

# Фотолуминесцентные и фотоэлектрические свойства тонкопленочной структуры ZnO–LiNbO<sub>3</sub> в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра

© Л.В. Григорьев<sup>1,2</sup>, И.С. Морозов<sup>1</sup>, Н.В. Журавлев<sup>1</sup>, А.А. Семенов<sup>2</sup>, А.А. Никитин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Университет ИТМО,  
197101 Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“,  
197022 Санкт-Петербург, Россия

E-mail: grigoryev@oi.ifmo.ru

Поступила в Редакцию 23 октября 2019 г.

В окончательной редакции 31 октября 2019 г.

Принята к публикации 31 октября 2019 г.

Представлены результаты исследования структурных, оптических, фотолуминесцентных и фотоэлектрических свойств тонкопленочной структуры ZnO–LiNbO<sub>3</sub>. Приведены результаты рентгеноструктурного анализа пленки оксида цинка, синтезированной на подложке из монокристаллического ниобата лития и на подложке из кварцевого стекла KV-1. Приведены спектры пропускания, спектры отражения, спектры поглощения, спектральная зависимость фотолуминесценции и спектральная зависимость фотоэлектрического тока тонкопленочной структуры ZnO–LiNbO<sub>3</sub> и структуры ZnO–SiO<sub>2</sub> в ультрафиолетовом и видимом диапазонах спектра.

**Ключевые слова:** оксид цинка, лазерная абляция, сегнетоэлектрик, фотолуминесценция, фотопроводимость, регуляризация Тихонова–Лаврентьева.

DOI: 10.21883/FTP.2020.03.49024.9294

## 1. Введение

Исследование физических свойств структур полупроводник–сегнетоэлектрик на основе оксида цинка (ZnO) привлекает большое внимание исследователей в связи с перспективностью их использования в качестве компонентов радиофотоники. В частности, можно создать микроэлектронные датчики ультрафиолетового (УФ) излучения [1,2]. Необходимость комплексного исследования оптических и фотоэлектрических свойств структуры полупроводник–сегнетоэлектрик, содержащей слой ZnO на монокристаллической сегнетоэлектрической подложке, обусловлена возможностью создания оптически управляемой структуры полевого транзистора.

В работе представлены результаты исследования структурных, оптических, фотолуминесцентных и фотоэлектрических свойств тонкопленочных структур ZnO–(ниобат лития) (ZnO–LiNbO<sub>3</sub>) и структуры тонкая пленка ZnO–(диоксид кремния) (ZnO–SiO<sub>2</sub>).

## 2. Изготовление образцов

Тонкопленочные структуры создавались методом лазерной абляции мишени из прессованного порошка ZnO марки ОСЧ [3]. Поверхность подложек из ниобата лития при создании структур ZnO–LiNbO<sub>3</sub> полировали по 14 классу. Структуру ZnO–SiO<sub>2</sub> формировали на поверхности полированных по 14 классу пластин из кварцевого стекла марки KV-1. Перед операцией нанесения на поверхность слоя из оксида цинка подложки

очищались от органических загрязнений в полярных и неполярных растворителях. Далее подложки промывались в деионизованной воде, удельное сопротивление которой было не менее 1.0 МОм·см. Для финишной очистки от следов загрязнений, а также с целью повышения адгезии наносимой пленки из ZnO к подложке все подложки подвергались ионной бомбардировке в аргоно-кислородной плазме, которая инициировалась на поверхности подложек внутри реактора из нержавеющей стали. Реакционная камера, где проводился синтез пленок оксида цинка, далее откачивалась с помощью безмасляной двухконтурной откачной системы до остаточного давления, не превышающего 1.15 Па. Для реализации процесса лазерной абляции был использован импульсный YAG:Nd-лазер, работающий на основной длине волны генерации 1.064 мкм. Частота следования импульсов варьировалась в течение процесса нанесения пленки от 45 до 20 Гц. Энергия импульса лазерного излучения составляла 680 мДж. Длительность импульса лазерного излучения лежала в диапазоне 12–15 нс. Лазер работал в режиме генерации гигантских импульсов, для создания которых была модифицирована схема резонатора промышленного лазера, в которую ввели внутррезонаторный акустооптический модулятор собственной конструкции из TeO<sub>2</sub>. Коллимированный поток лазерного излучения вводился в объем реакционной камеры через сапфировое окно. Лазерное излучение фокусировалось на поверхность мишени из ZnO в пятно, диаметр которого не превышал 800 мкм. Распределение мощности лазерного излучения по сечению пучка

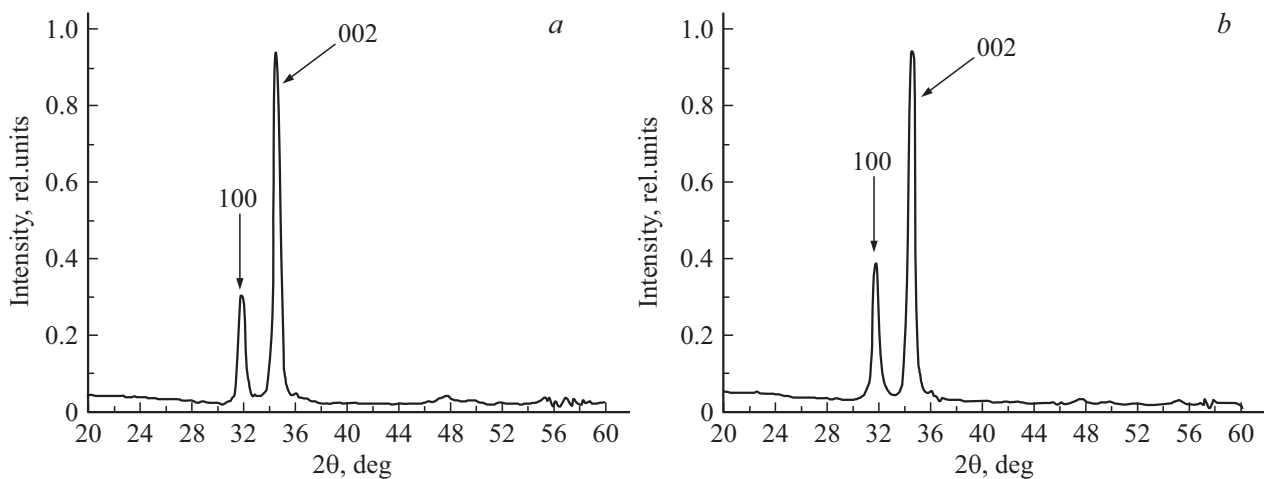


Рис. 1. Диффрактограммы тонкой пленки ZnO в структурах ZnO–кварц (а) и ZnO–LiNbO<sub>3</sub> (b).

описывалось гауссианой. Толщина пленок оксида цинка составила 3.5 мкм. Толщина пленки в процессе роста на подложке регистрировалась с помощью кварцевых микровесов.

### 3. Экспериментальные результаты

Рентгеноструктурные исследования проводились на дифрактометре ДРОН-3М, излучение  $\text{CuK}\alpha$  с длиной волны 1.542 Å, анодное напряжение рентгеновской трубки составляло 25 кВ. Сканирование проводилось в диапазоне брэгговских углов  $2\theta$  от 20 до 60° с шагом  $\Delta 2\theta = 0.05^\circ$ . Время накопления импульсов в точке измерения составляло 15 с.

Диффрактограммы пленок ZnO, структур ZnO–SiO<sub>2</sub>, ZnO–LiNbO<sub>3</sub> приведены на рис. 1. Аналогично результатам, представленным в работах [4,5], пленки ZnO на кварцевых подложках имеют малую плотность структурных дефектов на границе раздела (диоксид кремния)–(оксид цинка). Поэтому диффрактограмма слоя ZnO в структуре ZnO–SiO<sub>2</sub> (рис. 1, а) была принята за эталон при последующем сравнении с ней структурных свойств образцов ZnO–LiNbO<sub>3</sub>. На всех диффрактограммах (рис. 1, а и б) присутствует дифракционный максимум большой интенсивности, характерный для гексагонального ZnO (002) [4,5]. Этот дифракционный максимум свидетельствует о структурном совершенстве синтезируемых пленок и наличии в них выделенной осевой текстуры в направлении оси, перпендикулярной поверхности подложки [4,5]. При напылении слоя оксида цинка методом лазерной абляции на различные подложки наблюдается изменение интенсивности дифракционных максимумов, ответственных за направление (100). Нанесение слоя оксида цинка на подложку из ниобата лития приводило к смещению дифракционных максимумов (100) в сторону меньших углов по сравнению с положением аналогичного пика на диффрактограммах структур ZnO–SiO<sub>2</sub> (рис. 1, а и б).

Такие сдвиги в положении максимумов и изменение интенсивности пиков диффрактограмм могут происходить из-за увеличения межплоскостного расстояния, которое обусловлено упругими растягивающими напряжениями, возникающими при синтезе пленки ZnO на подложках из ниобата лития. Большая интенсивность дифракционных максимумов (002) наблюдается для структуры ZnO–кварц, что свидетельствует о более совершенном синтезированном слое ZnO по сравнению со слоем оксида цинка, нанесенном на поверхность монокристаллического сегнетоэлектрика ниобата лития.

По данным рентгеноструктурного анализа, все синтезируемые пленки имеют нанокристаллическую структуру. Размеры кристаллов в слое ZnO структуры ZnO–LiNbO<sub>3</sub>, вычисленные по формуле Селякова–Шеррера [5], не превышали 15 нм, а размеры нанокристаллов в слое ZnO, нанесенном на кварцевую подложку, не превышали 13 нм.

Сравнение литературных данных о характере диффрактограмм пленок ZnO, синтезированных высокочастотным (ВЧ) распылением мишени из керамики ZnO [4] или реактивным ионно-плазменным синтезом [5], с результатами рентгеноструктурного анализа, приведенными выше, показывает корреляцию в положении пика (002) диффрактограмм во всех случаях. Кроме того, совместный анализ вида диффрактограмм пленок, синтезированных лазерной абляцией, методом импульсного реактивного ионно-плазменного напыления [5] и методом ВЧ распыления, показывает отсутствие дифракционных максимумов от плоскостей (100), (101), (102), (110) на диффрактограммах образцов, изготовленных методом лазерной абляции. Этот факт позволяет утверждать, что на различных по морфологии подложках (кварц или ниобат лития) методом лазерной абляции возможен синтез пленок оксида цинка высокого структурного качества. Минимальные размеры нанокристаллов ZnO, синтезированных на подложках из кварца и ниобата лития, практически совпадают с результатами рентгено-

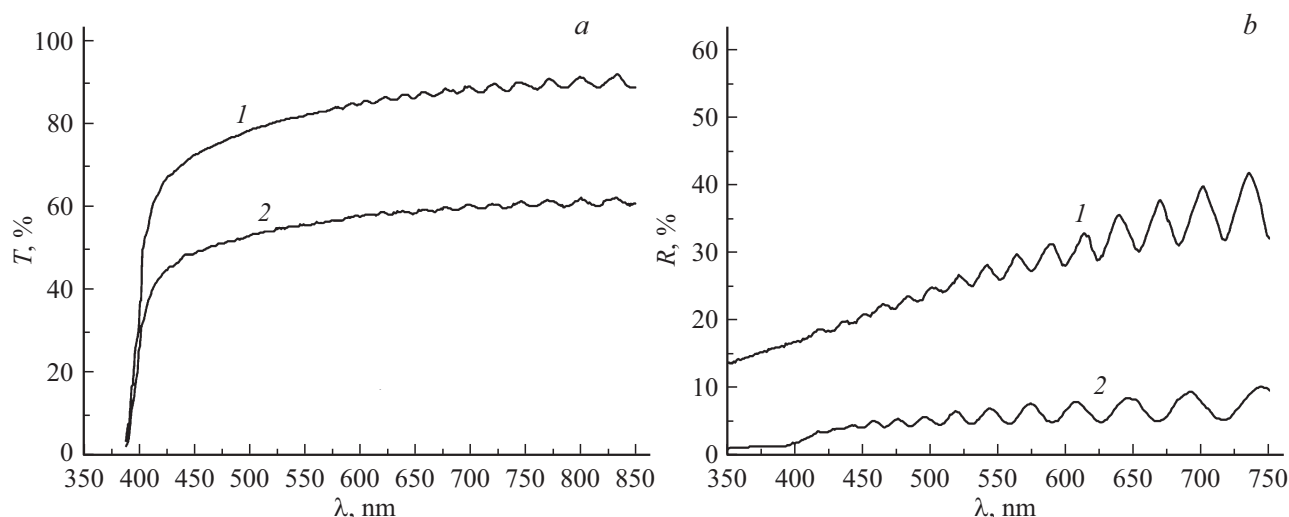


Рис. 2. Спектры пропускания (а) и отражения (б) пленки ZnO в структурах ZnO–кварц (1) и ZnO–LiNbO<sub>3</sub> (2).

структурных исследований ZnO, синтезированного ВЧ магнетронным распылением [4] и реактивным ионно-плазменным методом [5].

Проведенные морфологические исследования поверхности пленки на сканирующем зондовом микроскопе Solver PRO (фирмы НТ-МДТ) показали высокое структурное совершенство пленки, синтезированной методом лазерной абляции. Шероховатость пленки не превышала 80 нм при сканировании кантелевером области  $5 \times 5$  мкм.

Для изучения оптических свойств полученной пленки оксида цинка, определения наличия и концентрации оптически активных ловушек в пленке были проведены исследования спектров пропускания, спектров отражения и спектров фотолюминесценции в ультрафиолетовом (УФ) и видимом диапазонах. Исследование спектров коэффициентов пропускания ( $T$ ) и отражения  $R$  (рис. 2, а, б) проводилось в диапазоне длин волн ( $\lambda$ ) от 300 до 800 нм на спектрометре Perkin Elmer Lambda 650. Измерения проводили при комнатной температуре. Спектры пропускания оксида цинка приведены на рис. 2, а. Видно, что в диапазоне длин волн  $\lambda = 400\text{--}800$  нм коэффициент пропускания пленки ZnO, напыленной на кварц, достигает 83%, а пленки ZnO, напыленной на ниобат лития, — 55%. В спектре пропускания видны осцилляции, обусловленные эффектом интерференции в тонкой пленке. Спектр отражения пленок ZnO приведен на рис. 2, б. В спектре отражения также наблюдаются осцилляции, обусловленные эффектом интерференции света в тонких пленках. С помощью совместного анализа спектров пропускания и отражения с учетом интерференционных полос по методике [6,7] был определен показатель преломления для пленок оксида цинка, который составил 2.36. Полученное значение показателя преломления соответствует значениям для пленок оксида цинка, синтезированного реактивным магнетронным распылением [8], что также позволяет

считать, что в пленке оксида цинка имеется лишь малое количество структурных дефектов.

Спектральная зависимость коэффициента поглощения  $\alpha$  синтезированной методом лазерной абляции пленки ZnO была получена с помощью метода, описанного в работах [5–7]. Для определения оптической ширины запрещенной зоны спектр поглощения пленки ZnO был перестроен в координатах  $\alpha^2 = f(h\nu)$ ,  $h\nu$  — энергия фотона, и методом линеаризации переходной области были определены значения оптической ширины запрещенной зоны. Для пленки оксида цинка, нанесенной на поверхность кварцевой подложки, оптическая ширина запрещенной зоны составила 3.29 эВ. Величина оптической ширины запрещенной зоны для пленки оксида цинка, нанесенной на поверхность ниобата лития, составила 3.28 эВ.

Оптические свойства пленок, синтезированных лазерной абляцией на кварцевой подложке и на подложке из ниобата лития, были близкими к характерным для эпитаксиальных пленок ZnO, полученных методом газотранспортных реакций [9].

Для обнаружения оптически активных ловушек в пленке оксида цинка и оценки их концентрации были проведены исследования люминесцентных свойств структур (рис. 3). Изучение процессов фотолюминесценции проводилось на люминесцентном спектрометре Perkin Elmer LS50B при комнатной температуре. Длина волны возбуждающего излучения составляла 320 нм. Спектры фотолюминесценции исследуемых структур приведены на рис. 3 (кривые 1 и 2). В спектрах присутствует узкая интенсивная полоса люминесценции, находящаяся в УФ области, максимум которой находится вблизи 380 нм. Максимум полосы люминесценции, соответствующей слою ZnO, нанесенному на поверхность SiO<sub>2</sub> (рис. 3, кривая 1), находится на длине волны 377 нм и имеет полуширину 11 нм, что совпадает с литературными данными по фотолюминесценции структуры

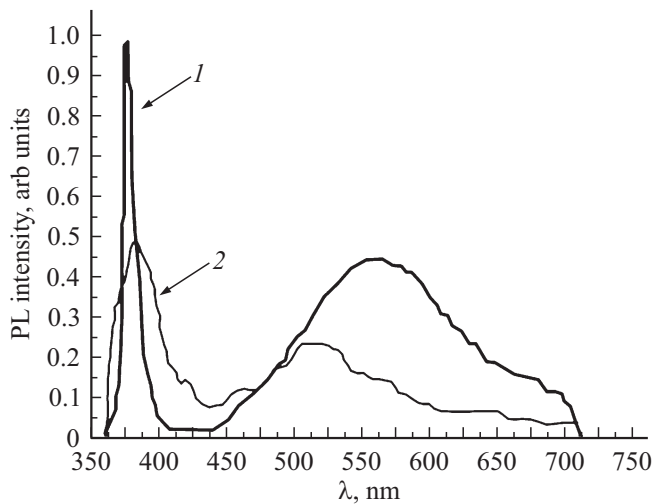


Рис. 3. Спектры фотолюминесценции (PL) структур: ZnO–кварц (1), ZnO–LiNbO<sub>3</sub> (2).

ZnO–кварц. Максимум полосы люминесценции, соответствующей слою ZnO, нанесенному на поверхность ниобата лития (рис. 3, кривая 2), находится на длине волны 376 нм и имеет полуширину 35 нм. Кроме того, эта полоса имеет существенно меньшую интенсивность (амплитуда в 2 раза меньше по сравнению с полосой структуры ZnO–кварц). Положение максимумов узких полос УФ фотолюминесценции и их спектральная полуширина позволяют предположить их сходство с экситонной полосой фотолюминесценции [10]. Такое соотношение интенсивностей полос УФ фотолюминесценции двух исследуемых образцов может быть объяснено следующим образом: процессом, ответственным за интенсивную фотолюминесценцию в УФ диапазоне спектра, является рекомбинация экситонов в объеме пленки ZnO [9,11]. Значительно различающаяся интенсивность полос УФ люминесценции позволяет утверждать, что концентрации экситонов в слое полупроводника в структурах ZnO–SiO<sub>2</sub> и ZnO–(ниобат лития) существенно различаются. Таким образом, большая концентрация экситонов содержится в объеме полупроводниковой пленки ZnO, синтезированной на подложке из кварца. В пользу этого свидетельствует и энергия активации оптически активных ловушек, лежащая в диапазоне от 3.29 до 3.32 эВ.

Для всех исследуемых структур наблюдаются широкие полосы люминесценции, лежащие в сине-зеленой спектральной области видимого диапазона. Эти широкие полосы фотолюминесценции сильно различаются по значениям полуширины и величинам интенсивности. Интенсивность широкой полосы фотолюминесценции структуры ZnO–SiO<sub>2</sub> существенно больше в сравнении с полосой для образца ZnO–LiNbO<sub>3</sub>. Ее максимум находится на длине волны 563 нм, а полуширина и составляет 124 нм. Интенсивность этой широкой полосы больше в 2.6 раза интенсивности УФ полосы фотолюми-

несценции образца ZnO–LiNbO<sub>3</sub>. Интенсивность широкой полосы фотолюминесценции образца ZnO–LiNbO<sub>3</sub> наименьшая. Сине-зеленая полоса фотолюминесценции структуры ZnO–LiNbO<sub>3</sub> имеет сложный вид: она состоит из двух накладывающихся друг на друга широких пиков люминесценции. Первый максимум располагается на длине волны 460 нм и имеет полуширину 18 нм. Вторым максимумом находится на длине волны 553 нм и имеет полуширину 68 нм. Наличие этих полос в спектре фотолюминесценции может быть обусловлено люминесценцией оптически активных дефектов с энергией активации от 2.48 до 1.97 эВ. К дефектам, ответственным за фотолюминесценцию в этом спектральном диапазоне, можно отнести вакансии кислорода, которые являются как электрически, так и оптически активными дефектами. Эти дефекты образуются при синтезе пленки ZnO методом лазерной абляции из-за нарушения стехиометрического состава оксида цинка вследствие недостатка кислорода. Энергия активации оптически активных дефектов и спектральное положение широких максимумов коррелируют с литературными данными [12–14]. Различие интенсивностей широких полос фотолюминесценции может быть обусловлено различной концентрацией вакансий кислорода в объеме пленки ZnO, образующихся при методе лазерной абляции. Наибольшая концентрация вакансий кислорода наблюдается в слое ZnO структуры ZnO–кварц.

Для обнаружения в пленке оксида цинка ловушек, обладающих одновременно электрически и оптически активными свойствами, а также оценки их концентрации и энергии активации были проведены исследования спектральных зависимостей тока фотопроводимости (рис. 4). Изучение фотопроводимости проводилось на установке, описанной в [5]. Установка состояла из усилителя У5-11, программируемого источника тянущего напряжения и спектрометрического модуля, состоящего из источника излучения (ксеноновая лампа с кварцевым конденсором)

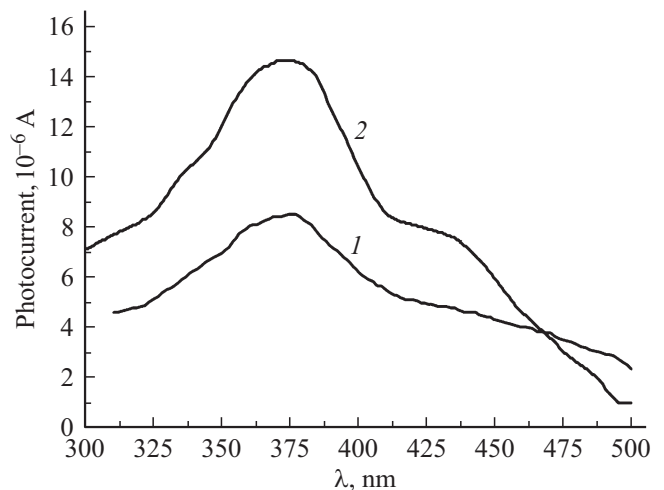


Рис. 4. Спектры фотопроводимости структур: ZnO–кварц (1) и ZnO–LiNbO<sub>3</sub> (2).

Параметры глубоких ловушек в ZnO

Энергия активации, эВ	Величина частотного фактора, с <sup>-1</sup>
3.80	$6.1 \cdot 10^{-7}$
3.54	$3.4 \cdot 10^{-5}$
3.31	$2.1 \cdot 10^{-6}$
3.0	$1.3 \cdot 10^{-7}$
2.9	$7.8 \cdot 10^{-7}$
2.84	$6.1 \cdot 10^{-5}$
2.51	$1.3 \cdot 10^{-8}$
2.26	$7.2 \cdot 10^{-9}$
1.84	$4.5 \cdot 10^{-8}$
1.82	$8.2 \cdot 10^{-7}$
1.03	$1.4 \cdot 10^{-8}$
0.94	$1.6 \cdot 10^{-8}$
0.93	$8.5 \cdot 10^{-8}$
0.86	$6.6 \cdot 10^{-9}$

и монохроматора МДР-23. Диапазон измеряемых токов составлял 1 нА–20 мкА. Измерения проводились при комнатной температуре. Сканирование по длине волны в спектральной полосе 300–800 нм проводилось по точкам со скоростью 5 нм/с. Время накопления токового сигнала в каждой точке составляло 10 с, что позволило исключить влияние переходных токов на кривые спектральной зависимости фотопроводимости.

Спектральная зависимость тока фотопроводимости структуры ZnO–SiO<sub>2</sub> представлена на рис. 4 (кривая 1), она имеет колоколообразный, несимметричный относительно положения максимума вид и широкий хвост в длинноволновой области. Максимум тока фотопроводимости находится при 375 нм. Спектр тока фотопроводимости может быть представлен как суперпозиция нескольких функций Гаусса: одной с максимумом на длине волны 375 нм и континуума из нескольких гауссиан, ответственных за хвост спектральной зависимости, в полосе от 410 до 500 нм. Спектральная зависимость тока фотопроводимости структуры ZnO–LiNbO<sub>3</sub> представлена на рис. 4 (кривая 2). Кривая фототока также имеет вид несимметричной относительно положения максимума сложной кривой: колоколообразной области с максимумом около 375 нм и широкого хвоста, содержащего локальный максимум около 420 нм. Кривая фототока может быть аппроксимирована суммой двух широких гауссиан, имеющих максимумы при 375 и 420 нм. Спектральные зависимости фототока, протекающего через исследуемые структуры, могут быть описаны интегральным уравнением Фредгольма 1 рода. Решение интегрального уравнения Фредгольма 1 рода относится к классу некорректных задач по Адамару [15]. Для нахождения зависимости распределения ловушек по энергии активации, которые участвуют в процессах неравновесной фотогенерации, и для описания последующего переноса неравновесных носителей заряда необходимо решение методом регуляризации Тихонова–Лаврентьева уравнения Фредгольма 1 рода [16]. В этой связи на осно-

ве численного решения уравнения фотопроводимости были получены наиболее вероятные значения энергии активации для ловушек, ответственных за генерационно-рекомбинационные процессы в слое оксида цинка. Установлено, что в слое ZnO наибольшее количество фотостимулированных неравновесных носителей генерируется с моноэнергетических глубоких ловушек, энергия активации и величина частотного фактора которых сведены в таблицу.

Согласно анализу литературных данных, ловушки, имеющие приведенные энергии активации, соответствуют вакансиям кислорода, присутствующим в объеме оксида цинка [17–19]. Вакансии кислорода могут находиться в трех зарядовых состояниях: нейтральном, однократно ионизованном, двукратно ионизованном. Однократно ионизованные вакансии кислорода имеют энергии активации 0.93, 0.94, 1.82, 1.84 эВ. Двукратно ионизованные вакансии кислорода имеют энергии активации 1.03, 2.26, 2.51, 2.9 эВ. Кроме того, в процессах фотостимулированной генерации неравновесных носителей заряда принимают участие мелкие доноры [20,21]. Благодаря участию этого типа ловушек в фотостимулированных процессах происходит последовательная передача энергии при фотоионизации. При этом не обнаружен вклад в процессы фотопроводимости глубоких ловушек, энергия активации которых соответствует межфазной гетерогранице полупроводник–сегнетоэлектрик. Кроме того, энергия квантов УФ и видимого диапазона меньше потенциального барьера полупроводник-сегнетоэлектрик. В этой связи можно пренебречь надбарьерными механизмами токового транспорта при фотостимулированной генерации неравновесных носителей заряда в структуре полупроводник–сегнетоэлектрик.

#### 4. Заключение

Таким образом, метод лазерной абляции мишени из порошка ZnO марки ОСЧ позволяет создавать тонкие пленки ZnO, характеризующиеся высоким структурным совершенством. Об этом свидетельствует интенсивный максимум (002) на дифрактограммах исследуемых пленок и отсутствие максимумов отражения от плоскостей (100), (101), (102).

Интенсивность УФ полосы фотолюминесценции пленки ZnO на подложке из кварца выше по сравнению со структурой ZnO–(ниобат лития). Интенсивность УФ полосы фотолюминесценции определяются концентрацией экситонов в слое ZnO, которая выше в структуре ZnO–кварц. Полосы люминесценции в сине-зелено-желтой области видимого спектра, наблюдаемые в спектрах исследуемых структур, связаны с присутствием точечных ловушек в объеме пленки ZnO, таких как вакансии кислорода, вакансии цинка, межузельный кислород и межузельный цинк. Различие интенсивности полос фотолюминесценции в сине-зелено-желтой области

спектра обусловлено различной концентрацией ловушек в объеме пленки ZnO.

Структуры ZnO–(ниобат лития) по совокупности своих оптических и фотоэлектрических свойств могут быть использованы для создания на их основе планарных акустоэлектронных и оптоэлектронных приборов, работающих в УФ и видимом диапазонах спектра.

## Список литературы

- [1] T. Wen-Che, K. Hui-Ling, L. Kun-Hsu. *Opt. Express*, **23**, 2187 (2015).
- [2] C.L. Wei, Y.E. Chen, C.C. Cheng. *Thin Sol. Films*, **518**, 3059 (2010).
- [3] О.Г. Вендик, Ю.Н. Горин, В.Ф. Попов. *Корпускулярно-фотонная технология* (М., Высш. шк., 1984).
- [4] А.Н. Закирова, П.Н. Крылов, И.А. Суворов, И.В. Федотова. *Вестн. Удмурдского гос. ун-та. Сер. Физика конденсированного состояния вещества*, **4**, 14 (2010).
- [5] Л.В. Григорьев, А.В. Михайлов. *Оптический журн.*, **82**, 66 (2015).
- [6] А.А. Русаков. *Рентгенография металлов* (М., Атомиздат, 1977).
- [7] Ю.И. Уханов. *Оптические свойства полупроводников* (М., Наука, 1977).
- [8] С.А. Алексеев, В.Т. Прокопенко, А.Д. Яськов. *Экспериментальная оптика полупроводников* (СПб., Политехника, 1994).
- [9] P. Narin, E. Kutlu, G. Atmaca, A. Atilgan, A. Yildiz, S.B. Liseivdin. *Optik*, **168**, 86 (2018).
- [10] B.D. Yao, V.F. Chang, F. Wang. *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 757 (2002).
- [11] А.Г. Веселов, О.А. Кирясова, А.А. Сердобинцев. *ФТП*, **42**, 496 (2008).
- [12] D.M. Bagnal, Z. Chen, T. Yao. *Appl. Phys. Lett.*, **73**, 1038 (1998).
- [13] А.Н. Грузинцев, В.Т. Волков. *ФТП*, **45**, 1476 (2011).
- [14] B.D. Yao, V.F. Chang, F. Wang. *Appl. Phys. Lett.*, **81**, 757 (2002).
- [15] В.Я. Арсенин, А.Н. Тихонов. *Численные методы решения некорректных задач* (М., Наука, 1990).
- [16] Л.В. Григорьев, И.М. Григорьев, М.В. Загорянская, В.И. Соколов, Л.М. Сорокин. *Письма ЖТФ*, **32**, 33 (2006).
- [17] S. Lany, A. Zunger. *Phys. Rev. B*, **72**, 035215 (2005).
- [18] A. Janotti, C.G. Van de Walle. *J. Cryst. Growth*, **287**, 58 (2006).
- [19] A. Janotti, C.G. Van de Walle. *Appl. Phys. Lett.*, **87**, 122102 (2005).
- [20] H. Chen, S. Gu, K. Tang, S. Zhu, Z. Zhu, J. Ye, R. Zhang, Y. Zheng. *J. Luminesc.*, **131**, 1189 (2011).
- [21] B. Cao, W. Cai, H. Zeng. *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 161101 (2006).

Редактор Л.В. Шаронова

## Photoluminescent and photoelectric properties of thin film ZnO–LiNbO<sub>3</sub> structure in ultraviolet and visible spectral ranges

L.V. Grigoryev<sup>1,2</sup>, I.S. Morozov<sup>1</sup>, N.V. Zhuravlev<sup>1</sup>, A.A. Semenov<sup>2</sup>, A.A. Nikitin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ITMO University,  
197101 St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State Electrotechnical University  
„LETI“,  
197022 St. Petersburg, Russia

**Abstract** The study results concerning to structural, optical, photoluminescent and photoelectric properties of a ZnO–LiNbO<sub>3</sub> thin-film structure are presented. The results of X-ray structural analysis of zinc oxide films synthesized on a single-crystal lithium niobate substrate or on a quartz substrate are presented. Transmittance, reflectance, absorption spectra, photoluminescence and photoelectric current spectral dependences of thin film structures ZnO–LiNbO<sub>3</sub> ZnO–SiO<sub>2</sub> in the ultraviolet and visible spectral ranges are presented.