

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Статья поступила в редакцию: 17.06.2026

Статья принята к публикации: 06.07.2026

Статья опубликована: 07.08.2026

УДК 546.71+546.73+544.47

DOI: 10.32743/UniChem.2026.146.8.23152

Синтез нанокатализаторов на основе оксидов хрома (III) и никеля (II)

Мурадова Дилафруз Кадировна
PhD

доц. кафедры химии Джизакский государственный педагогический университет
Узбекистан, г. Джизак
E-mail: tunikom57@mail.ru

Бабабекова Нафиса Озодовна
студент

Джизакский государственный педагогический университет
Узбекистан, г. Джизак

Synthesis of nanocatalysts based on chromium (III) and nickel (II) oxides

Muradova Dilafruz Kadirovna
PhD, Associate Professor

Department of Chemistry, Jizzakh State Pedagogical University
Uzbekistan, Jizzakh

Bababekova Nafisa Ozodovna

student, Jizzakh State Pedagogical University
Uzbekistan, Jizzakh

Аннотация

В данной статье исследованы получение и физико-химические свойства композитного нанокатализатора $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, синтезированного методом горения раствора (Solution Combustion Synthesis, SCS), а также влияние основных технологических параметров на формирование его структуры и каталитической активности. В составе нанокатализатора оксиды Cr_2O_3 и NiO использованы в качестве активных каталитических фаз, обеспечивающих высокую реакционную способность материала, тогда как Al_2O_3 выполняет функцию термически устойчивого носителя с развитой поверхностью. В качестве смешанных горючих реагентов применялись карбамид и глицин, способствующие интенсивному протеканию экзотермической реакции и формированию высокодисперсной

Библиографическое описание: Мурадова Д.К., Бабабекова Н.О. Синтез нанокатализаторов на основе оксидов хрома (III) и никеля (II) // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 8(146). URL: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23152>

пористой структуры. Изучено влияние температуры и продолжительности прокаливания, значения pH реакционной среды, концентрации растворов нитратов металлов и соотношения компонентов на характеристики получаемого нанокompозита. Установлено, что оптимальными условиями синтеза являются pH 6–7, концентрация исходных растворов 0,1 М и прокаливание при температуре 450°C в течение 3 часов. Полученный нанокатализатор $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ характеризуется высокой дисперсностью, развитой удельной поверхностью, равномерным распределением активных фаз и повышенной каталитической активностью, что делает его перспективным материалом для применения в различных каталитических процессах и технологиях очистки окружающей среды.

Abstract

This article investigates the synthesis and physicochemical properties of a $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ composite nanocatalyst prepared by the Solution Combustion Synthesis (SCS) method, as well as the influence of key technological parameters on its structural characteristics and catalytic performance. In the nanocatalyst composition, Cr_2O_3 and NiO act as active catalytic phases, providing high catalytic reactivity, while Al_2O_3 serves as a thermally stable support with a well-developed surface area. Urea and glycine were employed as mixed fuel agents, promoting an intensive exothermic combustion process and facilitating the formation of a highly dispersed porous structure. The effects of calcination temperature and duration, reaction medium pH, concentration of metal nitrate precursor solutions, and component ratios on the properties of the resulting nanocomposite were systematically evaluated. The optimal synthesis conditions were determined to be a pH range of 6–7, an initial precursor concentration of 0.1 M, and calcination at 450°C for 3 hours. The synthesized $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ nanocatalyst exhibited high dispersity, a well-developed specific surface area, uniform distribution of active phases, and enhanced catalytic activity. These characteristics demonstrate its significant potential for application in various catalytic processes, including environmental remediation and pollution control technologies.

Ключевые слова: Cr_2O_3 , NiO, Al_2O_3 , композитный нанокатализатор, синтез в режиме горения раствора, прокаливание, каталитическая активность, наноматериалы.

Keywords: Cr_2O_3 , NiO, Al_2O_3 , composite nanocatalyst, Solution Combustion Synthesis, calcination, catalytic activity, nanomaterials.

Введение

В настоящее время одной из актуальных задач современной науки и промышленности является разработка высокоэффективных, экологически безопасных и энергосберегающих технологий, направленных на решение проблем ограниченности энергетических ресурсов и загрязнения окружающей среды[1]. В связи с этим нанохимия и химия нанокатализаторов приобретают всё большее научное и практическое значение [3].

Высокая эффективность нанокатализаторов обусловлена их наноразмерной структурой, обеспечивающей высокую удельную поверхность и большое количество активных центров[4,6]. Это способствует ускорению каталитических процессов, повышению их селективности и снижению энергозатрат. Кроме того, нанокатализаторы на основе оксидов

металлов эффективно применяются для нейтрализации токсичных газов, очистки сточных вод и разложения органических загрязнителей, что определяет их важное экологическое значение [5,7].

В композитном нанокатализаторе $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ оксид алюминия выполняет функцию носителя, обеспечивая высокую термическую и структурную стабильность системы [8]. Благодаря развитой пористой структуре Al_2O_3 способствует равномерному распределению активных фаз Cr_2O_3 и NiO , увеличению удельной поверхности и стабилизации каталитически активных центров, что повышает эффективность окислительно-восстановительных процессов и улучшает каталитические свойства материала [2, 9, 10].

Методы и материалы

Композитный нанокатализатор $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ синтезировали методом горения раствора (Solution Combustion Synthesis, SCS). В качестве смешанного топлива использовали карбамид $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ и глицин $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ в мольном соотношении 2:1. Карбамид обеспечивал интенсивное газовыделение NH_3 и CO_2 с формированием пористой структуры, а глицин комплексовал ионы металлов, стабилизировал процесс горения и способствовал гелеобразованию.

Для синтеза готовили по 500 мл 0,1 М растворов $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, что соответствовало 0,05 моль каждой соли. Точные навески составляли: $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ — 14,54 г, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ — 20,01 г, $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ — 18,76 г. Соотношение ионов $\text{Ni}:\text{Cr}$ поддерживали равным 1:1:1. По валентностному балансу окислитель/топливо для стехиометрического режима $\varphi = 1,00$ использовали карбамид — 11,44 г и глицин — 7,15 г; суммарное массовое соотношение топливо/окислитель составляло 0,349.

Растворы солей перемешивали на магнитной мешалке в течение 15 мин, затем вводили рассчитанные количества карбамида и глицина. Смесь нагревали при 80–90°C до испарения воды и образования вязкого геля. Полученный гель переносили в муфельную печь, где при 250–300°C происходило самопроизвольное горение с выделением газов и образованием вспененного нанодисперсного прекурсора. Порошок прокаливали при 450°C в течение 3 ч со скоростью нагрева 5°C/мин для удаления остаточных органических компонентов и формирования оксидной структуры. Установлено, что при температурах выше 500°C усиливалась агломерация частиц, приводящая к уменьшению удельной активной поверхности. Взвешивание проводили на аналитических весах OHAUS Pioneer PX224, pH контролировали pH-метром OHAUS Starter 3100, термообработку осуществляли в муфельной печи SNOL 8.2/1100.

Результаты и обсуждение

На свойства нанокатализатора $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{NiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ наибольшее влияние оказывали температура горения, продолжительность прокаливания, pH среды и концентрация исходных растворов. Температура горения изменялась в пределах 250–350°C, а прокаливание проводили при 400–500°C. При температурах ниже 400°C оксидные фазы формировались не

полностью, тогда как выше 500°C наблюдались агломерация частиц и снижение удельной поверхности. Оптимальным режимом было признано прокаливание при 450°C в течение 3 часов.

По данным РФА, в образце, прокалённом при 450°C, формировались кристаллические фазы NiO и Cr₂O₃, а Al₂O₃ находился преимущественно в высокодисперсной слабо кристаллизованной форме. Отсутствие фаз нитратов и гидроксидов подтверждало полное разложение прекурсоров. Средний размер кристаллитов составлял 18–24 нм. ИК-спектры показали исчезновение полос нитрат-ионов при 1380–1450 см⁻¹ и появление полос в области 450–650 см⁻¹, соответствующих связям Ni–O, Cr–O и Al–O. При pH 6–7 формировалась однородная вспененная мезопористая структура. Удельная поверхность ВЕТ оптимального образца составила 164,7 м²/г, общий объём пор — 0,38 см³/г, средний диаметр пор — 9,2 нм. Для образцов, прокалённых при 400 и 500°C, ВЕТ-площадь снижалась до 132,4 и 91,6 м²/г соответственно, что подтверждает преимущество режима 450°C.

Каталитическую активность оценивали в реакции парофазного превращения первичного спирта с аммиаком при соотношении спирт₃ = 1:3. При 325°C конверсия спирта составила 86,2 %, селективность по целевому нитрилу — 89,4 %, выход продукта — 77,1 %. После 6 часов работы снижение активности не превышало 4 %, что указывает на термостабильность и устойчивость катализатора к дезактивации.

Заключение

Таким образом, условия SCS-синтеза при pH 6–7, прокаливании 450°C в течение 3 часов обеспечивают получение нанодисперсного Cr₂O₃/NiO/Al₂O₃-катализатора с развитой мезопористой структурой, высокой удельной поверхностью и выраженной каталитической активностью.

Полученный в оптимальных условиях композитный нанокатализатор Cr₂O₃/NiO/Al₂O₃ характеризовался высокой дисперсностью, развитой удельной поверхностью и высокой каталитической активностью. Совместное использование карбамида и глицина способствовало стабилизации процесса горения и равномерному формированию наночастиц.

Список литературы

1. Baranov N.N. Nanocomposite metal oxides and their application // Advanced Materials. – 2022. – P. 45–52.
2. Chen J., Xu L., Li W. NiO nanostructures: synthesis and catalytic properties // Journal of Materials Chemistry A. – 2020. – № 27. – P. 13502–13520.
3. Kumar R., Kumar G. Nanostructured metal oxides for catalytic applications // Journal of Alloys and Compounds. – 2021.
4. Li W., Wang F. Synthesis and characterization of NiO nanoparticles // Materials Chemistry and Physics. – 2019.
5. Li W., Kovarik L., Mei D. et al. NiO-based nanocatalysts: structure–activity relationships // Nature Communications. – 2020. – P. 1–10.

6. Singh J., Kumar P. Catalytic applications of Cr₂O₃-based nanocomposites // Journal of Nanoscience and Nanotechnology. – 2022.
7. Sun C., Li H., Chen L. Nanostructured metal oxides for catalytic applications // Energy & Environmental Science. – 2020. – P. 8475–8505.
8. Wang D., Li Y. Nanocrystalline metal oxides as heterogeneous catalysts // Advanced Materials. – 2021. – T. 2008051.
9. Zhang L., Zhao Z. Transition metal oxide catalysts for CO oxidation // Applied Catalysis B: Environmental. – 2021. – T. 119822.