



Конкурс для школьников «Гениальные мысли» Автореферат проекта победителя I степени среди 11 классов

Название работы – Разработка и создание гибкого портативного фотоэлектрического преобразователя (ФЭП) на основе наноэлектронных компонент.

Автор – Дробот Дмитрий Андреевич (11 класс, МБОУ "Школа №91", ГБУДО ЦМИНК Кванториум, г. Нижний Новгород).

Руководитель – Андреев Павел Валерьевич, к.ф.-м.н., с.н.с. ИХВВ им. Г.Г. Девярых РАН, менеджер по проектной деятельности ЦМИНК «Нижегородский Кванториум».

Основная идея работы, цели, задачи

Целью нашей научно-практической работы была выбрана разработка нового, не имеющего аналогов фотоэлектрического устройства, обладающего рядом ключевых свойств:

- отечественная компонентная база – современные нанотехнологичные устройства, конкурентные на мировом рынке;
- гибкость конструкции;
- модульность конструкции.

Для этого были решены следующие *задачи*:

- выбор функционального элемента и освоение технологии его производства;
- создание концепции гибкого устройства;
- создание прототипа устройства;
- тестирование.

Актуальность и новизна работы

Гибкая электроника на сегодняшний день является одним из наиболее быстро развивающихся и весьма востребованных научных и инженерно-технологических направлений. По мировым тенденциям и повышенному вниманию крупных корпораций можно предположить, что уже очень скоро устройства гибкой электроники станут неотъемлемым элементом жизни человека благодаря своей компактности и легкости. Исследователями-нанотехнологами ведется поиск новых материалов для гибкой электроники – стабильных к действию влаги, света, стабильных к действию повышенных или пониженных температур. Помимо поиска новых материалов требуется разработка экономичных технологий для промышленного производства гибких устройств, причем, в первую очередь, масштабируемые технологии. Особый интерес вызывают фотоэлектрические устройства, в том числе солнечные элементы, способные подвергаться изгибу. Несмотря на то, что такие устройства обладают не самыми высокими показателями эффективности, их легкость и компактность делает их привлекательными с точки зрения коммерциализации уже сегодня.

Практической задачей нами было выбрано изготовление гибкого ФЭП малого веса, который под действием света (например, солнечного) мог бы вырабатывать электрический, достаточный для подзарядки индивидуальных электронных устройств: смартфонов, плееров и т.п. Малый вес и гибкость конструкции обеспечивают использование ФЭП в полевых условиях, например, в туристических походах, при этом ФЭП может размещаться на внешней поверхности рюкзака. Устройство должно быть легко адаптировано к экстремальным условиям использования, например, не бояться осадков и низких температур.

Основные результаты

В качестве основных функциональных элементов нашего устройства были выбраны полупроводниковые фотоэлементы (ППФЭ), выполненные по современным технологиям изготовления наногетероструктур.

Базовые ППФЭ не являются гибкими, а их стоимость нелинейно растёт с их размерами. По этой причине одной из наших ключевых идей явилась модульность конструкции. Отдельные ППФЭ относительно небольшого размера соединяются гибкими световодами, которые функционируют как дополнительные фотосборники (светоколлекторы) и обеспечивают гибкость ФЭП. Модульный принцип конструкции даёт возможность собирать из элементов устройство необходимой формы, размера и мощности.

В рамках этой задачи были изучены физические процессы в полупроводниковых наногетероструктурах, в которых энергия потока фотонов эффективно преобразуется в электрическую. Затем была освоена технология газовой эпитаксии для изготовления многослойной наноструктуры из полупроводников разных типов, а также методика фотолитографии, химического травления и напыления металлических контактов. Изготовление серии полупроводниковых фотоэлементов (ППФЭ) проводилось в лаборатории НИФТИ под руководством специалистов по наноэлектронике. Каждый элемент представлял собой наноструктуру из 7-и слоёв и имел размеры 5x5x0.2 мм (см.рис.1).

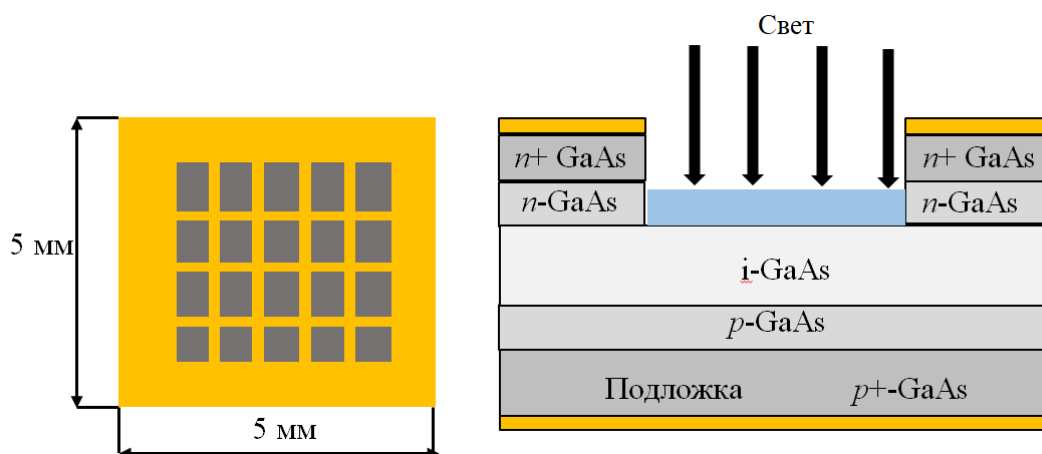


Рис. 1. Схема полупроводникового фотоэлемента.
а) вид сверху; б) поперечный разрез.

Для формирования электрической цепи фотоэлемент монтируется на текстолитовую пластину специально разработанной формы (см. рис.2). На проводящей стороне текстолитовой пластины формируется разрыв медного слоя. На широкую часть мы закрепляем проводящим клеем фотоэлемент. К узкой части припаивается контакт, соединяющий ее с верхним слоем фотоэлемента. Таким образом, проводки, припаянные к левой и правой части текстолитовой пластины являются полюсами источника напряжения.



Рис. 2. Текстолитовая пластина для крепления полупроводникового фотоэлемента.

Под размер отдельного ППФЭ был спроектирован корпус-держатель из пластика. Изготовление модуля проводилось на 3D-принтере Нижегородского Кванториума. Корпус состоит из двух частей, в которых предусмотрен выход проводов и окно для входящего потока света. Размеры корпуса 10x20x4 мм, диаметр окна фотоприёмника составляет 2.8 мм (рис.3 и 4), что чуть меньше диаметра световода.

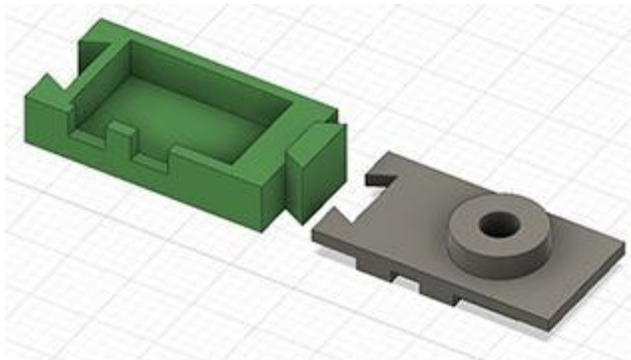


Рис. 3. Чертёж деталей корпуса.

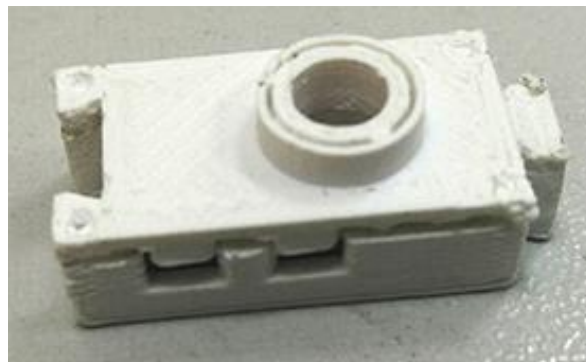


Рис. 4. Корпус в сборке.

Конструкция разработанного корпуса предусматривает возможность их соединения в многомодульную конструкцию (рис.5).

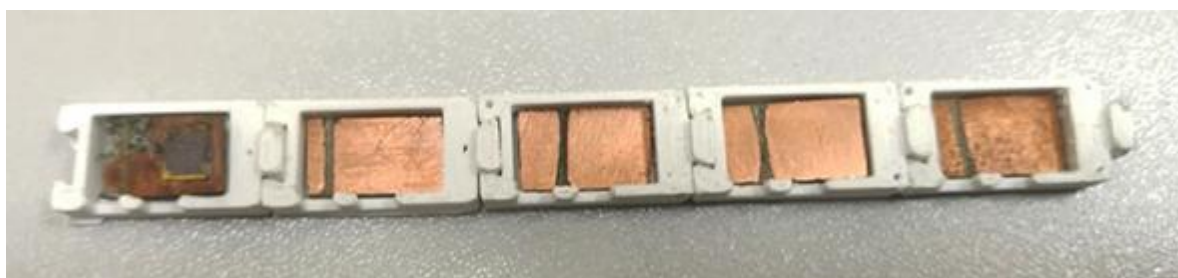


Рис. 5. Сборка из 5-и корпусов с фотоэлементами. Крышки корпусов сняты.

Контакты отдельных модулей ППФЭ соединялись последовательно для суммирования разности потенциалов, вырабатываемой каждым ППФЭ.

Корпуса модулей закрывались крышками. Затем модули через отверстия в крышках попарно соединялись кусочками гибкого прозрачного пластика цилиндрического сечения, которые служили фотоприёмниками и световодами (см.рис.6).

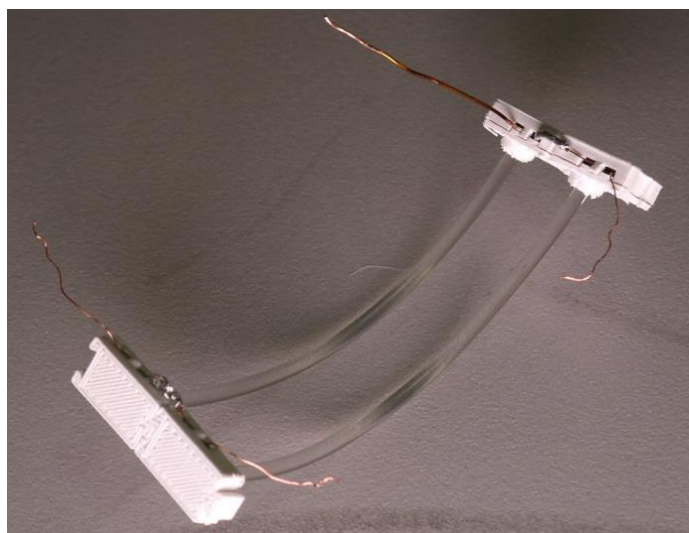


Рис. 6. Соединение модулей ППФЭ пластиковыми световодами.

При освещении внешним потоком света часть его попадает внутрь пластиковых соединений и передается по ним, как по световодам, на фотоэлемент внутри корпуса.

Гибкость силиконового световода обуславливает гибкость всей конструкции устройства.

Нами были проведены испытания конструкции, состоящей из двух пар последовательно включённых модулей ППФЭ (см. рис.7).

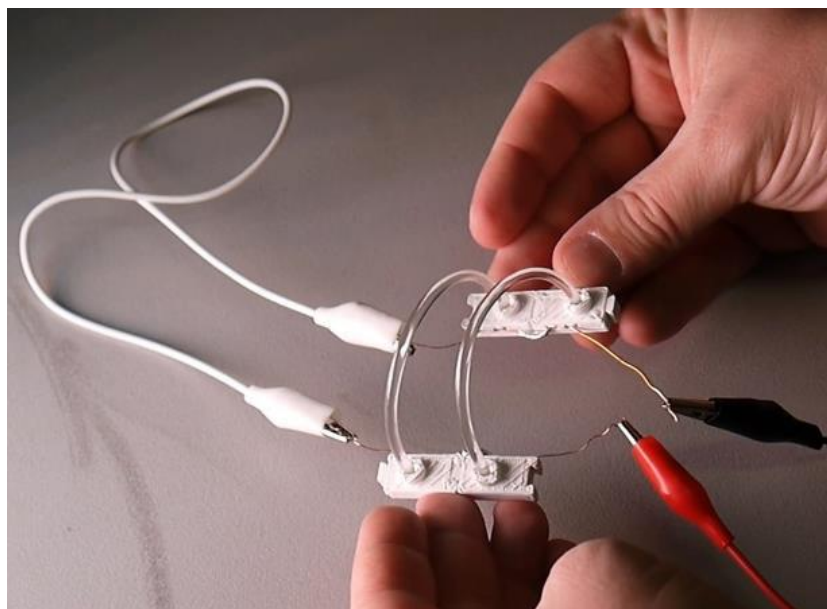


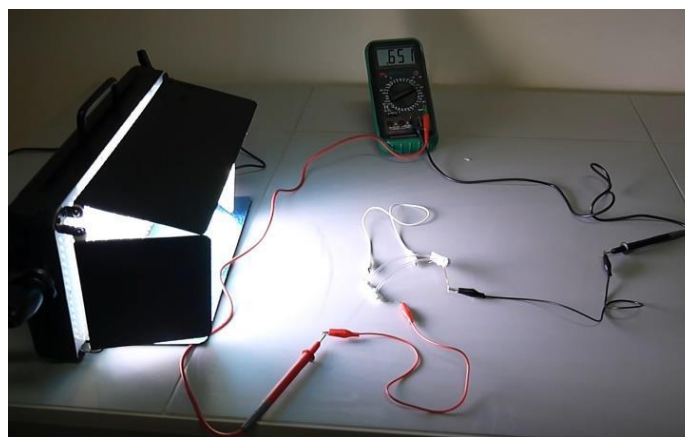
Рис.7. Демонстрация возможности изгиба изделия.

Для проведения первых тестовых испытаний нашей разработки использовалась конструкция, содержащая 4 модуля, соединенных последовательно. В качестве источника света была выбрана светодиодная лампа мощностью 32.5 ватта, световая температура которой 4000 К (см. рис.8.а). Генерируемое напряжение измерялось мультиметром в режиме до 2 В постоянного напряжения.

В испытаниях было показано, что данная конструкция даёт напряжение разомкнутой цепи 650 милливольт.



а)



б)

Рис.8. Проведение тестовых испытаний конструкции из 4-х модулей.

а) светодиодная лампа – источник света; б) общий вид установки тестирования

Выводы, заключение, перспективы

В ходе работы удалось сконструировать прототип многомодульной установки, генерирующей электрическое напряжение при освещении потоком видимого света. Конструкция обличается требуемой гибкостью. Таким образом, практически доказана возможность изготовления недорого гибкого портативного фотоэлектрического преобразователя, пригодного для питания индивидуальных электронных устройств в полевых условиях.

В ближайшее время планируется сконструировать установку, содержащую большее количество модулей для увеличения величины выходного напряжения и провести натурные испытания в полевых условиях при естественном освещении.

В процессе разработки устройства возникло много вопросов, ответы на которые могут дать дополнительные исследования, которые невозможны без специальных исследований.

Среди них:

- поиск оптимального материала для световода;
- исследование оптимальных геометрических параметров световода;
- исследование оптимальной схемы подключения устройств в цепь;
- модификация поверхности световода для наибольшей эффективности поглощения света.

Эти исследования в наших ближайших планах.

Список цитированных источников

1. К.В.Шалимова. Физика полупроводников. СПб, М.: «Лань». 2010.
2. К.Зеегер. Физика полупроводников. М.: «Мир» 1977.
3. И.Аут, Д.Генцов, К.Герман. Фотоэлектрические явления. М.: «Мир» 1980.
4. С.Зи. Физика полупроводниковых приборов. М.: «Мир» 1984.
5. В.М.Андреев. Фотоэлектрическое преобразование солнечной энергии. Соросовский образ.журнал. № 7, 1996.
6. Ж.И.Алфёров, В.М.Андреев, В.Д.Румянцев. Тенденции и перспективы развития солнечной энергетики. ФТП. Т.38, вып.8, 2004.
7. Д.Ю.Паращук, А.И.Кокорин. Современные фотоэлектрические и фотохимические методы преобразования солнечной энергии. Рос.хим.журнал. Т.LII, №6, 2008.
8. Е.Я.Щвец, А.Г.Коломиец. Оценка перспектив применения арсенида галлия и сплавов на его основе в качестве материалов для солнечных элементов. Запорожье. «Металлургия», Вып. 2(3), 2013.