NASER
Technology

ОТЧЁТ О ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

Тема: Получение наноструктур методом абляции титана высокочастотным излучением от нанометрового генератора

Авторы: Коллектив NASER в составе: Сенкевич Александр Павлович, Тоцкий Илья Яковлевич, Прохоренко Илья Николаевич

Место проведения: Лабораторный комплекс МФТИ, Российская Федерация, г. Долгопрудный

Дата проведения: 31 марта 2026 г.

РЕФЕРАТ

Отчёт посвящён экспериментальному исследованию синтеза наноструктур методом абляции титана высокочастотным излучением от нанометрового генератора NASER. Работа выполнена в лабораторном комплексе МФТИ (г. Долгопрудный) 31 марта 2026 г. В ходе пяти последовательных опытов исследовано влияние конфигурации реакционной ёмкости, мощности генератора, состава и расхода газовой среды, расстояния между контактами и частоты питания на размер и выход получаемых наночастиц. Установлено, что регулировка мощности генератора обеспечивает управление средним размером синтезируемых частиц в диапазоне от 11,5 до 42,5 нм. Производительность в режиме закрытой ёмкости оценена как минимум в 10 раз превышающей производительность обычных электродуговых методов. Подтверждена возможность получения частиц TiO_2/TiN и Ti без стадий разделения и термического отжига.

Отчёт содержит 8 разделов, 6 таблиц, иллюстрации (фотоматериалы и снимки экспериментов перенесены из исходного рабочего отчёта — позиции указаны в тексте), 2 источника. Видеоматериалы всех опытов размещены в открытом доступе на платформе Яндекс.Диск.

Ключевые слова: NASER, квантовый генератор, нанопорошок, абляция, TiO_2, TiN, Ti, наноструктуры, мощность генератора, аргон, воздух.

naser.tech
info@naser.tech
+7 499 705 11 65

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ
2. ОБОРУДОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА
3. МЕТОДИКА И ХОД ЭКСПЕРИМЕНТОВ
4. РЕЗУЛЬТАТЫ
    - 4.1. Опыт 1. Керамическая ёмкость открытого типа
    - 4.2. Опыт 2. Стеклянная ёмкость закрытого типа, воздушная атмосфера, мощность 80 Вт
    - 4.3. Опыт 3. Стеклянная ёмкость закрытого типа, воздушная атмосфера, мощность 300 Вт
    - 4.4. Опыт 4. Стеклянная ёмкость закрытого типа, атмосфера аргона, мощность 80 Вт
    - 4.5. Опыт 5. Стеклянная ёмкость закрытого типа, атмосфера аргона, варьирование параметров
    - 4.6. Сводная таблица условий и результатов опытов
5. АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ
6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ
7. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ
8. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ВВЕДЕНИЕ

Квантовый генератор представляет собой устройство, генерирующее электромагнитные колебания, совпадающие по частоте и фазе. Классификация таких устройств осуществляется по диапазону длин волн излучения: микроволновой диапазон (мазер), оптический (лазер), рентгеновский (разер), гамма-диапазон (газер) и нанометровый (назер).

В 2011 году российским учёным А. В. Пастуховым была начата разработка прототипа квантового генератора нового типа. По результатам проведённых научно-исследовательских работ в 2021 году компанией NASER Technology был создан квантовый генератор нового поколения, получивший наименование **NASER** — *Nanowave Amplification By Stimulated Emission of Radiation*. NASER принципиально отличается от известных квантовых генераторов простотой технической реализации, не требующей высоких энергий и низких температур: устройство функционирует на основе простых электрических схем и обеспечивает получение электромагнитного излучения большой мощности в нанометровом (рентгеновском, 0,46 нм) диапазоне. На устройство получен патент РФ на изобретение RU2832489C2.

Принципиальным преимуществом метода абляции на основе NASER является возможность управления размером синтезируемых частиц в диапазоне от 11,5 до 42,5 нм посредством регулировки мощности генератора, без необходимости последующего термического отжига и сложных процессов разделения, что потенциально обеспечивает меньшие затраты по сравнению с жидкостными химическими методами. По результатам проведённых опытов производительность установки при получении наночастиц в режиме закрытой ёмкости была оценена как минимум в 10 раз превышающей производительность обычных электродуговых методов. Управляемое получение наночастиц TiO_2/TiN и Ti с различной морфологией и заданным диапазоном размеров представляет практический интерес для применения в фотокатализе — с использованием солнечного излучения как источника энергии — а также для создания высокотемпературной электроники, в том числе мемристорных структур, рассчитанных на работу при температурах до 700 °C.

Цель работы: наблюдение реакции абляции титана и удержания плазмы, из которой нагнетанием газовых потоков формируются наночастицы; определение их размера и среднего выхода.

Объект исследования: титановые стержни, подвергаемые воздействию излучения генератора NASER.

Предмет исследования: влияние конфигурации реакционной ёмкости, мощности генератора, состава газовой среды, расстояния между контактами, частоты питания и расхода газа на размер и выход формируемых наночастиц.

Тема работы: преобразование электрической энергии в синтез наноструктур методом абляции высокочастотным излучением.

2. ОБОРУДОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

В экспериментах использовалось следующее оборудование и материалы:

- квантовый генератор NASER;
- керамическая ёмкость открытого типа;
- стеклянная ёмкость закрытого типа с элементами удержания образцов и дополнительными вводами и выводами газа;
- конденсационный счётчик частиц TSI CPC Model 3775 для измерения количества и размера частиц;
- стержни титановые, Ø 6 мм (опыт 1) и Ø 8 мм, лабораторные (опыты 2–5);
- провод медный многожильный, сечение жилы 0,2 мм.

Параметры реакционных ёмкостей, применявшихся в опытах, приведены в таблицах соответствующих подразделов.

3. МЕТОДИКА И ХОД ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Во всех опытах реакция абляции инициировалась включением генератора. После её начала фиксировались характер и интенсивность свечения (с визуальной оценкой цветовой температуры), а на конденсационном счётчике частиц TSI CPC Model 3775 регистрировались размер и количество получаемых частиц.

Последовательность опытов строилась по принципу поэтапного изменения конфигурации реакционной ёмкости, газовой среды, мощности генератора, расстояния между контактами, частоты питания и расхода газа. Ниже приведены условия и результаты каждого опыта.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1. Опыт 1. Керамическая ёмкость открытого типа

Параметры установки (Таблица 1):

Параметр	Значение
Вес ёмкости	210 г
Ширина	80 мм / 45 мм
Длина	90 мм

Электрические параметры	10 А / 220 В
Материал стержней	Титан, Ø 6 мм
Материал провода	Медь (многожильный), 0,2 мм
Дополнительные элементы	Керамическая ёмкость — 1 шт.; конденсационный счётчик частиц TSI CPC Model 3775

Ход опыта и наблюдения:

При включении генератора произошла реакция абляции. С ростом мощности на источнике питания до 200 Вт появилось яркое белое свечение с визуально оцениваемой цветовой температурой около 3000 К. Температура корпуса генератора составила около 40 °C.

Поскольку оборудование для забора газов было выполнено из мягкого пластика, дальнейшее повышение мощности было признано нецелесообразным. На ёмкости наблюдалось активное газообразование (белый пар), а из-за высоких температур в зоне силиконовой трубки забора газов опыт был ограничен тремя сеансами регистрации данных продолжительностью 1 минута каждый.

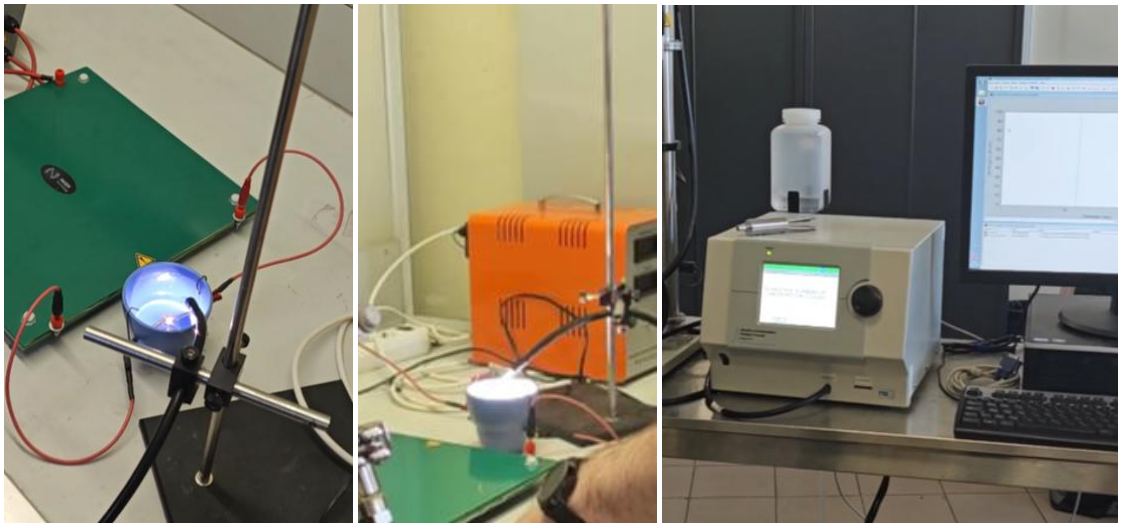
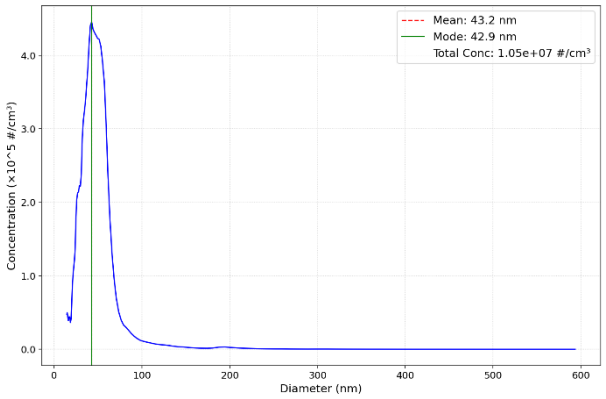


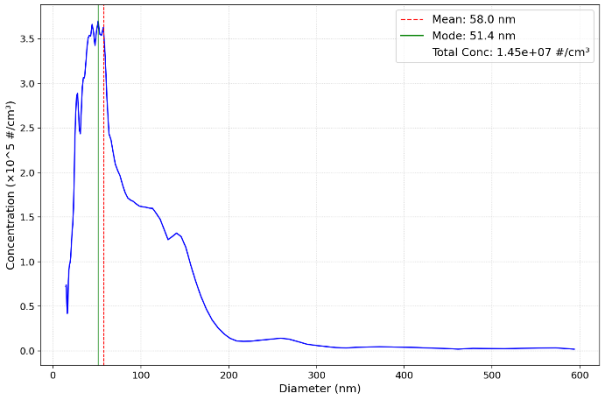
Иллюстрация 1 — Фотография хода опыта 1: белое свечение реакции абляции в керамической ёмкости открытого типа при мощности до 200 Вт (~3000 К)

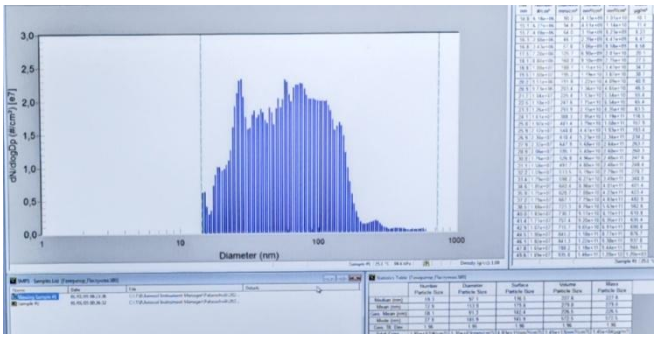
Результаты:

В ходе опыта было зафиксировано **взаимодействие** излучения с модельным телом. Получено большое количество наночастиц с широким спектром размеров 10–200 нм; при этом большая часть модельного тела **не была подвергнута обширным изменениям** и сохранила стабильность первоначальных характеристик и свойств. Температура свечения новообразований составила 1500–3000 К, что было обусловлено формированием капель, вылетающих из модельного тела. Вследствие сильного нагрева

произошло **оплавление концов** стержней; на стержнях был отмечен **нагар**, однако общая целостность стержней сохранилась.







Видеозаписи эксперимента:

- https://disk.yandex.ru/i/SavZg3NNR_srKA
- https://disk.yandex.ru/i/yPf_0UwqPtH55Q

4.2. Опыт 2. Стеклянная ёмкость закрытого типа, воздушная атмосфера, мощность 80 Вт

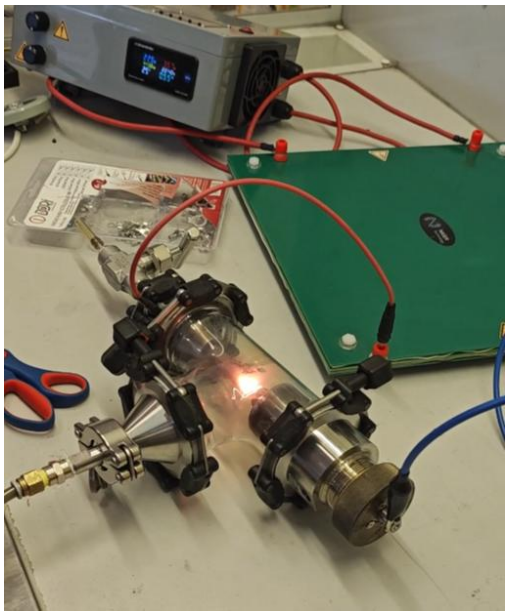
Параметры установки (Таблица 2):

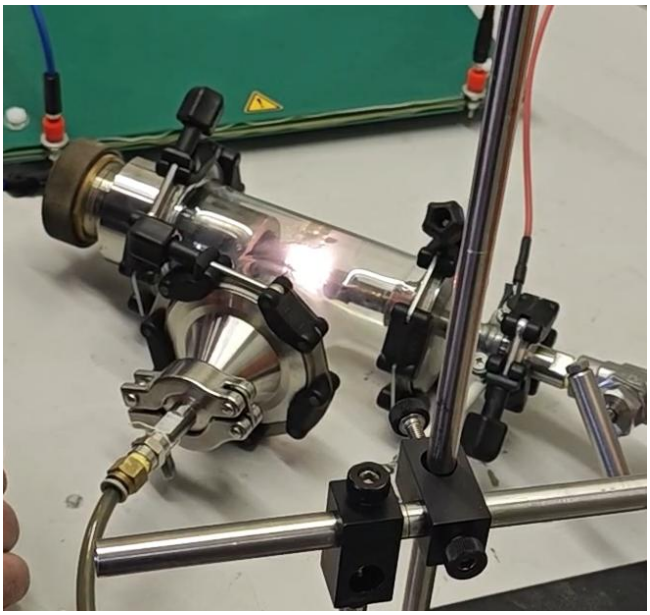
Параметр	Значение
Вес ёмкости	800 г
Ширина	80 мм
Длина	300 мм
Электрические параметры	10 А / 220 В
Материал стержней	Титан, Ø 8 мм (лабораторный)

Атмосфера	Внешний воздух
Материал провода	Медь (многожильный), 0,2 мм
Расстояние между контактами	1 мм
Расход газа	3,5 л/с
Дополнительные элементы	Стеклянная ёмкость — 1 шт.; конденсационный счётчик частиц TSI CPC Model 3775

Ход опыта и наблюдения:

При включении генератора произошла реакция абляции. С ростом мощности до 80 Вт появилось яркое оранжевое свечение с визуально оцениваемой цветовой температурой около 2700 К. Реакция протекала стабильно и визуально наблюдалась по всей площади контактов.

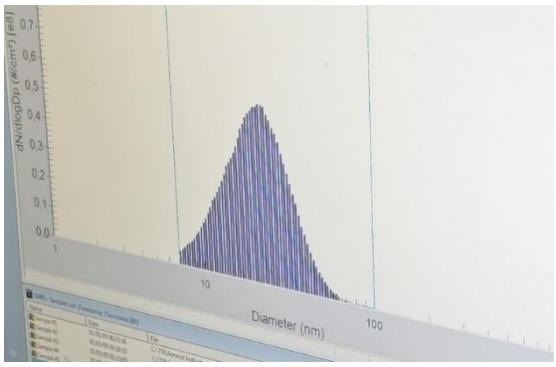


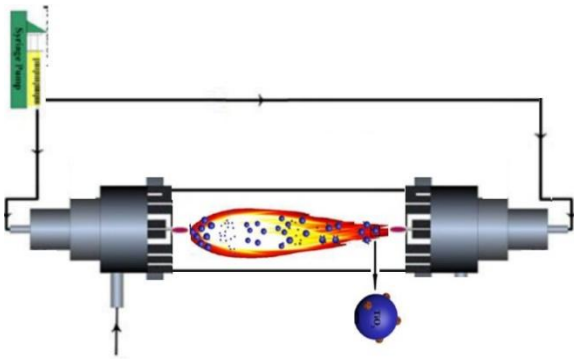


[Иллюстрация 2 — Фотография хода опыта 2: оранжевое свечение (~2700 К) в стеклянной ёмкости закрытого типа при воздушной атмосфере, мощность 80 Вт.]

Результаты:

На выходе системы по результатам набора данных был получен стабильный поток частиц со средним размером 42,5 нм, с производительностью в 10 раз больше, чем по обычным электродуговым методам. Размер и количество наночастиц оставались стабильными на протяжении всего 20-минутного опыта. Конструкция, охлаждаемая потоком воздуха, не перегревалась и сохраняла общую прозрачность.





Видеозапись эксперимента:

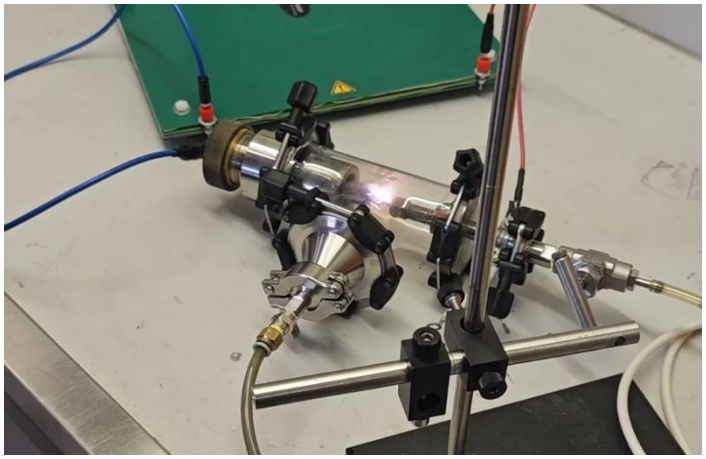
- https://disk.yandex.ru/i/e6snA63btM9cxA

4.3. Опыт 3. Стеклянная ёмкость закрытого типа, воздушная атмосфера, мощность 300 Вт

Параметры установки: аналогичны опыту 2, за исключением выходной мощности генератора, повышенной до 300 Вт.

Ход опыта и наблюдения:

При включении генератора произошла реакция абляции. В ходе опыта было отмечено смещение цветовой температуры свечения в более холодный спектр.



[Иллюстрация 3 — Фотография хода опыта 3: смещение цветовой температуры в холодный спектр при мощности 300 Вт, воздушная атмосфера.]

Результаты:

На выходе системы по результатам набора данных был получен стабильный поток частиц со средним размером 11,5 нм, с производительностью в разы больше, чем по обычным электродуговым методам. Размер и количество частиц оставались стабильными на протяжении 10-минутного опыта; было

выполнено 3 замера полученных частиц. Конструкция, охлаждаемая потоком воздуха, не перегревалась и сохраняла общую прозрачность.

Вывод по опыту: метод показал себя как простой и эффективный способ изготовления однородных частиц TiO_2/TiN.

Видеозапись эксперимента:

- https://disk.yandex.ru/i/hJ6LhGGZAnAm_A

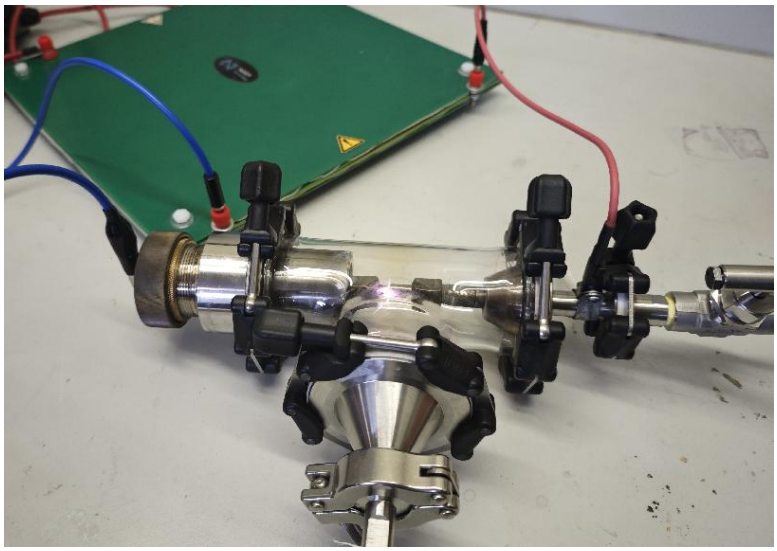
4.4. Опыт 4. Стеклянная ёмкость закрытого типа, атмосфера аргона, мощность 80 Вт

Параметры установки (Таблица 3):

Параметр	Значение
Вес ёмкости	800 г
Ширина	80 мм
Длина	300 мм
Электрические параметры	10 А / 220 В
Материал стержней	Титан, Ø 8 мм (лабораторный)
Атмосфера	Аргон
Материал провода	Медь (многожильный), 0,2 мм
Расстояние между контактами	2 мм (увеличено относительно опытов 2–3)
Расход газа	2,5 л/с
Дополнительные элементы	Стеклянная ёмкость — 1 шт.; конденсационный счётчик частиц TSI CPC Model 3775

Ход опыта и наблюдения:

При включении генератора произошла реакция абляции. С ростом мощности до 80 Вт появилось яркое голубое свечение с визуально оцениваемой цветовой температурой около 3700 К. Реакция протекала стабильно и визуально наблюдалась по всей площади контактов.



[Иллюстрация 4 — Фотография хода опыта 4: голубое свечение (~3700 К) в стеклянной ёмкости закрытого типа при атмосфере аргона, мощность 80 Вт.]

Результаты:

На выходе системы по результатам набора данных был получен стабильный поток частиц со средним размером 42,5 нм, с производительностью в разы больше, чем по обычным электродуговым методам, и количеством частиц, близким к предыдущим опытам на воздухе. Размер и количество частиц оставались стабильными на протяжении 15-минутного опыта; было снято 5 замеров данных о полученных частицах. Конструкция, охлаждаемая потоком аргона, не перегревалась и сохраняла общую прозрачность.

Видеозапись эксперимента:

- https://disk.yandex.ru/i/1BQc9ga7BJIa8A

4.5. Опыт 5. Стеклянная ёмкость закрытого типа, атмосфера аргона, варьирование мощности, частоты питания и расхода газа

Параметры установки: аналогичны опыту 4; в ходе опыта повышали выходную мощность генератора до 300 Вт, изменяли частоту питания генератора в 2 раза и увеличивали расход аргона до 5 л/с.

Ход опыта, наблюдения и результаты:

Этап 5а. Частота питания генератора увеличена в 2 раза; мощность генератора — 100 Вт.

На выходе системы был получен стабильный поток частиц со средним размером 40 нм, аналогичным значению, полученному при мощности 80 Вт. На основании этих данных был сделан вывод о том, что изменение частоты питания генератора не воздействует на размер и выход частиц.

Этап 5б. Мощность генератора повышена до 300 Вт.

Цветовая температура сместилась в более холодный спектр, интенсивность световыхода возросла. На выходе был получен стабильный поток частиц со средним размером 12,5 нм с высокой эффективностью выхода. Размер и количество наночастиц оставались стабильными на протяжении 10-минутного опыта; было снято 3 замера полученных частиц.

Этап 5в. Расход аргона увеличен до 5 л/с; мощность генератора оставалась 300 Вт.

Средний размер частиц на выходе увеличился до 25 нм. При уменьшении расхода аргона до 2,5 л/с размер частиц вновь возвращался к 12 нм.

Вывод по опыту: метод показал себя как простой и эффективный способ изготовления однородных частиц Ti. Контроль размера наночастиц регулировкой мощности генератора при их создании в атмосфере аргона имеет решающее значение для управления их функциями, учитывая влияние квантово-размерных эффектов на каталитические, электрические, магнитные и оптические свойства. Кроме того, сужение распределения по размерам и повышение выхода частиц должно способствовать расширению области применения.

Видеозапись эксперимента:

- https://disk.yandex.ru/i/eOSaIgnX599-IQ

4.6. Сводная таблица условий и результатов опытов

Таблица 4 — Сводные условия и результаты опытов

Опыт	Конфигурация / атмосфера	Мощность	Газ и расход	Расстояние между контактами	Средний размер частиц	Длительность / число замеров	Ключевые наблюдения
1	Керамическая ёмкость открытого типа / внешний воздух	до 200 Вт	Открытая схема; расход не указан	не указано	широкий спектр 10–200 нм	3 сеанса по 1 мин	Белое свечение ~3000 К; газообразование; оплавление концов стержней, нагар; т-ра генератора ~40 °C

2	Стеклянная ёмкость закрытого типа / воздух	80 Вт	Воздух, 3,5 л/с	1 мм	42,5 нм	20 мин; число замеров не указано	Оранжевое свечение ~2700 К; производительность в 10 раз выше электродуговых методов; стабильный поток
3	Стеклянная ёмкость закрытого типа / воздух	300 Вт	Воздух, 3,5 л/с	1 мм	11,5 нм	10 мин; 3 замера	Смещение цветовой температуры в холодный спектр; производительность в разы выше электродуговых методов; продукт — TiO_2/TiN
4	Стеклянная ёмкость закрытого типа / аргон	80 Вт	Аргон, 2,5 л/с	2 мм	42,5 нм	15 мин; 5 замеров	Голубое свечение ~3700 К; количество частиц близко к воздушным опытам; стабильный поток
5а	Стеклянная ёмкость закрытого типа / аргон	100 Вт	Аргон, 2,5 л/с	2 мм	40 нм	не указано	Частота питания увеличена в 2 раза; размер и выход частиц не изменились
5б	Стеклянная ёмкость закрытого типа / аргон	300 Вт	Аргон, 2,5 л/с	2 мм	12,5 нм	10 мин; 3 замера	Смещение в холодный спектр; рост интенсивности световыхода; высокая эффективность выхода; продукт — Ti

5в	Стеклянная ёмкость закрытого типа / аргон	300 Вт	Аргон, 5 л/с → 2,5 л/с	2 мм	25 нм → 12 нм	не указано	Обратимый рост размера частиц при увеличении расхода аргона; возврат к 12 нм при снижении расхода до 2,5 л/с

5. АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ

Переход от открытой керамической к закрытой стеклянной ёмкости обеспечил более стабильные условия проведения опыта, позволил избежать перегрева конструкции и получить воспроизводимые значения среднего размера частиц. В опыте 1 реакция была вынужденно ограничена тремя минутными сеансами вследствие риска повреждения пластиковых элементов системы газоотбора при высоких температурах; этот фактор необходимо учитывать при планировании дальнейших экспериментов с высокими уровнями мощности в открытой конфигурации.

В воздушной атмосфере увеличение мощности генератора с 80 до 300 Вт сопровождалось уменьшением среднего размера частиц с 42,5 до 11,5 нм и смещением спектра свечения в более холодный диапазон. Аналогичная закономерность наблюдалась в атмосфере аргона: при 80 Вт средний размер составил 42,5 нм, при 300 Вт — 12,5 нм. Полученные данные подтверждают, что регулировка мощности генератора является основным инструментом управления размером наночастиц, что имеет принципиальное значение в контексте квантово-размерных эффектов, определяющих каталитические, электрические, магнитные и оптические свойства материала.

Изменение частоты питания генератора в 2 раза (при мощности порядка 100 Вт) не оказало заметного влияния на размер и выход частиц, что зафиксировано как самостоятельный вывод.

Увеличение расхода аргона с 2,5 до 5 л/с при мощности 300 Вт приводило к росту среднего размера частиц до 25 нм; при обратном снижении расхода до 2,5 л/с средний размер возвращался к 12 нм, что свидетельствует об обратимости данного эффекта. По авторской оценке, сужение распределения по размерам и повышение выхода частиц должно способствовать расширению области применения получаемых материалов.

В ходе опытов 2–5 производительность установки NASER при работе в режиме закрытой стеклянной ёмкости была зафиксирована как минимум в 10 раз превышающей производительность обычных электродуговых методов (опыт 2, мощность 80 Вт) и «в разы» большей в опытах 3, 4 и 5б. Вместе с тем метод позволяет получать частицы TiO_2/TiN и Ti без стадий разделения или последующего термического отжига, что, по авторской оценке, обеспечивает меньшие производственные затраты по сравнению с жидкостными химическими методами синтеза. Таким образом, при сопоставимой

газодинамической конфигурации метод NASER-абляции демонстрирует более высокую производительность относительно электродуговых аналогов при сохранении управляемости размерного распределения синтезируемых частиц.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Подтверждена принципиальная возможность синтеза наноструктур методом абляции титана высокочастотным излучением генератора NASER.

2. В опыте с открытой керамической ёмкостью при мощности до 200 Вт получено большое количество наночастиц с широким спектром размеров 10–200 нм; наблюдались активное газообразование, оплавление концов стержней и нагар при сохранении общей целостности стержней.

3. В закрытой стеклянной ёмкости в воздушной атмосфере при мощности 80 Вт получен стабильный поток частиц со средним размером 42,5 нм с производительностью, в 10 раз превышающей производительность обычных электродуговых методов.

4. Повышение мощности генератора в воздушной атмосфере с 80 до 300 Вт привело к уменьшению среднего размера частиц с 42,5 до 11,5 нм при сохранении стабильности выхода.

5. В атмосфере аргона при мощности 80 Вт получен стабильный поток частиц со средним размером 42,5 нм, при мощности 300 Вт — 12,5 нм; количество частиц было сопоставимо с результатами воздушных опытов.

6. Изменение частоты питания генератора в 2 раза не оказало влияния на размер и выход частиц в условиях проведённого опыта.

7. Увеличение расхода аргона с 2,5 до 5 л/с при мощности 300 Вт приводило к обратимому росту среднего размера частиц до 25 нм; при возвращении расхода к 2,5 л/с размер восстанавливался до 12 нм.

8. По авторской оценке, метод продемонстрировал высокую стабильность синтеза в течение 10–20 минут, энергетическую эффективность и перспективность масштабирования до промышленного уровня.

7. АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментальная работа выполнена в рамках визита в лабораторный комплекс МФТИ (г. Долгопрудный, Российская Федерация) 31 марта 2026 г. Видеоматериалы, фиксирующие ход каждого из пяти опытов, размещены в открытом доступе на платформе Яндекс.Диск по следующим адресам:

- Опыт 1 (видеозапись 1): https://disk.yandex.ru/i/SavZg3NNR_srKA

- Опыт 1 (видеозапись 2): https://disk.yandex.ru/i/yPf_0UwqPtH55Q
- Опыт 2: https://disk.yandex.ru/i/e6snA63btM9cxA
- Опыт 3: https://disk.yandex.ru/i/hJ6LhGGZAnAm_A
- Опыт 4: https://disk.yandex.ru/i/1BQc9ga7BJIa8A
- Опыт 5: https://disk.yandex.ru/i/eOSaIgnX599-IQ

Видеоматериалы доступны для независимой верификации наблюдавшихся эффектов абляции, характера свечения плазмы и работы системы газоотбора в условиях каждого опыта. Иных площадок апробации, публикаций или актов о внедрении в исходных документах не указано.

8. ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Синтез наноструктур методом абляции высокочастотным излучением рассматривается как потенциальный метод получения наночастиц в диапазоне от лабораторного до промышленного масштаба. Нанопорошки, полученные данным методом, по имеющимся данным обладают высококачественными физико-химическими свойствами по сравнению с традиционными методами синтеза. Синтез может быть непрерывным и быстрым, а варьирование технологических параметров позволяет управлять свойствами продукта, в том числе его каталитическими характеристиками.

Прямое превращение титановых прекурсоров в частицы TiO_2, TiN и Ti без стадий разделения или последующего термического отжига потенциально обеспечивает более низкие затраты по сравнению с жидкостными химическими методами. К управляемым параметрам процесса относятся: тип и состав прекурсоров, скорость и состав газовых потоков, реакционная атмосфера, температура реакции, мощность и частота питания генератора NASER. Показанное оборудование охарактеризовано как легко масштабируемое и пригодное для использования в простых технических условиях.

Для достижения полного промышленного потенциала метода определены следующие направления дальнейших исследований:

1. *Проектирование реакторов для масштабированного синтеза.* Задача: разработать конфигурацию реактора, обеспечивающую контролируемые гидродинамические условия нуклеации и роста частиц при переходе к производительным режимам, на основе понимания закономерностей испарения прекурсора и взаимодействия жидкости и частиц в процессе синтеза. Верификация: сопоставление распределений частиц по размерам при лабораторном и увеличенном масштабах с использованием системы принудительной откачки и регистрации параметров частиц, аналогичной применённой в данных опытах (TSI CPC Model 3775). Направление применимо к промышленному производству нанопорошков с чётко заданными характеристиками.

2. *Гомогенизация дефектности частиц при масштабировании.* Задача: установить режимы синтеза, при которых степень дефектности и концентрация примесей в наночастицах остаются однородными в объёме партии увеличенного масштаба; поскольку синтез наноструктур методом абляции предполагает мгновенное образование порошка, межчастичная вариабельность требует дополнительного исследования. Верификация: сравнительный анализ однородности партий, полученных при разных масштабах производства, по параметрам, регистрируемым системой откачки. Направление значимо для обеспечения воспроизводимых каталитических и оптических свойств конечного продукта.

3. *Разработка методов газоочистки и снижения энергопотребления.* Задача: разработать методы очистки или рециркуляции газов, образующихся в процессе синтеза, и создать охлаждаемые реакторные конфигурации, обеспечивающие низкое энергопотребление при сохранении производительности, продемонстрированной в опытах 2–5. Верификация: измерение состава и объёма газовых выбросов в условиях, аналогичных проведённым опытам; сопоставление энергозатрат различных реакторных схем. Направление связано с задачами энергетической эффективности и снижения экологической нагрузки при масштабировании.

4. *Диверсификация прекурсоров для получения гетероструктурированных наночастиц.* Задача: синтезировать гетероструктурированные наночастицы с введением в процесс абляции тугоплавких металлов — вольфрама (W), рения (Re), молибдена (Mo), ниобия (Nb), гафния (Hf), ванадия (V), — а также более легкоплавких: золота, никеля, железа. Верификация: регистрация размера и стабильности потока частиц методом, применённым в данных опытах (конденсационный счётчик частиц TSI CPC Model 3775), для каждого нового типа прекурсора. Направление ориентировано на расширение номенклатуры синтезируемых материалов для каталитических и электронных применений.

5. *Получение наноструктур для высокотемпературной электроники.* Задача: освоить управляемый синтез нанопорошков вольфрама, оксида гафния и оксида алюминия с заданным распределением по размерам в количествах, достаточных для изготовления прототипных структур. Верификация: изготовление и тестирование прототипных архитектур типа «верхний слоя вольфрам — керамика из оксида гафния посередине и графен снизу» (по модели, описанной в работе исследователей Калифорнийского университета, Цзянь Чжа и др.) при температурном режиме до 700 °C. Направление нацелено на возможность серийного производства высокотемпературной электроники при условии доступности промышленных объёмов соответствующих нанопорошков.

ОТЧЁТ О ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

Тема: Получение наноструктур методом абляции титана высокочастотным излучением от нанометрового генератора

Авторы:

Сенкевич Александр Павлович

Тоцкий Илья Яковлевич

Прохоренко Илья Николаевич

Место проведения: Лабораторный комплекс МФТИ, Российская Федерация, г. Долгопрудный

1. ВВЕДЕНИЕ

Квантовый генератор представляет собой устройство, генерирующее электромагнитные колебания, совпадающие по частоте и фазе. Классификация таких устройств осуществляется по диапазону длин волн излучения: микроволновой диапазон (мазер), оптический (лазер), рентгеновский (разер), гамма-диапазон (газер) и нанометровый (назер).

В 2011 году российским учёным А.В.Пастуховым была начата разработка прототипа квантового генератора нового типа. По результатам проведённых научно-исследовательских работ в 2021 году компанией NASER Technology был создан квантовый генератор нового поколения, получивший наименование **NASER** — *Nanowave Amplification By Stimulated Emission of Radiation*. NASER принципиально отличается от известных квантовых генераторов простотой технической реализации, не требующей высоких энергий и низких температур: устройство функционирует на основе простых электрических схем и обеспечивает получение электромагнитного излучения большой мощности в нанометровом (рентгеновском, 0,46 нм) диапазоне. На устройство получен патент РФ на изобретение.

Принципиальным преимуществом метода абляции на основе NASER является возможность управления размером синтезируемых частиц в диапазоне от 11,5 до 42,5 нм посредством регулировки мощности генератора, без необходимости последующего

термического отжига и сложных процессов разделения, что потенциально обеспечивает меньшие затраты по сравнению с жидкостными химическими методами. По результатам проведённых опытов производительность установки при получении наночастиц в режиме закрытой ёмкости была оценена как минимум в 10 раз превышающей производительность обычных электродуговых методов. Управляемое получение наночастиц TiO_2/TiN и Ti с различной морфологией и заданным диапазоном размеров представляет практический интерес для применения в фотокатализе — с использованием солнечного излучения как источника энергии — а также для создания высокотемпературной электроники, в том числе мемристорных структур, рассчитанных на работу при температурах до 700 °C.[2]

Цель работы: наблюдение реакции абляции титана и удержания плазмы, из которой нагнетанием газовых потоков формируются наночастицы; определение их размера и среднего выхода.

Объект исследования: титановые стержни, подвергаемые воздействию излучения генератора NASER.

Предмет исследования: влияние конфигурации реакционной ёмкости, мощности генератора, состава газовой среды, расстояния между контактами, частоты питания и расхода газа на размер и выход формируемых наночастиц.

Тема работы: преобразование электрической энергии в синтез наноструктур методом абляции высокочастотным излучением.

2. ОБОРУДОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

В экспериментах использовалось следующее оборудование и материалы:

- квантовый генератор NASER;
- керамическая ёмкость открытого типа;
- стеклянная ёмкость закрытого типа с элементами удержания образцов и дополнительными вводами и выводами газа;
- система принудительной откачки исходящих газов для измерения количества и размера частиц;
- Газовая емкость с аргоном.

- стержни титановые, Ø 8 мм, лабораторные;
- провод медный многожильный, сечение жилы 0,2 мм.

Параметры реакционных ёмкостей, применявшихся в опытах, приведены в таблицах соответствующих подразделов.

3. МЕТОДИКА И ХОД ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Во всех опытах реакция абляции инициировалась включением генератора. После её начала фиксировались характер и интенсивность свечения (с визуальной оценкой цветовой температуры), а на выходе системы принудительной откачки регистрировались размер и количество получаемых частиц.

Последовательность опытов строилась по принципу поэтапного изменения конфигурации реакционной ёмкости, газовой среды, мощности генератора, расстояния между контактами, частоты питания и расхода газа. Ниже приведены условия и результаты каждого опыта.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ

4.1. Опыт. Стеклянная ёмкость закрытого типа, атмосфера аргона, мощность 80 Вт

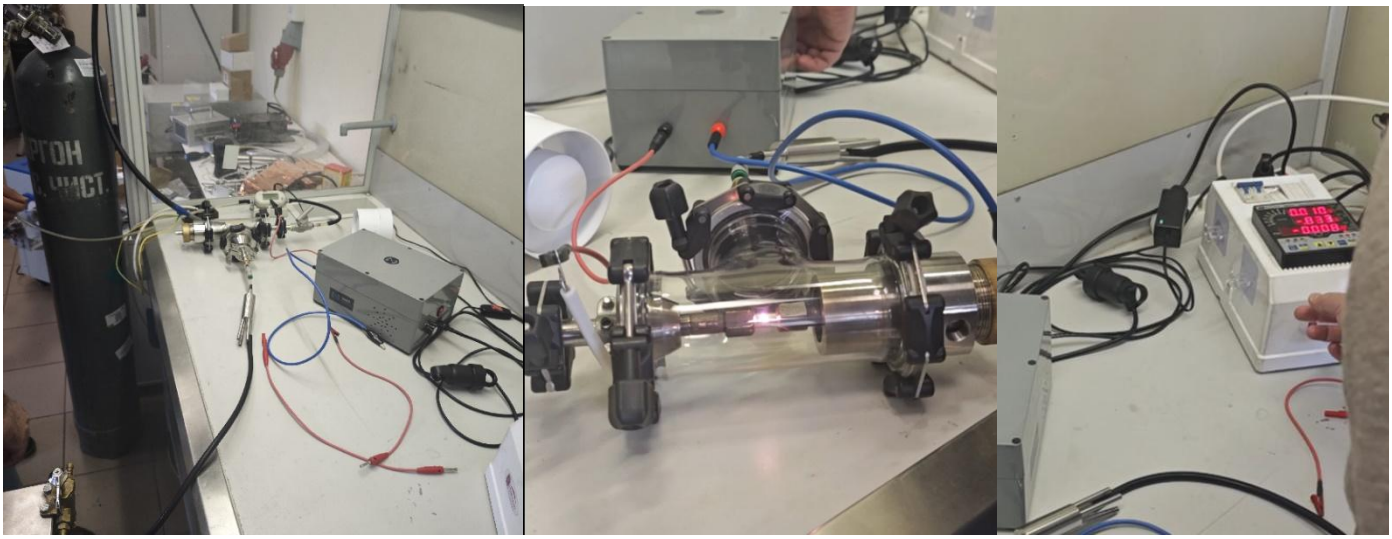
Параметры установки (Таблица 1):

Параметр	Значение
Вес ёмкости	800 г
Ширина	80 мм
Длина	300 мм
Электрические параметры	10 А / 220 В

Материал стержней	Титан, Ø 8 мм (лабораторный)
Атмосфера	Аргон
Материал провода	Медь (многожильный), 0,2 мм
Расстояние между контактами	2 мм (увеличено относительно опытов 2–3)
Расход газа	2,5 л/с
Дополнительные элементы	Стеклянная ёмкость — 1 шт.; система принудительной откачки исходящих газов для измерения количества и размера частиц

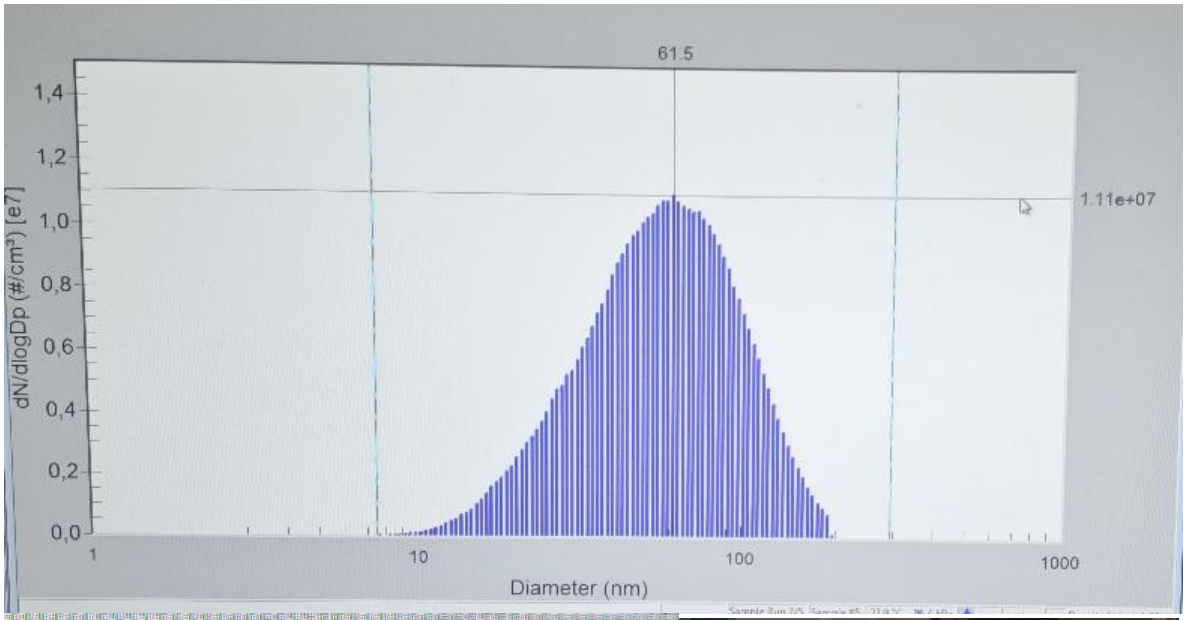
Ход опыта и наблюдения:

При включении генератора произошла реакция абляции. Появилось яркое голубое свечение с визуально оцениваемой цветовой температурой около 3700 К. Реакция протекала стабильно и визуально наблюдалась по выделенному каналу площади контактов.



[Иллюстрация 1 — Фотография хода опыта: голубое свечение (~3700 К) в стеклянной ёмкости закрытого типа при атмосфере аргона]

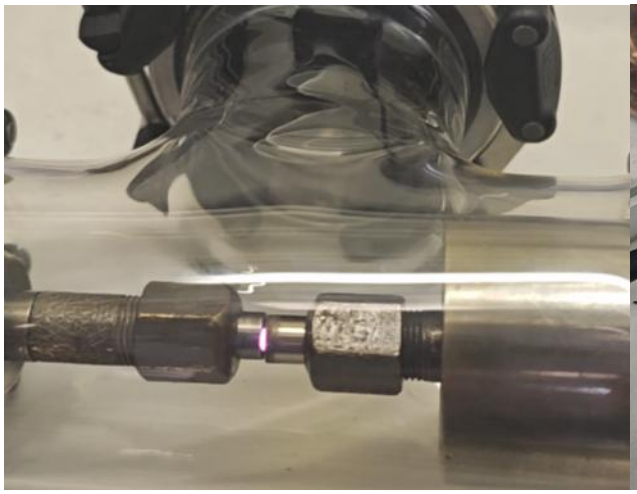
Результаты:



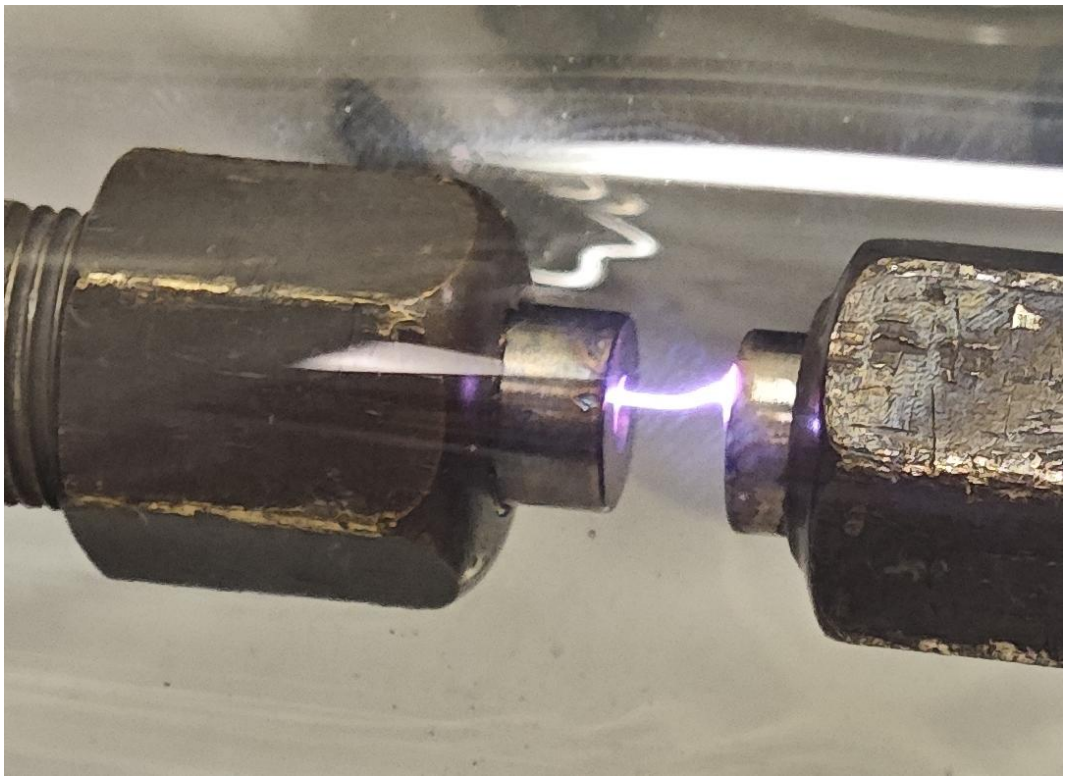
Statistics Table [2026_04_16.S80]

	Number Particle Size
Median (nm)	68.7
Mean (nm)	75.9
Geo. Mean (nm)	66.6
Mode (nm)	73.7
Geo. St. Dev.	1.69
Total Conc.	9.70e+06(#/cm?)









Серия экспериментов – газовая среда аргон

Расстояние между контактами, мм	Мощность на ваттметре	Среднее значение пика размера частиц нм.	Оценочное кол-во частиц. *10^5	Время фиксации
2	8	25	6	10:49
2	20	61,6	68,2	10:59
2	32	73,7	97	11:03
2	32	70	73	11:07
1	20	23	9,78	11:14
1	20	20	3,92	11:15
2	9	17	14,5	11:32
2	8	16,3	7,9	11:34
2	24	20,2	11	11:40
2	24	19	11,2	11:45
2	35	20,2	21,1	11:49
2	46	44,5	58	12:00
4	9	14,1	12,5	12:13
4	9	14,1	6,7	12:16
4	24	20	8,78	12:25
4	34	30	35,3	12:32
4	44	40	55,7	12:36

6	8	12,6	13,6	12:48
6	9	14	8,98	12:51
6	9	14,6	7,28	12:52
6	9	14,6	3,4	12:56
6	24	20	9,37	13:02
6	24	24,1	17,2	13:04
6	24	31,1	36,8	13:09
6	43	35	42	13:13

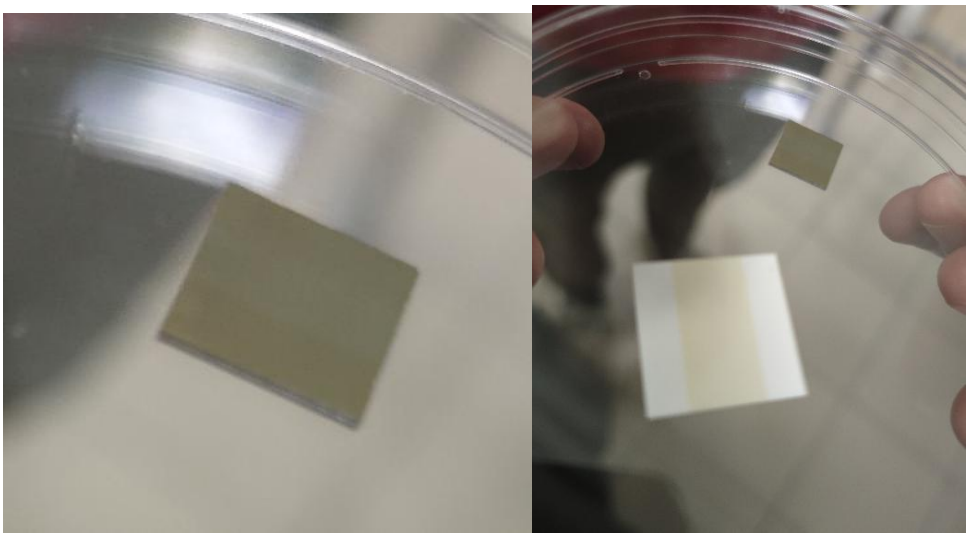
Серия экспериментов – на изменение давления газа.

Расстояние между контактами, мм	Мощность на ваттметре	Давление атм.	Среднее значение пика размера частиц нм.	Оценочное кол-во частиц. *10^5	Время фиксации
6	43	1,3	нет		13:23
2	43	1,12	25,9	25,8	13:37
2	43	1,12	32,3	28,5	13:39
2	43	1,12	34	32,5	13:41
2	43	1,12	35,9	25	13:44
2	43	1,3	20	8	13:49
2	43	1,3	20	14,6	13:51
2	43	1,2	25,9	22,5	13:58
2	43	1,2	25,9	19,9	14:00
2	43	1,2	19,5	7,31	14:09
2	43	1,2	19,5	9,47	14:10
2	43	Аргон 0,3	19,5	15,5	14:20
2	43	Аргон 0,5	19,5	14,5	14:29
2	43	Аргон 1	19,5	13,1	14:33

Произвели установку керамической и кремниевой пластин, вернули исходные данные и аргоновую среду

Расстояние между контактами, мм	Мощность на ваттметре	Среднее значение пика размера частиц нм.	Оценочное кол-во частиц. *10^5	Время фиксации
3	68	25	26.1	16:04
3	68	34,5	39.1	16:23

Время набора 1 час, с 16:04 до 17:09



На пластинах визуально наблюдаются изменение в цвете и появление пленки из более темного материала.

По результату общих измерений прозвали измерение потере массы на катодах результат 0,012 г на одном и 0,008 г на втором.



По результатам катоды визуально остались целыми и не деформированными.

Материалы фотофиксации результатов с временной привязкой.

https://disk.yandex.ru/d/FFVZoy9VaAUZAQ

NASER Technology
тел: +7 499 705 11 65
веб: https://naser.tech
почта: info@naser.tech