



Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта призеров III степени

Название работы – Экспериментальное исследование свойств гетероструктурных кремниевых элементов.

Авторы – Ефремова Кира Сергеевна, Осипова Людмила Сергеевна, 10 класс, МБОУ "Лицей № 2" г. Чебоксары.

Руководитель – Лаврентьев Анатолий Генрихович, учитель информатики и астрономии, МБОУ "Лицей № 2" г. Чебоксары.

Основная идея работы, цели, задачи

Цель работы: анализ эффективности гетероструктурных солнечных элементов (влияние тех или иных компонентов на работу солнечной панели).

Задачи:

- Изучение устройства и принципа работы солнечных элементов.
- Исследовать гетероструктурные солнечные элементы как будущее солнечной промышленности.
- Поиски путей оптимизации конструкции солнечных батарей.

Актуальность и новизна работы

В наше время сложно представить жизнь без энергии. Запасы органического топлива - газа, угля, нефти – ограничены, экологическая обстановка в стране оставляет желать лучшего. Поэтому сейчас актуальны поиски альтернативных источников энергии: ветра, воды, солнца. Солнечные панели являются одними из этих альтернатив. В настоящее время достаточно много разработок в улучшении солнечных панелей по ряду известных причин. В условиях школьной лаборатории мы изучали гетероструктурные солнечные панели и экспериментально искали способы повышения эффективности солнечных панелей.

В литературе есть много работ про изучение и повышение эффективности солнечных панелей, но большинство из них про монокристаллические и тонкопленочные. В нашем случае мы изучаем гетероструктурные солнечные элементы и исследуем их эффективность.

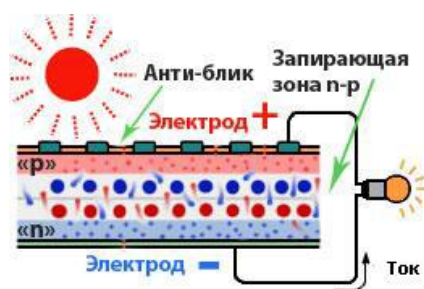
Основные результаты

Принцип работы солнечных батарей

Для изготовления солнечных элементов используются полупроводники, наиболее распространенным из них является кремний из-за своих физико-химических свойств, доступности и дешевизны. Кремний занимает второе место, после кислорода, по самым распространенным химическим элементам на Земле. Чаще всего в природе кремний в виде кремнезёма. Коэффициент фотоэлектрического преобразования у кремния около 25%.

Солнечные панели состоят из фотоэлектрических ячеек, запакованных в общую рамку. Каждая из них сделана из полупроводникового материала. Полупроводник состоит из двух пластин, присоединенных друг к другу. Они сделаны из кремния с добавлением определенных примесей. Благодаря примесям возникает еще и примесная электропроводность, которая позволяет повысить всю электропроводность полупроводника.

В итоге у первой пластины (n-слой) появляется избыток валентных электронов, а у второй (р-слой), наоборот, недостаток. Когда лучи падают на отрицательно заряженную панель, полупроводник нагревается, частично поглощая их энергию. Приток энергии высвобождает отрицательно заряженные частицы, электроны, внутри полупроводника. Дополнительной энергии оказывается достаточно, чтобы оторвать электроны от соответствующих атомов. В результате на их месте остаются дырки, а освободившиеся электроны начинают блуждать по кристаллической решетке. Под воздействием электрического поля происходит разделение положительно и отрицательно заряженных частиц. Таким образом, появляется разность потенциалов или постоянное напряжение. Свободные электроны начинают двигаться в определенном направлении, и этот поток и образует электрический ток. Если приложить металлические контакты к верху и к низу солнечного элемента, то полученный ток направится по проводам, и его можно будет использовать для работы различных устройств. Сила тока вместе с напряжением ячейки определяют мощность электроэнергии, проводимая фотоэлементом. Стоит отметить, что в чистом кремнии свободных электронов слишком мало из-за крепких связей атомов кристаллической решетки. Поэтому в СП используется кремний с примесью фосфора. Для высвобождения несвязанных электронов в атомах фосфора требуется приложить значительно меньшее количество энергии. Чтобы уменьшить потери от отражения света фотоэлементы покрывают антибликовым покрытием, а для защиты солнечной батареи от дождей и ветра ее также принято покрывать стеклом. Толщина солнечных панелей как правило составляет десятые доли миллиметра. Панели объединяются в фотоэлектрические модули и устанавливаются с ориентацией на солнце.



Виды кремниевых солнечных панелей

Всего существует четыре вида кремниевых солнечных панелей: монокристаллические, поликристаллические, аморфные и гетероструктурные.

1. Монокристаллические солнечные панели.

При их производстве используют один кристалл кремния. Кремний проходит самую высокую степень очистки.

- 1) Получение кремния полупроводниковой чистоты. В качестве сырья для монокристаллических солнечных элементов используется кварцевый песок с большим содержанием диоксида кремния. Он проходит длительную очистку для удаления кислорода.
- 2) Выращивание кристаллов. После этого около 75% всего производства кристаллов выращивается по *методу Чохральского*.
- 3) Обработка. Начинается обработка монокристалла для придания квадратной формы, потому что после тигеля он имеет круглую форму, что не особо удобно. Далее монокристалл режется на пластинки толщиной около 250 мкм.
- 4) Создание фотоэлектрического элемента. Для того, чтобы кремний мог вырабатывать энергию, в него легируют 3-х и 4-х валентные полученные пластины с разных сторон.

**Метод Чохральского* – это способ выращивания монокристаллов вытягиванием их вверх от свободной поверхности расплава, находящегося в тигле, с запуском кристаллизации путём приведения затравочного кристалла заданной структуры и кристаллографической ориентации в контакт со свободной поверхностью расплава. Получаемый монокристалл постепенно вытягивают из расплава. Куски кремния помещают в тигель, где они раскаляются и плавятся. В расплав опускается образец будущего кристалла. Атомы разлагаются в четкую структуру, нарастают на затравку слой за слоем. Данный процесс длительный, но на выходе получается большой и однородный кристалл, размеры которого больше 100мм.

+ Особое расположение атомов монокристалла позволяет добиться увеличения движения электронов, что позволяет получить большой КПД 18-20%. Монокристаллические солнечные панели имеют небольшие вес и габариты. Срок службы при правильном уходе не менее 25 лет.

- Высокая стоимость солнечных панелей. При небольших преградах, такие как пыль, тень, падающая на конструкцию, эффективность заметно снижается.

2. Поликристаллические солнечные панели.

Они состоят из множества мелких кремниевых элементов, скреплённых друг с другом. Для производства солнечных панелей, основанных на поликристаллах, не требуется метод Чохральского, в отличие от монокристаллических солнечных панелей. Сырой кремний расплавляют и заливают в квадратную форму. После охлаждения и затвердевания готовый материал режут на идеально квадратные пластины.

+ При изготовлении поликристаллического кремния затрачивается заметно меньше энергии, не требуется содействие сложных и дорогостоящих процессов, требуется меньше времени. Хорошо проявляют себя в недостаточно освещённых условиях.

- Уровень КПД относительно невысокий, около 12-18%. Солнечные панели восприимчивы к продолжительному действию высокой температуры. Для их установки требуется достаточно большие площади.

3. Амфорные солнечные панели.

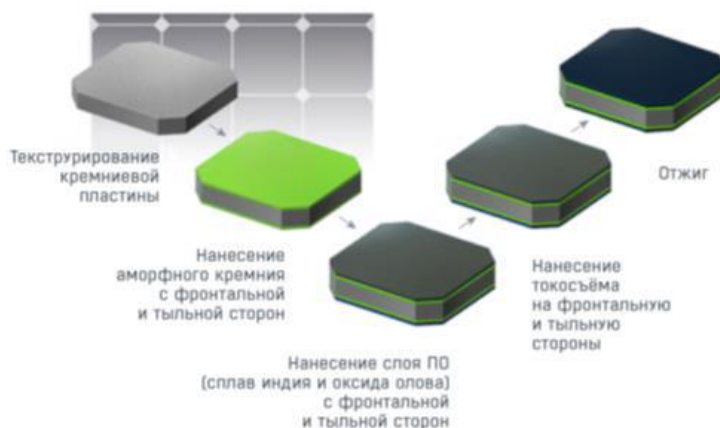
При производстве аморфных солнечных панелей используется пленочная технология. При изготовлении используется силан – гидрид кремния, кремнийорганический полимер или кремневодород. У аморфных кристаллов высокое поглощение потока солнечных лучей (в 20 раз выше, чем у монокристаллов и поликристаллов), поэтому часто используют пленку аморфного кремния толщиной около 0,5 – 1,0 мкм. При производстве тонкопленочных модулей расходуется примерно в 10 раз меньше кремния, чем для кристаллического, за счет чего солнечная панель стоит дешевле. Аморфный кремний получают из кремнезема, применяя для этого очень энергичные восстановители. В таком состоянии рассматриваемое нами вещество представляет собой порошок бурого цвета, мелкодисперсный. Обладает высокой степенью гигроскопичности. В виде порошка соединение без проблем наносится на любую поверхность.

+ Достаточно эффективны

- При нагреве не такая большая потеря мощности. При плохом освещении генерируют больше энергии. При частичном затемнении меньше теряют мощность.

4. Гетероструктурные солнечные элементы

Гетероструктурная технология представляет собой гибрид кристаллического и тонкопленочного типов кремниевых солнечных элементов. Он представляет контакт двух типов полупроводников: легированные слои аморфного кремния с положительными носителями р и кристаллического кремния с отрицательными носителями заряда n. В результате такой комбинации у нас получается объединить основные плюсы кристаллических и тонкопленочных аморфных модулей, что выражается в получении ключевых преимуществ. *Производство* Первым этапом является визуальная проверка кремниевой пластины и проверка роботом. Следующим этапом является очистка в кислоте и щелочах и формирование текстуры для эффективности. Пластинам придается структура «пирамидки» для увеличения эффективности. Самым главным этапом является нанесение на пластины трех слоев аморфного кремния. Осаждение кремния производится методом плазмохимического осаждения из газовой фазы. Подается смесь газов в реактор, где воспроизводится заряд. Под действием разряда газ разлагается на различные радикалы и осаждается кремний с различными примесями. Далее на пластину наносят токопроводящие слои (оксид индия, легированный оловом). Защитное стекло на панелях шероховатое для лучшего рассеивания солнечных лучей. Далее наносят токопроводящую медную проволоку, которая соединяется путем нагрева с пленкой, что обеспечивает эффективный сбор и передачу генерируемой солнечной ячейкой электрической энергии. Получается несколько слоев: стекло + ламинирующая подложка + ячейки + защитная пленка. Эти слои проходят ламинации горячим прессом. Завершает процесс производства фотоэлектрических преобразователей участок измерения характеристик и сортировки. Здесь замеряются все электрофизические характеристики солнечных ячеек: ток, напряжение, мощность и т.д. и сортируются по параметрам.



+ Эффективное использование площади. Благодаря низкому температурному коэффициенту из-за напыления легированных слоев аморфного кремния, высокая производительность при низких и высоких температурах и в плохой освещенности.

Из-за пассивации задней поверхности происходит увеличение напряжения холостого хода и снижение температурного коэффициента. Использование антиотражающих покрытий позволяет снизить отражение от поверхности с 30 до 10%. Используется специальное стекло повышенной проницаемости.

Определение угла наклона солнечного модуля

От расположения солнечных панелей зависит их эффективность.

Они должны быть обращены на юг рабочей поверхностью и наклонены под углом, равным широте той точки, на которой находятся. Панели нельзя ставить так, чтобы на них падала тень от соседнего здания, например.

При использовании солнечных панелей, их фиксируют в определенном статическом положении. Исходя из экспериментов, мы выяснили, что наибольшая эффективность работы солнечных панелей будет, когда они направлены на солнце и поверхность перпендикулярна к солнечным лучам. В течение всего дня солнечные панели не всегда находятся под перпендикулярным углом из-за статического положения.

Используя формулу из астрономии $h=90-\phi+\delta$, мы для каждого времени года мы нашли оптимальный угол наклона

Время года	Высота солнца	Оптимальный Угол наклона
лето	60	30
осень	48	42
зима	13	77

Влияние температуры среды на эффективность СЭ

На эффективность солнечных элементов влияет температура среды. Об этом можно судить из экспериментальных данных. Измерения проводили с одиночным фотоэлементом, так как его удобнее было нагревать. Измеряли напряжение холостого хода и силы тока короткого замыкания.

T° C	U, В	I, А	P, Вт	Падение P%
5	0,47	3,8	1,78	-
25	0,44	3,6	1,58	12
45	0,42	3,3	1,38	23

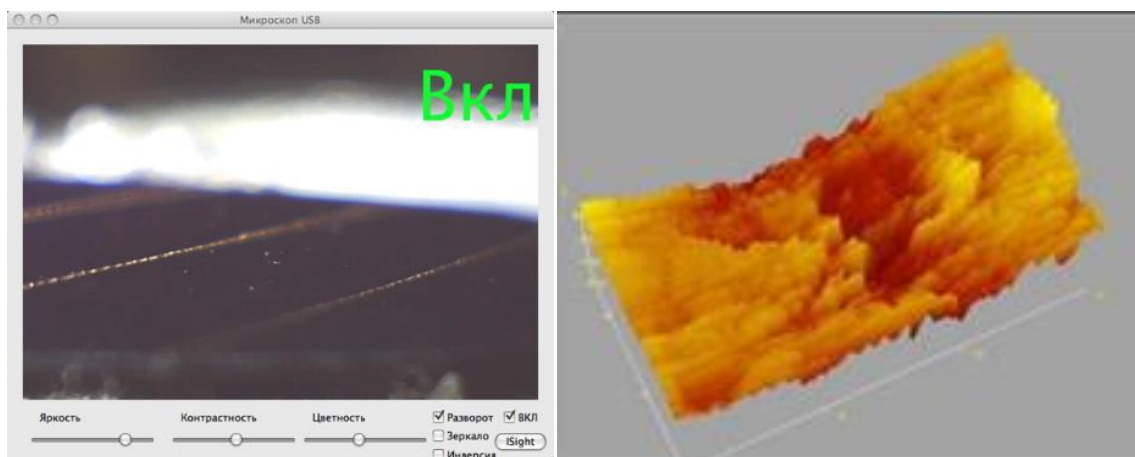
На увеличение температуры влияет ИК излучения, поэтому надо предусмотреть возможность охлаждения солнечных элементов за счет проветривания. В качестве конструктивных материалов при сборке солнечного модуля желательно выбирать те, которые не пропускают тепловые излучения.

Исследование поверхности солнечного элемента

По нашим гипотезам эффективность поглощенной солнечной энергии зависит от доли отраженной энергии, чем она меньше - тем лучше. Из литературы узнали, что глаз обычной моли построен таким образом, что не отражает свет. В результате работы ученых, разработаны пленки, границы которых не гладкие, а состоят из множества наноразмерных конусов. Конусы разных слоев сцепляются друг с другом словно крепления конструктора Lego. В результате от границы пленок отражается в 100 раз меньше света, чем ранее. Подобный прием использован в гетероструктурных солнечных элементах.

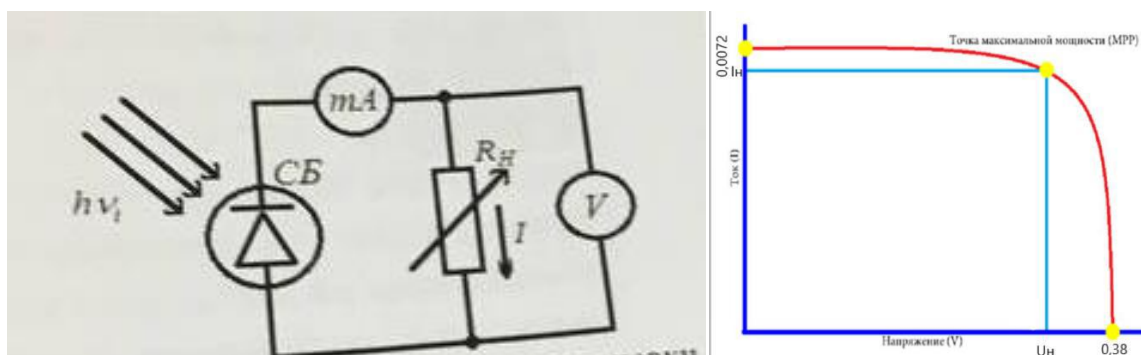
С помощью СЗМ «NanoEducator» в лаборатории нашего лицея в режиме ACM исследовали

поверхность пленки наших солнечных элементов (поверхность солнечного элемента через камеру с 200 кратным увеличением и СЗМ изображение)



Снятие вольт- амперной характеристики солнечного элемента

Для определения максимальной мощности КПД солнечных элементов мы построили вольт-амперную характеристику. Эквивалентная схема экспериментальной установки.



ВАХ при освещенности 400 Лк. По данным эксперимента построили вольт-амперную характеристику

$$U_{хх}=0,38 \text{ В} \quad U_{н}=0,3 \text{ В} \quad \eta = I_{кз} \cdot U_{хх} \cdot \rho \sim 23\%$$

$$I_{кз}= 0,0072 \text{ А} \quad I_{н}=0,0056 \text{ А}$$

Построили график зависимости мощности от напряжения и определили эффективную мощность, оптимальное напряжение $U_{опт}=0,34 \text{ В}$ и мощность одного элемента 3мВт.

Выводы, заключение, перспективы

Изучили устройство и принцип работы солнечных элементов. Наиболее эффективными оказались гетероструктурные солнечные элементы. Проведя ряд экспериментов, мы выяснили, что эффективность солнечных панелей зависит от:

- 1) Угла падения солнечных лучей
 - a) Максимальное КПД при прямом падении солнечных лучей (под углом 90°)
 - b) При отклонении от перпендикуляра на 30° КПД снижается лишь на 5%, но при большем отклонении оно снижается в разы больше

- 2) Температуры воздуха и самой панели
 - а) Чем холоднее окружающая среда и сама батарея, тем продуктивнее она работает
- 3) Правильности подбора сопротивления нагрузки
 - а) Постоянно отслеживать и регулировать эти факторы вручную проблематично, поэтому можем использовать контроллер управления, который сам подстраивает настройки, чтобы добиться максимальной производительности
- 4) Вида панели
- 5) Поверхности солнечных панелей
- 6) Пыли и грязи на поверхности панелей
 - а) Фотоны не проходят через такую преграду, поэтому надо постоянно протирать панель
- 7) Преград на пути солнечных лучей
 - а) Окружающая среда не должна быть преградой для солнечных лучей. На их пути не должно быть деревьев, домов и т.п.
- 8) Площади, которую занимает солнечная панель

Список цитированных источников

1. <https://www.hevelsolar.com/>
2. <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/sun/princip-raboty-solnechnoj-batarei.html>
3. <https://www.supersadovnik.ru/text/sovremennye-sistemy-nezavisimogo-jelektrosnabzhenija-doma-na-solnechnyh-batarejah-1007175>