

УДК 620.3

М. Ф. С. Х. АЛЬ-КАМАЛИ

Гомель, ГТУ имени П. О. Сухого

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ, СОДЕРЖАЩИХ НАНОЧАСТИЦЫ
ВОССТАНОВЛЕННЫХ МЕТАЛЛОВ**

Развитие научных исследований идет параллельно с растущим мировым спросом на новые изделия оптоэлектронной техники, имеющей низкую себестоимость производства и конкурентные функциональные характеристики (по сравнению с существующими аналогами). С этой точки зрения изучение условий получения конструкционных материалов для нанoeлектроники и нанoфотоники требует комбинированного подхода к техпроцессу формирования сложных композиционных структур, содержащих модифицированные материалы, а также наночастицы металлов или их соединений, выполняющих активную функциональную нагрузку. В общем случае технологические приемы получения тонких пленок методами осаждения в вакууме значительно способствовали разработке и изучению полупроводниковых гетероструктур, что позволило оптимизировать их рабочие характеристики для последующего применения во многих технических и научных областях. Однако в случае формирования покрытий или модифицированных поверхностей с достаточной глубиной проникновения активных веществ в основную матрицу приходится использовать более простые и дешевые технологические методы, такие, например, как золь-гель технология [1; 2].

Проведенные исследования показали, что благородные металлы (подгруппы меди) достаточно легко формируются в виде восстановленных металлических наночастиц, которые могут быть локализованы в матрице-носителе с узкой дисперсией размеров. Наблюдаемый при этом эффект плазмонного резонанса позволяет получать на основе разрабатываемого класса веществ новые конструкционные материалы для последующего применения в качестве датчиков сверхмалого размера, используемых в биомедицинских исследованиях, создании микросенсоров с селективной чувствительностью и нелинейно-оптических матриц [1; 2].

Физико-химические принципы получения таких материалов основаны на химической инертности наночастиц благородных металлов относительно их матрицы носителя (в нашем случае – золь-гель матрицы). Для золь-гель материалов восстановление наночастиц может идти как на поверхности, так и по всей глубине силикатной или алюмосиликатной заготовки. В случае формирования пленок удается получать именно толстопленочные покрытия, которые состоят из двух слоев – SiO_2 -пленки, контактирующей с подложкой, и доменных структур на основе наночастиц металлов, образуемых на поверхности и в структуре самого SiO_2 -слоя (образуется высокая и низкая концентрация наночастиц металлов соответственно). В общем случае коллоидными наночастицами благородных металлов можно модифицировать поверхность пористого кремния и материалов на его основе, создавая химически активный слой с регулируемой глубиной проникновения [1].

Проведенный аналитический обзор литературы и патентных исследований для случая получения толстопленочных покрытий показал, что их конечные функциональные характеристики зависят от ряда взаимосвязанных факторов:

- состава исходных компонентов: связующих веществ, типа наполнителей (в случае необходимости), органических растворителей, взаимной концентрации реагентов, степени их чистоты и т. д.;

- методики нанесения покрытия и особенностей «выращивания» в нем наночастиц металлов (или соединений металлов);

- способа регулирования дисперсии размеров и формы микро- и наночастиц, и также возможности управления фазовым составом и степенью кристалличности формируемых функциональных слоев.

В нашем случае были изучены образцы золь-гель покрытий, содержащих микро- и наночастицы восстановленной меди или серебра различной концентрации. Исследования образцов синтезированных материалов проводились методами атомно-силовой микроскопии (АСМ) и рентгенофазового анализа (РФА). Было установлено, что при высокой концентрации солей допантов в исходном золе (выше 20 масс. %) при последовательном отжиге полученных пленок на воздухе, а затем в среде водорода формируется двухслойное толстопленочное покрытие, верхний слой которого образован микро- частицами металлов в виде плотноупакованных доменов сферической формы размерами не менее 200 нм (причем наблюдался рост размеров доменов с ростом концентрации соли металла в исходном пленкообразующем растворе). На основании полученных данных были разработаны технологические условия синтеза покрытий с максимальной степенью однородности верхнего слоя, состоящего из плотноупакованных наночастиц восстановленного металла. Плазмонные эффекты наблюдались и исследовались только для монолитных оптически однородных высококремнеземных стекол, содержащих наночастицы восстановленных металлов концентрацией до 0,1 масс. % [2]. Спектры отражения, снятые для композиционных двухслойных покрытий, имели размытый пик плазмонного резонанса, характер которого определялся типом присутствующих на поверхности микро- и наночастиц восстановленного металла. Для всех золь-гель материалов, содержащих наночастицы металлов, наблюдалось изменение некоторых термодинамических постоянных, что связывалось с малой размерностью формируемых наночастиц. Например, для наночастиц восстановленной меди, сформированных в структуре высококремнеземных стекол, было установлено понижение температуры плавления более чем в два раза по сравнению с монолитным металлом. Для покрытий наблюдалась высокая реакционная способность восстанавливаемых металлов, но во всех случаях восстановление проводилось таким образом, чтобы не происходило образование гидридов металлов (фазовый состав формируемых поверхностных слоев контролировался методом РФА).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физико-химические свойства поверхностей, модифицированных наночастицами металлов / Н. В. Соцкая [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2009. – Т. 9, вып. 5 – С. 643–652.
2. Алексеенко, А. А. Синтез наночастиц металлов и полупроводников в высококремнеземных золь-гель материалах / А. А. Алексеенко, М. Ф. С. Х. Аль-Камали // Современные электрохимические технологии и оборудование : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 28–30 нояб. 2017 г. – Минск : БГТУ, 2017. – С. 194–197.