

ISSN (Print) 2616-6836
ISSN (Online) 2663-1296

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№3(128)/2019

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Нұр-Сұлтан, 2019

Nur-Sultan, 2019

Нур-Султан, 2019

**Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы**

№3(128)/2019

МАЗМҰНЫ

<i>Аймухамбетова А.С., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б.В.</i> Валецки типті космологиялық моделдің дәрежелі шешімі.	8
<i>Ахметова Г.А., Разина О.В., Цыба П.Ю., Меирбеков Б.</i> Фермиондық және тахиондық өрістері бар космологиялық моделі	16
<i>Акилбеков А., Скуратов В., Даулетбекова А., Гиниятова Ш., Сейтбаев А.</i> DC-60 циклотронында in-situ иондық люминесценцияны зерттеуге арналған қондырғыны жасау	26
<i>Абуова А.У., Ускенбаев Е., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Абуова Г.У., Джунисбекова Д.А.</i> Техникалық мамандықтар оқытудың интерактивті әдістері	35
<i>Баубекова Г.М., Луцик А.Ч., Асылбаев Р.Н., Ақылбеков А.Т.</i> Жылдам ауыр иондармен сәулелендірілген MgO кристалдарындағы радиациялық ақау түзілуі	41
<i>Гриценко Л.В., Калкозова Ж.К., Кедрук Е.Ю., Мархабаева А.А., Абдуллин Х.А.</i> ZnO нанобөлшектерінің гидротермалды синтезі және олардың фотокаталитикалық қасиеттері	49
<i>Даулетбекова А., Ақылбекова А., Гиниятова Ш., Баймуханов З., Власукова Л., Ақылбеков А., Усеинов А., Козловский А., Карипбаев Ж.</i> SiO ₂ /Si тректі матрицаларына электрлі түндырылған ZnO нанокристалдарының құрылымы, электрлік қасиеттері және люминесценциясы	57
<i>Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А.</i> Модификацияланған $F(T)$ гравитациясы мен Дирак өрісіндегі космологиялық шешімдер	67
<i>Жадыранова А.А., Ануарбекова Ы.Е.</i> $n = 3$ және $N = 2$ жағдайлары үшін $V_0 = 0$ болғандағы WDVV ассоциативтілік теңдеуінің иерархиясы	79
<i>Жангозин К.Н., Каргин Д.Б.</i> Тік қалақшалы жел турбиналарының қуатын арттыру жолдары туралы	86
<i>Жубатканова Ж.А., Мырзакулов Н.А., Мейрбеков Б.К.</i> Бранс-Дикке өрісі бар гравитацияның модификацияланған теориясының дербес жағдайы үшін космологиялық шешімдер	93
<i>Калкозова Ж.К., Тулегенова А.Т., Абдуллин Х.А.</i> Белсенді фотолюминесценциялы цериймен легирленген (Y ₃ Al ₅ O ₁₂ :Ce ³⁺) алюмоиттрийлік гранаттың жоғары дисперсиялық ұнтағын алу	102
<i>Рысқұлов А.Е., Иванов И.А., Кислицын С.Б., Углов В.В., Здоровец М.В.</i> Ni ¹²⁺ ауыр иондармен сәулелендірудің BeO керамикада ақаулардың қалыптасуына әсері	110
<i>Нуразметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Доломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Балтабеков А.С., Садыкова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н.</i> Аралас сілтілі металл сульфаттарының зоналық құрылымы және оптикалық спектрі	117
<i>Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С.</i> Өткізгіштігі және диэлектриялық қасиеттері Na ₃ Sc ₂ (PO ₄) ₃	128
<i>Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Голковский М.Г., Лисицына Л.А., Алпысова Г.К., Тулегенова А.Т., Ақылбеков А.Т., Даулетбекова А.К., Балабеков К.Н., Козловский А., Усеинов А.</i> Радиация өрісіндегі ИАГ және ИАГГ люминофорларының құрылымын зерттеу және синтездеу	138
<i>Касенов Д., Абуова А.У., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Каптагай Г.А.</i> Физика-химиялық процестерді ғылыми тану әдісі ретінде модельдеу	147
<i>Еримбетова Д.С., Степаненко В.Ф., Видергольд А.В., Жумадилов К.Ш.</i> Радон концентрациясын зерттеудің қазіргі жағдайы	153
<i>Файз А.С., Абуова Ф.У., Шәкен Н., Абуова А.У., Джунисбекова Д.А., Байман Г.Б.</i> BiCuSeO оксиселенид - жаңа келешегі жоғары термоэлектрлік материал ретінде	160

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

№3(128)/2019

CONTENTS

<i>Aimukhambetova A.S., Razina O.V., Tsyba P.Yu., Meyirbekov B.V.</i> Power solution of the cosmological model of the Valecki type.	8
<i>Akhmetova G.A., Razina O.V., Tsyba P.Yu., Meirbekov B.</i> Cosmological model with fermion and tachyon fields	16
<i>Akilbekov A., Skuratov V., Dauletbekova A., Giniyatova Sh., Seitbayev A.</i> Creation of facility for in-situ measurement of high-energy ionoluminescence on cyclotron DC-60	26
<i>Abuova A.U., Uskenbaev E., Inerbaev T.M., Abuova F.U., Abuova G.U., Junisbekova D.A.</i> Interactive methods of teaching physics in technical speciality	35
<i>Baubekeva G.M., Lushchik A.Ch., Asylbaev R.N., Akilbekov A.T.</i> Creation of radiation defects in MgO crystals irradiated with swift heavy ions	41
<i>Gritsenko L.V., Kalkozova Zh.K., Kedruk Y.U., Markhabaeva A.A., Abdullin Kh.A.</i> Hydrothermal synthesis of ZnO nanoparticles and their photocatalytic properties	49
<i>Dauletbekova A.K., Akylbekova A., Giniyatova S h., Baimukhanov Z., Vlasukova L., Akilbekov A., Usseinov A., Kozlovskii A., Karipbayev Zh.</i> Structure, electrical properties and luminescence of ZnO nanocrystals deposited in SiO ₂ /Si track templates	57
<i>Myrzakulov N.A., Myrzakulova Sh.A.</i> Cosmological solutions of modified $F(T)$ gravity with Dirac field	67
<i>Zhadyranova A.A., Anuarbekova Y.Ye.</i> Hierarchy of WDVV associativity equations for $n = 3$ case and $N = 2$ when $V_0 = 0$	79
<i>Zhangozin K.N., Kargin D.B.</i> About ways to increase the power of wind turbines with straight blades	86
<i>Zhubatkanova Zh.A., Myrzakulov N.A., Meirbekov B.K.</i> Cosmological solutions for particular case of modified theory of gravity with a Brans-Dicke field.	93
<i>Kalkozova Zh.K., Tulegenova A.T., Abdullin Kh.A.</i> National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan	102
<i>Ryskulov A.E., Ivanov I.A., Kislitsin S.B., Uglov V.V., Zdorovets M.V.</i> The effect of Ni ¹²⁺ heavy ion irradiation on radiation defect formation in BeO ceramics	110
<i>Nurakhmetov T.N., Salikhodzha Zh.M., Dolomatov M.Y., Zhunusbekov A.M., Kainarbay A.Z., Daurenbekov D.H., Baltabekov A.S., Sadykova B.M., Zhangylyssov K.B., Yussupbekova B.N.</i> Band structure and optical spectra of mixed alkali metal sulfates	117
<i>Nogai A.A., Stefanovich S.Yu., Salikhodzha J.M., Nogai A.S.</i> Conducting and dielectric properties of Na ₃ Sc ₂ (PO ₄) ₃	128
<i>Karipbaev Zh., Musahanov D., Lisitsyn V., Golkovskii M., Lisitsyna L., Alpyssova G., Tulegenova A., Akylbekov A., Dauletbekova A., Balabekov K., Kozlovskii A., Usseinov A.</i> Synthesis, the study of the structure of YAG and YAGG phosphors in the radiation field	138
<i>Kasenov D., Abuova A.U., Inerbaev T.M., Abuova F.U., Kaptagai G.A.</i> Modeling as a method of scientific knowledge of physical and chemical processes	147
<i>Yerimbetova D., Stepanenko V., Vidergold A., Zhumadilov K.</i> Current state of radon concentration studies	153
<i>Faiz A.S., Abuova F.U., Shaken N., Abuova A.U., Junisbekova D.A., Baiman G.B.</i> BiCuSeO oxyselenides: new promising thermoelectric materials	160

СОДЕРЖАНИЕ

Аймухамбетова А.С., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б.В. Степенное решение космологической модели типа Валецки	8
Ахметова Г.А., Разина О.В., Цыба П.Ю., Мейрбеков Б. Космологическая модель с фермионным и тахионным полями	16
Акилбеков А., Скуратов В., Даулетбекова А., Гиниятова Ш., Сейтбаев А. Создание установки для in-situ измерения высокоэнергетической ионолюминесценции на циклотроне DC-60	25
Абуова А.У., Ускенбаев Е., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Абуова Г.У., Джунисбекова Д.А. Интерактивные методы обучения физике на технических специальностях	35
Баубекова Г.М., Луцкич А.Ч., Асылбаев Р.Н., Акилбеков А.Т. Создание радиационных дефектов в кристаллах MgO, облученных высокоэнергетическими ионами	41
Гриценко Л.В., Калкозова Ж.К., Кедрук Е.Ю., Мархабаева А.А., Абдуллин Х.А. Гидротермальный синтез наночастиц ZnO и их фотокаталитические свойства	49
Даулетбекова А., Акилбекова А., Гиниятова Ш., Баймуханов З., Власукова Л., Акилбеков А., Усеинов А., Козловский А., Карипбаев Ж. Структура, электрические свойства и люминесценция нанокристаллов ZnO, электроосажденных в трековые матрицы SiO ₂ /	57
Мырзакулов Н.А., Мырзакулова Ш.А. Космологические решения в модифицированной $F(T)$ гравитации с полем Дирака	67
Жадыранова А.А., Ануарбекова Ы.Е. Иерархия уравнений ассоциативности WDVV для случая $n = 3$ и $N = 2$ при $V_0 = 0$	79
Жангозин К.Н., Каргин Д.Б. О способах увеличения мощности ветровых турбин с прямыми лопастями	86
Жубатканова Ж.А., Мырзакулов Н.А., Мейрбеков Б.К. Космологические решения для частного случая модифицированной теории гравитации с полем Бранс-Дикке	93
Калкозова Ж.К., Тулегенова А.Т., Абдуллин Х.А. Получение высокодисперсного порошка алюмоиттриевого граната, легированного церием ($Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$) с интенсивной фотолюминесценцией	102
Рыскулов А.Е., Иванов И.А., Кислицын С.Б., Углов В.В., Здоровец М.В. Влияние облучения тяжелыми ионами Ni^{12+} на радиационное дефектообразование в керамиках BeO	110
Нуралиметов Т.Н., Салиходжа Ж.М., Доломатов М.Ю., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Дауренбеков Д.Х., Балтабеков А.С., Садыкова Б.М., Жанылысов К.Б., Юсупбекова Б.Н. Зонная структура и оптические спектры смешанных сульфатов щелочных металлов	117
Ногай А.А., Стефанович С.Ю., Салиходжа Ж.М., Ногай А.С. Проводящие и диэлектрические свойства $Na_3Sc_2(PO_4)_3$	128
Карипбаев Ж.Т., Мусаханов Д.А., Лисицын В.М., Голковский М.Г., Лисицына Л.А., Алпысова Г.К., Тулегенова А.Т., Акилбеков А.Т., Даулетбекова А.К., Балабеков К.Н., Козловский А., Усеинов А. Синтез, исследование структуры ИАГ и ИАГГ люминофоров в поле радиации	138
Касенов Д., Абуова А.У., Инербаев Т.М., Абуова Ф.У., Каптагай Г.А. Моделирование как метод научного познания физико-химических процессов	147
Еримбетова Д.С., Степаненко В.Ф., Видергольд А.В., Жумадилов К.Ш. Современное состояние исследований концентрации радона	153
Фаиз А.С., Абуова Ф.У., Шәкен Н., Абуова А.У., Джунисбекова Д.А., Байман Г.Б. BiCuSeO оксиселенид как новый перспективный термоэлектрический материал	160

Л.В. Гриценко¹², Ж.К. Калкозова¹, Е.Ю. Кедрук², А.А. Мархабаева¹,
Х.А. Абдуллин¹

¹ *Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

² *Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

(E-mail: ¹² *gritsenko_lv@mail.ru*, ¹ *zh.kalkozova@mail.ru*, ² *janegirl10@mail.ru*,
¹ *aiko_marx@mail.ru*, ¹ *kh.a.abdullin@mail.ru*)

Гидротермальный синтез наночастиц ZnO и их фотокаталитические свойства

Аннотация: Гидротермальным методом синтезированы высокодисперсные порошки ZnO с использованием разных прекурсоров. Исследованы морфология, фотокаталитические свойства полученных образцов. Показана связь морфологии полученных образцов ZnO и их фотокаталитических свойств с условиями проведения гидротермального синтеза. Получены образцы ZnO, по фотокаталитической активности превосходящие коммерческие порошки оксида цинка.

Ключевые слова: гидротермальный метод, высокодисперсные порошки ZnO, фотокаталитические наночастицы.

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-68-36-2019-128-3-49-56>

Работа выполнена по гранту AP05130100 Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Введение. В настоящее время интенсивные исследования проводятся по проблеме очистки сточных вод [1]. Физические методы, такие как флокуляция, обратный осмос и адсорбция активированным углём не разрушают вредные вещества, а только переносят их в другие среды; приводя таким образом к вторичному загрязнению. Гетерогенный полупроводниковый фотокатализ [2-6] является многообещающим подходом к деградации большого количества органических загрязнителей, поскольку считается экономически эффективным. Данный процесс по сравнению с другими способами очистки обладает рядом преимуществ, таких как полная минерализация (1), отсутствие проблемы удаления отходов (2), низкая стоимость (3) и отсутствие необходимости в исключительно мягких условиях для температуры и давления (4). Полупроводниковые фотокаталитические процессы важны с точки зрения удаления органических веществ, разрушения раковых клеток, бактерий и вирусов [7-9]. Поэтому разработка экспериментальных методов синтеза фотокаталитических материалов, пригодных для фотокаталитического разложения органических соединений, весьма актуальна.

ZnO обладает фотокаталитической эффективностью для деградации загрязнителей как в кислотной, так и в щелочной среде [10]. Для процесса фотокатализа первостепенными факторами являются удельная проводимость и дефекты поверхности (особенно кислородные дефекты), которые непосредственно влияют на фотокаталитическую активность оксидных полупроводников металлов. Массивы наностержней ZnO, синтезированных гидротермальным методом, имеют высокое отношение поверхности к объёму и являются перспективными фотокатализаторами для очистки воды [11] и решения проблемы понижения качества питьевой воды. В настоящей работе проведен гидротермальный синтез наночастиц ZnO и исследованы их фотокаталитические свойства совместно с их морфологией.

Эксперимент. Порошки ZnO были синтезированы гидротермальным методом на водяной бане при 95⁰С в течение 3-6 часов. К преимуществам гидротермального синтеза можно отнести низкозатратность, воспроизводимость, возможность управления свойствами синтезируемых материалов посредством изменения таких параметров, как температура, продолжительность и концентрация компонентов раствора роста. Для синтеза порошков ZnO с мелкой дисперсностью были приготовлены два различных раствора,

основные реагенты растворов – ацетат цинка, NaOH и ПАВ (додецилсульфат натрия). Сначала был приготовлен раствор $0.1\text{M Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ в 50 мл этанола. Второй компонент – это раствор гидроксида натрия 0.5M NaOH в 100 мл дистиллированной воды, дополнительно добавлялся 10мМ натрий додецилсульфат в качестве ПАВ. Оба компонента непрерывно перемешивались в течение 30 минут на магнитной мешалке, затем в первый раствор добавлялся второй капельным способом. Синтез проводился в пределах 3-6 часов на водяной бане при температуре 95°C . Полученный после синтеза порошок несколько раз промывался дистиллированной водой и сушился. После этого проводился термический отжиг в муфельной печи при температуре 500°C в течение 6 часов.

Морфологию поверхности изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Quanta3D200i FEI. Оптические спектры поглощения сняты на спектрофотометре Lambda 35 PerkinElmer. Рамановские спектры были сняты на установке Ntegra Spectra (NT-MDT) с возбуждением синим лазером с длиной волны 473 нм.

Результаты и обсуждение. На рисунках 1 - 3 показаны СЭМ снимки полученных образцов, а также спектры оптической плотности исходных растворов Родамина В и спектры оптической плотности растворов после экспозиции ультрафиолетовым светом в течение 30, 60, 90 и 120 минут.

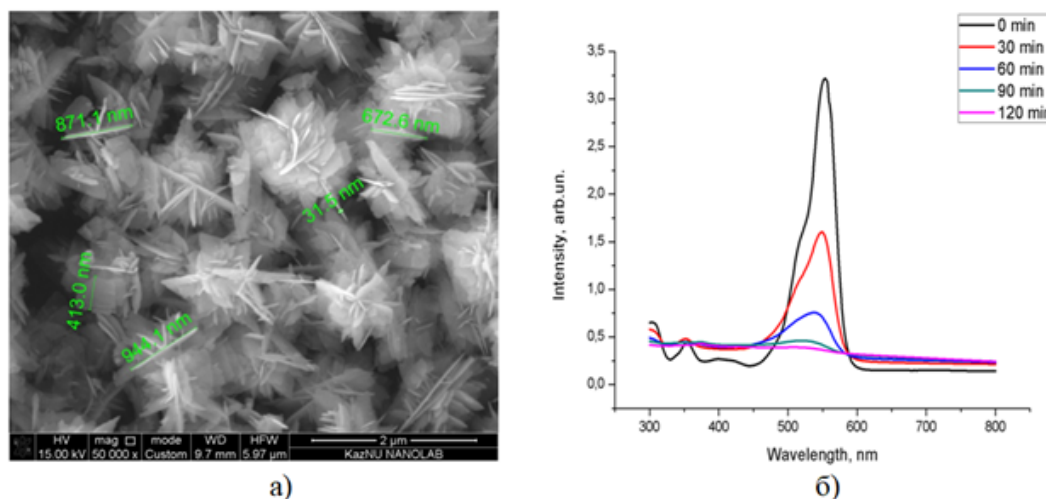


FIGURE 1 – СЭМ снимки порошка оксида цинка (а) и спектр оптической плотности раствора Родамина В с порошком оксида цинка (б). Образец №1 – $0.1\text{M Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 0.5\text{M NaOH} + 10\text{мМ ПАВ}$, температура синтеза - 95°C , продолжительность синтеза - 3 часа

СЭМ снимки показывают, что наименьшие размеры у частиц в образцах №1 и №3. Данные образцы синтезированы при одинаковых условиях и различаются только продолжительностью синтеза. Образец №1 синтезирован в течение 3 часов, а образец №3 – в течение 6 часов. Видим, что у данных образцов частицы имеют тонкую иглообразную или пластинчатую форму, длина игл и пластин зависела от продолжительности синтеза. Измерения спектров оптической плотности (рис. 1б, 2б и 3б) демонстрируют фотокаталитическую активность синтезированных образцов при деградации красителя RhB на поверхности ZnO под воздействием УФ-освещения. Из графиков видно, что максимум интенсивности поглощения исходного раствора RhB с порошком ZnO приходится на 554 нм. С увеличением времени экспонирования интенсивность поглощения RhB постепенно снижается в присутствии ZnO, что свидетельствует об уменьшении концентрации красителя RhB. Относительная концентрация красителя RhB уменьшается с увеличением времени экспонирования, при этом для всех представленных образцов краситель RhB значительно деградирует на поверхности ZnO NPs под действием УФ освещения в первые 30 минут экспонирования. У образца №1 длина частиц меньше, что, по-видимому, обеспечивает его более высокую фотокаталитическую активность.

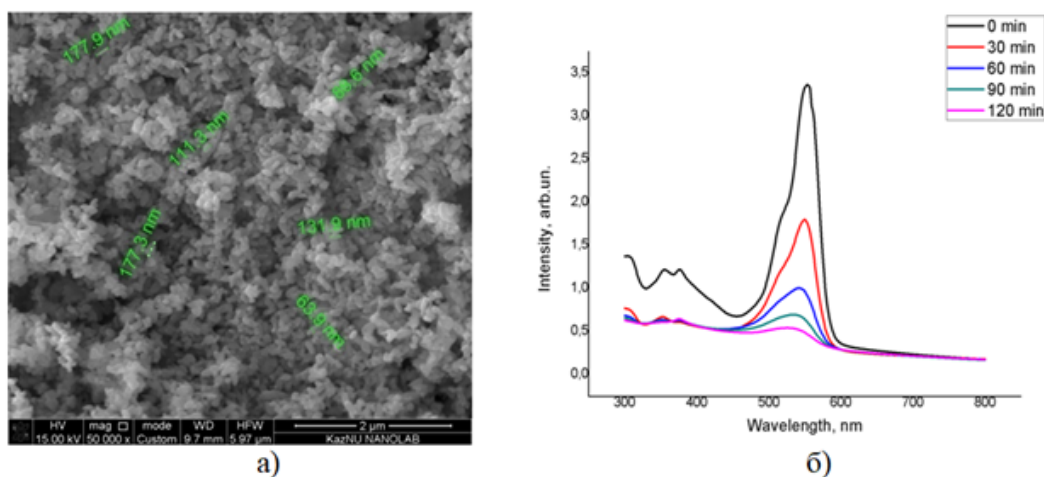


FIGURE 2 – СЭМ снимки порошка оксида цинка (а) и спектр оптической плотности раствора Родамина В с порошком оксида цинка (б). Образец №2 – $0.2\text{M Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 0.5\text{M NaOH} + 5\text{мМ ПАВ}$, температура синтеза - 95°C , продолжительность синтеза - 3 часа

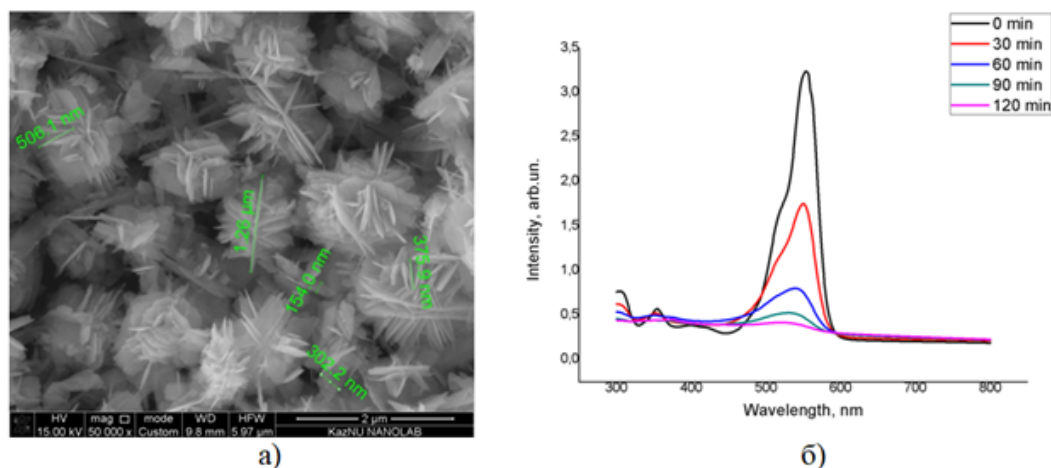


FIGURE 3 – СЭМ снимки порошка оксида цинка (а) и спектр оптической плотности раствора Родамина В с порошком оксида цинка (б). Образец №3 – $0.1\text{M Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 0.5\text{M NaOH} + 10\text{мМ ПАВ}$, температура синтеза - 95°C , продолжительность синтеза - 6 часов

При синтезе образца №2 концентрация ацетата цинка была выше, а именно 0.2 М, концентрация ПАВ 5мМ, в результате чего выросли частицы мелкие, но слипшиеся. Данный образец имел наиболее низкую фотокаталитическую активность (рис. 2б).

Сравнение синтезированного порошка ZnO с заводским порошком показывает, что фотокаталитическая активность синтезированных порошков выше. Кинетика спада оптической плотности в полосе поглощения родамина показывает (рис. 4), что фотокаталитическая активность образцов №1 и №3 выше, чем у образца №2. Учитывая тот факт, что размеры частиц в образцах №1 и №3 меньше, чем в образце №2, можно сделать вывод о влиянии размера, формы частиц и, как следствие, удельной поверхности на фотокаталитические свойства полученных образцов.

Проведены также измерения рамановских спектров полученных порошков ZnO. Известно, что кристалл ZnO со структурой вюрцита относится к пространственной группе $P6_3mc$, и в рамановском рассеянии первого порядка участвуют только оптические фононы в точке G зоны Бриллюэна [12, 13]. Колебательная мода E2 состоит из двух мод низкочастотных и высокочастотных фононов E2 low (96 см^{-1}) и E2 high (437 см^{-1}), что связано с вибрацией Zn-подрешетки и атомов кислорода соответственно. Эти моды являются рамановскими активными колебаниями первого порядка и доминируют в нерезонансных

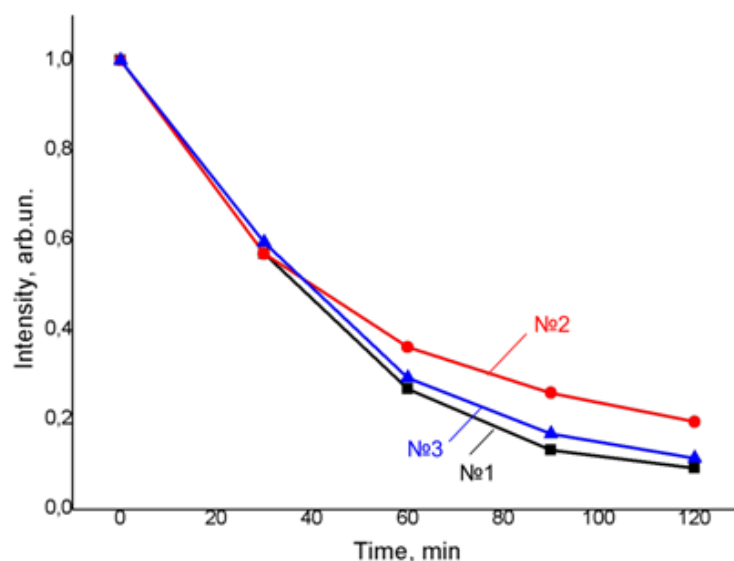


FIGURE 4 – Кинетика спада оптической плотности в полосе поглощения родамина в зависимости от времени засветки образцов ZnO №1, №2 и №3

спектрах комбинационного рассеяния (рисунок 5). Это указывает, что образец имеет высокое кристаллическое совершенство. Относительно слабый пик при 330 см^{-1} приписывается моде A1 (ТО). Также имеется слабый плечевой пик в низкочастотном крыле интенсивной полосы при 439 см^{-1} , что соответствует моде E1 (ТО). Кроме того, слабые обертоны акустического фонона и оптического фонона с симметрией A1 расположены на 203 и ниже 330 см^{-1} соответственно, что приводит к высокой фотокаталитической активности полученных образцов в отношении деградации красителя. Комбинация акустических мод A1 и E2 наблюдается в виде широкой полосы около 1150 см^{-1} . Полученные результаты хорошо совпадают с литературными данными [12-15] и свидетельствуют о хорошей закристаллизованности образцов ZnO, синтезированных гидротермальным методом.



FIGURE 5 – Типичный спектр рамановского рассеяния синтезированных порошков ZnO

Чтобы убедиться, что фотокаталитическая активность напрямую зависит от размера частиц порошка, были синтезированы порошки с относительно большими размерами частиц и проведено сравнение их фотокаталитических свойств. Синтез провели с использованием растворов нитрата цинка и уротропина в течение 1 часа при температуре 95°C . Синтез привел к образованию порошка с относительно большими размерами частиц в виде коротких стержней (рис. 6).

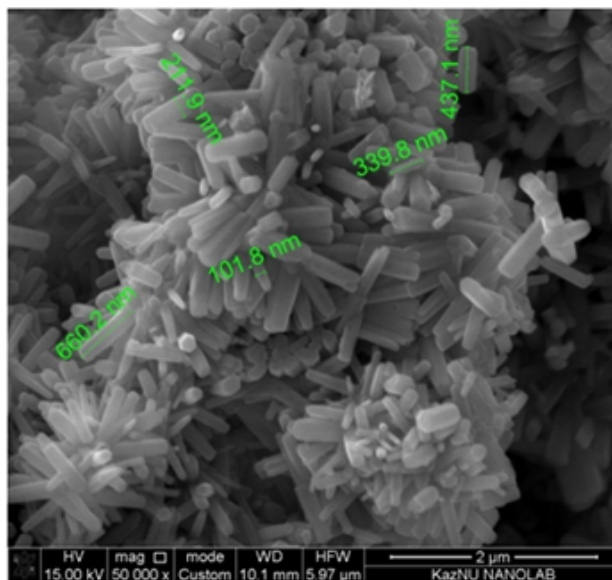


FIGURE 6 – СЭМ снимки синтезированных гидротермальным методом порошков ZnO на основе нитрата цинка и уротропина после термического отжига при 500°C . Образец №4 – $0.1\text{M} (\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ и $0.1\text{M} (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4)$, температура синтеза - 95°C , продолжительность синтеза - 1 час

Измерена фотокаталитическая активность образца №4. На рисунке 7 показано сравнение активности образцов №1 и №4.

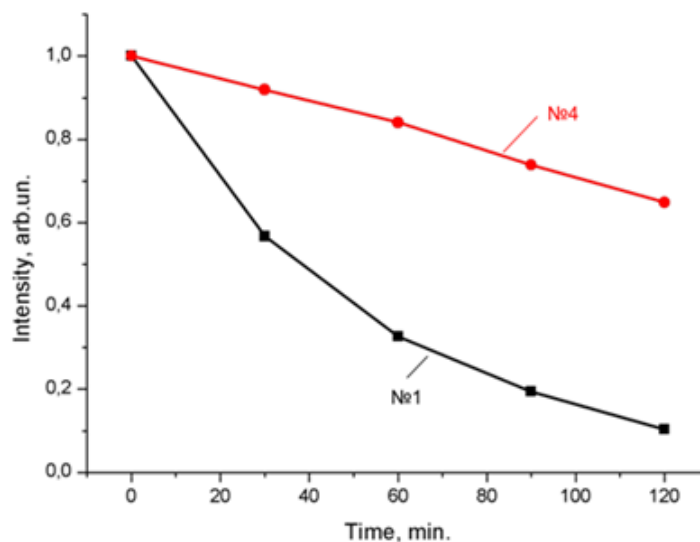


FIGURE 7 – Кинетика спада оптической плотности на полосе поглощения родамина в зависимости от времени образцов №1 и №4

Исследования показали, что фотокаталитическая активность данных порошков №4 ниже. Следовательно, фотокаталитическая активность порошков из тонких плоских кристаллических плоскостей существенно выше, чем у порошков с частицами в виде коротких стержней.

Заклучение. В ходе исследований синтезированы порошки ZnO гидротермальным методом, выяснены условия для синтеза мелкодисперсных порошков. Исследована зависимость параметров порошка от технологических параметров синтеза, таких как концентрация основных реагентов, продолжительность синтеза, температура синтеза. Исследована фотокаталитическая активность полученных порошков в зависимости от размеров и формы частиц порошков.

Список литературы

- 1 Yahya N., Aziz F., Jamaludin N.A., Mutalib M.A., Ismail A.F., Salleh W. W. N., Jaafar J., Yusof N, Ludin N.A. A review of integrated photocatalyst adsorbents for wastewater treatment // Journal of Environmental Chemical Engineering. –2018. –Vol. 6. Issue 6. –P. 7411-7425. doi:10.1016/j.jece.2018.06.051
- 2 Belvar C., Bellod R., Fuerte A., Garcia M.F. Nitrogen-containing TiO₂ photocatalysts: Part 1. Synthesis and solid characterization // Appl. Catal. B: Environ. –2006. –Vol. 65. –P.301-308. doi: 10.1016/j.apcatb.2006.02.016
- 3 Linsebigler A.L., Lu G., Yates J.T. Photocatalysis on TiO₂ surfaces: Principles, mechanisms, and selected results // J. Chem. Revs. –1995. –Vol.95. –P. 735-758. doi: 10.1021/cr00035a013
- 4 Serpone N. Brief introductory remarks on heterogeneous photocatalysis //Solar Energy Mater. Solar Cells. –1995. –Vol. 38. –P.369-379. doi.org/10.1016/0927-0248(94)00230-4
- 5 Chong M.N., Jin B., Chow C.W.K., Saint C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review // Water Res. –2010. –Vol.44. –P. 2997-3027. doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.039
- 6 Yi Yang and Joseph J. Pignatello. Participation of the Halogens in Photochemical Reactions in Natural and Treated Waters // Molecules. –2017. –Vol.22(10). –P.1684-1-1684-24. doi:10.3390/molecules22101684.
- 7 Litter M.I. Introduction to Photochemical Advanced Oxidation Processes for Water Treatment. In: Boule P., Bahnemann D.W., Robertson P.K.J. (eds) Environmental Photochemistry Part II. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 2M. - Springer, Berlin, Heidelberg, 2018. -481p.
- 8 Kisch H. Semiconductor Photocatalysis for Chemoselective Radical Coupling Reactions // Acc Chem Res. –2017. –Vol. 50(4). –P.1002-1010. doi: 10.1021/acs.accounts.7b00023. Epub 2017.
- 9 Dhananjay S. Bhatkhande, Vishwas G. Pangarkar and Anthony ACM Beenackers. Photocatalytic degradation for environmental applications – a review // J. Chem. Technol. Biotechnol. –2001. –Vol. 177. –P.102–116. doi.org/10.1002/jctb.532
- 10 Mohd Azam Mohd Adnan, Nurhidayatullaili Muhd Julkapli, Sharifah Bee Abd Hamid. Review on ZnO hybrid photocatalyst: impact on photocatalytic activities of water pollutant degradation // Reviews in Inorganic Chemistry. –2015. –Vol. 36. Issue 2. –P. 77-104. doi.org/10.1515/revic-2015-0015
- 11 Sze-Mun Lam, Jin-Chung Sin. A Green and Facile Hydrothermal Synthesis of ZnO Nanorods for Photocatalytic Application // JOJ Material Scin. (JOJMS). –2018. –Vol. 4(1). –P.001-006. doi:10.19080/JOJMS.2018.04.555629.
- 12 Hadis Morkoz and mit zgur. Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology. - WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2009. –488p.
- 13 Tu W., Lei J., Wang P., Ju H. Photoelectrochemistry of Free-Base-Porphyrin-Functionalized Zinc Oxide Nanoparticles and Their Applications in Biosensing. Chem. - Eur. J., -2011,vol. vol. 17, p. 9440-9447. doi: 10.1002/chem.201100577
- 14 Li L, Yang H, Qi G, et al. Synthesis and photoluminescence of hollow microspheres constructed with ZnO nanorods by H₂ bubble templates. Chem Phys Lett. -2008, vol. 455, p. 93–97. doi:10.1016/j.cplett.2008.02.071
- 15 Nirmalya Tripathy, Rafiq Ahmad, Jeong Eun Song, Hyun Park, and Gilson Khang. ZnO nanonails for photocatalytic degradation of crystal violet dye under UV irradiation. AIMS Materials Science, vol. 4(1). p. 267-276. (2008). doi: 10.3934/matricsci.2017.1.267

Л.В. Гриценко^{1,2}, Ж.К. Калкозова¹, Е.Ю. Кедрук², А.А. Мархабаева¹, Х.А. Абдуллин¹

¹ Ашық түрдегі Ұлттық Нанотехнологиялық Зертхана, әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

² Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу Университеті, Алматы, Қазақстан

ZnO нанобөлшектерінің гидротермалды синтезі және олардың фотокаталитикалық қасиеттері

Аңдатпа. Жоғары дисперсті ZnO ұнтақтары гидротермалды әдіспен әр түрлі прекурсорларды қолдана отырып синтезделді. Алынған үлгілердің морфологиясы, фотокаталитикалық қасиеттері зерттелді. Гидротермалды синтездің өту шарттарына байланысты алынған ZnO үлгілерінің морфологиясымен фотокаталитикалық қасиеттерінің арасындағы байланыс көрсетілді. Мырыш оксидінің коммерциялық дайын ұнтағының фотокаталитикалық белсенділігінен басым болатын ZnO үлгілері алынды.

Түйін сөздер: гидротермалды әдіс, ZnO жоғары дисперсті ұнтақ, фотокаталитикалық нанобөлшектер

L.V. Gritsenko², Zh.K. Kalkozova¹, Y.U. Kedruk², A.A. Markhabaeva¹, Kh.A. Abdullin¹

¹ National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

² K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

Hydrothermal synthesis of ZnO nanoparticles and their photocatalytic properties

Abstract. Highly dispersed ZnO powders are synthesized by the hydrothermal method using different precursors. Morphology and photocatalytic properties of the obtained samples were investigated. The relationship of the morphology of the obtained ZnO samples with their photocatalytic properties and with the conditions of the hydrothermal synthesis was studied. Samples of ZnO, which are superior to commercial powders of zinc oxide in photocatalytic activity, were obtained.

Keywords: hydrothermal method, highly dispersed ZnO powders, photocatalytic nanoparticles

References

- 1 Yahya N., Aziz F., Jamaludin N.A., Mutalib M.A., Ismail A.F., Salleh W. W. N., Jaafar J., Yusof N, Ludin N.A. A review of integrated photocatalyst adsorbents for wastewater treatment, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. **6** (6), 7411-7425 (2018). doi:10.1016/j.jece.2018.06.051
- 2 Belvar C., Bellod R., Fuerte A., Garcia M.F. Nitrogen-containing TiO₂ photocatalysts: Part 1. Synthesis and solid characterization, *Appl. Catal. B: Environ.* **65**, 301-308 (2006). doi: 10.1016/j.apcatb.2006.02.016
- 3 Linsebigler A.L., Lu G., Yates J.T. Photocatalysis on TiO₂ surfaces: Principles, mechanisms, and selected results, *J. Chem. Revs.* **95**, 735-758 (1995).
- 4 Serpone N. Brief introductory remarks on heterogeneous photocatalysis, *Solar Energy Mater. Solar Cells.* **38**, 369-379 (1995). doi.org/10.1016/0927-0248(94)00230-4
- 5 Chong M.N., Jin B., Chow C.W.K., Saint C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review, *Water Res.* **44**, 2997-3027 (2010). doi.org/10.1016/j.watres.2010.02.039
- 6 Yi Yang and Joseph J. Pignatello. Participation of the Halogens in Photochemical Reactions in Natural and Treated Waters, *Molecules*. **22** (10), 1684-1-1684-24 (2017). doi:10.3390/molecules22101684.
- 7 Litter M.I. Introduction to Photochemical Advanced Oxidation Processes for Water Treatment. In: Boule P., Bahnemann D.W., Robertson P.K.J. (eds) *Environmental Photochemistry Part II. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 2M. (Springer, Berlin, Heidelberg, 2018)
- 8 Kisch H. Semiconductor Photocatalysis for Chemoselective Radical Coupling Reactions, *Acc Chem Res.* **50** (4), 1002-1010 (2017).
- 9 Dhananjay S. Bhatkhande, Vishwas G. Pangarkar and Anthony ACM Beenackers. Photocatalytic degradation for environmental applications – a review, *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **177**, 102-116 (2001). doi.org/10.1002/jctb.532
- 10 Mohd Azam Mohd Adnan, Nurhidayatullaili Muhd Julkapli, Sharifah Bee Abd Hamid. Review on ZnO hybrid photocatalyst: impact on photocatalytic activities of water pollutant degradation, *Reviews in Inorganic Chemistry*. **36** (2), 77-104 (2015). doi.org/10.1515/revic-2015-0015
- 11 Sze-Mun Lam, Jin-Chung Sin. A Green and Facile Hydrothermal Synthesis of ZnO Nanorods for Photocatalytic Application, *JOJ Material Scin. (JOJMS)*. **4** (1), 001-006 (2018). doi:10.19080/JOJMS.2018.04.555629.
- 12 Hadis Morkoz and İmit Çizgur. Zinc Oxide: Fundamentals, Materials and Device Technology. (WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2009).
- 13 Tu W., Lei J., Wang P., Ju H. Photoelectrochemistry of Free-Base-Porphyrin-Functionalized Zinc Oxide Nanoparticles and Their Applications in Biosensing. *Chem. Eur. J.* **17**, 9440-9447 (2011). doi: 10.1002/chem.201100577
- 14 Li L, Yang H, Qi G, et al. Synthesis and photoluminescence of hollow microspheres constructed with ZnO nanorods by H₂ bubble templates. *Chem Phys Lett.* **455**, 93-97 (2008). doi:10.1016/j.cplett.2008.02.071
- 15 Nirmalya Tripathy, Rafiq Ahmad, Jeong Eun Song, Hyun Park, and Gilson Khang. ZnO nanonails for photocatalytic degradation of crystal violet dye under UV irradiation. *AIMS Materials Science*, **4**(1): 267-276. (2008). doi: 10.3934/matricsci.2017.1.267

Сведения об авторах

Гриценко Л.В. – PhD, ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан.

Калкозова Ж.К. - к.ф.-м.н., Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Кедрук Е.Ю. – докторант 1-ого года обучения, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан.

Мархабаева А.А. – докторант 3 курса, Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Абдуллин Х.А. – д.ф.-м.н., профессор, Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан.

Gritsenko L. V. – PhD, associate professor, Kazakh National Research Technical University after K.I. Satpayev, Satpayev str., 22, Almaty, Kazakhstan.

Kalkozova Zh.K. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Al-Farabi Avenue, 71, Almaty, Kazakhstan.

Kedruk Y.U. – 1st year PhD student, Satpayev University, Satpayev str., 22, Almaty, Kazakhstan.

Markhabaeva A.A. - 3rd year PhD student, National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Al-Farabi Avenue, 71, Almaty, Kazakhstan.

Abdullin Kh.A. - Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Nanotechnology Laboratory of open type, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, Al-Farabi Avenue, 71, Almaty, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 28.06.2019