



УДК 546.03
doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-1-5



Open
Access

RESEARCH
ARTICLE

Применение прозрачных проводящих оксидов в органической фотовольтаике

Тимур Олегович Зинченко

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
scar0243@gmail.com

Екатерина Анатольевна Печерская

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
real@list.ru

Елизавета Дмитриевна Шкурина

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40

Диана Евгеньевна Тузова

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40
diana.tuzova.02@bk.ru

Аннотация. Для широкого применения фотоэлектрической энергии требуется повышение коэффициента полезного действия устройства и снижение затрат на его производство. Этому может способствовать использование фотоэлектрических приборов на органической основе. Такие устройства целесообразно изготавливать на основе гетероперехода с использованием слоя прозрачного проводящего оксида для увеличения площади сбора заряда. При этом в качестве органического полимера наиболее подходящим материалом является полимер/фуллерен.

Ключевые слова: фотовольтаика, прозрачный проводящий оксид, гетеропереход, электрод

Финансирование: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант РНФ 23-29-00343).

Для цитирования: Зинченко Т. О., Печерская Е. А., Шкурина Е. Д., Тузова Д. Е. Применение прозрачных проводящих оксидов в органической фотовольтаике // Инжиниринг и технологии. 2024. Т. 9 (1). С. 1–4. doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-1-5

Application of transparent conducting oxides in organic photovoltaics

Timur O. Zinchenko

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
scar0243@gmail.com

Ekaterina A. Pecherskaya

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
real@list.ru

Elizaveta D. Shkurina

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia

Diana E. Tuzova

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia
diana.tuzova.02@bk.ru

Abstract. For the widespread use of photovoltaic energy, it is necessary to increase the efficiency of the device and reduce the costs of its production. This can be facilitated by the use of organic-based photovoltaic devices. It is advisable to manufacture such devices based on a heterojunction using a layer of transparent conducting oxide to increase the charge collection area. In this case, the most suitable material as an organic polymer is polymer/fullerene.



Keywords: photovoltaics, transparent conducting oxide, heterojunction, electrode

Financing: The work was supported by the Russian Science Foundation (RGNF grant 23-29-00343).

For citation: Zinchenko T.O., Pecherskaya E.A., Shkurina E.D., Tuzova D.E. Application of transparent conducting oxides in organic photovoltaics. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2024;9(1):1–4. (In Russ.). doi: 10.21685/2587-7704-2024-9-1-5

Фотовольтаика имеет долгую историю: первый кремниевый солнечный элемент был разработан более 50 лет назад. Исторически их использование для крупномасштабного производства энергии было ограничено из-за больших затрат на изготовление, материалы и установку. Целью более широкого применения фотоэлектрической энергии является разработка солнечных элементов с умеренным коэффициентом полезного действия (15–20 %) с улучшенными технико-экономическими показателями. Чтобы достичь данных показателей, требуются недорогие материалы для активных компонентов, подложек и упаковки, позволяющие использовать методы низкотемпературной атмосферной обработки и высокопроизводительное производство. В идеальном варианте это должны быть тонкопленочные устройства, которые можно будет легко интегрировать в здания или энергетические объекты. Фотоэлектрическая энергия на органической основе может стать одной из важных технологий, помогающих реализовать такие цели. Органические фотоэлектрические элементы имеют теоретическую эффективность, эквивалентную традиционным полупроводниковым устройствам, а основная часть затрат связана с переработкой пластмасс [1]. В результате органическая фотоэлектрическая энергетика обладает долгосрочным потенциалом в качестве фотоэлектрической технологии, которая экономически выгодна для крупномасштабного производства электроэнергии.

Органические материалы по своей природе недороги, и в них используются методы низкотемпературной обработки, которые чаще всего происходят при атмосферном давлении. Это позволяет легко наносить их на пластиковые подложки с помощью технологии рулонной печати. Органические материалы можно использовать в конструкциях тонкопленочных устройств, поскольку их коэффициенты оптического поглощения часто очень высоки. Как результат, большая часть падающего света может быть поглощена материалом толщиной всего в несколько сотен нанометров. Технологии обработки, используемые при производстве органических устройств, обрабатываемых раствором, требуют меньших затрат, могут быть легко масштабированы и напечатаны с более высокой скоростью, чем производственные процессы. Вместо использования плоского гетероперехода материалы донора и акцептора можно объединить и отлить для образования смеси путем центрифугирования из одного раствора. Смешанная архитектура обеспечивает большую площадь границы раздела между материалами донора и акцептора, как показано на рис. 1.

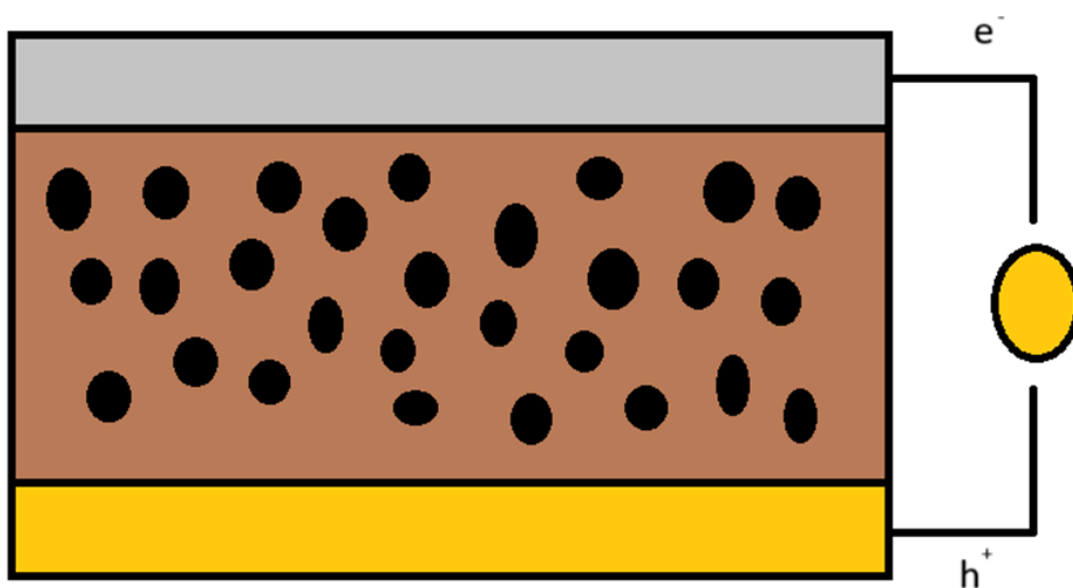


Рис 1. Интерпретация основных компонентов устройства с объемным гетеропереходом полимер/фуллерен, изготовленного методом центрифугирования из одного раствора



Это создает «объемный гетеропереход», где тесное смешение донорных и акцепторных видов приводит к превосходной диссоциации экситонов, где любой фотогенерированный экситон находится в пределах диффузионной длины молекулы-акцептора, что приводит к генерации заряда. Следовательно, заряды могут генерироваться повсюду в объеме, что резко увеличивает объем фотоактивного слоя. Если в каждом материале существуют непрерывные пути от массы к электроду, эффективность может значительно возрасти. Устройства с объемным гетеропереходом могут быть очень экономически эффективными в качестве устройств, обрабатываемых раствором. Первоначально были изготовлены объемные гетеропереходные устройства полимер/фуллерен, которые продемонстрировали улучшенные фотоэлектрические характеристики по сравнению с эквивалентными двухслойными устройствами. На сегодняшний день наиболее успешными фотоэлектрическими элементами на основе полимеров являются фотоэлектрические элементы этого типа, эффективность которых превышает 5 %, как сообщают многочисленные группы, использующие сопряженный полимер и производное фуллерена [2–3].

Морфология смеси полимер/фуллерен играет очень важную роль в определении характеристик устройства [4]. После фотовозбуждения экситоны должны диссоциироваться на носители заряда и для выхода зарядов из устройства должна произойти перколяция через молекулы акцептора и донора к катоду и аноду, соответственно. Без пути перколяции заряды могут захватываться, что приводит к рекомбинации и снижению эффективности. Это также ограничивает толщину устройства, уменьшает количество поглощаемого света и снижает эффективность. Дефекты в сети представляют собой серьезные проблемы для повышения производительности. Кроме того, достаточно тяжело контролировать соединение нужного материала с соответствующим электродом. В настоящее время на морфологию влияют выбор полимера (его химический состав и молекулярная масса), используемый растворитель, условия литья и термический отжиг до или после осаждения противоиэлектрода [5, 6].

Свойства прозрачных проводящих оксидов (ППО), используемых для контакта с органическим фотоэлектрическим устройством, важны для оптимизации производительности [7]. Как и в большинстве устройств, проводимость и прозрачность ППО должны быть высокими, чтобы обеспечить низкое поверхностное сопротивление и эффективный сбор фотонов в активном слое органической фотоэлектрической батареи. Такие устройства обычно имеют толщину менее 300 нм, для чего требуются материалы ППО с очень низкой шероховатостью поверхности. Кроме того, рабочая функция ППО должна быть оптимизирована для соответствия уровням энергии в органическом полупроводнике для эффективного сбора заряда. Материал на поверхности ППО также имеет решающее значение для стабильности устройства и переноса заряда на границе раздела.

Наноструктурированные электроды ППО могут помочь повысить производительность органических солнечных батарей за счет увеличения площади сбора заряда или могут служить заменой акцептора фуллеренов, который используется в устройствах на основе полимерных смесей. Акцептор электронов на основе ППО может быть включен в структуру смеси полимер-неорганические наночастицы или может использоваться в виде упорядоченного массива наностержней, выращенных перпендикулярно подложке. Такая архитектура может улучшить перенос заряда из активного слоя устройства по сравнению с более стандартными устройствами на основе полимера-фуллерена или смеси полимер-наночастиц [8].

Список литературы

1. Shaheen S. E., Ginley D. S., Jabbour G. E. Organic-based photovoltaics: toward low-cost power generation // MRS Bulletin. 2005. Vol. 30. P. 10–15.
2. Li G. Shratrya V., Huang J., Yao Y., Moriarty T., Emery K., Yang Y. High-efficiency solution processable polymer photovoltaic cells by self-organization of polymer blends // Nature Materials. 2005. Vol. 4. P. 864–868.
3. Ma W., Yang C., Gong X., Lee K., Heeger A. J. Thermally stable, efficient polymer solar cells with nanoscale control of the interpenetrating network morphology // Advanced Functional Materials. 2005. Vol. 15. P. 1617–1622.
4. Hoppe H. Nanoscale morphology of conjugated polymer/fullerene-based bulk-hetero junction solar cells // Advanced Functional Materials. 2004. Vol. 14, № 10. P. 1005–1011.
5. Ракша С. В., Кондрашин В. И., Печерская Е. А., Николаев К. О. Функциональные материалы для сенсibilизированных красителем солнечных элементов // Физика и технология наноматериалов и структур : сб. науч. ст. 2-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. / Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ). Курск, 2015. С. 143–146.
6. Зинченко Т. О., Печерская Е. А. Анализ методов получения прозрачных проводящих покрытий // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. / под ред. Л. Р. Фионовой. Пенза, 2018. С. 258–260.



7. Кондрашин В. И., Печерская Е. А. Исследование влияния концентрации примеси на поверхностное сопротивление в ППП (полученных методом спрей-пиролиза) на основе диоксида олова // Актуальные проблемы физической и функциональной электроники : материалы 19-й Всерос. молодежной науч. школы-семинара. Ульяновск, 2016. С. 175–176.
8. Coakley K. M., Liu Y., Goh C., McGehee M. D. Ordered organic-inorganic bulk heterojunction photovoltaic cells // MRS Bulletin. 2005. Vol. 30. P. 37–40.

References

1. Shaheen S.E., Ginley D.S., Jabbour G.E. Organic-based photovoltaics: toward low-cost power generation. *MRS Bulletin*. 2005;30:10–15.
2. Li G. Shatriya V., Huang J., Yao Y., Moriarty T., Emery K., Yang Y. High-efficiency solution processable polymer photovoltaic cells by self-organization of polymer blends. *Nature Materials*. 2005;4:864–868.
3. Ma W., Yang C., Gong X., Lee K., Heeger A.J. Thermally stable, efficient polymer solar cells with nanoscale control of the interpenetrating network morphology. *Advanced Functional Materials*. 2005;15:1617–1622.
4. Hoppe H. Nanoscale morphology of conjugated polymer/fullerene-based bulk-hetero junction solar cells. *Advanced Functional Materials*. 2004;14(10):1005–1011.
5. Raksha S.V., Kondrashin V.I., Pecherskaja E.A., Nikolaev K.O. Functional materials for dye-sensitized solar cells. *Fizika i tehnologija nanomaterialov i struktur: sb. nauch. st. 2-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 2 t. / Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, FGBOU VPO «Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet» (JuZGU) = Physics and Technology of nanomaterials and structures : collection of scientific articles of the 2nd International Scientific and Practical Conference : in 2 volumes / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Southwestern State University (Southwestern State University). Kursk, 2015:143–146. (In Russ.)*
6. Zinchenko T.O., Pecherskaja E.A. Analysis of methods for obtaining transparent conductive coatings. *Informacionnye tehnologii v nauke i obrazovanii. Problemy i perspektivy: sb. nauch. st. Vseros. mezhvuz. nauch.-prakt. konf. = Information technologies in science and education. Problems and prospects : collection of scientific articles of All Russia. inter-university. scientific.-practical conf. Penza, 2018:258–260. (In Russ.)*
7. Kondrashin V.I., Pecherskaja E.A. Investigation of the effect of impurity concentration on surface resistance in PP (obtained by spray pyrolysis) based on tin dioxide. *Aktual'nye problemy fizicheskoj i funkcional'noj jelektroniki: materialy 19-j Vseros. molodezhnoj nauch. shkoly-seminara = Actual problems of physical and functional electronics : materials of the 19th Allround. youth science. seminar schools. Ul'janovsk, 2016:175–176. (In Russ.)*
8. Coakley K.M., Liu Y., Goh C., McGehee M.D. Ordered organic-inorganic bulk heterojunction photovoltaic cells. *MRS Bulletin*. 2005;30:37–40.

Поступила в редакцию / Received 1.03.2024

Принята к публикации / Accepted 1.04.2024