

УДК 535.34, 535.37

## УГЛЕРОДНЫЕ ТОЧИ ДЛЯ ПАССИВАЦИИ КОНТАКТА МЕЖДУ ЭЛЕКТРОН-ТРАНСПОРТНЫМ И ПЕРОВСКИТНЫМ СЛОЯМИ

Маргарян И.В. (Университет ИТМО), Ведерникова А.А. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Литвин А.П.

(Цзилиньский университет)

**Введение.** Перовскитные солнечные элементы (ПСЭ) в последнее десятилетие привлекли большое внимание из-за своих уникальных свойств. Высокая подвижность носителей заряда, большая длина свободного пробега и большой коэффициент поглощения обеспечили рост эффективности преобразования энергии (PCE) с 3.8% до более чем 25% с 2009 года. Однако, все еще присутствуют проблемы, связанные с дефектами на границах зерен в перовскитном слое и на контактах заряд-проводящих и перовскитного слоев. Для их преодоления применяются разные методы пассивации, один из которых - применение промежуточных слоев [1]. Углеродные точки (УТ) за счет различных поверхностных функциональных групп и размеров в несколько нанометров являются многообещающими кандидатами для применения в качестве вспомогательного слоя в ПСЭ между электрон-транспортным (ETL) и активным перовскитным слоями [2,3].

**Основная часть.** В работе применялись 2 вида УТ: первый вид был синтезирован из этилендиамина ( $CD_E$ ), а второй – из этилендиамина и о-фенилендиамина ( $CD_{EO}$ ). С помощью атомно силовой микроскопии были определены их средние размеры, которые составили  $6.2 \pm 2.4$  нм, и  $2.4 \pm 0.9$  нм, соответственно. Слой из УТ нанесенный на  $SnO_2$  уменьшил шероховатость поверхности с 0.86 нм при  $SnO_2$  до 0.43 нм и 0.23 нм при  $CD_E$  и  $CD_{EO}$ . Более гладкая поверхность обеспечила уменьшения количества мелких зерен и увеличение их среднего размера с 288 нм при нанесении на  $SnO_2$  до 391 нм и 401 нм при нанесении на  $CD_E$  и  $CD_{EO}$ , соответственно, что подразумевает уменьшение ловушечных состояний и рекомбинации на дефектах на границах зерен. Исследование фотолюминесценции (ФЛ) показало уменьшение интенсивности и средних времен затухания ФЛ с 26.5 нс до 21.9 нс и 20.8 нс при нанесении перовскитного слоя на  $CD_E$  и  $CD_{EO}$ , соответственно, что говорит о более эффективной экстракции носителей заряда в транспортный слой. Более эффективный перенос заряда и увеличение размеров зерен привели к увеличению плотности тока короткого замыкания ( $J_{sc}$ ) с 6.8  $mA/cm^2$  до 8.5  $mA/cm^2$  и 11.8  $mA/cm^2$  и коэффициента заполнения (FF) с 57% до 71% и 76% при  $SnO_2$ ,  $CD_E$  и  $CD_{EO}$ , соответственно. В результате КПД вырос с 2.9% при отсутствии слоя УТ до 4.8% и 6.9% при  $CD_E$  и  $CD_{EO}$ , соответственно.

**Выводы.** Пассивация границы ETL/перовскит углеродными точками, синтезированными из этилендиамина и О-фенилендиамина, обеспечивает лучшую морфологию слоя перовскита с большим средним размером зерна и уменьшением количества мелких зерен. Исследование ФЛ показала, что вспомогательные слои УТ способствуют лучшему извлечению фотовозбужденных носителей заряда. В результате было показано, что фотовольтаические устройства на основе перовскита с вспомогательными слоями УТ демонстрируют улучшение фотовольтаических характеристик в основном за счет увеличения плотности тока короткого замыкания и коэффициента заполнения.

### Список использованных источников:

1. Litvin A. P. et al. Carbon-based interlayers in perovskite solar cells //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2020. – Т. 124. – С. 109774.
2. Stepanidenko E. A. et al. Applications of carbon dots in optoelectronics //Nanomaterials. – 2021. – Т. 11. – №. 2. – С. 364.

3. Litvin A. P. et al. Carbon Nanoparticles as Versatile Auxiliary Components of Perovskite-Based Optoelectronic Devices //Advanced Functional Materials. – 2021. – T. 31. – №. 18. – C. 2010768.

## **ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ТЕЗИСА:**

УДК 111.11

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ**

**Петров Д.В. (Университет ИТМО), Иванов А.В. (Университет ИТМО)**

**Научный руководитель – доцент, кандидат технических наук, Иванов А.А.  
(Университет ИТМО)**

**Введение.** Пучок труб в кожухотрубном теплообменном аппарате представляет собой гидроаэроупругую колебательную систему со сложным характером взаимодействия потока среды с конструкцией. Установление связи между механической конструкцией, размером и формой элементов колебательной системы и ее частотной характеристикой имеет большое практическое значение, поскольку это позволяет целенаправленно изменять частотную характеристику системы в соответствии с практическими потребностями. Для обеспечения надежной работы таких конструкций требуется решение специальных задач о так называемых гидроупругих колебаниях в системе конструкция — жидкость. Изучение динамики этих систем для современного оборудования наиболее актуально в связи с интенсификацией рабочих процессов и возросшими требованиями к их надежности и безопасности для обслуживающего персонала и окружающей среды [1].

**Основная часть.** С помощью математических моделей решаются следующие три типа задач:

- 1) Задачи о собственных и вынужденных колебаниях конструкции в покоящейся или стационарно движущейся при отсутствии колебаний жидкости.
- 2) Задачи о вынужденных или параметрических колебаниях конструкции, вызываемых потоком жидкости [1].
- 3) Задачи об устойчивости и автоколебаниях конструкции в потоке жидкости. При колебаниях конструкции, вызываемых начальными условиями или внешними силами, контактирующая с ней жидкость приходит в движение, что может заметно изменить динамические свойства конструкции. Примером могут служить эффект присоединенной массы и трение, обусловленное вязкостью жидкости. Колебания конструкций могут быть вызваны и самим потоком жидкости. Имеется множество примеров в различных областях техники, когда связанные с обтеканием колебания приводили к разрушению или невозможности нормальной работы систем и конструкций. Задачи второго типа можно разделить на две по характеру возбуждения колебаний конструкций [2]:
  - 1) Когда причиной колебаний могут быть нестационарные процессы, не связанные с обтеканием самой конструкции, примером могут служить вынужденные колебания пространственного трубопровода при периодических пульсациях скорости потока или гидравлическом ударе.
  - 2) Когда возбуждение колебаний может быть обусловлено процессами при обтекании конструкции с отрывом пограничного слоя [3].

**Выводы.** Проведен анализ возникновения вибрации трубного пучка и разработана методика ее расчета и оценки.

#### **Список использованных источников:**

1. Денисенко С.А., Камус С.Ф., Пименов Ю.Д., Тергоев В.И., Папушев П.Г. Светосильный широкоугольный телескоп АЗТ-33ВМ // Оптический журнал. – 2009. – № 76(10). – С. 48–51.
2. Непомнящих В.А., Подгорный К.А. Порождение правил поискового поведения динамической системой // IV-я Всероссийская научно-техническая конференция

«Нейроинформатика-2002». Сб. научных трудов. – 2012. – Ч. 1. – С. 110–116.

3. Букачакова Л.Ч., Арсеньева Т.П. Алтайский кисломолочный напиток чеген // Молочная промышленность. – 2014. – № 3. – С. 68–69.