

УДК 621.383

ЭФФЕКТИВНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ НА ОСНОВЕ НАНО-ГЕТЕРО-ПЕРЕХОДА ИЗ НАНОКРИСТАЛЛИТОВ КРЕМНИЯ И ХАЛКОГЕНИДА СВИНЦА

ИМАМОВ Э.З.,¹ КАРИМОВ Х.Н.,¹ ИМАМОВ А.Э.²

¹ - Ташкентский университет информационных технологий - ТУИТ

² - Академия МВД Республики Узбекистан

Введение. Солнечная энергия играет ключевую роль в развитии «зеленой» энергетики как возобновляемого и экологически чистого источника энергии.

Однако ее широкомасштабное использование сопряжено с рядом проблем: пока высокая стоимость, пока низкая эффективность, сильнейшая зависимость от погодных, климатических условий и времени суток, наличие серьезных проблем с хранением вырабатываемой энергии, многочисленные экологические и ресурсные проблемы.

Но главная проблема в несоответствии мирового темпа роста населения с мировым темпом роста потребления ими энергии. Для сравнения представим рост население мира с 1900 по 2024 год (в ах):

Таблица 1 - Рост население мира с 1900 по 2024 год (в ах):

год	1900	1957	1982	1995	2001	2008	2016	2024
млрд	1,8	3,3	4,0	5,5	6,0	7,0	8,0	8,6

Ежегодный прирост населения в мире с 1900 по 2024 год порядка 28 миллионов человек! То есть за **125 лет население Земли увеличилось почти в 5 раз!**

А как растет потребление энергии в мире?

С 1900 по 2000 год потребление энергии (всех видов, но особенно электроэнергии) увеличилось почти 50 раз, то есть многократно (9-10 раз) опережает рост населения. А к 2025 году по сравнению с 1900 годом - почти 80-ти кратное увеличение! То есть в 16 раз превышает рост численности населения!

Углеводородов –угля, газа, нефти- раньше было много и свободно потребляли,

а теперь их запасы запасы/через ск. лет: нефть/20-30, газ/70-90, уголь/150-300
тают:

А еще - от массового потребления углеводородов портится сильно экология Земли, что тоже представляет значительную опасность, внося дискомфорт в жизнь человечества.

Надо думать о будущем человечества, о жизни наших детей, внуков и правнуков.

Поиск альтернатив к углеводородам. В мире не прекращается поиск других эффективных видов энергии, ведутся интенсивные научные исследования новых, альтернативных к углеводородам, источников энергии. В инновационном отношении это ВИЭ – возобновляемые источники энергии. Для Узбекистана – это солнечная энергия!

Как источник - солнечная энергия, безусловно, хороша! Но, она неисчерпаема, она бесплатна!

Солнечная энергия в техническом плане обладает очень непростым свойством трансформироваться в электричество с помощью кремниевых солнечных панелей. Кроме того получать электричество из неё в особо больших масштабах (массовое электричество) дорого и трудно. Реализация добычи массового электричества требует комплексного подхода, включающего в себя:

- технологическое развитие,
- создание эффективной системы хранения энергии,
- совершенствование нормативно-правовой базы.

Таким образом, альтернативная энергетика для Узбекистана - это солнечная энергетика. Основные преимущества солнечной энергетики:

- прямое преобразование солнечной энергии в электрическую (чрезвычайно важное преимущество);
- неограниченность запаса солнечной энергии (в 100000 раз) по сравнению с текущими потребностями всего человечества (чрезвычайно важное преимущество);
- возможность децентрализованного производства энергии (сокращение протяженности линий электропередач и возможность интеграции в строения – в стены, крыши);
- экологическая безопасность и надежность;
- практически не имеют движущихся частей (упрощается обслуживание и увеличивается срок службы) и не требуют высокой квалификации обслуживающего персонала;
- пригодны для создания установок практически любой мощности.

Преобразование солнечной энергии в электричество осуществляется фотоэлектрическим методом с помощью солнечного элемента – СЭ. Установленная мощность всех электростанций мира порядка $3 \cdot 10^{12}$ Вт. По прогнозам, к 2050 году при таком же уровне потреблении она достигнет десятка ТВт.

Раньше потребляли углеводород (уголь, газ, нефть), а теперь ориентиры на них хоть и сохранился, но потребление - ограничивается их запасами на Земле. В связи с этим в мире не прекращаются интенсивные научные исследования и поиск других эффективных видов энергии. Ориентир в перспективе на солнечную энергию охватывают широкий спектр проблем солнечной энергетике, таких как:

- подготовка кадров для неё;
- производство постоянного тока и строительство и эксплуатация СЭС-солнечных электростанций;

– - разработки новейших устройств и объектов постоянного тока (переориентация продукции многих предприятий на потребности солнечной энергетики).

Исследования по совершенствованию солнечного элемента. Нанотехнология является перспективным методом повышения эффективности кремниевых СЭ. Именно нано-технологический подход позволяет надеяться на успешные результаты и в значительном повышении эффективности кремниевых солнечных панелей.

Свойства контакта и контактного поля определяются:

- работой выхода контактирующих материалов,
- электроёмкостью инородного нано-включения халкогенида свинца, его формой, размером,
- однородностью полупроводниковой подложки, которая достигается предварительной гомогенизацией кремниевой подложки, то есть дополнительной технологической обработкой, обеспечивающей равномерное распределение всех дефектов: как мелких остаточных доноров, уплотняющих его состав, уменьшающих пористость, так и уменьшающих степень, как случайности, так и неоднородности в распределении дефектов по всему объёму Si.

Аппарат научных исследований по проблемам солнечной энергетики коренным образом начал повсеместно применять новейшие нанотехнологические подходы и методики.

Изменения стоимостных показателей солнечной энергетики. В научном плане ведутся исследования, которые смогли бы значительно снизить стоимостные показатели солнечной энергетики. Одним из подобных направлений является максимальное удешевление эксплуатации солнечных панелей на кремниевой основе.

Для этого применяется нано-технологический подход в сочетании с применением гораздо более дешевого некристаллического бесструктурного технического кремния. В нем из-за наличия достаточно большой концентрации LDES – локальных глубоких энергетических состояний возникают многие нано-масштабные электрические контактные поля. Это оказалось важнейшим и необходимым условием для формирования нано-гетеро-перехода.

Исследования с АСМ- атомно-силовым микроскопом различных неоднородностей и дефектных состояний в пористом техническом кремнии выявили множество ($10^{23} \div 10^{24} \text{ м}^{-3}$) случайных локальных нано-кристаллитов кремния (с-Si) с линейными размерами от 5 до 20 нм. Малые размеры с-Si до наночастиц приводит к изменению его оптических, электрических и электронных свойств.

Кроме того, подобные качества некристаллического Si проявляются в нано размерном состоянии только в сочетании с халкогенидами свинца PbX (X может быть S или Se, или Te)

Контактное поле формируется за счет самоорганизующегося роста «островков» кристаллических нано-включений с-PbX там, где он сам естественным образом находит кремниевый нано-кристаллит (как нано-кристаллы с-

PbX, так и c-Si обладают практически идентичной кристаллической структурой).

В этом и заключается особенность самоорганизующегося роста! с последующим образованием нано-гетеро-перехода $\langle \text{c-Si}::\text{c-PbX} \rangle$.

Нано-гетеро-структурные компоненты солнечного элемента позволяют:

- ускорить процессы генерации и рекомбинации заряда в многочисленных нано-размерных приповерхностных контактных полях солнечного элемента;

- существенно замедлить процессы деградации в техническом Si ;

- оптимизировать поглощение солнечного света в широком спектральном диапазоне;

- повышать добротность;

- увеличивать срок службы солнечного элемента, так как гарантированный срок его службы определяется скоростью деградиционных явлений на поверхности технического Si, которая существенно ниже, чем у кристаллического Si.

Это и обуславливает их длительный срок службы. Использование технического кремния, что позволяет снизить стоимость и повысить до 30÷35% эффективность солнечных панелей.

Нано-технологии применение технического Si в качестве подложки солнечных элементов является перспективным методом повышения эффективности кремниевых СЭ. Именно нанотехнологический подход позволяет надеяться на успешные результаты в значительном повышении эффективности кремниевых солнечных панелей.

Свойства контакта и контактного поля определяются:

- работой выхода контактирующих материалов,

- электроёмкостью инородного нано-включения PbX, его формой, размером,

- однородностью полупроводниковой подложки.

Узбекистан вместе с другими странами должен быть наиболее заинтересован в разработке и применении как у себя, так и в других, прежде всего соседних, странах экологически безопасных и эффективных источников Солнечной электрической энергии.

Заключение

Варьируя геометрическими параметрами и отдельными структурными свойствами используемых материалов СЭ, можно управлять и улучшать их электрофизические свойства реагирования на внешние воздействия.

Подобные положительные преобразующие электрофизические свойства характерны для многих полупроводников в нано-размерном состоянии, если энергетический спектр их электронов окажется подобным спектру его собственного нано-кристалла. Таким образом, в работах [1-17] рассмотрена актуальная проблема применимости нано-структурированных кристаллических полупроводников при создании устройств солнечной энергетики.

Список литературы:

- [1] G. Springholz и G. Bauer // Молекулярно-лучевая эпитаксия гетеро- и наноструктур IV–VI / Phys. stat. sol. (b) 244, № 8, 2752–2767 (2007). DOI:10.1002/pssb.200675616
- [2] Дженан Саддама, Мунир Х. Джадуал,* // Разработка и изготовление многопереходной гибридной гетероструктуры на основе ZnO/CuO/PS/Si для современных оптоэлектронных приложений // Журнал исследований солнечной энергии, том 10, номер 1, зима (2025), с. 2161–2175. DOI:10.22059/jser.2025.398689.1599
- [3] Хассан, Х. Дж., Джабер, А. А. и Тамер, А. (2025). Синтез наностержней ZnO гидротермальными методами: исследование оптических свойств и характеристик обнаружения газа. Журнал наноструктур, 15(3), 820–830. <https://doi.org/10.22052/JNS.2025.03.001>.
- [4] Хоанг, М. Т., Нгуен, В. Х., Ле, Т. К., Фам, К. Н. и Тран, Д. Л. (2025). Пористый кремниевый микрорезонатор, декорированный наночастицами серебра, как высокопроизводительная подложка SERS для сверхчувствительного обнаружения следовых количеств молекул. Наноматериалы, 15, статья 1007. <https://doi.org/10.3390/nano15131007>
- [5] Абдулла, С., Джадуаа, М. и Абд, А. Н. (2021). Получение гетероперехода наночастицы оксида висмута/PSi/Si простым химическим методом для применения в солнечных батареях. В Journal of Physics: Conference Series (т. 1853, № 1, с. 012045). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1853/1/012045>
- [6] Булутай, К. и Оссичини, С. / Электронные и оптические свойства кремниевых нанокристаллов. - СТАМПА. -(2010), с. 5-42. [DOI: 10.1002/9783527629954.ch2]
- [7] Чэнь, К., Чжан, И., Ван, С., Лю, Х. и Ли, М. (2025). Фотокатализ для устойчивой энергетики и защиты окружающей среды в строительстве: обзор по технологии поверхностной инженерии и новым методам синтеза. Журнал экологической химической инженерии, 13(5), статья 117529. <https://doi.org/10.1007/s13369-024-09941-3>
- [8] Станку В., Пентиа Э., Голденблум А. и др. // Румынский журнал информационной науки и технологий. 2007. Т. 10. № 1. С. 53–66.
- [9] Р.Д. Шаллер, В.И. Климов / Phys. Rev. Lett. 92, 186601 (2004); Шаллер Р.Д. Петрушка М.А. Климов В.И. // Appl. Phys. Lett. 87, 253102 (2005); В.Климов // Журнал физики и химии. В2006,110, 16827–16845; Р.Д. Шаллер, М. Сикора, Дж.М. Петрыга, В.И. Климов // Nano Lett., Т. 6, № 3, 2006, 424–429.
- [10] Э. З. Имамов, Т. А. Джалалов, Р. А. Муминов // Электрофизические свойства новой контактной структуры «нанообъект—полупроводник» / Техническая физика, 2015, т. Т. 60, № 5, стр. 740-745 © Pleiades Publishing, Лид., 2015/ ISSN 1063-7842
- [11] Т.А.Джалалов, Лиза М.Портер, Э.З.Имамов, Р.А.Муминов //Теория электростатического поля в наноразмерных р-п переходах //УзЖФ - Узбекский физический журнал //Том 17 (№3), 2015 г. С. 131-139

-
- [12] Э.З.Имамов, Т.А.Джалалов, Р.А.Муминов, Х.Х.Рахимов //Теоретическая модель новой контактной структуры «нанообъект-полупроводник» //Ж. «Вычислительная нанотехнология». Декабрь 2015, №4, стр.58-63
- [13] М.А. Аскарлов, Э.З. Имамов, Х.Н. Каримов, Исследование электрофизических процессов в кремниевом солнечном элементе с большим количеством поверхностных наногетеропереходов. Журнал наноэлектронной физики, 17, № 1, 01007 (2025). doi.org/10.21272/jnep.17(1).01007
- [14] М.А. Аскарлов, Э.З. Имамов, Х.Н. Каримов, Физика высокоэффективного кремниевого солнечного элемента с нановключениями халькогенидов свинца. Журнал наноэлектронной физики, 16, № 1, 01030 (2024). doi.org/10.21272/jnep.16(1).01030
- [15] Р.А. Муминов, Э.З. Имамов, Р.Х. Рахимов, М.А. Аскарлов // Факторы эффективной генерации электроэнергии в солнечном элементе с наногетеропереходами. Журнал вычислительной нанотехнологии 10. № 1. 119–127 (2023). DOI: 10.33693/2313-223X-2023-10-1-119-127
- [16] Аскарлов М.А., Имамов Э.З., Муминов Р.А. Электрофизические свойства солнечного элемента с нетрадиционными контактными структурами. Журнал вычислительной нанотехнологии 10. № 4. 110–121 (2023). doi.org/10.33693/2313-223X-2023-10-4-110-121
- [17] E.Z. Imamov, R.A. Muminov, M.A. Askarov, , Kh.N. Karimov // / Determination of Contact Field Parameters of a Solar Cell with Multiple Nanoheterojunctions/ Journal of nano- and electronic physics журнал нано- та електронної фізики Vol. 17 No 5, 05017(5pp) (2025) Том 17 № 5, 05017(5cc) (2025)