

Казахский Национальный Технический университет имени К.И. Сатпаева

УДК 539.23:621.621.315.592

На правах

рукописи

ПОДРЕЗОВА ЛЕСЯ ВЛАДИМИРОВНА

**Получение и исследование наноструктурированных слоёв на основе
оксидных полупроводников**

6D074000 - Наноматериалы и нанотехнологии (наноэлектроника и
микроэлектроника)

Диссертация на соискание учёной степени доктора философии (PhD)

Научный руководитель
доктор физико-математических наук
Х.А. Абдуллин

Научный консультант: доктор
философии, профессор
Политехнический университет
Турина, Италия, Дж. Чичеро

Республика Казахстан Алматы, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1 ПОЛУЧЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ	9
1.1 Гидротермальный синтез наноструктур	11
1.2 Химическое паровое осаждение ZnO и ZnS	18
1.3 Золь-гель метод для получения ZnO	21
1.4 Методы получения оксида меди	23
1.5 Применение оксида и структур на его основе.....	26
1.6 Постановка задачи.....	29
2 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА.....	30
2.1 Синтез оксида цинка.....	30
2.1.1 Золь-гель метод для получения тонких плёнок ZnO	30
2.1.2 Гидротермальный метод синтеза наностержней оксида цинка	31
2.1.3 Газотранспортный синтез нанокристаллического оксида цинка	34
2.2 Гидротермальный метод синтеза сульфида цинка	36
2.3 Газотранспортный синтез сульфида цинка	37
2.4 Синтез кристаллитов CdS в водном растворе.....	37
2.5 Композитные материалы на основе наноструктурированного оксида цинка (нанокompозиты ZnO/CuO, ZnO/Ag).....	38
2.6 Электрохимическое осаждение Cu ₂ O.....	39
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	40
3.1 Оборудование, используемое для анализа полученных образцов.....	40
3.2 Свойства порошкообразных образцов ZnO, полученных гидротермальным методом	41
3.3 Свойства тонких плёнок на основе ZnO, полученных золь-гель методом	44
3.4 Исследование свойств массивов наностержней ZnO, синтезированных на подложках гидротермальным методом.....	48
3.5 Изучение свойств наностержней оксида цинка, полученных газофазным методом	57
3.6 Влияние углеродного слоя на газотранспортный синтез вертикально упорядоченных наностержней ZnO	63
3.7 Газофазный синтез наностержней оксида цинка в инертной атмосфере.....	67
3.8 Исследование свойств сульфида цинка и кадмия.....	75
3.9 Исследование свойств нанокompозитов ZnO/оксид меди и ZnO/Ag.....	85
3.10 Свойства наноструктур Cu ₂ O/ZnO, полученных электроосаждением.....	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	100
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	102
ПРИЛОЖЕНИЕ А - Список опубликованных и сданных в печать статей и тезисов докладов.....	114

Оксидті шалаөткізгіштер негізінде нанокұрылымдалған қабаттарды алу және зерттеу

6D074000 - «Наноматериалдар және нанотехнология» (қолдану саласы бойынша) мамандығы бойынша философия ғылымдарының докторы (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін дайындалған диссертациясына

АННОТАЦИЯ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыста оксидті шала өткізгіштер негізінде нанокұрылымдалған материалдар алынды және зерттелді. Жүргізілген зерттеулер нәтижесінде нанокристалдық шала өткізгішті материалдарды газдық фазалық және гидротермалдық әдістермен синтездеудің аз шығындық әдістері өңделді. Синтез процессінің ең қолайлы параметрлері анықталды. Газдық фазалық синтезде көміртек негізіндегі каталитикалық қабатын және гидротермалдық синтез кезінде ZnO өңделген қабатын қолдану арқылы морфологиясы бақыланатын ZnO микро- және наностержендерінің реттелген массивін алуға мүмкін екендігі көрсетілді. Алынған үлгілердің электрлік және оптикалық қасиеттері зерттелді.

Зерттеу маңыздылығы. Көпфункционалды материалдарды алуда төмен шығынды синтездеу технологиясын өңдеу мәселесі көптеген зерттеушілердің назарын аударады. Материалдардың қасиеттерін және құрылымдарын басқарудың кең мүмкіндігі нанокұрылымдалған материалдардың синтезі кезінде, яғни наноөлшемді аймақта байқалатын өлшемді эффектілердің арқасында сонымен қатар материал қасиетіне беттінің үлесі әсерінен туындайды. Мырыш оксиді және сульфиді, кадмий сульфиді сияқты нанокұрылымдалған материалдар күн және сутегі энергетикасында электрондық, оптикалық, магниттік және термоэлектрлік құрылғыларда, отын элементтерінде, аккумуляторларда және т.б. қолдану үшін жоғары потенциалға ие.

Бір ерекшелігі, мырыш оксиді – рұқсат етілмеген зонасы кең (3,37эВ), бөлме температурасында экситонның үлкен байланыс энергиясына ие (60 мэВ), эффективті ультракүлгін люминесценцияға ие бірегей функционалды шала өткізгішті материал. Мырыш оксидінің наноөлшемді құрылымдарын қолданудың перспективтілігін ескергенде берілген қасиеттерімен құрылымдарды құруда бақыланатын синтездеу әдісін жасау ерекше қызуғышылық танытады.

Мырыш сульфиді практикалық тиімділігі бойынша жоғары қызуғышылыққа ие, өйткені ол $A^{IV}B^{VI}$ тобындағы материалдарға жататын шала өткізгіш болып табылады, және рұқсат етілмеген зонасының ені өте кең – шамамен 3.6 эВ, бұл спектрдің ультракүлгін аймағына сәйкес келеді, сонымен

қатар көптеген электронды құрылғыларды жасауда маңызды материал болып табылады, мысалы CIGS (кадмий-индий-галлий-селен) күн элементтерінде буферлі қабат ретінде. ZnS оптикалық абсорбцияны арттыру және рұқсат етілмеген зона енін кеміту үшін ZnO/ZnS типіндегі гетероқұрылымдарда қолданылады. ZnS алу үшін қазіргі кезде синтездеудің гидротермалды әдісі қарқынды дамуда. Мысалы, жеңіл жетімді және төмен температуралы әдіспен толған, сонымен қатар жартылай сфера түріндегі вюрцит торымен ZnS тің әр түрлі құрылымдары синтезделген. Бірақ та, синтездің гидротермалды әдісінің ақтық нәтижесі технологиялық процесстің көптеген бөлшектеріне байланысты, сондықтан оны қолдану үшін және жаңғыртылған нәтижелерді алу үшін прекурсорлардың түрі мен сандық құрамын мұқият таңдау керек және технологиялық редимдерін өңдеу қажет.

Соңғы кездері күн жарығының әсерінен сулы ерітіндіден сутегіні фотокаталитикалық алу үшін «ZnO наностержендері/CuO нанобөлшектері» композиттерін қолдану едәуір перспективті болуда. CuO нанобөлшектері бар ZnO наностержендері негізіндегі композиттер ZnO мен салыстырғанда фотокаталитикалық белсенділігі едәуір жоғары. Сондықтан композиттердің жоғары каталитикалық белсенділігі әр түрлі типтегі химиялық және газдық сенсорларды құру үшін қолданылуы мүмкін, мысалы, күкіртті сутекті, көміртегінің монооксиді және басқа да заттарды тіркеу үшін. CuO/ZnO композитті материалдарында наностержендердегі электрондардың шығу жұмысы эффективті кемиді, және эмиссия тогы 3 есеге өседі, бұл өрісті эмиттер үшін материалдарды перспективті қылады. Кванттық нүктедегі күн элементтері үшін, қол жетімді және арзан күн элементтерін жасауда және оптоэлектроникада қолдануда ZnO/CuO негізіндегі ядро-қабықша құрылымы үлкен қызығушылық танытады

Соңғы кездері қарапайым гидротермалды және электртұндыру әдістерімен, сонымен қатар электрондық-сәулелік тозаңдату әдісімен алуға болатын ZnO/Ag негізіндегі нанокұрылымдар кеңінен зерттелуде. ZnO/Ag құрылымы көптеген органикалық қосылыстарда жоғары фотокаталитикалық деградация мүмкіндігіне ие, бұл зиян қалдықтарды залалсыздандыру үшін қоршаған ортаны қорғау және экология аймағында жоғары сұранысқа ие. ZnO/Ag композиттері жоғары бактерияға қарсы белсенділікке ие. ZnO/Ag негізіндегі фотоанодтар жоғары фотоэлектрлік сезімталдыққа ие және судың фотоиндукцияланған ыдырау қабілетіне ие.

Оксидті шала өткізгіштерді және олардың негізіндегі композитті материалдарды қолданудың практикалық мүмкіндігі кең болғанына байланысты оларды алу әдістерін жасау және алынған үлгілердің қасиетін зерттеу актуалды болып табылады.

Зерттеу объектісі оксидті шала өткізгіштер және олардың негізіндегі композиттердің нанокұрылымдалған қабаттары болып табылады.

Зерттеу нысаны – электроникада қолдану үшін шала өткізгішті нанокұрылымдардың қасиетін зерттеу және алу әдісі.

Диссертациялық зерттеудің мақсаты – морфологиясы берілген, электрлік және оптикалық қасиеттерімен материалдарды алуға мүмкіндік

беретін оксидті шала өткізгіштердің нанокұрылымдық қабаттарын синтездеудің әдісін жасау. Өсудің әр түрлі техникаларына салыстыру жүргізу, әр қайсысына оптималды режим таңдау. Алынған үлгілердің қасиеттерінің өсудің технологиялық шарттарына тәуелділігін талдау. Алынған үлгілерді электронды сканерлеуші микроскопия, раман шашырауы, рентгенді құрылымдық талдау, атомдық-күштік микроскопия әдістерімен зерттеу, жұтылу спектрлерін және фотолюминесценция, электрлік сипаттамаларын зерттеп білу. Нанокристалды шала өткізгішті мырыш оксидінің және оның негізіндегі нанокөмірді синтездеудің төмен шығынды эффективті әдісін өңдеу.

Зерттеудің методологиялық базасы нанокұрылымдалған материалдарды алу әдісі гидротермалды синтез, газдық фазалық химиялық тұндыру әдісі, золь-гель әдісі, электрохимиялық тұндыру, вакуумдық термиялық тозаңдату және басқалары болып табылады

Берілген зерттеудің ғылыми жаңалығы оксидті шала өткізгіштердің микро- және нано шала өткізгішті кристалды үлгілерінің бағытталған синтезі үшін өсудің технологиялық шарттарын анықтау болып табылады.

Зерттеудің ғылыми практикалық маңыздылығы. Оксидті шала өткізгіштердің алынған қабаттары аспап жасауда (люминофорлар, детекторлар, жарық диодтары, бейсызық элементтер және т.б.) маңызды материал болып табылады, жұмсақ және қымбат емес күн элементтерін, лазерлі диодтарды жасауда қолайлы қолданысқа ие бола алады. Мырыш оксидінің наностержендерінің біртекті массиві және олардың негізіндегі композиттер газдық сенсорлар өндірісінде, оптоэлектронды, пьезоэлектронды нанокұрылымдарда, өрістік эммиттерлерде, сонымен қатар кванттық нүктелер мен бояғыштарда күн элементтерін құруда перспективті болып келеді.

Жүргізілген зерттеулердің апробациясы. Диссертациялық зерттеудің негізгі нәтижелері 18 мақалада жарияланды, олардың 3 – SCOPUS (impact factor: 0; 0.600) және Thomson Reuters (impact factor: 1.545) базасындағы халықаралық ғылыми журналдарда, 5 мақала (2 мақала ҚазҰУ хабаршысында және 3 мақала ҚазҰТУ хабаршысында) ЖАК ұсынылған басылымдарда жарыққа шықты, 10 мақала халықаралық ғылыми-практикалық конференциялардың материалдарында жарияланды. Баяндамалар 17 халықаралық конференцияларда ұсынылды, олардың 8 шет елдік. ҚР 26062 04.11 2011-нен, Гос. № 2011/1145.1 «Мырыш оксиді наностержендерінің массивін алу әдісі» өнертапқышына инновациялық патент бар, авторлық куәлігі №74881. № 2675/ГФЗ «Күн энергетикасы үшін мырыш оксидінің жұқа пленкаларын алу әдісін жасау» гранты бойынша қосылып орындаушы.

Диссертация құрылымы мен көлемі. Жұмыс кіріспеден, үш бөлімнен, қорытындыдан және қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Диссертацияның жалпы көлемі 115 бет.

диссертации на соискание учёной степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074000 – «Наноматериалы и нанотехнологии» (по отраслям применения)

Подрезовой Леси Владимировны

Получение и исследование наноструктурированных слоёв на основе оксидных полупроводников

Общая характеристика работы. В диссертационной работе были получены и исследованы наноструктурированные материалы на основе оксидных полупроводников. В результате проведённых исследований отработаны низкочастотные методы синтеза нанокристаллического полупроводникового материала гидротермальным и газофазным методами. Подобраны оптимальные параметры процессов синтеза. Показано, что использование каталитического слоя на основе углерода при газофазном синтезе и затравочного слоя ZnO при гидротермальном синтезе позволяет получать массивы упорядоченных микро- и наностержней ZnO с контролируемой морфологией. Изучены оптические и электрические свойства полученных образцов.

Актуальность исследования. Проблемы разработки низкочастотных технологий синтеза многофункциональных материалов привлекают значительное внимание исследователей. Широкие возможности управления структурой и свойствами материалов открываются при синтезе наноструктурированных материалов благодаря как размерным эффектам, проявляющимся в нанометровой области, так и большим вкладом поверхности в свойства материала. Такие наноструктурированные материалы, как оксид и сульфид цинка, сульфид кадмия, имеют высокий потенциал применения в электронных, оптических, магнитных и термоэлектрических приборах для солнечной и водородной энергетики, топливных элементов, аккумуляторов и др.

В частности, оксид цинка — это уникальный функциональный полупроводниковый материал с широкой запрещённой зоной (3.37эВ), большой энергией связи экситона (60 мэВ) при комнатной температуре, обладающий эффективной ультрафиолетовой люминесценцией. С учётом перспективности применения наноразмерных структур оксида цинка представляет значительный интерес разработка методов их контролируемого синтеза для создания структур с заданными свойствами.

Сульфид цинка вызывает повышенный интерес с точки зрения практической значимости, поскольку он является полупроводником, относится к материалам группы $A^{II}B^{VI}$, имеет большую ширину запрещённой зоны - около 3.6 эВ, что соответствует ультрафиолетовой области спектра, и является весьма важным материалом в создании различных электронных устройств, например, в качестве буферных слоёв солнечных элементов CIGS (кадмий-индий-галлий-селен). ZnS используется в гетероструктурах типа ZnO/ZnS для уменьшения

ширины запрещённой зоны и увеличения оптической абсорбции. Для получения ZnS в настоящее время интенсивно развивается гидротермальный метод синтеза. Например, этим легкодоступным и низкотемпературным методом синтезированы разнообразные структуры из ZnS с решёткой вюрцита, включающие как заполненные, так и полые сферы. Однако конечный результат гидротермального метода синтеза очень сильно зависит от большинства деталей технологического процесса, поэтому для его применения и получения воспроизводимых результатов необходим тщательный выбор вида и количественного содержания прекурсоров и отработка технологических режимов.

В последнее время весьма перспективно применение композитов «наностержни ZnO/наночастицы CuO» для фотокаталитического получения водорода из водных растворов под действием солнечного освещения. Композиты на основе наностержней ZnO с наночастицами CuO обладают значительно более высокой фотокаталитической активностью по сравнению с ZnO. Поэтому высокая каталитическая активность композитов может быть использована для создания различного типа химических и газовых сенсоров, например, для детектирования сероводорода, монооксида углерода и других веществ. В композитных материалах из CuO/ZnO наностержней эффективно уменьшается работа выхода электронов, и ток эмиссии возрастает почти в 3 раза, что делает такие материалы перспективными для полевых эмиттеров. Большой интерес привлекают структуры ядро-оболочка на основе ZnO/CuO для оптоэлектронных применений и создания гибких и недорогих солнечных элементов, для солнечных элементов на квантовых точках.

Широко исследуются в последнее время также наноструктуры на основе ZnO/Ag, которые можно получать достаточно простыми гидротермальными методами и электроосаждением, а также методом электронно-лучевого напыления. Структуры ZnO/Ag обладают повышенной способностью фотокаталитической деградации многих органических соединений, что высоко востребовано в области экологии и охраны окружающей среды, для обеззараживания вредных отходов. Композиты ZnO/Ag проявляют высокую антибактериальную активность. Фотоаноды на основе ZnO/Ag обладают повышенной фотоэлектрической чувствительностью и способностью к фотоиндуцированному расщеплению воды.

В связи с широкими возможностями практического использования оксидных полупроводников и композитных материалов на их основе разработка методов их получения и исследование свойств полученных образцов являются актуальными.

Объектом исследования являются наноструктурированные слои оксидных полупроводников и нанокомпозиты на их основе.

Предмет исследования - методы получения и исследования свойств полупроводниковых наноструктур для применения в электронике.

Цель диссертационного исследования – разработать методы синтеза наноструктурированных слоёв оксидных полупроводников и нанокомпозитов

на их основе, позволяющие получать материалы с заданными морфологией, электрическими и оптическими свойствами. Провести сравнение между различными техниками роста, подобрать оптимальные режимы для каждой из них. Дать анализ свойств полученных образцов в зависимости от технологических условий роста. Исследовать полученные образцы методами электронной сканирующей микроскопии, рамановского рассеяния, рентгеноструктурного анализа, атомно-силовой микроскопии, изучить спектры поглощения и фотолюминесценции, электрические характеристики.

Методологической базой исследования являются методы получения наноструктурированных материалов, такие как гидротермальный синтез, метод химического газофазного осаждения, золь-гель метод, электрохимическое осаждение, вакуумное термическое напыление и др.

Научная новизна данного исследования заключается в определении технологических условий роста для направленного синтеза полупроводниковых микро- и нано- кристаллических образцов оксидных полупроводников.

Научно-практическая значимость исследования. Полученные слои оксидных полупроводников являются весьма важным материалом в приборостроении (люминофоры, детекторы, светодиоды, нелинейные элементы и пр.), могут быть успешно применены для создания гибких и недорогих солнечных элементов, лазерных диодов. Однородные массивы наностержней оксида цинка и композиты на их основе перспективны для использования в производстве газовых сенсоров, оптоэлектронных, пьезоэлектрических наноустройств, полевых эмиттеров, а также при создании солнечных элементов на красителях и квантовых точках.

Апробация проведённых исследований. Основные итоги диссертационного исследования были опубликованы в 18 статьях, из них 3 – в международных научных журналах базы SCOPUS (impact factor: 0; 0.600) и Thomson Reuters (impact factor: 1.545), 5 статей вышли в изданиях, рекомендованных ККСОН (2 статьи в Вестнике КазНУ и 3 в Вестнике КазНТУ), 10 статей в сборниках международных научно-практических конференций. Представлены доклады на 17 международных конференциях, 8 из которых зарубежные. Имеется инновационный патент на изобретение РК 26062 от 04.11 2011, Гос. № 2011/1145.1 «Способ получения массивов наностержней оксида цинка», авторское свидетельство №74881. Соисполнитель по гранту № 2675/ГФЗ «Разработка методов получения тонких плёнок оксида цинка для солнечной энергетики».

Объём и структура диссертации. Работа состоит из введения, трёх разделов, заключения и списка использованных источников. Общий объём диссертации 115 страниц.

ABSTRACT

The Thesis on competition degree Doctor of Philosophy (PhD) on the specialty 6D074000 - Nanomaterials and Nanotechnology (on branch of the using)

Synthesis and characterization of nanostructured layers based on oxide semiconductors

General characteristics of the work. In this thesis were obtained and investigated nanostructured materials based on oxide semiconductors. The studies worked low-cost methods for the synthesis of nanocrystalline semiconductor material hydrothermal and gas-phase methods. The optimal process parameters of synthesis. It has been shown that the use of a catalytic layer based on carbon and the gas-phase synthesis of ZnO seed layer during hydrothermal synthesis allows to obtain micro and nanoarrays of ZnO nanorods having controlled morphology. The optical and electrical properties of the samples are studied.

Relevance of research. The Problems of development of low-cost synthesis technologies for the multifunctional materials attract considerable attention of researchers . Wide possibilities to control the structure and properties of materials are opened during the synthesis of nanostructured materials due to both dimensional effects, acted in the nanometer range, and a great surface contribution to the properties of the material. Nanostructured materials such as zinc oxide, zinc sulfide and cadmium sulfide have high potential applications in electronic, optical, magnetic and thermoelectric devices for solar and hydrogen energy, fuel cells, batteries, etc.

In particular, zinc oxide is an unique function semiconductor material with wider band gap (3.37 eV), and a large exciton binding energy (60 meV) at room temperature, having an effective ultraviolet luminescence. The methods development of controlled synthesis of nanodimensional zinc oxide structures with required properties represent a big interest because of wide potential of their application.

Zinc sulfide causes an increased interest from the viewpoint of practical significance, since it is a semiconductor material refers to a group A^{II}B^{VI}. It has a large band gap (3.6 eV), that corresponds to the ultraviolet region, and is a very important material in the creation of the different electronic devices such as as a buffer layer solar cells CIGS (cadmium- indium- gallium- selenium). ZnS is used into heterostructures ZnO/ZnS to reduce the band gap and increase the optical absorption. The hydrothermal synthesis is currently intensively developed method for ZnS production. For example, various ZnS structures with wurtzite lattice, including both filled and hollow spheres were synthesized by this easy low-temperature method. However the final result of the hydrothermal synthesis depends on most parts of the process. Therefore careful selection of the type and quantitative content of precursors and development of technological regimes are necessary for its application and results repeatability.

Recently application of the "ZnO nanorods/CuO nanoparticles» composites for photocatalytic hydrogen production from water solutions under the influence of solar lighting is very promising. Composites based on ZnO nanorods with CuO nanoparticles possess much higher photocatalytic activity in comparison with ZnO. Therefore high catalytic activity of composites can be used for creation of different type of chemical and gas sensors, for example, for detection of hydrogen sulfide,

monoxide of carbon and other substances. The work function effectively reduces, and the emission current increases almost by three times in CuO / ZnO composite materials. Therefore such materials are perspective for field emitters. The core-shell structures based on ZnO-CuO as application for optoelectronics and for the creation of flexible and low-cost solar cells, for solar cells with quantum dots attract great interest of scientists.

The nanostructures based on ZnO-Ag, which can be obtained by rather simple hydrothermal route and electrodeposition, are widely researched last time also. ZnO-Ag structures possess the increased ability of photocatalytic degradation of many organic compounds that is highly demanded by ecology, environmental protection and as decontamination agent of harmful waste. ZnO-Ag composites show high antibacterial activity. Photoanodes, based on ZnO-Ag, possess the increased photoelectric sensitivity, and the ability to photo-induced decomposition of water.

Because of large possibilities of practical application of oxide semiconductors and composite materials based on it the development of methods of their production and research of properties obtained samples are very actual.

The Object of the study is nanostructured layers of oxide semiconductors and nanocomposites based on them.

Subject of research is production methods and research of the semiconductor nanostructures properties for further applications in electronics.

The thesis purpose is to develop synthesis methods of the nanostructured oxide semiconductor layers and nanocomposites based on it, allowing creating materials with desired morphology, electrical and optical properties. To perform a comparison between the different techniques of growth, to find the optimal mode for each of them. To analyze the properties of the samples, depending on conditions of the growth. To research synthesized samples using electron scanning microscopy, Raman spectroscopy, X-ray diffraction, atomic force microscopy to study the absorption and photoluminescence, electrical characteristics.

The methodological base of the work is methods for nanostructured materials, such as hydrothermal synthesis, chemical vapor deposition method, sol- gel method, electrochemical deposition, vacuum thermal evaporation, etc.

Scientific novelty of this study is to determine the technological growth conditions for the directed synthesis of semiconductor micro-and nano - crystalline samples of oxide semiconductors.

Scientific and practical significance of the work. The obtained oxide semiconductor layers are very important material in the instrument (luminophors, detectors, light-emitting diodes, non-linear elements, etc.) can be successfully applied to create flexible and inexpensive solar cells, laser diodes. Homogeneous arrays of zinc oxide nanorods and composites based on them are promising for the gas sensors, optoelectronic, piezoelectric nanodevices, field emitters, as well as the creation of the solar cell dye and quantum dots.

Approbation of the work. The main scientific results of the thesis were published in 18 articles, 3 of them - in international scientific journals database SCOPUS (impact factor: 0, 0.600) and Thomson Reuters (impact factor: 1.545), 5 articles were published in journals recommended by accredited organ (2 articles in

Bulletin of the KazNU and 3 in the Bulletin of KazNTU), 10 articles in the proceedings of the international scientific conferences. Presentations at 17 international conferences, 8 of them were foreign. There is an innovative patent for the invention of the RK 26062 04.11 2011 State. № 2011/1145.1 «A method for producing arrays of zinc oxide nanorods," copyright certificate number 74881. Scientific grant number 2675/GF3 "Development of methods for zinc oxide thin films for solar energy."

The volume and structure of the thesis. The work consists on an introduction, three chapters, conclusion and list of used sources. The total volume of the dissertation consists of 115 pages.