

(19)



Евразийское  
патентное  
ведомство

(21) 202392068 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки  
2024.02.02

(51) Int. Cl. C01B 32/225 (2017.01)

(22) Дата подачи заявки  
2022.05.03

(54) УСТРОЙСТВО И СПОСОБ ДЛЯ РАССЛАИВАНИЯ ГРАФИТА

(31) 63/184,176

(72) Изобретатель:

(32) 2021.05.04

Растин Тимоти, Келли Мэттью,  
Роббинс Шон (US)

(33) US

(86) PCT/US2022/027526

(74) Представитель:

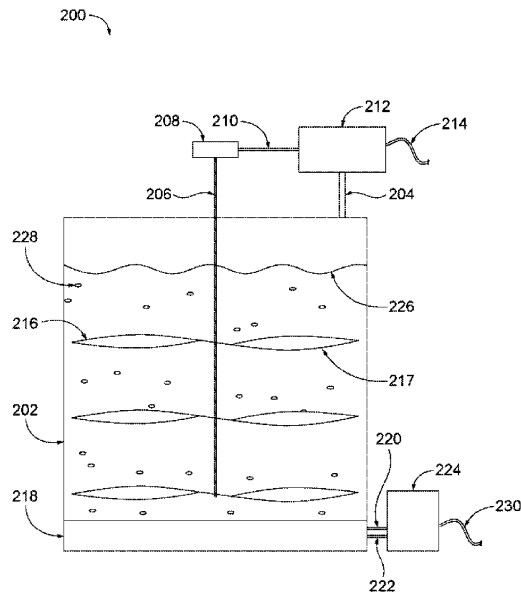
(87) WO 2022/235710 2022.11.10

(71) Заявитель:

ТиЭмТиПи ЛАБС, ИНК. (US)

Билык А.В., Поликарпов А.В.,  
Соколова М.В., Путинцев А.И.,  
Черкас Д.А., Игнатъев А.В., Дмитриев  
А.В., Бучака С.М., Бельтюкова М.В.  
(RU)

(57) Описаны устройство и способ расслаивания графитового зерна. Смесь графитового зерна и текучей среды переносят в сосуд. Сосуд содержит мешалку и охладитель. Охладитель охлаждает смесь таким образом, что текучая среда, по меньшей мере, частично затвердевает с образованием ледяного зерна. Мешалка перемешивает смесь, чтобы обеспечить контакт между графитовым зерном и ледяным зерном. Контакт между графитовым зерном и ледяным зерном приводит к расслаиванию графитового зерна.



202392068  
A1

202392068  
A1

## УСТРОЙСТВО И СПОСОБ РАССЛАИВАНИЯ ГРАФИТА

### ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННУЮ ЗАЯВКУ

[0001] Данная заявка испрашивает приоритет в соответствии с параграфом 119(е) раздела 35 свода законов США в отношении даты подачи предварительной заявки на патент США под номером 63/184176, поданной 4 мая 2021 г., содержание которой полностью включено в настоящий документ посредством ссылки.

### ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Настоящее изобретение в целом относится к устройству и способу расслаивания графита, и, в частности, оно относится к устройству и способу расслаивания зерен графита для изготовления графена с использованием текучей среды.

### УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0003] С момента его выделения в 2004 г. графен является весьма востребованным товаром. Были выдвинуты теории, а также проведены демонстрации, что этот материал, состоящий из одного слоя атомов углерода, обладает выдающимися свойствами, включающими высокий предел прочности на растяжение, повышенную гибкость, высокую теплопроводность и чрезвычайно высокую электропроводность. Для этого материала существует множество применений и их число увеличивается с каждым годом исследований и разработок.

[0004] Однако спрос на графен намного превышает возможности существующих методик его изготовления. Первая методика изготовления графена, неофициально известная под названием «метод скотча», включает этапы размещения полоски клейкой ленты на поверхности блока графита и ее отрывание для механического расслоения тонкого листа графита, размещения второй полоски клейкой ленты сверху первой полоски клейкой ленты и ее отрывание для расслоения более тонкого листа графита; этот процесс повторяют до тех пор, пока расслоенные чешуйки однослойного графена наконец не окажутся прикреплены к полоске клейкой ленты. Несмотря на то, что может быть изготовлен однослойный графен, эта методика требует огромного количества труда и времени, а также потребления большого количества клейкой ленты и растворителей для удаления указанной клейкой ленты и выделения чешуек графена. Этот процесс также не только утомительный, затратный по времени и дорогостоящий, но и вреден для окружающей среды по причине создания отходов.

[0005] За годы с момента введения «метода скотча» были разработаны дополнительные методики, попадающие в широкие категории методик «снизу вверх» и «сверху вниз». При методиках «снизу вверх», таких как химическое осаждение из паровой

фазы, графен собирают непосредственно на наномасштабном уровне из свободных атомов углерода. С помощью методик «снизу вверх» возможно изготавливать листы графена конфигурируемого размера, но они ограничены тем фактом, что за раз изготавливается только один лист графена. Методики «сверху вниз», такие как «метод скотча», подразумевают, что встречающийся в природе графит уже содержит наложенные друг на друга слои графена, которые удерживаются слабыми силами Ван-дер-Ваальса, и стремятся расслоить эти слои для выделения графена. Силы Ван-дер-Ваальса включают притяжение и отталкивание между атомами, молекулами и поверхностями, а также другие межмолекулярные силы.

10 [0006] Однако традиционные методики расслоения также ограничены своей эффективностью, а также качеством их конечного продукта. Как было рассмотрено ранее, «метод скотча» требует излишних затрат труда и материала, и он является неблагоприятным для крупномасштабного промышленного изготовления графена. Другие методики, такие как химическое расслоение и жидкофазное перемешивание со сдвигом, 15 могут быть допустимы для промышленного изготовления, но при них изготавливается конечный продукт, который либо ухудшен окислением, либо ограничен низкой скоростью изготовления, которая повышает затраты на изготовление.

[0007] Методики с высокой энергоемкостью, при которых графен можно изготавливать с высокой скоростью и качеством, включают лазерно-индуцированный графен («LIG») и быстрое нагревание джоулевым теплом («FJH»). Эти методики позволяют использовать неграфитные основные материалы, которые содержат углерод, такие как каучук или органические отходы, и графен можно изготавливать с более высокой скоростью, чем при рассмотренных выше методиках. Однако эти методики ограничены 20 свойственной им угрозой безопасности и затратами на высокоэнергетические системы.

25 [0008] Таким образом, существует высокая потребность в новаторских методиках изготовления графена, которые являются безопасными и масштабируемыми до промышленных уровней. Кроме того, поскольку текущая цена графена является ограничивающим фактором для введения новаторских продуктов, использующих множество полезных признаков материала, существует потребность в новаторских 30 методиках изготовления графена, которые являются недорогими.

### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ**

[0009] Ниже представлено упрощенное краткое описание различных аспектов данного изобретения для обеспечения базового понимания таких аспектов. Это краткое описание не является широким обзором данного изобретения. Оно не предназначено ни для

идентификации ключевых или критически важных элементов настоящего изобретения, ни для ограничения какого-либо объема конкретных вариантов реализации настоящего изобретения или какого-либо объема формулы изобретения. Единственной его целью является представление некоторых концепций настоящего изобретения в упрощенной

5 форме как введение к более подробному описанию, которое представлено ниже.

**[0010]** В одном аспекте настоящего изобретения предусмотрено устройство и способ расслаивания графита для изготовления графена. Смесь переносят в сосуд. Смесь содержит графитовое зерно и текучую среду. Сосуд содержит мешалку. Смесь можно перемешивать мешалкой для создания контакта между графитовым зерном и ледяным

10 зерном для расслоения графитового зерна.

**[0011]** В одном варианте реализации смесь может быть перенесена в сосуд. Смесь содержит графитовое зерно и текучую среду. Сосуд содержит мешалку и охладитель. Смесь охлаждают охладителем так, что текучая среда по меньшей мере частично затвердевает с образованием ледяного зерна. Смесь перемешивают мешалкой для обеспечения контакта

15 между графитовым зерном и ледяным зерном для расслоения графитового зерна.

**[0012]** В одном варианте реализации устройство для расслоения графитового зерна содержит сосуд для вмещения смеси. Сосуд содержит охладитель и мешалку. Смесь содержит графитовое зерно и текучую среду. Охладитель выполнен с возможностью охлаждения смеси для по меньшей мере частичного затвердения текучей среды с

20 образованием ледяного зерна. Мешалка выполнена с возможностью перемешивания смеси для обеспечения контакта между графитовым зерном и ледяным зерном для расслоения графитового зерна.

### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

**[0013]** Настоящее изобретение проиллюстрировано в качестве примера, и не в

25 качестве ограничения, на фигурах прилагаемых графических материалов, где:

**[0014]** на фиг. 1 иллюстративно изображен ряд контактов между графитовым зерном и текучей средой на молекулярном уровне в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения;

**[0015]** на фиг. 2 иллюстративно изображено устройство для расслаивания графита в

30 соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения;

**[0016]** на фиг. 3 иллюстративно изображено устройство для расслаивания графита в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения;

**[0017]** на фиг. 4 иллюстративно изображено устройство для расслаивания графита в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения; и

[0018] на фиг. 5 представлена блок-схема, иллюстрирующая способ расслаивания графита в соответствии с одним вариантом реализации настоящего изобретения.

### **ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ**

[0019] Перед подробным описанием настоящего объекта изобретения следует понимать, что настоящее изобретение не ограничено описанными вариантами реализации, поскольку они могут меняться. Следует также понимать, что используемая в настоящем документе терминология предназначена исключительно для описания конкретных вариантов реализации и не предназначена для ограничения, поскольку объем настоящего изобретения будет ограничен только прилагаемой формулой изобретения. Хотя настоящее изобретение предусматривает разные варианты реализации в разных формах, предпочтительный вариант реализации будет показан в графических материалах и подробно описан с пониманием того, что настоящее описание следует считать иллюстративным примером принципов настоящего изобретения и не предназначено для ограничения широкого аспекта настоящего изобретения проиллюстрированными вариантами реализации. Предусматривается, что все признаки, элементы, компоненты, функции и этапы, описанные относительно каких-либо вариантов реализации, предоставленных в данном документе, являются свободно комбинируемыми и заменяемыми другими из любых других вариантов реализации, если не указано иное. Следовательно, следует понимать, что то, что проиллюстрировано, приведено исключительно в целях примера и не должно пониматься как ограничение объема настоящего изобретения.

[0020] В контексте настоящего документа «текучая среда» относится к непрерывному, аморфному веществу, молекулы которого свободно перемещаются мимо друг друга и склонны принимать форму емкости. Текучие среды включают как жидкости, так и газы. Текучие среды могут течь при определенных условиях, например под воздействием давления или гравитации.

[0021] В контексте настоящего документа «зерно» относится к частице твердого материала, составляющие которого (такие как атомы, молекулы, или ионы) расположены в виде высокоупорядоченной микроскопической структуры, образуя кристаллическую решетку, которая проходит во все направления. Зерно может содержать кристаллографические дефекты, такие как пустоты, смещения, примеси и поровые добавки.

[0022] В контексте настоящего документа «расслоение» относится к действию разделения зерна слоистого материала. Слоистый материал может содержать любое количество слоев перед расслоением. Во время расслоения зерно разделяют на первое новое

зерно и второе новое зерно, причем количество слоев перед расслоением разделено между первым новым зерном и вторым новым зерном. Расслоение может продолжаться в отношении первого нового зерна и/или второго нового зерна для создания дополнительных новых зерен.

5       **[0023]**       В контексте настоящего документа «графен» относится к одному слою («монослою») атомов углерода, расположенных в виде шестиугольной структуры соединения. В контексте настоящего документа «многослойный графен» относится к структуре, состоящей из от 2 до 10 слоев графена, наложенных друг на друга и удерживаемых вместе силами Ван-дер-Ваальса. В контексте настоящего документа  
10 «нанографит» относится к структуре, состоящей из от 10 до 1000 слоев графена, наложенных друг на друга и удерживаемых вместе силами Ван-дер-Ваальса. В контексте настоящего документа «графит» относится к структуре, состоящей из более чем 1000 слоев графена, наложенных друг на друга и удерживаемых вместе силами Ван-дер-Ваальса. Однако любой из этих терминов можно использовать взаимозаменяемо и одним способом,  
15 которым изготавливают конкретный(-е) слой(-и) графена, можно также изготавливать другой(-ие) слой(-и) графена без отступления от сущности и объема настоящего изобретения.

**[0024]**       Как обсуждалось выше, графен представляет собой весьма востребованный товар. Например, чешуйки графена можно использовать как добавку к другим материалам  
20 для повышения их прочности на изгиб или прочности на сжатие. Кроме того, его проводимость исследуют на предмет использования в конденсаторах большой емкости и в качестве замены меди в некоторых применениях. Предварительные исследования свидетельствуют о том, что графен можно также использовать как фильтр в системах опреснения с привлекательно низкой степенью энергопотребления.

25       **[0025]**       Однако существующие способы изготовления графена были ограничены такими факторами, как низкая скорость изготовления и высокие и дорогостоящие требования к труду и/или материалам. Существующие способы, которые успешно преодолевают недостатки изготовления и масштабирования, имеют другие недостатки. Поскольку наиболее привлекательные характеристики графена являются результатом  
30 повторяющейся шестиугольной схемы атомов углерода, наличие дефектов может повлиять на его применимость. Например, преимущества графена уменьшаются, если структура атомов углерода нарушена окислением. Несмотря на то, что оксид графена можно восстановить с образованием восстановленного оксида графена, конечный продукт содержит дефекты, которые также уменьшают его эффективность. Кроме того, некоторыми

способами, рекламируемыми поставщиками как те, посредством которых изготавливают однослойный графен, фактически изготавливают многослойный графен или даже нанографит, которые обычно имеют только часть положительных эффектов графена. Например, прочность и проводимость графена уменьшаются от наличия дополнительных  
5 слоев.

**[0026]** Настоящее изобретение способствует устранению недостатков, свойственных существующим решениям, путем предоставления способа и устройства для расслаивания графита для изготовления графена, которые легко масштабировать, не требуют больших затрат труда и материалов, позволяют изготавливать  
10 высококачественный конечный продукт и представляют минимальную угрозу безопасности.

**[0027]** Как описано в данном документе, клейкие свойства кристаллической структуры можно использовать для захвата и механического расслоения слоя(-ев) графита для изготовления одного или нескольких слоев графена. Например, лед можно  
15 использовать как кристаллическую структуру. Водный лед является хорошо исследованным веществом с проработанными нормами и данными риска. Температура и давление, при которых образуется лед, достижимы с минимальными затратами энергии и минимальным риском для персонала и окружающей среды. Труд, материалы и оборудование, необходимые для этого решения, являются недорогими и могут быть легко  
20 масштабированы для валового промышленного изготовления для продажи по экономической установленной цене.

**[0028]** В приведенном ниже описании и на фигурах подобные элементы обозначены подобными позиционными обозначениями. Использование «например», «и т. д.», «или» и «и т. п.» указывает на неисключающие альтернативы без ограничения, если не отмечено  
25 иное. Использование «имеющий», «содержащий», «включающий» или «включает» означает «включая, но без ограничения», или «включает, но не ограничен», если не отмечено иное.

**[0029]** Множество объектов, перечисленных с помощью «и/или», следует толковать таким же образом, т. е. «один или несколько» объектов, объединенных таким образом.  
30 Необязательно могут присутствовать и другие объекты, отличные от конкретно указанных в формулировке «и/или», будь-то связанные или несвязанные с этими конкретно указанными объектами. Таким образом, в качестве неограничивающего примера, ссылка на «А и/или В» при использовании в сочетании с открытыми выражениями, такими как «содержащий», может относиться, в одном варианте реализации, только к А (необязательно

включая объекты, не являющиеся В); в другом варианте реализации – только к В (необязательно включая объекты, не являющиеся А); в еще одном варианте реализации – как к А, так и к В (необязательно включая другие объекты). Эти объекты относятся к элементам, действиям, структурам, этапам, операциям, значениям и т. п.

5       **[0030]**       Различные аспекты описанной выше системы подробно описаны в данном документе в качестве примеров, а не в качестве ограничения.

10       **[0031]**       На фиг. 1 иллюстративно изображен ряд контактов 100 между графитовым зерном 102 и текучей средой 104 на молекулярном уровне. На фиг. 1 изображены четыре ряда этапов (этапы А–D) расслаивания графитового зерна, подробно описанные ниже. Ряд контактов 100 включает слой 106 кристаллической структуры, кристаллическую структуру 108 и расслоенное графитовое зерно 110. Для простоты на фиг. 1 изображен двухмерный вид сбоку, причем отдельные атомы изображены в виде кругов и связей между атомами, изображенными в виде линий. Для простоты и краткости на фиг. 1 изображено графитовое зерно 102, содержащее многослойный графен с пятью вертикальными слоями графена, расположенными друг рядом с другом и удерживаемыми вместе силами Ван-дер-Ваальса. Как обсуждалось выше, каждый слой графена содержит атомы углерода, расположенные в виде шестиугольной структуры соединения. Следует отметить, что ожидается, что описанный ниже процесс будет давать схожие результаты независимо от количества слоев в графитовом зерне 102. Следовательно, можно использовать больше или меньше слоев, 15 чем изображено. Кроме того, несмотря на то, что для простоты и краткости на фиг. 1 изображено одно графитовое зерно 102, дополнительные зерна графита могут взаимодействовать с текучей средой 104.

20       **[0032]**       На этапе А графитовое зерно 102 суспендируют в качестве твердой частицы в текучей среде 104. Как изображено на фиг. 1, текучая среда 104 может содержать множество составляющих (например, атомы, ионы или молекулы). В одном варианте реализации текучая среда 104 может быть раствором, который содержит воду. В другом варианте реализации текучая среда 104 может быть водным раствором, содержащим воду, буферизованную буферизирующим средством, таким как уксусная кислота, лимонная кислота, муравьиная кислота, борат, или дигидрофосфат калия. В третьем варианте реализации текучая среда 104 может содержать абразивный материал, такой как диоксид кремния, кальцит, или алмазная пыль. Текучая среда 104 может содержать поверхностно-активное вещество (например, мыло, алкилсульфат, сульфонат алкилбензола, лигносульфонат, n-метил-2-пирролидон, холат натрия и т. д.) для изменения характеристик текучей среды 104. Текучая среда 104 может также содержать средство для понижения 30



точки замерзания (например, этиленгликоль, метиловый спирт, пропиловый спирт или его производные, этиловый спирт, сахар и т. д.) для уменьшения температуры замерзания текучей среды 104. В других вариантах реализации текучая среда 104 может представлять собой другие текучие среды, другие растворы текучих сред, или другие растворы, существующие в другом(-их) состоянии(-ях).

**[0033]** После этапа А на этапе В по фиг. 1 теплоотвод, такой как охлаждающая пластина (не изображено), используют для охлаждения текучей среды 104 при температуре замерзания или ниже ее. В контексте настоящего документа «температура замерзания» относится к температуре, при которой материал может начать изменять термодинамическую фазу из жидкой в твердую. Процесс изменения термодинамической фазы из жидкой в твердую также называется «затвердеванием». Жидкость, затвердевающая в кристаллическую структуру, может предпочтительно затвердевать на других твердых телах в процессе, называемом «нуклеация». Твердые вещества, на которых может начать затвердевать кристаллическая структура, называются «местами нуклеации».

В настоящем изобретении, когда текучая среда 104 затвердевает, две или более молекул текучей среды 104 соединяются друг с другом повторяющимся образом, образуя слой 106 кристаллической структуры.

**[0034]** В одном варианте реализации температура замерзания соответствует температуре чистой воды, которая составляет приблизительно  $0^{\circ}$  по Цельсию при давлении в одну атмосферу. В ответ на охлаждение до температуры замерзания или ниже ее текучая среда 104 начинает затвердевать в слой 106 кристаллической структуры. Текучая среда 104 может затвердевать в слой 106 кристаллической структуры на месте нуклеации. Графитовое зерно 102 может служить в качестве места нуклеации для слоя 106 кристаллической структуры. В одном варианте реализации текучую среду 104 можно выбрать так, что слой 106 кристаллической структуры прилипает ко внешнему слою графитового зерна 102 по мере замерзания текучей среды 104.

**[0035]** После этапа В на этапе С по фиг. 1 теплоотвод (не изображен) продолжает охлаждать текучую среду 104 ниже температуры замерзания для удаления скрытого тепла и способствования дополнительному охлаждению текучей среды 104. В ответ на продолжающееся охлаждение текучая среда 104 продолжает затвердевать и слой 106 кристаллической структуры расширяется с образованием кристаллической структуры 108. В одном варианте реализации кристаллическая структура 108 может продолжать расширяться (например, становиться больше, и молекулы текучей среды 104 продолжают связываться с другими) до тех пор, пока текучая среда 104 не затвердеет полностью или

теплоотвод (не изображен) не перестанет охлаждать текучую среду 104. Теплоотвод (не изображен) может прекращать охлаждать текучую среду 104 в ответ на команду от пользователя, в ответ на автоматическую команду, или при прекращении подачи питания.

**[0036]** После этапа С на этапе D устройство, предназначенное для перемешивания (т. е. мешалка) (не изображено) продолжает перемешивать графитовое зерно 102, кристаллическую структуру 108 и текучую среду 104. В контексте настоящего документа «перемешивать» относится к повышению кинетической энергии вещества. Например, вращающаяся лопасть или источник вибрации можно использовать для перемешивания вещества путем использования кинетической энергии. В одном варианте реализации непрерывный рост кристаллической структуры 108 может увеличивать силу, индуцируемую сопротивлением движению в текучей среде (также называемую «сопротивление текучей среды») между кристаллической структурой 108 и текучей средой 104. С повышением сопротивления текучей среды сила передается от кристаллической структуры 108 в графитовое зерно 102. В конечном итоге натяжение, переданное в графитовое зерно 102, может превысить силы, удерживающие слои графита вместе (также называемые «прочность межслойных соединений»), создаваемые силами Ван-дер-Ваальса. В результате прочность межслойных соединений можно преодолеть и, таким образом, кристаллическую структуру 108 можно механически отделить от графитового зерна 102.

**[0037]** В одном варианте реализации текучую среду 104 выбирают так, что прочность склейки кристаллической структуры 108 больше, чем прочность межслойных соединений графитового зерна 102. В результате внешний слой графитового зерна 102, к которому приклеена кристаллическая структура 108, можно отслоить от графитового зерна 102 с кристаллической структурой 108. После этого расслоения расслоенное графитовое зерно 110 отделяют от графитового зерна 102.

**[0038]** В одном варианте реализации затем новый открытый внешний слой расслоенного графитового зерна 110 можно использовать как место нуклеации, на котором зерна начинают затвердевать для непрерывного образования слоя 106 кристаллической структуры и кристаллической структуры 108. Таким образом, этапы А–D на фиг. 1 можно повторять в отношении расслоенного графитового зерна 110 для дальнейшего расслоения графита. Посредством повторения этапов А–D (т. е. выполнение этапов А–D и повторение этих этапов снова и снова) ряд контактов 100, как описано выше, может уменьшить графит до нанографита, многослойного графена и, в конечном итоге графена. В одном варианте реализации графит расслаивают до многослойного графена в течение двух часов повторения этапов А–D. Графит может быть расслоен до графена в пределах любых других

временных рамок в других вариантах реализации. Дополнительные подробности предоставлены ниже в отношении нескольких вариантов реализации, посредством которых методика, описанная выше, может быть задействована масштабируемым и экономичным образом.

5       **[0039]**       На фиг. 2 иллюстративно изображено устройство 200 для расслаивания графита. Устройство 200 для расслаивания графита содержит сосуд 202, мешалку 216 и теплоотвод 218. Сосуд 202 содержит или иным образом вмещает текучую среду 226 и по меньшей мере графитовое зерно 228. Мешалка 216 содержит двигатель 212, входной вал 210, редуктор 208 и выходной вал 206. Теплоотвод 218 содержит впуск 220 хладоносителя, выпуск 222 хладоносителя и охладитель 224. Двигатель 212 содержит опорный рычаг 204 и электрический ввод 214 двигателя. Охладитель 224 содержит электрический ввод 230 охладителя.

15       **[0040]**       Сосуд 202 может быть создан или иным образом изготовлен для удержания любого объема текучей среды, как определено разработчиком устройства 200. В одном варианте реализации сосуд 202 изготовлен из одного или нескольких следующих материалов, или их сочетания: металл, пластик или полимер, или стекло. Сосуд 202 может быть изолирован с использованием изоляции, такой как стекловолокно, хлопок или Cryogel®, который является аэрогелевой криогенной изоляцией для уменьшения нежелательной теплопередачи.

20       **[0041]**       Графитовое зерно 228 и текучая среда 226 могут быть перенесены в сосуд 202 для образования смеси. Смесь может содержать любое соотношение графитового зерна 228 и текучей среды 226. Объем текучей среды 226 может быть любым объемом, который вмещается в сосуд 202, и сосуд 202 может варьироваться по размеру. Текучая среда 226 может быть любой текучей средой, нетекучей средой, или их комбинацией. Текучая среда 25 226 может по меньшей мере частично затвердевать с образованием кристаллической структуры в ответ на охлаждение ниже температуры замерзания. В одном варианте реализации текучая среда 226 является деионизированной водой, соответствующей минимальному стандарту чистоты по меньшей мере Американского общества по испытанию материалов (ASTM) тип IV, как описано в ASTM D1193-91. В другом варианте реализации текучая среда 226 представляет собой раствор, содержащий воду и по меньшей мере одно растворенное вещество, такое как хлорид, фторид, или один или несколько минералов. В контексте настоящего документа «растворенное вещество» относится к второстепенному компоненту в растворе, растворенному в растворителе. В третьем варианте реализации текучей средой 226 является другая жидкость. В еще одном варианте 30

реализации текучая среда 226 может представлять собой нетекучую среду или комбинацию текучей и нетекучей среды.

**[0042]** Графитовое зерно 228 может быть добавлено в сосуд 202 до добавления текучей среды 226, одновременно с добавлением или после добавления. В одном варианте реализации графитовое зерно 228 может быть охлаждено перед введением в сосуд 202. В другом варианте реализации графитовое зерно 228 можно сравнить по температуре с температурой окружающей среды, такой как 25° по Цельсию или другой температурой. Графитовое зерно 228 может иметь форму порошка (например, твердую порошкообразную форму), имеющего средний размер чешуек. В одном варианте реализации графитовое зерно 228 имеет средний размер чешуек от 5 микрометров до 100 микрометров. В другом варианте реализации графитовое зерно 228 имеет средний размер чешуек более 100 микрометров. В третьем варианте реализации графитовое зерно 228 представляет собой гетерогенное множество графитовых зерен любого размера, вмещаемых сосудом 202.

**[0043]** Мешалка 216 может быть по меньшей мере временно прикрепляемой, постоянно прикрепляемой, или съемно прикрепляемой к сосуду 202. В одном варианте реализации мешалка 216 содержит один или несколько роторов, которые контактируют с текучей средой 226 для усиления перемешивания и которые по меньшей мере иногда контактируют с графитовым зерном 228. Ротор может содержать одну или несколько лопастей, проходящих наружу из вала так, что по мере вращения вала лопасти перемещаются через текучую среду 226. Перемещение одной или нескольких лопастей может увеличивать кинетическую энергию текучей среды 226 с вызовом перемешивания. Посредством вращения мешалка 216 может инициировать перемешивание в текучей среде 226 и периодический контакт с графитовым зерном 228 так, что графитовое зерно 228 перемещается относительно текучей среды 226.

**[0044]** В контексте настоящего документа «круговое вращение» относится к периодическому движению одного или нескольких объектов вдоль окружности круга или вращению по круговой траектории. Круговое вращение может быть равномерным (например, с постоянной угловой величиной вращения и постоянной скоростью) или неравномерным с меняющейся скоростью вращения или меняющейся скоростью. В одном варианте реализации круговое вращение создается движением двигателя 212. Двигатель 212 может приводиться в движение или иным образом приводиться в действие химическим топливом, таким как бензин, сжиженный нефтяной газ (LPG) (т. е. пропан), или дизельное топливо. Альтернативно двигатель 212 может быть электродвигателем, приводимым в действие электрическим вводом 214 двигателя, который может быть подсоединен к

проводному источнику электричества и/или батарее. В одном варианте реализации двигатель 212 является двигателем переменного тока («А/С»). Двигатель 212 может структурно поддерживаться опорным рычагом 204. Опорный рычаг 204 может быть выполнен из любого материала, который может поддерживать двигатель 212. Опорный

5 рычаг 204 может быть выполнен из металла, пластика, каучука, картона или их комбинации.

**[0045]** Входной вал 210 может быть по меньшей мере временно соединен, постоянно соединен или съемно соединен с одним концом двигателя 212. Входной вал 210 может быть приварен, присоединен посредством временного или постоянного соединения, или иным образом соединен с двигателем 212. Входной вал 210 может быть выполнен из любого

10 материала, который может поддерживать двигатель 212 в поперечном направлении. Входной вал 210 может быть выполнен из металла, пластика, каучука, картона или их комбинации. В одном варианте реализации противоположный конец входного вала 210 по меньшей мере временно соединен, постоянно соединен или съемно соединен с редуктором

15 208. Входной вал 210 может быть приварен, присоединен посредством временного или постоянного соединения, или иным образом соединен с редуктором 208. Редуктор 208 может содержать две или более шестерни (не изображены). Каждая шестерня (не изображена) в редукторе 208 может иметь конкретное количество зубьев. Вращение шестерни может быть сцеплено с одной или несколькими другими шестернями так, что вращение одной шестерни передает силу через зубья с вращением одной или нескольких

20 шестерней. Соотношение количества зубьев между одной шестерней и другой шестерней известно как «передаточное число». Агрегированные передаточные числа сцепленных шестерней в редукторе 208 называют «передаточным числом» редуктора 208. Редуктор 208 при работе механически преобразовывает вращение входного вала 210 во второе вращение так, что скорость второго вращения отличается от скорости вращения входного вала 210

25 согласно передаточному числу. В одном варианте реализации редуктор 208 может механически преобразовывать вращение входного вала 210 во второе вращение так, что направление второго вращения отличается от направления вращения входного вала 210 согласно углу. Редуктор 208 может быть по меньшей мере временно соединен, постоянно соединен или съемно соединен с выходным валом 206. Выходной вал 206 может быть

30 приварен, присоединен посредством временного или постоянного соединения, или иным образом соединен с редуктором 208.

**[0046]** В альтернативном варианте реализации (не изображен) двигатель 212 может быть по меньшей мере временно соединен, постоянно соединен или съемно соединен непосредственно с выходным валом 206 без наличия входного вала. В таком варианте

реализации скорость вращения двигателя 212 такая же или по существу такая же (например, в пределах +/- 5 %), что и скорость вращения выходного вала 206, и направление вращения двигателя 212 такое же или по существу такое же (например, в пределах +/- 5 %), что и направление вращения выходного вала 206.

5       **[0047]**       В одном варианте реализации скорость вращения выходного вала 206 может содействовать степени перемешивания, создаваемой мешалкой 216. В одном варианте реализации один или несколько роторов соединены с выходным валом 206 для обеспечения дополнительного перемешивания. Ротор может содержать одну или несколько лопастей, проходящих наружу из вала так, что по мере вращения вала лопасти перемещаются через  
10       текущую среду 226. Перемещение одной или нескольких лопастей может увеличивать кинетическую энергию текучей среды 226 с вызовом перемешивания. . Степень перемешивания, производимого мешалкой 216, может быть такой, что, поскольку кристаллические структуры образуются в текучей среде 226 в ответ на охлаждение, перемешивание создает сдвигающие силы, прикладываемые к кристаллической структуре,  
15       достаточные для преодоления внутренней прочности соединения графитового зерна 228, как показано на фиг. 1 выше.

**[0048]**       В одном варианте реализации текучая среда 226 выполнена таким образом, что в ответ на охлаждение ниже температуры замерзания текучей среды 226 текучая среда 226 по меньшей мере частично затвердевает до кристаллической структуры и прилипает к  
20       внешнему слою графитового зерна 228. Теплоотвод 218 способен охлаждать текучую среду 226 и графитовое зерно 228 до температуры ниже температуры замерзания текучей среды 226.

**[0049]**       Часть теплоотвода 218 может быть прикреплена к нижней части сосуда 202. Сосуд 202 может передавать тепло в теплоотвод 218. Тепло может быть передано в  
25       теплоотвод посредством любого из проводимости, конвекции, излучения или их комбинации. Часть теплоотвода 218, которая прикреплена к нижней части сосуда 202, может содержать каналы (не показаны), которые обеспечивают возможность протекания жидкого хладоносителя по каналам. В одном варианте реализации жидкий хладоноситель представляет собой одно из хлорида натрия, этиленгликоля, изопропилового спирта, метилового спирта, бутилового спирта, этилового спирта, жидкого азота или другой  
30       жидкости или комбинации жидкостей.

**[0050]**       Теплоотвод 218 может содержать выпуск 220 хладоносителя и выпуск 222 хладоносителя, которые по меньшей мере временно соединены, постоянно соединены или съемно соединены на одном конце с частью теплоотвода 218, прикрепленной к нижней

части сосуда 202. В одном варианте реализации выпуск 220 хладоносителя и выпуск 222 хладоносителя содержат трубы, которые обеспечивают протекание жидкого хладоносителя. Трубы могут быть выполнены из металла, пластика, каучука, картона или их комбинации. Выпуск 220 хладоносителя и выпуск 222 хладоносителя могут быть  
5 изолированы с использованием изоляции, такой как стекловолокно, хлопок или Cryogel®, который является аэрогелевой криогенной изоляцией для уменьшения теплопередачи во выпуск 220 хладоносителя или выпуск 222 хладоносителя или из них.

**[0051]** Выпуск 220 хладоносителя и выпуск 222 хладоносителя могут быть по меньшей мере временно соединены, постоянно соединены или съемно соединены на  
10 другом конце с охладителем 224. Охладитель 224 выполнен из металла, пластика, каучука, картона или их комбинации. В одном варианте реализации охладитель 224 способен охлаждать жидкий хладоноситель на выпуске 222 хладоносителя вдали от устройства 200 и возвращать жидкий хладоноситель при более низкой температуре на выпуске 220 хладоносителя. Охладитель 224 может представлять собой резервуар, содержащий  
15 криогенную текучую среду, такую как жидкий азот. В альтернативном варианте реализации охладитель 224 представляет собой электрическое устройство для охлаждения текучих сред, имеющее электрический ввод 230 охладителя. Охладитель 224 может охлаждать жидкий хладоноситель с постоянной (одинаковой) скоростью. В одном варианте реализации охладитель 224 может вместо этого охлаждать хладоноситель с переменной  
20 скоростью.

**[0052]** Охлаждая жидкий хладоноситель, теплоотвод 218 может охлаждать текучую среду 226 и графитовое зерно 228 до температуры ниже температуры замерзания текучей среды 226. Таким образом, за счет сочетания охлаждения и перемешивания устройство 200 обеспечивает образование и расслоение кристаллических структур в текучей среде 226 и  
25 расслоение графитовых зерен 228. Однако, рассмотренные в настоящем документе, другие устройства могут быть использованы для достижения аналогичного или одинакового эффекта масштабируемым и экономически эффективным способом.

**[0053]** На фиг. 3 иллюстративно изображено устройство 300 для расслаивания графита. Компоненты в устройстве 300 могут быть аналогичны компонентам устройства  
30 200 или совпадать с ними, и, следовательно, описание компонентов в устройстве 200 также применимо к компонентам в устройстве 300. Устройство 300 для расслаивания графита содержит сосуд 302, мешалку 304 и теплоотвод 308. Сосуд 302 содержит текучую среду 312 и графитовое зерно 310. Мешалка 304 содержит электрический ввод 306 мешалки.

**[0054]** Сосуд 302 может быть создан или иным образом изготовлен для удержания любого объема текучей среды 312, как определено разработчиком устройства 300. В одном варианте реализации сосуд 302 изготовлен из одного или нескольких материалов из металла, пластика или полимера, или стекла. Сосуд 302 может быть изолирован для уменьшения нежелательной теплопередачи.

**[0055]** Графитовое зерно 310 и текучая среда 312 могут быть перенесены в сосуд 302 для образования смеси. Объем текучей среды 312 может быть любым объемом, который вмещается в сосуд 302, и сосуд 302 может варьироваться по размеру. Текучей средой 312 может быть любое текучее вещество, при этом текучая среда 312 по меньшей мере частично затвердевает с образованием кристаллической структуры (не показана) в ответ на охлаждение ниже температуры замерзания. В одном варианте реализации текучей средой 312 является деионизированная вода, соответствующая минимальному стандарту чистоты. В другом варианте реализации текучая среда 312 представляет собой раствор, содержащий воду и по меньшей мере одно растворенное вещество. В контексте настоящего документа «растворенное вещество» относится к второстепенному компоненту в растворе, растворенному в растворителе. В третьем варианте реализации текучей средой 312 является другая жидкость.

**[0056]** Графитовое зерно 310 может быть добавлено в сосуд 302 до или после добавления текучей среды 312. Графитовое зерно 310 может быть охлаждено перед введением в сосуд 302. Графитовое зерно 310 может находиться в порошкообразной форме, имеющей средний размер чешуек. В одном варианте реализации графитовое зерно 310 имеет средний размер чешуек от 5 микрометров до 100 микрометров. В другом варианте реализации графитовое зерно 310 имеет средний размер чешуек более 100 микрометров. В третьем варианте реализации графитовое зерно 310 представляет собой гетерогенное множество графитовых зерен любого размера, вмещаемых сосудом 302.

**[0057]** Мешалка 304 по меньшей мере временно прикреплена, съемно прикреплена или постоянно прикреплена к сосуду 302. В одном варианте реализации мешалка 304 содержит один или несколько встряхивателей (305), находящихся в контакте с внешней поверхностью сосуда 302. Посредством вибрации мешалка 304 может инициировать перемешивание в текучей среде 312 таким образом, что графитовое зерно 310 перемещается относительно текучей среды 312.

**[0058]** Частота и амплитуда вибрации мешалки 304 влияют на степень перемешивания, производимого мешалкой 304. В одном варианте реализации мешалка 304 способна создавать частоту вибрации, превышающую 40 кГц. Степень перемешивания,



производимого мешалкой 304, может быть выполнена таким образом, что, поскольку кристаллические структуры образуются в текучей среде 312 в ответ на охлаждение, перемешивание является достаточным для преодоления внутренней прочности соединения графитового зерна 310, как показано на фиг. 1 выше.

5       **[0059]**       В одном варианте реализации текучая среда 312 выполнена таким образом, что в ответ на охлаждение ниже температуры замерзания текучая среда 312 по меньшей мере частично затвердевает до кристаллической структуры и прилипает к внешнему слою графитового зерна 310. В контексте настоящего документа «температура замерзания» относится к температуре, при которой материал может начать изменять  
10       термодинамическую фазу из жидкой в твердую. Процесс изменения термодинамической фазы из жидкой в твердую также называется «затвердеванием». Жидкость, затвердевающая в кристаллическую структуру, может предпочтительно затвердевать на других твердых телах в процессе, называемом «нуклеация». Твердые вещества, на которых может начать затвердевать кристаллическая структура, называются «местами нуклеации».  
15       В настоящем изобретении, когда текучая среда 312 затвердевает, две или более молекул текучей среды 312 соединяются друг с другом повторяющимся образом, образуя слой кристаллической структуры (не изображен). Теплоотвод 308 способен охлаждать текучую среду 312 и графитовое зерно 310 до температуры ниже температуры замерзания. В одном варианте реализации температура замерзания соответствует температуре чистой воды,  
20       которая составляет приблизительно 0 ° по Цельсию при давлении в одну атмосферу.

**[0060]**       Теплоотвод 308 может представлять собой вещество, имеющее мгновенное значение температуры, достаточно низкое для охлаждения текучей среды 312 до температуры ниже температуры замерзания. В одном варианте реализации теплоотвод 308 добавляют к текучей среде 312 после того, как текучая среда 312 и графитовое зерно 310  
25       были введены в сосуд 302. Теплоотвод 308 может представлять собой твердое вещество или жидкое вещество. В одном варианте реализации теплоотвод 308 представляет собой объем затвердевшего диоксида углерода, также известного как сухой лед. В другом варианте реализации теплоотвод 308 представляет собой объем криогенной жидкости, такой как жидкий азот, жидкий кислород или жидкий гелий.

30       **[0061]**       Посредством простой теплопередачи теплоотвод 308 может охлаждать текучую среду 312 и графитовое зерно 310 до температуры ниже температуры замерзания. Таким образом, за счет сочетания охлаждения и перемешивания устройство 300 обеспечивает образование и расщепление кристаллических структур в текучей среде 312 и расслоение графитовых зерен 310. Однако, как будет рассматриваться ниже, для

достижения того же эффекта масштабируемым и экономически эффективным способом могут быть использованы и другие устройства.

**[0062]** На фиг. 4 иллюстративно изображено устройство 400 для расслаивания графита. Компоненты в устройстве 400 могут быть аналогичными или совпадать с компонентами в устройстве 200 и устройстве 300, и, следовательно, описание компонентов в устройстве 200 и устройстве 300 также применимо к компонентам в устройстве 400. Устройство 400 для расслаивания графита содержит сосуд 422, мешалку 402, теплоотвод 406 и графитовый блок 408. Сосуд 422 содержит текучую среду 418 и графитовое зерно 420. Мешалка 402 содержит электрический ввод 404 мешалки. Теплоотвод 406 содержит выпуск 410 хладоносителя, выпуск 412 хладоносителя и охладитель 414. Охладитель 414 содержит электрический ввод 416 охладителя.

**[0063]** Сосуд 422 образует сердцевину устройства 400. Сосуд 422 может быть создан или иным образом изготовлен для удержания любого объема текучей среды 418, как определено разработчиком устройства 400. В одном варианте реализации сосуд 422 изготовлен из одного или нескольких материалов из металла, пластика или полимера, или стекла. Сосуд 422 может быть изолирован с использованием изоляции, такой как стекловолокно, хлопок или криогель®, который является аэрогелевой криогенной изоляцией для уменьшения теплопередачи из сосуда 422.

**[0064]** Графитовое зерно 420 и текучая среда 418 могут быть перенесены в сосуд 422 для образования смеси. Объем текучей среды 418 может быть любым объемом, вмещаемым сосудом 422. Текучей средой 418 может быть любое текучее вещество, при этом текучая среда 418 по меньшей мере частично затвердевает с образованием кристаллической структуры (не показана) в ответ на охлаждение ниже температуры замерзания. В одном варианте реализации текучей средой 418 является деионизированная вода, соответствующая минимальному стандарту чистоты. В другом варианте реализации текучая среда 418 представляет собой раствор, содержащий воду и по меньшей мере одно растворенное вещество. В контексте настоящего документа «растворенное вещество» относится к второстепенному компоненту в растворе, растворенному в растворителе. В третьем варианте реализации текучей средой 418 является другая жидкость.

**[0065]** Графитовое зерно 420 может быть добавлено в сосуд 422 до или после добавления текучей среды 418. Графитовое зерно 420 может быть охлаждено перед введением в сосуд 422. Графитовое зерно 420 может находиться в порошкообразной форме, имеющей средний размер чешуек. В одном варианте реализации графитовое зерно 420 имеет средний размер чешуек от 5 микрометров до 100 микрометров. В другом варианте

реализации графитовое зерно 420 имеет средний размер чешуек более 100 микрон. В третьем варианте реализации графитовое зерно 420 представляет собой гетерогенное множество графитовых зерен любого размера, вмещаемых сосудом 422.

**[0066]** Мешалка 402 по меньшей мере временно прикреплена, съемно прикреплена или постоянно прикреплена к теплоотводу 406. В одном варианте реализации мешалка 402 содержит один или несколько вибрационных узлов, контактирующих с верхней частью теплоотвода 406. Посредством вибрации мешалка 402 может инициировать перемешивание в текучей среде 418 таким образом, что графитовое зерно 420 перемещается относительно текучей среды 418.

**[0067]** Частота и амплитуда вибрации мешалки 402 влияют на степень перемешивания, производимого мешалкой 402. В одном варианте реализации мешалка 402 способна создавать частоту вибрации, превышающую 40 кГц. Степень перемешивания, производимого мешалкой 402, может быть такой, что, поскольку кристаллические структуры образуются в текучей среде 418 в ответ на охлаждение, перемешивание является достаточным для преодоления внутренней прочности соединения графитовых зерен 420.

**[0068]** В одном варианте реализации текучая среда 418 в ответ на охлаждение ниже температуры замерзания, текучая среда 418 по меньшей мере частично затвердевает до кристаллической структуры, такой как ледяное зерно, и может прилипнуть к внешнему слою графитового зерна 420. Теплоотвод 406 способен охлаждать текучую среду 418 и графитовое зерно 420 до температуры ниже температуры замерзания.

**[0069]** Часть теплоотвода 406 может быть прикреплена к нижней части мешалки 402. Мешалка 402 может отводить тепло в теплоотвод 406. Часть теплоотвода 406, прикрепленная к нижней части мешалки 402, может содержать каналы (не показаны) для обеспечения потока жидкого хладоносителя. В одном варианте реализации жидкий хладоноситель представляет собой этиленгликоль, изопропиловый спирт, метиловый спирт, бутиловый спирт, жидкий азот или другую жидкость.

**[0070]** Теплоотвод 406 может содержать выпуск 410 хладоносителя и выпуск 412 хладоносителя, по меньшей мере временно соединенные, съемно соединенные или постоянно соединенные одним концом с частью теплоотвода 406, прикрепленной к нижней части мешалки 402. В одном варианте реализации выпуск 410 хладоносителя и выпуск 412 хладоносителя являются трубами, которые обеспечивают протекание жидкого хладоносителя. Выпуск 410 хладоносителя и выпуск 412 хладоносителя могут быть изолированы для уменьшения нежелательной теплопередачи.

[0071] Впуск 410 хладоносителя и выпуск 412 хладоносителя могут быть по меньшей мере временно соединены, съемно соединены или постоянно соединены на другом конце с охладителем 414. В одном варианте реализации охладитель 414 способен охлаждать жидкий хладоноситель на выпуске 412 хладоносителя вдали от устройства 400 и возвращать жидкий хладоноситель при более низкой температуре на впуске 410 хладоносителя. В одном варианте реализации охладитель 414 может быть способен возвращать жидкий хладоноситель на впуск 410 хладоносителя при температуре ниже -20 ° по Цельсию. Охладитель 414 может представлять собой резервуар, содержащий криогенный материал, такой как жидкий азот, жидкий водород, жидкий кислород или жидкий гелий. Альтернативно охладитель 414 может представлять собой бункер, содержащий затвердевший диоксид углерода, также известный как сухой лед. В других вариантах реализации охладитель 414 может быть любым другим механизмом, который может охлаждать жидкий хладоноситель. В одном варианте реализации охладитель 414 представляет собой электрическое устройство для охлаждения текучих сред, имеющее электрический ввод 416 охладителя. Охладитель 414 может охлаждать жидкий хладоноситель с постоянной скоростью. В одном варианте реализации охладитель 414 может вместо этого охлаждать жидкий хладоноситель с переменной скоростью.

[0072] В одном варианте реализации выпуск 412 хладоносителя может быть направлен к вентиляционному отверстию (не показано). В этом варианте реализации охладитель 414 подает охлажденный газ на впуск 410 хладоносителя. Охлажденный газ может быть пропущен через текучую среду 418 в виде множества пузырьков для охлаждения текучей среды 418 посредством теплопроводности. В одном варианте реализации множество пузырьков может действовать как места нуклеации, как описано выше, для образования кристаллических структур. Охлажденный газ может содержать по меньшей мере одно из следующего: воздух, гелий, азот, неон, аргон или диоксид углерода. Выпуск 412 хладоносителя также может быть по меньшей мере частично направлен в систему рекуперации газа (не показано).

[0073] Графитовый блок 408 может быть по меньшей мере временно прикреплен, съемно прикреплен или постоянно прикреплен к нижней части теплоотвода 406. В одном варианте реализации графитовый блок 408 удерживается по меньшей мере частично в контакте по текучей среде с поверхностью текучей среды 418. Поскольку графит является проводником тепла, графитовый блок 408 может служить для передачи тепла от текучей среды 418 в теплоотвод 406. Когда текучая среда 418 охлаждается ниже температуры замерзания, на поверхности графитового блока 408 могут образовываться кристаллические

структуры, такие как ледяные зерна. Перемешивание, производимое мешалкой 402, может быть достаточным для преодоления прочности межслойного соединения в графитовом блоке 408 таким образом, что кристаллические структуры механически отделяются от графитового блока 408. Таким образом, графитовый блок 408 может быть по меньшей мере

5 частичным источником графитового зерна 420.

**[0074]** Охлаждая жидкий хладоноситель, теплоотвод 406 может охлаждать графитовый блок 408, текучую среду 418 и графитовое зерно 420 до температуры ниже температуры замерзания. Таким образом, за счет сочетания охлаждения и перемешивания устройство 400 обеспечивает образование и расщепление кристаллических структур в

10 текучей среде 418 и расслоение графитовых зерен 420. Таким образом, как рассматривалось выше, для достижения одного и того же эффекта масштабируемым и экономически эффективным способом может быть использовано несколько подходов.

**[0075]** Этапы, используемые для расслаивания графита, описаны в настоящем документе ниже относительно фиг. 5.

**[0076]** На фиг. 5 представлена блок-схема, иллюстрирующая способ 500

15 расслаивания графита. В одном варианте реализации способ 500 может быть выполнен с использованием любого из устройств расслаивания графита, описанных в данной заявке. Например, устройство 200, устройство 300 и/или устройство 400, изображенные на фиг. 2, фиг. 3 и фиг. 4, соответственно, могут выполнять этапы способа 500. Кроме того, способ

20 500 также может быть выполнен с помощью другого устройства (устройств) расслаивания графита.

**[0077]** Для простоты объяснения способы этого изобретения изображены и описаны в виде серии действий. Однако действия в соответствии с настоящим изобретением могут выполняться в различном порядке и/или одновременно, а также с другими действиями, не

25 представленными и не описанными в настоящем документе. Кроме того, не все проиллюстрированные действия могут потребоваться для реализации способов в соответствии с раскрытым объектом изобретения. Кроме того, специалисты в данной области техники поймут и оценят, что альтернативно способы могут быть представлены в виде серии взаимосвязанных состояний с помощью диаграммы состояний или событий.

**[0078]** Согласно фиг. 5 способ 500 начинается с блока 502, где графитовое зерно и текучую среду переносят в сосуд. Например, графитовое зерно (228, 310 и/или 420) и текучую среду (226, 312 и/или 418) переносят в сосуд (202, 302 и/или 422). Сосуд (202, 302 и/или 422) может принимать и хранить любое количество графитовых зерен (228, 310 и/или 420) и текучей среды (226, 312 и/или 418) согласно соотношению. Графитовое зерно (228,

30

310 и/или 420) и текучая среда (226, 312 и/или 418) могут быть введены в сосуд (202, 302 и/или 422) с помощью системы переноса или путем ручной подачи, или другим способом.

**[0079]** В блоке 504 графитовое зерно и текучая среда перемешиваются мешалкой таким образом, что графитовое зерно перемещается относительно текучей среды. Например, мешалка (216, 304 и/или 402) перемешивает графитовое зерно (228, 310 и/или 420) и текучую среду (226, 312 и/или 418) таким образом, что графитовое зерно (228, 310 и/или 420) перемещается относительно текучей среды (226, 312 и/или 418). Мешалка (216, 304 и/или 402) может приводить к перемещению графитовых зерен (228, 310 и/или 420) относительно текучей среды (226, 312 и/или 418) со скоростью перемешивания. В одном варианте реализации скорость перемешивания является постоянной (например, в пределах +/- 5%) на протяжении всего рабочего цикла. В другом варианте реализации в течение рабочего цикла могут использоваться две или более скоростей перемешивания или направлений.

**[0080]** В блоке 506 охладитель охлаждает графитовое зерно и текучую среду таким образом, что текучая среда по меньшей мере частично затвердевает в виде ледяного зерна. Например, теплоотвод (218, 308 и/или 406) охлаждает графитовое зерно (228, 310 и/или 420) и текучую среду (226, 312 и/или 418) до температуры ниже температуры замерзания. В одном варианте реализации текучая среда (226, 312 и/или 418) выполнена таким образом, что текучая среда (226, 312 и/или 418) по меньшей мере частично затвердевает в кристаллическую структуру (108), такую как ледяное зерно, в ответ на охлаждение ниже температуры замерзания текучей среды (226, 312 и/или 418). В дополнительном варианте реализации текучая среда способна прилипнуть к внешнему слою графитового зерна по мере того, как текучая среда (226, 312 и/или 418) затвердевает с образованием кристаллической структуры (108), такой как ледяное зерно. В одном варианте реализации кристаллическая структура (108) переносится в сосуд (202, 302 и/или 422) из внешнего источника.

**[0081]** В блоке 508 мешалка перемешивает графитовое зерно, ледяное зерно и текучую среду, чтобы вызвать контакт между графитовым зерном и ледяным зерном для расслаивания графитового зерна. Например, мешалка (216, 304 и/или 402) перемешивает графитовое зерно (228, 310 и/или 420), кристаллическую структуру (108) и текучую среду (226, 312 и/или 418) вместе, чтобы вызвать контакт между графитовым зерном (228, 310 и/или 420) и кристаллическую структуру (108) для расслаивания графитового зерна. В одном варианте реализации теплоотвод (218, 308 и/или 406) продолжает охлаждать графитовое зерно (228, 310 и/или 420) и текучую среду (226, 312 и/или 418) во время блока 508 таким образом, что кристаллическая структура (108) продолжает увеличиваться в

размерах, например, от 5 микрометров до 10 микрометров в диаметре. В ответ на повышенное сопротивление текучей среды во время перемешивания на графитовое зерно (228, 310 и/или 420) передается сила, и преодолевается прочность межслойного сцепления графитового зерна, вызванная силами Ван-дер-Ваальса.

5       **[0082]**       Когда прочность межслойного соединения графитового зерна (228, 310 и/или 420) преодолена, кристаллическая структура (108) может быть механически отделена от графитового зерна (228, 310 и/или 420) с помощью механической силы. Механические силы, действующие на кристаллическую структуру (108) и графитовое зерно (228, 310 и/или 420), могут предусматривать любое из трения текучего вещества, кинетического  
10       контакта с мешалкой, кинетического контакта с другой кристаллической структурой (108) или кинетического контакта с другим графитовым зерном (228, 310 и/или 420). В одном варианте реализации текучая среда (226, 312 и/или 418) выполнена таким образом, что прочность склейки кристаллической структуры больше, чем прочность межслойного  
15       соединения графита, обусловленная силами Ван-дер-Ваальса. В результате механическое отделение кристаллической структуры от графитового зерна (228, 310 и/или 420) как ожидается, приведет к расщеплению графитового зерна (228, 310 и/или 420), по меньшей мере с одним из внешних слоев графитового зерна (228, 310 и/или 420), остающимся  
20       приклеенным к кристаллической структуре. Таким образом, по меньшей мере один внешний слой графитового зерна (228, 310 и/или 420) может быть расслоен с кристаллической структурой.

**[0083]**       В одном варианте реализации этапы, описанные в блоках 504–508, повторяются повторно в течение по меньшей мере части рабочего цикла устройства  
25       расслаивания графита. Таким образом, внешние слои графитового зерна (228, 310 и/или 420), открытые в результате расслаивания, могут получить дополнительную адгезию кристаллической структуры и расслоение. В одном варианте реализации графитовое зерно (228, 310 и/или 420) может быть уменьшено до нанографита, многослойного графена и, наконец, до графена. В одном варианте реализации графитовое зерно (228, 310 и/или 420) уменьшается до многослойного графена в течение двух часов.

**[0084]**       В еще одном варианте реализации для расслаивания графитового зерна  
30       предпринимаются следующие этапы. Смесь переносят в сосуд. Смесь содержит графитовое зерно и ледяное зерно. Сосуд содержит мешалку. Смесь перемешивают мешалкой для обеспечения контакта между графитовым зерном и ледяным зерном для расслоения графитового зерна.

[0085] В еще одном варианте реализации для расслаивания графитового зерна предпринимаются следующие этапы. Смесь переносят в сосуд. Смесь содержит графитовое зерно и текучую среду. Сосуд содержит мешалку и охладитель. Смесь охлаждают охладителем так, что текучая среда по меньшей мере частично затвердевает с образованием  
5 ледяного зерна. Смесь перемешивают мешалкой для обеспечения контакта между графитовым зерном и ледяным зерном для расслоения графитового зерна.

[0086] В одном варианте реализации мешалка содержит ротор. В одном варианте реализации ротор содержит первую лопасть и вторую лопасть.

[0087] В одном варианте реализации мешалка содержит встряхиватель.

10 [0088] В одном варианте реализации текучая среда содержит первое текучее вещество, где первое текучее вещество содержит воду. Текучая среда дополнительно содержит второе текучее вещество. Второе текучее вещество содержит по меньшей мере одно из этиленгликоля, n-метил-2-пирролидона, изопропилового спирта, метилового спирта, бутилового спирта или этилового спирта. В другом варианте реализации второе  
15 текучее вещество содержит по меньшей мере одно из воздуха, азота, аргона, кислорода или диоксида углерода.

[0089] В одном варианте реализации текучая среда дополнительно содержит поверхностно-активное вещество. Поверхностно-активное вещество содержит по меньшей мере одно из мыла, алкилсульфата, алкилбензолсульфоната, лигносульфоната или холата  
20 натрия.

[0090] В то время как варианты реализации подвержены различным модификациям и альтернативным формам, их конкретные примеры были показаны на графических материалах и подробно описаны в настоящем документе. Следует понимать, однако, что эти варианты реализации не должны ограничиваться конкретной формой изобретения, но,  
25 напротив, эти варианты реализации должны охватывать все модификации, эквиваленты и альтернативы, соответствующие сущности изобретения. Кроме того, любые признаки, функции, этапы или элементы вариантов реализации могут быть перечислены в формуле изобретения или добавлены к ней, а также отрицательные ограничения, которые определяют изобретательский объем формулы изобретения с помощью признаков,  
30 функций, этапов или элементов, которые не входят в этот объем.



ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ расслаивания графитового зерна, причем способ включает:  
перенос смеси в сосуд,  
5        причем смесь содержит графитовое зерно и ледяное зерно, и  
          причем сосуд содержит мешалку; и  
          перемешивание смеси мешалкой для обеспечения контакта между графитовым зерном  
и ледяным зерном для расслоения графитового зерна.
2.        Способ по п. 1, отличающийся тем, что мешалка содержит ротор.
- 10        3.        Способ по п. 2, отличающийся тем, что ротор содержит первую лопасть.
4.        Способ по п. 3, отличающийся тем, что ротор дополнительно содержит  
вторую лопасть.
5.        Способ по п. 1, отличающийся тем, что мешалка содержит встряхиватель.
6.        Способ расслаивания графитового зерна, причем способ включает:  
15        перенос смеси в сосуд,  
          причем смесь содержит графитовое зерно и текучую среду, и  
          причем сосуд содержит мешалку и охладитель;  
          охлаждение смеси с помощью охладителя таким образом, чтобы текучая среда по  
меньшей мере частично затвердела с образованием ледяного зерна; и  
20        перемешивание смеси мешалкой для обеспечения контакта между графитовым зерном  
и ледяным зерном для расслоения графитового зерна.
7.        Способ по п. 6, отличающийся тем, что мешалка содержит ротор.
8.        Способ по п. 6, отличающийся тем, что мешалка содержит встряхиватель.
9.        Способ по п. 6, отличающийся тем, что текучая среда содержит первое  
25        текучее вещество.
10.        Способ по п. 9, отличающийся тем, что первое текучее вещество содержит  
воду.
11.        Способ по п. 9, отличающийся тем, что текучая среда дополнительно  
содержит второе текучее вещество.
- 30        12.        Способ по п. 11, отличающийся тем, что второе текучее вещество содержит  
по меньшей мере одно из этиленгликоля, n-метил-2-пирролидона, изопропилового спирта,  
метилового спирта, бутилового спирта или этилового спирта.
13.        Способ по п. 11, отличающийся тем, что второе текучее вещество содержит  
по меньшей мере одно из воздуха, азота, аргона, кислорода или диоксида углерода.

14. Способ по п. 9, отличающийся тем, что текучая среда дополнительно содержит поверхностно-активное вещество.

15. Способ по п. 14, отличающийся тем, что поверхностно-активное вещество содержит по меньшей мере одно из мыла, алкилсульфата, алкилбензолсульфоната, лигносульфоната или холата натрия.

16. Устройство для расслаивания графитового зерна, причем устройство содержит:

сосуд для вмещения смеси,

причем сосуд содержит охладитель и мешалку,

причем смесь содержит графитовое зерно и текучую среду,

причем охладитель выполнен с возможностью охлаждения смеси для по меньшей мере частичного затвердения текучей среды с образованием ледяного зерна, и

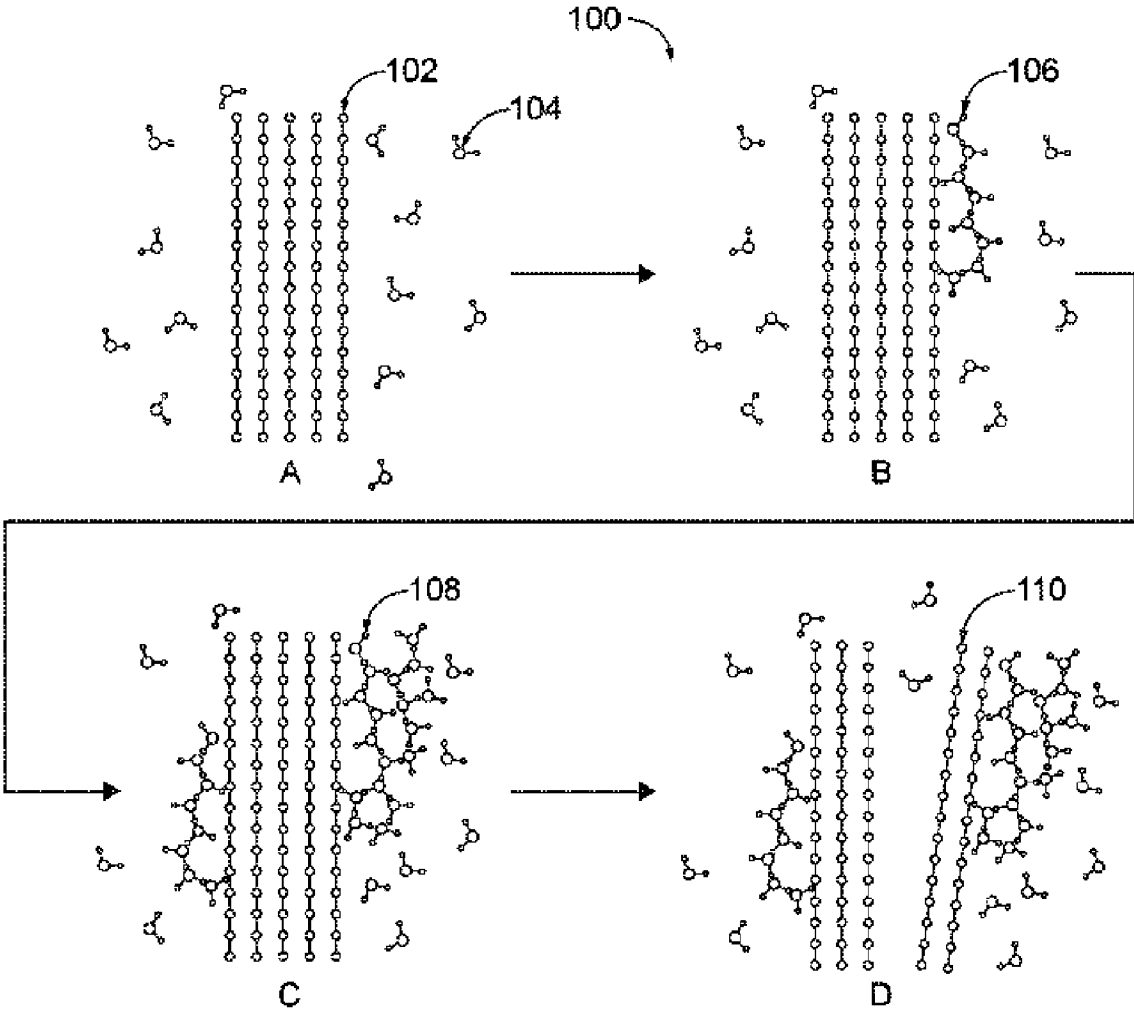
причем мешалка выполнена с возможностью перемешивания смеси для обеспечения контакта между графитовым зерном и ледяным зерном для расслоения графитового зерна.

17. Устройство по п. 16, отличающееся тем, что текучая среда содержит первое текучее вещество.

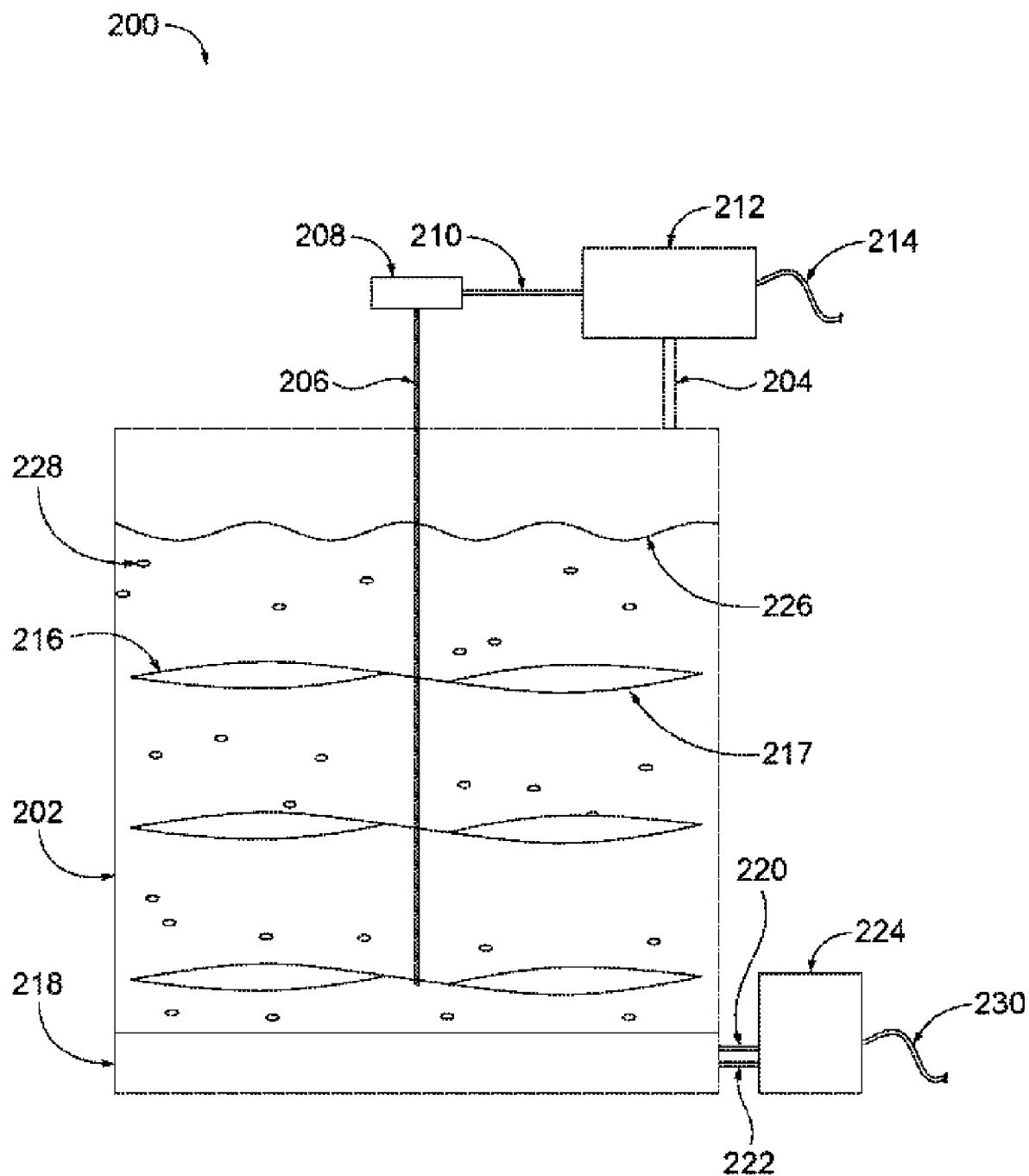
18. Устройство по п. 17, отличающееся тем, что первое текучее вещество содержит воду.

19. Устройство по п. 16, отличающееся тем, что охладитель содержит по меньшей мере одно из воздуха, гелия, азота, неона, аргона или диоксида углерода.

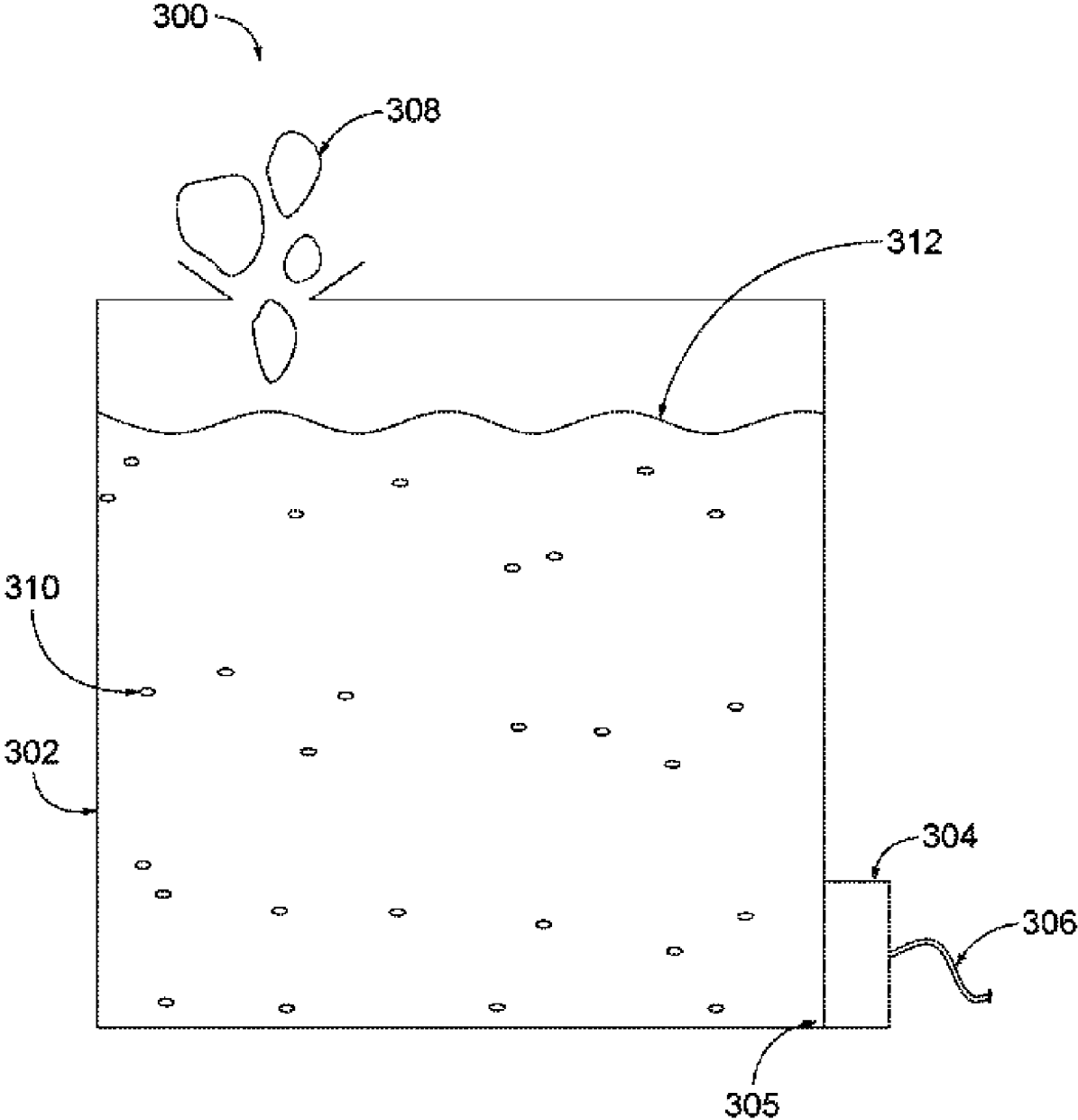
20. Устройство по п. 16, отличающееся тем, что охладитель содержит по меньшей мере одно из хлорида натрия, этиленгликоля, изопропилового спирта, метилового спирта, бутилового спирта или этилового спирта.



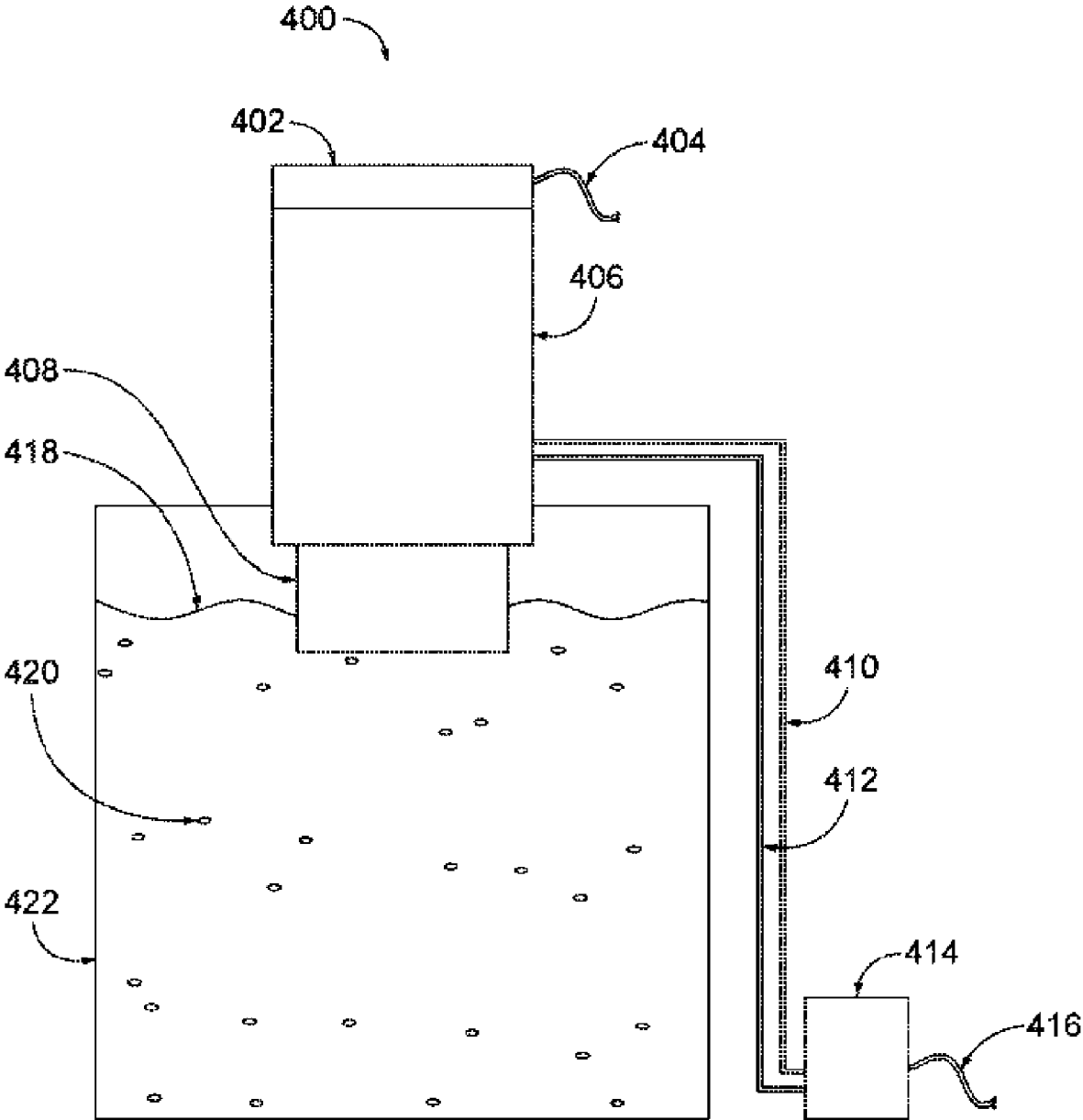
Фиг. 1



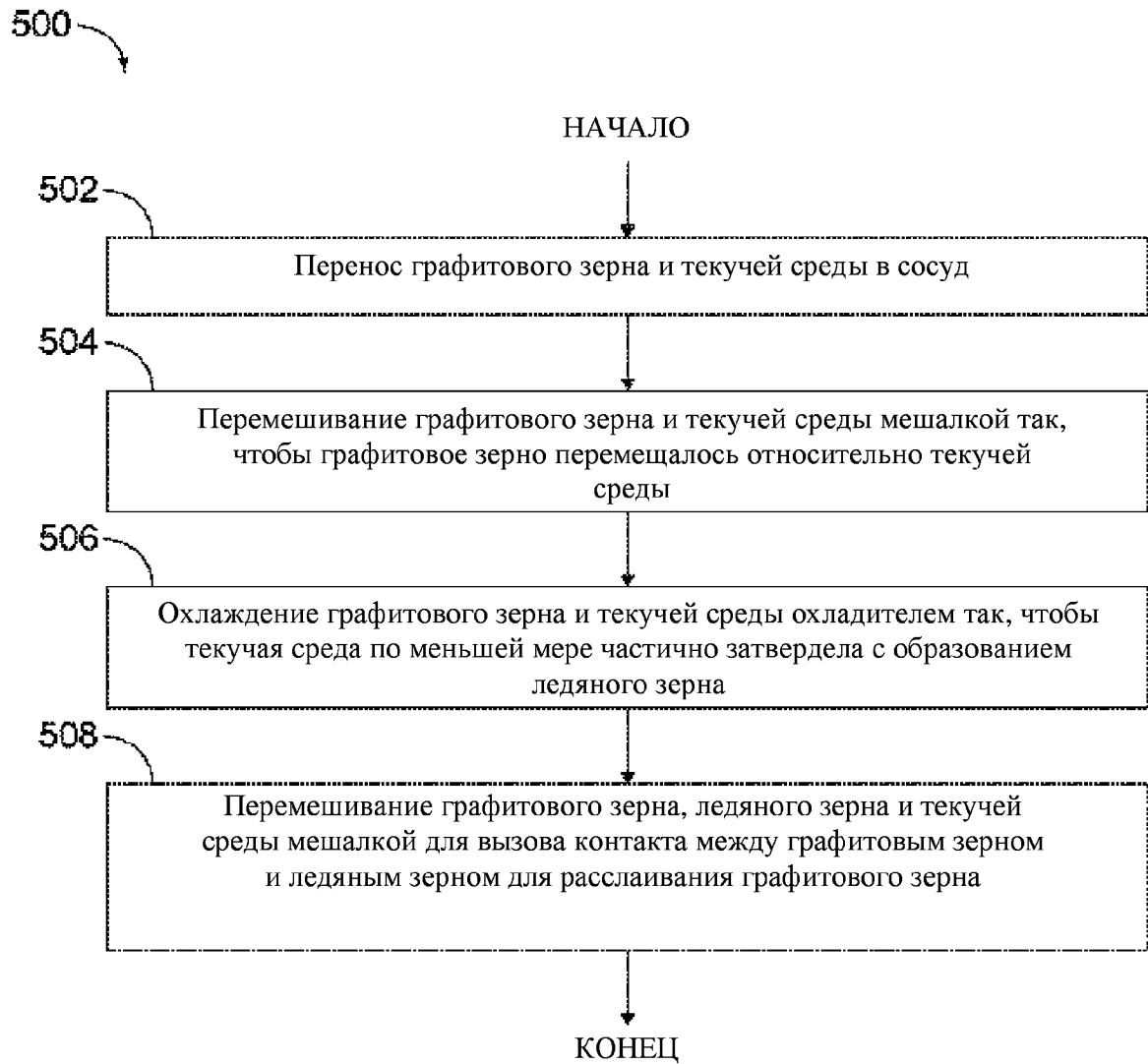
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5