

## **Синтез микрочастиц металлического висмута с контролируемой морфологией поверхности для энергетических применений**

**Филиппова Т. С.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – канд. хим. наук, доцент Фальчевская А. С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО

tsfilippova@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №625138 «Инжиниринг высокопористых материалов в качестве носителей для электрокатализаторов»

### **Введение**

Висмут и материалы на его основе на данный момент являются активными объектами исследования для применения в таких развивающихся областях как создание анодных материалов для натрий-ионных аккумуляторов и катализаторов для восстановления CO<sub>2</sub> [1]. Висмут обладает рядом электрохимических свойств с перспективными теоретическими показателями, такими как удельная емкость (385 мА/г), плотность энергии (3800 мА/см<sup>3</sup>) и устойчивостью к циклированию (более 100 циклов заряда-разряда), что является важным критерием при подборе анодных материалов [2]. Использование материалов с развитой площадью поверхности, таких как наночастицы, нанотрубки или наноленты, приводит к улучшению электрохимических свойств и стабильности исследуемых аккумуляторов [3].

На данный момент основными методами синтеза микро- и наноструктур на основе висмута являются:

1. Высокотемпературный синтез: морфология контролируется подбором прекурсора и режимом высокотемпературной обработки.
2. Гидротермальный синтез: самый распространенный метод синтеза материалов на основе висмута. Позволяет получать такие структуры как наноленты, «наноцветы» и нанотрубки; однако занимает достаточно продолжительное время (~12 часов) и воздействие высоких температур (>180 °С).
3. Реакция гальванического замещения: восстановление висмута из прекурсора на поверхности окисляемого металла, движущей силой реакции является разница в стандартных потенциалах между парой иона и металла. Является основным методом получения полых и сферических структур, не требует воздействия высоких температур.

### **Основная часть**

В данной работе в качестве метода была выбрана реакция гальванического замещения, протекающая при комнатной температуре. В качестве металла-восстановителя был использован галлий в эвтектическом сплаве и индием (EGaIn;  $t_{пл} = 16^\circ\text{C}$ ). Контроль морфологии осуществлялся добавлением в реакционную смесь сурфактантов: додецилсульфата натрия (SDS), поверхностно-активного вещества анионной природы ) с концентрациями 5, 10 и 20 ммоль/л; и поливинилпирролидона (ПВП К-30), высокомолекулярного неионогенного ПАВ с концентрациями 2, 4 и 10 массовых процента (масс. %). В качестве соли-прекурсора был использован хлорид висмута (III) в концентрациях 0,005, 0,0075, 0,01 и 0,05 моль/л; во избежание гидролиза соли реакция проводилась в среде органического растворителя диметилсульфоксида (ДМСО).

Изучение морфологии полученных частиц проводилось с применением сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), состав и степень замещения исследовались с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС), фазовый состав определялся рентгенофазовым анализом (РФА). Гальваностатические испытания проводились на тестерах аккумуляторов Neware при комнатной температуре 21-25 °С.

В результате было установлено успешное протекание реакции при мягких условиях в течение короткого времени (от нескольких минут до нескольких часов) с практически полным замещением галлия на висмут (80-90 %). Полученные частицы имели различную морфологию. Применение ПВП обеспечивает образование гладких однородных сферических частиц, в то время как образцы Bi-SDS обладают развитой морфологией поверхности, образуя шипы и отростки.

### **Выводы**

Был разработан метод синтеза частиц металлического висмута с различной морфологией при применении сурфактантов. Частицы Bi-ПВП были протестированы на стабильность при циклируемости и характер зарядно-разрядных кривых. Полученные данные демонстрируют высокую устойчивость к циклированию при режиме C/10 (>90% после 50 циклов).

Полученные частицы обладают высоким потенциалом применения в качестве высокостабильного анодного материала при разработке натрий-ионных аккумуляторов с улучшенными электрохимическими свойствами.

### **Литература**

1. Cao Y. et al. Bismuth nanoparticles embedded in carbon fibers as flexible and free-standing anodes for efficient sodium ion batteries //RSC advances. – 2024. – Т. 14. – №. 54. – С. 39921-39926.
2. Chen X. et al. Rational design of mangosteen-like bismuth nanospheres coated by N-doped carbon shell as superb composite anode for high-performance sodium-ion batteries //Journal of Energy Storage. – 2024. – Т. 99. – С. 113395.
3. Man X. et al. Prospect of bismuth and its compounds in sodium-ion batteries: A Review //Energy Storage Materials. – 2025. – С. 104076.