

Лазерная печать графеновых чешуек

Дежкина М.А.¹, Комлёнок М.С.¹, Рыбин М.Г.^{1,2}

1- Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

*2- Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)*

E-mail: m.a.dezhkina@gmail.com

Применение графена в фотонике и электронике требует технологии его переноса на подложку и формирование необходимого рисунка. В настоящей работе для этих целей предлагается использование лазерно-индуцированного переноса. Метод основан на поглощении лазерного излучения самим материалом или лежащим между ним и прозрачной подложкой металлическим слоем, что приводит к нагреву и выбросу переносимого материала на принимающую подложку (акцептор). Описанная технология позволяет сохранить при переносе физические свойства переносимого материала и формировать любые рисунки на поверхности акцептора. К обсуждению предлагаются результаты лазерной печати графена на различных расстояниях между подложкой с углеродным материалом (донором) и акцептором.

Донор представлял собой «сэндвич» из кварцевой подложки, слоя металлического алюминия толщиной 1900 нм и графеновой плёнки. В качестве акцептора использовалась кремниевая пластина, покрытая слоем SiO_2 толщиной 80 нм. Схема лазерной печати представлена слева на Рис. 1а,б: излучение эксимерного KrF лазера (CL-7100 Optosystems Ltd., $\lambda = 248$ нм, $\tau = 20$ нс) фокусировалось на алюминиевой прослойке, размер пятна на образце составлял 60×60 мкм². Исследование графена осуществлялось на спектрометре комбинационного рассеяния (КР) (Horiba, Paris, France, LabRAM HR Evolution spectrometer, $\lambda = 532$ нм) и сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) (TESCAN Mira 3, Brno, Czech Republic). Поверхность образца анализировалась с помощью оптического микроскопа Axiotech 25HD (Carl Zeiss, Jena GmbH, Germany).

Толстый слой алюминиевой прослойки обеспечил высокий порог абляции металла (2.8 ± 0.2 Дж/см²) и широкий диапазон энергий, подходящих для лазерной печати. Это привело к полному

переносу графена из зоны облучения, при этом без видимого загрязнения акцептора металлом, в отличие от предыдущей работы [1], где толщина алюминиевого слоя составляла 420 нм. В спектрах КР (справа на Рис. 1а), полученных с поверхности донора до переноса и с поверхности акцептора, наблюдаются характерные для графена пики на 1580 см^{-1} (G-пик) и 2670 см^{-1} (2D-пик), последний с увеличением плотности энергии переноса сдвигался влево, что связано с возрастающим напряжением в перенесённом графене, а уширение и падение интенсивности 2D-пика объясняется частичным окислением углеродного материала. На снимке СЭМ (справа на Рис. 1а), видно, что перенесённый графен представляет собой смятую чешуйку с большим количеством нано-разрывов. Оптический снимок в центре Рис. 1а иллюстрирует перенос графеновой плёнки разлетевшимися участками, к чему привело увеличение плотности энергии.

В связи с этим донор и акцептор были помещены вплотную, что обеспечило перенос графена в пределах зоны облучения (в центре Рис. 1б) при той же энергии. Спектры КР (справа на Рис. 1б) отражают сохранность оригинальной структуры графена — вплоть до порога абляции металла не наблюдается сдвига пика 2D, что означает отсутствие заметного смятия и напряжений в перенесённом материале. Однако квадратный участок графеновой плёнки размером $60\times 60\text{ мкм}^2$ не был перенесён (см. оптическое изображение в центре Рис. 1б). Снимок СЭМ справа на Рис. 1б демонстрирует графеновую чешуйку, менее скомканную и с меньшим числом нано-разрывов, что объясняется меньшим окислением графена в процессе переноса вплотную.

Исследование позволило выявить влияние различных параметров (толщина металлической прослойки, зазор между донором и акцептором) на качество переноса графена. Было достигнуто улучшение результата по сравнению с проведёнными ранее экспериментами. В дальнейшем планируется усовершенствование технологии лазерно-индуцированного переноса с целью переноса фрагмента графена микронного размера.

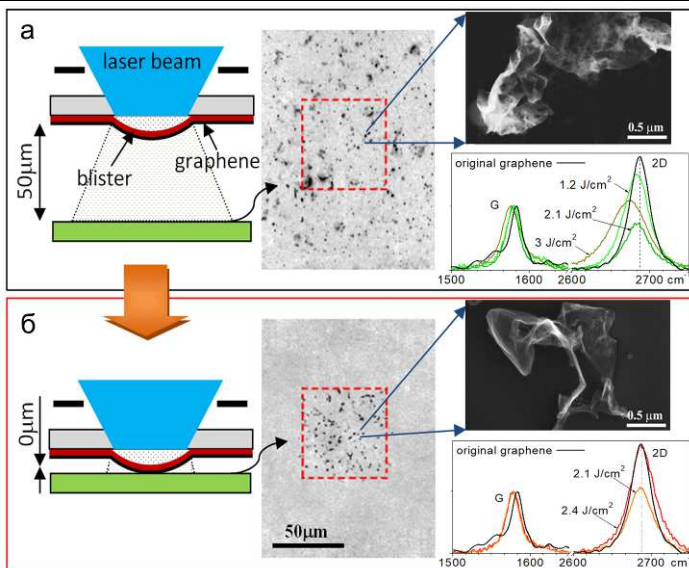


Рис. 1. Слева направо: схемы переноса с зазорами 50 мкм (а) и 0 мкм (б); оптические изображения перенесённого графена при 2.1 Дж/см²; спектры КР графена и изображение графеновых чешуек на акцепторе с СЭМ.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 18-72-10158).

Авторы выражают благодарность сотрудникам ЦЕНИ ИОФ РАН Пивоварову П.А. и Конову В.И., а также сотруднику МИРЭА Савину С.С. за подготовку снимков на СЭМ.

1. M. Dezhkina, M. Komlenok, P. Pivovarov et al. Journal of Physics: Conference Series. 2020, 1571.