

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Саранина Данилы Сергеевича **«Горизонтальный ионный затвор для органических и перовскитных солнечных элементов»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Технологии тонкопленочных фотопреобразователей III-го поколения на основе органических и галогенидных перовскитных соединений являются одним из перспективных направлений современной фотовольтаики. В 2020 году показатели коэффициента полезного действия (КПД) для органических и перовскитных солнечных элементов (СЭ) достигли значений 17,5 % и 25,5 %, соответственно, что становится сопоставимым с КПД СЭ на основе аморфного и кристаллического кремния. Существенное упрощение технологического цикла с применением методов жидкостной печати потенциально позволяет снизить стоимость производства тонкопленочных устройств по сравнению с кремниевыми гетероструктурами, а также СЭ на основе CIGS и CdTe. Несмотря на существенный прогресс, продемонстрированный в развитии технологических процессов осаждения фотоактивных и транспортных слоев перовскитных и органических СЭ, нанесение металлических электродов методом вакуумного напыления является стандартным и не самым оптимальным. Данный метод не может быть масштабирован в промышленном производстве для линий высокой пропускной способности по аналогии с магнетронным напылением и требует потенциально больших затрат и повышения энергоемкости производства. Использование углеродных нанотрубок (УНТ) в качестве транспортного электрода для тонкопленочных СЭ является перспективным направлением, благодаря возможности простого нанесения слоя УНТ на структуры устройств. Однако реальное применение УНТ в качестве электрода для высокоэффективных тонкопленочных фотопреобразователей имеет ряд ограничений, требующих своего решения, а именно: высокое поверхностное сопротивление слоя УНТ (десятки Ом/кв) и формирование потенциальных барьеров на гетерогранице с фотоактивной областью СЭ. Современные методы синтеза УНТ в настоящее время не обеспечивают прецизионный контроль положения работы выхода, в сравнении с технологиями легированных полупроводников, а также многослойных металлических структур для омических контактов. Таким образом диссертация Саранина Д.С. **«Горизонтальный ионный затвор для органических и перовскитных солнечных**

элементов», направленная на решение вышеописанных проблем является, несомненно, актуальной.

В рассматриваемой работе представлена новая архитектура p-i-n перовскитных и органических СЭ с УНТ катодом и интегрированным ионным затвором на основе ионной жидкости DEME-BF₄. Новая структура СЭ с горизонтальным планарным ионным затвором позволяет в существенной степени компенсировать высокое поверхностное сопротивление УНТ, а также уменьшить барьеры с транспортными слоями за счет электростатического обогащения носителями на интерфейсе – УНТ/ DEME-BF₄/полупроводник при приложении смещений на затворе в диапазоне (0-2.5) В. КПД подобных СЭ был увеличен с 2.2 % до более, чем 11%, что показывает потенциал применения данного подхода. Для органических СЭ с фотопоглощающими полимерами p-типа РЗНТ, РТВ7 и электродом из УНТ показан рост напряжения холостого хода $U_{ох}$ с 0В до 0.69В. Определена временная динамика процессов зарядки/разрядки ионного затвора с обкладками из УНТ. Для структур УНТ/ фотопоглощающие полимеры p-типа (РЗНТ, РТВ7) и УНТ/органический полупроводник n-типа (PC60BM; C60, C70) с горизонтальным ионным затвором выявлен переход в вольтамперной характеристике от линейной зависимости к выпрямляющей при напряжении на затворе $U_z > 1.25$ В, что определяет научную новизну полученных результатов.

Достоверность и обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации подтверждается комплексным подходом автора к проведению исследований, значительным объемом проведенных экспериментов с использованием современных методов и оборудования, сопоставлением с опубликованными в литературе данными, а также публикацией статей по материалам диссертационной работы в рецензируемых отечественных и зарубежных журналах и выступлением на конференциях.

Несомненным достоинством работы является ее практическая направленность. Одновременно решалась задача уменьшения сопротивления УНТ и понижения потенциального барьера на контакте с гетероструктурой. Разработанные методы изготовления структур тонкопленочных фотопреобразователей с УНТ электродом заметно упрощает технологическую цепочку производства приборных структур без использования вакуумных процессов.

К недостатком работы можно отнести то, что автор не провел прямых измерений по изменению оптоэлектронных свойств УНТ при электростатическом легировании в

структуре ионного затвора. Не исключено, что заметные изменения электрофизических свойств УНТ могут проявиться в широких полосах пиков поглощения ИК области, являющихся суперпозицией оптических переходов. Кроме того, некоторые стилистические погрешности в автореферате местами затрудняют восприятие изложенной информации.

Тем не менее, указанные замечания ни в коем случае не снижают общей положительной оценки представленной к защите работы, которая, безусловно, вносит заметный вклад в развитие технологии тонкопленочных фотопреобразователей III-го поколения.

Таким образом, диссертационная работа Саранина Даниила Сергеевича **«Горизонтальный ионный затвор для органических и перовскитных солнечных элементов»**, является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие определенное значение для развития микроэлектроники, что отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N2 842 (ред. от 21.04.2016 г), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и паспорту специальности 05.27.06, а ее автор, Саранин Данила Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 — технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники.

д.ф.-м.н., заведующий лабораторией
возобновляемых источников энергии
СПБАУ им. Ж.И. Алферова РАН

Подпись Мухина И.С. заверяю

дата



Автор отзыва

ФИО: Мухин Иван Сергеевич

Ученая степень: доктор физ.мат.наук, 2019 г.,

Специальность 01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования и науки «Санкт-Петербургский национальный исследовательский Академический университет имени Ж. И. Алфёрова Российской академии наук

Должность: Заведующий лабораторией

Контактная информация: 194021, Санкт-Петербург, улица Хлопина, дом 8, корпус 3, литер

А Телефон: +7 (812) 297-21-45