

Д.Л. Байдаков, Н.В. Михайлова

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ АМОРФНЫХ ПЛЕНОК $MnCl_2-GeS_2-Ga_2S_3$ И $MnS-GeS_2-Ga_2S_3$, ОСАЖДЕННЫХ ИЗ РАСТВОРОВ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ В Н-БУТИЛАМИНЕ

Введение. Широкое использование халькогенидных стеклообразных полупроводников (ХСП) в различных областях техники ставит перед наукой задачу комплексных исследований физико-химических свойств современных полупроводниковых материалов.

Практический интерес представляет получение и изучение свойств многокомпонентных аморфных пленок на основе халькогенидных стекол, содержащих мышьяк, германий и галлий. Пленки контролируемого и воспроизводимого состава, идентичные с составом исходных стекол, могут быть использованы в качестве мембран ионоселективных электродов [Baidakov and Shkol'nikov, 2019], при создании белковых биочипов [Васильева, Борисова и др., 2014; Васильева, Белых и др., 2014].

Таким образом, поиск новых пленочных многокомпонентных халькогенидных материалов и комплексное изучение их свойств является актуальной задачей.

Для понимания процессов, происходящих в аморфных пленках, необходимо всестороннее исследование их электрических и электродных свойств, процессов легирования пленок ионопроводящими частицами, а также исследование зарядового состояния и локального окружения атомов в пленках и стеклах аналогичного состава.

В [Байдаков, Колужникова и др., 2020] изучены электродные свойства и проведено масс-спектрометрическое исследование халькогенидных пленок $MnS-GeS_2-Ga_2S_3$ и $MnCl_2-GeS_2-Ga_2S_3$, нанесенных из растворов халькогенидных стекол в н-бутиламине.

Установлено, что электродные свойства стекол и пленок, а также их масс-спектральные характеристики в пределах ошибок опыта не различаются.

Задача данной работы – исследование электропроводности пленок $MnCl_2-GeS_2-Ga_2S_3$ и $MnS-GeS_2-Ga_2S_3$, осажденных из растворов халькогенидных стекол в н-бутиламине.

Методика исследования.

1. Синтез стекол

Стекла $MnCl_2-GeS_2-Ga_2S_3$ и $MnS-GeS_2-Ga_2S_3$ синтезировали из элементарных веществ полупроводниковой чистоты и предварительно обезво-

женных хлорида и сульфида марганца [Байдакова и др., 1988]. Максимальная температура синтеза составляла 1150 °С.

2. Осаждение пленок

Методика осаждения аморфных пленок из растворов халькогенидных стекол в *n*-бутиламине подробно описана в [Байдаков, 2013; [Байдаков, Школьников, 2018].

3. Измерение удельной электропроводности пленок

Измерение удельной электропроводности пленок проводили на воздухе в планарной конфигурации.

Для измерений использовали ячейку с корпусом из пластмассы, на которой закреплены параллельно расположенные латунные контакты длиной 0,5 см, расстояние между которыми составляло 0,5 см.

Электропроводность низкоомных образцов с сопротивлением ниже 10^7 Ом измеряли на переменном токе с помощью прибора Tesla BM-507 в частотном диапазоне от 5 Гц до 500 кГц в температурном интервале 20–100 °С. Погрешность измерений не превышала 3–5%. Образцы закрепляли в измерительной ячейке и помещали в термостат. Контроль температуры проводили калиброванной хромель-алюмелевой термопарой. Точность термостатирования и измерения температуры составляла 0,2 °С.

Энергию активации переноса заряда E_a и предэкспоненциальный множитель σ_0 рассчитывали с использованием уравнения

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_a/kT). \quad (1)$$

Измерение удельной электропроводности образцов с сопротивлением более 10^7 Ом проводили на постоянном токе с помощью моста Р4060 в вышеуказанном температурном интервале. Точность измерений составляла 4–6%.

Удельное поверхностное сопротивление $\rho(s)$ пленок определяли из отношения

$$\rho(s) = R(s)/lb, \quad (2)$$

где $R(s)$ – поверхностное сопротивление образца, Ом; b – длина контактов, см; l – расстояние между контактами, см.

Удельную поверхностную электропроводность пленок рассчитывали по формуле

$$\sigma = 1/\rho(s) \quad (3)$$

Результаты исследования. Энергия активации переноса заряда E_a и логарифм предэкспоненциального множителя σ_0 для пленок $MnCl_2-GeS_2-Ga_2S_3$ и $MnS-GeS_2-Ga_2S_3$ приведены в табл. 1 и 2. Изотермы удельной электропроводности при 298 К указанных материалов изображены на рис. 1 и 2.

Таблица 1

**Состав и параметры удельной электропроводности пленок и стекол
MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃**

**Composition and parameters of specific electroconductivity
of MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃ films and glasses**

Содержание MnCl ₂ , мол. %	$R=[\text{GeS}_2]/[\text{Ga}_2\text{S}_3]$	Материал	E_a , эВ	$\lg\sigma_0$	
10	0	Пленка	1,02±0,06	3,3±0,2	
		Стекло	1,08±0,03	3,2 ±0,2	
20		Пленка	0,87±0,05	2,4±0,3	
		Стекло	0,84±0,04	2,3±0,3	
30		Пленка	0,78±0,04	2,2±0,2	
		Стекло	0,79±0,02	2,3±0,2	
40		Пленка	0,65±0,04	1,4±0,2	
		Стекло	0,67±0,02	1,5±0,2	
0		1/4	Пленка	0,86±0,04	1,3±0,7
			Стекло	0,84±0,03	1,3±0,6
10			Пленка	0,78±0,03	1,3±0,5
			Стекло	0,77±0,03	1,4±0,5
20	Пленка		0,69±0,03	1,2±0,5	
	Стекло		0,68±0,03	1,3±0,5	
30	Пленка		0,59±0,03	1,8±0,5	
	Стекло		0,60±0,03	2,1±0,5	
40	Пленка		0,52±0,03	2,4±0,5	
	Стекло		0,54±0,04	2,5±0,5	
0	1/2	Пленка	0,74±0,03	2,0±0,5	
		Стекло	0,75±0,04	1,9±0,5	
10		Пленка	0,65±0,04	2,1±0,3	
		Стекло	0,63±0,03	2,0±0,3	
20		Пленка	0,54±0,04	2,7±0,3	
		Стекло	0,54±0,03	2,6±0,3	
30		Пленка	0,43±0,02	2,9±0,3	
		Стекло	0,42±0,03	2,9±0,3	
40		Пленка	0,38±0,03	3,5±0,3	
		Стекло	0,37±0,04	3,4±0,4	

Таблица 2

**Состав и параметры удельной электропроводности пленок и стекол
MnS-GeS₂-Ga₂S₃**

**Composition and parameters of specific electroconductivity
of MnS-GeS₂-Ga₂S₃ films and glasses**

Содержание MnS, мол. %	$R=[\text{GeS}_2]/[\text{Ga}_2\text{S}_3]$	Материал	E_a , эВ	$\lg\sigma_0$	
0	0	Пленка	1,02±0,04	3,3±0,2	
		Стекло	1,04±0,03	3,2 ±0,2	
10		Пленка	0,96±0,05	2,4±0,3	
		Стекло	0,94±0,04	2,3±0,3	
20		Пленка	0,88±0,04	2,2±0,2	
		Стекло	0,89±0,02	2,3±0,2	
30		Пленка	0,82±0,04	1,4±0,2	
		Стекло	0,81±0,02	1,5±0,2	
40		Пленка	0,73±0,03	2,0±0,5	
		Стекло	0,74±0,04	1,8±0,4	
0		1/4	Пленка	0,95±0,04	1,3±0,7
			Стекло	0,93±0,03	1,3±0,6
10	Пленка		0,88±0,03	1,3±0,5	
	Стекло		0,87±0,03	1,4±0,5	
20	Пленка		0,83±0,03	1,2±0,5	
	Стекло		0,81±0,03	1,3±0,5	
30	Пленка		0,77±0,03	1,8±0,5	
	Стекло		0,75±0,03	2,1±0,5	
40	Пленка		0,72±0,03	2,4±0,5	
	Стекло		0,72±0,04	2,5±0,5	
0	1/2		Пленка	0,86±0,03	2,0±0,5
			Стекло	0,85±0,04	1,9±0,5
10		Пленка	0,78±0,04	2,1±0,3	
		Стекло	0,78±0,03	2,0±0,3	
20		Пленка	0,71±0,04	2,7±0,3	
		Стекло	0,72±0,03	2,6±0,3	
30		Пленка	0,67±0,02	2,9±0,3	
		Стекло	0,65±0,03	2,9±0,3	
40		Пленка	0,58±0,03	3,5±0,3	
		Стекло	0,59±0,04	3,4±0,4	

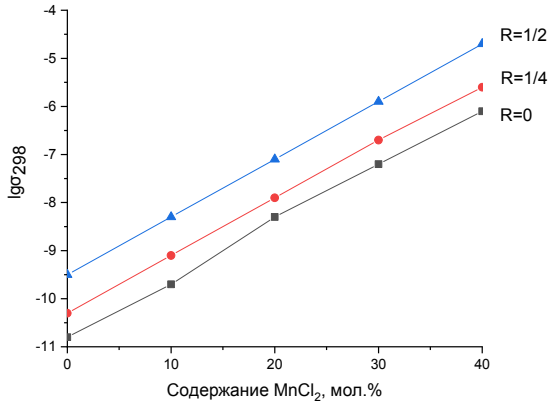


Рис. 1. Изотермы электропроводности пленок и стекол MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃ при T = 298 K

Fig. 1. Isotherms of specific electroconductivity of films and glasses with MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃ composition at 298 K

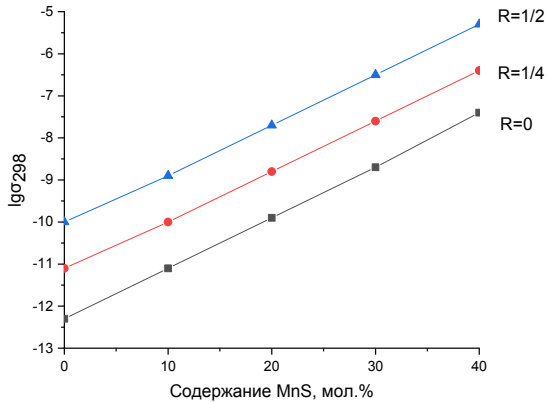


Рис. 2. Изотермы электропроводности пленок и стекол MnS-GeS₂-Ga₂S₃ при T = 298 K

Fig. 2. Isotherms of specific electroconductivity of films and glasses with MnS-GeS₂-Ga₂S₃ composition at 298 K

Для пленок MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃ и MnS-GeS₂-Ga₂S₃, осажденных из растворов стекол того же состава, по всем изученным разрезам R значения величин E_a и lgσ₀ в пределах ошибок опыта одинаковы, что качественно со-

гласуется с ранее полученными экспериментальными результатами по параметрам электропроводности для селенидных пленок, содержащих галогениды меди, серебра, свинца [Байдаков, 2013] и пленок, в состав которых входят сульфиды свинца и серебра [Baidakov and Shkol'nikov, 2019]. Из табл. 1 видно, что для всех $R = [\text{GeS}_2]/[\text{Ga}_2\text{S}_3]$ при увеличении содержания MnCl_2 с 0 до 40 мол.% значения энергии активации переноса заряда уменьшаются на 0,35–0,40 эВ. Для пленок и стекол $\text{MnS-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ (табл. 2) увеличение концентрации сульфида марганца приводит к уменьшению энергии активации не более, чем на 0,30 эВ. Это связано, по-видимому, с более значительным вкладом хлорида марганца в процесс разупорядочения сетки связей стеклообразной матрицы $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ [Байдакова и др., 1988].

Из рис. 1 и 2 видим, что при увеличении содержания хлорида и сульфида марганца от 10 до 40 мол. % проводимость пленок $\text{MnCl}_2\text{-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ и $\text{MnS-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ увеличивается на 3–4 порядка. Установлено [Легин, 1985; Легин и др., 1996], что аналогичный рост величин электропроводности наблюдается для халькогенидных пленок и стекол, содержащих иодиды и сульфиды меди, свинца и серебра. Для всех изученных разрезов $R = [\text{GeS}_2]/[\text{Ga}_2\text{S}_3]$, мол.%, электропроводность пленок $\text{MnCl}_2\text{-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ в среднем на порядок выше, чем в системе $\text{MnS-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$. Это объясняется более высокой электропроводностью халькогенидных стекол, содержащих галогениды d -металлов, по сравнению с сульфидными стеклами. Следует отметить, что в системах $\text{MnCl}_2\text{-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ и $\text{MnS-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ с одинаковым процентным содержанием солей марганца электропроводность пленок и стекол возрастает на 1–2 порядка при увеличении разреза R от 0 до 1/2 (т. е. при увеличении концентрации сульфида германия и уменьшении содержания сульфида галлия).

Таким образом, на основании полученных экспериментальных данных можно заключить, что величина электропроводности стекол и пленок $\text{MnCl}_2\text{-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ и $\text{MnS-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ не зависит от способа получения аморфного материала, а определяется содержанием солей марганца и соотношением сульфидов германия и галлия в стеклообразной матрице.

Аналогию параметров удельной электропроводности стекол и аморфных пленок, осажденных из раствора, можно объяснить механизмом растворения стекол в аминах.

В [Chern, Lauks, 1983] предложена схема взаимодействия сульфида мышьяка с аминами. На основе анализа состава, данных ИК- и ЭПР-спектроскопии показано существование в растворе фрагментов полимерной сетки стекла As_2S_3 , на поверхности которой находятся сульфидные группы, связанные с ионами алкиламмония.

В [Зенкин и др., 1997] изучали механизм взаимодействия бинарных халькогенидных стекол системы As-S с растворами аминов. Установлено, что растворение сульфидных стекол в аминах приводит к сохранению полимерной сетки стекол в растворе.

Таким образом, можно предположить, что и при растворении многокомпонентных марганецсодержащих стекол $\text{MnCl}_2\text{-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ и $\text{MnS-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ в н-бутиламине сохраняется полимерная структура объемных стекол, что приводит к аналогии параметров удельной электропроводности стекол и аморфных пленок.

Выводы

1. Впервые исследованы параметры удельной электропроводности аморфных пленок $\text{MnCl}_2\text{-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ и $\text{MnS-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$, осажденных из растворов халькогенидных стекол в н-бутиламине. Величина электропроводности пленок при 298К составляет $10^{-12}\text{--}10^{-5}$ Ом⁻¹·см⁻¹. Параметры электропроводности стекол и пленок аналогичного состава в пределах погрешностей одинаковы, т. е. не зависят от способа получения аморфного материала.

2. Значения электропроводности пленок $\text{MnCl}_2\text{-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ и $\text{MnS-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ прямо пропорциональны концентрации хлорида и сульфида марганца, а также определяются соотношением сульфидов германия и галлия в стеклообразной матрице.

3. Аналогия параметров удельной электропроводности марганецсодержащих халькогенидных стекол и пленок объяснена сохранением макромолекулярной структуры раствора стекол при нанесении и формировании аморфных пленок.

Библиографический список

Васильева А.С., Борисова Е.Н., Клотченко С.В., Тверьянович А.С., Тверьянович Ю.С. Стеклообразные пленки состава $\text{Ga}_6\text{Ge}_{17}\text{S}_{77}$ в качестве подложки для биочипов // Физика и химия стекла. 2014. Т. 40, №4. С. 615–618.

Васильева А.С., Бельх А.В., Клотченко С.В., Тверьянович А.С., Тверьянович Ю.С. Пленки состава $\text{As}_{39}\text{S}_{61}$ в качестве двумерной матрицы, селективной к белкам, для применения в биочипах // Физика и химия стекла. 2014. Т. 40, №4. С. 619–621.

Байдаков Д.Л., Колужникова Е.В., Михайлова Н.В. Масс-спектрометрическое исследование и электродные свойства халькогенидных пленок $\text{MnCl}_2\text{-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ и $\text{MnS-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$, полученных методом химического нанесения // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 230. С. 173–185.

Байдакова О.Л. Марганецсодержащие халькогенидные стекла : [автореф. дис.]. Л., 1989. 18 с.

Байдаков Д.Л. Электропроводность халькогенидных пленок $\text{CuI-AgI-As}_2\text{Se}_3$, $\text{PbI}_2\text{-AgI-As}_2\text{Se}_3$, полученных методом химического нанесения // Физика и химия стекла. 2013. Т. 39, № 5. С. 35–40.

Байдаков Д.Л., Школьников Е.В. Электродные свойства галогенидхалькогенидных стекол и аморфных пленок, полученных методом химического нанесения // Физика и химия стекла. 2018. Т. 44, № 4. С. 422–427.

Байдакова О.Л., Тверьянович Ю.С., Чернов С.В., Борисова З.У. Стеклообразование в системах $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-MnCl}_2$ (MnS) // Вестник ЛГУ. Сер.4. 1988. №18. С. 120–122.

Байдакова О.Л., Тверьянович Ю.С., Гутенев М.С., Бахвалов С.Г. Характер взаимодействия компонентов в стеклообразующих системах $\text{GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3\text{-MnS}$ (MnCl_2) // Физика и химия стекла. 1988. Т. 14, №5. С. 789–792.

Легин А.В. Халькогенидные стеклянные электроды, селективные к ионам свинца : [автореф. дис.]. Л., 1985. 16 с.

Легин А.В., Байдаков Д.Л., Власов Ю.Г. Тонкие пленки $\text{CuI-PbI}_2\text{-As}_2\text{Se}_3$, полученные методом химического нанесения // Физика и химия стекла. 1996. Т. 22, № 2. С. 130–136.

Зенкин С.А., Мамедов С.Б., Михайлов М.Д., Туркина Е.Ю., Юсупов И.Ю. Механизм взаимодействия монолитных стекол и аморфных пленок системы As-S с растворами аминов // Физика и химия стекла. 1997. Т. 23. №5. С. 560–568.

Baidakov D.L., Shkol'nikov E.V. Electroconductivity and Electrode Properties of Amorphous $\text{PbS-Ag}_2\text{S-As}_2\text{S}_3$ and $\text{PbS-AgI-As}_2\text{S}_3$ Films Deposited From Solutions of Glass in n-Butylamine // Glass Physics and Chemistry. 2019. Vol. 45, no. 5, pp. 349–354.

Chern G.C., Lauks I. Spin coated amorphous chalcogenide films: structural characterization // J. Appl. Phys. 1983. Vol. 54, no. 7. P. 2701–2705.

References

Baidakov D.L., Shkolnikov E.V. Elektroprovodnost i Elektrodnie Svoistva Amorphnich $\text{PbS-Ag}_2\text{S-As}_2\text{S}_3$ i $\text{PbS-AgI-As}_2\text{S}_3$ Plenok Nanesennih Iz Rastvorov Stekol v n-Butilamine. *Phis. i him. Stekla*, 2019, vol. 45, no. 5, pp. 349–354.\)

Vasilieva A.S., Borisova E.N., Klotchenko S.V., Tveryanovich A.S., Tveryanovich Yu.S. Stekloobraznie plenki sostava $\text{Ga}_6\text{Ge}_{17}\text{S}_{77}$ v kachestve podlozki dlya biochipov. *Phys. i chim. Stekla*, 2014, vol. 40, nol 4, pp. 615–618. (In Russ.)

Vasilieva A.S., Belih A.V., Klotchenko S.V., Tveryanovich A.S., Tveryanovich Yu.S. Plenki sostava $\text{As}_{39}\text{S}_{61}$ v kachestve dvumernoy matrichi, selektivnoy k belkam, dlya primeneniya v biochipach. *Phys. i chim. Stekla*, 2014, vol. 40, no. 4, pp. 619–621. (In Russ.)

Baidakov D.L., Koluznikova E.V., Michailova N.V. Mass-spektrmetricheskoe issledovanie i elektrodnie svoistva halkogenidnih plenok $\text{MnCl}_2\text{-GeS}_2\text{-Ga}_2\text{S}_3$ i MnS

GeS₂-Ga₂S₃, poluchennih metodom chimicheskogo nanesenia. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2020, iss. 230, pp. 173–185. (In Russ.)

Baidakova O.L. Marganecsoderghashie halkogenidnie stekla : [avtoref. diss.]. L., 1989. 18 p. (In Russ.)

Baydakov D.L. Elektroprovodnost chalcogenidnih plenok CuI-AgI-As₂Se₃, PbI₂-AgI-As₂Se₃, poluchennih metodom chimicheskogo nanesenia. *Phys. i chim. Stekla*, 2013, vol. 39, no. 5, pp. 35–40. (In Russ.)

Baidakov D.L. Shkolnikov E.V. Elektroodnie svoistva galogenidhalkogenidnih stekol i amorphnih plenok, poluchennih metodom himicheskogo nanesenia. *Phis. i him. Stekla*, 2018, vol. 44, no. 4, pp. 422–427. (In Russ.)

Baidakova O.L., Tveryanovich Yu.S., Chernov S.V., Borisova Z.U. Stekloobrazovanie v sisteme GeS₂-Ga₂S₃-MnS (MnCl₂). *Vestnik LGU*, 1988. Ser. 4, no. 18, pp. 120–122. (In Russ.)

Baidakova O.L., Tveryanovich Yu.S., Gutenev M.S., Bahvalov S.G. Harakter vzaimodeystviya komponentov v stekloobraznih sistemah GeS₂-Ga₂S₃-MnS (MnCl₂). *Phis. i him. Stekla*, 1988, vol. 14, no. 5, pp. 789–792. (In Russ.)

Legin A.V. Halkogenidnie steklyannie elektrody, selektivnie k ionam svinza: [avtoref. diss.]. L., 1985. 16 p. (In Russ.)

Legin A.V., Baydakov D.L., Vlasov Yu.G. Tonkie plenki CuI-PbI₂-As₂Se₃, poluchennie metodom chimicheskogo nanesenia. *Phys. i chim. Stekla*, 1996, vol.22, no. 2, pp. 130–136. (In Russ.)

Chern G.C., Lauks I. Spin coated amorphnie halkogenidnie plenki: strukturmaya harakteristika. *J. Prikl. Phys*, 1983, vol. 54, no. 7, pp. 2701–2705.

Zenkin S.A., Mamedov S.B., Michaylov M.D., Turkina E.Yu., Yusupov I.Yu. Mechanizm vzaimodeystviya monolitnich stekol i amorphnih plenok systemy As-S s rastvorami aminov. *Phys. i chim. Stekla*, 1997, vol. 23, no. 5, pp. 560–568. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 22.12.2020

Байдаков Д.Л., Михайлова Н.В. Электропроводность аморфных пленок MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃ и MnS -GeS₂-Ga₂S₃, осажденных из растворов халькогенидных стекол в н-бутиламине. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 238. С. 243–253. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.243-253

Стеклообразные халькогениды германия и галлия имеют большое практическое применение. Прозрачность в ИК-области спектра, малая чувствительность к примесям, высокая химическая устойчивость делают перспективными эти аморфные материалы для нужд электронной промышленности. Химическим осаждением из растворов халькогенидных стекол в н-бутиламине получены аморфные пленки MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃, MnS-GeS₂-Ga₂S₃ и исследована их электропроводность. Осаждение аморфных пленок

проводили по разработанной ранее методике Байдакова–Школьникова. Измерения абсолютных значений удельной электропроводности пленок в зависимости от величины сопротивления исследуемых образцов проводили на постоянном или переменном токе. Энергию активации переноса заряда и предэкспоненциальный множитель рассчитывали с использованием уравнения аррениусовского типа. Удельное поверхностное сопротивление определяли из соотношения произведения поверхностного сопротивления образца и длины контакта к расстоянию между контактами. Удельную поверхностную электропроводность пленок приняли как обратное число удельного поверхностного сопротивления. Установлено, что удельная электропроводность пленок при температуре 298 К лежит в пределах 10^{-12} – 10^{-5} Ом⁻¹·см⁻¹. Величина электропроводности определяется концентрацией солей марганца в пленках, а также молярным соотношением халькогенидов германия и галлия в стеклообразной сетке связей. При одинаковом составе аморфного материала (пленка или стекло) параметры электропроводности в пределах ошибки не отличаются. Схожесть параметров удельной электропроводности стекол и пленок MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃ и MnS-GeS₂-Ga₂S₃ объясняется механизмом растворения стекол в алифатических аминах.

Ключевые слова: аморфные халькогенидные пленки, осаждение пленок из растворов стекол в н-бутиламине, параметры удельной электропроводности халькогенидных пленок.

Baidakov D.L., Michailova N.V. Electroconductivity of the amorphous films MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃ and MnS-GeS₂-Ga₂S₃, prepared by spin-coating method. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2022, iss. 238, pp. 243–253 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.238.243-253

Glassy germanium and gallium chalcogenides have a wide range of practical applications. Transparency in the IR region of the spectrum, low sensitivity to impurities, and high chemical stability make these amorphous materials promising for the needs of the electronics industry. Chalcogenide films MnCl₂-GeS₂-Ga₂S₃ and MnS-GeS₂-Ga₂S₃ were synthesized from the solutions of chalcogenide glasses in n-butylamine and also the specific electroconductivity of films has been investigated. The deposition of amorphous films was carried out according to the previously developed Baidakov–Shkolnikov method. For the measurements of specific electroconductivity values the AC and DC methods are used. The charge transfer activation energy and the pre-exponential factor were calculated using an Arrhenius-type equation. The specific surface resistance was determined from the ratio of the product of the surface resistance of the sample and the contact length to the distance between the contacts. The specific surface electrical conductivity of the films was taken as the reciprocal of the specific surface resistance. With an increase in the manganese salts content in the chloride and sulphide systems an increase in the absolute

values of the electroconductivity are observed. It was found that germanium and gallium chalcogenides concentration ratios in the glass-forming network of bonds are important for conductivity level in films. The electroconductivity of chalcogenide glasses and films of a similar composition practically do not differ. The chalcogenide glasses mechanism of dissolution in aliphatic amines is explained the similar electroconductivity parameters of glasses and films.

Key words: amorphous chalcogenide films, spin-coating method, parameters of specific electroconductivity chalcogenide glasses.

БАЙДАКОВ Дмитрий Леонидович – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат химических наук. AuthorID: 267028.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: chemwood@rambler.ru

BAIDAKOV Dmitry L. – PhD (Chemistry), Assistant professor, St.Petersburg State Forest University. AuthorID: 267028.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: chemwood@rambler.ru

МИХАЙЛОВА Нинель Вадимовна – доцент лечебного факультета Института медицинского образования ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова», кандидат химических наук. AuthorID: 267465.

197341, Коломяжский пр., д. 21, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: ninel3971@mail.ru

MICHAILOVA Ninel V. – PhD (Chemistry), Assistant professor, Faculty of Medicine, Institute of Medical Education, Federal State Budgetary Institution Scientific Research Center named after V.A. Almazova. AuthorID: 267465.

197341. Kolomyazhsky av. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: ninel3971@mail.ru