

было получено 37,8 мг/г [3]) и даже наноматериалов (например, нановолокон, с которыми емкость составила только 9,7–28,2 мг/г [4]).

Из графика зависимости адсорбционной емкости ОГ/КМЦ от времени контакта фаз было отмечено, что при времени 5 мин наблюдается сорбционное равновесие (график «выходит на плато»). Это намного меньше, чем время, заявленное в работах [3–5] для других сорбентов, традиционных и наноструктурированных.

На основании полученной изотермы адсорбции (зависимости емкости от концентрации поллютанта в жидкой фазе) можно сделать вывод, что она соответствует изотерме 4-го типа по классификации, представленной в книге [6]. Такой процесс обусловлен физическими силами, приводящими к образованию полимолекулярного слоя. Особенностью изотермы является

наличие перегиба, который свидетельствует о завершении образования монослоя и переходе к полимолекулярной адсорбции с наличием сорбционных центров с большей и меньшей энергией сродства к адсорбату.

### Вывод

Лабораторные эксперименты показали, что сорбент ОГ/КМЦ достигает равновесия с  $Cd^{2+}$  в течение 5 мин, что намного быстрее по сравнению с традиционными сорбентами и некоторыми наносорбентами. Сорбционная емкость исследуемого сорбента также выше некоторых сорбентов, упомянутых выше. Поэтому можно сделать вывод, что наноструктуры оказывают достаточное влияние на сорбцию ионов тяжелых металлов (в данном случае,  $Cd^{2+}$ ), и данный сорбент можно использовать при очистке вод.

### Список литературы

1. Нескоромная Е. А. Дисс. канд. хим. наук. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 148 с.
2. Burakov A. E., Galunin E. V., Burakova I. V., Kucherova A. E., Agarwal S., Tkachev A. G., Gupta V. K. // *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2018. – Vol. 148. – P. 702–712.
3. Касим Е. Г., Рамазанов А. Ш. // *Вестник Дагестанского государственного университета*, 2013. – № 6. – С. 200–203.
4. Гимаева А. Р. Валинурова Э. Р., Игдавлетова Д. К., Кудашева Ф. Х. // *Сорбционные и хроматографические процессы*, 2011. – Т. 11. – № 3. – С. 350–356.
5. Khan S., Achazhiyath Edathil A., Banat F. // *Scientific Reports*, 2019. – V. 9. – P. 18106.
6. Lowell S., Shields J. E. *Powder Surface Area and Porosity*. Dordrecht: Springer, 1984. – 320 p.

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ДВУМЕРНОГО СЛОИСТОГО КРИСТАЛЛА $Zn_2In_2S_5$

Д. Л. Чешев, Туан Хоанг Тран, Е. С. Шеремет  
Научный руководитель – Ph.D., профессор ИШХБМТ Р. Д. Родригес

Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет  
Исследовательская Школа Химических и Биомедицинских Технологий  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, dlc2@tpu.ru

Рост уровня технологического развития электронных устройств сопровождается миниатюризацией их компонентов и использованием новых перспективных материалов, обладающих различными свойствами. Широко известность, на данный момент, приобрели двумерные полупроводниковые материалы, такие как  $MoS_2$ ,  $WSe_2$  и другие. Однако, вместе с этим, большое количество двумерных материалов, проявляющих похожие свойства, остаются без должного внимания. Одним из таких материалов является фаза системы  $Zn-In-S - Zn_2In_2S_5$ .

Данный материал является перспективным с точки зрения его использования в фотонных и электронных приложениях. В 1969 году существование  $Zn_2In_2S_5$  было продемонстрировано Radaustan и др [1]. Авторами в этой, и последующих работах, были описаны структурные, и некоторые оптические и электронные свойства. Однако их исследования были проведены на объемных структурах, в то время как основной интерес современного научного сообщества в области полупроводниковых материалов лежит в области наноразмерных структур. На сегодня

нышний день лишь в немногих работах встречается  $Zn_2In_2S_5$  в качестве микросфер или частиц в составе гетероструктур. Например, было показано использование материала в виде микросфер в соединении с  $Ti_3C_2(O, OH)_x$  как фотокатализатор для получения водорода с эффективностью в 1,97 раза выше чем у обычного  $Zn_2In_2S_5$  [2]. Также были показаны и другие композиты, например  $CoP/Zn_2In_2S_5$ , использованные в качестве фотокатализатора [3]. Эти и другие работы, в основном, демонстрируют  $Zn_2In_2S_5$  в составе различных композитов, однако, свойства самого материала, особенно в наномасштабе, слабо описаны.

Данная работа нацелена на описание свойств двумерного  $Zn_2In_2S_5$ . Так, с помощью Рамановской спектроскопии и просвечивающей электронной микроскопии с высоким разреше-

нием нами были получены сведения о структуре материала. Помимо этого, изучена термическая стабильность материала, фототермические, электрические и пьезоэлектрические свойства. На основе данных был рассчитан пьезоэлектрический коэффициент  $d_{33} = 3,55$  пм/В, уточнен n-тип проводимости двумерного  $Zn_2In_2S_5$ , а также получена вольтамперная характеристика материала. Вдобавок, была продемонстрирована возможность использования материала в качестве фотодетектора. Так, был получен электрический отклик при облучении материала лазером с длиной волны 405 и 450 нм, в то время как при использовании 532 нм и 650 нм лазером отклик был слабым или отсутствовал.

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-52-14006.

### Список литературы

1. *Radautsan S. I., Donika F. G., Kyosse G. A., Mustya I. G., Zhitar V. F. // Phys. Status Solidi B Basic Res., 1969. – V. 34. – № 2. – P. K129–K131.*
2. *Wang H. Sun Y., Wu Y., Tu W., Wu S., Yuan X., Zeng G., Xu Z. J., Li S., Jia Wei Chew // Applied Catalysis B: Environmental, 2019. – V. 245. – P. 290–301.*
3. *Zhang H., Xie S., Hu J., Wu X., Zhang Q., Cheng J., Wang Y. // Chemical Communications, 2020. – V. 56. – № 12. – P. 1776–1779.*

## ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ФОТОКАТАЛИЗАТОРЫ РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА, ДЕКОРИРОВАННОГО ЯНУС-НАНОЧАСТИЦАМИ $ZnO/Ag$ С РАСШИРЕННЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ ДИАПАЗОНОМ

В. Р. Чжоу, О. В. Бакина, К. В. Сулиз

Научный руководитель – д.т.н., с.н.с. О. В. Бакина

Национальный исследовательский Томский государственный университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 36

В настоящее время, загрязнение сточных вод является глобальной проблемой, которая оказывает всё большее негативное воздействие на жизнь человека. Имеющиеся запасы воды загрязнены различными органическими растворителями, красителями, токсичными ионами металлов, бактериальными загрязнениями и отходами фармацевтических производств [1]. Среди существующих методов очистки вод особое внимание уделяется фотокатализу, что связано с отсутствием образования вторичных загрязняющих веществ и возможностью повторного использования фотокатализаторов. Особый интерес представляют наночастицы оксида цинка

$ZnO$ , которые соответствуют необходимым для фотокатализаторов критериям: достаточная ширина запрещенной зоны, химическая стабильность и устойчивость к фотокоррозии, низкая токсичность, доступность и невысокая стоимость [2]. Однако ширина запрещенной зоны более 3 эВ ограничивает применение наночастиц  $ZnO$  в видимом свете, а высокая скорость рекомбинации носителей зарядов снижает их фотокаталитическую активность. Эффективной стратегией повышения активности является создание гетеропереходов путем совмещения  $ZnO$  с благородными металлами [3].