

ISSN (Print) 2616-6836

ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

4(145)/ 2023

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2023

Astana, 2023

Астана, 2023

Бас редакторы **Жумадилов К.Ш.**
PhD, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Бас редактордың орынбасары **Абуова Ф.У.**
PhD, доц., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Редакция алқасы

Ержанов Қ.Қ.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Козловский А.Л.	PhD, Ядролық физика институты, Астана, Қазақстан
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Салиходжа Ж.М.	ф.-м.ғ.к., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Усеинов А.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Джансейтов Д.М.	PhD, Ядролық физика институты, Астана, Қазақстан
Шункеев К.Ш.	ф.-м.ғ.д., Қ.Жұбанов ат. АӨУ, Ақтөбе, Қазақстан
Исадыков А.Н.	PhD, Біріккен ядролық зерттеулер институты, Дубна, Ресей
Шарафуллин И.Ф.	ф.-м.ғ.д., Башқұрт мемлекеттік университеті, Уфа, Ресей
Сакута С.Б.	ф.-м.ғ.д., Ұлттық зерттеу институты Курчатов институты, Мәскеу, Ресей
Лущик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., Тарту университеті, Тарту, Эстония
Попов А.И.	ф.-м.ғ.д., Латвия университеті, Рига, Латвия
Хоши М.	PhD, Хиросима Университеті, Хиросима, Жапония
Тойода Ш.	PhD, Окаяма Ғылым Университеті, Окаяма, Жапония
Ертурк С.	PhD, Нийде Университеті, Нийде, Түркия
Килин Д.	PhD, Солтүстік Дакота мемлекеттік университеті, Фарго, АҚШ
Юлун Хан	PhD, Солтүстік Дакота мемлекеттік университеті, Фарго, АҚШ

Редакцияның мекен жайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-410). E-mail: vest_phys@enu.kz

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

Хабаршысы

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

Меншіктенуші: КеАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті»

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген
02.02.2021ж. № KZ66VPY00031918 қайта есепке қою туралы куәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-410). Сайт: <http://bulphysast.enu.kz>

Editor-in-Chief **K. Zhumadilov**
PhD, Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Deputy Editor-in-Chief **F. Abuova**
PhD, Ass. Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Editorial board

K. Yerzhanov	PhD, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
A. Qainarbai	Candidate of Phys.-Math. Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
A. Kozlovskiy	PhD, Institute of Nuclear Physics», Astana, Kazakhstan
A. Morzabaev	Candidate of Phys.-Math. Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Zh. Salikhodzha	Candidate of Phys.-Math. Sciences, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
A. Useinov	PhD, L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
D. Dzhanseytov	PhD, Institute of Nuclear Physics», Astana, Kazakhstan
K. Shunkeyev	Doctor of Phys.-Math. Sciences, K. ZHubanov University, Aktobe, Kazakhstan
A. Isadykov	PhD, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia
I. Sharafullin	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Bashkir State University, Ufa, Russia
S. Sakuta	Doctor of Phys.-Math. Sciences, Kurchatov Institute, Moscow, Russia
A. Lushchik	Doctor of Phys.-Math. Sciences, University of Tartu, Tartu, Estonia
A. Popov	Doctor of Phys.-Math. Sciences., University of Latvia, Riga, Latvia
M. Hoshi	PhD, Hiroshima University, Hiroshima, Japan
Sh. Toyoda	PhD, Okayama University of Science, Okayama, Japan
S. Yerturk	PhD, Niğde Ömer Halisdemir University, Niğde, Turkiye
Dmitri Kilin	PhD, North Dakota State University, Fargo, USA
Yulun Han	PhD, North Dakota State University, Fargo, USA

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 010008
Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-410), E-mail: vest_phys@enu.kz

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University
PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»
Periodicity: 4 times a year
Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan
Rediscount certificate № KZ66VPY00031918 from 02.02.2021
Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008
L.N. Gumilyov Eurasian National University
Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-410). Website: <http://bulphysast.enu.kz>

Главный редактор **Жумадилов К.Ш.**
PhD, проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Зам. главного редактора **Абуова Ф.У.**
PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Редакционная коллегия

Ержанов К.К.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Кайнарбай А.Ж.	к.ф.-м.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Козловский А.Л.	PhD, РГП «Институт ядерной физики», Астана, Казахстан
Морзабаев А.К.	к.ф.-м.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Салиходжа Ж.М.	к.ф.-м.н., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Усеинов А.Б.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Джансейтов Д.М.	PhD, РГП «Институт ядерной физики», Астана, Казахстан
Шункеев К.Ш.	д.ф.-м.н., Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова, Актобе, Казахстан
Исадыков А.Н.	PhD, Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия
Шарафуллин И.Ф.	д.ф.-м.н., Башкирский государственный университет, Уфа, Россия
Сакута С.Б.	д.ф.-м.н., Национальный исследовательский институт Курчатовский институт, Москва, Россия
Лущик А.Ч.	д.ф.-м.н., Тартуский университет, Тарту, Эстония
Попов А.И.	д.ф.-м.н., Латвийский университет, Рига, Латвия
Хоши М.	PhD, Университет Хиросимы, Хиросима, Япония
Тойода Ш.	PhD, Университет Науки Окаямы, Окаяма, Япония
Ертурк С.	PhD, Университет Нийде, Нийде, Турция
Килин Д.	PhD, Государственный университет Северной Дакоты, Фарго, США
Юлун Хан	PhD, Государственный университет Северной Дакоты, Фарго, США

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-410), E-mail: vest_phys@enu.kz

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева
Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Свидетельство о постановке на переучет № KZ66VPY00031918 от 02.02.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-410). Сайт: <http://bulphysast.enu.kz>

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ СЕРИЯСЫ

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. СЕРИЯ ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY
PHYSICS. ASTRONOMY SERIES

№ 4 (145)/2023

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

А.Д. Акылбекова, Г.Ф. Сарсехан, З.К. Баймуханов, А.К. Даулетбекова, Г.М. Аралбаева. SiO₂/Si трек темплэйтінде электролиттердің екі түрін пайдалану негізінде мырыш селениті нанокристалдарының түзілуі

A.D. Akyzbekova, G.G. Sarsekhan, Z.K. Baimukhanov, A.K. Dauletbekova, G.M. Aralbayeva. Formation of zinc selenite nanostructures in SiO₂/Si track templates with the use of two kinds of electrolytes

А.Д. Акылбекова, Г.Ф. Сарсехан, З.К. Баймуханов, А.К. Даулетбекова, Г.М. Аралбаева. Формирование нанокристаллов селенита цинка в трековых шаблонах SiO₂/Si с применением различных составов электролитов

6

Р. Салихов, А. Остальцова. Наноккомпозитті және полимер жұқа қабықшаларының ауадағы аммиак буларына сенсорлық сезімталдығы

R. Salikhov, A. Ostaltsova. Sensor sensitivity of nanocomposite and polymer thin films to ammonia vapors in air

Р. Салихов, А. Остальцова. Сенсорная чувствительность наноккомпозитных и полимерных тонких пленок на пары аммиака в воздухе

17



Formation of zinc selenite nanostructures in SiO₂/Si track templates with the use of two kinds of electrolytes

A.D. Akyzbekova, G.G. Sarsekhan, Z.K. Baimukhanov,
A.K. Dauletbekova, G.M. Aralbayeva

L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
E-mail: (aiman88_88@mail.ru)

Abstract. This paper presents studies of zinc selenite nanocrystals obtained by chemical and electrochemical deposition of zinc in a silicon dioxide track template. With the use of two kinds of electrolytes, zinc selenite nanocrystals were prepared by template synthesis and their morphological, structural and photoluminescent properties were investigated. The electrochemical deposition method was shown to be more optimal to create this crystal in comparison to the chemical deposition method. The cell parameters created by us match up with the results of other authors. Photoluminescence spectra were recorded in the spectrum interval from 2 to 4 eV at room temperature at an excitation wavelength of ~ 4 eV.

Keywords: silicon dioxide, chemical and electrochemical deposition, photoluminescence, zinc selenite nanocrystals.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2023-145-4-6-16>

1. Introduction

Zinc oxide-based materials can be commonly used in the development of luminescent and laser screens, as well as in infra-red technology. In different fields of engineering and science, scintillation sensors are required for the detection and recording of radiation. Creation of nanostructured material such zinc selenite - ZnSeO₃ is a smart way to explore and improve the properties of ZnO and ZnSe together instead of using them individually.

One of the prospective and intensively developing directions in modern science and technology is the establishing of technologies for the creation of nanostructured materials with specified properties, their exhaustive characterization and practical use [1]. There are many methods for obtaining nanoparticles, ranging from lithographic methods to chemical methods. Among them is the template synthesis method, which was used by us in obtaining nanocrystals is another commonly used method.

In this paper, the fast heavy ion track technology is used, which is related to the development of narrow and extended regions of radiation damage ("latent ion tracks") in different materials (especially in a silicon oxide layer) as a result of exposure to high-energy ions. [2-5]. SiO₂, widely used in semiconductor technology, was used as templates for the synthesis of nanowires and nanotubes. The etched-out pores can be infilled with different materials by chemical or

electrochemical deposition techniques. Different complexes of nanocrystals of CdTe, CdO and other wide-gap semiconductor oxides such as ZnO were safely generated by this technology in SiO₂/Si ion track templates. Such structures built on silicon substrates can be easily integrated into silicon technology. The aim of this work is to obtain ZnSeO₃ nanostructures by chemical and electrochemical deposition in a-SiO₂/Si-n track templates.

As new perspective materials for opto-electronics, nano-electronics and sensors are being developed, zinc selenite received in SiO₂/Si templates are of unquestioned interest. The synthesis of zinc- and selenium-based oxide semiconductor nanocrystals in SiO₂/Si track templates is undoubtedly novel. This paper is one of the first practice to demonstrate the possibility of their synthesis in SiO₂/Si matrices by chemical (CD) and electrochemical deposition (ECD) methods using two different types of electrolyte.

2. Materials and methods

The SiO₂/Si structures we used for the experiment have been described in [6-8]. The matrix synthesis was performed according to the method of templating synthesis with the use of two kinds of electrolytes. Synthesis methods are described in [9-11], where synthesis modes are described in detail. In our case, new complex crystals based on zinc selenide (ternary compounds) on zinc electrodes at voltages from 1 to 2 V were produced by template-based synthesis.

The morphology of the structures was determined by JSM7500F scanning electron microscopy (SEM). SEM analysis after etching and deposition of the obtained structures helps to control the magnitude (size), shape of nanopores and the degree of nanopore filling.

The crystallographic parameters was investigated by X-ray diffraction (XRD). XRD patterns were obtained using the X-ray diffractometer D8 ADVANCE ECO with Cu-anode comprised between angles of 2θ 30°.

Photoluminescence spectra were recorded at room temperature using an Agilent Technologies spectrofluorimeter (Cary Eclipse Fluorescence Spectrophotometer) in the spectrum interval of 300 to 800 nm at room temperature at an excitation wavelength of 300 nm.

Non-empirical calculations of the ZnSeO₃ crystal in the approximation of linear combinations of atomic orbitals (LCAO) were performed using the exchange–correlation functional within general gradient approximation (GGA). The calculations were performed in the CRYSTAL program.

3. Results and discussion

SEM image analyses demonstrated that major part of the nanopores of the template were filled out after CD for 30 minutes (the filling degree was 89.5%), and after CD for 15 minutes the filling level of nanopores was 39.2%, respectively. As the deposition time increases, the precipitate bulging from the nanopores on the surface was vividly presented (Fig. 1).

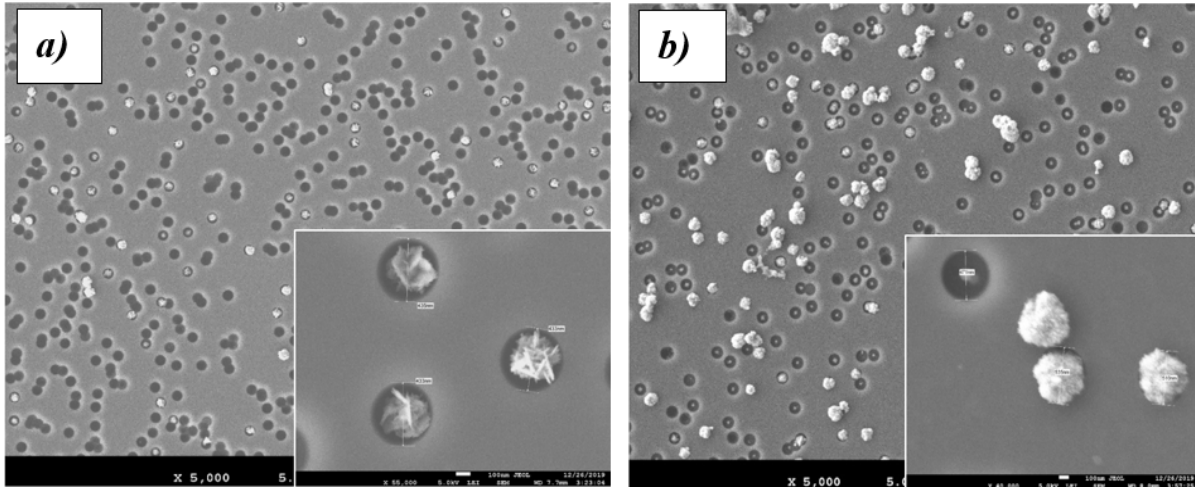


Figure 1. SEM images of nanopore filling after 15 min CD (a) and 30 min CD (b).
D = 435 to 535 nm

The X-ray diffraction diagrams of the samples after chemical deposition are illustrated in fig. 2. The relevant crystallographic parameters of nanoprecipitates in ion track templates calculated from the XRD diffraction analysis data are given in Table 2. The JCPDS-78-0446 template was taken to identify the X-ray peak of orthorhombic $ZnSeO_3$.

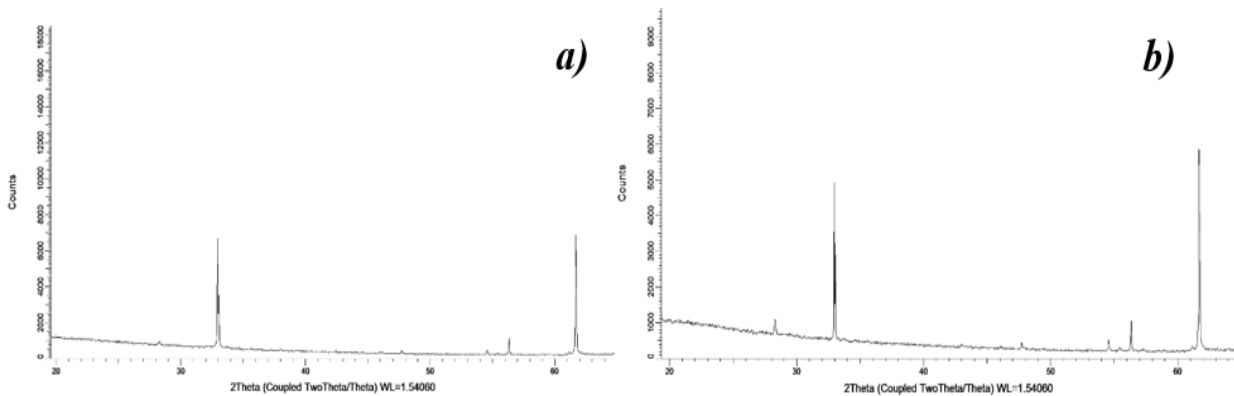


Figure 2. X-ray images of templates with nanocrystals formed by chemical precipitation: the deposition time was 15 min (a) and 30 min (b).

Table 1. Crystallographic data of $ZnSeO_3$ nanocrystals in SiO_2/Si matrices calculated from XRD data.

After CD t = 15 min									
Type of structure	Space group	hkl	$2\theta^\circ$	Interplanar distance, Å	Crystallite size, nm	FWHM	Cell parameter, Å	Phase content, %	$V, \text{Å}^3$
Orthorhombic	<i>Pnma</i> (62)	121	33.831	2.72577	142.46	0.065	a=5.96223, b=7.62036, c=5.09252	100	231.38
		040	47.717	1.90441	102.31	0.094			
		321	54.535	1.68133	91.91	0.108			
		103	56.301	1.63271	138.59	0.072			
		123	61.713	1.50188	102.01	0.101			

After CD t = 30 min

Orthorhombic	<i>Pnma</i> (62)	200	28.330	3.14770	62.05	0.147	a=5.94116, b=7.61138, c=5.09249	100	230.28
		121	32.945	2.71660	90.40	0.102			
		040	47.756	1.90295	94.51	0.102			
		321	54.535	1.68133	135.67	0.073			
		103	56.358	1.63120	148.88	0.067			
		123	61.656	1.50313	96.47	0.107			

XRD data analysis for samples produced by the CD method showed the formation of ZnSeO₃ nanocrystals with orthorhombic crystal structure and *Pnma* space group.

Figure 3 shows SEM images of the surface after ECD. It can be seen that the degree of pore filling was significantly better compared to the samples obtained by chemical deposition. Thus, the degree of pore filling was just 88% when precipitation of precipitate was carried out at 1 V, at 1.5 V the nanopore filling degree was 90%, at 1.75 V it was 96%, and at 2 V it was 98%. It follows that, with increasing voltage, sufficient filling of nanopores is observed.

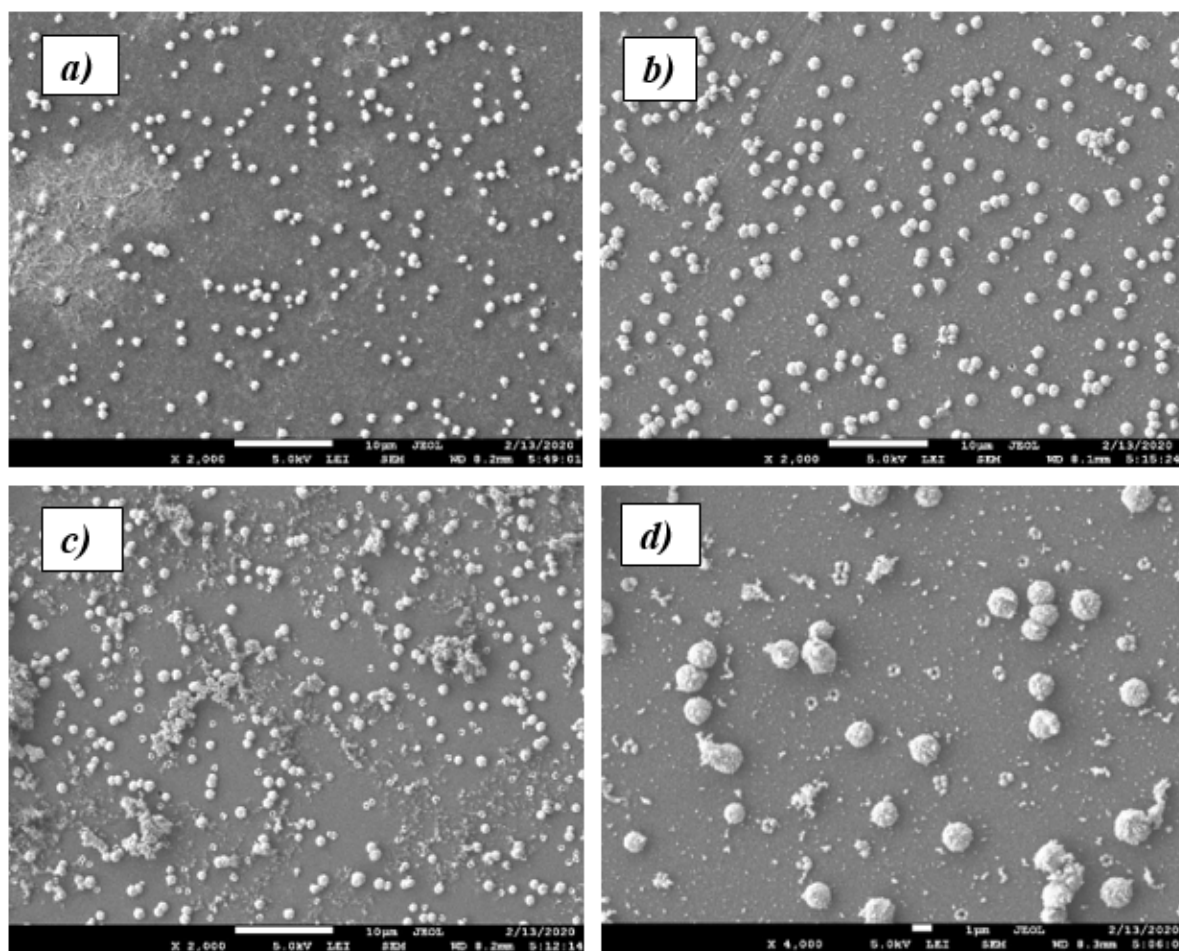


Figure 3. SEM images of nanopores after ECD at different voltages: a) U = 1 V, b) U = 1.5 V, c) U = 1.75 V and d) U = 2 V. D=300 nm.

Figure 4 demonstrates the diffractograms after ECD and the results of XRD analysis are summarised in Table 2.

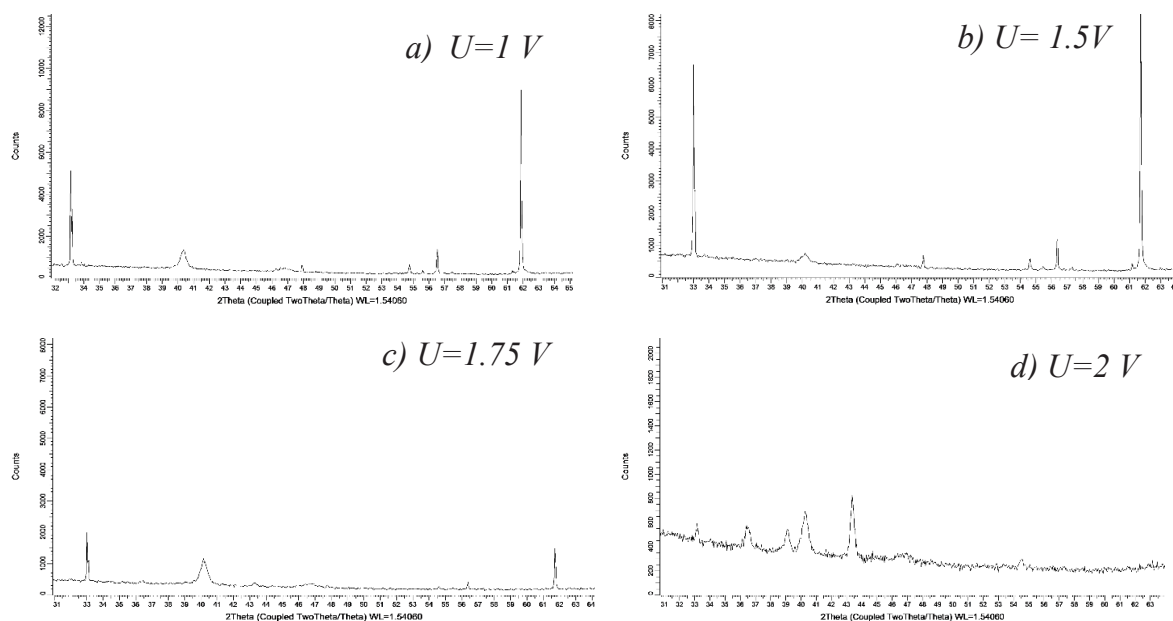


Figure 4. X-ray diffractograms of the studied samples

Figure 4 shows the diffractograms after ECD of 1V (a), 1.5V (b), 1.75V (c) and 2V (d). Thus, the generated ZnSeO₃ nanocrystals within the nanopores are related to the orthorhombic structure with *Pnma* space group. The cell parameters created by us match up with the results of other authors [12].

Table 2. Crystallographic data of ZnSeO₃ nanostructures in SiO₂/Si templates calculated from X-ray diffraction analysis data at different voltages on the electrodes.

After ECD U = 1 V									
Type of structure	Space group	hkl	2θ°	Interplanar distance, Å	Crystallite size, nm	FWHM	Cell parameter, Å	Phase content, %	V, Å ³
Orthorhombic	<i>Pnma</i> (62)	121	33.092	2.70487	57.85	0.159	a=5.87290	100	230.06
		112	40.275	2.23744	28.77	0.327	b=7.71015		
		123	61.747	1.50114	87.86	0.117	c=5.08066		
After ECD U = 1.5 V									
Type of structure	Space group	hkl	2θ°	Interplanar distance, Å	Crystallite size, nm	FWHM	Cell parameter, Å	Phase content, %	V, Å ³
Orthorhombic	<i>Pnma</i> (62)	121	32.933	2.71754	119.81	0.077	a=5.80623,	100	228.61
		112	40.155	2.24380	20.53	0.458	b=7.73432,		
		202	47.737	1.90368	150.16	0.064	c=5.09062		
		013	54.603	1.67941	84.24	0.118			
		103	56.389	1.63038	96.23	0.104			
		123	61.707	1.50201	140.29	0.073			

After ECD U = 1.75 V									
Type of structure	Space group	hkl	2θ°	Interplanar distance, Å	Crystallite size, nm	FWHM	Cell parameter, Å	Phase content, %	V, Å ³
Orthorhombic	Pnma (62)	121	33.131	2.70172	60.25	0.153	a=5.75728, b=7.74494, c=5.08763	100	226.86
		112	40.355	2.23322	23.73	0.396			
		123	61.787	1.50027	89.53	0.115			
After ECD U = 2 V									
Type of structure	Space group	hkl	2θ°	Interplanar distance, Å	Crystallite size, nm	FWHM	Cell parameter, Å	Phase content, %	V, Å ³
Orthorhombic	Pnma (62)	121	33.131	2.70172	76.41	0.121	a=5.78776 b=7.76468 c=5.10659	100	229.49
		112	40.156	2.24380	18.82	0.499			

3.1 Photoluminescence

At room temperature, the luminescence spectra of ZnSeO₃/SiO₂/Si presents a broad band between 2 eV - 3.1 eV, like in the instance of ZnSe₂O₅/SiO₂/Si after deposition [13]. The photoluminescence of zinc selenite, as well as zinc diselenide, can be expected as a combination of zinc oxide and zinc selenide luminescence.

Similar to ZnO [14], the luminescence spectrum contains luminescence subbands of zinc vacancies (V_{Zn}) and oxygen vacancies (V_O). The observed bands in the photoluminescence spectrum in the 2.72 eV region are similar to the luminescence band observed in ZnSe. The bulk emission of ZnSe at the near band edge corresponds to the strong emission band at 2.84 eV. This band is according to the authors of [15] to a complex centre consisting of a zinc vacancy and an impurity small donor: $V_{Zn} + D$. As follows from figure 5, the luminescence spectrum is quite multifaceted and includes several components. Likewise, though not so complex spectra are similarly monitored in ZnO [14,16] and ZnSe [15,17]. The absence of FL with a maximum at 3.52 eV in ZnO WS is explained by exciton luminescence (3.22 eV) [18].

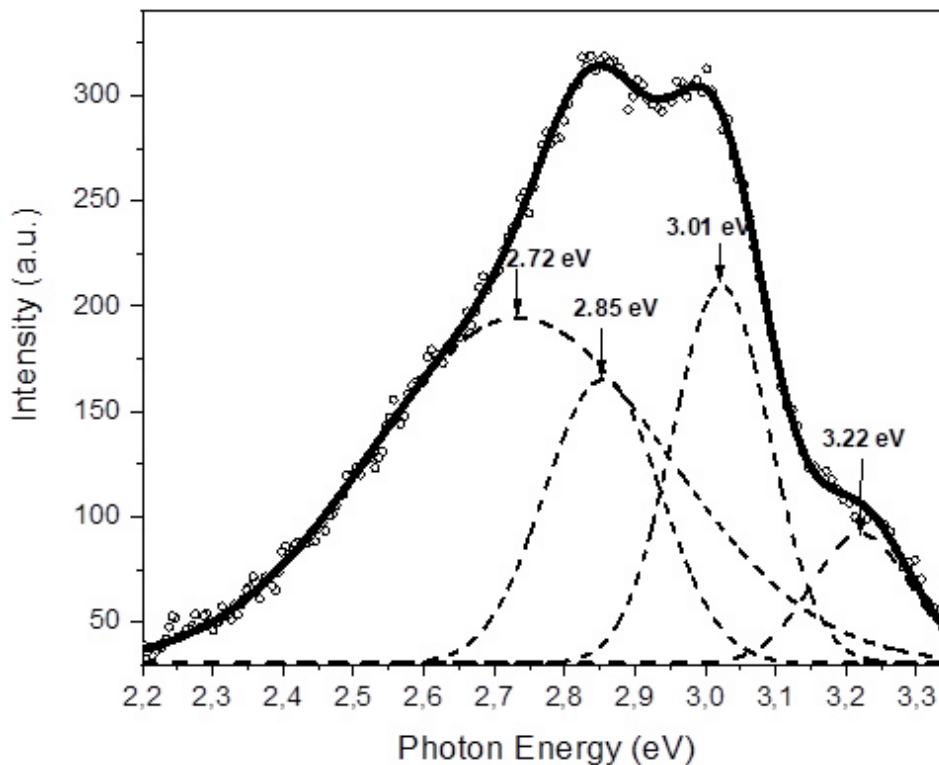
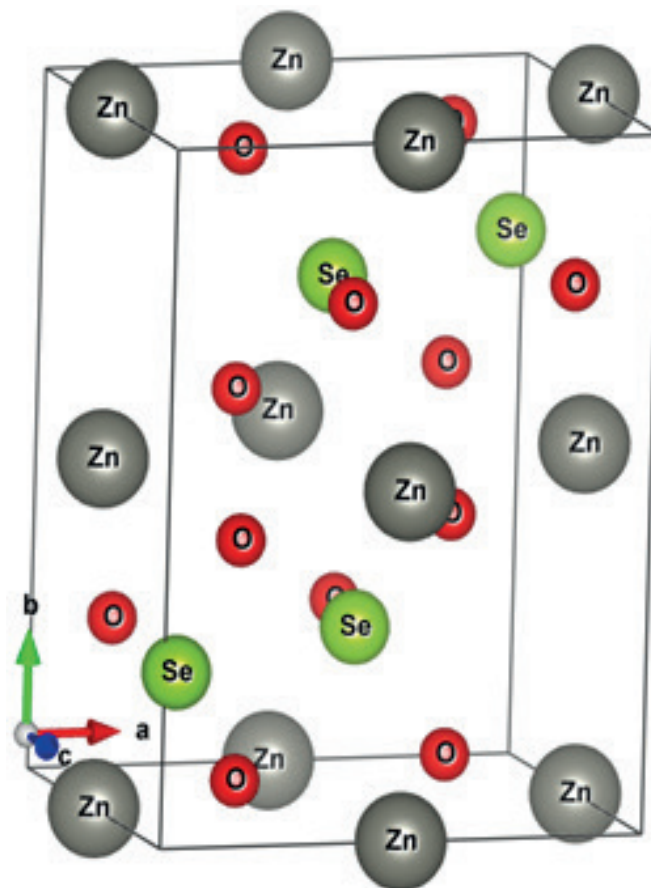


Figure 5 – Decomposition of FL spectra of zinc selenite after deposition with Gaussian curves

4. Computer modelling of ZnSeO₃

To confirm the obtained experimental properties of ZnSeO₃ nanostructures, we performed non-empirical calculations in the approximation of linear combinations of atomic orbitals (LCAO) using the LDA-PZ exchange-correlation functional of density functional theory [19, 20]. The calculations were performed in the CRYSTAL programme [21]. This programme performs calculations of the electronic structure of crystalline systems using the Hartree-Fock method, density functional theory (DFT) methods and various hybrid approximations combined with a basis (set) of local Gaussian functions for periodic (3D, 2D, 1D) systems. The programme has proved to be a reliable tool for describing different properties of a wide range of semiconductor and dielectric materials. To describe the atomic orbitals of different atoms included in the ZnSeO₃ crystal, the following basis sets of Gaussian-type functions were chosen: for the zinc (Zn) and oxygen (O) atom, the Jaffe basis was used [22], and for the selenium (Se) atom, the Towler basis was used [23]. To better describe both structural and electronic properties, the last *sp*-orbital of the original Se was removed. The effective atomic charges and bond occupancies were calculated using the Mulliken analysis [24].


 Figure 6 - Atomic structure of the unit cell of ZnSeO₃ (28 atoms).

The periodic model of a primitive ZnSeO₃ cell consisting of 28 atoms was used (Figure 6). The calculated lattice parameters (a , b , c), crystal density (ρ_v) and effective charges of atoms (q_{eff}) are presented in Table 3 together with experimental results.

 Table 3 – Calculated parameters of ZnSeO₃ crystal.

Parameter	Calculation	Experiment	Experiment [25]
$a, \text{Å}$	5.85	5.90	5.92
$b, \text{Å}$	7.69	7.64	7.66
$c, \text{Å}$	5.19	5.03	5.04
$\rho_v (\text{g/cm}^3)$	5.44	5.58	
$q_{\text{eff}} (\text{Zn/Se/O})$	+1.16/+1.36/-0.84	-	

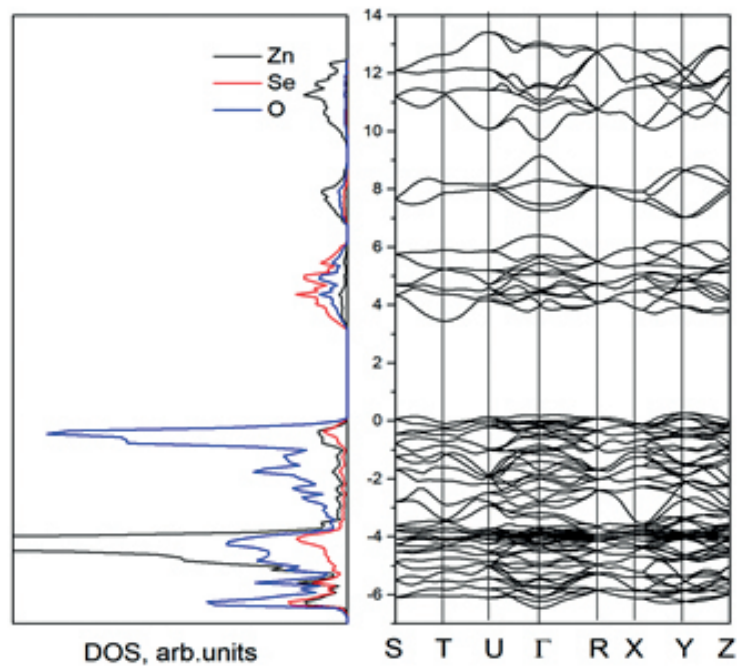


Figure 7 - Density of states and band structure of pure ZnSeO₃ crystal

Figure 7 shows the band structure at the highly symmetric Brillouin w points and along the directions between them, together with the density of electronic states. The valence band maximum appears near the Y-point, while the conduction band minimum occurs at the T-point, indicating the indirect band structure. The calculated width of the band gap is 3.8 eV. The density of electronic states shows that the top of the valence band is represented mainly by O 2p states, while the conduction band is mainly represented by Se 3d, 4s orbitals. The higher energy states are mainly represented by Zn 3d, 4s. As a result, it can be concluded that ZnSeO₃ has a typical ionic compound, although the charge distribution analysis showed a significant covalent contribution to the chemical bonds of the crystal.

5. Conclusions

ZnSeO₃ nanocrystals were synthesised, and their optical properties were investigated. The nanostructures were prepared by chemical deposition and electrochemical deposition into a track templated matrix. The crystal structure and phase composition were studied by XRD. The crystal phase of all samples was the same: orthorhombic structure, with almost identical unit cell parameters. The electrochemical deposition method was shown to be more optimal to create this crystal in comparison to the chemical deposition method. The use of electrochemical deposition method gives an opportunity to fill almost all the nanopores and hence it is more convenient and affordable method. The PL spectrum demonstrated a broad emission band in the spectrum interval of 2.2-3.3 eV. Non-empirical calculations of the ZnSeO₃ crystal were carried out, and the calculated band gap was 3.8 eV.

Acknowledgement

The article was performed as part of the implementation of the scientific project grant funding for young scientists under “Zhas Galym” project for 2022-2024 of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan AP13268607 “Features of the formation of semiconductor nanostructures in a track template SiO₂/Si”

References

1. Petrij O. A. Elektrosintez nanostruktur i nanomaterialov // Uspekhi himii. – 2015. – V. 84. №2. –p. 159-193.
2. Kanyukov E.YU., Petrov A.V., Dem'yanov S.E., Ivanova YU.A., Ivanov D.K., Strel'cov E.A., Fedotov A.K., Fink D., Fahrner W.R., Fahrner W.R., Fizicheskie principy sozdaniya nanosensorov na osnove sistem Si/SiO₂/metall s trekami bystryh tyazhelyh ionov // Sbornik dokladov mezhdunarodnoj konferencii «Aktual'nye problemy fiziki tverdogo tela», 2007 g., Minsk, Belarus', tom 2, s.384-388.
3. Fink D., Petrov A., Fahrner W.R., Hoppe H., Ulyashin A.G., Papaleo R.M., in: Proc. ISEC, Peking, China, 2003.
4. Fink D. (Ed.). Fundamentals of Ion-Irradiated Polymers // Springer Series in Materials Science. – 2004. – 406 p. doi:10.1007/978-3-662-07326-1
5. Petrov A.V., Fink D., Fahrner W.R., Hoppe K., Dem'yanov S.E., Fedotov A.K., Malyutina V.V. // Sbornik dokladov «FTT-2005». Bronskaya. - 2005. - 482.
6. Dauletbekova A., Bajmuhanov Z., Kozlovskij A., Giniyatova Sh., Murzagaliev M., Zhurkin E., Nauryzbaeva R., Razrabotka i issledovanie nanokompozitnyh materialov na osnove trekovogo templejta SiO₂/Si // Vestnik ENU. - 2018. №1(122). –p. 82-91.
7. Akylbekova A., Shayamanov B., Useinov A., Dauletbekova A., Bajmuhanov Z., Kozlovskij A., Giniyatova Sh., Popov A.I., Bajzhumanov M., Eksperimental'nye i teoreticheskie issledovaniya nanokristallov ZnSe₂O₅ // Vestnik ENU. – 2020. – V.130. №1. –p. 34-43.
8. Dauletbekova A., Akylbekova A., Giniyatova Sh., Bajmuhanov Z., Vlasukova L., Akilbekov A., Useinov A., Kozlovskij A., Karipbaev Zh., Struktura, elektricheskie svoystva i lyuminescenciya nanokristallov ZnO, elektroosazhdennyh v trekovye matricy SiO₂/Si // Vestnik ENU. – 2019. №3 (128). –p. 57-66.
9. Akilbekov, A., Akylbekova A., Usseinov A., Kozlovskiy A., Baymukhanov Z., Giniyatova S., Dauletbekova, A. Ion track template technique for fabrication of ZnSe₂O₅ nanocrystals. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2020. – Vol. 476. –P. 10–13. doi:10.1016/j.nimb.2020.04.039
10. Akylbekova A., Dauletbekova A., Baymukhanov Z., Kozlovskiy A., Usseinov, A. Template synthesis of ZnSe₂O₅ nanocrystals // AIP Conf. Proc. – 2019. - V. 2174. –P. 020001. <https://doi.org/10.1063/1.5134152>
11. Dauletbekova A., Akylbekova A., Sarsekhan G., Usseinov A., Baimukhanov Z., Kozlovskiy A., Vlasukova L.A., Komarov, F.F., Popov A.I., Akilbekov A.T. Ion-Track Template Synthesis and Characterization of ZnSeO₃ Nanocrystals // Crystals. – 2022. Vol. 12. –P. 817. <https://doi.org/10.3390/cryst12060817>
12. Kohn K., Inoue K., Horie O. et al. Crystal Chemistry of MSeO₃ and MTeO₃, (M = Mg, Mn, Co, Ni, Cu, and Zn) // J. Solid State Chemistry. – 1976. – Vol. 18, №1. – P. 27-37. [https://doi.org/10.1016/0022-4596\(76\)90075-X](https://doi.org/10.1016/0022-4596(76)90075-X)
13. Ostanina T.N., Rudoi, V.M., Nikitin V.S., Darintseva A.B., Zalesova O.L., Porotnikova N.M. Determination of the surface of dendritic electrolytic zinc powders and evaluation of its fractal dimension // Russ. J. Non-Ferr. Met. - 2016. Vol. 57. – P. 47–51. doi: 10.3103/S1067821216010120
14. Studenikin S.A., Golego N., Cocivera M. Fabrication of green and orange photoluminescent, undoped ZnO films using spray pyrolysis // J. Appl. Phys. - 1998. Vol. 84. –P. 2287–2294. <https://doi.org/10.1063/1.368295>
15. Ashrafia A., Jagadish C. Review of zincblende ZnO: Stability of metastable ZnO phases // J. Appl. Phys. 2007. Vol. 102. –P. 071101. doi:10.1063/1.5143165
16. Degoda V.Y., Sofienko, A.O. Specific features of the luminescence and conductivity of zinc selenide on exposure to X-ray and optical excitation // Semiconductors. - 2010. Vol. 44. – P. 568–574. <https://doi.org/10.1134/S1063782610050040>
17. Degoda V.Y., Podust G.P., Doroshenko I.Y., Pavlova N.Y. Phosphorescence and conduction current relaxation in ZnSe crystals // Opt. Mater. - 2022. V. 129. –P. 112460. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.112460>
18. Kumano H., Ashrafi A.A., Ueta A. et al. Luminescence properties of ZnO films grown on GaAs substrates by molecular - beam epitaxy excited by electron – cyclotron resonance oxygen plasma // J. Crystal Growth. – 2000. – Vol. 214-215, №1-2. – P. 280-283. [https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(00\)00091-9](https://doi.org/10.1016/S0022-0248(00)00091-9)
19. Perdew J.P., Zunger A. Self-interaction correction to density functional approximations for many-electron systems // Phys. Rev. B. – 1981. – Vol. 23. – P. 5048-5079.

20. Dirac P.A.M. Note on exchange phenomena in the Thomas-Fermi atom // Proc. Cambridge Phil. Soc. – 1930. – Vol. 26, №3. – P. 376-385.
21. Dovesi R., Saunders V.R., Roetti R. et al. CRYSTAL14: User's Manual. – Torino: University of Torino, 2016. – 382 p.
22. Jaffe J.E., Hess A.C. Hartree-Fock study of phase changes in ZnO at high pressure // Phys. Rev. B. – 1993. – Vol. 48, №11. – P. 7903-7909.
23. Towler M.D., Zicovich-Wilson C. Selenium basis set for the crystal program // https://vallico.net/mike_towler/basis_sets/Se_basis.txt. 4.04.2019.
24. Mulliken R. S. Electronic population analysis on LCAO-MO molecular wave functions // J. Chem. Phys. – 1955. – Vol. 23, №10. – P. 1833-1840.
25. Kohn K., Inoue K., Horie O. et al. Crystal Chemistry of MSeO₃ and MTeO₃, (M = Mg, Mn, Co, Ni, Cu, and Zn) // J. Solid State Chemistry. – 1976. – Vol. 18, №1. – P. 27-37.

Формирование нанокристаллов селенита цинка в трековых шаблонах SiO₂/Si с применением различных составов электролитов

А.Д. Акылбекова, Г.Г. Сарсехан, З.К. Баймуханов, А.К. Даулетбекова,
Г.М. Аралбаева

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Аннотация. В работе представлены исследования нанокристаллов селенита цинка, полученных химическим и электрохимическим осаждением цинка в трековом шаблоне диоксид кремния на кремний. С использованием двух типов электролитов были получены методом темплайтного синтеза нанокристаллы селенита цинка и исследованы их морфологические, структурные и фотолюминесцентные свойства. Метод электрохимического осаждения оказался более эффективным для получения данного кристалла по сравнению с методом химического осаждения. Полученные нами параметры ячейки совпадают с литературными данными других работ. Спектры фотолюминесценции регистрировались в спектральном диапазоне от 2 до 4 эВ при комнатной температуре при длине волны возбуждения ~ 4 эВ.

Ключевые слова: диоксид кремния, химическое и электрохимическое осаждение, фотолюминесценция, нанокристаллы селенита цинка.

SiO₂/Si трек темплайтінде электролиттердің екі түрін пайдалану негізінде мырыш селениті нанокристалдарының түзілуі

А.Д. Акылбекова, Г.Г. Сарсехан, З.К. Баймуханов, А.К. Даулетбекова,
Г.М. Аралбаева

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Аңдатпа. Мақалада a-SiO₂/Si-н трек темплайтіндегі мырыштың химиялық және электрохимиялық тұндыруынан алынған мырыш селениті нанокристалдарының зерттеулері ұсынылды. Электролиттердің екі түрін қолдана отырып, мырыш селенитінің нанокристалдары шаблондық синтез арқылы алынды. Олардың морфологиялық, құрылымдық және фотолюминесценттік қасиеттері зерттелді. Бұл кристалды алу кезінде химиялық тұндыру әдісіне қарағанда электрохимиялық тұндыру әдісі тиімдірек болып шықты. Біз алған ұяшық параметрлері басқа еңбектердегі әдебиет деректерімен сәйкес келеді. Фотолюминесценция спектрлері ~ 4 эВ қозу толқын ұзындығындағы бөлме температурасында 2-ден 4 эВ-ге дейінгі спектрлік диапазонда жазылды.

Түйін сөздер: кремний диоксиді, химиялық және электрохимиялық тұндыру, фотолюминесценция, мырыш селенитінің нанокристалдары.

Сенсорная чувствительность нанокompозитных и полимерных тонких пленок на пары аммиака в воздухе

Р. Салихов, А. Остальцова

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

*Переписка: salikhovrb@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию нанокompозитных тонких пленок на основе полиэлектролитного комплекса хитозана и сукцинамидахитозана (PEC), в качестве наполнителей были использованы одностенные углеродные нанотрубки (SWCNT) и производные полианилина. С помощью сканирующего электронного микроскопа исследована морфология поверхности тонких пленок, полученных из раствора синтезированных полимеров методом центрифугирования на ситалловые подложки. Изучение характера морфологии является чрезвычайно важным при создании сенсорных устройств. На основе данных полимеров были приготовлены образцы резистивных тонкопленочных структур, измерена зависимость их электропроводности от проходящего тока через образец при изменении концентрации паров аммиака. Исследование поверхности нанокompозитной структуры PEC с SWCNT с помощью СЭМ показало, что на ней присутствуют образования в виде нитей, сформированные углеродными нанотрубками.

Ключевые слова: полимеры, полианилин, тонкопленочные структуры, датчик аммиака, полиэлектролитный комплекс хитозана и сукцинамида хитозана, одностенные углеродные нанотрубки.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-6836-2023-145-4-17-25>

1. Введение

В современном мире синтетические материалы широко используются вместо природных благодаря их низкой стоимости и разнообразию свойств. Синтетические материалы также позволяют создавать новые материалы и технологии их получения [1]. В настоящее время все еще существует множество проблем, связанных с изготовлением гибких датчиков влажности с необходимыми свойствами при крупносерийном производстве [2]. Получение новых материалов, обладающих сенсорными свойствами, и создание на их основе датчиков контроля токсичных и экологически вредных газов является актуальной задачей аналитического приборостроения [3].

Область нанотехнологий одной из самых популярных областей текущих исследований и разработок являются полимерные нанокompозиты и область исследований охватывает широкий круг тем: нанoeлектронику и полимерные бионаноматериалы. Полимерные нанокompозиты являются важной категорией материалов, демонстрирующих отличные физико-химические свойства, недоступные отдельным компонентам, действующим в одиночку [4-5].

При создании электронных сенсорных систем широко используются новые материалы на основе полимеров. Они привлекательны благодаря своей низкой стоимости, простоте изготовления и относительно простой модификации свойств [6]. Различные материалы,

такие, как органические полимеры, неорганические композитные материалы и керамика, широко используются для сенсорных датчиков, например, для датчиков влажности воздуха и разных газов [7-9]. Датчик влажности является важным классом химических датчиков и широко используется в мониторинге окружающей среды, упаковке пищевых продуктов, электронике, для создания человеческого комфорта и др. [10].

На сегодняшний день наиболее востребованными являются электронные сенсоры, которые должны обладать высокой энергоэффективностью. Существующие сенсоры, как правило, выполнены на оксидных материалах и требуют нагрева при работе. Кроме того, они весьма инерционные, имеют большие времена срабатывания и восстановления. Данная работа посвящена поиску новых композитных материалов для этих сенсоров, обладающих высоким быстродействием, малым энергопотреблением, незначительным гистерезисом и экономичностью [11].

В настоящее время на рынке контрольно-измерительных устройств представлены разнообразные датчики влажности зарубежных и отечественных производителей. Это и быстро действующие детекторы, обеспечивающие высокую линейность преобразования относительной влажности в унифицированный выходной электрический сигнал, и недорогие преобразователи с большой погрешностью [12].

К числу востребованных химических сенсоров следует также отнести датчики, способные обнаруживать пары аммиака в воздухе [13]. Пары аммиака (NH_3) являются токсичными для сельскохозяйственных животных и людей [14]. Даже низкая концентрация NH_3 может иметь такие серьезные последствия для здоровья человека, как раздражение глаз, дыхательных путей и кожи, вызывая головокружение, тошноту и усталость [15]. Необходимость в разработке датчиков паров аммиака в воздухе, работающего при комнатной температуре, остается актуальной и на сегодняшний день.

Полиэлектролитные комплексы имеют уникальные возможности для сборки наноструктур со свойствами распознавания, которые находят все большее применение в различных электрохимических сенсорах [16].

Цель данного исследования заключается в установлении влияния морфологии на сенсорную чувствительность тонких пленок производных полианилина к влажности воздуха и парам аммиака в воздухе. Самое сложное — найти нужные материалы для этой цели, в частности, на эту роль подходят проводящие полимеры. Датчики на основе проводящих полимеров обладают некоторыми преимуществами, такими, как короткое время отклика и восстановления. Среди полимеров полианилин (ПАНИ) широко исследовался в качестве чувствительного к газам полимера, благодаря его проводящим свойствам и химической стабильности [17]. Полианилин (ПАНИ), общеизвестный проводящий полимер, стал потенциальным претендентом для различных электронных устройств из-за своей проводимости, стабильности, отличной устойчивости к воздействию окружающей среды, простоте переработки и низкой стоимости сырья и синтеза. Свойства полианилина во многом обуславливаются его структурой. ПАНИ обычно получают окислительной химической полимеризацией мономера под действием разнообразных окислителей и неорганической или органической кислоты в качестве легирующего агента [18-20].

2. Методы

Созданы резистивные датчики трех видов: с производными полианилина 2-[(2E)-1-метил-2-бутен-1-ил]анилина (1) и 2-(циклогекс-2-ен-1-ил)анилина (2), с нанокompозитом полиэлектролитного комплекса хитозана и сукцинамидахитозана (ПЕС), в качестве наполнителей были использованы одностенные углеродные нанотрубки (SWCNT) (3).

На основе тонких пленок 1, 2 и 3 были получены многослойные структуры резистивных сенсоров (рис.1). В резистивных датчиках в качестве подложки использовалась ситалловая или стеклянная подложка. На ситалловую/ стеклянную подложку сверху были нанесены

алюминиевые электроды методом термического распыления в вакуумной камере на установке УВП-250 толщиной около 400-500 нм, зазор создавался с помощью теневой маски. Для одних образцов в область зазора между электродами в 50 мкм наносилась пленка полимера ПЕС с SWCNT. Омический характер контактов был доказан путем измерения их вольтамперных характеристик. Однородность поверхности полимеров в рабочей зоне резистивных датчиков подтверждается СЭМ исследованиями. Полученный слой подвергался термическому отжигу для удаления остатков растворителя путем нагрева до 150°C в течение 20-25 мин.



Рисунок 1. Структура тонкопленочного резистивного датчика.

В экспериментах для измерений использовались следующие источники питания: MASTESN, DS ROWER SUPPLY HYZ005D-2, универсальный вольтметр V7-21 в качестве амперметра, герметичный колпачок, цифровой термометр-гигрометр RSTQ317, толщина тонких полимерных пленок контролировалась на основе анализа СЭМ-изображений. Образец датчика влажности был помещен под колпак, содержащий контрольный датчик влажности и резервуар для воды (рисунок 2). Значения входного сигнала были взяты при определенных значениях влажности. Влажность контролировалась с помощью датчика DHT11. Значения влажности выводились с помощью Arduino UNO и USB на экран ноутбука. Измерения проводились при комнатной температуре 25С, напряжении на образцах 30В. Исследования микроструктуры полимеров проводились с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) TESCAN MIRA LMS.

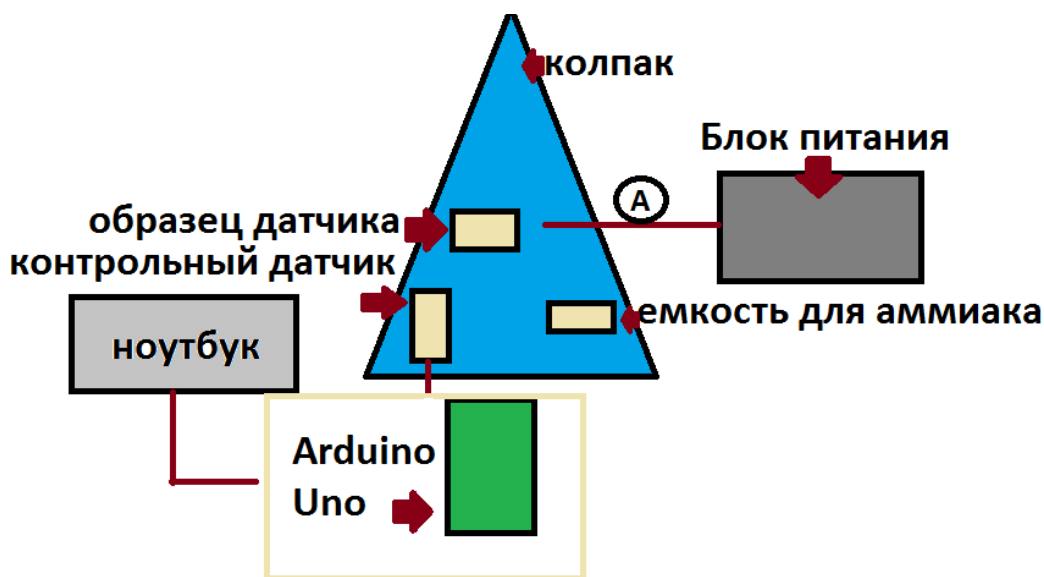
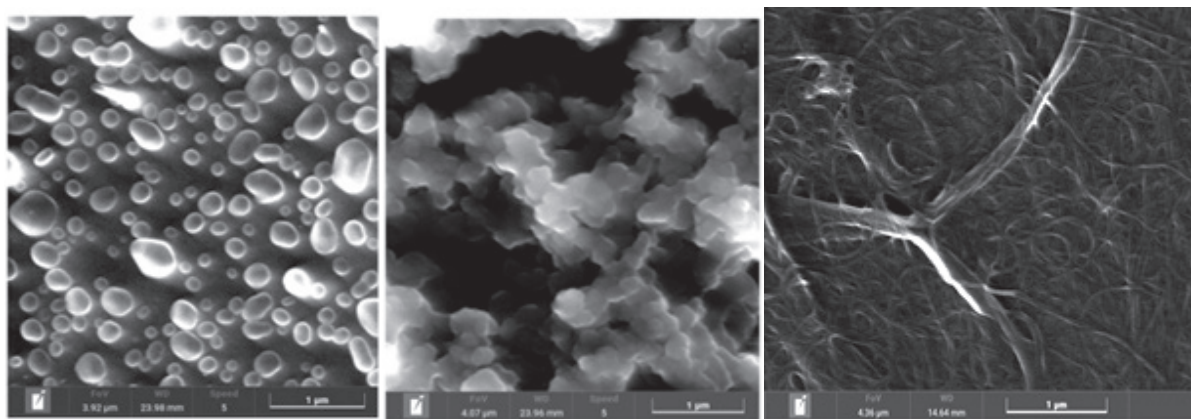


Рисунок 2. Структура тонкопленочных резистивных датчиков.

3. Результаты и обсуждение

С помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) TESCAN MIRA LMS и программного обеспечения TESCAN Essence были получены изображения поверхности исследуемых полимеров 1 и 2, также нанокompозита 3 (рисунок 3).



А) образец 1

б) образец 2

в) образец 3

Рисунок 3. СЭМ изображения микроструктур образцов пленок.

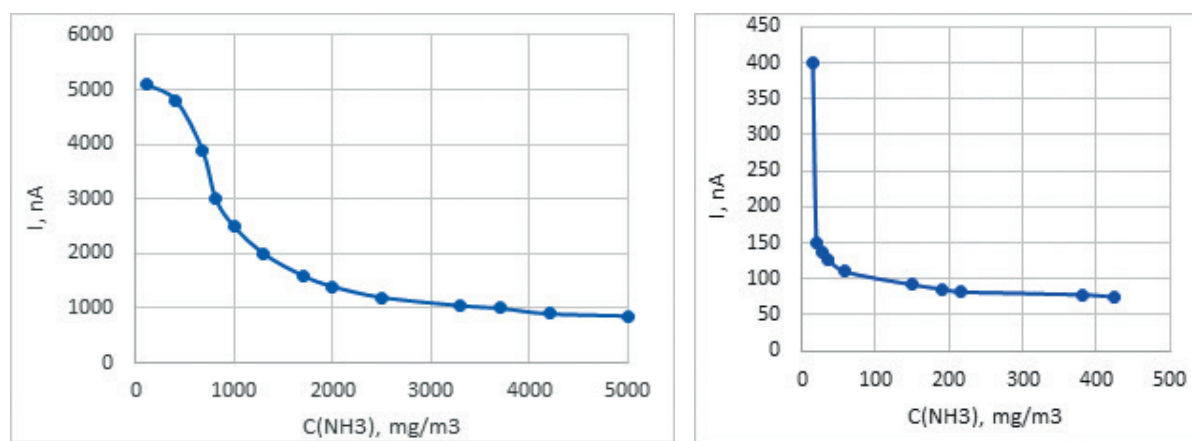
Морфология поверхности 2 рваная, неоднородная, с большими провалами по глубине, что уменьшает площадь поверхности, доступной для молекул анализируемого газа. Поверхность 1 имеет однородную сферическую глобулярную структуру, что способствует доступу большего количества молекул газа, по сравнению с 2. Поверхность нанокompозитной структуры PEC с SWCNT (3) покрыта образованиями в виде нитей. Можно предположить, что эти нити представляют собой комплексные образования, сформированные углеродными нанотрубками.

Значения шероховатости были получены с применением программы обработки АСМ изображений Gwyddion. Среднеквадратичная шероховатость по площади S_q полученных пленок описаны в таблице 1. Шероховатость поверхности нанокompозитных структур ниже шероховатости производных полианилина. Скорее всего, это объясняется наличием нитевидных образований, образованных углеродными нанотрубками, что подтверждается СЭМ изображениями.

Таблица 1. Значения шероховатости образцов.

Образец	1	2	3
Шероховатость поверхности (размер участка сканирования 100x100 мкм ²)	0,288	0,349	0,11

Реакция датчиков на NH_3 оценивалась по изменению проходящего тока при изменении концентрации паров аммиака.



а) образец 1

б) образец 2

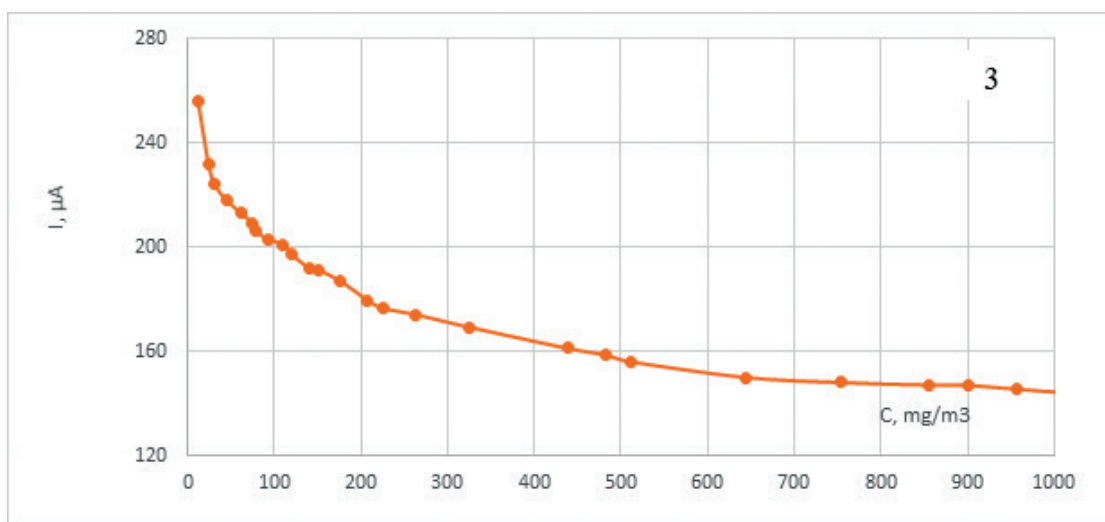


Рисунок 4. Зависимости протекающего тока через пленки 1, 2 и 3 от концентрации паров аммиака при $U_{обр} = 30В$ и комнатной температуре 25°C.

Пленки производных полианилина 1 и 2 реагируют на присутствие паров аммиака в окружающей среде уменьшением протекающего тока (рисунок 4). Полученные результаты объясняются протонированием/депротонированием полимерной цепи. Увеличение концентрации аммиака в среде приводит к снижению степени легирования. Предполагается, что при взаимодействии полимера с NH_3 молекулы аммиака поглощают протоны из ПАНИ, образуя энергетически выгодный аммоний (NH_4^+), в результате чего происходит депротонирование ПАНИ и проводимость снижается [21].

Пленки 3 реагируют на присутствие паров аммиака в окружающей среде уменьшением протекающего тока. Ток уменьшается от значения 260 мкА практически до 140 мкА при изменении концентрации паров аммиака от 0 до 1000 мг/м³. ПДК (Предельно допустимая концентрация) аммиака равна 20 мг/м³. Характеристика является нелинейной: до концентраций 200 мг/м³ ток снижается довольно быстро, далее скорость уменьшения тока резко падает.

Попробуем объяснить наши экспериментальные результаты, которые связаны с уменьшением тока, проходящего через резистивный образец, с увеличением концентрации аммиака. Существует два возможных механизма: первый связан с переносом заряда между молекулами аммиака и углеродной нанотрубкой, второй – с изменением барьера Шоттки между нанокompозитной пленкой с нанотрубками и электродом из алюминия. В обоих механизмах полупроводниковая природа нанотрубок имеет важное значение. Взаимодействие с молекулами кислорода окружающего воздуха является причиной дырочной проводимости нанотрубок. Адсорбция NH_3 дефектами SWCNT может нейтрализовать положительный заряд за счет эффекта восстановления и приводит к увеличению удельного сопротивления нанотрубок. Таким образом, адсорбция молекул NH_3 непрерывно увеличивает электронную плотность в зоне проводимости, компенсирующая индуцированную кислородом плотность дырок. Кроме того, есть еще один аспект понижения тока, связанного с повышением сопротивления из-за увеличения барьера Шоттки. Адсорбция молекул NH_3 на границе нанотрубка/Al снижает работу выхода алюминиевого электрода, что приводит к увеличению барьера Шоттки, который приводит к уменьшению уровня инжекции дырок в нанотрубку.

4. Выводы

Использование новых производных ПАНИ в качестве детектирующего элемента сенсора позволяет создавать тонкие пленки с развитой поверхностью и хорошо проникаемые для анализа. Исследованные резистивные датчики демонстрируют очень низкую инерцию и хорошее время отклика. Результаты показали, что образцы 2 и 1 обладают высокой чувствительностью, быстрым временем отклика и восстановления. Таким образом, они имеют большое практическое значение в сенсорах обнаружения паров аммиака в воздухе. На основе исследований морфологии поверхности нанокompозитной структуры 3 с помощью СЭМ показано, что она покрыта формированиями в виде нитей, образованными углеродными нанотрубками. Обнаружена сенсорная чувствительность резистивных тонкопленочных нанокompозитных структур к парам аммиака и измерены зависимости протекающего тока через эти структуры от относительной влажности воздуха и концентрации паров аммиака.

Подтверждения

Исследование выполнено в рамках государственного задания (приказ MN-8/1356 от 09/20/2021).

Список литературы

1. Вычужанин В. В. Измерение влажности воздуха датчиками Honeywell // Современная электроника. – 2008. – №. 5. – С. 8-10.
2. Сокольская М.К. и др. Связующие для получения современных полимерных композиционных материалов // Фундаментальные исследования. – 2017. – №. 10-2. – С. 290-295.
3. Wang J. et al. Flexible humidity sensors composed with electrodes of laser induced graphene and sputtered sensitive films derived from poly (ether-ether-ketone) // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2023. – Т. 375. – С. 132846.
4. Кособудский И. Д. и др. Новые электропроводящие нанокompозитные материалы для электроники // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 1. – №. 1 (1). – С. 109-114.
5. Sun B. et al. Gas-permeable, multifunctional on-skin electronics based on laser-induced porous graphene and sugar-templated elastomer sponges // Advanced Materials. – 2018. – Т. 30. – №. 50. – С. 1804327.
6. Adhikari B., Majumdar S. Polymers in sensor applications // Progress in polymer science. – 2004. – Т. 29. – №. 7. – С. 699-766.
7. Qi Q. et al. Properties of humidity sensing ZnO nanorods-base sensor fabricated by screen-printing // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2008. – Т. 133. – №. 2. – С. 638-643.
8. Anju V. P., Jithesh P. R., Narayanankutty S. K. A novel humidity and ammonia sensor based on nanofibers/polyaniline/polyvinyl alcohol // Sensors and Actuators A: Physical. – 2019. – Т. 285. – С. 35-44.
9. Arularasu M. V. et al. Structural, optical, morphological and microbial studies on SnO2 nanoparticles prepared by co-precipitation method // Journal of nanoscience and nanotechnology. – 2018. – Т. 18. – №. 5. – С. 3511-3517.
10. Xuan W. et al. High sensitivity flexible Lamb-wave humidity sensors with a graphene oxide sensing layer // Nanoscale. – 2015. – Т. 7. – №. 16. – С. 7430-7436.
11. Bunakov A., Lachinov A., Salikhov R. Current-voltage characteristics of thin poly (biphenyl-4-ylphthalide) films // Macromolecular Symposia. – Weinheim : WILEY-VCH Verlag, 2004. – Т. 212. – №. 1. – С. 387-392.
12. Salikhov R. B. et al. Chemical sensors based on nano-polymer films // Measurement Techniques. – 2009. – Т. 52. – С. 427-431.
13. Manivannan S. et al. Single-walled carbon nanotubes wrapped poly-methyl methacrylate fiber optic sensor for ammonia, ethanol and methanol vapors at room temperature // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2012. – Т. 171. – С. 634-638.
14. Zhang D., Wu J., Cao Y. Ultrasensitive H2S gas detection at room temperature based on copper oxide/molybdenum disulfide nanocomposite with synergistic effect // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2019. – Т. 287. – С. 346-355.
15. Ivanov A. N., Kuzin Y. I., Evtugyn G. A. SPR sensor based on polyelectrolyte complexes with DNA inclusion // Sensors and Actuators B: chemical. – 2019. – Т. 281. – С. 574-581.
16. Lutkenhaus J. L., Hammond P. T. Electrochemically enabled polyelectrolyte multilayer devices: from fuel cells to sensors // Soft Matter. – 2007. – Т. 3. – №. 7. – С. 804-816.
17. Steffens C. et al. Bio-inspired sensor for insect pheromone analysis based on polyaniline functionalized AFM cantilever sensor // Sensors and Actuators B: Chemical. – 2014. – Т. 191. – С. 643-649.
18. Latypova L. R. et al. Synthesis and physicochemical properties of poly [2-(2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl) aniline] obtained with various dopants // Polymer International. – 2020. – Т. 69. – №. 9. – С. 804-812.
19. Andriianova A. N. et al. The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives // Sustainable Energy & Fuels. – 2022. – Т. 6. – №. 14. – С. 3435-3445.
20. Khuzin A. A. et al. Hybrid molecules based on fullerene C60 and dithienylethenes. synthesis and photochromic properties. optically controlled organic field-effect transistors // Photochemistry and Photobiology. – 2022. – Т. 98. – №. 4. – С. 815-822.
21. Ivanov V. F. et al. Spectroelectrochemical, EPR and conductivity investigations of thin films of vacuum deposited polyaniline // Electrochimica acta. – 1996. – Т. 41. – №. 11-12. – С. 1811-1814.

Наноккомпозитті және полимер жұқа қабықшаларының ауадағы аммиак буларына сенсорлық сезімталдығы

Р. Салихов, А. Остальцова

Уфа ғылым және технологиялар университеті, Уфа, Ресей

*Хат алмасу: salikhovrb@yandex.ru

Аңдатпа. Мақала хитозан полиэлектролит кешені мен хитозан сукцинамидіне (ПЕС) негізделген наноккомпозиттік жұқа қабықшаларды зерттеуге арналған. Зерттеу нысанына бір қабырғалы көміртекті нанотүтікшелер (swcnt) және полианилин туындылары пайдаланылды. Сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен синтезделген полимерлер ерітіндісінен алынған жұқа қабықшалар бетінің морфологиясы елексубстраттарына центрифугалау әдісімен зерттелді. Морфологияның табиғатын зерттеу сенсорлық құрылғыларды жасауда өте маңызды. Бұл полимерлер негізін дерезистивті жұқа қабықшалы құрылымдардың үлгілері құрайды. Аммиак буының концентрациясы өзгерген кездегі олардың электрөткізгіштігі арқылы өтетін токқа тәуелділігі өлшенді. Swcnt көмегімен ПЕС наноккомпозиттік құрылымының бетін зерттеу СЭМ-де көміртектің аңотүтікшелерден түзілген жіп тәрізді түзілімдері бар екенін көрсетті.

Түйін сөздер: полимер, полианилин, жұқа пленка құрылымы, аммиак сенсоры, хитозан полиэлектролит кешені және хитозан сукцинамиді, бір қабырғалы көміртекті нано түтікшелер.

Sensor sensitivity of nanocomposite and polymer thin films to ammonia vapors in air

R. Salikhov, A. Ostaltsova

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

*Correspondence: salikhovrb@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to the study of nanocomposite thin films based on a polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide (PEC), single-walled carbon nanotubes (SWCNT) and polyaniline derivatives were used as fillers. Using a scanning electron microscope, the morphology of the surface of thin films obtained from a solution of synthesized polymers by centrifugation on citall substrates was studied. Studying the nature of morphology is extremely important when creating sensory devices. Based on these polymers, samples of resistive thin-film structures were prepared, and the dependence of their electrical conductivity on the current passing through the sample was measured when the concentration of ammonia vapors changed. A study of the surface of the nanocomposite structure of PEC with SWCNT using SEM showed that there are filamentous formations formed by carbon nanotubes on it.

Keywords: polymers, polyaniline, thin-film structures, ammonia sensor, polyelectrolyte complex of chitosan and chitosan succinamide, single-walled carbon nanotubes.

References

1. Vychuzhanin V. V. Measurement of air humidity by Honeywell sensors //Modern electronics. – 2008. – №. 5. – С. 8-10.
2. Sokolskaya M. K. et al. Binders for the production of modern polymer composite materials // Fundamental research.–2017. – №. 10-2. – С. 290-295.
3. Wang J. et al. Flexible humidity sensors composed with electrodes of laser induced graphene and sputtered sensitive films derived from poly (ether-ether-ketone) //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2023. – Т. 375. – С. 132846.
4. Kosobudsky I. D. et al. New electrically conductive nanocomposite materials for electronics // Bulletin of the Saratov State Technical University.–2003. – Т. 1. – №. 1 (1). – С. 109-114.
5. Sun B. et al. Gas-permeable, multifunctional on-skin electronics based on laser-induced porous graphene and sugar-templated elastomer sponges //Advanced Materials. – 2018. – Т. 30. – №. 50. – С. 1804327.
6. Adhikari B., Majumdar S. Polymers in sensor applications //Progress in polymer science. – 2004. – Т. 29. – №. 7. – С. 699-766.

7. Qi Q. et al. Properties of humidity sensing ZnO nanorods-base sensor fabricated by screen-printing //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2008. – Т. 133. – №. 2. – С. 638-643.
8. Anju V. P., Jithesh P. R., Narayanankutty S. K. A novel humidity and ammonia sensor based on nanofibers/polyaniline/polyvinyl alcohol //Sensors and Actuators A: Physical. – 2019. – Т. 285. – С. 35-44.
9. Arularasu M. V. et al. Structural, optical, morphological and microbial studies on SnO₂ nanoparticles prepared by co-precipitation method //Journal of nanoscience and nanotechnology. – 2018. – Т. 18. – №. 5. – С. 3511-3517.
10. Xuan W. et al. High sensitivity flexible Lamb-wave humidity sensors with a graphene oxide sensing layer //Nanoscale. – 2015. – Т. 7. – №. 16. – С. 7430-7436.
11. Bunakov A., Lachinov A., Salikhov R. Current-voltage characteristics of thin poly (biphenyl-4-ylphthalide) films //Macromolecular Symposia. – Weinheim : WILEY-VCH Verlag, 2004. – Т. 212. – №. 1. – С. 387-392.
12. Salikhov R. B. et al. Chemical sensors based on nano-polymer films //Measurement Techniques. – 2009. – Т. 52. – С. 427-431.
13. Manivannan S. et al. Single-walled carbon nanotubes wrapped poly-methyl methacrylate fiber optic sensor for ammonia, ethanol and methanol vapors at room temperature //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2012. – Т. 171. – С. 634-638.
14. Zhang D., Wu J., Cao Y. Ultrasensitive H₂S gas detection at room temperature based on copper oxide/molybdenum disulfide nanocomposite with synergistic effect //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2019. – Т. 287. – С. 346-355.
15. Ivanov A. N., Kuzin Y. I., Evtugyn G. A. SPR sensor based on polyelectrolyte complexes with DNA inclusion //Sensors and Actuators B: chemical. – 2019. – Т. 281. – С. 574-581.
16. Lutkenhaus J. L., Hammond P. T. Electrochemically enabled polyelectrolyte multilayer devices: from fuel cells to sensors //Soft Matter. – 2007. – Т. 3. – №. 7. – С. 804-816.
17. Steffens C. et al. Bio-inspired sensor for insect pheromone analysis based on polyaniline functionalized AFM cantilever sensor //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2014. – Т. 191. – С. 643-649.
18. Latypova L. R. et al. Synthesis and physicochemical properties of poly [2-(2-chloro-1-methylbut-2-en-1-yl) aniline] obtained with various dopants //Polymer International. – 2020. – Т. 69. – №. 9. – С. 804-812.
19. Andriianova A. N. et al. The structural factors affecting the sensory properties of polyaniline derivatives //Sustainable Energy & Fuels. – 2022. – Т. 6. – №. 14. – С. 3435-3445.
20. Khuzin A. A. et al. Hybrid molecules based on fullerene C₆₀ and dithienylethenes. synthesis and photochromic properties. optically controlled organic field-effect transistors //Photochemistry and Photobiology. – 2022. – Т. 98. – №. 4. – С. 815-822.
21. Ivanov V. F. et al. Spectroelectrochemical, EPR and conductivity investigations of thin films of vacuum deposited polyaniline //Electrochimica acta. – 1996. – Т. 41. – №. 11-12. – С. 1811-1814.

Бас редакторы: **К.Ш. Жумадилов**

Компьютерде беттеген: **Ж.Қ. Оспан**

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында берілген: <http://bulphysast.enu.kz>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
Физика. Астрономия сериясы.
- 4(145)/2023 - Астана: ЕҰУ. - 26 б.
Шартты б.т. – 2.5. Таралымы - 5 дана.
Басуға қол қойылды: 30.12.2023 ж.

Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bulphysast.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-410)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды.