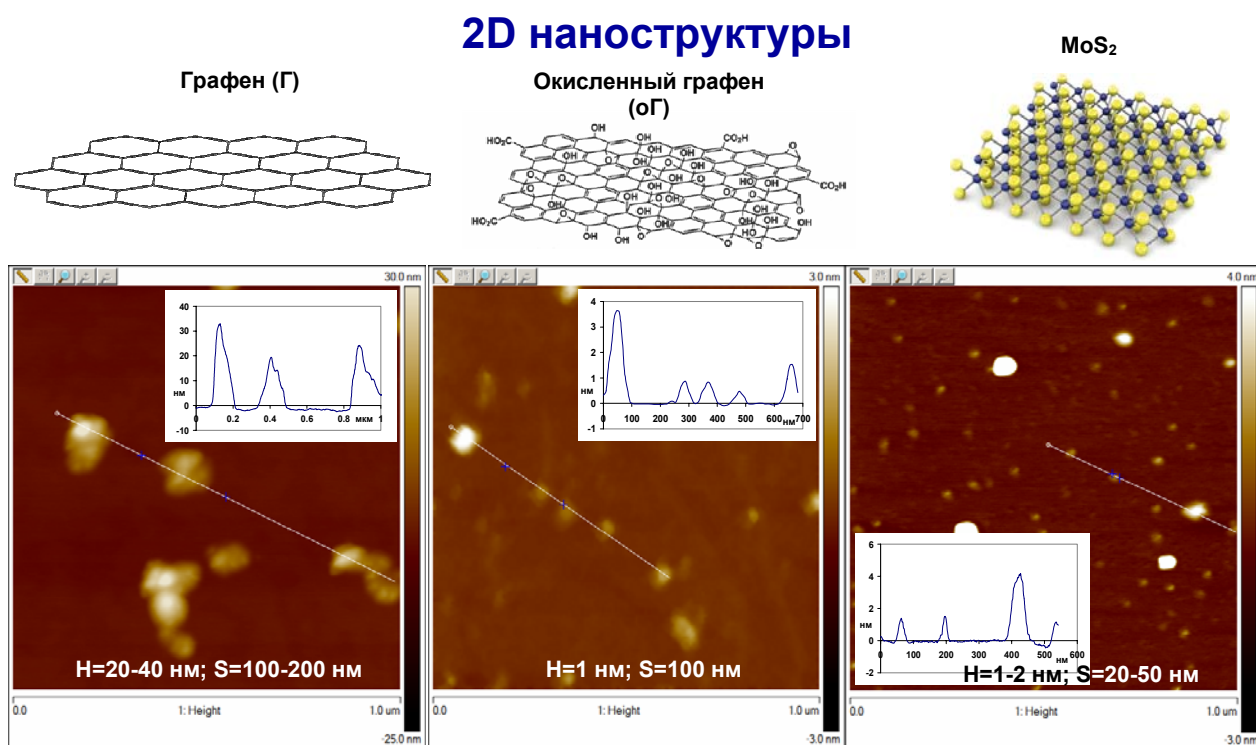


## Электропроводящие полимерные композиты и 2D-наноразмерные структуры для tandemных солнечных элементов

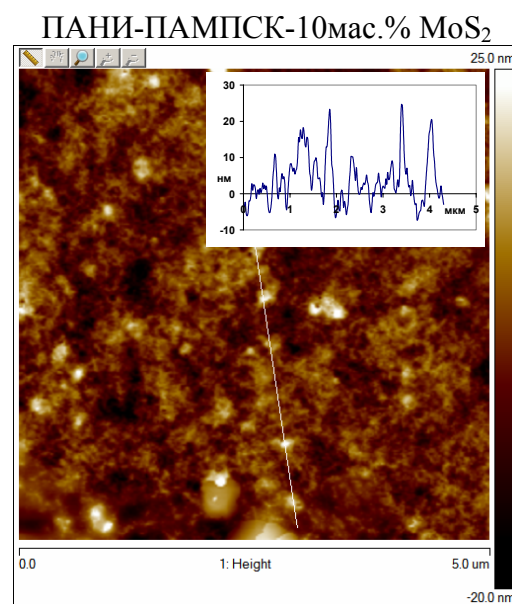
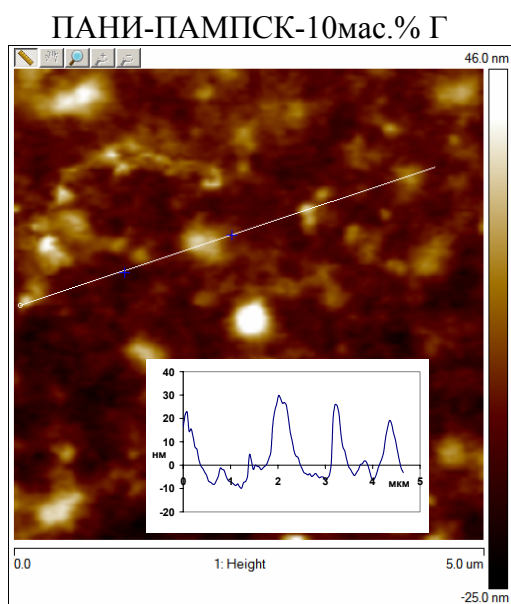
В соответствии с планом первого года проекта выполнены комплексные междисциплинарные исследования по созданию новых полимерных нанокомпозитов для органической оптоэлектроники и изучению корреляции состав-структура-свойства в них.

В качестве полимерной матрицы композитов были использованы водорастворимые комплексы электропроводящего полимера полианилина (ПАНИ) с полимерными сульфокислотами различного строения и гибкости полимерного остова, в том числе комплексы с жесткоцепными поликислотами, впервые полученные в ИФХЭ РАН. ПАНИ является перспективным полимером для решения задач проекта благодаря химической стабильности, устойчивости в условиях окружающей среды, простоты синтеза, доступности мономера. Применение водорастворимых полимерных сульфокислот с повышенной пленкообразующей способностью дало возможность модифицировать оптические и электрические свойства комплексов ПАНИ-поликислота, улучшить структурную однородность и механических свойства тонких слоев на их основе.

В качестве дисперсной фазы нанокомпозитов были использованы (а) 2D углеродные наноструктуры графена (Г) и оксида графена и (б) 2D графеноподобные наноструктуры дисульфида молибдена ( $\text{MoS}_2$ ). Для формирования наноразмерных слоев новых композитов были оптимизированы условия их нанесения методом полива из раствора на подложку (drop-casting) и послойного нанесения (layer-by-layer).



Впервые выполнены фундаментальные исследования структуры и электрофизических свойств новых полимерных композитов на основе комплексов ПАНИ и 2D наноструктур. Исследование особенностей формирования слоев нанокомпозитов (агрегирование и пространственное распределения дисперсной фазы в твердом слое) с помощью зондовой (атомно-силовой и резистивной) микроскопии показало, что графен образует стеки высотой 15-30 нм и латеральным размером 150-500 нм, которые равномерно распределяются в слоях всех нанокомпозитов.  $\text{MoS}_2$  распределяется достаточно равномерно в матрице ПАНИ-поликислота, увеличивая общий рельеф слоя, а также образуя агломераты высотой 10-20 нм и латеральным размером 100-200 нм.



Электропроводность и подвижность носителей заряда в плоскости слоя были измерены с помощью одновременных измерений проводимости и эффекта Холла 4-х зондовым методом Ван-дер-Пау. Установлено, что введение графена и MoS<sub>2</sub> в комплексы ПАНИ с жесткоцепными поликислотами уменьшает проводимость композита. Напротив, в комплексах гибкоцепных поликислот введение графена (1÷2,5 мас.%) приводит к увеличению проводимости до 3,5 раз, а введение MoS<sub>2</sub> (1÷10 мас.%) в комплекс ПАНИ-поли(2-акриламидо-2-метил-1-пропансульфоновая кислота) (ПАМПСК) - в 5 раз. Показано, что рост электропроводности обусловлен повышением подвижности носителей заряда (до 5 см<sup>2</sup> В<sup>-1</sup> с<sup>-1</sup>) из-за увеличения степени делокализации носителей в ПАНИ. Методом резистивной зондовой микроскопии показано, что проводимость в вертикальном направлении к плоскости слоя ПАНИ-ПАМПСК/Г возрастает благодаря формированию дополнительных вертикальных зарядо-транспортных каналов через наностеки графена.

Слои	Проводимость, См/см	Подвижность, см <sup>2</sup> /В*с
ПАНИ-ПАМПСК	3-3,6 10 <sup>-2</sup>	0,7-1,3
ПАНИ-ПАМПСК/1мас.%Г	5,8-7,5 10 <sup>-2</sup>	1,5-3,3
ПАНИ-ПАМПСК/10мас.%Г	7,2 10 <sup>-2</sup>	4,67
ПАНИ-ПАМПСК/1мас.%оГ	7,2 10 <sup>-2</sup>	4
ПАНИ-ПАМПСК/10мас.%оГ	3,4 10 <sup>-2</sup>	1,4
ПАНИ-ПАМПСК/1мас.%MoS <sub>2</sub>	4,6-7 10 <sup>-2</sup>	0,3-2,2
ПАНИ-ПАМПСК/10мас.%MoS <sub>2</sub>	1,2 10 <sup>-1</sup>	5,2

Слои комплексов ПАНИ и их композитов с 2D наноструктурами (1 вес.%), были протестированы в качестве анодного буферного слоя (АБС) в органических солнечных элементах (ОСЭ) на основе стандартной фотоактивной композиции РЗНТ и РС<sub>71</sub>ВМ (1:0,8 вес.) с объемным гетеропереходом, а так же в ОСЭ с планарным гетеропереходом слоев электрон-донорного фталоцианина меди и электрон-акцепторного фуллерена С<sub>60</sub>. Улучшение характеристик ОСЭ за счет введения 2D наноструктур наблюдается только для композитов ПАНИ-ПАМПСК/Г и ПАНИ-поли(стиролсульфоновая кислота)/MoS<sub>2</sub>, что коррелирует с зарядо-транспортными свойствами этих композитов.

Вышеперечисленные характеристики и высокое оптическое пропускание (не менее 80% в видимой и ближней ИК-области спектра) делают нанокompозиты на основе 2D MoS<sub>2</sub> перспективными для разработки соединительного слоя в tandemных солнечных элементах, а нанокompозиты на основе графена и комплекса ПАНИ-ПАМПСК - для создания анодного буферного слоя в одноэлементных и tandemных солнечных батареях.