

УДК 537.533

**ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ
НАНЕСЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ВЫПУСКА
ТЕПЛОСБЕРЕГАЮЩЕГО СТЕКЛА И ПЛОСКИХ
ВЫСОКОИНФОРМАТИВНЫХ ЦВЕТНЫХ ЭКРАНОВ**

А. П. Еремин, В. Д. Смольянинов, В. В. Константинов, А. М. Филачев
ГП Научно-исследовательский институт электронной и ионной оптики, Москва, Россия

Предлагаемая технологическая линия непрерывного действия нанесения тонкопленочных многослойных покрытий из металлов и их соединений, а также тонких слоев аморфного кремния, нитрида кремния, окиси магния и других материалов на крупногабаритные плоские подложки с высокой адгезией предназначена для выпуска теплосберегающего стекла, плоских высокоинформативных цветных экранов и других изделий.

Процессы нанесения на крупногабаритные изделия тонких покрытий с оптическим эффектом все больше распространяются в промышленности и во всех технологиях высокого уровня.

В зависимости от назначения продукции наносятся специальные однослойные или сложные многослойные покрытия, которые должны отвечать определенным требованиям относительно пропускания, отражения, абсорбции, рассеяния, термостойкости и устойчивости относительно влажности, износо- и адгезионно-стойкости и др.

Высокие требования, предъявляемые к современным высококачественным крупногабаритным оптическим изделиям специальной техники и гражданской продукции, могут быть выполнены только путем обработки этих изделий на системах нанесения покрытий особого класса, созданных на основе новейших технических достижений.

В настоящее время в стране и за рубежом наряду с решением проблемы создания крупногабаритных плоских подложек специального назначения с нанесенными одно- и многослойными покрытиями большое внимание уделяется решению проблемы удовлетворения потребности рынка крупногабаритными архитектурными стеклами с теплосберегающими покрытиями и на их основе строительных стеклоблоков, а также плоскими высокоинформативными газоразрядными и жидкокристаллическими цветными экранами для нового поколения телевизионных приемников, дисплеев для приборных панелей самолетов и автомобилей, медицинского и промышленного оборудования.

Отечественной промышленностью выпускается вакуумное технологическое оборудование периодического действия для нанесения в основном однослойных оптических покрытий на крупногабаритные изделия, что не позволяет наносить многослойные оптические покрытия с высокой равномерностью и регулируемым коэффициентом светопропускания и не обеспечивает высокую производительность процесса.

Предлагаемая высокопроизводительная многокамерная вакуумная технологическая линия непрерывного действия с системой транспортирования обрабатываемых изделий в вертикальном положении дает возможность наносить многослойные тонкопленочные покрытия с количеством слоев более девяти с повышенными физическими и эксплуатационными характеристиками за счет применения специальных ионных источников для очистки изделий перед напылением, безмасляных средств откачки и возможности корректировки и изменения оптических характеристик изделий в процессе нанесения покрытий.

Создание технологической линии является продолжением работ по разработке вакуумного электронно-ионно-плазменного оборудования. При выполнении работ использованы результаты НИОКР по созданию вакуумной установки периодического действия для нанесения тонкопленочных покрытий (окиси магния) на крупногабаритные (770x440 мм) газоразрядные индикаторные панели, которая находится у заказчика [1].

В технологической линии использованы высокоомощные ионные распылители протяженного типа для нанесения тонкопленочных покрытий, ионно-лучевые устройства с ленточным пучком для обработки поверхности изделия перед напылением, прецизионная система газонапуска и другие работы, выполненные коллективом института в области электронно-ионно-плазменных технологий.

Технологическая линия представляет собой базовую модель многокамерного вакуумного оборудования непрерывного действия для нанесения тонкопленочных многослойных покрытий на плоские крупногабаритные подложки магнетронным распылением с системой транспортирования обрабатываемых изделий в вертикальном положении.

Отличительные особенности технологической линии:

- наличие безмасляных средств откачки;
- применение двух специальных ионных источников с ленточным пучком для ионной очистки обрабатываемых изделий перед напылением;
- возможность корректировки и изменения оптических характеристик изделий в процессе нанесения покрытий;
- технология нанесения покрытий позволяет выпускать теплосберегающие стекла без использования драгоценных металлов с повышенными эксплуатационными характеристиками, а также наносить эмиссионные слои для индикаторных панелей с высокими электрофизическими характеристиками с диагональю экрана до 2500 мм.

Применение в технологической линии двух специальных ионных источников для ионной обработки подложек перед нанесением покрытий непосредственно в камерах играет определяющую роль в процессе зародышеобразования пленки. Ионная обработка не только снимает верхние дефектные слои, но и активизирует поверхность за счет обрыва химических связей, создания радиационных дефектов и др. [2].

После ионной обработки подложек наносимые пленки металлов и диэлектриков отличаются лучшим качеством и адгезией при одновременном снижении требований к чистоте поверхностей подложек. Важное значение имеет ионная обработка поверхностей изделий из нестойких оптических материалов, которые химически взаимодействуют с окружающей средой и имеют разрушенный поверхностный слой. При нанесении покрытий этот слой влияет на их качество, ухудшая адгезию и защитные свойства. Ионная обработка удалит разрушенный поверхностный слой и восстанавливает оптические свойства стекол, если глубина поверхностных разрушений не превышает 0,2 мкм.

В технологической линии для получения тонкопленочных покрытий используется метод ионного распыления, обладающий рядом достоинств, к которым относятся:

- высокая адгезия пленок;
- сохранение стехиометрии состава пленок при распылении многокомпонентных материалов;

- однородность покрытий по толщине на больших поверхностях подложек;
- возможность получения при реактивном распылении соединений, которые практически невозможно получить термическим испарением веществ;

- возможность создания технологического оборудования непрерывного действия, так как мишени имеют большой запас распыляемого материала, а процесс напыления позволяет осуществить полную автоматизацию всего цикла получения покрытия.

Разработанный ионный распылитель протяженного типа обеспечивает нанесение покрытий с неравномерностью $5 \div 10$ % на подложки размером до 2000x3000 мм. Для нанесения покрытия на такую площадь длина мишени должна быть не менее 2000 мм. Равномерность напыляемой пленки достигается с помощью специально разработанной магнитной системы на постоянных магнитах, которая позволяет получать кольцевую зону эрозии до 70 мм.

Мощность ионного распылителя дает возможность проводить процесс напыления в среде реактивного газа при постоянном напряжении разряда. В этом случае реактивные газы не успевают вступать в реакцию с материалом мишени и образовывать соединения, имеющие низкую скорость распыления. На поверхности мишени отсутствуют адсорбированные газы, которые при большой мощности разряда удаляются в первоначальной стадии процесса распыления и в дальнейшем не осаждаются на поверхности мишени. Вследствие высокой кинетической энергии распыляемых атомов мишени обеспечиваются хорошая адгезия пленки к подложке и низкая ее пористость даже при малых толщинах.

Необходимая скорость осаждения пленки при ионном распылении с достаточной точностью может поддерживаться за счет постоянства таких параметров процесса как ток разряда или подводимая мощность. Эти функции выполняет система электропитания, поэтому управление конечной толщиной пленки достигается по времени осаждения [3].

Исследования показали, что для обеспечения воспроизводимости и стабильности процесса напыления ток разряда необходимо поддерживать с точностью ± 2 %, при допустимых отклонениях рабочего давления газов не более ± 5 %.

В зависимости от парциального давления активного газа можно получать либо пленки металла с активными элементами, либо химические соединения — окислы, нитриды, карбиды, сульфиды и др. В большинстве случаев содержание активного газа в газовой смеси (аргон + активный газ) может составлять от нескольких единиц до 50 %.

Проведенные расчеты и экспериментальные исследования показали, что при работе двух ионных источников в номинальном режиме за один цикл сканирования подложки с поверхности снимается слой 0,1—0,2 мкм. Такая обработка эффективно удаляет оставшиеся загрязнения, активизирует поверхность и исключает возможность появления дефектов покрытия [4].

Экспериментально определено оптимальное расстояние от мишени ионного распылителя до подложки, при котором неравномерность наносимого покрытия на больших поверхностях не превышает 10 %.

Диапазоны рабочих давлений созданных ионных распылителей и ионных источников практически совпадают, поэтому процессы нанесения металлических и диэлектрических покрытий можно совместить с ионно-лучевой обработкой поверхностей изделий. Ионизация рабочего газа ионным источником повышает эффективность ионного распыления мишени и позволяет наносить пленки при более высоком вакууме. Это позволяет сократить время цикла работы технологической линии и повысить качество наносимых покрытий. Таким образом, применение в технологической линии специальных ионных источников с ленточным пучком и ионных распылителей протяженного типа улучшает электрофизические и эксплуатационные характеристики наносимых покрытий.

В состав технологической линии входят следующие функциональные узлы:

- рабочая камера с откачными средствами;
- шлюз загрузки изделий;
- шлюз выгрузки изделий;
- ионные распылители;
- система электропитания ионных распылителей;
- система управления;
- ионные источники;
- система электропитания ионного источника;
- система нагрева обрабатываемых изделий.

Внутри рабочей камеры располагаются следующие устройства:

- арматура внутрикамерная, предназначенная для размещения и перемещения обрабатываемых изделий;
- ионные распылители;
- ионные источники;
- система нагрева обрабатываемых изделий;
- система газонапуска и поддержания давления в камере с индикацией.

Технологическая линия представляет собой прямоугольную камеру, установленную горизонтально на раме. Камера состоит из трех секций: шлюза загрузки, рабочей камеры и шлюза выгрузки. В рабочей камере сканирует рабочий стол с обрабатываемыми изделиями в соответствии с технологическим процессом.

Вертикальное расположение ионных распылителей и ионных источников обеспечивает высокое качество наносимой пленки.

Последовательность напыления различных материалов задается программой и осуществляется коммутацией ионных распылителей с источниками питания. Для расширения возможностей технологической линии для осаждения тонких слоев аморфного кремния и нитрида кремния предусматривается установка протяженных ионных ВЧ-распылителей для разработки и изготовления цветных жидкокристаллических экранов (ЖКЭ) большой информативной емкости.

Технология изготовления таких пленок и тонкопленочных полевых транзисторов на стеклянной подложке площадью не менее 650х650 мм обеспечит создание высокоинформативных жидкокристаллических экранов, основой которых является матрица тонкопленочных полевых транзисторов.

Уменьшение отраженной мощности при ВЧ-распылении производится устройством согласования путем изменения емкости конденсатора и индуктивной катушки, осуществляемого электроприводами по сигналам фазового детектора.

Система управления технологической линией предназначена для управления заданным технологическим процессом напыления, исполнительными элементами

вакуумного агрегата, а также для контроля и отображения текущего состояния технологической линии. Управление вакуумным циклом и технологией осуществляется по заданной программе. Система контроля параметров служит для контроля и обеспечения заданного времени проведения технологических операций, поддержания заданного давления в камере путем управляемого напуска в нее рабочих газов.

Источники питания постоянного напряжения обеспечивают стабилизацию ионного тока с точностью $\pm 1\%$, мощность каждого канала ионного распылителя составляет не менее 10 кВт. При необходимости технологическая линия может комплектоваться ВЧ-ионным распылителем и ВЧ-источником питания для генерирования электромагнитных колебаний с частотой 13,56 МГц, выходной мощностью до 3,0 кВт с нестабильностью $\pm 3\%$.

В технологической линии поверхностная нагрузка на ионные распылители может составлять до 20 Вт/см².

Применение металлических или полупроводниковых мишеней позволяет создавать пленки металлов, нитридов, карбидов, оксидов, сульфидов и других веществ.

Конструкция технологической линии непрерывного действия представляет возможность заказчику без дополнительных затрат быстро переходить к изменению технологических процессов и выпускаемой продукции.

Техническая характеристика технологической линии

Производительность, м ² /год, не более:	
с покрытием типа LOW-E стекла	150 000
с покрытием для систем отображения информации	75 000
Число слоев, напыляемых за один вакуумный цикл	1—9 и более
Размеры обрабатываемых изделий, мм, не более	2000x3000 (4—12)
Толщина, мкм, не более:	
наносимой окисной пленки	0,1—0,6
наносимой металлической пленки	10
Отклонение толщины пленки от номинала, %, не более	10
Материалы напыляемых изделий	титан, алюминий, медь, магний, оксиды, нитриды, аморфный кремний и др.
Управление установкой	полуавтоматическое
Максимальная потребляемая мощность, кВт, не более	60
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	2,5
Габаритные размеры установки, мм	25000x5500x3000

Литература

1. Волчков В. И., Еремин А. П., Смольянинов В. Д., Филачев А. М. Вакуумная высокопроизводительная установка для нанесения тонкопленочных покрытий на крупногабаритные плоские подложки//Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. сб., 1996, № 2.
2. Миллер В. Т., Пашкова Н. А., Первеев А. Ф., Соколова Р. С., Ливенко В. Е. Повышение адгезионной прочности для ИК-области спектра. Технология изготовления прецизионных оптических элементов: Матер. семинара. — С.-Петербург. 1996.
3. Данилин Б. С., Сырчин В. К. Магнетронные распылительные системы. — М: Радио и связь, 1982.
4. Волчков В. И., Еремин А. П., Смольянинов В. Д., Филачев А. М. Применение методов электронной оптики в разработке технологических ионно-плазменных устройств//Оборонный комплекс — техническому прогрессу России: Межотр. науч.-техн. сб., 1996, № 3.

**A HIGH-EFFICIENCY TECHNOLOGICAL LINE FOR DEPOSITION
OF THIN-FILM COATINGS FOR ISSUE OF HEAT-PROOF GLASS
AND FLAT HIGHLY INFORMATION COLOUR SCREENS**

A. P. Eremin, V. D. Smoljaninov, V. V. Constantinov, A. M. Filachev
Research Institute for Electron and Ion Optics, Moscow, Russia

Offered technological line of continuous action for deposition mono- or multiplier coatings of metals and them oxides or nitrides and also thin films high denser of silicon, nitride silicon, oxide magnum and other materials on large-sized flat substrates is intended for issue of glass, flat highly information of color screen and other products.