

Абдрахман К.Т., Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова, физико-технический факультет, гр. МНН-51, магистрант
Абдигалиева А.М., Карагандинский университет имени академика Е.А.Букетова, физико-технический факультет, гр. ФПК-406, студент
(Научный руководитель — младший научный сотрудник Рожкова К.С.)

ВЛИЯНИЕ НАНОСТРУКТУР ФТАЛОЦИАНИНОВ НА ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНОГО СОЛНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Исследование генерации и транспорта носителей заряда в органических полупроводниках является актуальным на сегодняшний день. Это связано с тем, что они обладают невысокой стоимостью и недорогой технологией изготовления по сравнению с традиционными неорганическими полупроводниками. Органические полупроводники нашли широкое применение в квантовой электронике, биологии, медицине, а также при разработке сенсоров, датчиков и преобразователей [1,2]. К ним относятся различные температурные и газовые сенсоры, датчики давления и электромагнитного излучения.

Однако, исследование влияния структурных особенностей молекулярных кластеров на эффективность генерации, разделения зарядов и их транспорт сохраняет свою актуальность при разработке органических полупроводниковых приборов. Перенос заряда и полупроводниковые свойства полимеров весьма чувствительны к морфологии полимерных цепей и локальному структурному упорядочиванию внутри пленки. Таким образом, структурный и энергетический беспорядок в сопряженных полимерных системах важны для описания переноса заряда с участием различных механизмов и электронных процессов.

Несмотря на достаточно большое количество работ, посвященных композитным полимерным солнечным ячейкам, их оптические и фотоэлектрофизические параметры являются малоизученными. Исследование механизмов генерации и транспорта носителей заряда в нанокompозитных структурах, оказывающих влияние на эффективность преобразования солнечной энергии, являются предметом дискуссий.

Подготовка подложек осуществлялась согласно методике [4]. Для создания нанокompозитных образцов солнечных элементов в подготовленный раствор полимера РТВ7-Th:ITIC добавлялись наноструктуры фталоцианинов в концентрации 0.5% от массы полимера.

Исследование морфологии поверхности полученных образцов осуществлялось при помощи атомно-силового микроскопа JSPM-5400 (JEOL Ltd, Япония). АСМ изображения наноструктур фталоцианинов показаны на рисунке 1. Наноразмерные стержни фталоцианинов имеют среднюю ширину 70 нм и длину 500 нм. Наночастицы фталоцианинов имеют в основном округлую форму со средним размером порядка 50 нм. На том же рисунке 1 представлено АСМ изображение пленки РТВ7-ТН:ITIC. Из рисунка видно, что пленка РТВ7-ТН:ITIC имеет однородную структуру.

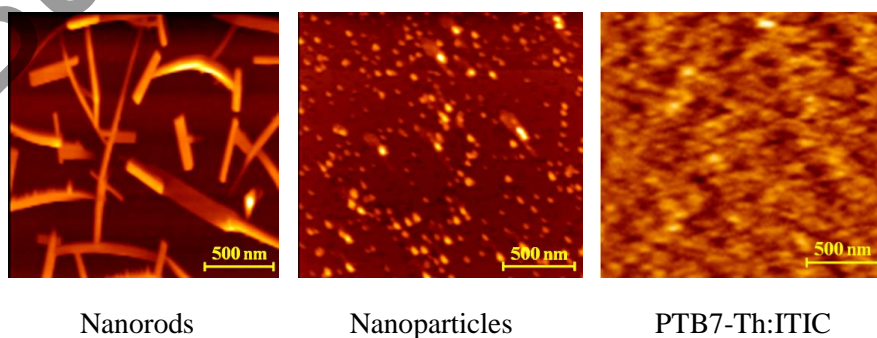


Рисунок 1 – АСМ изображения наноструктур фталоцианинов и фотоактивного слоя

Исследование оптических характеристик пленок проводилось на спектрометре Avantes AvaSpec-ULS2048CL-EVO. В качестве источника излучения использован комбинированный

дейтериево-галогеновый источник AvaLight-DH света с рабочим диапазоном 200-2500нм. Анализ спектров поглощения (рисунок 2, таблица 1) показал, что при допировании объемного гетероперехода наностержнями и наночастицами ZnPc наблюдается максимальное возрастание значения оптической плотности в спектре поглощения (в 2,1 и 1,9 раза соответственно). Полуширина спектра поглощения возросла незначительно. При допировании наностержнями и наночастицами CuPc оптическая плотность возросла на меньшую величину (в 1,2 раза). При допировании наноструктурами H₂Pc и CoPc также наблюдается возрастания значения оптической плотности.

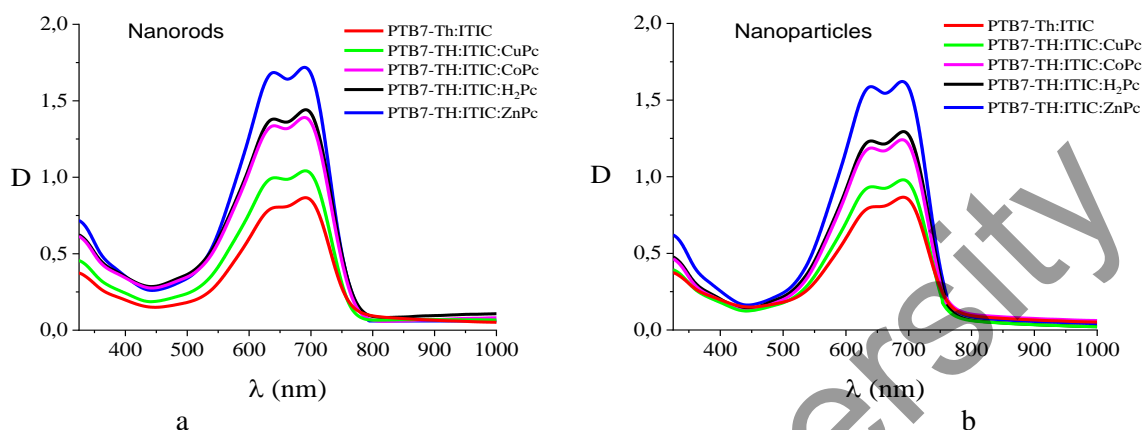


Рисунок 2 – Спектры поглощения чистого полимера PTB7-Th:ITIC и нанокompозитов PTB7-Th:ITIC, допированных наностержнями (а) и наночастицами (б) фталоцианинов

Таблица 1 – Оптические характеристики тонких пленок PTB7-Th:ITIC

Образец	Максимум поглощения		D ₁	D ₂	Полуширина, нм
	λ ₁ , нм	λ ₂ , нм			
PTB7-Th:ITIC	642	694	0,81	0,88	160
Наностержни					
PTB7-Th:ITIC:CuPc	640	692	0,99	1,06	165
PTB7-Th:ITIC:CoPc	639	694	1,34	1,41	169
PTB7-Th:ITIC:H ₂ Pc	641	693	1,38	1,45	168
PTB7-Th:ITIC:ZnPc	639	691	1,69	1,76	167
Наночастицы					
PTB7-Th:ITIC:CuPc	639	691	0,94	0,99	164
PTB7-Th:ITIC:CoPc	640	693	1,19	1,24	168
PTB7-Th:ITIC:H ₂ Pc	639	694	1,25	1,30	167
PTB7-Th:ITIC:ZnPc	640	692	1,59	1,64	166

Таким образом, внедрение наностержней и наночастиц, за счет дополнительного поглощения, способствует увеличению поглощения фотоактивного слоя полимерного солнечного элемента. Это приводит к образованию потенциального барьера для инжекции электронов с зоны проводимости ITIC в зону проводимости наноструктур фталоцианина. Верхний уровень валентной зоны PTB7-Th находится незначительно ниже верхнего уровня валентной зоны фталоцианинов. В результате образуется встроенное электрическое поле на границе раздела PTB7-Th/фталоцианин, которое осуществляет перенос дырок с валентной зоны PTB7-Th в валентную зону наноструктур фталоцианина. Также благодаря образованию наностержней и наночастиц фталоцианинов дырки более эффективно транспортируются в PEDOT:PSS, что приводит к увеличению фототока.

Повышение значения тока короткого замыкания ВАХ и КПД ячеек может быть связано с рядом причин: уменьшение рекомбинации носителей заряда в активном слое, усиление транспорта носителей заряда за счет увеличения площади поверхности раздела. С целью определения влияния наноструктур фталоцианинов на транспорт и рекомбинацию носителей заряда были проведены измерения спектров импеданса композитных ячеек.

Измерения спектров импеданса проводились при помощи потенциостата-гальваностата P45X в режиме импеданса. Фитинг параметров спектров проводился с помощью программного пакета EIS-analyzer. Анализ результатов импедансометрии проводился согласно диффузионно-рекомбинационной модели [4]. В результате анализа спектров импеданса были определены следующие электротранспортные параметры τ_{eff} – эффективное время жизни носителей заряда; k_{eff} – эффективная скорость извлечения носителей заряда, D_{eff} – эффективный коэффициент диффузии носителей заряда и μ – подвижность носителей заряда.

Анализ годографов (рисунок 3) нанокompозитных пленок показал, что допирование фотоактивного слоя PTB7-Th:ITIC наностержнями и наночастицами ZnPc приводит к максимальному в 2,2 раза (для наностержней) и 1,8 раза (для наночастиц) возрастанию значения D_{eff} и снижению значения R_w в 1,5 раза (для наностержней) и 1,3 раза (для наночастиц).

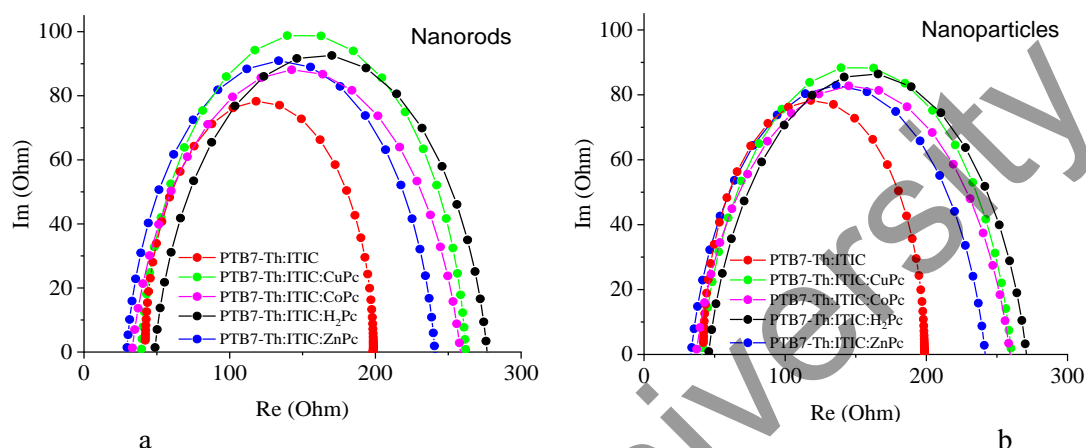


Рисунок 3 – Годографы импеданса солнечных ячеек на основе фотоактивного слоя PTB7-TH:ITIC и нанокompозитов, допированных наностержнями (a) и наночастицами (b)

Таблица 2– Электротранспортные свойства полученных образцов нанокompозитных СЭ с различной структурой

Образец	$D_{eff},$ ($cm^2 \cdot c^{-1}$)	$k_{eff},$ (c^{-1})	$\tau_{eff},$ (мс)	$R_{rec},$ (Ом)	$R_w,$ (Ом)	$\mu,$ ($cm^2/V \cdot c$)
PTB7-TH:ITIC	$2,09 \cdot 10^{-5}$	45846	0,021	198,3	43,3	$2,82 \cdot 10^{-4}$
Наностержни						
PTB7-TH:ITIC:CuPc	$3,32 \cdot 10^{-5}$	49924	0,020	261,4	39,3	$3,12 \cdot 10^{-4}$
PTB7-TH:ITIC:CoPc	$3,87 \cdot 10^{-5}$	48835	0,020	258,4	32,6	$3,25 \cdot 10^{-4}$
PTB7-TH:ITIC:H ₂ Pc	$2,71 \cdot 10^{-5}$	47589	0,021	276,1	48,4	$2,97 \cdot 10^{-4}$
PTB7-TH:ITIC:ZnPc	$4,54 \cdot 10^{-5}$	53486	0,019	240,2	28,3	$3,86 \cdot 10^{-4}$
Наночастицы						
PTB7-TH:ITIC:CuPc	$3,01 \cdot 10^{-5}$	48466	0,020	258,6	41,7	$3,01 \cdot 10^{-4}$
PTB7-TH:ITIC:CoPc	$3,38 \cdot 10^{-5}$	47377	0,021	258,4	36,2	$3,14 \cdot 10^{-4}$
PTB7-TH:ITIC:H ₂ Pc	$2,69 \cdot 10^{-5}$	46024	0,021	268,1	45,8	$2,87 \cdot 10^{-4}$
PTB7-TH:ITIC:ZnPc	$3,86 \cdot 10^{-5}$	52028	0,019	241,9	32,6	$3,49 \cdot 10^{-4}$

Показано, что наноструктуры способствуют возрастанию рекомбинационного сопротивления на границе PTB7-Th/ITIC в 1,2 раза и уменьшению сопротивления многослойной пленки в 1,5 раза. Таким образом, полученные результаты показали возможность использования наноструктур в качестве перспективных композитных материалов для фотовольтаических органических солнечных элементов.

Литература:

- 1 Brau A., Farges J.P. Organic Semiconductors // Org. Conduct. Fundam. Appl. Marcel Dekker. – 1994. – P. 311–357.
- 2 Hohnholz D., Steinbrecher S., Hanack M. Applications of phthalocyanines in organic light emitting devices // J. Mol. Struct. – 2000. – Vol. 521. – P. 231-237.

3. Kim, K., Ihm, K. & Kim B. Surface Property of Indium Tin Oxide (ITO) After Various Methods of Cleaning // Acta Physica Polonica A. – 2014. –Vol. 127, Is. 4. – P. 1176-1179.

4. Yuan X., Song C., Wang H., Zhang J. EIS Equivalent Circuits In Electrochemical Impedance Spectroscopy in PEM Fuel Cells. – 2010. – California: Springer.

Байгожина П.У., Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, физика-техникалық факультеті, МТТиТ-51 тобы, магистрант.

(Ғылыми жетекші – п.ғ.д., профессор Тажигулова Г.О.)

ЖҮК ТАСЫМАЛДАУДЫ ҰЙЫМДАСТЫРУДАҒЫ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ҚОЛДАНУ ШАРТТАРЫ

Еліміздің экономикасында, жалпы қазіргі заман талаптарына сай көліктің маңызы, оның қызмет көрсету сапасы, жылдамдығы ерекше мәнге ие. Теміржол көлігінің маңыздылығын, қажеттілігін өндіріс, ауылшаруашылық, жабдықтау және сауда кәсіпорындарының дамуы мен қалыптасу жұмыс істеуіне, яғни жолаушы және жүк тасымалына тікелей байланысынан байқауға болады. Теміржол жұмысының басқа да көлік түрлері сияқты өзіндік ерекшеліктері бар.

Цифрлық технологияларды жаппай енгізу, өнімділіктің өсуін қамтамасыз ету, олардың бәсекеге қабілеттілігін, соның ішінде халықаралық нарықтағы бәсекеге қабілеттілігін арттыру жолымен дәстүрлі базалық салаларды дамытуға серпін береді [1].

Тасымалдаудың ақпараттық технологиялары – көлік жүргізу және пайдалану тұрғысынан көлік құралдарының мониторингі болып табылады, оларда көлік құралдарының, жүктердің немесе драйверлердің, GPS-тің компьютерлік жүйелеріне және GPS технологияларына негізделген бақылауды түсінеді. Телекоммуникациялық арналар бойынша бұл ақпарат тасымалдауды ұйымдастырушылар мен логистикалық тізбектегі басқа қатысушыларға қол жетімді болады. Тасымалдаудың ақпараттық технологияларын пайдаланудың бұл бағыты тасымалдау қауіпсіздігін, логистикалық арнаның сапасын едәуір жақсартып алады, көлік операцияларының экономикалық тиімділігін көрсетеді [2].

Қазақстанның көлік саласының тиімділігі мен тартымдылығын арттыру міндетін шешудің негізгі құралы зияткерлік көлік жүйесін – көліктің барлық түрлерінің (жеке, қоғамдық, жүк) жұмысын мониторингілеу және басқару, жол жүрісін басқару, өңірдің, елдің аумағында көліктік қызмет көрсетуді ұйымдастыру туралы азаматтар мен кәсіпорындарды ақпараттандыру міндеттерін шешетін өзара байланысты автоматтандырылған жүйелер кешенін енгізу болуы тиіс [1].

Осыған сәйкес еліміздің маңызды көлік саласының бірі болып табылатын теміржол көлігінде автоматтандырылған басқару жүйесі ерекше орынға ие.

Автоматтандырылған басқару жүйесі ақпараттарды жинақтап, оны өңдеп, теміржол көлігінің жұмыс барысын жеңілдетуге, жеделдетуге, жұмыс барысындағы уақыт шығынын азайта отырып, экономикалық тұрғыдан да шығындарды төмендетуге өз септігін тигізуде. Теміржол көлігі тасымалдау барысында вагондардың, локомотив бригадаларының, вагондардың тиелуі мен түсірілуінің күйін және орналасуын уақытылы реттеу шараларын жүзеге асыру үшін, сонымен қатар еңбек жағдайын жақсарту үшін, өнімділікті жоғарылату үшін, техникалық жабдықтарды барынша пайдалану жөніндегі шұғыл жоспарларды құру үшін, поездардың кестесі мен құрастыруды жоспарлау үшін, эксплуатациялық жұмыстардың техникалық ережесін сақтау үшін электронды есептеу машиналары және ақпараттарды беретін құрылғыларды қажет етеді.

Автоматты басқару жүйесі – бұл адами-машиналы жүйе, бұл жүйеде автоматты және есептеу техникасының қолдануымен басқару міндетін атқарады, ақпараттарды жинап және ол ақпараттарды талдайды, өңдейді.

ЭЕМ қолдану көлемі үлкен шұғыл және статистикалық ақпараттарды жинап, оларды өңдеуді автоматтандырады және жылжымалы құрамның қай жерде екенін, күйін және жұмысын бақылауға мүмкіндік береді. Басқаруды және жоспарлауды, есепке алу және құжатайналымын жетілдіруге жағдай жасайды. Қолмен жасайтын жұмыстарды мүмкіндігінше азайтып, еңбек өнімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді.

Теміржол көлігінде АБЖ-ның қамтамасыз ету бөлігі техникалық жабдықтарды ақпаратты және бағдарламалы жағынан қамтамасыз етуден тұрады. Оның негізгі талаптары: құрылғылар