Тезисы для конференции «Печатная и гибкая электроника-2026»

Ниже представлены тезисы, отправленные сотрудниками NASER Technology для участия в конференции «Печатная и гибкая электроника-2026». Конференция проходила в МФТИ 22–26 июня 2026 года. Публикация материалов конференции находится на стадии подготовки организаторами.

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

Новый метод получения наночастиц титана путём абляции излучением нанометрового диапазона

А.П. Сенкевич[1], А.Н. Патарашвили[1], И.Я. Тоцкий[2], И.Н. Прохоренко[2]

[1]МФТИ, Физтех, 141700, Долгопрудный, Московская область, Институтский пер., д.9

[2]NASER Technology (ИП Тоцкий И.Я.), 108811, Москва, МО Внуково, ул. Шекспира, 34с8

New method of obtaining titanium nanoparticles through ablation by nanometer-range radiation

A.P. Senkevich[1], A.N. Patarashvili[1], I.Y. Totsky[2], I.N. Prokhorenko[2]

[1]MIPT, PHYSTECH, 141700, Dolgoprudny, Moscow region, Institutsky per., 9

[2]NASER Technology (IP Totsky I.Y.), e-mail: info@naser.tech

Наночастицы металлов, в том числе титана, представляют интерес для задач печатной электроники, где они используются для формирования функциональных и проводящих слоёв с контролируемой морфологией и размерным распределением. Для их получения широко применяется метод синтеза в импульсном газовом разряде [1]. Этот подход обеспечивает характерные размеры частиц около 5–10 нм и их агломератов около 100 нм, причём для их уменьшения возможно использовать различные способы, например охлаждение до -183°C [2]. Данный способ обладает ограниченным выходом наночастиц и высоким энергопотреблением, которое может достигать 1,2 кВт для рабочих задач по печати электроники. Из-за импульсного нагрева газового промежутка, приводящего к микровзрывам на поверхности электродов, этот метод приводит к образованию не только наночастиц, но и крупных выплесков и сколов размером более 1 мкм, что приводит к снижению эффективности использования материала. В этой связи актуальна разработка компактных и энергоэффективных методов газофазного получения наночастиц титана, пригодных для интеграции в технологические линии печатной электроники.

Целью данной работы является экспериментальная демонстрация и первичная оценка нового метода получения наночастиц титана в газовой среде путём фотоабляции титановых электродов излучением нанометрового диапазона, генерируемым устройством NASER, а также сравнение характеристик наночастиц и энергоэффективности процесса с ранее применявшимся методом импульсного газового разряда.

В качестве ключевого элемента использован генератор электромагнитного излучения нанометрового диапазона производства компании NASER Technology [3]. Конструкция генератора отличается простотой (рис.1а) и позволяет легко интегрировать устройство в существующие лабораторные установки. В экспериментальной схеме генератор NASER подключался к паре титановых электродов с зазором 1−6 мм в среде аргона с расходом 0,5 л/мин при давлении 1−1,5 бар (рис.1б). При включении генератора наблюдалась фотоабляция титановых электродов с формированием в объёме реактора плазменного потока. Энергопотребление генератора в исследованных режимах составляло 40–200 Вт.

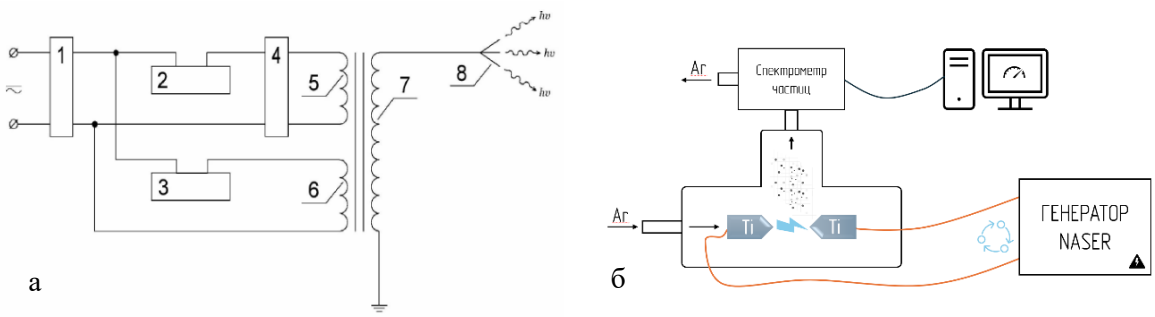


***Рисунок 1**. Схема генератора NASER (а); принципиальная схема экспериментальной установки для получения наночастиц (б).*

Образующиеся наночастицы регистрировались спектрометром наночастиц TSI CPC Model 3080, измеряющим газодинамический размер и концентрацию частиц в потоке газа. Для анализа морфологии часть образцов отбиралась на подложки и исследовалась методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ).

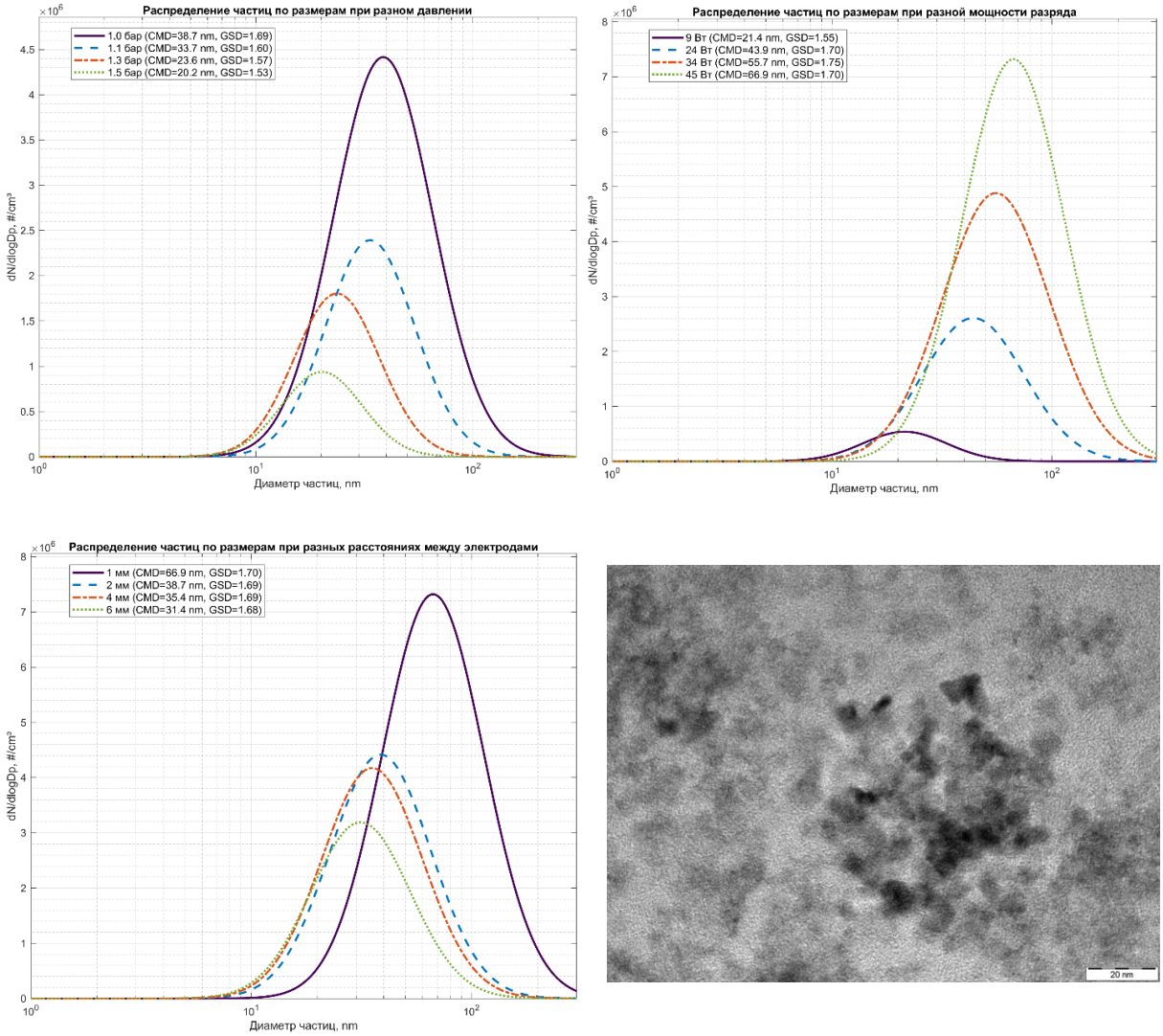


***Рисунок 2**. Графики распределения частиц по размерам в зависимости от давления (а), мощности генератора (б) и расстояния между электродами (в); ПЭМ-изображение полученных частиц в агломерате (г).*

Полученные спектры наночастиц показали поток агломератов размером 22,7−76,5 нм с концентрацией $1 \cdot 10^6$–$9{,}74 \cdot 10^6$ ед./см^3 и достаточно узким распределением по размерам (рис. 2а-в). Оба параметра показали прямую зависимость от мощности генератора, зазора между электродами и давления газа: чем выше была мощность, меньше зазор и ниже давление, тем крупнее и с более высокой концентрацией получались наночастицы.

По данным ПЭМ установлено, что полученные первичные наночастицы имеют преимущественно околосферическую форму, а наблюдаемые агломераты состоят из наночастиц с характерным размером порядка 5 нм (рис. 2г).

По результатам серии экспериментов можно сделать следующие выводы: данный метод применим для получения наночастиц титана в среде аргона с низким энергопотреблением; большое расстояние между электродами увеличивает долю энергии, которая расходуется на нагрев газа между электродами; более высокая мощность приводит к более интенсивному испарению материала; более высокое давление увеличивает потери на нагрев газа в межэлектродном промежутке. С инженерной точки зрения ключевым преимуществом рассматриваемого подхода является сочетание компактности и конструкционной простоты генератора NASER с его низким энергопотреблением. В совокупности с газовой средой аргона это создаёт условия для эффективной фотоабляции титановых электродов и газофазного образования наночастиц с меньшими характерными размерами и более узким размерным распределением по сравнению с импульсным газовым разрядом. Перспективными направлениями дальнейшей оптимизации являются выбор специальных малочувствительных к абляции материалов конструкционных элементов установки для исключения загрязнения продукта, изменение конфигурации электродов, а также уточнение режимов работы генератора NASER (ток, напряжение, длительность экспозиции) с учётом требований к селективности и стабильности процесса.

Полученные результаты носят методологический характер и демонстрируют перспективность применения нового метода синтеза металлических наночастиц, пригодных для задач печатной электроники. На основе проведённой серии экспериментов планируется подготовка и публикация научной статьи, в которой будут детально рассмотрены параметры процесса, структурные характеристики наночастиц и возможности масштабирования метода и его интеграции в существующие технологические схемы.

Литература

[1] Tabrizi N.S., Ullmann M., Vons V.A., Lafont U., Schmidt-Ott A. Generation of nanoparticles by spark discharge // J. Nanoparticle Res. 2009 V. 11: 315–332.

[2] Kornyushin D., Musaev A., Patarashvili A., Buchnev A., Arsenov P., Ivanov M., Vershinina O., Kameneva E., Volkov I., Efimov A. et al. Effect of the Gas Temperature on Agglomeration of Au Nanoparticles Synthesized by Spark Discharge and Their Application in Surface-Enhanced Raman Spectroscopy // Metals 2023 V. 13: 301.

[3] Пат. RU2832489C2 УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НАНОМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА