



Строительные материалы и изделия Construction Materials and Products

ISSN
2618-7183

journal homepage: <https://bstu-journals.ru>

DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-5-80-90



Плазменная технология получения аморфного диоксида кремния

Кашапов Н.Ф.¹, Ямалеев М.М.*¹, Лукашкин Л.Н.¹, Гребенщиков Е.А.¹,
Гилев И.Ю.¹, Кашапов Р.Н.¹, Кашапов Л.Н.¹

¹ Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия

**Ответственный автор E-mail: m1959@yandex.ru*

Аннотация: одним из наиболее перспективных направлений производства является аддитивные технологии построения, в частности порошковая 3D-печать. Целью работы является создание плазмохимического метода получения аморфного диоксида кремния, удовлетворяющего по своим характеристикам для использования аддитивных технологиях построения изделий, а также в колонках применяемых а высокоэффективной жидкостной хроматографии – одного из наиболее распространенных методов изучения, а также контроля окружающей среды и продуктов производства. Одно из основных требований к частицам – это наличие пористой структуры, поверхность которой имеет химически связанную или физически покрытую активную фазу, используемую для разделения. Разработана опытная установка получения аморфного кремнезема, особенностью которой являлась возможность быстрой и непрерывной подачи прессованных брикетов, а не порошкового материала как было ранее. Проведенные исследования показали, что разработанный плазмохимический процесс, реализуемый в условии испарения брикетов, состоящих на 70% из песка и 30% кокса достаточно эффективен для получения наночастиц оксида кремния размером менее 200 нм. Разработанный метод получения наночастиц необходимо дополнительно исследовать на способность получения наночастиц размером менее 20 нм, это так необходимо для получения удельной площади поверхности 200 м²/г, что даст возможность изготавливать из данного сырья частицы носителя неподвижной фазы колонки высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Ключевые слова: аддитивные технологии, жидкостная хроматография, плазмохимический метод, аморфный диоксид кремния, колонка, кремнезем, брикет, реактор, наночастицы, частицы носителя неподвижной фазы

Для цитирования: Кашапов Н.Ф., Ямалеев М.М., Лукашкин Л.Н., Гребенщиков Е.А., Гилев И.Ю. Кашапов Р.Н., Кашапов Л.Н. Плазменная технология получения аморфного диоксида кремния // Строительные материалы и изделия. 2022. Том 5. № 5. С. 80 – 90. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-5-80-90

Development of a plasma-chemical method for producing amorphous silicon dioxide nanoparticles

Kashapov N.F.¹, Yamaleev M.M.*¹, Lukashkin L.N.¹,
Grebenschikov E.A.¹, Gilev I.Yu.¹, Kashapov R.N.¹, Kashapov L.N.¹

¹ Kazan (Volga region) Federal University, Russia

*Corresponding author E-mail: m1959@yandex.ru

Abstract: one of the most promising areas of production is additive technologies of building, in particular powder 3D printing. The aim of the work is to create a plasma-chemical method of obtaining amorphous silicon dioxide, satisfying the characteristics for the use of additive technologies of building products, as well as in columns used in high performance liquid chromatography - one of the most common methods of study, as well as control of the environment and production products. One of the main requirements for particles is a porous structure with a surface that has a chemically bonded or physically coated active phase used for separation. Experimental installation for obtaining amorphous silica was developed, the feature of which was the possibility of rapid and continuous supply of pressed briquettes, rather than powdered material as it was previously. Studies have shown that the developed plasma-chemical process implemented in the condition of evaporation of briquettes consisting of 70% sand and 30% coke is effective enough to produce silicon oxide nanoparticles smaller than 200 nm. The developed method of obtaining nanoparticles should be further investigated on the ability to obtain nanoparticles smaller than 20 nm, it is so necessary to obtain the specific surface area of 200 m²/g, which will make it possible to produce from this raw material particles of the fixed phase carrier column of high-performance liquid chromatography.

Keywords: additive technology, liquid chromatography, plasma chemical method, amorphous silicon dioxide, column, silica, briquette, reactor, nanoparticles, fixed phase carrier particles

Please cite this article as: Kashapov N.F., Yamaleev M.M., Lukashkin L.N., Grebenshikov E.A., Gilev I.Yu., Kashapov R.N., Kashapov L.N. Development of a plasma-chemical method for producing amorphous silicon dioxide nanoparticles. Construction Materials and Products. 2022. 5 (5). P. 80 – 90. DOI: 10.58224/2618-7183-2022-5-5-80-90

ВВЕДЕНИЕ

Аморфный диоксид кремния является крупнотоннажно производимым продуктом, используемым в различных отраслях промышленного производства:

- в производстве резин, силиконовых изделий для придания прочности и износостойчивости;

- в производстве полимеров, улучшения различных свойств;

- в фармацевтической промышленности, как сорбенты;

- в лакокрасочной промышленности как наполнители;

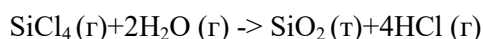
- в производстве строительных материалов, добавки в бетон, сухие смеси для улучшения свойств;

На конечные свойства изделий влияет качество исходного сырья – использование ультрадисперсных порошков в качестве сырья для селективного лазерного спекания/сплавления определяет точность получаемых изделий и их плотность. Для SLA, DLP, FDM и LCD-технологий ультрадисперсные металлические и керамические порошки позволяют увеличить плотность и

прочность спеченных керамических и металлических изделий, уменьшают количество необходимого связующего материала для получения изделий требуемой геометрии. Ультрадиспергирование размера частиц приводит к уменьшению отражения лазерного излучения, что позволяет использовать в 3D-печати новые материалы и ускорять процессы выращивания изделий [1-3].

Также создание порошков используемые в хроматографических колонках также является актуальной задачей. Хроматографические методы позволяют определить качественный и количественный состав органических веществ, включая летучие углеводороды и биологические жидкости. Фармацевтика, медицина, нефтеперерабатывающий комплекс, химическое производство и другие промышленные отрасли используют хроматографы для контроля качества сырья и готовой продукции, а также обеспечивают с их помощью соблюдение норм экологической безопасности [4-8].

Основными производственными площадками аморфного диоксида кремния являются компания Cabot (США), Evonik (Германия), Orisil (Украина). В России одна из компаний ООО «СИЛИКА» выпускающая аморфный диоксид кремния под маркой «Ковелос». Стоимость продукции (аэросила) марки 200 на сегодняшний день составляет от 550 до 3000 руб. за кг., в зависимости от фасовки и марки производителя. Классический способ производства диоксида кремния, применяемый на этих производствах – пламенный гидролиз тетрахлорида кремния по реакции:



В результате образуется аморфный кремнезем, обладающий высокой удельной поверхностью и хлороводород в качестве побочного продукта. Этот способ предполагает высокие затраты на получение четыреххлористого кремния, дополнительные стадии по отделению хлороводорода от основного продукта (деацидификацию), а также представляет опасность для экологии и человека. В последнее время начали активно развиваться методы плазмохимического синтеза материалов, это обусловлено возможностью получения высокочистых материалов при относительно низкой себестоимости процесса.

Плазмохимический способ должен выгодно отличаться от классического одностадийностью, простотой аппаратного оформления и невысокой стоимостью сырья. Создание плазмохимического метода получения аморфного диоксида кремния, удовлетворяющего по своим характеристикам для использования в колонках высокоэффективной жидкостной хроматографии, а также в порошковых аддитивных технологиях построения, является целью данной работы.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для проведения экспериментальных исследований была разработана опытная установка получения аморфного кремнезема, принципиальная схема которой представлена на рис. 1 [9]. Была проведена модернизация заключалась в быстрой и непрерывной подачи сырья путем использования механизма подачи не порошкового материала, а прессованных брикетов. Установка состояла из водоохлаждаемого плазмохимического реактора, футерованного графитом, водоохлаждаемой крышки с установленным в ней плазмотроном ВПР – 410. Нижняя часть реактора открыта и через нее осуществляется подача реагентов в виде спрессованного брикета. Плазмообразующий газ - воздух и технический азот.

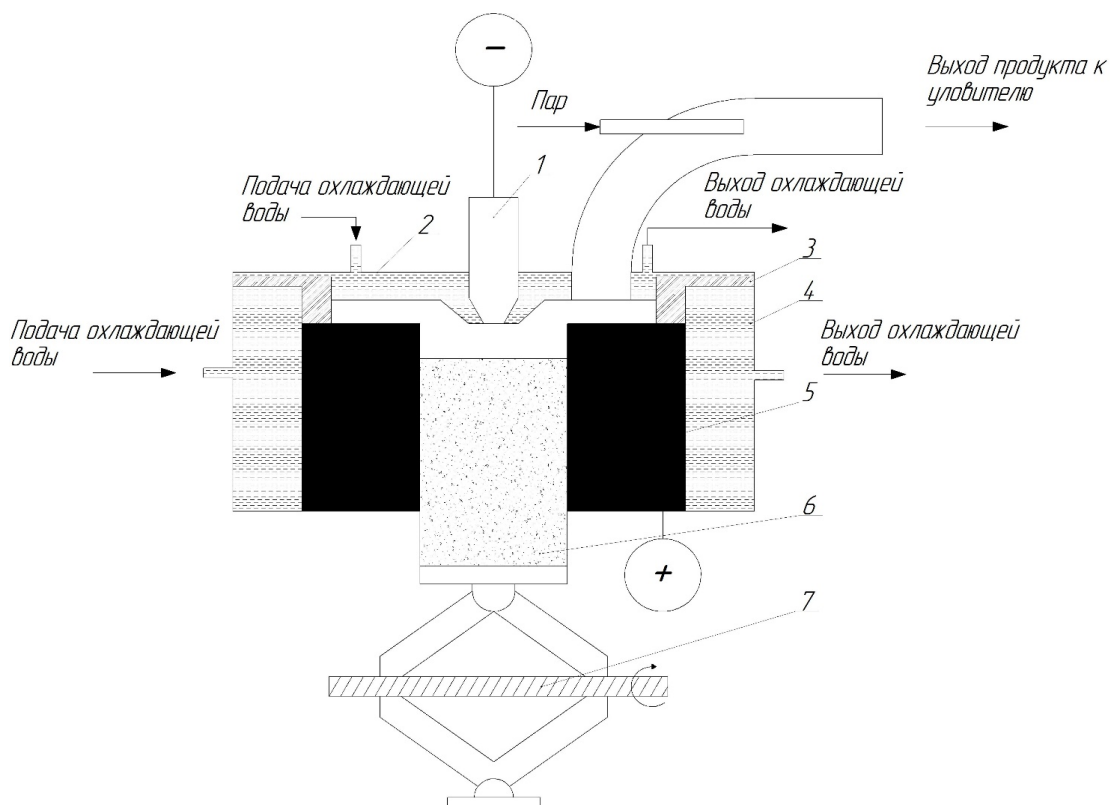


Рис. 1. Плазмохимический реактор. 1 – плазматрон ВПР-410, 2 – водоохлаждаемая крышка, 3 – изолятор на основе высокоглиноземистого цемента, 4 – водоохлаждаемый корпус реактора, 5 – графитовая футеровка, 6 – исходное сырье в виде брикета, 7 – устройство для подачи брикета в зону реакции

Fig. 1. Plasma-chemical reactor. 1 – plasmatron VPR-410, 2 – water-cooled lid, 3 – insulator based on high alumina cement, 4 – water-cooled reactor vessel, 5 – graphite lining, 6 – feedstock in the form of a briquette, 7 – device for feeding the briquette into the reaction zone

Анодом является корпус реактора. В качестве источника питания используется аппарат АПР-404, номинальной мощностью 100 кВт. Продукты реакции выводятся через газоотводную трубу. В газоотводной трубе на расстоянии 100 мм от выхода реактора расположено сопло для подачи водяного пара. Полученный диоксид кремния улавливался циклоном, конструкция которого представлена на рис. 2, а также методом термореципитации на холодную стенку. Схема реализации процесса термореципитации представлена на рис. 3. Перед циклоном для лучшего улавливания газопылевая смесь предварительно проходит через блок агломерации, в котором происходило формирование частиц за счет Ван-дер-Ваальсовых связей. Блок агломерации представляет собой трубу диаметром 100 мм и длиной 30 м, изготовленную из гофрированного алюминия.

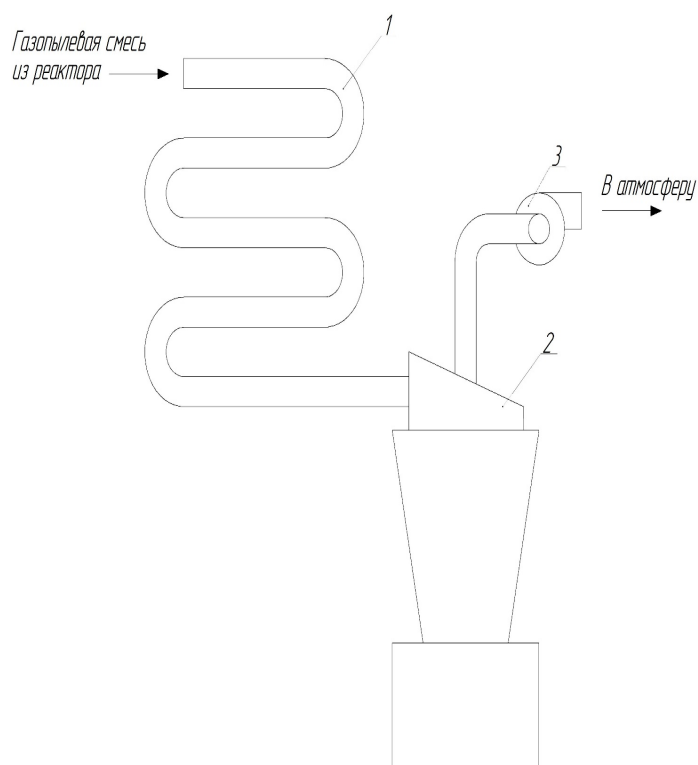


Рис. 2. Циклонный уловитель. 1 – агломератор, 2 – циклон, 3 – вентилятор высокого давления
Fig. 2. Cyclone catcher. 1 – Agglomerator, 2 – Cyclone, 3 – High-pressure fan

На конструкции узла конденсации и сбора продукта мы рассмотрим отдельно.

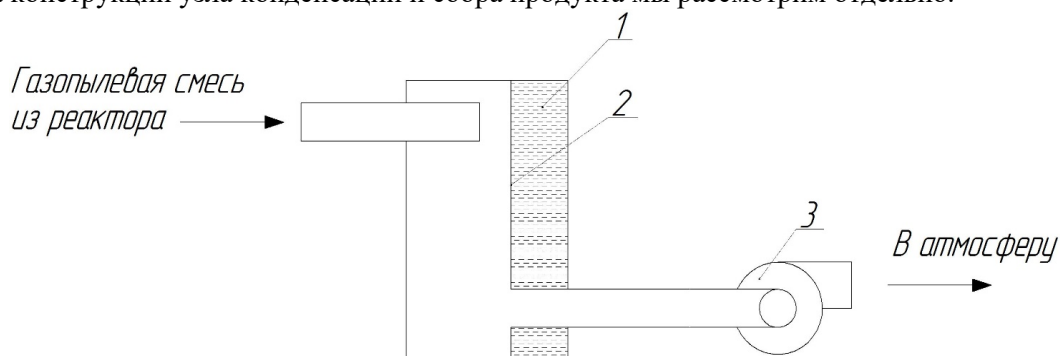


Рис. 3. Термопреципитационный уловитель. 1 – водоохлаждаемый корпус, 2 – холодная стенка, 3- вентилятор высокого давления
Fig. 3. Thermoprecipitation trap. 1 – water-cooled body, 2 – cold wall, 3 – high-pressure fan

Во время плазмохимического процесса контролировались следующие параметры – ток электрической дуги (стрелочный амперметр), падение напряжения на дуге (стрелочный вольтметр), температура газов выходящих из реактора (термопара T1, С С-type), температура пылегазовой смеси после закалки (T2, С термопара К-type), давление пара в парогенераторе (P1, Ваг стрелочный манометр), давление плазмообразующего газа (P2, Ваг стрелочный манометр). Пар подавался через сопла различного сечения – 1,5; 2; 2,5 мм.

Пересчет давления водяного пара и диаметра форсунки в единицы расхода производили по следующим формулам:

$$\frac{p_1 - p_2}{p_1} < F_y \cdot x_T \rightarrow$$

$$m_s = 2,73 \cdot C \cdot \left(\frac{d_o}{4.654} \right)^2 \cdot \left(1 - \frac{p_1 - p_2}{3F_y \cdot x_T} \right) \cdot \sqrt{(p_1 - p_2)} \cdot \rho$$

$$\frac{p_1 - p_2}{p_1} \geq F_Y \cdot x_T \rightarrow$$

$$m_s = 0.66 \cdot 2.73 \cdot C \cdot \left(\frac{d_o}{4.654}\right)^2 \cdot \sqrt{F_Y \cdot x_T \cdot p_1 \cdot \rho}$$

где p_1 – давление на входе абсолютное, p_2 – давление на выходе абсолютное, d_o – диаметр проходного сечения, C – коэффициент расхода, m_s – расход пара, ρ – плотность пара, F_Y – коэффициент соотношения теплоемкости, x_T – коэффициент дифференциального давления.

Полученные образцы порошка исследовались с помощью ВЕТ; Sorbi-MS на определение величина удельной поверхности, ИК-спектрометра TENSOR 27, энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра EDX-8100p, лазерного дифракционного анализатора Malvern Mastersizer 2000 (Malvern Instruments, Великобритания) для определения гранулометрического состава, и установки сканирующей автоэмиссионной электронной микроскопии Merlin.

В экспериментах использовались брикеты, фотография которых представлены на рис. 4. Состав брикетов рассчитывался с учетом необходимости уменьшения энергозатрат процесса. В качестве исходного сырья использовался кварцевый песок Ташлинского ГОКа, Ульяновской области, химический состав которого представлен в табл. 1. В качестве восстановителя использовали кокс Губахинского Коксохимического завода. (табл. 1). Исходные компоненты прессовали в брикеты в соотношении песок/ кокс – 70%/30% по массе с избытком кокса относительно стехиометрии (стехиометрия песок/кокс – 83,33%/16,67%), в качестве связующего использовали жидкое стекло или крахмал. Диаметр брикета 100 мм, высота – 200 мм., вес 1,8 кг. Брикет был запрессован при давлении 10 кг/см² и в верхней части брикета графитовый электрод. Соотношение 70%/30% было выявлено из стехиометрического расчета. Расчет производился исходя из необходимости условия образования в реакторе монооксида кремния SiO, температура сублимации которого меньше чем у SiO₂ что необходимо для уменьшения энергозатрат. Отсутствие в составе углерода приводило к плавлению кварцевого песка с образованием диэлектрического изолятора и остановке плазмохимического процесса горения дугового разряда. Добавление кокса позволяет проводить процесс при меньшей температуре и наблюдается непосредственный переход материала в газовую фазу. Для определения влияния хлора на степень гидроксидирования поверхности кремнезема в ряде экспериментов в брикет добавляли хлорид натрия NaCl, хлорид аммония NH₄Cl и соляную кислоту HCl в парогенератор [10, 11].

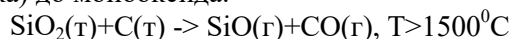


Рис. 4. Сырье, спрессованное в брикет
Fig. 4. Raw material compressed into a briquette

Таблица 1 Характеристики используемого сырья брикета
Table 1 Characteristics of the used briquette raw materials

Кварцевый песок Ташлинского ГОКа, Ульяновской области	
Марка	ВС-030-В
Диоксид кремния SiO ₂ , %	98,5
Оксид железа Fe ₂ O ₃ , %	0,03
Оксид алюминия Al ₂ O ₃ , %	0,12
Гранулометрический состав, %	0,5 сито № 0,8 мм
Кокс Губахинского Коксохимического завода	
Марка	Коксовая мелочь КМ
Углерод С, %	82-88
Зольный остаток, %	10-12
Сера S, %	0,5-1

Под действием высокой температуры плазменного факела происходит реакция восстановления диоксида кремния (песка) до монооксида:



Для экспресс-определения наличия монооксида кремния реализовывалась операция кратковременного (<10 сек) погружения металлического щупа. Далее извлеченный щуп, поверхность которого покрыта слоем разогретого монооксида кремния коричневого цвета, на воздухе вспыхивал и становился белым, окислившись до диоксида кремния.

Полученная смесь газов выводится из реактора через газоотводную трубу и окисляется водяным паром:



Далее, газопылевая смесь проходит через блок агломерации (рис. 3), где под действием Ван-дер-Ваальсовых сил, отдельные частицы образуют агломераты, улавливаемые циклоном [12].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Все эксперименты по получению аморфного кремнезема проводились на вышеописанной экспериментальной установке при падении напряжения на дуге $U=200$ В, силе тока $I = 250$ А и давлении плазмообразующего газа 1.1 кг/см^2 . В плазмотроне использовалось сопло диаметром 4 мм. Изначально дуга поджигалась на графитовую пластину впрессованную в брикет (рис. 2), выполняющую роль временного анода. По мере прогорания пластины анодное пятно перемещается на графитовую стенку реактора и данный момент можно условно считать переходом реактора в рабочий режим. Через пять минут после поджига плазменного факела брикет подавался в рабочую зону реактора со скоростью 5 мм/мин. Закалка и окисление монооксида кремния поступающего из реактора производилась водяным паром подаваемым из парогенератора, мощностью 1,5 кВт. Расход пара регулировался диаметром форсунок устанавливаемых на выходе парогенератора. Данные экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Экспериментальные данные (общие данные для всех экспериментов: брикет SiO₂ – 70%, кокс – 30%, температура газов из реактора – 1200°C, давление плазмообразующего газа – 1,1 кгс/см²)

Table 2. Experimental data (general data for all experiments: SiO₂ briquette - 70%, coke - 30%, reactor gas temperature – 1200 °C, plasma gas pressure – 1.1 kgf/cm²)

№ эк сп.	Связующее	Добавка	Плазмообразующий газ	Способ улавливания	Закалочный газ	Расход закалочного газа кг/час	Удельная поверхность м ² /г
1	Na ₂ SiO ₃	-	Воздух	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	36,1
2	Na ₂ SiO ₃	NH ₄ Cl	Воздух	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	64,4
3	Na ₂ SiO ₃	NaCl	Воздух	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	27,5
4	-	-	Воздух	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	85,3
5	-	-	Воздух	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	61,7
6	Крахмал	-	Азот	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	80,0
7	Крахмал	-	Воздух	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	77,5
8	Крахмал	-	Воздух	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	46,3
9	Na ₂ SiO ₃	-	Воздух	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	29,6
10	Na ₂ SiO ₃	-	Азот	Холодная стенка	Пар H ₂ O	2,4	33,6
11	Na ₂ SiO ₃	-	Воздух	Циклон	Пар H ₂ O	2,4	55,4
12	Na ₂ SiO ₃	-	Воздух	Циклон	Пар H ₂ O	3,6	51,0
13	Na ₂ SiO ₃	-	Воздух	Циклон	Пар H ₂ O	4,4	43,8
14	Na ₂ SiO ₃	-	Воздух	Циклон	Пар 99,8%H ₂ O + 0,2% HCl	4,4	47,7

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования показали, что разработанный плазмохимический процесс реализуемый в условиях испарения брикетов состоящих на 70% из песка и 30% кокса достаточно эффективен для получения наночастиц оксида кремния размером менее 200 нм.

Разработанный метод получения наночастиц необходимо дополнительно исследовать на способность получения наночастиц размером менее 20 нм, это так необходимо для получения удельной площади поверхности 200 м²/г, что даст возможность изготавливать из данного сырья частицы носителя неподвижной фазы [*1-*3] колонки высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Благодарности

Работа выполнена за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного заказа в сфере научной деятельности в рамках проекта FZSM-2022-0019

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Lyakhovich A.M., Kashapov R.N., Kashapov N.F., Kashapov L.N. Modifying surface properties of polyamide powders for selective laser sintering // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012066.
- [2] Kashapov N., Kashapov R., Kashapov L. Influence of the electrolytic cathode temperature on the self-sustaining mechanism of plasma-electrolyte discharge // Journal of Physics D: Applied Physics. 2018. Tom. 51. № 49. P. 494003.
- [3] Kashapov R.N., Kashapov L.N., Kashapov N.F. Formation of cracks in the selective laser melting of objects from powdered stainless steel 17-4 PH // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. P. 012074.
- [4] Чукин Г.Д. «Химия поверхности и строения дисперсного кремнезема»: монография. Москва, 2008 г.
- [5] Pristavita R., Munz R.J., Addona T. Transferred Arc Production of Fumed Silica: Rheological Properties // Industrial & Engineering Chemistry Research. 2008. Vol. 47. № 17. P. 6790 – 6795.
- [6] Meunier J.L., Mendoza-Gonzalez N.Y., Pristavita R. Two-Dimensional Geometry Control of Graphene Nanoflakes Produced by Thermal Plasma for Catalyst Applications // Plasma Chem Plasma Process. 2014. Vol. 34. P. 505 – 521.
- [7] Balabanova E. Silica nanoparticles produced by thermal arc plasma. Modelling // Journal of Optoelectronics and Advanced Materials. 2003. Vol. 5. № 3. P. 679 – 686.
- [8] Balabanova E. Synthesis of nanostructured materials by means of thermal plasma. Modelling of the processes // Revue Roumaine de Chimie. 2008. Vol. 53. № 2. P. 83 – 100.
- [9] Космачев П.В. Получение наноразмерного диоксида кремния плазменно-дуговым методом из высококремнеземистого природного сырья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2017.
- [10] Balabanova E.G., Levitsky A.A., Oliver D.H. Modelling of the processes of ultrafine SiO₂ production under thermal plasma conditions. Czech J Phys. 1994. Vol. 44. P. 139 – 152.
- [11] Khavryutchenko A.V., Khavryutchenko V.D. Fumed silica synthesis. Influence of hydrogen chloride on the fumed silica particle formation process. Macromol. Symp. 2003. Vol. 194. P. 253 – 268.
- [12] Айлер Р. «Химия кремнезема» 1982 г., «Мир».
- [13] Recent developments in LC column technology. LCGC Supplements, Special Issues-06-01-2018. Vol. 36. Issue 6.
- [14] Fekete S., Murisier A., Losacco G.L., Lawhorn J., Godinho J.M., Ritchie H. Using 1.5 mm internal diameter columns for optimal compatibility with current liquid chromatographic systems // Journal of Chromatography A. 2021. № 1650. P. 462258.
- [15] Bell D.S. New chromatography columns and accessories for 2018 // LCGC Supplements, Special Issues-06-01-2018. Vol. 36. Issue 6. P. 234 – 247.

REFERENCES

- [1] Lyakhovich A.M., Kashapov R.N., Kashapov N.F., Kashapov L.N. Modifying surface properties of polyamide powders for selective laser sintering. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. P. 012066.
- [2] Kashapov N., Kashapov R., Kashapov L. Influence of the electrolytic cathode temperature on the self-sustaining mechanism of plasma-electrolyte discharge. Journal of Physics D: Applied Physics. 2018. 51 (49). P. 494003.
- [3] Kashapov R.N., Kashapov L.N., Kashapov N.F. Formation of cracks in the selective laser melting of objects from powdered stainless steel 17-4 PH. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. P. 012074.
- [4] Chukin G.D. “Chemistry of the surface and structure of dispersed silica”: monograph. Moscow, 2008 (rus.)

- [5] Pristavita R., Munz R.J., Addona T. Transferred Arc Production of Fumed Silica: Rheological Properties. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 2008. 47 (17). P. 6790 – 6795.
- [6] Meunier J.L., Mendoza-Gonzalez N.Y., Pristavita R. Two-Dimensional Geometry Control of Graphene Nanoflakes Produced by Thermal Plasma for Catalyst Applications. *Plasma Chem Plasma Process*. 2014. 34. P. 505 – 521.
- [7] Balabanova E. Silica nanoparticles produced by thermal arc plasma. Modelling. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*. 2003. 5 (3). P. 679 – 686.
- [8] Balabanova E. Synthesis of nanostructured materials by means of thermal plasma. Modelling of the processes. *Revue Roumaine de Chimie*. 2008. 53 (2). P. 83 – 100.
- [9] Kosmachev P.V. Obtaining nanoscale silicon dioxide by plasma-arc method from highsilica natural raw materials: abstract of the dissertation of the Candidate of Engineering Sciences. Tomsk, 2017. (rus.)
- [10] Balabanova E.G., Levitsky A.A., Oliver D.H. Modelling of the processes of ultrafine SiO₂ production under thermal plasma conditions. *Czech J Phys*. 1994. 44. P. 139 – 152.
- [11] Khavryutchenko A.V., Khavryutchenko V.D. Fumed silica synthesis. Influence of hydrogen chloride on the fumed silica particle formation process. *Macromol. Symp*. 2003. 194. P. 253 – 268.
- [12] Aysler R. “Chemistry of silica” 1982, “Mir”. (rus.)
- [13] Recent developments in LC column technology. *LCGC Supplements, Special Issues-06-01-2018*. 36 (6).
- [14] Fekete S., Murisier A., Losacco G.L., Lawhorn J., Godinho J.M., Ritchie H. Using 1.5 mm internal diameter columns for optimal compatibility with current liquid chromatographic systems // *Journal of Chromatography A*. 2021. 1650. P. 462258.
- [15] New chromatography columns and accessories for 2018. Bell DS. *LCGC Supplements, Special Issues-06-01-2018*. 36 (6). P. 234 – 247.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Кашапов Н.Ф., e-mail: m1959@yandex.ru, тел. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-1185-4605, SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6602262381>, Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра «Технической физики и энергетики», заведующий кафедрой, директор Инженерного института, доктор технических наук, профессор

Kashapov N.F., e-mail: m1959@yandex.ru, tel.+7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-1185-4605, SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=6602262381>, Kazan (Volga Region) Federal University, Department of "Technical Physics and Power Engineering", Head of Department, Director of Engineering Institute, Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor

Ямалеев М.М., e-mail: m1959@yandex.ru, тел. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-3751-9573 Казанский (Приволжский) федеральный университет, кандидат физико-математические науки, доцент

Yamaleev M.M., e-mail: m1959@yandex.ru, tel. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-3751-9573, Kazan (Volga Region) Federal University, Candidate of Physical and Mathematical Sciences (Ph.D.), Associate Professor

Лукашкин Л.Н., e-mail: m1959@yandex.ru, тел. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-8298-3906, Казанский (Приволжский) федеральный университет, лаборант

Lukashkin L.N., e-mail: m1959@yandex.ru, tel. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-8298-3906, Kazan (Volga Region) Federal University, Laboratory Assistant

Гребенщиков Е.А., e-mail: m1959@yandex.ru, тел. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-2091-5342, Казанский (Приволжский) федеральный университет, лаборант

Grebenshchikov E.A., e-mail: m1959@yandex.ru, tel. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-2091-5342, Kazan (Volga Region) Federal University, Laboratory Assistant

Гилев И.Ю., e-mail: m1959@yandex.ru, тел. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-9983-7227, Казанский (Приволжский) федеральный университет, лаборант

Gilev I.Yu., e-mail: m1959@yandex.ru, tel. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0002-9983-7227, Kazan (Volga Region) Federal University, Laboratory Assistant

Кашапов Р.Н., e-mail: m1959@yandex.ru, тел. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0003-2174-4394, SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=5458368660>

Kashapov R.N., e-mail: m1959@yandex.ru, tel.+7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0003-2174-4394, SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=5458368660>

0, Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра «Биомедицинской инженерии и управления инновациями», НИЛ Плазмохимическое получение функциональных материалов, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук

Кашапов Л.Н., e-mail: m1959@yandex.ru, тел. +7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0001-7893-440X, SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55990570500>, Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра «Биомедицинской инженерии и управления инновациями», НИЛ Плазмохимическое получение функциональных материалов, старший научный сотрудник

86600, Kazan (Volga Region) Federal University, Department of "Biomedical Engineering and Innovation Management", Research Laboratory of Plasma Chemical Production of Functional Materials, Leading Research Officer, Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.)

Kashapov L.N., e-mail: m1959@yandex.ru, tel.+7(843) 233-75-76, ORCID ID: 0000-0001-7893-440X, SCOPUS: <http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55990570500>, Kazan (Volga Region) Federal University, Department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Research Laboratory of Plasma Chemical Production of Functional Materials, Senior Research Officer

Поступила в редакцию 5 августа 2022 г.
Принята в доработанном виде 7 сентября 2022 г.
Одобрена для публикации 19 октября 2022 г.

Received: August 5, 2022.
Revised: September 7, 2022.
Accepted: October 19, 2022