

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **019070**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2013.12.30

(21) Номер заявки
201100219

(22) Дата подачи заявки
2009.07.16

(51) Int. Cl. **C23C 16/509** (2006.01)
C23C 16/54 (2006.01)
C03C 17/00 (2006.01)

(54) СПОСОБ И УСТАНОВКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ПЛЕНОК ОДНОВРЕМЕННО НА ОБЕ СТОРОНЫ ОСНОВЫ

(31) **08160508.1**

(32) **2008.07.16**

(33) **EP**

(43) **2011.08.30**

(86) **PCT/EP2009/059157**

(87) **WO 2010/007134 2010.01.21**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
АГК ГЛАСС ЮРОП (BE)

(56) JP-A-2006316299
WO-A-2007089146
JP-A-2007273915

(72) Изобретатель:
**Тиксон Эрик, Леклерк Жозеф (BE),
Мишель Эрик (FR)**

(74) Представитель:
**Квашнин В.П., Сапельников Д.А.
(RU)**

(57) Способ одновременного нанесения пленки на обе стороны основы (2), который содержит, в частности, введение основы (2) в реакционную камеру (106, 206) или проведение указанной основы через нее, при этом в камеру помещены по меньшей мере два электрода (110, 210). По меньшей мере один диэлектрический барьер (14, 114) помещают между этими по меньшей мере двумя электродами (110, 210). Регулируемую катушку индуктивности (L) помещают во вторичный контур трансформатора параллельно с контуром, содержащим по меньшей мере два электрода. Генерируют высокочастотное электрическое напряжение, причем указанное напряжение таково, что оно генерирует филаментную плазму (112, 212) на каждой стороне основы между этими по меньшей мере двумя электродами (110, 210).

B1

019070

019070

B1

Область изобретения

Изобретение относится к способу нанесения пленок одновременно на обе стороны неорганической основы (подложки) таким образом, чтобы модифицировать свойства указанной основы. В частности, изобретение нацелено на одновременное нанесение пленок на стеклянные пластины.

Изобретение также относится к установке для реализации рассматриваемого способа, в частности, как непрерывного.

Предшествующий уровень техники

Различные способы используются для того, чтобы наносить тонкопленочные покрытия на одну сторону различных основ. Они отличаются, в частности, путем, которым генерируют энергию для производства желаемых соединений и/или для приклеивания их к основе.

Нанесение тонкопленочных покрытий используют в различных сферах, таких как электроника, коррозионно-стойкие и трибологические покрытия, такие как огнеупорные пленки (нитриды, карбиды и оксиды титана или алюминия), покрытия, имеющие оптические (просветленные, солнцезащитные, фильтрующие и т.д.) свойства, покрытия, придающие другие специфические (антимикробные, самоочищающиеся, гидрофильные, гидрофобные и т.д.) поверхностные свойства и проводящие пленки из оксида олова для различных применений (фотовольтаика, светодиоды (LEDs), органические светодиоды (OLEDs), органическая фотовольтаика и т.д.).

Рассматриваемые основы (подложки) могут быть различных типов: стекло, сталь, керамика, органические полимеры, термопласты и т.д.

Можно различать, главным образом, четыре методики нанесения тонких пленок, применимые, в частности, в сфере стекол: золь-гель методика; магнетронное распыление; пиролитическое напыление и химическое осаждение из газовой фазы (CVD).

"CVD" состоит в отправке химических реагентов или заблаговременно испаренных предшественников на горячую основу, которая разлагает реагенты и предшественники посредством пиролиза при контакте с горячей основой.

Этот способ широко применяют постоянно в процессе производства флоат-стекла.

Таким образом, получают тонкие пленки (толщиной порядка нескольких десятков или сотен нм), в особенности, оксидов. Полученные пленки являются плотными и имеют высокую чистоту. Обычно они очень стабильны как химически, так и механически. Скорости нанесения высокие. Однако набор материалов, которые могут быть нанесены, ограничен, поскольку трудно найти предшественников, которые могут быть превращены в летучие соединения и будут пиролизированы внутри доступного в производстве стекла интервала температур (500-750°C).

Один возможный путь - обход температуры основы и, следовательно, расширения ряда предшественников, которые могут быть использованы в "CVD" и, следовательно, ряда материалов, которые могут быть нанесены, состоит в том, чтобы сочетать обычный "CVD" (возможно, при более низкой температуре) с плазменным устройством.

"PECVD" (улучшенное плазмой химическое осаждение из газовой фазы) может быть применено с использованием любых плазм: холодных плазм (неравновесных) или термических плазм (равновесных).

Холодные плазмы обычно предпочтительны. Активные частицы (электроны, ионы, метастабильные частицы и т.д.) плазмы обычно обладают энергиями в несколько эВ и могут, таким образом, вызывать разложение или активацию химических предшественников.

Чтобы поддерживать неравновесную плазму, часто необходимо работать при пониженном давлении. Наиболее известные методики "PECVD", следовательно, используют плазмы с низким давлением.

Однако при применении этого процесса для промышленных целей необходимо минимизировать затраты. Следовательно, есть возрастающий интерес у части промышленных производителей перенести технологии плазмы с низким давлением в технологии плазмы, работающие в интервале давления, близкого к атмосферному давлению.

Известны различные типы плазмы в плазменных технологиях: "Плазма в тлеющем разряде" или гомогенная плазма позволяет нанесение очень гомогенных тонкопленочных покрытий и требует относительно низкого уровня энергии. Однако это долгий процесс, и он должен быть лимитирован ограниченной областью частот, чтобы оставаться стабильным. Он также позволяет более ограниченный набор образцов тонких пленок.

Рост уровня энергии плазмы может вызывать появление электрической дуги. Размещение диэлектрической пластины между электродами позволяет получение промежуточного состояния между тлеющим разрядом и дугой, называемого "филаментарным" состоянием. Филаментам свойственна неустойчивость, но они несут высокий уровень энергии, позволяющий снизить время обработки, и тем самым увеличить скорость основы. С другой стороны, вследствие их многоименного производства, как это ни парадоксально, получают равномерную скорость нанесения материалов, причем происходит очень большое число микроразрядов (обычно, 10^6 на квадратный сантиметр в секунду) в ходе цикла на данной площади.

Стараются соединить потенциалы обычных процессов обработки "CVD" с потенциалами процессов в плазме при атмосферном давлении. Наш выбор состоял в использовании разряда с диэлектрическим

барьером (DBD). При этом имеется преимущество в сравнении с другими процессами в плазме, позволяющее работать как при низком давлении, так и при атмосферном давлении, и позволяющее осуществлять непрерывную обработку больших площадей, что подразумевает производство при активной электрической мощности порядка до одного мегаватта.

Такие процессы были описаны для намного более низких интервалов мощности, например, в международной заявке WO 2005/113856 для покрытия пластмассы. Международная заявка WO 2004/013376 описывает процесс "CVD" в плазме, специфический для нанесения фотокаталитических пленок TiO_2 . Этот процесс требует последующей обработки нанесенного покрытия в плазме тлеющего разряда.

В обоих указанных случаях процессы имеют главный недостаток в наличии посредственной энергетической эффективности: большая часть генерируемой мощности рассеивается в виде чистых потерь. Проблема состоит, в значительной части, в емкостном сопротивлении контура разряда, которое тем выше, чем больше расстояние между электродами (и, следовательно, расстояние между электродами и основой, размещенной между ними).

Международная заявка WO 2007/089146 описывает устройство для обработки в режиме тлеющего разряда термочувствительной поверхности (триацетилцеллюлоза). Включаемые уровни мощности относительно низкие (от 300 до 800 Вт). Это устройство использует специфический тип источника питания (импульсный генератор). Импеданс применяют только для использования катушек индуктивности параллельно и последовательно, не стабилизируя нагрузку, но увеличивая степень фрагментации предшественника, генерируемого в плазменном разряде.

Международная заявка WO 99/04411 описывает устройство для обработки пленки, у которого радиочастотный источник питания вызывает высокую отраженную мощность. Следовательно, есть сложный вторичный контур в отличие от того, который разработан в настоящем изобретении.

Заявка Японии JP 2007 273915 описывает низкомощностной (500 Вт) вакуумный плазменный способ обработки, включающий резисторно-индуктивно-емкостной контур во вторичной обмотке. Авторы сообщают о лучшей эффективности обработки, когда они производят компенсацию для приближения к резонансу контура.

Сущность изобретения

Рассматриваемый подход состоял в размещении основы между двумя электродами, и в то же время поддержании зазора с обеих сторон основы, чтобы создавать две зоны реакции так, чтобы наносить пленку одновременно на обе стороны основы.

Первая задача изобретения состоит в том, чтобы экономить время при нанесении пленок, возможно, различной природы, одновременно на обе стороны основы.

Другая задача изобретения состоит в том, чтобы улучшать энергетическую эффективность установки нанесения пленок на основу использованием процесса DBD.

Следующая задача состоит в том, чтобы улучшать эффективность нанесения без излишнего снижения энергетической эффективности.

Следующая задача изобретения состоит в том, чтобы гарантировать, что это улучшение поддерживает свою эффективность при любых условиях, накладываемых различными типами производства, и в особенности, для основ различных толщин, для различных типов пленок и т.д.

Один объект изобретения представляет собой способ одновременного нанесения на обе стороны неорганической основы, отличающийся тем, что он содержит следующие операции:

основу вводят в реакционную камеру или делают так, чтобы пропускать через реакционную камеру, в которой помещены по меньшей мере два электрода, причем на каждой стороне основы помещен по меньшей мере один диэлектрический барьер между по меньшей мере одной стороной основы и этими по меньшей мере двумя электродами;

используют стабилизированный источник энергии, который включает ВЧ-трансформатор, к клеммам вторичной обмотки которого присоединены по меньшей мере два электрода;

стабилизированное высокочастотное напряжение генерируют во вторичном контуре этого трансформатора, причем указанное напряжение таково, что оно генерирует филаментную плазму на каждой стороне основы между по меньшей мере двумя электродами;

используют регулируемую катушку индуктивности (L), помещенную параллельно с внутренней катушкой индуктивности этого контура, содержащего по меньшей мере два электрода, так, чтобы снизить сдвиг фаз между напряжением и током, который генерируют во вторичной обмотке трансформатора;

смесь вводят в реакционную камеру, причем на каждой стороне основы состав указанной смеси таковой, что после контакта с плазмой он разлагается и генерирует частицы, способные быть нанесенными в виде пленки на соответствующую сторону основы;

напряжение и/или частота, передаваемые стабилизированным источником питания и/или индуктивностью регулируемой катушки индуктивности (L), помещенной параллельно с этим контуром, содержащим по меньшей мере два электрода, приспособлены так, чтобы вызывать при начале или в ходе процесса получение оптимальных характеристик реакции;

напряжение и/или частота, доставляемые контуром генератора и/или индуктивностью катушки индуктивности (L), приспособлены таким образом, чтобы активировать производство гармоник, расши-

ряющих время, в течение которого напряжение остается выше того, которое поддерживает электрический разряд и которое, как следствие, соответствует времени, в течение которого ток проходит между электродами; и

основа сохраняется в камере на период времени, достаточный, чтобы получать пленку желательной толщины на каждой стороне указанной основы.

Необходимо заметить, что способ согласно изобретению определяют терминами "операции", а не "стадии", то есть последовательность операций необязательно проводят в том порядке, в котором они указаны выше.

Первое преимущество способа согласно изобретению состоит в том, что энергия, подаваемая filamentной плазмой на каждую сторону основы, может быть модулирована, в частности, путем регулирования соответствующего расстояния между электродами и основой, тем самым делая возможным для пленок иметь большое разнообразие составов, которые могут быть одновременно нанесены.

В одном предпочтительном варианте исполнения изобретения состав смесей, вводимых в реакционную камеру на каждой стороне основы, идентичен. При выполнении принципа симметрии, очевидно, легче производятся регулировки и, тем самым, уменьшаются проблемы взаимодействия между различными реагентами. Это приводит как к экономии времени, так и экономии пространства в производстве.

В другом предпочтительном варианте исполнения изобретения состав смесей, вводимых в реакционную камеру на каждой стороне основы, различен. Это делает возможным генерировать частицы, способные быть нанесенными в виде различных пленок на соответствующую сторону основы. Это приводит как к экономии времени, так и экономии пространства в производстве.

В одном предпочтительном варианте исполнения изобретения смеси, вводимые в реакционную камеру на каждой стороне основы, ограничены в двух отдельных зонах механическими барьерами. Сама основа может формировать часть этих механических барьеров.

По следующему предпочтительному варианту исполнения изобретения, возможно, дополнительному к предыдущему, смеси, вводимые в реакционную камеру на каждой стороне основы, объединяют в двух отдельных зонах устройствами всасывания и/или доставки.

По предпочтительному варианту исполнения изобретения способ далее включает следующие операции:

используется регулируемая катушка индуктивности (L), помещенная параллельно с внутренней катушкой индуктивности установки, генерирующей электрическое напряжение так, чтобы уменьшить сдвиг фаз между генерируемыми напряжением и током; и

напряжение и/или частота, доставляемые контуром генератора и/или индуктивностью регулируемой катушки индуктивности (L), приспособлены в начале или в ходе процесса таким образом, чтобы получить оптимальные характеристики реакции.

Преимущество этого варианта исполнения изобретения состоит в том, что несмотря на спланированное генерирование гармоник введение катушки индуктивности в контур улучшает коэффициент мощности установки, следовательно, значительно увеличивает ее эффективность. Другое преимущество этого варианта исполнения изобретения состоит в том, что оно также делает возможным для процесса генерировать достаточно активной энергии для получения высоких скоростей нанесения, и в то же время еще улучшать свойства нанесенных пленок.

В предпочтительном варианте исполнения изобретения предпочтительно активируют гармоники третьего порядка и пятого порядка.

Одно преимущество этого варианта исполнения изобретения состоит в том, что для той же потребляемой мощности эффективность способа значительно повышается.

В одном предпочтительном варианте исполнения изобретения этот способ далее включает следующую операцию: атмосферу в камере приводят к заданному давлению.

Предпочтительно основа является изолятором и сама формирует один из диэлектрических барьеров, помещенных по меньшей мере между двумя электродами.

Кроме того, если основа является проводником, она сама может представлять из себя один из электродов.

Смесь вводят в реакционную камеру, предпочтительно в форме распыляемой жидкости, газа или реакционноспособного порошка.

Мощность установки составляет предпочтительно по меньшей мере 100 кВт или лучше по меньшей мере 200 кВт. Предпочтительно мощность установки составляет по меньшей мере 500 кВт. Практически, агрегат может достигать мощности до 1,2 МВт.

Другой объект изобретения представляет собой установку для нанесения пленки на основу, содержащую камеру, транспортные средства и средства обеспечения введения основы в камеру или для того, чтобы посредством их пропускать основу через нее. Высокочастотный источник питания высокого напряжения присоединяют по меньшей мере к двум электродам, помещенным на обе стороны основы, и по меньшей мере один диэлектрический барьер помещают по меньшей мере между двумя электродами. Обеспечивают средства регулирования/контроля источника питания в качестве средств для введения реакционных веществ в камеру и средств для удаления остаточных газов.

В предпочтительном варианте исполнения изобретения регулирующую катушку индуктивности помещают параллельно с контуром источника питания. Характеристики этой регулируемой катушки индуктивности таковы, что она делает возможным сдвиг фаз между напряжением, генерируемым между электродами, и полным током, доставляемым источником высокого напряжения, который подлежит модулированию.

В этой установке средства регулирования источника питания и средства контроля катушки индуктивности предпочтительно сочетают так, чтобы позволять генерирование гармоник, расширяющих время, в течение которого напряжение между электродами поддерживают при величине выше достаточной для поддержки электрического разряда.

В одном предпочтительном варианте исполнения изобретения камера открыта с обеих её краёв, тем самым давая возможность, чтобы процесс нанесения был включен в непрерывный заводской процесс. Например, камера может быть предпочтительно встроена в печь для отжига стекла линии производства флоат-стекла, причем средства поддержки основы содержат по меньшей мере один ролик.

В соответствии с одним предпочтительным вариантом исполнения изобретения камера открыта с обеих её краёв и может быть предпочтительно включена в линию серийного производства. Например, камера может быть предпочтительно встроена в линию отпуска стекла, причем средства поддержки основы содержат по меньшей мере один ролик.

В соответствии с другим предпочтительным вариантом исполнения изобретения камера закрыта, тем самым давая возможность, чтобы процесс согласно изобретению был включен в операцию периодической обработки поверхности. Например, камера может быть помещена в линии обработки типа магнетронного распыления.

В соответствии с предпочтительным вариантом исполнения изобретения в установку по изобретению вводится катушка индуктивности сдвига фаз. Эта катушка индуктивности содержит обмотку, состоящую из пучка проводящих элементов, изолированных друг от друга, который намотан вокруг сердечника; стержень магнитного плунжера помещают внутри этого сердечника и изолируют от этого сердечника, разделенного на несколько секций вставками; установочное приспособление присоединяют к стержню плунжера; изолированное соединение присоединяет стержень плунжера к установочному приспособлению; и система управления способна воздействовать на установочное приспособление так, чтобы регулировать положение стержня магнитного плунжера относительно сердечника.

Краткое описание чертежей

Другие преимущества и особенности изобретения станут очевидными из следующего подробного описания отдельных вариантов выполнения изобретения, причем ссылка сделана на фигуры, в которых

фиг. 1 представляет собой схематический вид сбоку закрытой установки для нанесения пленок на стеклянную основу;

фиг. 2 представляет собой эквивалентную принципиальную схему контура для установки, изображённой на фиг. 1 перед формированием плазмы;

фиг. 3 представляет собой эквивалентную принципиальную схему контура для установки, изображённой на фиг. 1 после генерирования плазмы;

фиг. 4 представляет собой эквивалентную принципиальную схему контура для установки согласно предпочтительному варианту исполнения изобретения;

фиг. 5 представляет собой осциллограмму напряжения/тока в обычной установке;

фиг. 6 представляет собой осциллограмму напряжения/тока, полученную благодаря способу по изобретению;

фиг. 7 представляет собой более детальную эквивалентную принципиальную схему контура системы источника питания для установки по изобретению;

фиг. 8 представляет собой схематический вид сбоку одного варианта выполнения установки по изобретению, открытой на обеих её краях, для нанесения пленки на стеклянную основу, по изобретению;

фиг. 9 представляет собой схематический вид сбоку варианта выполнения установки по изобретению в случае изолирующей основы, причем возможно, чтобы при условиях, преобладающих в камере для нанесения, сама основа формировала диэлектрический барьер, тем самым, давая возможность не использовать дополнительный диэлектрический барьер;

фиг. 10 представляет собой схематический вид сбоку катушки индуктивности для установки по изобретению и

фиг. 11 представляет собой вид в разрезе пучка проволоочной обмотки, используемой в катушке индуктивности, показанной на фиг. 10.

Фигуры изображены необязательно в масштабе.

Как правило, сходные элементы указаны сходными обозначениями на фигурах.

Подробное описание конкретных вариантов исполнения изобретения

Фиг. 1 показывает закрытую камеру (206), предназначенную для периодического процесса нанесения пленок на отдельные стеклянные объемы. В этом случае одно или два запирающих устройства (132) делают возможным либо работать при атмосферном давлении, либо работать при давлениях, далеких от атмосферного давления (обычно между 10^{-1} Па и 110 кПа) (в случае установки, показанной в фиг. 7, не-

обходимо использовать мощные экстракционные устройства для того, чтобы уйти от давления окружающей среды). Используя известную методику "CVD", реакционную смесь (108, 208) вводят в камеру (206). В случае процесса, работающего при пониженном давлении, могут быть использованы реагенты (108, 208), которые имеют более низкое давление пара и/или имеют более токсичный характер, без какой-либо угрозы для здоровья операторов.

В отличие от обычного процесса реакционные смеси вводят на каждую сторону основы. Как показано на фиг. 1, продуманный выбор характеристик делает возможным работать одновременно на обеих сторонах стеклянного изделия 2, даже нанося на него, в зависимости от обстоятельств, пленки различного типа. Это происходит потому, что имеется возможность использования различных приемов (физическое разделение или подходящим образом установленный экстрактор), чтобы вводить различные реагенты (108, 208) на обе стороны стеклянного изделия 2 в двух зонах плазмы (112, 212). Эти две зоны плазмы расположены между стеклянным изделием (2) и двумя электродами (110, 210), помещенными в камере (6) на каждой стороне стеклянного изделия. Кроме того, расстояние между основой (2), подлежащей покрытию, и этими двумя электродами (110, 210) может быть отрегулировано и приспособлено в соответствии с желательными критериями нанесения.

Возможности, связанные с генерированием плазмы на каждой стороне основы посредством единичного разряда, многочисленны. Фактически, возможностей использования основы, обработанной с обеих сторон, всегда становится больше. Кроме того, факт генерирования двух пленок одновременно внутри той же камеры не только экономит время, но также и освобождает площадь, что всегда является преимуществом.

Как указано выше, чтобы генерировать плазму, в камеру 206 помещают два электрода. Эти электроды (110, 210) лежат вдоль оси, перпендикулярной к направлению, в котором подают стеклянный лист (2). Так как между этими электродами (110, 210) создается высокое напряжение при высокой частоте, генерируются плазмы (112, 212) (показаны схематично как ореол(свечение)), из чего возможные различные реагенты, вводимые в камеру на каждой стороне основы, дают необходимую энергию, делая возможным одновременно наносить на обе стороны стеклянного листа широкий спектр соединений. Напряжение лежит предпочтительно в промежутке между 1 и 200 кВ от пика к пику, более предпочтительно между 5 и 100 кВ от пика к пику и еще более предпочтительно между 10 и 40 кВ от пика к пику. Частота лежит предпочтительно в промежутке между 10 и 1000 кГц, более предпочтительно между 20 и 400 кГц и еще более предпочтительно, между 50 и 200 кГц.

Чтобы уменьшить возможный риск формирования электрических дуг непосредственно между двумя электродами, между местами расположения этих двух электродов (110, 210) может быть создан в камере диэлектрический барьер (14, 114). Для дальнейшего увеличения энергии, необходимой для реакции, стеклянный лист 2 может находиться при высокой температуре. Доступная тем самым тепловая энергия добавляется к энергии, доставляемой плазмой, таким образом, улучшая нанесение пленки желательного состава.

Проблема, которая обычно возникает в такого типа процессе всякий раз, когда желательно перевести его из экспериментальной стадии в промышленное производство, состоит в низкой эффективности, получаемой в отношении энергии, потребляемой, чтобы генерировать плазму. Как следствие, эта эффективность должна быть повышена так, чтобы сделать процесс не только энергетически выгодным, но также и позволять в процессе генерировать достаточно активной энергии для получения высоких скоростей нанесения, в то же время, улучшая свойства нанесенных пленок. Это (все) тем более так в настоящем случае, поскольку два зазора, которые действуют как конденсаторы, соединенные последовательно, снижают априори ток разряда. Следовательно, необходимо иметь установку для достижения высоких уровней энергии, в то же время поддерживая хорошую эффективность.

Следовательно, было предпринято исчерпывающее изучение всех факторов, включающих энергию, тем самым, делая возможным уменьшать очень схематично рассматриваемую установку до двух эквивалентных принципиальных схем, как показано на фиг. 2 и 3. Эквивалентная принципиальная схема для такой установки, очевидно, более сложная, чем в обычной установке (в которой одновременно может быть нанесена только одна пленка).

Фиг. 2 представляет собой очень упрощенную эквивалентную принципиальную схему установки перед воспламенением плазмы, причем высокое напряжение подают между электродами (110, 210). Проведение разряда в камере 206, по существу, означает добавление емкостей параллельно и последовательно, а именно C_p (паразитная емкость параллельно паразитному сопротивлению R_p), C_d (емкость диэлектрика(ов)), C_v (емкость стекла) и C_{g1} и C_{g2} (емкости газа).

Фиг. 3 показывает ту же самую принципиальную схему, когда генерируют плазму. В этот момент C_{g1} и C_{g2} шунтируются сопротивлениями R_{g1} и R_{g2} , которые представляют собой сопротивления двух зон плазмы.

В отсутствие разряда (то есть пока напряжение, прикладываемое между электродами, ниже напряжения зажигания плазмы), величины R_{g1} и R_{g2} чрезвычайно высоки, и полный ток, генерируемый источником, практически чисто емкостной, причем реактивная часть, по существу, зависит от диэлектрических потерь в изоляторе электродов и основе. При разряде "полезные" токи I_{g1} и I_{g2} , текущие через разря-

ды, всегда остаются ниже по сравнению с емкостными компонентами. Использование источника напряжения, следовательно, ограничено, причем доставляемая энергия рассеивается в создание очень высокого реактивного тока, тогда как полезен только активный компонент, доставляющий разряду "работающую" (то есть совпадающую по фазе) энергию ($P_w = R_g I_g^2$).

Чтобы компенсировать недостаток работающей энергии, рассматривают размещение параллельно с установкой катушки индуктивности L , действующей как "источник энергии", делая возможным генерировать ток в противофазе с энергией, поглощаемой емкостной нагрузкой. Это допускает почти полное восстановление включаемой энергии. Таким образом, получают эквивалентную принципиальную схему, которая показана на фиг. 4.

Однако необходимо отметить, что этот тип компенсации не аналогичен компенсации, получаемой, например, размещением катушки индуктивности параллельно с линией распределения тока. Это происходит потому, что здесь не включается установленная емкостная составляющая, как это имеет место в распределительной сети, но нагрузка является чрезвычайно переменной в соответствии с частотой (здесь частота в килогерцах), толщиной основы и реагентами, вводимыми в камеру (которые стимулируют вариации в электрических и диэлектрических свойствах газа и плазмы, и т.д.). Как следствие, необходимо использовать очень специфический тип катушки индуктивности, способный не только выдерживать условия нагрузки, генерируемой в мощной установке, при высоком напряжении, но также и при высокой частоте, причем также есть возможность относительно точной регулировки по приложенным условиям в ходе каждого типа производства. Это происходит потому, что результирующая нагрузка будет сильно варьироваться, в особенности, в соответствии с различными параметрами процесса, такими как, например, природа реагентов, толщина стекла, газовые зазоры и т.д. Газовые зазоры лежат предпочтительно между 0,5 и 100 мм, более предпочтительно между 1 и 20 мм и еще более предпочтительно между 3 и 6 мм.

Были проведены различные испытания, показывающие возможность использования способа согласно изобретению в конкретном практическом процессе, чтобы осветить предпочтительные и неожиданные следствия этого способа.

Фиг. 5 показывает, что другое явление частично ответственно за посредственную эффективность установки нанесения пленки в плазме с "DBD: когда применяют ВЧ высокое напряжение, для каждого полупериода разряд может быть поддержан только в течение периода времени t_1 , когда подаваемое напряжение выше напряжения зажигания плазмы V_1 . Этот временной интервал тесно связан с параметрами, описанными выше. Конечно, это явление повторяется каждый полупериод. Следовательно, эффективность способа ограничена отношением t_1 к продолжительности полупериода.

По закону Фурье, если источник дает нелинейный диполь, получаемый ток не будет линейным и будет иметь сложную форму, которая может быть разложена в суперпозицию нескольких кривых, то есть они имеют "фундаментальную" частоту и сумму гармоник.

В настоящем случае было обнаружено, что внесение катушки индуктивности в контур вызывает рост искажения кривой, соответствующей току через плазму, как показано на фиг. 6. Эта кривая может быть разложена с использованием правила рядов Фурье на фундаментальную и ряд гармоник, наиболее значительными из которых, вследствие их амплитуды являются 3-я и 5-я нечетные гармоники. Как можно видеть на фиг. 6, кривая, соответствующая электрическому току, имеет своего рода "плато" в интервале времени t_2 , намного более длинном, чем интервал t_1 , наблюдаемый на кривой, показанной на фиг. 5. Длина этого интервала может быть оптимизирована варьированием характеристик контура, и в особенности, частоты и индуктивности катушки индуктивности L . Как следствие, в установке согласно изобретению, вставляя регулируемую катушку индуктивности соответствующих характеристик, возможно получать, при прочих равных условиях, не только увеличение активной энергии, но также и более длинное время разряда и, как следствие, намного лучшую энергетическую эффективность.

Фиг. 7 представляет более полную эквивалентную принципиальную схему, чем та, которая приведена на фиг. 4 и лучше демонстрирует специфические особенности самой установки, если ее сравнивать с предшествующими технологиями. Что касается этой принципиальной схемы, можно заметить, что все регулирования (фильтрация, компенсация и т.д.), делающие возможным иметь стабилизированную и оптимально компенсируемую кривую напряжение/ток (косинус ϕ), по существу, выполняют на первичной части 601 силового трансформатора 602. Как следствие, единственное средство регулирования, необходимое для достижения сдвига фаз, показанного на фиг. 6 во вторичном контуре 604 этого трансформатора 602, состоит в переменной катушке индуктивности 606, разработанной, в особенности, чтобы работать при очень высоком напряжении, и помещенной параллельно с генератором плазмы.

Следовательно, источник питания контролируют следующим образом: используют апериодический генератор, состоящий из инвертора 608 (который конвертирует подаваемый постоянный ток в переменный ток), параллельного колебательного контура и переменной катушки индуктивности $LV1$ для регулирования управления частотой и обеспечения правильной активной мощности. В первичном контуре очень мощного трансформатора размещен регулятор энергии 610 и связанные с ним цепи безопасности (параллельно/последовательно) 612.

Благодаря принципиальной схеме, показанной на фиг. 7, очень просто регулировать впоследствии

индуктивность катушки индуктивности LV2 таким образом, что нагрузка, формируемая LV2, C_r и C_p , остается нелинейной, так чтобы активировать гармоники третьего порядка и пятого порядка, которые дают возможность поддерживать устойчивость плазмы в течение заметно более длинного времени по отношению к полупериоду (см. фиг. 5 и 6).

Эти операции выполняют на первичной 601 и на вторичной 604 обмотках, следовательно, трансформатор соответственно работает в очевидном противоречии: цель состоит, во-первых (главным образом), увеличивать $\cos \phi$ установки (тем самым повышая ее кажущуюся эффективность) и, кроме того, во-вторых, эту оптимальную величину снижают таким образом, чтобы генерировать гармоники, которые тем самым, как это ни парадоксально, увеличивают эффективность плазменного нанесения.

Если добавляется эта очень мощная катушка индуктивности, вставленная во вторичный контур, повышается напряжение до очень высокого, разработанная таким образом установка содержит ряд особенностей, которые являются парадоксальными для специалистов.

Активную мощность увеличивают предпочтительно по меньшей мере на 10%, более предпочтительно по меньшей мере на 25% и еще более предпочтительно по меньшей мере на 50%. Время разряда увеличивают предпочтительно по меньшей мере на 15%, более предпочтительно по меньшей мере на 30% и еще более предпочтительно по меньшей мере на 60%. Также необходимо отметить, что, чтобы определить "оптимальную" индуктивность катушки индуктивности, необходимо принять во внимание внутреннюю магнитную индуктивность схемы источника питания (который включает трансформатор), причем указанная внутренняя магнитная индуктивность не обязательно является пренебрежимо малой. Так как схема источника питания имеет свою собственную резонансную частоту, индуктивность L может быть при некоторых условиях значительно понижена.

Среди преимуществ способа, который описан, можно назвать следующие:

как уже указано ранее, фактически все регулирование и связанные с ним схемы присоединены выше к трансформатору высокого напряжения, тем самым понижая риски для операторов и для используемых компонентов;

вследствие увеличения эффективности нанесения возможно снижать количество используемых химических реагентов. Как следствие, кроме понижения в издержках производства и воздействия на окружающую среду наблюдают, что меньше засоряется установка, приводя тем самым к дополнительному снижению затрат;

увеличение скорости нанесения с тем результатом, что понижается время обработки. Как следствие, возможно перемещать основу при более высокой скорости для непрерывной обработки. Наоборот, ширину камеры обработки можно понижать, следовательно, заметно экономия пространства. Наконец, имеется возможность получать намного более толстые пленки за один проход, что может оказываться предпочтительным, в особенности, с точки зрения свойств этих пленок;

наблюдается лучшее разложение предшественников в ходе реакций, происходящих в плазме. Как следствие, избегают присутствия органических остатков в пленках. Кроме того, нанесенные пленки будут более плотными и лучше кристаллизованы, следовательно, происходит улучшение как оптических, так и механических свойств нанесенных пленок; и

также возможно увеличивать многообразие образцов, наносимых на основу в форме пленки, вновь с меньшим воздействием на окружающую среду.

Само собой разумеется, то, что было описано выше для установки, используемой для групп основ, таких как предварительно разрезанные массы стекла (установка может, например, быть включена в линию для нанесения пленки магнетронным распылением), применяют с необходимыми изменениями, к установке, включенной в линию непрерывного производства стекла, использующую "флоат-процесс", как показано на фиг. 8. Установку затем помещают в печь для отжига, тогда температура основы может варьироваться между 20 и 600°C. Так как камера 106 при этом имеет открытый тип, необходимо также иметь мощные средства экстракции, которые удаляют остатки пиролиза и пыль, произведенную при процессе нанесения. Необходимо заметить, что установка, которая показана в фиг. 7, также может быть включена в промышленную линию отпусла стекла.

Фиг. 9 представляет собой вариант установки, показанной на фиг. 8. Если основа является изолятором, то возможно обходиться без дополнительных диэлектриков (14, 114).

Фиг. 10 представляет собой упрощенное представление одного варианта выполнения компенсирующей катушки индуктивности 20 для установки согласно изобретению. Эта катушка индуктивности 20, по существу, изготовлена из обмотки проволоки 22 вокруг сердечника 24. Так как напряжение между ее зажимами может быть 60 кВ, выбор материала, используемого для опоры сердечника обмотки, очень важен. Предпочтительно используют проволоку Acculon. Стержень плунжера 26 тщательно изолируют и механически связывают с установочным приспособлением 28, управляющим системой контроля, помещенной внутри этого сердечника 24. Ввиду специфических рабочих условий, с которыми эта катушка индуктивности должна сталкиваться при использовании, был принят ряд новшеств в практическом выполнении изобретения. Так, обмотку 22 изготавливают из пучка медных проводов 30 (см. фиг. 11), которые изолированы так, чтобы увеличивать поперечное сечение для ВЧ-тока (принимая во внимание по-

верхностный эффект), а также снижать нагревание. Тем самым возможно делить полный ВЧ ток на 50, производя пучок проводов, состоящий из 50 взаимно изолированных пучков. Шаг намотки устанавливается так, чтобы риск межвиткового образования дуги был настолько низок, насколько возможно. Следовательно, предпочтительна намотка, изготовленная из одного слоя, хотя это имеет следствием то, что устройство в целом большое. Положение магнитного стержня 26 и, следовательно, индуктивность катушки индуктивности 20 регулируют дистанционно так, чтобы эту операцию можно было проводить без опасности для оператора.

Для специалиста должно быть очевидно, что настоящее изобретение не ограничено типичными показанными вариантами исполнения изобретения и описанным выше.

Само собой разумеется, что также возможно использовать в первичном контуре емкостной устроитель напряжения (C_1 , C_2 , C_3) для того, чтобы получать высокочастотное напряжение при снижении числа витков трансформатора 602, размер которого тем самым заметно понижают.

Изобретение содержит каждую из новых особенностей, а также их сочетания. Присутствие большого количества ссылок не может быть рассмотрено как ограничение. Использование термина "содержит" или термина "включает" никоим образом не может исключать присутствия других элементов, отличных от указанных. Использование неопределенного артикля для введения элемента не исключает присутствия множества этих элементов. Настоящее изобретение было описано относительно специфических вариантов выполнения изобретения, которые являются чисто иллюстративными и не должны быть рассмотрены как ограничение.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ нанесения пленки одновременно на обе стороны неорганического субстрата, отличающийся тем, что он содержит следующие операции:

субстрат вводят в, или пропускают через реакционную камеру (106, 206), в которой помещают по меньшей мере два электрода (110, 210), на каждой стороне субстрата помещают по меньшей мере один диэлектрический барьер (14, 114) между по меньшей мере одной стороной субстрата и этими по меньшей мере двумя электродами (110, 210);

используют стабилизированный источник питания, который включает ВЧ-трансформатор, к зажимам вторичной обмотки которого присоединены по меньшей мере два электрода;

во вторичной цепи этого трансформатора генерируется стабилизированное высокочастотное напряжение для генерирования филаментной плазмы (12, 112, 212) на каждой стороне субстрата по меньшей мере между двумя электродами (110, 210);

для уменьшения сдвига фазы между напряжением и током, которые генерируются во вторичной цепи трансформатора, используют регулируемую катушку индуктивности (L), расположенную параллельно с собственной катушкой индуктивности цепи, содержащую по меньшей мере два электрода;

в реакционную камеру (106, 206) на каждой стороне субстрата вводят смесь (108, 208), которая при контакте с плазмой разлагается и генерирует продукты для нанесения в виде пленки на соответствующую сторону субстрата; регулируют напряжение и/или частоту, подаваемые цепью генератора и/или индуктивностью катушки индуктивности (L), для генерирования гармоник, увеличивающих промежутки времени, в течение которого между электродами протекает ток.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что состав смесей, вводимых в реакционную камеру (106, 206) на каждой стороне субстрата, идентичен.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что состав смесей, вводимых в реакционную камеру (106, 206) на каждой стороне субстрата, различен и генерируются продукты для нанесения в виде пленок различной природы на соответствующую сторону субстрата.

4. Способ по любому из пп.1-3, отличающийся тем, что смеси, вводимые в реакционную камеру (106, 206) на каждой стороне субстрата, ограничивают в двух отдельных зонах механическими барьерами и/или устройствами всасывания и/или доставки.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что активируют, в основном, гармоники третьего порядка и пятого порядка.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что он дополнительно включает следующую операцию: изменение положения и/или конфигурации по меньшей мере одного электрода (10, 110, 210).

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что он дополнительно включает следующую операцию: приведение атмосферы в камере (6, 106, 206) к заданному давлению.

8. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что используют открытую камеру (6, 106), содержащую зону ввода и зону вывода основы.

9. Способ по любому из пп.1-7, отличающийся тем, что используют закрытую камеру (206).

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что используют субстрат (2), являющийся изолятором, который сам образует по меньшей мере один из диэлектрических барьеров (14, 114).

11. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что используют субстрат (2), являющийся проводником, который сам формирует один из электродов.

12. Установка для нанесения пленки одновременно на обе стороны субстрата (2), которая содержит камеру (106, 206), средства транспортировки и средства обеспечения введения субстрата в камеру, стабилизированный высокочастотный источник питания высокого напряжения, содержащий ВЧ-трансформатор, к клеммам вторичной обмотки которого присоединены по меньшей мере два электрода (110, 210), причем указанные электроды помещены на каждой стороне субстрата (2), по меньшей мере один диэлектрический барьер (14, 114) помещен по меньшей мере между одной стороной субстрата и этими по меньшей мере двумя электродами (110, 210); средства регулирования/контроля источника питания, помещенные перед ВЧ-трансформатором, средства (108, 208) для введения реакционноспособных веществ в камеру (106, 206) и средства для экстрагирования остаточных веществ, отличающаяся тем, что во вторичную цепь трансформатора параллельно с контуром, содержащим по меньшей мере два электрода, помещена регулируемая катушка индуктивности (L) для уменьшения сдвига фаз между напряжением, генерируемым между электродами (10, 110, 210), и полным током, поставляемым модулирующим источником высокого напряжения, а средства регулирования источника питания, помещенные на первичной стороне трансформатора, и/или средства регулирования катушки индуктивности (L) обеспечивают генерирование гармоник, увеличивающих промежутки времени, в течение которого ток проходит между электродами.

13. Установка для нанесения по п.12, отличающаяся тем, что камера (106) открыта с обеих ее концов.

14. Установка для нанесения по п.12, отличающаяся тем, что камера (206) закрыта с обеих ее концов.

15. Установка для нанесения по любому из пп.12 и 13, отличающаяся тем, что она включена в линию производства листового стекла, причем камера (106) помещена в печь для отжига стекла, а средства поддержки субстрата содержат по меньшей мере один ролик.

16. Установка для нанесения по любому из пп.12-14, отличающаяся тем, что она включена в линию отпуска стекла.

17. Установка для нанесения по любому из пп.12-14, отличающаяся тем, что она включена в линию нанесения, работающую при низком давлении.

18. Установка для нанесения по любому из пп.12-17, отличающаяся тем, что мощность установки составляет по меньшей мере 100 кВт.

19. Установка для нанесения по п.18, отличающаяся тем, что мощность установки составляет по меньшей мере 200 кВт.

20. Установка для нанесения по п.19, отличающаяся тем, что мощность установки составляет по меньшей мере 500 кВт.

21. Установка для нанесения по любому из пп.12-20, отличающаяся тем, что катушка индуктивности содержит

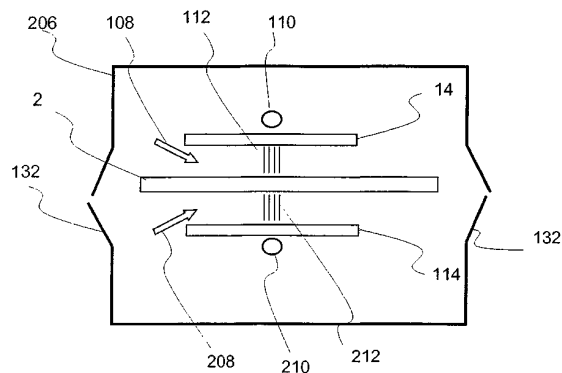
обмотку (22), состоящую из пучка проводящих элементов (30), изолированных друг от друга, которые намотаны вокруг сердечника (24);

стержень магнитного плунжера (26), помещенный внутри этого сердечника (24) и изолированный от этого сердечника (24);

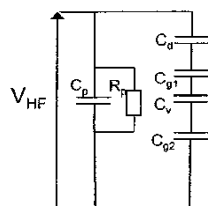
установочное приспособление (28), присоединенное к стержню плунжера (26);

изолирующее соединение, присоединяющее стержень плунжера (26) к установочному приспособлению; и

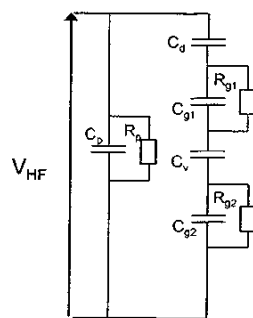
систему управления, способную действовать на установочное приспособление так, чтобы регулировать положение магнитного стержня плунжера (26) относительно сердечника (24).



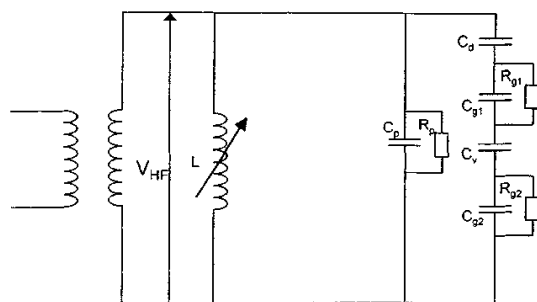
Фиг. 1



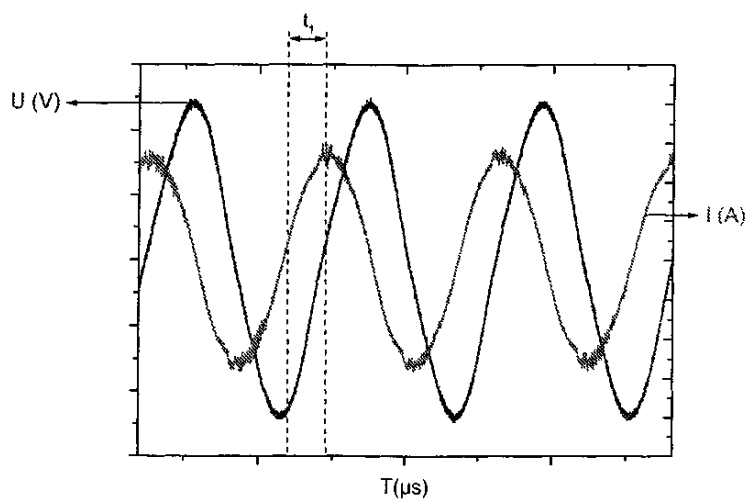
Фиг. 2



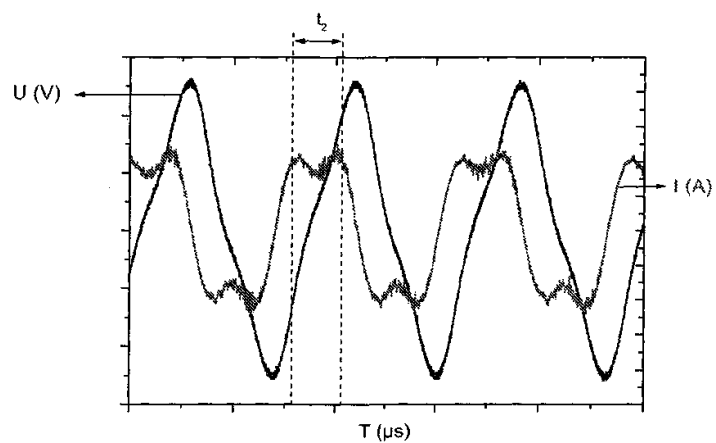
Фиг. 3



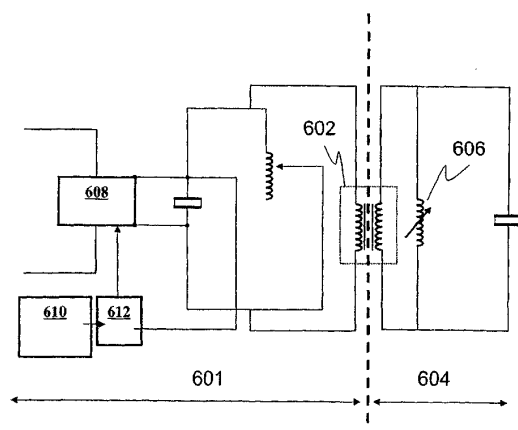
Фиг. 4



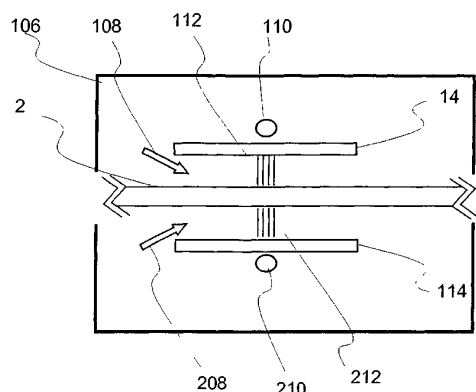
Фиг. 5



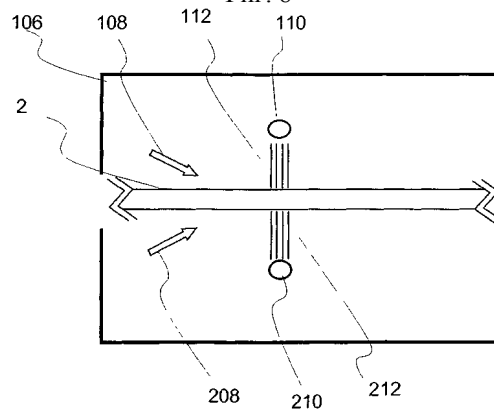
Фиг. 6



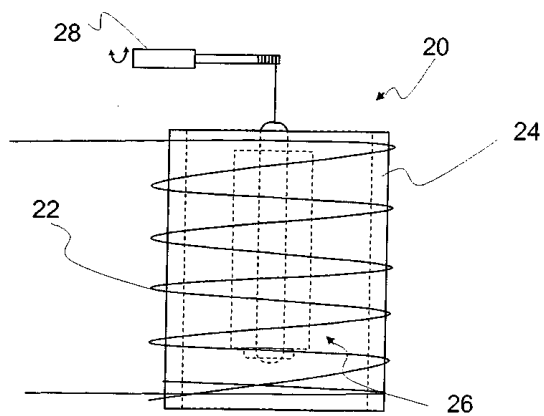
Фиг. 7



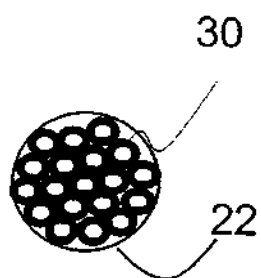
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

