

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.384.637

Лисимова  
Елена Сергеевна

Формирование и свойства фотокаталитических  
покрытий из зольей с диспергированными наночастицами полупроводников

### **АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 03 нанотехнологии и наноматериалы  
(в электронике)

---

Научный руководитель  
доктор физ.-матем. наук, профессор  
В. Е. Борисенко

---

Минск 2019

Работа выполнена на кафедре микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

**Борисенко Виктор Евгеньевич**,  
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой микро- и наноэлектроники учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

**Прищепя Сергей Леонидович**  
доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится 25 июня 2019 г. года в 9<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки 6, 1 уч. корп., ауд. 114, тел.: 293-89-26, e-mail: [kafme@bsuir.by](mailto:kafme@bsuir.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

Сегодня наблюдается большой практический и научный интерес к материалам на основе диоксида титана ( $\text{TiO}_2$ ). Он находит широкое применение при производстве солнечных элементов, просветляющих и самоочищающихся покрытий, в фотокатализе, а также является активным компонентом в газовых сенсорах. Особый интерес представляют наноматериалы на его основе. При этом классические методы их получения имеют много ограничений, что повышает потребность в разработке новых, универсальных технологий. Золь-гель метод достаточно давно и активно используется для получения наноматериалов на основе  $\text{TiO}_2$ , однако систематических исследований, позволяющих хотя бы в некоторых пределах управлять дисперсностью и микроструктурой продуктов, не проводилось. Поэтому одним из наиболее перспективных подходов является применение данного метода. В данном случае основным преимуществом перед другими методами является возможность контролировать процесс синтеза и свойства продуктов, изменяя реакционную способность прекурсоров путем варьирования состава их координационной сферы.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

В последнее время фотокаталитически активные покрытия начали представлять большой интерес. Они начали широко исследоваться и использоваться для очистки воды, воздуха помещений от органических загрязнений. Основная цель всех исследований – производить наиболее дешевые покрытия, которые очищали бы воду и помещение от всех либо почти от всех загрязнений.

### **Цель и задачи исследования**

Целью настоящей работы является разработка подходов к золь-гель синтезу и исследование свойств покрытий на основе диоксида титана с диспергированными в нем кристаллическими наночастицами полупроводников ( $\text{TiO}_2$ , Si,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), позволяющих в зависимости от состава золя получать покрытия с высокой фотокаталитической активностью.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. провести анализ состояния исследований по формированию и свойствам покрытий на основе диоксида титана с диспергированными в нем наночастицами полупроводников;
2. разработать методику формирования фотокаталитических покрытий на основе диоксида титана с диспергированными в нем наночастицами полупроводников ( $\text{TiO}_2$ , Si,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) золь-гель методом и выбрать методы их исследования;

3. исследовать структурные особенности и фазовый состав полученных покрытий;
4. исследовать фотокаталитические свойства полученных покрытий.

**Объектом** исследования являются фотокаталитические покрытия из золь с диспергированными частицами полупроводников ( $\text{TiO}_2$ , Si,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ).

**Предметом** исследования являются закономерности формирования и свойства фотокаталитических покрытий из золь с диспергированными в них наночастицами полупроводников.

**Область исследования.** Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-41 81 03 «Нанотехнологии и наноматериалы в электронике».

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Добавление в состав золь на основе тетраизопророксидатитана кристаллических частиц  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  размером от 20 до 300 нм, с массовой долей от 5 до 50 %, а также кристаллических частиц Si размером 5 мкм, с массовой долей от 1 до 2 % с последующим нанесением на алюминиевую подложку приводит к увеличению развитости рельефа поверхности, приобретающей зернистую структуру с размером зерен, зависящим от химического состава и размера добавленных частиц.
2. Четырехкратное нанесение золь на основе тетраизопророксида титана с диспергированными в него наночастицами диоксида титана с массовой долей 7,4% на алюминиевую подложку с последующей термообработкой при 500 °С в течение 30 минут на воздухе приводит к увеличению его фотокаталитической активности в 2,5 раза, что показывает перспективность сформированного таким образом покрытия для применения в дезинфекционных технологиях.

**Научная значимость** диссертации заключается в том, что в ней установлены закономерности формирования и свойства покрытий из диоксида титана, содержащих инкорпорированные кристаллические наночастицы  $\text{TiO}_2$ , Si,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

**Практическая значимость** диссертации состоит в том, что разработана методика формирования фотокаталитически активных покрытий из диоксида титана, содержащего инкорпорированные наночастицы  $\text{TiO}_2$ , Si,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , и показана перспективность их использования для очистки воды от органических загрязнений.

#### **Апробация и внедрение результатов исследования**

Основные результаты работы представлены на 53-ей, 54-ой Научно-технических конференциях студентов, магистрантов и аспирантов БГУИР, VIII Международной научной конференции «Актуальные проблемы физики твердого тела», VI, VIII Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники».

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации 55 страниц. Она содержит 1 таблицу, 29 рисунков. Библиографический список литературы включает 66 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются литературные данные по современному состоянию исследуемых в диссертационной работе проблем.

Во **второй главе** приведена методика формирования фотокаталитических покрытий, а также методика изучения их свойств.

В **третьей главе** представлены результаты исследования структурных свойств фотокаталитических покрытий из золь с диспергированными частицами  $\text{TiO}_2$ , Si,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . В данной главе приведены результаты их рентгеноструктурного анализа и растровой электронной микроскопии.

В **четвертой главе** представлены результаты исследования фотокаталитических свойств покрытий из золь с диспергированными частицами исследованных полупроводников. В данной главе приведены результаты спектрофотометрии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучены литературные данные по свойствам  $\text{TiO}_2$ , а также современным методикам формирования фотокаталитически активных покрытий на основе диоксида титана и определены перспективы их исследования и использования.

2. Разработана методика формирования фотокаталитически активных покрытий на основе диоксида титана с диспергированными в нем кристаллическими наночастицами  $\text{TiO}_2$ , Si,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

3. Поверхность синтезированных покрытий имеет развитый рельеф, зависящий от природы добавленных частиц: покрытия с диспергированными частицами  $\text{TiO}_2$  имеют зернистую структуру, зерна в которой соответствуют

размеру добавленных частиц. Покрытия с диспергированными частицами Si представляют собой шероховатую пленку диоксида титана с агломератами частиц кремния, образующими ячеистую структуру с размерами ячеек порядка 200 мкм. Покрытия с диспергированными частицами Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> представляют собой плотную пленку, состоящую из крупных блоков размером 20-30 мкм, состоящих из более мелких частиц магнетита.

4. Синтезированные покрытия с диспергированными микро- и наночастицами TiO<sub>2</sub> имеют наибольшую фотокаталитическую активность (уменьшение концентрации Родамина Б в растворе на 95%) за счет оптимального сочетания удельной площади поверхности и высокой пористости. Уменьшение концентрации Родамина Б в присутствии покрытий с диспергированными наночастицами TiO<sub>2</sub>, а также в присутствии покрытий с субмикронными частицами TiO<sub>2</sub> составляет 92% и 89% соответственно. Наименьшую фотокаталитическую эффективность имеют покрытия с диспергированными частицами Si (уменьшение концентрации Родамина Б в растворе на 38%). Также установлено, что изменение концентрации Si в пределах от 1% до 2% не влияет на фотокаталитическую эффективность покрытий.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

### Журнальные статьи

1. Баглов А.В. Структурные и фотокаталитические свойства нанокompозита диоксид титана/кремний / Баглов А.В., Малашевич А.А., Лисимова Е.С., Борисенко В.Е. // VIII Международная научная конференция «Актуальные проблемы физики твердого тела»: сб. докл./ отв. ред.: Н.М. Олехнович–Минск: Ковчег – 2018. – Т.3. – С. 12 – 14.

2. Chubenko E. B. Synthesis of Graphitic Carbon Nitride in Porous Silica Glass/ Chubenko E.B., Baglov A.V., Lisimova E.S., Borisenko V.E. // International Journal of Nanoscience – 2019. – V. 18 – P. 1940042 (4 pages).

### Статьи в трудах конференций

3. Чубенко Е.Б. Синтез и люминесцентные свойства графитоподобного нитрида углерода и гетероструктур на его основе / Чубенко Е.Б., Баглов А.В., Лисимова Е.С., Борисенко В.Е. // 10-я Юбилейная Международная научно-практическая конференция по физике и технологии наногетероструктурной СВЧ-электроники «Мокеровские чтения»: сб. науч. тр. – М.: НИЯУ МИФИ – 2019. – С. 81 – 82.

4. Баглов А.В. Гидротермальное формирование оксидов меди на алюминиевых подложках / Баглов А.В., Лисимова Е.С.// V Республиканская научная конференция студентов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники»: материалы – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины – 2017. – Т. 1– С. 22 – 25.