

ФОРМИРОВАНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СЛОЕВ ДЛЯ МИКРО- И ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

А. В. Семченко¹, В. В. Пилипенко², В. В. Сидский¹

¹Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, *alina@gsu.by*

²ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»,
Республика Беларусь, *office@bms.by*

Целенаправленное получение золь-гель методом функциональных слоев с воспроизводимыми, заранее заданными свойствами является сложной многофакторной задачей, при решении которой нужно учитывать фундаментальные закономерности золь-гель процесса, особенности взаимодействия конкретных исходных компонентов, требования к конечным параметрам разрабатываемых структур. Получение функциональных слоев золь-гель методом подразумевает создание стабильных систем с заданной пространственной организацией, при которой достигаются требуемые свойства. Золь-гель метод часто применяется для синтеза оксидных соединений, в том числе многокомпонентных и содержащих различные активирующие добавки, так как такой подход имеет ряд существенных преимуществ. В частности, это возможность снизить температуру формирования конечного соединения за счет непосредственного взаимодействия растворенных солей металлов между собой с образованием гомогенного пленкообразующего раствора, в котором равномерно распределены ионы активатора, что позволяет предварительно сформировать материал с нужным фазовым и структурным составом. Необходимо учесть, что за счет механизма роста золь-гель слоев, близкого к эпитаксиальному, их структурные и, как следствие, функциональные свойства будут существенно зависеть не только от природы золя, но и от условий осаждения и подложки.

Золь-гель методом могут быть получены различные классы перспективных функциональных оксидных и сложнооксидных материалов, в том числе в виде тонких слоев. Так, сегнетоэлектрики со структурой слоистого перовскита, такие как танталат (танталат-ниобат) висмута-стронция $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ ($\text{SrBi}_2(\text{Ta}_{1-x}\text{Nb}_x)_2\text{O}_9$), характеризуются высокой диэлектрической проницаемостью, высокими пьезоэлектрическими и пироэлектрическими коэффициентами, приемлемыми электрооптическими свойствами и надежным переключением поляризации, что делает их перспективными для применения в энергонезависимой сегнетоэлектрической памяти с произвольным доступом.

Феррит висмута со структурой перовскита является единственным однофазным соединением перовскита, который одновременно обладает сегнетоэлектрическими и ферромагнитными свойствами при комнатной температуре, а активирование ионами редкоземельных элементов приводит к изменению его структуры, что позволит контролировать функциональные свойства.

Тонкие плёнки на основе оксида цинка широко применяются в фотовольтаике в солнечных элементах, фотодетекторах и других устройствах; в светодиодах (LED, OLED), в электрохромных элементах, плоских телевизионных панелях, а также в качестве дополнительных слоев для пленочных фотоэлектрически активных гетеросистем, что позволит обеспечить стабильность их параметров.

Общей проблемой при разработке всех перечисленных тонкослойных материалов является отсутствие либо недостаток информации о процессах, происходящих при формировании требуемых фаз в золь-гель структурах, образовании дефектов различной природы, а также влияния наноструктуры золь-гель слоев на их функциональные свойства. В настоящей работе предложены механизмы регулирования функциональных свойств золь-гель слоев за счет формирования в них требуемого стехиометрического и фазового составов, учета влияния материала подложки, выбора параметров золь-гель процесса, температуры и длительности

обработки, добавление иона-активатора и т.д., что в конечном итоге позволяет использовать разработанные оксидные и сложнooksидные тонкослойные золь-гель материалы для элементной базы современной микроэлектроники, улучшения характеристик и миниатюризации ячеек энергонезависимой памяти, оптоэлектроники и фотовольтаики.

Список литературы

1. Effect of annealing on the charge-voltage characteristics of the $\text{SrBi}_2(\text{Ta}_x\text{Nb}_{1-x})_2\text{O}_9$ films / N. V. Morozovsky, A. V. Semchenko, V. V. Sidsky, V. V. Kolos, A. S. Turtsevich, E. A. Eliseev, A. N. Morozovska // *Physica B : Condensed Matter*. – 2015. – Vol. 464.
2. Влияние дополнительного отжига в вакууме на структуру, электрические и оптические свойства ZnO:Al пленок, синтезированных зольгель методом / В. В. Сидский, А. В. Семченко, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, А. С. Ханна // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2018. – № 4 (37). – С. 44-46.
3. Влияние температуры отжига на структуру тонких золь-гель пленок BiFeO_3 , легированных самарием / С. А. Хахомов, А. В. Семченко, В. В. Сидский, О. И. Тюленкова, А. Н. Морозовская // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2020. – № 4 (45). – С. 71-74.
4. Фотоактивные свойства нанокпозиционных покрытий $\text{ZnO}_x\text{:MgO}$, осажденных в вакууме и методом золь-гель синтеза / В. В. Малютина-Бронская, А. В. Семченко, А. В. Рогачев, М. А. Ярмоленко, В. В. Сидский, К. Д. Данильченко, С. А. Сорока, Э. В. Русу // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2021. – № 2 (47). – С. 39-44.
5. Влияние состава и условий золь-гель процесса на свойства сегнетоэлектрических тонких пленок титаната бария-стронция / С. А. Хахомов, А. В. Семченко, В. В. Сидский, В. В. Васькевич, А. А. Маевский, О. И. Тюленкова, В. Е. Гайшун, Д. Л. Коваленко, О. В. Пахомов, А. В. Еськов, А. С. Старков, А. Л. Холкин, В. А. Пилипенко // *Проблемы физики, математики и техники*. – 2021. – № 4(49). – С. 45–50.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕЗОПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ОКСИДА ТИТАНА

Д. С. Серегин, П. А. Мокрушев, А. С. Вишневский, К. А. Воротилов

*МИРЭА - Российский технологический университет,
Российская Федерация, d_seregin@mirea.ru*

В работе представлены результаты исследования тонких (до 200 нм) мезопористых пленок оксида титана, полученных с помощью золь-гель метода. Пленкообразующие (ПО) растворы готовили с использованием бутилата титана и этанола или бутанола [1]. Для формирования пористой структуры методом молекулярной самосборки использовали два типа поверхностно-активных веществ (ПАВ): Pluronic F-127 или Pluronic P-123. Пленки формировали центрифугированием на подложках монокристаллического кремния, после чего часть образцов выдерживали в эксикаторе при разной относительной влажности (~20 – 70 %), а затем подвергали термической обработке при 400°C с различной скоростью нагрева (от 2 до 10 °C/мин).

Установлено, что пленки из ПО растворов на основе бутанола обладают большей пористостью (46 и 55 % в случае F-127 и P-123 соответственно) и меньшим показателем преломления, однако в таких образцах наблюдается агломерация пор. При использовании F-127 и этанола в пленках наблюдаются отдельные поры диаметром ~7 нм, которые упорядочиваются при повышении относительной влажности в камере центрифуги. Установлено, что повышение