

до конца, так как протекают с разной скоростью, что приводит к увеличению эффективности внешних воздействий, приводящих к растрескиванию пленки. При неполном гидролизе металлов наблюдается нарушение целостности поверхности пленки BST. При формировании (с использованием раздельного гидролиза) тонких сегнетоэлектрических пленок $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ происходит релаксация механических напряжений за счет перехода от послойного механизма роста к островковому, благодаря чему снижается растрескивание пленки.

Как сегнетоэлектрические свойства, так и топография поверхности существенно зависят от содержания Ba, что может быть связано с эффектом размера зерна. Установлено влияние восстановительного отжига на сегнетоэлектрические характеристики тонких золь-гель пленок BST.

Список литературы

1. Semchenko A., Sidsky V., Gaishun V., Kovalenko D. Nanoscale Piezoelectric Properties and Phase Separation in Pure and La-Doped BiFeO_3 Films Prepared by Sol-Gel Method. Materials. – V.14 – №7. – P. 1694.
2. Effects of Additional Vacuum Annealing on the Structure? Electrical and Optical Properties of $\text{ZnO}:\text{Al}$ Films Synthesized by Sol-Gel Method// V. V. Sydsky, A. V. Semchenko, V. E. Gaishun, D. L. Kovalenko, A. S. Khanna. Problems of Physics, Mathematics and Technics. – 2018. – № 4 (37). – P. 44-46.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ СЛОЕВ $\text{ZnO}:\text{MgO}$ НА КРЕМНИИ, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ

**В. В. Малютина-Бронская¹, А. В. Семченко², В. В. Сидский², А. С. Кузьмицкая¹,
А. Н. Петлицкий³, Т. В. Петлицкая³**

¹ Государственное научно-производственное объединение
«Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»,
Республика Беларусь, malyutina@oelt.basnet.by;

² Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, alina@gsu.by;

³ ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ», Республика Беларусь

В настоящее время активно ведутся исследования, направленные на поиск новых материалов для датчиков с чувствительностью к ультрафиолетовому (УФ) излучению. Одним из кандидатов для подобных датчиков является оксид цинка (ZnO). Данный материал отличается высокой подвижностью электронов, хорошей теплопроводностью, широкой и прямой запрещенной зоной ($E_g \sim 3,37$ эВ) и относительно высоким значением оптического пропускания [1]. Нелегированные тонкие пленки ZnO обладают фоточувствительностью в видимой области спектра из-за наличия собственных дефектов. Для варьирования оптических и электрических свойств ZnO легируют металлами из периодической таблицы группы III, такими как B, Al, Mg, Ca, Cd и Ga [2]. При этом, для обеспечения образования соединения с небольшими искажениями кристаллической решетки важно, чтобы радиус легирующего элемента был приблизительно равен радиусу замещаемого элемента. В этом аспекте радиус иона Mg^{2+} (0,57 Å) сравним с радиусом иона Zn^{2+} (0,60 Å), что делает Mg подходящим для замены в решетке Zn и облегчения увеличения запрещенной зоны [3].

Слои на основе пленок $\text{ZnO}:\text{MgO}$ были получены золь-гель методом с использованием раздельного гидролиза. В качестве исходных материалов использовали дигидрат ацетата

цинка; ацетат магния; изопропиловый спирт; дистиллированная вода; диэтиламин. Для изготовления плёнкообразующего раствора ацетат цинка и ацетат магния отдельно растворяли в изопропиловом спирте и перемешивали при 60 °С в течение 10 минут. Затем золи смешивались в концентрации 3:2 (образец 1), 3:1 (образец 2), 2:1 (образец 3) и 2:3 (образец 4). Осаждение пленки производилось методом центрифугирования со скоростью вращения 2000 об/мин в течение 40 с, после чего происходила сушка каждого слоя при 60 °С в течение 10 минут. После нанесения проводили отжиг слоя при температуре 550 °С в течении часа. Толщина получаемых пленок ZnO:MgO составляла порядка 100 нм. В качестве подложек использовали кремниевые пластины КДБ-10.

Измерение вольтамперных характеристик (ВАХ) проводили в темноте и под воздействием оптического излучения с использованием вольфрамовых зондов по поперечной схеме подключения, когда один из зондов устанавливался поверх пленки ZnO:MgO, а второй снизу к подложке через InGa контакт. Напряжение на ВАХ, соответствует напряжению подаваемому на верхний электрод к пленке ZnO:MgO. Оптический модуль измерительного комплекса включал в себя модуль позиционирования для размещения испытуемого образца и мультиспектральный источник лазерного излучения, состоящий из набора 9 лазерных диодов с длинами волн 405, 450, 520, 660, 780, 808, 905, 980 и 1064 нм с общим оптоволоконным выводом и с платами управления с мощностью излучения порядка 2 мВт [3]. В качестве источника глубокого ультрафиолетового (УФ) излучения с длиной волны 278 нм использовали светодиод ТО-3535BC-UVC265-30-6V-E. Все измерения были проведены с разверткой по напряжению от –15 до +15 В при комнатной температуре. Результаты измерения зависимости темнового тока от напряжения структур ZnO:MgO/Si представлены на рисунке 1 (а).

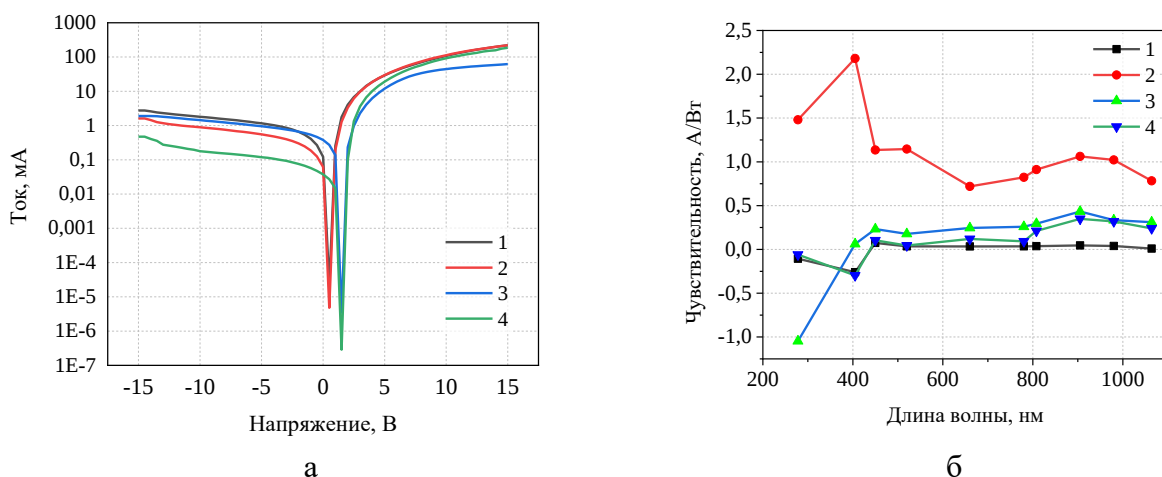


Рисунок 1 – Зависимость темнового тока от напряжения (а) и зависимость спектральной чувствительности от длины волны (б) образцов структуры ZnO:MgO/Si

Расчет абсолютной спектральной чувствительности проводился по формуле:

$$S = \frac{|I_p| - |I_D|}{P}, \quad (1)$$

где I_p – фототок;

I_D – темновой ток;

P – мощность источника излучения.

Результаты расчетов абсолютной спектральной чувствительности при напряжении $U = -12$ В представлены на рисунке 1 (б).

Из анализа зависимостей спектральной чувствительности от длины волны следует, что характер фотопроецируемости меняется с изменением концентрации примеси магния, что объясняется изменением переходом от электронной проводимости к дырочной. На зависимости фоточувствительности от длины волны на кривой 2 наблюдается два максимума при $\lambda = 278$ нм и при $\lambda = 405$ нм. С ростом содержания магния в УФ области спектра ($\lambda = 278$ нм) возникает отрицательная фоточувствительность (-1 А/Вт), в то время как в остальном диапазоне длин волн фоточувствительность положительная и не превышает 0,5 А/Вт. У всех образцов наблюдается фоточувствительность в ИК области спектра ($\lambda = 905$ нм), что может быть обусловлено фотопроводимостью поверхностных состояний границы раздела структур ZnO:MgO/Si.

Список литературы

1. Ayvazyan G. Y. et al. Synthesis, investigation and neural network modeling of the properties of sol-gel ITO/ZnO and ITO/ZnO:Mg structures // News of the National Academy of Sciences of Armenia. Physics. 2023. V. 58, № 1. P. 366-375. DOI : 10.1134/S1068337223030064
2. Priscilla S. J. et al. Effect of magnesium dopant on the structural, morphological and electrical properties of ZnO nanoparticles by sol-gel method // Materials Today: Proceedings. 2021. V. 36. P. 793-796. DOI : 10.1016/j.matpr.2020.07.005
3. Sidsky V. V. et al. Photoactive and Structure Properties of ZnO:XMgO Nanocomposite Sol-gel Films on the Surface of Silicon // Research and Education: Traditions and Innovations Proceedings of the 19th International Conference on Global Research and Education (Inter-Academia 2021). 2022. P. 227.

ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА МЕЗОПОРИСТЫХ ОРГАНОСИЛИКАТНЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ПЛЕНОК

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

¹МИРЭА – Российский технологический университет,
Российская Федерация, mokrushev@mirea.ru

Мезопористые органосиликатные пленки, сформированные золь-гель методом, широко используются для различных применений, в том числе в технологии микроэлектроники в качестве материала с низкой величиной диэлектрической проницаемостью (low-k диэлектрики). Существенным ограничением применений таких материалов является ухудшение их механических свойств при образовании пористой структуры. Одним из способов улучшения механических свойств является оптимизация режима термообработки, позволяющая добиться упрочнения стенок металлоорганического каркаса за счет более полного протекания реакций поликонденсации [1].

Целью работы было исследование влияния режимов предварительной сушки на механические свойства тонких пористых органосиликатных (OSG) и периодических мезопористых органосиликатных (PMO) пленок, сформированных золь-гель методом на кремниевых подложках.

Для формирования пористой структуры использовали метод молекулярной самосборки. С этой целью в пленкообразующие растворы добавляли поверхностно-активное вещество Brij® L4. Пленки формировали на кремниевых пластинах методом центрифугирования. После нанесения пленки сушили различными способами, как это представлено в таблица 1. Финишная температура отжига всех образцов составляла 400 °С.