**Зимбовский, Дмитрий Станиславович.**

## Синтез оксида меди (I) на проводящих подложках и его модификация для фотокаталитического разложения воды : диссертация ... кандидата химических наук : 02.00.21 / Зимбовский Дмитрий Станиславович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»]. - Москва, 2021. - 190 с. : ил.

## Оглавление диссертациикандидат наук Зимбовский Дмитрий Станиславович

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ВВЕДЕНИЕ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Использование водорода в качестве альтернативного топлива и методы его получения

1.2. Физико-химические основы процесса фотокаталитического разложения воды

1.3. Требования к фотокатализаторам для разложения воды

1.4. Типы фотокаталитических систем и методы расчета эффективности

1.4.1. Фотокаталитические системы

1.4.2. Эффективность фотокаталитических процессов

1.5. Материалы для фотокаталитического разложения воды

1.5.1. Материалы для фотоанодов

1.5.1.1. Диоксид титана (ГЮ2)

1.5.1.2. а-Оксид железа (III) (a-Fe2Oз)

1.5.1.3. Ванадат висмута (BiVO4)

1.5.2. Материалы для фотокатодов

1.5.2.1. Сложные оксиды

1.5.2.2. Материалы на основе соединений групп

1.6. Оксид меди (I) (Cu2O)

1.6.1 Кристаллическое и электронное строение Cu2O

1.6.2. Транспортные полупроводниковые свойства Cu2O

1.6.3. Оптические свойства Cu2O

1.6.4. Фотодеградация в процессе разложения воды

1.7. Синтез пленок (слоев) оксида меди (I) на проводящих подложках

1.7.1. Синтез пленок оксида меди (I) методами окисления меди и сопропорционирования

1.7.1.1. Гидротермальный синтез

1.7.1.2. Методы растворной химии

1.7.1.3. Анодное окисление меди

1.7.2. Синтез пленок Cu2O методом восстановления из растворов

1.7.2.1. Электроосаждение из растворов солей меди с органическими кислотами

1.7.2.2. Золь-гель синтез пленок Cu2O

1.8. Методы повышения эффективности работы фотокатодов на основе Cu2O

1.8.1. Модифицирование слоя Cu20

1.8.2. Нанесение и модифицирование дополнительных функциональных слоев

1.8.2.1. Модифицирование подложки

1.8.2.2. Нанесение электроноакцепторного слоя

1.8.2.3. Нанесение сокатализаторов

1.9 Выводы из обзора литературы

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Исходные вещества и материалы

2.2. Синтез Cu2O на проводящих подложках

2.2.1. Синтез Cu2O на медных пластинах гидротермальным методом

2.2.2. Синтез Cu2O на прозрачных проводящих подложках методом электроосаждения

2.2.3. Синтез стержней Cu2O методом химического окисления

2.2.4. Синтез стержней Cu2O методом анодного окисления

2.3. Синтез «модифицирующих» материалов

2.3.1. Синтез наночастиц ZnO

2.3.2. Синтез углеродных наночастиц

2.3.3. Синтез образцов оксида графена

2.3.3.1. Модифицированный метод Хаммерса

2.3.3.2. Электрохимический синтез оксида графена

2.4. Нанесение «модифицирующих» материалов

2.4.1. Нанесение наночастиц ZnO

2.4.2. Нанесение оксида графена и углеродных наночастиц

2.5. Методы исследования полученных материалов

2.5.1. Растровая электронная микроскопия (РЭМ)

2.5.2. Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)

2.5.3. Оптическая микроскопия

2.5.4. Рентгенофазовый анализ (РФА)

2.5.5. УФ-видимая спектроскопия поглощения

2.5.6. Спектроскопия комбинационного рассеяния (КР-спектроскопия)

2.5.7. Измерение вольт-амперных характеристик (ВАХ)

2.5.8. Измерение фотокаталитической активности образцов и скорости фотодеградации... 94 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1. Синтез и физико-химические свойства оксида меди (I) на проводящих подложках

3.1.1. Гидротермальный синтез оксида меди (I) на медной пластине

3.1.1.1. Гидротермальная обработка меди

3.1.1.2. Оптические и фотокаталитические свойства оксида меди (I) на медной пластине, полученного гидротермальным методом

3.1.2. Стержни Cu2O на медной пластине, полученные химическим окислением меди с термическим восстановлением

3.1.2.1. Химическое окисление меди

3.1.2.2. Термическое восстановление образцов, полученных химическим окислением меди

3.1.2.3. Оптические и фотокаталитические свойства стержней Cu2O на медной пластине, полученных химическим окислением меди с термическим восстановлением

3.1.3. Стержни Cu2O на медной пластине, полученные анодным окислением меди с термическим восстановлением

3.1.3.1. Анодное окисление меди

3.1.3.2. Термическое восстановление образцов, полученных анодным окислением меди

3.1.3.3. Оптические и фотокаталитические свойства образцов, полученных анодным окислением с термическим восстановлением

3.1.4. Синтез пленок Cu2O на прозрачных проводящих подложках FTO методом электроосаждения

3.1.4.1. Электроосаждение пленок Cu2O

3.1.4.2. Оптические и фотокаталитические свойства образцов, полученных электроосаждением Cu2O на прозрачные проводящие подложки

3.1.5. Сравнение образцов оксида меди (I) на проводящих подложках, полученных гидротермальным методом, анодным и химическим окислением с термическим восстановлением, электроосаждением

3.2. Деградация слоев Cu2O в процессе фотокаталитического разложения воды

3.3. Синтез и физико-химические свойства образцов оксида меди (I) на прозрачных проводящих подложках с нанесенными модифицирующими слоями

3.3.1. Гетероструктуры Cu2O/ZnO на прозрачных проводящих подложках

3.3.2. Гетероструктуры Cu2O/углеродные материалы на прозрачных проводящих подложках

3.3.2.1. Морфология и спектральные характеристики углеродных материалов

3.3.2.2. Выбор методики нанесения углеродных материалов

3.3.2.3. Фотокаталитическая активность гетероструктур «FTO/Cu2O/УМ»

ВЫВОДЫ

ПРИЛОЖЕНИЕ

П.1. Характеристика образцов оксида графена СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

168