

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОСТЕНОЧНОЙ МОРФОЛОГИИ ПРИ ВЫСОКОДОЗНОМ ИОННОМ ОБЛУЧЕНИИ СТЕКЛОУГЛЕРОДА И УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

Н.Н. Андрианова¹⁾, А.М. Борисов^{1,2)}, Е.С. Машкова³⁾,
М.А. Овчинников³⁾, М.А. Тимофеев³⁾

¹«Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский университет)», г. Москва, Россия

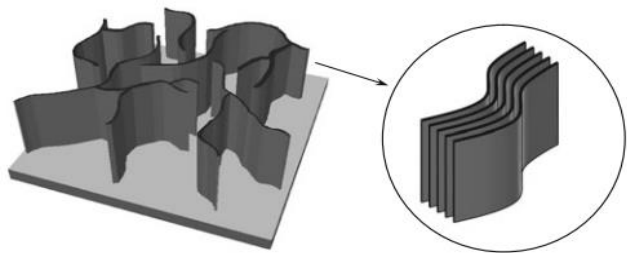
²Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия

³Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына
МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

2021 г.

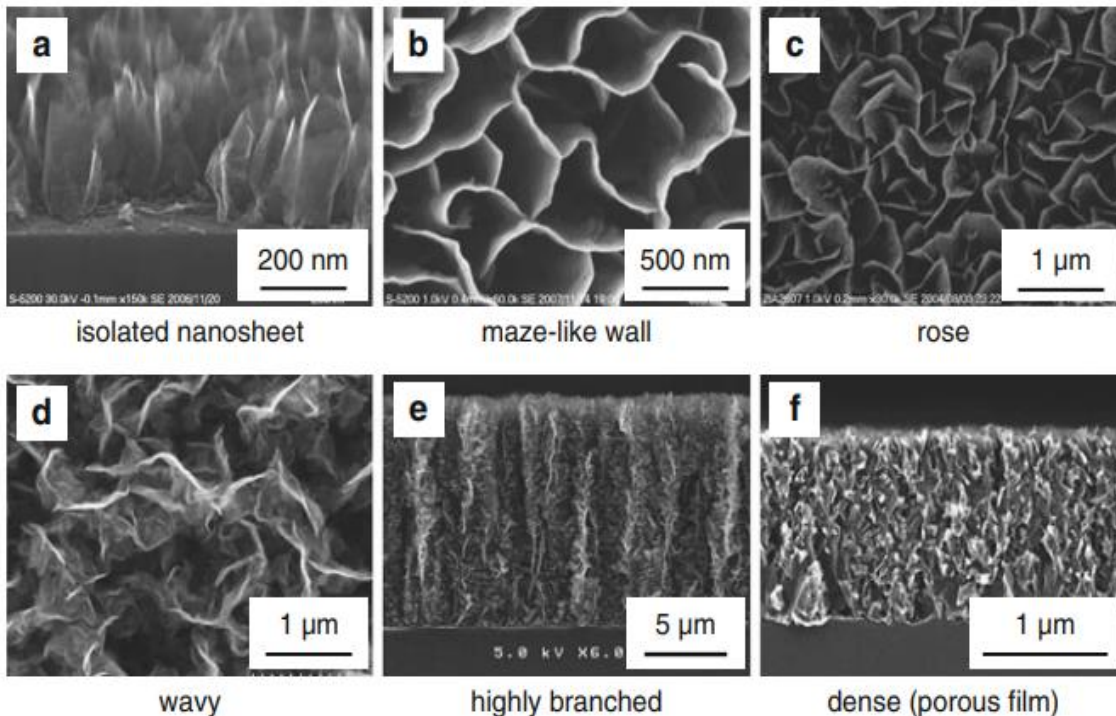
МОТИВАЦИЯ

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОСТЕНКИ РАЗЛИЧНОЙ МОРФОЛОГИИ



Схематическое
изображение углеродных
наностенок

*M. Hiramatsu M. Hori // Carbon Nanowalls
Synthesis and Emerging Applications.
Springer-Verlag/Wien. 2010*



ИОННО-ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

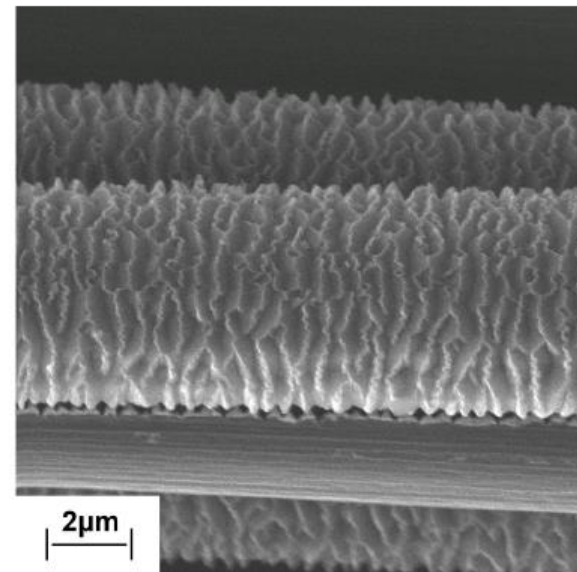
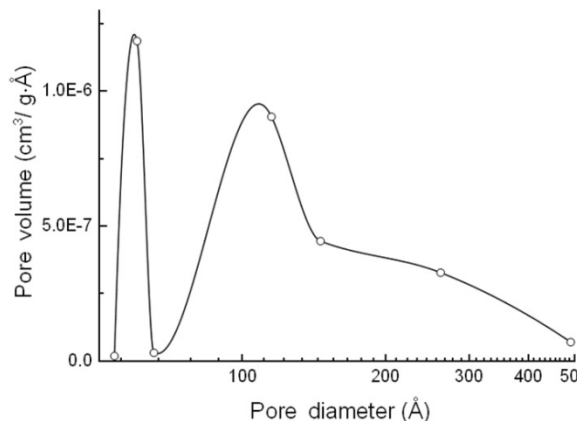
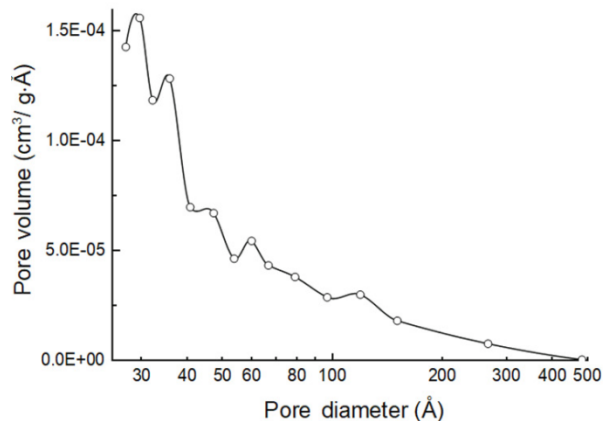
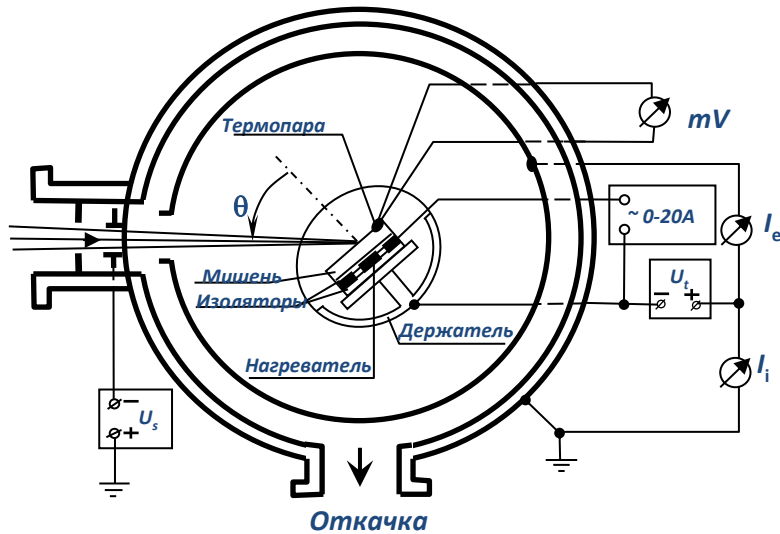


Table 1. Sorption properties and pore sizes of irradiated and non-irradiated carbon fibers.

Carbon fiber material	Specific surface area, m ² /g	Sorption capacity, cm ³ /g	Relative pore volume up to 500 Å, cm ³ /g	Average pore diameter by desorption, Å
Irradiated high-modulus carbon fiber	10.6±0.8 (100 - 200)	2.43 (200 - 400)	0.011 (0.1 - 0.2)	58
Non-irradiated UKN-5000 carbon fiber	0.43	0.1	0.0003	352

A. M. Borisov, V. A. Gorina, E. S. Mashkova et.al.//Materials Today: Proceedings 5 (2018) 26058–26061

ЭКСПЕРИМЕНТ



ИОННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ

МАСС-МОНОХРОМАТОР НИИЯФ МГУ

Ионы: **Ar⁺**

Энергия: **30 кэВ**

Нормальное падение ионов $\theta = 0$

Флуенс: $\varphi t \sim 10^{18}-10^{19}$ ион/см²

Плотность пучка ~ 0.4 мА/см²

Температуры облучения и термообработки

От **RT** до **700°C**

МИШЕНИ

Углеродная ткань ТГН-2МК из вискозы

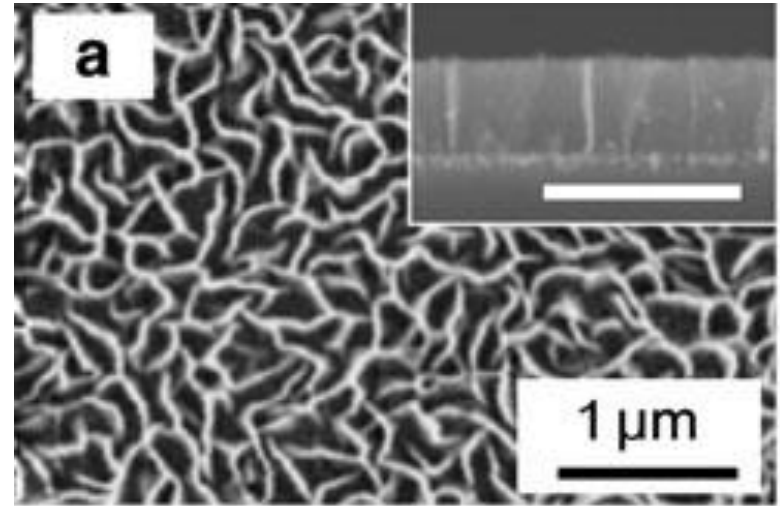
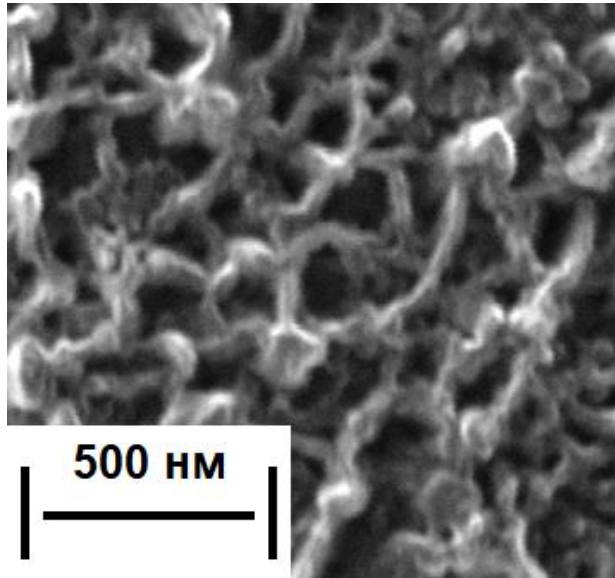
**Высокотемпературный и низкотемпературный
стеклоуглерод СУ-2500 и СУ-1300**

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОЯ

- Растровая электронная микроскопия (РЭМ)
- Спектроскопия комбинационного рассеяния света (спектрометр Horiba Yvon T64000) на длине волны 514,5 нм.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА СТЕКЛОУГЛЕРОДАХ

СУ-2500



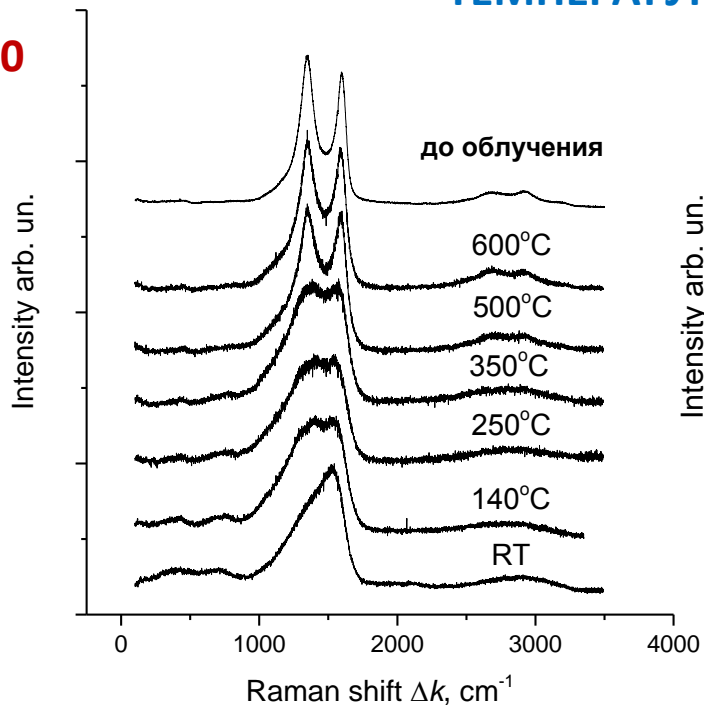
M. Hiramatsu M. Hori // Carbon Nanowalls Synthesis and Emerging Applications. Springer-Verlag/Wien. 2010

Ионное облучение стеклоуглерода в условиях динамического отжига радиационных нарушений приводит к формированию сетчатой топографии – наностенкам, объединенным узлами, размеры ячеек которых зависят от температуры облучения.

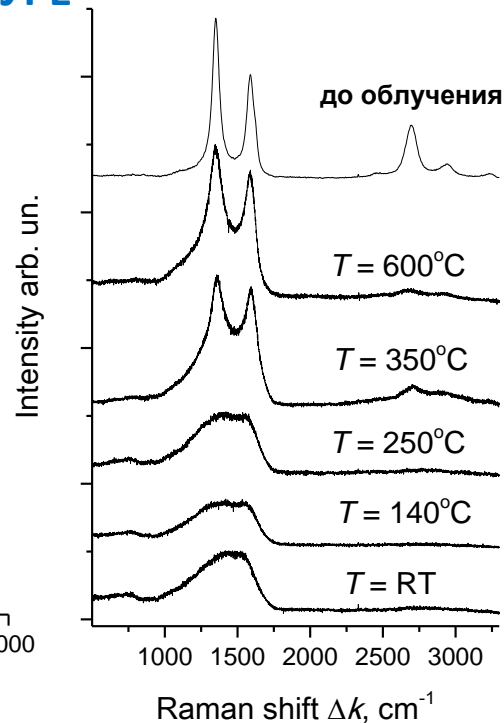
РЕЗУЛЬТАТЫ

ЭВОЛЮЦИЯ СТРУКТУРЫ СТЕКЛОУГЛЕРОДОВ, ОБЛУЧЕННЫХ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

СУ-1300



СУ-2500



$T < 140^\circ\text{C}$ - аморфизация

$140 \leq T \leq 350^\circ\text{C}$ (250°C) – графитирование поверхностного слоя СУ-1300 (СУ-2500)

$350 \leq T \leq 600^\circ\text{C}$ ($250 \leq T \leq 600^\circ\text{C}$) – динамический отжиг исходной структуры стеклоуглерода

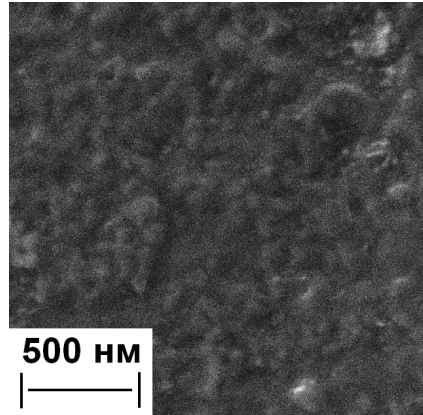
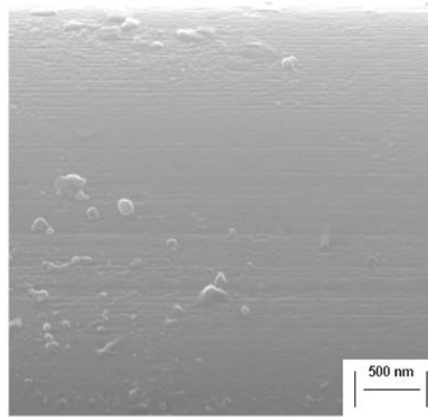
РЕЗУЛЬТАТЫ

ИОННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН ИЗ ВИСКОЗЫ

ТГН- 2МК

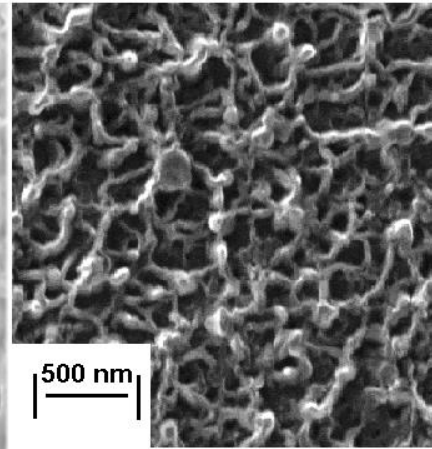
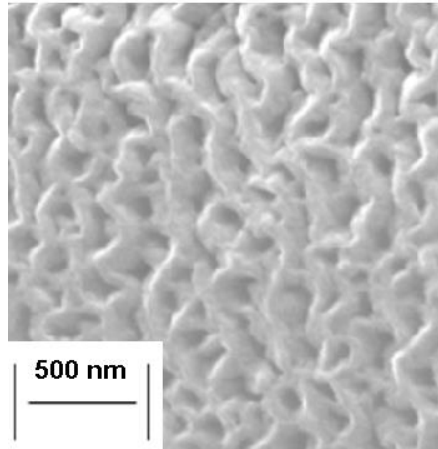
СУ-2500

до облучения



$T = 250^{\circ}\text{C}$

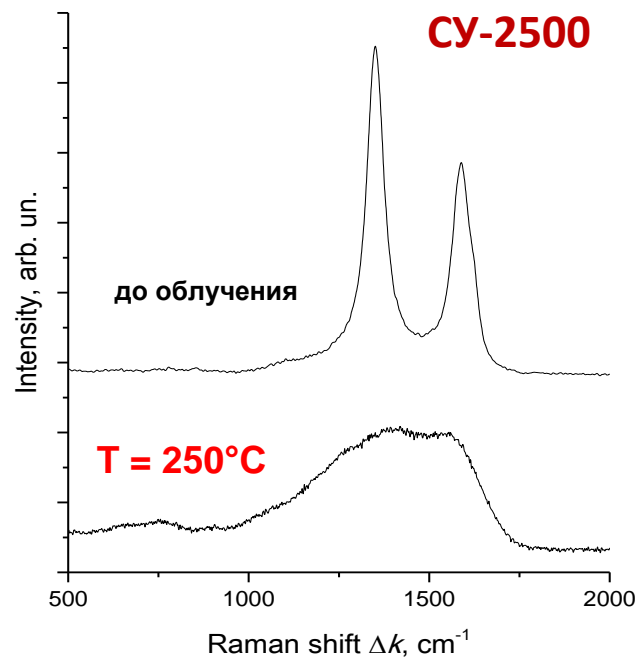
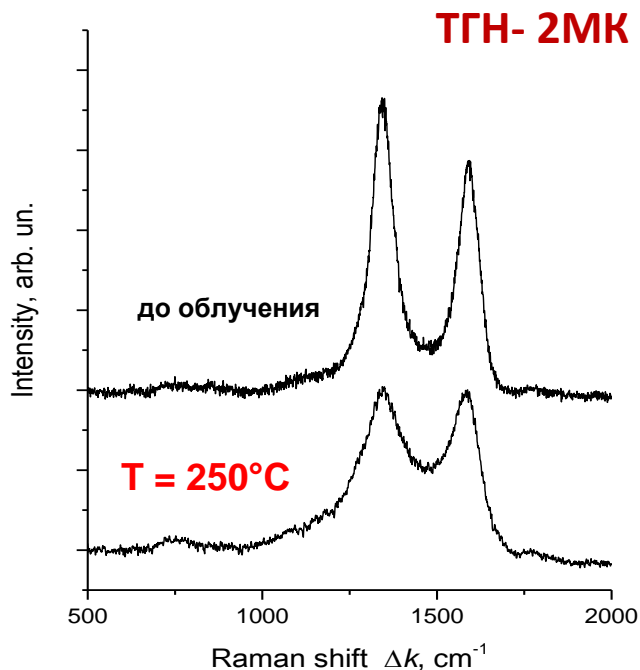
Толщина
наностенок
Углеродное
волокно
100-200 нм



Стеклоуглерод
50-100 нм

РЕЗУЛЬТАТЫ

СРАВНЕНИЕ СТРУКТУРЫ ОБЛУЧЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН ИЗ ВИСКОЗЫ СО СТРУКТУРОЙ ОБЛУЧЕННЫХ СТЕКЛОУГЛЕРОДОВ



Динамический отжиг радиационных повреждений, происходящий при температуре 250 °С, приводит к ионно-индуцированной графитизации фибриллярного углеродного волокна и глобулярного стекловидного углерода.

ВЫВОДЫ

Облучение ионами аргона с энергией 30 кэВ углеродных волокон из вискозы и стеклоуглеродов приводит к образованию наностеночной топографии поверхности при температурах выше температур динамического отжига (>200°C).

Толщина наноразмерных стенок для углеродного волокна больше (100-200 нм) чем для стеклоуглеродов (50-100 нм), тогда как размеры пор больше для стеклоуглеродов.

Структурные исследования наностеночных поверхностей показывают, что формирование наностеночной морфологии связывается с ионным распылением и радиационно-индуцированными процессами в углеродных материалах. Характерное проявление радиационно-индуцированных размерных изменений в стеклоуглероде – его усадка с соответствующим уплотнением поверхностного слоя при ионном облучении. Физическое распыление при этом обеспечивает формирование стационарных профилей пор с отвесными стенками. Аналогичные процессы происходят, по-видимому, и при облучении углеродного волокна из вискозы.

Спасибо за внимание!