

к колебаниям карбонильных групп лимонной кислоты.

В качестве исходных компонентов для получения композиционных материалов использовали ϵ -капролактон, ГА и *m*-ГА. Методом *in situ* полимеризации получали композиционные материалы двух видов (ПКЛ/ГА и ПКЛ/*m*-ГА). В роли катализатора выступал октоат олова ($\text{Sn}(\text{Oct})_2$). Полимеризацию проводили в ампулах в бане ротационного испарителя при температуре 170 °С в течение 5 часов. После завершения реакции определяли значения среднемассовой молекулярной массы (M_w) и степени полидисперсности (D) методом гель-проникающей хроматографии (таблица 1).

Список литературы

1. Yi W.-J., Li L.-J., He H., Hao Z., Liu B., Shen Y., Chao Z.-S. // *Polymer*, 2018. – Vol. 145. – P. 1–10.

Таблица 1. Молекулярно-массовые характеристики композиционных материалов

Композиционный материал	M_w	D
ПКЛ/ГА	147800	2,0
ПКЛ/ <i>m</i> -ГА	124800	2,1

Как видно из таблицы, модификация ГА не приводит к значительному изменению молекулярно-массовых характеристик получаемого композиционного материала, но при этом способствует увеличению химической связанности полимера и неорганического наполнителя.

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БИМОДАЛЬНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ПЕСТИЦИДОВ

М. И. Фаткуллин, А. А. Липовка, А. Аверкиев, А. А. Иванов, Р. Родригес, Е. С. Шеремет
Научный руководитель – Ph.D, профессор Рауль Д. Родригес

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Лазерная обработка является экологичным, дешевым и масштабируемым способом обработки материалов. Данный способ уже широко применяется для широкого ряда материалов начиная от обработки биомассы [1, 2] и металлов, заканчивая наноматериалами [3]. Множество работ демонстрирует применение лазерной обработки для изменения структурных и физико-химических свойства графеноподобных материалов, наночастиц и т. д.

Нашей группой уже был продемонстрирован подход к получению высокостабильных проводящих углерод/полимерных композитов, при облучении пленок алюминиевых наночастиц на подложке из полиэтилентерефталата (Рисунок 1). В процессе облучения высокий локальный нагрев (выше 750 °С) приводит к расплаву полимера и сопутствующей интеграции наночастиц в его структуру и его последующей графитизации, при том что лазерное облучение (видимого диапазона) чистого ПЭТ не вносит в него никаких структурных изменений, или же другими словами алюминиевые наночастицы

выступают в роли фототермического преобразователя.

Расширяя данный подход, мы решили использовать плазмонные наночастицы серебра вместо алюминиевых. Использование серебряных наночастиц позволит за один шаг создавать стабильные плазмонные структуры, интегрированные в полимерную матрицу. При этом в случае с серебряными наночастицами нам удалось получить как и в чистом виде интеграцию наночастиц в полимер, так и интеграцию с графитизацией полимера, что существенно расширяет возможности управления свойствами конечного композитного материала. Так, например, получение плазмонной структуры позволяет использовать полученный композит для спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния света (ГКРС).

Данная работа рассматривает механизм формирования композитного материала между наночастицами серебра и полимером и его применение для бимодального детектирования пестицидов. Детектирование пестицидов про-

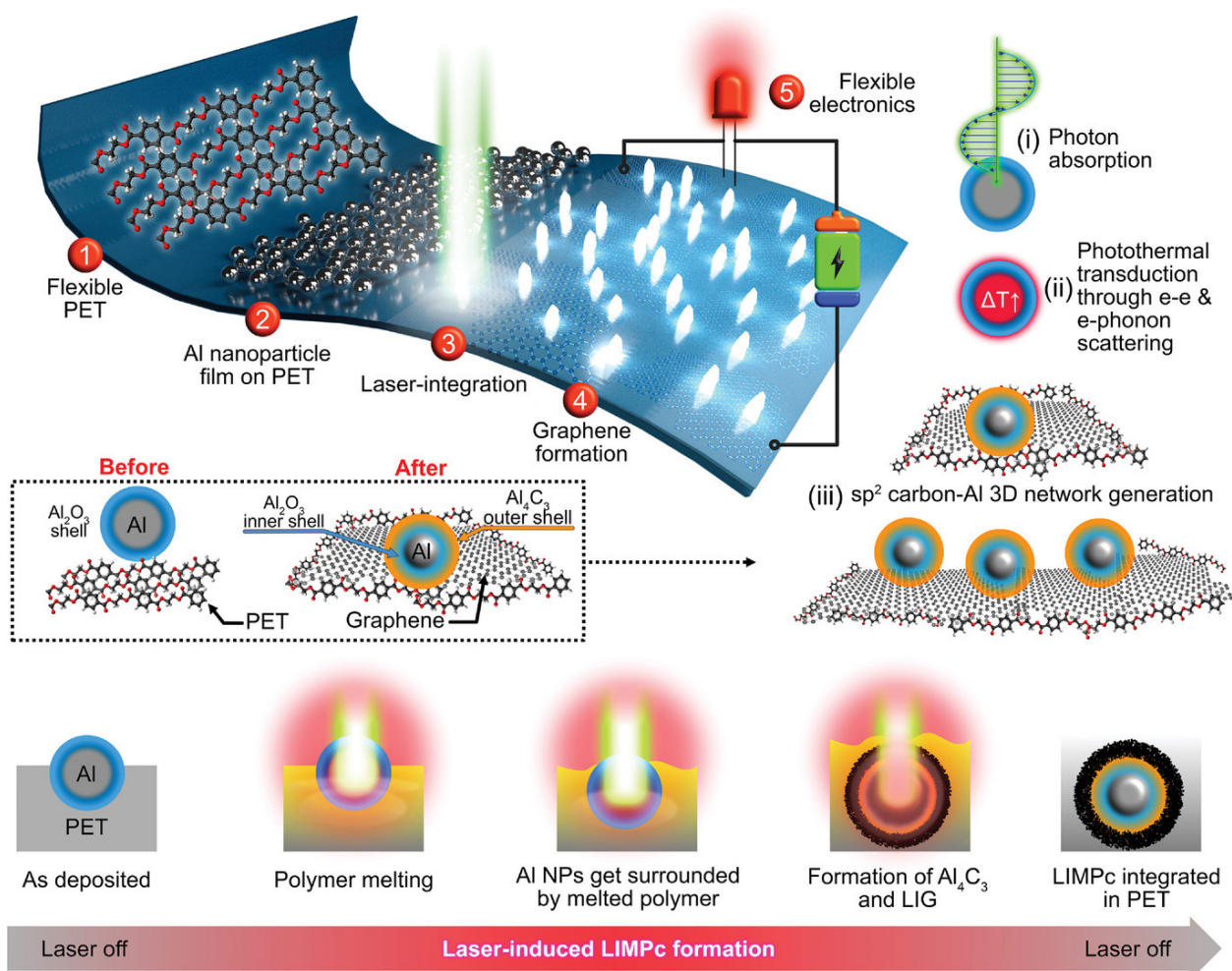


Рис. 1. Концепция получения ЛИГ при облучении пленок металлических наночастиц на полимерной подложке

Происходящие в процессе облучения процессы (i) поглощение фотона наночастицами; (ii) преобразовании света в тепло посредством электрон-электронных и электрон-фононных взаимодействий; (iii) формирование проводящей структуры состоящей из алюминия и sp^2 гибридного углерода.

водилось методами ГКРС и электроаналитической химии. Данные два метода, кроме того что являются высокочувствительными и экологичными, при совместной реализации позволяют получать ряд преимуществ. Например, приложенный к электроду потенциал позволяет увеличить интенсивность сигнала или способствует иммобилизации аналита у поверхности (дает принципиальную возможность детектирования) и т. д. Помимо этого, ГКРС является сверхчувствительным качественным методом детекти-

рования, в то время как электрохимия позволит проводить количественные измерения, что делает данную комбинацию методов идеальной для проведения подобного вида работ.

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Немецкого научно-исследовательского сообщества в рамках научного проекта №21-51-150001. Исследование было выполнено с использованием оборудования центра коллективного пользования ТПУ «Физико-химические методы анализа».

Список литературы

1. Wang D., Liu S., Fang G., Geng G., Ma J. From trash to treasure: Direct transformation of onion husks into three-dimensional interconnected porous carbon frameworks for high-perfor-

mance supercapacitors in organic electrolyte. *Electrochim Acta*, 2016. – 216: 405–411.

2. Chyan Y., Ye R., Li Y., Singh S. P., Arnusch C. J., Tour J. M. *Laser-Induced Graphene by Multiple Lasing: Toward Electronics on Cloth, Paper, and Food. ACS Nano*, 2018. – 12: 2176–2183.
3. Singh S. C., Zeng H. *Nanomaterials and nanopatterns based on laser processing: A brief review on current state of art. Sci Adv Mater.*, 2012. – 4: 368–390.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЯ КОМПОЗИТОВ С ОДНОСТЕННЫМИ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

А. А. Федоров^{1,2}, В. А. Кузнецов^{1,2}, Б. Ч. Холхоев³

Научный руководитель – к.т.н., старший научный сотрудник В. А. Кузнецов^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет
630073, Россия, Новосибирск, проспект К. Маркса, 20

²Институт неорганической химии им. А. В. Николаева СО РАН
630090, Россия, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 3

³Байкальский институт природопользования СО РАН
670047, Россия, Респ. Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, andrew_fedorov_1999@mail.com

В последнее время перед исследователями стоит ряд задач по созданию функциональных материалов для различных применений. Сферы их использования весьма обширны – начиная от простых компонентов в электронике и заканчивая специфическими применениями в области биомедицины. К таким функциональным материалам относятся перспективные в настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ). В рамках настоящей работы предлагается рассмотреть применение ПКМ в электронике при повышенных температурах. В качестве полимерной матрицы используется полибензимидазол, ввиду того что он обладает высокой температурой стеклования среди доступных полимеров и способен сохранять свои свойства на воздухе вплоть до температур 320 °С [1]. Для использования в электронике композит должен быть электропроводящим. В качестве электропроводящей фазы для создания ПКМ используются одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ), поскольку с их помощью даже при небольших массовых концентрациях можно получить значительную проводимость, а также улучшить механические свойства.

Одними из необходимых для исследования перспектив материалов в электронике фундаментальных свойств являются его морфология и механизм электронного транспорта. Для определения этих свойств зарекомендовавшим себя подходом является метод измерения и анализа температурных зависимостей электросопротивления.

В данной работе в качестве экспериментальных образцов выступают полимерные композиционные пленки на основе матрицы полибензимидазола с концентрациями ОУНТ 1, 2 и 3 % (масс.). Из таких пленок вырезались полоски шириной от 1,5 до 2 мм и длиной от 8 до 12 мм, затем серебряной пастой наносились токовые и потенциальные контакты, после чего экспериментальные образцы помещались в измерительную камеру. Сначала осуществлялись измерения при высоких температурах до 573 К, а затем при низких – до 4,2 К. Высокотемпературные измерения осуществлялись в печи при высоком вакууме, а низкотемпературные – в транспортном сосуде Дьюара с жидким гелием, где в качестве газа теплоносителя использовался газообразный гелий. Анализ зависимостей приведен для всего исследованного температурного диапазона – от 4,2 К до 573 К.

Анализ измеренных зависимостей $R(T)$ показал, что с уменьшением массовой концентрации ОУНТ увеличивается наклон кривых электросопротивления от обратной температуры. Это предположительно связано с тем фактом, что абсолютное количество металлических ОУНТ в ПКМ уменьшается, соответственно и их вклад в электросопротивление, в сравнении с полупроводниковыми ОУНТ, становится меньше. Также следует отметить, что после первого цикла нагрева электросопротивление значительно увеличилось – до 500 раз при содержании ОУНТ 1 %. Такие изменения наиболее вероятно связаны с тем, что ОУНТ имеют тенденцию к адсорбции и хемосорбции кислорода [2] и, соот-