

методика расчета сложно-определяемых равновесных концентраций ионов, образующихся при гидролизе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорохова, Е. Н. Задачи и вопросы по аналитической химии. / Е. Н. Дорохова, Г. В. Прохорова. – М.: Мир, 2001. – 267 с.
2. Васильев, В. П. Аналитическая химия: В 2 кн. Кн. 1: Титриметрические и гравиметрические методы анализа: учеб. для студ. вузов, обучающихся по химико-технол. спец. / В. П. Васильев. – М.: Дрофа, 2004. – 368 с.
3. Шуляк И.В., Малашонок И. Е. Расчёт равновесий в гомогенных растворах сильных и слабых электролитов. Біялогія і хімія. 2017, №5, с.50–56.
4. Шуляк И.В., Малашонок И.Е., Карпицкая А.В., Хлопина Т.С. Теоретическое исследование концентраций компонентов в растворах фосфорной кислоты. Материалы Международ. научно-практич. конференции по химии и хим. образованию «Менделеевские чтения – 2017», Брест, 24 февраля 2017 г.; БрГУ, Брест, 2017. – С.147–150.

УДК 621.794.4:661.862.22

Магистрант Т.В. Галковский
Науч. рук. доц. Н.В. Богомазова,
(кафедра химии, технологии электрохимических производств
и материалов электронной техники, БГТУ)

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ЭЛЕКТРОННО- ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОЧНЫХ СТРУКТУР, ВКЛЮЧАЮЩИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ОКСИДЫ Sn, W, Mo

Получение наноразмерных слоев различных материалов, выяснение природы и закономерностей процессов, протекающих под действием различных энергетических факторов, представляют значительный интерес как для физики и химии твердого состояния, так и в связи с необходимостью разработки реальных систем с управляемым уровнем чувствительности к различным внешним воздействиям [1].

В мировом производстве применяется широкий спектр различных технологий нанесения пленочных покрытий, используемых в качестве активного слоя химических сенсоров, фотоэлементов, термогенераторов и других устройств. Однако зачастую для формирования пленок необходимо либо использование сложного оборудования, в част-

ности вакуумных установок, либо обеспечение жестких физико-химических условий, например, высоких температур обработки (более 500 °С). В связи с этим для процесса нанесения пленочных структур актуально использование простых и дешевых методов, таких как метод ионного наслаивания, по технологии «layerbylayer» [2].

Благодаря своим особым физико-химическим свойствам оксиды молибдена и олова находят применение в таких устройствах электронной техники, как электрохромные индикаторы и дисплеи, обратимые катоды литиевых батарей, газовые сенсоры, элементы памяти и др. [3].

В последнее время газочувствительные свойства пленок WO_3 широко используются при создании резистивных и полупроводниковых сенсоров взрывоопасных (H_2 , C_xH_y) и экологически вредных газов (CO , NO_2 и др.).

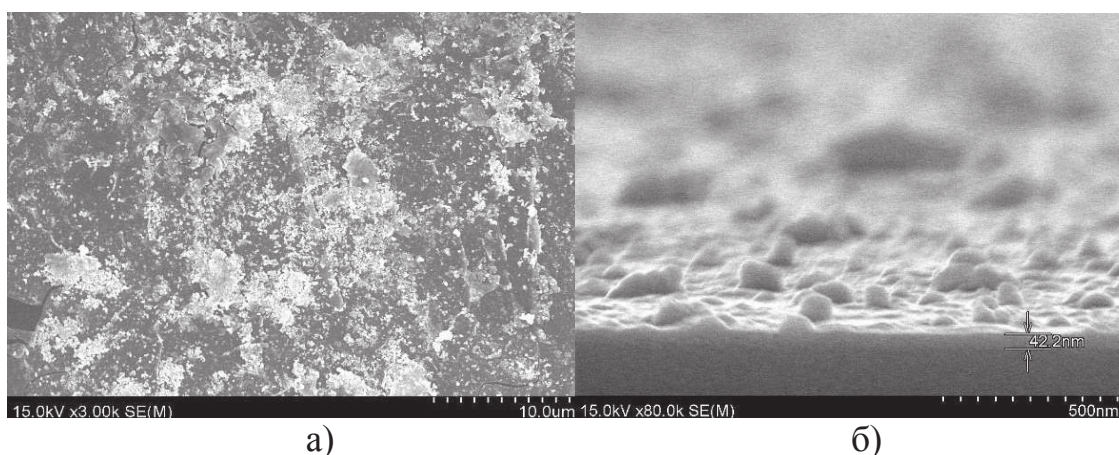
С помощью метода ионного наслаивания нами были сформированы пленки состава $Sn_xW_yO_z$ и $Sn_xMo_yO_z$ различной толщины при использовании различных прекурсоров. Функциональные покрытия с номинальной толщиной 20, 30 и 60 монослоев (МС) формировались на поверхности стеклянных подложек и кремниевых пластин.

Таблица 1 – Условия получения оксидных пленочных структур

№ Образца и его природа	Толщина функционального слоя		Условия получения
	Номинальная, МС	По данным электрон- микроскопии, мкм	
1 $Sn_xMo_yO_z$	20	$42 \cdot 10^{-3}$	0,01 Na_2MoO_4 pH=6,5; 0,01 SnF_2 pH=2,8
2 $Sn_xMo_yO_z$	30	0,946	0,01 $(NH_4)_2Mo_2O_7$ pH=6,5; 0,01 SnF_2 pH=2,8
3 $Sn_xW_yO_z$	30	$48 \cdot 10^{-3}$	0,01 Na_2WO_4 pH=8,0; 0,01 $SnCl_2$ pH=2,8
4 $Sn_xW_yO_z$	60	36,1	0,01 Na_2WO_4 pH=8,0; 0,01 SnF_2 pH=2,8

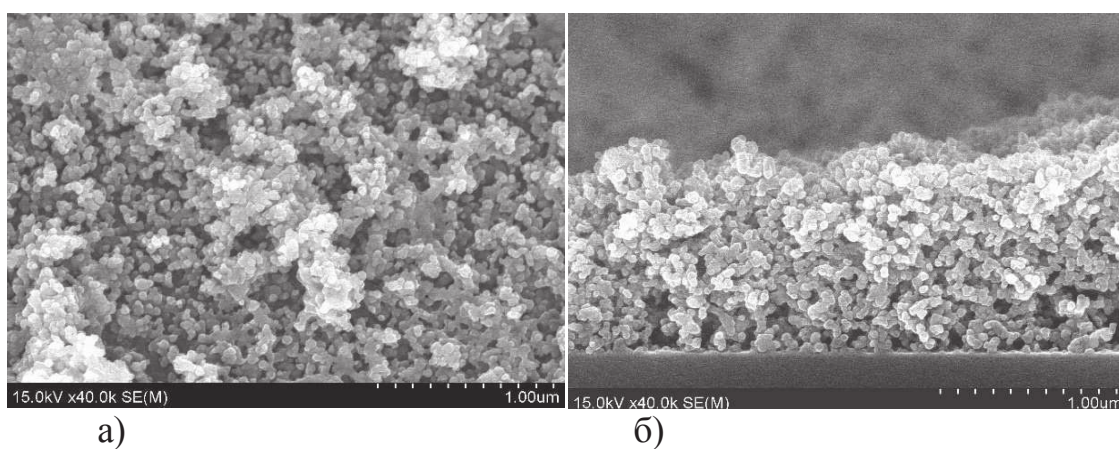
Для синтеза образцов нами использовались растворы Na_2MoO_4 , Na_2WO_4 , $(NH_4)_2Mo_2O_7$, SnF_2 и $SnCl_2$ с концентрацией 0,01 моль/л. Выдержка в каждом из растворов длилась в течении 30 с, после чего проводилась окончательная термическая обработка при температуре 100 °С в течении 30 мин (таблица 1).

Анализ данных электронной микроскопии образца № 1 позволяет сделать вывод о том, что наслаивание протекало очень медленно при использовании раствора Na_2MoO_4 , в то время как в случае образца № 2, наслаивание протекало значительно быстрее (рисунок 1, 2).

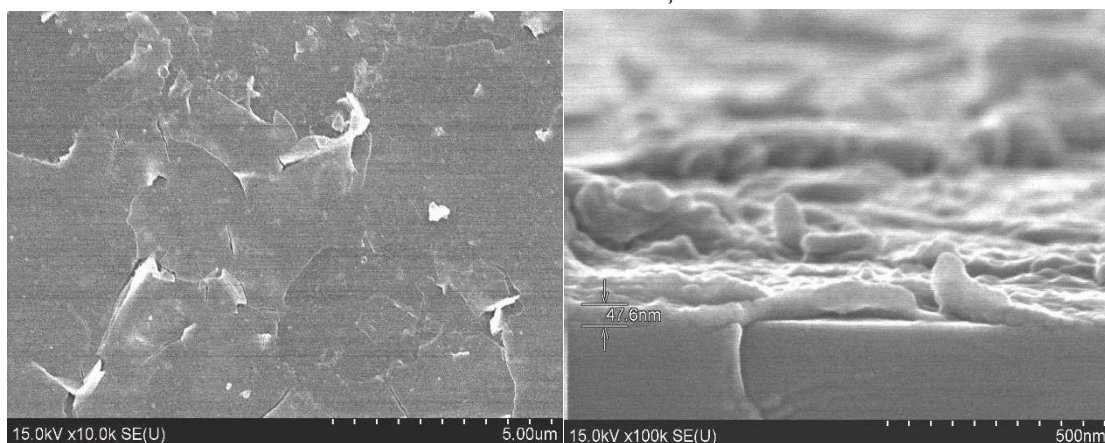


а) б)
Рисунок 1 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) образца № 1

В случае образца № 3, при синтезе которого использовался хлорсодержащий катионный прекурсор, не наблюдалось существенного роста функционального слоя, в то время как в случае образца № 4 зафиксировано аномально скоростное зарастивание подложки (рисунок 3, 4).

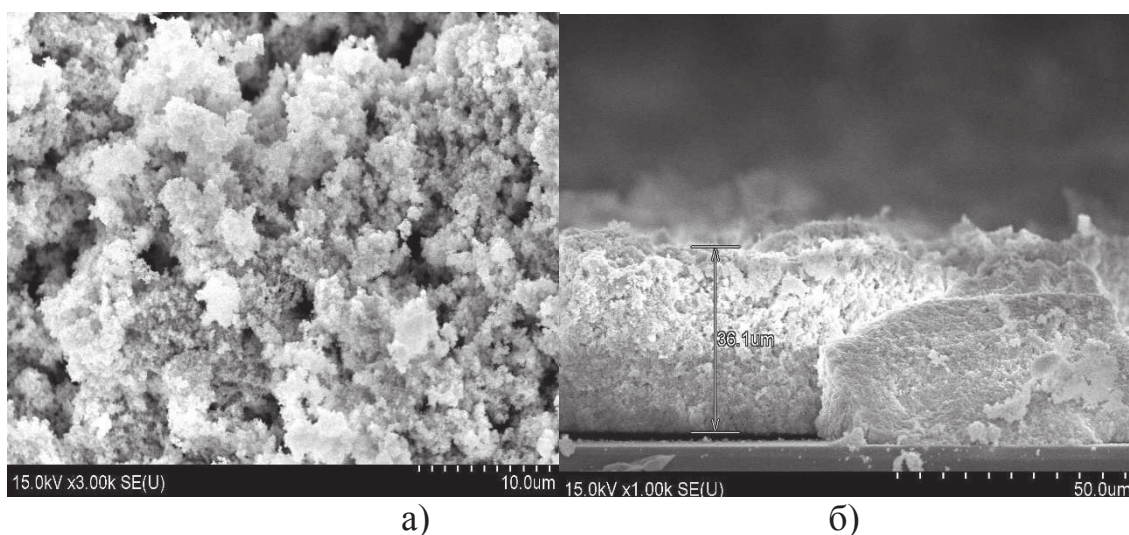


а) б)
Рисунок 2 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) образца № 2



а)
б)

Рисунок 3 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) образца № 3



а)

б)

Рисунок 4 – Электронно-микроскопическое изображение поверхности (а) и скола (б) образца № 4

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что молибденсодержащие слои формируются с пониженной скоростью. Для повышения скорости наслаивания пленки предпочтительно использование фторида, а не хлорида олова, а также катионных прекурсоров более сложного состава (таблица 1). Как видно из приведенных изображений, пленки, сформированные с использованием раствора $(\text{NH}_4)_2\text{Mo}_2\text{O}_7$, имеют ярко выраженное гранулированное строение и соответственно облают более развитой поверхностью.

Исследование электрофизических свойств структур № 1 и № 2 оказалось затруднительным, так как наблюдалось электросопротивле-

ние на уровне 10^{11} Ом. Температурная зависимость электросопротивления образца № 3 указывает, что с ростом температуры электросопротивление повышается, в то время как данная зависимость для образца № 4 указывает на то, что с ростом температуры электросопротивление понижается (таблица 2).

Таблица 2 – Электрофизические свойства полученных структур

№ образца	R ₂₀	R ₂₈₀	R ₂₀ /R ₂₈₀
1	≈10 ¹¹ Ом	≈10 ¹¹ Ом	-
2	≈10 ¹¹ Ом	≈10 ¹¹ Ом	-
3	322 кОм	1456 кОм	0,221
4	6,12 МОм	19,14 кОм	319,71

Исследование хемочувствительных свойств полученных структур показало, что существенный отклик на присутствие химически активных газов в воздушной среде продемонстрировал образец № 4. В частности, при напуске паров уксусной кислоты при температуре функционального хемочувствительного слоя 100 °С уменьшение поверхностного электросопротивления образца составило 86 %. Однако при этом наблюдается повышенное время отклика у данных структур.

На основании проведенной серии экспериментов по ионному наслаиванию и исследованию электрофизических свойств пленочных структур на основе смешанных оксидов Sn_xW_yO_z и Sn_xMo_yO_z можно сделать вывод о том, что использование 0,01 М раствора SnF₂ в качестве катионного прекурсора и 0,01 М раствора Na₂WO₄ в качестве анионного прекурсора позволяет получать пленки толщиной до 30 мкм с развитой поверхностью. Подтверждена хемочувствительная активность вольфрамсодержащих слоев в присутствии паров уксусной кислоты в воздушной среде при невысокой температуре детектирования порядка 100 °С.

ЛИТЕРАТУРА

1 Толстой, В.П. Синтез тонкослойных структур методом ионного наслаивания/ В.П. Толстой Журнал неорганической химии // . – 2013. – Т.40. – С. 240-245.

2 Антоненко, С.В. Технология тонких пленок: Учебное пособие / С.В. Антоненко. – М.: МИФИ. – 2014. – 104 с.

3 Обвинцева, Л. А. Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде /Л. А. Обвинцева // Российский химический журнал. – 2016. – Т. 22, № 2. – С.113–121.