

3. Liang, M. Microstructure and Properties of an Enamel Containing Nano-sized Crystals of Titanium Dioxide [Text] / M. Liang, X. Hanning, Z. Liyuan // 22nd International Enamellers Congress. — Cologne, 2012. — P. 1–7.
4. Брагина, Л. Л. Технология эмали и защитных покрытий [Текст] / Л. Л. Брагиной, А. П. Зубехина. — Харьков: НТУ «ХПИ»; Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2003. — 484 с.
5. Pagliuca, S. Porcelain (Vitreous) Enamels and Industrial Enamelling Processes. The Preparation, Application and Properties of Enamels [Text] / S. Pagliuca, W. D. Faust. — Ed. 3. — Tipografia Commercialerl Via Vittorino da Feltre, Mantova, Italy, 2011. — 900 p.
6. Lips, K. Food Contact materials in Europe: a challenge for the enamel industry [Text] / K. Lips, D. Jacobs, N. Nyssen // 23rd International Enamellers Congress. — Florence, 2015. — P. 209–221.
7. Платов, Ю. Т. Колориметрическая идентификация фарфора по виду материала [Текст] / Ю. Т. Платов, Р. А. Платова, Д. А. Сорокин // Стекло и керамика. — 2009. — № 4. — С. 10–13.
8. Платов, Ю. Т. Оценка белизны фарфора [Текст] / Ю. Т. Платов, Р. А. Платова, Д. А. Сорокин // Стекло и керамика. — 2008. — № 8. — С. 23–27.
9. Платов, Ю. Т. Инструментальная спецификация цветовых характеристик строительных материалов [Текст] / Ю. Т. Платов, Р. А. Платова // Строительные материалы. — 2013. — № 4. — С. 66–72.
10. Компоратор цвета КЦ-3. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Текст]. — М.: ВНИИ полиграфия, 1990. — 68 с.
11. Артамонова, М. В. Химическая технология стекла и ситаллов [Текст]: учебник / М. В. Артамонова, М. С. Асланова, И. М. Бужинский; под ред. Н. М. Павлушкина. — М.: Стройиздат, 1983. — 432 с.
12. Ходаковская, Р. Я. Химия титаносодержащих стекол и ситаллов [Текст] / Р. Я. Ходаковская. — М.: Химия, 1978. — 288 с.

РАЗРАБОТКА БЕЛЫХ ТИТАНОВЫХ ЭМАЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОБЖИГА

Исследовано влияние модифицирующих добавок Li_2O и BaO на свойства фритт и оптические характеристики белых титановых малофтористых эмалевых покрытий. Установлены

оптимальные концентрации оксидов лития и бария в составе исследуемых эмалей. Получены гладкие, плотные, белые стеклопокрытия с хорошим блеском и необходимыми физико-химическими свойствами, которые могут быть рекомендованы для нанесения их на стальные изделия хозяйственно-бытового назначения.

Ключевые слова: белое покрытие, малофтористая эмаль, белизна, степень желтизны, оксид бария, оксид лития.

Рижова Ольга Петрівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра хімічної технології кераміки та скла, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна, e-mail: olga_ryzhova777@mail.ru.

Хохлов Максим Андрійович, аспірант, кафедра хімічної технології кераміки та скла, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна, e-mail: maksim-hohlov1988@mail.ru.

Кислична Раїса Іванівна, кандидат технічних наук, науковий співробітник, кафедра хімічної технології кераміки та скла, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна, e-mail: Steklopatent@mail.ru.

Рыжова Ольга Петровна, кандидат технических наук, доцент, кафедра химической технологии керамики и стекла, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина.

Хохлов Максим Андреевич, аспирант, кафедра химической технологии керамики и стекла, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина.

Кисличная Раиса Ивановна, кандидат технических наук, научный сотрудник, кафедра химической технологии керамики и стекла, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина.

Ryzhova Olga, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: olga_ryzhova777@mail.ru. Khokhlov Maksim, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: maksim-hohlov1988@mail.ru. Kislchnaya Raisa, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: Steklopatent@mail.ru

УДК 66: 533.9+004.9

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47714

**Сергеева О. В.,
Пивоваров А. А.**

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ ИЗ ВОДНОГО РАСТВОРА СЕРЕБРА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В данной работе исследовалось влияние процесса плазмохимической обработки водных растворов, содержащих ионы серебра, на образование наноразмерных частиц серебра, их размеры и характер их изменения в заданном временном промежутке. Полученные результаты планируется использовать для создания уточненной математической модели процесса плазмохимической обработки жидких сред.

Ключевые слова: неравновесная плазма, разряд, жидкий катод, наночастицы серебра, водный раствор.

1. Введение

Наноразмерные частицы серебра находят широкое применение в различных технологиях. В обзорной работе [1] рассмотрено большое количество известных методов получения (традиционных и нетрадиционных)

наночастиц (НЧ) серебра, проанализированы их достоинства и недостатки, значительное внимание уделено методам получения нанообъектов с заданной геометрией, обсуждаются также уникальные оптические и антибактериальные свойства серебра. В работе [2] указывается на перспективность использования НЧ серебра в плаз-

монике. Также НЧ серебра используются в процессах получения токопроводящих дорожек и слоев на диэлектрических подложках [3]. При этом, несмотря на большое количество работ, посвященных получению НЧ серебра, остаются актуальными проблемы синтеза агрегативно устойчивых гидрофильных НЧ серебра, продолжается поиск и разработка новых методов их синтеза.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

На сегодняшний день предложено значительное число различных методов получения НЧ серебра. Так метод [4] включает: восстановление солей в водных растворах с последующей стабилизацией наночастиц ПАВ; метод [5] — электроискровое диспергирование металлов в жидких средах; в работе [6] приводится метод электроимпульсного получения НЧ в воде; в работе [7] приведен метод получения НЧ серебра в водных растворах полиакриловой кислоты.

Одним из перспективных методов получения НЧ является метод, в котором восстановление металла из водного раствора его соли осуществляют контактной неравновесной низкотемпературной плазмой (КНП) [8].

Многие современные технологии основаны на использовании контактной неравновесной низкотемпературной плазмы (КНП). Такая плазма может быть создана с помощью различных типов разряда (коронным, барьерным или тлеющим). Разряды, в которых в качестве электродов (одного или обоих) используется слабопроводящая жидкость (водные растворы, электролиты, техническая и водопроводная вода) позволяют генерировать сильно неравновесную плазму с высокой концентрацией химически активных радикалов при различных давлениях. В свою очередь, потоки энергии и химически активных частиц разряда могут воздействовать на состояние жидкого электрода, вызывая в нем различные физико-химические процессы, что делает перспективным использование КНП для обработки жидких сред с целью изменения их свойств и получения новых соединений.

Таким образом, изучение процессов, приходящих к получению наноразмерных соединений серебра при плазмохимической обработке растворов, их характеристики и устойчивость являются основой для разработки метода плазмохимического получения наноразмерных соединений серебра и получения данных для проверки адекватности математических моделей, разрабатываемых на основе теоретических закономерностей.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объектом исследования — являлись водные растворы AgNO_3 в дистиллированной воде и наночастицы серебра в них, образующиеся при обработке растворов КНП.

Целью данной работы являлось определение характеристик частиц, полученных в водных растворах при обработке КНП.

Задачами, решение которых необходимо для достижения данной цели, являются:

- задача получить водные дисперсии серебра с различными размерами наночастиц;

- провести оценку влияния процессов, связанных с плазмохимической обработкой водных растворов на размерные характеристики НЧ и их устойчивость;
- применить теоретические и экспериментальные наработки для составления математической модели, учитывающей наряду с концентрационными изменениями компонентов раствора при обработке КНП, процесс образования наноразмерных частиц.

4. Материалы и методы для изучения плазмохимического воздействия на водные растворы, содержащие растворенный нитрат серебра

В качестве объектов исследования использовались растворы AgNO_3 в дистиллированной воде.

Спектры поглощения частиц серебра регистрировали на спектрофотометре СФ-2000, используя кюветы толщиной 10 мм; в луч сравнения помещали кювету с дистиллированной водой.

Рентгеноструктурный анализ выполнен на установке ДРОН 3.

Процесс восстановления проводился в лабораторной установке, включающей в себя реактор с рубашкой водяного охлаждения, с расположенным в верхней (газовой) части анодом и катодом, погруженным в раствор. Расстояние между анодом и поверхностью жидкости не превышало 7 мм. Образующийся в результате пробоя столб плазмы является инструментом обработки.

5. Результаты исследований процесса получения наноразмерных частиц серебра при плазмохимической обработке водных растворов

Обработка проводилась после откачки газовой фазы до 15–20 кПа. Далее подавалось напряжение на электроды и по достижении пробоя и возникновения плазменного столба начинался процесс плазмохимической обработки. На рис. 1 представлен процесс обработки свежеприготовленного модельного раствора AgNO_3 , с содержанием серебра 500 мг/л. Время обработки составило 120 с. Сила тока 120 мА. Как видно из рис. 1, процесс начинается с образования темных частиц серебра на границе раздела фаз газ — жидкость. В дальнейшем они распределяются по всему объему реактора, образуя более тяжелую фракцию, оседающую на дне реактора.

Несколько иная картина наблюдается при использовании старых модельных растворов (приготовленных за 1 неделю и более до начала процесса обработки, и хранящихся в темноте).

Визуальное наблюдение за системой дает предварительные и общие закономерности относительной устойчивости исследуемой дисперсии. Зафиксированы изменения окраски системы и/или образования осадка в ней. Для частиц серебра цвет систем от красного (желто-коричневого) меняется до серого и даже черного (рис. 2, 3). При этом более крупные частицы окрашены в черный цвет, а более мелкие в светло-коричневый.

Для определения характеристик НЧ в водных дисперсиях использовалась спектроскопия в ультрафиолетовой (УФ), видимой и ИК областях. Результаты данных исследований, приведены в табл. 1. Для определения состава сухого осадка использовался рентгеноструктурный анализ.



Рис. 1. Обработка свежеприготовленного модельного раствора AgNO_3 , с содержанием серебра 500 мг/л, время обработки: 10 с, 20 с, 30 с — верхний ряд; 40 с, 80 с, 100 с — средний ряд, нижний ряд — 100 с, 120 с, 130 с

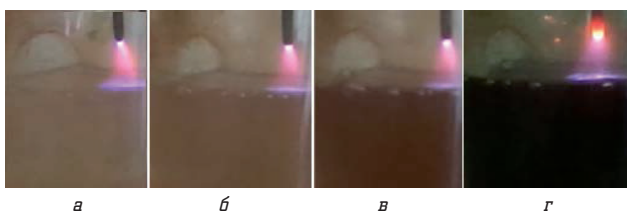


Рис. 2. Обработка старого раствора AgNO_3 , с содержанием серебра 250 мг/л, время обработки: а — 30 с; б — 60 с; в — 90 с; г — 300 с

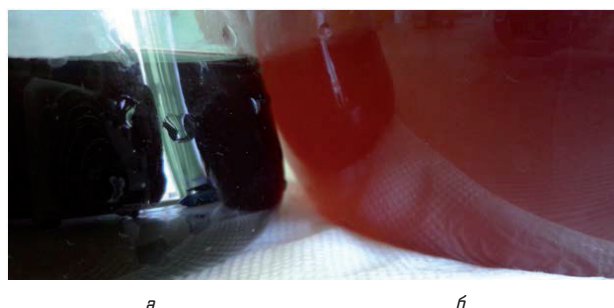


Рис. 3. Обработанный КНП модельный раствор AgNO_3 , с содержанием серебра 250 мг/л, длительность обработки: а — 600 с, б — 120 с

Спектр поглощения водной дисперсии серебра в УФ и видимой областях имеет характерный пик в области 430–440 нм и пики в области длин волн 230–235 нм и 520–560 нм. В работе [7] проводилось сопоставление спектра поглощения водной дисперсии серебра с УФ-спектрами поглощения, рассчитанными для кластерной модели Ag_{12-30} , включающей катионную вакансию на поверхности Ag (111), с использованием в качестве прототипа слоистого оксида серебра [9]. Отмечено, что полученные [7] плечо на 230–250 нм и широкий пик на 380–440 нм можно отнести к металлическому серебру. При этом, согласно теории [10] спектр поглощения металлических частиц серебра диаметром 20–30 нм имеет максимум поглощения при 440 нм. Также в работе [7] отмечено наличие плеча на 520–560 нм, которое авторы соотносят с пиками 515 и 565 нм в рассчитанном спектре для кластеров, моделирующих окисленную поверхность серебра, при этом наличие плеча, а не пиков в данной области спектра свидетельствует о малой концентрации оксида серебра на поверхности частиц [7]. Получен-

ный в исследуемом случае пик 525 нм свидетельствует об образовании большей концентрации оксидов на поверхности частиц в результате старения растворов, обработанных КНП.

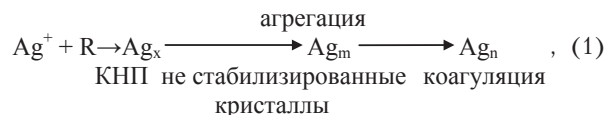
Таблица 1

Характеристики водных растворов, содержащих частицы серебра и обработанных КНП

Длительность старения, ч	Спектр поглощения	Длина волны, нм	Спектр поглощения	Длина волны, нм
Без обработки	2,4847	230	—	—
Растворы, длительность обработки КНП — 300 с				
1,0	2,5741	230	0,6313	430
2,0	2,5799	230	0,6199	440
7 сут*	2,5901	230	0,4638	525

Примечание: * — в исследованном растворе выпавший в результате агрегации частиц осадок не учитывался.

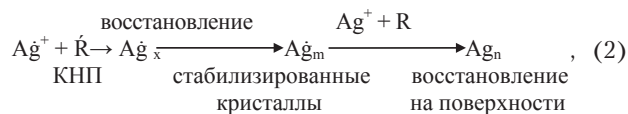
Таким образом, можно отметить, что для синтезированных под действием КНП НЧ серебра характерна высокая скорость окисления и агрегации, которые в общем виде можно представить следующим образом:



где Ag_x — кластеры серебра, Ag_m — первичные частицы, Ag_n — конечные частицы, R — восстановитель.

Полученные рентгенограммы сухого осадка показывают наличие значительного количества оксидов серебра в результате дополнительного окисления частиц серебра при сушке. В зависимости от методов сушки дисперсность частиц может варьироваться в широких пределах от 10^{-6} до 10^{-8} м.

Для повышения стабильности коллоидных растворов серебра НЧ можно стабилизировать [11], соединениями, адсорбируются на поверхности частиц и контролируют их рост и агрегацию по следующему механизму:



где Ag_x — кластеры серебра, Ag_m — первичные частицы, стабилизированные полимером частицы, Ag_n — конечные частицы, R — восстановитель.

6. Обсуждение результатов исследований получения наноразмерных частиц серебра в результате обработки КНП

Анализируя полученные данные, можно отметить следующие особенности: при обработке свежих и старых модельных растворов наблюдается отличие при протекании процесса — в первом случае идет более быстрый переход к образованию частиц более крупных

размеров (тенденция к агрегации), а во втором случае процесс получается растянутым во времени с тенденцией к образованию значительно меньших частиц, о чем свидетельствует характер изменения окраски растворов при обработке КНП.

Очевидно, это связано с процессом дегазации в старом растворе и образованием более устойчивых связей ионов серебра с водными кластерами.

При использовании стабилизирующих агентов отмечается уменьшение количества частиц, содержащих оксидные соединения в водном растворе, что отражается на более длительном сохранении полезных свойств растворов.

Полученные данные использовались для построения общей математической модели, учитывающей образование наноразмерных частиц.

При учете процесса образования НЧ в водном растворе использовали подходы, применяемые при моделировании процессов кристаллизации малорастворимых веществ, представленные в работе Э. М. Кольцовой [12], основанные на представлении о кластерах, как устойчивых образованиях, которые формируются в пересыщенном растворе в ходе серии бимолекулярных реакций между ионами или молекулами растворенного вещества. Кластеры, согласно [13, 14] достигшие критического размера, расходятся на образование зародышей и играют важную роль в росте кристалла: кластеры диффундируют к поверхности растущего кристалла и ожидают некоторой очереди кластеров со случайной ориентацией на поверхности, что приводит к значительной пленке кластеров, нуждающейся во встраивании в кристаллическую решетку. По такому механизму рост кристаллов как бы квантуется порциями этих кластеров. Причем раствор то обедняется ими за счет роста и образования зародышей, то обогащается за счет создания пресыщения путем химической реакции.

Математическая модель процесса образования наноразмерных частиц, имеет следующий вид:

Уравнения изменения концентрации реагентов соответствуют уравнениям, описанным в математической модели [15], но при этом вводятся дополнительные слагаемые, для веществ, которые подвергаются кристаллизации (для растворов нитрата серебра, это Ag, AgO, Ag₂O), учитывающие плотность кристаллов ρ^0 в растворе, объем кластера r_0 , равновесную концентрацию соответствующих компонентов c_s , константу скорости образования кластеров k_0 .

Уравнение изменения концентрации компонентов раствора за счет химической реакции:

$$F_i = P(\tau) \cdot a \cdot \left(\sum_{\alpha} c_{i\alpha} \cdot g_{i\alpha} \cdot y_{1\alpha} \right) + \left(\sum_{\beta} c_{i\beta} \cdot k_{\beta} \cdot y_{1\beta} \right) + \left(\sum_{\gamma} c_{i\gamma} \cdot k_{\gamma} \cdot y_{1\gamma} \cdot y_{2\gamma} \right) + \left(\sum_{\Delta} c_{\Delta} \cdot f_{i\Delta} \right) + P(\tau) \cdot b \cdot \left(\sum_F c_F \cdot y_{1F} \cdot y_{2F} \right) - \rho_i^0 k_0 r_0 \left(\frac{c_i - c_s^i}{c_s^i} \right)^2, \quad (3)$$

где $P(\tau)$ — количество энергии, затрачиваемое на обработку жидкости; $P(\tau) = (U_a - U_n) \cdot \eta \cdot I_a$, где U_a — анодное напряжение, U_n — напряжение на поверхности раздела фаз газ — жидкость, найденные в результате зондовых

измерений, η — коэффициент, учитывающий потери энергии, I_a — сила тока процесса; a — доля энергии, затрачиваемая на плазмохимические процессы, b — доля энергии, приходящаяся на УФ — излучение; коэффициенты $\alpha, \beta, \gamma, \Delta$ — указывают на плазмохимические реакции 1-го порядка, химические реакции 1-го порядка, химические реакции 2-го порядка, электрохимические и фотохимические реакции соответственно; $c_{i\alpha}, c_{i\beta}, c_{i\gamma}, c_{i\Delta}, c_{iF}$ — множители, учитывающие число взаимодействующих частиц; $g_a = G_a / y_{1a0}$ — константа скорости для плазмохимических реакций, где y_{1a0} — начальная концентрация вещества; k — константы скоростей соответствующих реакций; y_i — текущие концентрации веществ; $f_{i\Delta}$ — выход по закону Фарадея, $f_{i\Delta} = I_a \cdot At / (z \cdot F)$, где At — коэффициент, учитывающий влияние материала электрода, z — количество электронов, участвующих в реакции, $F = 96487$; ρ^0 — плотность кристаллов в растворе, r_0 — объем кластера, c_s — равновесная концентрация соответствующих компонентов, k^0 — константы скорости образования кластеров.

Уравнение изменения числа кластеров:

$$\frac{dn}{dt} = k_0 \left(\frac{c_i - c_s^i}{c_s^i} \right)^2 - \beta_1 n^2 - \int_2^N N(k) \eta(k) dk, \quad (4)$$

где n — число кластеров в растворе, β_1 — константа скорости роста зародышеобразования, $\eta(k)$ — скорость роста кристалла; k — количество кластеров в растущем кристалле; $N(k)dk$ — число кристаллов, содержащих количество кластеров от k до $k+dk$, t — время.

В уравнении (4) первое слагаемое в правой части характеризует приход кластеров за счет их образования в растворе, второе и третье слагаемые характеризуют уход кластеров за счет возникновения зародышей роста кристаллов соответственно.

Уравнение баланса числа кристаллов:

$$\frac{dN}{dt} + \frac{dN\eta}{dk} = 0. \quad (5)$$

В уравнении (5) скорость роста числа кристаллов является функцией количества свободных кластеров в растворе.

Граничное условие:

$$Nk\eta|_{k=2} = \beta_1 n^2, \quad \eta = \beta_2 nk\beta_3,$$

где β_1 — константа скорости зародышеобразования, β_2 — константа роста кристалла, β_3 — константа степени зависимости скорости роста кристалла η от числа кластеров в растущем кристалле, k — количество кластеров в растущем кристалле.

Начальные условия:

$$t = 0; c_i(0) = c_i^0, n(0) = 0, N(0, k) = 0, \eta(0, k) = 0.$$

Недостатком данной модели является необходимость задания величин, найденных эмпирическим путем, а именно величин констант: β_1 — скорости зародышеобразования,

β_2 — роста кристалла, β_3 — степени зависимости скорости роста кристалла η от числа кластеров в растущем кристалле, k_0 — скорости образования кластеров, скорости соответствующих реакций, и задается линейный размер кластера.

7. Выводы

1. Получены водные дисперсии серебра с различными размерами наночастиц.

2. Отмечено образование оксидных соединений на поверхности НЧ через 1 неделю после получения раствора, обработанного КНП и содержащего НЧ серебра. Наблюдаемые процессы агрегации приводят к увеличению размеров частиц с 2–4 нм до 20–30 нм в процессе обработки, в зависимости от ее продолжительности. Повышение стабильности растворов, содержащих НЧ серебра, достигается за счет введения полимерных соединений, адсорбируются на поверхности частиц.

3. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют использовать полученные данные для составления математической модели, общее уравнение которой, приведено в данной работе, учитывающей наряду с концентрационными изменениями компонентов раствора при обработке КНП, процесс образования наноразмерных частиц.

Литература

- Крутяков, Ю. Я. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы [Текст] / Ю. А. Крутяков, А. А. Кудрицкий, А. Ю. Оленин, Г. В. Лисичкин // Успехи химии. — 2008. — № 3(77). — С. 242–269.
- Rycenga, M. Controlling the Synthesis and Assembly of Silver Nanostructures for Plasmonic [Text] / M. Rycenga, C. M. Cobley, J. Zeng, W. Li, C. H. Moran, Q. Zhang, D. Qin, Y. Xia // Chemical Reviews. — 2011. — Vol. 111, № 6. — P. 3669–3712. doi:10.1021/cr100275d
- Curtis, C. J. Direct Write Metallizations for Ag and Al [Text] / C. J. Curtis, A. Miedaner, T. Rivkin, J. Alleman, D. L. Schulz, D. S. Ginley // MRS Proceedings. — 2000. — Vol. 624. — P. 59–64. doi:10.1557/proc-624-59
- Кузьмина, Л. Н. Получение наночастиц серебра методом химического восстановления [Текст] / Л. Н. Кузьмина, Н. С. Звиденцова, Л. В. Колесников // Журнал Российского химического общества им. Д. И. Менделеева. — 2007. — № 8. — С. 7–12.
- Рогов, И. С. Получение наночастиц серебра методом электроискрового диспергирования в жидких средах [Текст] / И. С. Рогов, А. И. Галанов // Сборник докладов IV Всероссийской конференции студентов «Ресурсоэффективным технологиям — энергию и энтузиазм молодых». — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. — С. 90–93.
- Даниленко, Н. Б. Применение импульсных электрических разрядов для получения наноматериалов и их использование для очистки воды [Текст] / Н. Б. Даниленко, А. И. Галанов, Я. И. Корнев и др. // Нанотехника. — 2006. — № 4(8). — С. 81–91.
- Сергеев, Б. М. Получение наночастиц серебра в водных растворах полиакриловой кислоты [Текст] / Б. М. Сергеев, М. В. Кирюхин, А. Н. Прусов, В. Г. Сергеев // Вестник Московского Университета. Серия 2: Химия. — 1999. — Т. 40, № 2. — С. 129–133.
- Сергеева, О. В. Восстановление ионов серебра из водного раствора путем его плазмохимической обработки [Текст] / О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров, Л. А. Фролова, Т. Н. Дубовик // Materiály viii Mezinárodní vědecko-praktická konference «Přední vědecké novinky-2012», 27 srpna — 05 září 2012 roku. Díl 9. Ekologie. Chemie a chemická technologie zemědělství. — Praha, 2012. — P. 27–30.
- Рогач, А. Л. Образование высокодисперсного серебра при восстановлении ионов Ag^+ в водных растворах [Текст] / А. Л. Рогач, В. Н. Хвалюк, В. С. Турин // Коллоидный журнал. — 1994. — Т. 56(12). — С. 276–278.
- Skillman, D. C. Effect of Particle Shape on the Spectral Absorption of Colloidal Silver in Gelatin [Text] / D. C. Skillman, C. R. Berry // The Journal of Chemical Physics. — 1968. — Vol. 48, № 7. — P. 3297–3304. doi:10.1063/1.1669607
- Спосіб отримання колоїдного розчину наночастинок срібла [Текст]: пат. України № 06343. МПК (2014.01) B01J 13/00 / Пивоваров, О. А., Воробійова, М. І., Сергеева, О. В. — № u2014 12650; заявл. 10.06.2014; опубл. 10.12.2014; Бюл. № 23.
- Кольцова, Э. М. Алгоритмизация задач нелинейной динамики в процессах массовой кристаллизации из растворов [Текст] / Э. М. Кольцова, Л. С. Гордеев, А. В. Агатица // Программные продукты и системы. — 1998. — № 1. — С. 29–35.
- Larson, M. A. Solute clustering and interfacial tension [Text] / M. A. Larson, J. Garside // Journal of Crystal Growth. — 1986. — Vol. 76, № 1. — P. 88–92. doi:10.1016/0022-0248(86)90013-8
- Larson, M. A. Solute clustering in supersaturated solutions [Text] / M. A. Larson, J. Garside // Chemical Engineering Science. — 1986. — Vol. 41, № 5. — P. 1285–1289. doi:10.1016/0009-2509(86)87101-9
- Сергеева, О. В. Пример решения прямой задачи химической кинетики с использованием средств Mathcad Professional [Текст] / О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров, О. В. Овчаренко // Вопросы химии и химической технологии. — 2009. — № 5. — С. 166–170.

ОТРИМАННЯ НАНОРОЗМІРНИХ ЧАСТИНОК З ВОДНОГО РОЗЧИНУ СЕРЕБРА ПЛАЗМОХІМІЧНИМ МЕТОДОМ

У даній роботі досліджувався вплив процесу плазмохімічної обробки водних розчинів, що містять іони срібла, на отримання нанорозмірних частинок срібла, їх розміри і характер їх змін в заданому часовому проміжку. Отримані результати плануються використовувати для створення уточненої математичної моделі процесу плазмохімічної обробки рідких середовищ.

Ключові слова: нерівноважна плазма, розряд, рідкий катод, наночастишки срібла, водяний розчин.

Сергеева Ольга Вячеславовна, кандидат технических наук, докторант, кафедра технологии неорганических веществ и экологии, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина, e-mail: ov.sergeeva@mail.ru.

Пивоваров Александр Андреевич, доктор технических наук, профессор, кафедра технологии неорганических веществ и экологии, ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», Днепропетровск, Украина, e-mail: apivo@ua.fm.

Сергеева Ольга Вячеславовна, кандидат технічних наук, докторант, кафедра технології неорганічних речовин та екології, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна.

Пивоваров Олександр Андрійович, доктор технічних наук, професор, кафедра технології неорганічних речовин та екології, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Дніпропетровськ, Україна.

Sergeyeva Olga, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: ov.sergeeva@mail.ru.

Pivovarov Alexander, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: apivo@ua.fm