



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C01B 32/162 (2020.05); C01B 32/164 (2020.05); C01B 2202/08 (2020.05); C01B 2202/34 (2020.05); Y10S 977/731 (2020.05); Y10S 977/742 (2020.05); B82B 3/0019 (2020.05); B82Y 40/00 (2020.05)

(21)(22) Заявка: 2018132725, 12.02.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.02.2017

Дата регистрации:
11.08.2021

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
15.02.2016 US 15/043,952

(43) Дата публикации заявки: 17.03.2020 Бюл. № 8

(45) Опубликовано: 11.08.2021 Бюл. № 23

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 17.09.2018

(86) Заявка РСТ:
US 2017/017583 (12.02.2017)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2017/142819 (24.08.2017)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ЛАУБШЕР Брайан (US)

(73) Патентообладатель(и):

Одиссеус Текнолоджиз, Инк. (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2014/0120029 A1, 01.05.2014. WO
2014/070565 A2, 08.05.2014. RU 2393276 C1,
27.06.2010. RU 2478572 C2, 10.04.2013. RU
2491311 C2, 27.08.2013. US 7045108 B2,
16.05.2006. US 2011/0162957 A1, 07.07.2011. US
8173211 B2, 08.05.2012. US 8206674 B2,
26.06.2012. US 8926934 B2, 06.01.2015.

(54) ВЫРАЩИВАНИЕ НАНОТРУБОК ИЗ СВОБОДНЫХ АТОМОВ

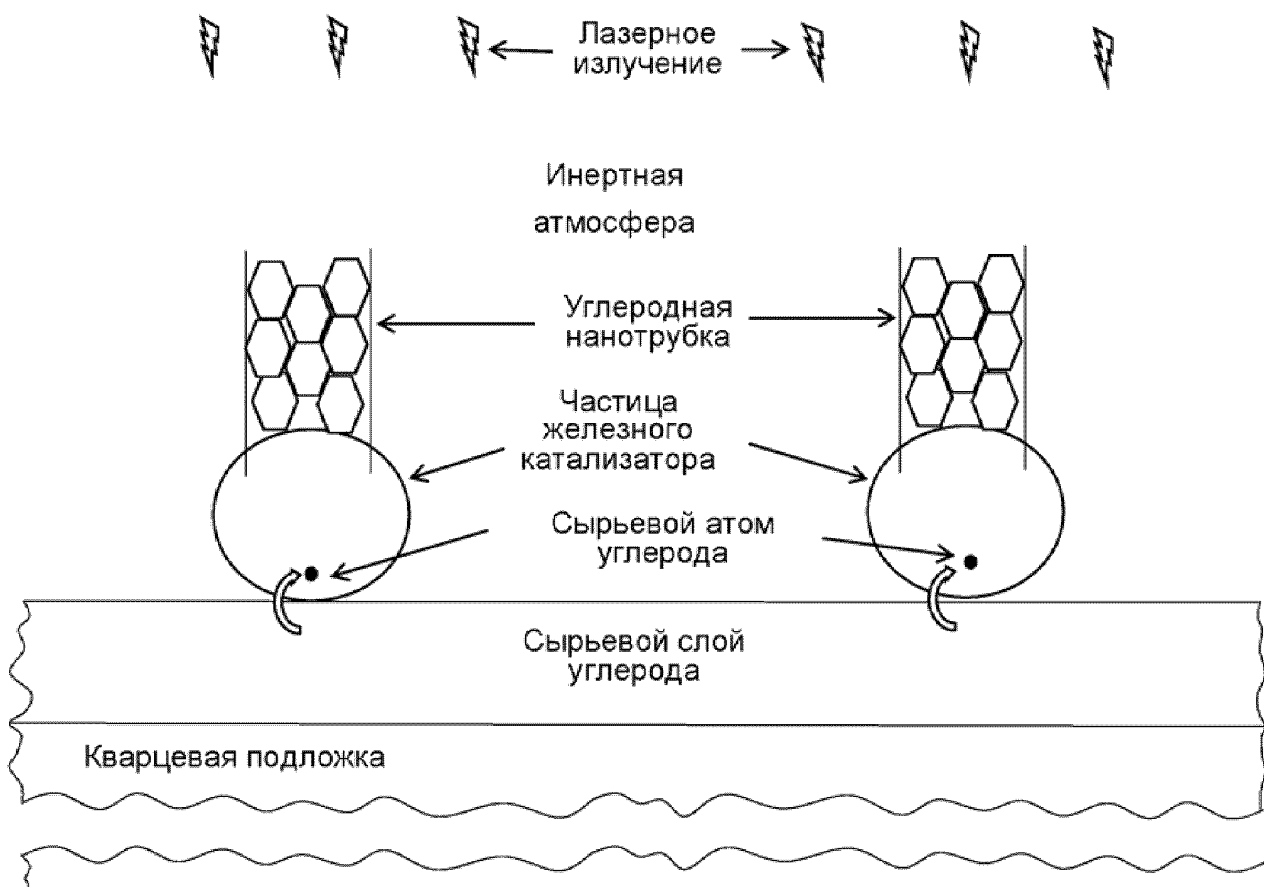
(57) Реферат:

Изобретение относится к нанотехнологии, микро- и наноэлектронике, космической и военной технике и может быть использовано при получении материалов с повышенной прочностью, при изготовлении микро- и наноразмерных интегральных схем или транзисторов, ресиверов, полевых эмиттеров, «космического лифта». Структура для выращивания нанотрубок не имеет волновода и содержит подложку с лицевой и тыльной сторонами; сырьевые атомы, расположенные

поверх лицевой стороны и способные высвободиться и мигрировать в результате поглощения электромагнитного излучения; каталитический слой, обеспечивающий возможность образовывать по меньшей мере одну нанотрубку из сырьевых атомов поверх лицевой стороны подложки. Сырьевые атомы выбраны из углерода, кремния, бора и азота, алюминия и азота, а также галлия и азота, и могут находиться в расположенном поверх лицевой стороны подложки сырьевом слое или в

резервуаре сырьевых атомов. Материал каталитического слоя выбран из железа, никеля, кобальта, меди, золота, серебра, платины, палладия, марганца, хрома, олова, магния, алюминия, иттрия, ванадия, молибдена, рения или их сплавов. Подложка может дополнительно содержать источник электромагнитного излучения, включающий светоизлучающий диод или лазер, а также усилитель электромагнитного излучения. Указанная структура может дополнительно содержать слой, включающий как сырьевые атомы, так и катализатор. Для получения указанной структуры поверх лицевой

стороны подложки размещают сырьевой слой, а на его лицевой стороне - каталитический слой. В случае наличия источника электромагнитного излучения и усилителя их формируют под сырьевым слоем. Изобретение позволяет значительно снизить температуру, при которой выращивают длинные нанотрубки, поскольку не требует применения газофазного осаждения и горячих газообразных предшественников углерода, а также повысить качество выращиваемых нанотрубок за счёт исключения нежелательных побочных реакций и образования аморфного углерода. 2 н. и 13 з.п. ф-лы, 9 ил.



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C01B 32/162 (2017.01)*C01B 32/164* (2017.01)*B82B 3/00* (2006.01)*B82Y 40/00* (2011.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

C01B 32/162 (2020.05); *C01B 32/164* (2020.05); *C01B 2202/08* (2020.05); *C01B 2202/34* (2020.05); *Y10S 977/731* (2020.05); *Y10S 977/742* (2020.05); *B82B 3/0019* (2020.05); *B82Y 40/00* (2020.05)

(21)(22) Application: **2018132725, 12.02.2017**

(24) Effective date for property rights:
12.02.2017

Registration date:
11.08.2021

Priority:

(30) Convention priority:
15.02.2016 US 15/043,952

(43) Application published: **17.03.2020 Bull. № 8**(45) Date of publication: **11.08.2021 Bull. № 23**(85) Commencement of national phase: **17.09.2018**

(86) PCT application:
US 2017/017583 (12.02.2017)

(87) PCT publication:
WO 2017/142819 (24.08.2017)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B.Spasskaya, 25, stroenie 3,
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i
Partnery"**

(72) Inventor(s):

LAUBSHER Brajan (US)

(73) Proprietor(s):

Odisseus Teknolodzhiz, Ink. (US)**(54) GROWING OF NANOTUBES FROM FREE ATOMS**

(57) Abstract:

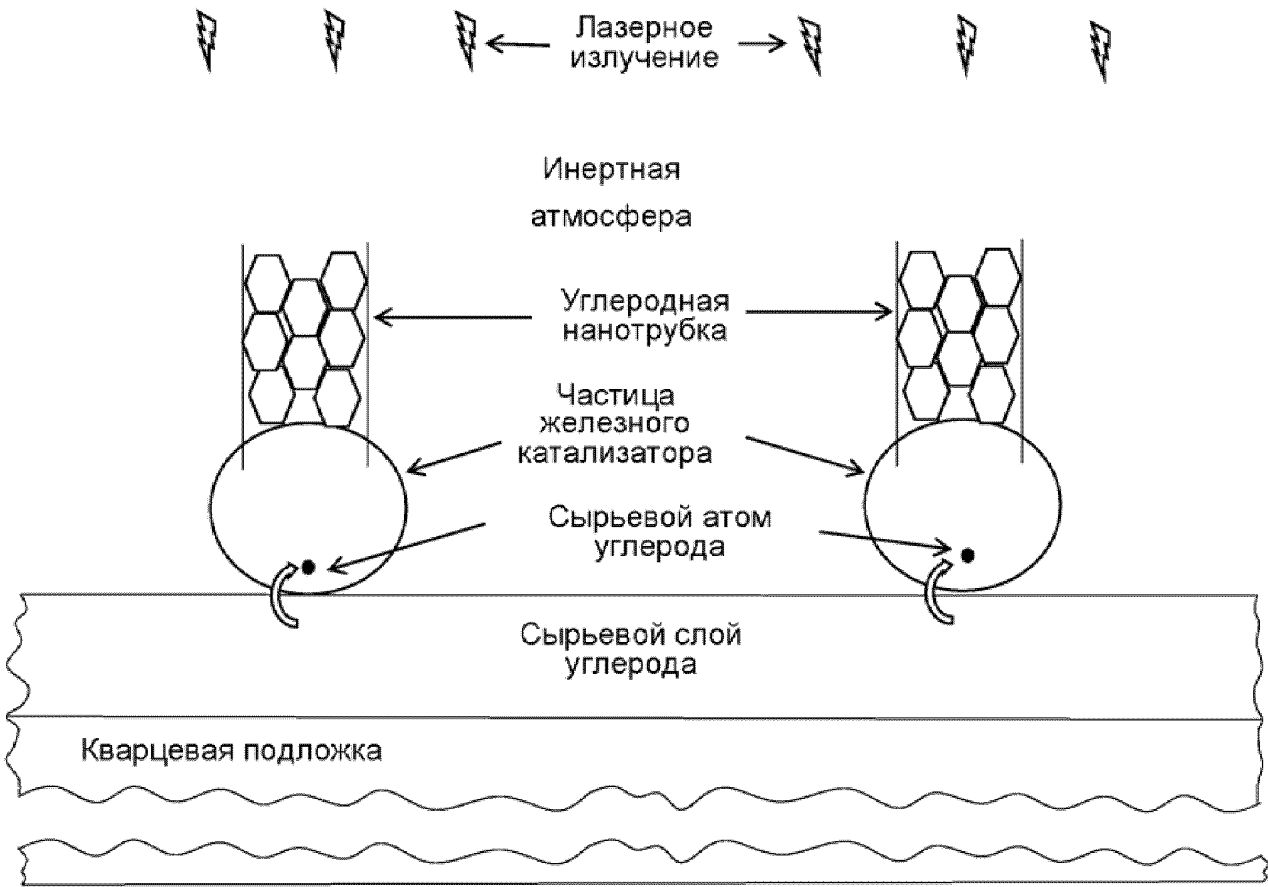
FIELD: nanotechnology.

SUBSTANCE: invention relates to nanotechnology, micro- and nanoelectronics, space and military technology, and can be used in production of materials with increased strength, in manufacture of micro- and nanoscale integrated circuits or transistors, receivers, field emitters, a "space elevator". The structure for growing nanotubes is not equipped with a waveguide and comprises a substrate with the front and rear sides; raw material atoms located over the front side and capable of being released and migrating as a result of absorption of electromagnetic emission; a catalytic layer

providing the ability to form at least one nanotube of raw material atoms over the front side of the substrate. The raw material atoms are selected from carbon, silicon, boron and nitrogen, aluminium and nitrogen, and gallium and nitrogen, and can be located in a layer of raw material located over the front side of the substrate or in a reservoir of raw material atoms. The material of the catalytic layer is selected from iron, nickel, cobalt, copper, gold, silver, platinum, palladium, manganese, chromium, tin, magnesium, aluminium, yttrium, vanadium, molybdenum, rhenium, or alloys thereof. The substrate can additionally comprise a

source of electromagnetic emission including a light emitting diode or laser, and an electromagnetic emission amplifier. The described structure can additionally comprise a layer including both raw material atoms and a catalyst. To produce the described structure, a raw material layer is placed over the front side of the substrate, and a catalytic layer is placed on the front side thereof. If a source of electromagnetic radiation and an amplifier are present, they are formed under the

raw material layer.
EFFECT: invention allows to significantly reduce the temperature whereat long nanotubes are grown, due to the use of gas-phase deposition and hot gaseous carbon precursors not being required therein, and also to improve the quality of the grown nanotubes by eliminating adverse side reactions and formation of amorphous carbon.
15 cl, 9 dwg



Фиг. 2

RU 2753099 C2

RU 2753099 C2

Данная патентная заявка представляет собой заявку с частичным продолжением патентной заявки № 14037034, озаглавленной «Trekking Atom Nanotube Growth (TREKANG)», поданной 25 сентября 2013 года. Сама патентная заявка «Trekking Atom Nanotube Growth» представляет собой заявку с частичным продолжением патентной заявки № 13694088, озаглавленной «Proximate Atom Nanotube Growth (PANG)», поданной 29 октября 2012 года. Во избежание излишнего описания концепций и обсуждений, в данном документе из предшествующих заявок PANG и TREKANG сохранен только текст и чертежи, необходимые для подкрепления предложенной патентной заявки «Выращивание нанотрубок из свободных атомов». Новый текст, описывающий данное изобретение, интегрирован в описание.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

1. Область техники

[001] Данное изобретение относится к выращиванию нанотрубок (NT). Данное изобретение основано на серии экспериментов, разработанных и выполненных с применением принципов предыдущей патентной заявки, TREKANG. Данное изобретение представляет собой существенное упрощение по сравнению с концепцией TREKANG благодаря отсутствию волноводов. Волноводы были предусмотрены для доставки энергии, которая стимулирует рост сырьевого слоя вблизи частицы катализатора. Выполненные эксперименты подтверждают, что указанные волноводы не являются обязательными. Рост NT осуществляют посредством возбуждения сырьевых атомов в сырьевом слое для их миграции к центру роста или частице катализатора NT. Проще говоря, это не является технологией химического осаждения из паровой фазы (CVD), поскольку атмосфера в химическом реакторе является инертной. Вместо этого авторы данного изобретения использовали источник электромагнитного излучения ближнего ультрафиолетового (ближнего УФ) или ультрафиолетового (УФ) диапазона в форме лазера или светодиодной (LED) лампы для высвобождения атомов из сырьевого слоя, нанесенного на подложку. Указанные высвобожденные атомы мигрируют к центру роста или частице катализатора, где происходит рост NT. Данная ситуация может быть проиллюстрирована на примере углеродных нанотрубок (CNT).

2. Проблемы при выращивании углеродных нанотрубок

[002] Искусственные CNT получают различными способами. Одной из наиболее эффективных технологий является химическое осаждение из паровой фазы (CVD). В сущности, процесс CVD подразумевает использование газа, несущего углерод, в качестве компонента атмосферы в реакционной камере. Некоторые из указанных молекул газа взаимодействуют с частицей катализатора в камере, и если температура, парциальное давление газа и многие другие параметры являются правильными, атом углерода из молекулы газа переходит на поверхность частицы катализатора, и из частицы катализатора растет CNT. Указанный процесс является весьма распространенным, поскольку метод CVD, в целом, в течение многих десятилетий зарекомендовал себя как исключительно эффективный во многих областях, включая производство полупроводниковых микросхем. Однако существуют недостатки применения данной технологии для выращивания CNT.

[003] Первым недостатком является тот факт, что хотя первоначальный рост CNT является весьма быстрым, он быстро замедляется до почти незаметного, что приводит к невозможности достижения всех задач и целей. Сделаны важные открытия для осуществления возможности заметного продолжения роста, хотя и медленного, но возникает вторая проблема. Уже сформированные CNT погружены в атмосферу горячих газов, несущих углерод. На поверхности CNT продолжают реакции, которые создают

дефекты на их высокоструктурированной углеродной решетке. Указанные дефекты резко ухудшают физические свойства CNT. Чем дольше продолжается рост в такой атмосфере, тем больше повреждаются CNT. Таким образом, невозможно получить

5 существенное количество длинных (≥ 1 см для CNT, несколько сантиметров для BNNT), высококачественных CNT. Более десяти лет исследователи безуспешно пытались найти «правильный набор» параметров CVD для получения длинных, высококачественных CNT.

[004] В настоящее время известно, что причины резкого замедления роста CNT в процессе CVD включают:

10 [005] 1) Накопление материала на поверхности частицы катализатора, предположительно аморфного углерода. Такое покрытие уменьшает площадь поверхности частицы катализатора, снижая вероятность того, что для надлежащего соединения атомов углерода с растущей CNT она будет проходить в частицу катализатора или мигрировать на ее поверхность к месту роста CNT. В результате рост

15 CNT замедляется или прекращается.

[006] 2) Действие Оствальдовского созревания приводит к уменьшению размера мелких частиц катализатора и увеличению размера крупных частиц катализатора посредством переноса массы от мелких к крупным. Концептуально, это обусловлено тем, что мелкие частицы термодинамически менее стабильны, чем более крупные

20 частицы. Указанный термодинамически обусловленный процесс направлен на минимизацию поверхностной энергии системы. Размер частиц катализатора важен, поскольку рост CNT прекратится (или не начнется в первом месте), если частица катализатора имеет слишком большой или слишком малый размер.

[007] 3) Несмотря на то, что подложки, из которых выращивают CNT, могут быть

25 различными, наиболее распространенной подложкой является кремний, отчасти вследствие десятков лет опыта работы с ним в полупроводниковой промышленности. Кремний предположительно непроницаем для элементов катализатора, но при производстве CNT было обнаружено, что по меньшей мере некоторые каталитические материалы могут диффундировать в кремниевый слой. Таким образом, эффективный

30 размер частицы катализатора становится меньше и может стать неспособным осуществлять поддержку роста CNT. Другие подложки также могут быть пористыми для каталитических материалов.

3. Описание известного уровня техники

[008] В патенте США № 7045108 описано выращивание CNT на подложке и

35 последующие вытягивание полученных CNT из подложки в непрерывный пучок. В реферате указано: Способ получения длинных волокон из углеродных нанотрубок, включающий следующие стадии: (1) обеспечение плоской и гладкой поверхности; (2) нанесение катализатора на подложку; (3) внесение подложки с катализатором в печь; (4) нагревание печи до определенной температуры; (5) подача в печь смеси

40 углеродсодержащего газа и защитного газа; (6) контролирование разности между локальной температурой катализатора и температурой печи на уровне по меньшей мере 50°C ; (7) контролирование парциального давления углеродсодержащего газа на уровне по меньшей мере 0,2; (8) выращивание множества углеродных нанотрубок на подложке с получением матрицы углеродных нанотрубок на подложке; и (9) вытягивание

45 пучка углеродных нанотрубок из матрицы углеродных нанотрубок с получением волокна из углеродных нанотрубок.

[009] Технология, описанная в предыдущем абзаце, является иллюстративным примером распространенного и эффективного «выращивания леса» CNT и вытягивания

пучка CNT из указанного «леса». В указанном документе не описана технология устранения причин замедления роста CNT.

5 [010] В патенте США № 8206674 описана технология выращивания нанотрубок из нитрида бора (BNNT). В реферате указано: Нанотрубки из нитрида бора получают способом, включающим: (а) создание источника паров бора; (b) смешивание паров бора с газообразным азотом, так чтобы смесь паров бора и газообразного азота находилась у центра зародышеобразования, который представляет собой поверхность, причем газообразный азот обеспечивают при повышенном давлении относительно атмосферного, например, от более чем около 2 атмосфер до около 250 атмосфер; и (с) сбор нанотрубок из нитрида бора, образованных в центре зародышеобразования.

10 [011] Описанная выше технология обеспечивает получение сантиметровых BNNT с применением лазерной абляции бора в атмосферу азота. Рост происходит на шероховатом пятне вокруг кратера абляции, и рост направлен в сторону потока азота. Нет необходимости в наличии каталитического материала. Указанная технология не дает возможности контролировать рост или применять такую технологию лазерной абляции для выращивания CNT.

[012] В патенте США № 8173211 описан непрерывный способ CVD выращивания CNT. В реферате указано: Способ получения углеродных наночастиц, включающий следующие стадии: обеспечение на подложке частиц соединения переходного металла, которые могут разлагаться с образованием переходного металла в условиях, обеспечивающих возможность образования углеродных наночастиц, приведение в контакт источника газообразного углерода с частицами подложки до, во время или после указанной стадии приведения в контакт, разложение соединения переходного металла с образованием переходного металла на частицах подложки, формирование наночастиц углерода посредством разложения источника углерода, катализируемого переходным металлом, и сбор образованных наночастиц углерода.

[013] Технология, описанная в предыдущем абзаце, представляет собой технологию, в которой катализатор диспергирован в потоке газа, несущего углерод, находящегося в реакторе. В результате получают CNT длиной приблизительно 0,5 мм. Такие CNT выглядят как дым, и их можно вытягивать непрерывно. Однако данная технология не дает возможности выращивания длинных, высококачественных CNT.

[014] В патенте США № 8926934 описан способ выращивания CNT методом CVD с помощью лазера. В реферате указано: Способ выращивания матрицы углеродных нанотрубок, включающий следующие стадии: (а) обеспечение подложки; (b) формирование на подложке каталитической пленки, содержащей углеродистый материал; (с) пропускание смеси газа-носителя и газа-источника углерода через указанную каталитическую пленку; (d) фокусирование лазерного пучка на каталитической пленке для локального нагрева катализатора до определенной температуры реакции; и (е) выращивание матрицы углеродных нанотрубок из подложки.

40 [015] Технология, описанная в предыдущем абзаце, основана на способе выращивания CVD с помощью лазера, в котором лазер используют для нагрева катализатора до температуры, ускоряющей разрушение углеродной связи в газе-предшественнике. Применение лазера в качестве нагревателя является дополнительной стадией относительно традиционной системы CVD и сохраняет многие недостатки выращивания методом CVD, упомянутые выше. Указанная технология не дает возможности выращивать длинные, высококачественные CNT.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[016] Данное изобретение представляет собой технологию выращивания NT

посредством высвобождения сырьевых атомов, так что указанные свободные атомы могут мигрировать к центру роста или частице катализатора NT. Проще говоря, она не является технологией CVD: отсутствует горячий газ, несущий углерод. Один из вариантов реализации, показанный на Фиг. 1, заключается в изготовлении подложки с сырьевым слоем сырьевых атомов на лицевой стороне и слоем катализатора на лицевой стороне сырьевого слоя. Электромагнитное излучение, падающее снизу подложки, распространяется в сырьевой слой и высвобождает сырьевые атомы, которые мигрируют к центру роста или частице катализатора, где происходит рост NT. Свободные атомы внедряются в растущую NT. Можно использовать различные параметры электромагнитного излучения и свойства подложки, чтобы сырьевые атомы высвобождались и мигрировали к центру роста или частице катализатора с энергией, необходимой для роста NT.

[017] Рассмотрим случай выращивания CNT, осуществленный путем экспериментов, на которых основано данное изобретение (см. Фиг. 1). Использовали лазер ближнего УФ спектра (источник электромагнитного излучения) для облучения кварцевой подложки с тыльной стороны. Фотоны (электромагнитное излучение) распространяются через подложку, и большинство из них поглощаются в слое атомов аморфного углерода (сырьевой слой) на лицевой стороне подложки. Атомы углерода (сырьевые атомы), которые поглощают фотоны, высвобождаются из аморфного углерода, и некоторые из них мигрируют к центру роста CNT, где они внедряются в растущую CNT. В этом и заключается суть данного изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[018] На Фиг. 1 представлено схематическое изображение варианта реализации данного изобретения, в котором NT выращивают непосредственно из слоя катализатора.

[019] На Фиг. 2 представлено схематическое изображение варианта наилучшего способа осуществления данного изобретения, в котором NT выращивают непосредственно из частиц катализатора.

[020] На Фиг. 3 представлено схематическое изображение варианта реализации данного изобретения, в котором NT выращивают непосредственно из частиц катализатора, а сырьевой слой заменен на сырьевой резервуар, пополняемый через подпиточный туннель.

[021] На Фиг. 4 представлено схематическое изображение базовых экспериментальных настроек для большинства экспериментов, проведенных до настоящего времени.

[022] На Фиг. 5 представлено схематическое изображение варианта реализации наконечника в сборе Broadtip по данному изобретению.

[023] На Фиг. 6 представлено схематическое изображение в крупном плане части одного из вариантов реализации подложки в сборе Broadtip по данному изобретению.

[024] На Фиг. 7 представлено схематическое изображение наконечника в сборе Broadtip, смонтированного на шарнирном манипуляторе, а также изображение подвижной платформы в действии, в соответствии с данным изобретением.

[025] На Фиг. 8 представлено схематическое изображение варианта промышленного применения по данному изобретению, в котором лазер обеспечивает доставку энергии на подложку в сборе, где происходит непрерывный рост CNT.

[026] На Фиг. 9 представлено схематическое изображение наконечника Tratip из патентной заявки TREKANG.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ.

1. Определения

[027] BNNT - В данном контексте относится к нанотрубке из нитрида бора.

[028] Система Broadtip - В данном контексте относится к системе для выращивания NT, содержащей наконечник в сборе Broadtip, смонтированный на шарнирном манипуляторе, который, в свою очередь, смонтирован на подвижной платформе. Данная система обеспечивает выращивание NT из подложки в сборе Broadtip и их осаждение на соседней «целевой поверхности». Движение наконечника в сборе Broadtip по соседней целевой поверхности обеспечивает возможность структурированного трехмерного осаждения NT. Наконечники Broadtip аналогичны наконечникам Tratip, но являются более крупными, содержащими множество частиц катализатора. Вследствие их размера, для доставки энергии на сырьевой слой вместо плазмонов используют электромагнитное излучение. См. Фиг. 5, 6 и 7.

[029] Наконечник в сборе Broadtip - В данном контексте относится к подсистеме, содержащей подложку в сборе Broadtip, состыкованную с источником электромагнитного излучения и упакованную для подключения к шарнирному манипулятору для использования в системе Broadtip. См. Фиг. 5 и 7.

[030] Подложка в сборе Broadtip - В данном контексте относится к подсистеме подложки в сборе, выполненной с возможностью интегрирования в наконечник в сборе Broadtip и используемой в системе Broadtip. См. Фиг. 5 и 6.

[031] Частица катализатора - в данном контексте относится к некоторому объему каталитического материала, размер, форма и элементарный состав которого пригодны для выращивания нанотрубки: частица катализатора. Катализатор может содержать один или более элементарных компонентов.

[032] CNT - В данном контексте относится к углеродной нанотрубке.

[033] Электромагнитное излучение - В данном контексте относится к электромагнитному излучению, которое однако сгенерировано и имеет определенную длину волны, для стимуляции роста CNT по описанной технологии.

[034] Сырьевой атом - В данном контексте относится к атому или молекуле, которая является химическим компонентом нанотрубки: атомное сырье для нанотрубки.

[035] Сырьевой слой - В данном контексте относится к слою сырьевых атомов нанотрубки (сырьевых атомов), который может содержать другие компоненты, такие как каталитический материал.

[036] Сырьевой резервуар - В данном контексте относится к резервуару сырьевых атомов нанотрубки (сырьевых атомов), который может содержать другие компоненты, такие как каталитический материал.

[037] Центр роста - В данном контексте относится к положению на слое катализатора, в котором происходит рост нанотрубки из поверхности. В случае роста нанотрубки в центре роста, слой катализатора не является отоженным, поэтому частицы катализатора не образуются.

[038] Высококачественный - В данном контексте относится к материалу, почти не имеющему дефектов: высококачественный. Высококачественная NT представляет собой нанотрубку, которая является почти безупречной, совершенной и не имеющей недостатков. Таким образом, ее прочность при растяжении и электрические свойства являются максимальными.

[039] Инертная атмосфера - В данном контексте относится к инертной газообразной атмосфере в камере выращивания CNT: инертная атмосфера. Если края подложки изолированы, то указанный термин относится к атмосфере на стороне роста нанотрубки (лицевой стороне подложки). Такая «инертная» атмосфера обычно состоит из инертных газов. Однако, если парциальные давления других газов, включая газы, введенные для взаимодействия с NT, частицами катализатора и/или свободным углеродом, возникают

в атмосфере в процессе выращивания, то применение термина «инертная атмосфера» сохраняется.

[040] Высвободить - В данном контексте относится к процессу или способу, посредством которого сырьевой атом поглощает электромагнитное излучение и разрушает свои химические связи с другими атомами в сырьевом слое или сырьевом резервуаре, в результате чего он становится свободным для миграции.

[041] Мигрировать - В данном контексте относится к процессу или процессам, посредством которых сырьевой атом движется из сырьевого слоя или сырьевого резервуара к центру роста или частице катализатора после его возбуждения. Миграция является более общей формой направленного движения, которое включает движение к центру роста, а также к частице катализатора.

[042] NT - В данном контексте относится к нанотрубке.

[043] Плазмон - В данном контексте относится к кванту колебания плазмы. Он включает все типы плазмонов и поляритонов, такие как экситон-поляритоны и поверхностные плазмонные поляритоны. В контексте данного изобретения, при правильных условиях, электромагнитная энергия может превращаться на поверхности в плазмоны, способные распространять энергию через среду.

[044] Подпиточный туннель - В данном контексте относится к подпиточному туннелю или другой структуре в подложке или волновод, которая облегчает пополнение сырьевых атомов, каталитического материала и/или других материалов для роста нанотрубки. На Фиг. 3 изображен теоретический подпиточный туннель.

[045] Подложка в сборе - В данном контексте относится к подсистеме, содержащей подложку, сырьевой слой, нанесенный на лицевую сторону подложки, и одну из двух конфигураций катализатора (либо в виде каталитического слоя, либо в виде частиц катализатора), расположенную на лицевой стороне сырьевого слоя.

[046] Наконечник Tratip - В данном контексте относится к движущейся микроразмерной или наноразмерной платформе или наконечнику. Нанотрубку выращивают из частицы катализатора, присоединенной к концу наконечника Tratip, подвижной платформы. Платформа или наконечник является частью кантилевера или другой опорной конструкции, которая облегчает движение наноразмерной системы для выращивания нанотрубок. Таким образом, нанотрубку можно выращивать вертикально, горизонтально или под углом для обеспечения возможности создания структурированного роста нанотрубок. Наконечник Tratip аналогичен рабочему наконечнику датчика атомно-силового микроскопа, который присоединен к кантилеверу. Наконечник Tratip изображен на Фиг. 9. Альтернативно, наконечник Tratip может быть неподвижным, а целевая поверхность или объем, в котором осуществляют выращивание нанотрубок, может быть подвижным.

[047] Направленное движение - В данном контексте относится к процессу или процессам, посредством которых сырьевой атом движется из сырьевого слоя или сырьевого резервуара к частице катализатора после его возбуждения. Трекинг представляет собой глагольную форму направленного движения.

[048] Волновод - В данном контексте относится к волноводу через подложку, который переносит энергию в форме электромагнитного излучения или плазмонов.

2. Наилучший способ осуществления изобретения

[049] На Фиг. 2 изображен наилучший способ осуществления, предусмотренный автором технологии выращивания нанотрубок из свободных атомов по данному изобретению. Вариант реализации на Фиг. 2 включает матрицу частиц катализатора, расположенную на лицевой стороне углеродного сырьевого слоя. Сырьевой слой

расположен на лицевой стороне кварцевой подложки. Электромагнитное излучение в форме лазерного излучения направляют с лицевой стороны подложки в сборе. Фотоны лазера высвобождают некоторые сырьевые атомы углерода из сырьевого слоя, и некоторые из указанных свободных атомов мигрируют к частицам катализатора. На частицах катализатора некоторые из указанных атомов углерода внедряются в растущую CNT.

3. Использование изобретения

[050] В реакционной камере системы, изображенной на фиг. 1, происходит рост CNT. Электромагнитное излучение в форме лазерного излучения, падающее снизу подложки, распространяется через подложку, которая является прозрачной для электромагнитного излучения. Электромагнитное излучение распространяется на сырьевой слой. Вся энергия электромагнитного излучения или большая его часть поглощается в сырьевом слое. Указанная энергия высвобождает некоторые сырьевые атомы углерода в сырьевом слое для их миграции (показанной стрелками) через очень тонкий слой железного катализатора к центру роста растущей CNT. В идеале сырьевые атомы переносятся к центру роста с оптимальной энергией для образования части CNT, растущей из частицы катализатора. Атмосфера в химическом реакторе, где происходит рост CNT, является инертной.

[051] Направленная обработка сырьевых атомов энергией, необходимой для осуществления процесса роста NT, обеспечивает возможность использования гораздо более низкой температуры выращивания, чем в методе CVD. Низкая температура подложки во время выращивания CNT по данному изобретению обеспечивает возможность снижения или исключения нежелательных, лишних химических реакций, таких как скопление аморфного углерода на поверхности частиц катализатора, что позволяет продолжать выращивание в течение более продолжительного времени.

[052] Инертная атмосфера также снижает или исключает накопление аморфного углерода на частицах катализатора. Кроме того, инертная атмосфера снижает или исключает повреждение растущих CNT вследствие нежелательных химических реакций на их поверхности, поскольку исключена атмосфера горячего газообразного углерода, используемая в методе CVD.

[053] Оствальдовское созревание представляет собой термодинамический процесс, приводящий к тому, что мелкие частицы катализатора, в целом, теряют атомы катализатора, отдавая их более крупным частицам катализатора. При Оствальдовском созревании остановка роста CNT происходит на большем количестве частиц катализатора, поскольку они становятся либо слишком крупными, либо слишком мелкими для поддержания роста CNT. Низкотемпературный синтез, возможный по данному изобретению, снижает скорость Оствальдовского созревания.

[054] На Фиг. 3 изображен вариант реализации сырьевого резервуара по данному изобретению, который включает сырьевой резервуар, расположенный между частицей катализатора и подложкой, вместо сырьевого слоя. Чем крупнее сырьевой резервуар, тем больше сырьевых атомов доступно для роста NT. Подбор размера таких сырьевых резервуаров или количества сырьевых атомов, содержащихся в сырьевых резервуарах, обеспечивает возможность регулирования роста NT, включая регулирование длины NT, получаемых в результате данного цикла выращивания.

[055] Один из сырьевых резервуаров на Фиг. 3 имеет подпиточный туннель, проходящий через подложку, для пополнения сырьевых атомов, каталитического материала и/или других материалов для роста NT. Это является модификацией данного варианта реализации сырьевого резервуара, в котором подпиточные туннели

способствуют пополнению сырьевых атомов, каталитического материала и/или других материалов для роста NT из другого резервуара. Указанный резервуар наиболее вероятно находится за пределами подложки, на которой выращивают NT. Таким образом, можно осуществлять непрерывное выращивание NT, особенно в случае

[056] И сырьевые слои, и сырьевые резервуары не ограничены содержанием только сырьевых атомов. Было обнаружено, что катализатор или другие материалы, которые имеют преимущество для выращивания NT, можно добавлять к сырьевым атомам в сырьевых слоях или сырьевых резервуарах. Указанные материалы могут располагаться

[057] На Фиг. 9 показан вариант реализации наконечника Tratip из патентной заявки TREKANG, включающий частицу катализатора, расположенную на наконечнике Tratip. В данном случае наконечник Tratip может обеспечивать рост NT с одновременным движением, что дает возможность выращивания NT в трех измерениях. Такая возможность позволяет наносить NT на соседнюю целевую поверхность структурированным образом. Следующий вариант реализации данного изобретения аналогичен наконечнику Tratip.

[058] Другой вариант реализации данного изобретения представляет собой систему наконечника Broadtip, представленную на Фиг. 5, 6 и 7. Система наконечника Broadtip содержит наконечник в сборе Broadtip; подложку в сборе Broadtip; шарнирный манипулятор; и подвижную платформу, которые вместе способствуют трехмерному движению. По прямой аналогии с наконечником Tratip из заявки TREKANG, система наконечника Broadtip представляет собой крупный наконечник Tratip. Подложка в сборе Broadtip содержит от нескольких десятков до нескольких тысяч центров роста или частиц катализатора вместо одной частицы катализатора в случае наконечника Tratip. Подложка в сборе Broadtip является настолько большой, что для передачи энергии в ее сырьевой слой или сырьевой резервуар не нужны плазмы. Как и наконечник Tratip, наконечник в сборе Broadtip смонтирован на шарнирном манипуляторе и подвижной платформе, которая способствует трехмерному движению по соседней целевой области, на которую система наконечника Broadtip наносит нанотрубки, растущие из подложки в сборе Broadtip. Рост нанотрубки из подложки в сборе Broadtip под действием электромагнитного излучения может распространяться с тыльной стороны подложки в сборе Broadtip, может внедряться в подложку в сборе Broadtip или может распространяться с лицевой стороны через прозрачную соседнюю целевую поверхность на подложку в сборе Broadtip. Действительно, трехмерное направление роста можно контролировать посредством изменения интенсивности электромагнитного излучения, изменения схемы воздействия электромагнитного излучения на подложку в сборе Broadtip и посредством включения и выключения источника электромагнитного излучения.

4. Способ осуществления изобретения

КРИТЕРИИ ПО ПОДЛОЖКЕ В СБОРЕ

[059] Подложку в сборе получают посредством покрытия лицевой стороны толстым сырьевым слоем (~150 нм) сырьевых атомов и тонким слоем (~3 нм) катализатора.

Также можно использовать другие технологии нанесения покрытий. Общие требования к подложке включают: 1) возможность использования в технологических процессах нанесения покрытий, 2) возможность нанесения различных типов сырьевых атомов и катализаторов, 3) относительная неспособность к растворению сырьевых атомов и

катализатора в подложке, и 4) способность выдерживать любые температуры, воздействующие во время возможной стадии отжига и во время роста NT. Если электромагнитное излучение будет направлено на подложку с тыльной стороны, то подложка должна быть прозрачной для электромагнитного излучения.

5 [060] Несмотря на то, что подложка, использованная для экспериментов, была плоской и гладкой, подложка может быть фигурной для концентрирования катализатора и размещения частиц катализатора. Даже в случае отсутствия отжига для получения частиц катализатора, шероховатая или фигурная подложка может обеспечивать большее количество центров роста в форме неоднородностей на в остальном гладком слое катализатора. Свойства подложки в сборе можно использовать для регулирования количества энергии, доставляемой в сырьевой слой или сырьевой резервуар. Указанные свойства включают профиль подложки, ее толщину и свойства материала, такие как прозрачность.

15 [061] В соответствии с данным изобретением можно выращивать другие нанотрубки, такие как нанотрубки из кремния (SI), нитрида бора (BN), нитрида алюминия (AlN) и нитрида галлия (GN). Состав сырьевого слоя необходимо модифицировать для получения соответствующих сырьевых атомов. Необходим такой диапазон длины волны электромагнитного излучения, который будет возбуждать сырьевые атомы для их миграции. Для возбуждения двух видов сырьевых атомов можно использовать два источника электромагнитного излучения с различными диапазонами длины волны.

20 [062] Можно предположить, что данную технологию выращивания нанотрубок можно применять со всеми металлическими катализаторами, такими как железо, никель, кобальт, медь, золото, серебро, платина, палладий, марганец, хром, олово, магний, алюминий, иттрий, ванадий, молибден, рений и сплавы указанных металлов.

25 КРИТЕРИИ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

[063] Электромагнитное излучение можно вырабатывать с помощью лазера, светодиодной, флуоресцентной лампы или лампы накаливания. В целом, источники электромагнитного излучения располагают за пределами подложки. Однако в случае светодиодной лампы или нанолазера указанные источники могут быть изготовлены как часть подложки. Кроме того, для усиления электромагнитного излучения может быть предусмотрен оптический усилитель, изготовленный отдельно или как часть подложки.

35 [064] Требования к источнику электромагнитного излучения включают обеспечение длины волны или диапазона длины волны, поглощаемого сырьевым слоем и, после поглощения, обеспечения достаточной энергии для высвобождения поглощающих сырьевых атомов и их миграции. Затем указанные свободные атомы образуют нанотрубки у центра роста или каталитической частицы. Длина волны указанного электромагнитного излучения должна быть максимально короткой, но при этом соответствовать другим критериям, таким как необходимая мощность лазера, стоимость и безопасность осуществления эксперимента. Для данных экспериментов выбирали лазер с длиной волны 405 нм и светодиодную лампу с длиной волны 365 нм.

45 [065] Особенность данного изобретения заключается в том, что рост NT можно приостановить или прекратить посредством остановки подачи электромагнитного излучения. Это обеспечивает возможность точного регулирования длины NT или способа точного начала и окончания различных стадий выращивания NT в многостадийном процессе выращивания.

КРИТЕРИИ ПО ИНЕРТНОЙ АТМОСФЕРЕ

[066] Инертная атмосфера исключает побочные реакции, обусловленные

атмосферными газами. Поскольку согласно данному изобретению сырьевые атомы для роста NT поступают не из атмосферных газов, то газообразные компоненты, давление и температуру атмосферы можно изменять для оптимизации роста NT. Газы инертной атмосферы можно подавать по кругу, фильтровать, заменять, контролировать и/или изменять для облегчения регулирования компонентов инертной атмосферы, ее температуры и давления, тем самым поддерживая оптимальную атмосферу в реакционной камере. Наконец, инертную атмосферу при необходимости можно изменять в процессе выращивания для продолжения выращивания, изменения характеристик NT и функционализации NT.

ПРОЧИЕ КРИТЕРИИ

[063] Можно осуществлять диагностические измерения в реальном времени для измерения и регулирования роса и функционализации NT. Такие диагностические измерения включают скорость роста и структуру NT; температуру, давление и состав катализатора; перенос сырьевых атомов; и состав, температуру и давление инертной атмосферы.

[068] Технологию выращивания нанотрубок из свободных атомов можно адаптировать для выращивания групп атомов для точного и контролируемого получения молекул, структур, деталей и механизмов. Для осуществления указанных способов формирования групп может потребоваться или не потребоваться катализатор для облегчения формирования групп.

5. Экспериментальные примеры

[069] Проведены и продолжают проводиться контрольно-проверочные эксперименты, основанные на принципах, заявленных в патентной заявке «Trekking Atom Nanotube Growth (TREKANG)». Результаты указанных экспериментов легли в основу данной патентной заявки «Выращивание нанотрубок из свободных атомов (FANG)».

[070] Разработана и проведена серия базовых контрольно-проверочных экспериментов. Главным упрощением относительно концепции TREKANG является отсутствие волноводов. Волноводы были предусмотрены для доставки энергии, которая стимулирует рост сырьевого слоя вблизи частицы катализатора. Выполненные эксперименты подтверждают, что указанные волноводы не являются обязательными. Продолжаются дополнительные эксперименты для определения области параметров, в которой можно выращивать нанотрубки.

[071] На Фиг. 1 представлено схематическое изображение экспериментальной конфигурации для большинства экспериментов. В качестве подложки использовали кварцевый диск диаметром два дюйма (5,08 см) и толщиной 6 мм. На лицевую поверхность подложки напыляли 140 нм слой углерода с получением сырьевого слоя с сырьевыми атомами углерода. Нанесенный напылением углерод образует слой аморфного углерода. На лицевую поверхность указанного углеродного сырьевого слоя напыляли 2-3 нм слой железа. Железо является катализатором для роста углеродных нанотрубок. Слой железа завершает подложку в сборе, которая состоит из подложки и слоев углерода и железа. Электромагнитное излучение, поступающее из нижней части изображения и проходящее через кварцевую подложку, поглощается, главным образом, в углеродном слое. В большинстве экспериментов источник электромагнитного излучения представлял собой лазер ближнего УФ диапазона с длиной волны 405 нм. В других экспериментах использовали УФ светодиодную лампу с длиной волны 365 нм. Атмосфера в камере химического реактора, инертная атмосфера, состояла из газообразного аргона. На Фиг. 1 показано также неожиданное свойство: углеродные нанотрубки вырастали без образования частицы катализатора. До предела

разрешения, на изображениях, полученных с помощью сканирующего электронного микроскопа, видны углеродные нанотрубки, растущие из поверхности слоя железа.

[072] На Фиг. 2 представлено схематическое изображение другой экспериментальной конфигурации, которая является наилучшим способом осуществления данного изобретения, по мнению автора изобретения. Одно из отличий Фиг. 2 от Фиг. 1 заключается в том, что слой катализатора подвержен отжигу с образованием частиц катализатора. Второе отличие заключается в том, что электромагнитное излучение, в большинстве экспериментов лазерное излучение, падает с лицевой стороны подложки в сборе. В некоторых экспериментах углеродные нанотрубки росли из частиц катализатора. Большинство экспериментов проводили с излучением, падающим с лицевой стороны подложки в сборе, поскольку установку и извлечение подложки в сборе проще осуществлять, если лицевая сторона обращена к источнику электромагнитного излучения. Однако эксперименты показали, что рост NT происходит при облучении электромагнитным излучением любой стороны кварцевой подложки.

[073] На Фиг. 4 представлено схематическое изображение базовой экспериментальной конфигурации. Подложка может быть смонтирована на держателе подложки, причем к лазеру или лампе может быть обращена либо лицевая сторона, либо тыльная сторона. На Фиг. 4 не показаны нагреватели и термопары, присоединенные к держателю подложки.

[074] Оптимальная температура, давление, интенсивность излучения, длина волны излучения, толщина углеродного слоя и толщина слоя железа не определены.

Углеродные нанотрубки выращивали с применением подложки при температуре окружающей среды и 200°C; давление газообразного аргона составляло от 50 до 200 торр, интенсивность составляла от нескольких единиц до десятков милливольт на квадратный сантиметр, и длина волны излучения составляла 405 и 365 нм.

Продолжаются эксперименты для определения области параметров для выращивания NT.

6. Применение изобретения

[075] В исследовательской лаборатории технология выращивания нанотрубок из свободных атомов позволит исследователям выращивать большие количества длинных, высококачественных NT, стимулируя исследования свойств NT и макроскопических групп, полученных с применением указанных материалов. В случае CNT указанные свойства включают чрезвычайно высокую прочность при растяжении, высокую теплопроводность, для некоторых хиральных конфигураций - низкую проводимость и способность выдерживать исключительно высокую плотность электрического тока, а для других хиральных конфигураций - полупроводниковые свойства. В случае MNNT, интересные свойства включают высокую прочность при растяжении, высокую теплопроводность, низкую электропроводность и поглощение нейтронов вследствие наличия бора. Действительно, длинные, высококачественные NT могут обеспечивать возможность выявления свойств и применений, которые невозможны для существующих NT. Кроме того, длинные, высококачественные нанотрубки можно использовать для создания: 1) структур с повышенной прочностью; 2) проводников с улучшенной проводимостью, кабелей, микроразмерных и наноразмерных интегральных схем, микроразмерных и наноразмерных транзисторов, диодов, затворов, выключателей, резисторов, конденсаторов, одинарных датчиков и матриц; 3) ресиверов, антенн-выпрямителей или конструкций, испускающих электромагнитное излучение; 4) поверхностных профилей для ускорения или предотвращения биологического роста; 5) поверхностей со специальными оптическими, отражающими, интерференционными

или дифракционными свойствами; 6) поверхностей для ускорения или предотвращения химических реакций; 7) структур с определенными физическими свойствами, включая прочность, твердость, гибкость, плотность, пористость и т.д.; и 8) поверхностей, которые испускают частицы, такие как электроны, при электрическом возбуждении (полевая

5 эмиссия).

[076] Способ выращивания нанотрубок FANG включает следующие стадии: 1) получение подложки, включая модификацию ее поверхности для обеспечения требуемой шероховатости и профиля; 2) нанесение сырьевого слоя на указанную подложку; 3) завершение сборки подложки посредством нанесения тонкой пленки катализатора на

10 поверхность сырьевого слоя; 4) формирование частиц катализатора из указанной тонкой пленки катализатора посредством отжига; 5) установка полученной подложки в сборе в реакционную камеру и герметизация камеры; 6) замена атмосферы в реакционной камере на инертную атмосферу; 7) регулирование температуры подложки в сборе и давления инертной атмосферы; 8) начало возбуждения сырьевых атомов под действием

15 источника электромагнитного излучения для их миграции к центрам роста или частицам катализатора; и 9) эксплуатация системы в течение определенного интервала времени для получения требуемых результатов выращивания NT.

[077] С точки зрения системы FANG с применением наконечника Broadtip, выращивание нанотрубок включает следующие стадии: 1) получение подложки для

20 подложки в сборе Broadtip, включая соответствующее изменение размера и модификацию ее поверхности для получения требуемой шероховатости и профиля; 2) нанесение сырьевого слоя на подложку Broadtip; 3) завершение сборки подложки Broadtip посредством нанесения тонкой пленки катализатора на поверхность сырьевого слоя; 4) формирование частиц катализатора из тонкой пленки катализатора; 5) установка

25 полученной подложки Broadtip в наконечник в сборе Broadtip; 6) присоединение установки в сборе Broadtip к шарнирному манипулятору; 7) завершение построения системы Broadtip посредством присоединения шарнирного манипулятора к подвижной платформе; 8) установка целевой поверхности, на которой в определенном порядке будут осаждаться нанотрубки, в реакционную камеру; 9) установка системы Broadtip

30 в реакционную камеру, в том числе подключение электрических проводов и изоляция камеры; 10) замена атмосферы в реакционной камере на инертную атмосферу; 11) регулирование температуры подложки в сборе Broadtip и давления инертной атмосферы, и 12) включение автоматической системы выращивания NT и контролирования движения для начала выращивания и движения с целью нанесения NT на целевой поверхности в

35 требуемом порядке.

[078] Если исследователь не предполагает использовать частицы катализатора для выращивания NT, то стадия 4 может быть опущена в обоих вышеуказанных способах.

[079] Автор данного изобретения предусматривает трансформацию данного изобретения в промышленный процесс, в котором можно получать большие количества

40 длинных, высококачественных NT. Фиг. 8 схематически проиллюстрировано такое изображение. На Фиг. 8 представлен вид сбоку внутри реакционной камеры. Пять подложек в сборе, каждая из которых состоит из подложки с частицами катализатора, расположены на своих местах над лазером. В промежуточном положении установлена линза, направляющая фотоны из лазера на тыльную сторону подложки. Над лицевой

45 поверхностью пяти подложке расположено «устройство сбора в виде вытяжного стержня». По истечении некоторого времени выращивания NT, стержень движется вниз, прикрепляется к поверхности растущей NT, а затем поднимается по мере ее роста. Когда NT готовы к сбору, промышленный лазер отрезает NT над уровнем подложки

в сборе. Затем указанный стержень переносит собранные NT из реакционной камеры к месту их обработки. Другой стержень движется внутрь и захватывает верхнюю часть растущих NT, и процесс продолжается.

[080] На Фиг. 7 представлен вид сверху другого варианта реализации промышленного способа технологии выращивания нанотрубок из свободных атомов, в данном случае системы наконечника Broadtip. Наконечник в сборе Broadtip, к которому присоединен шарнирный манипулятор, который в свою очередь присоединен к подвижной платформе, обеспечивает движение наконечника в сборе Broadtip в трех направлениях. Кроме того, для эффективного осаждения вертикальных NT, наконечник в сборе Broadtip также

10 вращается по двум осям. Две приподнятые платформы и наклонная поверхность при вытягивании способствуют образованию вертикальных NT и мостиковых структурных элементов NT. Различные формы схем нанесения NT на поверхность иллюстрируют потенциальную возможность применения данной системы в соответствии с замыслом автора изобретения.

15 [081] Достижение промышленного производства длинных, высококачественных NT означает, что указанные материалы станут более доступными и дешевыми. В случае CNT, обладающих превосходной прочностью при растяжении и электрическими свойствами, открывается возможность разработки новых способов изготовления существующих товаров, а также изобретения новых продуктов с использованием

20 превосходных свойств данного материала. CNT, который представляет собой высокопрочный материал, прочность при растяжении которого возможно превышает прочность всех известных материалов на порядок или более, коренным образом изменит жизнь на Земле. Кроме того, благодаря технологии структурированного выращивания, электрические компоненты на основе CNT с длиной нанометрового масштаба обеспечат

25 возможность получения интегральных схем меньшего размера и меньшей мощности, и перевернут жизнь человечества. Наиболее экстремальным примером указанных преимуществ может быть то, что высокопрочные CNT позволят создать космический лифт, открывая для человечества возможности космоса в форме более совершенного наблюдения Земли, получения космической солнечной энергии, разработки недр

30 астероидов, военной безопасности планеты и колонизации лун и планет нашей солнечной системы!

[082] Специалистам в данной области техники понятно, что данное изобретение не ограничено конкретными предпочтительными вариантами реализации, описанными со ссылкой на графические материалы, и что в их отношении могут быть сделаны

35 модификации без отступления от объема данного изобретения, определенного прилагаемой формулой изобретения и ее эквивалентами.

(57) Формула изобретения

1. Структура для выращивания нанотрубок, содержащая:

40 подложку с лицевой стороной, с тыльной стороной, противоположной лицевой стороне, не имеющую волновода и выполненную обеспечивающей пропускание электромагнитного излучения с тыльной стороны через подложку на лицевую сторону; сырьевые атомы, расположенные поверх лицевой стороны подложки и способные высвободиться, поглощая электромагнитное излучение, и мигрировать; и

45 каталитический слой, отделенный от подложки, расположенный поверх лицевой стороны подложки и поверх сырьевых атомов и выполненный обеспечивающим возможность мигрирующим из сырьевых атомов образовывать по меньшей мере одну нанотрубку поверх лицевой стороны подложки.

2. Структура для выращивания нанотрубок по п. 1, содержащая сырьевой слой, расположенный поверх лицевой стороны подложки и включающий в себя сырьевые атомы.

3. Структура для выращивания нанотрубок по п. 1, содержащая резервуар сырьевых атомов, расположенный поверх лицевой стороны подложки и включающий в себя сырьевые атомы.

4. Структура для выращивания нанотрубок по п. 1, дополнительно содержащая источник электромагнитного излучения, который является частью подложки.

5. Структура для выращивания нанотрубок по п. 1, в которой сырьевые атомы выбраны из группы материалов, состоящей из углерода, кремния, бора и азота, алюминия и азота, и галлия и азота.

6. Структура для выращивания нанотрубок по п. 1, в которой каталитический слой включает в себя материал, выбранный из группы железа, никеля, кобальта, меди, золота, серебра, платины, палладия, марганца, хрома, олова, магния, алюминия, иттрия, ванадия, молибдена, рения и сплавов из двух или более этих металлов.

7. Структура для выращивания нанотрубок по п. 1, в которой каталитический слой включает в себя по меньшей мере одну частицу катализатора.

8. Структура для выращивания нанотрубок по п. 1, содержащая слой, который включает в себя как сырьевые атомы, так и катализатор.

9. Структура для выращивания нанотрубок по п. 4, при этом источник электромагнитного излучения включает в себя светоизлучающий диод.

10. Структура для выращивания нанотрубок по п. 4, при этом источник электромагнитного излучения включает в себя лазер.

11. Структура для выращивания нанотрубок по п. 4, дополнительно содержащая усилитель, который является частью подложки и который выполнен с возможностью усиливать источник электромагнитного излучения.

12. Способ получения структуры для выращивания нанотрубок по любому из пп. 1-11, включающий:

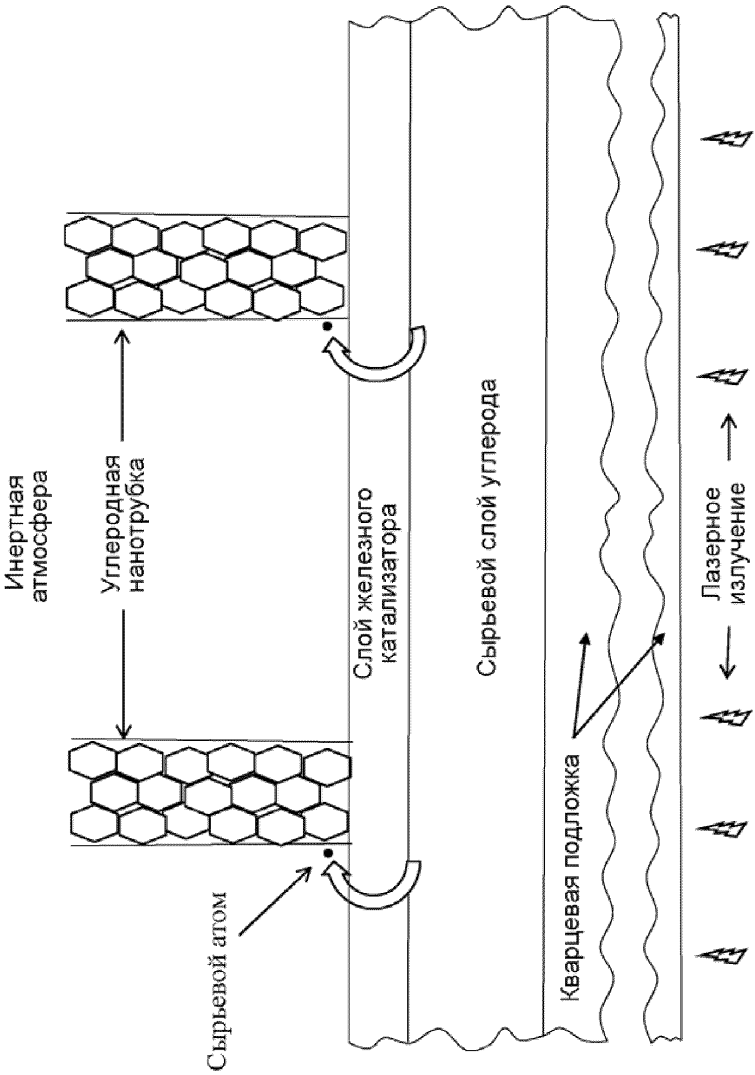
размещение поверх лицевой стороны подложки, не имеющей волновода и выполненной обеспечивающей пропускание электромагнитного излучения с тыльной стороны подложки через подложку на лицевую сторону, сырьевого слоя из сырьевых атомов, способных высвободиться, поглощая электромагнитное излучение, и мигрировать, причем сырьевой слой имеет лицевую сторону; и

размещение поверх лицевой стороны подложки и на лицевой стороне сырьевого слоя каталитического слоя, выполненного обеспечивающим возможность мигрирующим из сырьевых атомов образовывать по меньшей мере одну нанотрубку поверх лицевой стороны подложки.

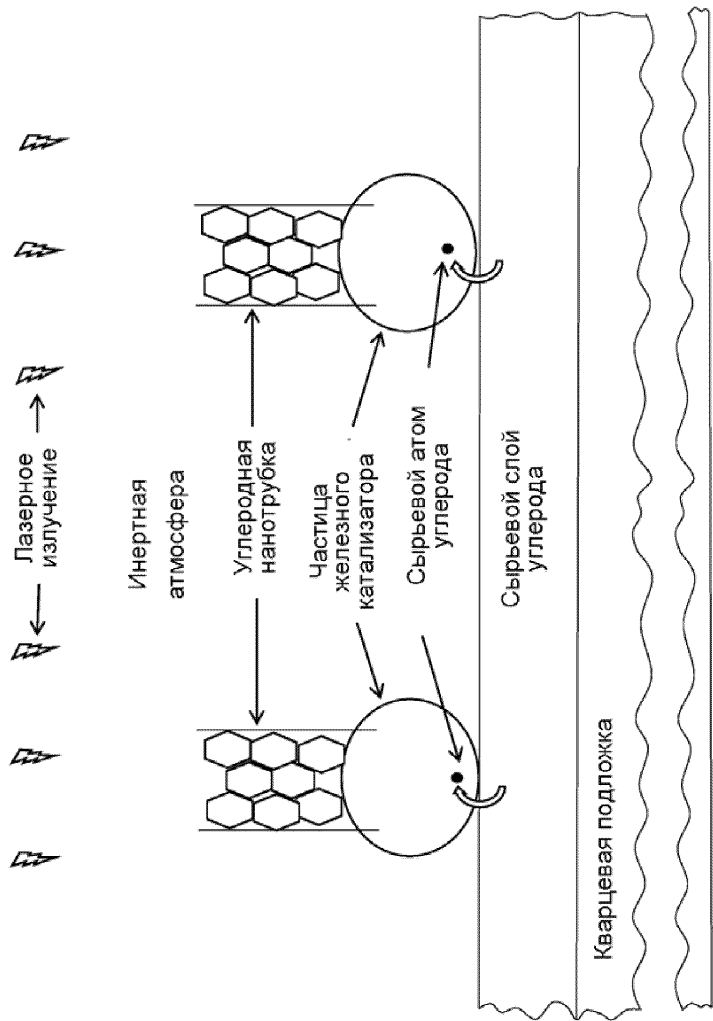
13. Способ по п. 12, в котором размещение каталитического слоя включает размещение на лицевой стороне сырьевого слоя по меньшей мере одной частицы катализатора.

14. Способ по п. 12, дополнительно включающий формирование под сырьевым слоем источника электромагнитного излучения.

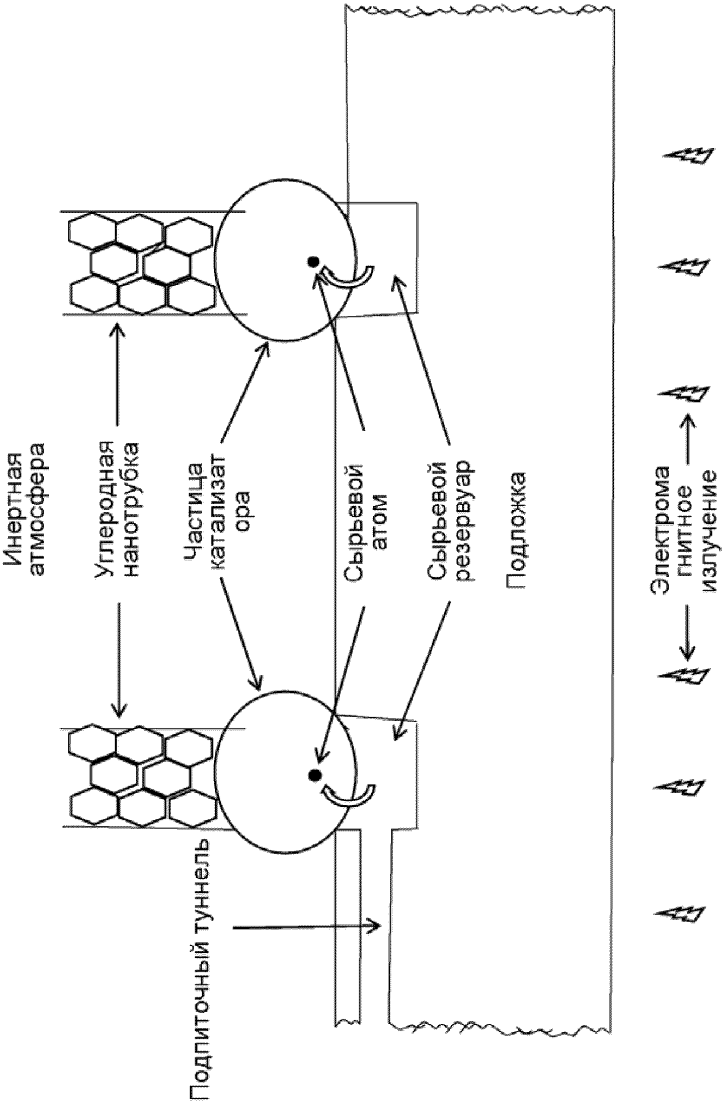
15. Способ по п. 14, дополнительно включающий формирование под сырьевым слоем усилителя, связанного с источником электромагнитного излучения.



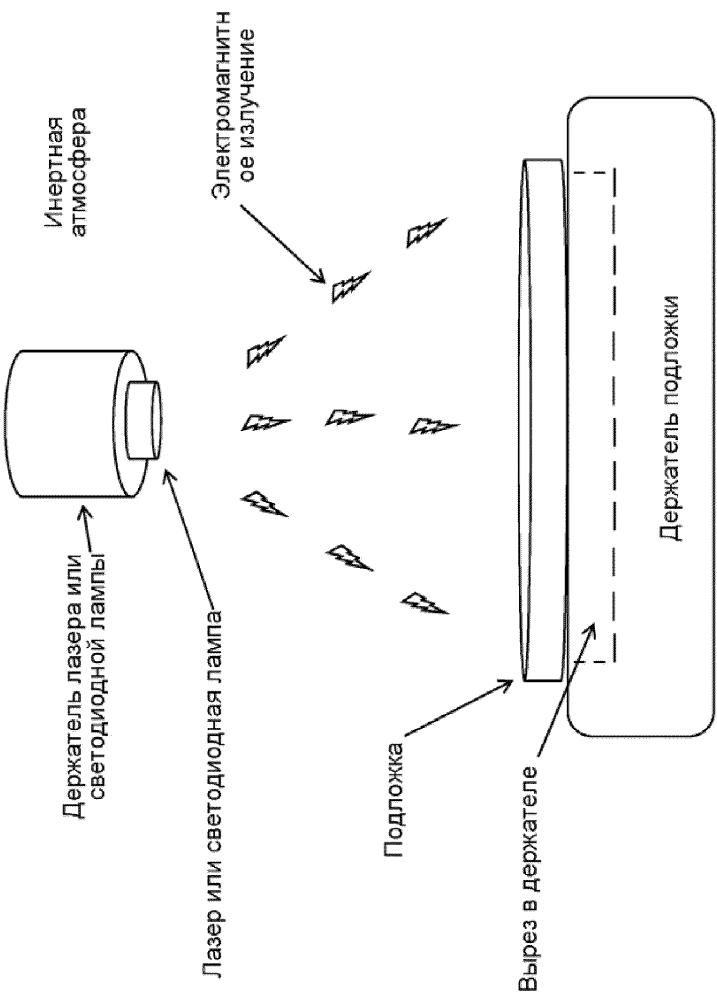
Фиг. 1



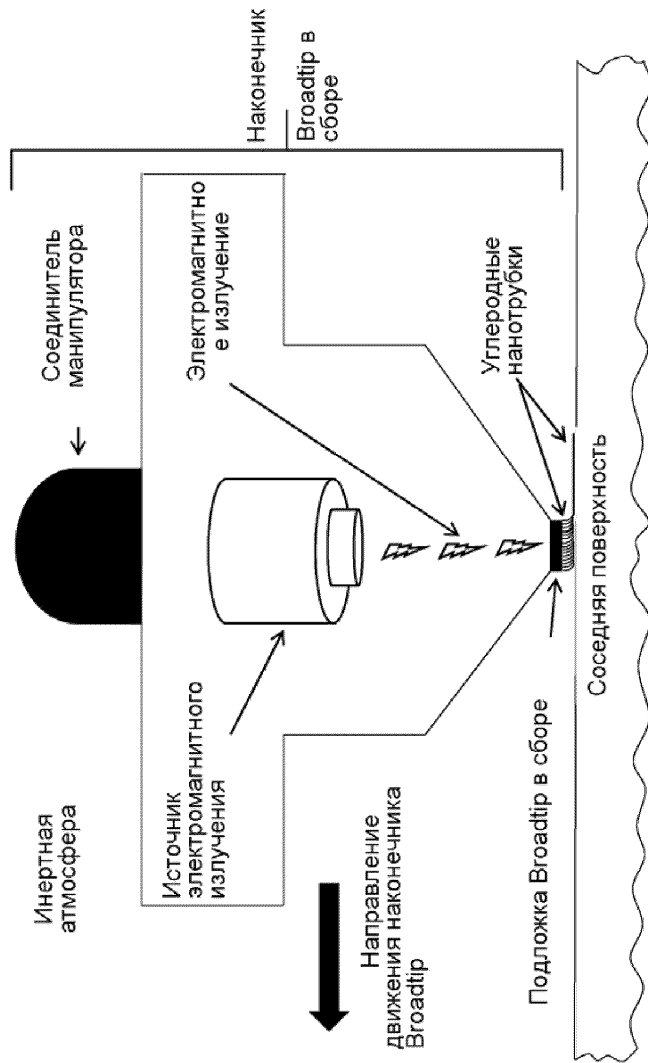
Фиг. 2



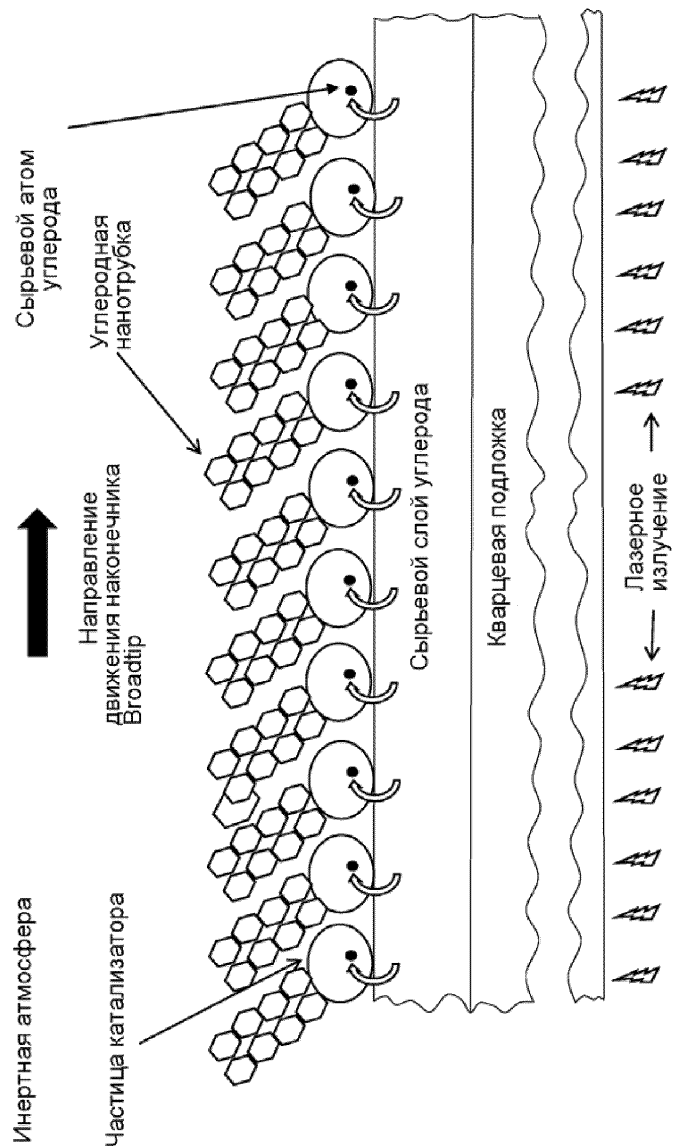
Фиг. 3



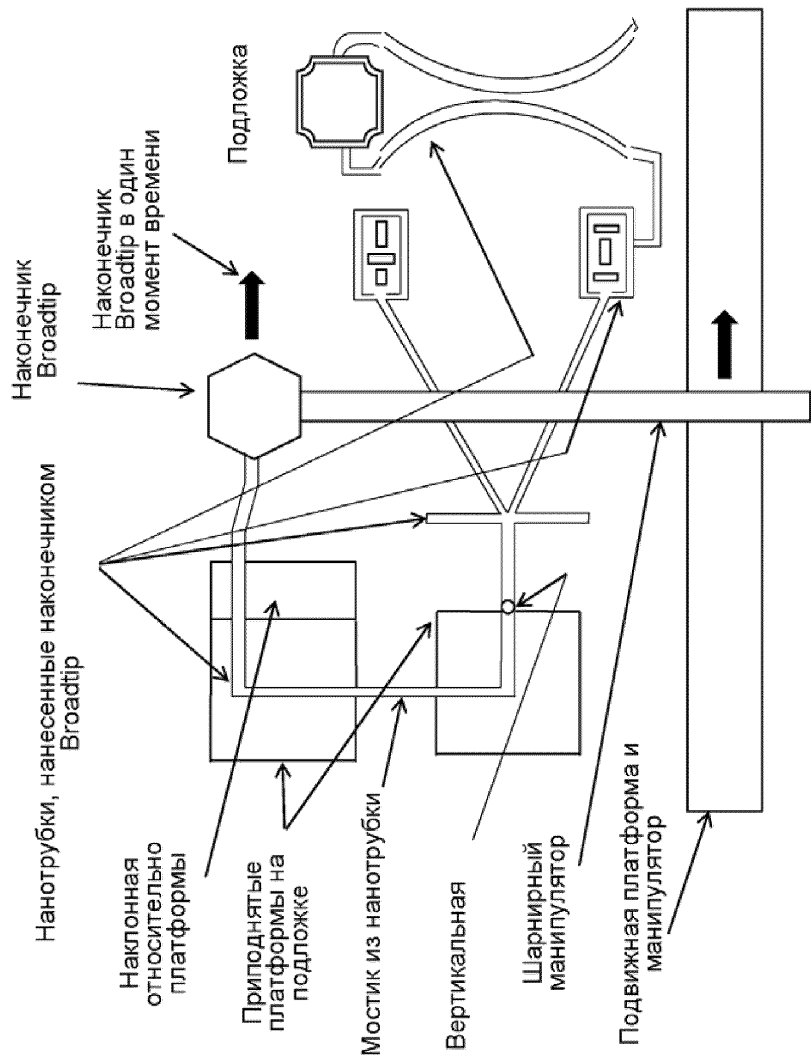
Фиг. 4



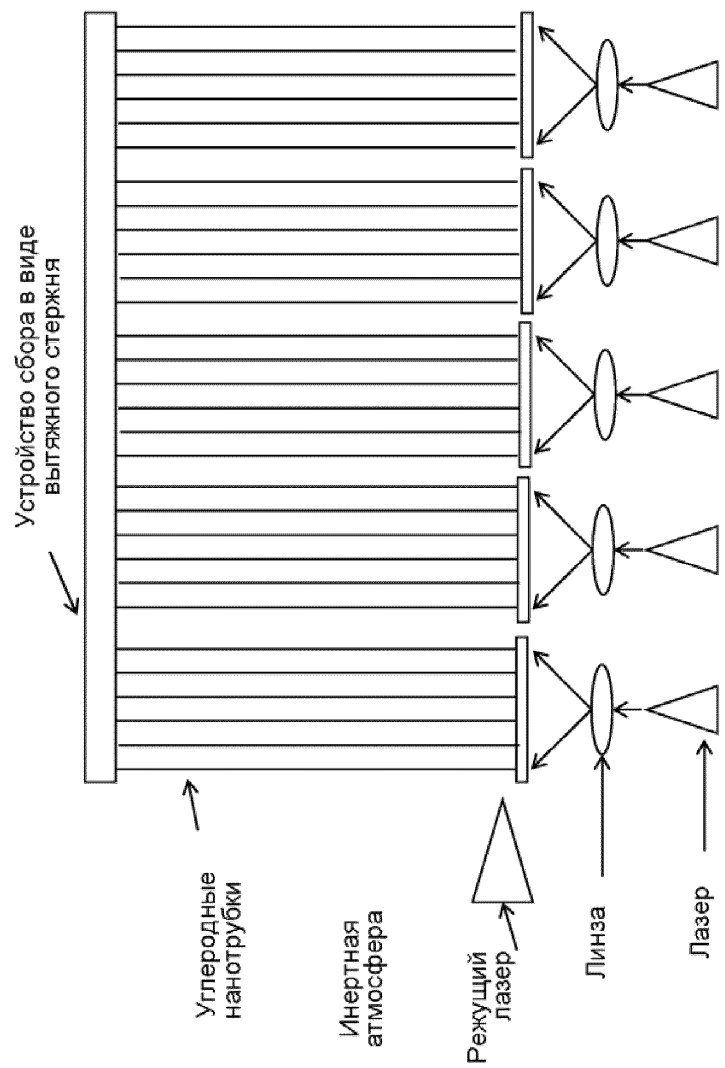
Фиг. 5



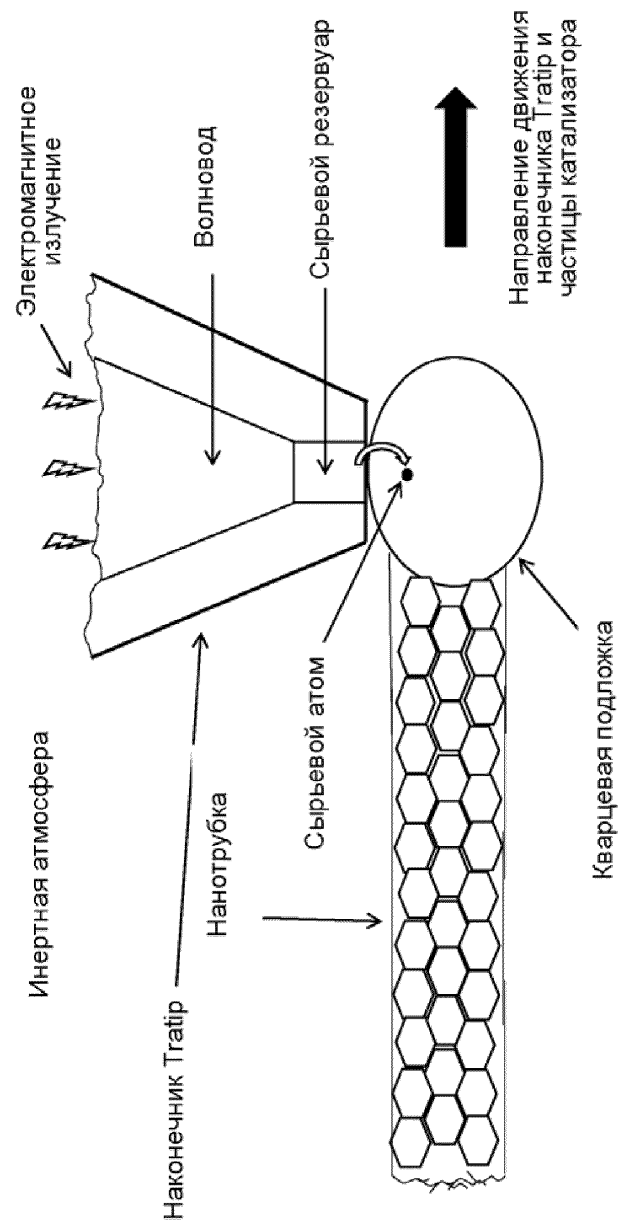
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9