



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

C23C 16/453 (2006.01); C23C 16/455 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2016111166, 19.09.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.09.2014

Дата регистрации:
06.09.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
12.12.2013 US 14/104,796

(45) Опубликовано: 06.09.2018 Бюл. № 25

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 12.07.2016

(86) Заявка РСТ:
US 2014/056467 (19.09.2014)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2015/088613 (18.06.2015)

Адрес для переписки:
190000, Санкт-Петербург, ВОХ 1125,
"ПАТЕНТИКА"

(72) Автор(ы):

РАНАДЕ, Альпана (US),
МАТОС, Марви А. (US)

(73) Патентообладатель(и):

ЗЕ БОИНГ КОМПАНИ (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: EP 2194162 A2, 09.06.2010. RU
2189663 C2, 20.09.2002. WO 2011014974 A1,
10.02.2011. WO 2007067242 A1, 14.06.2007. US
2010279027 A1, 04.11.2010.

(54) ГРАДИЕНТНЫЕ ТОНКИЕ ПЛЕНКИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу получения многослойного покрытия, выполненного из тонкой пленки градиентного состава, и изделию, полученному указанным способом. Осуществляют введение в плазму по меньшей мере одного химического вещества-предшественника, причем указанное введение включает введение в плазму первого химического вещества-предшественника и по меньшей мере одного другого химического вещества-предшественника, отличного от первого химического вещества-предшественника. Затем на поверхность подложки наносят слой первой пленки, при этом химический состав первой пленки определяется указанным по меньшей мере

одним химическим веществом-предшественником. Изменяют по меньшей мере один параметр плазменного процесса, связанного с нанесением указанного по меньшей мере одного химического вещества-предшественника, в ходе нанесения слоя первой пленки. Изменяют химический состав по меньшей мере части указанного слоя первой пленки, независимо или в комбинации, в вертикальном направлении или в вертикальном и горизонтальном направлении относительно указанной подложки. Наносят на указанную первую пленку или рядом с ней слой второй пленки, полученной по меньшей мере частично из второго химического вещества-предшественника, причем вторая пленка имеет

химический состав, отличный от состава первой пленки, при этом по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки в горизонтальном направлении относительно поверхности изделия. Обеспечивают поверхность раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой. Поверхность раздела включает изменение элементного состава первой пленки относительно

элементного состава второй пленки. Поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия. Обеспечиваются улучшенные свойства многослойного покрытия, а именно прозрачность, устойчивость к эрозии, износостойкость или эластичность. 11 н. и 10 з.п. ф-лы, 8 ил., 3 табл.

RU 2 6 6 6 1 9 8 C 1

RU 2 6 6 6 1 9 8 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
C23C 16/453 (2006.01)
C23C 16/455 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
C23C 16/453 (2006.01); *C23C 16/455* (2006.01)

(21)(22) Application: **2016111166, 19.09.2014**

(24) Effective date for property rights:
19.09.2014

Registration date:
06.09.2018

Priority:

(30) Convention priority:
12.12.2013 US 14/104,796

(45) Date of publication: **06.09.2018** Bull. № 25

(85) Commencement of national phase: **12.07.2016**

(86) PCT application:
US 2014/056467 (19.09.2014)

(87) PCT publication:
WO 2015/088613 (18.06.2015)

Mail address:
**190000, Sankt-Peterburg, BOX 1125,
"PATENTIKA"**

(72) Inventor(s):

**RANADE, Alpana (US),
MATOS, Marvi A. (US)**

(73) Proprietor(s):

ZE BOING KOMPANI (US)

(54) GRADIENT THIN FILMS

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to a method for producing a multilayer coating made of a thin film of a gradient composition and an article obtained by this method. Method comprises introducing at least one chemical precursor into plasma, wherein said introduction comprises introducing into the plasma a first chemical precursor and at least one other chemical precursor different from the first chemical precursor. First thin film layer is then deposited on the surface of a substrate, the chemical composition of the first thin film being determined by said at least one chemical precursor. At least one parameter of the plasma process associated with the deposition of said at least one chemical precursor is modified during deposition of the first thin film layer. Chemical composition of at least

a portion of said first thin film layer is varied, independently or in combination, in a vertical direction or in a vertical and horizontal direction relative to said substrate. Layer of a second thin film obtained at least in part from the second chemical precursor is deposited on or adjacent to said first thin film, the second thin film having a chemical composition different from that of the first thin film, wherein at least a portion of the second thin film is spatially separated from the first thin film in a horizontal direction with respect to the surface of the article. Interface is provided between said first thin film and second thin film. Interface includes varying the elemental composition of the first thin film relative to the elemental composition of the second thin film. Interface extends between the vertical portion of the first thin film and the vertical portion of the second

thin film relative to the surface of the article.
EFFECT: improved properties of the multilayer coating, particularly transparency, resistance to erosion,

wear resistance or elasticity.
21 cl, 8 dwg, 3 tbl

R U 2 6 6 6 1 9 8 C 1

R U 2 6 6 6 1 9 8 C 1

Область техники

Изделие, содержащее первую пленку, имеющую толщину от поверхности изделия, при этом первая пленка имеет градиентный химический состав в пределах по меньшей мере части толщины первой пленки в вертикальном и/или горизонтальном направлении

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Технологии осаждения пленок могут быть использованы для получения тонких пленок на различных подложках. Ранее были созданы высококачественные пленки с применением вакуумных технологий, таких как плазмохимическое осаждение из паровой фазы (PECVD) или магнетронное напыление. Однако покрытие крупных деталей или деталей сложной формы трудноосуществимо при использовании вакуумной камеры. Кроме того, для процессов вакуумного напыления необходимы большие капитальные вложения для приобретения и сборки компонентов вакуумной камеры.

РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В первом аспекте предложен способ получения многослойных тонких пленок с градиентным составом. Указанный способ включает введение по меньшей мере одного химического вещества-предшественника в плазму; нанесение первой пленки некоторой толщины на поверхность подложки, при этом первая пленка имеет химический состав, определяемый по меньшей мере одним химическим веществом-предшественником; изменение по меньшей мере одного параметра плазменного процесса, связанного с нанесением по меньшей мере одного химического вещества-предшественника, в процессе нанесения первой пленки некоторой толщины; изменение химического состава по меньшей мере части толщины первой пленки, независимо или в комбинации, в вертикальном направлении или в вертикальном и горизонтальном направлении относительно подложки.

Преимущественно стадия введения включает введение в плазму первого химического вещества-предшественника и по меньшей мере одного другого химического вещества-предшественника, отличного от первого химического вещества-предшественника, одновременно с первым химическим веществом-предшественником; и указанный способ дополнительно включает нанесение в пределах первой пленки второй пленки некоторой толщины, полученной по меньшей мере частично из второго химического вещества-предшественника, при этом вторая пленка имеет химический состав, отличный от состава первой пленки.

Преимущественно стадия введения включает последовательное введение в плазму первого химического вещества-предшественника и по меньшей мере одного другого химического вещества-предшественника, отличного от первого химического вещества-предшественника; и нанесение второй пленки некоторой толщины, полученной по меньшей мере частично из указанного по меньшей мере одного другого химического вещества-предшественника, при этом вторая пленка имеет химический состав, отличный от состава первой пленки.

В одном из предпочтительных вариантов реализации изобретения стадия изменения включает изменение одного или более параметров, выбранных из группы, состоящей из мощности плазмы, скорости потока газа-носителя, температуры вещества-предшественника, скорости потока в барботере, скорости потока разбавления или вертикального положения плазменной головки относительно подложки.

Преимущественно подложка содержит один или более полупроводниковых материалов, металлов или неметаллов.

Преимущественно стадия нанесения включает нанесение методом атмосферного

плазменного напыления.

В другом аспекте предложена система для нанесения пленок, имеющих химический градиент. Указанная система содержит устройство для атмосферного плазменного напыления, выполненное с возможностью получения плазмы; один или более газов-источников плазмы, совместимых с указанным устройством для атмосферного плазменного напыления; один или более источников вещества-предшественника, совместимых с указанным устройством для атмосферного плазменного напыления; и, необязательно, один или более источников защитного газа, совместимых с указанным устройством для атмосферного плазменного напыления.

Преимущественно устройство для атмосферного плазменного напыления может быть расположено горизонтально, вертикально или горизонтально и вертикально относительно поверхности подложки.

Преимущественно устройство для атмосферного плазменного напыления выполнено с возможностью расположения и/или регулирования положения вокруг по меньшей мере двух осей относительно поверхности подложки.

Преимущественно устройство для атмосферного плазменного напыления является автоматизированным для перемещения в одном или более из вертикального или горизонтального положения относительно изделия.

В другом аспекте предложено изделие. Указанное изделие содержит первую пленку некоторой толщины от поверхности изделия; первая пленка имеет градиентный химический состав, независимо или в комбинации, в вертикальном направлении или в вертикальном и горизонтальном направлении относительно поверхности изделия в пределах по меньшей мере части толщины первой пленки.

Преимущественно изделие дополнительно содержит вторую пленку, отличную от первой пленки, при этом вторая пленка находится в пределах первой пленки, причем вторая пленка имеет градиентный химический состав, и по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки в горизонтальном, вертикальном или в горизонтальном и вертикальном направлении относительно поверхности изделия.

Предпочтительно вторая пленка химически отлична от первой пленки в вертикальном направлении относительно поверхности изделия.

В альтернативном варианте вторая пленка расположена непосредственно на первой пленке.

Преимущественно по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена в горизонтальном направлении, в вертикальном направлении или в горизонтальном и вертикальном направлении от первой пленки относительно поверхности изделия.

Предпочтительно изделие дополнительно содержит поверхность раздела между первой пленкой и второй пленкой, при этом поверхность раздела характеризуется изменением элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки.

Преимущественно поверхность раздела расположена между вертикальной частью первой пленки и вертикальной частью второй пленки относительно поверхности изделия.

В альтернативном варианте поверхность раздела расположена между горизонтальной частью первой пленки и горизонтальной частью второй пленки относительно поверхности изделия.

Предпочтительно поверхность раздела между первой пленкой и второй пленкой имеет градиент элементного состава по одному или обоим из кислорода и углерода.

Преимущественно поверхность изделия представляет собой по меньшей мере часть воздушно-космического летательного аппарата.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

На фиг. 1 представлена блок-схема одного из аспектов настоящего способа согласно настоящему изобретению, описанного в настоящем документе, приведенная в качестве примера.

5 На фиг. 2 представлена блок-схема одного из аспектов способа согласно настоящему изобретению, описанного в настоящем документе, приведенная в качестве примера.

На фиг. 3А изображен аспект способа согласно настоящему изобретению, описанного в настоящем документе, приведенный в качестве примера.

10 На фиг. 3В изображен аспект способа согласно настоящему изобретению, описанного в настоящем документе, приведенный в качестве примера.

На фиг. 4А изображен аспект способа согласно настоящему изобретению, описанного в настоящем документе.

На фиг. 4В изображен аспект способа согласно настоящему изобретению, описанного в настоящем документе, приведенный в качестве примера.

15 На фиг. 5 изображен аспект способа согласно настоящему изобретению, описанного в настоящем документе.

На фиг. 6 представлено графическое отображение толщины (в нанометрах) образцов нанесенных пленок в соответствии с одним из аспектов способа согласно настоящему изобретению.

20 На фиг. 7 представлено графическое изображение процентной матовости после испытания образцов нанесенных пленок в соответствии с одним из аспектов способа согласно настоящему изобретению.

На фиг. 8 представлено обобщение технологических параметров, физических параметров, а также оптических и механических свойств образцов нанесенных пленок в соответствии с одним из аспектов способа согласно настоящему изобретению.

ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В настоящем описании, среди прочего, предложен способ оптимизации механических свойств наносимых тонкопленочных покрытий. Указанный способ обеспечивает конструирование и создание многослойных пленок с постепенным изменением (например, градиентным) механических свойств и/или химического состава. В настоящем описании также предложены многослойные градиентные структуры с уникальными механическими свойствами. В одном из аспектов многослойные градиентные структуры получают с применением атмосферного плазменного напыления. Регулирование одного или более условий процесса при нанесении тонкой пленки может обеспечивать новые или улучшенные свойства, такие как прозрачность, устойчивость к эрозии, износостойкость или эластичность.

Определения

Следует понимать, что хотя термины «первый», «второй» и т.д. могут быть использованы в данном контексте для описания различных элементов, указанные элементы не ограничены данными терминами. Указанные термины использованы лишь для различия одного элемента от другого. Например, первый элемент может быть назван вторым элементом и, точно так же, второй элемент может быть назван первым элементом, без отклонения от объема настоящего изобретения. В данном контексте термин «и/или» включает любые и все комбинации одного или более перечисленных элементов.

Следует понимать, что, если элемент, такой как слой или пленка, область или подложка, указан как «нанесенный на» или «напыленный на» другой элемент, он может быть нанесен или напылен на другой элемент непосредственно, или могут также

присутствовать промежуточные элементы. Напротив, если элемент указан как «нанесенный непосредственно на» или «напыленный непосредственно на» другой элемент, то промежуточные элементы отсутствуют.

Относительные термины, такие как «ниже» или «выше», или «верхний», или «нижний», или «горизонтальный», или «вертикальный», или «верх», или «низ», могут быть использованы в данном контексте для описания положения одного элемента, слоя/пленки или области относительного другого элемента, слоя/пленки или области, как показано на фигурах. Следует понимать, что указанные термины предназначены для охвата различных ориентаций устройства, помимо ориентации, изображенной на чертежах.

Терминология, используемая в настоящем документе, предназначена лишь для описания конкретных аспектов, и не предназначена для ограничения настоящего описания. В данном контексте единственные формы предназначены также для включения множественных форм, если из контекста очевидно не следует иное. Дополнительно следует понимать, что термины «содержит», «содержащий», «включает» и/или «включающий», используемые в данном документе, обозначают наличие указанных признаков, стадий, операций, элементов и/или компонентов, но не исключают наличия или добавления одного или более других признаков, стадий, операций, элементов, компонентов и/или их комбинаций.

Если не указано иное, все термины (включая технические и научные термины), используемые в настоящем документе, имеют то же значение, которое обычно подразумевается специалистом в области, к которой относится настоящее описание. Дополнительно следует понимать, что термины, используемые в настоящем документе, следует интерпретировать как имеющие такое значение, которое соответствует их значению в контексте настоящего описания и релевантного уровня техники, и их не следует понимать в идеализированном или слишком формальном смысле, если это в явной форме не указано в данном контексте.

Если очевидно не указано иное, то сравнительные количественные термины, такие как «меньше» и «больше», предназначены для охвата концепции равенства. Например, «меньше» может означать не только «меньше» в самом строгом математическом смысле, но и «меньше либо равно».

Если очевидно не указано иное, то «покрытие» включает одну или более «тонких пленок» или слоев, например, тонких пленок или слоев, нанесенных плазменным напылением. Термин «покрытие», используемый в настоящем документе, может включать монослой (слой толщиной в один атом) до толщины примерно 1 мкм и/или один или более слоев, имеющих толщину от примерно 1 мкм до нескольких сотен микрометров.

В данном контексте термин «эрозия» включает один или более из результатов химических и механических воздействий на поверхность или поверхностный слой пленки, например, области, в которых химические вещества и/или мелкие частицы, такие как капли дождя или песок, сталкиваются с материалом поверхности и истирают его, и в которых степень воздействия связана с толщиной, твердостью и жесткостью материала, составляющего поверхность.

В данном контексте термин «истирание» включает поверхностные эффекты, например, царапание, задираание, повреждение или изнашивание, которые могут быть обусловлены взаимодействием со второй, твердой или более твердой, или более грубой поверхностью (такой как шлифовальная бумага), приводящим к истиранию поверхности. В случае истирания степень эффекта связана с твердостью контактирующих

поверхностей, при этом твердость тонкой пленки может быть определена технологией вдавливания, с помощью которой может быть определен модуль (модуль эластичности и/или модуль Юнга).

В данном контексте термин «пространственно» включает разделение или градиент в вертикальном или горизонтальном направлении. В одном аспекте термин «пространственно» включает осажденную пленку, имеющую непрерывный, полунепрерывный или ступенчатый градиент химического состава, а также две или более пленок, осажденных на поверхности подложки, две или более осажденных пленок, различимых по их химическому составу в одном или более направлениях. При пространственном расположении градиентные пленки могут быть нанесены на подложку во многих направлениях и могут обеспечивать улучшение пленки и/или подложки.

Термин «подложка» в данном контексте включает объект, имеющий плоскую или неправильную поверхность или контур, например, изогнутую поверхность. Подложка может иметь одну или более граней и/или сторон. В одном аспекте «подложка» включает одну или более поверхностей объекта. Подложки включают неорганические материалы, органические материалы, неорганические-органические материалы, такие как полупроводники, металлы, пластики, керамические материалы, стеклянные материалы и т.д. В некоторых аспектах термины «подложка» и «изделие» могут быть использованы взаимозаменяемо в отношении нанесения градиентной пленки(-ок) на одну или более соответствующих поверхностей.

Термин «примерно» в данном контексте включает независимо +/-10% указанного значения, если не указано иное.

В иллюминаторах и фонарях воздушных судов используют полимерные материалы, такие как поликарбонат и ориентированный акриловый пластик. Однако указанные материалы подвержены различным воздействиям в форме царапин и ямок, влияющих на их физические свойства и прозрачность. В настоящее время используют технологии растворной обработки для получения покрытий, улучшающих стойкость материала к нежелательным эффектам. Несмотря на то, что в продаже существуют промышленные покрытия, стойкие к эрозии, они не обязательно являются идеальными решениями для применения, что обусловлено многочисленными факторами, такими как стоимость, простота нанесения или адгезия к полимерным подложкам. Описанные в настоящее время пленки, получаемые атмосферным плазменным напылением, обеспечивают решение для нанесения износостойких пленок, которые приклеиваются к подложкам, таким как поликарбонат и ориентированный акриловый пластик, а также к другим материалам, таким как металлы, керамические и композиционные материалы. Пленки, получаемые атмосферным плазменным напылением, являются стойкими к эрозии и истиранию, и, среди прочего, могут увеличивать срок службы полимеров, подверженных условиям эрозии и истиранию.

В настоящем документе описаны способы достижения новых или улучшенных механических свойств многослойных пленок посредством постепенного изменения свойств, а не попыткой обеспечения требуемых механических свойств в однослойном пленочном покрытии. Кроме того, если детали, подлежащие нанесению покрытия, отличны в пространственном отношении, то один тип пленки или одна непрерывная пленка может не обладать оптимальными свойствами для каждого сегмента.

Поэтому описанные в настоящем документе способы обеспечивают автоматическую обработку, связанную с технологиями нанесения, для приспособления однослойной или многослойной пленки к определенным местам на подложке и/или на всей подложке. Описанные в настоящем документе способы нанесения могут быть использованы для

получения пленок с определенным элементным составом или сложным элементным составом, таких как покрытия из оксикарбида кремния, оксида цинка, нитридные покрытия или алмазоподобные углеродные пленки, которые находят применение в аэрокосмической промышленности и других отраслях для повышения срока службы деталей, уменьшения веса и/или сообщения особой функциональности поверхности, такой как электропроводность. В одном аспекте настоящего описания предложено нанесение многослойных пленок, содержащих слои из различных материалов и обеспечивающих возможность получения поверхностей с многофункциональными свойствами.

Описанные в настоящем документе способы обеспечивают также возможность получения «тонких» или «толстых» пленок из одного или более материалов и/или композиций. Тонкая пленка содержит один или более слоев, в совокупности имеющих толщину от примерно 10 ангстрем до примерно 1000 нанометров. В данном контексте «толстая» пленка или покрытие имеет среднюю толщину от примерно 1 мкм до примерно 1000 мкм. При описании тонких и толстых пленок может иметь место некоторое перекрывание по толщине, без отклонения от объема формулы изобретения. Получение толстых пленок обеспечивает повышение стойкости к эрозии лежащей в основе подложки, например, полимерных подложек, и/или получение или улучшение других свойств, таких как барьерные свойства в отношении влаги или кислорода, электропроводность, оптические свойства и т.д. В другом аспекте описанные в настоящем документе способы обеспечивают пленки с хорошей стойкостью к эрозии и истиранию посредством получения многослойных/градиентных тонких пленок. В одном аспекте толстая пленка обеспечивает хорошую адгезию к полимеру, а архитектура градиентного слоя обеспечивает возможность постепенного изменения механических свойств на протяжении по меньшей мере части многослойной/градиентной тонкой пленки. В другом аспекте на по меньшей мере части многослойной/градиентной тонкой пленки впоследствии может быть сформирован твердый верхний слой/пленка для обеспечения стойкости к истиранию. «Более твердый» верхний слой/пленка может иметь модуль по меньшей мере на 5 процентов больше, чем материал в массе, например, по результатам измерения по технологии вдавливания.

В современных технологиях для получения толстых пленок требуется очень продолжительное время нанесения/отверждения или требуется применение вакуумной камеры. Такие толстые монопленки могут обеспечивать оптимизацию только одного свойства, но не другого (например, оптимальная стойкость к эрозии, но несущественная стойкость к истиранию или ее отсутствие). Поэтому в настоящем описании предложена многослойная или градиентная пленка с балансом свойств, которую получают на открытом воздухе. В одном аспекте описанного в настоящем документе способа используют метод атмосферного плазменного напыления. Атмосферное плазменное напыление имеет несколько преимуществ. Для атмосферного плазменного напыления не нужна «вакуумная камера» в обычном смысле этого выражения, и поэтому атмосферное плазменное напыление обеспечивает возможность использования подвижного и/или роботизированного источника плазмы. Атмосферное плазменное напыление предусматривает плазменную головку, способную к перемещению и/или сканированию всей или части подложки, и поэтому может обеспечивать способы нанесения покрытия на детали различных форм и контуров поверхности. В отличие от него, обычные технологии, в целом, не могут быть использованы без применения вакуума, а также они не могут быть легко приспособлены или выполнены с возможностью получения пространственно различных и/или химически градиентных

многослойных пленок, как и стандартные технологии, предназначенные для нанесения пленок и/или покрытий на сложные или рельефные формы. Как правило, для обычных технологий нанесения необходимо, чтобы подложки, подлежащие нанесению покрытия, были установлены на поддерживающую структуру в камере вакуумного нанесения, и/или необходимо применение технологии масок для изменения природы и состава пленки, нанесенной на поверхность. В других стандартных способах (т.е. струйный облив), помимо существенного расхода растворителя, необходимо продолжительное время отверждения/высыхания, и они не обеспечивают возможность простого получения пространственно различных пленок. Стандартные технологии нанесения не являются автоматизированными, портативными и/или предназначенными для роботизации (процессы многоосного нанесения покрытия). Например, атмосферное плазменное напыление обеспечивает возможность интеграции плазменной головки в роботизированную систему, которая может быть многоосной, например, шестиосной. Предложено применение систем и способов, описанных в настоящем документе, создание пространственно градиентных пленок, невозможное и/или практически неосуществимое с применением стандартных технологий. В одном аспекте для расположения и/или перемещения атмосферной плазменной головки может быть использовано конвейерное или многоосное автоматическое устройство. Описанный в настоящем документе способ обеспечивает возможность нанесения тонких пленок, улучшая состав посредством сглаженных переходов между материалами/композициями. Указанные способы предотвращают или исключают ступенчатые переходы осажденного материала с резкими изменениями на поверхностях раздела между различными материалами, обеспечивая вместо этого контролируемый градиент состава. Изменения могут быть сделаны в любом направлении относительно поверхности, на которую наносят указанный материал. Показано, что постепенные изменения (градиент), в отличие от ступенчатых переходов, обеспечивают более качественную адгезию и меньшее напряжение в сравнении с поверхностями раздела из разных материалов, исключая возникновение дефектов или несовместимости в осажденной пленке. Так, в одном аспекте описанные в настоящем документе способы обеспечивают возможность получения поверхности (подложки), имеющей улучшенную совместимость последующих покрытий, нанесенных на нее, в определенных положениях и/или областях подложки.

В одном аспекте настоящего описания предложено изменение параметров нанесения пленки или химических веществ-предшественников в каждом последующем слое. Посредством изменения параметров нанесения получают пленку и/или покрытие с градуированными или градиентными механическими свойствами. Такие пленки и/или покрытия с градуированными или градиентными механическими свойствами могут быть специально разработаны для получения новой или улучшенной стойкости к эрозии и истиранию подложек, не имеющих таких свойств, таких как пластики, стекло и т.п. Описанный в настоящем документе способ и пленки, полученные с помощью него, могут быть нанесены на «термочувствительные» подложки, такие как полимеры, благодаря относительно низкой температуре, воздействующей на поверхность подложки в процессе нанесения. При необходимости может быть обеспечено внешнее охлаждение, например, газовое или жидкостное охлаждение и/или перенос тепла от подложки.

Описанные в настоящем документе способы и пленки, полученные с помощью них, также могут обеспечивать преимущества и полезные свойства в электронных устройствах, таких как сенсорные экраны, смартфоны и т.д. Описанные в настоящем документе способы также могут быть использованы для «биологической функционализации» медицинских имплантатов или для получения стойких к истиранию

прозрачных полимерных изделий, например, корпусов автомобильных фар, лобовых стекол и т.д.

Как показано на фиг. 1, изображена технологическая блок-схема 100, имеющая функциональную стадию 105 начала программы, которая включает стадию 110 настройки условий для плазмы. Необязательная стадия 113 предназначена для подготовки поверхности подложки, например, с применением чистой кислородной плазмы или комбинации газов для очистки и/или функционализации по меньшей мере части поверхности подложки. Стадия 115 предназначена для введения первого химического вещества-предшественника, описанного ниже, тогда как стадии 120, 125 и 130 предназначены для изменения одного или более технологических параметров и нанесения первого градиентного слоя/пленки (здесь и далее «слой» или «покрытие») на подложку, при этом первый слой имеет непрерывный, полунепрерывный или ступенчатый градиентный химический состав, обеспечиваемый одним и тем же химическим веществом-предшественником или различными химическими веществами-предшественниками, с возможностью изменения одного или более технологических параметров во время и/или после нанесения первого слоя. Например, «технологические параметры» включают один или более параметров, связанных с плазмой, или регуляторов процесса, таких как мощность плазмы или скорость потока кислорода, положение и/или удаленность плазменной головки относительно подложки, скорость и/или ускорение плазменной головки во время нанесения, скорость потока одного или более химических материалов-предшественников и т.п. Стадии 140, 145 и 150 включают введение второго химического вещества-предшественника и нанесение второго слоя на первый слой, при этом второй слой имеет градиентный химический состав с непрерывным, полунепрерывным или ступенчатым градиентом, обеспечиваемый одним и тем же химическим веществом-предшественником и/или различными химическими веществами-предшественниками, которые могут быть теми же химическими веществами-предшественниками, что и в первом слое, или другими химическими веществами-предшественниками, с возможностью изменения одного или более технологических параметров до, во время или после начала нанесения второго слоя. В одном аспекте второе химическое вещество-предшественник идентично первому химическому веществу-предшественнику, однако нанесение второго химического вещества-предшественника происходит с использованием других параметров нанесения для получения градиентного химического состава следующей нанесенной пленки. Стадия 155 включает нанесение или образование «верхнего слоя» на последовательно нанесенной многослойной пленке. Указанный слой может быть использован для обеспечения дополнительной функциональности или для термодинамической или химической стабилизации многослойного композиционного материала. Стадии 160, 165 и 170 предназначены для продолжения выполнения указанного способа и/или его остановки.

Ссылаясь на фиг. 2, представлены технологические блок-схемы 200 и 300, соответственно, которые могут составлять отдельную, независимую обработку или взаимосвязанные программы обработки. Так, стадии 205 и 305 предназначены для запуска программы и настройки условий для плазмы (стадия 210, 310). Стадии 215 и 315 предназначены для начала перемещения и/или сканирования плазменной головки и/или перемещения (в вертикальном и/или горизонтальном направлении относительно подложки) подложки. Стадии 220, 225 и 230 могут быть независимыми и/или взаимосвязанными с одной или обеими стадиями 320 и/или 325, и они предназначены для введения первого вещества-предшественника, выполнения первых технологических параметров, введения по меньшей мере одного дополнительного предшественника,

выполнения по меньшей мере одного дополнительного технологического параметра и нанесения пространственного отдельного слоя вдоль поверхности подложки с градиентным химическим составом. Как показано, стадии 260, 360, 265, 365, 270 и 370 предназначены для продолжения выполнения указанного способа и/или его остановки.

5 Аспекты настоящего описания, описанные выше в данном документе со ссылкой на иллюстрации технологических схем и/или блок-схем способов или устройств (систем), следует понимать так, что каждый блок иллюстративных технологических схем и/или блок-схем, а также комбинации блоков на иллюстративных технологических схемах и/или блок-схемах могут быть реализованы с помощью инструкций компьютерной
10 программы. Указанные инструкции компьютерной программы могут быть направлены в процессор компьютера общего назначения, компьютера специального назначения или другого программируемого устройства для обработки данных. Технологические схемы и блок-схемы на фигурах иллюстрируют функциональность и действие возможных вариантов реализации систем и способов в соответствии с различными аспектами
15 настоящего описания. В этом отношении каждый блок на технологической схеме или блок-схемах может представлять собой операцию процессора, каждая из которых может быть представлена одной или более исполняемыми инструкциями для выполнения компьютером. Следует отметить, что в некоторых альтернативных вариантах реализации функции, указанные в блоке, могут быть осуществлены в другом порядке, чем указано
20 на фигурах. Например, два блока, указанных последовательно, могут быть в действительности выполнены по существу одновременно, или иногда блоки могут быть осуществлены в обратном порядке, в зависимости от участвующей функциональности или требуемой готовой пленки. Следует также отметить, что каждый блок технологических схем и/или иллюстраций блок-схем, а также комбинации блоков на
25 технологических схемах и/или иллюстрациях блок-схем могут быть реализованы автоматизированными аппаратными системами специального назначения, которые осуществляют специальные функции или действия.

На фиг. 3А и фиг. 3В изображен один из аспектов описанной системы для нанесения многослойных покрытий и/или покрытий с градиентным составом, который включает
30 устройство 12 для атмосферной плазмы, один или более потоков 14 газов-источников плазмы, один или более потоков 16 предшественников и необязательно один или более потоков 18 защитных газов. Выходной поток 20 устройства 12 для атмосферной плазмы представляет собой моно- или многокомпонентную плазму 22, которая может быть расположена горизонтально или вертикально относительно подложки 24 для нанесения
35 многослойного покрытия 26 на подложку 24. Плазма 22 может быть любой формы, например, как показано на фиг. 3А, или в виде точечного источника, в форме типа душевого распылителя или в дивергентной или конвергентной форме.

Подложка 24 может представлять собой любую подложку, на которую может быть нанесено многослойное покрытие посредством плазмы 22. Подложка 24 может
40 представлять собой металл или неметалл, при этом неметалл включает керамические материалы, пластики, полимеры, композиты из неорганических/органических материалов, композиты из полимеров и неорганических/органических волокон. Подложка 24 может быть проводящей, непроводящей или полупроводниковой. В одном конкретном аспекте подложка 24 может представлять собой прозрачную полимерную
45 подложку, такую как ориентированный акриловый пластик (stretched acrylic). Кроме того, несмотря на то, что на фиг. 3 показана подложка 24, имеющая по существу плоскую конфигурацию, специалистам в данной области техники понятно, что могут быть использованы подложки 24, имеющие различные формы, контуры поверхности,

размеры и конфигурации, без отклонения от объема настоящего описания.

Атмосферное плазменное устройство 12 может представлять собой любое устройство или систему, способную возбуждать вещество с образованием плазмы 22, предпочтительно в атмосферных условиях. Атмосферное плазменное устройство может
 5 быть выполнено с возможностью создания плазмы 22 с применением энергии постоянного тока, радиочастотной энергии или т.п., как известно в данной области техники. В одном аспекте атмосферное плазменное устройство 12 может представлять собой пушку для атмосферного плазменного напыления. Один из примеров
 10 атмосферного плазменного устройства 12, подходящего в соответствии с настоящим описанием, представляет собой плазменную систему ATOMFLO™ 400 производства компании Surfx Technologies, LLC, Калвер-Сити, штат Калифорния.

Поток 14 газа-источника плазмы может представлять собой поток одного или более газообразных химических предшественников (реакционноспособных и/или
 15 нереакционноспособных), способных к образованию атмосферной плазмы при активации атмосферным плазменным устройством 12. Примеры подходящих плазмообразующих газов включают молекулярные соединения, встречающиеся в природе в виде газа, такие как газообразный кислород (O_2), газообразный азот (N_2),
 20 газообразный водород (H_2) и газообразный фтор (F_2), а также другие газы, такие как благородные газы (гелий, неон, аргон, криптон). Поток 14 газа-источника плазмы также может содержать определенные комбинации газов. Например, поток 14 газа-источника плазмы может представлять собой поток по существу чистого газообразного гелия или аргона, который может обеспечивать возможность высокой концентрации
 25 активных частиц в плазме при сохранении низкой температуры для нанесения на термочувствительные полимеры. Газообразный гелий или аргон может дополнительно содержать один или более дополнительных газов, таких как кислород, азот, диоксид углерода, сероводород, аммиак и т.д. Поток 14 газа-источника плазмы может быть
 30 запрограммирован для подачи в плазменное устройство 12 в течение времени, подходящего для облегчения введения определенных комбинаций потоков источников газопотоков.

В одном аспекте поток 14 газа-источника плазмы может быть введен в атмосферное плазменное устройство 12 в условиях, отличных от внешних условий. В другом аспекте
 35 поток 14 газа-источника плазмы может быть введен в атмосферное плазменное устройство 12 в условиях окружающей среды. Например, поток 14 газа-источника плазмы может быть при давлении примерно 1 атм. и температуре примерно 25°C. Специалистам в данной области техники понятно, что физические условия потока 14
 40 газа-источника плазмы могут варьироваться в зависимости от конкретного применения и могут быть подобраны для оптимизации характеристик атмосферного плазменного устройства 12 в зависимости от природы исходных материалов, подложки и/или конечной толщины и/или конечного состава требуемого многослойного покрытия.

Поток 16 предшественника может представлять собой один или более потоков одного и того же предшественника или различных предшественников, и необязательно
 45 газа-носителя для введения предшественника в атмосферное плазменное устройство 12. Газ-носитель может быть выбран в виде газа или комбинации газов, которая не подвергается существенному образованию плазмы в атмосферном плазменном устройстве 12. Примеры подходящих газов-носителей включают благородные газы, например, газообразный гелий (He) и газообразный аргон (Ar).

Вещество-предшественник может представлять собой любой материал, способный к образованию пленки или покрытия 26 при нанесении на подложку 24 посредством

атмосферной плазмы 22. В одном аспекте предшественник может представлять собой материал, способный к образованию пленки или покрытия из оксикарбида кремния (SiO_xC_y) при нанесении на подложку 24 посредством атмосферной плазмы 22. В другом аспекте предшественник может представлять собой (или может содержать) циклический
 5 силосан. Примеры предшественников включают тетраметилциклоктотетрасилоксан («TMCTS»), октаметилциклоктотетрасилоксан («OMCTS»), диметилсилосан («DMSO») и гексаметилдисилоксан («HMDSO»). В способах, описанных в настоящем документе, комбинации указанных предшественников могут быть использованы последовательно и/или одновременно. В одном аспекте один или более мономеров могут быть введены
 10 в атмосферную плазму по отдельности или в комбинации с другими химическими веществами-предшественниками с получением полимеризованных пленок. В другом аспекте органометаллические соединения, такие как, например, диэтилцинк, тетраалкилтитановые соединения, могут быть введены в атмосферную плазму по
 15 отдельности или в комбинации с другими химическими веществами-предшественниками с получением проводящих, полупроводниковых или изоляционных пленок и покрытий, такие как 1,2-бис(триэтоксисилил)этан (BTESE), тетраэтоксисилан (TEOS), гексаметилдисилазан (HMDSN), с получением износостойких и/или стойких к истиранию пленок; 3,4-этилендиокситиофен (EDOT), пиррол-содержащие предшественники, с
 20 получением проводящих полимерных пленок; SnCl_4 (хлордифторметан), с получением гидрофобных пленок; $\text{In}(\text{acac})_3$, с получением оксида индия-олова, различные смеси нитрата цинка с нитратом индия, с получением оксида индия, легированного Zn, для получения полупроводниковых прозрачных пленок, и т.д.

В одном аспекте предшественник может представлять собой жидкость с относительно
 25 высоким давлением паров при стандартной температуре и давлении, а газ-носитель может быть барботирован через предшественник с получением потока 16 предшественника. Однако специалистам в данной области техники понятно, что для введения одного или более предшественников в поток 16 предшественника могут быть использованы различные альтернативные технологии, такие как испарение. В одном конкретном аспекте поток 16 предшественника может быть получен барботированием
 30 газообразного гелия через жидкий TMCTS при условиях окружающей среды.

Поток 18 защитного газа может представлять собой поток защитного газа, в котором по существу не образуется плазма в атмосферном плазменном устройстве 12. Защитный газ может присутствовать в плазме 22, но, не ограничиваясь какой-либо конкретной
 35 теорией, может минимизировать влияние атмосферной воды, кислорода и других примесей на плазму 22. Примеры подходящих защитных газов включают благородные газы, например, газообразный гелий (He) и газообразный аргон (Ar). Поток 18 защитного газа может содержать комбинации защитных газов. В одном конкретном аспекте поток 18 защитного газа может представлять собой поток по существу чистого
 40 газообразного гелия.

В одном аспекте поток 18 защитного газа может быть введен в атмосферное плазменное устройство 12 в условиях, отличных от внешних условий. В другом аспекте поток 14 защитного газа может быть введен в атмосферное плазменное устройство 12 в условиях окружающей среды. Например, поток 14 защитного газа может быть при
 45 давлении примерно 1 атм. и температуре примерно 25°C. Специалистам в данной области техники понятно, что физические условия потока 14 защитного газа могут зависеть от конкретного применения и могут быть подобраны для оптимизации характеристик атмосферного плазменного устройства 12.

На этом этапе специалистам в данной области техники понятно, что поток 14 газа-источника плазмы, поток 16 предшественника и поток 18 защитного газа могут быть выполнены с возможностью введения в атмосферное плазменное устройство 12 с получением плазмы 22. Однако специалистам в данной области техники понятно также, что два или более из потоков 14, 16, 18 газа-источника плазмы, предшественника и защитного газа могут быть объединены и/или смешаны до подачи в атмосферное плазменное устройство 12. Например, потоки 14, 16, 18 газа-источника плазмы, предшественника и защитного газа могут быть введены в атмосферное плазменное устройство 12 в виде одного потока.

Скорости потоков 14, 16, 18 газа-источника плазмы, предшественника и защитного газа могут быть отрегулированы для получения требуемых концентраций газа-источника плазмы, предшественника и защитного газа в плазме 22. На фиг. 3А показано, что на потоках 14, 16, 18 газа-источника плазмы, предшественника и защитного газа могут быть обеспечены регулирующие клапаны 10 для регулирования скоростей соответствующих потоков. Специалистам в данной области техники понятно, что относительные концентрации газа-источника плазмы, предшественника и защитного газа в плазме 22 могут быть отрегулированы для оптимизации характеристик атмосферного плазменного устройства 12 и для обеспечения требуемых свойств готового покрытия 26. Например, концентрация кислорода в плазме 22 может быть снижена (например, посредством регулирования скорости потока) для повышения содержания углерода в покрытии 26 с получением базовой пленки или слоя 26. В альтернативном варианте концентрация кислорода в плазме 22 может быть повышена для увеличения неорганической составляющей слоя с получением более плотного, например, более твердого слоя (например, с более высоким модулем, чем лежащий в основе слой или пленка), как описано ниже. Таким же образом, концентрация кислорода в плазме 22 может быть снижена для увеличения органической составляющей слоя с более низким модулем и более высокой эластичностью.

В одном аспекте поток 14 газа-источника плазмы может содержать примерно 30 л/мин. входящего потока в атмосферное плазменное устройство 12, а поток 16 предшественника может содержать примерно 2-5 л/мин. входящего потока в атмосферное плазменное устройство 12, при этом все остальное составляет поток 18 защитного газа. В другом аспекте поток 14 газа-источника плазмы может содержать не более примерно 2 процентов по объему входящего потока в атмосферное плазменное устройство 12, а поток 16 предшественника может содержать не более примерно 5 процентов по объему входящего потока в атмосферное плазменное устройство 12, при этом все остальное составляет поток 18 защитного газа. В другом аспекте поток 14 газа-источника плазмы может содержать от примерно 1 до примерно 2 процентов по объему входящего потока в атмосферное плазменное устройство 12, а поток 16 предшественника может содержать от примерно 0 до примерно 10 процентов по объему входящего потока в атмосферное плазменное устройство 12, при этом поток 18 защитного газа составляет 0-100 процентов по объему.

Ссылаясь на фиг. 3А, 3В, а также на фиг. 4А, 4В, 5, способ нанесения многослойного пленочного покрытия 26 на подложку 24 может начинаться со стадии очистки подложки, которая не показана. Подложка 24 может быть очищена с помощью различных растворителей, таких как кетоны или легкие спирты (например, метанол или изопропиловый спирт). Для очистки и/или активации подложки 24 также может быть использована плазма. Присутствие кислорода в плазме может активировать поверхность, на которую наносят многослойное пленочное покрытие 26. Чистая

подложка может быть необязательно обработана ускорителем адгезии, таким как золь-гелевый ускоритель адгезии на основе алюминия или ускоритель адгезии на основе кремния, как известно в данной области техники.

5 Описанная в настоящем документе система может быть выполнена с возможностью введения в атмосферное плазменное устройство 12 потоков 14, 16, 18 газа-источника плазмы, предшественника и защитного газа с получением плазмы 22. Размер (ширина или диаметр) плазмы 22 может зависеть от различных факторов, включая размер атмосферного плазменного устройства 12 и скорости потоков 14, 16, 18 газа-источника плазмы, предшественника и защитного газа. Например, плазма 22 может иметь ширину 10 примерно 5,08 см (2 дюйма).

Ссылаясь на фиг. 3А и 3В, подложка 24 может быть пространственно покрыта посредством горизонтального расположения подложки 24 относительно атмосферного плазменного устройства 12 таким образом, чтобы плазма 22 обеспечивала нанесение первого покрытия 26 на подложку. Плазма 22 может быть перемещена вдоль 15 направления, по существу параллельного поверхности подложки, и/или перемещена растровым сканированием поперек подложки 24 для нанесения второго покрытия 27 на (или непосредственно на) поверхность подложки 24, при этом второе покрытие имеет, например, другой химический состав или градиентный состав, который отличен от состава первого покрытия, как показано пунктирными двойными стрелками. 20 Взаимосвязь между первым и вторым покрытием может быть случайной или может представлять собой схему, представленную в 2 направлениях, например, продольную ось нанесенной многослойной пленки.

Несмотря на то, что может быть использовано переносное устройство, специалистам в данной области техники понятно, что может быть использована соответствующая 25 автоматическая обработка с получением и/или сохранением многоосной регулируемой единицы между и/или вдоль подложки 24 и атмосферным плазменным устройством 12. На одно или оба покрытия 26, 27 может быть пространственно нанесено одно или более дополнительных покрытий, имеющих непрерывный, полунепрерывный или ступенчатый градиентный химический состав. На пространственно разделенные 30 покрытия 26, 27 могут быть нанесены другие покрытия (нанесенные без применения плазмы) с использованием любых других подходящих способов нанесения покрытий (например, золь-гель).

Ссылаясь на фиг. 4А и 4В, изображен пример многослойного покрытия 75, где плазменное устройство 12 перемещают горизонтально и/или вертикально относительно 35 поверхности подложки, как показано парой пунктирных двойных стрелок. Предусмотрены комбинации пространственно разделенных аспектов фиг. 3А и 3В и аспектов фиг. 4А и 4В.

Ссылаясь на фиг. 5, изображен аспект многослойного покрытия 77. Многослойное покрытие 77 показано с множеством нанесенных пленок 80, 82, 83, 84 и 86, которые 40 могут быть нанесены посредством подбора одного или более технологических параметров, включая состав источника предшественника, состав источника предшественника и состав газа-источника плазмы, скорость перемещения подложки 24 вдоль или в комбинации с вертикальным регулированием плазменного устройства 12, а также другие технологические параметры или комбинацию технологических 45 параметров, указанных выше, например, как показано пунктирными стрелками, иллюстрирующими перемещение плазменной головки 12 или подложки 24. Нанесенные пленки 80, 82, 83, 84 и 86 являются иллюстративными для одной или более пространственно разделенных нанесенных пленок и нанесенных пленок, имеющих

градиенты химического состава в вертикальном или горизонтальном направлении относительно подложки, на которую они нанесены. В одном аспекте способы, описанные в настоящем документе, используют для получения градиентной многослойной пленки на поверхности изделия. Поверхность изделия может представлять собой по меньшей мере часть воздушно-космического летательного аппарата. Как показано на фиг. 5, первая пленка может быть обеспечена в пределах второй пленки или множества пленок, при этом одна или более из пленок (имеющих одинаковый или различный химический состав) независимо имеет переменный элементный состав (один или более элементов состава пленки) в многомерной модели, например, посредством регулирования одного или более технологических параметров и/или перемещения плазменной головки, и/или перемещения изделия (или подложки).

ПРИМЕРЫ

Для нанесения многослойных пленок использовали атмосферное плазменное устройство Atomflo 400 производства компании Surfx Technologies LLC. В таблице 1 представлены технологические условия для получения пространственно разделенных покрытий из оксикарида кремния (SiO_xSi_y) на алюминиевой подложке. В устройство подавали газообразный кислород со скоростью примерно 0,3-0,5 л/мин., TMCTS и/или HMDSO в газе-носителе гелии со скоростью 1,0 л/мин. и газообразный гелий со скоростью 30 л/мин. (защитный газ). Поток TMCTS/гелия получали барботированием газа-носителя гелия через контейнер с жидким TMCTS в условиях окружающей среды. Из изложенного выше описания специалистам в данной области техники понятны различные модификации и изменения составов и способа.

Положение	Предшественник, л/мин	Энергия (Вт)	O ₂ л/мин.	Барботер (л/мин.)	Разбавление (л/мин.)	Скорость (мм/с)	Расстояние (мм)	Предшественник, T °C	Кол-во пропусков
G-1	TMCTS	120	0,35	1,2	1,2	25	5	20	6

	TMCTS	120	0,32	1,2	1,2	25	5	20	1
	TMCTS	120	0,29	1	1,2	25	5	20	2
	TMCTS	120	0,27	0,9	1,2	25	5	20	1
	TMCTS	120	0,25	0,8	1,2	25	5	20	2
	TMCTS	120	0,25	0,7	1,2	25	5	20	1
	HMDSO			0,05	1,3	25	5	7	
	TMCTS	120	0,25	0,65	1,2	25	5	20	2
	HMDSO			0,07	1,3	25	5	7	
	TMCTS	120	0,3	0,6	1,2	25	5	20	1
	HMDSO			0,09	1,3	25	5	7	
	TMCTS	120	0,3	0,55	1,2	25	5	20	2
	HMDSO			0,11	1,3	25	5	7	
	TMCTS	120	0,3	0,5	1,2	25	5	20	1
	HMDSO			0,13	1,3	25	5	7	
	TMCTS	120	0,3	0,45	1,2	25	5	20	2
	HMDSO			0,15	1,3	25	5	7	
	TMCTS	120	0,3	0,4	1,2	25	5	20	1
	HMDSO			0,17	1,3	25	5	7	
	TMCTS	120	0,35	0,3	1,2	25	5	20	2
	HMDSO			0,2	1,3	25	5	7	
	TMCTS	120	0,4	0,2	1,2	25	5	20	1
	HMDSO			0,24	1,3	25	5	7	
	TMCTS	120	0,45	0,1	1,2	25	5	20	2
	HMDSO			0,27	1,3	25	5	7	
	HMDSO	120	0,5	0,3	2,5	25	5	7	3
G-2	TMCTS	120	0,35	1,2	1,2	40	5	10	12
	TMCTS	120	0,4	0,8	1,2	40	5	10	5
	HMDSO			0,15	1,3	40	5	7	
	TMCTS	120	0,45	0,4	1,2	40	5	10	5
	HMDSO			0,3	1,3	40	5	7	
	HMDSO	120	0,5	0,4	3,5	40	5	7	8
G-3	TMCTS	120	0,35	1,2	1,2	40	5	10	24
	TMCTS	120	0,35	1,2	1,2	40	5	10	1
	HMDSO			0,15	2	40	5	14	
	TMCTS	120	0,35	0,8	1,2	40	5	10	3
	HMDSO			0,15	2	40	5	11	
	TMCTS	120	0,3	0,4	1,2	40	5	10	4

	HMDSO			0,3	2	40	5	7	
	TMCTS	120	0,3	0,2	1,2	40	5	10	4
	HMDSO			0,4	2	40	5	7	
5	HMDSO	120	0,3	0,4	3,5	40	5	7	7
G-4	TMCTS	120	0,32	1,2	1,2	40	5	10	8
	TMCTS	120	0,32	0,6	1,2	40	5	10	
10	HMDSO			0,4	1,3	40	5	7	4
	TMCTS	120	0,32	1,2	1,2	40	5	10	4
	TMCTS	120	0,32	0,6	1,2	40	5	10	
	HMDSO			0,4	1,3	40	5	7	4
	TMCTS	120	0,32	1,2	1,2	40	5	10	4
15	TMCTS	120	0,32	0,6	1,2	40	5	10	
	HMDSO			0,4	1,3	40	5	7	4
	TMCTS	120	0,32	1,2	1,2	40	5	10	4
	TMCTS	120	0,32	0,6	1,2	40	5	10	
20	HMDSO			0,4	1,3	40	5	7	4

ML_17	TMCTS	120	0,45	1,2	1,2	40	5	10	12
	TMCTS	120	0,42	1,2	1,2	40	5	10	8
25	TMCTS	120	0,39	1,2	1,2	40	5	10	4
	TMCTS	120	0,36	1,2	1,2	40	5	10	4
	TMCTS	120	0,33	1,2	1,2	40	5	10	2
30	TMCTS	120	0,3	1,2	1,2	40	5	10	1
	TMCTS	120	0,27	1,2	1,2	40	5	10	1
	TMCTS	120	0,23	1,2	1,2	40	5	10	1
35	TMCTS	120	0,2	1,2	1,2	40	5	10	4

Таблица 1. Условия нанесения для образцов G-1 и G-2 (алюминиевые подложки), полученных для Оже-анализа, и условия нанесения для образцов G-3, G-4 и ML-17, полученных на оголенных акриловых подложках.

Таблица 1 демонстрирует, что модификация одного или более из следующих параметров: мощности плазмы, скорость потока газа-носителя, температура предшественника, скорость потока в барботере или скорость потока разбавления, влияет на состав одного или более слоев во время нанесения, как показано в таблице 2. В указанных примерах сохраняли постоянное вертикальное положение плазменной головки относительно поверхности подложки, однако вертикальное положение плазменной головки может быть изменено, как описано выше.

В таблице 2 представлен Оже-анализ, проведенный на образце «G1», описанном выше, в первой пространственно отделенной области, обозначенной №3. Использовали стандартные образцы Ta₂O₅ толщиной 1000 **Å** для калибровки скорости распыления

ионов аргона. Рассчитанная скорость распыления составила 125 **Å/мин**. Изменение содержания углерода, измеренное с помощью методов Оже-электронной спектроскопии и/или сканирующей электронной микроскопии (SEM) и энергодисперсионного рентгеновского (EDX) анализа (SEM-EDX), выявило более высокое содержание углерода в нижней части, демонстрируя изменение состава в по меньшей мере одном направлении. Верхняя часть пленки практически не содержала углерода или содержала следовые количества углерода, образуя гладкую, износостойкую, более твердую пленку наверху. Высокая концентрация углерода в нижней части пленки обеспечивает улучшенную адгезию к полимерной подложке.

Глубина (ангстрем)	C (атом. %)	Si (атом. %)	O (атом. %)
-1000	Не обнаружен	44,5	55,5
-1500	Не обнаружен	42,6	57,4
-2000	9,1	39,8	51,1
-2500	10,8	39,2	50,0
-3000	8,1	39,7	52,1
-3500	11,4	40,1	48,4
-4000	7,0	41,0	52,0
-4500	10,8	38,7	50,5
-5000	15,7	36,4	47,9
-5500	13,0	38,0	49,0
-6000	14,8	39,8	45,5
-6500	-	-	-

(проходит сквозь покрытие в алюминий)			
--	--	--	--

Таблица 2. Оже-анализ образцов G1 в первой пространственно отдельной области №3.

В таблице 3 представлен Оже-анализ, проведенный на образце «G2», соответствующем второму образцу, который был нанесен с комбинацией предшественников TMCTS и HMDSO.

Глубина (ангстрем)	C (атом. %)	Si (атом. %)	O (атом. %)
Непосредственно после получения	9,9	33,0	57,0
-100	Не обнаружен	42,1	57,9
-200	Не обнаружен	39,4	60,6
-300	Не обнаружен	40,5	59,5
-400	Не обнаружен	41,6	58,4
-500	12,3	36,6	51,1
-600	12,3	38,0	49,6
-700	6,6	39,1	54,3
-800	12,1	37,9	50,0
-900	11,0	39,4	49,6
-1000	12,7	38,5	48,8
-1500	8,9	40,0	51,1
-2000	10,9	39,6	49,5
-2500	12,8	38,1	49,1
-3000	13,2	39,7	47,1
-3500	16,1	36,7	47,1
-4000	17,2	36,3	46,4
-4500	18,4	34,7	46,8

-5000	21,4	37,0	41,7
-5500 (*остальное=Al)	22,6*	16,5*	40,2*
-6000 (проходит сквозь покрытие в алюминий)	-	-	-

Таблица 3. Оже-анализ образцов G2.

В другом примере предложено нанесение градиентной пленки, при этом базовый слой большой толщины, представляющий собой пленку TMCTS с высоким содержанием углерода, наносили поверх оголенной акриловой подложки. Постепенно вводили HMDSO, предшественник, который образует более твердое, более гладкое покрытие, для постепенного изменения (создания градиента) химического состава пленки по ее толщине. Не ограничиваясь какой-либо конкретной теорией, полагают, что

использование TMCTS вблизи поверхности полимера (первоначальная стадия процесса плазменного напыления) приводит к образованию слоя с хорошей адгезией, тогда как применение HMDSO в конце процесса плазменного напыления обеспечивает износостойкий, гладкий «верхний поверхностный» слой. Образцы G-1, G-2, G-3 и G-4 получали таким же образом. BA8 и BA14 представляют собой однослойные пленки TMCTS, а ML_17 представляет собой многослойную пленку из TMCTS, которую получают изменением только скорости потока плазмы O_2 в зависимости от времени. Образцы G-1, G-2, G-3 и G-4 имеют значительно меньшую толщину, чем BA8, BA14 и ML_17, как показано на фиг. 6. Следовательно, можно предположить, что они не будут обладать такой стойкостью к эрозии, к однослойные пленки большей толщины. Однако неожиданно, как показано на фиг. 7, что некоторые из полученных градиентных пленок в действительности имеют более высокую стойкость к истиранию по Таберу, чем однослойные пленки TMCTS, что предположительно обусловлено более твердым, SiO_2 -подобным слоем в верхней части, который формируют из предшественника HMDSO на конечных стадиях плазменного напыления. Изменение матовости после испытания падающим песком однослойных и многослойных пленок, представленное на фиг. 7, демонстрирует такие же неожиданные результаты для многослойных пленок в сравнении с однослойными пленками большей толщины.

Несмотря на то, что подложка по своей природе может быть полимерным или неполимерным материалом, в одном иллюстративном аспекте несколько пленок наносили на оголенную полиметилметакрилатную (PMMA) подложку с получением пленочного слоя толщиной 2-4 мкм, полученного плазменным напылением TMCTS предшественника. Было установлено, что пленки TMCTS, полученные плазменным напылением, имеют относительно низкий модуль эластичности (примерно 10 ГПа), поэтому хорошо прикрепляются к PMMA. В результате пленки TMCTS, полученные плазменным напылением, демонстрируют высокие показатели качества в испытаниях на адгезию во влажном и сухом состоянии, но могут быть не столь прочными, как нанесенные в плазме пленки с более высоким модулем. Поэтому в способе согласно настоящему изобретению используют, например, нанесение на (или непосредственно на) вторую пленку, полученную из нанесенного в плазме OMCTS предшественника и/или другого предшественника с модулем нанесенной пленки более 10 ГПа, например, примерно 15-20 ГПа, измеренным технологией наноиндентирования (Nanoindenter XP; Agilent Technologies). В одном аспекте вторая пленка может иметь толщину менее 1 мкм. В другом аспекте для получения одного или более специальных функциональных свойств на (или непосредственно на) второй слой может быть нанесен верхний слой твердой пленки, например, с модулем более 20 ГПа, толщиной примерно 500 нм. Подходящие функциональности, которые могут быть получены в соответствии с описанным способом, включают, без ограничения, стойкость к эрозии и/или истиранию, проводимость (электрическая и/или тепловая), оптические свойства (мутность или прозрачность), поглощение и/или отражение излучения (ИК, микроволновое и т.д.) или их комбинации («многофункциональность»).

На фиг. 8 представлены технологические параметры и физические свойства дополнительных примеров градиентных многослойных пленок, полученных из потоков газообразного предшественника OMCTS с различными технологическими параметрами для получения химического градиента по горизонтальной толщине пленки относительно поверхности подложки, потоков газообразного предшественника TMCTS с различными технологическими параметрами и их комбинаций. Как показано на фиг. 8, постепенное изменение химического состава и, следовательно, механических и/или физических

свойств в группе из нескольких слоев может обеспечивать оптимизацию свойств подложки, например, прозрачность, матовость, стойкость к истиранию по Таберу. Например, выбор TMCTS-OMCTS, нанесенных последовательно, может обеспечивать

стойкость к эрозии и истиранию с одновременной оптимизацией адгезии по всей пленке.
 5 Помимо износостойких покрытий, группы из нескольких слоев, полученные, например, посредством атмосферного плазменного напыления, могут быть использованы для внедрения в поверхность другой многофункциональности. Например, посредством атмосферного плазменного напыления могут быть нанесены полупроводниковые пленки из оксида цинка (ZnO) с получением износостойкого покрытия из оксикарбида
 10 кремния. Таким же образом, для улучшения статического рассеивания накапливаемого заряда, на подложки, такие поликарбонат или полимеры, армированные углеродным волокном (CFRP), могут быть нанесены ZnO или другие проводниковые пленки.

В одном аспекте многослойные пленки, имеющие проводящие (электрические) свойства, могут быть комбинированы с диэлектрической, защитной пленкой, нанесенной
 15 плазменным напылением. Так, проводящая плазменная пленка ZnO может быть нанесена в соответствии с настоящим описанием, и указанная нанесенная пленка может быть защищена, например, с помощью износостойкой группы пленок из TMCTS-OMCTS, как описано выше, например, посредством нанесения на или непосредственно на верхнюю часть. Другие возможные многофункциональные пленки включают пленки,
 20 отталкивающие/отражающие инфракрасное излучение, для снижения тепловой нагрузки, заключенной в износостойком слое или энергоаккумулирующих пленках, расположенных в группе износостойких пленок, как описано выше.

В одном аспекте настоящего описания промышленные автоматы могут быть выполнены с возможностью регулирования всего процесса нанесения или систем укладки
 25 материала. В одном аспекте плазменная головка 12 может быть соединена с шарнирным манипулятором автоматической системы, которая подключена к одному или более контроллеров и/или к централизованной системе управления, для обеспечения по меньшей мере двусосного перемещения плазменной головки для нанесения многослойных или градиентных пленок. Таким же образом, подложка или изделие может быть
 30 выполнено с возможностью перемещения в процессе нанесения в многоосных направлениях. Плазменная головка и изделие/подложка могут быть выполнены с возможностью многоосного перемещения. В другом аспекте процесс нанесения градиентной пленки, описанный в настоящем документе, может быть полностью автоматизирован для получения градиентных пленок, которые пространственно
 35 различны по механическим свойствам, например, посредством небольшого изменения условий нанесения при движении плазменной головки над поверхностью подложки. Один или более параметров, которые, как было установлено, влияют на механические свойства описанных в настоящем документе мультиградиентных пленок, включают
 40 скорость потока кислорода, скорость потока гелия через химическое соединение, скорость плазменной головки и мощность плазмы. Указанные параметры могут быть запрограммированы для изменения по мере движения плазменной головки вдоль поверхности для нанесения пространственно градиентных пленок, или они могут быть отрегулированы в процессе нанесения вручную. Например, ниже представлены иллюстрации возможных применений указанного типа процесса: если некоторая часть
 45 подложки подлежит покрытию герметиком, то соответствующие механические свойства пространственно градиентной пленки должны быть различными в зависимости от состава подложки. Применение указанного автоматизированного способа атмосферного плазменного напыления обеспечивает возможность «градуирования» состава и свойств

нанесенных в плазме пленок в пространственном отношении, с получением оптимальной пленки для деталей, которые имеют разные свойства поверхности, без необходимости маскирования или применения других трудоемких и сложных технологий. В других аспектах способы, описанные в настоящем документе, могут быть использованы для

ремонта деталей.

Указанные аспекты и аспекты, описанные в настоящем документе, предназначены для иллюстрации и описания, но не предполагается, что они являются исчерпывающими или ограниченными указанными аспектами или аспектами в описанной форме.

Специалистам в данной области техники будут очевидны многочисленные модификации и варианты, без отклонения от объема и сущности аспектов прилагаемой формулы изобретения. Указанные аспекты выбраны и описаны для наилучшего пояснения принципов аспектов настоящего описания и практического применения, а также для обеспечения возможности понимания специалистами в данной области техники различных аспектов с различными модификациями, подходящими для конкретного предполагаемого применения.

Несмотря на то, что в настоящем документе представлены и описаны конкретные аспекты, специалистам в данной области техники понятно, что вместо конкретных представленных аспектов может быть использован любой порядок, который считается подходящим для достижения аналогичной цели, и что аспекты настоящего изобретения в других условиях имеют другое применение.

(57) Формула изобретения

1. Способ получения многослойного покрытия, выполненного из тонкой пленки градиентного состава, включающий:

введение в плазму по меньшей мере одного химического вещества-предшественника, причем указанное введение включает введение в плазму первого химического вещества-предшественника и по меньшей мере одного другого химического вещества-предшественника, отличного от первого химического вещества-предшественника;

нанесение на поверхность подложки слоя первой пленки, при этом химический состав первой пленки определяется указанным по меньшей мере одним химическим веществом-предшественником;

изменение по меньшей мере одного параметра плазменного процесса, связанного с нанесением указанного по меньшей мере одного химического вещества-предшественника, в ходе нанесения слоя первой пленки;

изменение химического состава по меньшей мере части указанного слоя первой пленки, независимо или в комбинации, в вертикальном направлении или в вертикальном и горизонтальном направлении относительно указанной подложки;

нанесение на указанную первую пленку или рядом с ней слоя второй пленки, полученной по меньшей мере частично из второго химического вещества-предшественника, причем вторая пленка имеет химический состав, отличный от состава первой пленки, при этом по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки в горизонтальном направлении относительно поверхности изделия; и

обеспечение поверхности раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем поверхность раздела включает изменение элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, и при этом поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

2. Способ получения многослойного покрытия, выполненного из тонкой пленки градиентного состава, включающий:

введение в плазму по меньшей мере одного химического вещества-предшественника, причем указанное введение включает введение в плазму первого химического вещества-предшественника и по меньшей мере одного другого химического вещества-предшественника, отличного от первого химического вещества-предшественника;

нанесение на поверхность подложки слоя первой пленки, при этом химический состав первой пленки определяется указанным по меньшей мере одним химическим веществом-предшественником;

изменение по меньшей мере одного параметра плазменного процесса, связанного с нанесением указанного по меньшей мере одного химического вещества-предшественника, в ходе нанесения слоя первой пленки;

изменение химического состава по меньшей мере части указанного слоя первой пленки, независимо или в комбинации, в вертикальном направлении или в вертикальном и горизонтальном направлении относительно указанной подложки;

нанесение на указанную первую пленку или рядом с ней слоя второй пленки, полученной по меньшей мере частично из второго химического вещества-предшественника, причем вторая пленка имеет химический состав, отличный от состава первой пленки, при этом по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки в вертикальном направлении относительно поверхности изделия; и

обеспечение поверхности раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем поверхность раздела включает изменение элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, и при этом поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

3. Способ получения многослойного покрытия, выполненного из тонкой пленки градиентного состава, включающий:

введение в плазму по меньшей мере одного химического вещества-предшественника, причем указанное введение включает введение в плазму первого химического вещества-предшественника и по меньшей мере одного другого химического вещества-предшественника, отличного от первого химического вещества-предшественника;

нанесение на поверхность подложки слоя первой пленки, при этом химический состав первой пленки определяется указанным по меньшей мере одним химическим веществом-предшественником;

изменение по меньшей мере одного параметра плазменного процесса, связанного с нанесением указанного по меньшей мере одного химического вещества-предшественника, в ходе нанесения слоя первой пленки;

изменение химического состава по меньшей мере части указанного слоя первой пленки, независимо или в комбинации, в вертикальном направлении или в вертикальном и горизонтальном направлении относительно указанной подложки;

нанесение на указанную первую пленку или рядом с ней слоя второй пленки, полученной по меньшей мере частично из второго химического вещества-предшественника, причем вторая пленка имеет химический состав, отличный от состава первой пленки, при этом по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки в горизонтальном и вертикальном направлении относительно поверхности изделия; и

обеспечение поверхности раздела между указанными первой пленкой и второй

пленкой, причем поверхность раздела включает изменение элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, и при этом поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

5 4. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что указанное введение включает введение в плазму первого химического вещества-предшественника и одновременно с ним по меньшей мере одного другого химического вещества-предшественника, отличного от первого химического вещества-предшественника.

10 5. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что указанное введение включает последовательное введение в плазму первого химического вещества-предшественника и по меньшей мере одного другого химического вещества-предшественника, отличного от первого химического вещества-предшественника.

15 6. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что указанное изменение включает изменение одного или более параметров, выбранных из группы, состоящей из мощности плазмы, скорости потока газа-носителя, температуры вещества-предшественника, скорости потока в барботере, скорости потока разбавления или вертикального положения плазменной головки относительно подложки.

7. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что указанная подложка содержит один или более полупроводниковых материалов, металлов или неметаллов.

20 8. Способ по любому из пп. 1-3, отличающийся тем, что указанное нанесение первой и второй пленок проводят методом атмосферного плазменного напыления.

9. Изделие с многослойным покрытием, выполненным из тонкой пленки градиентного состава, содержащее

25 слой первой пленки, содержащей оксикарбид кремния, при этом указанная первая пленка имеет градиентный химический состав в пределах по меньшей мере части указанного слоя в вертикальном направлении относительно поверхности изделия,

вторую пленку, отличную от первой пленки, при этом указанная вторая пленка находится на первой пленке или рядом с ней и имеет градиентный химический состав и по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки
30 в горизонтальном направлении относительно поверхности изделия,

поверхность раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем указанная поверхность раздела характеризуется изменением элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, при этом указанная поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и
35 вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

10. Изделие с многослойным покрытием, выполненным из тонкой пленки градиентного состава, содержащее

40 слой первой пленки, содержащей оксикарбид кремния, при этом указанная первая пленка имеет градиентный химический состав в пределах по меньшей мере части указанного слоя в вертикальном направлении относительно поверхности изделия,

вторую пленку, отличную от первой пленки, при этом указанная вторая пленка находится на первой пленке или рядом с ней и имеет градиентный химический состав и по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки
в вертикальном направлении относительно поверхности изделия,

45 поверхность раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем указанная поверхность раздела характеризуется изменением элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, при этом указанная поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и

вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

11. Изделие с многослойным покрытием, выполненным из тонкой пленки градиентного состава, содержащее

5 слой первой пленки, содержащей оксикарбид кремния, при этом указанная первая пленка имеет градиентный химический состав в пределах по меньшей мере части указанного слоя в вертикальном направлении относительно поверхности изделия, вторую пленку, отличную от первой пленки, при этом указанная вторая пленка находится на первой пленке или рядом с ней и имеет градиентный химический состав и по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки
10 в горизонтальном и вертикальном направлении относительно поверхности изделия, поверхность раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем указанная поверхность раздела характеризуется изменением элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, при этом указанная поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и
15 вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

12. Изделие с многослойным покрытием, выполненным из тонкой пленки градиентного состава, содержащее

слой первой пленки, содержащей оксикарбид кремния, при этом указанная первая пленка имеет градиентный химический состав в пределах по меньшей мере части
20 указанного слоя в горизонтальном и вертикальном направлении относительно поверхности изделия, вторую пленку, отличную от первой пленки, при этом указанная вторая пленка находится на первой пленке или рядом с ней и имеет градиентный химический состав и по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки
25 в горизонтальном направлении относительно поверхности изделия, поверхность раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем указанная поверхность раздела характеризуется изменением элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, при этом указанная поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и
30 вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

13. Изделие с многослойным покрытием, выполненным из тонкой пленки градиентного состава, содержащее

слой первой пленки, содержащей оксикарбид кремния, при этом указанная первая пленка имеет градиентный химический состав в пределах по меньшей мере части
35 указанного слоя в горизонтальном и вертикальном направлении относительно поверхности изделия, вторую пленку, отличную от первой пленки, при этом указанная вторая пленка находится на первой пленке или рядом с ней и имеет градиентный химический состав, и по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки
40 в вертикальном направлении относительно поверхности изделия, поверхность раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем указанная поверхность раздела характеризуется изменением элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, при этом указанная поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и
45 вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

14. Изделие с многослойным покрытием, выполненным из тонкой пленки градиентного состава, содержащее

слой первой пленки, содержащей оксикарбид кремния, при этом указанная первая

пленка имеет градиентный химический состав в пределах по меньшей мере части указанного слоя в горизонтальном и вертикальном направлении относительно поверхности изделия,

вторую пленку, отличную от первой пленки, при этом указанная вторая пленка находится на первой пленке или рядом с ней и имеет градиентный химический состав и по меньшей мере часть второй пленки пространственно отделена от первой пленки в горизонтальном и вертикальном направлении относительно поверхности изделия,

поверхность раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем указанная поверхность раздела характеризуется изменением элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, при этом указанная поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

15. Изделие по любому из пп. 9-14, отличающееся тем, что указанная вторая пленка химически отлична от первой пленки в вертикальном направлении относительно поверхности изделия.

16. Изделие по любому из пп. 9-14, отличающееся тем, что указанная вторая пленка расположена непосредственно на первой пленке.

17. Изделие по любому из пп. 9-14, отличающееся тем, что указанная поверхность раздела между первой пленкой и второй пленкой имеет градиент элементного состава по одному или обоим из кислорода и углерода.

18. Изделие по любому из пп. 9-14, отличающееся тем, что поверхность указанного изделия представляет собой по меньшей мере часть воздушно-космического летательного аппарата.

19. Изделие с многослойным покрытием, выполненным из тонкой пленки градиентного состава, содержащее

слой первой пленки, при этом указанная первая пленка имеет градиентный химический состав в пределах по меньшей мере части указанного слоя в вертикальном направлении относительно поверхности изделия;

слой второй пленки, при этом указанная вторая пленка имеет химический состав, отличный от состава первой пленки;

поверхность раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем указанная поверхность раздела характеризуется изменением элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, и при этом указанная поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

20. Изделие с многослойным покрытием, выполненным из тонкой пленки градиентного состава, содержащее

слой первой пленки, при этом указанная первая пленка имеет градиентный химический состав в пределах по меньшей мере части указанного слоя в горизонтальном и вертикальном направлении относительно поверхности изделия;

слой второй пленки, при этом указанная вторая пленка имеет химический состав, отличный от состава первой пленки;

поверхность раздела между указанными первой пленкой и второй пленкой, причем указанная поверхность раздела характеризуется изменением элементного состава первой пленки относительно элементного состава второй пленки, и при этом указанная поверхность раздела проходит между вертикальным участком первой пленки и вертикальным участком второй пленки относительно поверхности изделия.

21. Изделие по пп. 19-20, отличающееся тем, что указанная поверхность изделия

представляет собой по меньшей мере часть воздушно-космического летательного аппарата.

5

10

15

20

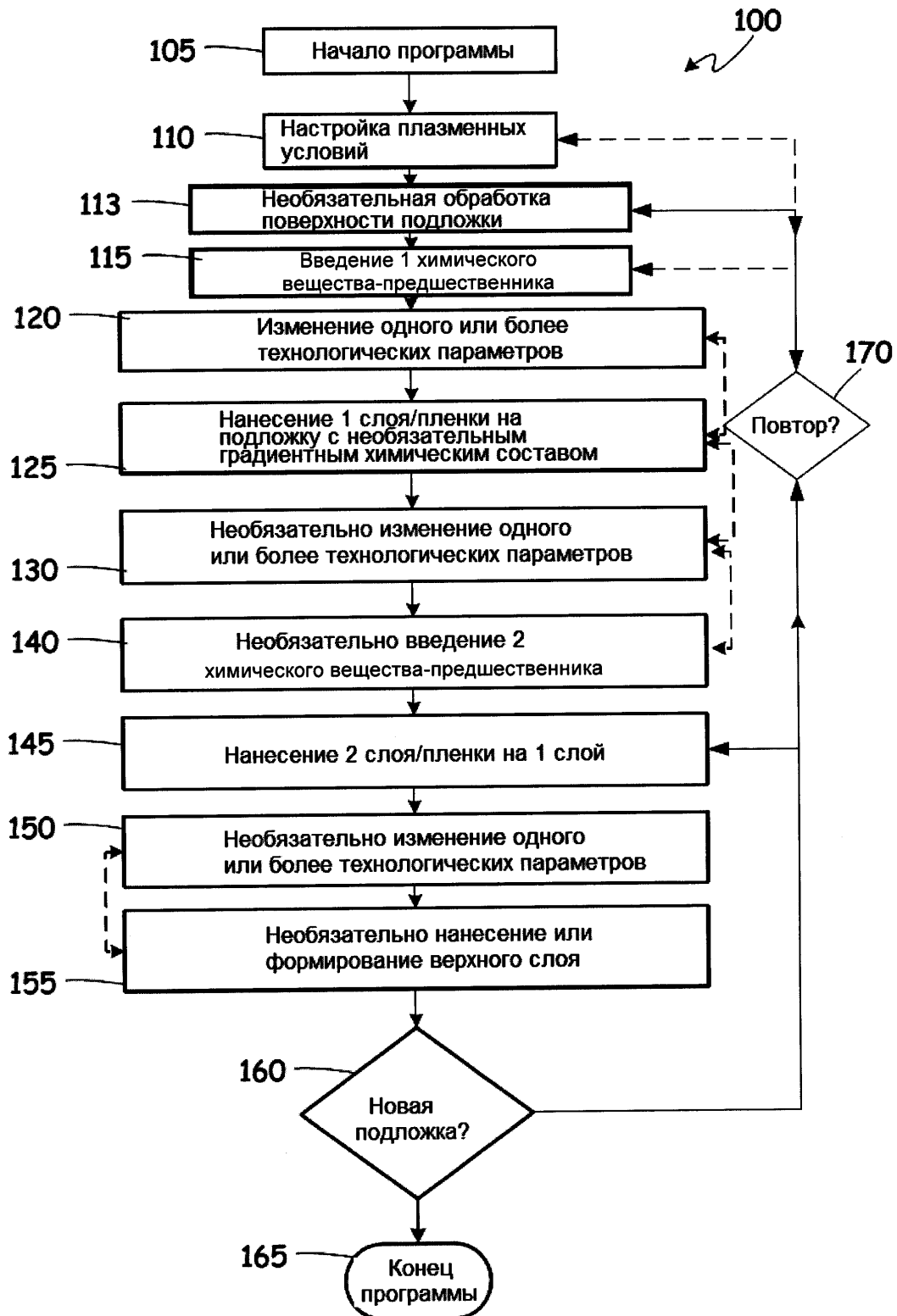
25

30

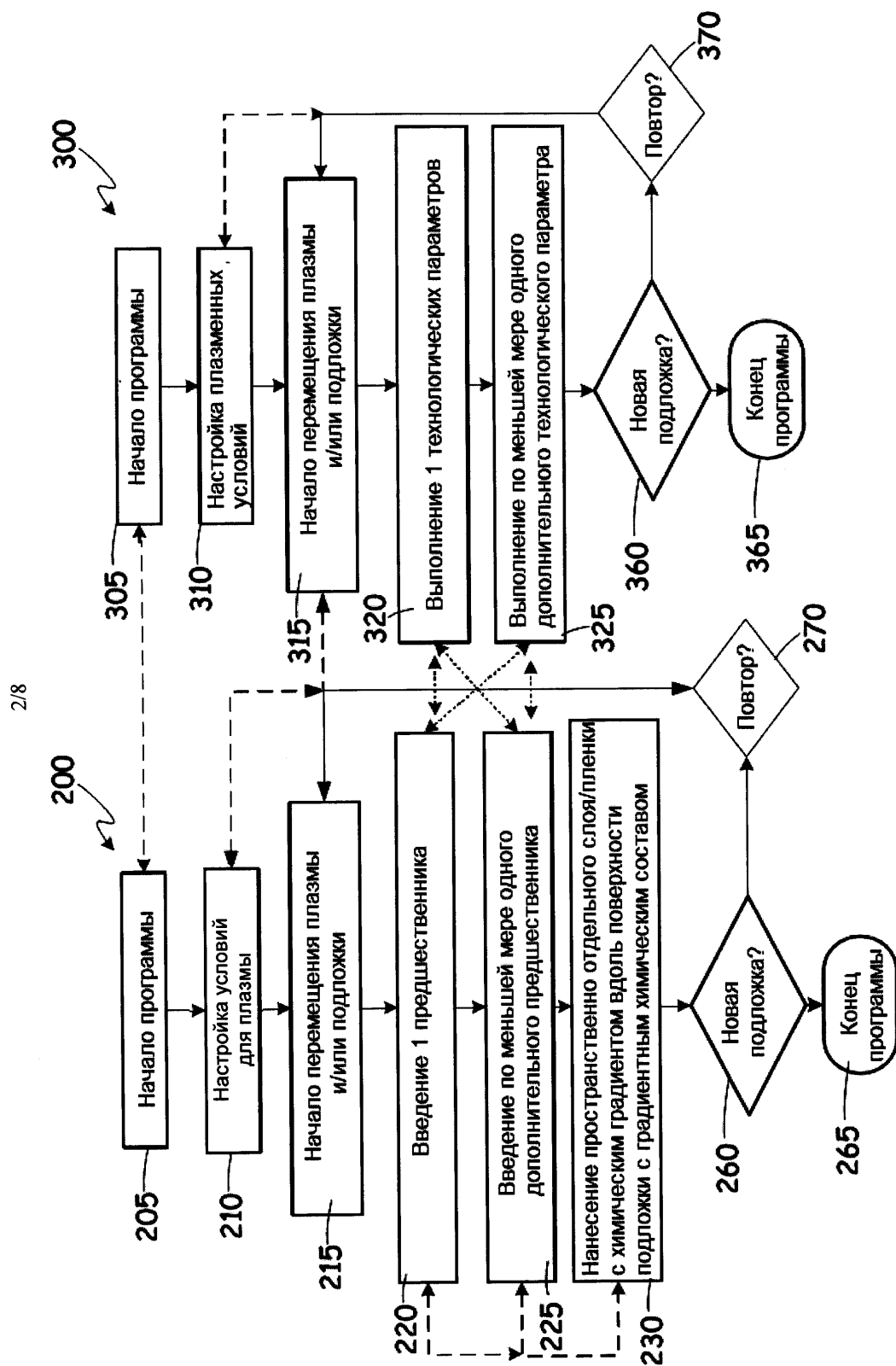
35

40

45

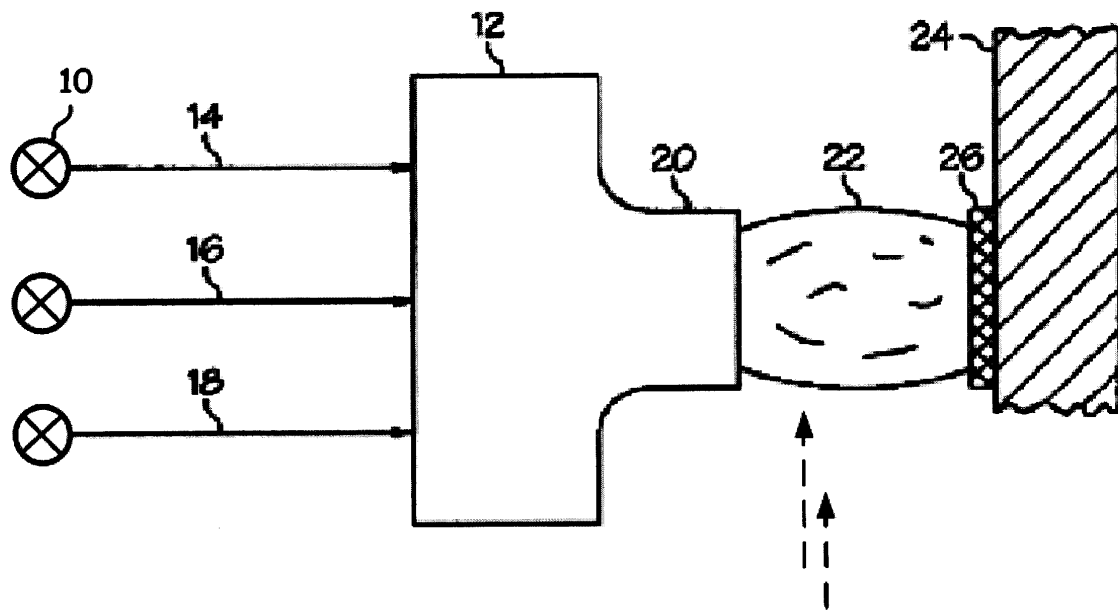


Фиг. 1

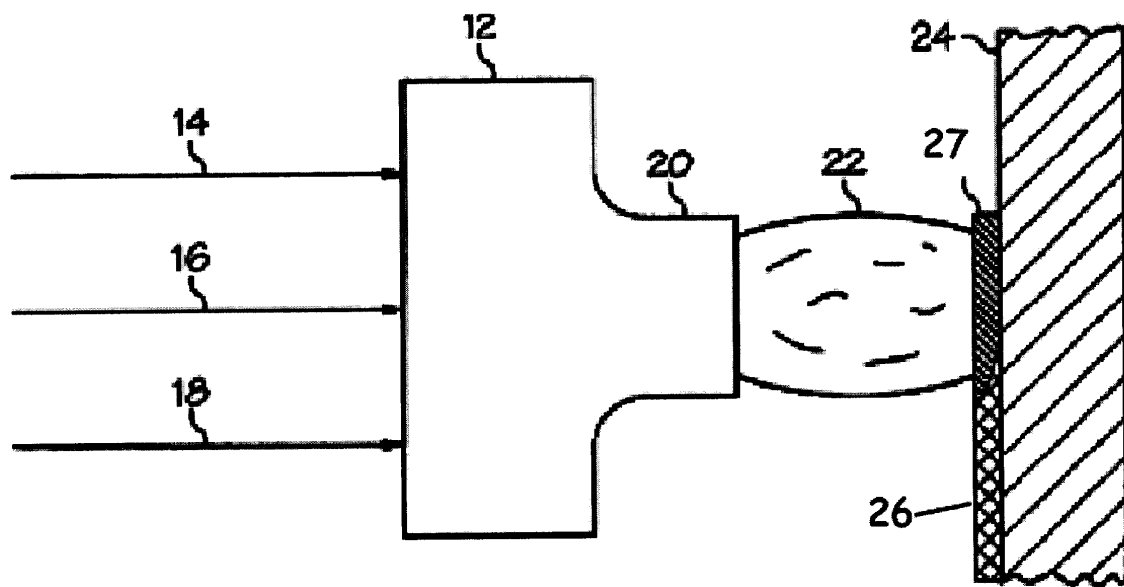


Фиг. 2

3/8

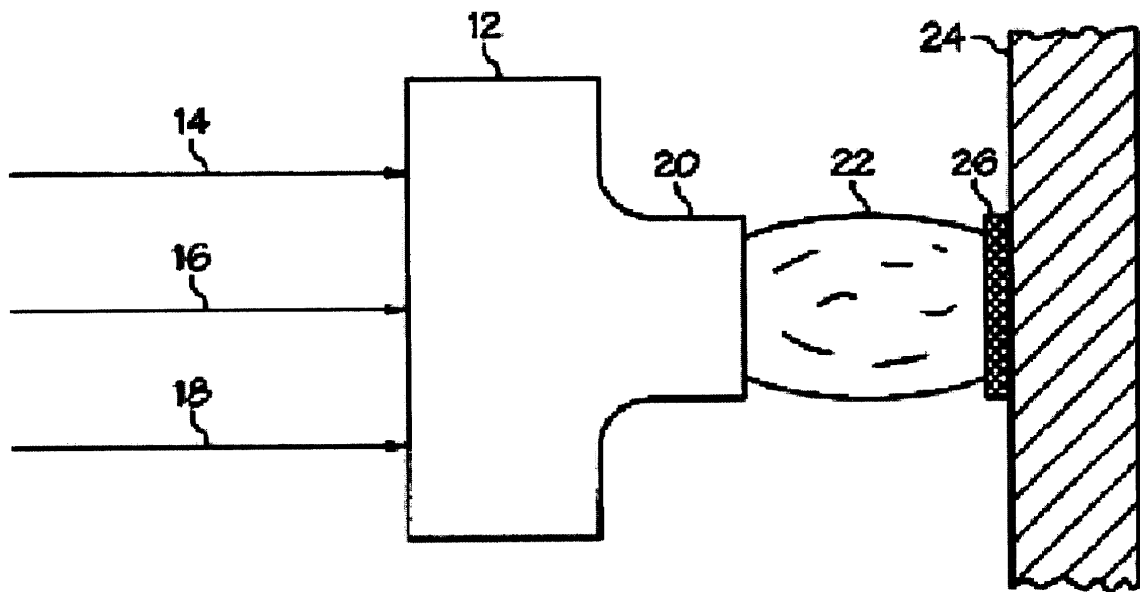


Фиг. 3А

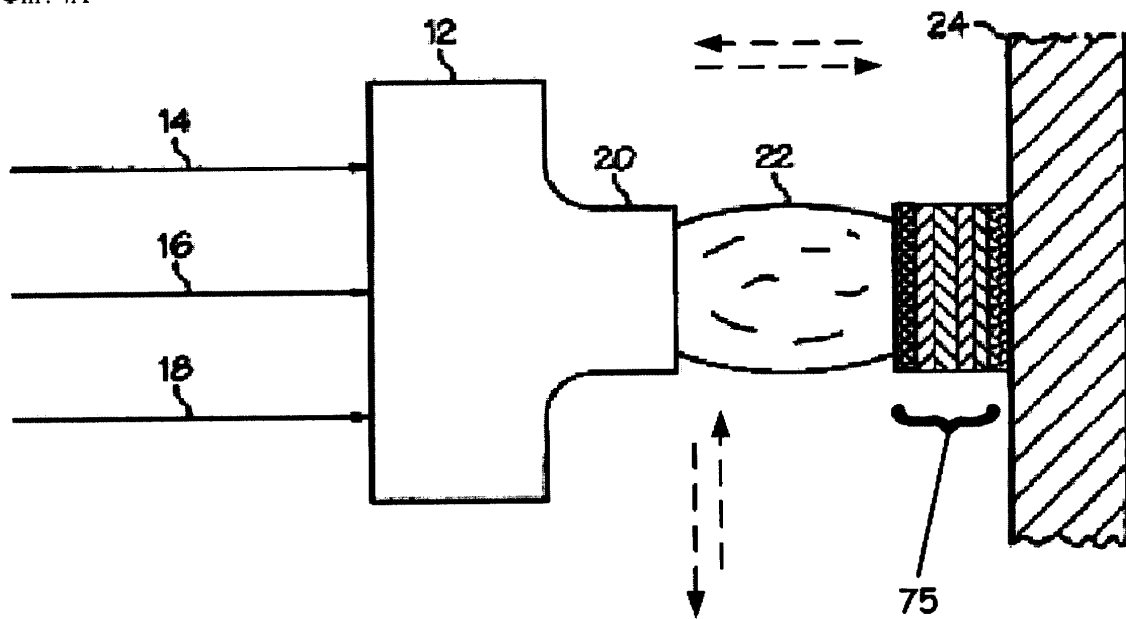


Фиг. 3В

4/8

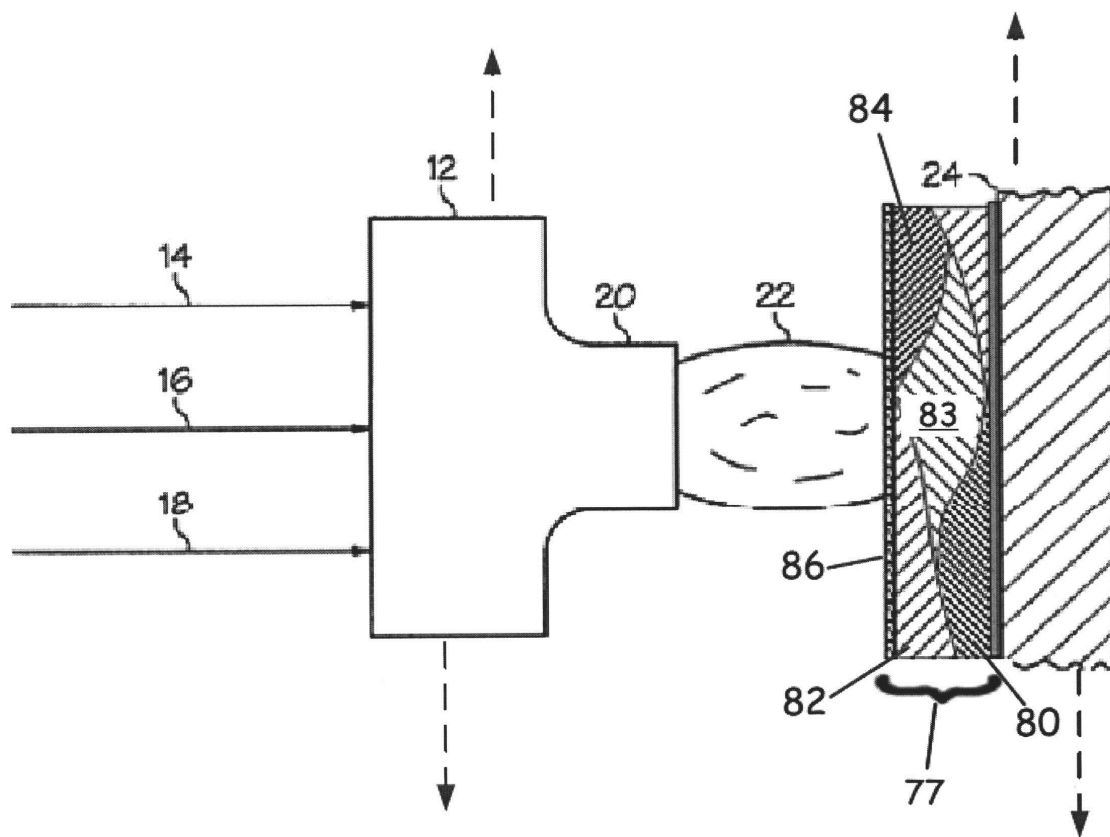


Фиг. 4А



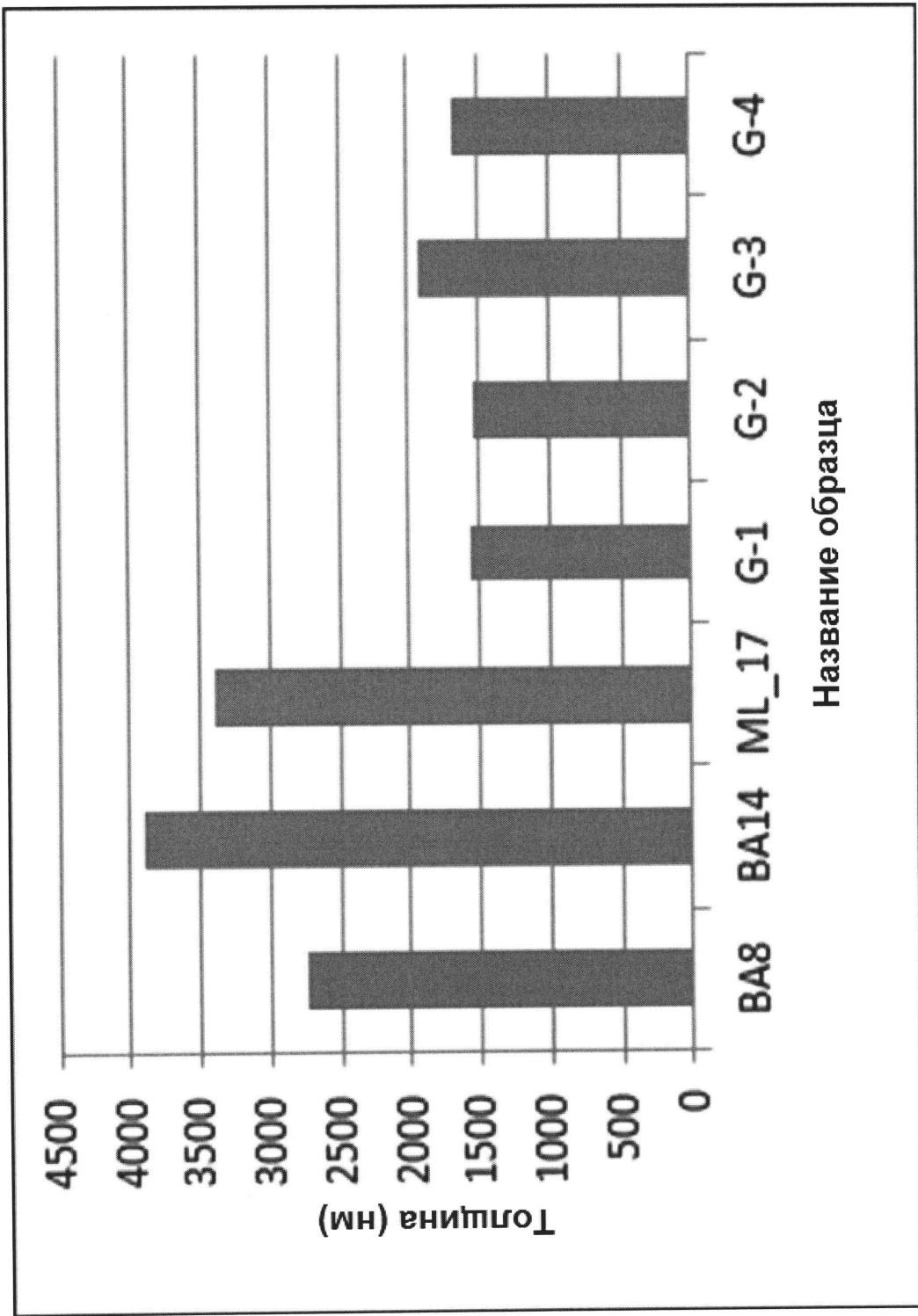
Фиг. 4В

5/8

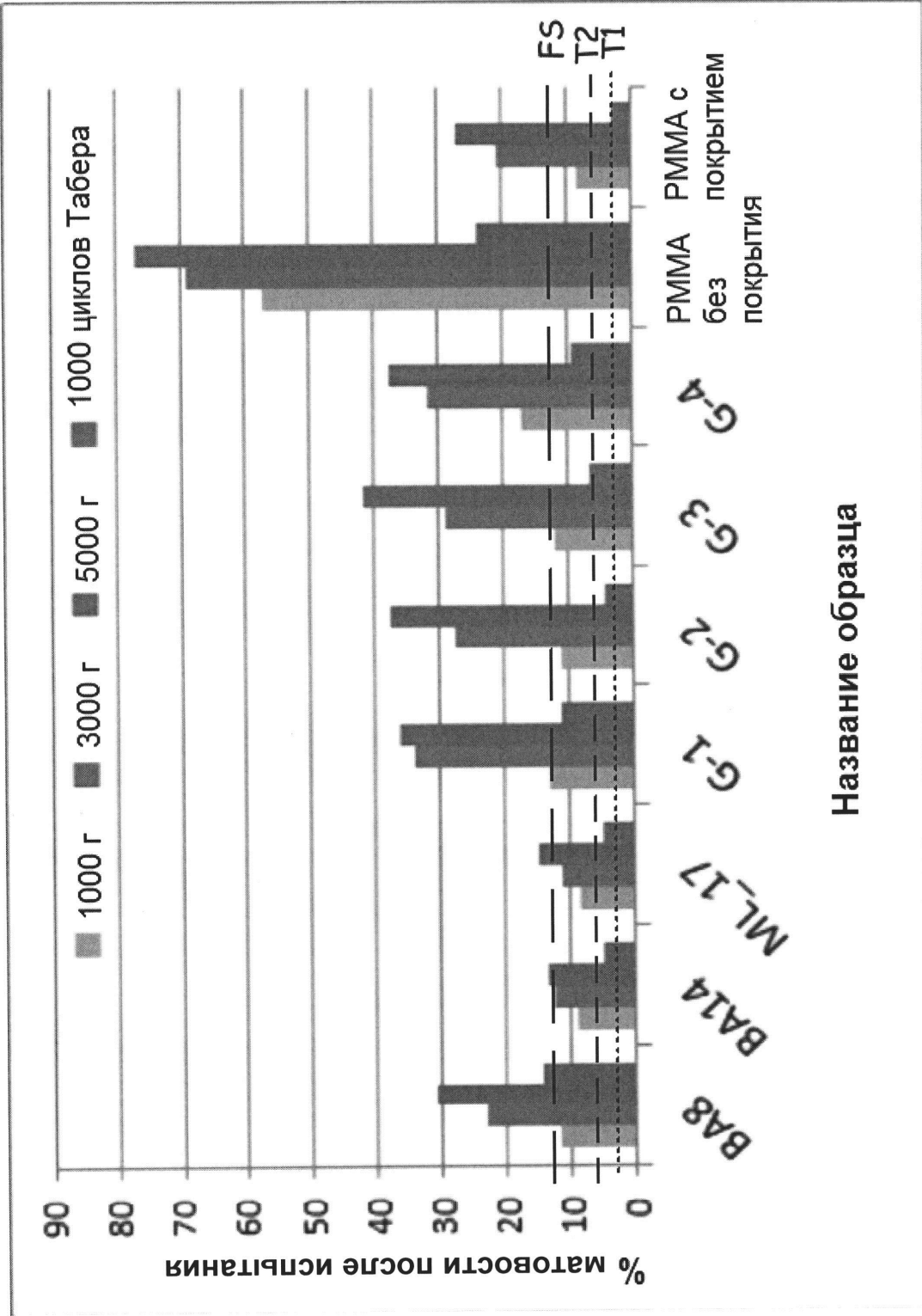


Фиг. 5

6/8



Фиг. 6



Фиг. 7

8/8

Технологические параметры											
Образец	Энергия	Поток O2	Поток барботера	Поток разбавления	Скорость	Расстояние	Т-ра предшественика	Предв. Обработка	Кол-во проходов	Химические	Физические
8	130	0,55	1,5	1,5	75	5	30	p10	25	OMCTS	Толщина
28	90	0,2	1,5	0,5	25	5	50	p10	25	OMCTS	220
ML_8,4	130	0,55	1,5	1,5	75	5	30	p10	25	OMCTS	530
	90	0,2	0,5	1,5	75	5	30	p10	25	OMCTS	-
ML_10	90	0,2	1,5	0,5	25	5	50	p10	25	OMCTS	310
	130	0,55	1,5	0,5	25	5	30	-	18	OMCTS	-
										OMCTS	430
Физические											
Технологические параметры											
Образец	Энергия	Поток O2	Поток барботера	Поток разбавления	Скорость	Расстояние	Т-ра предшественика	Предв. Обработка	Кол-во проходов	Химические	Физические
12	120	0,2	0,5	0,5	25	5	30	p10	20	TMCTS	Толщина
19	120	0,35	1,5	1,5	75	5	10	p10	20	TMCTS	4580
ML_1	120	0,35	1,5	1,5	40	5	10	p10	8	TMCTS	2830
	120	0,2	1,5	1,5	40	5	10	-	8	TMCTS	-
ML_3	110	0,1	1,5	1,5	40	5	10	p10	8	TMCTS	2360
	110	0,35	1,5	1,5	25	5	30	p10	16	OMCTS	2300

Оптические									
Прозрачность				Матовость				Прозрачность	
Образец	Исходное	Матовость	Исходное	Падающий песок (1 кг)	Падающий песок (3 кг)	Падающий песок (5 кг)	Падающий песок (7,5 кг)	Падающий песок (1 кг)	Истирание по Таберу (1 тыс.)
8	100,0	0,5	99,5	97,4	93,5	93,4	3,5	8,1	14,1
28	100,0	0,8	99,6	98,7	97,2	93,5	3,0	5,8	11,2
ML_8,4	99,9	0,5	99,5	98,2	94,3	92,4	3,6	5,2	13,5
ML_10	100,0	0,7	99,6	98,7	97,2	93,6	3,6	6,8	12,9

Оптические									
Прозрачность				Матовость				Прозрачность	
Образец	Исходное	Матовость	Исходное	Падающий песок (1 кг)	Падающий песок (3 кг)	Падающий песок (5 кг)	Падающий песок (7,5 кг)	Падающий песок (1 кг)	Истирание по Таберу (1 тыс.)
12	94,5	6,5	89,7	85,8	85,9	80,2	12,0	16,4	29,4
19	96,4	4,9	84,7	71,8	66,8	51,3	19,9	46,6	65,2
ML_1	94,4	4,4	86,0	79,9	70,7	68,4	13,1	27,5	40,6
ML_3			87,2	79,4	68,9	59,3	17,8	34,5	60,2

Фиг. 8