

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Химический факультет



ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ОЦОП
канд. хим. наук, доцент

Ю.Г. Слизов

подпись

« _____ » 20 ____ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ Ag-CeO_2 И ПРОИЗВОДНЫХ
ГРАФЕНА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НИТРОАРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

по направлению подготовки 04.04.01 Химия
направленность «Фундаментальная и прикладная химия веществ и материалов»

Таратайко Алексей Владимирович

Зав. каф. физической и коллоидной
химии, д-р. хим. наук, профессор
О.В. Водянкина

подпись

« _____ » 20 ____ г.

Руководитель ВКР

канд. хим. наук, доцент

Г.В. Мамонтов

подпись

« _____ » 20 ____ г.

Автор работы

студент группы № 08908

А.В. Таратайко

подпись

« _____ » 20 ____ г.

В соответствии с п 3.2 «Регламента размещения текстов выпускных квалификационных работ в электронной библиотеке Научной библиотеке ТГУ» выпускная квалификационная работа магистранта Таратайко Алексея Владимировича на тему «Катализаторы на основе композиции Ag-SeO_2 и производных графена для восстановления нитроароматических соединений» размещается в репозитории с изъятием некоторых разделов в соответствии с решением правообладателя.

Руководитель ОПОП



Ю.Г. Слизов

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Химический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ОЦОП
канд. хим. наук, доцент
Ю.А. Слизов



« _____ » 20 ____ г.

ЗАДАНИЕ

по выполнению выпускной квалификационной работы магистра обучающегося
Таратайко Алексею Владимировичу

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по направлению подготовки 04.04.01 Химия, направленность (профиль) «Фундаментальная и прикладная химия веществ и материалов»

1 Тема выпускной квалификационной работы

Катализаторы на основе композиции Ag-CeO_2 и производных графена для
восстановления нитроароматических соединений

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) в деканат – 18.06.2021 б) в ГЭК – 21.06.2021

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования – оксид графена и серебро- и/или церийсодержащие
катализаторы на его основе

Предмет исследования – создание эффективных и безопасных в использовании
катализаторов восстановления нитроароматических
соединений, системное исследование свойств оксида
графена и серебро- и/или церий-содержащих нанесенных
катализаторов на его основе

Цель исследования – изучение влияния совместного нанесения серебра и оксида
церия на физико-химические свойства катализаторов на основе
оксида графена и их каталитические свойства в восстановлении
4-нитрофенола при комнатной температуре и атмосферном
давлении

Задачи:

- Синтез носителя – оксида графена, и его модифицирование наночастицами серебра и/или оксида церия;
- Исследование свойств носителя и катализаторов комплексом физико-химических методов (низкотемпературная сорбция азота, РФА, СТА, КР-спектроскопия, УФ-видимая спектроскопия);
- Исследование каталитических свойств нанесенных катализаторов в реакции восстановления 4-нитрофенола при комнатной температуре и атмосферном давлении;
- Выявление зависимости каталитических свойств от состава и структуры катализаторов.

Методы исследования:

низкотемпературная сорбция азота, РФА, СТА, КР-спектроскопия, УФ-видимая
спектрометрия, каталитический эксперимент

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа, –

Химический факультет НИ ТГУ, Лаборатория каталитических исследований

4 Краткое содержание работы

Оксид графена, синтезированный окислительной обработкой графита, использован в качестве носителя для приготовления Ag- и/или CeO_2 -содержащих нанесенных катализаторов методом нанесения-осаждения. Для получения информации о структуре и составе носителя и катализаторов на его основе, проведены исследования комплексом физико-химических методов (низкотемпературная сорбция азота, РФА, СТА, КР-спектроскопия, УФ-видимая спектрометрия). Каталитические свойства полученных объектов изучены в реакции восстановления 4-нитрофенола в 4-аминофенол борогидридом натрия (NaBH_4) при комнатной температуре и атмосферном давлении в водной среде. Показана высокая активность катализаторов в восстановлении 4-нитрофенола, наибольшая активность наблюдается для Ag- CeO_2 /GO катализатора, что связано с синергетическим действием наночастиц серебра и оксида церия.

Руководитель выпускной квалификационной работы

канд. хим. наук, доцент КФКХ

должность, место работы



подпись

/ Г. В. Мамонтов

И.О. Фамилия

Задание принял к исполнению

« 8 » февраля

2021

студент



подпись

/ А. В. Таратайко

И.О. Фамилия

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация объемом 75 страниц содержит 21 рисунок, 6 таблиц, 93 источника литературы.

Целью данной работы стало изучение влияния совместного нанесения серебра и оксида церия (IV) на физико-химические свойства катализаторов на основе оксида графена и их каталитические свойства в восстановлении 4-нитрофенола.

Ag- и/или CeO_2 -содержащие образцы были приготовлены методом нанесения-осаждения активных компонентов на оксид графена (GO), полученный окислительной обработкой графита по модифицированному методу Гаммерса. Исследование физико-химических свойств проведено методами низкотемпературной сорбции азота, рентгенофазового анализа (РФА), синхронного термического анализа (СТА), спектроскопии комбинационного рассеяния, электронной (УФ-видимой) спектроскопии. Каталитические свойства образцов протестированы в реакции восстановления 4-нитрофенола борогидридом натрия в мягких условиях (при комнатной температуре и атмосферном давлении в водной среде).

Было установлено, что носитель (GO) обладает микро-мезопористым строением с развитой удельной поверхностью с основным вкладом микропор. Примененные подходы синтеза позволяют получить наноразмерные частицы Ag и CeO_2 на углеродной матрице GO. Показано, что совместное модифицирование оксида графена серебром и оксидом церия (IV) способствует стабилизации на носителе большего количества серебра. Серебросодержащие образцы проявляют высокую активность в реакции восстановления 4-нитрофенола; при предвосстановлении катализаторов происходит повышение каталитической активности. Катализатор Ag- CeO_2 /GO является самым активным в синтезированной серии, а также демонстрирует хорошую стабильность работы, что делает его эффективной системой в процессе восстановления нитроаренов до ароматических аминов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Обзор литературы	7
1.1 Восстановление нитроароматических соединений	7
1.1.1 Некаталитические методы	8
1.1.2 Каталитические методы	9
1.2 Ag-содержащие катализаторы	14
1.2.1 Процессы окисления.....	14
1.2.2 Процессы восстановления	15
1.3 Графен и его производные	20
2 Экспериментальная часть.....	24
2.1 Синтез носителя	24
2.2 Синтез катализаторов	25
2.3 Физико-химическое исследование образцов	26
2.4 Исследование каталитических свойств.....	27
3 Результаты и обсуждения	29
3.1 Исследование носителя.....	29
3.1.1 Низкотемпературная сорбция азота	29
3.1.2 Рентгенофазовый анализ.....	30
3.1.3 Синхронный термический анализ	32
3.2 Исследование катализаторов.....	35
3.2.1 Рентгенофазовый анализ.....	35
3.2.2 Синхронный термический анализ	37
3.2.3 Спектроскопия комбинационного рассеяния.....	40
3.2.4 УФ-видимая спектроскопия	42
3.3 Каталитический эксперимент	47
3.3.1 Непредвосстановленные катализаторы	48
3.3.2 Предвосстановленные катализаторы	55
ВЫВОДЫ.....	62
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ.....	64

ВВЕДЕНИЕ

Нитроароматические соединения (нитроарены) представляют собой производные бензола, содержащие в своем составе одну или несколько нитрогрупп ($-\text{NO}_2$), соединенных непосредственно с ароматическим кольцом. На сегодняшний день, нитроарены являются одной из групп наиболее важных в промышленности химических веществ. Так, по объему использования нитробензол составляет 9 % среди других производных бензола [1], а размер рынка на 2021 год составляет порядка 10 млрд долларов с ежегодным приростом $\sim 5\%$ [2]. Основными компаниями-производителями являются Wanhua Chemical Group Co., Ltd, Covestro AG, BAFS SE, Huntsman Corporation и The Chemours Company (DuPont). Нитробензол и его производные являются сырьем для производства пестицидов, синтетической резины, взрывчатых веществ и др., однако основная часть ($\sim 74\%$) используется в производстве аминокрошительных соединений путем каталитического гидрирования нитрогруппы [3]. В свою очередь, ароматические амины служат для создания ряда красящих веществ, фармацевтических препаратов, агрохимикатов и т.д., а также – добавляют в качестве присадки в автомобильное топливо для повышения октанового числа [4]. Большая часть анилина ($\sim 85\%$) применяется в качестве интермедиата в производстве метиленидифенилдиизоцианата (MDI), из которого путем полимеризации с полиолом (многоатомным спиртом) получают гетероцепные полимеры – полиуретаны [2].

С другой стороны, нитроароматические соединения, ввиду своего широкого использования, являются одними из распространенных канцерогенных загрязняющих веществ в окружающей среде (как правило в почве и воде). Накоплению данных веществ способствуют как естественные источники, например, нитрирование органических веществ под действием солнечного света, жизнедеятельность микроорганизмов – так и техногенные: сельское хозяйство, промышленные стоки, утечки при хранении [5]. Среди

методов устранения нитроаренов из окружающей среды можно выделить окислительную обработку водных концентратов (в том числе озонлиз) [6], электро- и фотокаталитическое разложение [7], а также биоразложение [8]. Однако описанные методы являются разрушающими, ведут к полной потере вещества, и зачастую экономически затратные. На данный момент перспективным методом считается каталитическое восстановление концентратов нитроароматических соединений до аминокаталитических [9]. Данный способ позволяет провести более эффективное извлечение веществ в виде ароматических аминов с помощью адсорбентов либо химическим связыванием в легко выделяющиеся из раствора вещества с целью дальнейшей переработки в полезное сырье, что является более выгодным процессом устранения нитроаренов из окружающей среды. Тем самым, увеличение масштабов и интенсификация процесса производства аминокаталитических соединений из соответствующих нитроаренов, а также их переработка из окружающей среды является актуальной задачей в области разработки катализаторов селективного восстановления нитрогруппы.

Большой научный интерес представляют гетерогенные катализаторы на основе благородных металлов (Au, Pt, Pd, Ag и др.), зарекомендовавшие себя как системы, обладающие низкотемпературной активностью, стабильностью, возможностью регенерации, селективностью и экологической безопасностью при использовании [10]. Однако, их высокая стоимость является основным фактором, сдерживающим их широкое применение. Решением вопроса снижения стоимости является снижения содержания драгметаллов или использование наименее дорогостоящего – серебра, которое в нынешнее время является объектом изучения все большего числа исследователей [11]. Для улучшения свойств серебросодержащих катализаторов используют различные подходы к модифицированию, в частности оксидами переходных металлов, например, оксидом церия (IV) CeO_2 . Однако несмотря на то, что композиция $\text{Ag}-\text{CeO}_2$ характеризуется сильным взаимодействием металл–оксид металла, способствующим стабилизации дисперсных частиц Ag и

фотокаталитической активности системы [12, 13], она имеет относительно небольшую удельную поверхность и малую устойчивость к агрегации. Тем самым, требуется ее стабилизация на первичном носителе, например, углероде.

Графен –углеродный наноматериал, представляющий собой двумерную матрицу sp^2 -гибридизованного углерода толщиной в один атом. Благодаря непрерывно растущему интересу с момента вручения Нобелевской премии по физике за исследование свойств изолированного листа графена в 2010 году [14], графен нашел применение в большом количестве областей [15]: от микроэлектроники до биомедицины – благодаря ряду уникальных свойств: высоким удельной поверхностью (до 1500 m^2/g), электро- (1000 $cm^2/V\cdot s$) и теплопроводностью (4000 $W/m\cdot K$) и др. Графен и его производные: оксид графена (GO), восстановленный оксид графена (rGO) – являются перспективными экологически безопасными адсорбентами [16] и носителями для катализаторов [7], а также активными носителями в фотокатализаторах [17].

Настоящая работа направлена создание эффективных и безопасных в использовании катализаторов восстановления нитроароматических соединений, а также системное исследование свойств оксида графена и серебро- и/или церийсодержащих нанесенных катализаторов на его основе. Целью данной работы стало изучение влияния совместного нанесения серебра и оксида церия (IV) на физико-химические свойства катализаторов на основе оксида графена и их каталитические свойства в восстановлении 4-нитрофенола. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- синтезировать носитель – оксида графена, и нанести на него наночастицы серебра и/или оксида церия (IV);

- исследовать свойства носителя и катализаторов комплексом физико-химических методов: низкотемпературной сорбцией азота, рентгенофазовым анализом (РФА), синхронным термическим анализом (СТА), спектроскопией комбинационного рассеяния (рамановской спектроскопией), электронной

(УФ-видимой) спектроскопией;

- исследовать каталитические свойства нанесенных катализаторов в реакции восстановления 4-нитрофенола борогидридом натрия (NaBH_4) в 4-аминофенол (4-АФ) в водной среде при комнатной температуре и атмосферном давлении;

- определить влияние совместного нанесения наночастиц серебра и оксида церия (IV) на свойства катализатора $\text{Ag-CeO}_2/\text{GO}$.

ВЫВОДЫ

На основании выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Методом окислительной обработки графита по модифицированному методу Гаммерса получен материал оксид графена (GO). Синтезированный носитель имеет микро-мезопористое строение (объем пор $0,1 \text{ см}^3/\text{г}$) со средним размером микропор $0,45 \text{ нм}$ и мезопор – $5,23 \text{ нм}$, а также развитую удельную поверхность $54,6 \text{ м}^2/\text{г}$ с основным вкладом микропор ($46 \text{ м}^2/\text{г}$). Структура представляет собой микропористые агрегаты сложенных турбостратных углеродных слоев («пачки») толщиной $5\text{-}6 \text{ нм}$, разделенных мезопорами;

2. Проведен синтез серебро- и/или церийсодержащих катализаторов на основе GO методом нанесения-осаждения. Примененные подходы синтеза позволяют получить наноразмерные частицы Ag и CeO_2 со средним размером 30 и 6 нм , соответственно, в межслоевом пространстве GO. При нанесении активных компонентов происходит химическое связывание частиц с углеродной матрицей и ее искажение/расклинивание, а также частичное восстановление GO;

3. Показано, что совместное модифицирование оксида графена серебром и оксидом церия (IV) способствует стабилизации на носителе большего количества серебра благодаря более сильному взаимодействию предшественника серебра с CeO_2 , поверхность которого выступает в роли центров нуклеации частиц Ag, чем с GO. Прочному связыванию Ag и CeO_2 способствует также протекание окислительно-восстановительной реакции между осаждаемыми прекурсорами Ag^+ и Ce^{3+} на стадии синтеза;

4. Реакция восстановления 4-нитрофенола (4-НФ) борогидридом натрия NaBH_4 в 4-аминофенол (4-АФ) в водной среде при атмосферном давлении и комнатной температуре ($\sim 25 \text{ }^\circ\text{C}$) катализируется частицами серебра с металлическим состоянием поверхности. NaBH_4 выполняет двойную роль в данном процессе: предвосстановление оксидоподобных

состояний серебра AgO_x на поверхности частиц и непосредственно восстановление 4-НФ;

5. Катализатор $\text{Ag-CeO}_2/\text{GO}$ демонстрирует наибольшую активность в синтезированной серии катализаторов, что обусловлено синергетическим эффектом совместно нанесенных частиц Ag и CeO_2 , который заключается в стабилизации большего количества нанесенного серебра, а следовательно, и большей активной поверхности, на носителе GO в присутствии CeO_2 . При приготовлении суспензии предвосстановленных катализаторов ультразвуковой обработкой в растворе борогидрида натрия происходит повышение каталитической активности за счет лучшего диспергирования катализатора и большей активной поверхности свежевосстановленного металлического серебра;

6. Катализатор $\text{Ag-CeO}_2/\text{GO}$ показывает хорошую стабильность работы в реакции восстановления 4-НФ при периодическом возобновлении реакционного состава системы и устойчивость к вымыванию серебра в раствор. Тем самым, сочетание высокой активности и стабильности делает синтезированные на основе оксида графена серебросодержащие катализаторы $\text{Ag-CeO}_2/\text{GO}$ эффективными системами в процессе восстановления нитроароматических соединений до соответствующих ароматических аминов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. GPCA supplement: Benzene growth revives // Independent Commodity Intelligence Services. – 2012. – URL: <https://www.icis.com/explore/resources/news/2012/03/19/9542504/gpca-supplement-benzene-growth-revives/> (дата обращения: 13.03.2021).
2. Nitrobenzene Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Aniline Production, Synthetic Rubber Manufacturing), By End Use (Construction, Automotive), By Region, And Segment Forecasts, 2020-2027 // Grand Review Research. – 2020. – URL: <https://www.grandreviewresearch.com/industry-analysis/nitrobenzene-market/> (дата обращения: 13.03.2021).
3. Nitrobenzene Market Forecast, Trend Analysis & Competition Tracking – Global Market Insights 2020 to 2030 // Fact.MR. – 2020. – URL: <https://www.factmr.com/report/4733/nitrobenzene-market> (дата обращения: 13.03.2021).
4. Synthetic and Bio-Based Aniline Market Information: By Type (Synthetic, Bio-Based), Process (Nitrobenzene, chlorobenzene), Applications (MDI, Rubber Processing Chemical), End-Use Industry (Construction, Automotive, Home Furnishing), and Region – Global Forecast Till 2027 // Market Research Future. – 2021. – URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/synthetic-bio-baed-aniline-market-5981> (дата обращения: 13.03.2021).
5. Singh D. Bioremediation of Nitroaromatic Compounds / D. Singh, K. Mishra, G. Ramanathan // Wastewater Treatment Engineering; M. Samer (ed.). – InTech, 2015. – P. 51–83.
6. Paramasivan T. Graphene Family Materials for the Removal of Pesticides from Water / T. Paramasivan, N. Sivarajasekar, S. Muthusaravanan et al. // A New Generation Material Graphene: Applications in Water Technology; M. Naushad (ed.). – Springer International Publishing, 2019. – P. 309–327.

-
7. Kumar B. Graphene- and Graphene Oxide-Bounded Metal Nanocomposite for Remediation of Organic Pollutants // Carbon-Based Material for Environmental Protection and Remediation; M. Bartoli (ed.). – InTech, 2020.
 8. Ju K.-S. Nitroaromatic Compounds, from Synthesis to Biodegradation / K.-S. Ju, R. E. Parales // Microbiology and Molecular Biology Reviews. – 2010. – Vol. 74, № 2. – P. 250–272.
 9. Mali M. Highly Selective Catalytic Reduction of Nitroarenes over Heterogeneous Transition Metal Catalysts: Nano-Catalysts – the New Challenges // Synthesis and Catalysis: Open Access. – 2017. – Vol. 2, № 2. – P. 8.
 10. Muroi T. Role of precious metal catalysts // Noble Metals; Y.-H. Su (ed.). – InTech, 2012. – P. 301–334.
 11. Wen C. Recent advances in silver-based heterogeneous catalysts for green chemistry processes / C. Wen, A. Yin, W.-L. Dai // Applied Catalysis B: Environmental. – 2014. – Vol. 160–161. – P. 730–741.
 12. Grabchenko M. V. The role of metal–support interaction in Ag/CeO₂ catalysts for CO and soot oxidation / M. V. Grabchenko, G. V. Mamontov, V. I. Zaikovskii, V. La Parola, L. F. Liotta, O. V. Vodyankina // Applied Catalysis B: Environmental. – 2020. – Vol. 260. – Article 118148.
 13. Xie S. Ceria and ceria-based nanostructured materials for photoenergy applications / S. Xie, Z. Wang, F. Cheng, P. Zhang, W. Mai, Y. Tong // Nano Energy. – 2017. – Vol. 34. – P. 313–337.
 14. The Nobel Prize in Physics 2010 // Kungl. Vetenskapsakademien: The Royal Swedish Academy of Science. – 2010. – URL: <https://www.kva.se/en/pressrum/pressmeddelanden/nobelpriset-i-fysik-2010> (дата обращения: 13.03.2021).
 15. Obodo R. M. Introductory Chapter: Graphene and Its Applications / R. M. Obodo, I. Ahmad, F. I. Ezema // Graphene and Its Derivatives – Synthesis and Applications; I. Ahmad (ed.). – InTech, 2019. – P. 1–9.

-
16. Yusuf M. A review on exfoliation, characterization, environmental and energy applications of graphene and graphene-based composites / M. Yusuf, M. Kumar, M. A. Khan, M. Sillanpaa, H. Arafat // *Advances in Colloid and Interface Science*. – 2019. – Vol. 273. – Article 102036.
 17. Prasad C. An overview of graphene oxide supported semiconductors based photocatalysts: Properties, synthesis and photocatalytic applications / C. Prasad, Q. Liu, H. Tang, G. Yuvaraja, J. Long, A. Rammohan, G. V. Zyryanov // *Journal of Molecular Liquids*. – 2020. – Vol. 297. – Article 111826.
 18. Saha B. Recent Advancements of Replacing Existing Aniline Production Process with Environmentally Friendly One-Pot Process: An Overview // B. Saha, S. De, S. Dutta // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. – 2013. – Vol. 43. – P. 84–120.
 19. Fishbein L. Aromatic Amines // *Anthropogenic Compounds*. – Berlin, 1984. – P. 1–40.
 20. Králik M. Aniline – Catalysis and Chemical Engineering / M. Králik, M. Turáková, I. Mačák, P. Lehocký // *Proceedings of the 41st International Conference of Slovak Society of Chemical Engineering*. – Tatranské Matliare, 2014. – P. 723–733.
 21. Травень В. Ф. Органическая химия: Учебник для вузов: В 2 томах. Том 2 / В. Ф. Травень. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 582 с.
 22. Khan F. A. Chemoselective reduction of aromatic nitro and azo compounds in ionic liquids using zinc and ammonium salts / F. A. Khan, J. Dash, C. Sudheer, R. K. Gupta // *Tetrahedron Letters*. – 2003. – Vol. 42. – P. 7783–7787.
 23. Park K. K. Sodium dithionite reduction of nitroarenes using viologen as an electron phase-transfer catalyst / K. K. Park, C. H. Oh, W. K. Joung // *Tetrahedron Letters*. – 1993. – Vol. 34, № 46. – P. 7445–7446.
 24. McLaughlin M. A. A practical and selective reduction of nitroarenes using elemental sulfur and mild base / M. A. McLaughlin, D. M. Barnes // *Tetrahedron Letters*. – 2006. – Vol. 47. – P. 9095–9097.

-
25. Coellen M. Transfer Hydrogenation of Nitro-, Nitroso- and Azoarenes by Homolytic Retrodisproportionation / M. Coellen, C. Rüchardt // *Chemistry – A European Journal*. – 1995. – Vol. 1, № 8. – P. 564–567.
26. Song J. Review on selective hydrogenation of nitroarene by catalytic, photocatalytic and electrocatalytic reactions / J. Song, Z.-F. Huang, L. Pan, K. Li, X. Zhang, L. Wang, J.-J. Zou // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2018. – Vol. 227. – P. 386–408.
27. Liao G. Unlocking the door to highly efficient Ag-based nanoparticles catalysts for NaBH₄-assisted nitrophenol reduction // G. Liao, Y. Gong, L. Zhong, J. Fang, L. Zhang, Z. Xu, H. Gao, B. Fang // *Nano Research*. – 2019. – Vol. 12, № 10. – P. 2407–2436.
28. Ke X. Selective reduction using visible light photocatalysts of supported gold nanoparticles / X. Ke, X. Zhang, J. Zhao, S. Sarina, J. Barry, H. Zhu // *Green Chemistry*. – 2013. – Vol. 15, № 1. – P. 236–244.
29. Petrov L. Kinetic Model of Nitrobenzene Hydrogenation to Aniline over Industrial Copper Catalyst Considering the Effect of Mass Transfer and Deactivation / L. Petrov, K. Kumbilieva, N. Kirkov // *Applied Catalysis*. – 1990. – Vol. 59. – P. 31–43.
30. Pothuganti T. Production of aniline: project report of bachelor of technology / T. Pothuganti. – Warangal, 2013. – 101 p.
31. Rihani D. N. Kinetic of catalytic vapor-phase hydrogenation of nitrobenzene to aniline / D. N. Rihani, T. K. Narayanan, L. K. Doraiswamy // *I&EC Process Design and Development*. – 1965. – Vol. 4, № 4. – P. 403–410.
32. Orlandi M. Recent Development in the Reduction of Aromatic and Aliphatic Nitro Compounds to Amines / M. Orlandi, D. Brenna, R. Harms, S. Jost, M. Benaglia // *Organic Process Research & Development*. – 2018. – Vol. 22. – P. 430–445.

-
33. Yang J. In-situ growth of Cu nanoparticles on reduced graphene oxide nanosheets and their excellent catalytic performance / J. Yang, X. Shen, Z. Ji, H. Zhou, G. Zhu, K. Chen // *Ceramics International*. – 2015. – Vol. 41. – P. 4056–4063.
34. Boronat M. A Molecular mechanism for the chemoselective hydrogenation of substituted nitroaromatics with nanoparticles of gold on TiO₂ catalysts: a cooperative effect between gold and the support / M. Boronat, P. Concepcion, A. Corma, S. Gonzalez, F. Illas, P. Serna // *Journal of American Chemical Society*. – 2007. – Vol. 129, № 51. – P. 16230–16237.
35. Mao J. Rational Control of the Selectivity of a Ruthenium Catalyst for Hydrogenation of 4-Nitrostyrene by Strain Regulation / J. Mao, W. Chen, W. Sun, Z. Chen, J. Pei, D. He, C. Lv, D. Wang // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2017. – Vol. 56, № 39. – P. 11971–11975.
36. Liu P. Photochemical route for synthesizing atomically dispersed palladium catalysts / P. Liu, Y. Zhao, R. Qin, S. Mo, G. Chen, L. Gu, D. M. Chervier, P. Zhang, Q. Guo, D. Zang, B. Wu, G. Fu, N. Zheng // *Science*. – 2016. – Vol. 352. – P. 797–801.
37. Lu Z.-H. Nanocatalysts for Hydrogen Generation from Ammonia Borane and Hydrazine Borane / Z.-H. Lu, Q. Yao, Z. Zhang, Y. Yang, X. Chen // *Journal of Nanomaterials*. – 2014. – Article 729029.
38. Zhang K. Recent Advances in the Nanocatalyst-Assisted NaBH₄ Reduction of Nitroaromatics in Water / K. Zhang, J. M. Suh, J.-W. Choi, H. W. Jang, M. Shokouhimehr, R. S. Varma // *ACS Omega*. – 2019. – Vol. 4. – P. 483–495.
39. Sonavane S. U. Catalytic Transfer Hydrogenation of Nitro Arenes, Aldehydes, and Ketones with Propan-2-ol and KOH/NaOH over Mixed Metal Oxides / S. U. Sonavane, R. V. Jayaram // *Synthetic Communications*. – 2003. – Vol. 33, № 5. – P. 843–849.

-
40. Torbina V. V. Ag-Based Catalysts in Heterogeneous Selective Oxidation of Alcohols: A Review / V. V. Torbina, A. A. Vodyankin, S. Ten, G. V. Mamontov, M. A. Salaev, V. I. Sobolev, O. V. Vodyankina // *Catalysts*. – 2018. – Vol. 8. – P. 447–502.
41. Ren L. P. Novel highly active Ag-SiO₂-MgO catalysts used for direct dehydrogenation of methanol to anhydrous formaldehyde / L. P. Ren, W. L. Dai, Y. Cao, K. N. Fan // *Catalysis Letters*. – 2003. – Vol. 85. – P. 81–85.
42. Ren L. P. Highly active Ag-SiO₂-Al₂O₃ catalyst used for the dehydrogenation of methanol to anhydrous formaldehyde / L. P. Ren, W. L. Dai, Y. Cao, H. X. Li, W. H. Zhang, K. N. Fan // *Acta Chimica Sinica*. – 2003. – Vol. 61. – P. 937–940.
43. Ren L. P. Novel highly active Ag-SiO₂-Al₂O₃-ZnO catalyst for the production of anhydrous HCHO from direct dehydrogenation of CH₃OH / L. P. Ren, W. L. Dai, X. L. Yang, Y. Cao, H. Li, K. N. Fan // *Applied Catalysis A: General*. – 2004. – Vol. 273. – P. 83–88.
44. Dutov V. V. Silica-supported silver-containing OMS-2 catalysts for ethanol oxidative dehydrogenation / V. V. Dutov, G. V. Mamontov, V. I. Sobolev, O. V. Vodyankina // *Catalysis Today*. – 2016. – Vol. 278. – P. 164–173.
45. Mamontov G. V. Ethanol dehydrogenation over Ag-CeO₂/SiO₂ catalyst: Role of Ag-CeO₂ interface / G. V. Mamontov, M. V. Grabchenko, V. I. Sobolev, V. I. Zaikovskii, O. V. Vodyankina // *Applied Catalysis A: General*. – 2016. – Vol. 528. – P. 161–167.
46. Крылов О. В. Гетерогенный катализ: учебное пособие для вузов / О. В. Крылов. – М.: ИКЦ «Академкнига, 2004. – 679 с.
47. Song H.-M. Ag(I)-mediated self-assembly of anisotropic rods and plates in the surfactant mixture of CTAB and Pluronic / H.-M. Song, J. I. Zink // *RSC Advances*. – 2019. – Vol. 9. – P. 4380–4389.
48. Liu Z. Selective reduction of nitroaromatics to azoxy compounds on supported Ag-Cu alloy nanoparticles through visible light irradiation / Z. Liu, Y. Huang, Q. Xiao, H. Zhu // *Green Chemistry*. – 2016. – Vol. 18. – P. 817–825.

-
49. Malathi S. One pot green synthesis of Ag, Au and Au-Ag alloy nanoparticles using isonicotinic acid hydrazine and starch / S. Malathi, T. Ezhilarasu, et al. // Carbohydrate Polymers. – 2014. – Vol. 111. – P. 734-743.
50. Deshmukh S. P. Titania-supported silver nanoparticles: An efficient and reusable catalyst for reduction of 4-nitrophenol / S. P. Deshmukh, R. K. Dhokale, et al. // Applied Surface Science. – 2013. – Vol. 273. – P. 676–683.
51. Zhang J. Multi-mode Photocatalytic Degradation and Photocatalytic Hydrogen Evolution of Honeycomb-like Three-dimensionally Ordered Macroporous Composite Ag/ZrO₂ / J. Zhang, L. Li, S. Wang, T. Huang, Y. Hao, Y. Qi // RSC Advances. – 2016. – Vol. 6. – P. 13991–14001.
52. Shi Y. Core-shell structured nanocomposite Ag@CeO₂ as catalyst for hydrogenation of 4-nitrophenol and 2-nitroaniline / Y. Shi, X. Zhang, Y. Zhu, H. Tan, X. Chen, Z.-H. Lu // RSC Advances. – 2016. – Vol. 6. – P. 47966–47973.
53. Yamazaki K. A mechanistic study on soot oxidation over CeO₂-Ag catalyst with ‘rice-ball’ morphology / K. Yamazaki, T. Kayama, F. Dong, H. Shinjoh // Journal of Catalysis. – 2011. – Vol. 282. – P. 289–298.
54. Pradhan N. Silver nanoparticle catalyzed reduction of aromatic nitro compounds / N. Pradhan, A. Pal, T. Pal // Colloids and Surfaces A. – 2002. – Vol. 196. – P. 247– 257.
55. Karuppusamy S. Role of Dissolved Oxygen in Nitroarene Reduction Catalyzed by a Heterogeneous Silver Textile Catalyst in Water / S. Karuppusamy, F. Marken, M. A. Kulandainathan // New Journal of Chemistry. – 2020. – Vol. 44. – P. 17780–17790.
56. Kohantorabi M. M_xNi_{100-x} (M = Ag, and Co) Nanoparticles Supported on CeO₂ Nanorods Derived from Ce-Metal Organic Frameworks as an Effective Catalyst for Reduction of Organic Pollutants: Langmuir-Hinshelwood Kinetics and Mechanism / M. Kohantorabi, M. R. Gholami // New Journal of Chemistry. – 2017. – Vol. 41. – P. 10948–10958.

-
57. Liu B. H. A review: Hydrogen generation from borohydride hydrolysis reaction / B. H. Liu, Z. P. Li // *Journal of Power Sources*. – 2009. – Vol. 187. – P. 527–534.
58. Strachan J. 4-Nitrophenol Reduction: Probing the Putative Mechanism of the Model Reaction / J. Strachan, C. Barnett, A. F. Masters, T. Maschmeyer // *ASC Catalysis*. – 2020. – Vol. 10. – P. 5516–5521.
59. Montini T. Fundamentals and Catalytic Application of CeO₂-Based Materials / T. Montini, M. Melchionna, M. Monai, P. Fornasiero // *Chemical Reviews*. – 2016. – Vol. 116. – P. 5987–6041.
60. Anandkumar M. Synergistic effect of gold supported on redox active cerium oxide nanoparticles for the catalytic hydrogenation of 4-nitrophenol / M. Anandkumar, G. Vinothkumar, K. S. Babu // *New Journal of Chemistry*. – 2017. – Vol. 41. – P. 6720–6729.
61. Mitsudome T. Design of a silver-cerium dioxide core-shell nanocomposite catalyst for chemoselective reduction reactions / T. Mitsudome, Y. Mikami, M. Matoba, T. Mizugaki, K. Jitsukawa, K. Kaneda // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2012. – Vol. 51. – P. 136–139.
62. Verma P. Design of Silver-Based Controlled Nanostructures for Plasmonic Catalysis under Visible Light Irradiation / P. Verma, Y. Kuwahara, K. Mori, H. Yamashita // *Bulletin of the Chemical Society of Japan*. – 2019. – Vol. 92. – P. 19–29.
63. Wu X. Direct photocatalysis of supported metal nanostructures for organic synthesis / X. Wu, E. Jaatinen, S. Sarina, H. Y. Zhu // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2017. – Vol. 50. – Article 283001.
64. Zhang Z. Plasmon-Driven Catalysis on Molecules and Nanomaterials / Z. Zhang, C. Zhang, H. Zheng, H. Xu // *Accounts of Chemical Research*. – 2019. – Vol. 52, № 9. – P. 2506–2515.

-
65. Ren H. Photocatalytic materials and technologies for air purification / H. Ren, P. Koshy, W.-F. Chen, S. Qi, C. C. Sorrell // *Journal of Hazardous Materials*. – 2017. – Vol. 325. – P. 340–366.
66. Verma P. Plasmonic catalysis of Ag nanoparticles deposited on CeO₂ modified mesoporous silica for the nitrostyrene reduction under light irradiation conditions / P. Verma, Y. Kuwahara, K. Mori, H. Yamashita// *Catalysis Today*. – 2019. – Vol. 324. – P. 83–89.
67. López M. P. L. Optimization of the Synthesis Procedures of Graphene and Graphite Oxide / M. P. L. López, J. L. V. Palomino, M. L. S. Silva, A. R. Izquierdo // *Recent Advances in Graphene Research*. – InTech, 2016. – P. 113–133.
68. Amieva E. J.-C. Graphene-Based Materials Functionalization with natural Polymeric Biomolecules / E. J.-C. Amieva et al. // *Recent Advances in Graphene Research*. – InTech, 2016.
69. Huh S. H. Thermal Reduction of Graphene Oxide / S. H. Huh // *Physics and Applications of Graphene – Experiments*. – InTech, 2011.
70. Ji Z. A novel reduced graphene oxide/Ag/CeO₂ ternary nanocomposite: Green synthesis and catalytic properties / Z. Ji, X. Shen, J. Yang, G. Zhu, K. Chen // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2014. – Vol. 144. – P. 454–461.
71. Wang Y. Reduced graphene oxide decorated with Ag/CeO₂ nanocomposite towards room temperature photocatalytic esterification of aldehydes / Y. Wang, C. Lu, Z. Yin // *Materials Letters*. – 2020. – Vol. 270. – Article 127723.
72. Synthesis and characterization of Ag/CeO₂/graphene nanocomposites as catalysts for water-pollution treatment / C. Mardani, M. Y. Rizal, R. Saleh, A. Taufik, S. Yin // *Applied Surface Science*. – 2020. – Vol. 530. – Article 147297.
73. Hummers W. S. Preparation of Graphitic Oxide / W. S. Hummers, R. E. Offeman // *Journal of the American Chemical Society*. – 1958. – Vol. 80. – P. 1339.

-
74. Thommes M. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report) / M. Thommes, K. Kaneko, A. V. Neimark, J. P. Olivier, F. Rodriguez-Reinoso, J. Rouquerol, K. S. W. Sing // *Pure Applied Chemistry*. – 2015.
75. Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов / В. Б. Фенелонов. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2002. – 414 с.
76. He Y. Graphene oxide foams and their excellent adsorption ability for acetone gas / Y. He, N. Zhang, F. Wu, F. Xu, Y. Liu, J. Gao // *Materials Research Bulletin*. – 2013. – Vol. 48. – P. 3553–3558.
77. Verma R. In-Situ Decorated Optimized CeO₂ on Reduced Graphene Oxide with Enhanced Adsorptivity and Visible Light Photocatalytic Stability and Reusability / R. Verma, S. K. Samdarshi // *The Journal of Physical Chemistry*. – 2016.
78. Khairy M. Enhanced the Catalytic activity of reduction of 4-nitrophenol on Ag/RGO nanocomposites / M. Khairy, M. M. Mohamed, A. Ibrahim // *Journal of Basic and Environmental Sciences*. – 2018. – Vol. 5. – P. 101–114.
79. Bîru E. I. Graphene Nanocomposites Studied by Raman Spectroscopy / E. I. Bîru, H. Iovu // *Raman Spectroscopy*. – InTech, 2018.
80. Chen J. An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide / J. Chen, B. Yao, C. Li, G. Shi // *Carbon*. – 2013. – Vol. 64. – P. 225–229.
81. Taratayko A. Ag–CeO₂/SBA-15 composite prepared from Pluronic P123@SBA-15 hybrid as catalyst for room-temperature reduction of 4 nitrophenol / A. Taratayko, Yu. Larichev, V. Zaikovskii, N. Mikheeva, G. Mamontov // *Catalysis Today*. – 2020. – Article In Press.
82. Jiang S. A novel strategy to construct supported silver nanocomposite as an ultrahigh efficient catalyst / S. Jiang, L. Wang, Y. Duan // *Applied Catalysis B: Environmental*. – 2021. – Vol. 283. – Article 119592.

-
83. Magnetic Au-Ag- γ -Fe₂O₃/rGO Nanocomposites as an Efficient Catalyst for the Reduction of 4-Nitrophenol / G. Lei, J. Ma, Z. Li et al. // *Nanomaterials*. – 2018. – Vol. 8. – P. 877–884.
84. Qu J. Facile synthesis of multifunctional graphene oxide/AgNPs-Fe₃O₄ nanocomposite: A highly integrated catalysts / J. Qu, C. Ren, Y. Dong et al. // *Chemical Engineering Journal*. – 2012. – Vol. 211–212. – P. 412–420.
85. Joshi M. K. One-pot synthesis of Ag-iron oxide/reduced graphene oxide nanocomposite via hydrothermal treatment / M. K. Joshi, H. R. Panta et al. // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2014. – Vol. 446. – P. 102–108.
86. Varshney S. On the Remarkable Performance of Silver-based Alloy Nanoparticles in 4-Nitrophenol Catalytic Reduction / S. Varshney, R. Bar-Ziv, T. Zidki // *ChemCatChem*. – 2020. – Vol. 12, № 18. – P. 4680–4688.
87. Jiang S.-F. Enhancing the catalytic activity and stability of noble metal nanoparticles by the strong interaction of magnetic biochar support / S.-F. Jiang, L.-L. Ling, Z. Xu, W.-J. Liu, H. Jiang // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2018. – Vol. 57, № 39. – P. 13055–13064.
88. Li W. Hollow mesoporous SiO₂ sphere nanoarchitectures with encapsulated silver nanoparticles for catalytic reduction of 4-nitrophenol / W. Li, X. Ge, H. Zhang et al. // *Inorganic Chemistry Frontiers*. – 2016. – Vol. 3. – P. 663–670.
89. Shi Y. Ag-SiO₂ nanocomposites with plum-pudding structure as catalyst for hydrogenation of 4-nitrophenol / Y. Shi, X.-L. Zhang, G. Feng, X. Chen, Z.-H. Lu // *Ceramics International*. – 2015. – Vol. 41. – P. 14660–14667.
90. Xiao Z.-Y. PMHS-reduced fabrication of hollow Ag–SiO₂ composite spheres with developed porosity / Z.-Y. Xiao, S.-X. Huang, S.-R. Zhai, B. Zhai, F. Zhang, Q.-D. An // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. – 2015. – Vol. 75. – P. 82–89.

-
91. Xia H. One-pot preparation of magnetic Fe@Ag bimetallic catalyst for the catalytic reduction of 4-nitrophenol / H. Xia, Z. Peng, W. Wang, F. Tan, X. Wang, X. Qiao // *Desalination and Water Treatment*. – 2019. – Vol. 141. – P. 124–132.
92. Bano M. Hierarchical synthesis of silver monoliths and their efficient catalytic activity for the reduction of 4-nitrophenol to 4-aminophenol / M. Bano, D. Ahirwar, M. Thomas et al. // *New Journal of Chemistry*. – 2016. – Vol. 40. – P. 6787–6795.
93. Soysal F. One-step hydrothermal synthesis of nitrogen doped reduced graphene oxide-silver nanocomposites: Catalytic performance / F. Soysal, Zafer Çıplak, C. Gökalp, B. Getiren, N. Yıldız // *Applied Organometallic Chemistry*. – 2020. – Vol. 34, № 5. – Article e5621.

Поиск заимствований в научных текстах^β

Введите текст:

...или загрузите файл:

Файл не выбран...

[Выбрать файл...](#)

Укажите год публикации:

2021 ▼

Выберите коллекции

Все

Рефераты

Авторефераты

Иностранные конференции

PubMed

Википедия

Российские конференции

Иностранные журналы

Российские журналы

Энциклопедии

Англоязычная википедия

[Анализировать](#)[Проверить по расширенному списку коллекций системы Руконтекст \(http://text.rucont.ru/like\)](http://text.rucont.ru/like)

Обработан файл:

Магистерская диссертация Таратайко АВ (исправлен).pdf.

Год публикации: 2021.

Оценка оригинальности документа - 100.0%

Процент условно корректных заимствований - 0.0%

Процент некорректных заимствований - 0.0%

[Просмотр заимствований в документе](#)

Время выполнения: 20 с.

Заимствования отсутствуют

[Значимые оригинальные фрагменты](#)[Библиографические ссылки](#)[Искать в Интернете](#)

100.00%

[Дополнительно](#)

