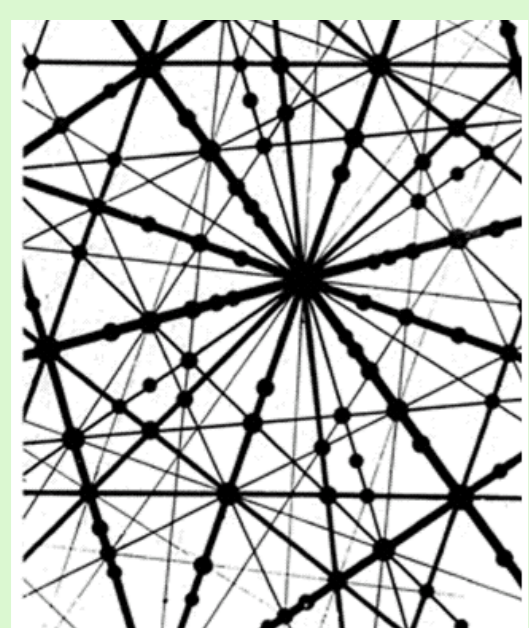




ЭВОЛЮЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА ПРИ САМОРАСПЫЛЕНИИ



52-я Международная Тулиновская Конференция по Физике Взаимодействия Заряженных Частиц с Кристаллами
МГУ им. М. В. Ломоносова,
30 мая - 1 июня 2023 г.

Андреанова Н.Н.^{1,2}, Борисов А.М.^{1,2,3}, Воробьева Е.А.¹,
Овчинников М.А.¹, Слепцов В.В.², Цырклов Р.А.²

¹НИИЯФ МГУ, Москва, Россия
²МАИ (НИУ), Москва, Россия
³МГТУ "Станкин", Москва, Россия
e-mail: ov.mikhail@gmail.com

Введение

Ионно-лучевые методы широко используются для формирования на поверхности углеродных материалов микро- и наноразмерных элементов [1-3]. Высокодозное ионное облучение углеродных волокон в зависимости от температуры и уровня радиационных смещений (СНА) приводит к процессам аморфизации, рекристаллизации и развития рельефа поверхности.

Данная работа рассматривает процессы образования и эволюции рельефа поверхности при ионном самораспылении (облучении ионами углерода), в условиях динамического отжига радиационных нарушений при повышенных температурах углеродных волокон из полиакрилонитрила (ПАН).

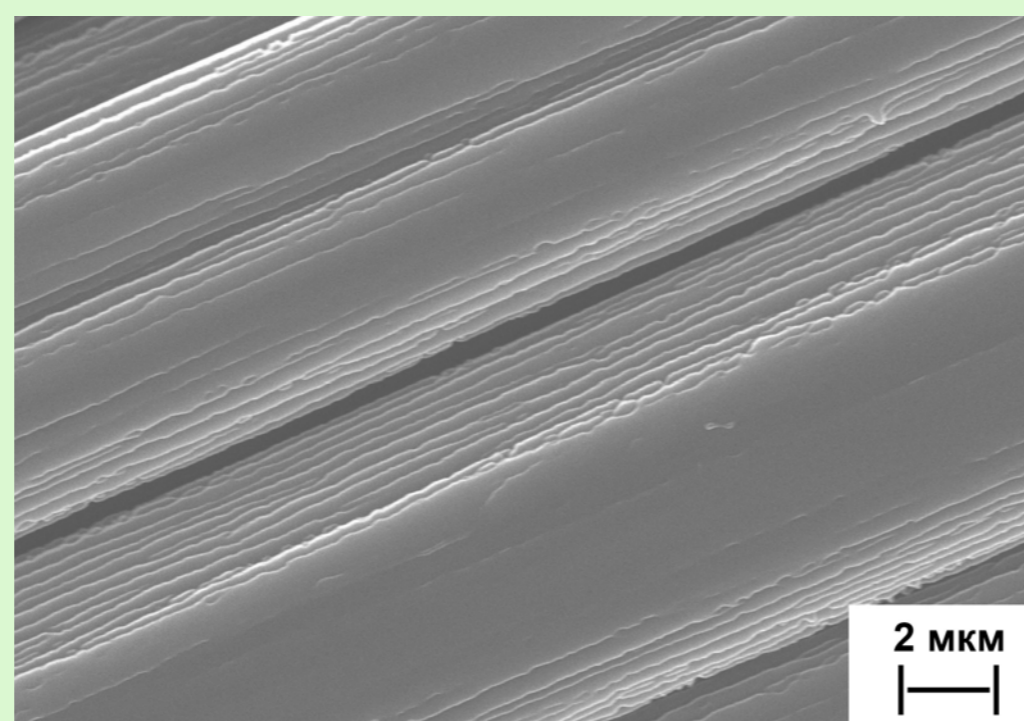
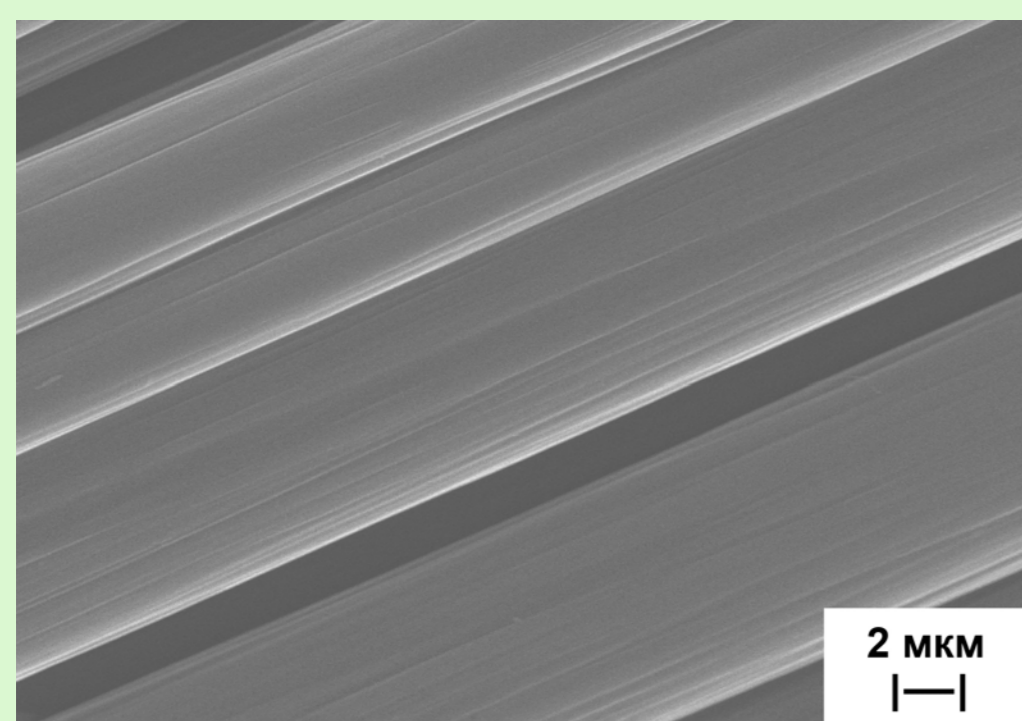
Исследуемые материалы

В экспериментах использовали ленту "Кулон" из углеродного волокна на основе полиакрилонитрила

РЭМ изображения углеродного волокна до и после облучения

без облучения

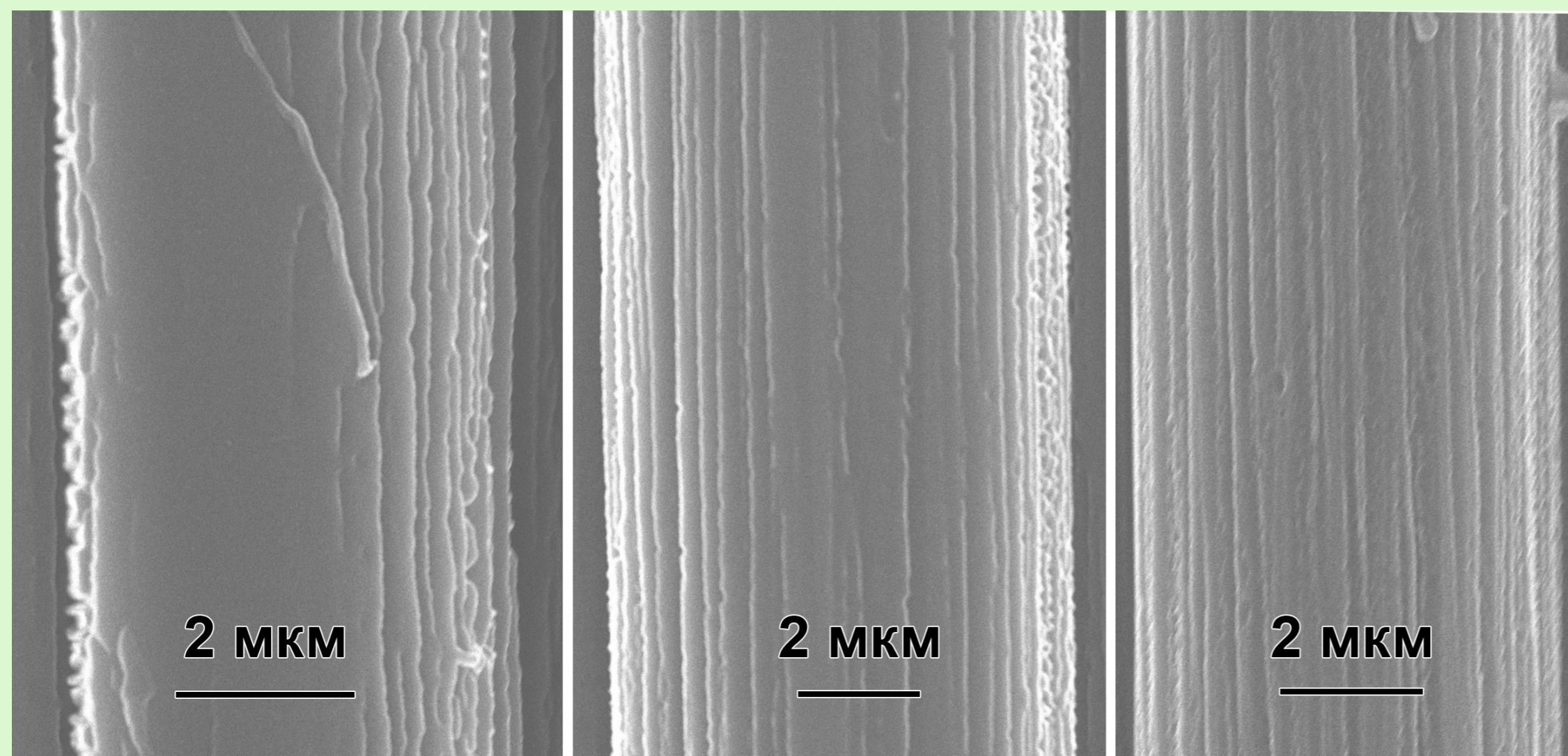
30 кэВ C⁺ 450°C
Φ=3.6·10¹⁸ см⁻²



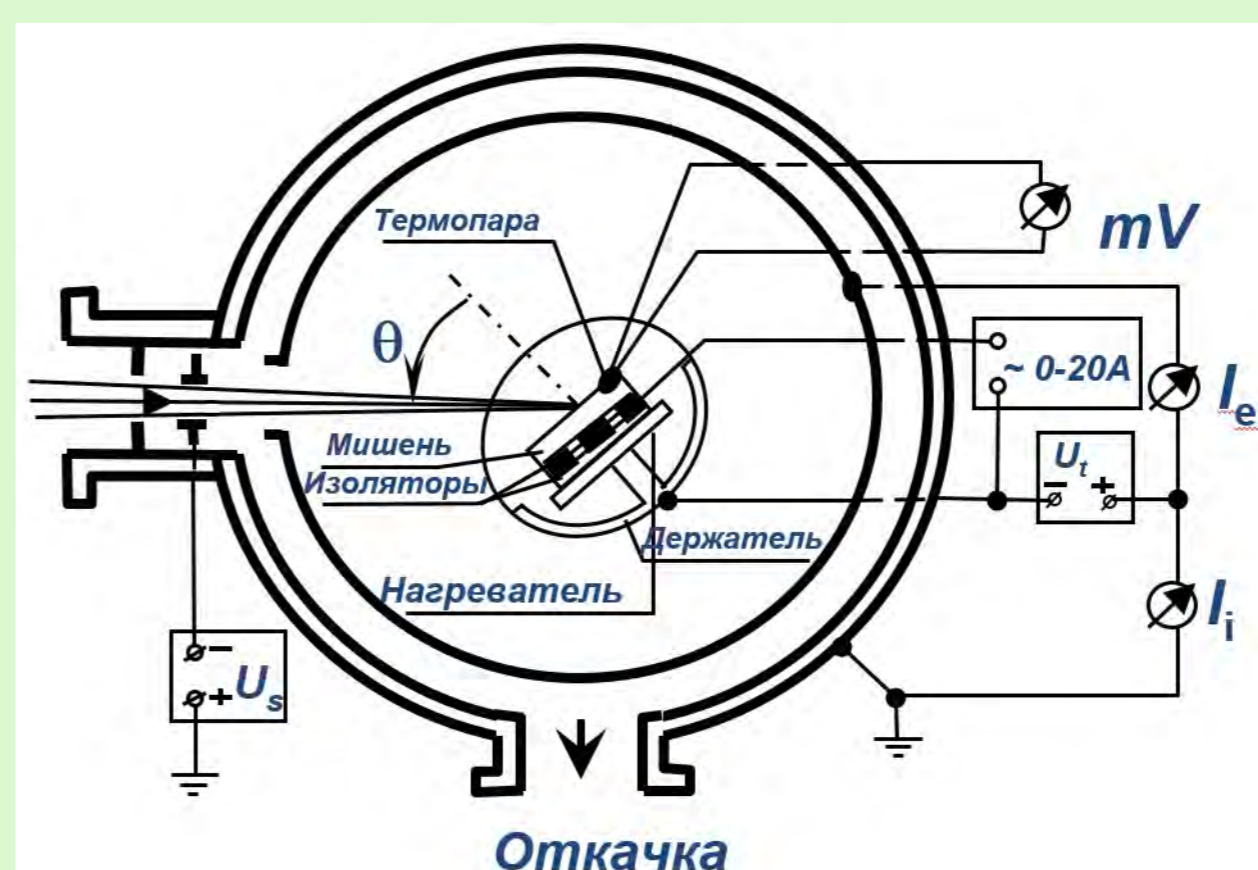
Φ=3.6·10¹⁸ см⁻²

Φ~10¹⁸ см⁻²

Φ>10¹⁶ см⁻²



Эксперимент и методики исследования



Ионное облучение

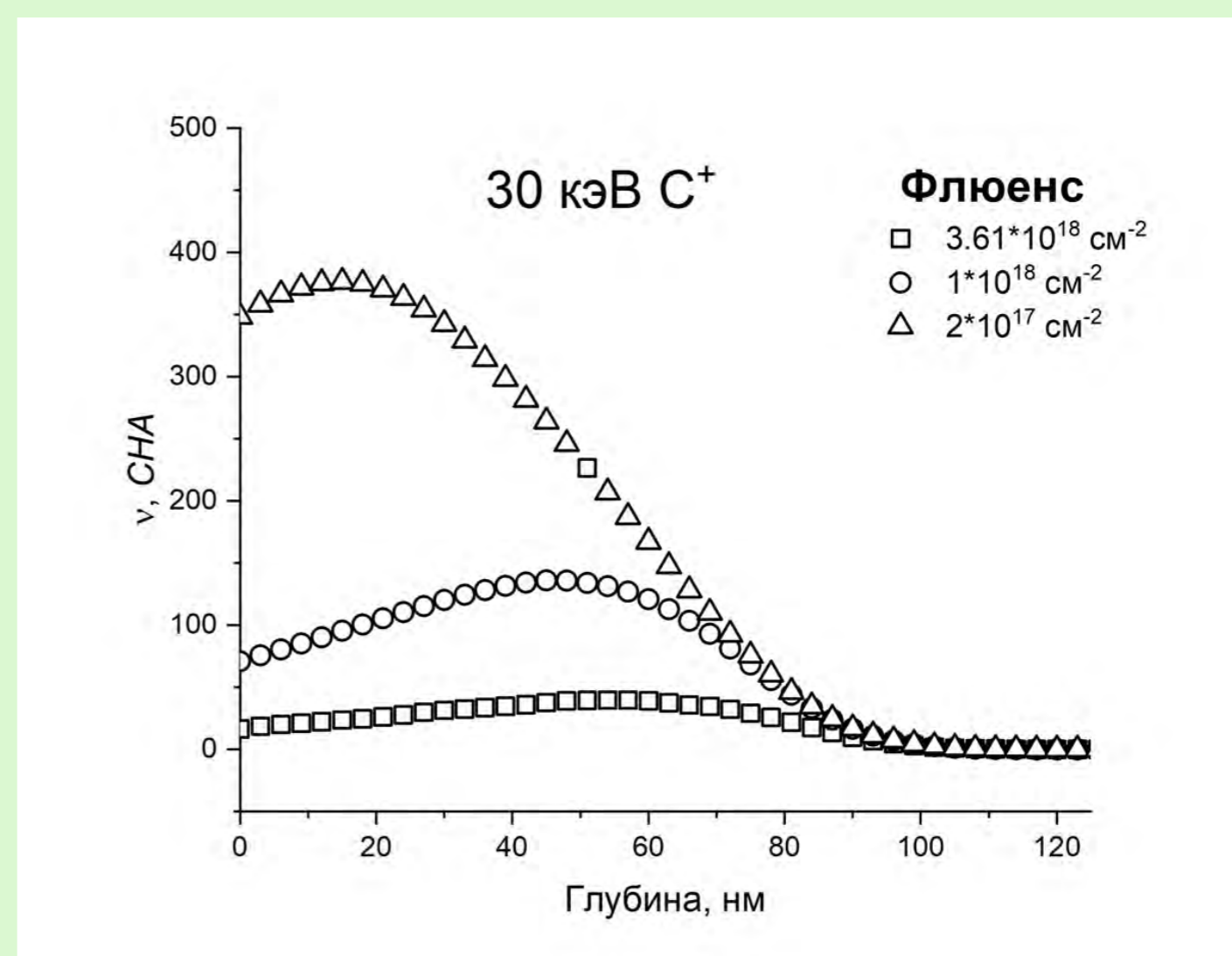
Масс-монохроматор НИИЯФ МГУ
Ионы: C⁺
Энергия: 30 кэВ
Нормальное падение ионов
Флюенс: Φ ~ 3-4·10¹⁸ см⁻²
Плотность пучка ~ 0.4 мА/см²
Температуры облучения
200-600°C

Методы исследования

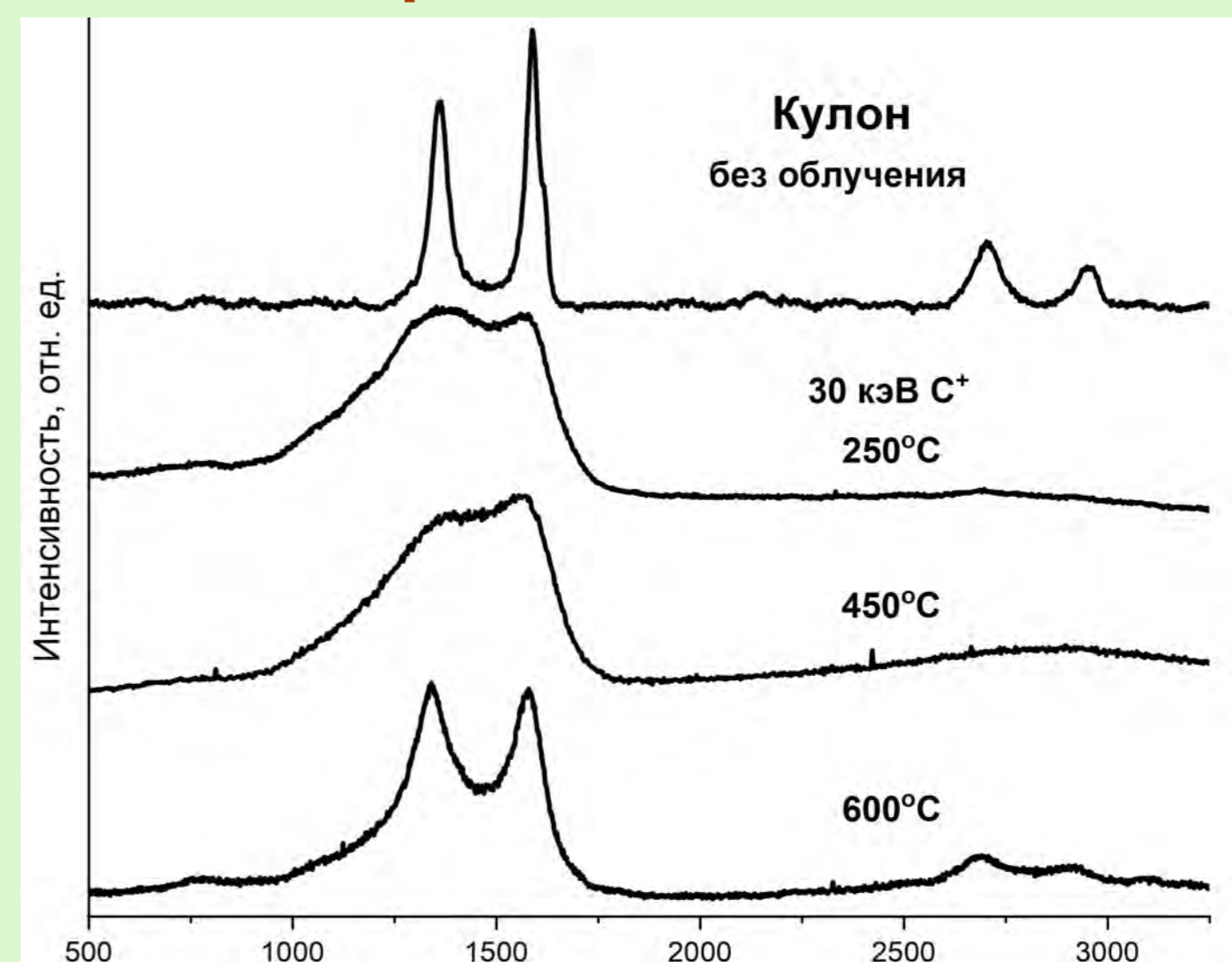
- Измерение флюенса налетающих ионов и коэффициента ионно-электронной эмиссии: $\gamma = I_e / I_i$
- Растровая электронная микроскопия
- Спектроскопия комбинационного рассеяния света

Результаты

Зависимости числа радиационных смещений от флюенса облучения



Спектроскопия комбинационного рассеяния света



Выводы

Экспериментально изучено модифицирование поверхности углеродных волокон из ПАН при высокодозном облучении ионами углерода с энергией 30 кэВ при самораспылении.

Найдено, что при облучении ионами углерода при температурах от 200 до 600 °С, характерные для высокодозного (>3·10¹⁸ см⁻²) распыления ионами неона, аргона и азота гофры с поперечными оси волокна гребнями, не образуются. Вместо них в вершинной части волокна формируется относительно гладкий слой с микроструктурой подобной чешуйчатому поликристаллическому графиту и продольное оси волокна гофрирование (расслоение) на периферии волокна с образованием на отдельных участках волокна наноразмерных вискеризованных структур. Уменьшение флюенса приводит к постепенному замещению гладкого слоя продольными гофрами. Кристаллическая структура углеродного волокна улучшается с ростом температуры облучения до 600°C.

Формирование вдоль оси волокна гофрированной структуры при флюенсах облучения < 10¹⁸ см⁻² связывается с заглубленным максимумом профиля радиационных смещений в числе смещений на атом (СНА) аналогично продольному гофрированию, наблюдаемому при облучении ионами гелия и водорода. Образование продольных нестабильностей рельефа поверхности на периферии волокна при высокодозном (>3·10¹⁸ см⁻²) облучении обусловлено наклонным падением ионов в этой области.

1. Andrianova N.N., Borisov A.M., Mashkova E.S., Virgiliev Yu.S. // J. of Spacecraft and Rockets. 2011. V.48. P. 45.
2. Andrianova N.N., Borisov A.M., Mashkova E.S., Parilis E.S., Virgiliev Yu.S. // Horizons in World Physics. 2013. V. 280. New York: Nova Science Publishers. P. 171.
3. Борисов А.М., Виргильев Ю.С., Машкова Е.С. // Поверхность. Рентген., синхр. и нейтр. исслед. 2008. № 1. С. 58.