

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035003**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.04.16

(51) Int. Cl. *C23C 16/54* (2006.01)
C23C 16/06 (2006.01)
C23C 16/44 (2006.01)

(21) Номер заявки
201800434

(22) Дата подачи заявки
2016.03.16

(54) ВАКУУМНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ И СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ НА НЕЙ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

(43) 2019.01.31

(56) RU-C1-2507308
SU-A1-901356
RU-C2-2471015
US-B2-6818067
EP-A1-1717338

(86) PCT/BY2016/000002

(87) WO 2017/156614 2017.09.21

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

(72) Изобретатель:
**Ширипов Владимир Яковлевич,
Хохлов Евгений Александрович,
Ясюнас Александр Алексеевич,
Мясников Константин Евгеньевич,
Насточкин Сергей Михайлович (BY)**

(57) Группа изобретений относится к вакуумной технологической установке и способу нанесения на ней тонкопленочных покрытий с заданными оптическими характеристиками. Указанная вакуумная установка включает шлюзовую камеру, закрепленную на транспортной системе и выполненную с возможностью перемещения с вертикально расположенным подложкодержателем барабанного типа внутри или без него и стыковки с технологической камерой через горизонтальный высоковакуумный затвор, расположенный под технологической камерой. Нанесение тонкопленочных оптических покрытий проводится в рабочих зонах технологической камеры методом химического осаждения в плазме высокой плотности, при этом для нанесения покрытий используют систему генерации плазмы, в которой источники индукционного разряда расположены вдоль вертикальной оси, а разделение рабочего пространства на рабочие зоны выполнено посредством высоковакуумных средств откачки и защитных экранов. Обеспечивается возможность компактного размещения оборудования и осуществления высокопроизводительного и экономичного способа нанесения тонкопленочных оптических покрытий с высокими потребительскими свойствами на гибкие и твердые подложки различных типоразмеров.

035003
B1

035003
B1

Группа изобретений относится к области технологического оборудования для нанесения покрытий, а именно вакуумного технологического оборудования, предназначенного для нанесения тонкопленочных покрытий с заданными оптическими, электрическими и другими характеристиками.

Из уровня техники известны различные способы нанесения тонкопленочных покрытий на обрабатываемые изделия и устройства для осуществления способов.

В частности, известен аналог как заявляемой установки, так и способа нанесения тонкопленочных покрытий [1]. В данном источнике описана установка периодического действия, включающая держатель подложек в форме барабана, по образующей которого устанавливаются и закрепляются подложки, изолированные друг от друга камерами загрузки и выгрузки, расположенные с боковых сторон вертикальной технологической камеры, которая содержит магнетроны для нанесения тонких пленок и генераторы плазмы для их окисления, расположенные по периметру технологической камеры вокруг держателя подложек. При этом зоны обработки подложек в технологической камере отделены щитовыми перегородками, а между подложкодержателем с подложками, расположенным в центре технологической камеры и генераторами плазмы в зонах обработки помещены сетки, удерживающие из газовой плазмы заряженные частицы, такие как электроны и ионы.

Способ нанесения тонкопленочных покрытий по указанному патенту заключается в вакуумном нанесении тонкопленочных покрытий на подложки, размещенные на вращающемся барабане и в их окислении. При этом подложки несколько раз перемещают через каждую зону обработки.

Недостатками указанной установки и способа являются

невысокая производительность вакуумной установки и значительная себестоимость изделий;

наличие сложных механизмов для передачи и загрузки подложкодержателей барабанного типа в шлюзовые камеры и технологическую камеру, так как необходимо наличие входной и выходной шлюзовых камер;

возможность использовать ограниченное количество технологических устройств, т.к. горизонтальная загрузка подложкодержателей барабанного типа в технологическую камеру требует места для входной и выходной шлюзовых камер;

высокая себестоимость подложкодержателя из-за наличия устройств передачи, загрузки и стыковки с приводным механизмом;

уменьшение срока службы вакуумной технологической установки из-за наличия механики и приводных механизмов внутри установки и ухудшается качество полученных тонкопленочных покрытий.

В наиболее близком аналоге как заявленной установки, так и способа нанесения тонкопленочных покрытий [2], описана вакуумная технологическая линия для нанесения тонкопленочных покрытий на обрабатываемые детали, включающая последовательно расположенные входную шлюзовую камеру, входную буферную камеру, технологическую камеру с установленными в ней технологическими устройствами, выходную буферную камеру, выходную шлюзовую камеру, высоковакуумные насосы, а также подложкодержатель, выполненный в виде вращающегося барабана, установленный в подшипниках на каретке, которая имеет возможность перемещения вдоль камер по направляющим транспортной системы. При этом на концах вала подложкодержателя для передачи вращения установлены элементы разъемной магнитной муфты, а для вращения подложкодержателя используют электропривод, размещенный на раме каретки. Технологические устройства установлены вдоль движения подложкодержателя на каретке и рабочая зона обработки определяется как область вдоль движения.

Способ по указанному патенту включает нанесение тонкопленочных покрытий, при котором подложки располагают на барабанном подложкодержателе, который последовательно перемещают с подложками через технологические камеры параллельно оси вращения барабана и вращают с одинаковой постоянной линейной и угловой скоростью. При этом в технологической камере осуществляют нанесение покрытий посредством технологических устройств, расположенных в зонах обработки. При осуществлении технологического процесса подложкодержатель с подложками проходит шлюзовые камеры, технологические камеры, буферные камеры и технологические коридоры. При нанесении тонких слоев с последующим окислением каждая точка обрабатываемой подложки многократно последовательно проходит мимо устройств нанесения сверхтонких слоев материала.

Недостатками указанной технологической линии и способа являются

необходимость использовать большие производственные площади для линейного оборудования и его высокая материалоемкость, особенно в случае нанесения сложных и прецизионных покрытий, так как для этого необходимо увеличивать количество технологических камер и применять сложные системы управления и настройки;

неэкономичность при использовании длительных процессов нанесения многослойных покрытий, так как при необходимости последовательного нанесения множества слоев длительные временные интервалы пребывания изделий в зонах обработки вынуждают либо снижать скорость вращающихся транспортерных и перемещающихся устройств либо приводить размер используемых устройств в соответствие со временем осуществления процесса, что требует использования очень больших и дорогостоящих механизмов;

наличие сложного устройства для крепления и перемещения подложек с устройствами вращения

внутри вакуумной камеры и, соответственно, невысокое качество полученных тонкопленочных покрытий из-за наличия механики внутри вакуумной установки.

Задачей настоящего изобретения является создание компактной промышленной вакуумной установки для нанесения тонкопленочных покрытий на подложки различных типоразмеров, которая применима для сложных и длительных технологических процессов с возможностью использования широкого круга технологий и технологических устройств и высокопроизводительного и экономичного способа нанесения тонкопленочных оптических покрытий на этой установке, который позволит повысить потребительские свойства тонкопленочных покрытий.

Поставленная задача в вакуумной установке для нанесения тонкопленочных покрытий включающей по меньшей мере одну технологическую камеру, содержащую технологические устройства и средства высоковакуумной откачки, по меньшей мере одну шлюзовую камеру, высоковакуумный затвор, соединяющий технологическую камеру со шлюзовой камерой, подложкодержатель барабанного типа, выполненный с возможностью вращения вокруг своей оси, и транспортную систему для перемещения подложкодержателя барабанного типа, решена тем, что шлюзовая камера закреплена на транспортной системе и выполнена с возможностью перемещения по транспортной системе или с ее использованием с вертикально расположенным подложкодержателем барабанного типа внутри или без него и стыковки с технологической камерой через горизонтальный высоковакуумный затвор, расположенный под технологической камерой, а рабочее пространство в технологической камере имеет деление на рабочие зоны за счет использования средств высоковакуумной откачки и защитных экранов.

Поставленная задача решена также тем, что устройства перемещения и вращения подложкодержателя барабанного типа расположены снаружи шлюзовой и технологической камер. Подложкодержатель барабанного типа имеет не менее шести сменных приемных устройств для крепления подложек различного типоразмера или сменную цилиндрическую поверхность для крепления гибких подложек.

Поставленная задача решена также тем, что на транспортной системе может быть закреплена одна шлюзовая камера, которая совершает возвратно-поступательные движения по линейным направляющим или по меньшей мере две шлюзовые камеры, тогда транспортная система представляет собой карусель.

В наиболее предпочтительном варианте реализации вакуумной установки по меньшей мере одним технологическим устройством, установленным в технологической камере, является система генерации плазмы высокой плотности, включающая как минимум два источника индукционного разряда, на оси каждого из которых расположены постоянные электромагниты.

Поставленная задача в заявленном способе нанесения тонкопленочных оптических покрытий, характеризующимся тем, что на подложки, закрепленные на вращающемся с постоянной угловой скоростью подложкодержателе барабанного типа, осуществляют нанесение тонкопленочных покрытий в технологической камере, в которую подложкодержатель барабанного типа перемещают с использованием транспортной системы из шлюзовой камеры, решена тем, что транспортировку вертикально расположенного подложкодержателя барабанного типа осуществляют в закрепленной на транспортной системе шлюзовой камере, которую стыкуют с технологической камерой снизу через горизонтальный высоковакуумный затвор. При этом нанесение тонкопленочных оптических покрытий проводят в рабочих зонах технологической камеры методом химического осаждения в плазме высокой плотности. Для нанесения покрытий используют по меньшей мере одну систему генерации плазмы, в которой источники индукционного разряда расположены на внутренней боковой поверхности технологической камеры друг за другом по вертикальной оси, параллельной оси вращения подложкодержателя барабанного типа, либо со смещением в шахматном порядке относительно этой оси. Деление рабочего пространства на рабочие зоны осуществляют посредством высоковакуумных средств откачки и защитных экранов. После нанесения покрытия и извлечения подложкодержателя барабанного типа из технологической камеры проводят ее очистку.

В наиболее предпочтительном варианте реализации способа перед нанесением оптического покрытия проводят очистку и активацию поверхности вращающихся подложек в кислородной и водородной плазме.

При нанесении тонкопленочного оптического покрытия плотность мощности, которую передают плазме источники индукционного разряда, превышает $0,1 \text{ Вт/см}^3$.

Ионизацию рабочего газа в рабочей зоне плазмообразования осуществляют за счет внешнего постоянного магнитного поля с индукцией $0,1\text{--}3 \text{ мТл}$, при этом магнитное поле формируют постоянными электромагнитами, размещенными снаружи технологической камеры на оси источников индукционного разряда.

Одним из вариантов реализации способа является использование по меньшей мере двух систем генерации, при этом нанесение покрытия осуществляют посредством одной системы генерации плазмы, а окисление - другой. В этом случае под окислением понимается не только действительное окисление, но также и азотирование, фторирование и др.

Сущность изобретения поясняется следующими чертежами:

на фиг. 1 представлен вид сбоку технологической камеры, установленной на каркасе;

на фиг. 2 - вид сверху технологической камеры на каркасе;

на фиг. 3 - транспортная система, представляющая собой карусель с двумя шлюзовыми камерами;

на фиг. 4 - общий вид подложкодержателя барабанного типа;

на фиг. 5 - общий вид четырехместной карусельной транспортной системы;

на фиг. 6 - вид сверху вакуумной технологической установки с тремя технологическими камерами, четырехместной карусельной транспортной системой и шлюзовой камерой с подложкодержателем барабанного типа внутри на одной из позиций транспортной системы;

на фиг. 7 - схема размещения устройств в вакуумной технологической камере для осуществления патентуемого способа нанесения оптических покрытий;

на фиг. 8 приведен график зависимости коэффициента отражения поверхности стеклянной подложки с просветляющим покрытием от длины волны падающего света.

Вакуумная установка для нанесения тонкопленочных покрытий (фиг. 1-3) включает технологическую камеру 1, установленную на каркасе 2, на боковой поверхности которой размещены технологические устройства 3, высоковакуумные насосы 4 для обеспечения и поддержания вакуума при проведении технологических операций и для обеспечения газового разделения рабочего пространства на рабочие зоны, вращающийся подложкодержатель 5 барабанного типа, при этом привод 6 вращения подложкодержателя 5 установлен на крышке технологической камеры 1 с высоковакуумным вводом вращения (на рисунках не показан) внутри технологической камеры. Транспортная система 7 с закрепленной на ней как минимум одной шлюзовой камерой 8 служит для перемещения шлюзовой камеры с вертикально расположенным подложкодержателем 5 внутри от зоны загрузки/выгрузки в рабочую позицию под технологической камерой 1. С нижней стороны технологическая камера 1 снабжена горизонтальным высоковакуумным затвором 9, через который осуществляется перемещение подложкодержателя 5 из шлюзовой камеры 8 в технологическую камеру 1 и обратно. Для перемещения подложкодержателя 5 снаружи под шлюзовой камерой 8 установлено устройство 10 подачи подложкодержателя с высоковакуумным вводом перемещения (на рисунках не показан) внутри шлюзовой камеры.

Во время выполнения технологических операций подложкодержатель 5 барабанного типа находится внутри технологической камеры 1, а технологические устройства 3 расположены по периметру технологической камеры 1 вокруг вертикальной оси вращения подложкодержателя 5. Привод 6 вращения подложкодержателя 5 приводит в движение подложкодержатель 5 после его загрузки внутрь технологической камеры 1.

Привод 6 вращения подложкодержателя 5 и устройство 10 его подачи в технологическую камеру 1 расположены вне технологической и шлюзовой камер, соответственно, что позволяет избежать загрязнения рабочего пространства внутри камер, что, в свою очередь, обеспечивает чистоту технологического процесса, а значит и повышенное качество наносимых покрытий.

Подложкодержатель 5 барабанного типа (фиг. 4) имеет либо не менее шести сменных приемных устройств (граней) 12 на разные типоразмеры подложек 13 либо цилиндрическую поверхность для крепления гибких подложек. В положении загрузки/выгрузки на подложкодержателе 5 может быть произведена замена подложек 13, замена граней 12 вместе с подложками либо замена самого подложкодержателя 5. Такая универсальная возможность загрузки дает возможность обработки на вакуумной установке подложек как гибких (фольга, стекло, металл), так и твердых плоских (ниобат лития, танталат лития, стекло, кремний, сапфир, ситал и др.) различных типоразмеров.

Вакуумная установка может быть оборудована двумя типами транспортных систем 7: возвратно-поступательной - для одной шлюзовой камеры или карусельного (револьверного) типа - для двух и более шлюзовых камер. Одна шлюзовая камера 8 в вакуумной установке, совершая возвратно-поступательные движения по линейным направляющим от технологической камеры 1 на позицию загрузки/выгрузки, упрощает конструкцию вакуумной установки в целом и уменьшает материалоемкость оборудования. При необходимости выполнения сложных технологических процессов нанесения тонкопленочных покрытий транспортная система 7 может быть выполнена в виде многоместной карусели (фиг. 5), с помощью которой возможно осуществление в нескольких технологических камерах 1 либо технологических операций нанесения тонкопленочных покрытий, либо операций контроля, очистки, отмытки и др.

На фиг. 6 представлен вид сверху вакуумной установки с тремя технологическими камерами 1, между которыми четырехместная карусельная транспортная система 7 перемещает шлюзовые камеры 8 с подложкодержателями 5 по всей технологической цепочке до получения законченного изделия. При этом транспортная система 7 со шлюзовыми камерами 8, и/или зона загрузки/выгрузки, могут быть расположены в чистой зоне А, где как в ручном так и в автоматическом режиме можно производить загрузку подложек 13 на подложкодержатель 5 и выгрузку готовых изделий.

Чистая зона - это часть 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.

Для обеспечения высокого качества изделий, получаемых путем нанесения тонкопленочных покрытий в вакууме, при размещении технологического оборудования в линию существует необходимость размещения чистых зон в начале и в конце технологической цепочки на позициях загрузки подложек и

выгрузки готовых изделий. При оснащении установки технологическими камерами, расположенными по кругу (фиг. 6), с загрузкой подложкодержателей в вертикальном положении снизу технологической камеры, возможна организация только одной чистой зоны А, так как возможно совмещение позиций загрузки и выгрузки.

Средства высоковакуумной откачки 4 (фиг. 7) и защитные экраны 18, расположенные по периметру технологической камеры, разделяют рабочее пространство в технологической камере 1 на несколько рабочих зон, чем создают условия для устойчивой работы технологических устройств различного типа. Расположение технологических устройств в одной вакуумной камере с использованием различных рабочих зон позволяет экономить производственные площади, занимаемые оборудованием, при осуществлении сложных многоступенчатых технологических процессов, для которых стандартным для установок линейного типа, является выполнение каждой операции в отдельной технологической камере.

Патентуемый способ нанесения тонкопленочных оптических покрытий на патентуемой установке заключается в следующем. Подложки 13 закрепляют на подложкодержателе 5 вне шлюзовой камеры 8, после чего устройством подачи 10 подложкодержатель в вертикальном положении автоматически опускают в шлюзовую камеру 8, закрепленную на транспортной системе 7. Шлюзовую камеру 8 с подложкодержателем 5 барабанного типа перемещают к технологической камере 1 при помощи транспортной системы 7. После того как шлюзовая камера 8 занимает свое рабочее положение под технологической камерой 1, движение останавливают и осуществляют подъем и прижатие шлюзовой камеры к горизонтальному высоковакуумному затвору 9. Производят откачку шлюзовой камеры низковокумным насосом 11 до давления 2Па, после чего открывают высоковакуумный затвор 9 и устройством подачи 10 держатель подложек 5 поднимают в технологическую камеру 1 до стыковки с приводом вращения 6.

Технологическую камеру 1 с подложкодержателем внутри высоковакуумными насосами 4 откачивают до высокого вакуума - до давления менее 0,003 Па, после чего запускают вращение подложкодержателя 5 и производят его разгон до скорости, необходимой для осуществления процесса нанесения покрытий.

Перед процессом нанесения оптического покрытия осуществляют плазменную очистку и активацию поверхности подложек плазмой индукционного разряда для удаления молекулярных частиц, адсорбированных газов, полимерных фрагментов, паров воды, а также для атомарной активации поверхностных связей на поверхности подложки, с целью улучшения адгезии наносимого слоя. При этом очистка в кислородной плазме удаляет остатки органических загрязнений, а очистка в водородной плазме гидрирует поверхность, пассивируя поверхностные связи. Для процесса очистки и активации через многозонную систему подачи газа 14 (фиг. 7) в вакуумную технологическую камеру 1 подают кислород, регулируют давление и включают систему генерации плазмы высокой плотности 15. Обрабатывают подложки в соответствии с заданным временным интервалом. Затем в рабочую камеру 1 через систему подачи газов 14 подают водород, а подачу кислорода прекращают, регулируют давление и продолжают очистку. Выключают систему генерации плазмы 15 и прекращают подачу водорода после окончания очистки.

После процесса очистки и активации на подготовленные поверхности подложек методом химического осаждения из газовой фазы в плазме высокой плотности наносят тонкопленочное оптическое покрытие.

Химическое осаждения из газовой фазы в плазме высокой плотности обеспечивает формирование покрытий с меньшим количеством дефектов, лучшей и контролируемой в широких пределах стехиометрией и низкими механическими напряжениями. Низкие механические напряжения в пленке обусловлены структурой пленок, полученных методами химического осаждения, и тем, что разность температуры нанесения и рабочей температуры эксплуатации изделия минимальна и не превышает 100°. При этом контролируемая стехиометрия позволяет добиться улучшения свойств покрытий при меньшем количестве наносимых слоев.

Кроме этого процесс создания пленок высокого качества становится более рентабельным, так как очистка газов дешевле, чем, очистка твердых мишеней магнетронных распылительных систем, которые используются в методе реактивного магнетронного распыления [1], являющегося на сегодняшний день прямым конкурентом метода химического осаждения из газовой фазы, так как обладает соизмеримой скоростью осаждения и достаточно высоким качеством покрытий.

Нанесение оптических покрытий осуществляют в зависимости от заданных оптических характеристик покрытия с помощью одной или двух систем генерации плазмы 15. При этом средства высоковакуумной откачки 4 и защитные экраны 18, разделяющие рабочее пространство в технологической камере 1 на несколько рабочих зон, создают условия для устойчивой работы технологических устройств.

Система генерации плазмы высокой плотности 15 включает не менее двух источников индукционного разряда 16 (ИИР), работающих на промышленной частоте 13,56 МГц, и расположенных друг за другом по вертикальной оси, параллельной оси вращения подложкодержателя, или со смещением относительно этой оси в шахматном порядке. Использование системы генерации плазмы с указанным расположением источников индукционного разряда позволяет достичь равномерности покрытий по всей высоте подложкодержателя.

Увеличение степени ионизации рабочего газа в рабочей зоне плазмообразования 17 достигают за

счет внешнего постоянного магнитного поля с индукцией 0,1-3 мТл. Магнитное поле при этом формируют постоянными электромагнитами 19, расположенными снаружи технологической камеры 1 на оси источников индукционного разряда.

Осаждение оксидов, нитридов или других материалов может осуществляться одной системой генерации плазмы. При этом рабочие газы подаются через многозонную систему подачи газа 14 в зону плазмообразования 17, где они активируются, перемещаются к подложке и формируют покрытие.

Если осаждение слоев проводится двумя системами генерации плазмы 15, в одной зоне плазмообразования 17 системы генерации плазмы 15 осаждается тонкий слой полупроводника или металла. В процессе вращения подложка попадает в область работы другой системы генерации плазмы 15, где происходит формирование оксида, нитрида, фторида и т. п. Разделение процессов осаждения и окисления (в данном случае под окислением понимается действительное окисление, а также азотирование, фторирование и др.) улучшает однородность формируемого покрытия, упрощает настройку равномерности осаждения и позволяет более гибко управлять стехиометрией слоя.

После нанесения покрытия с заданными оптическими свойствами производят остановку вращения подложкодержателя 5, устройство подачи подложкодержателя 10 перемещает подложкодержатель в шлюзовую камеру 8, производят закрытие высоковакуумного затвора 9 и напуск в шлюзовую камеру воздуха, выравнивают давление с атмосферным, после чего шлюзовую камеру 8 с подложкодержателем 5 отсоединяют от технологической камеры 1 и транспортной системой 7 перемещают в зону загрузки/выгрузки, где происходит замена подложек.

После выгрузки готовых изделий технологическую камеру 1 подвергают плазмохимической очистке для частичного удаления осаждаемого материала с внутрикамерной оснастки. Очистку технологической камеры осуществляют следующим образом. После выгрузки носителя подложек 5 барабанного типа, в технологическую камеру 1 подают рабочий газ NF_3 и включают систему генерации плазмы высокой плотности 15. Очистку продолжают заданный промежуток времени. Выключают систему генерации плазмы высокой плотности, выключают подачу рабочих газов и установка готова к проведению следующего цикла технологического процесса. Очистка технологической камеры после завершения каждого цикла нанесения покрытий снижает количество дефектов в покрытии, что в свою очередь обеспечивает высокое качество покрытий и увеличивает интервалы между сервисной профилактикой оборудования.

Существующие на настоящий момент установки плазмохимического осаждения в плазме высокой плотности [3, 4] позволяют наносить диэлектрические покрытия на подложки с равномерностью 1,5-2%. Эти установки ориентированы на поштучную обработку образцов и не предназначены для массового производства оптических изделий. Заявленная технологическая вакуумная установка позволяет достигать равномерности не хуже 0,5%, при нанесении оптических покрытий в массовом производстве со скоростью нанесения 0,5-1 нм/с при площади обработки 1 м² и цикле непрерывной работы продолжительностью 90%. Такие показатели достижимы за счет размещения подложек на вращающемся подложкодержателе барабанного типа, использования системы источников индукционного разряда с отдельными электромагнитами для каждого ИИР и многозонной системой подачи газа.

Вращение подложкодержателя позволяет уменьшить число степеней свободы настройки равномерности до одной - вдоль вертикальной оси подложкодержателя. Использование системы источников индукционного разряда позволяет увеличить равномерность генерации плазмы вдоль вертикальной оси и повысить плотность мощности, вкладываемой в разряд, концентрируя ее в небольшом объеме - рабочей зоне плазмообразования, что увеличивает степень диссоциации рабочего газа и улучшает оптические параметры покрытия. Постоянные электромагниты, размещенные на оси источников индукционного разряда, так же служат для увеличения концентрации плазмы.

Низкие механические напряжения в пленке обусловлены структурой покрытий, полученных методом плазмохимического осаждения в плазме высокой плотности при низкой температуре. В таких покрытиях механические напряжения вызваны, в основном, разностью термических коэффициентов расширения материалов пленки и подложки. Так как в заявленном способе температура нанесения менее 100°C, то и механические напряжения значительно меньше, чем в пленках, полученных методом плазмохимического осаждения в плазме емкостного разряда [3, 4], где температура осаждения должна быть более 300°C. В отличие от методов физического осаждения [1, 2] пленки полученные заявленным методом, не имеют структурных напряжений, что снижает общие механические напряжения в пленке. А низкие механические напряжения, в свою очередь, улучшают устойчивость тонкопленочных покрытий к механическим воздействиям и дают возможность наносить пленки на тонкие подложки, которые могут изгибаться из-за напряженности в покрытиях.

Пример осуществления изобретения сводится к следующему.

В чистой зоне прозрачные подложки 13 из закаленного стекла размером 220×280 мм закрепляют на пятнадцати сменных гранях 12 подложкодержателя 5 специальным двухсторонним скотчем. Затем на позиции загрузки/выгрузки в подложкодержатель 5 устанавливают заполненные подложками грани 12, после чего автоматически опускают подложкодержатель в вертикальном положении в шлюзовую камеру 8, закрепленную на транспортной системе 7. Шлюзовую камеру 8 с подложкодержателем барабанного типа 5 внутри перемещают к технологической камере 1 при помощи транспортной системы 7. После того

как шлюзовая камера 8 попадает в свое рабочее положение под технологической камерой 1, движение останавливают и автоматически осуществляют подъем и прижатие шлюзовой камеры 8 к горизонтальному высоковакуумному затвору 9. Производят откачку шлюзовой камеры 8 низковокумным насосом 11 до давления 20Па, после чего открывают высоковакуумный затвор 9 и устройством подачи 10 подложкодержатель 5 поднимают в технологическую камеру 1, до стыковки с приводом вращения 6.

Технологическую камеру 1 с подложкодержателем 5 внутри откачивают до давления менее 0,003Па высоковакуумными насосами 4, после чего запускают вращение подложкодержателя 5 и производят разгон до скорости 150 об/мин.

Для очистки и активации подложек через многозонную систему подачи газа 14 в вакуумную технологическую камеру 1 подают кислород, давление доводят до 0,7-3Па, включают систему генерации плазмы высокой плотности 15. Очистку подложек продолжают не менее 1 мин. Затем в рабочую камеру подают водород, а подачу кислорода прекращают, давление поддерживают в том же диапазоне. Обработку подложек продолжают еще 1 мин.

Затем на прозрачные подложки 13 из закаленного стекла последовательно наносят просветляющее покрытие, состоящее из периодически повторяющихся слоев, где за слоем с высоким n коэффициентом преломления следует слой с низким L коэффициентом преломления. Количество слоев обоих типов равно восьми. Порядок следования слоев, их толщины и коэффициенты преломления представлены в таблице.

Осаждение каждого слоя просветляющего покрытия осуществляют одной системой генерации плазмы. Рабочие газы подают через многозонную систему подачи газа 14 в зону плазмообразования 17, где они активируются, перемещаются к подложке и формируют покрытие.

№ слоя	Индекс слоя	Материал	n	Физическая толщина [нм]
1	H	SiN _x	1,8	14,5
2	L	SiO _x	1,44	32,5
3	H	SiN _x	1,8	65,1
4	L	SiO _x	1,44	48,1
5	H	SiN _x	1,8	38
6	L	SiO _x	1,44	30,6
7	H	SiN _x	1,8	85,6
8	L	SiO _x	1,44	86,1

На фиг. 8 представлена зависимость коэффициента отражения просветляющего покрытия, соответствующего таблице, от длины волны падающего света.

Формирование покрытия проводят в следующей последовательности. Через систему подачи газа 14 в вакуумную технологическую камеру 1 подают рабочие газы SiH₄, N₂, используемые для формирования просветляющего покрытия. Давление в камере доводят до 0,5-3Па и включают систему генерации плазмы высокой плотности 15. Осаждают нечетный слой просветляющего покрытия с высоким n коэффициентом преломления. В данном случае этим слоем выступает нитрид кремния SiN_x. Момент окончания осаждения определяют моментом выключения ВЧ мощности. Далее изменяют состав газовой среды: в камеру 1 через систему подачи газов 14 подают рабочие газы SiH₄, O₂ и снова включают 15 систему генерации плазмы высокой плотности. Осаждают четный слой просветляющего покрытия -SiO_x с низким L коэффициентом преломления.

В процессе осаждения плотность ВЧ мощности составляет $\approx 0,2$ Вт/см³, частота вращения барабана составляет 150 об/мин. Такие условия обеспечивают нанесение за один оборот слоя толщиной около 0,15-0,5 нм, что соответствует толщине 2-6 мономолекулярных слоев и обеспечивает формирование плотного (без пор) и бездефектного покрытия, с наименьшими механическими напряжениями.

Осаждение слоев L и H повторяют по 4 раза, пока не будет сформировано просветляющее покрытие с заданными оптическими свойствами (таблица), после чего подачу реактивных газов прекращают.

После нанесения покрытия с заданными оптическими свойствами за счет привода вращения 6 производят остановку вращения подложкодержателя 5, затем устройством подачи 10 перемещают подложкодержатель в шлюзовую камеру 8, производят закрытие высоковакуумного затвора 9, производят напуск в шлюзовую камеру воздуха и выравнивают давление с атмосферным, после чего шлюзовую камеру 8 с подложкодержателем барабанного типа 5 перемещают поворотной двухпозиционной транспортной системой 7 в чистую зону на позицию загрузки/выгрузки, где происходит смена подложек.

Очистку технологической камеры 1 осуществляют следующим образом. После выгрузки носителя подложек барабанного типа 5 из технологической камеры 1 в шлюзовую камеру 8 и закрытия высоковакуумного затвора 9 в технологическую камеру подают рабочий газ NF₃. Рабочее давление доводят до 1Па, включают систему генерации плазмы высокой плотности 15. При этом плотность ВЧ мощности составляет $\approx 0,2$ Вт/см³. Очистку продолжают 10 мин. Далее выключают систему генерации плазмы высокой плотности, выключают подачу рабочих газов. Установка готова к повторению технологического

процесса со следующей партией подложек. При этом осуществление оптического контроля на пропускание при осуществлении технологического процесса обеспечивает его воспроизводимость.

Заявленная вакуумная установка для нанесения тонкопленочных покрытий за счет использования в технологической камере вращающегося держателя подложек барабанного типа в вертикальном положении позволяет использовать различные технологические устройства, размещаемые на ее боковой поверхности. При этом индивидуальные для каждого технологического устройства условия внутри камеры достигаются за счет использования гозоразделения на рабочие зоны.

Размещение технологических устройств разного типа в одной вакуумной технологической камере позволяет уменьшить размер и материалоемкость оборудования, сократить число откачных средств и, тем самым, обеспечить компактность размещения оборудования в производственном помещении. Компактность вакуумного оборудования в целом обеспечивается также размещением транспортной системой с закрепленными на ней шлюзовыми камерами под камерами технологическими.

Заявленная установка и способ нанесения тонкопленочных оптических покрытий на ней позволяют реализовывать комплексные методы нанесения тонкопленочных покрытий на подложки различных типоразмеров и увеличить интервалы работы оборудования. При этом заявленный способ получения оптических покрытий на установке имеет высокую производительность, позволяет снизить количество дефектов и улучшить равномерность оптических и физических свойств покрытий.

Источники информации.

1. Патент США № 6274014, опубликованный 14.08.2001 г.
2. Патент РФ № RU 2507308, опубликованный 20.02.2014 г.
3. Official website of Company Oxford Instrument, - Mode of access: <http://www.oxford-instruments.com/products/etching-deposition-and-growth/processes/deposition-processes/dielectrics/sio2-deposition> - Date of access: 12.02.2016.
4. Presentation by Company Corial "Corial 300 IL GaN & Sapphire Etching ICP System" - Mode of access: http://www.corial.net/resources/13_300IL/Corial%2030QIL.pdf - Date of access: 12.02.2016.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Вакуумная установка для нанесения тонкопленочных покрытий, включающая по меньшей мере одну технологическую камеру, содержащую технологические устройства и средства высоковакуумной откачки, по меньшей мере одну шлюзовую камеру, высоковакуумный затвор, соединяющий технологическую камеру со шлюзовой камерой, подложкодержатель барабанного типа, выполненный с возможностью вращения вокруг своей оси, и транспортную систему для перемещения подложкодержателя барабанного типа, отличающаяся тем, что шлюзовая камера закреплена на транспортной системе и выполнена с возможностью перемещения с вертикально расположенным подложкодержателем барабанного типа внутри или без него и стыковки с технологической камерой через горизонтальный высоковакуумный затвор, расположенный под технологической камерой; рабочее пространство в технологической камере имеет разделение на рабочие зоны за счет использования средств высоковакуумной откачки и защитных экранов.

2. Установка по п.1, отличающаяся тем, что устройства перемещения и вращения подложкодержателя барабанного типа расположены снаружи шлюзовой и технологической камер.

3. Установка по п.1, отличающаяся тем, что подложкодержатель барабанного типа имеет сменные приемные устройства для крепления подложек различного типоразмера.

4. Установка по п.3, отличающаяся тем, что подложкодержатель барабанного типа имеет не менее шести сменных приемных устройств на разные типоразмеры подложек.

5. Установка по п.3, отличающаяся тем, что подложкодержатель барабанного типа имеет сменную цилиндрическую поверхность для крепления гибких подложек.

6. Установка по п.1, отличающаяся тем, что на транспортной системе закреплена одна шлюзовая камера, которая совершает возвратно-поступательные движения по линейным направляющим.

7. Установка по п.1, отличающаяся тем, что транспортная система представляет собой карусель с установленными на ней по меньшей мере двумя шлюзовыми камерами.

8. Установка по п.1, отличающаяся тем, что по меньшей мере одним технологическим устройством является система генерации плазмы высокой плотности, включающая как минимум два источника индукционного разряда, на оси каждого из которых расположены постоянные электромагниты.

9. Способ нанесения тонкопленочных оптических покрытий с использованием устройства по п.1, характеризующийся тем, что на подложки, закрепленные на вращающемся с постоянной угловой скоростью подложкодержателе барабанного типа, осуществляют нанесение тонкопленочных покрытий в технологической камере, в которую подложкодержатель барабанного типа перемещают с использованием транспортной системы из шлюзовой камеры, отличающийся тем, что транспортировку вертикально расположенного подложкодержателя барабанного типа осуществляют в закрепленной на транспортной системе шлюзовой камере, которую стыкуют с технологической камерой снизу через горизонтальный высоковакуумный затвор; нанесение тонкопленочных оптических покрытий проводят в рабочих зонах техно-

логической камеры методом химического осаждения в плазме высокой плотности, при этом для нанесения покрытий используют по меньшей мере одну систему генерации плазмы, в которой источники индукционного разряда расположены по вертикальной оси, параллельной оси вращения подложкодержателя барабанного типа, либо в шахматном порядке относительно этой оси; после нанесения покрытия и извлечения подложкодержателя барабанного типа проводят очистку технологической камеры; разделение рабочего пространства на рабочие зоны осуществляют посредством высоковакуумных средств откачки и защитных экранов.

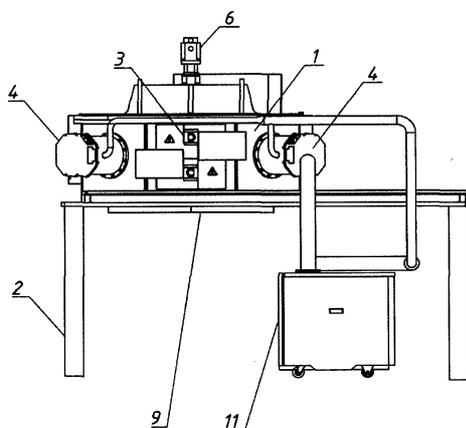
10. Способ по п.9, отличающийся тем, что перед нанесением оптического покрытия проводят очистку и активацию поверхности вращающихся подложек в кислородной и водородной плазме.

11. Способ по п.9, отличающийся тем, что плотность мощности, которую передают плазме источники индукционного разряда, превышает $0,1 \text{ Вт/см}^3$.

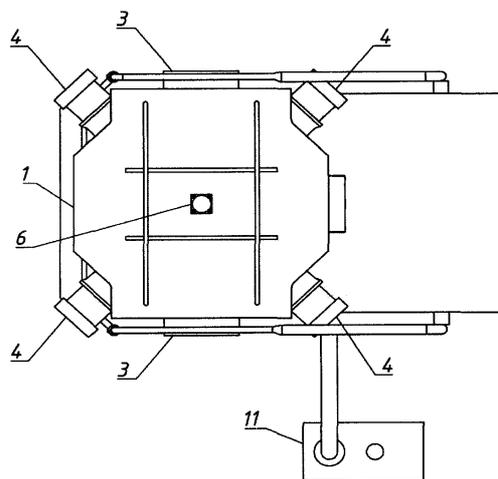
12. Способ по п.9, отличающийся тем, что ионизацию рабочего газа в рабочей зоне плазмообразования осуществляют за счет внешнего постоянного магнитного поля с индукцией $0,1-3 \text{ мТл}$.

13. Способ по п.12, отличающийся тем, что магнитное поле формируют постоянными электромагнитами, размещенными снаружи технологической камеры на оси источников индукционного разряда.

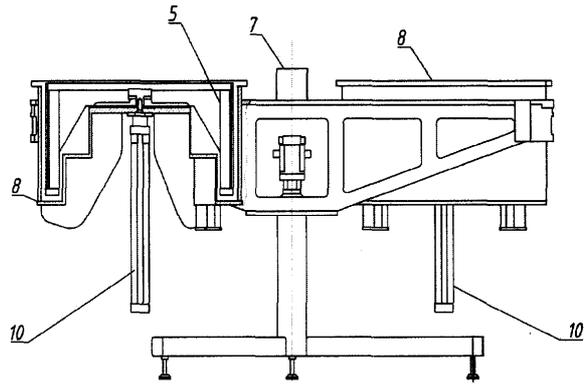
14. Способ по п.9, отличающийся тем, что плазму формируют при помощи по меньшей мере двух систем генерации плазмы, при этом нанесение покрытия осуществляют посредством одной системы генерации плазмы, а окисление - другой.



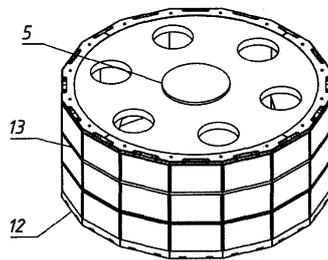
Фиг. 1



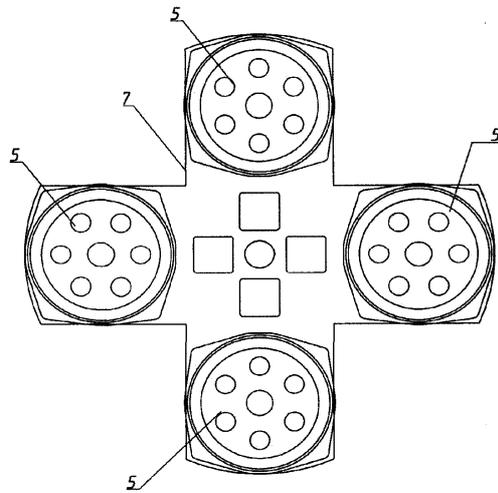
Фиг. 2



Фиг. 3

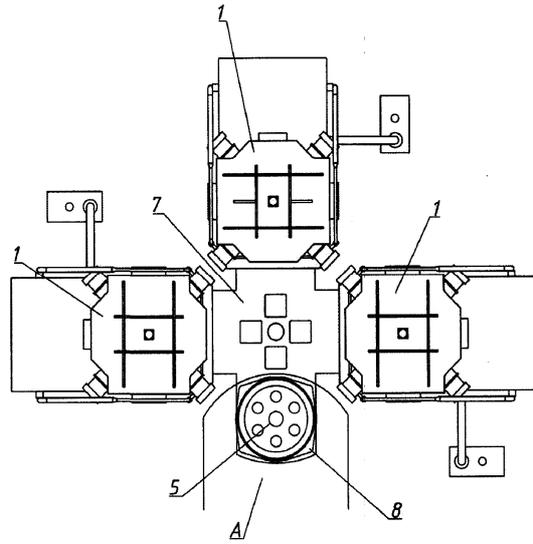


Фиг. 4

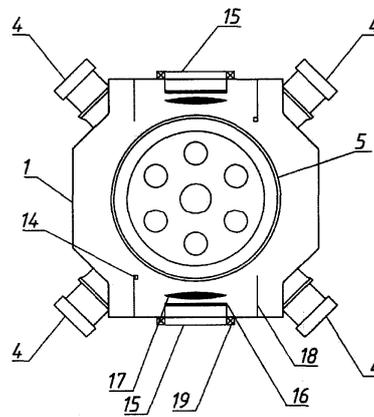


Фиг. 5

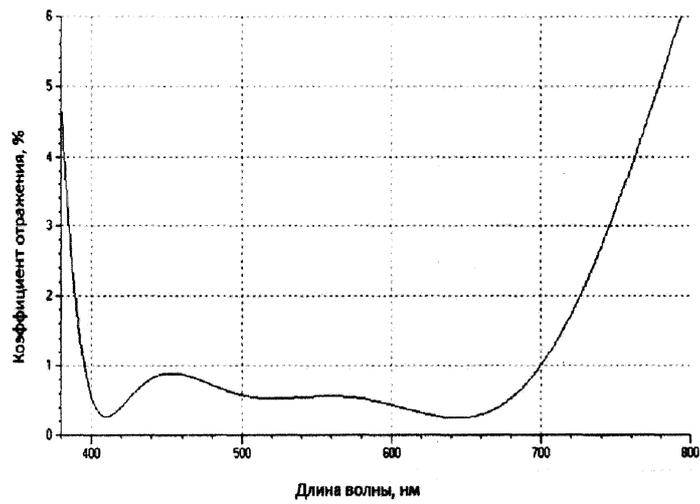
035003



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8