

УДК 54.057

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ВАНАДИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

В. С. СЕРТАКОВ

Научный руководитель И. В. КУЗНЕЦОВА, канд. хим. наук, доц.
Воронежский государственный университет инженерных технологий
Воронеж, Россия

Цинковые ионные аккумуляторы привлекли значительное внимание благодаря ряду преимуществ, включая более низкую себестоимость, высокую теоретическую емкость и повышенную безопасность по сравнению с литий-ионными аккумуляторами.

Ключевую роль в создании стабильных аккумуляторов играют характеристики электролитов и долговечных катодных и анодных материалов.

Внимание исследователей привлекают оксиды переходных металлов, особенно ванадия, благодаря их уникальным электронным, оптическим и каталитическим свойствам [1].

Синтез материалов с использованием разновалентных катионов можно проводить различными методами. Важно отметить, что получение таких материалов по керамической технологии требует продолжительной термообработки при высоких температурах и не гарантирует стабильную морфологию образцов. Решением данных проблем служит использование гидротермального метода.

Гидротермальный синтез (англ. *hydrothermal synthesis*) – метод получения различных химических соединений и материалов с использованием физико-химических процессов в закрытых системах, а именно автоклавах (рис. 1), протекающих в водных растворах при температурах выше 100 °С и давлениях выше 1 атм.

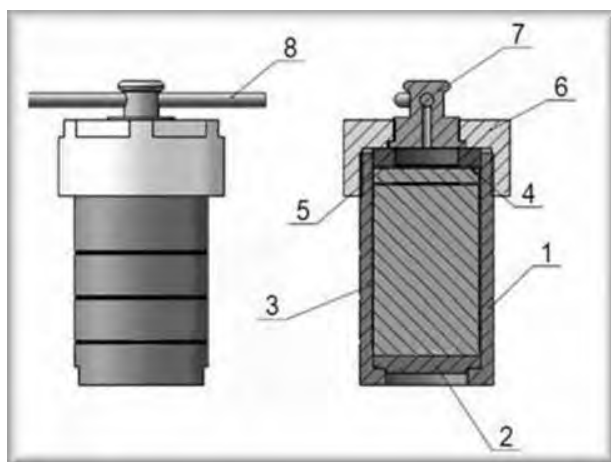


Рис. 1. Схема гидротермального автоклава (реактора): 1 – корпус из нержавеющей стали; 2 – нижняя прокладка; 3 – тефлоновый вкладыш; 4 – верхняя прокладка; 5 – запорный винт; 6 – крышка автоклава; 7 – прорезь для силового стержня; 8 – силовой стержень

В ходе работы был рассмотрен ряд методик, в основе которых лежит вышеупомянутый гидротермальный синтез.

По одной из методик для получения гидратированных наностержней $\text{VO}_2 \cdot 0,45\text{H}_2\text{O}$ оксид ванадия V_2O_5 и щавелевую кислоту $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в определенных соотношениях растворяли в дистиллированной воде, нагретой до 80°C при интенсивном перемешивании в течение 5 ч до образования синего раствора. После в горячий раствор приливали 4 см^3 30 %...35 % H_2O_2 перемешивали 30 мин и добавляли 50 см^3 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Полученную смесь переносили в автоклав и проводили гидротермальный синтез при 170°C на протяжении 12 ч в муфельной печи Plavka.PRO. Полученный после синтеза осадок промывали методом ступенчатого центрифугирования дистиллированной водой и спиртом. Центрифугат сливали, осадок переносили на чашу Петри и отправляли на вакуумную сушку (12 ч; 70°C ; 0,05 МПа).

Конечный продукт имел фиолетовый цвет, т. е. преобладающая степень окисления в соединении соответствует +4.

Стоит отметить, что гидротермальным способом возможно синтезировать многокомпонентные системы элементов, в частности, соединения системы Al-V-O [2].

Для синтеза использовали $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и NH_4VO_3 в мольном соотношении 1 : 20 и 20:1 соответственно. Навески растворяли в 50 см^3 дистиллированной воды, нагретой до 80°C , добавляли HCl до $\text{pH} = 3$ и перемешивали 30 мин. Полученную смесь переносили в автоклав и проводили гидротермальный синтез при 170°C на протяжении 12 ч. Бурую суспензию промывали методом ступенчатого центрифугирования дистиллированной водой и $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Получившийся темно-зеленый осадок сушили под вакуумом при 70°C в течение 5 ч.

Проведение синтеза ванадийсодержащих материалов без использования гидротермального реактора приводит к получению неустойчивых систем, содержащих оксид ванадия со смешанной степенью окисления от +2 до +5, что затрудняет их практическое применение.

Дальнейшие исследования в области гидротермального синтеза ванадийсодержащих композитов будут интересны и направлены на расширение спектра применений и создание высокопроизводительных материалов для современных технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Failure Mechanisms and Strategies for Vanadium Oxide-Based Cathode in Aqueous Zinc Batteries / R. Sinha, X. Xie, Y. Yang [et al.] // *Adv. Energy Mater.* – 2025. – P. 2404815.
2. Vanadium Oxide : Phase Diagrams, Structures, Synthesis, and Applications / Peng Hu [et al.] // *Chemical reviews.* – 2023. – № 123. – P. 4353–4415.