paris, Frankfurt. 808 p.  
<https://www.phys.uni-sofia.bg/~svetivanov/seminars/uchebnici/optics/BW.pdf>
8. В.Н. Серова. Оптические и другие материалы на основе прозрачных полимеров, 2010. Казан. гос. технол. ун-т, Казань. 538 с.  
<https://rucont.ru/efd/229692>
9. J. Robertson. Diamond-like amorphous carbon // Materials Science and Engineering: R: Reports, 2002, vol. 37, issue 4–6, pp. 129–281.  
[https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(02\)00005-0](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(02)00005-0)

### On the issue of using hydrophobic films for passive cleaning of the frontal surface of photovoltaic modules

<sup>1</sup>Physico-Technical Institute NPO "Physics - Sun" of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, 100084, Tashkent, st. Chingiz Aitmatov.

<sup>2</sup>Institute of Materials Science NPO "Physics - Sun" Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Uzbekistan, 100084, Tashkent, st. Chingiz Aitmatov, 2B

<sup>3</sup>Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics at NUUz named after M. Ulugbek, Uzbekistan, 100057, Tashkent, st. Yangi Almazar, 20

**Abstract.** In the near future, 10% of the world's electricity production will come from photovoltaic stations (PVPs). PVS are built in places unsuitable for agricultural activities, i.e. in desert areas. Deserts and semi-deserts are known to be characterized by high (more than forty degrees Celsius) daytime temperature and heavy dustiness. Soiling of the frontal surface of the photovoltaic modules (PVM) reduces the penetration of solar radiation, which leads to a loss of energy efficiency. In one month, contamination can reduce productivity by thirty percent or more. If the efficiency of a 100 MW plant decreases by only one percent, consumers are going to receive less than 1 MW, and the recouping period of PVS will increase. About 340,000 PVM are included in the 100 MW PVS. Every month, 1875 tons of technical (purified) water are required for their cleaning. In the conditions of desert and semi-desert climates, providing large capacity PVS with water for cleaning is a separate technical problem, the solution of which is rather difficult in case of water shortage. Any method of cleaning the surface of the PVM increases operating costs and the cost of electricity accordingly. Therefore, the development of effective and inexpensive methods of cleaning the surface of PVMs from inorganic and organic contaminants is an urgent task in modern photovoltaics. The solution of this problem is also relevant for Uzbekistan, whose climate is considered arid. The following PVS are going to be built in Uzbekistan: a 100 MW capacity one in the Nurabad district of the Samarkand region, 456.6 MW one in the Sherabad district of the Surkhandarya region, a 220 MW one in the Gallyaral district of the Jizzakh region, and a 200 MW one in the Nurata district of the Navoi region.

In order to save technical water and facilitate the cleaning process of glass from dirt, it is proposed here to apply hydrophobic films (HPF) to glass surfaces. The HPF reduces the surface energy of glass and thereby facilitates the cleaning of glass, reducing the amount of water necessary for cleaning. Reviews claim that HPF can simultaneously be anti-reflective coatings, but specific examples or experimental results are not given. None of these publications discuss the effect of a HPF on the efficiency of PVM. The expediency and efficiency of using HPF in relation to PVM, as far as we know, has not been sufficiently studied yet. An incorrectly selected film

material reduces the flux of solar radiation penetrating into the building or to the p-n-junction, i.e. reduces the conversion efficiency of the PVM.

This paper derives a criterion for choosing the material of a hydrophobic film for passive cleaning of the frontal surface of a photovoltaic module or buildings with a high degree of glazing. It is shown here that a properly selected film material can lead to an increase in the generated power of a photovoltaic module due to the antireflection effect..

**Keywords:** photovoltaic module, photovoltaic station, front surface, hydrophobic film, refractive index.

### References

1. K. Ilse, L. Micheli, B.W. Figgis, K. Lange, D. Daßler, H. Hanifi, F. Wolfertstetter, V. Naumann, C. Hagendorf, R. Gottschalg, J. Bagdahn. Techno-Economic Assessment of Soiling Losses and Mitigation Strategies for Solar Power Generation // Joule, 2019, vol. 3, pp. 2303–2321. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.08.019>
2. M. Mani, R. Pillai. Impact of Dust on Solar Photovoltaic (PV) Performance // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2010, vol. 14, pp. 3124–3131. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.065>
3. W. Zhao, Y. Li, Z. Wei, W. Van, Q. Zhou. Review on dust deposition and cleaning methods for solar PV modules // Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2021, vol. 13, issue 3, 032701. <https://doi.org/10.1063/5.0053866>
4. V.S. Saravanan, S. K. Darvekar. Solar Photovoltaic Panels Cleaning Methods A Review // International Journal of Pure and Applied Mathematics, 2018, vol. 118, No. 24d, pp. 1–17. <https://acadpubl.eu/hub/2018-118-24/4/698.pdf>
5. V.A. Ganesh, H.K. Raut, A.S. Nair, S. Ramakrishna. A review on self-cleaning coatings // Journal of Materials Chemistry, 2011, vol. 21, issue 41, pp. 16304–16322. <https://doi.org/10.1039/C1JM12523K>
6. L. Yao, J. He. Recent progress in antireflection and self-cleaning technology – From surface engineering to functional surfaces // Progress in Materials Science, 2014, vol. 61, pp. 94–143. <https://doi.org/10.1016/J.PMATSCL.2013.12.003>
7. M. Born, E. Wolf. Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light, 4th Ed., 1970. Pergamon Press, Oxford, London, Edinburg, New York, Paris, Frankfurt. 808 p. <https://www.phys.uni-sofia.bg/~svetivanov/seminars/uchebnici/optics/BW.pdf>
8. V.N. Serova. Opticheskie i drugie materialy na osnove prozrachnykh polimerov [Optical and

other materials based on transparent polymers], 2010. Kazan. gos. tekhnol. un-t, Kazan'. 538 s. [In Russian]. <https://rucont.ru/efd/229692>

9. J. Robertson. Diamond-like amorphous carbon // Materials Science and Engineering: R: Reports, 2002, vol. 37, issue 4–6, pp. 129–281. [https://doi.org/10.1016/S0927-796X\(02\)00005-0](https://doi.org/10.1016/S0927-796X(02)00005-0)

### Сведения об авторов

#### Муминов Рамизулла Абдуллаевич

доктор физико-математических наук,  
академик  
Физико-технический институт Научно-производственного объединения «Физика – Солнце» Академии наук Республики Узбекистан Лаборатория «Полупроводниковые высокочувствительные датчики» заведующий лабораторией  
[detector@uzsci.net](mailto:detector@uzsci.net)  
+998 90 951 3056

#### Дыскин Валерий Григорьевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник Институт материаловедения Научно-производственного объединения «Физика – Солнце» Академии наук Республики Узбекистан Лаборатория «Высокотемпературные композиционные материалы и покрытия» старший научный сотрудник  
[dyskin@uzsci.net](mailto:dyskin@uzsci.net)  
+998 90 903 8349

#### Тукфатуллин Оскар Фаритович

доктор философии (Ph.D.) по техническим наукам, старший научный сотрудник Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека  
Лаборатория «Альтернативные источники энергии» заведующий лабораторией  
[oskar.tukfatullin@gmail.com](mailto:oskar.tukfatullin@gmail.com)  
+998 90 954 5615

#### Бутунбаев Бахтиёр Ниматиллаевич

Физико-технический институт Научно-производственного объединения «Физика – Солнце» Академии наук Республики Узбекистан Лаборатория «Полупроводниковые высокочувствительные датчики» базовый докторант, I курс  
[baxtiyor.88uz@mail.ru](mailto:baxtiyor.88uz@mail.ru)  
+998994056765

#### Джумамурадов Комекбай Алламбергенович

Научно-исследовательский институт физики полупроводников и микроэлектроники при Национальном университете Узбекистана имени Мирзо Улугбека  
Лаборатория «Альтернативные источники энергии» базовый докторант, II курс  
[kjumamuratov01@gmail.com](mailto:kjumamuratov01@gmail.com)  
+998 97 159 1988