

ISSN 2518-1483 (Online),  
ISSN 2224-5227 (Print)

**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

**№3  
2025**

ISSN 2518-1483 (Online),  
ISSN 2224-5227 (Print)

2025 • 3



**ACADEMIC JOURNAL  
OF PHYSICAL AND  
CHEMICAL SCIENCES**

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

**Editor-in-Chief:**

**ZHURINOV Murat Zhurinovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Acting President of RPA NAS RK, General Director of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky" (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

**Editorial Board:**

**KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

**ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Director of the International Science and Production Holding "Phytochemistry" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

**RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich**, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

**ABIEV Rufat**, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

**OLIVIERO Rossi Cesare**, PhD (Chemistry), Professor at the University of Calabria (Calabria, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

**TIGINYANU Ion Mihailovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

**SANG SU Kwak**, PhD (Biochemistry, Agricultural Chemistry), Professor, Chief Scientist, Research Center for Plant Systems Engineering, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

**BERSIMBAYEV Rakhmetkazi Iskenderovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Astana, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

**CALANDRA Pietro**, PhD (Physics), Professor, Institute for the Study of Nanostructured Materials (Rome, Italy), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

**BOSHKAEV Kuantai Avgazyevich**, PhD, Associate Professor, Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

**BURKITBAEV Mukhambetkali**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

**QUEVEDO Hernando**, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

**ZHUSUPOV Marat Abzhanovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

**KOVALEV Alexander Mikhailovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of NAS of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

**TAKIBAEV Nurgali Zhabagaevich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

**KHARIN Stanislav Nikolaevich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

**DAVLETOV Askar Erbulanovich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Branch of NRNU MEPhI Kazakh National University named after Al-Farabi (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

**ABISHEV Medeu Erzhanovich**, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

**ABILMAGZHANOV Arlan Zainutalievich**, PhD in Chemistry, First Deputy Director General of JSC "Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry named after D.V. Sokolsky", (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

**ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES.****ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)**

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of Information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № **KZ93VPY00121157** issued **05.06.2025**Thematic scope: *physics and chemistry*.

Periodicity: 4 times a year.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

**Бас редактор:**

**ЖУРЫНОВ Мұрат Жұрынулы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА РҚБ президенті м.а., АҚ «Д.В. Сокольский атындағы Отын, катализ және электрохимия институтының» бас директоры (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

**Редакция ұжымы:**

**ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нүрәліұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

**ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «Фитохимия» халықаралық ғылыми-өндірістік холдингінің директоры (Қарағанды, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

**РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

**ӘБИЕВ Руфат**, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

**ОЛИВЬЕРО Россин Сезаре**, PhD (химия), Калабрия университетінің профессоры (Калабрия, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

**САНГ-СУ Квак**, PhD (биохимия, агрохимия), профессор, Корей Биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

**БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы**, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті. (Астана, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

**КАЛАНДРА Пьетро**, PhD (физика), нанокүрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

**БОШКАЕВ Қуанғай Ағвазыұлы**, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

**Бүркітбаев Мұхамбетқали**, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

**QUEVEDO Hernando**, профессор, Мексика ұлттық автономиялық университеті (UNAM), Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

**ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

**ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

**ХАРИН Станислав Николаевич**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

**ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович**, физика-математика ғылымдарының кандидаты, доцент, ҰЯЗУ МИФИ әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

**ӘБШЕВ Медеу Ержанұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

**ӘБІЛМАҒЖАНОВ Арпан Зайнуталлайұлы**, химия ғылымдарының кандидаты, Д.В. Сокольский атындағы "Отын, катализ және электрохимия институты" АҚ Бас директорының бірінші орынбасары, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

**ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Ақпарат агенттігінің мерзімді баспасөз басылымын, ақпарат агенттігін және желілік басылымды қайта есепке қою туралы ҚР Мәдениет және Ақпарат министрлігі «Ақпарат комитеті» Республикалық мемлекеттік мекемесі **05.06.2025 ж.** берген № **KZ93VPY00121157** Күзлік.

Тақырыптық бағыты: *физика, химия.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

**Главный редактор:**

**ЖУРИНОВ Мурат Журинович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. президента РОО НАН РК, Генеральный директор АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского» (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>

**Редакционная коллегия:**

**КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500>

**АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного научно-производственного холдинга «Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>

**РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович**, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701328029>

**АБИЕВ Руфат**, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602431781>

**ОЛИБЬЕРО Росси Чезаре**, доктор философии (PhD, химия), профессор Университета Калабрии (Калабрия, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57221375979>

**ТИГИНЯНУ Ион Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006315935>

**САНГ-СУ Квак**, доктор философии (PhD, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59286321700>

**БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович**, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Астана, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004012398>

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (PhD, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004303066>

**БОШКАЕВ Куантай Авгазиевич**, PhD, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=54883880400>

**БҮРКИТБАЕВ Мухамбеткали**, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>

**QUEVEDO Hernando**, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55989741100>

**ЖУСУПОВ Марат Абжанович**, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602166928>

**КОВАЛЕВ Александр Михайлович**, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7202799321>

**ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24077239000>

**ХАРИН Станислав Николаевич**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701353063>

**ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович**, кандидат физико-математических наук, доцент, Филиал НИЯУ МИФИ Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602642543>

**АБИШЕВ Медеу Ержанович**, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=26530759900>

**АБИЛЬМАГЖАНОВ Арлан Зайнуталлаевич**, кандидат химических наук, первый заместитель генерального директора АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57197468109>

**ACADEMIC JOURNAL OF PHYSICAL AND CHEMICAL SCIENCES**

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Собственник: ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство № KZ93VPY00121157 о повторной регистрации периодического печатного издания информационного агентства, информационного агентства и сетевого издания, выданное Республиканским государственным учреждением «Комитет информации» Министерства культуры и информации Республики Казахстан **05.06.2025**Тематическая направленность: *физика, химия*.

Периодичность: 4 раза в год.

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2025

## CONTENTS

## PHYSICS

**M.B. Albatyrova**

Energy evolution equation in a nonlinear spin system: derivation and numerical modeling.....11

**E.A. Dmitriyeva, A.E. Kemelbekova, A.K. Shongalova, O.A. Shilova**

Effect of the precursor concentration on the morphology and photosensitivity of the resulting ZnO thin films.....21

**A. Istlyaup, L. Myasnikova, A. Lushchik**

Computer simulation of the electrical properties of a carbon sheet with alkali metal iodide crystals.....33

**A. Kenesbayeva, Ye.I. Kuldeev, E.O. Shalenov, T.B. Nurpeissova**

Determination of the gravitational constant.....49

**Sh.T. Nurmakhmetova, N.L. Vaidman, S.A. Khokhlov, A.T. Agishev, A.A. Khokhlov**

The emission-line dusty object IRAS 07080+0605: evidence for binarity.....60

**E.Otunchi, A.A. Migunova, A.Umirzakov, N.Tokmoldin**

Effect of the composition of the film-forming system on the properties of SnO<sub>2</sub> films obtained by spray pyrolysis.....71

**U.A. Ualikhanova, A.N. Abdipatta, O.V. Razina, A.M. Syzdykova, G.S. Altayeva**

Bulk viscosity in f(T) gravity and its impact on cosmological evolution.....83

**A.Zh. Umirbayeva, L. Aktay, L.N. Kondratyeva, I.M. Izmailova, A. Shomshekova**

Methodology for the reduction of archival slit spectra of planetary nebulae.....99

**N. Eghtesadi, S.S. Uzakbaeva, Z.K. Aimaganbetova, N.N. Zhanturina, A.Z. Bekeshev**

Prediction of the kinetic properties of low-density polyethylene.....115

**D. Yurin, D. Kuvatova, A. Glushenko, Ch. Omarov, M. Makukov**

Analysis of the limits of direct n-body simulation using Nvidia RTX4090 GPU cards.....131

## CHEMISTRY

<b>A.S. Beisenova, A.A. Zhanybekova, M.M. Duysebaeva, G.E. Berganaeva</b> Study of the chemical composition of <i>Centaurea diffusa</i> Lam. growing in the territory of Almaty region.....	146
<b>N.N. Berikbol, Zh.S. Kassymova, L.K. Orazzhanova, A.N. Klivenko, N.N. Nurgaliyev</b> Synthesis of interpolyelectrolyte complexes from fluorescently labeled biopolymers.....	161
<b>O.A.Yessimova, S.Sh. Kumargaliyeva, B.K. Musabekov, A.K. Konysbek</b> Colloidal - chemical properties of alhagi and tansy ( <i>tanacetum</i> ) hydrolates.....	182
<b>R.N. Zhanaliyeva, B. Imangaliyeva, B. Torsykbaeva, R. Kozykeyeva</b> Catalytic hydrogenation of carbonyl-containing compounds: mechanism, catalysts and application.....	193
<b>M.A. Zhumash, K. Tilegen, Y.A. Boleubayev, S.S. Itkulova</b> Dry reforming of methane over the high active Co-Fe-Ir-containing alumina supported catalyst.....	207
<b>M. Ibrayeva, N. Sagdollina, Zh. Mukazhanova, Sh. Sanyazova, M.Ozturk</b> Optimization of flavonoid extraction conditions from a plant of the genus <i>Symphotrichum novi-belgii</i> .....	218
<b>M.K. Kurmanaliev, Zh.E. Shaikhova, S.O. Abilkasova</b> Supramolecular polymeric receptors for binding alkali metal ions.....	228
<b>Y.A. Mussatay, M.I. Tulepov</b> Carbon filters from rice husk for air purification in confined spaces.....	238
<b>A.Zh. Mutushev, A.B. Seisenova, O.S. Kapizov, A.M. Nuraly, D.K. Mukhanov</b> Integrated process for the synthesis of carbon–silicon nanocomposites from biowaste and metallurgical sludge.....	258
<b>A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.S. Rakhmetova, D.A. Zhumadullaev, M. Zhurinov</b> Influence of metal surface mechanical preparation on the properties of phosphate coatings.....	274

## МАЗМҰНЫ

## ФИЗИКА

**М.Б. Альбатырова**

Сызықтық емес спиндік жүйедегі энергия эволюциясының теңдеуі:  
шығарылуы және сандық модельдеу.....11

**Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, А.Қ. Шонғалова, О.А. Шилова**

Прекурсор концентрациясының алынған жұқа ZnO жабындарының  
құрылымы мен фотосезімталдығына әсері.....21

**Н. Эхтесади, С.С. Узакбаева, З.К. Аймаганбетова, Н.Н. Жантурина,  
А.З. Бекешев**

Төмен тығыздықтағы полиэтиленнің кинетикалық қасиеттеріне  
болжау жасау.....33

**А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик**

Сілтілі металл иодидтерінің кристалдарымен көміртек қабатының  
электрлік қасиеттерін компьютерлік модельдеу.....49

**А. Кенесбаева, Е. Кульдеев, Е. Шаленов, Т. Нурпеисова**

Гравитациялық тұрақтыны анықтау.....60

**Ш.Т. Нурмахаметова, Н.Л. Вайдман, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, А.А. Хохлов**

IRAS 07080+0605 эмиссиялық объекті: екіжұлдыздық жүйенің дәлелі.....71

**Е. Отунчи, А.А. Мигунова, А.Г. Умирзаков, Н. Токмолдин**

Жабын түзуші жүйе құрамының спрей-пиролиз әдісімен алынған  
SnO<sub>2</sub> жабындарының қасиетіне әсері.....83

**У.А. Уалиханова, А.Н. Әбдіпатта, О.В. Разина, А.М. Сыздыкова, Г.С. Алтаева**

f(T) гравитациясындағы көлемдік тұтқырлық және оның  
космологиялық эволюцияға әсері.....99

**А.Ж. Умирбаева, Л. Актай, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова,  
С.А. Шомшекова**

Планетарлық тұмандықтардың архивтік саңылаулы спектрлерін  
өңдеу әдістемесі.....115

**Д. Юрин, Д. Куватова, А. Глущенко, Ч. Омаров, М. Макуков**

N-бөлшекті тікелей үлгілеудің шектерін Nvidia RTX 4090  
GPU-карталарын пайдаланып талдау.....131

## ХИМИЯ

- А.С. Бейсенова, А.А. Жаныбекова, Г.Е. Берганаева, М.А. Дюсебаева**  
Алматы облысының аумағында өсетін шашыңқы гүлкекіре *Centaurea diffusa Lam.* өсімдігінің химиялық құрамын зерттеу.....146
- Н.Н. Берікбол, Ж.С. Касымова, Л.К. Оразжанова, А.Н. Кливенко, Н.Н. Нурғалиев**  
Флуоресцентті таңбаланған биополимерлерден интерполиэлектрлиттік комплексті синтездеу.....161
- О.А. Есимова, С.Ш. Құмарғалиева, К.Б. Мусабеков, А.Қ. Қонысбек**  
Жантақ және түймешетен гидрولاتтарының коллоидтық-химиялық қасиеттері.....182
- Р.Н. Жаналиева, Б. Иманғалиева, Б.Б. Торсыкбаева, Р. Козыкеева, Р.Э. Ходжаназаров**  
Құрамында карбонил бар қосылыстардың каталитикалық гидрогенизациясы: механизмі, катализаторлары және қолданылуы.....193
- М.А. Жұмаш, К.Т. Тілеген, Е.А. Болеубаев, Ш.С. Итқұлова**  
Алюминий тотығына қондырылған жоғары белсенді Co-Fe-Ir құрайтын катализатордағы метанның құрғақ риформингі.....207
- М. Ибраева, Н. Сағдоллина, Ж. Мукажанова, Ш. Санъязова, М. Ozturk**  
*Symphyotrichum novi-belgii* тұқымдас өсімдіктен флавоноидтарды алу жағдайларын оңтайландыру.....218
- М.Қ. Құрманалиев, Ж.Е. Шаихова, С.О. Әбілқасова**  
Сілтілік металл иондарын байланыстыруға арналған супрамолекулалық полимерлік рецепторлар.....228
- Е.А. Мұсатай, М.И. Тулепов**  
Шағын кеңістіктегі ауаны тазартуға арналған күріш қауызы негізіндегі көміртек құрамды сүзгілер.....238
- А.Ж. Мутушев, А.Б. Сейсенова, Ө.С. Капизов, Ә.М. Нұралы, Д.К. Муханов**  
Биоқалдықтар мен металлургиялық шламнан көміртек-кремний нанокөміртектерін синтездеудің интеграцияланған әдісі.....258
- А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова, Д.А. Жумадуллаев, М. Журинов**  
Металдар бетін механикалық дайындаудың фосфатты жабындар қасиеттеріне әсері.....274

## СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

**М.Б. Альбатырова**Уравнение эволюции энергии в нелинейной спиновой системе:  
вывод и численное моделирование.....11**Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, А.Қ. Шонғалова, О.А. Шилова**Влияние концентрации прекурсора на морфологию и фоточувствительность  
получаемых тонких пленок ZnO.....21**А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик**Компьютерное моделирование электрических свойств углеродного листа  
с кристаллами йодидов щелочных металлов.....33**А. Кенесбаева, Е. Кульдеев, Е. Шаленов, Т. Нурпеисова**

Определение гравитационной постоянной.....49

**Ш.Т. Нурмахаметова, Н.Л. Вайдман, С.А. Хохлов, А.Т. Агишев, А.А. Хохлов**Эмиссионный пылевой объект IRAS 07080+0605: доказательство двойной  
природы.....60**Е. Отунчи, А.А. Мигунова, А.Г. Умирзаков, Н. Токмолдин**Влияние состава пленкообразующей системы на свойства пленок  
SnO<sub>2</sub>, полученных методом спрей-пиролиза.....71**У.А. Уалиханова, А.Н. Эбдіпатта, О.В. Разина, А.М. Сыздыкова, Г.С. Алтаева**Объемная вязкость в f(T) гравитации и ее влияние  
на космологическую эволюцию.....83**А.Ж. Умирбаева, Л. Актай, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова,  
С.А. Шомшекова**

Методика обработки архивных щелевых спектров планетарных туманностей...99

**Н. Эхтесади, С.С. Узакбаева, З.К. Аймаганбетова, Н.Н. Жантурина,  
А.З. Бекешев**

Прогнозирование кинетических свойств полиэтилена низкой плотности.....115

**Д. Юрин, Д. Куватова, А. Глущенко, Ч. Омаров, М. Макуков**Анализ пределов прямого моделирования n-тел с использованием  
GPU-карт Nvidia RTX4090.....131

## ХИМИЯ

- А.С. Бейсенова, А.А. Жаныбекова, М.А. Дюсебаева, Г.Е. Берганаева**  
Исследование химического состава василек раскидистый *Centaurea diffusa* Lam., растущий на территории Алматинской области.....146
- Н.Н. Берікбол, Ж.С. Касымова, Л.К. Оразжанова, А.Н. Кливенко, Н.Н. Нурғалиев**  
Синтез интерполиэлектrolитных комплексов на основе флуоресцентно-меченых биополимеров.....161
- О.А. Есимова, С.Ш. Кумарғалиева, К.Б. Мусабеков, А.Қ. Қонысбек**  
Коллоидно-химические свойства гидратов верблюжьей колючки и пижмы...182
- Р.Н. Жаналиева, Б. Иманғалиева, Б.Б. Торсықбаева, Р. Қозықеева, Р.Э. Ходжаназаров**  
Каталитическое гидрирование карбонилсодержащих соединений: механизм, катализаторы и применение.....193
- М.А. Жұмаш, К.Т. Тілеген, Е.А. Болеубаев, Ш.С. Иткулова**  
Сухой риформинг метана на высокоактивном Co-Fe-Ir содержащем нанесенном на оксид алюминия катализаторе.....207
- М. Ибраева, Н. Сағдоллина, Ж. Мукажанова, Ш. Саньязова, М. Ozturk**  
Оптимизация условий экстракции флавоноидов из растения рода *Symphotrichum novi-belgii*.....218
- М.К. Курманалиев, Ж.Е. Шаихова, С.О. Абилкасова**  
Супрамолекулярные полимерные рецепторы для связывания ионов щелочных металлов.....228
- Е.А. Мұсатай, М.И. Тулепов**  
Углеродные фильтры из рисовой шелухи для очистки воздуха в стесненных помещениях.....238
- А.Ж. Мутушев, А.Б. Сейсенова, О.С. Капизов, А.М. Нуралы, Д.К. Муханов**  
Интегрированная технология получения углеродно-кремниевых нанокомпозитов из биоотходов и металлургических шламов.....258
- А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.С. Рахметова, Д.А. Жумадуллаев, М. Журинов**  
Влияние механической подготовки поверхности металла на свойства фосфатных покрытий.....274

© E.A. Dmitriyeva, A.E. Kemelbekova<sup>1\*</sup>, A.K. Shongalova<sup>1</sup>, O.A. Shilova<sup>2</sup>, 2025.

<sup>1</sup>Institute of Physics and Technology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Institute of Silicate Chemistry, Russian Academy of Sciences,  
Saint-Petersburg, Russia.

E-mail: a.kemelbekova@sci.kz

## EFFECT OF THE PRECURSOR CONCENTRATION ON THE MORPHOLOGY AND PHOTOSENSITIVITY OF THE RESULTING ZnO THIN FILMS

**Dmitriyeva E.A.** — Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Professor, Leading Researcher, Satbayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: e.dmitriyeva@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

**Kemelbekova A.E.** — PhD, Satbayev University, «Institute of Physics and Technology», Almaty, Kazakhstan,

E-mail: a.kemelbekova@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>;

**Shongalova A.K.** — PhD, Satbayev University, «Institute of Physics and Technology», Almaty, Kazakhstan,

E-mail: shongalova.aigul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7352-9007>.

**Shilova O.A.** — Doctor of Chemical Sciences, Professor, Institute of Silicate Chemistry of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia,

E-mail: olgashilova@bk.ru., <https://orcid.org/0000-0002-3856-9054>.

**Abstract.** This work presents a comprehensive study of the structural, optical, and morphological properties of zinc oxide (ZnO) thin films synthesized by the sol–gel method from zinc acetate solutions with different precursor concentrations (0.1–0.7 mol/L). It was established that varying the precursor concentration significantly affects the formation of the crystal structure, preferred orientation, crystallite size, and surface roughness. X-ray diffraction analysis revealed that films prepared at low concentration (0.1 mol/L) exhibit a pronounced [002] texture, indicative of a high degree of structural ordering, whereas films obtained at 0.5–0.7 mol/L demonstrate reduced orientation and increased crystallite size and surface roughness. Photoluminescence spectra showed stronger near-band-edge emission in the range of 3.14–3.18 eV for films synthesized at lower concentrations, which may be associated with a lower density of recombination defects and improved crystal quality. Atomic force microscopy confirmed the increase in surface roughness with precursor concentration. Fabricated ZnO–Si heterostructures demonstrated pronounced photosensitivity in the 500–1100 nm spectral range. The

highest photoresponse was observed for structures prepared at 0.7 mol/L, which can be attributed to a more pronounced built-in electric field and efficient charge carrier separation. The results highlight the potential of such ZnO films for applications in optoelectronics, photodetectors, and solar energy conversion devices.

**Keywords:** zinc oxide, photosensitivity, luminescence, volt-ampere characteristics, sol-gel method

*The study was conducted with the financial support of the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (No BR21881954).*

© Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова<sup>1\*</sup>, А.Қ. Шонғалова<sup>1</sup>,  
О.А. Шилова<sup>2</sup>, 2025.

<sup>1</sup> Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан;

<sup>2</sup> Ресей ғылым академиясының Силикаттар химиясы институты,  
Санкт-Петербург, Ресей.

E-mail: a.kemelbekova@sci.kz

## ПРЕКУРСОР КОНЦЕНТРАЦИЯСЫНЫҢ АЛЫНҒАН ЖҰҚА ZnO ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН ФОТОСЕЗІМТАЛДЫҒЫНА ӘСЕРІ

**Дмитриева Е.А.** — физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, жетекші ғылыми қызметкер, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан,

E-mail: e.dmitriyeva@sci.kz, <http://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

**Кемелбекова А.Е.** — PhD, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан,  
E-mail: a.kemelbekova@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>;

**Шонғалова А.Қ.** — PhD, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан,  
E-mail: shongalova.aigul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7352-9007>;

**Шилова О.А.** — химия ғылымдарының докторы, Ресей ғылым академиясының Силикаттар химиясы институтының профессоры, Санкт-Петербург, Ресей,  
E-mail: olgashilova@bk.ru. , <https://orcid.org/0000-0002-3856-9054>.

**Аннотация.** Бұл жұмыста әртүрлі концентрациядағы (0,1–0,7 моль/л) мырыш ацетаты ерітінділерінен золь-гель әдісімен алынған мырыш оксиді (ZnO) жұқа жабындарының құрылымдық, оптикалық және морфологиялық қасиеттері кешенді түрде зерттелді. Прекурсор концентрациясының өзгеруі кристалдық құрылымның түзілуіне, бағдарлануына, кристаллит өлшеміне және беткі кедір-бұдырлығына айтарлықтай әсер ететіні анықталды. Рентгенқұрылымдық талдау төмен концентрацияда (0,1 моль/л) дайындалған үлгілердің айқын [002] бағдарлануын көрсетіп, жоғары дәрежелі реттелуді дәлелдеді, ал 0,5–0,7 моль/л концентрациясында алынған жабындарда бағдарлану әлсіреп, кристаллит өлшемі мен беткі кедір-бұдырлығы артатыны байқалды. Фотолюминесценция спектрлері төмен концентрацияда алынған үлгілер үшін 3,14–3,18 эВ аймағында қарқынды сәуле шығару байқалды, бұл рекомбинациялық ақаулардың аздығымен және

кристалл торының сапасының жоғары болуымен байланысты болуы мүмкін. Атомдық-күштік микроскопия прекурсор концентрациясының артуымен беткі кедір-бұдырлықтың өсетінін растады. ZnO–Si гетероқұрылымдары 500–1100 нм диапазонында айқын фотосезімталдық көрсетті. Ең жоғарғы фотоқабылдау 0,7 моль/л концентрациясында алынған үлгілерде байқалды, бұл ішкі электр өрісімен және заряд тасымалдаушылардың тиімді бөлінуімен түсіндіріледі. Алынған нәтижелер мұндай жабындардың оптоэлектроникада, фотодетекторларда және күн элементтерінде қолдануға аясы кең екенін дәлелдейді.

**Түйін сөздер:** мырыш оксиді, фотосезімталдық, люминесценция, Вольт-Ампер сипаттамалары, золь-гель әдісі

*Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен (No BR21881954) жүргізілді.*

© Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова<sup>1\*</sup>, А.Қ. Шонғалова<sup>1</sup>,  
О.А. Шилова<sup>2</sup>, 2025.

<sup>1</sup> Физико-технический институт, Satbayev University, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup> Институт химии силикатов РАН, Санкт-Петербург, Россия.

E-mail: a.kemelbekova@sci.kz

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРЕКУРСОРА НА МОРФОЛОГИЮ И ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПОЛУЧАЕМЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК ZnO

**Дмитриева Е.А.** — кандидат физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан,

E-mail: e.dmitriyeva@sci.kz , <http://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

**Кемелбекова А.Е.** – PhD, Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан,

E-mail: a.kemelbekova@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>;

**Шонғалова А.Қ.** – PhD, Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан,

E-mail: shongalova.aigul@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7352-9007>;

**Шилова О.А.** — Доктор химических наук, профессор, Институт химии силикатов РАН, Санкт-Петербург, Россия,

E-mail: olgashilova@bk.ru. , <https://orcid.org/0000-0002-3856-9054>.

**Аннотация.** В данной работе представлено комплексное исследование структурных, оптических и морфологических свойств тонких пленок оксида цинка (ZnO), синтезированных золь-гель методом из растворов ацетата цинка различной концентрации (0,1–0,7 моль/л). Установлено, что изменение концентрации прекурсора оказывает существенное влияние на формирование кристаллической структуры, ориентацию, размеры кристаллитов и шероховатость поверхности. Рентгеноструктурный анализ показал, что при низкой концентрации (0,1 моль/л) наблюдается выраженная текстура по оси [002], свидетельствующая о высокой степени упорядоченности, тогда как при 0,5–0,7 моль/л структура становится менее упорядоченной, а размер кристаллитов и шероховатость поверхности увеличиваются. Спектры фотолюминесценции показали более

интенсивное излучение в области 3,14–3,18 эВ для пленок, полученных при низких концентрациях, что может быть связано с меньшим количеством дефектов рекомбинации и более высоким качеством кристаллической решетки. Атомно-силовая микроскопия подтвердила рост шероховатости поверхности с увеличением содержания прекурсора. Изготовленные гетероструктуры ZnO–Si продемонстрировали выраженную фоточувствительность в диапазоне 500–1100 нм. Максимальный фотоотклик наблюдался у структур, синтезированных при концентрации 0,7 моль/л, что объясняется более выраженным встроенным электрическим полем и эффективным разделением носителей заряда. Полученные результаты подтверждают перспективность применения таких пленок в оптоэлектронике, фотодетекторах и солнечных элементах.

**Ключевые слова:** оксид цинка, фоточувствительность, люминесценция, вольт-амперные характеристики, золь-гель метод

*Работа поддержана Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант No BR21881954 Разработка технологий синтеза наноструктурированных материалов для создания эффективных фотокаталитических электродов, фото и газочувствительных сенсоров)*

**Введение.** Повышенное внимание к пленкам на основе оксида цинка вызвано наличием интересных свойств этого материала, таких как, люминесценция, наличие пьезо- и пирроэффекта, амфотерные химические свойства, каталитическая активность, фотоэлектрические свойства и биологическая активность (Кляйн, 1987; Зиновьев, 1974; Разуваев, 1972). Оксид цинка нашел применение в светодиодах и лазерах, в солнечных батареях, в качестве прозрачных проводящих электродов, как материал для газочувствительных датчиков, в антибликовых покрытиях и оптических фильтрах, а также в пьезоэлектрических преобразователях и варисторах (Помогайло, 2000; Анисимов, 2007, Симаков, 2009). Универсальность этого полупроводникового материала связана с широкой шириной запрещенной зоны (3,37 эВ), большой энергией связи экситона (60 мэВ при комнатной температуре), химической стабильностью к влаге (Рембеза, 2006; Сунита, 2002; Рябцев, 2008).

Особый интерес вызывают тонкие плёнки ZnO, полученные золь-гель методом, поскольку этот метод является экономически эффективным, и при необходимости, легко масштабируется до промышленного производства. Путём варьирования параметров золь-гель процесса — таких как состав прекурсора, тип легирующих добавок и условия термообработки — можно управлять кристалличностью, уровнем дефектности и морфологией плёнок (Сюй, 1991; Адамян, 2006; Мухамедшина, 2007; Карапатницкий, 2000)

Как правило, плёнки ZnO, полученные золь-гель методом, демонстрируют прямозонную ширину запрещённой зоны (Eg) в диапазоне ~3,2–3,3 эВ, что соответствует значению Eg объёмного кристаллического ZnO (Шривастава, 1998). На величину ширины запрещённой зоны могут оказывать влияние

микроструктурные особенности и легирование. Например, при появлении растягивающих напряжений, обусловленных легированием, наблюдаются незначительные красные сдвиги Eg: при легировании ZnO медью ширина запрещенной зоны уменьшалась с ~3,14 эВ (для нелегированного образца) до ~3,07 эВ при содержании 6% Cu, что объясняется расширением решетки и появлением энергетических «хвостов» (Мухамедшина, 2006; Мухамедшина, 2008).

Напротив, сплавление с оксидами, обладающими более широкой запрещенной зоной, например, MgO, приводит к её увеличению, что может быть полезно при создании УФ-фильтров и оптических барьеров (Ким, 2005)

Фотолюминесцентные свойства (PL) плёнок ZnO, так же чувствительны к качеству кристаллической структуры и наличию дефектов. На данный момент удалось добиться значительного управления фотолюминесценцией ZnO за счёт легирования и модификации условий синтеза. Введение определённых элементов позволяет либо пассивировать дефекты, либо формировать новые люминесцентные центры.

Несмотря на достигнутые успехи в синтезе плёнок оксида цинка методом золь-гель, остается ряд нерешённых задач, связанных с влиянием концентрации прекурсора на формирование дефектов в структуре плёнок и их кристалличность. Особый интерес представляет изучение зависимости между концентрацией прекурсора и образованием люминесцентных центров, а также оценка влияния этого параметра на фототок синтезированных структур. Настоящая работа направлена на выявление закономерностей, связывающих концентрацию прекурсора в процессе золь-гель синтеза с морфологическими, структурными и оптоэлектронными свойствами полученных плёнок оксида цинка. сканирующей электронной микроскопией.

**Материалы и методы.** *Получение кристаллов.* В процессе выполнения данной работы пленки оксида цинка были получены методом центрифугирования. В качестве исходного материала для получения оксида цинка был использован дигидрат ацетата цинка ( $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ ) (99,999% Sigma Aldrich) с концентрацией ацетата цинка 0,1, 0,3, 0,5 и 0,7 моль/л с использованием изопропанола (99, 97%, ГОСТ 9805-84) и моноэтаноламина ( $C_2H_7NO$ , CAS #141-43-5) в качестве растворителя и стабилизирующего агента соответственно. Используемые растворы готовились на шейкере орбитального вращения ЛАБ-ПУ-01 (скорость вращения 150 об/мин). Растворение проводилось, как при комнатной температуре, так и при нагреве до 50°C, что в некоторых случаях являлось наиболее значимым условием гомогенизации получаемых растворов. Время приготовления растворов варьировалось от 20 минут до 1 часа. Осаждение плёнок ZnO на подложку начиналось не позже 1 часа после приготовления растворов. В качестве подложек были выбраны микроскопные слайды с размерами 75x25x1мм. Раствор наносили на подложку, расположенную на специально разработанном столике ротора стандартной центрифуги. Скорость вращения центрифуги составляла 3600 об/мин, время вращения варьировалось от 3 до 5 секунд. После осаждения проводилась предварительная сушка плёнок

инфракрасным излучателем при температуре 80°C в течение 2 минут, затем полученные образцы помещались в муфельную печь на 10 - 15 минут при температуре 300°C для устранения остатков органических соединений, спиртов и воды. Окончательный отжиг проводился при температуре 400°C в течение часа.

*Характеристика структуры образцов.* Исследованы состав, структура и оптические свойства созданных пленок. Структура и состав осажденных пленок изучались на аналитическом сканирующем электронном микроскопе JSM-6490 LA (JEOL, Япония). Рентгеноструктурные исследования пленок были проведены на дифрактометре ДРОН-6. Исследование топографии пленок проводилось на атомно-силовом микроскопе JSPM-5200, J (Япония) полуконтактным методом. Спектры пропускания измерены на двухлучевых спектрофотометрах СФ-256 УВИ (190 – 1200) нм и СФ-256 БИК (1100 – 2500) нм. Спектры ФЛ пленок ZnO, измеренные при комнатной температуре при возбуждении HeCd на длине волны 325 нм

Размер частиц (D) можно рассчитать с помощью формулы Дебая-Шеррера:

$$D = \frac{0.9\lambda}{B \cos \theta},$$

где  $\lambda$  — длина волны рентгеновского излучения (1,5405 Å),  $\theta$  — угол дифракции Брэгга, а B — полная ширина на половине максимума.

Для исследования фототока были сделаны структуры на кремнии. Для того чтобы сформировать рп - переход были использованы пластины кремния р-типа с удельным сопротивлением 10 Ом · см и ориентированной кристаллографической плоскостью (111). Тыльная сторона кремниевой пластины была покрыта сплошным слоем алюминия толщиной ~ 0,5 мкм и на лицевую сторону методом термического напыления была нанесена контактная сетка из золота.

**Результаты и обсуждение.** На рисунке 1 приведены результаты XRD анализа пленок ZnO, осажденных из растворов с варьируемой концентрацией ионов цинка.

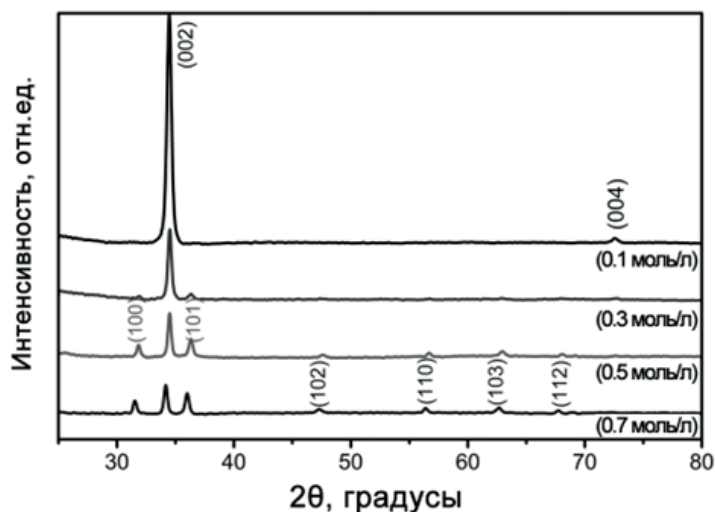


Рисунок 1 - Рентгеноструктурный анализ пленок ZnO, осажденных из растворов с варьируемой концентрацией ионов цинка

Пленка, покрытая из растворителя при  $C=0,7$  моль/л, показывает рефлексы (100), (002), (101), (102), (110), (103), (112) ZnO. Рентгеновская дифрактограмма пленки ZnO, нанесенной из растворителя при  $C=0,5$  моль/л, также показывает аналогичные результаты. Ориентированный по оси с рефлекс (002) пленок ZnO, нанесенных из растворителей с  $C=0,3$  моль/л и  $0,1$  моль/л, очень интенсивен по сравнению с другими пленками. Результаты XRD показывают, что пленки  $C=0,5$  и  $0,7$  моль/л и в меньшей степени пленка  $C=0,3$  моль/л состоят из неупорядоченных кристаллитов, тогда как пленка  $C=0,1$  моль/л имеет интенсивный пик (002), показывающий более очевидную преимущественную ориентацию [002]. Средние размеры кристаллитов пленок ZnO, осажденных с различной концентрацией ацетата цинка, показаны в таблице 1.

Таблица 1. Средний размер кристаллитов (нм) для пленок ZnO, оцененный по рентгенограммам.

C, моль/л	D, нм							
	(100)	(002)	(101)	(102)	(110)	(103)	(112)	(004)
0.1	-	24	-	-	-	-	-	29
0.3	19	29	16	-	-	-	-	-
0,5	31	44	35	17	27	21	22	-
0,7	38	45	37	20	32	18	21	-

На рисунке 2 (а, б) показаны спектры фотолюминесценции и пропускания тонких пленок ZnO. Данные по оптическому пропусканию были использованы для оценки ширины запрещенной зоны пленки ZnO  $E_g$ .  $E_g$  оценивалось по графику  $(ahv)^2$  против  $hv$ , предполагая, что  $(ahv)^2 \sim (hv - E_g)^2$ , где  $a$  - коэффициент адсорбции, а  $hv$  - энергия фотона. Вставка на рисунке 2 б представляет собой соответствующий график Тауца. Было обнаружено, что  $E_g$  для всех образцов составляет  $3,37 \pm 0,05$  эВ и не изменяется с увеличением концентрации раствора.

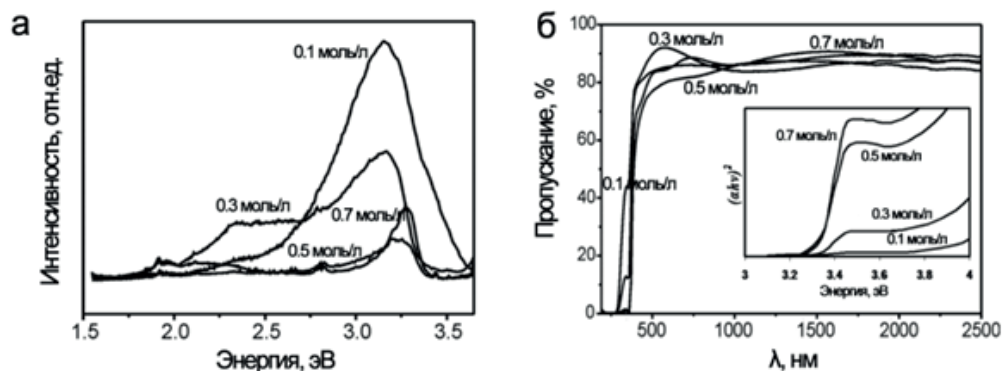


Рисунок 2 - Спектр фотолюминесценции (а) и пропускания (б) тонких пленок ZnO, выращенных на стекле в растворителе с различной концентрацией ацетата цинка (спектры тонких пленок ZnO зарегистрированы при комнатной температуре). На вставке представлен соответствующий график Тауца

Спектры ФЛ пленок ZnO, показывают, что пленки, покрытые из растворителя  $C=0,5$  и  $0,7$  моль/л, демонстрируют слабое спонтанное излучение при  $3,26$  эВ, которое соответствует переходу из зоны в зону (рис. 2 а). Пленки, покрытые растворителем с концентрацией  $C=0,3$  и  $0,1$  моль/л, имеют очень интенсивную ФЛ, смещающуюся на  $3,18$  и  $3,14$  эВ соответственно. Это может указывать на вклад стимулированного излучения экситон-экситонного рассеяния и свидетельствовать о низкой концентрации дефектов рекомбинации и более высоком структурном совершенстве пленок.

На рисунке 3 (а, б, в, г) представлены изображения, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии.

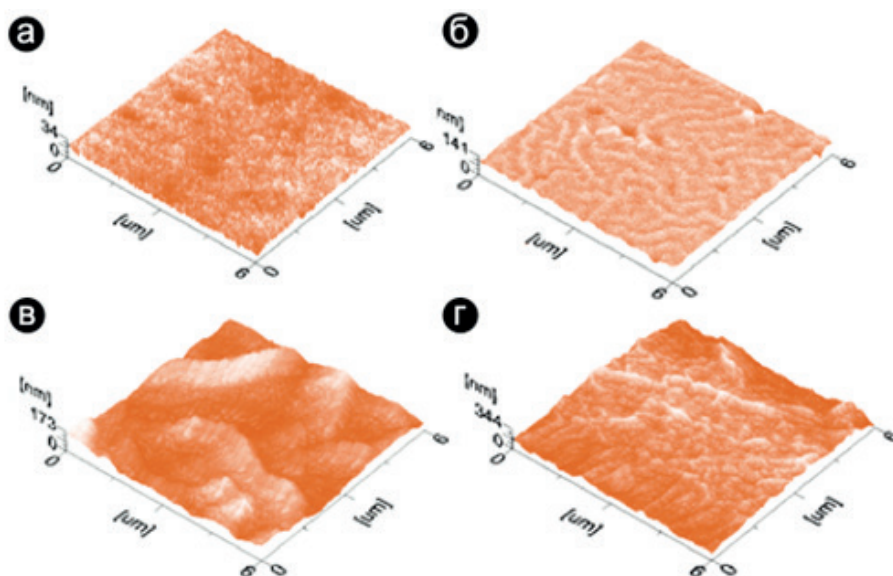


Рисунок 3 - АСМ-изображения при сканировании области  $6 \times 6$  мкм<sup>2</sup> пленок ZnO нанесенных на стеклянную подложку при концентрации ацетата цинка в растворителе: а)  $0,1$  моль/л; б)  $0,3$  моль/л; в)  $0,5$  моль/л; г)  $0,7$  моль/л.

Для области сканирования  $6 \times 6$  мкм<sup>2</sup> пленок среднее значение шероховатости пленок, выращенных при  $0,1$  моль/л, составляет  $3,42$  нм,  $0,3$  моль/л -  $9,53$ ,  $0,5$  моль/л -  $30,4$  нм и  $48,5$  нм для  $C=0,7$  моль/л соответственно. Увеличение гладкости пленок ZnO с увеличением концентрации ацетата цинка можно объяснить увеличением размера зерна, те же результаты были получены с помощью измерений рентгеновской дифракции. На рисунке 4 представлены вольт-амперные характеристики кремниевых структур на основе пленок ZnO в растворах с концентрацией ионов цинка  $0,1$  и  $0,7$  моль/л.

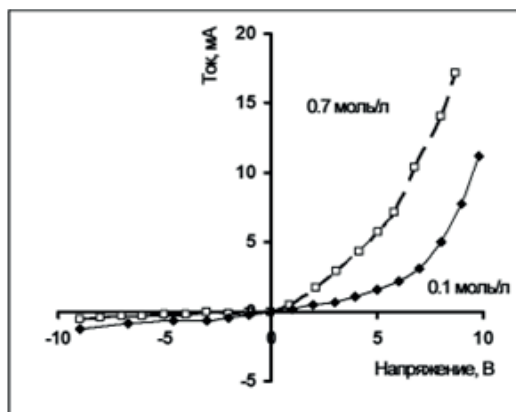


Рисунок 4 - Вольт-амперные характеристики кремниевых структур на основе пленок ZnO

Обе концентрации ионов цинка обладают определенными выпрямляющими свойствами. Прямой ток превышает обратный более чем на порядок при напряжении  $U \sim 5$  В. Обратные токи при напряжении до 5 В не превышают  $10\text{-}2$   $\text{mA}/\text{cm}^2$  при комнатной температуре. Однако структуры обладали большим последовательным сопротивлением (около  $300\text{-}500$   $\text{Ohm}$ ) из-за малой толщины слоев ZnO.

На рисунке 5 представлена спектральная фоточувствительность структур, изготовленных при концентрации ионов цинка  $0,1$  и  $0,7$  моль/л в седиментационных пленкообразующих растворах ZnO. Установлено, что структура ZnO-Si с концентрацией ионов цинка  $0,7$  моль/л обладала заметной фоточувствительностью в диапазоне длин волн от  $600$  до  $1100$  нм. Эта область является основной полосой поглощения для кремния и примесной полосой поглощения для ZnO. Таким образом, фоточувствительность обеспечивается за счет генерации светом электронно-дырочных пар в кремнии и их пространственного разделения в гетеропереходной области ZnO-Si из-за сильного встроенного электрического поля.

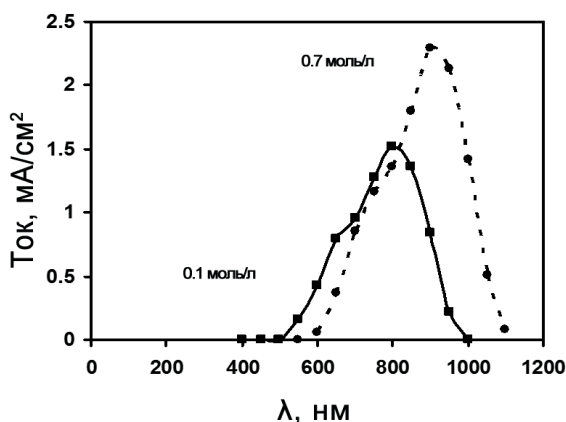


Рисунок 5 - Спектральные характеристики структур с ионами цинка концентрации  $0,1$  и  $0,7$  моль/л.

Как видно из рисунка 5, в спектральных характеристиках структуры ZnO-Si при снижении концентрации ионов цинка в пленке ZnO до 0,1 моль/л наблюдается сдвиг длинноволновой границы фотоэффекта в коротковолновую область. Уменьшение коэффициента собирания фотогенерированных носителей в этом случае объясняется уменьшением встроенного электрического поля из-за малой толщины пленки ZnO, а также, возможно, ее более высоким сопротивлением.

Отметим, что коэффициент собирания фотогенерированных носителей заряда структуры ZnO-Si 0,1 моль/л в коротковолновой (500-600 нм) полосе значительно выше, чем для структуры 0,7 моль/л. Это объясняется низкими рекомбинационными потерями на *pn*- переходе и указывает на более качественный интерфейс ZnO-Si.

**Заключение.** В работе проведено комплексное исследование оптических, структурных и морфологических свойств тонких пленок ZnO, синтезированных золь-гель методом из растворов ацетата цинка различной концентрации. Установлено, что варьирование концентрации прекурсора оказывает существенное влияние на кристалличность, морфологию поверхности, люминесцентные свойства и фоточувствительность плёнок.

Рентгенодифракционный анализ показал, что при низкой концентрации  $Zn^{2+}$  (0.1 моль/л) формируются плёнки с выраженной текстурой по оси [002], в то время как увеличение концентрации приводит к снижению кристалличности и укрупнению кристаллитов. Спектры фотолюминесценции подтвердили высокую степень структурного совершенства плёнок, полученных при низких концентрациях, и выявили корреляцию между изменением структуры и люминесцентными характеристиками. Атомно-силовая микроскопия показала рост шероховатости поверхности с увеличением содержания прекурсора.

Гетероструктуры ZnO-Si проявили фоточувствительность в диапазоне 500–1100 нм, причём образцы с концентрацией 0.7 моль/л демонстрировали более выраженный фотоотклик в длинноволновой области. Результаты подтверждают высокую эффективность золь-гель метода для формирования ZnO-плёнок с регулируемыми свойствами и перспективность их применения в оптоэлектронике.

### Литература

Кляйн Л.С. (1987) Технология золь-гель для тонких пленок, волокон, преформ, электроники и специальных форм. — New Jersey: Патгерс, State University of New Jersey.

Зиновьев К.В. (1974) Синтез оксидных пленок из растворов и их использование в электронике. Электроника. — Т. 13. — С.27.

Разуваев Г.А., Грибов Б.Г., Домрачев Г.А. (1972) Металлоорганические соединения в электронике: Учебник. — М.: Наука.

Помогайло А.Д. (2000) Гибридный полимер-неорганический нанокомпозит. Успехи химии. — Т. 69. — С. 60–89.

Анисимов О.В. (2007) Электрические и газочувствительные характеристики полупроводниковых сенсоров на основе тонких пленок SnO<sub>2</sub>. Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. – Томск: Сибирский физико-технический институт Томского гос. университета.

Симаков В., Ворошилов А., Гребенников А., Кучеренко Н., Якушева О., Кисин В. (2009) Идентификация газов с помощью количественного анализа зависимости проводимости от концентрации для сенсоров SnO<sub>2</sub>. Sens. and Actuat. B. — Т. 137. — С. 456–461.

Рембеза Е.С. (2006) Структура и электрические свойства полупроводниковых металлооксидных

нанокompозитов при взаимодействии с газами. Автореф. дис. д-ра физ.-мат. наук. — Воронеж: Воронежский гос. университет.

Сунита М., Ганшьям К., Натал Р., Сатиндер С., Баджпай Р.П., Беди Р.К. (2002) Определение спирта в тонкой пленке оксида олова, полученной золь-гель методом. *Bull. Mater. Sci.* — Т. 25. — С. 231–234.

Рябцев С.В., Юкиш А.В., Ханго С.И., Юраков Ю.В.А., Шапошник А.В., Домашевская Е.П. (2008) Кинетика резистивного отклика тонких пленок  $\text{SnO}_{2-x}$  в газовой среде. *Физ. и технол. полупроводников.* — Т. 42. — С. 491–495.

Сюй Ч., Тамаки Дж., Миура Н., Ямазое Н. (1991) Влияние размера зерна на газовую чувствительность пористых элементов на основе  $\text{SnO}_2$ . *Sens. and Actuat. B.* — Т. 3. — С. 147–155.

Адамян А.З., Адамян З.Н., Аротюнян В.М. (2006) Золь-гель технология получения тонких пленок, чувствительных к водороду. *Альтернативная энергетика и экология.* — Т. 40. — С. 50–55.

Мухамедшина Д.М., Мить К.А., Бейсенханов Н.Б., Дмитриева Е.А., Валитова И.В. (2007) Влияние плазменных обработок на микроструктуру и электрофизические свойства тонких пленок  $\text{SnO}_x$ , синтезированных магнетронным распылением и золь-гель технологий. *Сб. тез. 12-й Междунар. конф. по деф.-распозн., изм. и физике полупроводников.* – Berlin, Germany, — С. 159.

Карапатницкий И.А., Мить К.А., Мухамедшина Д.М., Байков Г.Г. (2000) Влияние обработки водородной плазмой на структуру и свойства тонких пленок оксида олова, полученных методом магнетронного распыления. *Труды 4-й Междунар. конф. по физике и применению тонких пленок.* — Shanghai, China. — Т. 4086. — С. 323.

Шривастава Р., Дживеди Р., Шривастава С.К. (1998) Влияние обработки плазмой кислорода, азота и водорода на толстопленочные газовые сенсоры на основе оксида олова, легированного палладием. *Физика полупроводниковых приборов.* – India: New Delhi: Издательский дом «Нароса». — С. 526–528.

Мухамедшина Д.М., Бейсенханов Н.Б., Мить К.А., Ботвин В.А., Валитова И.В., Дмитриева Е.А. (2006) Влияние плазменных обработок на свойства тонких пленок  $\text{SnO}_x$ . *Труды ИВТ, Междунар. к-т ИВТ.* — Т. 10. — С. 603–616.

Мухамедшина Д.М., Мить К.А., Бейсенханов Н.Б., Дмитриева Е.А., Валитова И.В. (2008) Влияние плазменных обработок на микроструктуру и электрофизические свойства тонких пленок  $\text{SnO}_x$ , синтезированных магнетронным распылением и золь-гель технологией. *Ж. матер. наук: Матер. по электр.* — Т. 19. — С. 382–387.

Ким Ю.-С., Тай В.-П., Шу С.-Дж. (2005) Влияние температуры предварительного нагрева на структурные и оптические свойства пленок  $\text{ZnO}$ , полученных золь-гель методом. *Тонкие твердые пленки.* — Т. 491. — С. 153–160.

## References

Klein L.S. (1987) Sol-gel technology for thin films, fibers, preforms, electronics and special molds [Tekhnologiya zol'-gel' dlya tonkikh plenok, volokon, preform, elektroniki i spetsial'nykh form]. — New Jersey: Rutgers, The State University of New Jersey (in Russian).

Zinov'ev K.V. (1974). Synthesis of oxide films from solutions and their application in electronics [Sintez oksidnykh plenok iz rastvorov i ikh ispol'zovanie v elektronike]. *Elektronika.* — Vol. 13. — P. 27 (in Russian).

Razuvaev G.A., Gribov B.G., Domracheev G.A. (1972) Organometallic compounds in electronics: Textbook [Metalloorganicheskie soedineniya v elektronike: Uchebnik]. — Moscow: Nauka (in Russian).

Pomogailo A.D. (2000) Hybrid polymer–inorganic nanocomposite [Gibridnyi polimer–neorganicheski nanokompозит]. *Uspekhi Khimii.* — Vol. 69. — P. 60–89 (in Russian).

Anisimov O.V. (2007). Electrical and gas-sensitive characteristics of semiconductor sensors based on  $\text{SnO}_2$  thin films [Elektricheskie i gazo-chuvstvitel'nye kharakteristiki poluprovodnikovyykh sensorov na osnove tonkikh plenok  $\text{SnO}_2$ ]. *Abstract of Cand. Phys.-Math. Sci. Diss.* — Tomsk: Sibirskij Fiziko-Tekhnicheskij Institut, Tomsk State University (in Russian).

Simakov V., Voroshilov A., Grebennikov A., Kucherenko N., Yakusheva O., Kisin V. (2009) Gas identification using quantitative analysis of conductivity dependence on concentration for  $\text{SnO}_2$  sensors

[Identifikatsiya gazov s pomoshch'yu kolichestvennogo analiza zavisimosti provodimosti ot kontsentratsii dlya sensorov SnO<sub>2</sub>]. Sens. and Actuat. B. — Vol. 137. — P. 456–461 (in Russian).

Rembeza E.S. (2006) Struktura i elektricheskie svoystva poluprovodnikovyykh metalloksidnykh nanokompozitov pri vzaimodeystvii s gazami [Structure and electrical properties of semiconductor metal oxide nanocomposites in interaction with gases]. Abstract of Dr. Phys.-Math. Sci. Diss. — Voronezh: Voronezh State University (in Russian).

Sunita M., Ganshyam K., Natal R., Satinder S., Bajpai R.P., Bedi R.K. (2002) Alcohol detection in a tin oxide thin film prepared by the sol–gel method [Opredelenie spirta v tonkoi plenke oksida olova, poluchennoi zol'-gel' metodom]. Bull. Mater. Sci. — Vol. 25. — P. 231–234 (in Russian).

Ryabtsev S.V., Yukish A.V., Khango S.I., Yurakov Yu.V.A., Shaposhnik A.V., Domashevskaya E.P. (2008) Kinetics of resistive response of SnO<sub>2-x</sub> thin films in a gas environment [Kinetika rezistivnogo otklika tonkikh plenok SnO<sub>2-x</sub> v gazovoi srede]. Fizika i Tekhnologiya Poluprovodnikov. — Vol. 42. — P. 491–495 (in Russian).

Syuy Ch., Tamaki J., Miura N., Yamazoe N. (1991) Grain size effect on gas sensitivity of porous SnO<sub>2</sub>-based elements [Vliyanie razmera zerna na gazovuyu chuvstvitel'nost' poristykh elementov na osnove SnO<sub>2</sub>]. Sens. and Actuat. B. — Vol. 3. — P. 147–155 (in Russian).

Adamyan A.Z., Adamyan Z.N., Arotyunyan V.M. (2006) Sol–gel technology for preparing hydrogen-sensitive thin films [Zol'-gel' tekhnologiya polucheniya tonkikh plenok, chuvstvitel'nykh k vodorodu]. Al'ternativnaya Energetika i Ekologiya. — Vol. 40. — P. 50–55 (in Russian).

Mukhamedshina D.M., Mit' K.A., Beisenkhanov N.B., Dmitrieva E.A., Valitova I.V. (2007) Effect of plasma treatment on microstructure and electrophysical properties of SnO<sub>x</sub> thin films synthesized by magnetron sputtering and sol–gel technology [Vliyanie plazmennykh obrabotok na mikrostrukturu i elektrofizicheskie svoystva tonkikh plenok SnO<sub>x</sub>, sintezirovannykh magnetronnym raspyleniem i zol'-gel' tekhnologii]. Sb. tez. 12th Int. Conf. on Defect Recognition, Imaging and Physics of Semiconductors. — Berlin, Germany. — P. 159 (in Russian).

Karapatnitskii I.A., Mit' K.A., Mukhamedshina D.M., Baikov G.G. (2000) Effect of hydrogen plasma treatment on the structure and properties of tin oxide thin films prepared by magnetron sputtering [Vliyanie obrabotki vodorodnoi plazmoi na strukturu i svoystva tonkikh plenok oksida olova, poluchennykh metodom magnetronnogo raspyleniya]. Trudy 4th Int. Conf. po Fizike i Primeneniyu Tonkikh Plenok. — Shanghai, China. — Vol. 4086. — P. 323 (in Russian).

Shrivastava R., Dwivedi R., Shrivastava S.K. (1998) Effect of oxygen, nitrogen, and hydrogen plasma treatment on thick-film gas sensors based on palladium-doped tin oxide [Vliyanie obrabotki plazmoi kisloroda, azota i vodoroda na tolstoplenochnye gazovye sensory na osnove oksida olova, legirovannogo palladiem]. Fizika Poluprovodnikovyykh Priborov. — India: New Delhi: Narosa Publishing House. — P. 526–528 (in Russian).

Mukhamedshina D.M., Beisenkhanov N.B., Mit' K.A., Botvin V.A., Valitova I.V., Dmitrieva E.A. (2006) Effect of plasma treatments on the properties of SnO<sub>x</sub> thin films [Vliyanie plazmennykh obrabotok na svoystva tonkikh plenok SnO<sub>x</sub>]. Trudy IVT, Mezhdunar. Komitet IVT. — Vol. 10. — P. 603–616 (in Russian).

Mukhamedshina D.M., Mit' K.A., Beisenkhanov N.B., Dmitrieva E.A., Valitova I.V. (2008) Effect of plasma treatments on the microstructure and electrophysical properties of SnO<sub>x</sub> thin films synthesized by magnetron sputtering and sol–gel technology [Vliyanie plazmennykh obrabotok na mikrostrukturu i elektrofizicheskie svoystva tonkikh plenok SnO<sub>x</sub>, sintezirovannykh magnetronnym raspyleniem i zol'-gel' tekhnologii]. Zh. Mater. Nauk: Mater. po Elektronike. — Vol. 19. — P. 382–387 (in Russian).

Kim Yu.S., Tai V.-P., Shu S.-J. (2005) Effect of preheating temperature on structural and optical properties of ZnO films prepared by sol–gel method [Vliyanie temperatury predvaritel'nogo nagreva na strukturnye i opticheskie svoystva plenok ZnO, poluchennykh zol'-gel' metodom]. Thin Solid Films. — Vol. 491. — P. 153–160 (in Russian).

## **Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the journals of the Central Asian Academic Research Center LLP implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The Central Asian Academic Research Center LLP follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the Central Asian Academic Research Center LLP.

The Editorial Board of the Central Asian Academic Research Center LLP will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

**[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)  
ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)  
<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>**

Ответственный редактор *А. Ботанқызы*  
Редакторы: *Д.С. Аленов, Т. Апендиев*  
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 3.09.2025.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
18,0 п.л. Заказ 3.