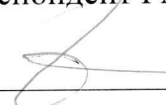


“УТВЕРЖДАЮ”

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
физической химии и электрохимии
имени А. Н. Фрумкина Российской
академии наук,
член-корреспондент РАН



 А.К. Буряк

“ 03 ” 06 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Саранина Данилы Сергеевича «Горизонтальный ионный затвор для органических и перовскитных солнечных элементов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники

Актуальность диссертационной работы.

Тема диссертации полностью соответствует направлению из Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, касающегося переходу к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике.

Развитие солнечной энергетики является решением проблемы растущей потребности в электроэнергии, которое при этом не нарушает термодинамический баланс в природе, поскольку используется текущая энергия солнечного излучения, а не ископаемая (накопленная). В этой связи разработка относительно недорогих технологий производства солнечных элементов (СЭ) на основе органических и перовскитных фотопроводников приобретает особую актуальность. Относительная простота изготовления таких СЭ обусловлена тем, функциональные слои можно наносить поливом жидкого раствора вещества при комнатной температуре, например, с помощью технологии печати на плоскую или рулонную основу. Материалом для основы служат стеклянная пластина или полимерная пленка с нанесенным прозрачным электропроводящим слоем (ITO и т.п.) в качестве электрода. Производство таких основ хорошо налажено. Материалом для противоположного электрода, расположенного сверху фотоактивного слоя, в большинстве случаев служит металл. Металлический электрод наносят методом термо-резистивного напыления в вакууме, т.к. магнетронное распыление металла на данном этапе развития технологии не может применяться из-за высокой энергии осаждаемых ионов, неизбежно создающих дефекты в органических и перовскитных структурах. По этой причине особое внимание исследователей в последнее время стало уделяться углеродным соединениям для использования в

качестве электрода, которые наносят без применения вакуумных технологий – методами печати и ламинации. Углеродные нанотрубки (УНТ) являются уникальной структурой и проявляют исключительные электрические, оптические, химические и механические свойства. К примеру, в одностенных углеродных нанотрубках (ОУНТ) металлического типа и полупроводникового типа подвижность носителей заряда не менее 10^5 и 10^4 $\text{см}^2/(\text{В} \times \text{с})$, соответственно. Для успешного использования слоя УНТ вместо электрода из металла требуется согласовать значения работы выхода УНТ и электронных уровней в зарядо-транспортном слое, чтобы обеспечить эффективный переноса электронов на электрод и при этом создать встроенное поле, а также получить низкое контактное сопротивление. Для решения этих вопросов автор предлагает совершенно неизученный подход – использование ионного затвора. Важными преимуществами использования ионного затвора являются возможность нанесения его слоя из жидкого раствора при комнатной температуре и низкие напряжения, необходимые для управления параметрами двойного электрического слоя на границе электрод/ионный затвор. Все это, по нашему мнению, определяет **актуальность** диссертационной работы Саранина Даниила Сергеевича, посвященной разработке ионного затвора для органических и перовскитных солнечных элементов.

Новизна исследования и полученных результатов

Новизна исследования заключается в том, что впервые разработаны методы управления параметрами электрода солнечного элемента, изготовленного из углеродных нанотрубок, путем создания ионного затвора. В ходе исследования были получены следующие новые результаты:

- установлена корреляция между зарядом в двойном электрическом слое ионной жидкости и поверхностным сопротивлением слоя углеродных нанотрубок;
- определена динамика процессов зарядки и разрядки на границах слоя ионного затвора с обкладками из углеродных нанотрубок;
- в вольтамперной характеристике выявлен переход от линейной зависимости к выпрямляющей и определено значение напряжения на контр-электроде (затворе), при котором происходит этот переход;
- в разработанном перовскитном солнечном элементе с интегрированным ионным затвором и электродом на основе УНТ найден режим образования обогащенной области *n*-типа на ионном затворе, приводящий к повышению КПД устройства от 2.2 % до ≥ 11 %;
- для органического солнечного элемента на основе полимерного фотопроводника *p*-типа и электродом из УНТ показано увеличение его фотовольтаических параметров и КПД при потенциале на ионном затворе, лежащем в диапазоне +0...2В, что происходит благодаря росту напряженности внутреннего электрического поля в устройстве, вызванному снижением работы выхода электрона с УНТ.

– впервые разработана архитектура органического tandemного солнечного элемента с общим ионным затвором.

Значимость научных и практических результатов диссертации

В результате проведенных исследований были получены результаты, имеющие большую научную и несомненную практическую значимость. В работе проанализированы причины повышения фотовольтаических характеристик органических и перовскитных солнечных элементов с интегрированным ионным затвором и электродом из углеродных нанотрубок, предложено объяснение процессов, лежащих в основе эффекта, определена область электрического потенциала, прикладываемого на ионный затвор, необходимая для повышения рабочих характеристик солнечных элементов.

Несомненное практическое значение имеет разработка технологической линейки изготовления перовскитных и органических солнечных элементов с использованием методов нанесения функциональных слоев из жидкого раствора при комнатной температуре без применения вакуумного оборудования.

Оформление диссертации, публикации и апробация работы

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, выводов и списка цитируемой литературы (175 наименований). Её общий объем составляет 163 страницы, включая 139 рисунков и 15 таблиц. По теме диссертации опубликованы 9 статей в зарубежных рецензируемых журналах, входящих в базы данных Web of Science или Scopus.

Результаты работы доложены на международных научных симпозиумах и конференциях: «PVTC – Photovoltaic Technical Conference 2016» (г. Марсель, Франция), VIII конференции международного общества оптики и фотоники «SPIE Nanotechnology» (2017, г. Барселона, Испания), международной конференции «3rd International Conference on Organic and Inorganic Chemistry» (2017, г. Чикаго, США).

Публикации в авторитетных изданиях и выступления на международных конференциях свидетельствуют о том, что полученные автором диссертации результаты соответствуют уровню современной науки.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Результаты диссертационной работы могут быть рекомендованы для ознакомления и использования специалистами в области электроники органических и органо-неорганических (гибридных) материалов ведущих научно-исследовательских организаций и промышленных предприятий: НТЦ тонкопленочных технологий в энергетике, группа компаний «Хевел», Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО), Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Институт синтетических полимерных

материалов им. Н.С. Ениколопова РАН, Институт проблем химической физики РАН, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН.

Помимо этого, полученные результаты и разработанные методы следует рекомендовать для использования в учебном процессе при подготовке магистров и аспирантов в области электроники и технологии органических и перовскитных полупроводников.

Замечания по диссертационной работе

1. Во Введении сказано, что существует «потребность в приемлемых по стоимости органических материалах, которые можно получать из доступного сырья с использованием удобных в технологическом отношении методов синтеза и очистки». В связи с этим необходимо было отметить, насколько разработанный в диссертации подход изготовления солнечных элементов соответствует таким возможностям.
2. Полученные данные по молекулярно-массовым характеристикам следовало более подробно рассмотреть с позиций их зависимости от структуры мономеров.
3. В работе не рассмотрена важность такого свойства полимеров для практического использования, как термостойкость.
4. В диссертации отсутствует обоснование выбора нитрофенила и перфторбифенила в качестве акцепторных заместителей.
5. В тексте (особенно во «Введении») присутствуют многочисленные «кальки» с английского языка вместо устоявшихся научных терминов, используемых в русскоязычной литературе («глубокое положение работы выхода», «диапазон не превышает рамки ± 3 В», «при аккумуляции n-типа» (имеется в виду область, обогащенная зарядами n-типа), «маломолекулярные», и т.д.).

Сделанные замечания носят частный характер и не ставят под сомнение основные результаты и выводы диссертации, не снижают научной и практической значимости диссертации.

Заключение

Диссертационная работа Саранина Д.С. является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной автором на высоком научном и техническом уровне. Результаты и выводы диссертации являются достоверными и научно обоснованными. Автореферат и публикации полно и правильно отражают содержание диссертации и ее основные положения и выводы.

По своей актуальности, научной новизне, практической значимости, достоверности, а также объему выполненных исследований и личному вкладу соискателя диссертационная работа Саранина Д.С. «Горизонтальный ионный затвор для органических и перовскитных солнечных элементов» полностью отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям в соответствии с пп.9-14

«Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор **Саранин Данила Сергеевич** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники.

Отзыв, составленный на основании ознакомления с текстом диссертации, автореферата, с публикациями и докладом Д. С. Саранина, обсужден и одобрен на заседании расширенного научного семинара лаборатории «Электронные и фотонные процессы в полимерных наноматериалах» ФГБУН ИФХЭ РАН 2 июня 2020 г., протокол № 5.

Доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник



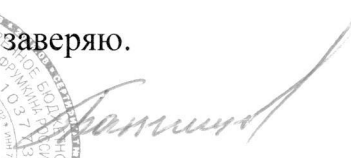
Тамеев Алексей Раисович

Доктор химических наук,
заведующий лабораторией



Некрасов Александр Александрович

Подписи руки А.Р. Тамеева и А.А. Некрасова заверяю.
Зам. директора ИФХЭ РАН
к.ф.-м.н.



О.В. Батищев

Сведения об организации
ФГБУН Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина
Российской академии наук
119071 г. Москва, Ленинский проспект, д. 31, корп.4
тел.: 8 495 9554601
e-mail: dir@phycbe.ac.ru
интернет-адрес: www.phycbe.ac.ru