

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **034615**

(13) **B1**

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

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2020.02.27**

**(21)** Номер заявки  
**201791415**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2015.12.01**

**(51)** Int. Cl. **C23C 16/503** (2006.01)  
**C23C 16/44** (2006.01)  
**H01L 21/31** (2006.01)  
**H01L 21/365** (2006.01)  
**H05H 1/46** (2006.01)

---

**(54) АППАРАТ ДЛЯ ПЛАЗМЕННОГО CVD**

---

**(31)** 2014-259378

**(32)** 2014.12.22

**(33)** JP

**(43)** 2017.10.31

**(86)** PCT/JP2015/083792

**(87)** WO 2016/104076 2016.06.30

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
ЭйДжиСи ИНК. (JP)

**(72)** Изобретатель:  
Кавахара Хиротомо, Маесиге  
Кадзунобу, Аомине Нобутака,  
Ханекава Хироси (JP)

**(74)** Представитель:  
Медведев В.Н. (RU)

**(56)** JP-A-2001338885  
JP-A-2002217111  
JP-A-2013168449  
JP-A-2002505792  
JP-A-2011208197  
JP-A-62503107  
JP-A-20134474  
JP-A-2004228409  
JP-A-2012199376  
JP-A-2014169469

---

**(57)** Аппарат для плазменного CVD включает в себя источник плазмы, соединенный с источником питания переменного тока или двумя или более источниками питания переменного тока, выполненный с возможностью генерации плазмы; и матрицу магнитов, выполненную из множества магнитов. Источник плазмы имеет группу электродов, которая выполнена посредством расположения  $n$  электродов ( $n$  является четным целым числом, большим или равным двум), в порядке номеров электродов. Каждый из электродов группы электродов соединен с источником питания переменного тока. Между смежными электродами группы электродов образован выход проточного канала для газа-прекурсора. Матрица магнитов расположена так, что северный полюс или южный полюс каждого из магнитов обращен к источнику плазмы. В матрице магнитов по меньшей мере для одной пары двух соседних магнитов обращенные к источнику плазмы полюса располагаются так, что являются одинаковыми.

---

**B1**

**034615**

**034615**  
**B1**

### Область изобретения

Приведенное здесь изобретение в целом относится к аппарату для плазменного CVD.

#### Уровень техники

Метод стимулированного плазмой химического осаждения из паровой фазы (PECVD) (далее называемый "методом плазменного CVD") представляет собой тип метода химического осаждения из паровой фазы (CVD), которым можно химически осаждать пленку из разнообразных материалов на поверхность подложки, подлежащей обработке, с использованием плазмы. Метод плазменного CVD широко применяется для изготовления, например, полупроводниковых элементов.

Аппарат для плазменного CVD, используемый для метода плазменного CVD, оснащается источником плазмы. Как правило, источник плазмы включает в себя пару электродов, присоединенных к высокочастотному источнику питания переменного тока (AC) с частотой, например, 13,56 МГц. Когда между электродами инициируется разряд, между электродами формируется плазма. Когда в этом состоянии в плазму подается газ-прекурсор, атомы и/или молекулы газа-прекурсора возбуждаются и становятся химически активными. Затем происходит химическая реакция, и на поверхность подложки, подлежащей обработке, может быть осаждена пленка целевого материала.

В недавнем прошлом был описан источник плазмы, который вместо высокочастотного источника питания переменного тока был оснащен низкочастотным источником питания переменного тока, например порядка килогерц (кГц) (см. патентный документ 1). Патентный документ 1 указывает, что может быть образована плазма, стабильная при использовании такого источника плазмы. Кроме того, был представлен источник плазмы, в котором расположены четыре источника, а между соседними электродами предусмотрен зазор для подачи газа-прекурсора, чтобы обеспечить возможность осаждения пленки с большой площадью (см. патентный документ 2).

#### Список цитированной литературы

Патентная литература.

PTL 1 Японский перевод публикации международной патентной заявки.

PCT № JP-T-2011-530155.

PTL 2 WO 2014/069309.

#### Сущность изобретения

Техническая проблема.

В отношении аппарата для плазменного CVD является общеизвестным, что с повышением скорости осаждения проявляется тенденция к снижению плотности осаждаемой пленки. Поэтому для получения плотной пленки с использованием процесса плазменного CVD часто необходимо, за счет скорости осаждения, применять в достаточной мере низкую скорость осаждения. Однако существует такая проблема, что это сокращение скорости осаждения приводит к снижению производительности процесса, например при осаждении на подложку, подлежащую обработке, с большой площадью.

Настоящее изобретение было выполнено с учетом такой проблемы, и задача настоящего изобретения состоит в создании аппарата для плазменного CVD, который может осаждать плотную пленку без чрезмерного снижения скорости осаждения.

Разрешение проблемы.

Основной задачей по меньшей мере одного варианта осуществления настоящего изобретения является обеспечение аппарата для плазменного CVD, который практически устраняет одну или более проблем, обусловленных ограничениями и недостатками прототипа.

В настоящем изобретении представлен аппарат для плазменного CVD, включающий в себя источник плазмы, соединенный с источником питания переменного тока или двумя или более источниками питания переменного тока, выполненный с возможностью генерации плазмы; и матрицу магнитов, выполненную из множества магнитов, причем источник плазмы имеет группу электродов, причем группа электродов выполнена посредством расположения  $n$  электродов ( $n$  является четным целым числом, большим или равным двум), включающих в себя первый электрод и второй электрод, в порядке номеров электродов от первого электрода, причем каждый из электродов группы электродов соединен с источником питания переменного тока, причем между смежными электродами группы электродов образован выход проточного канала для газа-прекурсора, причем матрица магнитов выполнена так, что северный полюс или южный полюс каждого из магнитов обращен к источнику плазмы, и причем в матрице магнитов для по меньшей мере одной пары двух соседних магнитов, полюса, обращенные к источнику плазмы, располагаются так, что являются одинаковыми.

Преимущественные результаты изобретения.

Настоящее изобретение может обеспечить аппарат для плазменного CVD, который может осаждать плотную пленку без чрезмерного снижения скорости осаждения.

#### Краткое описание чертежей

Другие задачи и дополнительные признаки вариантов осуществления станут очевидными из нижеследующего подробного описания, прочитанного в сочетании с сопроводительными чертежами, в которых

фиг. 1 представляет диаграмму, схематически изображающую один пример конструкции аппарата для плазменного CVD согласно одному варианту осуществления;

фиг. 2 - диаграмму, схематически изображающую еще один пример конструкции аппарата для плазменного CVD согласно варианту осуществления;

фиг. 3 - диаграмму, изображающую один пример результата оценки при моделировании влияния матрицы магнитов на магнитное поле;

фиг. 4 - диаграмму, изображающую еще один пример еще одного результата оценки при моделировании влияния матрицы магнитов на магнитное поле;

фиг. 5 - диаграмму, схематически изображающую еще один дополнительный пример конструкции аппарата для плазменного CVD согласно варианту осуществления;

фиг. 6 - диаграмму, схематически изображающую один пример конструкции группы электродов в аппарате для плазменного CVD и его окружения, согласно варианту осуществления;

фиг. 7 - диаграмму, схематически изображающую один пример конструкции установки для осаждения, оснащенной аппаратом для плазменного CVD согласно варианту осуществления;

фиг. 8 представляет собой фотографию, изображающую состояние плазмы, сгенерированной из источника плазмы (группы электродов) при осаждении пленки  $TiO_2$  в примере 1;

фиг. 9 - фотографию, изображающую состояние плазмы, сгенерированной из источника плазмы (группы электродов) при осаждении пленки  $TiO_2$  в примере 10;

фиг. 10 представляет фотографию, изображающую состояние плазмы, сгенерированной из источника плазмы (группы электродов) при осаждении пленки  $TiO_2$  в примере 13;

фиг. 11 - фотографию, изображающую состояние плазмы, сгенерированной из источника плазмы (группы электродов) при осаждении пленки  $TiO_2$  в примере 16;

фиг. 12 - диаграмму, обобщенно изображающую взаимозависимости между скоростями осаждения и показателями преломления, полученными в примерах 1-18.

#### **Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления изобретения**

Далее со ссылкой на чертежи будут описаны варианты осуществления изобретения.

Первый аппарат для плазменного CVD.

Со ссылкой на фиг. 1 будет описан аппарат для плазменного CVD согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения (далее называемый "первым аппаратом для плазменного CVD").

Фиг. 1 схематически изображает один пример конструкции первого аппарата для плазменного CVD.

Как проиллюстрировано на фиг. 1, первый аппарат 100 для плазменного CVD включает в себя источник 110 плазмы, соединенный с источником 130 питания переменного тока. Источник 110 плазмы расположен с одной стороны (верхней стороны) подложки 190, подлежащей обработке. Кроме того, первый аппарат 100 для плазменного CVD включает в себя матрицу 160 магнитов, расположенную с другой стороны (нижней стороны) подложки 190, подлежащей обработке. Соответственно, источник 110 плазмы и матрица 160 магнитов расположены так, чтобы быть обращенными друг к другу через подложку 190, подлежащую обработке.

В обычной ситуации первый аппарат 100 для плазменного CVD включает в себя опорное основание для поддержания подложки 190, подлежащей обработке, держатель, транспортировочное основание и/или тому подобные, которые опущены в целях ясности.

Источник 110 плазмы включает в себя группу 120 электродов, выполненную посредством расположения множества электродов в ряд. Например, в проиллюстрированном на фиг. 1 примере группа 120 электродов выполнена посредством расположения первого электрода 121A и второго электрода 121B, выставленных друг с другом.

Между первым электродом 121A и вторым электродом 121B вблизи обоих электродов образован первый зазор 150-1 для подачи газа-прекурсора. В качестве газа-прекурсора в зависимости от состава предполагаемой пленки может быть подходящим для пользователя, например силан, дисилан, тетраэтоксисилан (TEOS), гексаметилдисилоксан (HMDSO), тетраметилдисилоксан (TMDSO), трисилиламин, тетрагидротитан, орто-тетраизопропилтитанат (ТИП), тетраакис(диметиламино)титан (TDMAT), тетрабутоксид циркония (ZTB), тетрагидрид алюминия, триметилалюминий, втор-бутоксид алюминия, тетрагидрид олова и трихлорид монобутилолова (МВТС).

К соответствующим электродам 121A, 121B, составляющим группу электродов 120, присоединен источник 130 питания переменного тока. Частота переменного тока от источника 130 питания находится, например, в диапазоне от 5 до 500 кГц. Источник 130 питания переменного тока включает в себя первый электрический провод 140 и второй электрический провод 142. Полярность второго электрического провода 142 противоположна полярности первого электрического провода 140. Первый электрический провод 140 соединен с первым электродом 121A, а второй электрический провод 142 соединен со вторым электродом 121B.

Матрица 160 магнитов выполнена из множества магнитов. В примере, проиллюстрированном на фиг. 1, матрица 160 магнитов состоит из двух магнитов, т.е. первого магнита 161a и второго магнита 161b. Число магнитов не является конкретно ограниченным, пока число составляет два или более. Число магнитов может составлять три, и число может составлять четыре или более.

В первом аппарате 100 для плазменного CVD два магнита 161a, 161b в матрице 160 магнитов рас-

положены так, что полярности со стороны, обращенной к подложке 190, подлежащей обработке, т.е. к группе 120 электродов, являются одинаковыми.

В примере, проиллюстрированном на фиг. 1, как первый магнит 161a, так и второй магнит 161b, расположены в направлении, где южные полюса находятся с верхней стороны, т.е. южные полюса располагаются со стороны группы 120 электродов. В альтернативном варианте, как первый магнит 161a, так и второй магнит 161b, могут быть расположены в направлении, где северные полюса находятся с верхней стороны, т.е. северные полюса располагаются со стороны группы 120 электродов.

В нижеследующем описании порядок расположения магнитов в матрице 160 магнитов, описанной выше, т.е. состояние расположения, где полярности двух соседних магнитов со стороны, обращенной к группе 120 электродов, являются одинаковыми, будет называться "одинаковым расположением полярности (пары соседних магнитов)".

В случае выполнения осаждения на поверхность подложки 190, подлежащей обработке, с использованием первого аппарата 100 для плазменного CVD, имеющего вышеописанную конструкцию, напряжение переменного тока подводится к обоим электродам 121A, 121B от источника 130 питания переменного тока током через электрические провода 140 и 142. Кроме того, вблизи группы 120 электродов подается стимулирующий реакцию газ.

При приложении напряжения переменного тока полярности обоих электродов 121A, 121B периодически меняются. Кроме того, между первым электродом 121A и вторым электродом 121B возникает разряд, и вблизи обоих электродов генерируется плазма.

Затем в первый зазор 150-1, расположенный между обоими электродами 121A и 121B, подается газ-прекурсор для осаждения. Газ-прекурсор, подаваемый в первый зазор 150-1, активируется плазмой, сгенерированной вблизи электродов 121A и 121B, когда газ-прекурсор выпускается из выхода зазора 150-1. В результате этого происходит химическая реакция в газе-прекурсоре вблизи подложки 190, подлежащей обработке, и продукт согласно реакции осаждается в подвергаемой обработке области подложки 190, подлежащей обработке. Согласно вышеописанной операции в подвергаемой обработке области подложки 190, подлежащей обработке, может быть сформирована требуемая пленка.

Как было описано выше, в первом аппарате 100 для плазменного CVD оба магнита 161a и 161b в матрице 160 магнитов расположены с "одинаковым расположением полярности". В этом случае, как будет подробно описано позднее, однородность плазмы на протяжении всей поверхности подложки 190, подлежащей обработке (далее называемой "подвергаемой обработке областью"), находящейся под источником 110 плазмы, может быть повышена, а плотность плазмы в подвергаемой обработке области может быть значительно увеличена.

Согласно вышеописанной конструкции в первом аппарате 100 для плазменного CVD может быть значительно повышена скорость химической реакции газа-прекурсора в подвергаемой обработке области подложки 190, подлежащей обработке. Поэтому в первом аппарате 100 для плазменного CVD без ущерба для скорости осаждения, как в прототипе, можно сформировать плотную пленку в подвергаемой обработке области подложки 190, подлежащей обработке, при относительно высокой скорости осаждения.

Кроме того, согласно вышеописанному эффекту в первом аппарате 100 для плазменного CVD, например при осаждении на подложку с обширной подвергаемой обработке областью, требуемая пленка может быть сформирована без снижения производительности процесса.

Второй аппарат для плазменного CVD.

Далее со ссылкой на фиг. 2 будет описан аппарат для плазменного CVD согласно еще одному варианту осуществления настоящего изобретения (впоследствии называемый "вторым аппаратом для плазменного CVD").

Фиг. 2 схематически изображает один пример конструкции второго аппарата для плазменного CVD.

Как проиллюстрировано на фиг. 2, второй аппарат 200 для плазменного CVD включает в себя источник 210 плазмы, соединенный с источником 230 питания переменного тока. Источник 210 плазмы расположен с одной стороны (верхней стороны) подложки 290, подлежащей обработке. Кроме того, второй аппарат 200 для плазменного CVD включает в себя матрицу 260 магнитов, расположенную с другой стороны (нижней стороны) подложки 290, подлежащей обработке. Поэтому источник 210 плазмы и матрица 260 магнитов расположены так, чтобы быть обращенными друг к другу через подложку 290, подлежащую обработке.

В обычной ситуации второй аппарат 200 для плазменного CVD включает в себя опорное основание для поддержания подложки 290, подлежащей обработке, держатель, транспортировочное основание и/или тому подобные, которые опущены в целях ясности.

Источник 210 плазмы включает в себя группу 220 электродов, выполненную посредством расположения множества электродов в ряд. Например, в проиллюстрированном на фиг. 2 примере группа 220 электродов выполнена посредством расположения первого электрода 221A, второго электрода 221B, третьего электрода 221C и четвертого электрода 221D в этом порядке.

Число электродов не является обязательно ограниченным четырьмя. Число электродов может составлять шесть, и число может составлять восемь или более. Однако число электродов является четным целым числом.

Между соседними электродами из электродов от 221А до 221D образован зазор для подачи газа-прекурсора. Т.е. между первым электродом 221А и вторым электродом 221В образован первый зазор 250-1, между вторым электродом 221В и третьим электродом 221С образован второй зазор 250-2, и между третьим электродом 221С и четвертым электродом 221D образован третий зазор 250-3.

К соответствующим электродам 221А-221D, составляющим группу электродов 220, присоединен источник 230 питания переменного тока. Источник 230 питания переменного тока током включает в себя первый электрический провод 240 и второй электрический провод 242. Полярность второго электрического провода 242 противоположна полярности первого электрического провода 240. Первый электрический провод 240 соединен с первым электродом 221А и с третьим электродом 221С. Второй электрический провод 242 соединен со вторым электродом 221В и с четвертым электродом 221D.

В примере, проиллюстрированном на фиг. 2, соответствующие электроды 221А-221D соединены с единственным источником 230 питания переменного тока. Однако соответствующие электроды 221А-221D могут быть соединены с множеством источников питания переменного тока. Например, в конструкции, проиллюстрированной на фиг. 2, могут присутствовать два источника 230-1, 230-2 питания переменного тока, причем источник 230-1 питания переменного тока током соединен с первым электродом 221А и вторым электродом 221В, а второй источник 230-2 питания переменного тока соединен с третьим электродом 221С и четвертым электродом 221D.

Однако когда используется единственный источник 230 питания переменного тока, может быть уменьшен размер всего второго аппарата 200 для плазменного CVD.

Матрица 260 магнитов выполнена из множества магнитов. В примере, проиллюстрированном на фиг. 2, матрица 260 магнитов состоит из трех магнитов, т.е. от первого магнита 261а до третьего магнита 261с. Число магнитов не является конкретно ограниченным, пока число составляет два или более. Число магнитов может составлять четыре, и число может быть шестью или более.

Второй аппарат 200 для плазменного CVD имеет ту особенность, что по меньшей мере одна пара двух соседних магнитов в матрице 260 магнитов расположена в "одинаковом расположении полярности". Т.е. по меньшей мере одна пара соседних магнитов расположена так, что полярности со стороны, обращенной к подложке 290, подлежащей обработке, и группы 220 электродов, являются одинаковыми.

Например, в конструкции, проиллюстрированной на фиг. 2, как первый магнит 261а, так и второй магнит 261b, могут быть расположены в направлении, где южные полюса (или северные полюса) находятся с верхней стороны, т.е. южные полюса (или северные полюса) располагаются со стороны группы 220 электродов. В альтернативном варианте, как второй магнит 261b, так и третий магнит 261с могут быть расположены в направлении, где южные полюса (или северные полюса) находятся с верхней стороны, т.е. южные полюса (или северные полюса) располагаются со стороны группы 220 электродов. Кроме того, все от первого до третьего магнитов 261а-261с могут быть расположены в направлении, где южные полюса (или северные полюса) находятся с верхней стороны, т.е. южные полюса (или северные полюса) располагаются со стороны группы 220 электродов.

В случае выполнения осаждения на поверхности подложки 290, подлежащей обработке, с использованием второго аппарата 200 для плазменного CVD, имеющего вышеописанную конструкцию, напряжение переменного тока подается на соответствующие электроды 221А-221D от источника 230 питания переменного тока через электрические провода 240 и 242. Кроме того, вблизи группы 220 электродов подается стимулирующий реакцию газ.

При приложении напряжения переменного тока полярности соответствующих электродов 221А-221D периодически меняются. Кроме того, например, возникает разряд, где первый электрод 221А и второй электрод 221В образуют пару электродов, и вблизи обоих электродов генерируется плазма. Более того, разряд происходит, где второй электрод 221В и третий электрод 221С образуют пару электродов, и вблизи обоих электродов генерируется плазма. Кроме того, разряд происходит, где третий электрод 221С и четвертый электрод 221D образуют пару электродов, и вблизи обоих электродов генерируется плазма.

Согласно периодической вариации полярностей напряжения относительно данного времени, полярности соответствующих электродов, в порядке от первого электрода 221А, являются отрицательной-положительной-отрицательной-положительной (или положительной-отрицательной-положительной-отрицательной).

Затем в зазоры от первого 250-1 до третьего 250-3 подается газ-прекурсор для осаждения. Газ-прекурсор, подаваемый в соответствующие зазоры, активируется плазмой, сгенерированной вблизи соответствующих электродов от электродов 221А-221D, когда газ-прекурсор выпускается из выходов соответствующих зазоров от 250-1 до 250-3. В результате этого в газе-прекурсоре происходит химическая реакция вблизи подложки 290, подлежащей обработке, и продукт согласно реакции осаждается в подвергаемой обработке области подложки 290, подлежащей обработке. Согласно вышеописанной операции в подвергаемой обработке области подложки 290, подлежащей обработке, может быть сформирована требуемая пленка.

Как было описано выше, во втором аппарате 200 для плазменного CVD по меньшей мере одна пара магнитов в матрице 260 магнитов расположена в "одинаковом расположении полярности". В этом случае, как будет подробно описано позднее, может быть повышена однородность плазмы на протяжении

всей поверхности подложки 290, подлежащей обработке, и плотность плазмы в подвергаемой обработке области может быть значительно увеличена.

Согласно вышеописанной конструкции во втором аппарате 200 для плазменного CVD также может быть значительно повышена скорость химической реакции газа-прекурсора в подвергаемой обработке области подложки 290, подлежащей обработке. Поэтому можно сформировать плотную пленку в подвергаемой обработке области подложки 290, подлежащей обработке, при относительно высокой скорости осаждения.

Кроме того, согласно вышеописанному эффекту, во втором аппарате 200 для плазменного CVD, например при осаждении на подложку с обширной подвергаемой обработке областью, требуемая пленка может быть сформирована без снижения производительности процесса.

Относительно "одинакового расположения полярности".

Как было описано выше, аппарат для плазменного CVD согласно настоящему изобретению имеет такой признак, что по меньшей мере одна пара из двух соседних магнитов в матрице магнитов расположена так, чтобы иметь "одинаковое расположение полярности". Далее этот признак будет исследован.

Как правило, поведение заряженной частицы, такой как плазма, является чувствительным к магнитному полю. Например, когда присутствует магнит, известно, что заряженная частица движется по спирали вокруг силовой линии создаваемого магнитом магнитного поля. Поэтому, также в аппарате для плазменного CVD, когда магнит расположен с нижней стороны от источника плазмы, поведение плазмы, сгенерированной источником плазмы, и плотность плазмы внутри зазора, предполагаются поддающимися регулированию.

Авторы настоящей заявки, принимая во внимание вышеописанное соображение, выполнили обстоятельное исследование и разработку в плане взаимосвязи между формой матрицы магнитов, расположенной с нижней стороны источника плазмы, и поведением плазмы. В результате авторы настоящей заявки нашли, что, когда два соседних магнита в матрице магнитов расположены так, чтобы быть в "одинаковом расположении полярности", в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, возникает "нулевая точка" (и в ее ближайших окрестностях, к которым подобным образом применимо следующее), и тем самым плотность плазмы может быть значительно повышена.

"Нулевая точка" означает положение в пространстве, при котором силовые линии магнитного поля противоположных направлений взаимно гасятся, и тем самым напряженность магнитного поля отсутствует.

Как предполагается, причина того, почему плотность плазмы может быть повышена формированием нулевой точки в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, состоит в том, что заряженная частица проявляет поведение, состоящее в неупорядоченном движении вблизи нулевой точки, и дистанция перемещения заряженной частицы становится более длинной (т.е. для движения требуется более длительное время). Т.е. предполагается, что, когда в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, присутствует нулевая точка, плазма легче возникает и удерживается в такой области, и в результате этого возрастает плотность плазмы. Когда плотность плазмы увеличивается, более вероятно протекание химической реакции. Поэтому предполагается, что при матрице магнитов в "одинаковом расположении полярности", даже за относительно короткий период времени реакции (т.е. при высокой скорости осаждения), в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, может быть сформирована плотная пленка.

По вышеописанным соображениям предпочтительно, чтобы нулевые точки образовывались в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, настолько многочисленными, насколько возможно. Более того, нулевые точки предпочтительно образуются в подвергаемой обработке области на подложке, подлежащей обработке, с регулярными интервалами.

В примере второго аппарата 200 для плазменного CVD, проиллюстрированного на фиг. 2, три магнита 261a-261c, формирующие матрицу 260 магнитов, предпочтительно расположены с регулярными интервалами (например, как проиллюстрировано на фиг. 2, в форме, в которой три магнита 261a-261c расположены приблизительно под зазорами от 250-1 до 250-3 соответственно), и все магниты 261a-261c предпочтительно располагаются так, что южные полюса (или северные полюса) находятся с верхней стороны, т.е. со стороны группы 220 электродов.

В этом случае может быть повышена однородность плазмы в подвергаемой обработке области и плотность плазмы может быть равномерно увеличена по всей подвергаемой обработке области.

Фиг. 3 и 4 изображают результаты оценки при моделировании влияния различия в расположении магнитов на магнитное поле.

Фиг. 3 изображает распределение силовых линий магнитного поля (результат моделирования) в случае, где полярности всех трех магнитов А-С, формирующих матрицу L магнитов, расположены в одном и том же направлении, т.е. южные полюса магнитов А-С находятся с верхней стороны, т.е. со стороны подложки G, подлежащей обработке. Фиг. 4 изображает распределение силовых линий магнитного поля (результат моделирования) в случае, где в матрице L магнитов отсутствует пара двух соседних магнитов, расположенных с "одинаковым расположением полярности". Т.е. на фиг. 4 матрица L магнитов выполнена так, что полярности верхней стороны соответствующих магнитов А-С поочередно меняются,

например, как южный полюс/северный полюс/южный полюс, в порядке от магнита А.

Фиг. 3 и 4 не содержат информацию о напряженности магнитного поля по силовым линиям. Т.е. каждый из чертежей показывает направление силовых линий магнитного поля в каждом положении направлением стрелок, но длина стрелки не соответствует напряженности магнитного поля по силовой линии.

В случае фиг. 3 обнаружено, что образуются две нулевых точки Р. Более конкретно, эти нулевые точки Р образуются с регулярными интервалами в подвергаемой обработке области S подложки, подлежащей обработке. В случае фиг. 4, т.е., в частности, где в матрице L магнитов отсутствует пара двух соседних магнитов, расположенных с "одинаковым расположением полярности", нулевая точка Р в подвергаемой обработке области не формируется.

Таким образом, представляется, что, когда два соседних магнита в матрице магнитов расположены с "одинаковым расположением полярности", в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, создается нулевая точка, и тем самым плотность плазмы в подвергаемой обработке области может быть повышена. Более того, представляется, что, когда используется "одинаковое расположение полярности", плотная пленка может быть сформирована в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, при относительно высокой скорости осаждения.

Вышеописанное обсуждение было проведено на основе экспериментальных результатов, которые могут быть использованы в настоящий момент. Однако следует отметить, что эффект "одинакового расположения полярности" пары соседних магнитов может быть в действительности выражен также еще одним механизмом. Т.е. в настоящем изобретении важен порядок расположения магнитов в матрице магнитов. Поскольку предусматривается вышеописанный порядок расположения, такой аппарат для плазменного CVD принадлежит к категории настоящего изобретения.

Третий аппарат для плазменного CVD.

Далее, со ссылкой на фиг. 5, будет описан аппарат для плазменного CVD согласно еще одному дополнительному варианту осуществления настоящего изобретения (впоследствии называемый "третьим аппаратом для плазменного CVD").

Фиг. 5 схематически изображает пример конструкции третьего аппарата для плазменного CVD.

Как проиллюстрировано на фиг. 5, третий аппарат для плазменного CVD имеет в принципе такую же конструкцию, как вышеописанное второй аппарат 200 для плазменного CVD, проиллюстрированный на фиг. 2. Поэтому в третьем аппарате для плазменного CVD, проиллюстрированном на фиг. 5, такому же элементу, как элемент на проиллюстрированном на фиг. 2 втором аппарате 200 для плазменного CVD, будет приписан номер ссылочной позиции, полученный добавлением 100 к номеру ссылочной позиции, использованному на фиг. 2. Например, третий аппарат 300 для плазменного CVD включает в себя источник 310 плазмы, соединенный с источником 330 питания переменного тока, матрицу 360 магнитов, и тому подобные.

Однако в третьем аппарате 300 для плазменного CVD система соединений между соответствующими электродами 321A-321D, формирующими группу 320 электродов, и источником 330 питания переменного тока существенно отличается от второго аппарата 200 для плазменного CVD. Т.е. первый электрический провод 340 от источника 330 питания переменного тока соединен с первым электродом 321A и со вторым электродом 321B, а второй электрический провод 342 соединен с третьим электродом 321C и с четвертым электродом 321D.

В такой системе соединений, когда напряжение переменного тока подается от источника 330 питания переменного тока на соответствующие электроды 321A-321D по проводам 340 и 342, полярности соответствующих электродов 321A-321D периодически меняются. Однако полярности соответствующих электродов в отношении данного времени отличаются от второго аппарата 200 для плазменного CVD в порядке от первого электрода 321A, следуя как отрицательная-отрицательная-положительная-положительная (или положительная-положительная-отрицательная-отрицательная).

Например, допустима ситуация, где полярности четырех электродов, формирующих группу 320 электродов, в порядке от первого электрода 321A следуют как отрицательная-отрицательная-положительная-положительная. В этом случае часть электронов из второго электрода 321B поглощается соседним третьим электродом 321C, а другая часть электронов поглощается четвертым электродом 321D. Часть электронов из второго электрода 321B достигает четвертого электрода 321D позади третьего электрода 321C, поскольку полярности третьего электрода 321C и четвертого электрода 321D являются одинаковыми (положительная полярность), а между третьим электродом 321C и четвертым электродом 321D отсутствует электрод, имеющий противоположную полярность. Однако согласно соотношению расстояний между электродами большинство электронов, эмитированных из второго электрода 321B, поглощается третьим электродом 321C, а доля электронов, проходящих до четвертого электрода 321D, рассматривается как меньшая по сравнению с долей электронов, поглощенных третьим электродом 321C.

Таким же образом, как выше, часть электронов из первого электрода 321A поглощается третьим электродом 321C, а другая часть электронов захватывается четвертым электродом 321D. Однако согласно соотношению расстояний между электродами большинство электронов, эмитированных из первого электрода 321A, поглощается третьим электродом 321C, а доля электронов, проходящих до четвертого

электрода 321D, рассматривается как меньшая по сравнению с долей электронов, поглощенных третьим электродом 321С.

Принимая во внимание вышеописанный поток электронов, ожидается, что плазма с довольно высокой плотностью возникает между вторым электродом 321В и третьим электродом 321С. Поэтому третий аппарат 300 для плазменного CVD может генерировать плазму между вторым электродом 321В и третьим электродом 321С с более высокой плотностью, чем второй аппарат 200 для плазменного CVD.

В третьем аппарате 300 для плазменного CVD также по меньшей мере одна пара из двух соседних магнитов в матрице 360 магнитов расположена так, чтобы быть в "одинаковом расположении полярности". Т.е. по меньшей мере одна пара соседних магнитов расположена так, что полярности со стороны, обращенной к группе 320 электродов, являются одинаковыми.

Например, в конструкции, проиллюстрированной на фиг. 5, как первый магнит 361а, так и второй магнит 361b, могут быть расположены в направлении, где южные полюса (или северные полюса) находятся с верхней стороны, т.е. южные полюса (или северные полюса) находятся со стороны группы 320 электродов. В альтернативном варианте, как второй магнит 361b, так и третий магнит 361с могут быть расположены в направлении, где южные полюса (или северные полюса) находятся с верхней стороны, т.е. южные полюса (или северные полюса) находятся со стороны группы 320 электродов. Более того, все от первого до третьего магнитов 361а-361с могут быть расположены в направлении, где южные полюса (или северные полюса) находятся с верхней стороны, т.е. южные полюса (или северные полюса) находятся со стороны группы 320 электродов.

Поэтому в третьем аппарате 300 для плазменного CVD также может быть повышена однородность плазмы по всей поверхности подложки 390, подлежащей обработке, и может быть существенно увеличена плотность плазмы в подвергаемой обработке области.

Согласно вышеописанной конструкции в третьем аппарате 300 для плазменного CVD также может быть значительно повышена скорость химической реакции газа-прекурсора в подвергаемой обработке области подложки 390, подлежащей обработке. Поэтому можно сформировать плотную пленку в подвергаемой обработке области подложки 390, подлежащей обработке, при относительно высокой скорости осаждения.

Более того, согласно вышеописанному эффекту в третьем аппарате 300 для плазменного CVD, например, при осаждении на подложку с обширной подвергаемой обработке областью, требуемая пленка может быть сформирована без снижения производительности процесса.

Конструкционные элементы аппарата для плазменного CVD по варианту осуществления.

Далее будет подробно описана техническая характеристика или тому подобное основных компонентов, составляющих аппарат для плазменного CVD согласно варианту осуществления. Впоследствии, в качестве примера, будут описаны конструкционные элементы второго аппарата 200 для плазменного CVD, проиллюстрированного на фиг. 2. Поэтому в нижеследующем описании при указании каждого элемента будет использоваться номер ссылочной позиции, приведенный на фиг. 2. Однако для квалифицированного специалиста в области техники очевидно, что нижеследующее описание может быть применено также к другим аппаратам для плазменного CVD в пределах области охвата настоящего изобретения, например к первому аппарату 100 для плазменного CVD, к третьему аппарату 300 для плазменного CVD и тому подобным, таким же образом или с изменением части описания.

Группа 220 электродов.

Как было описано выше, группа 220 электродов выполнена посредством расположения в ряд электродов 221А-221D, число которых является четным целым числом. Между соседними электродами предусмотрены зазоры от 250-1 до 250-3 для подачи газа-прекурсора соответственно.

Фиг. 6 схематически изображает пример конструкции группы 220 электродов во втором аппарате 200 для плазменного CVD и вокруг группы 220 электродов.

Как иллюстрировано на фиг. 6, группа 220 электродов включает в себя в порядке слева первый электрод 221А до четвертого электрода 221D. Соответствующие электроды 221А-221D расположены вдоль первого направления (направления X). Более того, каждый из электродов 221А-221D имеет полую структуру электрода, простирающуюся вдоль второго направления (направления Y). Электроды 221А-221D имеют щели 252А-252D, простирающиеся во втором направлении (направлению Y), соответственно, по центру нижних поверхностей, которые обращены к подложке 290, подлежащей обработке.

Ширины щелей 252А-252D находятся, например, в диапазоне от 1 до 10 мм. Вместо щелей 252А-252D может быть образовано отверстие.

Между первым электродом 221А и вторым электродом 221В расположен первый зазор 250-1, имеющий концевой участок (выход), который открыт по направлению к подложке 290, подлежащей обработке. Точно так же между вторым электродом 221В и третьим электродом 221С предусмотрен второй зазор 250-2, имеющий концевой участок (выход), который открыт по направлению к подложке 290, подлежащей обработке, а между третьим электродом 221С и четвертым электродом 221D находится третий зазор 250-3, имеющий концевой участок (выход), который открыт по направлению к подложке 290, подлежащей обработке.

Кроме того, группа 220 электродов включает в себя трубопроводы 254А-254D для подачи стимулиру-

рующего реакцию газа (например, азота, кислорода, аргона и/или тому подобного) в соответствующие электроды 221A-221D. Кроме того, группа 220 электродов включает в себя трубопроводы от 256-1 до 256-3 для подачи газа-прекурсора в соответствующие зазоры от 250-1 до 250-3.

Когда группа 220 электродов действует, в каждом из электродов 221A-221D происходит разряд. Поэтому, например, стимулирующий реакцию газ, подаваемый в трубопровод 254A, становится плазмой в процессе прохода через пустотелую часть первого электрода 221A, и выводится из щели 252A. То же самое применимо к другим трубопроводам 254B-254D. Кроме того, газ-прекурсор, подаваемый по трубопроводу 256-1 для газа-прекурсора, после протекания в первый зазор 250-1 выводится из концевой части (выхода), и разлагается и активируется плазмой. То же самое применимо к другим трубопроводам от 256-2 до 256-3 для газа-прекурсора.

Конструкция группы 220 электродов, проиллюстрированная на фиг. 6, представляет собой один пример, и группа 220 электродов может иметь иную конструкцию.

Матрица 260 магнитов.

Как было описано выше, матрица 260 магнитов выполнена посредством матрицы из множества магнитов 261a-261c. Соответствующие магниты 261a-261c предпочтительно расположены с регулярными интервалами.

Положения расположения магнитов относительно группы 220 электродов не являются конкретно ограниченными. Например, соответствующие магниты могут быть расположены в порядке, проиллюстрированном на фиг. 2 (и фиг. 5), т.е. непосредственно под зазорами от 250-1 до 250-3 между электродами 221A-221D, соответственно, согласованно с магнитами. Кроме того, в матрице магнитов, проиллюстрированной на фиг. 2, может быть также расположен дополнительный магнит в положении, соответствующем месту непосредственно под наружной границей первого электрода 221A (слева от первого магнита 261a), и/или в положении, соответствующем месту непосредственно под наружной границей четвертого электрода 221D (справа от третьего магнита 261c). В альтернативном варианте соответствующие магниты могут быть расположены в порядке, проиллюстрированном на фиг. 1, т.е. непосредственно под соответствующими магнитам электродами соответственно.

Более того, число магнитов не является конкретно ограниченным, но обычно число магнитов предпочтительно находится в пределах диапазона от (число электродов - 1) до (число электродов + 1). Например, в состоянии, проиллюстрированном на фиг. 1, число магнитов является таким же, как число электродов. В варианте, проиллюстрированном на фиг. 2 и 5, число магнитов является на один меньшим, чем число электродов. Кроме того, на фиг. 2 и 5 в состоянии, где дополнительные магниты расположены слева от первого магнита и справа от третьего магнита, число магнитов является большим на один, чем число электродов.

Как было описано выше, в матрице 260 магнитов по меньшей мере одна пара соседних между собой магнитов должна располагаться так, чтобы быть в "одинаковом расположении полярности".

Фиг. 6, как описано выше, изображает один пример взаимного расположения матрицы 260 магнитов относительно группы 220 электродов. Как проиллюстрировано на фиг. 6, каждый из магнитов 261a-261c, составляющих матрицу 260 магнитов, имеет приблизительную форму бруска, простирающегося вдоль второго направления (направления Y). В этом примере соответствующие магниты 261a-261c расположены приблизительно под первым зазором 250-1, вторым зазором 250-2 и третьим зазором 250-3.

Материал магнитов включает в себя ферритовый магнит, неодимовый магнит, самарий-кобальтовый магнит, магнит ALNICO (ЮНДК) и тому подобные. Однако ясно, что настоящее изобретение не ограничивается вышеуказанными типами.

Пример применения аппарата для плазменного CVD согласно варианту осуществления.

Далее будет кратко описан один пример установки для осаждения, в которой используется аппарат для плазменного CVD согласно варианту исполнения. Впоследствии в качестве примера используется второй аппарат 200 для плазменного CVD, проиллюстрированный на фиг. 2, и будет разъяснена установка для осаждения, включающая в себя такой аппарат. Поэтому в нижеследующем описании при указании соответствующих элементов аппарата для плазменного CVD могут быть использованы кодовые номера позиций, приведенные в фиг. 2. Однако квалифицированному специалисту в области техники очевидно, что нижеследующее описание может быть применимым также к другим аппаратам для плазменного CVD в пределах области настоящего изобретения, например к первому аппарату 100 для плазменного CVD, к третьему аппарату 300 для плазменного CVD и тому подобным, таким же образом или с частичным изменением.

Фиг. 7 схематически изображает один пример конструкции установки для осаждения, оснащенной аппаратом для плазменного CVD согласно варианту исполнения.

В установке 500 для осаждения можно осаждают разнообразные пленки на поверхность подложки 590, подлежащей обработке, имеющей большую площадь, согласно способу плазменного CVD.

Как проиллюстрировано на фиг. 7, установка 500 для осаждения включает в себя входную камеру 501, камеру 502 осаждения и выходную камеру 503. Входная камера 501 и выходная камера 503 присоединены к камере 502 осаждения. В камере 502 осаждения смонтирован аппарат 509 для плазменного CVD. В качестве аппарата для плазменного CVD применяется вышеописанное устройство 200 для плаз-

менного CVD.

Кроме того, установка 500 для осаждения включает в себя транспортировочный аппарат 588, снабженный множеством роликов 589. Транспортировочный аппарат 588 помещен в камере 502 осаждения, и его назначением является перемещение подложки 590, подлежащей обработке, вдоль направления "а" транспортирования в камере 502 осаждения. Подложка, подлежащая обработке, включает в себя стеклянную подложку, металлическую подложку, керамическую подложку или тому подобные.

В такой установке 500 для осаждения при выполнении осаждения на подложку 590, подлежащую обработке, подложка 590, подлежащая обработке, сначала транспортируется во входную камеру 501.

Затем во входной камере 501, камере 502 осаждения и выходной камере 503 создается вакуум. Затем подложка 590, подлежащая обработке, перемещается в камеру 502 осаждения. В это время может быть использовано транспортировочный аппарат 588.

Затем включается аппарат 509 для плазменного CVD (т.е. второй аппарат 200 для плазменного CVD). Более конкретно, во второй аппарат 200 для плазменного CVD подаются разнообразные газы (газ-прекурсор, стимулирующий реакцию газ, и тому подобные), группа 220 электродов соединяется с источником питания переменного тока (не показан), и начинается разряд. Согласно вышеописанным действиям, образуется плазма, и начинается реакция с осаждением.

Подложка 590, подлежащая обработке, перемещается на роликах 589 вдоль направления "а" транспортирования с помощью транспортировочного аппарата 588. Согласно вышеописанным действиям, подложка 590, подлежащая обработке, последовательно проходит под соответствующими электродами 221А-221D, составляющими группу 220 электродов. Затем на части поверхности подложки 590, подлежащей обработке, которая полностью прошла через второй аппарат 200 для плазменного CVD, формируется пленка с предварительно заданной толщиной.

Поскольку подложка 590, подлежащая обработке, непрерывно перемещается транспортировочным аппаратом 588, также после вышеописанного осаждения, непрерывно выполняется осаждение на подложку 590, подлежащую обработке, вдоль направления "а" транспортирования.

После этого, когда осаждение в требуемой области завершается, подложка 590, подлежащая обработке, выводится за пределы установки 500 для осаждения через выходную камеру 503.

В такой установке 500 для осаждения поскольку осаждение может выполняться на подложку 590, подлежащую обработке, во время транспортирования подложки 590, подлежащей обработке, значительно повышается производительность осаждения. Более того, осаждение может выполняться на подложке, подлежащей обработке, с большой площадью.

Более конкретно, как было описано выше, поскольку установка 500 для осаждения оснащена вторым аппаратом 200 для плазменного CVD, может быть значительно повышена плотность плазмы в подвергаемой обработке области подложки 590, подлежащей обработке. Поэтому может быть существенно увеличена скорость химической реакции газа-прекурсора в подвергаемой обработке области подложки 590, подлежащей обработке, а плотная пленка может быть осаждена с относительно высокой скоростью осаждения. В результате этого в установке 500 для осаждения плотная пленка может быть осаждена в состоянии, где подложка 590, подлежащая обработке, перемещается с существенно более высокой скоростью транспортирования.

Как было описано выше, был представлен один пример конструкции аппарата для плазменного CVD согласно вариантам осуществления настоящего изобретения. Однако ясно, что настоящее изобретение может быть применено к аппарату для плазменного CVD любого типа. Например, настоящее изобретение может быть применено к любому типу аппарата для плазменного CVD с нагреванием, который выполняет осаждение в состоянии, где подложка, подлежащая обработке, нагревается, и к типу аппарата для плазменного CVD без нагревания, который производит осаждение в состоянии, где подложка, подлежащая обработке, не нагревается (или в состоянии нагревания максимально до около 60°C).

### Примеры

Далее будут описаны примеры изобретения.

Пример 1.

Посредством использования аппарата для плазменного CVD согласно варианту осуществления настоящего изобретения на подложку, подлежащую обработке, были осаждены пленки TiO<sub>2</sub>. В качестве подложки, подлежащей обработке, использовали подложку из бесцелочного стекла.

В качестве установки для осаждения применяли установку, как проиллюстрировано на фиг. 7. Кроме того, в качестве аппарата для плазменного CVD использовали аппарат, имеющий конструкцию, как проиллюстрировано на фиг. 5. Т.е. аппарат имеет источник плазмы, включающий в себя группу электродов, выполненную из четырех электродов, и матрицу магнитов, выполненную из трех магнитов. В качестве источника плазмы применяли источник плазмы, имеющий проиллюстрированную на фиг. 6 конструкцию. Каждый из трех магнитов в матрице магнитов был расположен так, что южный полюс был направлен вверх (в сторону подложки, подлежащей обработке, и в сторону источника плазмы).

В качестве газа-прекурсора использовали тетраизопропаноат титана (ТИП) (расход: 350 ст.см<sup>3</sup>/мин), а в качестве стимулирующего реакцию газа применяли газообразный кислород (расход: 4000 ст.см<sup>3</sup>/мин). Давление внутри камеры осаждения было отрегулировано на 1,0 Па или менее.

Частота переменного тока от источника питания составляла 40 кГц, а электрическое напряжение прилагалось так, что подводимая мощность для длины источника плазмы составляла 80 кВт/м.

Подложку, подлежащую обработке, перед осаждением не нагревали. Кроме того, скорость транспортирования подложки, подлежащей обработке, составляла 1,0 м/мин.

После осаждения подложку, подлежащую обработке, извлекали из выходной камеры и оценивали плотность пленки  $TiO_2$ . Более того, измеряли толщину пленки  $TiO_2$ . По толщине и скорости транспортирования подложки, подлежащей обработке, рассчитывали скорость осаждения пленки  $TiO_2$ . Плотность пленки  $TiO_2$  оценивали по показателю преломления. Согласно осведомленности авторов настоящего изобретения показатель преломления может быть использован как индекс плотности пленки (при большем показателе преломления пленки  $TiO_2$  плотность является более высокой). Показатель преломления пленки  $TiO_2$  измеряли как значение при длине волны 632 нм с использованием эллипсометра.

Фиг. 8 схематически иллюстрирует один пример состояния плазмы, сгенерированной из источника плазмы (группы электродов) при осаждении пленки  $TiO_2$  в примере 1. Из фиг. 8 найдено, что, когда использовали аппарат для плазменного CVD, проиллюстрированный на фиг. 5, по всей подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, плазма генерировалась в относительно однородном состоянии и с высокой плотностью.

Примеры 2 и 3.

С использованием такой же установки, как в примере 1, и таким же способом, на подложку, подлежащую обработке, была осаждена пленка  $TiO_2$ . В примерах 2 и 3 расход газа-прекурсора и/или расход стимулирующего реакцию газа отличались от примера 1. Другие условия были такими же, как в примере 1.

Табл. 1 обобщенно перечисляет значения расхода газа-прекурсора, расхода стимулирующего реакцию газа, полученные скорости осаждения и показатели преломления пленок в примерах 1-3.

Таблица 1

Пример	Расход газа-прекурсора (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Расход стимулирующего реакцию газа (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Скорость осаждения (нм·м/мин)	Показатель преломления
1	350	4000	50,8	2,26
2	400	4000	66,9	2,19
3	450	4500	80,4	2,14

Примеры 4-6.

С использованием такой же установки, как в примере 1, и таким же способом, на подложку, подлежащую обработке, была осаждена пленка  $TiO_2$ . В примерах 4-6 в качестве аппарата для плазменного CVD использовали аппарат, имеющий конструкцию, как проиллюстрировано на фиг. 2. В аппарате для плазменного CVD группа электродов выполнена из четырех электродов, а матрица магнитов выполнена из трех магнитов. В качестве источника плазмы применяли источник, имеющий проиллюстрированную на фиг. 6 конструкцию. Каждый из трех магнитов в матрице магнитов был расположен так, что южный полюс был направлен вверх (в сторону подложки, подлежащей обработке, и в сторону источника плазмы).

Кроме того, в примерах 4-6 различались между собой значения расхода газа-прекурсора и/или расхода стимулирующего реакцию газа.

Табл. 2 обобщенно перечисляет значения расхода газа-прекурсора, расхода стимулирующего реакцию газа, полученные скорости осаждения и показатели преломления пленок в примерах 4-6.

Таблица 2

Пример	Расход газа-прекурсора (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Расход стимулирующего реакцию газа (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Скорость осаждения (нм·м/мин)	Показатель преломления
4	350	4000	41,3	2,32
5	400	4000	57,5	2,25
6	450	4500	72,9	2,21

Примеры 7-9.

С использованием такой же установки, как в примерах 4-6, и таким же способом, на подложку, подлежащую обработке, была осаждена пленка  $TiO_2$ . В примерах 7-9 в качестве матрицы магнитов использовали четыре магнита. Соответствующие магниты были расположены под электродами, составляющими группу электродов, соответственно. Каждый из четырех магнитов в матрице магнитов был расположен так, что южный полюс был направлен вверх (в сторону подложки, подлежащей обработке, и в сторону источника плазмы).

Кроме того, в примерах 7-9 различались между собой значения расхода газа-прекурсора и/или расхода стимулирующего реакцию газа.

Табл. 3 обобщенно перечисляет значения расхода газа-прекурсора, расхода стимулирующего реакцию газа, полученные скорости осаждения и показатели преломления пленок в примерах 7-9.

Таблица 3

Пример	Расход газа-прекурсора (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Расход стимулирующего реакцию газа (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Скорость осаждения (нм·м/мин)	Показатель преломления
7	350	4000	37,7	2,34
8	400	4000	47,2	2,31
9	450	4500	62,0	2,24

Примеры 10-12.

С использованием такой же установки, как в примере 1, и таким же способом, на подложку, подлежащую обработке, была осаждена пленка TiO<sub>2</sub>. В примерах 10-12 в качестве аппарата для плазменного CVD использовали аппарат, который не имел матрицы магнитов. Конструкция источника плазмы была такой же, как использованная в примере 1. Т.е. аппарат для плазменного CVD, использованный в примерах 10-12, отличался от примера 1 только тем, что устройство не включало в себя магнит.

Кроме того, в примерах 10-12 различались между собой значения расхода газа-прекурсора и/или расхода стимулирующего реакцию газа.

Фиг. 9 схематически иллюстрирует один пример состояния плазмы, сгенерированной из источника плазмы (группы электродов) при осаждении пленки TiO<sub>2</sub> в примере 10. Из фиг. 9 найдено, что, когда использовали аппарат для плазменного CVD, не имеющий матрицы магнитов, плазма отклонялась непосредственно под соответствующими электродами, и плотность плазмы в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, существенно не повышалась.

Табл. 4 обобщенно перечисляет значения расхода газа-прекурсора, расхода стимулирующего реакцию газа, полученные скорости осаждения и показатели преломления пленок в примерах 10-12.

Таблица 4

Пример	Расход газа-прекурсора (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Расход стимулирующего реакцию газа (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Скорость осаждения (нм·м/мин)	Показатель преломления
10	350	4000	66,7	1,99
11	400	4000	85,4	1,93
12	450	4500	91,2	1,91

Примеры 13-15.

С использованием такой же установки, как в примере 1, и таким же способом, на подложку, подлежащую обработке, была осаждена пленка TiO<sub>2</sub>. В примерах 13-15 в качестве аппарата для плазменного CVD использовали аппарат с матрицей магнитов, имеющей только один магнит. Магнит был расположен под центральным участком источника плазмы, т.е. под зазором между вторым электродом и третьим электродом. Кроме того, магнит был расположен так, что южный полюс был направлен вверх (в сторону источника плазмы).

Конструкция источника плазмы была такой же, как использованная в примере 1. Т.е. аппарат для плазменного CVD, использованный в примерах 13-15, отличался от примера 1 только тем, что аппарат включал в себя только один магнит.

Кроме того, в примерах 13-15 различались между собой значения расхода газа-прекурсора и/или расхода стимулирующего реакцию газа.

Фиг. 10 схематически иллюстрирует один пример состояния плазмы, сгенерированной из источника плазмы (группы электродов) при осаждении пленки TiO<sub>2</sub> в примере 13. Из фиг. 10 найдено, что, когда использовали аппарат для плазменного CVD с матрицей магнитов, имеющей только один магнит, то, хотя плотность плазмы несколько возрастала в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, непосредственно над магнитом, плотность плазмы по всей подвергаемой обработке области существенно не повышалась.

Табл. 5 обобщенно перечисляет значения расхода газа-прекурсора, расхода стимулирующего реакцию газа, полученные скорости осаждения и показатели преломления пленок в примерах 13-15.

Таблица 5

Пример	Расход газа-прекурсора (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Расход стимулирующего реакцию газа (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Скорость осаждения (нм·м/мин)	Показатель преломления
13	350	4000	48,4	2,21
14	400	4000	63,3	2,15
15	450	4500	93,6	2,05

Примеры 16-18.

С использованием такой же установки, как в примере 1, и таким же способом, на подложку, подлежащую обработке, была осаждена пленка TiO<sub>2</sub>. В примерах 16-18 матрица магнитов в аппарате для плазменного CVD не имела "одинакового расположения полярности". Т.е. три магнита были расположены так, что верхние полярности попеременно менялись в порядке южный полюс/северный полюс/южный полюс. Конструкция источника плазмы была такой же, как использованная в примере 1. Т.е. различались только направления полярностей трех магнитов между аппаратом для плазменного CVD, использованным в примерах 16-18, и аппаратом в примере 1.

Кроме того, в примерах 16-18 различались между собой значения расхода газа-прекурсора и/или расхода стимулирующего реакцию газа.

Фиг. 11 схематически иллюстрирует один пример состояния плазмы, сгенерированной из источника плазмы (группы электродов) при осаждении пленки TiO<sub>2</sub> в примере 16. Из фиг. 11 найдено, что, когда использовали аппарат для плазменного CVD, который не имел "одинакового расположения полярности", то, хотя плотность плазмы несколько возросла в подвергаемой обработке области подложки, подлежащей обработке, непосредственно над магнитами, плотность плазмы по всей подвергаемой обработке области существенно не повышалась.

Табл. 6 обобщенно перечисляет значения расхода газа-прекурсора, расхода стимулирующего реакцию газа, полученные скорости осаждения и показатели преломления пленок в примерах 16-18.

Таблица 6

Пример	Расход газа-прекурсора (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Расход стимулирующего реакцию газа (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Скорость осаждения (нм·м/мин)	Показатель преломления
16	350	4000	56,3	2,19
17	400	4000	79,2	2,10
18	450	4500	102,3	2,00

Фиг. 12 обобщенно иллюстрирует соотношения между скоростями осаждения и показателями преломления, полученными в примерах 1-18.

Согласно фиг. 12 показано, что результаты примеров 1-9 нанесены на график выше результатов примеров 10-18. Более того, в сравнении при одинаковых скоростях осаждения, показатели преломления примеров 1-9 являются более высокими, чем значения примеров 10-18, и показано, что была получена плотная пленка TiO<sub>2</sub>.

Таким образом, было подтверждено, что в примерах 1-9 с использованием аппарата для плазменного CVD, в котором матрица магнитов имела "одинаковое расположение полярности", могла бы быть получена плотная пленка без заметного ущерба для скорости осаждения.

Пример 19.

С использованием аппарата для плазменного CVD согласно варианту осуществления выполнили осаждение пленки SiO<sub>2</sub> на подложку, подлежащую обработке. В качестве подложки, подлежащей обработке, применяли подложку из бесщелочного стекла.

В качестве установки для осаждения использовали установку, проиллюстрированную на фиг. 7. Кроме того, в качестве аппарата для плазменного CVD применяли аппарат, имеющий конструкцию, проиллюстрированную на фиг. 5. Т.е. аппарат имеет источник плазмы, включающий в себя группу электродов, выполненную из четырех электродов, и матрицу магнитов, выполненную из трех магнитов. В качестве источника плазмы использовали источник, имеющий проиллюстрированную на фиг. 6 конструкцию. Каждый из трех магнитов в матрице магнитов был расположен так, что южный полюс был направлен вверх (в сторону подложки, подлежащей обработке, и в сторону источника плазмы).

В качестве газа-прекурсора использовали тетраметилдисилоксан (TMDSO) (расход: 200 ст.см<sup>3</sup>/мин). В качестве стимулирующего реакцию газа применяли газообразный кислород (расход: 5000 ст.см<sup>3</sup>/мин). Давление внутри камеры осаждения было отрегулировано на 1,8 Па или менее.

Частота переменного тока от источника питания составляла 40 кГц, и электрическое напряжение прилагалось так, что подводимая мощность для длины источника плазмы составляла 40 кВт/м.

Подложку, подлежащую обработке, перед осаждением не нагревали. Кроме того, скорость транспортирования подложки, подлежащей обработке, составляла 1,0 м/мин.

После осаждения подложку, подлежащую обработке, извлекали из выходной камеры и оценивали плотность пленки SiO<sub>2</sub>. Более того, измеряли толщину пленки SiO<sub>2</sub>. По толщине и скорости транспортирования подложки, подлежащей обработке, рассчитывали скорость осаждения пленки SiO<sub>2</sub>. Плотность пленки SiO<sub>2</sub> оценивали по количеству углерода в пленке. Согласно осведомленности авторов настоящего изобретения количество углерода в пленке SiO<sub>2</sub> может быть использовано в качестве показателя плотности пленки (при меньшем количестве углерода в пленке SiO<sub>2</sub> плотность является более высокой). Количество углерода в пленке SiO<sub>2</sub> измеряли с использованием рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS) (на приборе Versa Probe PHI 5000 фирмы ULVAC-PHI, Incorporated).

Пример 20.

С использованием такой же установки, как в примере 19, и таким же способом на подложку, подлежащую обработке, была осаждена пленка SiO<sub>2</sub>. В примере 20 в качестве аппарата для плазменного CVD использовали аппарат, который не имел матрицы магнитов. Конструкция источника плазмы была такой же, как использованная в примере 19. Т.е. аппарат для плазменного CVD, использованный в примере 20, отличался от примера 19 только тем, что аппарат не включал в себя магнит.

Пример 21.

С использованием такой же установки, как в примере 20, и таким же способом на подложку, подлежащую обработке, была осаждена пленка SiO<sub>2</sub>. Пример 21 отличается от примера 20 тем, что подводимая мощность составляла 80 кВт.

Табл. 7 обобщенно перечисляет значения подводимых мощностей, расхода газа-прекурсора, расхода стимулирующего реакцию газа, полученные скорости осаждения и количества углерода в пленке SiO<sub>2</sub> в примерах 19-21.

Таблица 7

Пример	Подводимая мощность (кВт/м)	Расход газа-прекурсора (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Расход стимулирующего реакцию газа (ст.см <sup>3</sup> /мин)	Скорость осаждения (нм/мин)	Количество углерода в пленке SiO <sub>2</sub> (ат%)
19	40	200	5000	187,0	0,18
20	40	200	5000	206,3	1,14
21	80	200	5000	192,2	0,15

По данным табл. 7 было подтверждено, что в примере 19 с использованием аппарата для плазменного CVD, в котором матрица магнитов имела "одинаковое расположение полярности", по сравнению с примерами 20 и 21 плотная пленка может быть получена с подобной скоростью осаждения и при половине электрической мощности. Т.е. может быть сокращен расход электрической энергии.

Настоящая заявка основана на Японской приоритетной заявке № 2014-259378, поданной 22 декабря 2014 года, полное содержание которой включено в настоящий документ по ссылке.

#### Список условных обозначений

- 100 - Первый аппарат для плазменного CVD;
- 110 - источник плазмы;
- 120 - группа электродов;
- 121A, 212B - электроды;
- 130 - источник питания переменного тока;
- 140 - первый электрический провод;
- 142 - второй электрический провод;
- 150-1 - первый зазор;
- 160 - матрица магнитов;
- 161a, 161b - магниты;
- 190 - подложка, подлежащая обработке;
- 200 - второй аппарат для плазменного CVD;
- 210 - источник плазмы;
- 220 - группа электродов;
- 221A-221D - электроды;
- 230 - источник питания переменного тока;
- 240 - первый электрический провод;
- 242 - второй электрический провод;
- от 250-1 до 250-3 - зазоры;
- 252A-252D - щели;
- 254A-254D - трубопроводы;

от 256-1 до 256-3 - трубопроводы для газа-прекурсора;  
 260 - матрица магнитов;  
 261a-261c - магниты;  
 290 - подложка, подлежащая обработке;  
 300 - третий аппарат для плазменного CVD;  
 310 - источник плазмы;  
 320 - группа электродов;  
 321A-321D - электроды;  
 330 - источник питания переменного тока;  
 340 - первый электрический провод;  
 342 - второй электрический провод;  
 от 350-1 до 350-3 - зазоры;  
 360 - матрица магнитов;  
 361a-361c - магниты;  
 390 - подложка, подлежащая обработке;  
 500 - установка для осаждения;  
 501 - входная камера;  
 502 - камера осаждения;  
 503 - выходная камера;  
 509 - аппарат для плазменного CVD;  
 588 транспортировочный узел;  
 589 - ролики;  
 590 - подложка, подлежащая обработке А-С магниты;  
 G - подложка, подлежащая обработке L матрица магнитов Р нулевая точка.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Аппарат для плазменного CVD, включающий в себя источник плазмы, соединенный с источником питания переменного тока или двумя или более источниками питания переменного тока, выполненный с возможностью генерации плазмы; и матрицу магнитов, выполненную из множества магнитов, причем источник плазмы имеет группу электродов, причем группа электродов выполнена посредством расположения  $n$  электродов ( $n$  является четным целым числом, большим или равным двум), включая первый электрод и второй электрод, в порядке номеров электродов от первого электрода вдоль направления  $X$ , причем каждый из электродов группы электродов соединен с источником питания переменного тока, причем каждый из электродов группы имеет полую структуру электрода, простирающуюся вдоль направления  $Y$ , причем между смежными электродами группы электродов образован выход проточного канала для газа-прекурсора, причем матрица магнитов выполнена так, что северный полюс или южный полюс каждого из магнитов обращен к источнику плазмы, и причем в матрице магнитов по меньшей мере для одной пары двух соседних магнитов обращенные к источнику плазмы полюса располагаются так, что являются одинаковыми, и причем каждый из магнитов имеет форму бруска, простирающегося вдоль направления  $Y$ .
2. Аппарат для плазменного CVD по п.1, причем в матрице магнитов для всех магнитов обращенные к источнику плазмы полюса располагаются так, что являются одинаковыми.
3. Аппарат для плазменного CVD по п.1 или 2, причем число магнитов, включенных в матрицу магнитов, находится в диапазоне от  $(n-1)$  до  $(n+1)$ .
4. Аппарат для плазменного CVD по любому из пп.1-3, причем матрица магнитов включает в себя  $(n-1)$  магнитов, и причем магниты расположены, по существу, в положениях, обращенных к каждому из выходов проточных каналов для газа-прекурсора, расположенных в группе электродов, соответственно.
5. Аппарат для плазменного CVD по любому из пп.1-3, причем матрица магнитов включает в себя  $n$  магнитов, и причем магниты расположены, по существу, в положениях, обращенных к электродам, составляющим группу электродов, соответственно.
6. Аппарат для плазменного CVD по любому из пп.1-5, причем электрическое напряжение, приложенное к  $n/2$  электродам, составляющим группу электродов, обладает полярностью, противоположной электрическому напряжению, приложенному к остальным электродам, и причем электрические напряжения одинаковой полярности приложены к по меньшей мере одной

паре из двух соседних электродов.

7. Аппарат для плазменного CVD по любому из пп.1-5,

причем электрическое напряжение, приложенное к  $n/2$  электродам, составляющим группу электродов, обладает полярностью, противоположной электрическому напряжению, приложенному к остальным электродам, и

причем электрические напряжения одинаковой полярности приложены к электродам с четными номерами.

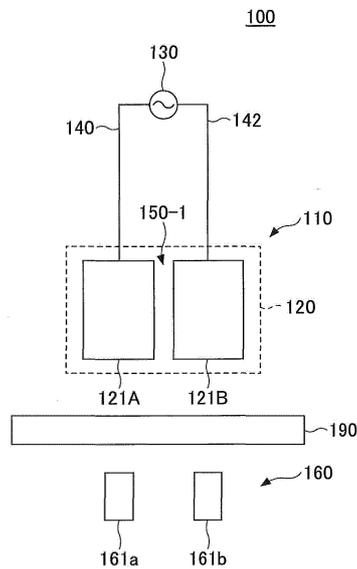
8. Аппарат для плазменного CVD по любому из пп.1-7, дополнительно включающий в себя транспортировочный узел, выполненный с возможностью перемещения подложки, подлежащей обработке, между источником плазмы и матрицей магнитов.

9. Аппарат для плазменного CVD по любому из пп.1-8, причем каждый электрод группы электродов включает в себя щель для выпуска плазмы.

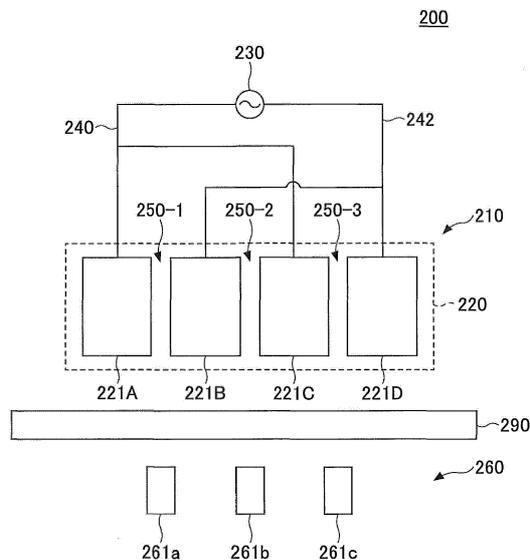
10. Аппарат для плазменного CVD по любому из пп.1-9, причем соответствующие электроды группы электродов присоединены к единственному источнику питания переменного тока.

11. Аппарат для плазменного CVD по любому из пп.1-3, причем магниты расположены непосредственно под зазорами между электродами.

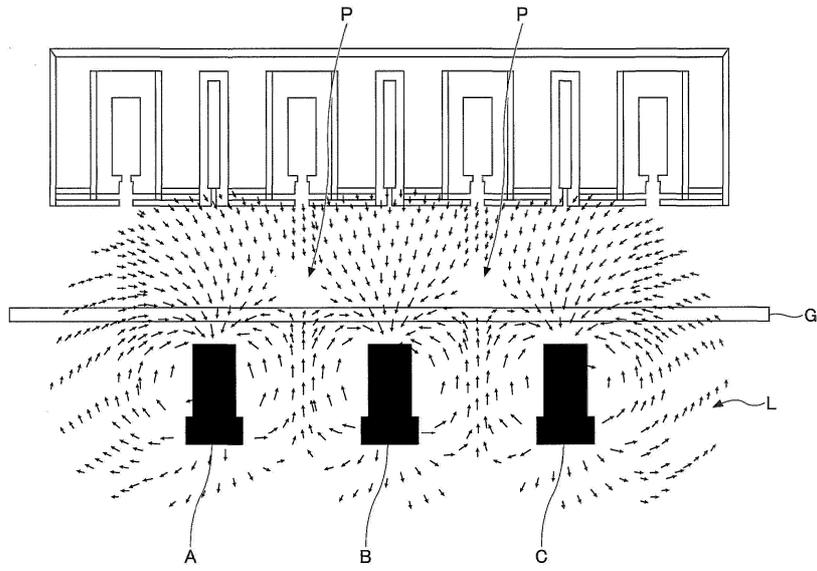
12. Аппарат для плазменного CVD по любому из пп.1-5, причем магниты расположены с регулярными интервалами.



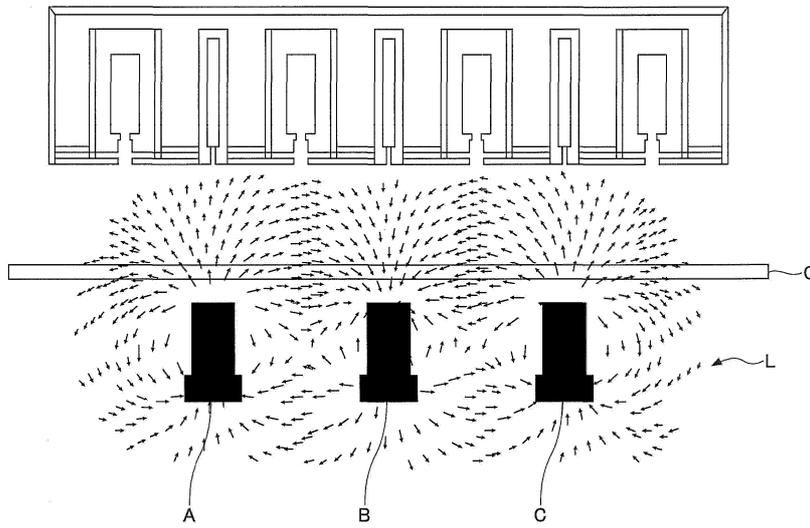
Фиг. 1



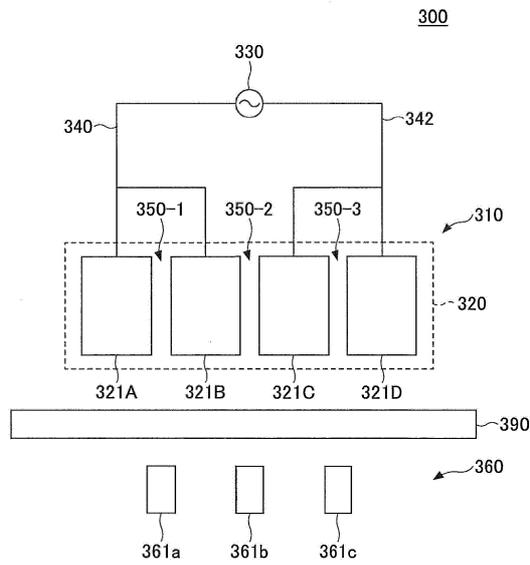
Фиг. 2



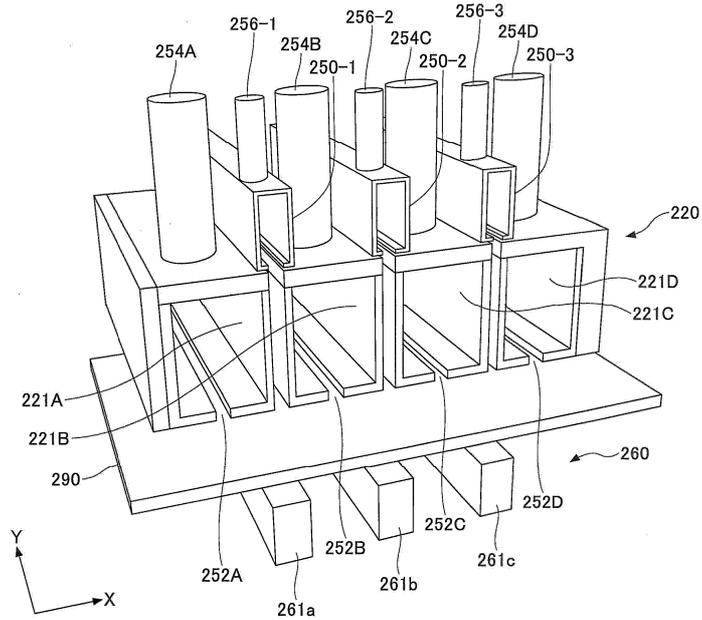
Фиг. 3



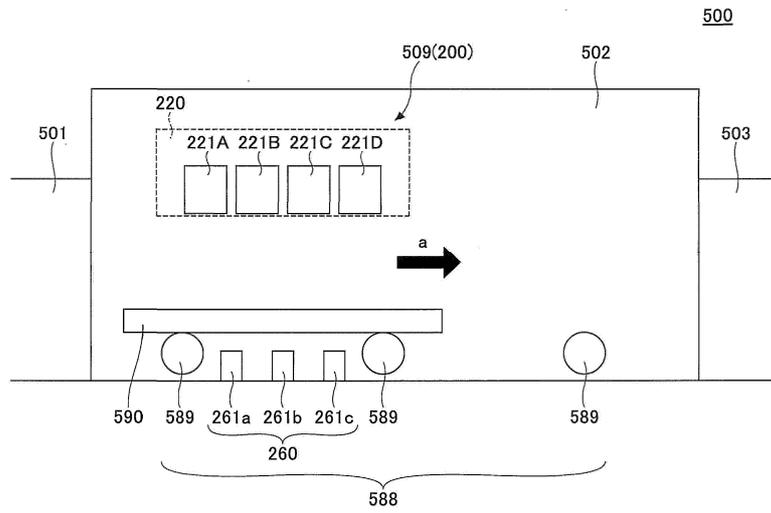
Фиг. 4



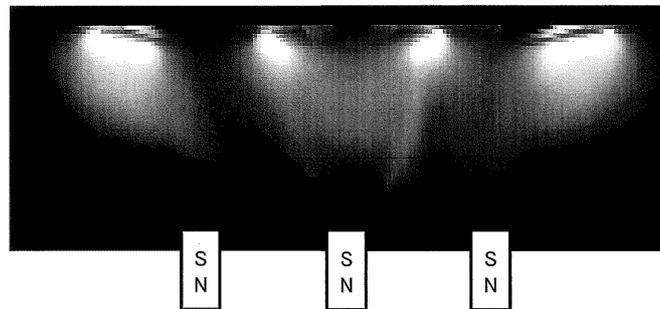
Фиг. 5



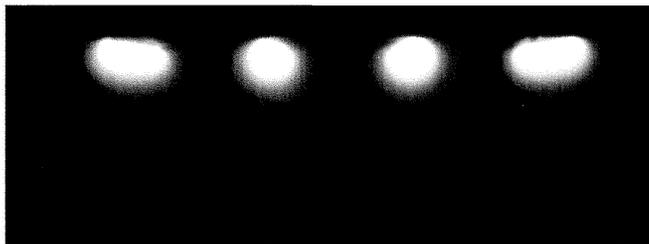
Фиг. 6



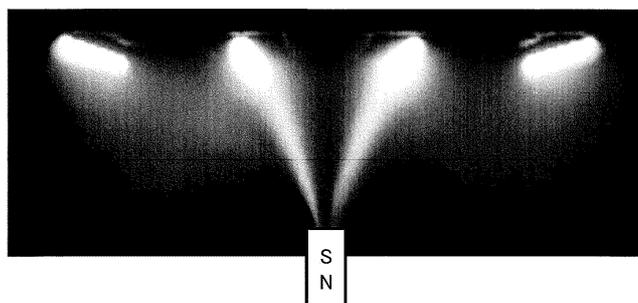
Фиг. 7



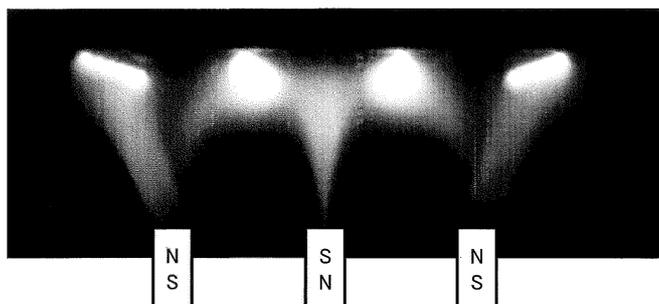
Фиг. 8



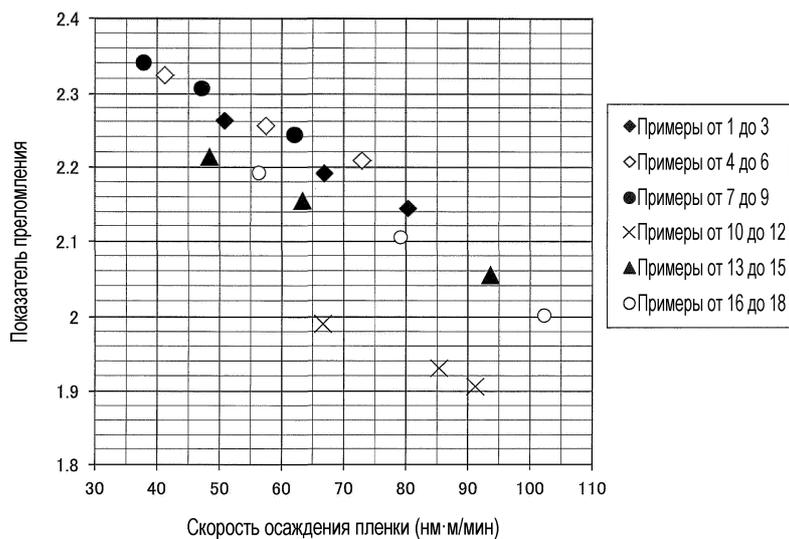
Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12