



РФЯЦ
ВНИИЭФ
РОСАТОМ

Малоплотные пористые материалы: получение и использование в лазерных мишенях

XVII Международная конференция «Забабахинские научные чтения-2025»,
19-23 мая 2025 г.

Авторы:

А.В. Царева
А.В. Илюшечкина
С.М. Прохоров
Е.Ю. Соломатина
И.А. Чугров

г. Снежинск, 2025 г.

Аэрогель (пена) — класс пористых сверхлегких (малоплотных) материалов, получаемых из геля, в котором жидкий компонент заменен на газ без существенного изменения структуры. В результате образуется твердое вещество с чрезвычайно низкой плотностью вплоть до 2 мг/см^3 .

Применение аэрогелей в конструкции мишеней:

- повышение абляционного давления по сравнению с использованием твердого аблятора;
- наиболее эффективное поглощение лазерного излучения (ЛИ);
- гомогенизация высокотемпературной плазмы;
- более эффективная конверсия ЛИ в РИ

Требования, предъявляемые к аэрогелям для элементов конструкции лазерных мишеней:

- определенный химический состав;
- равномерность строения в микронных масштабах;
- определенная плотность;
- распределение пор по размерам; диапазон размера пор под конкретный эксперимент по расчетным данным.

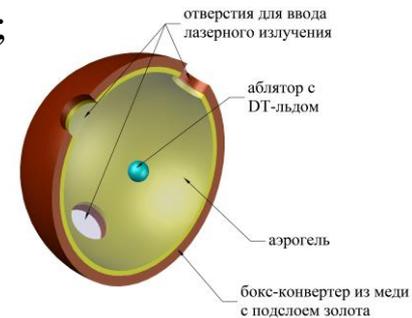


Схема мишени для ЛТС

Исследуемые материалы:

- триацетат целлюлозы (ТАЦ)
- резорцин-формальдегид/
резорцин-формальдегид
карбонизированный (РФ/РФК)
- аэрографит

Технология изготовления полимерных ТАЦ- и РФ-аэрогелей

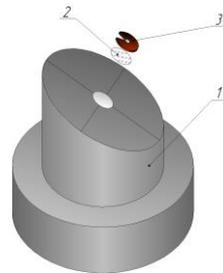


Схема мишени с ТАЦ-аэрогелем

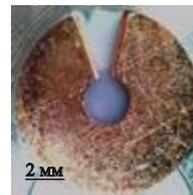


Фото ТАЦ-аэрогеля в мишени конструкции



Фото образца РФ-аэрогеля



Фото образца РФК-аэрогеля

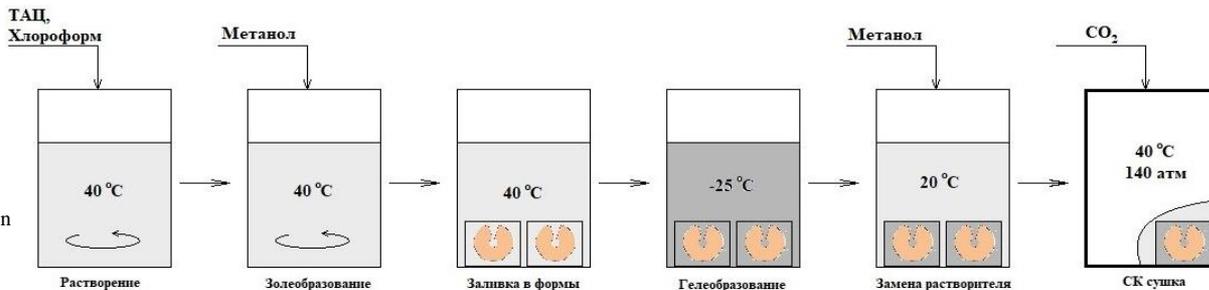


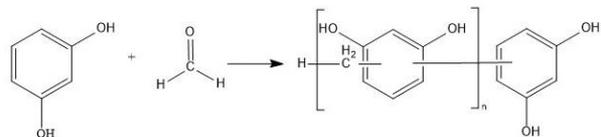
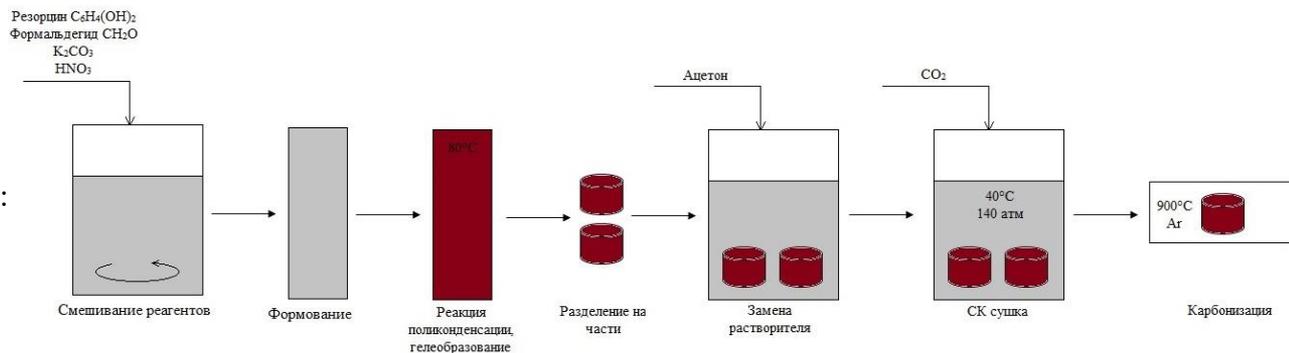
Фото ТАЦ-аэрогеля в мишени конструкции



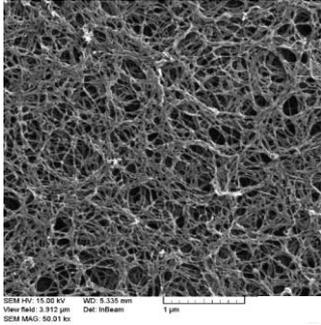
Фото образца РФ-аэрогеля



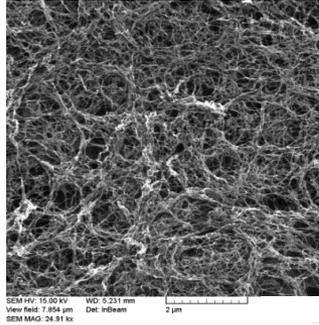
Фото образца РФК-аэрогеля



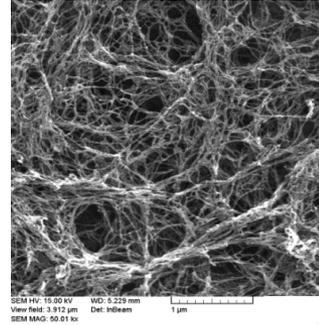
Структура ТАЦ-аэрогелей



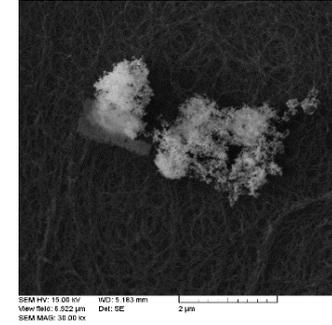
Микроструктура образца ТАЦ-аэрогеля плотностью 12 мг/см³



Микроструктура образца ТАЦ-аэрогеля плотностью 6 мг/см³ при разных увеличениях, легированного золотом с концентрацией 10 масс.%

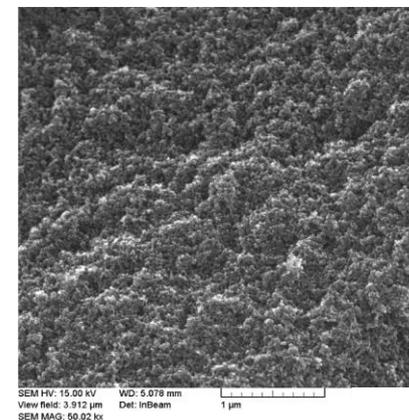
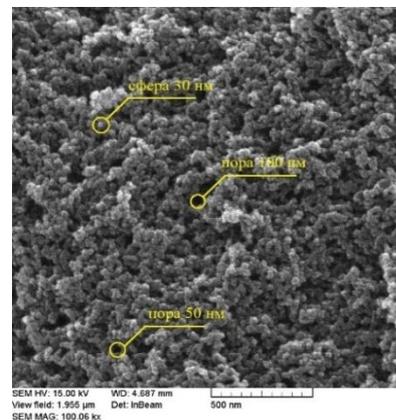
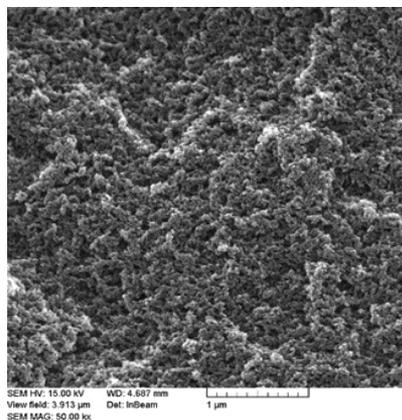
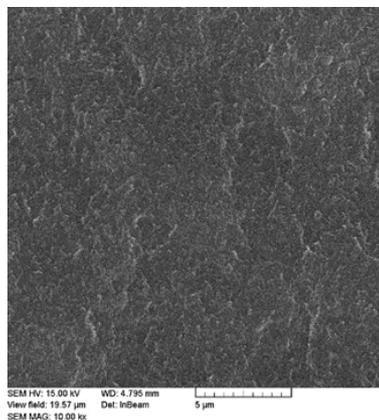


Микроструктура образца ТАЦ-аэрогеля плотностью 20 мг/см³, легированного серебром с концентрацией 6 масс.%



Структурные элементы	Плотность, мг/см ³	Размер пор, нм	Металлические включения	Элементный состав	Концентрация легирующей примеси
Волокна от 10 до 40 нм	от 5 до 40	от 100 до 500	до 40 нм в виде наночастиц, встроенных в волокна; до 5 мкм в виде конгломератов слипшихся наночастиц	С от 50 до 56%, О от 40 до 45%	Au до 10 масс. % Ag до 12 масс. %

Структура РФ-аэрогелей



Микроструктура образца РФ-аэрогеля плотностью 100 мг/см³ при разных увеличениях

Микроструктура образца РФК-аэрогеля плотностью 200 мг/см³

	Структурные элементы	Плотность, мг/см ³	Размер пор, нм	Элементный состав
РФ	округлые образования диаметром от 30 до 40 нм	от 55 до 130	от 30 до 100	С 60%, О 39%, К 1%
РФК	округлые образования диаметром 15 нм	от 100 до 200	10	С 90%, О 8%, К 1%

Измерение геометрических параметров образцов аэрогелей методом оптической микроскопии



Фото шайбы с аэрогелем в мишенной конструкции

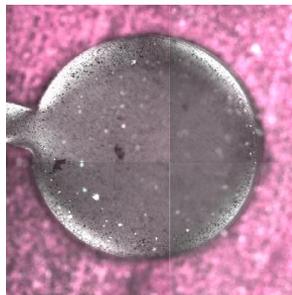
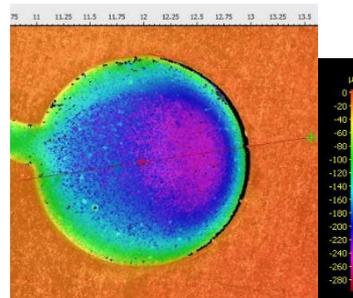
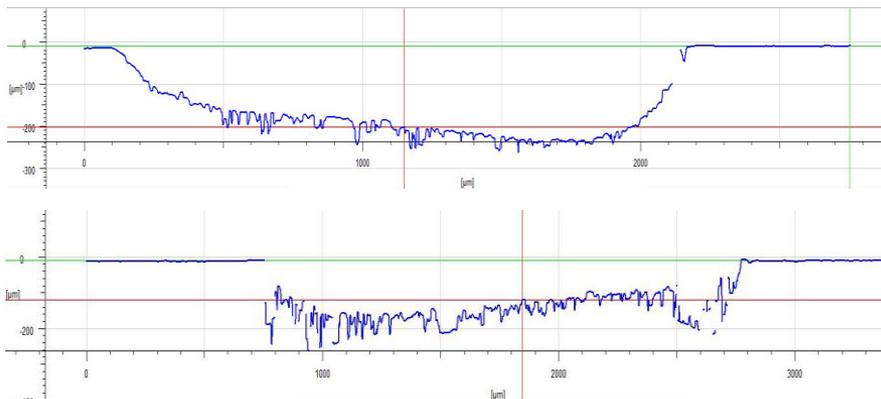


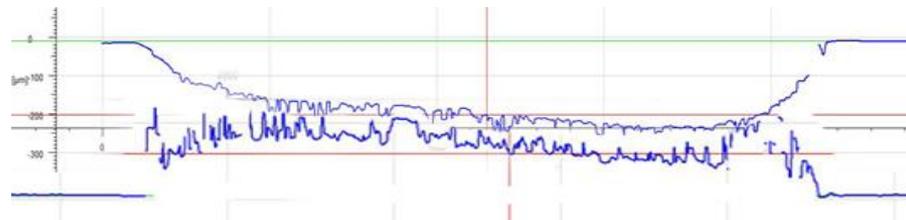
Фото ТАЦ-аэрогеля



3D-профиль ТАЦ-аэрогеля

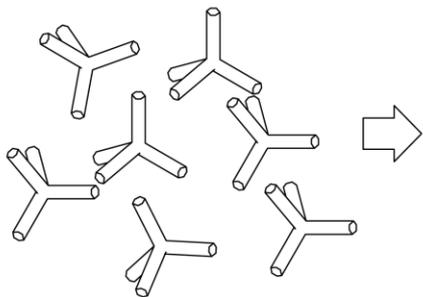


2D-профиль вдоль красной линии, измеряется глубина усадки со стороны 1 в центре относительно края шайбы

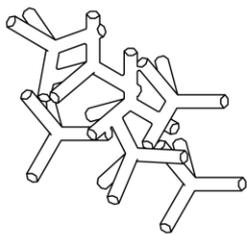


Совмещение двух односторонних профилей заготовки ТАЦ-аэрогеля для оценки ее толщины

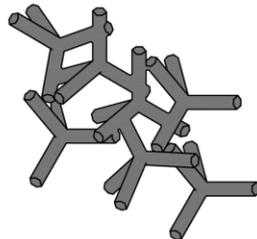
Технология изготовления аэрографита методом химического осаждения из газовой фазы



1. Получение порошка оксида цинка в форме тетраподов



2. Изготовление матрицы путем спекания компактов из оксида цинка



3. Осаждение углерода, удаление матрицы



Образец аэрографита, полученный в керамическом кольце

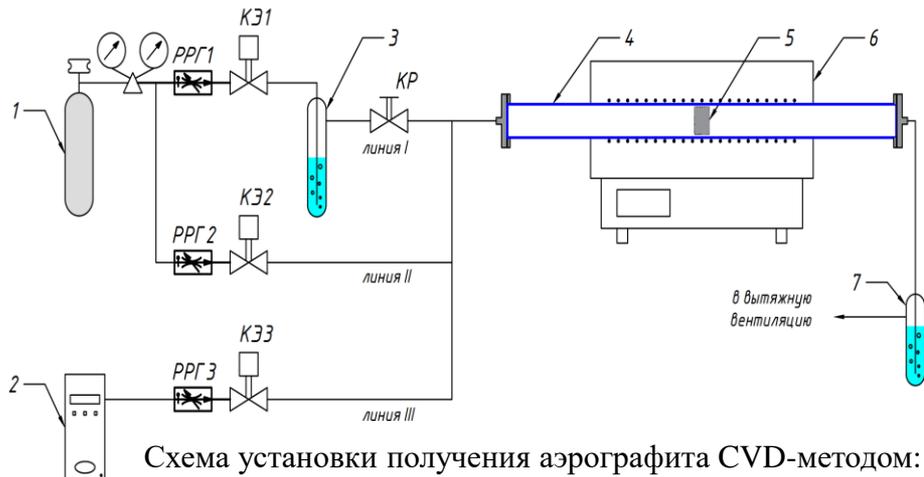
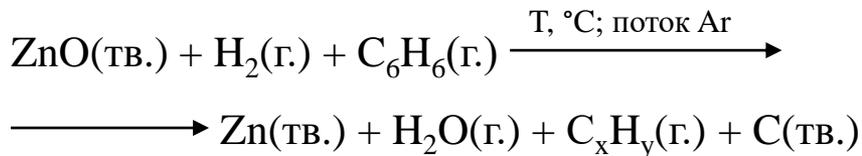
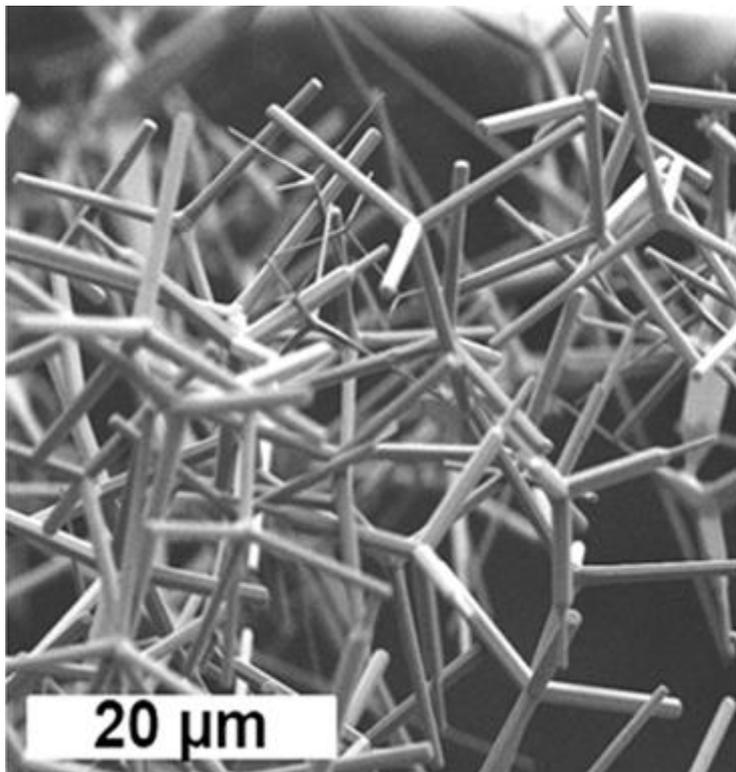


Схема установки получения аэрографита CVD-методом:



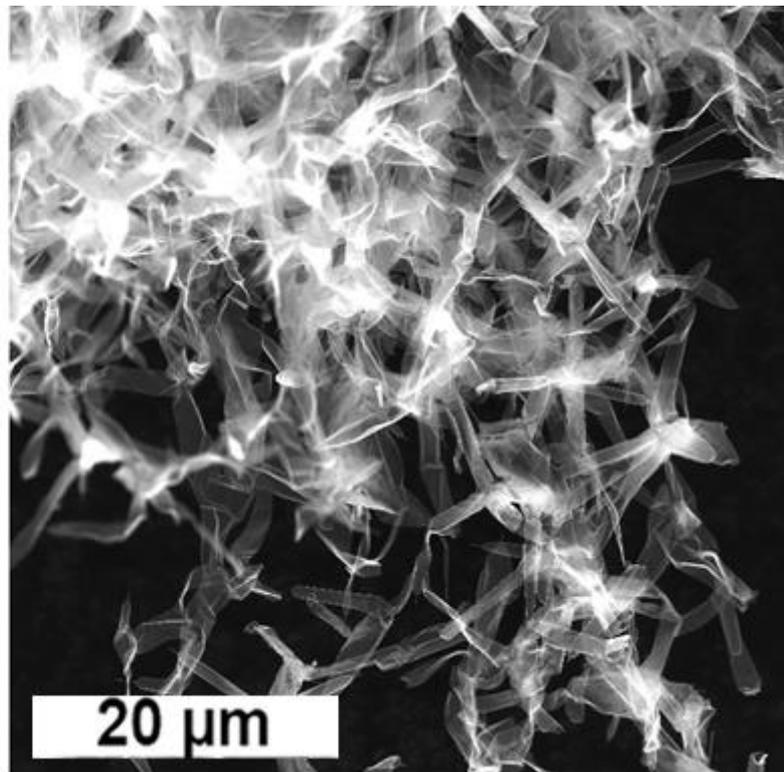
1 – баллон с аргоном, 2 – генератор водорода, 3 – барботер с бензолом, 4 – реактор из кварцевого стекла, 5 – образец, 6 – трубчатая печь, 7 – водяной затвор

Структура аэрографита



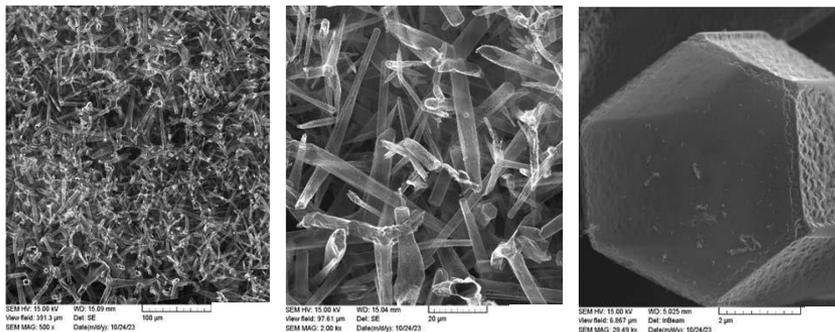
Структура исходной матрицы ZnO

Осаждение
углерода,
удаление
матрицы ZnO



Структура аэрографита

Структура аэрографита



Микроструктура образца аэрографита плотностью $4,9 \text{ мг/см}^3$ при разных увеличениях.

Структурные элементы	Плотность, мг/см^3	Элементный состав	Размер пор
микронные трубки толщина углеродного покрытия от 10 до 20 нм	от 2 до 40	С 90%, О от 1 до 5%	поры в трубках от 1 до 3 мкм; полости до 10 мкм

Интеграция образцов ТАЦ-аэрогелей в мишенные конструкции

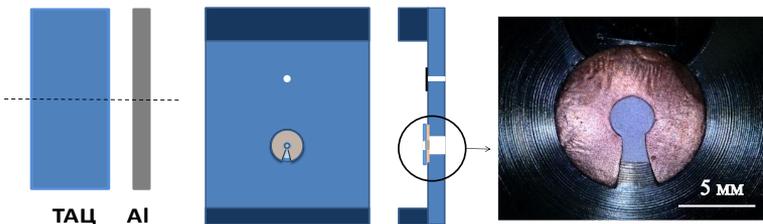
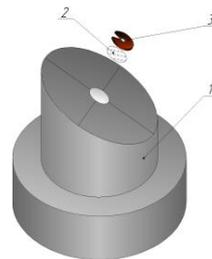


Схема готовой мишени с ТАЦ-пенной, Фотография готовой мишени закрепленной на держатели типа «Лопатка»

Мишень для исследования гидродинамического выравнивания пространственно-неоднородного распределения интенсивности облучения

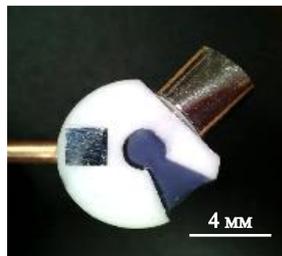


1 – массивный алюминиевый держатель, Фотографии готовой мишени
2 – пленка лавсана 20 мкм,
3 – заготовка мишени с ТАЦ-пенной

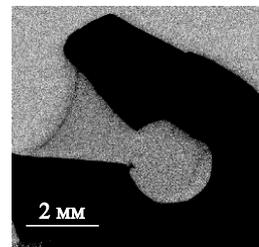
Мишень для исследования выхода быстрых электронов



Фотографии мишени сборки с разных ракурсов

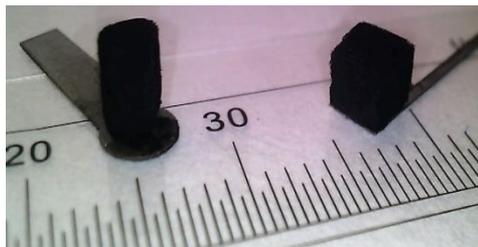


Мишень для исследования режимов сжатия алюминия

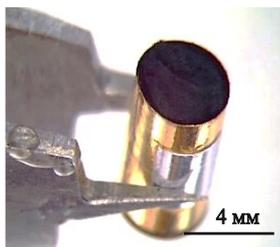


Рентгеновское изображение заготовки мишени сборки

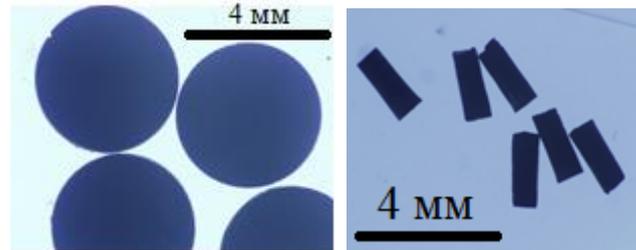
Интеграция образцов аэрографита в мишенные конструкции



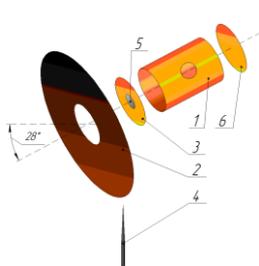
Фотография заготовок из аэрографита разной формы



Фотография бокса-конвертора, заполненного аэрографитом

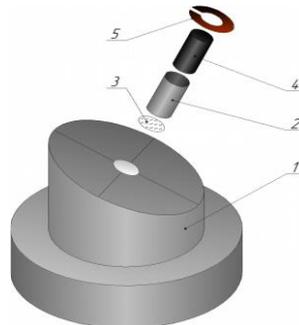
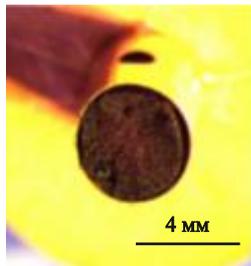
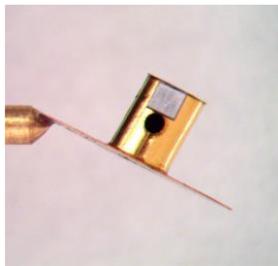


Фотографии заготовок из РФК разной формы



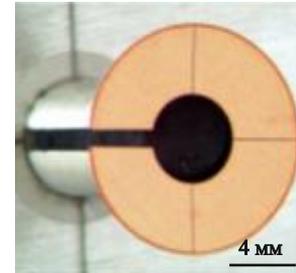
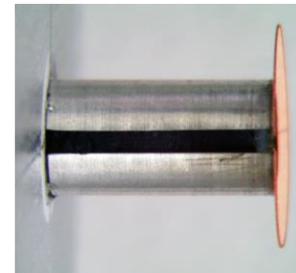
1 - обечайка; 2 - защитный экран; 3- торцевой диск с отверстием под мишень УРС; 4 - держатель; 5 - мишень УРС, 6 – глухой торцевой диск

Мишень для исследования ударной сжимаемости алюминия при непрямом облучении



1 – массивный алюминиевый держатель, 2 – полый алюминиевый цилиндр (формообразующий аэрографит), 3 – пленка лавсана 20 мкм, 4 – образец аэрографита, 5 – юстировочное кольцо

Мишень для исследования выхода быстрых электронов



Сравнительная таблица

Аэрогель	Структурные элементы	Диапазон плотности, мг/см ³	Размер пор, нм	Элементный состав	Металлические включения
ТАЦ	волокна от 20 до 40 нм	от 3 до 40	от 100 до 1000	С от 50 до 56%, О от 40 до 45%	Au до 10 масс. % Ag до 12 масс %
РФ	округлые образования от 30 до 40 нм	от 55 до 150	от 30 до 100	С 60%, О 39%, К 1%	-
РФК	15 нм	от 100 до 400	10	С 90%, О 8%, К 1%	
Аэрографит	микронные трубки углеродное покрытие от 10 до 20 нм	от 1 до 40	поры в трубках от 1 до 3 мкм; до 10 мкм	С 90%, О от 1 до 5%	-

Выводы

- Получены ТАЦ-аэрогели с плотностью от 5 до 40 мг/см³, равномерным строением; образцы с введенными в объем пены наночастицами тяжелых элементов до 20 % масс.;
- получены образцы РФ-аэрогеля с плотностью от 50 до 130 мг/см³, однородного строения, с размером пор от 30 до 100 нм;
- путем термической обработки (карбонизации) РФ-аэрогеля получены углеродные аэрогели с плотностью от 57 до 400 мг/см³, однородного строения, с размером пор 10 нм;
- получены образцы аэрографита с плотностью от 2 до 40 мг/см³;
- рассмотрены вопросы интеграции пен в мишенные конструкции, а также представлены примеры готовых мишеней, имеющих в своем составе пены.

**Спасибо
за внимание**