

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11)

**030379**

(13)

**B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации  
и выдачи патента: **2018.07.31**

**(51)** Int. Cl. *H05H 1/00* (2006.01)  
*H01L 21/469* (2006.01)

**(21)** Номер заявки: **201400545**

**(22)** Дата подачи: **2009.08.04**

**(54) СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛАЗМЕННО-ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ (ВАРИАНТЫ)**

**(31)** 61/137,839

**(32)** 2008.08.04

**(33)** US

**(43)** 2014.08.29

**(62)** 201100298; 2009.08.04

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:

**ЭЙ-ДЖИ-СИ ФЛЕТ ГЛАСС НОРТ  
ЭМЕРИКЕ, ИНК. (US); АСАХИ ГЛАСС  
КО., ЛТД (JP); ЭЙ-ДЖИ-СИ ГЛАСС  
ЮЭРОП (BE)**

**(72)** Изобретатель:  
**Машвиц Питер (US)**

**(74)** Представитель:  
**Веселицкая И.А., Кузенкова Н.В.,  
Веселицкий М.Б., Каксис Р.А., Белоусов  
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В. (RU)**

**(56)** US-B1-6444945

US-A1-20060177599

US-A1-20050040037

US-A-5028791

US-B2-7307383

US-B1-6293222

Garcia-Cespedes J., Rubio-Roy M., Polo M.C., Pascual E., Andujar J.L., Bertran E. "Carbon nanotubes grown by asymmetric bipolar pulsed-DC PECVD", *Diamond and Related Materials*, vol. 16, p. 1131-1135, 25 January 2007 (abstract) [online]. Retrieved from the Internet on [10 September 2009]. Retrieved from: <URL: [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=MIimg&\\_imgkey=B6TWV-4MWXT86-1-1&\\_cdi=5572&\\_user=10&orig=search&\\_coverDate=07%2F31%2F2007&\\_sk=999839995&view=c&wchp=dGLzVtz-zSkzk&md5=01d9c2bb2d54473cbac59c58eb001efc&ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imgkey=B6TWV-4MWXT86-1-1&_cdi=5572&_user=10&orig=search&_coverDate=07%2F31%2F2007&_sk=999839995&view=c&wchp=dGLzVtz-zSkzk&md5=01d9c2bb2d54473cbac59c58eb001efc&ie=/sdarticle.pdf) Entire document, especially, table 1, p. 1133

US-A-5874807

**(57)** В изобретении представлены способы формирования покрытия с использованием плазменно-химического осаждения из газовой фазы с использованием плазмы линейной или двумерной формы при, по существу, отсутствии тока Холла. При этом обеспечивается образование химической связи или конденсирование на поверхности подложки химического фрагмента газ-прекурсора, содержащего нужный химический элемент для покрытия, или формируются конденсируемые молекулярные образования, которые сцепляются по меньшей мере с одной поверхностью подложки. Предложенные способы обеспечивают эффективный процесс получения тонкопленочных покрытий.

**B1****030379****030379****B1**

### Ссылки на родственные заявки

Настоящая заявка претендует на приоритет предварительной заявки US 61/137839, поданной 4 августа 2008 г., полностью включенной в настоящую заявку посредством ссылки.

### Область техники

В целом, изобретение относится к нанесению тонких пленок и химического модифицирования поверхностей с использованием источника плазмы, в частности настоящее изобретение относится к использованию линейного источника плазмы для плазменно-химического осаждения из газовой фазы.

### Уровень техники

Все упоминаемые здесь патенты и патентные заявки США полностью включены в настоящее описание посредством ссылки. В случае разночтений считать правильным настоящее описание, включая определения.

Нанесение тонких пленок может выполняться с использованием различных технологий, из которых наиболее распространенные включают химическое осаждение, физическое осаждение и комбинации этих двух методов. К наиболее известным технологиям химического осаждения относятся гальваническое покрытие, осаждение из химического раствора и химическое осаждение из газовой фазы (ХОГФ или CVD - от англ. chemical vapor deposition). При гальваническом покрытии и осаждении из химического раствора обычно используются жидкие исходные химические вещества (прекурсоры), в то время как для ХОГФ обычно используются газообразные исходные химические вещества. Эти методы могут быть реализованы как при атмосферном давлении, так и в вакууме. Среди технологий физического осаждения наиболее известны термовакuumное напыление, металлизация распылением, импульсно-лазерное напыление и катодно-дуговое напыление. В этих технологиях физического осаждения для нанесения нужных тонкопленочных материалов обычно используется вакуумная среда. Среди технологий химического осаждения наиболее распространенной является ХОГФ, в то время как наиболее распространенным методом физического осаждения является металлизация распылением.

Для ХОГФ обычно требуется наличие источника энергии для того, чтобы создать условия для сцепления или прилипания газа-прекурсора к поверхности подложки. В противном случае адгезии к поверхности не происходит. Например, в пиролизическом ХОГФ процессе, когда требуется нанесение тонкопленочного покрытия на плоскую поверхность стекла, обычно требуется подогрев поверхности стекла. Нагретая поверхность стекла действует как источник энергии ХОГФ, и когда газ-прекурсор соприкасается с нагретой стеклянной подложкой, газ-прекурсор сцепляется с горячей поверхностью стекла. Нагретая поверхность также служит источником энергии, способствующей химической реакции газа-прекурсора для формирования результирующего состава тонкопленочного покрытия.

Плазма также может выступать в качестве источника энергии для процесса ХОГФ-типа, известного под названием плазменно-химического осаждения из газовой фазы (ПХОГФ или PECVD - от англ. plasma enhanced chemical vapor deposition). Плазма состоит из частично ионизированного газа и свободных электронов, и каждый ее компонент имеет возможность независимого перемещения. Независимое перемещение делает плазму электропроводящей, благодаря чему она может реагировать на электромагнитные поля. Эта электропроводность сообщает ПХОГФ процессу ряд преимуществ по сравнению с другими известными технологиями химического и физического осаждения.

В ПХОГФ процессе источником наносимого материала обычно является газ-прекурсор. Примеры таких газов хорошо известны специалистам. Например, если должна быть нанесена тонкая пленка на основе кремния, в качестве газа-прекурсора обычно используется силан  $\text{SiH}_4$ . Когда силан подвергается воздействию плазмы, плазма повышает энергетический уровень молекулы настолько, что она вступает в реакцию с поверхностью и прикрепляется в виде плотного слоя. В частности,  $\text{SiH}_4$  ионизируется с перемещением его электронов на более высокий энергетический уровень. Это сопровождается в результате потерей атомов водорода. Ионизированные молекулы имеют открытые реакционные центры и в присутствии газового реагента, например кислорода, могут легко образовывать тонкую пленку  $\text{SiO}_2$ . Если газовый реагент отсутствует, то может образовываться тонкая пленка кремния. Многие элементы могут использоваться в качестве газ-прекурсоров химических реакций, и поэтому существует много элементов и материалов, которые могут быть нанесены с использованием ПХОГФ процесса. К тонким пленкам, которые могут быть нанесены посредством ПХОГФ процесса, относятся прозрачные проводящие тонкопленочные покрытия, солнцезащитные пленки и оптические тонкопленочные покрытия и полупроводниковые тонкопленочные покрытия, а также и другие покрытия. Покрытия других типов, которые могут быть нанесены ПХОГФ процессом, известны специалистам и применяются ими.

Таким образом, создание плазмы вблизи поверхности является распространенным в промышленности приемом, в частности в технологии покрытий. Для генерирования и формирования плазмы было разработано большое количество устройств. В большинстве известных устройств создается плазменный факел цилиндрической формы, который имеет множество применений для нанесения покрытий и обработки поверхности. Однако линейная плазма (линейной формы) может иметь и другие практические применения. Линейная плазма может быть использована для обработки подложек с большой площадью, что необходимо для нанесения покрытий на стекла большой площади, ленты и большие партии изделий.

Наиболее известные из существующих ПХОГФ установок предназначены для нанесения покрытий

на небольшие площади (т.е. менее 1 м<sup>2</sup>), поскольку большинство источников плазмы имеют очень малую длину и могут использоваться для покрытия очень небольших площадей. Таким образом, использование ПХОГФ для нанесения покрытий на больших площадях встречало трудности. Тем не менее, существовали ПХОГФ устройства, предназначенные для покрытия поверхностей большой площади. К таким устройствам относятся магнетронные источники, источники ионов с жидким анодом и источники Мэдокса.

Использование упомянутых ПХОГФ установок для нанесения покрытий на поверхности большой площади имеет однако определенные недостатки. Магнетронные источники, например, весьма громоздки, обычно размером 150 мм в ширину и 300 мм в глубину, и используют магниты. Кроме того, при использовании для ПХОГФ на поверхности магнетронного источника оседает материал покрытия, и в результате магнетрон становится изолированным, что может привести к образованию дугового разряда и другим осложнениям. Далее, разбрызгиваемый материал загрязняет материал покрытия. Источники ионов с жидким анодом, например, имеют те же недостатки, что и магнетронные источники, они также громоздки, для них требуются магниты и на них также оседает покрытие. Помимо этого источники ионов с жидким анодом обычно наносят ПХОГФ материалы медленно, 0,1 мкм/с. Источники Мэдокса также громоздки, используют магниты и обладают низкой эффективностью покрытия, примерно 15%. Кроме того, все три упомянутых источника для создания однородной плазмы используют замкнутый дрейф электронов (например, эффект Холла).

Существует возможность создания однородной плазмы без использования замкнутого дрейфа электронов, или эффекта Холла. Обычно для этого используют две электронно-активные (испускающие электроны) поверхности, установленные, в целом, параллельно друг другу и соединенные друг с другом в противофазе через источник переменного напряжения так, что образуют противоположные полюса. Когда к обеим электронноактивным поверхностям приложено напряжение, может возникнуть плазма. Полярность напряжения, приложенного к электронно-активным поверхностям, изменяется с положительной на отрицательную с некоторой заданной частотой, и образуется широкий и однородный поток плазмы.

Были разработаны источники плазмы на основе параллельных электронно-активных поверхностей. Одним из таких источников является источник с полым катодом, например, описанный в US 6444945. В частности, описанный в US 6444945 источник плазмы включает конструкцию, состоящую из двух полых катодов, подключенных к двуполярному источнику питания переменного тока, как показано на фиг. 1. Источник плазмы включает первую и вторую конструкции 1 и 2 полого катода. Конструкции 1 и 2 полого катода электрически соединены проводами 6 с источником 5 переменного тока, генерирующим переменное напряжение для возбуждения плазмы 3. В то время как одна из конструкций полого катода находится под отрицательным напряжением, другая конструкция полого катода находится под положительным напряжением, между ними создается перепад напряжений, вызывающий протекание тока между ними, замыкающего электрическую цепь. В варианте выполнения вблизи проемов каждого полого катода могут быть помещены магниты 4 для усиления тока плазмы между конструкциями 1 и 2 полых катодов. Однако раскрытые в US 6444945 полые катоды не предназначены для использования в каких-либо ПХОГФ процессах или для нанесения покрытий на поверхности большой площади.

Таким образом, сохраняется потребность в разработке технологии покрытий для больших площадей с использованием источника плазмы, или источника ПХОГФ, в котором может быть получена однородная и стабильная плазма достаточно большой длины, т.е. длиной более 0,5 м. Также требуется источник ПХОГФ, отличающийся компактностью и позволяющий наносить покрытия с высокой эффективностью. Кроме того, требуется ПХОГФ источник и процесс, отличающиеся меньшим энергопотреблением в процессе работы с тем, чтобы снизить эксплуатационные затраты.

#### **Сущность изобретения**

Согласно одной особенности изобретения создается стабильная однородная и длинная плазма.

Согласно еще одной особенности изобретения предложен источник плазмы, позволяющий сформировать стабильную однородную и длинную плазму.

Согласно еще одной особенности изобретения используется пара электронно-активных поверхностей, действующих как линейный источник плазмы.

Согласно еще одной особенности изобретения используется группа электронно-активных поверхностей, действующих как двумерный источник плазмы.

Согласно другой особенности изобретения предложен способ формирования стабильной однородной и длинной линейной плазмы.

Согласно другой особенности изобретения предложен способ формирования стабильной однородной и длинной двумерной плазмы.

Согласно другой особенности изобретения создается плазма, которая действует в качестве источника энергии для газов-прекурсоров.

Согласно другой особенности изобретения предложен способ подачи газов-прекурсоров к источнику плазмы.

Согласно еще одной особенности изобретения предложен способ формирования покрытий большой площади с использованием стабильной однородной и длинной плазмы.

Согласно еще одной особенности изобретения с помощью магнитов создается уплотненная плазма. Согласно еще одной особенности изобретения предложен способ изгиба источника уплотненной плазмы.

Согласно еще одной особенности изобретения предложен способ повышения эффективности покрытия для покрытий, получаемых ПХОГФ процессом.

Согласно еще одной особенности изобретения предложено ПХОГФ устройство, в котором создаются условия для потока вторичных электронов.

Эти и другие особенности изобретения достигаются в соответствии с предпочтительными вариантами осуществления изобретения посредством использования по меньшей мере двух электронно-активных поверхностей, соединенных друг с другом через источник питания переменного тока, где от источника переменного тока подается изменяемое или переменное двуполярное напряжение на две электронно-активные поверхности. В частности, по меньшей мере две электронно-активные поверхности соединены друг с другом через источник переменного тока так, что от источника переменного тока прикладывается двуполярная разность напряжений к двум электронно-активным поверхностям. Биполярный источник питания сначала подает на первую электронно-активную поверхность отрицательное напряжение, обеспечивая формирование плазмы, в то время как на вторую электронно-активную поверхность подается положительное напряжение с формированием на ней анода цепи приложения напряжения. Затем положительное напряжение подается на первую электронно-активную поверхность, и катод с анодом меняются местами. Когда на одну из электронно-активных поверхностей подается отрицательное напряжение, внутри соответствующей полости формируется заряд. Другой катод при этом становится анодом, заставляя электроны выходить из плазмы и устремляться в сторону анода, замыкая тем самым электрическую цепь.

Система двух электронно-активных поверхностей в соответствии с настоящим изобретением может работать в двух основных режимах - нормальном и термоионном. В нормальном режиме температура электронно-активных поверхностей поддерживается относительно низкой и регулируется посредством водяного охлаждения или иными способами охлаждения. В нормальном режиме работы на катод необходимо подавать напряжение величиной от нескольких сотен до нескольких тысяч вольт, при этом ток электронов остается сравнительно низким. В термоионном режиме работы допускается подъем температуры на электронно-активных поверхностях за счет нагрева плазмой или отдельным нагревающим устройством. Когда температура электронно-активных поверхностей становится высокой, эмиссия электронов возрастает, по меньшей мере, на порядок по сравнению с холодным катодом, в результате чего при сравнительно низком напряжении протекает большой разрядный ток катода. Температура, необходимая для работы в термоионном режиме, и напряжение, необходимое для эффективной работы, отчасти зависят от работы выхода электронов материала катода.

При необходимости в соответствии с настоящим изобретением могут быть использованы магниты и(или) дополнительные электроды в сочетании с расположением электронно-активных поверхностей. Использование магнитов и(или) дополнительных электродов позволяет уплотнить плазму, создаваемую ПХОГФ источником в соответствии с настоящим изобретением. Источник плазмы в соответствии с настоящим изобретением может быть использован в любых, без ограничения, применениях, где требуется стабильная однородная и длинная плазма, например для нанесения покрытий большой площади, например на монолитное стекло или стеклянную ленту.

Настоящее изобретение обеспечивает ряд определенных преимуществ и особенностей конструкции по сравнению с известными источниками плазмы. Помимо прочего сюда относятся: 1) устройство для создания плазмы в соответствии с настоящим изобретением может быть сделано очень компактным с расстоянием между двумя электронно-активными поверхностями, составляющим всего примерно 0,5 мм при полной высоте менее примерно 60 мм; 2) источник плазмы может быть сделан линейным и длинным, например более 0,5 м; 3) электронно-активные поверхности могут поддерживаться в чистоте газовой защитой и(или) термическим испарением (например, на поверхностях не остается покрытия); 4) энергия газа-прекурсора может быть увеличена нагревом или электрическим воздействием для достижения большей реакционной способности; 5) источник плазмы обеспечивает получение больших токов плазмы на единицу длины; 6) источник плазмы может создать плазму, плотность которой превышает плотность плазмы, получаемой в системах емкостного или диодного типа; и 7) плазма, создаваемая источником плазмы, может быть сделана двумерной.

Автор раскрытого изобретения обнаружил, что упомянутые преимущества обеспечивают получение: 1) большого тока вторичных электронов между поверхностями вторичных электронов; 2) высокой скорости нанесения покрытия на большой площади; 3) покрытий на большой площади, толщина которых может измеряться микронами, но имеющих небольшие напряжения; 4) покрытий на большой площади, толщина которых может измеряться микронами, но имеющих гладкую поверхность; и 5) покрытий на большой площади, толщина которых может измеряться микронами, но имеющих низкую матовость.

Ниже изобретение более подробно рассмотрено со ссылкой на прилагаемые чертежи.

### Краткое описание чертежей

- На фиг. 1 представлено известное устройство с полым катодом;  
 на фиг. 2 представлено базовое линейное ПХОГФ устройство в соответствии с настоящим изобретением;  
 на фиг. 3 представлена матрица базовых линейных ПХОГФ устройств, показанных на фиг. 2;  
 на фиг. 4 представлен сдвоенный полый катод в ПХОГФ устройстве в соответствии с настоящим изобретением;  
 на фиг. 5 представлена матрица полых катодов в ПХОГФ устройстве в соответствии с настоящим изобретением;  
 на фиг. 6 представлена линейная компоновка ПХОГФ устройства в соответствии с настоящим изобретением;  
 на фиг. 7 представлена другая линейная компоновка ПХОГФ устройства в соответствии с настоящим изобретением;  
 на фиг. 8 представлено ПХОГФ устройство в соответствии с настоящим изобретением, включающее магниты;  
 на фиг. 9 представлено ПХОГФ устройство в соответствии с настоящим изобретением, включающее третий электрод;  
 на фиг. 10 представлено ПХОГФ устройство в соответствии с настоящим изобретением, включающее ряд пористых стенок;  
 на фиг. 11 представлено линейное ПХОГФ устройство в соответствии с настоящим изобретением.

### Подробное описание изобретения

В то время как настоящее изобретение может иметь различные формы здесь приводится описание нескольких частных вариантов осуществления с учетом того, что настоящее описание предназначено для иллюстрации принципов изобретения, и приведенные примеры не следует воспринимать как ограничивающие изобретение только описанными и показанными здесь предпочтительными вариантами его осуществления. Различные варианты осуществления раскрыты здесь достаточно подробно, чтобы специалист был в состоянии осуществить изобретение. Следует понимать, что могут быть осуществлены и другие варианты, и что могут быть сделаны изменения конструкции и порядка работы в рамках существа или области притязаний настоящего изобретения.

В настоящем описании термин "темное пространство" означает узкую зону или область вокруг электрода, в которой ток плазмы очень мал. Как правило, между двумя электродами плазмы с противоположным зарядом или плазменным электродом и электродом с нулевым потенциалом, разнесенными интервалом темного пространства, тока практически нет.

Термин "полый катод" означает устройство формирования плазмы, обычно состоящее в основном из противоположащих катодных поверхностей и третьей расположенной вблизи них анодной поверхности. Противоположащие катодные поверхности разнесены настолько, что осцилляции электронов происходят между отрицательными электрическими полями поверхностей и заключены между ними.

Термин "газ-прекурсор" означает газ в виде молекул, содержащий химический элемент или элементы, которые должны быть сконденсированы в твердое покрытие. Элементы, которые должны быть сконденсированы из газа-прекурсора, могут включать металлы, переходные металлы, бор, углерод, соединения кремния с германием и(или) селен. Обычно молекулы прекурсора не обладают реакционной активностью либо не предрасположены к прикреплению на поверхность, пока им не сообщена энергия или они не подвергнуты частичному или полному разложению воздействием источника энергии, в результате чего фрагмент газа-прекурсора, содержащий нужный химический элемент для покрытия, может образовывать химическую связь с поверхностью или сконденсироваться на ней в твердом виде. Сконденсированная часть соединения прекурсора может представлять собой в основном простой элемент, смесь элементов, соединение, полученное из составных частей соединения прекурсора, или смеси соединений.

Термин "газ-реагент" означает кислород и(или) азот. Часто на поверхность требуется наносить соединения, которые не могут быть получены только от одного газа-прекурсора. Часто в ХОГФ процессе добавляют газы-реагенты, например кислород или азот, для образования оксидов или нитридов. К другим газам-реагентам могут относиться фтор, хлор, другие галогены или водород. Газ-реагент может отличаться от газа-прекурсора тем, что даже в состоянии возбуждения или химического разложения он не формирует конденсируемые молекулярные образования. Как правило, газы-реагенты или фрагменты газов-реагентов не могут сами по себе создать твердые покрытия, но вступив в реакцию, они могут быть включены в твердое покрытие, полученное из газов-прекурсоров или других источников твердого покрытия.

Термин "подложка" означает деталь либо малой, либо большой площади, которая должна быть покрыта, или поверхность которой должна быть модифицирована посредством настоящего изобретения. Подложки, упоминаемые в настоящем описании, могут состоять из стекла, пластика, неорганических материалов, органических материалов или любого иного материала, поверхность которого должна быть покрыта или модифицирована.

Термин "плазма" означает электропроводящую газовую среду, включающую как свободные элект-

троны, так и положительные ионы.

Термин "ток Холла" означает электронный ток, вызываемый скрещенными электрическим и магнитным полями. Во многих известных устройствах формирования плазмы ток Холла формирует замкнутый циркулирующий или кольцевой поток электронов.

Термин "питание переменного тока" или "источник питания переменного тока" означает электропитание от источника переменного тока, в котором напряжение изменяется с определенной частотой по синусоиде, в виде колебаний прямоугольной формы, импульсов или колебаний иной формы. Напряжение часто меняет полярность от отрицательной к положительной. При двуполярной форме напряжения питание, подаваемое по двум проводам, обычно имеет фазовый сдвиг примерно  $180^\circ$ .

Термин "термоионная" означает электронную эмиссию с поверхности, когда эмиссия значительно усиливается высокой температурой поверхности.

Температуры термоионной эмиссии обычно составляют примерно  $600^\circ\text{C}$  или более.

Термин "работа выхода" означает минимальную энергию, измеряемую в электрон-вольтах (eV), необходимую для извлечения электрона из твердой поверхности в точку непосредственно за ее пределами.

Термины "вторичный электрон" или "вторично-электронный ток" соответственно означают электронную эмиссию из твердой поверхности в результате бомбардировки этой поверхности частицами и создаваемый в результате ток.

Автор настоящего изобретения обнаружил, что длинная (например, более 0,5 м) стабильная и однородная линейная плазма, пригодная для применения в ПХОГФ процессах, может быть создана без использования замкнутого дрейфа электронов (например, эффекта Холла). Это может быть достигнуто путем использования по меньшей мере двух электронно-активных поверхностей, соединенных друг с другом через источник переменного тока, подающий изменяющееся или переменное двуполярное напряжение к двум электронно-активным поверхностям. В частности, по меньшей мере две электронно-активные поверхности соединены друг с другом через источник переменного тока так, что источник переменного тока прикладывает к двум электронно-активным поверхностям двуполярную разность напряжений. Двуполярный источник питания сначала подает отрицательное напряжение на первую электронно-активную поверхность, обеспечивая формирование плазмы, в то время как на вторую электронно-активную поверхность подается положительное напряжение, и она служит анодом в цепи приложения напряжения. Затем двуполярный источник подает положительное напряжение на первую электронно-активную поверхность, и поверхности меняются ролями катода и анода. Когда одна из электронно-активных поверхностей делается отрицательной, внутри соответствующей полости возникает разряд. При этом на другом катоде формируется анод, что заставляет электроны покидать плазму и перемещаться к другой стороне, замыкая тем самым электрическую цепь.

Электронно-активные поверхности в соответствии с настоящим изобретением генерируют плазму, и две поверхности по очереди подвергаются бомбардировке электронами или ионами. В результате бомбардировки электронно-активных поверхностей электронами или ионами из них происходит эмиссия вторичных электронов. Роль эмиссии вторичных электронов заключается в том, что поток вторичных электронов способствует созданию уплотненной плазмы. Электрический ток, включающий электроны и(или) ионы, протекает в пространстве между двумя электронно-активными поверхностями. Размеры этого пространства могут регулироваться расстоянием в зависимости от параметров процесса нанесения покрытия. Это расстояние может составлять от примерно 1 мм до примерно 0,5 м и определяется, отчасти, конструкцией устройства, формирующего плазму, и давлением рабочего газа, окружающего электронно-активные поверхности.

Для усиления электронной эмиссии электронно-активных поверхностей эти поверхности могут состоять из материала с низкой работой выхода, например тарированного вольфрама или других аналогичных материалов. В альтернативном варианте электронно-активные поверхности могут быть нагреты до температуры в интервале примерно  $600\text{-}2000^\circ\text{C}$  для усиления эмиссии, т.е. получения термоионной эмиссии. В предпочтительном варианте интервал температур составляет примерно  $800\text{-}1200^\circ\text{C}$ . Когда электронно-активные поверхности находятся при повышенной температуре для создания плазмы требуется меньшее напряжение. При повышенной температуре интервал напряжений может составлять примерно 10-1000 В. В предпочтительном случае интервал напряжений составляет примерно 30-500 В. При охлаждении электронно-активных поверхностей водой или иными средствами для создания плазмы требуется более высокое напряжение. При таких более низких температурах интервал напряжений может составлять примерно 100-2000 В. Предпочтительным интервалом напряжений является примерно 300-1200 В.

Электронная эмиссия также может быть усилена формированием плоского катода или использованием эффекта электронных осцилляций. Когда любая единая электронно-активная поверхность сформирована так, что состоит из двух противолежащих поверхностей, имеющих одинаковый электрический потенциал, могут возникать осцилляции электронов, которые заключены между этими двумя противолежащими поверхностями. Оптимальное расстояние между двумя электронно-активными поверхностями увеличивается с уменьшением давления. Обычно рабочие давления могут составлять от атмосферного до примерно  $10^{-4}$  миллибар. Предпочтительной величиной рабочего давления в соответствии с настоящим

изобретением является примерно  $1-10^{-3}$  миллибар. Поэтому при рабочем давлении газа, составляющем примерно 1 миллибар, оптимальное расстояние может составлять примерно 2-30 мм. В предпочтительном варианте расстояние составляет примерно 3-10 мм. При рабочем давлении газа примерно  $10^{-3}$  миллибар оптимальное расстояние может составлять примерно 10-100 мм. Предпочтительной величиной расстояния является примерно 10-30 мм. Длина плазмы в соответствии с настоящим изобретением может быть сделана больше или меньше путем изменения длины электронно-активных поверхностей. Плазма в соответствии с настоящим изобретением может быть сделана очень длинной более 0,5 м. В предпочтительном варианте настоящего изобретения длина плазмы составляет более 1 м.

Электронно-активные поверхности также могут состоять из пористого электропроводящего материала, например металла, графита, карбида кремния, диборида титана. Когда в конструкции электронно-активных поверхностей используются эти пористые материалы, газ-реагент также может подаваться через эти поверхности. Этот способ инъекции газа-реагента позволяет предотвратить соприкосновение газа-прекурсора со стенками и образование на них покрытия.

При необходимости число электронно-активных поверхностей может быть увеличено для формирования матрицы электронно-активных поверхностей, например, как показано на фиг. 3 и 5. Автор настоящего изобретения обнаружил, что такие матрицы электронно-активных поверхностей в состоянии формировать плазму, обладающую не только значительной длиной, но и шириной. Другими словами, матрицы, например, показанные на фиг. 3 и 5, способны формировать двумерную плазму. Такие ПХОГФ источники матричного типа обладают преимуществом перед теми, что имеют только две электронно-активные поверхности. Автор настоящего изобретения также обнаружил, что "темное пространство", существующее между электронно-активными поверхностями, находящимися под положительным и отрицательным напряжением, может использоваться для подачи газа-прекурсора и газа-реагента в пространство с переменным электронным током. Известно, что плазма не отклоняется в такие "темные пространства", и поэтому прекурсор и(или) газ-реагент могут подаваться вблизи подложки без какой-либо деградации или возникновения реакции газа-прекурсора и(или) газа-реагента до достижения ими поверхности подложки, на которую должно наноситься покрытие.

Хотя магниты и необязательны для создания однородной длинной и стабильной плазмы, в соответствии с настоящим изобретением магниты могут быть использованы с описываемыми источниками плазмы, и обеспечивать получение следующих преимуществ, которые, помимо прочего, включают: 1) магниты могут быть использованы там, где не возникает значительного тока Холла; 2) уплотненная плазма может формироваться сходящимися магнитными силовыми линиями; 3) магнитные силовые линии, используемые для создания уплотненной плазмы, могут проходить вблизи к поверхности подложки или даже сквозь нее; 4) в линиях тока между электронно-активными поверхностями может формироваться магнитное зеркало; и 5) уплотненную плазму можно заставить соприкасаться с дополнительным электродом.

Упомянутые преимущества устройства и источника плазмы в соответствии с настоящим изобретением имеют непосредственное влияние на технологию получения покрытий большой площади, например покрытий большой площади на стекле. Стекланные подложки покрываются тонкими пленками, которые включают: 1) диэлектрические тонкие пленки; 2) прозрачные проводящие пленки; 3) полупрозрачные тонкие пленки и 4) солнцезащитные тонкие пленки, а также и другие пленки. В соответствии с настоящим изобретением регулированием определенных параметров источников плазмы можно изменять свойства покрытий упомянутых видов, например кристаллическую структуру, прочность на разрыв и пористость.

В прозрачных проводящих тонкопленочных покрытиях большой площади степень кристалличности напрямую влияет на проводимость прозрачных проводящих пленок. Обычно большинство прозрачных проводящих слоев наносится напылением или ХОГФ на подложку, имеющую повышенную температуру. Именно благодаря повышенной температуре подложки наносимый проводящий материал получает энергию, необходимую для получения оптимальной электропроводности кристаллической структуры. Необходимость повышать температуру подложки, например стеклнной подложки, влечет за собой несколько недостатков. Помимо прочих эти недостатки включают: 1) нагревание и охлаждение подложки; 2) устройство, в котором можно осуществлять нагревание и охлаждение подложки; 3) затраты, связанные с нагреванием и охлаждением подложки; и 4) большие затраты времени, которое может понадобиться для нагревания и охлаждения подложки (по меньшей мере 1 ч). В источнике плазмы ПХОГФ устройства в соответствии с настоящим изобретением можно обойти эти недостатки, поскольку для нанесения прозрачных проводящих тонких пленок нет необходимости нагрева подложки. Вместо высокой температуры подложки источником энергии, которая способствует получению упорядоченной "оптической" кристаллической структуры покрытия, может быть сама плазма, и упомянутые недостатки могут быть устранены.

Что касается диэлектрических тонкопленочных покрытий большой площади, то методы ПХОГФ типа сложно осуществить при покрытии поверхности большой площади. Большинство диэлектрических пленок для таких покрытий поверхности большой площади наносится напылением. Эти методы использовались для получения диэлектрических покрытий относительно малой толщины, примерно 0,1 мкм и

менее. Таким образом, сегодня существуют ограничения на получение толстых, примерно 0,1 мкм или более, диэлектрических покрытий на поверхностях большой площади. Применение источника плазмы ПХОГФ устройства в соответствии с настоящим изобретением позволяет обойти эти ограничения, поскольку он обеспечивает высокие скорости нанесения покрытия, например по меньшей мере 0,2 мкм/с или более. Предпочтительная скорость нанесения покрытия составляет примерно 0,3 мкм/с. Наиболее предпочтительная скорость нанесения покрытия составляет примерно 0,5 мкм/с. Такая скорость нанесения, в свою очередь, позволяет получить более толстое диэлектрическое покрытие, когда предложенное в настоящем изобретении ПХОГФ устройство адаптировано для покрытия поверхности большой площади.

В получении полупроводниковых тонкопленочных покрытий большой площади, например тонкой пленки кремния на стекле для фотоэлектронных применений, возможности обычных методов нанесения полупроводниковых тонких пленок ограничены малой скоростью нанесения материала. Источник плазмы ПХОГФ устройства в соответствии с настоящим изобретением позволяет обойти это ограничение, поскольку обеспечивает высокие скорости нанесения, например по меньшей мере около 0,2 мкм/с или более. Такая высокая скорость нанесения, в свою очередь, позволяет получить более толстую полупроводниковую тонкую пленку, когда предложенное в настоящем изобретении ПХОГФ устройство адаптировано для покрытия поверхности большой площади.

Различные материалы, которые могут быть нанесены с использованием ПХОГФ устройства и способов, в соответствии с настоящим изобретением не ограничены только диэлектрическими материалами, прозрачными проводящими материалами и/или полупроводящими материалами. При необходимости использование ПХОГФ устройства и способов в соответствии с настоящим изобретением позволяет наносить и органические материалы. Например, органический мономер, подвергнутый воздействию плазмы описанного здесь ПХОГФ устройства, может получить энергию, достаточную для его полимеризации.

Приведенные далее варианты осуществления настоящего изобретения ни в какой мере не ограничивают изобретения. Специалисты поймут и оценят возможности изменения описанных здесь устройств и способов без отступления от существа или области притязаний настоящего изобретения.

На фиг. 2 представлен вариант осуществления настоящего изобретения, который изображает конструкцию из двух электронно-активных поверхностей 51 и 52, подсоединенных к источнику переменного биполярного электрического тока (не показан) так, что напряжения поверхностей 51 и 52 имеют разные фазы. Напряжения могут составлять от 300 до 1200 В, и как правило, когда одна поверхность находится под отрицательным напряжением, другая находится под положительным напряжением. Однако обе электронно-активные поверхности могут быть либо под положительным, либо под отрицательным напряжением, при условии, что имеется достаточная разность напряжений для формирования плазмы. Полярность напряжения может переключаться с заданной частотой, обычно в интервале 10-10<sup>8</sup> Гц. Предпочтительным интервалом частот в соответствии с настоящим изобретением является интервал примерно 10<sup>3</sup>-10<sup>7</sup> Гц. Вариант осуществления настоящего изобретения, показанный на фиг. 2, иллюстрирует компактность ПХОГФ источника, примерные размеры которого составляют 18 мм в ширину и 30 мм в высоту. Эти размеры много меньше размеров большинства известных обычных источников плазмы. Расстояние от днища ПХОГФ устройства, показанного на фиг. 2, до подложки 11 может составлять примерно от 3 до 100 мм. В предпочтительном варианте это расстояние может составлять примерно от 6 до 50 мм. Обычно подложка 11 движется с заданной скоростью под источником плазмы, однако при необходимости может быть и неподвижной.

Газ-прекурсор может впрыскиваться сквозь впускную трубку 55 в распределительный трубопровод 54 газа-прекурсора, затем попадает в область тока плазмы сквозь ряд отверстий 56 и взаимодействует с плазмой. При такой конфигурации создаваемая плазма несет большое количество энергии, которая может использоваться для активации, ионизации и(или) диссоциации молекул газа с очень высокой интенсивностью, благодаря чему нанесение покрытий может происходить с большой интенсивностью на подложке 11 большой площади. Если устройство, показанное на фиг. 2, приспособлено для ПХОГФ процесса, может быть реализована интенсивность нанесения покрытия, значительно превосходящая этот показатель для других известных линейных источников для нанесения покрытий на больших площадях. Было обнаружено, что скорость нанесения покрытия может достигать 0,5 мкм/с и более. Изолирующий слой 53 ограничивает пространство создания плазмы областью между электронно-активными поверхностями 51 и 52. Другими словами, изолирующий слой 53 не позволяет плазме покидать пространство, ограниченное электронно-активными поверхностями 51 и 52, и выходить в окружающую среду.

Было обнаружено, что плазма, формируемая между двумя поверхностями 51 и 52, расходится линейно и однородно вдоль длины поверхностей. При работе показанного на фиг. 2 ПХОГФ устройства создается плазма длиной примерно 200 мм. Однако длина плазмы может составлять несколько метров при сохранении ее стабильности и однородности. Специалисты, ознакомившись с приведенным раскрытием, смогут понять и оценить, что конкретные размеры ПХОГФ устройства в соответствии с настоящим изобретением могут быть изменены по сравнению с описываемыми здесь для изменения длины плазмы. Ток плазмы в области между поверхностями может быть относительно высоким, в интервале от 1 до 2 А

на 25 мм длины. Устройство отличается высоким энергопотреблением, которое может составлять десятки кВт на единицу длины.

На фиг. 2 и последующих чертежах распределительные трубопроводы и другие описанные здесь компоненты ПХОГФ источников показаны открытыми с одного конца только для целей иллюстрации. Обычно концы закрываются для удержания внутри газов-реагентов, газов-прекурсоров и плазмы, что смогут понять и оценить специалисты.

На фиг. 3 представлен вариант осуществления ПХОГФ источника, предложенного в настоящем изобретении. Фиг. 3 аналогична фиг. 2 в том, что в обоих вариантах осуществления электронно-активные поверхности показаны расположенными параллельно друг другу. В варианте на фиг. 3 число электронно-активных поверхностей было увеличено с 2 до 10 для формирования матрицы электронно-активных поверхностей. Конкретное число электронно-активных поверхностей не имеет ограничений и выбирается в соответствии с требованиями, что могут понять и оценить специалисты на основании приведенного раскрытия. Обычно могут использоваться от 4 до 20 электронно-активных поверхностей, однако при необходимости можно использовать и более 20. По мере увеличения числа пар электронно-активных поверхностей увеличиваются и возможности ПХОГФ устройства в отношении скорости нанесения покрытия. Уже достаточно высокая скорость нанесения покрытия, составляющая примерно 0,2 мкм/с, может быть удвоена, если число электронно-активных поверхностей будет увеличено до четырех, или утроена при увеличении их числа до шести (например, две электронно-активные поверхности соответствуют скорости нанесения покрытия по меньшей мере 0,2 мкм/с; четыре электронно-активные поверхности соответствуют скорости нанесения по меньшей мере примерно 0,4 мкм/с; шесть электронно-активных поверхностей соответствуют скорости нанесения покрытия по меньшей мере примерно 0,6 мкм/с). Такое повышение скорости нанесения покрытия может обеспечиваться присоединением к матрице дополнительных пар электронно-активных поверхностей.

Для того чтобы создать область электронного потока между каждыми смежными электронно-активными поверхностями, эти поверхности поочередно присоединены к полюсам биполярного источника питания или импульсного источника питания (не показан). В предпочтительном варианте соединение выполняется таким образом, что для любой данной поверхности напряжения двух поверхностей по обеим сторонам от нее не совпадают по фазе с напряжением на этой поверхности. Таким образом, фазы напряжений на первой электронно-активной поверхности 40 и второй электронно-активной поверхности 41, подключенных к источнику переменного или импульсного напряжения, отличаются друг от друга. На добавочные электронно-активные поверхности в оставшейся части матрицы напряжение может быть подано так, что каждые вторые поверхности матрицы электрически синфазны. Электрическое соединение делается так, чтобы по обеим сторонам каждой электронно-активной поверхности, за исключением концов матрицы, находились электронно-активные поверхности с отличающейся фазой. С наружной стороны электронно-активных поверхностей располагается изолирующая стенка 42, предотвращающая формирование плазмы снаружи матрицы.

С противоположной от подложки 11 стороны ПХОГФ устройства расположен ряд распределительных трубопроводов для газа-реагента и газа-прекурсора. Распределительные трубопроводы 43 для газа-реагента имеются для каждой области электронного тока и расположены так, что газ-реагент может протекать вдоль электронно-активной поверхности. Распределительные трубопроводы 44 для газа-прекурсора расположены так, что газ-прекурсор в основном протекает через середину области протекания электронного тока. Такое расположение распределительных трубопроводов 43 и 44 для газа-реагента и для газа-прекурсора предназначено для сокращения отложения материалов прекурсора на электронно-активных поверхностях 41 и 40. Соответственно с каждой областью протекания электронного тока связаны три трубопровода. В распределительные трубопроводы 44 для газа-прекурсора могут подаваться различные газы-прекурсоры с тем, чтобы формировать на подложке 11 многослойные покрытия, по мере прохождения ее мимо ПХОГФ устройства, показанного на фиг. 3. В качестве частного примера, если требуется покрытие на стекле со структурой: стекло/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>, в три последовательно расположенных распределительных трубопровода для газа-прекурсора могут подаваться соответствующие газы-прекурсоры, содержащие соответственно кремний, титан и олово.

В распределительные трубопроводы 43 газа-реагента также могут подаваться различные газообразные материалы. В качестве частного примера для получения слоя оксинитридного типа в распределительный трубопровод газа-реагента может подаваться кислород и азот. Газ-реагент и газ-прекурсор протекают из распределительных трубопроводов 43 и 44 сквозь отверстия 45 в изолирующей стенке 42. Три распределительных трубопровода 46 на фиг. 3 показаны обрезанными, чтобы можно было видеть ряд отверстий 45 для прохождения газа в область протекания тока.

Для покрытия или обработки поверхностей подложек большой площади матрица может иметь протяженность в длину по меньшей мере 2-3 м, что могут понять и оценить специалисты, ознакомившиеся с приведенным раскрытием. Конфигурация, показанная на фиг. 3, может быть вытянута вверх либо выйти за пределы поверхности листа.

Питание всей матрицы может производиться от одного источника питания (не показан). Было установлено, что при питании от одного источника не только происходит однородное распределение плазмы

по длине каждой поверхности, но она также однородно распределена и между электронно-активными поверхностями по всей матрице, что обеспечивает получение двумерной плазмы. Благодаря этой однородности распределения плазмы по двум координатам достигается неожиданно высокая скорость нанесения материала на подложку в ПХОГФ процессе, примерно 0,5 мкм/с или выше.

Автор настоящего изобретения обнаружил, что удлиненные полые катоды могут быть использованы в качестве ПХОГФ источника для нанесения покрытий на поверхности большой площади. Полые катоды представляют собой две поверхности, в целом, параллельные друг другу, на которые подаются электрические напряжения, отличающиеся по фазе, по аналогии с описанными электронно-активными поверхностями. При подаче напряжения нужной величины поверхности генерируют плазму, в результате чего происходит бомбардировка поверхностей электронами или ионами.

На фиг. 4 показан двойной полый катод в соответствии с настоящим изобретением. Полый катод 12 расположен в непосредственной близости к другому полному катоду 13. Отмечалось, что полые катоды состоят из материалов, обладающих электронной эмиссией. Электроизоляционный материал 14 расположен вокруг полых катодов и препятствует выходу плазмы из полых катодов наружу в окружающую среду. На фиг. 4 показаны области электронных осцилляций 16, происходящих между полыми катодами, и ток 15 вторичных электронов. Имеющийся ПХОГФ источник включает распределительный трубопровод 17 газа-прекурсора и впускную трубку 19 газа-прекурсора для подачи газов-прекурсоров, предназначенных для нанесения покрытия. Также имеются трубки 18 для подведения газов-реагентов.

В показанном на фиг. 4 ПХОГФ устройстве между полыми катодами 12 и 13 имеется пространство 20, известное как темное пространство. Темное пространство между сведенными полыми катодами, показанными на фиг. 4, не содержит плазмы и не позволяет току протекать между катодами, образуя благодаря этому канал для протекания газов-прекурсоров. Преимущество протекания газов-прекурсоров в темном пространстве 20 между двойными полыми катодами состоит в том, что из-за отсутствия плазмы в темном пространстве 20 исключено реагирование газов-прекурсоров или их деградация до достижения ими подложки 11, на которую наносится покрытие. Другими словами, в темном пространстве не может произойти ионизации газов-прекурсоров или реагентов. В варианте выполнения при необходимости темное пространство 20 может быть заполнено изолирующим материалом, если нет необходимости в протекании газа в этом пространстве. Ширина темного пространства 20 зависит от давления и может составлять примерно от 0,3 до 3 мм в интервале давлений примерно от 1 до  $10^{-3}$  миллибар.

Для нанесения покрытий на подложку большой площади или их обработки полые катоды могут быть сделаны длиной до по меньшей мере 2-3 м. Конструкция, показанная на фиг. 4, может быть удлинена вверх либо выйти за пределы поверхности листа.

На фиг. 5 представлен вариант осуществления ПХОГФ источника с полым катодом в соответствии с настоящим изобретением. Фиг. 5 аналогична фиг. 4 в том, что в обоих вариантах осуществления полые катоды прилегают друг к другу. На фиг. 5 однако число полых катодов увеличено с 2 до 4 с образованием матрицы полых катодов, расположенных рядом. Конкретное число полых катодов не имеет значения и может выбираться по необходимости, что могут понять и оценить специалисты на основании приведенного раскрытия. Обычно могут использоваться от 4 до 8 полых катодов, однако, при необходимости можно использовать и более 8.

Полые катоды, показанные на фиг. 5, включают электронно-активные поверхности 31 и 38, что способствует осцилляциям между этими двумя поверхностями. В устройстве, показанном на фиг. 5, на электронно-активные поверхности 31 подаются синфазно изменяющиеся напряжения. Фаза напряжения, подводимого к электронно-активным поверхностям 38, сдвинута относительно фазы напряжения, подводимого к электронно-активным поверхностям 31. Таким образом, для любой электронно-активной поверхности матрицы напряжения электронно-активных поверхностей с каждой стороны от нее не совпадают по фазе с напряжением на этой поверхности. Щель 32 предназначена для протекания тока и плазмы к соседним электронно-активным поверхностям. Пространство 33 между полыми катодами образует темное пространство. Темное пространство 33 в варианте выполнения может быть заполнено сплошным изолятором. Ширина темного пространства зависит от давления и может составлять примерно от 0,3 до 3 мм при давлении в интервале примерно  $1-10^{-3}$  миллибар. Темное пространство 33 может быть использовано для прохождения потока газа-прекурсора от труб 36 подачи прекурсора и распределительных трубопроводов 37 в область электронного тока 39 между электронно-активными поверхностями 31 и 38 и подложкой 11. Наружные поверхности полых катодов с каждого конца матрицы и сзади матрицы покрыты изолирующим материалом 34 для ослабления формирования плазмы сзади или по бокам ПХОГФ устройства, показанного на фиг. 5.

Газ-реагент может подаваться прямо в область электронных осцилляций по трубкам 35. Также по трубкам 35 могут подаваться различные газы-реагенты. В частном примере, если должен быть нанесен слой покрытия оксинитридного типа, то в распределительный трубопровод реагентов могут подаваться кислород и азот.

В распределительные трубопроводы 36 могут подаваться различные газы-прекурсоры, в результате чего на подложке 11 формируется многослойное покрытие по мере того, как она перемещается мимо ПХОГФ источника, показанного на фиг. 5. В частном примере, если требуется покрытие на стекле со

структурой: стекло/SiO<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub>/SnO<sub>2</sub>, в три последовательно расположенных распределительных трубопровода для газа-прекурсора могут подаваться соответствующие газы-прекурсоры, содержащие соответственно кремний, титан и олово. В тех случаях, когда требуется достижение высокой скорости нанесения покрытия одним материалом, один и тот же газ-прекурсор может вводиться в более чем один распределительный трубопровод 36 для газов-прекурсоров. При этом скорость нанесения покрытия, достигающая в такой конфигурации по меньшей мере примерно 0,2 мкм/с, может быть умножена на число пар полых катодов (например, одна пара полых катодов соответствует скорости нанесения по меньшей мере примерно 0,2 мкм/с; две пары полых катодов соответствуют скорости нанесения по меньшей мере примерно 0,4 мкм/с; три пары полых катодов соответствуют скорости нанесения по меньшей мере примерно 0,6 мкм/с).

Для нанесения покрытия на подложки большой площади или их обработки полые катоды могут быть вытянуты до длины по меньшей мере 2-3 м. На изображении, показанном на фиг. 5, удлинение может быть сделано вверх либо выйти за пределы плоскости листа.

Предложенный в настоящем изобретении ПХОГФ источник с компоновкой, показанной на фиг. 6, может быть назван "линейным" ПХОГФ источником. В ПХОГФ источнике, показанном на фиг. 6, газ-прекурсор и(или) газ-реагент могут проходить через область 25 тока плазмы. Электропроводящие стенки, включающие несколько поверхностей 21, 22, 23 и 24 электродов, прилегают друг к другу, и осцилляции электронов происходят между поверхностями электродов этих стенок, например между поверхностями 21 и 22 и 23 и 24. Может быть использован двуполярный источник питания 29 для подключения к поверхностям 21 и 22 и 23 и 24 электродов. Осцилляции электронов возникают, когда поверхности 21 и 22 электродов имеют отрицательное смещение относительно поверхностей 23 и 24 электродов. Это относительное смещение затем меняет полярность так, что поверхности 23 и 24 получают отрицательное смещение относительно поверхностей 21 и 22. Это изменение полярности с определенной частотой создает в области 25 плазмы переменный ток плазмы. Хотя это и не показано, электропроводящие стенки, включающие поверхности 21, 22, 23 и 24 электродов, могут быть покрыты на наружных поверхностях электрической изоляцией для подавления формирования плазмы на наружных стенках.

Поверхности 21, 22, 23 и 24 электродов могут быть электрически изолированы друг от друга электрическими изоляторами 30. Электрические изоляторы 30 также могут быть расположены между электропроводящими стенками, включающими поверхности 23 и 24, и распределительными трубопроводами 26, 27 и 28 для газов. Распределительный трубопровод 26 может быть использован для подачи газа-прекурсора, при этом газ-прекурсор проходит по центру между электропроводящими стенками, включающими поверхности 21, 22, 23 и 24 электродов. Распределительные трубопроводы 27 и 28 газов-реагентов направляют движение газов реагентов вдоль этих стенок, чтобы предотвратить нежелательные отложения от газа-прекурсора.

Таким образом, линейный ПХОГФ источник можно представить себе как "плазменную гамету", через которую газ-реагент и(или) газ-прекурсор вынуждены проходить. В этой конфигурации шансы возбуждения газа-реагента и(или) газов плазмы существенно увеличиваются благодаря расстоянию, которое должны пройти газы, чтобы достигнуть подложки 11, и воздействию на них при этом максимальной энергии плазмы в области плазмы. Для нанесения покрытия на подложки большой площади или их поверхностной обработки длина устройства может быть увеличена по меньшей мере до 2-3 м. На изображении, показанном на фиг. 6, удлинение может быть сделано вверх либо выйти за пределы плоскости листа.

На фиг. 7 показан ПХОГФ источник в соответствии с настоящим изобретением, который также может быть отнесен к линейному ПХОГФ источнику. В ПХОГФ источнике, показанном на фиг. 7, газ-прекурсор и(или) газ-реагент могут проходить сквозь область 25 осцилляции электронов и формирования плазмы. Электропроводящие стенки, включающие несколько поверхностей 21, 22, 23 и 24 электродов, расположены, прилегая друг к другу, и осцилляции электронов происходят между поверхностями электродов этих стенок, например между стенками 21 и 22 и 23 и 24 электродов. Для подключения к поверхностям 21 и 22 и 23 и 24 электродов может быть использован двуполярный источник питания. Осцилляции электронов возникают, когда на поверхности 21 и 22 электродов подается отрицательное смещение относительно поверхностей 23 и 24 электродов. Относительная полярность смещения между поверхностями 21, 22, 23 и 24 изменяется с некоторой частотой. Хотя это и не показано на чертежах, электропроводящие стенки, включающие поверхности 21, 22, 23 и 24 электродов, могут быть покрыты электрической изоляцией для подавления формирования плазмы снаружи стенок.

Поверхности 21, 22, 23 и 24 электродов могут быть электрически изолированы друг от друга электрическими изоляторами 30. Электрические изоляторы 30 также могут быть установлены между электропроводящими стенками, включающими поверхности 23 и 24 электродов, и распределительными трубопроводами 26, 27 и 28. На фиг. 7 для наглядности изображения концы стенок, формирующих плазму, и распределительных трубопроводов показаны открытыми. Обычно эти концы закрыты для предотвращения выхода газов-реагентов, газов-прекурсоров и плазмы, что должно быть понятно для специалиста при ознакомлении с приведенным раскрытием. Распределительный трубопровод 26 может быть использован для подачи газа-прекурсора, при этом газ-прекурсор проходит по центру между электропроводя-

щими стенками, включающими поверхности 21, 22, 23 и 24 электродов. Распределительные трубопроводы 27 и 28 газов-реагентов направляют движение газов-реагентов вдоль этих стенок, чтобы предотвратить нежелательные отложения от газа-прекурсора.

Таким образом, линейный ПХОГФ источник, показанный на фиг. 7, является еще в большей степени "плазменной гаметой", чем конструкция, показанная на фиг. 6, поскольку расстояние, которое газ-реагент и(или) газ-прекурсор вынуждены проходить, чтобы достигнуть подложки 11, еще больше, чем в конструкции на фиг. 6. Для нанесения покрытия на подложки большой площади, или их поверхностной обработки длина устройства может быть увеличена по меньшей мере до 2-3 м. На изображении, показанном на фиг. 7, удлинение может быть сделано вверх либо выйти за пределы плоскости листа.

На фиг. 8 показан ПХОГФ источник в соответствии с настоящим изобретением, в котором также установлены магниты. Использование дополнительно магнитного поля помогает отклонять поток электронов от обычной прямолинейной траектории движения между электронно-активными поверхностями. Благодаря этому уплотнение плазмы может быть осуществлено за пределами устройства, создающего поле. В случае если магнитные силовые линии включают эффект "магнитного зеркала", то может быть сформирована локализованная плазма с неожиданно высокой плотностью и энергией. Эта область с повышенной плотностью также может быть вытянута в полосу однородной высокоэнергетической плазмы для использования в модифицировании поверхности или нанесении покрытий на подложки большой площади.

Явление магнитного зеркала хорошо известно в области физики плазмы. Эффект магнитного зеркала возникает, когда для ускорения и направления движения электронов используются одновременно электрическое и магнитное поля. Если силовые линии магнитного поля сходятся в некоторой точке, то существует тенденция отражения и изменения на обратное направления движения направляющихся к ней и сходящихся электронов. В области схождения магнитных линий плотность электронов на единицу площади увеличивается, создавая область отрицательного электрического смещения. Благодаря наличию отрицательного заряда из этой области могут ускоряться положительные ионы, которые, в свою очередь, могут попасть на поверхность.

В источнике плазмы, показанном на фиг. 8, электроны генерируются первой электронно-активной поверхностью 70 и второй электронно-активной поверхностью 71. Показанные на фиг. 8 электронно-активные поверхности представляют собой полые трубы, включающие стенки, заключающие пространство с осциллирующей электронной плазмой. По трубкам 79 газ подводится к трубам 70 и 71. Как правило, это инертный газ, газ-реагент или их смесь. Вместо поверхностей, генерирующих осциллирующую электронную плазму, могут использоваться электронно-активные поверхности другого типа. В трубах 70 и 71 сделаны щели (не показаны) для создания каналов выхода электронов и ионов генерированной плазмы. На электронно-активные поверхности подается питание от биполярного источника переменного тока (не показан). При этом создается переменный с изменяющимся направлением движения поток электронов по каналу 72 плазмы и сквозь область 74 магнитного зеркала. Переменный поток электронов стремится расширить и равномерно распределить плазму в удлиненном устройстве. Авторы изобретения обнаружили, что однородность и стабильность характеристик плазмы могут сохраняться при ее длине до 4 м. Область 74 уплотненной плазмы обладает необычно высокой однородностью по всей этой длине, и плазма передает очень высокую энергию поверхности подложки 11. В случае, например, если подложка 11 представляет собой монолитное стекло или стеклянную ленту толщиной 3 мм, подъема температуры в течение нескольких секунд достаточно для разрезания стекла по линии вдоль плазмы. Желательно поддерживать движение подложки 11, чтобы избежать локального термического разрушения, особенно, если материалом является стекло, полимер или иной другой материал, подверженный термическому разрушению.

Область уплотненной плазмы 74 удерживается в контакте с подложкой 11 благодаря расположению одного или более магнитных полюсов 75 со стороны подложки, противоположной электронно-активным поверхностям. Одна часть магнитного поля проходит от области электронно-активных поверхностей, сквозь область 72 плазмы и далее сквозь подложку 11 в область 77 к полюсу, находящемуся за подложкой. Другая часть магнитной цепи состоит из линий поля, проходящих сквозь полюсные наконечники 78 и 79. Эти наконечники обычно изготавливаются из магнитопроводного материала, например железа. Между частями 77 и 78 полюсных наконечников магнитное поле проходит сквозь подложку 11 в область 76.

Большая энергия или распределение энергии по большей площади может быть достигнута путем увеличения числа магнитных полюсов за подложкой 11. Как правило, для улучшения работы магнитной цепи за подложкой 11 устанавливается нечетное число полюсов. Возможно много других конфигураций, если используется несколько пар электронно-активных поверхностей, а также дополнительные магнитные полюса. Специалисты смогут понять и оценить эти дополнительные конфигурации при ознакомлении с настоящим раскрытием.

Элемент 80 на фиг. 8 может соответствовать ряду различных компонентов конструкции. В простейшем случае это может быть стенка, перекрывающая пространство с плазмой для создания давления, удержания газа, экранирования или решения иных конструктивных задач. Элемент 80 может быть до-

полнительным источником атомов для покрытия, например источником для распыления, источником-испарителем или трубопроводом для распределения газа-прекурсора. Специалисты смогут понять и оценить эти конфигурации при ознакомлении с настоящим раскрытием.

Устройство, показанное на фиг. 8, имеет особенно большие преимущества, если уплотненная плазма соприкасается с поверхностью подложки, и наносимые на подложку атомы проходят от источников атомов для покрытия сквозь область 74 уплотненной плазмы перед налипанием на подложку. Если наносимые атомы или молекулы проходят сквозь область 74 уплотненной плазмы, эти материалы приобретают дополнительную энергию, что позволяет получить дополнительные свойства у нанесенного слоя. К важным свойствам, которые могут быть сообщены наносимому слою, относятся улучшенные защитные свойства, плотность слоя и улучшенные характеристики кристаллической структуры. Кроме того, также может быть осуществлена или улучшена кристаллизация в процессе последующей обработки или быстрым отжигом имеющегося покрытия.

Показанное на фиг. 8 устройство также может быть эффективным при использовании для химического модифицирования поверхности энергией плазмы, ионной бомбардировкой или химически активными газами, содержащимися в плазме. Для использования в целях покрытия или обработки поверхности подложек большой площади устройство может иметь длину по меньшей мере 2-3 м. Конфигурация, показанная на фиг. 8, может быть вытянута вверх либо выйти за пределы поверхности листа.

На фиг. 9 представлен ПХОГФ источник в соответствии с настоящим изобретением, включающий дополнительный третий электрод. Этот третий электрод может ускорять электроны из плазмы, формируемой двоеконтурными электронно-активными поверхностями, при подаче на него электрического напряжения. Это напряжение не связано с напряжением, приложенным к электронно-активным поверхностям, и может создавать не изменяющееся положительное или отрицательное смещение (постоянный ток) либо изменяющееся в форме какого-либо переменного напряжения. Переменное напряжение может быть плавно изменяющимся или импульсным. Оно может быть синхронизировано с напряжением на электронно-активных поверхностях. Требования к этому напряжению определяются конкретным применением ПХОГФ источника, показанного на фиг. 9, что смогут понять и оценить специалисты при ознакомлении с настоящим раскрытием. Конфигурация третьего электрода может включать магнитные поля для удержания электронов или отклонения их нужным образом. Другие комбинации оборудования и размещения третьего электрода смогут понять и оценить специалисты при ознакомлении с настоящим раскрытием.

В устройстве, показанном на фиг. 9, плазма формируется первой электронно-активной поверхностью 100 и второй электронно-активной поверхностью 101. Электронно-активные поверхности 100 и 101 создают колебательные электроны. В варианте выполнения они могут иметь водяное охлаждение посредством четырех труб 102 водяного охлаждения. Плазма 102 формируется между обращенными друг к другу электронно-активными поверхностями 100 и 101 или внутри каждой из них. Электропроводящий третий электрод 105 с каждого конца изолирован от непосредственного электрического контакта с электронно-активными поверхностями посредством изоляторов 104. От электрода 105 или в направлении к нему может быть ускорен пучок ионов очень большой длины, но с малой шириной и высотой.

При практическом применении ПХОГФ источника, показанного на фиг. 9, третий электрод 105 может быть подсоединен к источнику питания, обеспечивающему получение сильноточных импульсов высокого напряжения отрицательной полярности. Под воздействием таких импульсов положительные ионы ускоряются к поверхности третьего электрода 105, в результате чего происходит напыление или эрозия этой поверхности за счет бомбардировки ионов. Распыленные атомы в основном направляются от поверхности электрода для формирования покрытия на поверхности 11 подложки. Этот способ позволяет получать покрытия из материалов, которые обычно трудно осуществить магнетронным распылением, например магнитных материалов. Плазма 103 представляет собой необычайно эффективный источник ионов для такого применения благодаря своей высокой плотности и высокому току плазмы. Возможная длина покрытия, достижимая в этом способе напыления, недоступна для эффективной реализации в других устройствах. Для покрытия или обработки поверхности подложек большой площади длина устройства может составлять по меньшей мере 2-3 м. Конфигурация, показанная на фиг. 9, может быть удлинена вверх либо выйти за пределы поверхности листа.

ПХОГФ источник, показанный на фиг. 9, также может использоваться в качестве источника ионов для бомбардировки. При подаче на третий электрод 105 положительного смещения либо не меняющимся (постоянный ток), либо переменным напряжением ионы могут быть ускорены в направлении к подложке.

На фиг. 10 представлен другой вариант осуществления ПХОГФ источника в соответствии с настоящим изобретением. На фиг. 10 показана конструкция со двоеконтурным полым катодом, в которой противлежащие электронно-активные поверхности 81, 82, 83 и 84, формирующие две области 92 и 93 электронных осцилляций, между которыми протекает ток плазмы, содержат пористые проводящие материалы. Было обнаружено, что эффект электронных осцилляций сохраняется, когда противлежащие электронно-активные поверхности 81, 82, 83 и 84 не состоят из сплошной проводящей стенки. Поверхности 81, 82, 83 и 84 могут включать проволочную сетку, спеченный пористый металл, пластины с просвер-

ленными отверстиями либо любой иной проводящий материал, обеспечивающий прохождение сквозь него газа или составных компонентов плазмы. В некоторых случаях это дает возможность формировать в порах пористых электронно-активных поверхностей прямой сквозной канал для прохождения ускоренных частиц, например ионов, без столкновения с твердой поверхностью. Пористость электронно-активных поверхностей может достигать примерно от 75 до 0,1%. Предпочтительным интервалом является интервал примерно от 50 до 1%. Поры могут быть разнообразной формы, включая щели, квадратные или круглые отверстия или иной формы. Электронно-активные поверхности могут быть сделаны из проводящего вспененного или спеченного материала.

Подача газа в область плазмы может осуществляться различными способами. В варианте, показанном на фиг. 10, рабочий газ впрыскивается сквозь трубку 88, проходя далее через отверстие 90 в электроизолирующей стенке 85. Расстояние между изолирующими стенками 85 может составлять от примерно 2 мм до примерно 1 м. Было обнаружено, что плазма расходится однородно вне зависимости от расстояния. Если источник вытянут (вверх, в ориентации на фиг. 10), его длина может составлять примерно от 10 мм до 4 м. Плазма распределена по этой длине равномерно, и при необходимости может быть сформирована большая двумерная плоская поверхность плазмы.

На фиг. 10 показан вариант выполнения с магнитами 86, имеющими полюсные наконечники 87. В этой конфигурации плазма 92 и 93 концентрируется на подложке 11 сходящимися силовыми линиями поля магнита, расположенного со стороны подложки 11, противоположной устройству, формирующему плазму. Магнитные силовые линии проходят сквозь подложку в область, где плазма 92 соприкасается с поверхностью, и в область 91 сквозь магнитопроводные полюсные наконечники 87. Изолирующая стенка 89 отделяет область плазмы от магнита.

На фиг. 11 представлен ПХОГФ источник в соответствии с настоящим изобретением. На фиг. 11 электронно-активные поверхности, показанные на фиг. 6, повторены несколько раз с образованием матрицы. В этой конфигурации повторяющиеся пары противоположных поверхностей 110 и 111, формирующих осциллирующую электронную плазму, выстроены в ряд. Число электронно-активных пар может составлять от одной, как на фиг. 6, до десятков. Все они могут быть электрически соединены с одним двуполярным источником 117 питания двумя проводами 118 и 119. Все противоположные электронно-активные поверхности 111 ряда, ближайшего к подложке 11, могут быть соединены проводом 119 для генерирования плазмы 114. Весь ряд противоположных электронно-активных поверхностей 110 может быть электрически объединен другим проводом 118, подводящим переменное напряжение, отличающееся по фазе от фазы напряжения ряда 111, для генерирования плазмы 113. Было обнаружено, что несмотря на то, что питание производится от одного источника питания, плазма однородно распределена по ширине вдоль пар, составляющих матрицу. Плазма также сохраняет однородность по длине при длине источника до 4 м.

Газы-прекурсоры и газы-реагенты могут подаваться через отдельные распределительные трубопроводы 114 и 115. В предпочтительном варианте газ-прекурсор инжектируется сквозь центральный распределительный трубопровод 114. В предпочтительном варианте газ-реагент инжектируется через распределительные трубопроводы 115 так, чтобы газ-реагент протекал вдоль электронно-активных поверхностей 110 и 111, для уменьшения оседания покрытия на этих поверхностях. В варианте выполнения электронно-активные поверхности 110 и 111 могут охлаждаться водой, проходящей по каналам 112.

Матрица, показанная на фиг. 11, может быть использована для нанесения материалов покрытия на подложку 11 с очень высокой скоростью нанесения при использовании одного прекурсора. Могут быть достигнуты скорости нанесения покрытия, недоступные существующим обычным ПХОГФ устройствам, примерно 0,5 мкм/с. Устройство также может работать с различными газами-прекурсорами, инжектируемыми в разные пары электронно-активных поверхностей, для создания многослойного покрытия. Возможность создания многослойного покрытия одним устройством, ширина которого составляет всего 50 мм при длине до 4 м, также отсутствует в современной технологии ПХОГФ покрытий.

Пример.

Ниже описывается покрытие из двуокиси кремния, полученное в ПХОГФ устройстве, изображенном на фиг. 5. Общая длина ПХОГФ устройства составляет примерно 150 мм, а ширина примерно 50 мм. Расстояние от дна электродов в виде полых катодов до верхней поверхности стеклянной подложки выдерживалось равным 11 мм. Всего использовалось четыре полых катода, расположенных рядом друг с другом и подсоединенных к источнику переменного тока. Газ-прекурсор подводился к темному пространству 33 по питающим трубкам 36 с расходом 100 стандартных см<sup>3</sup>/мин. В качестве газа-прекурсора использовался 100%-ный тетраметилдисилоксан. Газ-реагент подводился к темному пространству по питающим трубкам 35. В качестве газа-реагента использовался 100%-ный кислород, подводимый с расходом 300 стандартных см<sup>3</sup>/мин. В качестве подложки использовалось полированное известково-натриевое стекло, неподвижно закрепленное под ПХОГФ источником, показанным на фиг. 5. В качестве источника питания использовался источник питания переменного тока частоты 40 кГц Advanced Energy PE-II. Размер покрываемой площади на подложке 11 составлял 50×100 мм. Результаты процесса покрытия приведены в таблице.

Параметры режима нанесения тонкопленочного покрытия, описанного в примере 1

Напряжение, (Вольт)	Ток, (Ампер)	Мощность, (Ватт)	Время нанесения покрытия (секунд)	Толщина (микрон)
354	8,4	3000	10	6,0

Как показано в таблице, тонкопленочное покрытие из двуокиси кремния наносилось на неподвижную стеклянную подложку в течение 10 с для получения тонкой пленки двуокиси кремния толщиной 6 мкм. Это дает скорость нанесения покрытия, равную 0,6 мкм/с. Ни в одном из известных автору изобретения ПХОГФ устройств не достигается такая скорость нанесения покрытия. Качественная оценка оптических свойств пленки из двуокиси кремния посредством оптического микроскопа показала высокую степень гладкости и низкую матовость. Кроме того, была проведена качественная оценка напряжения на растяжение посредством отделения покрытия из двуокиси кремния от подложки с попыткой обнаружить скручивание покрытия. Скручивание возможно при наличии в покрытии значительных напряжений на растяжение, однако скручивания не наблюдалось, а значит покрытие из двуокиси кремния в примере должно иметь низкое напряжение на растяжение.

В то время как настоящее изобретение было описано в отношении конкретных вариантов осуществления, оно не сводится к представленным конкретным деталям, но включает различные изменения и модификации, которые может представить себе специалист, попадающие в область притязаний изобретения, определяемую следующей далее формулой.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ формирования покрытия с использованием плазменно-химического осаждения из газовой фазы (ПХОГФ), при осуществлении которого

получают плазму, используя источник плазмы, включающий: (i) первую электронно-активную поверхность, (ii) вторую электронно-активную поверхность и (iii) источник питания, с которым электрически соединены электронно-активные поверхности, выполненный с возможностью попеременного изменения полярности напряжения и подачи напряжения на первую электронно-активную поверхность, сдвинутого по фазе относительно напряжения, подаваемого на вторую электронно-активную поверхность, вызывая поток тока, включающий электроны между электронно-активными поверхностями, так что источник плазмы создает плазму между электронно-активными поверхностями, по существу, при предотвращении возникновения тока Холла;

пропускают газ-прекурсор и газ-реагент вблизи плазмы;

помещают вблизи плазмы подложку, по меньшей мере на одну поверхность которой должно быть нанесено покрытие;

подвергают воздействию энергии газ-прекурсор, разлагая его частично или полностью; и

осаждают с использованием ПХОГФ покрытие на указанную по меньшей мере одну поверхность подложки, при этом связывая с ней или конденсируя на ней химический фрагмент газа-прекурсора, содержащего нужный химический элемент для покрытия.

2. Способ по п.1, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,2 мкм/с.

3. Способ по п.2, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,3 мкм/с.

4. Способ по п.1, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,5 мкм/с.

5. Способ по п.1, в котором обеспечивают вблизи плазмы по меньшей мере одно магнитное поле, которое располагают так, чтобы отклонять и/или уплотнять плазму.

6. Способ по п.5, в котором плазма линейной формы имеет длину по меньшей мере 0,5 м.

7. Способ по п.1, в котором плазма линейной формы имеет длину по меньшей мере 0,5 м.

8. Способ формирования покрытия с использованием плазменно-химического осаждения из газовой фазы (ПХОГФ), при осуществлении которого

получают плазму, используя источник плазмы, включающий: (i) первую электронно-активную поверхность, (ii) вторую электронно-активную поверхность и (iii) источник питания, с которым электрически соединены электронно-активные поверхности, выполненный с возможностью попеременного изменения полярности напряжения и подачи напряжения на первую электронно-активную поверхность, сдвинутого по фазе относительно напряжения, подаваемого на вторую электронно-активную поверхность, вызывая поток тока, включающий электроны между электронно-активными поверхностями, так что источник плазмы создает плазму между электронно-активными поверхностями, по существу, при предотвращении возникновения тока Холла;

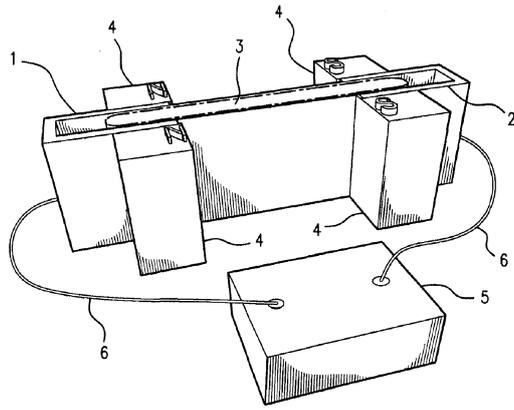
пропускают газ-прекурсор и газ-реагент вблизи плазмы;

помещают вблизи плазмы подложку, по меньшей мере на одну поверхность которой должно быть нанесено покрытие;

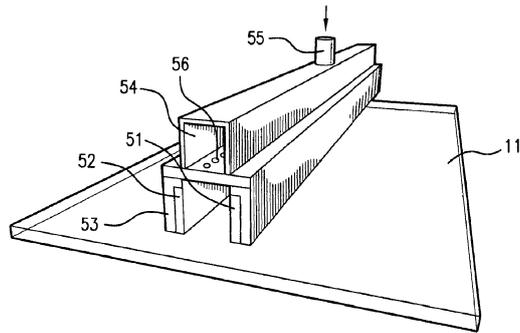
подвергают воздействию энергии газ-прекурсор, разлагая его частично или полностью; и

осаждают с использованием ПХОГФ покрытие на указанную по меньшей мере одну поверхность подложки, при этом связывая с ней или конденсируя на ней химический фрагмент газа-прекурсора, содержащего нужный химический элемент для покрытия.

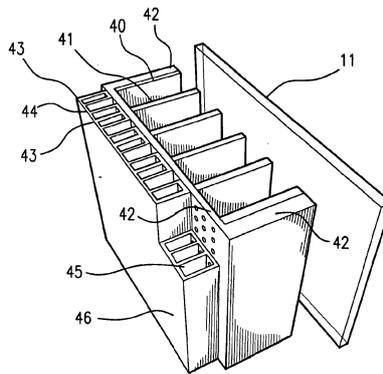
9. Способ по п.8, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,2 мкм/с.
10. Способ по п.9, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,3 мкм/с.
11. Способ по п.10, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,5 мкм/с.
12. Способ по п.8, в котором двумерная плазма имеет длину по меньшей мере 0,5 м.
13. Способ формирования покрытия с использованием плазменно-химического осаждения из газовой фазы (ПХОГФ), при осуществлении которого получают плазму, используя источник плазмы, включающий: (i) первую электронно-активную поверхность, (ii) вторую электронно-активную поверхность и (iii) источник питания, с которым электрически соединены электронно-активные поверхности, выполненный с возможностью попеременного изменения полярности напряжения и подачи напряжения на первую электронно-активную поверхность, сдвинутого по фазе относительно напряжения, подаваемого на вторую электронно-активную поверхность, вызывая поток тока, включающий электроны между электронно-активными поверхностями, так что источник плазмы создает плазму между электронно-активными поверхностями, по существу, при предотвращении возникновения тока Холла;
- пропускают газ-прекурсор и газ-реагент вблизи плазмы;
- помещают вблизи плазмы подложку, по меньшей мере на одну поверхность которой должно быть нанесено покрытие;
- подвергают воздействию энергии газ-прекурсор, разлагая его частично или полностью; и осаждают с использованием ПХОГФ покрытие на указанную по меньшей мере одну поверхность подложки,
- причем при частичном или полном разложении газа-прекурсора под воздействием энергии формируются конденсируемые молекулярные образования, которые сцепляются по меньшей мере с одной поверхностью подложки.
14. Способ по п.13, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,2 мкм/с.
15. Способ по п.14, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,3 мкм/с.
16. Способ по п.15, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,5 мкм/с.
17. Способ по п.13, в котором обеспечивают вблизи плазмы по меньшей мере одно магнитное поле, которое располагают так, чтобы отклонять и/или уплотнять плазму.
18. Способ по п.17, в котором плазма линейной формы имеет длину по меньшей мере 0,5 м.
19. Способ по п.13, в котором плазма линейной формы имеет длину по меньшей мере 0,5 м.
20. Способ формирования покрытия с использованием плазменно-химического осаждения из газовой фазы (ПХОГФ), при осуществлении которого получают плазму, используя источник плазмы, включающий: (i) первую электронно-активную поверхность, (ii) вторую электронно-активную поверхность и (iii) источник питания, с которым электрически соединены электронно-активные поверхности, выполненный с возможностью попеременного изменения полярности напряжения и подачи напряжения на первую электронно-активную поверхность, сдвинутого по фазе относительно напряжения, подаваемого на вторую электронно-активную поверхность, вызывая поток тока, включающий электроны между электронно-активными поверхностями, так что источник плазмы создает плазму между электронно-активными поверхностями, по существу, при предотвращении возникновения тока Холла;
- пропускают газ-прекурсор и газ-реагент вблизи плазмы;
- помещают вблизи плазмы подложку, по меньшей мере на одну поверхность которой должно быть нанесено покрытие;
- подвергают воздействию энергии газ-прекурсор, разлагая его частично или полностью; и осаждают с использованием ПХОГФ покрытие на указанную по меньшей мере одну поверхность подложки,
- причем при частичном или полном разложении газа-прекурсора под воздействием энергии формируются конденсируемые молекулярные образования, которые сцепляются по меньшей мере с одной поверхностью подложки.
21. Способ по п.20, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,2 мкм/с.
22. Способ по п.21, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,3 мкм/с.
23. Способ по п.22, в котором покрытие наносят со скоростью по меньшей мере примерно 0,5 мкм/с.
24. Способ по п.20, в котором двумерная плазма имеет длину по меньшей мере 0,5 м.



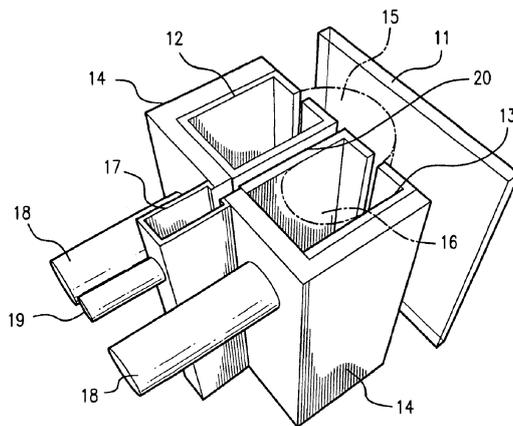
Фиг. 1 (уровень техники)



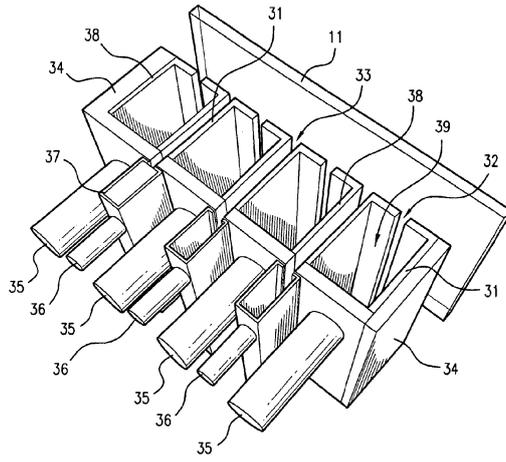
Фиг. 2



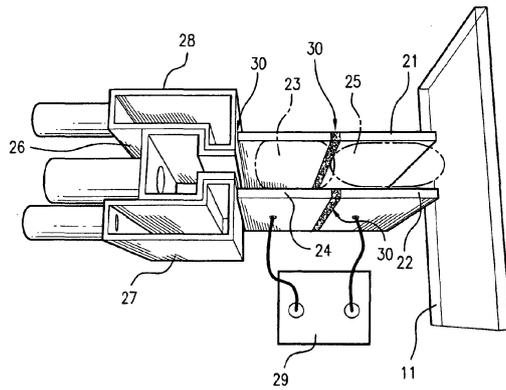
Фиг. 3



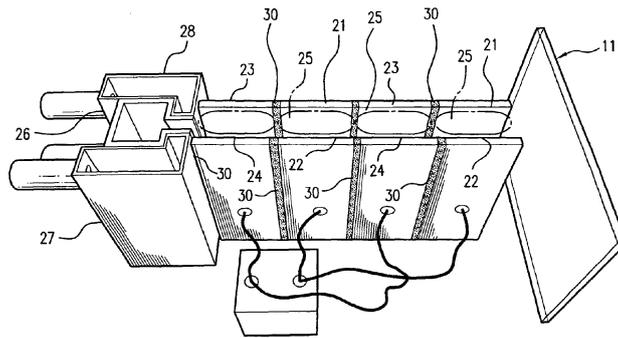
Фиг. 4



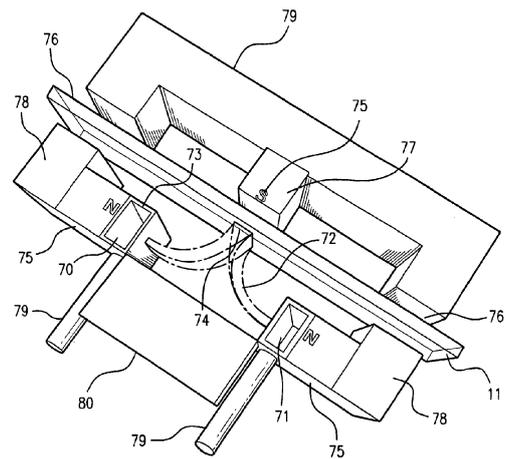
Фиг. 5



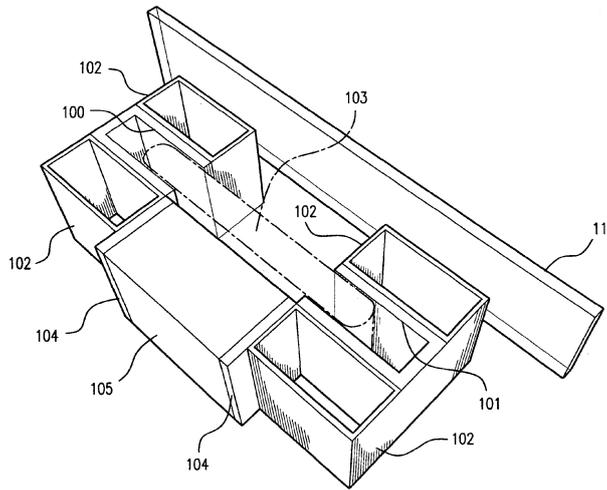
Фиг. 6



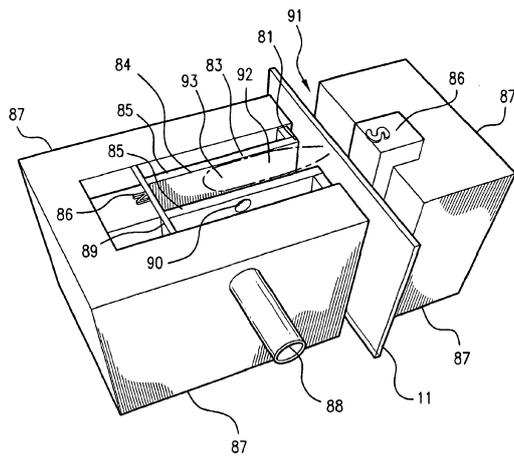
Фиг. 7



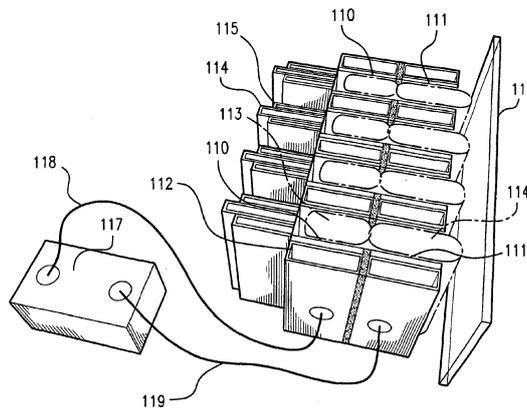
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

