

## АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТОНКИХ ПЛЕНОК НИОБАТОВ БАРИЯ-СТРОНЦИЯ СОСТАВА SBN-61

Стремительное развитие микро- и нанoeлектроники привело к возрастающей роли планарных технологий в современном материаловедении. Так, возрос интерес к вопросам получения и исследования свойств тонкослойных гетероструктур на основе сегнетоэлектрических материалов [1], в частности, ниобатов бария-стронция  $Sr_{1-x}Ba_xNb_2O_6$ . Очевидно, что свойствами пленок можно управлять не только изменением состава, но и технологией получения, выбором кристаллографической ориентации и типом подложек.

В настоящей работе представлены результаты спектрофотометрических и эллипсометрических исследований тонких пленок разной толщины ниобатов бария-стронция  $Sr_{0,61}Ba_{0,39}Nb_2O_6$  (SBN-61), нанесенных на кристаллические подложки MgO (001).

Для определения оптических параметров прозрачных пленок, таких как толщина, показатель преломления и его дисперсия, используются спектры оптического пропускания. Однако эти измерения не дают полной информации о характере и толщине поверхностного нарушенного слоя или о пограничных слоях. Более того, если толщина пленки менее четверти длины волны зондирующего излучения, то количественная интерпретация спектров становится невозможной. В общем случае информация об оптических свойствах пленки может быть получена из эллипсометрических измерений [2], несмотря на ряд трудностей, связанных с интерпретацией результатов.

**Объекты. Методы получения и исследования.** Пленки SBN-61 выращены методом газоразрядного ВЧ-катодного распыления керамической мишени стехиометрического состава  $Sr_{0,61}Ba_{0,39}Nb_2O_6$  на предварительно подготовленные под гетероэпитаксиальное осаждение монокристаллические подложки MgO (001). Время напыления SBN-61 на MgO составило 5 мин, 10 мин и 115 мин. Эллипсометрические измерения выполнялись с помощью многоуглового отражательного нуль-эллипсометра на длине волны He-Ne лазера  $\lambda = 633$  нм. Эллипсометрические углы  $\psi$  и  $\Delta$  рассчитывались по измеряемым азимутам поляризатора входного плеча эллипсометра и анализатора

выходного. Спектры оптического пропускания гетероструктур снимались в диапазоне длин волн 200-1000 нм на спектрофотометре Shimadzu UV-2450 при комнатной температуре.

В кристаллах ниобатов бария-стронция рассматриваемого состава  $n_o = 2.3$  и  $n_e = 2.28$  [3]. В нулевом приближении изотропной модели  $\varphi_0 = \arctg n_o = 66.5^\circ$ . Таким образом, обработку результатов эллипсометрических измерений пленок SBN, преимущественно ориентированных в направлении оси  $c$ , можно выполнять с использованием изотропной модели пленки, принимая  $n = n_o$ .

**Результаты и обсуждение.** Эллипсометрические измерения показали, что все исследованные SBN-пленки характеризуются естественным направлением роста, которое совпадает с направлением оптической оси  $c$  кристалла (поворот плоскости падения зондирующего луча не приводит к изменению значений  $\psi$  и  $\Delta$ ).

На рис. 1 представлены спектры оптического пропускания тонких пленок SBN-61, которые демонстрируют: невозможность определения параметров двух сверхтонких пленок SBN-61 спектрометрическим методом, т.к. их толщина меньше чем  $\lambda/4$ ; возможность определения порядка интерференции на длине волны  $\lambda = 633$  нм ( $m = 2$ ). Поэтому при обработке результатов эллипсометрических измерений для пленок 1 и 2 принималось  $m = 0$ , а для пленки 3  $m = 2$ .

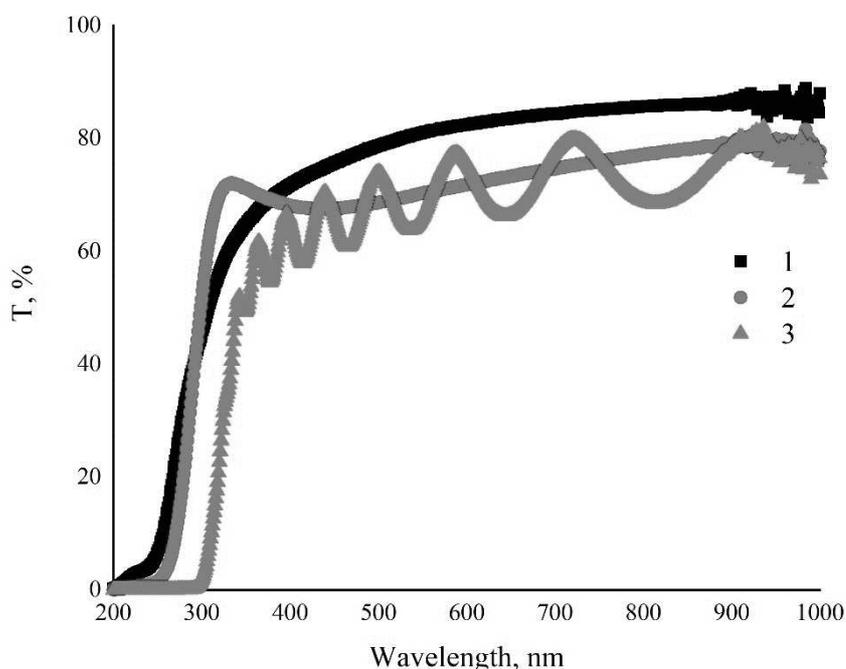


Рис. 1. Спектры пропускания пленок: 5 (1), 10 (2), 115 (3) мин.

Для всех пленок зарегистрировано отсутствие пограничных слоев; определены параметры нарушенных поверхностных слоев (табл. 1) – их толщина и эффективные показатели преломления  $n_{\text{эф}}$ , а также соответствующие коэффициенты объемного заполнения  $q$ .

Таблица 1 – Оптические параметры пленок

| № образца | Пленка | Подложка  | Время напыления $t$ , min | Толщина базового слоя $d$ , nm | Показатель преломления $n = n_0$ | Толщина нарушенного слоя $d_t$ , nm | Коэффициент объемного заполнения $q$ |
|-----------|--------|-----------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1         | SBN-61 | MgO (001) | 5                         | 29                             | 2.3                              | 5                                   | 0.6                                  |
| 2         |        |           | 10                        | 42                             | 2.3                              | 5                                   | 0.6                                  |
| 3         |        |           | 115                       | 615                            | 2.31                             | 8                                   | 0.45                                 |

Характерные расчетные зависимости эллипсометрических углов от угла падения зондирующего луча, а также экспериментальные точки для тонкой (2) из SBN-пленок показаны на рис. 2. Рисунок демонстрирует неплохое согласие эксперимента с теорией, подтверждающее адекватность принятой модели реальным пленкам.

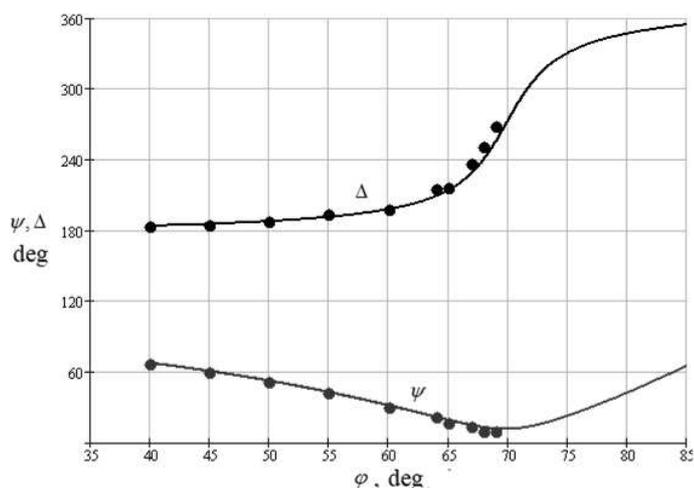


Рис. 2.  $\Psi, \Delta(\phi)$  для пленки 2 ( $t = 10$  мин).

Как видно из таблицы, показатели преломления и профили всех пленок практически не отличаются. При этом наблюдается некоторое увеличение толщины поверхностного нарушенного слоя. Особый интерес в полученных результатах представляет рост толщины поверхностного нарушенного слоя с одновременным уменьшением коэффициента объемного заполнения по мере увеличения времени

напыления, что обусловлено, с нашей точки зрения, особенностью роста пленок.

#### **Выводы.**

Тонкие пленки SBN-61 / MgO (001) независимо от толщины эпитаксиальные с преимущественным направлением роста, параллельным оси *c* монокристалла. Определены параметры пленок разной толщины – показатель преломления, толщина базового и поверхностного нарушенного слоев, коэффициент объемного заполнения материалом нарушенного слоя. Установлено отсутствие слоя на границе пленка-подложка. Обнаружено, что толщина нарушенного слоя растет, а коэффициент объемного заполнения уменьшается с увеличением толщины пленок. Наблюдается тенденция к росту показателя преломления с приближением его значения к максимальному в объемном материале для данного состава по мере увеличения толщины пленки.

#### **Благодарности.**

Авторы выражают благодарность к.ф.-м.н. Кара-Мурза С.В. за помощь в интерпретации данных спектрофотометрических и эллипсометрических измерений.

Использовано оборудование ЦКП «Объединенный центр научно-технологического оборудования ЮНЦ РАН (исследование, разработка, апробация)».

#### **Финансирование.**

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности научный проект № (0852-2020-0032)/(БА30110/20-3-07ИФ)).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Интегрированные сегнетоэлектрические устройства / К.А. Воротилов, В.М. Мухортов, А.С. Сигов. М.: Энергоатомиздат, 2011. 175 с.
2. Основы эллипсометрии / А.В. Ржанов [и др.]. Новосибирск: Наука, 1978. 424 с.
3. Refractive indices of  $Ba_{0,61}Sr_{0,39}Nb_2O_6$  single crystals / D. Kip [et al.] // *Physic Status Solidy (a)*. – 1996. – V. 154. – P. K5-K7.