

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>

**ЖҮСПНОВ 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. Саньязова, 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. Otunchi<sup>1</sup>, A.A. Migunova<sup>2</sup>, A. Umirzakov<sup>1\*</sup>, N. Tokmoldin<sup>3</sup>, 2025.

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

<sup>2</sup> Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan;

<sup>3</sup> Institute of Physics and Astronomy, University of Potsdam, Potsdam, Germany.

E-mail: a.umirzakov@sci.kz

## EFFECT OF THE COMPOSITION OF THE FILM-FORMING SYSTEM ON THE PROPERTIES OF $\text{SnO}_2$ FILMS OBTAINED BY SPRAY PYROLYSIS

**Otunchi E.** — Master, Satbayev University, «Institute of Physics and Technology», Almaty, Kazakhstan, E-mail: e.otunchi@sci.kz, <https://orcid.org/0009-0006-4361-8099>;

**Migunova A.A.** — master of technical sciences, Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan, E-mail: anastassiya.migunova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5544-6905>;

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

E-mail: a.umirzakov@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0941-0271>;

**Tokmoldin N.** — PhD, Institute of Physics and Astronomy, University of Potsdam, Potsdam, Germany, E-mail: tokmoldin@pdi-berlin.de, <https://orcid.org/0000-0002-0663-0228>.

**Abstract.** This study investigates the influence of the precursor system composition on the structural and optical properties of tin dioxide ( $\text{SnO}_2$ ) thin films synthesized via spray pyrolysis. Three types of precursor systems were employed: an ethanol-based solution containing  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , an aqueous hydrosol, and a 1:1 mixture of the two. Films were deposited onto glass substrates at 400 °C followed by thermal annealing. X-ray diffraction analysis revealed that all samples exhibit a tetragonal cassiterite structure; however, the unit cell parameters and degree of crystallinity were significantly affected by the solvent type. Films derived from the ethanol-based solution demonstrated a more ordered structure with parameters close to bulk  $\text{SnO}_2$  ( $E_g \approx 3.6$  eV). In contrast, films synthesized from the hydrosol and the mixed system showed the formation of two and three non-stoichiometric solid solutions, respectively, resulting in an increased bandgap width of 4.0–4.1 eV. Morphological analysis using scanning electron microscopy revealed differences in uniformity and film density: ethanol-derived films exhibited a homogeneous structure, whereas hydrosol-based films showed less uniform coverage with cracks and low optical transmittance ( $\approx 35$ –40%). Optical measurements indicated that ethanol-based samples had the highest transparency ( $> 80\%$ ) and are suitable for use as transparent electrodes. The results demonstrate that varying the composition of

the precursor system is an effective strategy for controlling the structure, defect density, and optical properties of SnO<sub>2</sub> films, which is crucial for their application in solar cells, gas sensors, and optoelectronic devices.

**Keywords:** tin oxide, spray pyrolysis, film-forming system, structural properties, optical properties

*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 (BR21881954).*

© Е. Отунчи<sup>1</sup>, А.А. Мигунова<sup>2</sup>, А.Г. Умирзаков<sup>1\*</sup>, Н. Токмолдин<sup>3</sup>, 2025.

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

<sup>2</sup> Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан;

<sup>3</sup> Физика және Астрономия институты, Потсдам Университеті, Потсдам, Германия.

E-mail: a.umirzakov@sci.kz

## ЖАБЫН ТҮЗУШІ ЖҮЙЕ ҚҰРАМЫНЫҢ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗ ӘДІСІМЕН АЛЫНҒАН SnO<sub>2</sub> ЖАБЫНДАРЫНЫҢ ҚАСИЕТІНЕ ӘСЕРІ

**Отунчи Е.** — магистр, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: e.otunchi@sci.kz, <https://orcid.org/0009-0006-4361-8099>;

**Мигунова А.А.** — магистр технических наук, Ядролық физика институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: anastassiya.migunova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5544-6905>;

**Умирзаков А.Г.** — PhD студенті, Satbayev University, Физика-техникалық институты, Алматы, Қазақстан, E-mail: a.umirzakov@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0941-0271>;

**Токмолдин Н.** — PhD, Физика және Астрономия институты, Потсдам Университеті, Потсдам, Германия,

E-mail: tokmoldin@pdi-berlin.de, <https://orcid.org/0000-0002-0663-0228>.

**Аннотация.** Бұл жұмыста спрей-пиролиз әдісімен алынған қалайы диоксиді (SnO<sub>2</sub>) жұқа жабындарының құрылымдық және оптикалық қасиеттеріне жабын түзуші жүйенің құрамының әсері зерттелді. Синтез үшін үш түрлі жүйе қолданылды: этанол мен SnCl<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O негізіндегі ерітінді, су негізіндегі гидрозолю және олардың 1:1 қатынасындағы қоспасы. Жабындар шыны төсеніштерге 400 °С температурада тұндырылып, кейінгі термиялық өңдеуден өткізілді. Рентгендік фазалық талдау барлық үлгілердің касситериттің тетрагональды құрылымына ие екенін көрсетті, алайда элементар ұяшық параметрлері мен кристалдылық дәрежесі еріткіш түріне байланысты айтарлықтай өзгерді. Этанол негізіндегі ерітіндіден алынған жабындар реттелген құрылыммен және көлемді SnO<sub>2</sub>-ге жақын параметрлермен сипатталды (E<sub>g</sub> ≈ 3,6 эВ). Гидрозолю мен қоспадан алынған жабындарда сәйкесінше екі және үш стехиометриялық емес қатты ерітінділердің түзілуі байқалды, бұл тыйым салынған аймақтың ені 4,0–4,1 эВ-ге дейін ұлғаюына алып келді. Сканерлеуші электрондық микроскоп көмегімен жүргізілген морфологиялық талдау жабындардың біртектілігі мен тығыздығындағы айырмашылықтарды

анықтады: этанол ерітіндісінен алынған жабындар біртекті құрылымға ие болса, гидрозоль негізіндегі жабындар жарықтармен және төмен жарық өткізгіштікпен ( $\approx 35\text{--}40\%$ ) сипатталды. Оптикалық зерттеулер этанол негізіндегі үлгілердің ең жоғары мөлдірлікке ( $> 80\%$ ) ие екенін көрсетті және оларды мөлдір электродтар ретінде қолдануға жарамды екенін дәлелдеді. Алынған нәтижелер жабын түзуші жүйенің құрамын өзгерту  $\text{SnO}_2$  жабындарының құрылымын, ақаулылығын және оптикалық қасиеттерін басқарудың тиімді құралы екенін көрсетеді, бұл оларды күн батареяларында, газ сенсорларында және оптоэлектроникада қолдану үшін маңызды болып табылады.

**Түйін сөздер:** қалайы оксиді, спрей пиролизі, жабын түзетін жүйе, құрылымдық қасиеттері, оптикалық қасиеттері

*Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен (BR21881954) жүргізілді.*

© Е. Отунчи<sup>1</sup>, А.А. Мигунова<sup>2</sup>, А.Г. Умирзаков<sup>1\*</sup>, Н. Токмолдин<sup>3</sup>, 2025.

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

<sup>2</sup> Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан;

<sup>3</sup> Институт физики и астрономии, Потсдамский университет,

Потсдам, Германия.

E-mail: a.umirzakov@sci.kz

## ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ПЛЕНКООБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК $\text{SnO}_2$ , ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ СПРЕЙ-ПИРОЛИЗА

**Отунчи Е.** — магистр, Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан, E-mail: e.otunchi@sci.kz, <https://orcid.org/0009-0006-4361-8099>;

**Мигунова А.А.** — магистр технических наук, Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан, E-mail: anastassiya.migunova@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5544-6905>;

**Умирзаков А.Г.** — PhD студент, Satbayev University, Физико-технический институт, Алматы, Казахстан,

E-mail: a.umirzakov@sci.kz, <https://orcid.org/0000-0002-0941-0271>;

**Токмолдин Н.** — PhD, Институт физики и астрономии, Потсдамский университет, Потсдам, Германия,

E-mail: tokmoldin@pdi-berlin.de, <https://orcid.org/0000-0002-0663-0228>.

**Аннотация.** В данной работе исследовано влияние состава плёнокообразующей системы на структурные и оптические свойства тонких плёнок диоксида олова ( $\text{SnO}_2$ ), полученных методом спрей-пиролиза. Для синтеза использовали три типа систем: раствор на основе этанола и  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , водный гидрозоль и их смесь в соотношении 1:1. Плёнки осаждали на стеклянные подложки при температуре  $400^\circ\text{C}$  с последующим отжигом. Рентгенофазовый анализ показал, что все образцы имеют тетрагональную структуру касситерита, однако параметры элементарной ячейки и степень кристалличности существенно зависят от типа растворителя.

Плѐнки, полученные основе этанола, характеризуются более упорядоченной структурой и параметрами, близкими к объёмному  $\text{SnO}_2$  ( $E_g \approx 3,6$  эВ). Для плѐнок, синтезированных из гидрозоля и смеси, наблюдалось формирование двух и трёх твёрдых растворов нестехиометрического состава соответственно, что приводило к увеличению ширины запрещѐнной зоны до 4,0–4,1 эВ. Морфологический анализ с использованием сканирующего электронного микроскопа выявил различия в однородности и плотности покрытия: плѐнки из этанолового раствора имели равномерную структуру, тогда как гидрозоль давал менее однородные покрытия с трещинами и низким светопропусканием ( $\approx 35$ –40 %). Оптические исследования показали, что образцы из этанола обладают наибольшей прозрачностью ( $> 80$  %) и пригодны для применения в качестве прозрачных электродов. Полученные результаты демонстрируют, что варьирование состава плѐнкообразующей системы является эффективным инструментом управления структурой, дефектностью и оптическими характеристиками плѐнок  $\text{SnO}_2$ , что важно для их применения в солнечных элементах, газовых сенсорах и оптоэлектронике.

**Ключевые слова:** оксид олова, спрей пиролиз, пленкообразующая система, структурные свойства, оптические свойства

*Исследование проведено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR21881954).*

**Введение.** Диоксид олова ( $\text{SnO}_2$ ) – это важный полупроводниковый оксид с широкой запрещѐнной зоной  $\sim 3,6$ – $3,9$  эВ, обладающий  $n$ -типом проводимости за счёт кислородных вакансионных дефектов.  $\text{SnO}_2$  привлекает большое внимание благодаря своему успешному применению в качестве чувствительного материала газовых сенсоров и прозрачного проводящего оксида (TCO) для оптоэлектронных устройств (солнечные элементы, дисплеи и пр.) (Serenko et al., 2015). Тонкие плѐнки  $\text{SnO}_2$  традиционно получают различными методами – вакуумными (магнетронное распыление, термическое испарение) и химическими (золь-гель, химическое осаждение из растворов). Среди них метод распылительного пиролиза (спрей-пиролиза) выделяется как один из наиболее простых, быстрых и экономичных подходов к формированию пленок оксида олова. В методе спрей-пиролиза аэрозоль прекурсорного раствора распыляется на разогретую подложку, где происходит термический распад (пиролиз) переносимых соединений с осаждением пленки на подложке. Такой подход не требует высокого вакуума, позволяет наносить покрытия на большие площади и легко варьировать состав путем добавления допантов непосредственно в раствор (Sánchez-García et al., 2012). При этом качество и характеристики получаемых плѐнок  $\text{SnO}_2$  чрезвычайно чувствительны к параметрам процесса, особенно к составу пленкообразующего раствора (прекурсорной системы).

Состав исходной пленкообразующей системы включает химическую природу прекурсора олова, растворитель (или смесь растворителей), а также возможные добавки (комплексообразователи, допирующие соли и т.д.). Каждый из этих

факторов влияет на кинетику распада прекурсора, условия образования зародышей оксида и рост кристаллов на подложке, что в итоге определяет структуру и свойства плёнки. В частности, выбор органического или неорганического прекурсора может существенно изменить морфологию и кристаллографическую ориентацию образующихся зёрен  $\text{SnO}_2$ . Так, классическими неорганическими прекурсорами являются соли олова, например, хлориды  $\text{SnCl}_2$  и  $\text{SnCl}_4$ , которые легко разлагаются при умеренных температурах с образованием  $\text{SnO}_2$ , но при этом могут вводить посторонние анионы (например,  $\text{Cl}^-$ ) в растущую плёнку. Органические же прекурсоры (различные комплексы или органометаллические соединения олова, например, алкокси- или карбоксилаты  $\text{Sn(IV)}$ ) разлагаются с выделением органических продуктов, что может влиять на чистоту и структуру плёнки. В работе (Solis-Veliz, 1995, Sriram S. R. et al, 2022) сравнивались плёнки, полученные из органического алкоксидного прекурсора  $\text{Sn(IV)}$  tert-амилоксида и из неорганической соли  $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; было выявлено резкое различие морфологии: из алкоксидного раствора образуются высокотекстурированные сетчатые “волоконистые” структуры, тогда как хлорид олова даёт более гладкую поверхность с характерными кольцеобразными доменами. Таким образом, органические прекурсоры обычно способствуют формированию наноструктурированных пористых плёнок, тогда как неорганические соли могут приводить к более плотным и ровным покрытиям – это различие связывают с разными путями термолитического разложения и побочными продуктами (выделение  $\text{CO}_2$  в случае органики против  $\text{HCl}$  при разложении хлоридов и т.п.).

Помимо природы соединения олова, критическую роль играет выбор растворителя, в котором готовят раствор для распыления. Растворитель определяет размер и испаряемость аэрозольных капель, скорость высыхания и первичного осаждения частиц на подложке, а также протекание реакций гидролиза/пиролиза. Часто применяются водные, спиртовые (например, на основе этанола, изопропанола) или смешанные растворы прекурсора. В данной работе авторы выполнили систематическое исследование влияния шести различных растворителей ( $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , метанол, этанол, 1-пропанол, 2-пропанол) на свойства плёнок  $\text{SnO}_2$ , полученных пиролизом растворов  $\text{SnCl}_2$  (Paloly et.al., 2020). Согласно их данным, образцы, осаждённые из спиртовых растворов, имели более совершенную кристаллическую структуру (более выраженные дифракционные пики  $\text{SnO}_2$ ) по сравнению с плёнками, полученными из водного или пероксидного раствора. Морфология также различалась: на подложках из спиртовых аэрозолей формировались наноструктурированные плёнки (состоящие из мелких связанных наночастиц), тогда как из водных/ $\text{H}_2\text{O}_2$  растворов образовывался относительно непрерывный «ковровый» покров из сросшихся зёрен. Различие в динамике испарения – быстрая сушка мелких капель спирта против более медленного высыхания воды – приводит к тому, что спиртовые растворители способствуют раннему образованию множества центров кристаллизации и росту нанокристаллов, тогда как водный раствор даёт крупные капли, осаждающиеся в виде аморфно-гелеобразного слоя с последующей кристаллизацией. Эти

различия сильно сказываются на оптических свойствах: пленки SnO<sub>2</sub>, полученные из спиртовых растворов, обладают более высокой оптической прозрачностью в видимой области (>75%) и характеризуются интенсивным ультрафиолетовым фотолюминесцентным откликом (связанным с рекомбинацией носителей через донорные уровни кислородных вакансий), тогда как пленки из водного прекурсора значительно менее прозрачны и проявляют слабое люминесцентное свечение. Авторы рекомендуют метанол или этанол для получения SnO<sub>2</sub>-пленок, предназначенных для применения в качестве TCO, и отмечают, что изопропанол и 1-пропанол также пригодны для выращивания наноструктурированных слоёв SnO<sub>2</sub>.

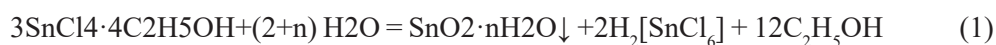
Обобщая данные литературы, можно заключить, что состав пленкообразующей системы является ключевым фактором, определяющим микроструктуру и свойства плёнок SnO<sub>2</sub>, получаемых методом спрей-пиролиза. Органические прекурсоры позволяют получать более пористые нанокристаллические плёнки с возможной текстурой, тогда как неорганические соли чаще дают плотные поликристаллические слои; выбор растворителя определяет скорость формирования частиц и степень кристалличности осадка. Через изменение состава раствора можно управлять размером кристаллитов и ориентацией плёнки, её морфологией (гладкая или наноструктурированная поверхность), оптической прозрачностью (за счёт различий в пористости и уровне дефектов, влияющих на рассеяние и поглощение света) и электрофизическими параметрами – концентрацией носителей, подвижностью и сопротивлением. Современные исследования концентрируются на подборе оптимальных сочетаний прекурсоров и растворителей для целевого применения пленок SnO<sub>2</sub>. Так, для газовых сенсоров важна высокая удельная поверхность и дефектность материала (обеспечивающая чувствительность к адсорбции газов) – этого добиваются использованием органических прекурсоров и условий, ведущих к наноструктурированию (Malato *et al.*, 2009). Напротив, для прозрачных электродов (TCO) при создании солнечных элементов приоритетом является минимальное сопротивление и высокая прозрачность – достигаемые подбором таких компонентов раствора, которые дают максимально чистые, хорошо кристаллизованные плёнки (например, метанольные растворы SnCl<sub>4</sub> с добавками допантов типа F) (Lizarraga *et al.*, 2020; Ahmad, 2021). Несмотря на большое количество работ, посвященных спрей-пиролизу SnO<sub>2</sub>, систематическое понимание влияния состава пленкообразующей системы всё ещё требует уточнения. Настоящее исследование направлено на углублённое изучение того, как различные типы прекурсоров олова и растворителей влияют на процессы формирования структуры, морфологии, степени кристалличности, а также на оптические и электрические свойства получаемых плёнок SnO<sub>2</sub>. Такой подход позволит разработать научно обоснованные рекомендации по управлению свойствами пленок через состав исходного раствора, что важно для оптимизации технологий получения функциональных покрытий на основе диоксида олова.

**Материалы и методы.** Тонкие пленки оксида олова наносились на стеклянные подложки методом спрей пиролиза. Давление газа в компрессоре для нанесения

растворов составляло 50 кПа. Расстояние между подложкой и распылителем составляло 32 см. Раствор наносился на подложку, нагретую до 400°C. Затем образцы отжигались на электрической плитке при температуре 400 °C в течение 15 минут.

Для получения пленок оксида олова были использованы три пленкообразующие системы:

1. «SnCl<sub>4</sub> в этаноле» (№ 1). Пяти водный кристаллогидрат тетра хлорида олова растворяли в этаноле для получения системы с концентрацией ионов олова 0,11 моль/л. Для приготовления 0,11 М раствора «SnCl<sub>4</sub> в этаноле» (№ 1) использовали навеску 3,9072 г измельченного SnCl<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, который растворяли в 100 мл ректификованного этилового спирта (Межгосударственный стандарт – ГОСТ 5962-13). Хлорид олова (IV) является сильным комплексообразователем. При растворении кристаллогидрата олова (IV) в этаноле реагенты взаимодействуют с образованием химического соединения SnCl<sub>4</sub>·4C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, которое можно представить в виде комплексного соединения, являющегося электролитом [Sn(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)Cl<sub>2</sub>]Cl<sub>2</sub>. Поскольку в кристаллогидрате (как и в ректификованном этаноле) присутствует вода, можно предположить, что SnCl<sub>4</sub> подвергается гидролизу с образованием гидрата оксида олова SnO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O (где n=1÷2) и гексахлороловянной кислоты H<sub>2</sub>[SnCl<sub>6</sub>]. В нашем случае:

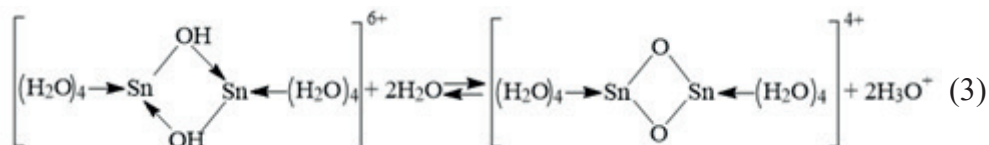


Окончательное разложение SnO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O до SnO<sub>2</sub> происходит на поверхности подложки при прогреве образца после нанесения.

2. «Гидрозоле» (№2). Для получения гидрозоля – водный раствор SnCl<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O с концентрацией ионов олова 0,11 моль/л нагревали на электроплитке при 100°C в течение 1.5 часов до изменения цвета раствора. При этом образовался SnO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O в жидкой фазе до распыления, согласно реакции:

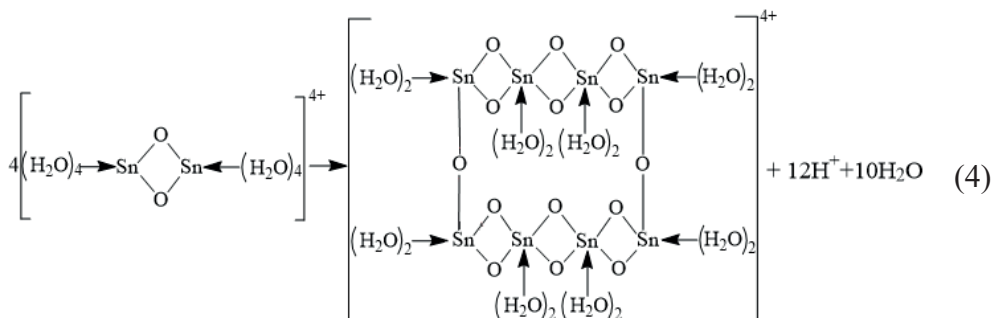


Наблюдаемое выпадение гелеобразного осадка связано с образованием гидрата оксида олова SnO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O (где n=1÷2), т.е. оловянной кислоты (Dmitriyeva, 2024). Первоначально образуется -оловянная кислота, которая может либо растворяться в кислой среде, либо по мере старения в результате оксоляции превращаться в β-оловянную кислоту:



β-оловянная кислота не растворяется в кислой среде раствора, а

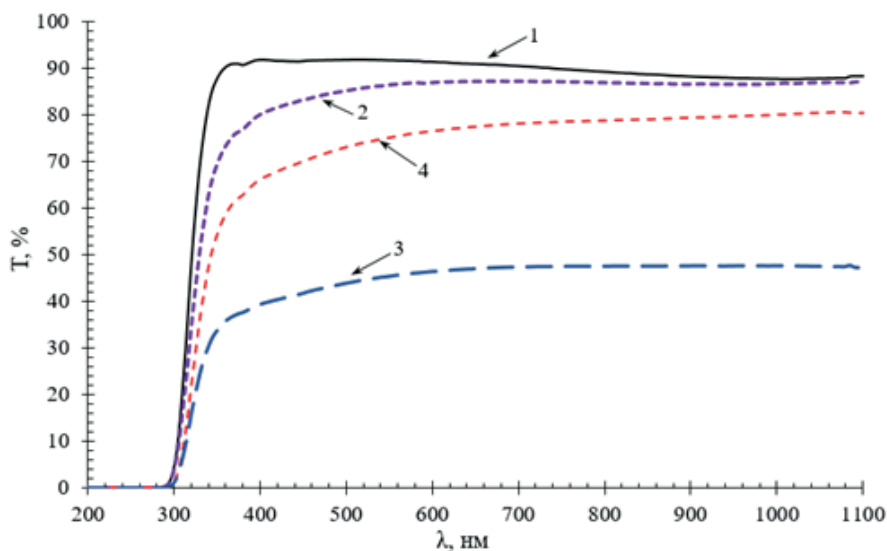
пептизируется ею. Далее, по мере старения, оксольные мостиковые группы соединяются друг с другом. Это приводит к укрупнению образующихся частиц (Tret'yakov, 2007):



3. «Смесь» (№3). Третья пленкообразующая система представляет смесь системы №1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле» и №2 «Гидрозоль». Соотношение систем в «Смеси» составляет 1:1 по объему.

Толщина образцов, определенная по изменению массы образца, для всех пленок составила 500±15 нм. Спектры пропускания снимались на спектрофотометре UNICO SpectroQuest 2800. Измерение пропускания происходит при падении светового потока по нормали к образцу. Ширина запрещенной зоны определялась из спектров пропускания методом Таука (Shongalova, 2018; Shongalova, 2020; Fernandes, 2019). Для корректного определения ширины запрещенной зоны прозрачной пленки, нанесенной на прозрачную подложку, из спектров поглощения образцов вычитались спектры поглощения подложки. Метод Таука основан на уравнении  $(\alpha h\nu)^n = A (h\nu - E_g)$ , где  $\alpha$  — коэффициент оптического поглощения, см<sup>-1</sup>;  $h$  — постоянная Планка ( $4,136 \times 10^{-15}$  эВ·с);  $\nu$  — частота электромагнитных колебаний в оптическом диапазоне, с<sup>-1</sup>;  $n$  — показатель степени, зависящий от зонной структуры полупроводника (для прямозонных  $n = 2$ , для непрямозонных  $n = 1/2$ );  $A$  — константа, зависящая от эффективной массы носителей заряда в материале;  $E_g$  — ширина запрещенной зоны полупроводника, эВ. Дифрактометрические измерения выполнены на универсальном комплексе D8 ADVANCE (Bruker, Германия), схема съемки « $\theta$ - $\theta$ » по Брэггу-Брентано, трубка с медным анодом (длина волны 1,5406 Å), рабочие параметры на трубке 40 кВ, 40 мА, диапазон углов по  $2\theta$  20-90°. Качественный фазовый анализ выполнен в программе EVA. Для идентификации фазового состава использована база данных ICDD: International Centre of Diffraction Data (порошковая база данных PDF2). Для установленной фазы подходят карточки № 41-1445 (Star) и 02-1340 (Deleted). Съемка производилась с вращением держателя с образцом на угловой скорости 60 об/мин в программе Adjust. Расчет параметров кристаллической решетки выполнен в программе RTP после определения углового положения рефлексов фазы SnO<sub>2</sub> в программе EVA. Исследование структуры пленок проводилось на сканирующем электронном микроскопе JSM-6490LA фирмы JEOL.

**Результаты и обсуждение.** На рисунке 1 представлены спектры пропускания исследуемых образцов.

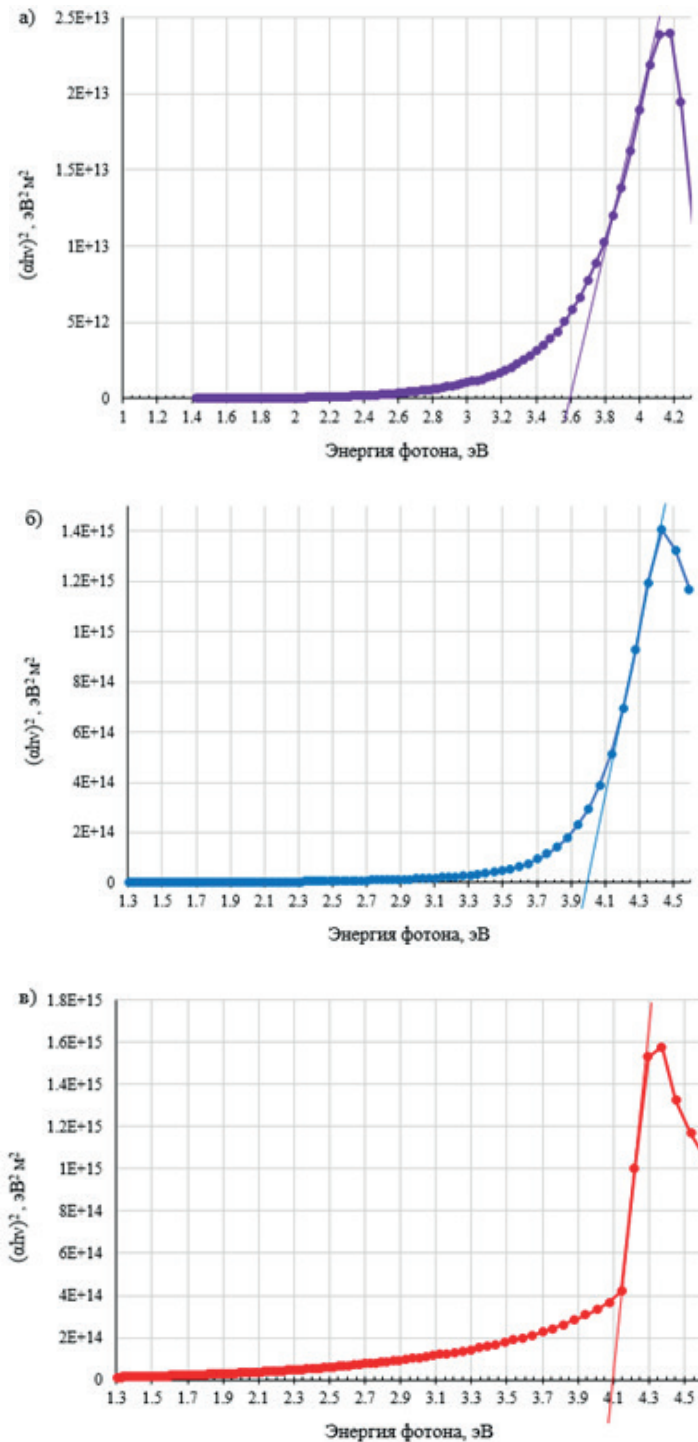


1 – стекло, 2 – №1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле», 3 – №2 «Гидрозоль», 4 – №3 «Смесь»

Рис 1. Спектры пропускания тонких пленок оксида олова

Из рисунка 1 видно, что пропускание образцов №1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле» (кривая 2) составляет более 80% в видимой области. А в ближней инфракрасной области пропускание близко к пропусканию стеклянной подложки (кривая 1). Согласно ГОСТ, для использования покрытий в окнах, и в частности, в автомобильных стеклах, общее светопропускание стекла с покрытием должно быть не менее 70% [ГОСТ 32565-2013]. Образцы №2 «Гидрозоль» и №3 «Смесь» демонстрируют меньшее светопропускание. Светопропускание образца №2 «Гидрозоль» составляет 35-40% в интервале длин волн от 400 нм до 1100 нм. Это указывает на неоднородную структуру как самой пленки, так и ее поверхности. Уменьшение интенсивности, прошедшего через образец, светового потока, чаще всего, связано с рассеянием на дефектах, размеры которых соизмеримы или больше длины волны прошедшего электромагнитного излучения. Пропускание образца №3 «Смесь» (рис.1 кривая 4) составляет 65-75% в интервале длин волн от 400 нм до 1100 нм. Спектр пропускания этого образца занимает промежуточное положение между спектрами образца №1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле» (кривая 2) и образца №2 «Гидрозоль» (кривая 3). Что указывает на промежуточную плотность структуры образца.

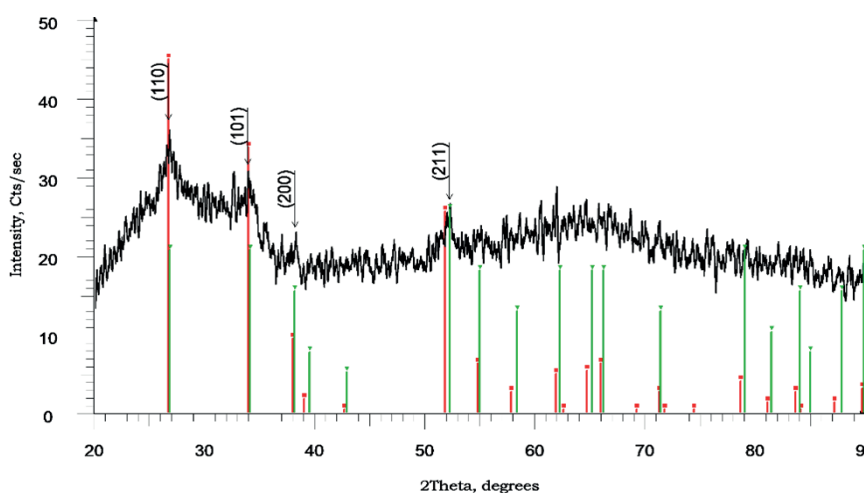
Определение ширины запрещенной зоны образцов по спектрам пропускания производилось графическим методом Таука. Результаты расчетов представлены на рисунке 2.



а – №1 «SnCl4 в этаноле», б – №2 «Гидрозоль», в – №3 «Смесь»  
 Рис 2. Расчет ширины запрещенной зоны методом Таука

Из рисунка 2а видно, что ширина запрещенной зоны для образца № 1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле» составляет 3,6эВ. Что хорошо согласуется с энергией запрещенной зоны объемного тетрагонального SnO<sub>2</sub> ( $E_g = 3,60$  эВ) (Дмитриева, 2018; Dmitriyeva, 2023; Li, 2025). Ширина запрещенной зоны для образца №2 «Гидрозоль» составляет 4,0 эВ, а для образца №3 «Смесь» – 4,1 эВ. Расширение запрещенной зоны может объясняться нарушением кристаллической решетки (Matteo, 2022). Эти нарушения могут быть вызваны изменениями условия синтеза (Murzalinov, 2022).

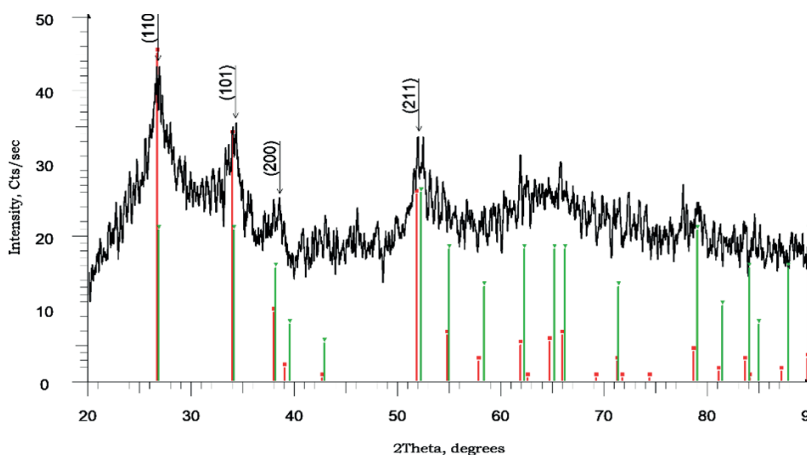
Для определения кристаллической структуры образцов был проведен рентгеноструктурный анализ. На рисунке 3 представлена рентгенограмма образца № 1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле».



Красные линии - карточка № 41-1445 (касситерит SnO<sub>2</sub>), зеленые линии - карточка № 02-1340 (касситерит SnO<sub>2</sub>)

Рис 3. Рентгенограмма образца № 1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле»

Из рисунка 3 видно, что образец № 1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле» состоит из кристаллитов SnO<sub>2</sub>. Идентифицируются четыре кристаллографические плоскости с индексами Миллера (110), (101), (200), (211). В программе RTP, был выполнен расчет параметров кристаллической решетки и было определено для образца №1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле» тип кристаллической решетки – тетрагональный. Параметры примитивной ячейки составляют:  $a=(4.6906 \pm 0.0065)$  Å;  $c=(3.1818 \pm 0.0125)$  Å, что хорошо согласуется с данными карточек базы (41-1445:  $a=4.738$  Å и  $c=3.187$  Å, № 02-1340:  $a=4.72$  Å и  $c=3.17$  Å)

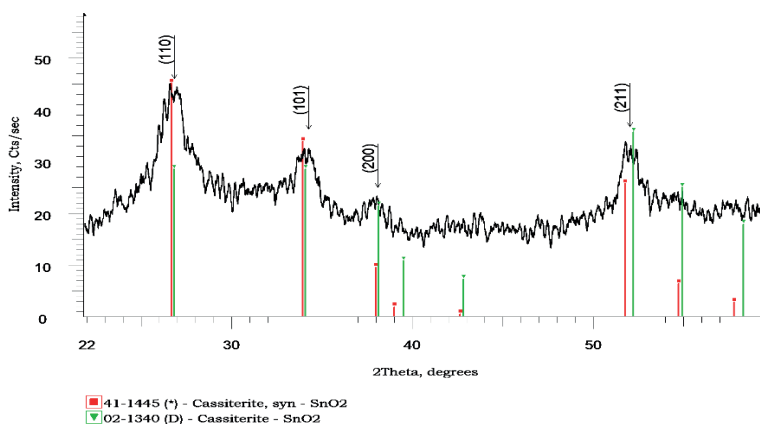


Красные линии - карточка № 41-1445 (касситерит  $\text{SnO}_2$ ), зеленые линии - карточка № 02-1340 (касситерит  $\text{SnO}_2$ )

Рис 4. Рентгенограмма образца № 2 «Гидрозоле»

Из рисунка 4 видно, что образец № 2 «Гидрозоле», также, как и образец №1 « $\text{SnCl}_4$  в этаноле», состоит из кристаллитов  $\text{SnO}_2$  сформированных по кристаллографическим плоскостям (110), (101), (200), (211). В то же время, можно наблюдать, что все четыре рефлекса представляют собой дублеты. Это указывает на присутствие двух твердых растворов оксида олова нестехиометрического состава. Результаты расчетов показывают очень хорошее совпадение по двум твердым растворам. В итоге, пленка, сформированная из гидрозоля, представляет собой смесь двух твердых растворов с тетрагональным типом кристаллической решетки и параметрами элементарной ячейки: раствор 1 –  $a=(4.7343 \pm 0.0038) \text{ \AA}$ ,  $c=(3.1726 \pm 0.0064) \text{ \AA}$ ; раствор 2 –  $a=(4.6798 \pm 0.0037) \text{ \AA}$ ,  $c=(3.1450 \pm 0.0061) \text{ \AA}$ .

Рентгенограмма образца №3 «Смесь» представлена на рисунке 5.



Красные линии - карточка № 41-1445 (касситерит  $\text{SnO}_2$ ), зеленые линии - карточка № 02-1340 (касситерит  $\text{SnO}_2$ )

Рис 5. Рентгенограмма образца № 3 «Смесь»

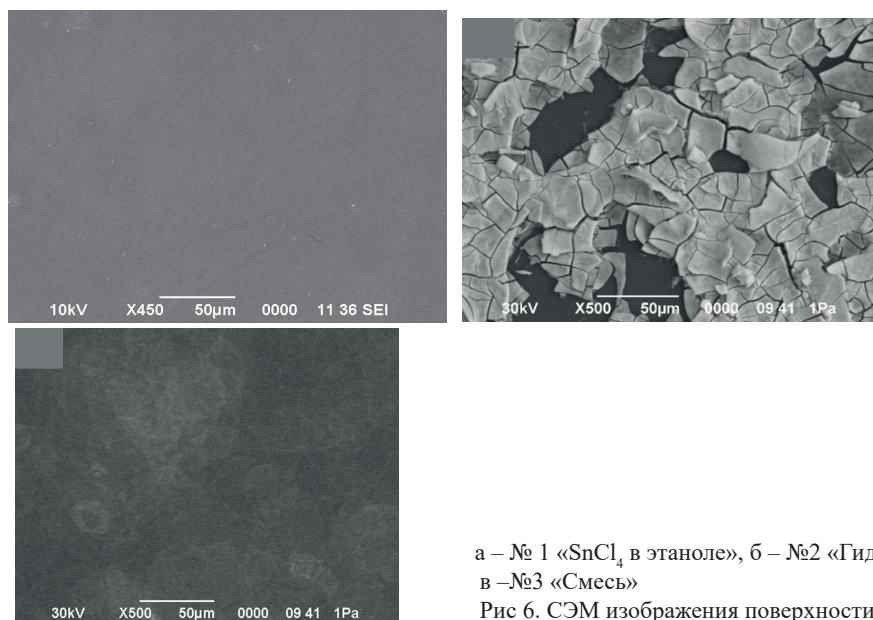
Из рентгенограммы образца №3 «Смесь» (рисунок 5) видно, что пленка не только состоит из кристаллитов  $\text{SnO}_2$  сформированных по плоскостям (110), (101), (200), (211), но и представляет собой смесь трех твердых растворов. Поскольку, все четыре сформированных пика имеют триплетную структуру. Результаты расчета параметров решетки приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры решетки трех твердых растворов.

Раствор 1	Раствор 2	Раствор 3
$a=(4.7561 \pm 0.0279) \text{ \AA}$	$a=(4.7203 \pm 0.0152) \text{ \AA}$	$a=(4.6790 \pm 0.0048) \text{ \AA}$
$c=(3.1874 \pm 0.0514) \text{ \AA}$	$c=(3.1663 \pm 0.0281) \text{ \AA}$	$c=(3.1555 \pm 0.0069) \text{ \AA}$

Результаты проведенного рентгеноструктурного анализа согласуются с расчетами ширины запрещенной зоны. Образец №1 « $\text{SnCl}_4$  в этаноле» состоит из кристаллитов с одинаковым параметром элементарной ячейки, и ширина запрещенной зоны соответствует ширине запрещенной зоны объемного материала ( $E_g = 3,60 \text{ эВ}$ ). Пленки, сформированные из «Гидрозоля» и «Смеси», состоят из двух и трех твердых растворов с отличными друг от друга параметрами элементарной ячейки. То есть количество таких дефектов, как вакансии  $\text{Sn}^{4+}$  и  $\text{O}^{2-}$  увеличивается с увеличением количества твердых растворов. Орбитальное перекрытие среди оставшихся Sn/O уменьшается, и это вызывает сужение полосы валентной зоны и зоны проводимости (Ke, W., 2017), что приводит к экспериментально наблюдаемому увеличению запрещенной зоны 4,0 эВ для образца №2 «Гидрозоля» и 4,1 эВ для образца №3 «Смесь».

На рисунке 6 приведены изображениям поверхности пленок сделанные на сканирующем электронно-силовом микроскопе.



а – №1 « $\text{SnCl}_4$  в этаноле», б – №2 «Гидрозоля», в – №3 «Смесь»

Рис 6. СЭМ изображения поверхности пленки

По СЭМ изображениям поверхности пленок, представленным на рис. 6, можно оценить влияние состава пленкообразующей системы на морфологию поверхности пленок, сформированных на стеклянной подложке. Как видно из рисунка 6 а образец № 1 «SnCl<sub>4</sub> в этаноле» обладает сплошной однородной структурой. Образец №2 «Гидрозоле» покрыт трещинами и слабо соединен с подложкой. О чем свидетельствуют пустые места на поверхности стеклянной подложке. Образец №3 «Смесь» обладает сплошной структурой. Наблюдаются отдельные каплевидные разводы, обусловленные методом нанесения. Что подтверждает сделанное при исследовании спектров пропускания предположении о дефектах в структуре, размеры которых соизмеримы или больше 300 нм.

**Заключение.** Анализ рентгеновских дифракционных данных показал, что все образцы обладают кристаллической структурой, соответствующей тетрагональной модификации SnO<sub>2</sub>. Наиболее упорядоченная структура наблюдалась у образца, приготовленного на основе этанола (образец №1), что свидетельствует о благоприятных условиях кристаллизации в данной системе. Ширина запрещенной зоны этого образца, соответствует ширине запрещенной зоны объемного материала (E<sub>g</sub> = 3,60 эВ). Пленки, сформированные из «Гидрозоля» и «Смеси», состоят из двух и трех твердых растворов нестехиометричного состава, с отличными друг от друга параметрами элементарной ячейки. Отклонение от стехиометрии вызывает сужение полосы валентной зоны и зоны проводимости, что приводит к экспериментально наблюдаемому увеличению запрещенной зоны до 4,0 эВ для образца №2 «Гидрозоле» и 4,1 эВ для образца №3 «Смесь». Морфологический анализ выявил существенное различие в степени однородности и плотности покрытия в зависимости от примененного пленкообразующего раствора.

Таким образом, метод спрей-пиролиза в сочетании с варьированием пленкообразующей системы представляет собой эффективный подход к управлению структурными и оптическими свойствами пленок SnO<sub>2</sub>. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации технологии изготовления прозрачных проводящих покрытий и сенсорных устройств на основе диоксида олова.

#### Литература

Серенко С.А., Уваров Н.Ф., Гавриленко В.А. (2015) Получение и свойства прозрачных проводящих пленок диоксида олова, допированного фтором. Химия в интересах устойчивого развития. — Т. 23. — №. 1. — С. 103-106.

Sánchez-García M.A., Maldonado A., Castañeda L., Silva-González R., Luz Olvera M. (2012) Characteristics of SnO<sub>2</sub>:F thin films deposited by ultrasonic spray pyrolysis: effect of water content in solution and substrate temperature. Materials Sciences and Applications. — Vol. 3, No. 10. — P. 690–696.

Solís Véliz J.L. (1995) Estudio de las propiedades como sensor de gas del a-SnWO<sub>4</sub>.

Sriram S.R., Parne S.R., Pothukanuri N., Edla D.R. (2022) Prospects of spray pyrolysis technique for gas sensor applications – A comprehensive review. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. — Vol. 164. — P. 105527.

Paloly A.R., Bushiri M.J. (2021) The effect of solvents on the growth and key properties of tin oxide thin films deposited via chemical spray pyrolysis. Materials Chemistry and Physics. — Vol. 261. — P. 124209

Malato S., Fernández-Ibáez P., Maldonado M.I., Blanco J., Gernjak W. (2009) Decontamination and

disinfection of water by solar photocatalysis: recent overview and trends. *Catalysis Today*. — Vol. 147, No. 1. — P. 1–59.

Lizarraga E., et al. (2020) YSZ thin film nanostructured battery for on-chip energy storage applications. *Journal of Energy Storage*. — Vol. 28. — P. 101220.

Ahmad T., Ansari M.Z. (2022) Enhancement of infrared shielding property of SnO<sub>2</sub> using Sb as a dopant. *Materials Research Express*. — Vol. 9, No. 10. — P. 105902.

Dmitriyeva E.A., Nurbaev B.M., Nikolaev A.M., Bondar E.A., Kovalenko A.S., Shilova O.A. (2024) Structure and properties of thin films prepared on flexible substrates from SnCl<sub>4</sub>-derived solutions. *Coatings*. — Vol. 14. — P. 1343.

Tret'yakov Y.D., Martynenko L.I., Grigor'ev A.N., Tsivadze A.Y. (2007) Inorganic Chemistry. In: *Chemistry of Elements*, 2nd ed. Moscow State University Publishing House Akademkniga: Moscow, Russia. — Vol. 2. — 670 p.

Shongalova A., Correia M.R., Teixeira J.P., Leitão J.P., González J.C., Ranjbar S., Garud S., Vermang B., Cunha J.M.V., Salomé P.M. (2018) Growth of Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> thin films by selenization of RF sputtered binary precursors. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. — Vol. 187. — P. 219–226.

Shongalova A., Aitzhanov M., Zhantuarov S., Urazov K., Fernandes P., Tokmoldin N., Correia M.R. (2020) Comparison of antimony selenide thin films obtained by electrochemical deposition and selenization of a metal precursor. *Materials Today Proceedings*. — Vol. 25. — P. 77–82.

Fernandes P.A., Shongalova A., Da Cunha A.F., Teixeira J.P., Leitão J.P., Cunha J.M.V., Bose S., Salomé P.M.P., Correia M.R. (2019) Phase selective growth of Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> and Cu<sub>3</sub>SbS<sub>4</sub> thin films by chalcogenization of simultaneous sputtered metal precursors. *Journal of Alloys and Compounds*. — Vol. 797. — P. 1359–1366.

Дмитриева Е.А., Мухамедшина Д.М., Мить К.А., Лебедев И.А., Грушевская Е.А. (2018) Влияние изотермического отжига на оптические и электрические свойства тонких пленок SnO<sub>2</sub> легированных фтором. *Вестник. Серия физическая. (Recent Contributions to Physics.)* — T.2 (65). — С. 68-75.

Dmitriyeva E.A., Lebedev I.A., Bondar E.A., Fedosimova A.I., Ibraimava S.A., Nurbaev B.M., Serikkanov A.S., Baytimbetova B.A. (2023) Influence of annealing time on the optical and electrical properties of tin dioxide-based coatings. *Eurasian Chemico-Technological Journal*. — Vol. 25. — P. 211–217.

Li C., Shu X., Zhang J., Delgado J., Bharathan P., Wang Y., Fang J. (2025) Controlled synthesis of SnO<sub>2</sub> nanocrystals with tunable band gaps. *Precision Chemistry*.

Pitaro M., Tekelenburg E., Shao S., Loi M.A. (2022) Tin halide perovskites: from fundamental properties to solar cells. *Advanced Materials*. — Vol. 34. — P. 2105844.

Murzalinov D.O., Dmitriyeva E.A., Lebedev I.A., Bondar E.A., Fedosimova A.I., Kemelbekova A.E. (2022) The effect of pH solution in the sol–gel process on the structure and properties of thin SnO<sub>2</sub> films. *Processes*. — Vol. 10, No. 1116.

Ke W., Stoumpos C.C., Zhu M., Mao L., Spanopoulos I., Liu J., Kanatzidis M.G. (2017) Enhanced photovoltaic performance and stability with a new type of hollow 3D perovskite FASnI<sub>3</sub>. *Science Advances*. — Vol. 3, No. 8. — P. e1701293.

## References

Serenko S.A., Uvarov N.F., Gavrilenko V.A. (2015) Preparation and Properties of Transparent Conductive Tin Dioxide Films Doped with Fluorine [Poluchenie i svoistva prozrachnykh provodyashchikh plenok dioksida olova, dopirovannogo ftorom]. *Chemistry for Sustainable Development*. — Vol. 23, No. 1. — P. 103–106. (in Russian).

Sánchez-García M.A., Maldonado A., Castañeda L., Silva-González R., Luz Olvera, M. (2012) Characteristics of SnO<sub>2</sub>:F thin films deposited by ultrasonic spray pyrolysis: effect of water content in solution and substrate temperature. *Materials Sciences and Applications*. — Vol. 3, No. 10. — P. 690–696. (in English).

Solís Véliz J.L. (1995) Estudio de las propiedades como sensor de gas del a-SnWO<sub>4</sub>. (in English).

Sriram S.R., Parne S.R., Pothukanuri N., Edla D.R. (2022) Prospects of spray pyrolysis technique for gas sensor applications – A comprehensive review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. — Vol. 164. — P. 105527. (in English).

Paloly A.R., Bushiri M.J. (2021) The effect of solvents on the growth and key properties of tin oxide thin films deposited via chemical spray pyrolysis. *Materials Chemistry and Physics*. — Vol. 261. — P. 124209. (in English).

Malato S., Fernández-Ibáez P., Maldonado M.I., Blanco J., Gernjak W. (2009) Decontamination and Disinfection of Water by Solar Photocatalysis: Recent Overview and Trends. *Catalysis Today*. — Vol. 147, No. 1. — P. 1–59. (in English).

Lizarraga E., et al. (2020) YSZ thin film nanostructured battery for on-chip energy storage applications. *Journal of Energy Storage*. — Vol. 28. — P. 101220. (in English).

Ahmad T., Ansari M.Z. (2022) Enhancement of infrared shielding property of SnO<sub>2</sub> using Sb as a dopant. *Materials Research Express*. — Vol. 9, No. 10. — P. 105902. (in English).

Dmitriyeva E.A., Nurbaev B.M., Nikolaev A.M., Bondar E.A., Kovalenko A.S., Shilova O.A. (2024) Structure and Properties of Thin Films Prepared on Flexible Substrates from SnCl<sub>4</sub>-Derived Solutions. *Coatings*. — Vol. 14. — P. 1343. (in English).

Tret'yakov Y.D., Martynenko L.I., Grigor'ev A.N., Tsvadze A.Y. (2007) *Inorganic Chemistry. In Chemistry of Elements*, 2nd ed. Moscow State University Publishing House Akademkniga: Moscow, Russia. — Vol. 2. — 670 p. (in English).

Shongalova A., Correia M.R., Teixeira J.P., Leitão J.P., González J.C., Ranjbar S., Garud S., Vermang B., Cunha J.M.V., Salomé P.M. (2018) Growth of Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> thin films by selenization of RF sputtered binary precursors. *Solar Energy Materials and Solar Cells*. — Vol. 187. — P. 219–226. (in English).

Shongalova A., Aitzhanov M., Zhantuarov S., Urazov K., Fernandes P., Tokmoldin N., Correia M.R. (2020) Comparison of antimony selenide thin films obtained by electrochemical deposition and selenization of a metal precursor. *Materials Today Proceedings*. — Vol. 25. — P. 77–82. (in English).

Fernandes P.A., Shongalova A., Da Cunha A.F., Teixeira J.P., Leitão J.P., Cunha J.M.V., Bose S., Salomé P.M.P., Correia M.R. (2019) Phase selective growth of Cu<sub>12</sub>Sb<sub>4</sub>S<sub>13</sub> and Cu<sub>3</sub>SbS<sub>4</sub> thin films by chalcogenization of simultaneous sputtered metal precursors. *Journal of Alloys and Compounds*. — Vol. 797. — P. 1359–1366. (in English).

Dmitriyeva E.A., Mukhamedshina D.M., Mit' K.A., Lebedev I.A., Grushevskaya E.A. (2018) Effect of Isothermal Annealing on the Optical and Electrical Properties of Fluorine-Doped SnO<sub>2</sub> Thin Films [Vliyaniye izotermicheskogo otzhiga na opticheskie i elektricheskie svoystva tonkikh plenok SnO<sub>2</sub> legirovannykh fluorom]. *Bulletin. Physics Series (Recent Contributions to Physics)*. — No. 2 (65). — P. 68–75. (in Russian).

Dmitriyeva E.A., Lebedev I.A., Bondar E.A., Fedosimova A.I., Ibraimava S.A., Nurbaev B.M., Serikkanov A.S., Baytimbetova B.A. (2023) Influence of annealing time on the optical and electrical properties of tin dioxide-based coatings. *Eurasian Chemico-Technological Journal*. — Vol. 25. — P. 211–217. (in English).

Li C., Shu X., Zhang J., Delgado J., Bharathan P., Wang Y., Fang J. (2025) Controlled Synthesis of SnO<sub>2</sub> Nanocrystals with Tunable Band Gaps. *Precision Chemistry*. (in English).

Pitaro M., Tekelenburg E., Shao S., Loi M.A. (2022) Tin Halide Perovskites: From Fundamental Properties to Solar Cells. *Advanced Materials*. — Vol. 34. — P. 2105844. (in English).

Murzalinov D.O., Dmitriyeva E.A., Lebedev I.A., Bondar E.A., Fedosimova A.I., Kemelbekova A.E. (2022) The effect of pH solution in the sol–gel process on the structure and properties of thin SnO<sub>2</sub> films. *Processes*. — Vol. 10, No. 1116. (in English).

Ke W., Stoumpos C.C., Zhu M., Mao L., Spanopoulos I., Liu J., Kanatzidis M.G. (2017) Enhanced photovoltaic performance and stability with a new type of hollow 3D perovskite FASnI<sub>3</sub>. *Science Advances*. — Vol. 3, No. 8. — P. e1701293. (in English).

**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.