

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузюк, И.Г. Электронные учебные пособия в современном образовательном процессе / И.Г. Кузюк, В.В. Туч. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://sibac.info/11360>.
2. Пискунова, А.И. История педагогики и образования. От зарождения воспитания в первобытном обществе до конца XX в. / А.И. Пискунова. – М.: Эфесс, 2007. – 496 с.
3. Черкашина, В.М. Стандарты и технологии разработки электронного учебника / В.М. Черкашина. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://electro-book.narod.ru/baseEB.html>. – Дата доступа: 16.10.15 г.

УДК 681.7.026

Лесниковский П.В.

СПОСОБЫ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ

БНТУ, Минск

Научный руководитель Иванов И.А.

Различают следующие способы активации процессов формирования покрытий в вакууме: термический, плазменный, ионная бомбардировка, электронная или фотонная стимуляция.

При традиционной технологии нанесения вакуумных оптических покрытий обычно используют такой метод активации процесса, как нагрев подложек до достаточно высоких температур, так как это позволяет получить необходимый показатель преломления и достаточную адгезию пленки к подложке. Однако этот метод значительно увеличивает длительность технологического процесса из-за времени необходимого для нагрева подложек перед процессом нанесения покрытий и охлаждения их перед выгрузкой из вакуумной камеры. Пленка при данной технологии имеет

пористую столбчатую структуру, которая поглощает пары воды из атмосферы, что приводит к таким негативным явлениям, как сдвиг полосы пропускания фильтров, изменениям спектральных характеристик покрытий с течением времени (происходит так называемое «старение» пленок).

Плазменно-ассистированное химическое газозофазное осаждение.

Химическое газозофазное осаждение является процессом, в котором устойчивые твердые продукты реакции зарождаются и растут на подложке в среде с протекающими в ней химическими реакциями (диссоциация, восстановление и др.). В этом процессе используются различные источники энергии, такие, например, как плазма, ультрафиолетовое излучение и т.д. Процесс химического осаждения из газозофазы, активируемого плазмой, разработан относительно недавно (1974-1978 гг.) главным образом для получения тонких пленок, предназначенных для исследования в микроэлектронике, оптике и солнечной энергетике.

В процессе химического газозофазного осаждения покрытие на подложке образуется в ходе химических реакций, активируемых электрическим разрядом в газозофазе. Основное преимущество процесса заключается в том, что используются относительно низкие температуры подложек ($< 300^{\circ}\text{C}$), достигаются лучшая покрывающая способность и адгезия, процесс лучше контролируется. Вместо тепловой энергии газы-реагенты активируются быстрыми электронами. Другим преимуществом процесса является то, что часто достигаются более высокие скорости осаждения, чем в процессе термической активации подложки. И это предоставляет большие возможности в выборе различных технологических параметров, хотя контролировать их оказывается сложнее.

Однако осаждение чистых материалов этим методом фактически невозможно (за исключением полимеров),

поскольку почти все недесорбируемые газы удерживаются покрытием. Другой недостаток – сильное взаимодействие плазмы с растущей пленкой. Высокая скорость осаждения приводит к плохой контролируемости однородности и требует тщательной отладки реакционной установки.

Метод ионного ассистирования (ионная бомбардировка). Суть данного метода состоит в обработке ионным пучком наносимого покрытия в вакууме, что позволяет получать показатели преломления близкие к теоретическим, беспористые пленки с плотной структурой и высокой абразивной стойкостью, которые устойчивы к атмосферным воздействиям. Кроме того, указанный метод не требует нагрева подложек, что повышает производительность вакуумного оборудования и удешевляет процесс нанесения пленок за счет экономии электроэнергии.

Наиболее широкое применение эта технология нашла в сочетании с электронно-лучевым испарением и позволила улучшить такие параметры, как адгезия и плотность осаждаемых покрытий. Кроме того, так как при испарении оксидных материалов формируются пленки с недостатком кислорода, то проведение процесса с ассистированием ионами кислорода позволяет контролировать стехиометрию формируемых пленочных структур и в ряде случаев увеличить коэффициент преломления оксидных покрытий. При этом существенно уменьшаются поглощение, рассеяние и шероховатость пленок, а твердость и стойкость к истиранию повышаются.

Способ ассистирования ионной обработкой нанесения покрытий является также достаточно действенным по той причине, что возникает возможность проводить в одном цикле технологического процесса как ионную очистку поверхности перед напылением, так и производить ионное смешивание напыляемых слоев как с поверхностью материала, так и в процессе роста высоты покрытия. В ряде всевозможных

случаев ионное смешивание может быть единственным методом формирования устойчивых химических и нанокристаллических соединений при магнетронном и вакуумнодуговом напылении покрытий. При данном методе используются источники газовых ионов с 2 параллельными ленточными пучками ионов, в базе которых положен принцип плазменного ускорителя с замкнутым дрейфом электронов и узкой зоной ускорения, позволяющего в критериях ограниченного конструкционного места напылительной системы обеспечить характеристики, отвечающие требованиям технологии вакуумно-плазменных покрытий.

Активируемое лазером или электронным пучком химическое газофазное осаждение покрытий

Первоначально лазерный пучок использовался только для локализованного нагрева подложки при нанесении покрытий методом химического осаждения из газовой фазы. Затем лазер нашел применение для активизации атомов и молекул газа за счет поглощения ими энергии фотонов, что приводит к ускорению химических реакций в газовой фазе. Одним из способов контроля над уровнем вводимой энергии на каждом этапе производства микроэлектронных изделий является использование пучков фотонов или электронов с регулируемой энергией и направленностью.

Использование пучков энергетичных частиц в технологии нанесения тонких пленок дает следующие преимущества: высокую пространственную разрешающую способность, возможность проведения низкотемпературных процессов, минимизирующих влияние температуры на свойства подложки, возможность осуществления последовательных этапов обработки подложки без извлечения ее из вакуумной камеры, что уменьшает риск загрязнения и окисления поверхности изделия.

Использование плазмы, содержащей электроны с энергиями несколько эВ, позволило существенно улучшить параметры процесса химического газофазного осаждения покрытий, поскольку такой энергии электронов достаточно для диссоциации многих полиатомных молекул газа, используемого в качестве источника материала наносимого покрытия. Более эффективная диссоциация молекул газа плазменными электронами дала возможность наносить покрытия на подложки с температурой ниже 400°С со скоростью выше 100 нм/мин. Но имеющиеся в плазме ионы могут обладать энергией несколько сотен эВ и, бомбардируя подложку, создавать дефекты на ее поверхности. Радиационные дефекты, производимые плазменными электронами и фотонами, не так существенны.

УДК 621.378.002

Маркевич И.С.

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

БНТУ, Минск

Научный руководитель Томаль В.С.

Предлагаемая для очистки оптоэлектронных модулей ультразвуковая (УЗ) колебательная система состоит из преобразователя, согласующего элемента и рабочего инструмента (излучателя). В преобразователе (активном элементе) колебательной системы происходит преобразование энергии электрических колебаний в энергию упругих колебаний ультразвуковой частоты и создается знакопеременная механическая сила. Согласующий элемент системы (пассивный концентратор) осуществляет трансформацию скоростей и обеспечивает согласование внешней нагрузки и внутреннего активного элемента. Рабочий инструмент создает ультразвуковое поле