

**ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ В ПЛАЗМЕ ДУГОВОГО  
РАЗРЯДА**

П.В. Космачев<sup>1</sup>,

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. В.А. Власов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,

Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, 634003

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: [pvkosm@gmail.com](mailto:pvkosm@gmail.com)

**SILICON DIOXIDE NANOPOWDER OBTAINING WITH THE USE OF ARC DISCHARGE  
PLASMA**

P.V. Kosmachev<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Prof., Dr. V.A. Vlasov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk State University of Architecture and Building, Russia, Tomsk, Solyanaya sq., 2, 634003

<sup>2</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: [pvkosm@gmail.com](mailto:pvkosm@gmail.com)

**Abstract.** *The paper shows the plasma process for the obtainig of nanodispersed silicon dioxide powder from high silica raw materials of Russian fields, such as diatomite of Kamyshlovsk deposit (Sverdlovsk region), the quartzite of Chupinsk deposit ( Republic of Karelia), quartz sand of Tugansk deposit (Tomsk region). A unique plasma plant based on the arc of the plasma torch is used for the obtaining of silica nanopowders. To study the morphology of the nano-dispersed product obtained using the method of transmission electron microscopy. Synthesized agglomerated nanoparticles have a spherical shape and size distribution in the range of 10-300 nm.*

В настоящее время актуальным является получение нанопорошков оксидов. Одним из наиболее востребованных среди них является наноразмерный диоксид кремния, который получают различными методами: механохимическим [1], золь-гель [2], электронно-лучевым [3,4], пиролиза [5] и другими. Среди перечисленных методов рядом преимуществ обладает плазменный способ получения нанопорошков. Главным преимуществом плазмохимического способа является отсутствие температурных ограничений, которые характерны для всех остальных технологий, что позволяет интенсифицировать физико-химические процессы и обеспечивает создание продуктов требуемого химического состава, агрегатного состояния и форморазмеров. Реакции происходят с высокой скоростью, что обуславливает высокую производительность плазменных реакторов [6].

Целью работы являлось получение наноразмерного порошка диоксида кремния из высококремнеземистого природного сырья при помощи энергии низкотемпературной плазмы дугового разряда и проведение микроскопических исследований полученных продуктов.

Для получения нанопорошка SiO<sub>2</sub> использовалась экспериментальная плазменная установка (Рис. 1), которая состоит из: генератора низкотемпературной плазмы электродугового разряда (плазмотрона) 1, инициирующего плазменную дугу 2 внутри водоохлаждаемого реактора 3. На дне реактора расположен

графитовый тигель 4. В боковую стенку реактора через отверстие вмонтировано устройство подачи 5, состоящее из шнекового дозатора и электропривода. Сырьевой материал подается через воронку. Под действием плазмы ( $T=3\div 5\cdot 10^3$  К) сырье сублимируется и переходит в газовую фазу, которая проходит через теплообменник в циклон, где оседает более крупная фракция. Целевой продукт осаждается в электрофильтре 8, расположенном после циклона. Вентилятор 9 направляет поток газовой фазы в системе.

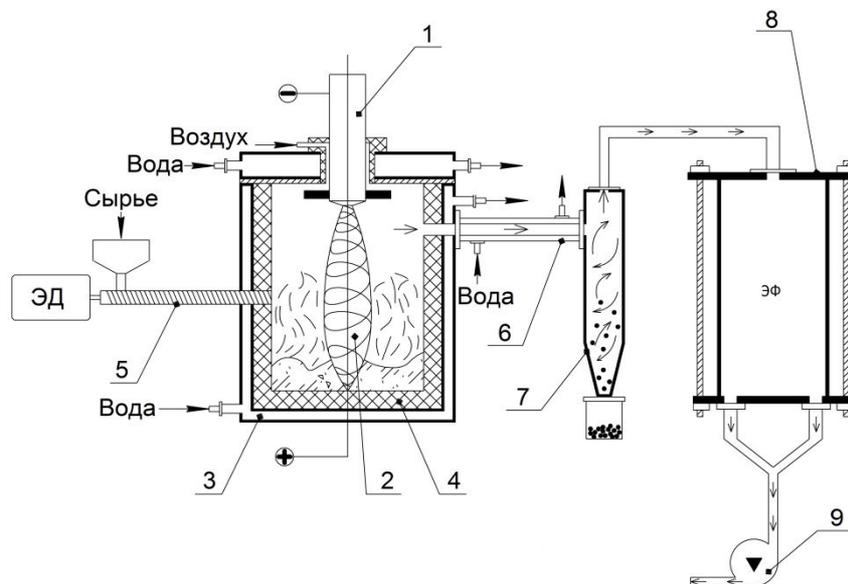


Рис. 1. Схема плазменной установки для получения нанопорошков: 1 – плазматрон, 2 – дуга, 3 – графитовый анод, 4 – водоохлаждаемый реактор, 5 – устройство подачи сырья, 6 – теплообменник, 7 – циклон, 8 – электрофильтр, 9 – вентилятор

Принцип действия установки основан на процессах плавления, испарения и сублимации сырьевого материала под действием плазменного потока ( $3000-5000^{\circ}\text{C}$ ) и последующей конденсации образуемых паров в виде наночастиц целевого продукта на охлаждаемой поверхности [7,8].

В работе были использованы сырьевые материалы природного происхождения из российских месторождений, таких как диатомит Камышловского месторождения в Свердловской области, кварцит Чупинского месторождения в республике Карелия, кварцевый песок Туганского месторождения в Томской области.

Полученный на плазменной установке нанопорошок исследовали на просвечивающем электронном микроскопе СМ 12 (Philips, Нидерланды), 120 кВ. По результатам микроскопических исследований (Рис. 2) установлено, что полученные продукты имеют сферическую форму, полидисперсны, а диаметр наночастиц лежит в диапазоне 10-300 нм. Результаты исследования продуктов плазменного синтеза методом просвечивающей электронной микроскопии представлены на рисунке 2.

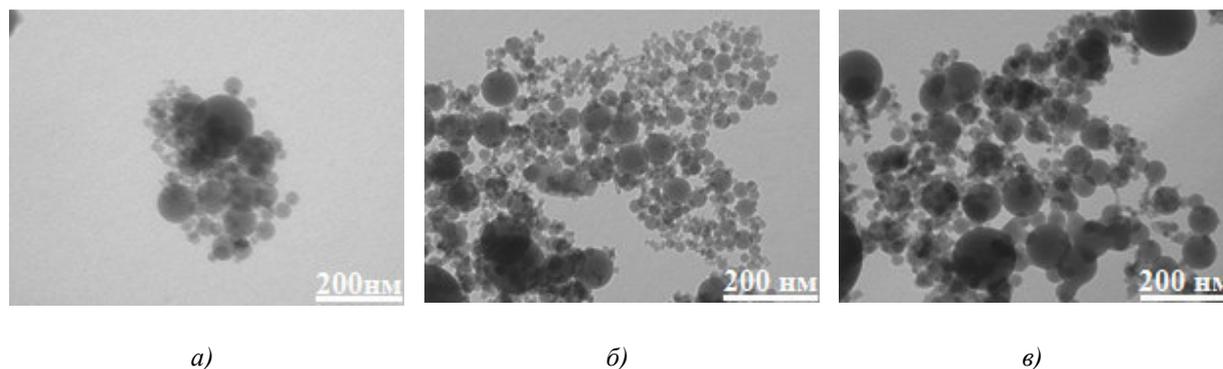


Рис. 2. ПЭМ-изображения полученных нанопорошков диоксида кремния из различного сырья: а) кварцита, б) кварцевого песка, в) диатомита

Таким образом, проведенные исследования показали возможность применения природных высококремнеземистых материалов в качестве сырья для плазменной технологии получения наноразмерного порошка диоксида кремния. Установлено, что синтезированные плазменным способом наночастицы подвержены сильной агломерации, имеют сферическую форму, с диаметрами в диапазоне от 10 до 300 нм. Полидисперсность нанопорошка является конкурентным преимуществом в случае его применения в качестве модифицирующей добавки для изготовления строительных материалов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шабанова Н.А., Саркисов П.Д., Основы золь-гель технологии нанодисперсного кремнезема. – М: Академкнига, 2004. – 207с.
2. Rahman I.A., Vejayakumaran P., Sipaut C.S. et al., An optimized sol-gel synthesis of stable primary equivalent silica particles // Colloids and Surfaces, A, – 2007. – V. 294.– No. 1–3.– P. 102–110
3. Бардаханов С.П., Корчагин А.И., Куксанов Н.К., и др., Применение мощных ускорителей электронов типа ЭЛВ для получения нанопорошков // Problems of atomic science and technology. Series: Nuclear Physics Investigations – 2008. – V.50. – № 5. – P.165-168.
4. Сазонов Р.В., Холодная Г.Е., Пономарев Д.В., Кайканов М.И., Импульсный плазмохимический синтез ультрадисперсного диоксида кремния из металлоорганического прекурсора // Изв. вузов. Физика 6/2. – 2012. – Т.55. – С. 72–76.
5. Gröhn A.J., Pratsinis S.E., Sanchez-Ferrer A. et al. Scale-up of Nanoparticle Synthesis by Flame Spray Pyrolysis: The High-Temperature Particle Residence Time // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2014. – V. 53. – P.10734–10742
6. Синтез дисперсных металлооксидных материалов. Книга 2. Плазмохимический метод получения оксидов титана и циркония / Под ред. Т.Д. Малиновской. – Томск: Изд-во НТЛ, 2014. –168 с.
7. Пат. 2588208 РФ, МПК C01B 33/18, B28B 3/00. Способ получения нанопорошка диоксида кремния / В.А. Власов, П.В. Космачев, Н.К. Скрипникова, Г.Г. Волокитин, О.Г. Волокитин, Безухов К.А. Заявлено 23.04.2015; Опубл. 27.06.2016, бюл. № 18. – 5 с.: ил
8. Kosmachev P., Vlasov V., Skripnikova N., Technological aspects of obtaining SiO<sub>2</sub> nanoparticles // AIP Conf. Proc. – 2017.– V. 1800.– P.020016-1–020016-5