

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова
Сибирского отделения Российской академии наук»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Трудового Красного Знамени
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
Химический факультет

Центр компетенций НТИ
«Водород как основа низкоуглеродной экономики»

V Российский конгресс по катализу

«РОСКАТАЛИЗ»

21 - 26 апреля 2025 г., г. Санкт-Петербург

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

[https://catalysis.ru/resources/institute/Publishing/
Report/2025/roskat.pdf](https://catalysis.ru/resources/institute/Publishing/Report/2025/roskat.pdf)

УДК 544.47+66.097

ББК 24.54

P764

P764 РОСКАТАЛИЗ.V Российский конгресс по катализу : Сборник тезисов

(21-26 апреля 2025 г., Санкт-Петербург, Россия)

[Электронный ресурс] / под редакцией акад. В.И. Бухтиярова, д.х.н. О.Н. Мартыанова, к.х.н. М.О. Казакова, к.х.н. Д.И. Потемкина

– Новосибирск : Институт катализа СО РАН, 2025.

– <https://catalysis.ru/resources/institute/Publishing/Report/2025/roskat.pdf>

– ISBN 978-5-906376-59-6

В надзаг.:

- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова
Сибирского отделения Российской академии наук»
- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской академии наук
- Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени
Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева Российской академии наук
- Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Химический факультет
- Центр компетенций НТИ «Водород как основа низкоуглеродной экономики»

Сборник включает тезисы пленарных и ключевых лекций, устных, стендовых и заочных докладов:

Секция 1. Физико-химические основы катализа

Секция 2. Технологии производства катализаторов

Секция 3. Промышленные катализаторы и каталитические процессы

Секция 4. Перспективные катализаторы и каталитические процессы

Молодёжная школа по катализу

Круглый стол «Применение синхротронного излучения в каталитических исследованиях»

Круглый стол «Расширение потенциала палладия для развития новых каталитических технологий»

Круглый стол «Технологическая независимость катализаторной подотрасли»

УДК 544.47+66.097

ББК 24.54

ISBN 978-5-906376-59-6

© Институт катализа СО РАН, 2025

Влияние допирования на свойства катализаторов паровой конверсии этанола на основе силикатов лантана со структурой апатита

Лопатин М.Ю.¹, Фёдорова А.А.¹, Морозов И.В.¹, Фёдорова Ю.Е.², Смаль Е.А.²,
Верченко В.Ю.¹, Петухов Д.И.¹, Капустин Г.И.³, Кнотько А.В.¹, Шаталова Т.Б.¹,
Еремеев Н.Ф.², Садовская Е.М.², Садыков В.А.²

1 – Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

2 – Институт катализа СО РАН, Новосибирск, Россия

3 – Институт органической химии РАН, Москва, Россия

maksim.lopatin@chemistry.msu.ru

Паровая конверсия этанола является альтернативой для будущей водородной энергетики, поэтому поиск и получение катализаторов данной реакции представляет собой актуальную задачу. Одними из перспективных катализаторов этого процесса являются силикаты РЗЭ со структурой апатита. Целью нашей работы был синтез и исследование недопированного и допированных силикатов РЗЭ со структурой апатита с нанесённым на их поверхность NiO.

Синтез проводили модифицированным золь-гель методом с использованием темплата. К предварительно частично гидролизованному в среде 0.1 М HNO₃ тетраэтоксисилану был добавлен водный раствор темплата, а также нитратов металлов (лантана(III), празеодима(III), алюминия, железа(III), магния, меди(II)) (m(H₂O):m(SiO₂)=10). В качестве темплата были использованы β-циклодекстрин (β-CD) и мочевины (U), количество которых было рассчитано по формуле:

$$\omega = \frac{m_{\beta-CD} + m_U}{m_{\beta-CD} + m_U + m_{SiO_2}} \cdot 100\% = 60\%, \text{ где } m(\beta-CD):m(U)=1:3. \text{ На высушенные и}$$

отожжённые при 600°C (4 ч) образцы пропиткой по влагеёмкости был нанесён нитрат никеля(II), после чего они вновь были высушены при 100°C (40-60 мин) и отожжены при 600°C (2 ч). В работе изучалось влияние замещения кремния и лантана на свойства образцов, которые были исследованы методами термического анализа, РФА, рентгеноспектрального микроанализа, низкотемпературной сорбции N₂ и изотопного обмена кислорода, а также была изучена каталитическая активность образцов в реакции паровой конверсии этанола.

Были получены образцы состава NiO/La_{9.33}Si_{5.5}X_{0.5}O_{26-δ} (ω(NiO)=6.3 вес. %, X = Al, Fe, Mg, Cu, Al+Fe (молярное соотношение 1:1)), которые обозначены шифрами вида LXSO, где X отражает допирующий элемент (LASO, LFSO, LMSO, LCSO, LAFSO), а также NiO/Pr_{9.33}Si₆O_{26-δ} (PSO). Для сравнения также был получен образец состава NiO/La_{9.33}Si₆O₂₆ с шифром LSO.

По результатам термического анализа, проведённого после сушки образцов, было установлено, что образцы имели сходный характер разложения: при 60–200°C наблюдалось выделение воды, при 180–400°C разлагались органические вещества и

начиналось разложение нитратов металлов, при 420–550°C шло основное разложение нитратов металлов.

По результатам РФА показано, что после отжига при 600°C образцы были рентгеноаморфными. При увеличении температуры прокаливания до 800°C наблюдалось появление кристаллической структуры. На рентгенограммах всех образцов, содержавших лантан, наблюдались рефлексы фазы $\text{La}_{9.33}\text{Si}_6\text{O}_{26}$. На рентгенограмме образца, содержавшего празеодим, наблюдались рефлексы фазы $\text{Pr}_{9.33}\text{Si}_6\text{O}_{26}$.

По результатам РСМА было установлено, что содержания La, Pr и допирующих элементов соответствовали теоретическим значениям. Содержание Ni для образцов с лантаном превышало теоретическое значение, что свидетельствует о концентрировании Ni на поверхности.

Анализ текстуры образцов методом низкотемпературной сорбции N_2 показал, что все образцы являлись мезопористыми. Катализаторы на основе силиката лантана обладали удельной площадью поверхности от 7 м²/г для образца LFSO до 13 м²/г для образца LSO. Катализатор на основе силиката празеодима имел удельную площадь поверхности 32 м²/г.

Метод температурно-программированного изотопного обмена с использованием C^{18}O_2 показал, что для всех образцов наблюдался сходный характер обмена. В области низких температур (до 100°C) обмен протекал с участием оксидных фрагментов с катионами никеля, в области высоких температур (300–600°C) – с кислородом в силикате лантана/празеодима со структурой апатита. Также была проведена оценка коэффициентов диффузии и их сравнение для разных образцов.

Образцы были испытаны в реакции паровой конверсии этанола при составе смеси 2 об. % EtOH + 8 об. % H_2O в He, времени контакта 10 мс и температуре 600°C. Перед реакцией проводилось восстановление образцов водородом при температуре 600°C (1 ч). Было установлено, что замещение кремния приводило к увеличению степени конверсии (до 84–99%) и выхода водорода (до 55–65%), кроме случая с медью. Образец PSO работал стабильно с высокой конверсией EtOH (~99%), но с меньшим выходом H_2 (~40%). Наиболее эффективным оказался образец силиката лантана, содержащий железо. Протекание реакции паровой конверсии CO оказывало влияние на общий выход водорода и соотношение H_2/CO (7÷4,3). В качестве побочного продукта наблюдалось образование ~0.1 % CH_4 .

Благодарности: Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-72-10034, бюджетного проекта FWUR-2024-0033 Института катализа имени Г.К. Борескова СО РАН и с использованием оборудования, приобретенном за счет средств Программы развития МГУ.