

Разработан новый электродный материал $\text{NaNbV}(\text{PO}_4)_3$ со структурой NASICON. Для его получения использовали золь-гель метод Печини, что позволило значительно снизить температуру отжига и получить композит $\text{NaNbV}(\text{PO}_4)_3/\text{C}$ с субмикронным размером частиц (400- 600 нм) (Рис.1а). Полученный материал демонстрирует обратимую удельную емкость ~ 170 мАч/г за счет протекания многоэлектронных окислительно-восстановительных процессов, соответствующих redox-парам $\text{Nb}^{5+}/\text{Nb}^{4+}$, $\text{Nb}^{4+}/\text{Nb}^{3+}$ и $\text{V}^{3+}/\text{V}^{2+}$, которые были подтверждены в ходе XANES эксперимента в *operando* режиме. Исследование структурных превращений с привлечением *operando* и *ex situ* рентгеновской дифракции выявило асимметричный механизм внедрения/извлечения натрия, включающее обратимые однофазные и двухфазные переходы с умеренным изменением объема [1].

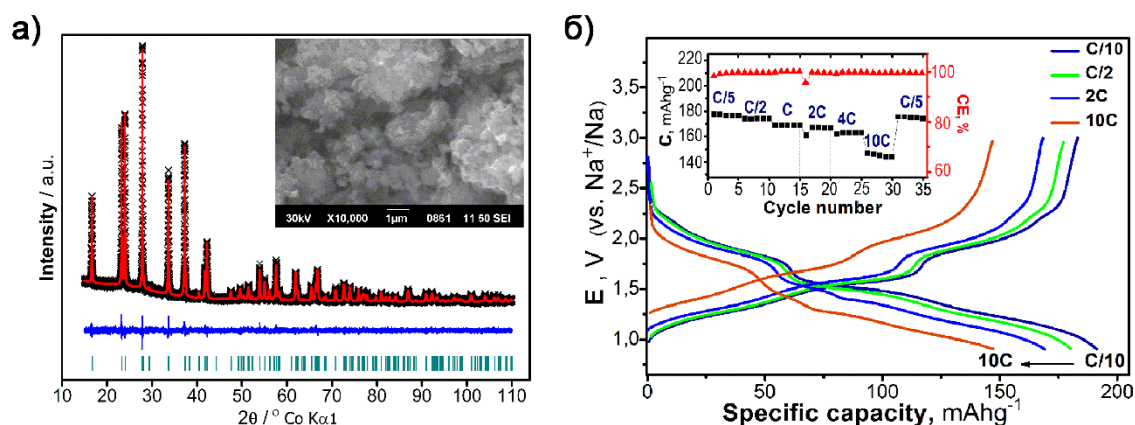


Рис. 1. а) Результаты уточнения кристаллической структуры $\text{NaNbV}(\text{PO}_4)_3$ методом Ритвелда, на вставке представлена микрофотография СЭМ; б) гальваностатические кривые $\text{NaNbV}(\text{PO}_4)_3$ на разных скоростях циклирования, на вставке представлены величины емкостей на различных плотностях тока.

Обратимое внедрение натрия происходит в узком диапазоне потенциалов (средний рабочий потенциал 1.55 В отн. Na^+/Na), что делает возможным его применение в качестве анода натрий-ионных аккумуляторов (Рис.1б). Рабочее напряжение $\text{NaNbV}(\text{PO}_4)_3$ исключает возможность выделения натрия на высоких скоростях циклирования, обеспечивая тем самым преимущество перед углеродными анодами. $\text{NaNbV}(\text{PO}_4)_3$ может быть отнесен к высокомоощным электродным материалам: он способен стабильно работать на высоких скоростях циклирования до 10С (время разряда 6 минут) с сохранением более 75% от первоначальной удельной емкости (Рис. 1б, вставка). С учетом привлекательных токонесущих характеристик, величины рабочего потенциала и высокой удельной емкости $\text{NaNbV}(\text{PO}_4)_3$ может быть отнесен к высокомоощным анодным материалам натрий-ионных аккумуляторов.

1. N.R. Khasanova, R.V. Panin, I.R. Cherkashchenko, M.V. Zakharkin, D. A. Novichkov, E.V. Antipov, « $\text{NaNbV}(\text{PO}_4)_3$: Multielectron NASICON-Type Anode Material for Na-Ion Batteries with Excellent Rate Capability», *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2023, 15, 25, 30272–30280