

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИНТЕРКАЛЯЦИИ / ДЕИНТЕРКАЛЯЦИИ ЛИТИЯ В ГРАФЕНОПОДОБНЫХ НАНОЧАСТИЦАХ 2H-MoS<sub>2</sub>

Чернухин С.И., Белецкий Е.В., Косилов В.В., Куликов Л.М.<sup>(1)</sup>, Кёниг Н.Б.<sup>(1)</sup>

Межведомственное отделение электрохимической энергетики НАН Украины,  
бул. Вернадского, 38-А, Киев, 03142, Украина, e-mail: [chernukhin@ukr.net](mailto:chernukhin@ukr.net)

<sup>(1)</sup>Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича НАН Украины,  
ул. Кржижановского, 3, Киев-142, 03680, Украина, e-mail: [kulikovl@ipms.kiev.ua](mailto:kulikovl@ipms.kiev.ua)

Графеноподобные наночастицы 2H-MoS<sub>2</sub> («неорганические графеноподобные наночастицы», «ультратонкие нанослои», «монослои», «слоистые, двумерные (2D), квази-2D наноструктуры») и наноконкомпозиты (графеноподобные 2H-MoS<sub>2</sub> / графен) перспективны для создания многофункциональных 2D наноматериалов, в частности, для химических источников тока высокой ёмкости (ионно-литиевые батареи и суперконденсаторы).

Предполагается, что графеноподобные наночастицы 2H-MoS<sub>2</sub> могут иметь улучшенные электрохимические свойства вследствие увеличения площади поверхности и улучшения процесса диффузии при интеркаляции Li<sup>+</sup>.

Графеноподобные наночастицы 2H-MoS<sub>2</sub> были получены лабораторной нанотехнологией с использованием химического осаждения из газовой фазы (CVD). Эта нанотехнология позволяет получать гомогенные графеноподобные 2H-MoS<sub>2</sub> в достаточном количестве с экстремально малыми средними размерами анизотропных наночастиц (~ 1 нм для кристаллографического направления [013]). Средние размеры анизотропных наночастиц 2H-MoS<sub>2</sub> эффективно регулируются в широких пределах (для направлений [013] и [110]); данные рентгеновских и электронномикроскопических исследований:  $d_{[013]}=2,7(2)-4,7(2)$  нм,  $d_{[110]}=8,5(4)-53(3)$  нм. По оценочным данным минимальное число нанослоев S-Mo-S (коаксиально оси Z, то есть параметру  $c$  элементарной ячейки 2H-MoS<sub>2</sub>) составляет 4–8 (наносинтез по схеме «снизу–вверх», послойная самосборка нанослоев S-Mo-S).

Электрохимические исследования выполнены на макетах пуговичного типа ионно-литиевых батарей в габарите 2016 с литиевым противо-

электродом и электродом сравнения. В качестве электролита использованы 1M LiPF<sub>6</sub> ЭК (этиленкарбонат), ДМК (диметилкарбонат) и ДЭК (диэтилкарбонат), (1:1:1). Состав электродных масс: 80 % – 2H-MoS<sub>2</sub>, 5 % – графит “SFG-6”, 7 % – сажа “Super-P”, 8 % – ПВДФ (поливинилиденфторид). Полученные суспензии наносились на алюминиевую фольгу с использованием аппликатора с зазором 125 мкм. Электроды высушивались в вакууме (120 °С, 18 ч); количество электродной массы составляло 4,5 мг/см<sup>2</sup>. Сборка макетов ионно-литиевых батарей производилась в боксах с аргоновой атмосферой.

Электрохимические исследования были выполнены на автоматическом, компьютеризированном стенде в гальваностатическом и потенциодинамическом режимах заряда / разряда. Изучены процессы интеркаляции / деинтеркаляции Li<sup>+</sup> в графеноподобных наночастицах (со средними размерами  $d_{[013]}=4,2(2)$  нм,  $d_{[110]}=17(1)$  нм) и микронном порошке природного 2H-MoS<sub>2</sub>, приводящие к образованию Li <sub>$x$</sub> MoS<sub>2</sub> (0 <  $x$  ≤ 1). Установлено, что графеноподобный 2H-MoS<sub>2</sub> демонстрирует большую удельную ёмкость в сочетании с высокой циклической стабильностью по сравнению с микронным 2H-MoS<sub>2</sub>. Проанализированы возможные причины этих различий, особенности процессов интеркаляции/деинтеркаляция и синтеза интеркалированных наночастиц Li <sub>$x$</sub> MoS<sub>2</sub> (0 <  $x$  ≤ 1).

Электрохимические свойства графеноподобных наночастиц 2H-MoS<sub>2</sub> позволяют рассматривать их в качестве перспективных анодных наноматериалов для ионно-литиевых батарей.