



51-я Международная
Тулиновская
Конференция
по Физике
Взаимодействия
Заряженных Частиц с
Кристаллами
МГУ
им. М. В. Ломоносова,
24 – 26 мая 2022 г.



ЭФФЕКТ ТЕКСТУРЫ ОБОЛОЧКИ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА В ИОННО- ЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИИ

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

¹⁾ МАИ (НИУ), Москва, Россия;
²⁾ МГТУ "Станкин", Москва, Россия
³⁾ НИИЯФ МГУ, Москва, Россия;

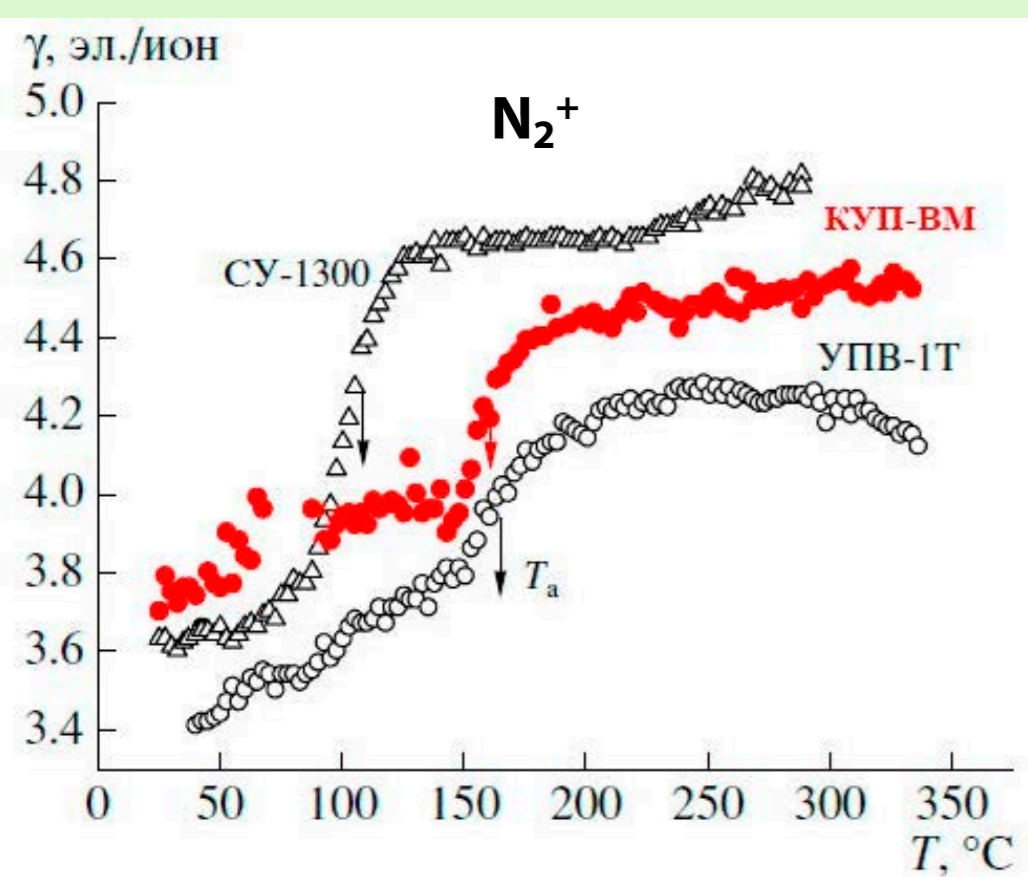
e-mail: ov.mikhail@gmail.com

Введение

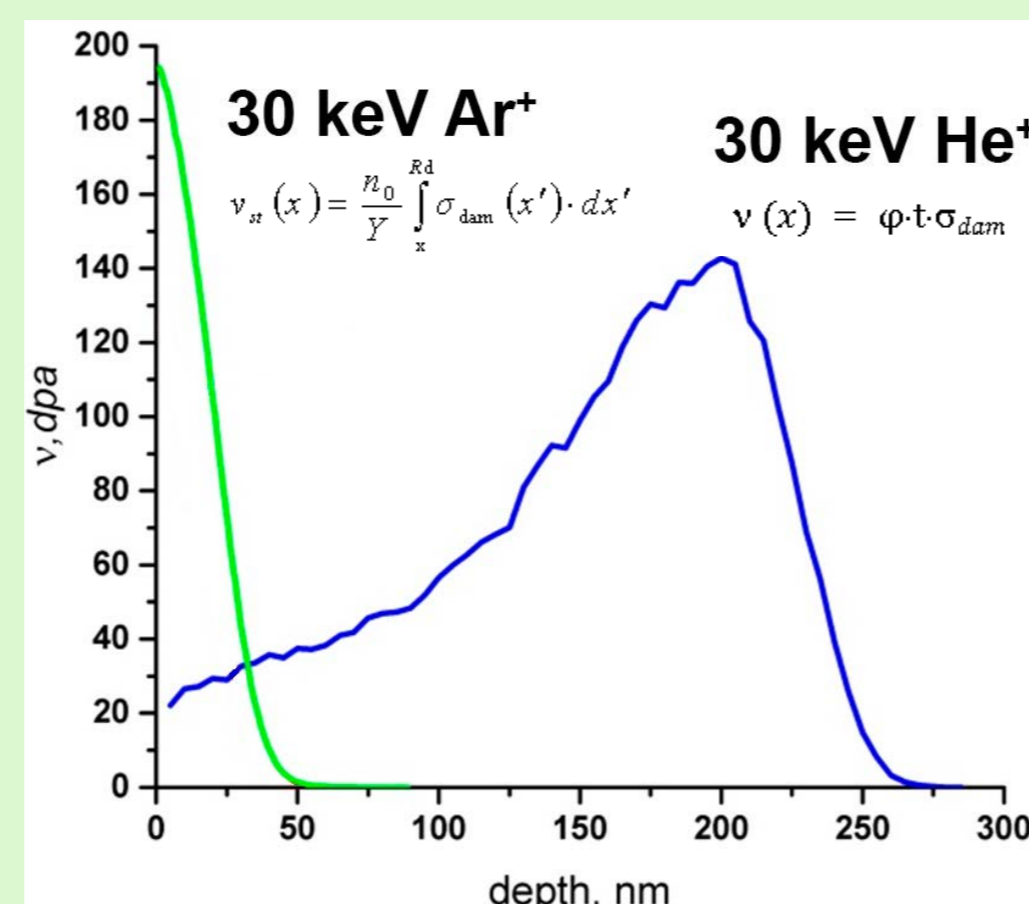
Исследования ионно-электронной эмиссии рассматриваются как один из методов контроля изменений, происходящих при внесении радиационных нарушений и ионно-индуцированной модификации материала. Такие исследования являются актуальными и для углеродных материалов ядерных энергетических установок, для которых активно обсуждаются эксперименты по имитации радиационного воздействия с помощью ионно-лучевых установок [1]. При этом исследования ионно-электронной эмиссии позволяют отслеживать изменения в материале непосредственно при проведении эксперимента.

1. Was G.S. *Fundamentals of Radiation Materials Science, 2nd ed. Springer-Verlag. New York, 2014. 1002 p.*

Облучение углеродных материалов, в том числе углеродных волокон, ионами аргона, неона и азота показывает значительные изменения как в рельефе поверхности, так и в значения ионно-электронной эмиссии. Так, облучение при температурах облучения выше температуры T_a динамического отжига радиационных нарушений приводит к ступенчатому росту коэффициента ионно-электронной эмиссии и, согласно данным дифракции быстрых отраженных электронов, переходу модифицированного слоя из аморфного состояния в рекристаллизованное.



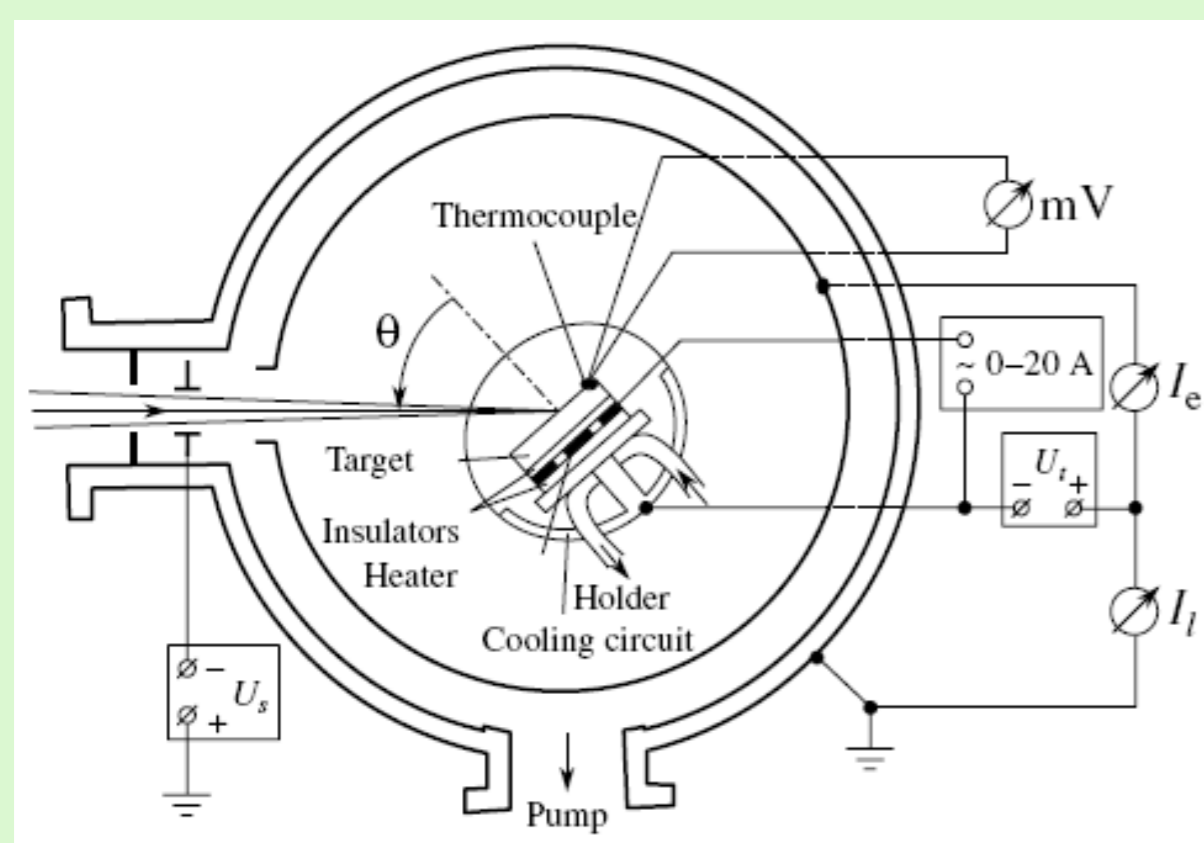
Андрианова Н.Н., Борисов А.М.,
Виргильев Ю.С., и др. *Поверхность*.
2008. № 5. С.59-63



Andrianova, N. N., et al. *Vacuum* 188 (2021), 110177.

При этом температурные зависимости коэффициента ионно-электронной эмиссии получали при стационарных условиях облучения, когда максимум радиационных нарушений был на поверхности углеродного материала. В данной работе приводятся данные по облучению ионами гелия, для которого максимум радиационных нарушений расположен в глубине.

Эксперимент и методики исследования



Ионное облучение

Масс-монохроматор НИИЯФ
МГУ

Ионы: Ar^+ , Ne^+ , N^+ , N_2^+ , C^+ , He^+

Энергия: 10-30 кэВ

Нормальное падение ионов

Флуенс: $\Phi \sim 3-6 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$

Плотность пучка $\sim 0.4 \text{ мА/см}^2$

Температуры облучения

RT-600°C

Методы исследования

- Измерение флуенса налетающих ионов и коэффициента ионно-электронной эмиссии: $\gamma = I_e / I_i$
- Растровая электронная микроскопия

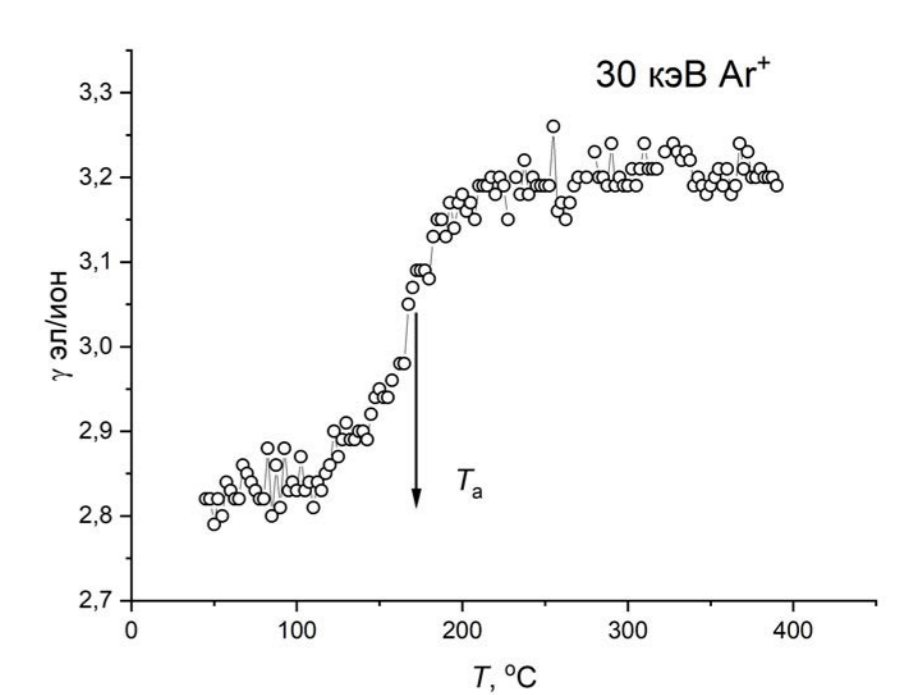
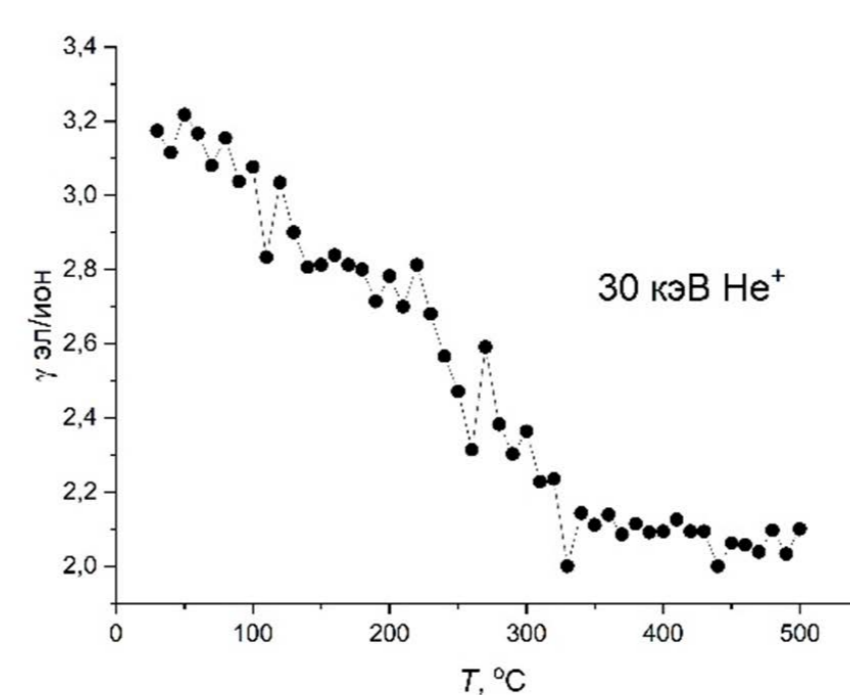
Исследуемые материалы

- В экспериментах использовали:

- Образцы однонаправленного композита КУП-ВМ, армированного углеродными волокнами ВМН-4
- Ленту углеродного волокна "Кулон"

Результаты

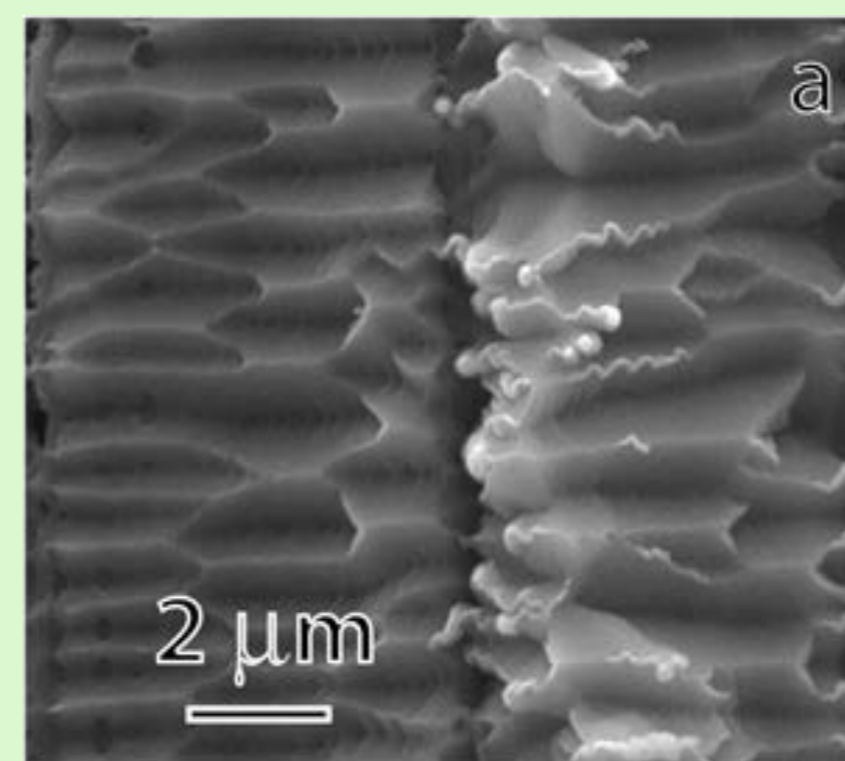
Температурная зависимость коэффициента ионно-электронной эмиссии при облучении ионами гелия



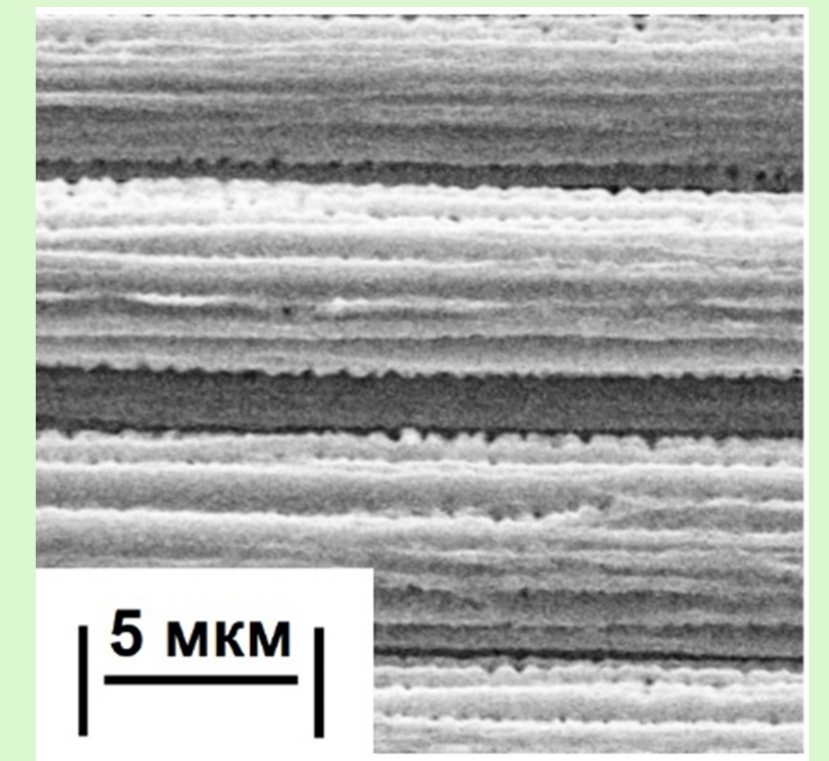
Andrianova N.N., Borisov A.M., Mashkova E.S. et al. // *Horizons in world physics. V. 280. 2013. P. 171*

Рельеф поверхности углеродного волокна при высокодозном облучении

30 кэВ Ar^+ > 400°C



30 кэВ He^+ 400°C



Выводы

Проведено облучение углеродного композиционного материала КУП-ВМ ионами гелия энергией 30 кэВ и флуенсами $>3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-2}$. Мониторинг изменения структуры поверхности волокна при изменении температуры облучения от комнатной до 600°C проводили при помощи измерений коэффициента γ ионно-электронной эмиссии.

Облучение ионами гелия приводит к уменьшению коэффициента γ с ростом температуры облучения, что значительно отличается от ступенчатого роста при температуре T_a для облучения ионами аргона, неона и азота.

Разница в рельефе поверхности и в типе профилей дефектообразования при облучении ионами гелия в сравнении с другими ионами позволяет предположить, что исходная структура на поверхности волокна не разрушается. Наблюдаемое уменьшение значения коэффициента при увеличении температуры связывается с эффектом анизотропии ионно-электронной эмиссии [2,3] при изменении рельефа на поверхности. Это позволяет предположить, что температурные зависимости ионно-электронной эмиссии отражают текстурные изменения поверхности, что можно использовать для контроля текстуры оболочки углеродного волокна.

2. Cernusca S, Fursatz M, Winter HP, et al. *Europhys Lett* 2005;70(6):768-74.

3. Борисов А.М., Виргильев Ю.С., Машкова Е.С., и др. *Поверхность*, 2006, №1, с. 7-13.