

УДК 546.723-31

DOI: 10.17223/24135542/2/8

В.А. Гутник, О.С. Халипова, С.А. Кузнецова

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
(г. Томск, Россия)*

Влияние салициловой кислоты на свойства пленок Fe_2O_3 , полученных из пленкообразующего раствора на основе хлорида железа(III)

Данная работа посвящена изучению влияния салициловой кислоты в составе пленкообразующего раствора на основе хлорида железа(III) на оптические свойства пленок Fe_2O_3 , полученных из этих растворов. Морфология и свойства пленок исследованы методами растровой электронной спектроскопии, эллипсометрии, УФ-спектроскопии. Показано, что введение органического лиганда в состав пленкообразующего раствора приводит к получению более тонких пленок Fe_2O_3 , характеризующихся высоким значением показателя преломления 2,6 и значением коэффициента пропускания в видимой области спектра не более 92%.

Ключевые слова: пленкообразующий раствор; хлорид железа(III); салициловая кислота; Fe_2O_3 ; пленки.

Введение

Пленки $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ в настоящее время находят широкое применение в производстве перераспределяющих покрытий различного спектра действия [1–3] благодаря тому, что $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ характеризуется высокой термодинамической стабильностью при высоких температурах, относительно высоким показателем преломления, значением ширины запрещенной зоны (~2,2–2,4 эВ), позволяющим использовать значительную часть солнечного спектра, электрохимической стабильностью [2, 4, 5]. В качестве прекурсоров в химических методах синтеза данного оксида в ряде работ [4, 6–8] предлагается использовать растворы на основе солей железа(III) с органическими соединениями (ацетилацетоном, лимонной кислотой), которые повышают адгезионную способность растворов к подложкам за счет высокой поверхностной ионизации на твердых телах. Однако данные о влиянии органического лиганда на свойства синтезируемых пленок практически отсутствуют. Поэтому настоящая работа посвящена установлению влияния салициловой кислоты в составе пленкообразующего раствора (ПОР) на оптические свойства пленок Fe_2O_3 .

Экспериментальная часть

Пленки Fe₂O₃ были получены из спиртовых ПОР на основе гексагидрата хлорида железа(III) без органического лиганда и с добавлением салициловой кислоты в соотношении металл : лиганд, равном 1 : 1. Выбор салициловой кислоты основан на том, что π -сопряженная система бензольного кольца C₆H₄ОНCOOH может участвовать в адсорбции ПОР на твердотельных подложках [9], увеличивая сцепление пленок с последними. В качестве растворителя использовали этиловый спирт (96 масс.%).

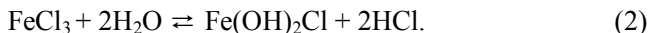
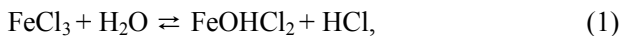
Пленкообразующую способность растворов оценивали методом вискозиметрии [10]. Вязкость растворов измеряли при комнатной температуре, применяя капиллярные вискозиметры типа ВПЖ-2 с диаметром капилляра 0,73 мм. Состав пленкообразующего вещества в растворах устанавливали методами ИК- и УФ-спектроскопии. ИК-спектры высушенных при 60°C ПОР снимали на спектрофотометре Thermo Nicolet NEXUS FT IR в интервале частот волн 500–4000 см⁻¹. Анализ ИК-спектров проводили на основании литературных данных [11, 12]. Оптическую плотность ПОР [FeCl₃–C₆H₄ОНCOOH–C₂H₅ОН] в УФ области спектра исследовали на сканирующем спектрофотометре ПЭ-5400УФ в диапазоне длин волн 220–400 нм. Анализ полученного спектра поглощения проводили на основании литературных данных [13]. Для сравнения получали спектры поглощения спиртового раствора салициловой кислоты.

Температурные режимы формирования оксидов железа(III) из ПОР устанавливали методом термического анализа, проводя термическое разложение высушенных при 60°C ПОР на синхронном термическом анализаторе STA 449 C Jupiter в диапазоне температур 25–900°C. Состав продуктов термической деструкции исследуемых ПОР определяли методом рентгенофазового анализа на дифрактометре Rigaku MiniFlex 600 с использование базы данных PDF-2.

Пленки Fe₂O₃ из ПОР на кремниевых подложках получали методом центрифугирования при скорости вращения центрифуги 4000 обр./мин, на стеклянных подложках – методом вытягивания со скоростью вытягивания 2–3 мм/мин. С целью удаления растворителя и повышения адгезии ПОР к подложке полученные образцы сушили в сушильном шкафу 1 ч при температуре 60°C. Отжиг пленок проводили в муфельной печи 1 ч при температуре 600°C. Морфологию полученных пленок исследовали методом растровой электронной микроскопии на растровом электронном микроскопе (РЭМ) Hitachi TM-3000. Толщину (d) и показатель преломления (n) пленок оценивали методом эллипсометрии, проводя измерения на лазерном эллипсометре SE400advanced. Пропускание пленок Fe₂O₃ на стекле в видимой области спектра изучали на спектрофотометре «ПЭ-5400УФ» в диапазоне длин волн 400–1000 нм.

Результаты и их обсуждение

Пленкообразующий этанольный раствор на основе хлорида железа(III) без добавления органического лиганда представляет собой систему, в которой присутствует равновесие между ионами Fe^{3+} и $\text{Fe}(\text{OH})^{n+}$, образуемыми в результате частичного гидролиза хлорида железа(III) (уравнения 1, 2), и противоионами Cl^- .



Это подтверждается результатами ИК-спектроскопии высушенного при 60°C ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$ (таблица).

Отнесение полос ИК-спектров высушенных при 60°C спиртовых растворов

Отнесение частот	$\nu, \text{см}^{-1}$		
	ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$	ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_6\text{H}_4\text{OHCOOH--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$	P-p $[\text{C}_6\text{H}_4\text{OHCOOH--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$
$\nu_{\text{as}}(-\text{OH}) + \nu_{\text{s}}(-\text{OH})$	3 403,97; 3 179,69; 2 924,95	3 405,75; 3 303,84; 3 181,73; 2 979,18; 2 359,04	3 700,30; 3 673,60; 3 686,80; 3 654,30; 3 465,90; 3 384,10; 2 849,20
$\delta(\text{HOH})$	1 595,11	1 588,85	
$\nu_{\text{as}}(\text{C=O})$	—	1 588,85; 1 519,01; 1 457,96	1 633,30; 1 605,60; 1 538,70
$\nu_{\text{s}}(\text{C=O})$	—	1 457,96; 1 383,65; 1 329,45	1 446,90; 1 361,80; 1 338,90
$\nu(-\text{OH}), \text{связ.}$	2181,00	—	
$\nu(\text{C--O})$ фенола	—	1 229,21; 1 159,02	1 149,30; 1 078,50; 1 046,80
$\delta(\text{C--H})$ плоские в 1,2-; 1,4-зам. кольца	—	1 094,71; 1 012,73	1 078,50; 927,30
$\delta(\text{C--H})$ не плоские в 1,2-; 1,4-зам. кольца	—	864,04; 802,34; 756,45	699,00; 712,10; 750,00; 778,90; 840,90; 819,60
$\delta(\text{OCO})$	—	625,14	641,60; 619,00
$\nu(\text{Fe--O})$	690,00	685,75	
$\nu(\text{Fe--O--H})$	1 014,76	—	
$\nu(-\text{OH})$ адсорб. H_2O	1 411,24; 1 325,00; 1 237,32	—	

При температуре 60°C из растворов удаляются только молекулы растворителя (этилового спирта), поэтому можно предположить, что состав высушенных ПОР соответствует составу раствора до высушивания. Так, в спектре данного ПОР имеется набор частот 3 403,97; 3 179,69; 2 924,95; 1 411,24; 1 325,00; 1 237,32; 1 595,11 см^{-1} , которые могут быть отнесены к колебаниям связей кристаллизационной воды в образце, а также гидрок-

сильной группы ($-OH$) [11, 12]. Присутствуют полосы колебаний связи при $1014,76$ и $690,00\text{ см}^{-1}$, которые, согласно литературным данным [Там же], характерны для колебаний связей $Fe-O-H$ и $Fe-O$ соответственно.

Введение салициловой кислоты в спиртовой раствор хлорида железа(III) приводит к подавлению гидролиза соли металла. Так, в ИК-спектре высушенного ПОР $[FeCl_3-C_6H_4OHCOOH-C_2H_5OH]$ отсутствуют колебания, характерные для связи $Fe-O-H$ и связанных гидроксильных групп, при $1014,76$ и $2181,00\text{ см}^{-1}$ соответственно. Помимо колебаний связей кристаллизационной воды в ИК-спектре высушенного ПОР с органическим лигандом присутствуют колебания связей, характерные для салицилат-иона: $\nu_{as}(C=O)$ $1588,85$; $1519,01$; $1457,96\text{ см}^{-1}$, $\nu_s(C=O)$ $1457,96$; $1383,65$; $1329,45\text{ см}^{-1}$ и $\nu(C-O)$ фенола $1229,21$; $1159,02\text{ см}^{-1}$. Наблюдаемое смещение полос поглощения ПОР в области карбонильной и фенольной групп в сравнении с полосами поглощения $-COOH$ и $-OH$ спиртового раствора салициловой кислоты указывает на бидентантный характер органического лиганда и образование связи иона железа(III) с салициловой кислотой как через карбонильную, так и через фенольную группу.

Взаимодействие хлорида железа(III) с салициловой кислотой в пленкообразующем растворе подтверждается и данными УФ-спектроскопии (рис. 1).

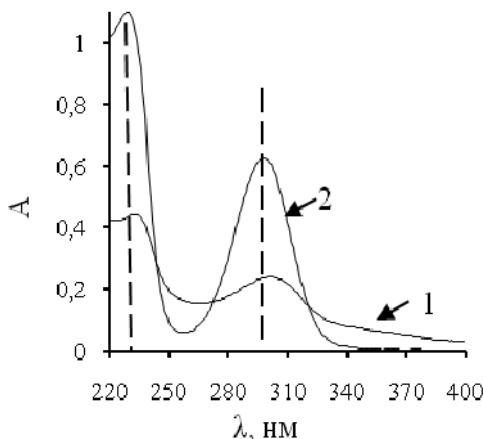


Рис. 1. Спектры поглощения в УФ-области: 1 – ПОР $[FeCl_3-C_6H_4OHCOOH-C_2H_5OH]$; 2 – раствора $[C_6H_4OHCOOH-C_2H_5OH]$

Из рис. 1 видно, что в УФ-спектре поглощения ПОР $[FeCl_3-C_6H_4OHCOOH-C_2H_5OH]$ (рис. 1, спектр 1) по сравнению со спектром поглощения спиртового раствора салициловой кислоты (рис. 1, спектр 2) наблюдаются снижение интенсивности и смещение в более длинноволновую область максимумов поглощения $\pi \rightarrow \pi^*$ и $n \rightarrow \pi^*$ электронного перехода в салицилат-ионе [13] при $\lambda = 230\text{ нм}$ и $\lambda = 297\text{ нм}$ соответственно (рис. 1, спектр 2), что указывает на взаимодействие соли металла с органическим лигандом в растворе (уравнение 3).



Таким образом, ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_6\text{H}_4\text{ОНСООН--C}_2\text{H}_5\text{ОН}]$ представляет собой спиртовой раствор, в котором присутствуют комплексные ионы салицилата железа(III) с противоионами хлора.

Одним из критериев получения воспроизводимых качественных равномерных пленок является стабильное значение вязкости пленкообразующих растворов во времени [14]. Как видно из рис. 2, кривые изменения вязкости ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_2\text{H}_5\text{ОН}]$ и ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_6\text{H}_4\text{ОНСООН--C}_2\text{H}_5\text{ОН}]$ во времени имеют схожий характер, но отличаются значениями вязкости.

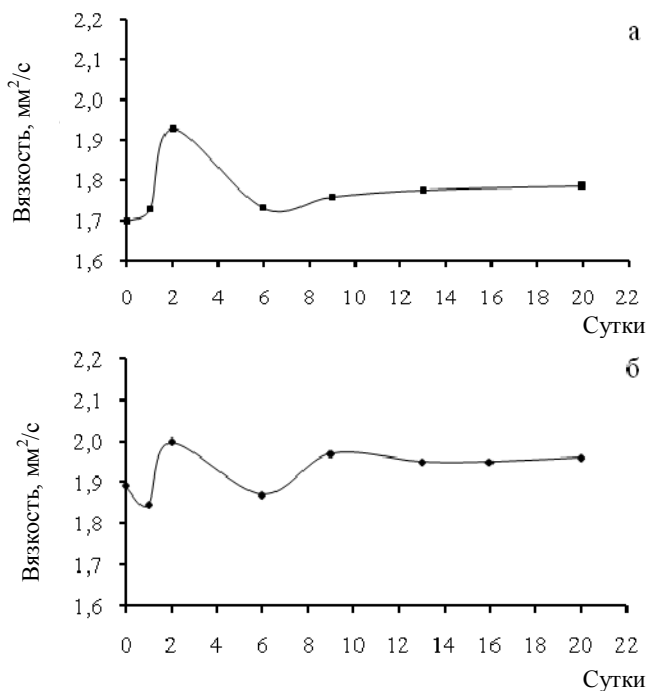


Рис. 2. Кривые изменения вязкости ПОР во времени:
а – ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_2\text{H}_5\text{ОН}]$; б – ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_6\text{H}_4\text{ОНСООН--C}_2\text{H}_5\text{ОН}]$

Согласно литературным данным, формирование пленкообразующей способности растворов во времени может идти за счет процессов гидролиза, комплексообразования, поликонденсации и электростатического взаимодействия растворенных ионов между собой и молекулами растворителя [10, 15]. Реакции гидролиза и комплексообразования имеют высокие константы скорости и протекают в растворах практически мгновенно. Это также подтверждается результатами УФ-спектроскопии исследуемого ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_6\text{H}_4\text{ОНСООН--C}_2\text{H}_5\text{ОН}]$ в день его приготовления. Таким образом, можно предположить, что формирование исследуемых ПОР во времени, сопровождаясь ростом вязкости, протекает за счет электростатиче-

ских взаимодействий между ионами Cl^- и ионами Fe^{3+} и $Fe(OH)^{n+}$ в случае ПОР $[FeCl_3-C_2H_5OH]$, и / или комплексными ионами салицилата железа(III), как в случае ПОР $[FeCl_3-C_6H_4ONHCOOH-C_2H_5OH]$ в растворе. Снижение вязкости ПОР вызвано разрушением исходной структуры растворителя и формированием новой структуры ПОР под воздействием растворенных веществ. Значение вязкости исследуемых ПОР стабилизируется на 9-е сут (рис. 2), что связано с достижением равновесного состояния, и обеспечивается возможность получения пленок со стабильными свойствами.

Методом термического анализа было установлено, что процесс термической деструкции исследуемых ПОР завершается при температуре $600^\circ C$ (рис. 3).

Согласно результатам рентгенофазового анализа, при данной температуре формируются однофазные системы $\alpha-Fe_2O_3$ с параметрами элементарной ячейки $a = b = 5,0332 \text{ \AA}$ и $c = 13,7498 \text{ \AA}$ для образцов, полученных из ПОР $[FeCl_3-C_2H_5OH]$, и с параметрами $a = b = 5,0403 \text{ \AA}$ и $c = 13,7517 \text{ \AA}$ для образцов, полученных из ПОР $[FeCl_3-C_6H_4ONHCOOH-C_2H_5OH]$.

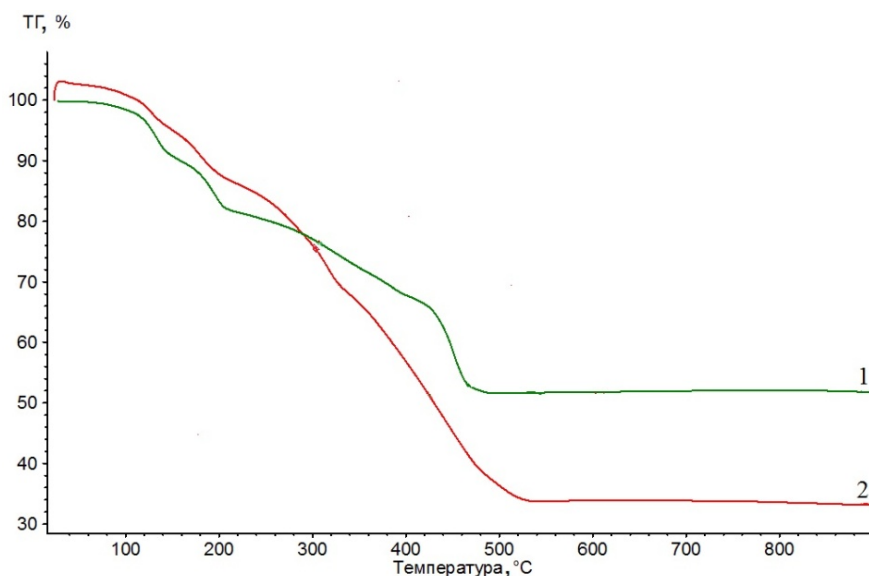


Рис. 3. ТГ-кривые: 1 – ПОР $[FeCl_3-C_2H_5OH]$; 2 – ПОР $[FeCl_3-C_6H_4ONHCOOH-C_2H_5OH]$

Результаты растровой электронной микроскопии (рис. 4) показали, что пленки Fe_2O_3 , полученные на кремниевых и стеклянных подложках из ПОР $[FeCl_3-C_2H_5OH]$, однородные и не имеют трещин на поверхности (рис. 4, а), в то время как на пленках Fe_2O_3 , полученных из ПОР $[FeCl_3-C_6H_4ONHCOOH-C_2H_5OH]$, наблюдаются уплотнения (рис. 4, б).

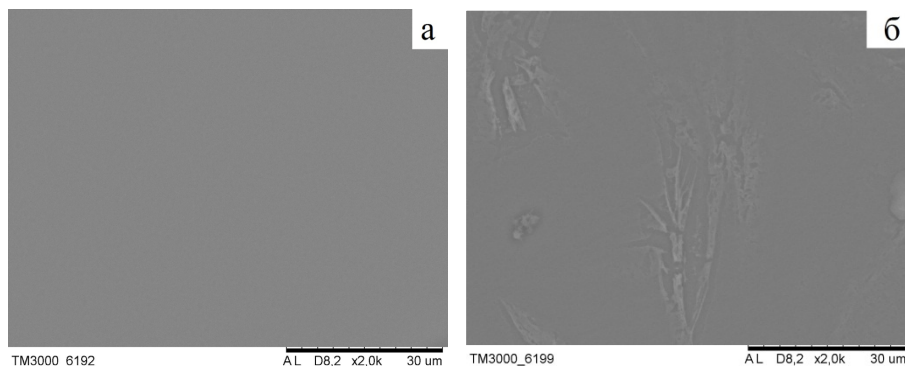


Рис. 4. Микрофотографии поверхности пленок Fe_2O_3 , полученных на кремниевых подложках из растворов: *а* – ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$; *б* – ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_6\text{H}_4\text{ONHCOOH--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$

Неоднородность пленок Fe_2O_3 , полученных из ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_6\text{H}_4\text{ONHCOOH--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$ на стеклянных подложках, приводит к снижению их пропускающей способности в видимой области спектра (рис. 5). Как видно из рис. 5 (кривая 2), коэффициент пропускания однослойной пленки Fe_2O_3 , полученной из ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_6\text{H}_4\text{ONHCOOH--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$, достигает значения 83% при $\lambda = 600$ нм, в то время как коэффициент пропускания однослойной пленки Fe_2O_3 , полученной из ПОР без органического лиганда, при данной длине волны составляет 91% (рис. 5, кривая 1).

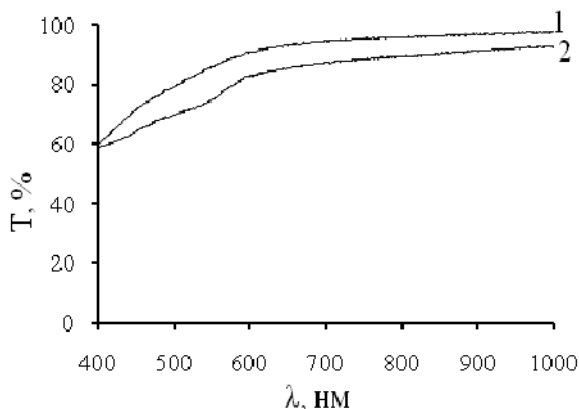


Рис. 5. Спектры пропускания пленок Fe_2O_3 : 1 – ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$; 2 – ПОР $[\text{FeCl}_3\text{--C}_6\text{H}_4\text{ONHCOOH--C}_2\text{H}_5\text{OH}]$

Согласно результатам эллипсометрии, пленки оксида железа(III) на кремниевых подложках, полученные из ПОР без добавления салициловой кислоты, характеризуются меньшим значением показателя преломления ($2,10 \pm 0,05$), чем пленки, полученные из раствора с добавлением органи-

ческого лиганда ($2,60 \pm 0,05$). Возможно, это связано с тем, что использование ПОР [FeCl₃–C₆H₄ОНСООН–C₂H₅ОН] приводит к получению более тонких пленок Fe₂O₃ ($d \sim 48,9 \pm 0,2$ нм) по сравнению с пленками ($d \sim 56,8 \pm 0,2$ нм), полученными из ПОР [FeCl₃–C₂H₅ОН]. Несмотря на то что вязкость ПОР без органического лиганда меньше вязкости ПОР с салициловой кислотой, получению более тонких пленок оксида железа (III) способствует большая потеря массы последнего раствора в ходе термолиза. Как видно из ТГ-кривых (рис. 3), остаточная масса Fe₂O₃ в случае разложения ПОР [FeCl₃–C₆H₄ОНСООН–C₂H₅ОН] составляет 33%, а в случае разложения ПОР [FeCl₃–C₂H₅ОН] – 52%.

Заключение

Таким образом, было установлено, что салициловая кислота в составе спиртового пленкообразующего раствора на основе хлорида железа (III) оказывает влияние на морфологию и толщину получаемых пленок оксида железа (III). Использование ПОР без добавления органического лиганда способствует получению пленок оксида железа (III) со значениями показателя преломления 2,2, толщины ~57 нм и коэффициента пропускания в видимой области спектра – 98%. Напротив, пленки Fe₂O₃, полученные из ПОР с салициловой кислотой, более тонкие (~49 нм) и характеризуются значением показателя преломления 2,6. Неоднородность данных пленок по толщине на поверхности подложки приводит к тому, что значение их коэффициента пропускания в видимой области спектра составляет менее 92%.

Литература

1. Lunt R.A., Jackson A.J., Walsh A. Dielectric response of Fe₂O₃ crystals and thin films // Chemical Physics Letters. 2013. Vol. 586. P. 67–69.
2. Dghoughi L., Elidrissi B., Berne'de C., Addou M., AlaouiLamrani M., Regragui M., Er-guig H. Physico-chemical, optical and electrochemical properties of ironoxide thin films prepared by spray pyrolysis // Applied Surface Science. 2006. Vol. 253. P. 1823–1829.
3. Al-Kuhaili M.F., Saleem M., Durrani S.M.A. Optical properties of iron oxide (α -Fe₂O₃) thin films deposited by the reactive evaporation of iron // Journal of Alloys and Compounds. 2012. Vol. 521. P. 178–182.
4. Kulkarni S.S., Lokhande C.D. Structural, optical, electrical and dielectrical properties of electrosynthesized nanocrystalline iron oxide thin films // Materials Chemistry and Physics. 2003. Vol. 82. P. 151–156.
5. Mahadik M.A., Shinde S.S., Rajpure K.Y., Bhosale C.H. Photocatalytic oxidation of Rhodamine B with ferric oxide thin films under solar illumination // Materials Research Bulletin. 2013. Vol. 48. P. 4058–4065.
6. Todorovska R.V., Groudeva-Zotova St., Todorovsky D.S. Spray pyrolysis deposition of α -Fe₂O₃ thin films using iron(III) citric complexes // Materials Letters. 2002. Vol. 56. P. 770–774.
7. Hyun Gil Cha, Chang Woo Kim, Young Hwan Kim, Mi Hyang Jung, Eun Sun Ji, Bijoy K. Das, Ju Chang Kim, Young Soo Kang. Preparation and characterization of α -Fe₂O₃ nano-

- rod-thin film by metal-organic chemical vapor deposition // *Thin solid films*. 2009. Vol. 517. P. 1853–1856.
8. Кузнецова С.А., Сенокосова И.А. Пленкообразующая способность спиртовых растворов хлорида железа (III) с ацетилацетоном // *Журнал прикладной химии*. 2010. Т. 83, вып. 11. С. 1803–1807.
 9. Зандберг Э.Я., Нездуров А.Л., Палеев В.И., Пономарев Д.А. Поверхностная ионизация ароматических углеводородов // *Теоретическая и экспериментальная химия*. 1988. Т. 24, № 6. С. 733–738.
 10. Эрдей-Груз Т. Явления переноса в водных растворах : пер. с англ. / под ред. Н.С. Лидоренко, Ю.А. Мазитова. М. : Мир, 1976. 596 с.
 11. Браун Д. Спектроскопия органических соединений. М. : Мир, 1992. 300 с.
 12. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М. : Мир, 1991. 456 с.
 13. Казыцына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ, ИК и ЯМР-спектроскопии в органической химии. М. : Высшая школа, 1971. 264 с.
 14. Верещагин В.И., Козик В.В., Сыряжкин В.И., Погребенков В.М., Борило Л.П. Полифункциональные неорганические материалы на основе природных и искусственных соединений. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2002. 359 с.
 15. Суйковская Н.В. Химические методы получения тонких пленок. Л. : Химия, 1971. 230 с.

Авторский коллектив:

Гутник Виктор Александрович – студент 3-го курса химического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: gutnik_viktor950705@mail.ru.

Халипова Ольга Сергеевна – канд. техн. наук, инженер-исследователь отдела «Новые материалы для электротехнической и химической промышленности» химического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: Chalipova@mail.ru.

Кузнецова Светлана Анатольевна – канд. хим. наук, доцент кафедры неорганической химии химического факультета Национального исследовательского Томского государственного университета (г. Томск, Россия). E-mail: onm@xf.tsu.ru.

Tomsk State University Journal of Chemistry, 2015, 2, 76-86. DOI: 10.17223/24135542/2/8

V.A. Gutnik, O.S. Khalipova, S.A. Kuznetsova

Tomsk State University (Tomsk, Russia)

Effect of salicylic acid on Fe₂O₃ films properties, obtained from the film-forming solution, based on iron chloride(III)

Relevance of the work was caused by absence of information in the literature about effect of organic ligand in composition of film-forming solution (precursor of synthesis) onto the properties of obtained Fe₂O₃ films. Nowadays these films are widely used in the production of coatings for many optical applications (interference filters, solar energy conversion and etc.), due to high thermodynamic stability at high temperatures, electrochemical stability, high refractive index; band gap's value (~ 2.2–2.4 eV), which allows utilization of a big fraction of the solar spectrum.

The main aim of the study was to determine effect of salicylic acid in the composition of film-forming solution onto the optical properties of Fe₂O₃ films.

In present work the composition of alcoholic film-forming solutions based on ferric chloride(III) with and without salicylic acid and theirs film-forming ability were

investigated by viscosimetry (VPZh-2 viscometer), IR-spectroscopy (Thermo Nicolett NEXUS FT IR spectrophotometer), and UV-spectroscopy (ИЭ-5400UV spectrophotometer). Temperature of destruction of film-forming solutions was determined by thermal analysis on STA 449 C Jupiter analyzer. The phase of the prepared films were characterized by X-ray diffraction (Rigaku MiniFlex 600 diffractometer). Films of iron oxide(III) were prepared by dip-coating and spin-coating techniques with the silicon and glass as the substrates. The surface morphology, thickness, refractive index and transmittance in the visible range of Fe_2O_3 films were investigated by spectrophotometry (ИЭ-5400UV spectrophotometer), ellipsometry (SE400 advanced ellipsometer) and scanning electron microscopy (Hitachi TM-3000 microscope).

The results indicate that organic ligand in composition of film-forming solution influences the properties of Fe_2O_3 films. Addition of salicylic acid to the film-forming solutions based on ferric chloride (III) inhibits salt hydrolysis, causes to formation a complex of iron(III) salicylate in solution, promotes viscosity increase and has no effect on the time during which solutions achieve stable ability of film-forming (9 days). According to X-ray powder diffraction and thermal analysis, annealing of film-forming solutions at 600°C results in formation of a single phase of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. The Fe_2O_3 films produced from FFS film-forming solution based on ferric chloride(III) have thicknesses (d) of 57 nm, refractive indices (n) of 2.2 and value of the transmittance – 98%. In comparison, the Fe_2O_3 films produced from film-forming solution based on ferric chloride(III) with salicylic acid are thinner (49 nm) and have refractive index of 2.6. The surface morphology of these films are not uniform, and it is the reason why their value of transmittance is less than 92%.

Key words: film-forming solution; iron chloride(III); salicylic acid; Fe_2O_3 ; films.

References

1. Lunt, R.A., Jackson, A.J. & Walsh, A. (2013) Dielectric response of Fe_2O_3 crystals and thin films. *Chemical Physics Letters*. 586. pp. 67-69. DOI: 10.1016/j.cplett.2013.09.023
2. Dghoughi, L., Elidrissi, B., Berne'de, C., Addou, M., Alaoui Lamrani, M., Regragui, M. & Erguig, H. (2006) Physico-chemical, optical and electrochemical properties of ironoxide thin films prepared by spray pyrolysis. *Applied Surface Science*. 253. pp. 1823-1829. DOI: 10.1016/j.apsusc.2006.03.021
3. Al-Kuhaili, M.F., Saleem, M. & Durrani, S.M.A. (2012) Optical properties of iron oxide ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) thin films deposited by the reactive evaporation of iron. *Journal of Alloys and Compounds*. 521. pp. 178-182. DOI: 10.1016/j.jallcom.2012.01.115
4. Kulkarni, S.S., Lokhande, C.D. (2003) Structure, optical, electrical and dielectrical properties of electrosynthesized nanocrystalline iron oxide thin films. *Materials Chemistry and Physics*. 82. pp. 151-156. DOI: 10.1016/S0254-0584(03)00212-8
5. Mahadik, M.A., Shinde, S.S., Rajpure, K.Y. & Bhosale, C.H. (2013) Photocatalytic oxidation of Rhodamine B with ferric oxide thin films under solar illumination. *Materials Research Bulletin*. 48. pp. 4058-4065. DOI: 10.1016/j.materresbull.2013.06.031
6. Todorovska, R.V., Groudeva-Zotova, St. & Todorovsky, D.S. (2002) Spray pyrolysis deposition of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ thin films using iron (III) citric complexes. *Materials Letters*. 56. pp. 770-774. DOI: 10.1016/S0167-577X(02)00611-0
7. Hyun Gil Cha, Chang Woo Kim, Young Hwan Kim, Mi Hyang Jung, Eun Sun Ji, Bijoy K. Das, Ju Chang Kim, Young Soo Kang. (2009) Preparation and characterization of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanorod-thin film by metal-organic chemical vapor deposition. *Thin solid films*. 517. pp. 1853-1856. DOI: 10.1016/j.tsf.2008.10.023
8. Kuznetsova, S.A. & Senokosova, I.A. (2010) Plenkoobrazuyushchaya sposobnost' spirovnykh rastvo-rov khlorida zheleza(III) s atsetilatsetonom [Film-forming capacity of alco-

- holic solutions of iron(III) with acetylacetone]. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 83(11). pp. 1935-1939.
9. Zandberg, E.Ya., Nezdyurov, A.L., Paleev, V.I., & Ponomarev, D.A. (1988) Poverkhnostnaya ionizatsiya aromaticheskikh uglevodorodov [Surface ionization of aromatic hydrocarbons]. *Teoreticheskaya i eksperimentalnaya khimiya – Theoretical and Experimental Chemistry*. 24(6). pp. 733-738.
 10. Erday-Gruz, T. (1976) *Yavleniya perenosa v vodnykh rastvorakh* [Transport phenomena in aqueous solutions]. Translated from English. Moscow: Mir.
 11. Braun, D., Floyd A. & Sainsbury, M. (1992) *Spektroskopiya organicheskikh soedineniy* [Spectroscopy of organic compounds]. Translated from English by A.A. Kiryushkin. Moscow: Mir.
 12. Nakamoto, K. (1991) *IK-spektry i spektry KR neorganicheskikh i koordinatsionnykh soedineniy* [Infrared and Raman spectra of inorganic and coordination compounds]. Translated from English by L.L. Kristenko. Moscow: Mir.
 13. Kazitsyna, L.A. & Kupletskaya, N.B. (1971) *Primenenie UF, IK u YaMR-spektroskopii v organicheskoy khimii* [Application of UV, IR and NMR spectroscopy in organic chemistry]. Moscow: Vysshaya shkola.
 14. Vereshchagin, V.I., Kozik, V.V., Syryamkin, V.I., Pogrebekov, V.M. & Borilo, L.P. (2002) *Polifunktsionalnye neorganicheskie materialy na osnove prirodnnykh i iskusstvennykh soedineniy* [Polyfunctional inorganic materials based on natural and synthetic compounds]. Tomsk: Tomsk State University.
 15. Suykovskaya, N.V. (1971) *Khimicheskie metody polucheniya tonkikh plenok* [Chemical methods of thin film production]. Leningrad: Khimiya.

Information about authors:

Gutnik Viktor A., III year student, Department of Chemistry, National Research Tomsk State University, Tomsk. E-mail: gutnik_viktor950705@mail.ru.

Khalipova Olga S., Ph.D. in Engineering Science, Research Engineer, Department "New materials for the electrical and chemical industries", Department of Chemistry, National Research Tomsk State University, Tomsk. E-mail: Chalipova@mail.ru.

Kuznetsova Svetlana A., PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Inorganic Chemistry, Department of Chemistry, National Research Tomsk State University, Tomsk. E-mail: onm@xf.tsu.ru.