

# Свойства углеродных слоев, подвергнутых ионному облучению

Ю.А. Данилов, Ю.А. Дудин, Р.Н. Крюков, В.П. Лесников, А.В. Нежданов, Е.А. Питиримова\*, Р.А.С.А. Сриянанда

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

\* e-mail: pitirimova@phys.unn.ru

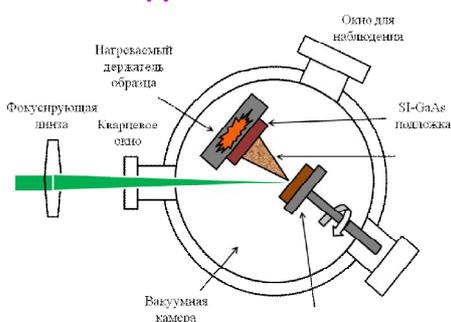


## Мотивация

В связи с перспективами развития устройств на основе таких материалов, как графен и углеродные нанотрубки, актуальными становятся вопросы получения углеродных слоев на достаточно большой площади и их легирования необходимыми примесями до заданной концентрации. Метод импульсного лазерного нанесения (ИЛН) обеспечивает достаточно гибкое управление параметрами нанесения (температура подложки и время процесса), обеспечивает высокую чистоту углеродных пленок при вакуумном проведении процесса.

Целью работы было исследование возможности ионно-имплантационного модифицирования углеродных слоев, полученных методом ИЛН.

## Методика нанесения



Использован лазер Nd:АИГ с длиной волны 532 нм, длительностью импульса 10 нс, частотой повторения 15 Гц. Энергия в импульсе 250 мДж, пятно на мишени 1.5 мм<sup>2</sup>. Мишень – пирографит.

Условия нанесения: 500°C; подложки i-GaAs, Si и Si/SiO<sub>2</sub>, вакуум 10<sup>-6</sup> Торр.

## Условия ионной имплантации:

ускоритель ИЛУ-3, ионы N<sup>+</sup> (15 кэВ) или S<sup>+</sup> (40 кэВ) при комнатной температуре мишени.

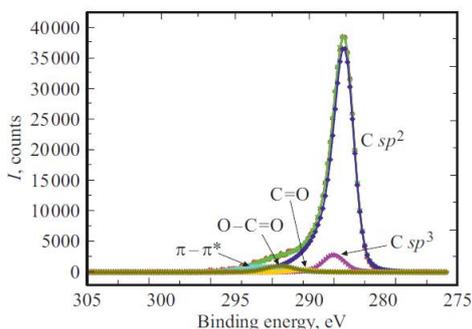
## Методы исследования

Исходные и облученные ионами С-слои исследованы методами электронографии на отражение, комбинационного рассеяния света (КРС), рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и измерений эффекта Холла (в геометрии Ван дер Пау).

## Экспериментальные результаты

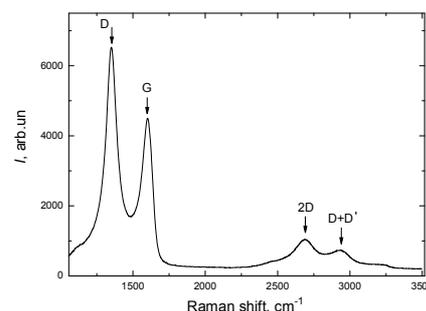
### А. Исходные образцы

#### РФЭС



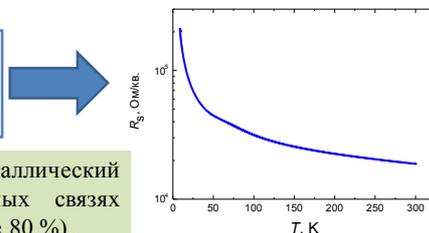
Спектр фотоэлектронной линии С 1s, полученный для углеродного слоя, нанесенного в течение 105 с на подложку i-GaAs(100).

#### КРС



Спектр КРС углеродного слоя, нанесенного в течение 360 с на подложку Si(100).

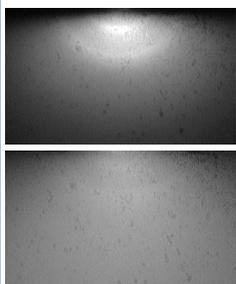
Температурная зависимость слоевого сопротивления углеродной пленки, нанесенной на i-GaAs(100) в течение 40 с.



Исходные С-слои представляют собой нанокристаллический графит (многослоистый графен). В межатомных связях преобладает sp<sup>2</sup>-гибридизированный углерод (более 80 %).

### Б. Облученные ионами образцы

#### Электронография



Электронограммы исходного С-слоя (а) и после облучения S<sup>+</sup> с дозой 2×10<sup>15</sup>.

#### Исследования эффекта Холла

Dose of S <sup>+</sup> ions, cm <sup>-2</sup>	Sheet resistance of C-layer (d = 20 nm) before and after implantation. C-layer deposited on i-GaAs(100)			
	0	10 <sup>14</sup>	2×10 <sup>15</sup>	3×10 <sup>16</sup>
R <sub>s</sub> , Ом/кв.	1.00×10 <sup>4</sup>	1.18×10 <sup>4</sup>	1.93×10 <sup>5</sup>	5.15×10 <sup>5</sup>

Сопротивление С-слоев монотонно увеличивается с ростом дозы (за счет введения в слой радиационных дефектов). По данным электронографии в результате имплантации ионов S<sup>+</sup> с дозой уже 10<sup>14</sup> см<sup>-2</sup> структура С-слоев меняется от характерной для мелкозернистого поликристалла (исходный образец) до аморфной.

Для исходного С-слоя в спектре КРС хорошо разделяются пики G (линия, характерная для всех графитоподобных материалов с sp<sup>2</sup> гибридизацией атомов углерода) при 1603 см<sup>-1</sup> и D (линия, связанная с разупорядочением в графеновой плоскости) при 1368 см<sup>-1</sup>. С увеличением дозы ионов N<sup>+</sup> происходит уширение пиков G и D и их слияние при дозе ионов 10<sup>15</sup> см<sup>-2</sup>, что явно связано с разупорядочением структуры С-слоя.

Работа выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» (ННГУ им. Н.И. Лобачевского, проект Н-480-99).