

## РАМАНОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ГРАФЕНОПОДОБНЫХ НАНОЧАСТИЦ 2H-MoS<sub>2</sub>

Науменко А.П., Куликов Л.М.<sup>(1)</sup>, Кёниг Н.Б.<sup>(1)</sup>

Физическое отделение Киевского национального университета им. Тараса Шевченко,  
просп. Глушкова, 2, Киев, 03680, Украина, e-mail: [apn@voliacable.com](mailto:apn@voliacable.com)

<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», «2D наноструктуры», «ультратонкие нанослои», «монослои», «слоистые, двумерные (2D), квази-2D наноструктуры», «послойная самосборка ультратонких нанослоев»), их интеркалаты и наноконпозиты (графеноподобный 2H-MoS<sub>2</sub>/графен) перспективны для создания многофункциональных 2D полупроводниковых наноматериалов, в частности для:

- полупроводниковые наномембраны (механические и термоэлектрические устройства, наноэлектроника, оптоэлектроника);
- наноэлектроника;
- спинтроника;
- нанокатализ, фотокатализ на полупроводниковых наночастицах в видимой области спектра (водородная энергетика, экология: очистка сточных вод).

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).

Рамановские спектры регистрировались с помощью автоматизированного двойного спектрометра ДФС-24 («ЛОМО», Россия), оснащенного охлаждаемым фотоумножителем и системой регистрации, работающих в режиме

счета фотонов. Применялась геометрия обратного рассеяния. В качестве источника света использовалось линейно поляризованное, цилиндрически сосредоточенное излучение аргонового лазера (514,5 и 488 нм). Требуемая длина волны возбуждения Ar<sup>+</sup>-лазера выделялась призмой, находящейся за пределами лазерного резонатора, а цилиндрическая линза применялась для фокусировки светового пятна 10×0,1 мм<sup>2</sup> на образце. Стоит отметить, что большая освещенная область может эффективно устранить локальные неоднородности, а также свести к минимуму вероятность радиационного повреждения образца. Для получения более достоверной информации применяли дополнительный метод для минимизации шумов. В частности, относительно широкие спектральные окна ~ 3–5 см<sup>-1</sup>, длительное время накопления сигнала и оптимизированное цифровое усреднение спектров с переменным спектральным окном прозрачности использовали для слабого увеличения сигнала.

Исследованы рамановские спектры графеноподобных наночастиц 2H-MoS<sub>2</sub> (со средними размерами  $d_{[013]}=3,9(2)-4,7(2)$  нм,  $d_{[110]}=17(1)-53(3)$  нм) и микронного порошка природного 2H-MoS<sub>2</sub> для сравнения. Установлено, что рамановские спектры графеноподобных наночастиц и микронных частиц 2H-MoS<sub>2</sub> качественно близки между собой. Характерные особенности рамановских спектров указывают на гомогенность графеноподобных наночастиц 2H-MoS<sub>2</sub>. Небольшие изменения и уширения линий рамановского спектра для графеноподобных наночастиц 2H-MoS<sub>2</sub> вызваны влиянием их размеров.

Результаты рамановской спектроскопии использованы для дополнительной структурной аттестации и изучения вибрационных и электронных свойств графеноподобных наночастиц 2H-MoS<sub>2</sub> по сравнению с таковыми для микронных частиц.