

В рамках выполнения работ по второму этапу Соглашения (01.01.2015 - 30.06.2015 гг.) получены следующие результаты:

- создана *in-situ* камера для комбинированных исследований структурных и оптоэлектронных свойств солнечных батарей на органической основе;
- разработаны программы и методики экспериментальных исследований структуры и оптоэлектронных свойств активных слоев органических солнечных батарей с помощью *in-situ* камеры;
- используя *in-situ* измерения проводимости и рентгеноструктурный анализ в геометрии со скользящим пучком (GIWAXD), исследовали структуру светочувствительных слоев, полученных методом полива из раствора, на основе смесей поли (3- гексилтиофена) (P3HT) в качестве доноров с различными фуллереновыми акцепторами: метиловым эфиром [6,6] фенил-C61 масляной кислоты (PCBM) и инден-C60 бис-аддуктом (ICBA).

Структуру пленок, полученных методом полива из раствора, исследовали методом GIXD в больших углах. Методами *ex situ* и *in situ* (при приложении внешнего напряжения) была установлена высокая совместимость между донором и акцептором для пленок на основе ICBA. Временные зависимости изменения тока и интенсивности пика (100) P3HT показывают одновременное появление максимума. При этом, для пленок, содержащий PCBM в качестве акцептора, выявлено двухступенчатое увеличение интенсивности пика (100) P3HT. *In-situ* исследования структуры подтверждают, что в процессе испарения растворителя формируется совместная структура донор-акцептор. Одновременно с регистрацией структуры при помощи скользящего рентгеновского пучка (GIXD) осуществлялся съем вольт-амперных характеристик пленок. Изменение тока в цепи в зависимости от времени регистрировалось при подаче постоянного напряжения на контакты. Установлено, что кривая тока возрастает линейно с течением времени по мере испарения растворителя; при полном испарении

растворителя кривая тока принимает максимальное значение и в дальнейшем не изменяется. Исследование шероховатости поверхности пленок, содержащих различные акцепторы, с помощью атомно-силовой микроскопии демонстрируют разницу в их морфологии. Обнаружено, что в смеси РЗНТ-ICBA формирующиеся при испарении растворителя домены имеют меньший размер (до 8,5 нм) по сравнению с доменами, формирующимися в смеси РЗНТ-PCBM (до 12 нм). Анализ профиля поверхности пленок показал, что пленка РЗНТ-PCBM обладает гладкой поверхностью с $\rho_{\text{rms}} = 0,3$ нм и средней высотой пика ($\rho_{\text{P2V}} = 2,6$ нм). В случае смеси РЗНТ-ICBA формируется фазово-разделенная поверхность с высокой шероховатостью $\rho_{\text{rms}} = 0,5$ нм и $\rho_{\text{P2V}} = 4,4$ нм. Показано, что на однородность распределения материала акцептора в полимерном материале можно влиять скоростью испарения растворителя, используя более летучий растворитель. Анализ тонкого строения пленок смеси РЗНТ-PCBM и РЗНТ-ICBA показал, что в литом состоянии пленки обладают малой степенью кристалличности, однако применение дополнительной технологической операции – отжига при температуре 150 °С в течение 10 минут резко повышает процентное содержание кристаллической фазы. При отжиге активизируются процессы диффузионного перераспределения компонентов пленки, при этом происходит как рост исходной кристаллической фазы, так и формирование новых кристаллов. На HR-фотографиях (прямое разрешение решетки кристалла) видны домены с размерами порядка 8-12 нм. Определение оптоэлектронных свойств органических материалов (фотолюминесценция) показало, что в случае получения пленок при -30 °С кривая имеет ярко выраженные пики эмиссии, обусловленные внутрицепочечным и межцепочечным взаимодействием. На кривых фотолюминесценции от пленок, полученных при комнатной температуре, подобные эмиссионные пики выражены слабее.

- для обеспечения контроля и записи параметров пленок, вольт-амперных характеристик и температуры разработано программное

обеспечение (ПО). Данное ПО позволяет контролировать температурные параметры пленок как при нагреве, так и при охлаждении, а также регистрировать вольт-амперные характеристики, ответственные за энергетическую производительность пленки, ее КПД.

- в целях популяризации результатов, полученных при выполнении работ по соглашению, Новосибирский государственный технический университет принял участие в трех выставках, прошедших в выставочном центре ITE Сибирь г. Новосибирска. Две выставки – “Mashex Siberia” и «Технопром» являются международными выставками. В качестве экспонатов на выставках была представлена разработанная в рамках Соглашения *in-situ* камера для комбинированных исследований структурных и оптоэлектронных свойств солнечных батарей на органической основе и плакат, на котором отражены цели и задачи Соглашения и достигнутые результаты.

- созданная в рамках настоящего Соглашения *in situ* камера позволяет проводить мониторинг в реальном времени одновременно структуры активных слоев солнечных батарей и их оптоэлектронных свойств. Комиссия по приемке оборудования установила, что разработанное оборудование изготовлено в ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» в соответствии с комплектом эскизной документации, в комплектности, установленной Техническим заданием, о чем составлен Акт изготовления *in-situ* камеры.

- по результатам исследований опубликованы 2 статьи: В.А. Батаев, В.Г. Буров, С. Григорян, Д.А. Иванов, Н.В. Плотникова, А.И. Смирнов «Equipment for In-Situ Studies of the Surface Structure of Thin Surface Layers in the Process of Their Formation» в журнале «Applied Mechanics and Materials» и К. Квамен, С. Григорян, Д.В. Анохин, В.А. Батаев, А.И. Смирнов, Д.А. Иванов «Исследование процессов формирования объемного гетероперехода в активных слоях органических солнечных батарей в реальном времени» в журнале «Российские технологии».