



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G21K 5/04 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020129887, 10.09.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.09.2020Дата регистрации:
12.04.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.09.2020

(45) Опубликовано: 12.04.2021 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

119071, Москва, Ленинский пр-кт, 31, корп. 4,
ИФХЭ РАН

(72) Автор(ы):

Суворова Ольга Валентиновна (RU),
Быстров Павел Алексеевич (RU),
Павлов Юрий Сергеевич (RU),
Ревина Александра Анатольевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

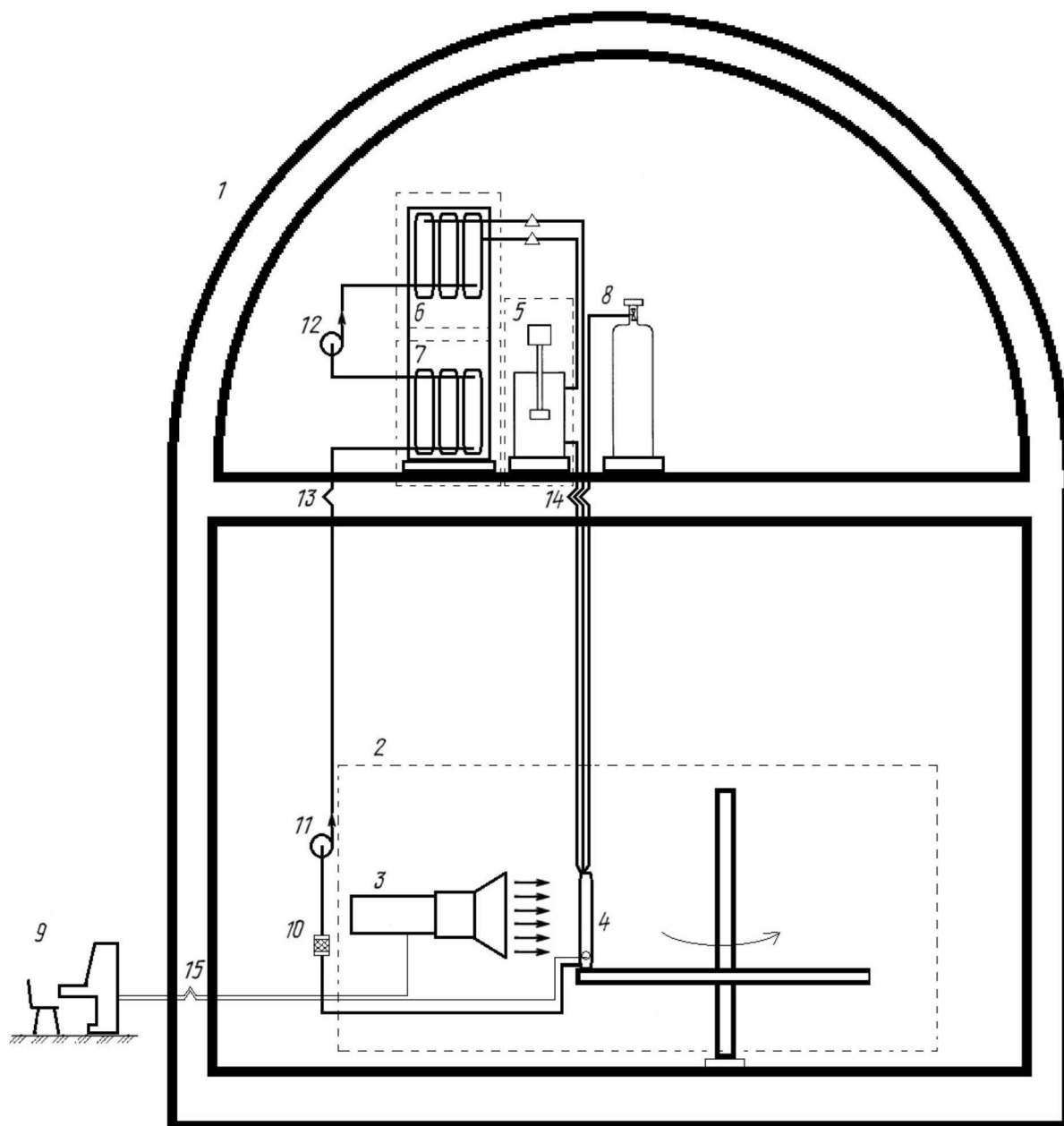
Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт физической
химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина
Российской академии наук (ИФХЭ РАН)
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2135262 C1, 27.08.1999. RU
2322327 C2, 20.04.2008. RU 2260500 C1,
20.09.2005. RU 2079341 C1, 20.05.1997. JP
2004275925 A, 07.10.2004. KR 1020180104404 A,
21.09.2018. KR 1020180068538 A, 22.06.2018. EP
2140958 B1, 01.11.2017.

(54) Электронно-лучевая система объемного (3D) радиационного наномодифицирования материалов и изделий в обратномцеллярных растворах

(57) Реферат:

Изобретение относится к средству производства нанокompозитных материалов, катализаторов, адсорбентов, нанофункционализации покрытий, а также изделий для радиоэлектроники, электротехники, медицины, сельского хозяйства, агро- и биотехнологий. Электронно-лучевая система объемного (3D) радиационного наномодифицирования материалов и изделий в обратномцеллярных растворах содержит двухуровневый производственно-технологический модуль с биологической противорадиационной защитой и пульт управления системой, вынесенный за пределы двухуровневого

производственно-технологического модуля, связанный с ним электрическими кабелями. На верхнем уровне двухуровневого производственно-технологического модуля расположены емкость для подготовки обратномцеллярного раствора, блок промывки реактора, блок регенерации реагентов и баллон с инертным газом, на нижнем уровне двухуровневого производственно-технологического модуля расположены ускоритель электронов и система реакторов. Техническим результатом является повышение эффективности и безопасности процессов радиационно-химического модифицирования объектов. 6 з.п. ф-лы, 2 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G21K 5/04 (2021.02)(21)(22) Application: **2020129887, 10.09.2020**(24) Effective date for property rights:
10.09.2020Registration date:
12.04.2021

Priority:

(22) Date of filing: **10.09.2020**(45) Date of publication: **12.04.2021** Bull. № 11

Mail address:

**119071, Moskva, Leninskij pr-kt, 31, korp. 4,
IFKHE RAN**

(72) Inventor(s):

**Suvorova Olga Valentinovna (RU),
Bystrov Pavel Alekseevich (RU),
Pavlov Yuriy Sergeevich (RU),
Revina Aleksandra Anatolevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
uchrezhdenie nauki Institut fizicheskoy khimii
i elektrokhimii im. A.N. Frumkina Rossijskoj
akademii nauk (IFKHE RAN) (RU)**(54) **ELECTRON BEAM SYSTEM OF VOLUMETRIC (3D) RADIATION NANOMODIFICATION OF MATERIALS AND PRODUCTS IN REVERSE MICELLAR SOLUTIONS**

(57) Abstract:

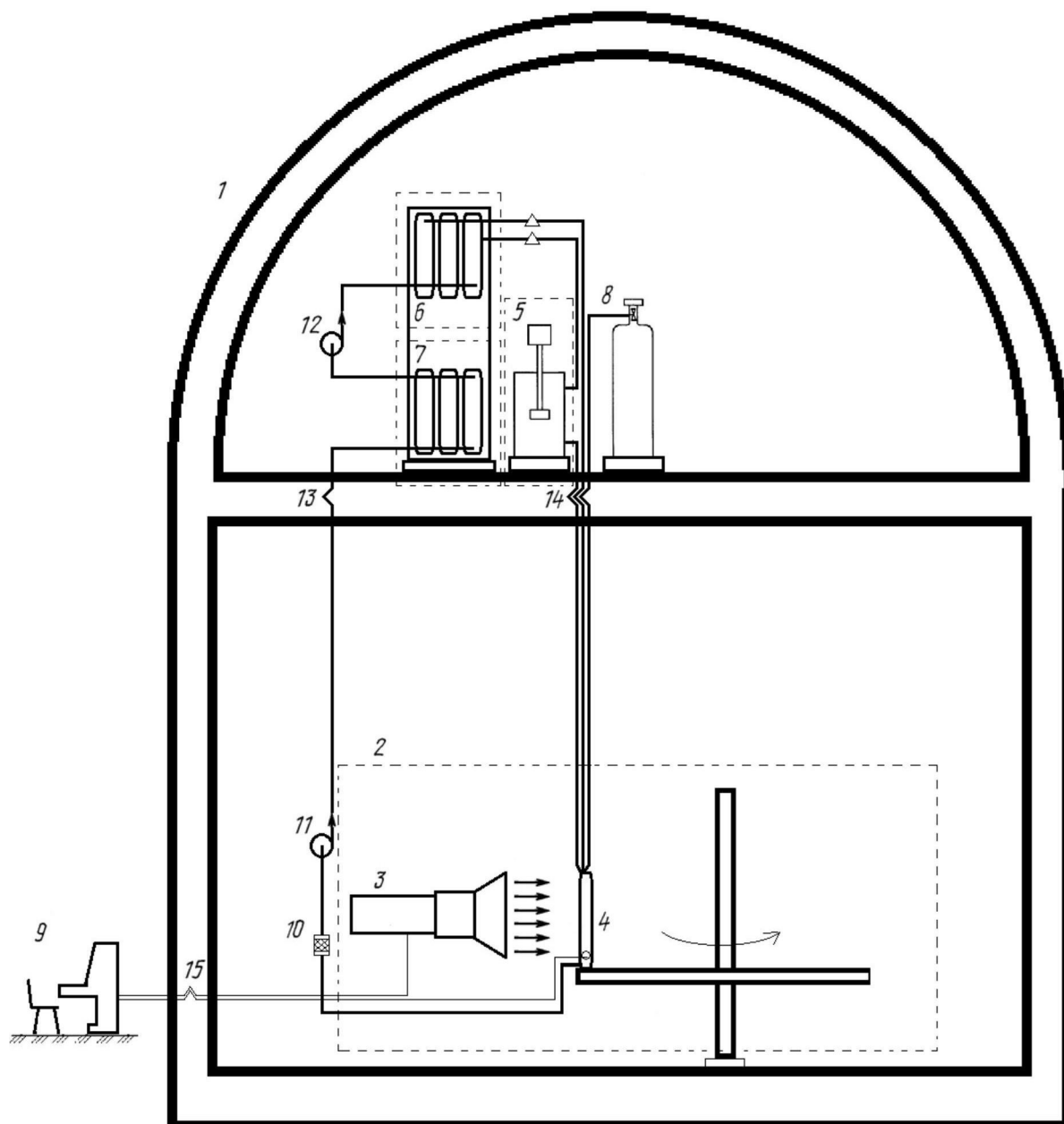
FIELD: electronics; electrical engineering; medicine.

SUBSTANCE: invention relates to a means for the production of nanocomposite materials, catalysts, adsorbents, nanofunctionalization of coatings, as well as products for radio electronics, electrical engineering, medicine, agriculture, agricultural technology and biotechnology. The electron-beam system of volumetric (3D) radiation nanomodification of materials and products in reverse micellar solutions contains a two-level production and technological module with biological anti-radiation protection and a system control panel, located outside the two-level production and

technological module, connected with electric cables. The upper level of the two-level production and technical module has a container for the preparation of a reverse micellar solution, a reactor washing unit, a reagent regeneration unit and a cylinder with an inert gas, at the lower level of a two-level production and technical module there are an electron accelerator and a system of reactors.

EFFECT: invention is aimed at increasing the efficiency and safety of the processes of radiation-chemical modification of objects.

7 cl, 2 dwg



Фиг.1

Изобретение предназначено для химической промышленности и может быть использовано в производстве нанокompозитных материалов, катализаторов, адсорбентов, нанофункционализации покрытий, а также изделий для радиоэлектроники, электротехники, медицины, сельского хозяйства, агро- и биотехнологий.

Областью применения изобретения является технологическое оборудование, обеспечивающее проведение и контроль радиационно-химических процессов как при создании нанокompозитных материалов с заданными свойствами, так и при целенаправленной функционализации покрытий и поверхности изделий.

Современный уровень техники позволяет создавать программно-аппаратные комплексы для электронно-лучевой 3D обработки трехмерных объектов со сложной геометрией и применять их при решении широкого круга задач, например, для стерилизации изделий медицинского назначения и продуктов питания. Gotzmann, et all (Gotzmann, Gaby & Portillo Casado, Javier & Wronski, Sabine & Kohl, Yvonne & Gorjup, E. & Schuck, H. & Rögner, Frank-Holm & Müller, M. & Chaberny, Iris F. & Schönfelder, Jessy & Wetzal, C.. (2018). Low-energy electron-beam treatment as alternative for on-site sterilization of highly functionalized medical products - A feasibility study. Radiation Physics and Chemistry. 150. 10.1016/j.radphyschem.2018.04.008) приводят доказательства практической применимости, эффективности и экономической целесообразности использования компактных электронно-лучевых систем невысокой мощности для стерилизации медицинских изделий, чувствительных к высоким температурам, либо содержащим элементы микросхем и датчики, или узлы и детали из полимеров, что ограничивает применение таких стандартных методов обеззараживания, как автоклавирование или гамма-облучение. Скорость проведения электронно-лучевой стерилизации, возможность контролировать глубину проникновения радиационного воздействия, позволяет избегать высоких температур, за секунды обработать поверхности, тем самым снижая риски деградации полимерных материалов, что случается при более длительном воздействии гамма-лучей, требуемом для достижений сопоставимых антисептических эффектов, а за счет контроля глубины проникновения излучения, сохранить работоспособность встроенных электронных и полупроводниковых компонентов изделия. Для реализации в вышеуказанной системе режима 3D обработки изделий (например, медицинских зажимов и винтов) применяется робототехнический держатель с поворотным механизмом, рассчитываются траектории движения объекта под электронным пучком и соответствующие параметры радиационной обработки (скорость перемещения объекта, мощность и время облучения, глубина проникновения, поглощенная доза). Указанное в данном примере оборудование также может быть использовано для изменения физико-механических свойств поверхностей, как предлагают авторы Gotzmann, et al. (2017) [Gotzmann, Gaby & Beckmann, J. & Scholz, B. & Herrmann, U. & Wetzal, C. Low-energy electron-beam modification of DLC coatings reduces cell count while maintaining biocompatibility // Surface and Coatings Technology. 336. 10.1016/j.surfcoat.2017.09.024]. Система, включающая программное обеспечение управляющее не только манипулятором, но и характеристиками пучка заряженных частиц для достижения требуемого профиля дозы облучения [Bystrov P. A., Rozanov N. E. The model of the irradiation of a three-dimensional object by the electron beam in the sterilization installation with the local radiation shielding // Problems of Atomic Science and Technology (Вопросы атомной науки и техники). - 2014. - no. 3. - P. 128-133], позволяет проводить эффективную стерилизацию трехмерных объектов и радиационно-химические преобразования поверхностей изделий.

В приведенных примерах электронно-лучевых (ЭЛ) систем, входящих в группу ЭЛ

систем 3D обработки объектов со сложной геометрией, не реализуется возможность проведения объемного наномодифицирования объектов в жидкой среде *in situ* в процессе синтеза модифицирующих реагентов, включая препараты наноструктурных частиц металлов, обладающих бактерицидными, каталитическими, антикоррозионными и магнитными свойствами (А. Ревина, Патент РФ № 2322327).

Наиболее близким к заявляемому изобретению примером является система модифицирования объектов наночастицами, синтезируемыми при воздействии ионизирующего γ -излучения ^{60}Co , содержащая реактор с раствором модифицирующего вещества, в который помещены модифицируемые объекты (А. Ревина, Патент РФ № 2212268). Однако известная система предполагает использование радиоизотопного источника с неуправляемым потоком гамма-излучения, что снижает ее эффективность и имеет в своем составе блок оборудования, эксплуатация которого требует повышенных мер безопасности. Хранение и перезарядка дорогостоящих кобальтовых источников ионизирующего излучения является серьезной технической проблемой, при проведении работ не исключены риски облучения персонала. При использовании этих источников требуется обеспечение мер как радиационной, так и антитеррористической безопасности, что повышает стоимость эксплуатации указанной системы. Другим ее недостатком является низкая скорость процесса наномодифицирования, вызванная малой мощностью изотопных источников, что увеличивает время радиационного воздействия на объекты и снижает производительность системы, а также может в ряде случаев приводить к нежелательным деградиационным радиационно-химическим процессам, которые проявляются при длительном облучении, к неконтролируемой деструкции материалов и изделий (как их поверхностных слоев, так и расположенных в глубине объема компонентов микроэлектроники), что ограничивает номенклатуру изделий, разнообразие матриц и материалов, которые могут быть подвергнуты радиационному наномодифицированию.

Техническим результатом заявленного изобретения является повышение эффективности и безопасности процессов радиационно-химического модифицирования объектов.

Технический результат заявленного изобретения достигается тем, что электронно-лучевая система объемного (3D) радиационного наномодифицирования материалов и изделий в обратномиллярных растворах, содержащая двухуровневый производственно-технологический модуль с биологической противорадиационной защитой и пульт управления системой, вынесенный за пределы двухуровневого производственно-технологического модуля, связанный с ним электрическими кабелями, на верхнем уровне двухуровневого производственно-технического модуля расположены емкость для подготовки обратномиллярного раствора, блок промывки реактора, блок регенерации реагентов и баллон с инертным газом, на нижнем уровне двухуровневого производственно-технического модуля расположены ускоритель электронов и система реакторов, при этом система реакторов состоит из реакторов с гидрозатворами, расположенных на круговом транспортном устройстве и связанных гибкими технологическими магистралями с емкостью для подготовки обратномиллярного раствора, блоком промывки реактора, блоком регенерации реагентов, баллоном с инертным газом, внутри реакторов расположены датчики контроля процессами, ускоритель электронов, круговое транспортное устройство и датчики контроля процессами связаны электрическими кабелями с пультом управления системой, на гибкой технологической магистрали между реакторами и блоком регенерации реагентов установлен поглотитель, блок промывки реактора связан гибкой

технологической магистралью с емкостью для подготовки обратномиецеллярного раствора. Реакторы имеют тороидально-секторальную форму. В емкости для подготовки обратномиецеллярного раствора установлено перемешивающее устройство. На гибкой технологической магистрали между реакторами и блоком регенерации реагентов
 5 дополнительно установлен после поглотителя насос для перекачки смеси. Уровни производственно-технологического модуля связаны лабиринтами радиационной защиты, через которые проходят гибкие технологические магистрали. Электрические кабели, связывающие производственно-технологический модуль и пульт управления системой, проложены в лабиринте радиационной защиты. Количество реакторов определяется
 10 объемами наномодифицируемых объектов, а ограничивается размерами кругового транспортного устройства.

Признаки и сущность заявленного изобретения поясняются в последующем детальном описании, иллюстрируемом графическими материалами, где показано следующее:

на фиг. 1 - Схема электронно-лучевой системы объемного (3D) радиационного

15 наномодифицирования материалов и изделий в обратномиецеллярных растворах, где:

1 - двухуровневый производственно-технологический модуль;

2 - блок динамического модифицирования *in situ*;

3 - ускоритель электронов;

4 - система реакторов;

20 5 - емкость для подготовки обратномиецеллярного раствора;

6 - блок промывки реактора;

7 - блок регенерации реагентов;

8 - баллон с инертным газом;

9 - пульт управления системой;

25 10 - поглотитель;

11 - насос для перекачки смеси;

12 - подкачивающий насос;

13 - лабиринт радиационной защиты магистрали регенерации;

14 - лабиринт радиационной защиты магистралей подачи реагентов и газа в реактор;

30 15 - лабиринт радиационной защиты электрических кабелей системы.

на фиг. 2 - Схема расположения элементов блока динамического модифицирования *in situ*, где:

3 - ускоритель электронов.

16₁...16_n - реакторы с гидрозатворами;

35 17₁...17_n - датчики контроля процесса;

18 - круговое транспортное устройство.

С применением предлагаемой Системы объемного (3D) электронно-лучевого

наномодифицирования¹ (¹ Под наномодифицированием понимается процесс

40 технологической обработки объектов (как готовых изделий и деталей, так и различного рода носителей, матриц и мелкодисперсных сырьевых материалов), в результате которой создаются композиционные поверхностные слои, оболочки (как частный случай, импрегнирование или внедрение в поры и дефекты основы отдельных вкраплений), представляющие собой искусственно или естественно упорядоченные системы,
 45 состоящие из смеси или комбинации двух или более составляющих элементов, различных по форме, химическому составу и свойствам, при этом, как минимум, один из элементов имеет нанометрические характеристические размеры и проявляет особые свойства при физическом и (или) химическом взаимодействии, обеспечивающие существенное

улучшение или возникновение совокупности качественно новых (в том числе, ранее неизвестных) механических, химических, электрофизических, оптических, теплофизических и других свойств материалов, определяемых проявлением наномасштабных факторов.) изделий и материалов процесс радиационно-химического модифицирования объектов реализуется по, однореакторной технологии за счет целенаправленного многофакторного воздействия на них ионизирующего излучения, генерируемого ускорителем электронов в диапазоне доз от 5 до 50 кГр (при $T < 70^\circ\text{C}$), осуществляемого в постоянно перемешиваемой барботируемым инертным газом водно-органической дисперсии обратных мицелл *in situ* при управляемой радиационно-химической деструкции поверхности и одновременном внедрении в поверхностные слои объектов, поры и фибриллы матриц начиная с первых стадий формирования в мицеллярной среде радиационно синтезируемых наночастиц металлов (биметаллов, оксидов и карбидов металлов), отвечающих за функциональные характеристики создаваемых материалов и модифицируемых поверхностей. Под повышением эффективности понимается повышение скорости обработки модифицируемого в обратномицеллярном растворе объекта на два порядка, при сохранении равномерности радиационного воздействия на объект за счет управления профилем дозы в соответствии с предварительным расчетом, удешевление производственного процесса более чем на 50%. Повышение безопасности промышленной эксплуатации системы, реализуемой на базе электронного ускорителя, происходит благодаря отказу от использования радиоизотопных источников с неуправляемым потоком гамма-излучения, которые по-прежнему являются факторами высокой радиационной опасности.

В отсутствии радионуклидных элементов многофакторное воздействие на объекты *in situ* процесса синтеза наночастиц в обратномицеллярном растворе достигается сочетанием действия ионизирующего излучения, генерируемого ускорителем электронов, химически активной среды и образующихся металлсодержащих наночастиц.

Наномодифицирование поверхности объектов сложной геометрии достигается за счет перемешивания обратномицеллярного раствора в ходе синтеза наночастиц с помощью инертного газа, т.е. барботирование реакционной смеси имеет не только задачу подготовительного деаэрирования, необходимого для радиационно-химического синтеза наночастиц металлов, но и задачу доставки наночастиц ко всей поверхности 3D-объекта. Предложенная в изобретении форма узкого секционного реактора из радиационно-прозрачных материалов ($l_{\text{реактора}} \times h_{\text{реактора}} \times s_{\text{реактора}}$), параметры ширины которого увязаны с глубиной проникновения излучения ($s_{\text{реактора}}$ не более

3,5-4 см при одностороннем облучении, 7-8 см - при двустороннем), позволяет получить расчетные профили доз облучения в области поверхностей модифицируемых объектов, обеспечивает однородное облучение всех объектов в реакторе. Прочие размеры секционных реакторов зависят от ширины развертки выведенного пучка электронов ускорителя и диаметра кругового транспортного устройства, определяющего также максимальное количество реакторов, которые могут использоваться за один технологический цикл наномодифицирования.

Экспериментально подтверждено, что радиационно-химический синтез наночастиц металлов, биметаллов и их оксидов в водно-органической системе обратных мицелл возможно осуществлять под воздействием излучения ускоренных электронов и что более высокая мощность электронных ускорителей в сравнении с источниками ионизирующего γ -излучения ^{60}Co не является принципиальным препятствием для проведения данного вида синтеза наночастиц. Более того, при дозе 15 кГр обработка

на ускорителе занимает менее минуты времени, в то время как на радиоизотопных источниках требуется облучение в течение более 1 часа. Благодаря высокой скорости процесса система позволяет избегать нежелательных последствий вторичных деградационных процессов, протекающих при длительном облучении. Заявленное изобретение позволяет обойтись без радиоизотопных гамма-установок и, как следствие, исключить из производственных регламентов сложные и опасные процедуры перезагрузки. Благодаря использованию ускорителей заряженных частиц появляется возможность управления характеристиками ионизирующего излучения, которым является электронный пучок, а сама система может быть легко подготовлена к работе, существенно упрощается ее монтаж и демонтаж.

Поскольку в отличие от гамма-излучения, электронное излучение неглубоко проникает в объект, то в зависимости от энергии электронов пучка ускорителя реакторы изготавливаются в форме узкого тороидального сектора из радиационно-прозрачных материалов и располагаются на круговом транспортном устройстве напротив пучка ускорителя и на одном уровне с ним. Создание и поддержание анаэробных условий процессов синтеза наночастиц металлов, наномодифицирования объектов и проведения перемешивания обратномиецеллярных растворов осуществляет за счет барботаж с применением инертного газа, для отвода которого используются гидрозатворы, которыми снабжен каждый реактор. Доза облучения задается с учетом параметров эффективного в подвижной (за счет барботирования) жидкой миецеллярной среде синтеза наночастиц металлов (биметаллов, оксидов, карбидов металлов) с заданными характеристиками, контролируемой деструкции и активирования поверхности (при необходимости) за счет как собственно радиационного воздействия, так и действия химически активной среды. В заявленной системе заложен динамический принцип проведения цикла облучения. Простым и безопасным способом регулирования поглощенной дозы в режиме реального времени является изменение скорости проведения реакторов под электронным пучком.

Эксплуатация заявленной системы допускается лишь в радиационно-защищенном бункере, при этом ее элементы, подвергающиеся воздействию ионизирующего излучения, должны соответствовать требованиям радиационной стойкости.

На фиг. 1 изображена схема электронно-лучевой системы объемного (3D) радиационного наномодифицирования материалов и изделий в обратномиецеллярных растворах (далее - Система). Система состоит из технологически связанных между собой в двухуровневом производственно-технологическом модуле (1) с биологической противорадиационной защитой блока динамического модифицирования *in situ* (2), содержащего ускоритель электронов (3) и систему реакторов (4), и смонтированными на стойке, расположенной стационарно на верхнем уровне производственно-технологического модуля (1) емкости для подготовки обратномиецеллярного раствора (5), блока промывки реактора (6), блока регенерации реагентов (7), баллона с инертным газом (8), а также пульта управления системой (9), вынесенного за пределы двухуровневого производственно-технологического модуля (1).

С учетом особенностей использования электронно-лучевых технологий в закрытом помещении, предлагаемая система на основе электронного ускорителя (3) размещена в помещении на двух уровнях с применением отдельной радиационной защиты на каждом из них.

В двухуровневом производственно-технологическом модуле (1) на верхнем уровне размещены: емкость для подготовки обратномиецеллярного раствора (5), блок промывки реактора (6), блок регенерации реагентов (7) и баллон и инертным газом (8) и

подкачивающий насос (12), на нижнем уровне - блок динамического модифицирования объектов *in situ* (2), поглотитель (10) и насос для перекачки смеси (11). Между собой уровни помещения связаны лабиринтами радиационной защиты (13, 14), через которые проходят гибкие технологические магистрали. Пульт управления системой (9),
 5 расположенный вне производственно-технологического модуля (1), связан с ним электрическими кабелями, проложенным в защитном лабиринте радиационной защиты (15).

Блок динамического модифицирования *in situ* (2) включает в себя ускоритель электронов (3) и систему реакторов (4).

10 Система реакторов (4) состоит из реакторов с гидрозатворами ($16_1 \dots 16_n$) тороидально-секторальной формы с синтезируемым наномодифицирующим раствором, в которые помещены модифицируемые *in situ* объекты, оснащенных датчиками контроля процесса ($17_1 \dots 17_n$) для измерения характеристик процесса в режиме реального времени (диодный датчик полученной дозы, датчик температуры в реакторе, датчик
 15 электрической проводимости вещества и датчик прозрачности вещества), и кругового транспортного устройства (18). Количество используемых реакторов ($16_1 \dots 16_n$) определяется объемами наномодифицируемых объектов, а ограничивается размерами транспортного устройства.

20 Измеряемые датчиками контроля процесса ($17_1 \dots 17_n$) данные поступают на пульт управления системой (9) и используются для управления пучком ускорителя электронов (3) и транспортным устройством (18). Пульт управления системой (9) представляет собой электронно-вычислительную машину, связанную электрическими кабелями с ускорителем электронов (3), датчиками контроля процесса ($17_1 \dots 17_n$), и круговым
 25 транспортным устройством (18). Круговое транспортное устройство представляет собой вращающийся круглый горизонтальный плоский стол, на краю которого располагаются реакторы ($16_1 \dots 16_n$) с загруженными объектами. Окно вывода ускорителя электронов (3) располагается у края стола горизонтально или вертикально таким образом, чтобы объекты перемещались под сканируемым пучком ускорителя при
 30 повороте стола. Диаметр стола должен быть таким, чтобы движение реакторов на его краю можно было считать условно прямолинейным, а их облучение однородным при равномерном повороте. Высота стола подбирается в соответствии с расположением окна вывода ускорителя электронов (3) таким образом, чтобы объекты в реакторах однородно облучались при прохождении мимо окна вывода в пределах заданной
 35 ширины развертки.

Реакторы ($16_1 \dots 16_n$) представляют собой емкости, облучаемые со стороны широких радиационно-прозрачных граней и имеющие размеры по толщине ($s_{\text{реактора}}$), соответствующие глубине образования однородной дозы в модифицируемом веществе:
 40 ~ 2.5 - 3.5 см. Размер отдельного реактора по высоте ($h_{\text{реактора}}$) ограничен шириной развертки пучка ускорителя, а по длине ($l_{\text{реактора}}$) определяется требуемым объемом обработки. Максимальные размеры реакторов по высоте составляют 70 сантиметров, толщина реактора не превышает 7-8 см при обеспечении двустороннего облучения. Реакторы ($16_1 \dots 16_n$) располагаются на транспортном устройстве (18) для проведения
 45 его под пучком и связаны гибкими технологическими магистралями блока динамического модифицирования с емкостью для подготовки обратномиллярного раствора (5), блоком промывки реактора (6), блоком регенерации реагентов (7), баллоном с инертным газом (8). Круговое транспортное устройство (18) перемещает

реакторы ($16_1 \dots 16_n$) на одном уровне с выходным окном ускорителя электронов (3) с энергией электронов 7-10 МэВ, мощностью пучка до 10 кВт, который обеспечивает развертку пучка в плоскости вывода. В верхней части реакторы ($16_1 \dots 16_n$) имеют горловины с пробками для загрузки и выгрузки модифицируемых объектов, а также входные штуцеры для подсоединения гибких технологических магистралей, в нижней части имеются сливные патрубки с кранами. Датчики контроля процессами ($17_1 \dots 17_n$), определяющие параметры процесса *in situ* модифицирования объектов, расположены внутри реакторов ($16_1 \dots 16_n$).

Модифицирование проводится путем воздействия ионизирующим излучением на герметизированные реакторы ($16_1 \dots 16_n$) с объектами, погруженными в деаэрированную солюбилизованную обратномиецеллярную дисперсию на основе раствора поверхностно-активного вещества в неполярном растворителе с растворами солей металлов, в условиях барботирования дисперсии инертным газом, за счет изменения свойств поверхности объектов и внедрения *in situ* наноструктур, получаемых в пулах мицелл подвижной среды восстановлением ионов металлов сольватированными электронами и радикалами, при проведении реакторов под пучком с различной скоростью, что позволяет получить требуемый уровень дозы.

Емкость для подготовки обратномиецеллярного раствора (5) через разветвитель связана гибкими технологическими магистральями с входными штуцерами в верхней части реакторов ($16_1 \dots 16_n$) блока динамического модифицирования *in situ* (2). Для смешивания раствора поверхностно-активного вещества в неполярном растворителе с водным раствором ионов солей металлов в емкости для подготовки обратномиецеллярного раствора (5) установлено перемешивающее устройство. Баллон с инертным газом (8) оснащен гребенкой и связан гибкими технологическими магистральями с входными газовыми штуцерами в верхней части реакторов ($16_1 \dots 16_n$).

Блок промывки реактора (6) образован расположенными на верхнем уровне двухуровневого производственно-технического модуля (1) емкостью с жидким углеводородом, емкостью с водно-спиртовой смесью и емкостью с дистиллированной водой. В верхней части все емкости имеют горловины с пробками для первичной заливки промывочных растворов и входные штуцеры для последующей циклической подачи восстановленных растворов по технологическим магистральям из блока регенерации реагентов (7). Из нижней части каждой емкости выведены сливные патрубки с кранами, выходящие в гибкие технологические магистрали, связанные в блоке динамического модифицирования *in situ* (2) магистральями через сливные патрубки с входными штуцерами в верхней части реакторов ($16_1 \dots 16_n$). Емкость с жидким углеводородом блока промывки реактора (6) связана патрубком с краном с емкостью подготовки обратномиецеллярного раствора (5).

Выходной патрубок каждого реактора ($16_1 \dots 16_n$) гибкой технологической магистралью с краном связан с поглотителем (10), задерживающим оставшиеся в растворе металлические наночастицы после модифицирования объектов. Выходной патрубок поглотителя (10) связан с входным штуцером ректификационных колонок блока регенерации реагентов (7) гибкой технологической магистралью, в которой установлен насос для перекачки смеси (11). Блок регенерации реагентов (7) образован ректификационной колонкой для регенерации углеводородов, ректификационной колонкой для регенерации водно-спиртовой смеси и ректификационной колонкой для перегонки и очистки воды. Для подачи восстановленных промывочных растворов

обратно в блок промывки реактора (8) в связывающих магистралях устанавливается подкачивающий насос (12).

Электронно-лучевая система объемного (3D) радиационного наномодифицирования материалов и изделий в обратномиицеллярных растворах работает следующим образом.

5 Перед началом работы заполняют емкости блока промывки реактора (6) жидким углеводородом, водно-спиртовой смесью и дистиллированной водой. В емкость для подготовки обратномиицеллярного раствора (5) помещают поверхностно-активное вещество, заливают из емкости с жидким углеводородом блока промывки реактора (8), неполярный растворитель (углеводород) и вводят водный раствор солей металлов, далее включают перемешивающее устройство для солюбилизации обратномиицеллярного водно-органического раствора. В реакторы (16₁...16_n) помещают объекты и материалы для наномодифицирования. Затем открывают кран для подачи раствора в реакторы (16₁...16_n) и затвор для насыщения раствора инертным газом из баллона (8), после заполнения реакторов (16₁...16_n) закрывают кран подачи раствора, закрывают и
15 блокируют рабочую камеру ускорителя электронов (3).

При помощи пульта управления системой (9) включают ускоритель электронов (3) и транспортное устройство (18). Процесс модифицирования контролируется с пульта (9) при помощи датчиков контроля процессами (17₁...17_n). Через определенное время, соответствующее скорости прохождения реакторов (16₁...16_n) на транспортном устройстве под пучком для получения заданной дозы воздействия ионизирующего излучения на поверхность объектов и перемешиваемый с помощью инертного газа обратномиицеллярный раствор для модифицирования объектов *in situ* образующимися наночастицами, ускоритель электронов (3) и круговое транспортное устройство (18) с
25 помощью пульта управления системой (9) переводят в нерабочее состояние и открывают рабочую камеру ускорителя.

Затвор подачи инертного газа закрывают, раствор с оставшимися после модифицирования объектов наночастицами сливается из реакторов (16₁...16_n) через поглотитель (10). После поглощения оставшихся в модифицирующем растворе наночастиц водно-органический раствор насосом (11) перекачивается в блок регенерации реагентов (7). Далее осуществляют промывку реакторов и находящихся в нем модифицированных объектов при помощи растворителей из блока промывки реактора (8). Для этого открывают кран емкости с жидким углеводородом, который самотеком поступает в реакторы (16₁...16_n). После контакта с объектами углеводород сливается
35 и перекачивается насосом (11) в блок регенерации реагентов (7). После регенерации очищенный углеводород насосом (12) подается обратно в блок промывки реакторов (6). После заполнения емкостей блока промывки реакторов (6) производят дальнейшую промывку реакторов и находящихся в них объектов водно-спиртовой смесью и дистиллированной водой для последовательной отмывки модифицированных элементов в соответствии с выбранным регламентом отмывки. Далее извлекают из реактора модифицированные *наночастицами объекты и материалы*.

(57) Формула изобретения

45 1. Электронно-лучевая система объемного (3D) радиационного наномодифицирования материалов и изделий в обратномиицеллярных растворах, содержащая двухуровневый производственно-технологический модуль с биологической противорадиационной защитой и пульт управления системой, вынесенный за пределы двухуровневого производственно-технологического модуля, связанный с ним электрическими кабелями,

на верхнем уровне двухуровневого производственно-технического модуля расположены емкость для подготовки обратномиецеллярного раствора, блок промывки реактора, блок регенерации реагентов и баллон с инертным газом, на нижнем уровне

двухуровневого производственно-технического модуля расположены ускоритель электронов и система реакторов, при этом система реакторов состоит из реакторов с гидрозатворами, расположенных на круговом транспортном устройстве и связанных гибкими технологическими магистралями с емкостью для подготовки обратномиецеллярного раствора, блоком промывки реактора, блоком регенерации реагентов, баллоном с инертным газом, внутри реакторов расположены датчики контроля процессами, ускоритель электронов, круговое транспортное устройство и датчики контроля процессами связаны электрическими кабелями с пультом управления системой, на гибкой технологической магистрали между реакторами и блоком регенерации реагентов установлен поглотитель, блок промывки реактора связан гибкой технологической магистралью с емкостью для подготовки обратномиецеллярного раствора.

2. Система по п. 1, в которой реакторы имеют тороидально-секторальную форму.

3. Система по п. 1, в которой в емкости для подготовки обратномиецеллярного раствора установлено перемешивающее устройство.

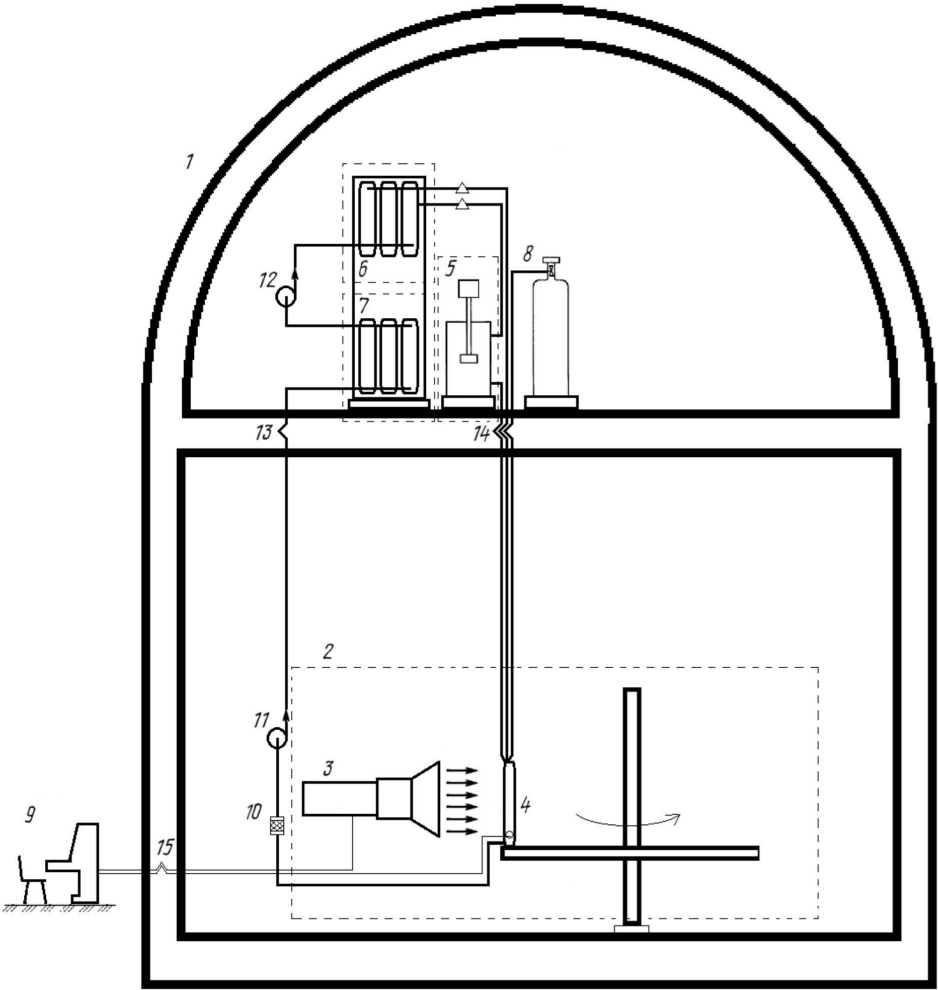
4. Система по п. 1, в которой на гибкой технологической магистрали между реакторами и блоком регенерации реагентов дополнительно установлен после поглотителя насос для перекачки смеси.

5. Система по п. 1, в которой уровни производственно-технологического модуля связаны лабиринтами радиационной защиты, через которые проходят гибкие технологические магистрали.

6. Система по п. 1, в которой электрические кабели, связывающие производственно-технологический модуль и пульт управления системой, проложены в лабиринте радиационной защиты.

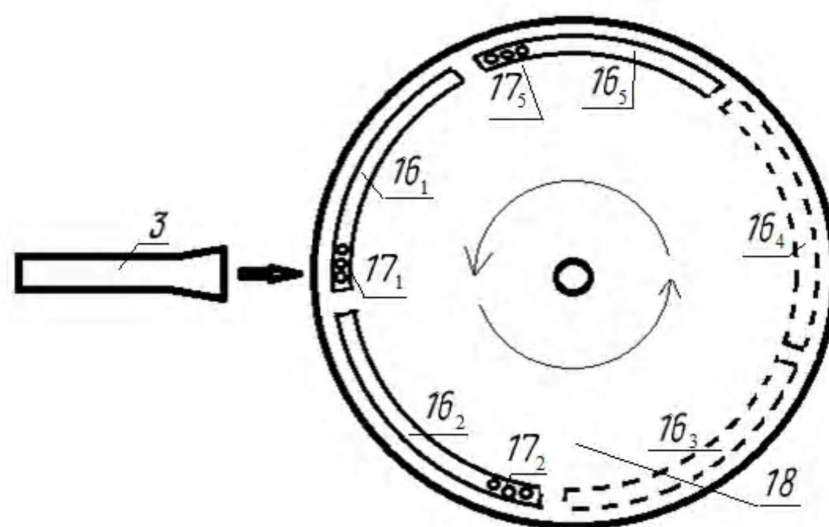
7. Система по п. 1, в которой количество реакторов определяется объемами наномодифицируемых объектов, а ограничивается размерами кругового транспортного устройства.

1



Фиг.1

2



Фиг.2