

**В.В. Сидский¹, А.В. Семченко¹, А.Н. Морозовская²,
Н.В. Морозовский², А.Н. Петлицкий³, В.А. Солодуха**

ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДА ДЛЯ СИНТЕЗА СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

¹УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,
246019, РБ, г. Гомель, ул. Советская, 104, sidsky@gsu.by

²Институт физики Национальной академии наук Украины, 46,
пр. Науки, 03028 Киев, Украина

³ОАО «ИНТЕГРАЛ», 220108, РБ, Минск, ул. Корженевского, 14

В учреждении образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины» в Проблемной научно-исследовательской лаборатории перспективных материалов (ПНИЛ ПМ ГГУ) в течение ряда лет успешно используется золь-гель метод синтеза материалов с различными свойствами. Особое внимание уделяется получению функциональных покрытий для применения в микро- и наноэлектронике, исследованию их физико-химических свойств.

Порошки SBT, полученные из различных золь, представляет собой легко разрушаемую волокнистую структуру, характеризуются средним размером кристаллитов 13–29 нм. Все порошки SBT характеризуются наличием фазы перовскита. По причине текстурирования (ориентации зерен) в SBT-пленке интенсивность пиков (006) и (117) на углах 2θ , 21, 35° и 35,8° не соответствует интенсивности эталона стандартной фазы SBT. Из таблицы видно, что золи состава SBT2 и SBT4 обеспечивают максимальное содержание фазы перовскита в материале.

С целью отработки технологии изготовления золь-гель методом наноструктурированного танталата висмута-стронция для последующего формирования конденсаторных структур в дальнейшем применили раздельный гидролиз исходных компонентов SBT1 (этоксиды тантала, нитратов висмута и стронция), SBT2 (пентахлорида тантала, нитратов висмута и стронция). Из статистических данных для SBT-плёнок на поверхности монокристаллического кремния видно, что состав плёнообразующего раствора существенно влияет на размер зерен. На поверхности SBT-плёнок наблюдается образование зерен размером 100–140 нм.

При использовании золя состава SBT1 в плёнке наблюдается разброс зерен по размерам (от 80 до 140 нм). По результатам предварительных исследований, в качестве рабочего плёнообразующего раствора (золя) был взят золь SBT2.

При исследовании АСМ – изображений SBT пленок с использованием пентахлорида тантала, отожженных при различных температурах,

можно проследить изменение топографии поверхности, а также процесс образования зерен на поверхности SBT-плёнок в зависимости от температуры обработки. В результате термообработки при 800 °С размер зерен уменьшается до 80 нм по сравнению с температурой обработки 600 °С (110 нм). При увеличении температуры отжига до 750–800 °С, в результате поликристаллизации (рисунок) SBT- плёнок, наблюдаются образование довольно однородных по размерам зерен порядка 80–82 нм.

Эти данные согласуются с ростом остаточной поляризации и фазы перовскита в SBT-пленках, отожженной при температуре 750 °С. Также установлено, что размер кристаллитов с увеличением температуры растет.

Увеличение остаточной поляризации ($P_{\text{ост}}$), и коэрцитивной силы ($E_{\text{коэр}}$) в полученных золь-гель методом SBT-плёнках происходит при приближении стехиометрического соотношения между компонентами к расчетному, что ведёт к формированию структуры перовскита со сферической формой зерен. «Рабочим» ионом, обеспечивающим поляризационные свойства SBT-структур, является ион стронция.

При снижении его содержания ниже теоретически рассчитанного значение остаточной поляризации $P_{\text{ост}}$ резко падает, а размер зерна увеличивается до 116 нм (образец №5), что делает неэффективным использование SBT-структур данного состава в качестве конденсаторных пленок в энергонезависимой памяти. Образец с небольшим избытком висмута (1:2,3:2,0 Sr/Bi=0.52) имеет минимальную субшероховатость, по сравнению с остальными образцами, обладает небольшой коэрцитивной силой $E_{\text{коэр}} = 3,3 \text{ кВ/см}$, $P_{\text{ост}} = 2,4 \text{ мкКл/см}^2$. Зерно имеет квазисферическую форму с размером 103 нм, размер кристаллитов 13 нм. Учитывая вышесказанное, использование образца №4 (1:2,3:2,0 Sr/Bi=0.52) в качестве элемента энергонезависимой памяти более эффективно, чем образцов № 1, 2, 3, 5.

Теоретическое моделирование вольт-зарядных характеристик (ВЗХ) и вольтамперных характеристик (ВАХ) в сегнетоэлектриках-полупроводниках с подвижными заряженными донорами было проведено совместно с авторами в рамках континуальной феноменологической теории Гинзбурга-Ландау-Девоншира.

Граничные условия соответствовали идеальному омическому контакту пленки с электродами. Между электродами создавали переменное электрическое поле, которое изменялось по синусоидальному закону. Для этого к одному из электродов (верхний) прикладывали переменное напряжение $U(t) = U \sin(\omega t)$, второй электрод (нижний) оставался заземленным.

Таким образом, теоретическое моделирование показало, что увеличение концентрации подвижных доноров, в пленке сегнетоэлектрика приводит к увеличению коэрцитивного напряжения и росту проводимости.

В УО «ГГУ им. Ф. Скорины» совместно с ОАО «ИНТЕГРАЛ» предложена схема технических условий (рисунок) получения наноструктурированных сегнетоэлектрических пленок танталата ниобата висмута-стронция (технические условия 400011099.010-2011)

Полученная золь-гель методом сегнетоэлектрическая пленка соответствует требованиям, предъявляемым к ее использованию в качестве конденсаторного слоя для FRAM Проведены испытания золь-гель композиции Sr-Bi-Ta в производственных условиях ОАО «ИНТЕГРАЛ». Структуры обладали остаточной поляризацией до 8 мкКл/см^2 , что соответствует требованиям аналогов. С использованием указанной золь-гель композиции были изготовлены тестовые структуры типового представителя запоминающих устройств типа FeRAM.

А.С. Русыкин (ГГУ имени Ф.Скорины, Гомель)
Науч. рук. **В.Е. Гайшун**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ОПТИЧЕСКИЕ И СТРУКТУРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ TiO_2 И SiO_2 ПОКРЫТИЙ, ЛЕГИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

В последние годы достаточно активно развивается новое научное направление, связанное с синтезом и исследованием наноматериалов и тонких покрытий, к которым можно отнести наносистемы на основе редкоземельных металлов и флуоресцентных элементов. В Беларуси в последние годы резко повысился интерес к этой проблеме. Среди тонкопленочных и дисперсных систем перспективными являются материалы, полученные на основе редких окислов оксидов (TiO_2 , ZrO_2 , SiO_2 и др.) [1].

Функциональные материалы, синтезируемые золь-гель методом, получили широкое распространение в современной оптике и микроэлектронике. Использование золь-гель метода позволяет получать не только простые системы, но и сложные многокомпонентные системы, легированные частицами металлов, редкоземельных элементов. Пленки на основе диоксида титана имеют высокий потенциал применения в оптоэлектронике, в качестве просветляющих покрытий и прозрачных контактов при изготовлении солнечных элементов, в том числе за счет прозрачности в видимой области спектра и высокого коэффициента преломления. В связи с этим достаточно актуальным направлением сейчас является исследование оптических и структурных свойств тонких TiO_2 пленок, легированных некоторыми редкоземельными металлами [2].