

УДК 674.055:621.934(043.3)

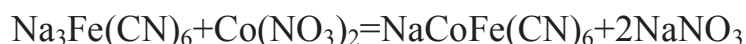
И. Сидоров, В.В. Жилинский, В. П. Новиков  
(БГТУ, Минск)  
НПЦ по материаловедению НАН Беларуси, г. Минск)

## **СИНТЕЗ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ $\text{NaFeFe}(\text{CN})_6$ ДЛЯ НАТРИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Постоянное наращивание потребности в литий-ионных аккумуляторах и среднего размера накопителей сталкивается с проблемой дороговизны лития, ограниченности его мировых запасов и неоднородного распределения литийсодержащих природных ископаемых по странам [1]. Расчёты показывают, что при текущем потреблении лития его запасов хватит не более чем на 150 лет. Кроме того, мировые цены на основное сырьё для материалов литий-ионных аккумуляторов – карбонат лития – в 20–30 раз превышают цены на карбонат натрия [1].

В настоящее время известно множество катодных материалов на основе слоистых оксидов, фосфатов для НИА, однако отдельным классом стоит выделить катодные материалы на основе берлинских лазурей и ее аналогов [2]. Интерес к аналогам берлинских лазурей обуславливается высоким сроком службы, низкой стоимостью и высокой удельной емкостью. Типичным представителем катодного материала со структурой берлинской лазури является гексацианоферрат железа-натрия.

Нами был синтезирован кобальтовый аналог берлинской лазури по уравнению реакции:



При исследовании морфологии частиц было выявлено, что синтезированный материал имеет размер частиц порядка 150-200 нм (рисунок 1).

Установлено, что полное образование пассивной пленки (SEI) происходило на протяжении 4 циклов, что отражалось в падении величины разрядной удельной емкости.

Гексацианоферрат железа-натрия был синтезирован из 100 мл 0,1М водного раствора  $\text{Na}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  и  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ . При взаимодействии  $\text{Na}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  с солью переходного металла происходило образование нерастворимого осадка - гексацианоферрата железа-натрия. По

окончании синтеза продукт реакции отмывался дистиллированной водой и спиртом, а затем центрифугировался.

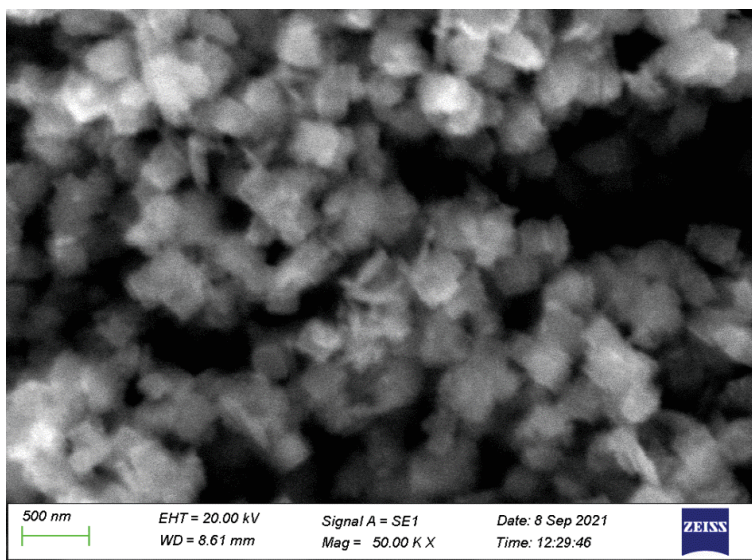


Рисунок 1 – Морфология поверхности синтезированного катодного материала.

После синтеза образец подвергался сушке в вакууме при температуре 110°C в течение 96 часов, а после помещался в эксикатор с водоотнимающим агентом – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

В результате зарядно-разрядных исследований выявлено, что начальная удельная разрядная емкость катодного материала

на основе гексацианоферрата железа-натрия при нормированном токе разряда 0,2С составила 114 мАч/г, а к 100 циклу она снизилась до 108 мАч/г в 1М NaClO<sub>4</sub>, растворенного в смеси пропиленкарбоната и этиленкарбоната (1:1).

В результате электрохимических исследований установлено, что при интеркаляции в матрицу положительного электрода из гексацианоферрат железа-натрия коэффициент диффузии ионов натрия составил  $1,382 \cdot 10^{-11}$  см<sup>2</sup>/с.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Aqueous Rechargeable Li and Na Ion Batteries / H. Kim [et al.] // Chem. Rev., 2014. – Vol. 114. – P. 11788–11827.
2. Neutron Diffraction Study of Prussian Blue, Fe<sub>4</sub>[Fe(CN)<sub>6</sub>]<sub>3</sub>·xH<sub>2</sub>O. Location of Water Molecules and Long-Range Magnetic Order / F. Herren, A. Ludi; P. Fischer; W. Halg // Inorg. Chem, 1980. – Vol. 19. – P. 956–959.
3. Removal of Interstitial H<sub>2</sub>O in Hexacyanometallates for a Superior Cathode of a Sodium-Ion Battery / J. Song [et al.] // J. Am. Chem. Soc., 2015. – Vol. 137. – P. 2658–2664.