

УДК537.291, 533.9

^{1,3}Д.Г. Батрышев*, ²Т.С. Рамазанов, ^{1,2} М.Т. Габдуллин,
²М.К. Досболаев, ^{1,2}С.А. Оразбаев¹Казахский национальный университет им. аль-Фараби, НИИ
экспериментальной и теоретической физики, Республика Казахстан, г. Алматы²Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, Республика Казахстан, г. Алматы³Лаборатория инженерного профиля, Республика Казахстан, г. Алматы

*E-mail: batryshev@physics.kz

Способ сепарации полидисперсных частиц в плазме высокочастотного разряда

В данной работе рассматривается метод сепарации полидисперсных пылевых частиц в плазме высокочастотного емкостного разряда для получения монодисперсных и мелкодисперсных частиц. Принципиальным отличием предлагаемого метода сепарации от существующих методов сепарации является то, что в качестве инструмента сепарации используется эквипотенциальное поле плазмы высокочастотного емкостного разряда. Простота технологии позволяет получать сепарированные мелкодисперсные и монодисперсные частицы различных материалов. На основе разработанного метода сепарации полидисперсных частиц в плазме высокочастотного емкостного разряда были получены монодисперсные нано- и микрочастицы со средними размерами 600 нм и 5 мкм. Метод сепарации полидисперсных частиц осуществляется с помощью специальной конфигурации нижнего электрода высокочастотного емкостного разряда с электродовушкой, которая позволяет управлять эквипотенциальное поле плазмы высокочастотного емкостного разряда. Таким образом, контролируя поле плазмы и параметры разряда, были получены мелкодисперсные частицы оксида алюминия и оксида кремния. Анализ полученных образцов проводился на сканирующем электронном микроскопе Quanta 3D 200i (FEI company, USA) на морфологию, химический состав. На основе графических и математических расчетов были построены графики распределения частиц по размерам.

Ключевые слова: сепарация, монодисперсные частицы, пылевая плазма, эквипотенциальное поле.

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

Method of separation of polydisperse particles in plasma of radio-frequency discharge

In this work the method of separation of polydisperse dust particles in plasma of radio-frequency capacitive discharge is considered for obtaining of monodisperse and fine particles. The fundamental difference of proposed separation method from existed separation methods is that the equipotential field of plasma is used as a separation instrument. The simplicity of technology allows obtaining separated monodisperse and fine particles of different materials. The monodisperse nano- and microparticles with average sizes of 600 nm and 5 μ m were obtained by developed separation method of polydisperse particles in plasma of radio-frequency capacitive discharge. The separation method of polydisperse particles is carried out by the special form of bottom electrode of radio-frequency capacitive discharge with electric trap, which allows controlling equipotential field of plasma of radio-frequency capacitive discharge. Thus, the fine particles of silica and alumina were obtained by controlling plasma equipotential field and its parameters. The analysis of obtained samples was examined by electron scanning microscope Quanta 3D 200i (FEI company, USA) form morphology, chemical composition. The particle size distribution graphs were constructed by graphical and mathematical calculations.

Key words: separation, monodisperse particles, dusty plasma, equipotential field.

Д.Г. Батрышев, Т.С. Рамазанов, М.Т. Габдуллин, М.Қ. Досболаев, С.А. Оразбаев
Жоғары жиілікті разряд плазмасында полидисперсті бөлшектерді сепарациялау әдісі

Аталған жұмыста полидисперсті тозаңды бөлшектерден жоғары жиілікті разряд плазмасында монодисперсті және ұсақдисперсті бөлшектерді електеп бөліп алу (сепарациялау) әдісі қарастырылған. Бұл електеп бөліп алу әдісінің қолданыстағы жүрген әдістерден айырмашылығы жоғары жиілікті сыйымдылықты разряд плазмасының эквипотенциальды өрісін електеу аспабы ретінде қолдану. Аталған технология әрі қарапайым және әр түрлі материалдардың монодисперсті және ұсақдисперсті бөлшектерін алуға мүмкіндік береді. Мұнда жоғары жиілікті сыйымдылықты разряд плазмасының эквипотенциальды өрісін басқаруға болатын электрлік тұзағы бар төменгі электродтың арнайы формасы полидисперсті бөлшектерді електеп бөліп алуға қолданылады. Сонымен, плазма өрісі мен разряд параметрлерінің өзгертуі арқылы алюминий оксиді мен кремний оксидінің ұсақдисперсті бөлшектері алынды. Бұл полидисперсті бөлшектерді жоғары жиілікті сыйымдылықты разряд плазмасында електеп алу әдісі негізінде орташа өлшемдері 600 нм және 5 мкм болатын монодисперсті нано- және микробөлшектерінің үлгілері алынды. Және де, сканерлі электрондық микроскоп Quanta 3D 200i (FEI company, USA) көмегімен алынған үлгілердің химиялық құрамы мен беттік құрамы зерттелді. Графикалық және математикалық есептеулер негізінде бөлшектердің өлшемдері бойынша таралулары алынды.

Түйін сөздер: сепарация (електеп бөліп алу), монодисперсті бөлшектер, тозаңды плазма, эквипотенциальды өріс.

Введение

Монодисперсные частицы – это частицы, имеющие одинаковые геометрические параметры или же фазовые состояния. В реальных системах частиц с различными физическими параметрами монодисперсной называют ту систему, которая имеет кривую гаусовского распределения частиц по размерам с узким основанием. Частицы такого рода имеют более однородную техническую характеристику (форма, размеры, химический состав), в связи с этим область применения таких частиц разнообразна и широка. Благодаря высокой поверхностной энергии морфология системы и энергия дисперсионного взаимодействия существенно изменяются. Указанные факторы в значительной степени определяют механические, электрические, магнитные, физические и химические свойства материалов [1-4].

Синтез монодисперсных частиц Pt на поверхности многостенных углеродных нанотрубок позволил получить композитный материал, обладающий высокой каталитической активностью в метаноле в реакциях электрического окисления. В будущем такие нанотрубки будут использоваться для хранения топливных элементов [5].

В медицине для мониторинга транспортировки лекарств и нацеленной доставки лекарственных аппаратов в раковые опухоли используют флюоресцентные биомаркеры на основе монодисперсных частиц мезопористого кремнезема и органического красителя [6]. Такие частицы могут быть использованы в качестве доставки токсичных лекарственных препаратов на больные ткани организма человека, например, при химиотерапии рака.

Экспериментальная установка

Экспериментальная установка для сепарации полидисперсных микрочастиц SiO_2 и Al_2O_3 с начальными размерами от 0 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.

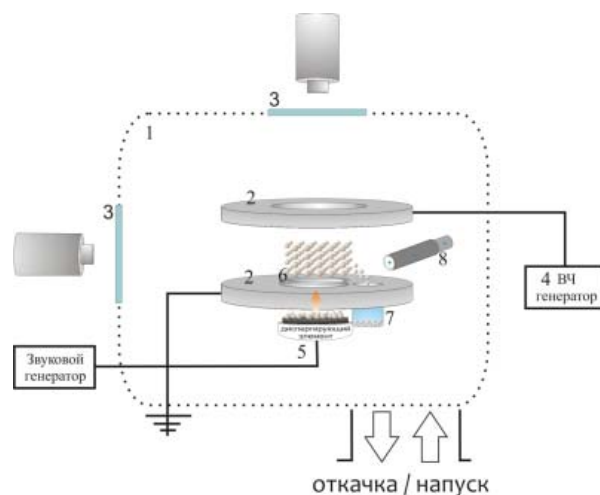


Рисунок 1 – Принципиальная схема установки

Эксперимент

Способ сепарации в плазме высокочастотного разряда основана на управлении плазменно-пылевой структуры эквипотенциальным полем плазмы нижнего электрода.

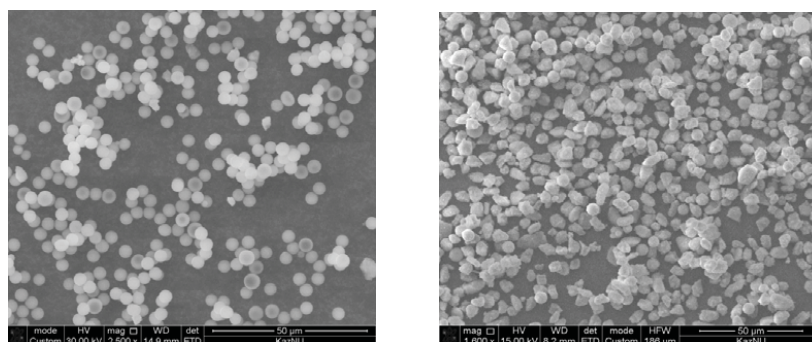
В рабочую камеру после установления высокого вакуума с помощью пьеза-элементного натекателя напускается рабочий газ – аргон, давление – 10^{-2} – 1 Тор, затем на нижний электрод подается переменное напряжение от ВЧ генератора с частотой 13,56 МГц для образования между плоскопараллельными электродами плазмы ВЧЕР.

Образование плазменно-пылевой структуры осуществляется механическим выбросом полидисперсных частиц SiO_2 и Al_2O_3 (0-100 мкм) через сеточное отверстие нижнего электрода, с помощью диспергирующего элемента. Попадая в плазменную среду, они заряжаются электрически. Из-за более высокой мобильности элект-

ронов они приобретают отрицательный заряд, который позволяет им левитировать над поверхностью нижнего электрода из-за баланса электрической силы и силы тяготения. В радиальном направлении пылевые частицы удерживаются ловушкой, происходит захват плазменно-пылевой структуры, но так как ловушка не замкнута, это позволяет отводить частицы из ловушки в контейнер для сбора сепарированных частиц.

Таким образом, реализуется захват и управление плазменно-пылевой структуры эквипотенциальным полем плазмы нижнего электрода.

На рисунке 2 представлены образцы полученных сепарированных частиц SiO_2 и Al_2O_3 с размерами 5 ± 1 мкм и 5 ± 3 мкм, соответственно, при значениях мощности разряда 1,5 Вт и давления газа для SiO_2 – 0,30 Тор, для Al_2O_3 – 0,15 Тор. Снимки были получены на сканирующем электронном микроскопе Quanta 3D 200i (SEM, USA FEI company).

Рисунок 2 – Сепарированные частицы SiO_2 (слева) и Al_2O_3 (справа)

Соответствующие графики распределения частиц по размерам представлены на рисунке 3.

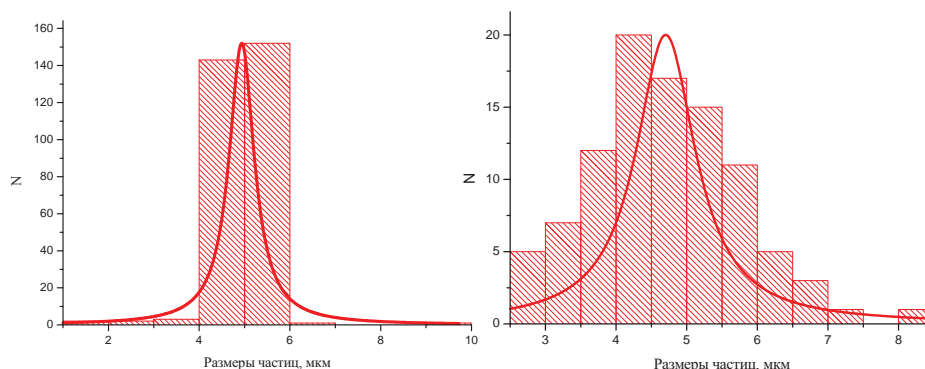


Рисунок 3 – График распределения сепарированных частиц SiO_2 (слева) и Al_2O_3 (справа) по размерам

Предлагаемый метод получения сепарированных частиц включает поэтапное сепарирование по массам, поэтому для частиц SiO_2 отклонение от среднего размера 5 мкм мала по сравнению с Al_2O_3 .

Объяснение этому – сферическая форма у частиц SiO_2 , тогда как у Al_2O_3 она нарушена. Следовательно, частицы SiO_2 , имеющие одинаковые геометрические размеры, имеют одинаковую массу, а у Al_2O_3 одинаковым массам соответствуют разные формы и размеры частиц.

Для сепарации наночастиц была задейст-

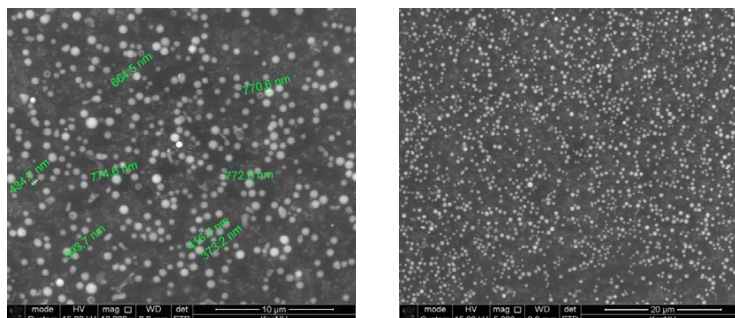
вована «электроловушка», представляющая собой два коаксиально расположенных цилиндрических электродов с диэлектриком между ними для изоляции. На электроды подается высокое напряжение (0 – 600 В) для получения конфигурации электрического поля, которое искажает эквипотенциальную поверхность плазмы, тем самым создавая условия для сбора наночастиц, тогда как микрочастицы изолированы в ловушке в виде замкнутого кольца. Конфигурация нижнего электрода с «электроловушкой» представлена на рисунке 4.



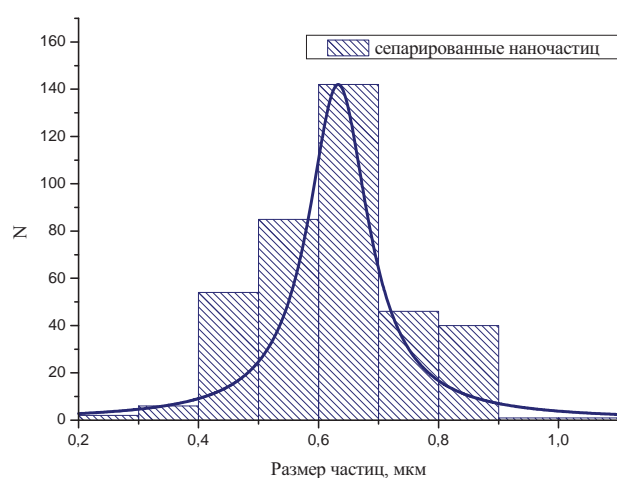
Рисунок 4 – нижний электрод с «электроловушкой»

На рисунке 5 представлены образцы сепарированных наночастиц SiO_2 при значениях мощ-

ности разряда 0,5 Вт, давления газа $6 \cdot 10^{-2}$ Тор и напряжении на «электроловушке» 350 В.

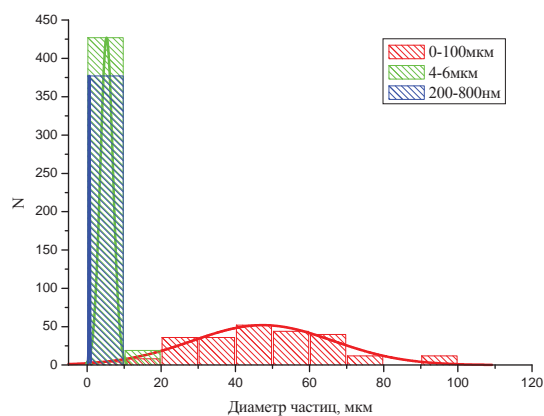
Рисунок 5 – Сепарированные наночастицы SiO₂

Соответствующий график распределения наночастиц по размерам представлен на рисунке 6.

Рисунок 6 – Гистограмма наночастиц SiO₂

Таким образом, можно представить общий график распределения частиц SiO₂ по размерам до и после сепарации (рисунок 7). Широкий пик соответствует полидисперсным частицам SiO₂ до сепараций, узкие пики после сепараций. На

основе общего графика распределения и критерий о монодисперсности частиц можно сделать вывод, что полученные сепарированные частицы соответствуют определению монодисперсных частиц.

Рисунок 7 – Распределение частиц SiO₂ до и после сепарации

Вывод

В данной работе был рассмотрен новый метод сепарации полидисперсных частиц в плазме высокочастотного разряда. Преимуществом предложенного метода сепарации является широкий выбор материалов для сепарации и диапазон сепарации от 600 нм до 50 мкм, получаемые фракции сепарированных частиц соответствуют критериям монодисперсности. На основе предложенного метода и устройства были получены

монодисперсные нано- и микрочастицы SiO_2 (Al_2O_3). Анализ морфологии полученных образцов проводился на сканирующем электронном микроскопе Quanta 3D 200i (SEM, USA FEI company). На основе графических и математических расчетов был построен график распределения частиц SiO_2 и Al_2O_3 по размерам.

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

References

1. Aisumi N., Yoshiokaka K., Yamasaki T. Ogino Y. // Funtai oyobi Funmatsu Yakin (J.Japan Soc. Powd. And Powd. Metall.). – 1993. – V. 40. № 3. – P. 261.
2. Ничипоренко О.С. // Порошковая металлургия. – 1979. – №. 9. – С. 1–9.
3. Желибо Е.П., Арюпина К.А., Натансон Э.М. // Порошковая металлургия. – 1973. – № 2. – С. 14–19.
4. Fridman A.A., Boufendi L., Hbid T., Potapkin B.V., Bouchoule A. Dusty plasma formation: Physics and critical phenomena. Theoretical approach // Journal of Applied Physics. – 1996. – V. 79. – P. 1303 - 1314.
5. Fridman A.A., Boufendi L., Hbid T., Potapkin B.V., Bouchoule A. Dusty plasma formation: Physics and critical phenomena. Theoretical approach // Journal of Applied Physics. – 1996. – V. 79. – P. 1303 - 1314.
6. Трофимова Е. Ю., Грудинкин С. А., Кукушкина Ю. А., Курдюков Д. А., Медведев А. В., Яговкина М. А., Голубев В. Г. Флюоресцентные монодисперсные сферические частицы на основе мезопористого кремнезема и родамина 6Ж // Физика твердого тела. – 2012. – Т. 54, №. 6. – С. 1220 – 1227.