

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-технологическая академия

**Н. В. ГАПОНЕНКО**  
**Л. П. МИЛЕШКО**

**ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ  
ЛЕГИРОВАННЫХ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК МЕТОДАМИ  
ЗОЛЬ-ГЕЛЬ–ТЕХНОЛОГИИ И АНОДНОГО ОКИСЛЕНИЯ**

*Учебное пособие*

Ростов-на-Дону – Таганрог  
Издательство Южного федерального университета  
2019

УДК 541.1(075.8)

ББК 24я73

Г199

*Печатается по решению кафедры техносферной безопасности и химии  
Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного  
федерального университета (протокол № 9 от 3 апреля 2019 г.)*

# **Рецензенты:**

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры защиты  
информации учреждения образования «Белорусский государственный  
университет информатики и радиоэлектроники» *Л. М. Лыньков*  
доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой  
«Лазерная техника и технология» Белорусского национального  
технического университета *Н. В. Кулешов*

**Гапоненко, Н. В.**

Г199 Основы процессов получения легированных оксидных пленок  
методами золь-гель-технологии и анодного окисления : учебное по-  
сobie / Н. В. Гапоненко, Л. П. Милешко ; Южный Федеральный уни-  
верситет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного феде-  
рального университета, 2019. – 152 с.

ISBN 978-5-9275-3182-0

Междисциплинарное учебное пособие, предназначенное для факуль-  
тативного изучения студентами магистратуры, обучающимися по направле-  
ниям подготовки «Техносферная безопасность», «Нанотехнологии и микроси-  
стемная техника» и «Конструирование и технология электронных средств».

Рассмотрены основные закономерности образования, свойства и при-  
меры использования золь-гель-пленок легированных лантаноидами на пла-  
нарных подложках и в мезоскопических порах пористого кремния, пористо-  
го анодного оксида алюминия и синтетических опалов, а также легирован-  
ных фосфором или бором анодных оксидных пленок кремния, карбида  
кремния, нитрида кремния и легированных хлором – меди (I).

УДК 541.1(075.8)

ББК 24я73

ISBN 978-5-9275-3182-0

© Южный федеральный университет, 2019

© Гапоненко Н. В., Милешко Л. П., 2019

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ТОНКИХ ПЛЕНОК ЗОЛЬ-ГЕЛЬ-МЕ- ТОДОМ .....	6
1.1. Общие закономерности эволюции системы золь-гель-ксерогель .....	6
1.2. Формирование тонких пленок золь-гель-методом .....	14
1.3. Синтез микропористых ксерогелей в мезопористых матрицах .....	31
<i>Контрольные вопросы</i> .....	52
2. ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ЛАНТАНОИДОВ В ПОРИСТОМ КРЕМНИИ, СИНТЕТИЧЕСКИХ ОПАЛАХ И В СТРУКТУРЕ МИК- РОПОРИСТЫЙ КСЕРОГЕЛЬ/МЕЗОПОРИСТЫЙ АНОД-НЫЙ ОК- СИД АЛЮМИНИЯ .....	54
2.1. Анализ фотолюминесценции на 1,5 мкм в структуре ксеро- гель/пористый кремний, содержащей эрбий .....	54
2.2. Фотолюминесценция эрбия в пленках ксерогелей, сформиро- ванных на макропористом и поликристаллическом кремнии .....	59
2.3. Влияние оптических свойств синтетических опалов на фото- люминесценцию тербия .....	65
2.4. Люминесценция структуры микропористый ксерогель/мезопо- ристый анодный оксид алюминия, легированной лантаноидами .....	73
2.5. О механизме возрастания фотолюминесценции лантаноидов в структуре микропористый ксерогель/мезопористый анодный оксид алюминия .....	85
2.5.1. Возбуждение иона через матрицу ксерогеля в порис- том анодном оксиде алюминия .....	87
2.5.2. Прямое возбуждение иона лантаноида в структуре мик- ропористый ксерогель/ мезопористый анодный оксид алюминия .....	88
2.5.3. Возбуждение иона через матрицу анодного оксида алю- миния. Многократное рассеяние света в пористом анодном ок- сиде алюминия .....	88
<i>Контрольные вопросы</i> .....	91
3. АНОДНОЕ ОКИСЛЕНИЕ КРЕМНИЯ, КАРБИДА И НИТРИДА КРЕМНИЯ В ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ .....	92

Оглавление

3.1. Механизмы взаимодействия компонентов электролитов с Si, SiC и Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> .....	92
3.2. Кинетика роста ЛАОП кремния, карбида и нитрида кремния ..	95
3.3. Состав, строение и свойства ЛАОП кремния .....	101
3.4. Диффузия фосфора в кремний из анодных оксидных пленок в условиях быстрой термической обработки (БТО) .....	103
3.5. Технологические возможности использования ЛАОП для создания элементов полупроводниковых приборов и интегральных микросхем .....	106
<i>Контрольные вопросы</i> .....	113
<b>4. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА АНОДНОГО ОКСИДА МЕДИ (I) .....</b>	<b>115</b>
4.1. Описание экспериментальной установки и условий получения анодного оксида меди (I) .....	115
4.2. Термодинамические закономерности процесса формирования анодного оксида меди (I) .....	118
4.3. Кинетические закономерности процесса формирования анодного оксида меди (I) .....	123
4.4. Элементный состав анодного оксида меди (I) .....	127
4.5. Фазовый состав анодного оксида меди (I) .....	129
4.6. Морфология поверхности анодного оксида меди (I) .....	130
4.7. Зависимость сопротивления анодного оксида меди (I) от температуры и освещенности .....	133
4.8. Зависимость вольт-амперных характеристик анодного оксида меди (I) от температуры и освещенности .....	135
4.9. Газочувствительные характеристики сенсоров газов на основе анодного оксида меди (I) .....	138
<i>Контрольные вопросы</i> .....	145
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>146</b>
<b>Используемая литература .....</b>	<b>147</b>