

В целом это подтверждают данные ДСК расплава  $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6\text{-SiO}_2$ , представленные в работе [4], где показано, что после температуры 1033 К начинается интенсивное газовыделение  $\text{SiF}_4$  из расплава, сопровождающиеся потерей массы. Результаты проведенных нами исследований дают основание считать, что в расплавах системы  $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6\text{-SiO}_2$  относительно стабильными в диапазоне температур 973-1023 К являются комплексы:  $[\text{SiF}_6]^{2-}$ ;  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ ;  $[\text{SiO}_3\text{F}]^{3-}$ . Для расплавов  $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6$  в температурном диапазоне 973 – 1073 К наиболее вероятной группировкой является  $[\text{SiF}_6]^{2-}$ . Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 18-73-00227

#### ЛИТЕРАТУРА

1. J.M. Soler, E. Artacho, J.D. Gale, A. Garcia, J. Junquera, P. Ordejon, D.Sanchez-Portal. The SIESTA method for ab initio order-N materials simulation // *Journal of Physics: Condensed Matter*. 2002. 14(11) p 2745-2779
2. D.L. Deadmore, W.F. Bradley The Crystal Structure of  $\text{K}_3\text{SiF}_7$  // *Acta Cryst.* 1962. 15 p. 186-189
3. J.H. James Redetermination of the structure hexafluorosilicate,  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  // *Acta Cryst.* 1984, C40, p. 570.
4. Zaykov, Y.P., Isakov, A.V., Zakiryanova, I.D., Chemezov, O.V., Redkin, A.A. Interaction between  $\text{SiO}_2$  and a  $\text{KF-KCl-K}_2\text{SiF}_6$  melt // *Journal of Physical Chemistry B* 2014 118(6), p. 1584-1588
5. S. I. Zhuk, V. A. Isaev, O. V. Grishenkova, A. V. Isakov, A. P. Apisarov, Y. P. Zaykov Silicon electrodeposition from chloride–fluoride melts containing  $\text{K}_2\text{SiF}_6$  and  $\text{SiO}_2$  // *J. Serb. Chem. Soc.* 2017. v.82 (1) p. 51–62.

УДК 66.067.8

А.Н. Коржов, С.А. Лоза,  
Н.А. Романюк, И.Д. Бондаренко  
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар  
*shtrih\_ooo@mail.ru*

#### **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ КИСЛЫХ СТОКОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

В последние годы усилился интерес к ресурсосберегающим технологиям очистки, переработки и утилизации техногенных отходов (на предприятиях металлоперерабатывающей промышленности в технологических процессах образуются сточные воды с большим содержанием кислот, тяжёлых металлов и других компонентов). Такие токсичные вещества оказывают негативное влияние на человека и окружающую среду. По количеству сточных вод металлургическая промышленность находится на лидирующих позициях (при производстве тонны товарного никеля, ванадия, хрома, кобальта и др. образуется не менее ста кубических метров сливных вод) [1]. Для очистки и переработки сточных

вод применяют различные методы и способы (классические физико-химические, реагентные, электрохимические, мембранные и другие) [2]. Согласно национальной программе РФ «Экология» 2018-2024 – основной задачей является создание и внедрение энергоэффективных, ресурсосберегающих технологий водоснабжения (с нулевым жидким сбросом ZLD) с возможностью возврата ценных компонентов в производственный цикл.

В данной работе мы использовали электрохимический [3] метод переработки сточных вод (электродиализ с биполярными мембранами). Исследования проводили на лабораторной электродиализной установке (ЭД), мембранный пакет которой изготовлен из мембран отечественного производства РФ (МА-41, МК-40) размером 7,5 см x 25 см и электродиализаторе-синтезаторе (ЭДС) с применением биполярных мембран производства РФ МБ-3 и экспериментальной биполярной мембраной с нанокатализатором. Для экспериментов использовали ванадийсодержащий раствор, моделирующий сточные воды ванадиевого производства (в составе которого присутствуют: магний, ванадий, марганец, железо, кальций, сульфат ионы) с общим содержанием сульфатов 20-22 г/л.

Таким образом, в процессе переработки (электродиализ с биполярными мембранами) ванадийсодержащего раствора удалось переработать более 90% исходного раствора, рекуперировать большую часть серной кислоты и ионов металлов из исходного раствора. Обессоленный раствор по нормативам допускается для использования в технических целях в производство. Для полного извлечения серной кислоты и тяжёлых металлов возможно дальнейшая переработка концентрированного и обессоленного растворов с применением концентратора (ЭДК). Параметры растворов до и после электрохимической обработки показаны в таблице 1.

**Таблица 1 – Состав растворов после электродиализной переработки**

	pH	Концентрация H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , г/л	Концентрация SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> г/л
Исходный раствор	1,15	12,3	21,60
Камера концентрирования	0,69	39,3	51
Камера обессоливания	2,29	1,02	1,8

Анализ результатов данной исследовательской работы говорит о возможности создания перспективной, комплексной, ресурсосберегающей (на основе элетродиализа с биполярными мембранами) технологии переработки стоков металлургических предприятий с возможностью рекуперации кислот, регенерации природных ресурсов и предотвращению загрязнения окружающей среды.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ Госзадание проект 10.3091.2017/ПЧ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Большина Е.П. Экология металлургического производства. Новотроицк: НФ НИТУ «МИСиС», 2012, 155 с.
2. Сидорова. Л.П., Методы очистки промышленных сточных вод. Екатеринбург: ФГАОУ ВПО УрФУ, 2015, 114 с.
3. Пурселли Ж., Электродиаз с биполярными мембранами: основы метода, оптимизация применение, Электрохимия, 2002, Т.38, №8, С.1026-1033.

Т.В. Галковский, Н.В. Богомазова, И.М. Жарский  
Белорусский Государственный Технологический Университет, Минск.  
tgalkovskiy@gmail.com

### ПОСЛОЙНЫЙ ИОННЫЙ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СУЛЬФИДОВ $SnS$

Развитие технологии производства наноэлектронных устройств сопряжено с разработкой ресурсосберегающих, экологичных, доступных методов формирования наноэлементов функциональных структур актуальных приборов, например химических сенсоров, солнечных элементов, фотодиодов. Возможным вариантом такой технологии является нанотехнологический метод ионного наслаивания или метод SILAR (Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction), который позволяет послойно формировать структурные элементы различной мерности с заданными электрофизическими свойствами при использовании несложного оборудования, а также разбавленных жидкофазных прекурсоров. Кроме того, к числу доступных методов формирования сульфидных пленок можно отнести также традиционную технологию электрохимического осаждения [1].

Объектами исследований в данной работе являлись тонкие пленки  $SnS_x$ . Выбор материала связан с тем, что узкозонный халькогенидный полупроводник класса  $A^4B^6$   $SnS$  является доступным, технологичным материалом и исследуется в связи с перспективами использования, например, в альтернативных недорогих солнечных элементах благодаря высокому значению коэффициента оптического поглощения.

Целью данной исследовательской работы являлось проведение сравнительного эксперимента по формированию пленок сульфидов олова методами ионного наслаивания и электроосаждения на поверхности планарных подложек ИТО/стекло при использовании источников одинаковой химической природы. В частности в качестве источника металлического компонента пленок использовался раствор  $SnCl_2$ , а в качестве источника