

*Д. Г. БАТРЫШЕВ, Т. С. РАМАЗАНОВ, М. К. ДОСБОЛАЕВ, М. Т. ГАБДУЛЛИН, С. А. ОРАЗБАЕВ*

## **СЕПАРАЦИЯ ПОЛИДИСПЕРСНЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ В ПЛАЗМЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА**

**Аннотация.** В работе рассматривается метод сепарации полидисперсных частиц в плазме высокочастотного разряда. На основе полученных результатов по исследованию эквипотенциального поля плазмы даются условия, при котором реализуется данный метод сепарации. Целью настоящей работы является получение монодисперсных сепарированных частиц в плазме высокочастотного емкостного разряда. Получены образцы монодисперсных нано- и микропорошков оксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и оксида алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Изучены размеры, химический состав образцов на сканирующем электронном микроскопе Quanta 3D 200i (SEM, USA FEI company). Средний диаметр монодисперсных наночастиц  $\text{SiO}_2$  равен 600 нм, а микрочастиц  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 5 мкм. Тогда как размеры полидисперсных частиц составляли от сотен нанометров до 100 микрометров.

В настоящей работе предлагается метод получения монодисперсных нано- и микрочастиц на основе способа сепарации полидисперсных пылевых частиц в плазме высокочастотного емкостного разряда. Изучение рынка монодисперсных порошков позволило сделать оценку, что спрос на монодисперсные частицы растет, связано это комплексом качеств и свойств, используемых фракций монодисперсных материалов, главным из которых является однородность. Существуют различные механизмы получения монодисперсных частиц: диспергирование в твердых и жидких фазах, электролитическое осаждение, химические методы, методы, основанные на процессах испарения и конденсации, а также сепарация в активной среде. Перечисленные методы имеют свои положительные стороны и недостатки, главным отличием и условием предпочтения для каждого

являются такие характеристики, как производительность, технологичность, дисперсность получаемого продукта или его чистота. Но, пожалуй, основным недостатком является отсутствие широкого применения монодисперсных нанопорошков и микропорошков из-за отсутствия промышленных производств, требуемой мощности по выпуску нано- и микропорошков с малой дисперсностью и заданными характеристиками.

Разработанный метод получения монодисперсных нано- и микрочастиц в плазме высокочастотного емкостного разряда отвечает высоким требованиям, а именно широкий диапазон сепарации частиц от 600 нм до сотни микрон, чистота продукта и использование различных материалов вне зависимости от проводимости или магнитной восприимчивости [1, 2].

Экспериментальная установка для сепарации полидисперсных микрочастиц  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с начальными размерами от сотен нанометров до 100 мкм представлена на рисунке 1. Данная установка состоит из рабочей камеры (1), высокочастотного (4) и звукового генератора, «электроловушки» (8), диспергирующего элемента (5), пары дисковых электродов (2), ловушки (6) и контейнера (7) для сбора сепарированных частиц. Также по бокам камеры имеются стеклянные фланцы (3) для визуализации плазменных процессов. Для процесса сепарации были использованы следующие значения параметров плазмы: давление газа (аргон)  $10^{-2} - 1$  Тор, мощность разряда 0,5 – 30 Вт.

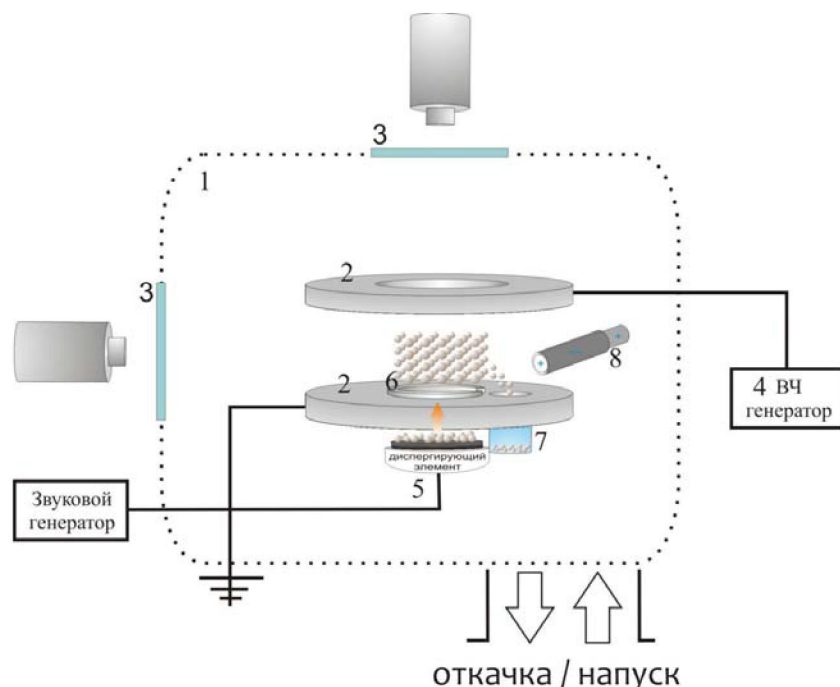


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки

На рисунке 2 представлены образцы полученных сепарированных частиц  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  с размерами  $5 \pm 1$  и  $5 \pm 3$  мкм соответственно, при значениях мощности разряда 1,5 Вт и давлениях газа для  $\text{SiO}_2$  – 0,30 Тор, для  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,15 Тор. Снимки были получены на сканирующем электронном микроскопе Quanta 3D 200i (SEM, USA FEI company).

Соответствующие графики распределения частиц по размерам представлены на рисунке 3.

Предлагаемый метод получения сепарированных частиц включает поэтапное сепарирование по массам, поэтому для частиц  $\text{SiO}_2$  отклонение от среднего размера 5 мкм мала по сравнению с  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Объяснение этому – сферическая форма у частиц  $\text{SiO}_2$ , тогда как у  $\text{Al}_2\text{O}_3$  она нарушена. Следовательно, частицы  $\text{SiO}_2$ , имеющие одинаковые геометрические размеры, имеют одинаковую массу, а у  $\text{Al}_2\text{O}_3$  одинаковым массам соответствуют разные формы и размеры частиц.

Для сепарации наночастиц была задействована «электроловушка», представляющая собой два коаксиально расположенных цилиндрических электродов с диэлектриком между ними для изоляции. На электроды подается высокое напряжение (0 – 600 В) для получения конфигурации электрического поля, которое искажает эквипотенциальную поверхность плазмы, тем самым создавая

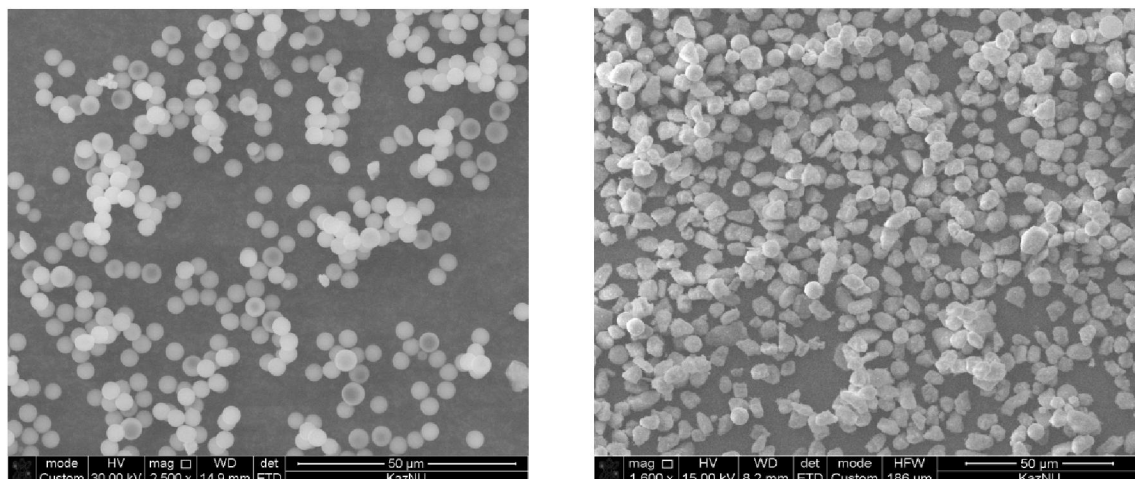


Рисунок 2 – Сепарированные частицы  $\text{SiO}_2$  (слева) и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (справа)

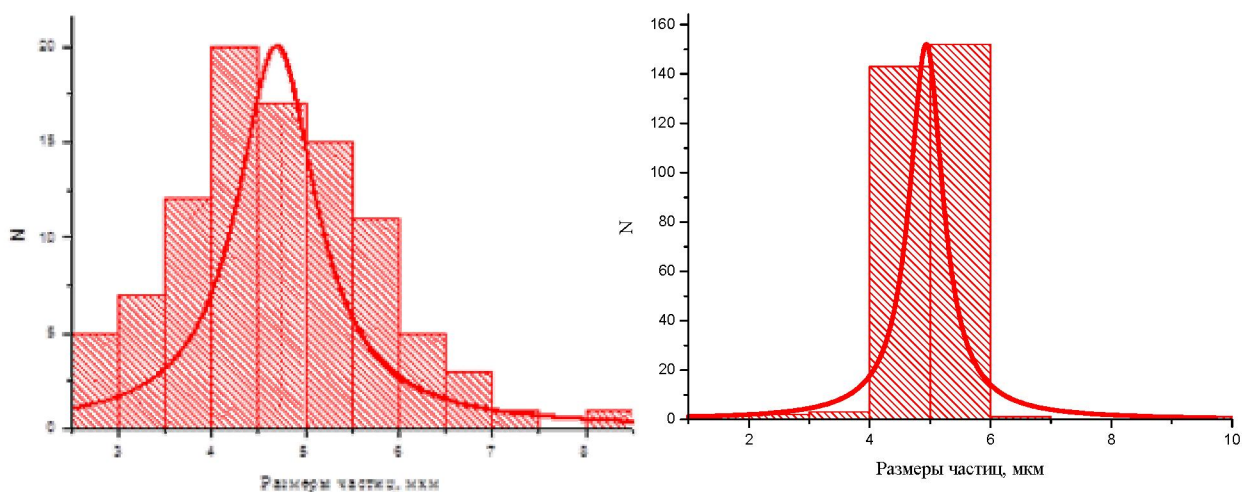


Рисунок 3 – График распределения сепарированных частиц  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (слева) и  $\text{SiO}_2$  (справа) по размерам

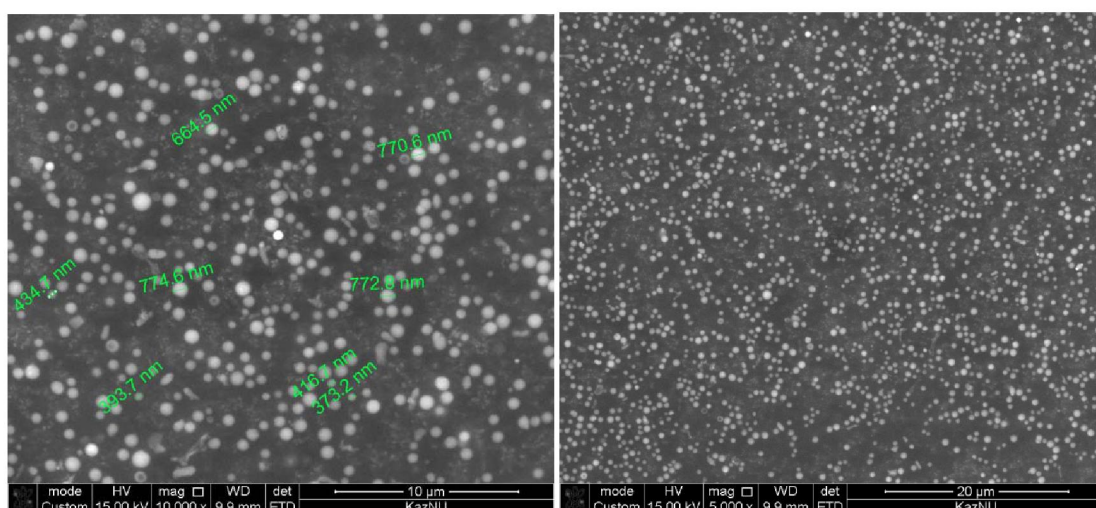


Рисунок 4 – Сепарированные наночастицы  $\text{SiO}_2$

условия для сбора наночастиц, тогда как микрочастицы изолированы в ловушке в виде замкнутого кольца.

На рисунке 4 представлены образцы сепарированных наночастиц  $\text{SiO}_2$  при значениях мощности разряда  $0,5 \text{ Вт}$ , давления газа  $6 \cdot 10^{-2} \text{ Тор}$  и напряжении на «электротовушке»  $350 \text{ В}$ .

Соответствующий график распределения наночастиц по размерам представлен на рисунке 5.

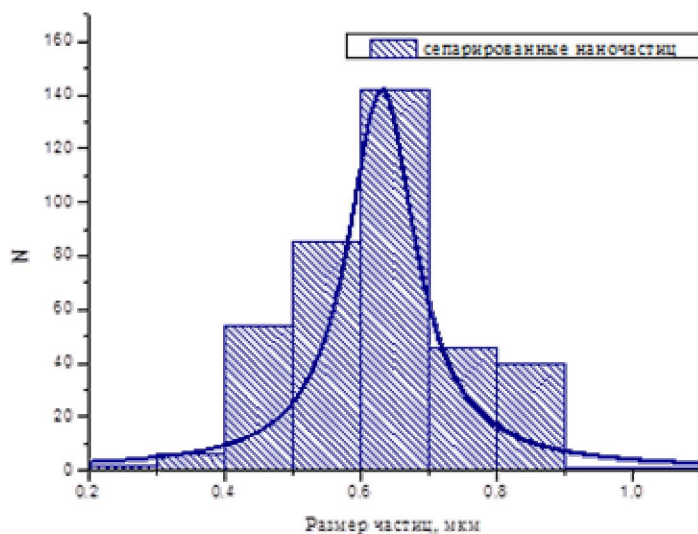


Рисунок 5 – Гистограмма наночастиц SiO<sub>2</sub>

Данная работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках гранта 1081/ГФ-2014.

#### REFERENCES

- 1 D.G. Batryshev, T.S. Ramazanov, M.K. Dosbolayev, M.T. Gabdullin, N.S. Dagarov, The method of obtaining monodisperse particles in plasma of radio-frequency discharge // Dusty plasma in application., Odessa, 25-29 August, 2013.
- 2 Dosbolayev M.K., Utegenov A.U., Ramazanov T.S., Daniyarov T.T. Structural and transport properties of dust formation in plasma of noble gases mixture in RF discharge // Contrib. Plasma Phys. – 2013. – V. 53, №. 4-5. – P. 426-431.DPA-3.2010. Odessa. Naukova Dumka. P.26-29

#### Резюме

Д. Г. Батрышев, Т. С. Рамазанов, М. К. Досболаев, М. Т. Фабдуллин, С. А. Оразбаев

#### РАЗРЯД ПЛАЗМАСЫНДА ПОЛИДИСПЕРСТІ ТОЗАҢДЫ БӨЛШЕКТЕРДІ ЕЛЕКТЕУ ҮДЕРІСІ

Бұл тәжірибелік жұмыста жоғарғы жиілік разряд плазмасында полидисперсті тозаңды бөлшектерден монодисперсті бөлшектерді електеу әдісі зерттелді. Полидисперсті бөлшектерді електеу әдісі плазмадағы эквипотенциал өрісті зерттеу нәтижесіндегі алынған шарттармен орындалады. Зерттеу нәтижесінде монодисперсті кремний тотығы (SiO<sub>2</sub>) және алюминий тотығының (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) үлгілері алынған және Quanta 3D 200i (SEM, USA FEI company) электрондық микроскопында алынған үлгілердің өлшемдері және химиялық құрамы зерттелді. Алынған монодисперсті SiO<sub>2</sub> нанобөлшектердің орташа өлшемдері – 600 нм, ал SiO<sub>2</sub> және Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> микробөлшектердің орташа өлшемдері – 5 мкм болды.

#### Summary

D. G. Batryshev, T. S. Ramazanov, M. K. Dosbolayev, M. T. Gabdullin, S. A. Orazbayev

#### SEPARATION PROCESS OF POLYDISPERSE DUST PARTICLES IN THE PLASMA OF RADIO-FREQUENCY DISCHARGE

Method of separation of polydisperse particles in the plasma of radio-frequency (RF) discharge is considered. Investigation of plasma equipotential field gives conditions for separation. The purpose of this work is obtaining of monodisperse particles in the plasma of RF discharge. Samples of monodisperse nano- and microparticles of silica and alumina were obtained. The size and chemical composition of samples were studied on an scanning electron microscope Quanta 3D 200i (SEM, USA FEI company). Average size of monodisperse silica nanoparticles is 600 nm, silica and alumina microparticles is 5 μm.