

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **034967**

(13) **B1**

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

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2020.04.13**

**(51)** Int. Cl. **C23C 14/56** (2006.01)  
**C23C 14/50** (2006.01)

**(21)** Номер заявки  
**201800373**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2018.05.04**

---

**(54) ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ (ВАРИАНТЫ)**

---

**(43)** **2019.11.29**

**(56)** RU-C1-2507308  
RU-C1-2586937  
US-A-5474611  
WO-A2-2002004848  
US-A-4851095

**(96)** **2018/EA/0032 (BY) 2018.05.04**

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ИЗОВАК  
ТЕХНОЛОГИИ" (BY)**

**(72)** Изобретатель:  
**Ширипов Владимир Яковлевич,  
Хохлов Евгений Александрович,  
Марышев Сергей Павлович (BY)**

---

**(57)** Предлагаемые технические решения (варианты) относятся к технологическому оборудованию для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме. Новым по сравнению с известным оборудованием аналогичного назначения является то, что транспортная система технологической линии выполнена с возможностью синхронного, пошагового перемещения подложкодержателя из камеры в камеру в направлении, перпендикулярном оси его вращения, и с возможностью перемещения подложкодержателя в технологической камере в зону обработки вдоль оси его вращения; технологическая камера содержит углубление в сторону атмосферы, размер которого обусловлен размерами подложкодержателя и достаточен для размещения в нем технологических и контрольно-измерительных устройств, и ввод вращения подложкодержателя с устройством стыковки с центральным валом подложкодержателя. В первом варианте выполнения технологической линии несущая рама транспортной системы, на которой консольно закреплен подложкодержатель, может быть выполнена с возможностью перемещения из камеры в камеру и в горизонтальном и в вертикальном положении, в то время как во втором варианте выполнения технологической линии несущая рама выполнена с возможностью перемещения только в вертикальном положении, а сама технологическая линия дополнительно включает камеру возврата подложкодержателя. При этом в первом и втором вариантах выполнения технологической линии в зоне обработки подложек, установленных в сквозных ячейках на образующей поверхности цилиндрического подложкодержателя, для одновременного двухстороннего формирования покрытий на поверхности подложек размещены по меньшей мере два технологических устройства. Предлагаемые варианты выполнения технологических линий позволяют значительно повысить производительность оборудования, достичь высокого качества тонкопленочным покрытий с большим количеством слоев и обеспечить одновременное формирование покрытий на обеих сторонах подложек.

---

**B1**

**034967**

**034967**

**B1**

Предлагаемые технические решения (варианты) относятся к области технологического оборудования для обработки поверхностей в массовом производстве, в частности, вакуумного технологического оборудования, предназначенного для нанесения тонкопленочных покрытий с заданными оптическими, электрическими и другими характеристиками.

Из уровня техники известны различные установки для нанесения тонкопленочных покрытий на обрабатываемые изделия (подложки).

Так, например, в патенте US №4851095, опубликованном 25.07.1989 г., описана для нанесения покрытий на подложки барабанная установка периодического действия, включающая подложкодержатель, выполненный в виде цилиндра, на образующей поверхности которого установлены подложки. Равномерность покрытия подложек в известном устройстве обеспечена вращением барабана в зоне обработки подложек посредством технологических устройств линейного типа.

Кроме того, известна также технологическая автоматизированная установка по патенту RU №78785 на полезную модель, опубликованному 10.12.2008 г., в которой для нанесения тонкопленочных покрытий на подложки последние устанавливаются на каретку-носитель, которую поэтапно перемещают вдоль технологических устройств.

Однако все известные из уровня техники установки, предназначенные для нанесения тонкопленочных покрытий, обладают общими серьезными недостатками, а именно: низким качеством нанесения многослойных оптических структур при их использовании в массовом производстве; непригодностью установок при нанесении нескольких слоев одновременно на обе стороны подложки; наличием серьезных ограничений по применению технологических устройств с различными принципами работы.

Все эти недостатки обусловлены концептуальными ограничениями конструкции упомянутых образцов оборудования.

Наиболее близким по совокупности существенных признаков к заявляемым в качестве изобретения объектам является описанная в патенте RU №2507308, опубликованном 20.02.2014 года технологическая линия массового производства, предназначенная для нанесения тонкопленочных покрытий с заданными оптическими, электрическими и другими характеристиками.

В известном техническом решении подложки располагают на вращающихся подложкодержателях цилиндрического типа, которые последовательно перемещают вдоль зон обработки технологической линии с одинаковой постоянной линейной и угловой скоростью. При этом соотношение линейной и угловой скоростей подложкодержателя выбирается таким образом, чтобы каждая точка поверхности подложкодержателя совершала не менее двух полных оборотов при прохождении зоны обработки.

В технологической линии содержатся шлюзовые, буферные камеры и по крайней мере одна технологическая камера с технологическим устройством, подложкодержатели и транспортная система. Каждый подложкодержатель выполнен в виде вращающегося цилиндра и расположен на каретке транспортной системы, установленной с возможностью последовательного прохождения камер технологической линии с постоянной линейной скоростью.

Однако известному техническому решению также присущи недостатки, а именно: отсутствие возможности нанесения покрытий одновременно на обе стороны подложки; ограничение круга технологий и технологических устройств при нанесении тонкопленочных покрытий на подложку в технологической линии; неприемлемые габариты установки (по необходимому числу технологических камер) и стоимости технологической линии при попытке ее использования для нанесения на подложку структур с числом в десятки и сотни слоев.

Задачей предлагаемых технических решений, относящихся к вариантам выполнения технологической линии для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме, является устранение всех вышеперечисленных недостатков.

Поставленная задача решена тем, что в технологической линии для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по первому варианту выполнения, включающей шлюзовые камеры загрузки и выгрузки, расположенные на противоположных концах технологической линии, по меньшей мере одну технологическую камеру с технологическими устройствами, предназначенными для обработки поверхности подложек и формирования на них тонкопленочных покрытий, контрольно-измерительные устройства, сквозную транспортную систему, установленную по всей длине технологической линии, с кареткой, выполненной в виде несущей рамы и предназначенной для последовательного перемещения подложкодержателя из камеры в камеру, вакуумные затворы, подложкодержатель, выполненный с возможностью вращения, на образующей поверхности которого установлены подложки, технологическая камера содержит углубление в сторону атмосферы, размер которого обусловлен размерами подложкодержателя и достаточен для размещения в нем технологических и контрольно-измерительных устройств, а ввод вращения подложкодержателя, установленный в технологической камере, снабжен устройством стыковки с центральным валом подложкодержателя, установленным на оси вращения подложкодержателя и консольно закрепленным на несущей раме, при этом подложкодержатель содержит открытый и закрытый торцы, причем открытый торец направлен в сторону зоны обработки и его описывающий диаметр соответствует максимальному описываемому диаметру подложкодержателя, а транспортная система технологической линии выполнена с возможностью синхронного, пошагового перемещения под-

ложкодержателя из камеры в камеру в направлении, перпендикулярном оси его вращения, и с возможностью перемещения подложкодержателя в зону обработки вдоль оси его вращения в каждой из технологических камер, а в технологической линии для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по второму варианту выполнения, включающей шлюзовые камеры загрузки и выгрузки, расположенные с одной стороны технологической линии, по меньшей мере две технологических камеры с технологическими устройствами, предназначенными для обработки поверхности подложек и формирования на них тонкопленочных покрытий, контрольно-измерительные устройства, сквозную транспортную систему, установленную по всей длине технологической линии, с кареткой, выполненной в виде несущей рамы и предназначенной для последовательного перемещения подложкодержателя из камеры в камеру, возвратную камеру, предназначенную для изменения направления перемещения подложкодержателя, вакуумные затворы, подложкодержатель, выполненный с возможностью вращения, на образующей поверхности которого установлены подложки, технологическая камера содержит углубление в сторону атмосферы, размер которого обусловлен размерами подложкодержателя и достаточен для размещения в нем технологических и контрольно-измерительных устройств, а ввод вращения подложкодержателя, установленный в технологической камере, снабжен устройством стыковки с центральным валом подложкодержателя, установленным на горизонтальной оси вращения подложкодержателя и консольно закрепленным на несущей раме, выполненной с возможностью перемещения в вертикальном положении, при этом подложкодержатель содержит открытый и закрытый торцы, причем открытый торец направлен в сторону зоны обработки и его описывающий диаметр соответствует максимальному описываемому диаметру подложкодержателя, а транспортная система технологической линии выполнена с возможностью синхронного, пошагового перемещения подложкодержателя из камеры в камеру в направлении, перпендикулярном оси его вращения, и с возможностью перемещения подложкодержателя в зону обработки вдоль оси его вращения в каждой из технологических камер.

Кроме того, в технологической линии для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по первому варианту выполнения несущая рама транспортной системы установлена с возможностью перемещения из камеры в камеру либо в горизонтальном положении, при этом ось вращения подложкодержателя ориентирована вертикально, либо в вертикальном положении, при этом ось вращения подложкодержателя ориентирована горизонтально.

В обоих вариантах технологическая камера разделена на две зоны - зону обработки и зону перемещения подложкодержателя, причем устройством разделения служит диафрагма, жестко установленная на несущей раме транспортной системы, а подложкодержатель выполнен в виде поверхности вращения, например купола, или усеченного конуса, или цилиндра.

Причем на поверхности подложкодержателя могут быть установлены приспособления, предназначенные для автономного вращения подложек, а также выполнены сквозные ячейки для установки подложек.

Кроме того, зона обработки технологической камеры может быть снабжена элементами, обеспечивающими газовую изоляцию технологических устройств, а на поверхности подложкодержателя размещены приспособления для фиксации подложек, которые могут быть выполнены в виде съемных элементов.

В качестве технологических устройств в обоих вариантах выполнения технологической линии используют испарители, и/или магнетроны, и/или ионные источники, и/или генераторы плазмы, а в качестве контрольно-измерительных устройств используют устройства оптического контроля пропуска/отражения и/или кварцевые измерители скорости нанесения покрытий.

Кроме того, во втором варианте выполнения технологической линии в зоне обработки подложек, установленных на образующей поверхности подложкодержателя, выполненного в виде цилиндра со сквозными ячейками на его образующей поверхности, размещены по меньшей мере два технологических устройства, предназначенных для одновременного двухстороннего формирования покрытий на поверхности подложек.

На фиг. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 представлены чертежи, на которых схематично показаны оба варианта выполнения технологических линий (фиг. 1, 2), а также элементов, входящих в состав обоих вариантов выполнения заявляемых технологических линий, поясняющие работу предлагаемых вариантов технологической линии для нанесения тонкопленочных покрытий на подложку в вакууме.

В представленную технологическую линию для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме (варианты) входят:

- 1 - шлюзовые камеры загрузки;
- 2 - шлюзовые камеры выгрузки;
- 3 - технологическая камера;
- 4 - технологические устройства;
- 5 - средства откачки;
- 6 - подложки;
- 7 - сквозные ячейки для установки подложек;
- 8 - подложкодержатель;
- 9 - устройство фиксации;

- 10 - вакуумный затвор;
- 11 - транспортная система;
- 12 - ролики;
- 13 - линейная направляющая;
- 14 - магнитный подвес;
- 15 - несущая рама;
- 16 - зона обработки;
- 17 - углубление в технологической камере;
- 18 - перегородка;
- 19 - диафрагма;
- 20 - ввод вращения;
- 21 - центральный вал;
- 22 - устройство стыковки;
- 23 - устройство для вращения подложек;
- 24 - стол загрузки;
- 25 - стол выгрузки;
- 26 - камера возврата;
- 27 - возвратный модуль;
- 28 - зона перемещения;
- 29 - генератор плазмы;
- 30 - магнетрон;
- 31 - испаритель.

Для обеспечения работы технологической линии по первому варианту выполнения (фиг. 1) все камеры - шлюзовые камеры 1 загрузки, шлюзовые камеры 2 выгрузки, необходимое количество технологических камер 3 - соединяют между собой последовательно в технологическую линию там, где это необходимо, через вакуумные затворы 10 и оснащают единой сквозной транспортной системой 11, средствами откачки 5, а в каждой технологической камере 3 размещают технологические устройства 4, предназначенные для обработки поверхности подложек 6, формирования на них тонкопленочных покрытий и контрольно-измерительные устройства. При этом каждая технологическая камера 3 включает ввод 20 вращения с устройством 22 стыковки (фиг. 3).

Камеры технологической линии образуют вакуумный коридор, в котором размещена сквозная транспортная система 11, обеспечивающая перемещение подложек 6, закрепленных на образующей поверхности подложкодержателя 8, из одной технологической камеры 3 в другую для нанесения покрытий.

Как правило, количество размещаемых в линии технологических камер 3 обусловлено толщиной и составом материала, наносимого на подложки 6.

За пределами вакуумного коридора, на столе 24 загрузки, на образующей поверхности подложкодержателя 8, выполненного, например, со сквозными ячейками 7, размещают подложки 6, предназначенные для формирования на них тонкопленочных покрытий, закрепленные, например, с использованием устройств 9 для фиксации подложек (фиг. 4). А на столе 25 выгрузки уже готовые изделия - подложки 6 со сформированными на них тонкопленочными покрытиями снимают с подложкодержателя 8 и помещают в транспортную кассету для дальнейшего целевого использования.

При этом устройства 9, предназначенные для фиксации подложек 6 на образующей поверхности подложкодержателя 8, выполнены в виде съемных элементов, а форма ячеек 7, предназначенных для установки подложек 6, может соответствовать форме размещаемых в них подложек.

Подложкодержатель 8 может быть выполнен в виде поверхности вращения, например купола, усеченного конуса или цилиндра, и содержит открытый и закрытый торцы, причем закрытый торец подложкодержателя 8 установлен на его центральном валу 21 и на оси вращения подложкодержателя 8. При этом на образующей поверхности подложкодержателя 8 могут быть смонтированы устройства 23, обеспечивающие дополнительное автономное вращение подложек 6 (фиг. 3, 4, 5, 6).

Центральный вал 21 со стороны закрытого торца подложкодержателя 8 консольно закреплен на каретке, выполненной в виде несущей рамы 15 транспортной системы 11, которая включает линейную направляющую 13, установленную на роликах 12 транспортной системы 11. Также верхняя часть несущей рамы 15 может представлять собой магнитную линейную направляющую для перемещения по бесконтактной магнитной опоре - магнитному подвесу 14, который позволяет удерживать подложкодержатель 8 в вертикальном положении (фиг. 3).

Транспортная система 11 выполнена с возможностью перемещения подложкодержателя 8 в углубление 17, выполненное в технологической камере 3 в сторону атмосферы, в которой также размещен ввод 20 вращения подложкодержателя 8, оснащенный устройством 22 стыковки ввода 20 вращения с центральным валом 21 подложкодержателя 8.

При этом углубление 17, выполненное в технологической камере 3, имеет размер, соответствующий размеру подложкодержателя 8 и достаточный для размещения в нем технологических 4 и контрольно-измерительных устройств (на рисунках не показаны). Причем в качестве контрольно-измерительных

устройств используют устройства оптического контроля пропускания/отражения и/или кварцевые измерители скорости нанесения покрытий.

Технологические 4 и контрольно-измерительные устройства, размещенные в углублении 17, образуют в технологической камере 3 зону 16 обработки подложек 6, которая отделена от части технологической камеры, в которой расположена транспортная система 11, образуя зону 28 перемещения (фиг. 3, 4, 6).

Устройством разделения технологической камеры 3 на зоны 16 обработки и перемещения 28 служит диафрагма 19, жестко установленная на несущей раме 15 (фиг. 5, 6). Такое деление технологической камеры 3 необходимо, чтобы защитить поверхность подложки 6 от попадания нежелательных загрязнений при формировании тонкопленочных покрытий на ее поверхности. Следует отметить, что открытый торец подложкодержателя 8 всегда направлен в сторону зоны 16 обработки, а описывающий диаметр открытого торца соответствует максимальному описываемому диаметру подложкодержателя 8.

Транспортная система 11 технологической линии выполнена с возможностью синхронного, пошагового перемещения подложкодержателя 8 из камеры в камеру в направлении, перпендикулярном оси его вращения, и, кроме того, в каждой технологической камере 3 транспортной системой 11 обеспечена возможность перемещения подложкодержателя 8 из зоны 28 перемещения в зону 16 обработки вдоль оси его вращения.

По первому варианту выполнения заявленной технологической линии несущая рама 15 транспортной системы 11 может быть установлена с возможностью перемещения из камеры в камеру как в горизонтальном, так и в вертикальном положении. При этом ось вращения подложкодержателя 8 ориентирована соответственно либо вертикально, либо горизонтально.

В качестве технологических устройств 4 линии могут быть использованы испарители 31, и/или магнетроны 30, и/или ионные источники, и/или генераторы плазмы 29, и/или устройства нагрева и т.п., которые размещены в зоне 16 обработки со стороны открытого торца подложкодержателя 8.

Причем в первом варианте исполнения технологической линии, когда в качестве подложкодержателя 8 используют вращательную поверхность, например в виде купола (полусферы) или усеченного конуса, на образующей поверхности подложкодержателя 8 могут быть установлены устройства 23, обеспечивающие автономное вращение подложек 6 (фиг. 5, 6). Причем, устройства 23 автономного вращения подложек 6 также могут быть снабжены устройствами 9 фиксации. Такое конструктивное решение подложкодержателя 8 позволяет сформировать на подложках покрытие высокого качества и обеспечить его высокую однородность.

При использовании в качестве технологических устройств 4 испарителей 31 с косвенным нагревом тигля и с возобновляемым количеством используемого для покрытия материала (фиг. 3) количество устанавливаемых в зоне 16 обработки технологических устройств 4 обусловлено размерами подложкодержателя 8.

Устройства нагрева, как правило, располагают в зоне 16 обработки с внутренней стороны подложкодержателя 8, а контрольно-измерительные устройства, имеющие несколько блоков, могут быть установлены как с внутренней, так и с внешней стороны подложкодержателя 8.

Возможно использование в зоне 16 обработки различных технологических устройств 4, применение которых требует максимальной изоляции друг от друга. В этом случае используют различные элементы, обеспечивающие, например, газовую изоляцию технологических устройств. Для газовой изоляции на стенках углубления 17 между технологическими устройствами располагают средства откачки 5 и технологические устройства 4 дополнительно разделяют конструктивными элементами, например перегородками 18 (фиг. 7).

Таким образом, за счет использования различных технологических устройств в одной технологической камере 3 обеспечивают вариативность процесса и низкую дефектность изготавливаемых покрытий.

Второй вариант выполнения технологической линии (фиг. 2) отличается от первого варианта выполнения тем, что позволяет, если это необходимо в соответствии с выбранным технологическим процессом, использовать большее число технологических камер, которые устанавливают таким образом, что они образуют два трека линии - прямой и обратный, объединенные камерой 26 возврата. Применение возвратной камеры 26 позволяет разместить шлюзовые камеры 1 и 2 загрузки и выгрузки соответственно с одной стороны технологической линии, что уменьшает использование производственной площади за счет организации только одной чистой зоны А (фиг. 2) и рационально разделяет производственный участок на чистую зону и зону технического обслуживания технологической линии.

Чистая зона А - это часть производственного помещения, в котором контролируется концентрация аэрозольных частиц, и которое построено и используется так, чтобы свести к минимуму поступление, генерацию и накопление частиц внутри помещения, и в котором при необходимости контролируются другие параметры, например температура, влажность и давление.

Вакуумная камера 26 возврата размещена на противоположном от чистой зоны А конце технологической линии и оснащена возвратным модулем 27 (фиг. 2). В чистой зоне А в конце обратного трека размещен возвратный модуль 27 (фиг. 2), предназначенный для перенаправления подложкодержателя 8 с обратного трека на другой, прямой трек.

Несущая рама 15 во втором варианте выполнения технологической линии установлена с возможно-

стью перемещения в вертикальном положении, при этом ось вращения подложкодержателя 8 всегда горизонтальна.

Необходимо отметить, что во втором варианте выполнения технологической линии в качестве подложкодержателя 8 используют подложкодержатель, вращательная поверхность которого выполнена в виде цилиндра, с одним закрытым торцом, выполненным со стороны несущей рамы 15, и вторым открытым торцом; при этом технологические устройства 4, например магнетроны 30 и испарители 31 (фиг. 3, 4), могут быть размещены внутри и снаружи подложкодержателя 8, а закрытый торец может быть выполнен либо сплошным, либо в виде металлических пластин, либо в виде спиц.

При условии крепления подложек 6 в сквозных ячейках 7 цилиндрического подложкодержателя 8 технологические устройства 4 размещают, как правило, таким образом, чтобы формирование покрытия на подложках 6 возможно было осуществлять одновременно с двух сторон - наружной и внутренней. С этой целью используют по меньшей мере два технологических устройства 4, при этом одно из них размещено с наружной стороны образующей поверхности подложкодержателя 8, а другое - с его внутренней стороны (фиг. 3, 4).

По первому варианту выполнения предлагаемая технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме работает следующим образом.

На входе технологической линии размещают, как правило, две камеры 1 загрузки, на выходе линии - две камеры 2 выгрузки, а по длине всей линии между шлюзовыми камерами загрузки и выгрузки размещают технологические камеры 3 с размещенными в них технологическими устройствами 4 и контрольно-измерительными устройствами (на рисунках не показаны). Причем количество технологических камер 3 в технологической линии обусловлено заданным технологическим процессом и требуемой производительностью технологической линии.

Подложки 6 размещают на образующей поверхности подложкодержателя 8, который консольно закреплен на несущей раме 15 со стороны закрытого торца, в ячейках 7 с использованием устройств фиксации 9 или в устройствах для вращения подложек 23.

Несущая рама 15, являющаяся частью транспортной системы 11, снабженной линейными направляющими 13, установленными на роликах 12, вместе с подложкодержателем 8 поступает на стол 24 загрузки.

Со стола 24 загрузки подложкодержатель 8, заполненный подложками 6, через вакуумный затвор 10, размещенный на входе в технологическую линию, поступает в первую шлюзовую камеру 1 загрузки при атмосферном давлении в ней. При этом вакуумные затворы между первой и второй шлюзовыми камерами 1 загрузки и между шлюзовой и технологической камерой закрыты. В первой шлюзовой камере 1 загрузки с помощью средств 5 откачки создают предварительный низкий вакуум, необходимость которого обусловлена подготовкой к технологическому процессу.

По окончании откачки в первой шлюзовой камере 1 загрузки вакуумный затвор 10 между шлюзовыми камерами 1 загрузки открывают и несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают во вторую шлюзовую камеру 1 загрузки, в которой с помощью средств 5 откачки создают высокий вакуум. При откачке вакуумный затвор 10 между шлюзовыми камерами 1 загрузки закрыт, в первой шлюзовой камере 1 загрузки находится следующая несущая рама 15 с подложкодержателем 8 и с подложками 6 и первую шлюзовую камеру 1 загрузки откачивают до низкого вакуума.

Ниже для упрощения описания не повторяется изложение того, что каждая следующая несущая рама 15 с подложкодержателем 8, поданная в технологическую линию, находится в предшествующей камере (фиг. 1, 2).

Во второй по ходу технологического процесса шлюзовой камере 1 загрузки иногда размещают устройства предварительной обработки подложек, например устройства очистки или нагрева.

При этом условии вторая шлюзовая камера 1 загрузки совмещает функцию шлюзования с функцией предварительной обработки подложек 6, и по сути она представляет собой первую технологическую камеру 3.

Далее открывают вакуумный затвор между второй шлюзовой камерой 1 загрузки и технологической камерой 3, в которую перемещают несущую раму 15 с подложкодержателем 8. Вакуумный затвор 10 между шлюзовой камерой 1 загрузки и технологической камерой 3 закрывают. С помощью части транспортной системы 11, размещенной в технологической камере 3, осуществляют перемещение несущей рамы 15 с подложкодержателем 8 из зоны 28 перемещения в зону 16 обработки, расположенную в углублении 17, выполненном в технологической камере 3. При этом диафрагма 19, жестко связанная с несущей рамой 15, примыкает к стенке технологической камеры и отделяет зону 16 обработки от зоны 28 перемещения. Ввод 20 вращения через устройство 22 стыковки соединяют с центральным валом 21 подложкодержателя 8.

В технологической камере 3 предварительно создают и постоянно поддерживают высокий вакуум с помощью средств 5 откачки. Включают двигатель ввода 20 вращения, который через соединение с центральным валом 21 приводит подложкодержатель 8 с подложками 6 во вращение и подают питание на установленные в зоне обработки 16 технологические устройства 4.

При одновременном использовании для нанесения покрытия в одной технологической камере 3 в

качестве технологических устройств 4 генератора 29 плазмы и магнетронов 30 обеспечивают газовую изоляцию технологических устройств друг от друга с использованием средств откачки 5 и перегородок 18 (фиг. 7).

При достижении нужной толщины и нужного состава покрытия по команде контрольно-измерительных устройств питание технологических устройств 4 выключают и останавливают вращение подложкодержателя 8.

Транспортной системой 11 смещают несущую раму 15 с подложкодержателем 8 из углубления 17 на исходное положение в зоне 28 перемещения и производят расстыковку центрального вала 21 подложкодержателя 8 с вводом 20 вращения.

После того как в технологической камере 3 процесс формирования покрытий на подложки 6 завершен, открывают вакуумный затвор 10 между технологической камерой 3 и шлюзовой камерой 2 выгрузки, и несущая рама 15 с подложкодержателем 8 по вакуумному коридору переезжает в шлюзовую камеру 2 выгрузки, в которой предварительно создают высокий вакуум, затвор 10 между технологической камерой и шлюзовой камерой 2 выгрузки закрывают.

Далее через вакуумный затвор 10 между шлюзовыми камерами 2 выгрузки несущую раму 15 перемещают во вторую шлюзовую камеру 2 и вакуумный затвор между шлюзовыми камерами 2 выгрузки закрывают. При этом одну шлюзовую камеру 2 выгрузки откачивают, восстанавливая в ней уровень высокого вакуума, а в другую шлюзовую камеру 2 выгрузки, расположенную на выходе из технологической линии, напускают воздух до атмосферного давления.

Через вакуумный затвор 10 на выходе из технологической линии несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают на стол 25 выгрузки и вакуумный затвор 10 закрывают.

Подложки 6 со сформированными на них тонкопленочными покрытиями снимают с подложкодержателя 8, помещают на транспортную кассету (на рисунках не показано) и перевозят к месту хранения.

В случае использования в технологической линии нескольких технологических камер в каждой из них могут наноситься материалы разного состава, требующие по технологии использования различных газов.

Диафрагмы 19, установленные на несущих рамах 15 транспортной системы 11 и разделяющие технологические камеры 3 на две зоны - зону 16 обработки и зону 28 перемещения подложкодержателя 8, помогают избежать перемешивания разных рабочих атмосфер между технологическими камерами 3.

При этом зоны 28 перемещения всех технологических камер образуют так называемый транспортный коридор технологической линии, в котором расположена сквозная транспортная система 11. И поскольку в упомянутый вакуумный коридор никакие рабочие газы специально не подают, а в вакуумном коридоре установлены мощные средства 5 откачки, которые поддерживают в нем давление заведомо более низкое, чем давление в зонах 16 обработки, задача по исключению взаимного влияния различных рабочих атмосфер в отдельных технологических камерах решается автоматически.

Данный процесс протекает непрерывно и очень важным моментом при его осуществлении является то, что при непрерывном перемещении подложкодержателей 8 из одной камеры в другую транспортная система 11 технологической линии позволяет осуществлять такое перемещение подложкодержателей 8 синхронно и пошагово в направлении, перпендикулярном оси вращения подложкодержателя 8, и одновременно обеспечивает возможность их перемещения в зону обработки вдоль оси вращения подложкодержателей.

Кроме того, в первом варианте выполнения при работе технологической линии несущая рама 15 транспортной системы 11 при необходимости может перемещаться из камеры в камеру либо в горизонтальном положении, при этом ось вращения подложкодержателя 8 ориентирована вертикально, либо в вертикальном положении, при этом ось вращения подложкодержателя 8 ориентирована горизонтально.

Как отмечено выше, технологическая линия может содержать несколько технологических камер 3, например для нанесения сложных покрытий из различных материалов или для изготовления тонкопленочного покрытия большой толщины. Самое длительное время нанесения покрытия в какой-либо технологической камере 3 вакуумной линии выбирают в качестве такта работы технологической линии.

При этом процесс изготовления покрытия на заявляемой технологической линии состоит из нескольких последовательных шагов одинаковой длительности. Длительность шага равна времени такта.

Технологическая линия имеет максимальную производительность, т.е. работает с минимальным тактом, в том случае, когда изготовление всего наносимого тонкопленочного покрытия спланировано с учетом скорости формирования различных по составу материалов и расчетных толщин разных слоев.

Работа второго варианта выполнения технологической линии отличается от работы первого варианта тем, что в качестве подложкодержателя 8 используют подложкодержатель 8 только цилиндрической формы. На столе 24 загрузки, расположенном непосредственно перед шлюзовыми камерами 1 загрузки, подложки 6 закрепляют в сквозных ячейках 7 подложкодержателя 8 цилиндрической формы с помощью устройств 9 фиксации. При этом во втором варианте выполнения технологической линии несущие рамы 15 ориентированы вертикально, а транспортная система 11 включает магнитный подвес 14.

Кроме того, по второму варианту выполнения технологическая линия содержит два трека транспортной системы - прямой и обратный. Причем шлюзовые камеры 1 и 2 загрузки и выгрузки располага-

ют с одной стороны технологической линии, а на противоположной стороне размещают вакуумную камеру 26 возврата, включающую возвратный модуль 27, предназначенную для перемещения несущей рамы 15 с подложкодержателем 8 с прямого трека на обратный.

Перемещение несущей рамы 15 транспортной системой 11 от стола 24 загрузки через шлюзовые камеры 1 загрузки и технологическую камеру 3, расположенную на прямом треке, осуществляют аналогично первому варианту выполнения технологической линии синхронно и пошагово в направлении, перпендикулярном оси вращения подложкодержателя 8. Как и в первом варианте выполнения технологической линии, транспортная система 11 обеспечивает в технологической камере 3 возможность перемещения подложкодержателя 8 из зоны 28 перемещения в зону 16 обработки вдоль оси вращения подложкодержателя 8.

По завершении процесса нанесения покрытия на подложки 6 в технологической камере 3 прямого трека несущая рама 15 вместе с подложкодержателем 8 поступает в камеру 26 возврата, в которой возвратный модуль 27 перемещает несущую раму 15 с подложкодержателем 8 с прямого трека на обратный и позиционирует их на обратном треке транспортной системы 11. После чего несущая рама 15 вместе с подложкодержателем 8 проезжают в технологическую камеру 3, расположенную на обратном треке, для дальнейшей обработки подложек 6, а возвратный модуль 27 камеры 26 возврата возвращается в исходное положение.

По завершении обработки подложек 6 в технологической камере 3 на обратном треке несущую раму 15 вместе с подложкодержателем 8 по транспортной системе 11 через открытый вакуумный затвор 10 перемещают в первую шлюзовую камеру 2 выгрузки, а на следующем шаге - во вторую, последнюю шлюзовую камеру 2 выгрузки. На последнем шаге работы технологической линии при изготовлении тонкопленочного покрытия заданной структуры несущую раму 15 вместе с подложкодержателем 8 перемещают на стол 25 выгрузки и закрывают вакуумный затвор на выходе.

I. Пример конкретного выполнения технологической линии по первому варианту (фиг. 1).

Предлагаемая технологическая линия по первому варианту выполнения предназначена для формирования многослойной тонкопленочной оптической структуры на поверхности стеклянных подложек, а именно для массового производства отрезающих и полосовых фильтров для оптики фото- и видеокамер современных смартфонов.

Типовая структура одного из фильтров ближнего инфракрасного диапазона содержит 37 слоев общей толщиной около 2242 нм. В качестве материалов слоев используют сочетание следующих соединений:  $\text{Si}_3\text{N}_4$  - нитрид кремния как слой с высоким коэффициентом преломления,  $\text{SiO}_2$  - двуокись кремния как слой с низким коэффициентом преломления, Si - кремний как слой с высоким поглощением и с высоким коэффициентом преломления в видимой области.

Из общего количества в 37 слоев в структуре оптического тонкопленочного покрытия содержится 4 слоя нитрида кремния общей толщиной около 147 нм, 17 слоев двуокиси кремния с общей толщиной порядка 777 нм и 16 слоев кремния общей толщиной около 1318 нм.

В качестве примера конкретного выполнения технологической линии рассматривается технологическая линия, в которой использованы стол 24 загрузки, первая и вторая шлюзовые камеры 1 загрузки, первая и вторая шлюзовые камеры 2 выгрузки, стол 25 выгрузки, пять технологических камер 3, не разделенных вакуумными затворами 10, подложкодержатель 8, имеющий форму цилиндра, подложки 6 в виде оптических стеклянных заготовок, установленные в сквозных ячейках 7 подложкодержателя 8 с использованием устройств фиксации 9 (фиг. 1, 4).

В качестве технологических устройств 4 использованы магнетроны 30 с кремниевыми катодами, генераторы 29 плазмы газового разряда, нагреватели подложек (на рисунках не показаны), контрольно-измерительные устройства в виде устройств оптического контроля (на рисунках не показаны).

Сквозная транспортная система 11 включает несущие рамы 15 с линейными направляющими 13, установленными на направляющих роликах 12, и магнитные подвесы 14.

В момент, когда подложкодержатель 8 находится в углублении 17 технологической камеры 3, магнетроны 30 и генераторы 29 плазмы в зоне 16 обработки расположены таким образом, чтобы воздействовать на внешнюю поверхность подложкодержателя 8.

Нагреватели (на рисунках не показаны) подложек 6 расположены с внутренней стороны подложкодержателя 8, а контрольно-измерительные устройства своими разными блоками расположены как с внешней, так и с внутренней стороны подложкодержателя 8. При этом генератор 29 плазмы с помощью перегородок 18 и турбомолекулярных насосов 5 отделен от магнетронов 30 (фиг. 7).

При осуществлении технологического процесса в зону размещения магнетронов 30 в качестве рабочего газа подают аргон с давлением около  $(8-9) \times 10^{-1}$  Па, а в зону генератора 29 плазмы газового разряда, когда для этих целей используют устройство ICP (Inductively Coupled Plasma - индуктивно связанная плазма), подают кислород или азот с давлением немного ниже  $(5-7) \times 10^{-1}$  Па.

Таким образом, достигают условий, при которых в зоне магнетронов 30 в качестве рабочего газа работает практически чистый аргон, за счет чего обеспечены высокая скорость распыления кремния и минимум дугообразования вследствие появления окисных пленок на распыляемой поверхности мишени



магнетрона 30. Последнее обстоятельство обеспечивает очень низкую дефектность слоев за счет отсутствия микрочастиц, возникающих при дугах.

Подложки 6 при однократном прохождении зоны магнетронов принимают на свою поверхность слой чистого кремния с толщиной в доли нанометра. При прохождении подложками зоны газового разряда генератора 29 плазмы этот слой преобразуется соответственно в двуокись кремния, если в зону генератора 29 плазмы в данный момент подают кислород, или в нитрид кремния, если азот. При подаче в зону генератора 29 плазмы аргона происходит энергетическое воздействие на слой нанесенного кремния без изменения его химического состава.

Таким образом, путем переключения рабочих газов, подаваемых в зону генератора 29 плазмы, в конкретной технологической камере 3, в данный момент времени происходит формирование слоя, состав которого соответствует одному из материалов, входящих в итоговую тонкопленочную структуру фильтра.

Поскольку общая толщина формируемой тонкопленочной структуры составляет 2242 нм, при этом толщина отдельных слоев в этой структуре варьируется от 8 до 200 нм, а скорости нанесения разных материалов в данном случае приблизительно равны, оптимальным является использование пяти технологических камер 3, в каждой из которых на подложку с одинаковой скоростью наносят пакеты тонкопленочных слоев примерно равной толщины.

Для рассматриваемой оптической структуры такое разбиение приводит к следующей ситуации: в первой технологической камере 3 будут нанесены первые 12 слоев с общей толщиной в 447 нм, во второй - следующие 5 слоев с суммарной толщиной 461 нм, в третьей - 3 слоя с толщиной 419 нм, в четвертой - 9 слоев с толщиной 466 нм, в пятой - последние 8 слоев с толщиной 449 нм.

Процесс нанесения покрытия на подложки 6, установленные на подложкодержателе 8, на описываемой технологической линии состоит из следующих последовательных шагов одинаковой длительности.

#### Первый шаг

Несущую раму 15 транспортной системы 11 подают на стол 24 загрузки, расположенный перед шлюзовыми камерами 1 загрузки. Устройства 9 фиксации подложек с закрепленными в них подложками 6 устанавливают в сквозных ячейках 7, размещенных на образующей поверхности подложкодержателя 8. В первую шлюзовую камеру 1 загрузки напускают воздух до давления атмосферы. При этом вакуумный затвор 10 между первой и второй шлюзовыми камерами 1 загрузки закрыт.

#### Второй шаг

Открывают затвор первой шлюзовой камеры 1 загрузки со стороны стола 24 загрузки и перемещают несущую раму 15 с подложкодержателем 8 и установленными на его образующей поверхности подложками 6 в первую шлюзовую камеру 1 загрузки. Вакуумный затвор 10 закрывают и производят откачку объема воздуха первой шлюзовой камеры 1 загрузки до предварительного вакуума механическим насосом 5. В это время на столе 24 загрузки уже находится следующая несущая рама 15 с подложкодержателем 8, на котором устанавливают подложки 6.

#### Третий шаг

Открывают вакуумный затвор 10 между первой и второй шлюзовыми камерами 1 загрузки и несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают во вторую шлюзовую камеру 1 загрузки. В это время вакуумный затвор 10 между второй шлюзовой камерой 1 загрузки и первой по ходу технологического процесса технологической камерой 3 закрыт. Затвор между первой и второй шлюзовыми камерами 1 загрузки закрывают, после чего осуществляют откачку воздуха из второй шлюзовой камеры 1 загрузки до создания высокого вакуума.

#### Четвертый шаг

Открывают вакуумный затвор 10 между второй шлюзовой камерой 1 загрузки и первой технологической камерой 3. Несущая рама 15 с подложкодержателем 8 и размещенными на нем подложками 6 заезжает в первую по ходу технологического процесса технологическую камеру 3. После этого вакуумный затвор 10 между второй шлюзовой камерой 1 загрузки и первой технологической камерой 3 закрывают. Транспортная система 11 технологической камеры 3 смещает несущую раму 15 с подложкодержателем 8 в углубление 17, при этом установленная на несущей раме 15 диафрагма 19 отделяет в технологической камере 3 зону 16 обработки от зоны 28 перемещения. Ввод вращения 20 с помощью устройства стыковки 22 соединяют с центральным валом 21 подложкодержателя 8 и приводят подложкодержатель 8 во вращение с частотой 1-3 об/с.

Одновременно в зону 16 обработки осуществляют подачу нужных газов. При этом в зону расположения генератора 29 плазмы подают рабочие газы, а в зону расположения магнетронов 30 - аргон, в зоне 16 обработки устанавливают нужное рабочее давление и одновременно осуществляют нагрев подложек 6 до температуры, обусловленной технологическим процессом, путем включения устройств нагрева и контроля температуры.

Включают питание на магнетроны и генератор 29 плазмы и производят нанесение первого слоя тонкопленочной структуры.

При достижении нужной толщины наносимого слоя по команде контрольно-измерительного устройства выключают питание магнетронов 30 и генератора 29 плазмы и для изменения состава рабочих

газов в зоне расположения генератора 29 плазмы производят переключение системы их подачи. После чего вновь включают питание магнетронов 30 и генератора 29 плазмы и производят нанесение второго слоя структуры. Такую последовательность действий повторяют до тех пор, пока не будет нанесен двенадцатый слой из запланированной структуры покрытия, а общая толщина пакета слоев на подложках 6 не достигнет 447 нм. После этого питание технологических устройств выключают, а клапаны подачи рабочих газов закрывают. Транспортная система 11 в технологической камере 3 перемещает несущую раму 15 с подложкодержателем 8 из зоны 16 обработки, расположенной в углублении 17, в зону 28 перемещения, где осуществляют расстыковку центрального вала 21 подложкодержателя 8 с вводом 20 вращения.

Пятый, шестой, седьмой, восьмой шаги

Несущую раму 15 с подложкодержателем 8 последовательно, с помощью транспортной системы 11 перемещают по технологической линии из одной технологической камеры 3 в следующую, при этом в каждой из них осуществляют все те же процессы, что и на четвертом шаге.

Отличие состоит в том, что во второй технологической камере 3 на подложки 6 наносят пять слоев, общая толщина которых составляет 461 нм, в следующей технологической камере три слоя общей толщиной 419 нм, в четвертой технологической камере 3 наносят девять слоев общей толщиной 466 нм и в последней, пятой по ходу процесса камере наносят последние восемь слоев общей толщиной пакета 449 нм.

Девятый шаг

Открывают вакуумный затвор 10 между последней технологической камерой 3 и шлюзовой камерой 2 выгрузки, несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают из технологической камеры 3 в первую шлюзовую камеру 2 выгрузки и упомянутый вакуумный затвор 10 закрывают.

Десятый шаг

Вакуумный затвор 10 между шлюзовыми камерами 2 выгрузки открывают и несущую раму 15 вместе с подложкодержателем 8 перемещают в следующую шлюзовую камеру 2 выгрузки, вакуумный затвор между шлюзовыми камерами закрывают. В шлюзовой камере 2 выгрузки, расположенной рядом с технологической камерой 3, осуществляют откачку до высокого вакуума, а в другую шлюзовую камеру 2 выгрузки напускают воздух до атмосферного давления.

Одиннадцатый шаг

Открывают вакуумный затвор 10 между шлюзовой камерой 2 выгрузки и столом 25 выгрузки, несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают на стол 25 выгрузки, а вакуумный затвор 10 на выходе из технологической линии закрывают. После этого осуществляют откачку последней шлюзовой камеры 2 выгрузки до предварительного вакуума с помощью механического насоса.

Двенадцатый шаг

Подложки 6 со сформированными тонкопленочными покрытиями из 37 слоев снимают с подложкодержателя 8, помещают в транспортную кассету и доставляют к месту хранения для дальнейшего целевого использования, а несущую раму 15 с подложкодержателем 8 возвращают на стол 24 загрузки, где снова сквозные ячейки 7 подложкодержателя 8 заполняют подложками 6.

II. Пример конкретного выполнения заявленной технологической линии по второму варианту (фиг. 2, 3).

Второй вариант выполнения заявленной технологической линии может быть использован в массовом производстве гетероструктурных солнечных элементов для формирования оптического окна и медной металлизации поверхности монокристаллических кремниевых пластин.

В связи с тем, что в технологии изготовления гетероструктурных солнечных элементов существует жесткое ограничение на максимально допустимые температуры обработки (не выше 200°C), для создания металлических контактов на фронтальной и тыльной поверхности кремниевой пластины невозможно использовать широко распространенные методы шелкографической печати и вжигания высокотемпературных серебряносодержащих паст. Поэтому предприятия, которые собирают солнечные панели из солнечных элементов с использованием технологии пайки, не могут использовать гетероструктурные солнечные элементы, несмотря на то, что их эффективность и потенциал значительно выше, чем у других типов кремниевых солнечных элементов, имеющих металлизацию на основе паяемых высокотемпературных серебряносодержащих паст.

Известная структура солнечного элемента включает кремниевую пластину, с обеих сторон которой методами вакуумного плазмохимического осаждения PECVD (PECVD - Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) нанесены по два тонких слоя аморфного кремния. Толщина каждого слоя не превышает 10-20 нм. Затем на обе стороны кремниевой пластины поверх аморфного слоя методами физического вакуумного осаждения PVD (PVD - Plasma Vapor Deposition) наносят слои прозрачного проводящего оксида, обычно это оксид индия и олова ITO (ITO - Indium tin oxide). В качестве конкретного технологического метода чаще всего используют магнетронное распыление из мишеней соответствующего состава. Следующим этапом технологии изготовления солнечного элемента является шелкографическая печать, которую осуществляют с использованием дорожек низкотемпературных серебряносодержащих паст.

Полученные по описанной технологии солнечные элементы невозможно использовать большинству производителей солнечных панелей в виду невозможности спаить напечатанные контакты. Чтобы избежать использования операции пайки при сборке солнечных элементов, приходится использовать специ-

альное дорожное оборудование и материалы.

Альтернативным вариантом изготовления солнечных элементов может быть использование предлагаемой технологической линии, в которой на поверхность ИТО без прерывания вакуумного цикла наносят слои меди с толщиной около 5 мкм и защищают эти слои плотной тонкой пленкой олова.

На поверхности полученных таким образом структур методами шелкографии печатают маску и проводят травление металлического покрытия медь-олово в местах, незащищенных напечатанной маской. После этого убирают с поверхности материал маски. Данный процесс является достаточно дешевым и широко распространен в производстве печатных плат. Полученные солнечные элементы имеют теперь медную металлизацию, что значительно дешевле серебросодержащей. Кроме того, олово на поверхности меди не только защищает ее поверхность, по которой будет осуществляться пайка, но и служит аналогом лужения для процесса пайки.

Второй вариант выполнения технологической линии, представленный на фиг. 2, может быть использован для нанесения PVD методами структуры ИТО (~100 нм) + Cu (~5000 нм) + Sn (~700 нм). Такая технологическая линия содержит восемь технологических камер 3, размещенных попарно на прямом и обратном треках транспортной системы 11. В первой и последней по ходу технологического процесса технологических камерах 3 в зоне 16 обработки в качестве технологических устройств 4 используют магнетроны 30. В первой технологической камере магнетроны 30 с катодами из ИТО материала, а в последней технологической камере - с оловянными катодами. В остальных технологических камерах 3 в качестве технологических устройств 4 установлены испарители 31, конструкция которых обеспечивает постоянное пополнение расходуемого материала меди. Технологические камеры 3 с испарителями 31 не соединены между собой через вакуумные затворы 10.

Магнетроны 30 и испарители 31 в зоне 16 обработки расположены таким образом, чтобы осуществлять воздействие одновременно на внешнюю и внутреннюю поверхность подложкодержателя 8 цилиндрической формы. Для этого в зоне 16 обработки со стороны открытого торца подложкодержателя 8 размещают минимум два технологических устройства 4. Причем одно технологическое устройство 4 размещают с наружной стороны образующей поверхности подложкодержателя 8, а второе - с ее внутренней стороны (фиг. 3).

В зону расположения магнетронов 30, установленных в первой технологической камере 3, в качестве рабочего газа подают смесь аргона и кислорода до давления около  $(8-9) \times 10^{-1}$  Па, а в зону расположения магнетронов 30 в последней технологической камере 3 подают аргон до такого же давления. В остальные технологические камеры 3 рабочие газы не подают, при этом испарение меди происходит в высоком вакууме при давлении остаточных газов на уровне  $5 \times 10^{-3}$  Па. Таким образом, достигают условий, при которых электрическая проводимость меди максимально близка к проводимости объемного материала.

Подложки 6, а именно кремниевые пластины, расположенные на цилиндрической поверхности подложкодержателя 8 в сквозных ячейках 7, обрабатывают магнетронами 30 или испарителями 31 одновременно и с внешней, и с внутренней стороны. При этом наносят слои осаждаемого материала - ИТО, Cu, Sn, толщину которых определяют поддерживаемой в данной технологической камере 3 скоростью распыления (испарения) и частотой вращения цилиндрического подложкодержателя 8. Каждый слой материала конечной толщины, осаждаемый на подложку 6, состоит из большого количества подслоев, нанесенных за один оборот подложкодержателя 8. Это позволяет сформировать покрытие на поверхностях подложки 6 с минимальным количеством сквозных пор (проколов).

С целью минимизации времени работы полного цикла технологической линии конечную толщину слоя меди 5000 нм лучше всего разделить на шесть равных частей, для чего используют шесть технологических камер 3 соответственно. В этом случае каждая часть будет иметь толщину порядка 835 нм, а время такта линии окажется равным самому большому из трех времен, необходимых для нанесения соответственно или 100 нм ИТО, или 835 нм меди, или 700 нм олова.

Процесс формирования покрытия на подложках 6 на технологической линии, выполненной по второму варианту, состоит из шестнадцати последовательных шагов одинаковой длительности. При этом длительности всех шагов равны и составляют такт работы технологической линии.

#### Первый шаг

Кремниевые пластины 6 закрепляют в сквозных отверстиях подложкодержателя 8 цилиндрической формы с помощью устройств 9 фиксации после того, как несущую раму 15 транспортной системы 11, ориентированную вертикально, подают на стол 24 загрузки, расположенный непосредственно перед первой шлюзовой камерой 1 загрузки. В первую шлюзовую камеру 1 загрузки напускают воздух до давления атмосферы, при этом вакуумный затвор 10 между шлюзовыми камерами загрузки оставляют закрытым.

#### Второй шаг

Вакуумный затвор 10 между столом 24 загрузки и первой шлюзовой камерой 1 загрузки открывают и несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают в первую шлюзовую камеру 1 загрузки. После этого вакуумный затвор 10 со стороны стола загрузки 24 закрывают и производят откачку объема первой шлюзовой камеры 1 загрузки до предварительного вакуума механическим насосом 5. В это время на сто-

ле загрузки 24 уже находится следующая несущая рама 15 с подложками 6, закрепленными в подложкодержателе 8.

#### Третий шаг

Открывают вакуумный затвор 10 между первой и второй шлюзовыми камерами 1 загрузки и несущую раму 15 вместе с подложкодержателем 8 и с установленными на его образующей поверхности подложками 6 перемещают в следующую (вторую) шлюзовую камеру 1 загрузки. Вакуумный затвор между шлюзовыми камерами 1 загрузки закрывают. Во второй шлюзовой камере 1 загрузки создают высокий вакуум, а в предыдущую шлюзовую камеру 1 загрузки напускают воздух. При этом вакуумный затвор 10 между шлюзовой камерой и первой по ходу технологического процесса технологической камерой 3 закрыт.

#### Четвертый шаг

Открывают вакуумный затвор 10, размещенный между второй шлюзовой камерой 1 загрузки и первой технологической камерой 3. При этом вакуумный затвор 10 между первой и второй технологическими камерами 3 закрыт. Несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают в первую технологическую камеру 3 и закрывают вакуумный затвор 10.

Транспортная система 11, размещенная внутри технологической камеры 3, смещает несущую раму 15 с подложкодержателем 8 в углубление 17 технологической камеры 3. При этом ввод 20 вращения через устройство стыковки 22 соединяют с центральным валом 21 подложкодержателя 8. Подложкодержатель 8 приводят во вращение с частотой 1-3 об/с, после чего осуществляют подачу аргона и кислорода в нужной пропорции в зону 16 обработки, в которой установлены магнетроны 30.

В технологической камере 3 устанавливают нужное рабочее давление, после чего на магнетроны 30 подают питание и производят нанесение слоя ИТО толщиной 100 нм на обе стороны кремниевых пластин.

По окончании процесса нанесения покрытия на подложку, которое контролируют контрольно-измерительные устройства, питание магнетронов 30 выключают и закрывают клапаны системы подачи рабочих газов в первую технологическую камеру 3, а упомянутую камеру откачивают до высокого вакуума.

Транспортной системой 11 в первой технологической камере 3 смещают несущую раму 15 из зоны 16 обработки углубления 17 в зону 28 перемещения, где осуществляют расстыковку центрального вала 21 подложкодержателя 8 с вводом 20 вращения.

#### Пятый шаг

Открывают вакуумный затвор 10 между первой и второй технологическими камерами 3, несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают во вторую технологическую камеру 3 и вакуумный затвор 10 закрывают. Транспортной системой 11, размещенной во второй технологической камере 3, смещают несущую раму 15 с подложкодержателем 8 в углубление 17. Вводом 20 вращения, после его стыковки с центральным валом 21 через устройство 22 стыковки приводят во вращение подложкодержатель 8 с частотой 1-3 об/с, затем подают питание на испарители 31 и производят нанесение следующего слоя, а именно слоя меди толщиной 835 нм одновременно на обе стороны подложек 6 с ИТО покрытием. По сигналу контрольно-измерительных устройств, контролирующих процесс нанесения покрытий на подложки 6, питание испарителей 31 отключают и в тигель испарителя 31 подают очередную дозу меди. Транспортной системой 11 смещают несущую раму 15 из углубления 17 в зону 28 перемещения и осуществляют расстыковку центрального вала 21 подложкодержателя 8 с вводом 20 вращения.

#### Шестой, седьмой шаги

На этих шагах несущую раму 15 перемещают в следующие технологические камеры, где повторяют операции, аналогичные пятому шагу.

#### Восьмой шаг

Несущую раму 15 перемещают в камеру 26 возврата. Подвижная часть транспортной системы - возвратный модуль 27, размещенный в вакуумной камере 26 возврата, поворачивает несущую раму 15 с подложкодержателем 8 на 180° и позиционирует ее на обратном треке транспортной системы 11. Развернутая несущая рама 15 с подложкодержателем 8 переезжает в следующую технологическую камеру 3, после чего возвратный модуль 27 приводят в исходное положение.

#### Девятый шаг

В пятой технологической камере 3 повторяют все операции, аналогичные пятому шагу.

#### Десятый и одиннадцатый шаги

Несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают в следующие по ходу технологического процесса технологические камеры 3, где также повторяют все операции, аналогичные операциям на пятом шаге.

#### Двенадцатый шаг

Открывают вакуумный затвор 10 между седьмой и восьмой технологическими камерами 3. Несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают в восьмую технологическую камеру, при этом вакуумный затвор 10 между последней технологической камерой 3 и шлюзовой камерой 2 выгрузки закрыт. После того как несущая рама 15 с подложкодержателем 8 разместились в последней технологической камере 3, вакуумный затвор 10 между технологическими камерами 3 закрывают. С помощью транспортной системы 11, размещенной в восьмой технологической камере 3, несущую раму 15 с подложкодержателем 8 смещают в углубление 17, ввод вращения 20 через устройство 22 стыковки соединяют с центральным

валом 21 подложкодержателя 8 и подложкодержатель 8 приводят во вращение с частотой 1-3 об/с. В зону 16 обработки подают аргон до необходимого давления, на магнетроны 30 подают питание и осуществляют нанесение слоя олова толщиной 700 нм на уже нанесенный слой меди на обе стороны кремниевых пластин. После этого питание магнетронов 30 выключают и закрывают клапаны системы подачи аргона, а саму технологическую камеру 3 откачивают до высокого вакуума.

#### Тринадцатый шаг

Открывают вакуумный затвор 10, размещенный между последней технологической камерой 3 и шлюзовой камерой 2 выгрузки. Несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают в шлюзовую камеру 2 выгрузки, вакуумный затвор 10 между технологической 3 и шлюзовой 2 камерами закрывают.

#### Четырнадцатый шаг

Открывают затвор между шлюзовыми камерами 2 выгрузки и перемещают несущую раму 15 в последнюю шлюзовую камеру 2 выгрузки, затвор между шлюзовыми камерами 2 выгрузки закрывают. В последнюю вакуумную камеру технологической линии - шлюзовую камеру 2 выгрузки - напускают воздух до атмосферного давления, а другую шлюзовую камеру 2 выгрузки откачивают до высокого вакуума.

#### Пятнадцатый шаг

Открывают вакуумный затвор 10 между шлюзовой камерой 2 выгрузки и столом 25 выгрузки, несущую раму 15 с подложкодержателем 8 перемещают на стол 25 выгрузки, после чего вакуумный затвор 10 закрывают и последнюю в технологическом процессе шлюзовую камеру 2 выгрузки откачивают до предварительного вакуума механическим насосом 5.

#### Шестнадцатый шаг

Готовые изделия - кремниевые пластины с нанесенными на обе стороны тонкопленочными  $\text{ITO-Si-Sn}$  покрытиями - снимают с подложкодержателя 8 и несущую раму 15 с подложкодержателем 8 возвращают возвратным 27 модулем на стол загрузки 24.

Таким образом, предлагаемые варианты технологических линий, предназначенных для формирования тонкопленочных покрытий на подложках в вакууме, позволяют повысить производительность оборудования, используемого для массового производства тонкопленочных покрытий высокого качества с большим количеством слоев и обеспечить одновременное формирование покрытий на обеих сторонах подложек, что не только повышает производительность системы в целом, но исключает деформирование (например, изгиб) подложки при формировании покрытия толщиной в несколько микрон последовательно на каждой ее стороне.

В случае изготовления покрытия в несколько десятков или сотен слоев предлагаемые технические решения позволяют сократить количество используемых технологических камер, а значит предлагают более компактные по габаритам технологические линии, не требующие использования огромных производственных площадей для их установки.

Предлагаемые технические решения опробованы на опытном производстве и показали хорошие результаты.

Источники информации.

1. Патент US № 4851095, опубл. 25.07.1989 г., МПК C23C 14/00.
2. Патент RU № 78785 на пол. модель, опубл. 10.12.2008 г., МПК B28B 3/00.
3. Патент RU № 2507308, опубл. 20.02.2014 г., МПК C23C 16/54; C23C 14/56.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме, включающая шлюзовые камеры загрузки и выгрузки, расположенные на противоположных концах технологической линии, по меньшей мере одну технологическую камеру с технологическими устройствами, предназначенными для обработки поверхности подложек и формирования на них тонкопленочных покрытий, контрольно-измерительные устройства, сквозную транспортную систему, установленную по всей длине технологической линии, с кареткой, выполненной в виде несущей рамы и предназначенной для последовательного перемещения подложкодержателя из камеры в камеру, вакуумные затворы, подложкодержатель, выполненный с возможностью вращения, на образующей поверхности которого установлены подложки,

отличающаяся тем, что технологическая камера содержит углубление в сторону атмосферы, размер которого обусловлен размерами подложкодержателя и достаточен для размещения в нем технологических и контрольно-измерительных устройств, а ввод вращения подложкодержателя, установленный в технологической камере, снабжен устройством стыковки с центральным валом подложкодержателя, установленным на оси вращения подложкодержателя и консольно закрепленным на несущей раме, при этом подложкодержатель содержит открытый и закрытый торцы, причем открытый торец направлен в сторону зоны обработки и его описывающий диаметр соответствует максимальному описываемому диаметру подложкодержателя, а транспортная система технологической линии выполнена с возможностью синхронного, пошагового перемещения подложкодержателя из камеры в камеру в направлении, перпендикулярном оси его вращения, и с возможностью перемещения подложкодержателя в зону обра-

ботки вдоль оси его вращения в каждой из технологических камер.

2. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме, включающая шлюзовые камеры загрузки и выгрузки, расположенные с одной стороны технологической линии, по меньшей мере две технологических камеры с технологическими устройствами, предназначенными для обработки поверхности подложек и формирования на них тонкопленочных покрытий, контрольно-измерительные устройства, сквозную транспортную систему, установленную по всей длине технологической линии, с кареткой, выполненной в виде несущей рамы и предназначенной для последовательного перемещения подложкодержателя из камеры в камеру, возвратную камеру, предназначенную для изменения направления перемещения подложкодержателя, вакуумные затворы, подложкодержатель, выполненный с возможностью вращения, на образующей поверхности которого установлены подложки,

отличающаяся тем, что технологическая камера содержит углубление в сторону атмосферы, размер которого обусловлен размерами подложкодержателя и достаточен для размещения в нем технологических и контрольно-измерительных устройств, а ввод вращения подложкодержателя, установленный в технологической камере, снабжен устройством стыковки с центральным валом подложкодержателя, установленным на горизонтальной оси вращения подложкодержателя и консольно закрепленным на несущей раме, выполненной с возможностью перемещения в вертикальном положении, при этом подложкодержатель содержит открытый и закрытый торцы, причем открытый торец направлен в сторону зоны обработки и его описывающий диаметр соответствует максимальному описываемому диаметру подложкодержателя, а транспортная система технологической линии выполнена с возможностью синхронного, пошагового перемещения подложкодержателя из камеры в камеру в направлении, перпендикулярном оси его вращения, и с возможностью перемещения подложкодержателя в зону обработки вдоль оси его вращения в каждой из технологических камер.

3. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по п.1, отличающаяся тем, что несущая рама транспортной системы установлена с возможностью перемещения из камеры в камеру в горизонтальном положении, при этом ось вращения подложкодержателя ориентирована вертикально.

4. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по п.1, отличающаяся тем, что несущая рама транспортной системы установлена с возможностью перемещения из камеры в камеру в вертикальном положении, при этом ось вращения подложкодержателя ориентирована горизонтально.

5. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по пп.1, 2, отличающаяся тем, что технологическая камера разделена на две зоны - зону обработки и зону перемещения подложкодержателя, причем устройством разделения служит диафрагма, жестко установленная на несущей раме транспортной системы.

6. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по пп.1, 2, отличающаяся тем, что подложкодержатель выполнен в виде поверхности вращения, например купола, или усеченного конуса, или цилиндра.

7. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по пп.1, 2, отличающаяся тем, что на поверхности подложкодержателя установлены приспособления, предназначенные для автономного вращения подложек.

8. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по пп.1, 2, 6, отличающаяся тем, что на поверхности подложкодержателя выполнены сквозные ячейки для установки подложек.

9. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по п.6, отличающаяся тем, что в зоне обработки подложек, установленных на образующей поверхности подложкодержателя, выполненного в виде цилиндра со сквозными ячейками на его образующей поверхности, размещены по меньшей мере два технологических устройства, предназначенных для одновременного двухстороннего формирования покрытий на поверхности подложек.

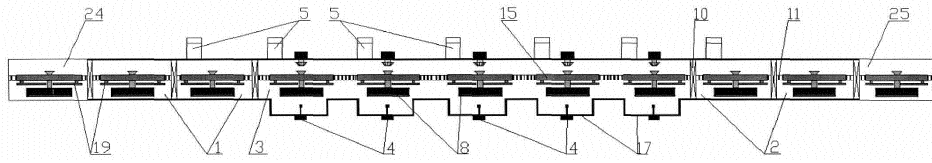
10. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по пп.1, 2, отличающаяся тем, что зона обработки технологической камеры снабжена элементами, обеспечивающими газовую изоляцию технологических устройств.

11. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по пп.1, 2, отличающаяся тем, что на поверхности подложкодержателя размещены приспособления для фиксации подложек.

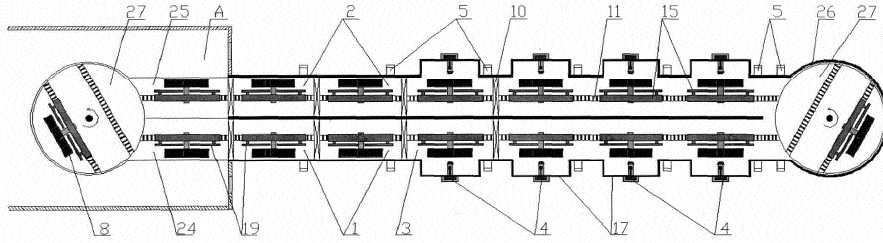
12. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по п.11, отличающаяся тем, что приспособления для фиксации подложек выполнены в виде съемных элементов.

13. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по пп.1, 2, отличающаяся тем, что в качестве технологических устройств используют испарители, и/или магнетроны, и/или ионные источники, и/или генераторы плазмы.

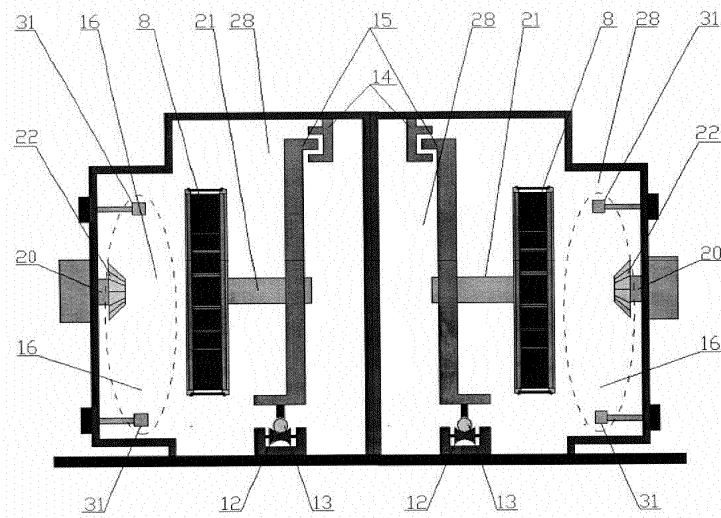
14. Технологическая линия для формирования тонкопленочных покрытий в вакууме по пп.1, 2, отличающаяся тем, что в качестве контрольно-измерительных устройств используют устройства оптического контроля пропускания/отражения и/или кварцевые измерители скорости нанесения покрытий.



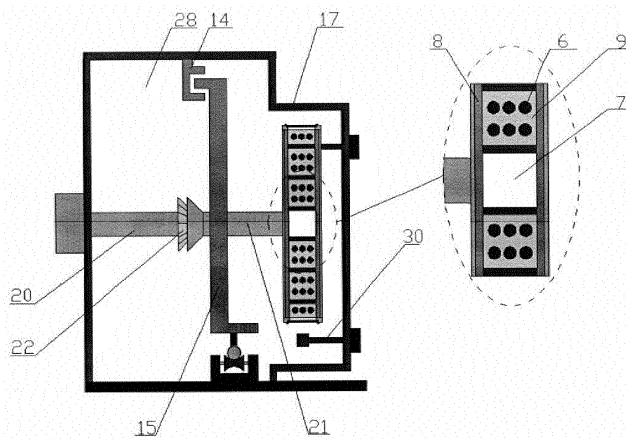
Фиг. 1



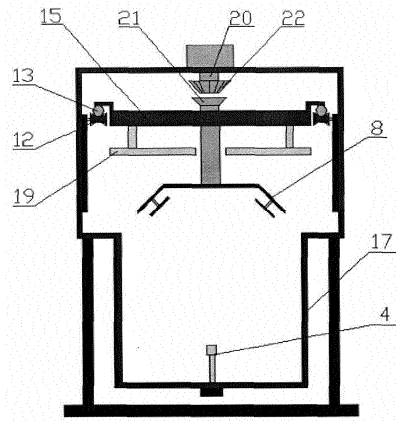
Фиг. 2



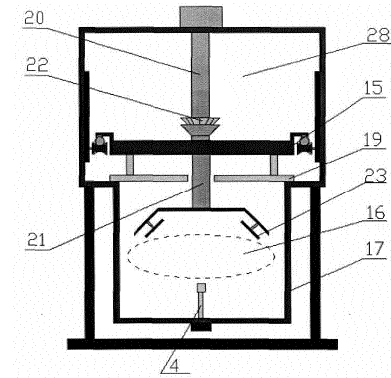
Фиг. 3



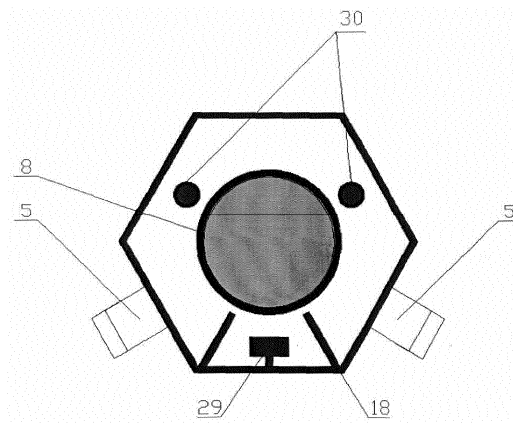
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

