

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

Тәсібек Ақерке Маратқызы

«Өтпелі металдармен халькогенидті наноматериалдарды дайындау»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07207 – «Инженерлік физика және материалтану» білім беру
бағдарламасы

Алматы 2025

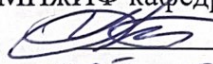
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы



ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
МНЖИФ кафедра меңгерушісі
 Какимов У.К.
«05» 06 2025 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Өтпелі металдармен халькогенидті наноматериалдарды дайындау»

6B07207 – «Инженерлік физика және материалтану»

Орындаған:

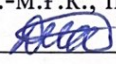
Тәсібек А.М.

Пікір беруші:

Фотоэлектрлік құрылғылар
мен құбылыстар

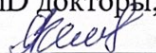
зертханасының меңгерушісі,

ф.-м.ғ.к., профессор

 Дмитриева Е.А.

Ғылыми жетекші:

PhD докторы, аға оқытушы

 Кемелбекова А.Е.



Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ
БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ө.А. Байқоңыров атындағы Тау-кен металлургия институты

«Материалтану, нанотехнология және инженерлік физика» кафедрасы

БЕКІТЕМІН

«Материалтану,

нанотехнологиялар

және инженерлік физика»

кафедрасының меңгерушісі

 Какимов У.К.

«05» 06 2025 ж.

**Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Тәсібек Акерке Маратқызы

Тақырыбы: «Өтпелі металдармен халькогенидті наноматериалдарды дайындау»

Университет ректорының «29» қаңтар 2025 жылғы №26-П/Ө бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «05» 06 2025 ж.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:

1) өтпелі металдар 2) халькогендер 3) вольфрам дисульфиді

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер:

Өтпелі металдармен модификацияланған халькогенидті наноматериалдарды синтездеу және олардың қасиеттерін зерттеу.

Ұсынылған негізгі әдебиеттер атауы:

1. Mizuguchi Y., Takano Y., Review of Fe chalcogenides as the simplest Fe-based superconductor // J. Phys. Soc. Jpn. – 2010. – V. 79. – P. 102001.

2. Sheng Y, Chen T, Lu Y, et al. High-performance WS₂ monolayer light-emitting tunneling devices using 2D materials grown by chemical vapor deposition // ACS nano. – 2019. – T. 13. – №. 4. – С. 4530-4537.

Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлім атаулары, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекшіге, кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Әдеби шолу	31.11.2024-28.01.2025	—
Тәжірибелік бөлім	27.01.2025-13.03.2025	—
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	05.04.2025-20.04.2025	—
Алдын-ала қорғау	29.04.2025	—

Дипломдық жұмыс (жоба) бөлімдерінің кеңесшілері мен норма
бақылаушының аяқталған жұмысқа (жобаға) қойған
қолтаңбалары (жұмысқа қарасты тараулардың нұсқаумен)

Бөлімдер атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер (аты- жөні, тегі, ғылыми дәрежесі, атағы)	Қолтаңба қойылған мерзімі	Қолы
Әдеби шолу	Кемелбекова А.Е PhD докторы, аға оқытушы	05.06.25	
Тәжірибелік бөлім	Кемелбекова А.Е PhD докторы, аға оқытушы	05.06.25	
Зерттеу нәтижелері және оларды талдау	Кемелбекова А.Е PhD докторы, аға оқытушы	05.06.25	
<u>Нормоконтролер</u>	Етиш Т.Е. Техника ғылымдарының магистрі	08.06.25	

Ғылыми жетекшісі



Кемелбекова А.Е

Тапсырманы орындауға білім алушы



Тәсібек А.М.

Күні

« 05 » 06 2025

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ
«Дипломдық жұмыс» бойынша
Тәсібек Ақерке Маратқызы
6B07207 – «Инженерлік физика және материалтану»

Тақырып: «Өтпелі металдармен халькогенидті наноматериалдарды дайындау»

Тәсібек А.М. дипломдық жұмысын орындау барысында зерттеу жүргізу дағдыларын, ғылыми әдебиетпен жұмыс істеу қабілетін және өз бетінше шешім қабылдай алу қасиетін көрсете білді. Жұмыс мазмұны заманауи материалтану ғылымындағы өзекті мәселелердің бірі — өтпелі металдар негізіндегі халькогенидті материалдарды синтездеу мен зерттеуге арналған.

Жұмыста теориялық негіздер терең қарастырылып, тәжірибелік бөлім нақты әдістемеге сүйене отырып жүргізілген. Алынған нәтижелер ғылыми тұрғыда негізделген және қорытындылары өзекті мәселелерді шешуге бағытталған.

Жұмыс барысында студент халькогенидті қосылыстардың физикалық-химиялық негіздерін, олардың құрылымы мен қасиеттеріне өтпелі металдардың әсерін терең зерттеген. Наноматериалдарды синтездеудің заманауи әдістерін талдап, тәжірибелік бөлімде нақты әдістемелерді қолдана отырып, халькогенидтердің құрылымдық формаларын алу жолдарын ұсынған. Зерттеу нәтижелері материалдардың морфологиясы, электрлік және оптикалық қасиеттеріндегі өзгерістерді сипаттауға мүмкіндік берді. Студент ғылыми әдебиеттермен белсенді жұмыс істеп, алынған мәліметтерді сараптай отырып, өз бетінше тұжырымдар жасай білді.

Осы негізде, жұмысқа 90% (отлично) бағасын ұсынамын. Студент Тәсібек Ақерке Маратқызы 6B07207 – «Инженерлік физика және материалтану» білім беру бағдарламасы бойынша бакалавр дәрежесіне лайық деп есептеймін.


Ғылыми жетекші
PhD докторы, аға оқытушы
Кемелбекова А.Е.
«09» _____ 2025 ж.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Тәсібек Ақерке Маратқызы

Тақырыбы: Өтпелі металдармен халькогенидті наноматериалдарды дайындау

Жетекшісі: Кемелбекова А.Е.

1-ұқсастық коэффициенті (30): 0,4

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0,1

Әріптерді ауыстыру: 2

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

26.05.2025



Кафедра меңгерушісі

Какимов У.К.

РЕЦЕНЗИЯ

Дипломдық жұмыс бойынша

Тәсібек Акерке Маратқызы

6B07207-«Инженерлік физика және материалтану»

Тақырып бойынша: «Өтпелі металдармен халькогенидті наноматериалдарды дайындау»

Орындалды:

- а) Графикалық бөлім 11 парақтарда
б) түсіндірме жазба 42 беттерінде

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУЛЕР

Дипломдық жұмыс өтпелі металдардың халькогенидті қосылыстары негізіндегі наноматериалдарды алу және олардың құрылымдық қасиеттерін зерттеуге арналған. Жұмыстың мақсаты — әртүрлі синтез әдістері арқылы алынған халькогенидті наноқұрылымды материалдардың құрылымдық-морфологиялық ерекшеліктері мен синтез шарттары арасындағы өзара байланысты анықтау.

Жұмыста халькогенидтер негізіндегі наноқұрылымды материалдардың жарықпен, электр тогымен және жылумен әрекеттесуі зерттеліп, оларды күн батареяларында, сенсорларда және катализаторларда қолданудың ғылыми негіздемесі ұсынылған. Сонымен қатар, нанобөлшектердің өлшемі мен пішінінің олардың қасиеттеріне тигізетін әсері сипатталған.

Ғылыми жаңалығы — өтпелі металдардың халькогенидті қосылыстарын түрлі синтез әдістерімен (мысалы, гидротермальды, золь-гель әдісі, спрей-пиролиз) алу және олардың құрылымын, морфологиясын XRD және SEM әдістерімен зерттеу болып табылады. Сонымен бірге, синтез жағдайлары мен алынған материалдардың құрылымдық-функционалдық қасиеттері арасындағы тәуелділік көрсетілген.

Жұмысты бағалау

Студент жұмыста қойылған барлық міндеттерді толық орындаған. Жұмыстың келесі артықшылықтарын атап көрсетуге болады:

Заманауи ғылыми әдебиеттерге және халькогенидті қосылыстарды синтездеу әдістеріне терең әрі жан-жақты талдау жасалған;

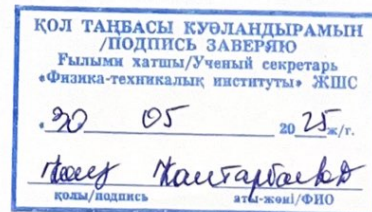
Гидротермальды және золь-гель әдістерінің ерекшеліктері нақты сипатталып, тәжірибелік зерттеу нәтижелері негізінде салыстырылған;

Жүргізілген зерттеу мен алынған нәтижелер дипломдық жұмыс талаптарына толық сәйкес келеді. Осы негізде, жұмысқа 90% бағасын ұсынамын. Студент Тәсібек Акерке Маратқызы 6B07207 – «Инженерлік физика және материалтану» білім беру бағдарламасы бойынша бакалавр дәрежесіне лайық деп есептеймін.

Рецензент

ф.-м.ғ.к., профессор, фотоэлектрлік құрылғылар
мен құбылыстар зертханасының меңгерушісі

Дмитриева Е.А.
«30» 05 2025 ж



АҢДАТПА

Бұл жұмыста өтпелі металдардың халькогенидтері негізінде наноматериалдар дайындау және олардың құрылымдық-функционалдық қасиеттерін зерттеу мәселелері қарастырылады. Халькогенидті қосылыстар, әсіресе өтпелі металдармен түзілетін MoS_2 , W_2 , TiS_2 және т.б. материалдар, қазіргі таңда екіөлшемді (2D) құрылымды материалдар ретінде ғылыми қауымдастықтың ерекше қызығушылығын тудыруда. Бұл материалдар электроника, сенсорика, фотокатализ, энергия сақтау және түрлендіру құрылғыларында қолдануға перспективалы.

Зерттеу шеңберінде негізгі назар вольфрам дисульфидіне (WS_2) аударылды. WS_2 жоғары химиялық және термиялық тұрақтылыққа, ерекше оптикалық және электрлік қасиеттерге ие. Ол графен тәрізді қабаттық құрылым түзе отырып, төмен өлшемді құрылымдарда кең жолақты жартылай өткізгіш ретінде қолданылады. Мұндай қасиеттер WS_2 -ны күн элементтері, фотодетекторлар, сенсорлар мен суперконденсаторлар үшін маңызды материал етеді.

WS_2 нанокұрылымды жабындары мен ұнтақтары экологиялық тұрғыдан таза, төмен температуралық әдістермен синтезделді. Синтез әдістеріне золь-гель, гидротермиялық өңдеу және спрей-пиролиз тәсілдері қолданылды. Алынған материалдар рентгенфазалық талдау (XRD), сканерлеуші электронды микроскопия (SEM), және ультракүлгін-оптикалық спектроскопия әдістерімен зерттелді. Зерттеу нәтижелері WS_2 құрылымының жоғары кристалдылығын, біркелкі морфологиясын және жарықпен өзара әрекеттесу қабілетін көрсетті.

Жалпы алғанда, бұл жұмыс өтпелі металдардың халькогенидтері, соның ішінде вольфрам дисульфиді, негізіндегі наноматериалдардың синтезі мен қасиеттерін зерттеуге арналған. Зерттеу нәтижелері осы материалдарды болашақта оптоэлектроника, нанофотоника және энергия тиімді жүйелерде қолдану үшін ғылыми-тәжірибелік база бола алады.

АННОТАЦИЯ

В данной работе рассматриваются вопросы синтеза наноматериалов на основе халькогенидов переходных металлов и исследование их структурных и функциональных свойств. Халькогенидные соединения, особенно материалы, формируемые с участием переходных металлов (такие как MoS_2 , WS_2 , TiS_2 и др.), в настоящее время вызывают большой интерес благодаря своей слоистой структуре и уникальным физико-химическим характеристикам. Они находят широкое применение в электронике, сенсорике, фотокатализе, а также в устройствах хранения и преобразования энергии.

В рамках исследования особое внимание было уделено дисульфиду вольфрама (WS_2). Данный материал обладает высокой химической и термической стабильностью, уникальными оптическими и электрическими свойствами. WS_2 формирует слоистую структуру, аналогичную графену, и в наноразмерном состоянии проявляет характеристики широкозонного полупроводника, что делает его перспективным для использования в солнечных элементах, фотодетекторах, сенсорах и суперконденсаторах.

Наноструктурированные плёнки и порошки WS_2 были синтезированы с применением экологически чистых, низкотемпературных методов, включая золь-гель, гидротермальный синтез и спрей-пиролиз. Полученные материалы были охарактеризованы методами рентгенофазового анализа (XRD), сканирующей электронной микроскопии (SEM) и ультрафиолетовой оптической спектроскопии. Результаты показали высокую кристалличность, однородную морфологию и выраженные оптические характеристики WS_2 .

В целом, данная работа посвящена синтезу и исследованию наноматериалов на основе халькогенидов переходных металлов, в частности дисульфида вольфрама, и представляет собой научно-практическую основу для их дальнейшего применения в оптоэлектронике, нанофотонике и энергосберегающих технологиях.

ANNOTATION

This study focuses on the synthesis of nanomaterials based on transition metal chalcogenides and the investigation of their structural and functional properties. Chalcogenide compounds, particularly those formed with transition metals such as MoS₂, WS₂, TiS₂, and others, have attracted significant attention due to their layered structures and unique physical and chemical characteristics. These materials are widely applicable in electronics, sensing, photocatalysis, and in energy storage and conversion devices.

Special emphasis in this work is placed on tungsten disulfide (WS₂). WS₂ is known for its excellent chemical and thermal stability as well as remarkable optical and electrical properties. It forms a graphene-like layered structure and exhibits wide-bandgap semiconductor behavior at the nanoscale, making it highly promising for applications in solar cells, photodetectors, sensors, and supercapacitors.

WS₂ nanostructured films and powders were synthesized using environmentally friendly, low-temperature methods such as sol-gel processing, hydrothermal synthesis, and spray pyrolysis. The resulting materials were characterized by X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and UV-optical spectroscopy. The analyses revealed that the synthesized WS₂ exhibits high crystallinity, uniform morphology, and pronounced light interaction capabilities.

Overall, this research provides a comprehensive study of transition metal chalcogenide-based nanomaterials, with a focus on tungsten disulfide, and offers a scientific foundation for their future implementation in optoelectronics, nanophotonics, and energy-efficient technologies.

МАЗМҰНЫ

КІРІСПЕ	9
1 ӘДЕБИ ШОЛУ	12
1.1 Өтпелі металдардың халькогенидті материалдарының негізгі қасиеттері	12
1.2 Халькогенидті наноматериалдардың оптоэлектроника мен катализдегі қолданылуы	15
1.3 Өтпелі металдармен халькогенидті материалдарды синтездеу әдістері	22
2 ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ	28
2.1 WS_2 негізіндегі материалдарды синтездеудің мақсаттары мен әдісін негіздеу	28
2.2 Қолданылған құралдар мен жабдықтар	29
2.3 WS_2 нанокұрылымды материалдарын гидротермиялық әдіспен алу	29
2.4 Ерітіндіні СЭМ талдауына дайындау	30
3 НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ	32
3.1 Сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) нәтижелері	32
3.2 WS_2 материалының рентгендік дифракциялық (XRD) талдауы	34
ҚОРЫТЫНДЫ	36
ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР	38
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР	39
ҚОСЫМША	43

КІРІСПЕ

Нанотехнология мен материалтанудың қарқынды дамуы жаңа буын функционалды материалдарды әзірлеуді қажет етеді. Солардың ішінде ерекше қызығушылық тудыратын бағыттардың бірі – өтпелі металдардың халькогенидтері (TMDCs – Transition Metal Dichalcogenides) негізінде екіөлшемді (2D) наноматериалдарды алу. Бұл материалдар соңғы онжылдықта жоғары деңгейдегі физикалық, оптикалық және электрондық қасиеттерімен ерекшеленіп, көптеген ғылыми және қолданбалы зерттеулердің өзегіне айналды.

Өтпелі металл халькогенидтері (мысалы, MoS_2 , WS_2 , TiS_2 , NbSe_2 және т.б.) қабаттық құрылымға ие, яғни олардың атомдары қабаттар түрінде орналасып, ван-дер-Ваальс күштерімен байланысқан. Мұндай құрылым оларды механикалық түрде жұқа қабаттарға ажыратуға және екіөлшемді (монокапатты) материал ретінде пайдалануға мүмкіндік береді. Қабат саны азайған сайын олардың электрондық құрылымы, тыйым салынған аймақ ені (bandgap), тасымалдау қасиеттері және жарықпен өзара әрекеттесуі түбегейлі өзгереді, бұл оларды электроника, оптоэлектроника, сенсорика және энергетика салаларында қолдануға жол ашады.

Бұл жұмыста негізгі назар вольфрам дисульфидіне (WS_2) аударылады. WS_2 — өтпелі металдардың халькогенидтері класына жататын кең жолақты жартылай өткізгіш, ол қабаттық құрылымымен, жоғары термиялық және химиялық тұрақтылығымен, сонымен қатар фотолюминесценттік және фотокаталитикалық белсенділігімен ерекшеленеді. WS_2 монокабатының тыйым салынған аймағы шамамен 1.8–2.1 эВ аралығында, бұл оны көрінетін және ультракүлгін диапазонда жұмыс істеуге қолайлы етеді. Сонымен қатар, оның электрон қозғалғыштығы жоғары, бұл қасиет транзисторлар мен басқа да микроэлектрондық құрылғыларда тиімді қолдануға мүмкіндік береді.

WS_2 негізіндегі материалдар энергия сақтау (суперконденсаторлар, литий-ион аккумуляторлары), күн элементтері, фотодетекторлар, сенсорлар мен сутек өндірісіне арналған фотокатализаторлар ретінде перспективалы. Құрамындағы вольфрам және күкірт элементтері олардың экологиялық тұрғыдан қауіпсіз және кең таралған болуына септігін тигізеді.

Өтпелі металл халькогенидтерін алу үшін әртүрлі әдістер қолданылады: механикалық қабаттап бөлу, химиялық бу фазасында тұндыру (CVD), гидротермиялық синтез, золь-гель әдісі, термиялық ыдырату және спрей-пиролиз. Бұл әдістердің әрқайсысының өз ерекшеліктері бар, алайда төмен температуралық және экологиялық тұрғыдан қауіпсіз әдістер (мысалы, спрей-пиролиз және гидротермиялық әдістер) өндірістік масштабқа бейімдеуге қолайлы болып табылады.

WS_2 синтезі кезінде прекурсор ретінде көбінесе вольфрам хлоридтері (мысалы, WCl_2) және күкірт көздері қолданылады. Ерітінді түріндегі прекурсорларды қолдану синтез процесін оңайлатып, жұқа қабықшаларды түрлі субстраттар бетінде алуға мүмкіндік береді. Бұл ретте, синтездің

температурасы, прекурсордың концентрациясы, еріткіш түрі және қабат саны сияқты параметрлер материалдың құрылымына, морфологиясына және функционалдық қасиеттеріне тікелей әсер етеді.

WS₂ наноқабықшаларының құрылымдық қасиеттерін бағалау үшін рентгенфазалық талдау (XRD), морфологиялық сипаттамалар үшін сканерлеуші электронды микроскопия (SEM), ал оптикалық қасиеттерін бағалау үшін ультракүлгін-көрінетін спектроскопия (UV-Vis), фотолюминесценция (PL) және басқа спектроскопиялық әдістер қолданылады.

Осы жұмыстың мақсаты — өтпелі металдардың халькогенидті қосылыстарын, атап айтқанда вольфрам дисульфидін, тиімді, басқарылатын синтез әдістері арқылы алу және олардың құрылымдық-функционалдық қасиеттерін зерттеу. Жұмыстың өзектілігі WS₂ материалын заманауи технологияларда қолдану мүмкіндігінің кең болуымен және оны экологиялық таза әрі арзан жолмен алу қажеттілігімен түсіндіріледі.

Зерттеудің мақсаты мен тапсырмалары.

Бұл жұмыстың мақсаты — өтпелі металл қосылысы болып табылатын вольфрама дисульфиді (WS₂) негізінде халькогенидті наноматериалдарды синтездеу, олардың құрылымдық және оптикалық қасиеттерін зерттеу және алынған материалдардың электроника мен сенсорлық құрылғыларда қолдану мүмкіндігін бағалау.

Қойылған міндеттер:

Гидротермиялық және золь-гель әдістерін қолдана отырып WS₂ наноқұрылымдарын алу;

Алынған үлгілердің морфологиялық және құрылымдық сипаттамаларын зерттеу;

Зерттеу объектісі. өтпелі металдар мен халькогендердің қосылыстары негізіндегі WS₂ наноқұрылымдары.

Зерттеу әдістері: сканерлеуші электрондық микроскопия, рентгендік дифракция.

Алынған нәтижелердің ғылыми жаңалығы: WS₂ халькогенидті наноқұрылымдары зертханалық жағдайда гидротермиялық әдіспен синтезделіп, олардың морфологиясы мен құрылымдық қасиеттері сипатталды;

Синтез температурасы мен прекурсор концентрациясының WS₂ кристалдылығы мен люминесценттік қасиеттеріне әсері анықталды;

Ізденушінің жеке үлесі

Студент ғылыми әдебиеттерді өз бетінше талдап, зерттеу мақсаты мен міндеттерін анықтады. WS₂ синтездеу жұмыстарын орындады, құрылымдық және оптикалық сипаттамаларын зерттеп, алынған нәтижелерге талдау жасады. Барлық эксперименттерді орындауға, деректерді өңдеуге және ғылыми жетекшімен бірге нәтижелерді талдауға белсенді қатысып, тақырып бойынша конференцияға тезис жазуға үлес қосты.

Публикация. Диплом тақырыбы бойынша нәтижелер «Фараби әлемі» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференциялары жинағында жарияланды.

Дипломдық жұмыстың құрылымы мен көлемі. Жұмыс кіріспе, үш бөлім, қорытынды, қысқартулар тізімі, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыста 11 сурет ұсынылады. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 50 әдебиеттен тұрады.

Алғыс сөз. Жұмыс Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің гранты BR21881954 «Тиімді фотокаталитикалық электродтарды, фото және газға сезімтал сенсорларды жасау үшін нанокұрылымды материалдарды синтездеу технологияларын әзірлеу» бойынша жүзеге асырылды.

1 ӘДЕБИ ШОЛУ

1.1 Өтпелі металдардың халькогенидті материалдарының негізгі қасиеттері

Соңғы онжылдықтарда екіөлшемді (2D) құрылымға ие материалдар өздерінің көлемдік аналогтарынан ерекшеленетін ерекше физика-химиялық қасиеттерінің арқасында ғылыми қауымдастықтың назарын өзіне аударуда. 2004 жылы графеннің ашылуынан кейін [1] тыйым салынған аймағы реттелетін және химиялық тұрғыдан тұрақты басқа да екіөлшемді кристалдық жүйелерді іздеу үдерісі басталды. Мұндай материалдар микро- және оптоэлектроника, сенсорика, энергетика сияқты түрлі қолданбалы салаларда пайдалануға жарамды. Осы тұрғыдан алғанда, өтпелі металдардың дихалькогенидтері (TMDs, Transition Metal Dichalcogenides) екіөлшемді материалдардың ең перспективалы класы ретінде саналады.

TMDs материалдары жалпы түрде MX_2 формуласымен сипатталады, мұнда М — IV–VII топтарының өтпелі металы (мысалы, Mo, W, Ti, Nb), ал Х — халькоген (S, Se, Te). Көптеген TMDs материалдары үшін тән құрылым — бұл қабатты кристалдық тор, онда металл атомының бір қабаты екі халькоген қабатының арасында орналасып, «сэндвич» құрылымын түзеді [2]. Қабаттар арасындағы байланыс күштері әлсіз ван-дер-ваальс өзара әсерімен жүзеге асады, бұл TMDs құрылымдарын механикалық немесе химиялық жолмен моноқабаттарға дейін бөлуге мүмкіндік береді.

Өтпелі металдардың халькогенидтері — құрамында өтпелі металдар (мысалы, Mo, W, Ti, Zr, Nb) мен халькоген элементтері (S, Se, Te) бар қосылыстар. Бұл материалдар соңғы жылдары нанотехнология мен электроника салаларында үлкен қызығушылық тудырып отыр. Олардың ерекше физикалық және химиялық қасиеттері — кристалдық құрылымы, электрлік өткізгіштігі, оптикалық белсенділігі мен термиялық тұрақтылығы — оларды кең ауқымды қолдануға мүмкіндік береді.

Өтпелі металдардың халькогенидтері — заманауи наноматериалдар химиясы мен материалтанудың өзекті бағыттарының бірі болып табылады. Бұл қосылыстар, соның ішінде вольфрам дисульфиді (WS_2), ерекше физика-химиялық және құрылымдық қасиеттерімен ерекшеленеді. WS_2 қабатталған құрылымы, кең жолақты тыйым салынған аймағы және анизотропты электрлік, оптикалық сипаттамалары арқасында фотовольтаикалық, сенсорлық, трибологиялық және каталитикалық жүйелерде кеңінен зерттелуде.

TMDs материалдарының басты ерекшелігі — олардың тыйым салынған аймағының ені қабаттар санына қарай өзгертіндігі. Мысалы, MoS_2 және WS_2 көлемді күйде жанама тыйым салынған жартылайөткізгіш болып табылса ($E_g \approx 1.2\text{--}1.3$ эВ), ал моноқабат күйде тікелей тыйым салынған жартылайөткізгішке айналады ($E_g \approx 1.8\text{--}2.1$ эВ) [3]. Бұл қасиет оларды фотодетекторлар, жарықдиодтар, лазерлер мен күн элементтері сияқты оптоэлектрондық құрылғылар үшін өте тартымды етеді [4].

Сонымен қатар, TMDs материалдары келесі қасиеттерімен ерекшеленеді:

заряд тасымалдаушыларының жоғары қозғалғыштығы;

экситондардың күшті байланысуы;

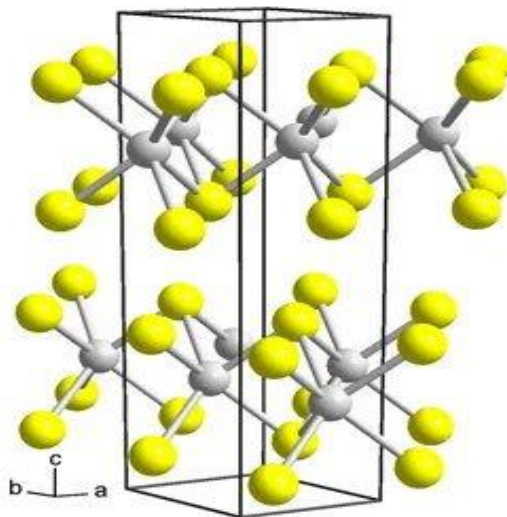
айқын спин-орбиталық байланыс;

механикалық және оптикалық анизотропия;

2H (жартылай өткізгіш) және 1T (металлдық) сияқты түрлі фазаларды тұрақтандыру мүмкіндігі.

Бұл қасиеттер гетерофазалық құрылымдар, Шоттки тосқауылдары, резистивтік жады элементтері, спинтроникалық құрылғылар мен каталитикалық жүйелерді әзірлеуге жол ашады.

Вольфрам дисульфиді – бейорганикалық қосылыс, вольфрам металы мен күкірт қышқылының WS_2 формуласы бар тұзы, суда ерімейтін қара сұр түсті кристалдар.



1 сурет – Вольфрам сульфидінің (WS_2) кристалдық құрылымы [5]

Бұл суретте WS_2 қосылысының гексагональды қабатталған кристалдық торы бейнеленген. Сұр түсті шарлар – вольфрам атомдары (W), сары түсті шарлар – күкірт атомдары (S).

WS_2 типтік халькогенид болып табылады, ол алты қырлы (гексагональды) кристалдық торға ие және қабатаралық Ван-дер-Ваальс күштерімен байланысқан S–W–S қабаттарынан тұрады. Мұндай құрылым оның механикалық және трибологиялық қасиеттерін, сонымен қатар, жұқа қабыршақтар түріндегі қолдану әлеуетін арттырады. Әдебиетте WS_2 материалдары оптикалық мөлдірлігі, жоғары химиялық инерттілігі, термиялық тұрақтылығы және фотоактивтілігімен сипатталады [6].

Наноқұрылымды WS_2 -нің тыйым салынған аймақ ені (band gap) шамамен 1,3–2,4 эВ аралығында ауытқиды және бұл көрсеткіш оның өлшеміне, кристалдық тордағы ақаулардың санына, синтез әдісіне және фазалық күйіне байланысты өзгеруі мүмкін. Кванттық шектеу эффектісі байқалғанда, бұл аймақ ені ұлғайып, материалдың жарықпен әрекеттесуін

тиімді етеді. Осындай қасиеттер оны күн сәулесін электр энергиясына түрлендіруге арналған фотовольтаикалық құрылғыларда пайдалануға мүмкіндік береді. WS_2 – гексагональды сингонияға ие, көбіне 2H фазасында кездеседі. Бұл құрылым оның жартылай өткізгіштік, механикалық және трибологиялық қасиеттеріне оң әсер етеді. Қазіргі кезде WS_2 түрлі нанокұрылғыларда, сенсорлар мен электроникада, сонымен қатар катализатор ретінде кеңінен зерттеліп жатыр. Суретте көрсетілген элементарлы ұяшық – WS_2 атомдарының кеңістіктегі нақты орналасуын, кристалдық симметрияны және қабаттардың өзара орналасуын сипаттайды.

Кристалдық және қабатталған құрылым: Өтпелі металл халькогенидтері, соның ішінде MoS_2 , WS_2 және TiS_2 , қабатталған гексагональды кристалдық тор түзеді. Қабаттар арасындағы әрекеттесудің әлсіздігі (Ван-дер-Ваальс күштері) олардың механикалық немесе химиялық жолмен моноқабаттарға бөлінуіне жағдай жасайды. Мұндай құрылымдық ерекшелік оларды иілгіш, екіөлшемді (2D) материалдар ретінде қолдануға мүмкіндік береді [7].

Электрондық сипаттамалары: Халькогенидті қосылыстар металдық, жартылайөткізгіштік немесе жартылайметаллдық күйде болуы ықтимал. Бұл олардың құрамына, құрылымына және синтез жағдайларына байланысты. Жолақ саңылауы әдетте 0,5–2,0 эВ шегінде орналасады. Мысалы, бір қабатты MoS_2 үшін бұл мән 1,2–1,8 эВ аралығында, ал WS_2 үшін 1,3–2,1 эВ құрайды. Сонымен қатар, екіөлшемді конфигурацияда заряд тасымалдаушылардың қозғалғыштығы жоғары болып келеді. Белгілі бір қосылыстарда (мысалы, TaS_2 , $TaSe_2$) температураға тәуелді фазалық ауысулар, соның ішінде асқын өткізгіштік құбылыстары байқалады. Электрон құрылымын басқару мақсатында легирлеу, бос орындар енгізу және модификациялар қолданылады.

Жарықпен әрекеттесу ерекшеліктері :TMD материалдары көрінетін және жақын инфрақызыл спектр аймағында сәулені қарқынды сіңіре алады. Бұл олардың жолақ құрылымымен, тыйым салынған аймақтың шамасымен және экситон эффектілерімен байланысты. Жіңішке қабаттарда диэлектрлік экрандалудың әлсіздігі экситон байланысының энергиясын арттырады. Мұндай сипаттар фотодетекторлар, жарықдиодтар және күн сәулесін түрлендіру құрылғыларында пайдалануға ғылыми негіз қалайды. Сонымен қатар, сыртқы өріс, иілу немесе температура әсерінен олардың оптикалық параметрлерін белсенді басқаруға болады [8].

TMD материалдарының химиялық тұрғыдан орнықтылығы жоғары, әсіресе күкірт негізіндегі қосылыстар (мысалы, MoS_2 , WS_2) инерттілік көрсетеді. Ал селен мен теллур негізіндегі қосылыстар оттегімен өзара әрекетке бейімді болып келеді. Катализдік қолдану саласында MoS_2 және WS_2 гидродесульфуризация мен сутек эволюциясы процестерінде белсенділігімен белгілі [9].

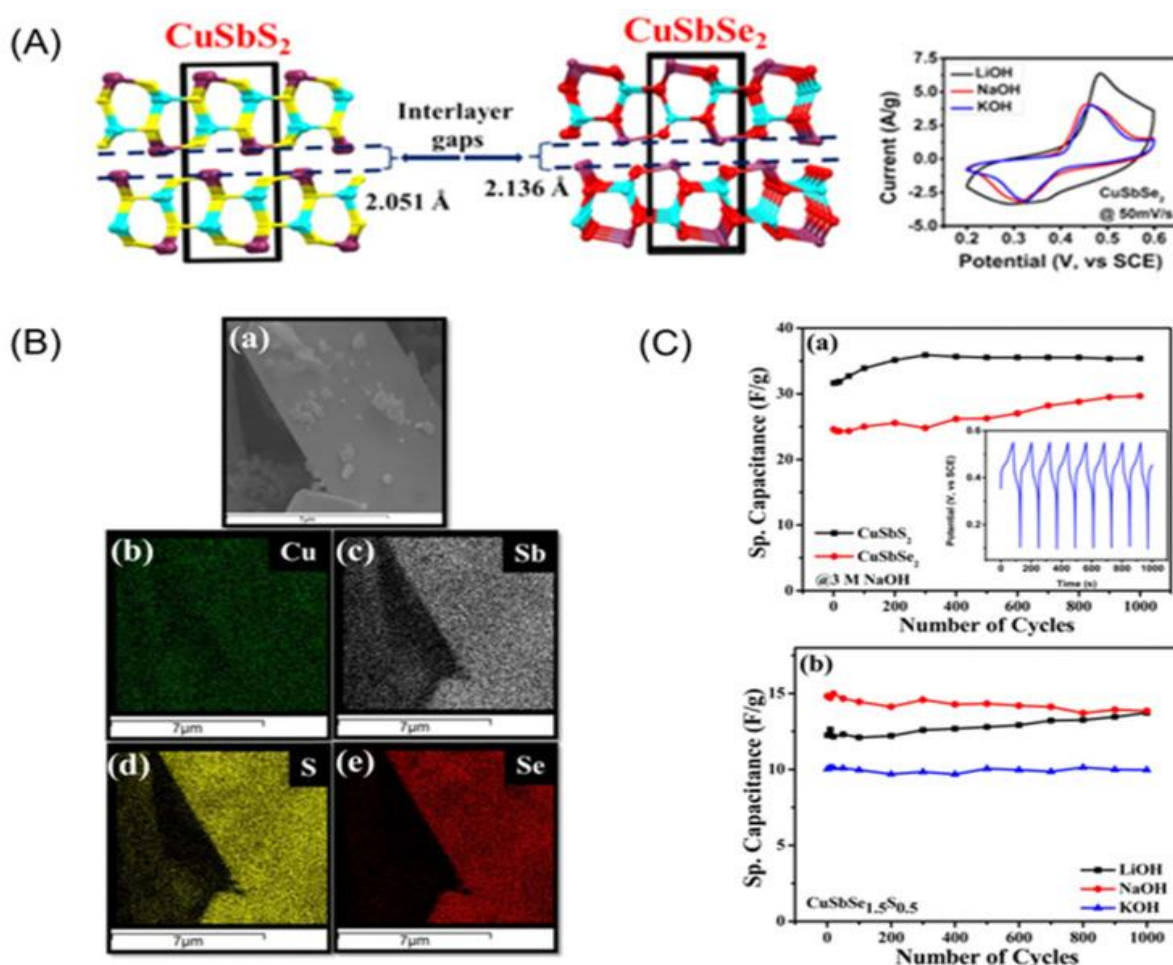
Бұл белсенділік көбінесе қабат жиектеріндегі құрылымдық ақаулар мен координациясыз атомдарға байланысты қалыптасады. Сонымен қатар, олардың үлестік бетінің үлкен болуы молекулалық модификацияға қолайлы

орта ұсынады. Халькогенидті өтпелі металл қосылыстары өрістік транзисторлар, фотодетекторлар, жарықдиодтар тәрізді электрондық және оптоэлектрондық құрылғылар, литий-ион аккумуляторлары мен катализ процестері; термоэлектрлік генерация жүйелері, газ және ылғал сезгіш сенсорларда кеңінен зерттелуде және енгізілуде. Сонымен қатар, жекелеген TMD материалдары асқын өткізгіштік пен топологиялық күй сипатындағы күрделі физикалық құбылыстардың моделі ретінде қарастырылады. Олардың құрылымдық, фазалық және беткі мінездемелерінің алуан түрлілігі бұл материалдарды қазіргі заманғы ғылым мен технологияда ерекше маңызы бар нысан ретінде айқын көрсетеді [10].

1.2 Халькогенидті наноматериалдардың оптоэлектроника мен катализдегі қолданылуы

Өтпелі металл халькогенидтерінің нанокұрылымдары литий-ион, натрий-ион және калий-ионды аккумуляторлар мен икемді суперконденсаторлар сияқты келесі ұрпақ энергия сақтау құрылғыларын әзірлеу үшін бірегей материалдық платформаны қамтамасыз етеді. Өтпелі металл халькогенидтерінің нанокристалдары мен жұқа қабықшалары тотығу-тотықсыздану реакциялары үшін электроактивті жерлерді және құрылымның иерархиялық икемділігін және көпкомпонентті композициялардағы электрондық қасиеттерді жақсартты. Олар сондай-ақ жер бетінде кең таралған элементтерден тұрады. Бұл қасиеттер оларды дәстүрлі материалдармен салыстырғанда энергия сақтау құрылғыларына арналған жаңа электродтық материалдарды тартымды және өміршең етеді. Бұл шолу батареялар мен икемді суперконденсаторларға арналған халькогенид негізіндегі электродтардағы соңғы жетістіктерді көрсетеді. Бұл материалдардың құрылымы мен қасиеттері арасындағы өміршеңдігі мен байланысы зерттеледі. Литий-иондық аккумуляторлардың электрохимиялық өнімділігін жақсарту үшін электрод материалдары ретінде көміртегі субстраттары, екі өлшемді өтпелі металл халькогенидтері және жаңа MXene негізіндегі халькогенидтердің гетерокұрылымдарына тұндырылған әртүрлі халькогенидтік нанокристалдарды пайдалану талқыланады [11]. Натрий-ионды және калий-ионды батареялар литий-иондық технологияға неғұрлым өміршең балама ұсынады, өйткені олар оңай қол жетімді бастапқы материалдардан жасалған. MoS_2 , MoSe_2 , VS_2 және SnS_x сияқты әртүрлі өтпелі металл халькогенидтерін, композициялық материалдар мен мультиметаллдардан тұратын гетероидациялық биметалл нанопарақтарды электродтар ретінде ұзақ мерзімді цикл тұрақтылығын, жоғары жылдамдықты өнімділікті және интеркаляция процестері кезінде үлкен көлемнің кеңеюіне қарсы тұру үшін құрылымдық беріктігін арттыру үшін қолдану /иондардың деинтеркализациясы [12]. Сондай-ақ икемді суперконденсаторларға арналған электродтар ретінде қабатталған халькогенидтердің және әртүрлі халькогенидті нано сымды композициялардың перспективалы өнімділігі де

егжей-тегжейлі талқыланады. Халькогенидтер батареялар мен суперконденсаторлар үшін жаңа электродтық материалдардың перспективалы класын білдіреді (2-сурет).



2 сурет – $\text{CuSbSe}_x\text{S}_{2-x}$ мезокристалдарының құрылымы және суперконденсаторлық қасиеттері [13]

Халькогенидті наноматериалдар (металдардың күкіртпен, селенмен, теллурмен қосылыстары) өзінің бірегей электрондық, оптикалық және каталитикалық қасиеттеріне байланысты соңғы жылдары барған сайын назар аударатын орталыққа айналды. Олардың реттелетін (синтезі мен наноқұрылымына байланысты) жолақ аралығы, жоғары химиялық белсенділік және көп функционалды қолдану мүмкіндігі оларды оптоэлектроникада, фотоникада, сондай-ақ катализдің әртүрлі түрлерінде ерекше перспективалы етеді. Төменде оптоэлектроника мен катализде халькогенидті наноматериалдарды қолданудың негізгі бағыттарын қарастырамыз.

Жартылай өткізгішті кванттық нүктелер. CdS , CdSe , PbS , PbSe , ZnS , т.б. Көптеген халькогенидтік нанокристалдар (кванттық нүктелер) кванттық шектеу әсерін көрсетеді: бөлшектердің өлшемі бірнеше нанометрге дейін

азайған сайын жолақ ені артады. Бұл бүкіл көрінетін және жақын инфрақызыл диапазондардағы жарықты сіңіру мен шығаруды дәл реттеуге мүмкіндік береді [14]. Жарық диодтар мен дисплейлерде қолдану: CdSe негізіндегі кванттық нүктелер (беттік пассивацияға арналған қосымша ZnS қабықтары немесе басқа материалдар) дисплейлерде ашық, қаныққан және энергияны үнемдейтін түстерді қамтамасыз етеді. Фотодетекторлар мен датчиктер: PbS және PbSe кванттық нүктелері тар жолақ аралығына ие және жақын және орта IR аймағында детекторларды дамытуға мүмкіндік береді. Бұл түнгі көру жүйелері, телекоммуникациялық құрылғылар және қоршаған орта сенсорлары үшін маңызды.

Халькогенидті нанокристалдар, мысалы, CdS, PbS, ZnS және т.б., кванттық шектеу әсеріне ие, яғни бөлшек өлшемі кішірейген сайын жолақ саңылауы өзгереді. Бұл қасиет көрінетін және жақын ИҚ жарық аймақтарында жарық сіңіру мен сәулеленуін дәл басқаруға мүмкіндік береді. CdSe/ZnS кванттық нүктелері дисплейлер мен жарықдиодтарда жоғары түсті қанықтылық пен жарық тиімділігін қамтамасыз етеді [15].

Фотодетекторлар мен сенсорларда PbS, PbSe, MoS₂, WS₂ негізіндегі құрылымдар кеңінен қолданылады. Бұл материалдар тікелей және жанама жолақ саңылауларына, экситон эффектісіне және жоғары фотосезімталдыққа ие. WS₂ моноқабаттары мен оның графен, SnS₂, перовскиттермен гетероқұрылымдары жоғары өнімді фотодетекторлар жасауға негіз болып табылады. Жарықтың кең спектрін (ультракүлгіннен ИҚ дейін) қамту қабілеті WS₂-нің көп функциялы сенсорикада қолданылуын арттырады [16].

Органикалық синтездегі катализ. Наноқұрылымды CuS, NiS, CoS. Мыс, никель, кобальт сульфидтері және басқа халькогенидті наноматериалдар кейде гидрогенизация, тотығу, айқаспалы байланыс және т.б. реакцияларда тиімді каталитикалық жүйе ретінде әрекет етеді. Гидроқүкіртсіздену реакцияларындағы MoS₂. Молибденит (MoS₂) – мұнай-химия өнеркәсібіндегі белгілі гидроқүкіртсіздендіру (HDS) катализаторы. Дисперсияны арттыру және композиттер жасау (мысалы, MoS₂/Co, MoS₂/Ni) белсенді каталитикалық орталықтарды арттырады және селективтілікті жақсартады. Электрокатализ және отын элементтері судың ыдырауы (HER және OER) жұқа қабықшалары және MoS₂ және WS₂ нанобөлшектері бағалы металдарға (Pt) балама ретінде әрекет етеді. Олардың каталитикалық белсенділігі жоғары, әсіресе қабаттардың шеткі атомдарында [17]. 2D гетероструктураларын дамыту, легирлеу және беттердің функционализациясы катализаторлардың белсенділігі мен тұрақтылығын одан әрі арттыруға көмектеседі. Халькогенидті наноматериалдар отын жасушаларының әртүрлі түрлерінде (мысалы, полимер электролиттік мембраналар) катодтық және анодтық реакциялардың тиімділігін жақсарта алады, бұл дәстүрлі платина катализаторларына арзанырақ және икемді балама ретінде қызмет етеді. Фотохимиялық сутегі және CO₂ тотықсыздануы. CdS, ZnS, In₂S₃, Bi₂S₃ және олардың композиттері. Жарықпен сәулелендіру кезінде бұл сульфидтер сутегін алу үшін сулы фотолиз процестеріне қатыса алады, сонымен қатар CO₂-нің органикалық

қосылыстарға (метанол, метан, СО және т.б.) фотокаталитикалық тотықсыздануына ықпал етеді. Мұндағы негізгі фактор – күн сәулесін сіңірудің жоғары дәрежесі және электронды саңылаулардың тиімді бөлінуі.

Әртүрлі халькогенидтердің бір-бірімен немесе басқа жартылай өткізгіштермен (оксидтер, нитридтер, графен және т.б.) қосылуы жиі синергиялық әсер береді. Мысалы, фотокатализде гетероқұрылымдар заряд тасымалдаушыларды тиімді бөлуге көмектеседі, ал оптоэлектроникада спектрлік сипаттамаларды дәл реттеуге көмектеседі.

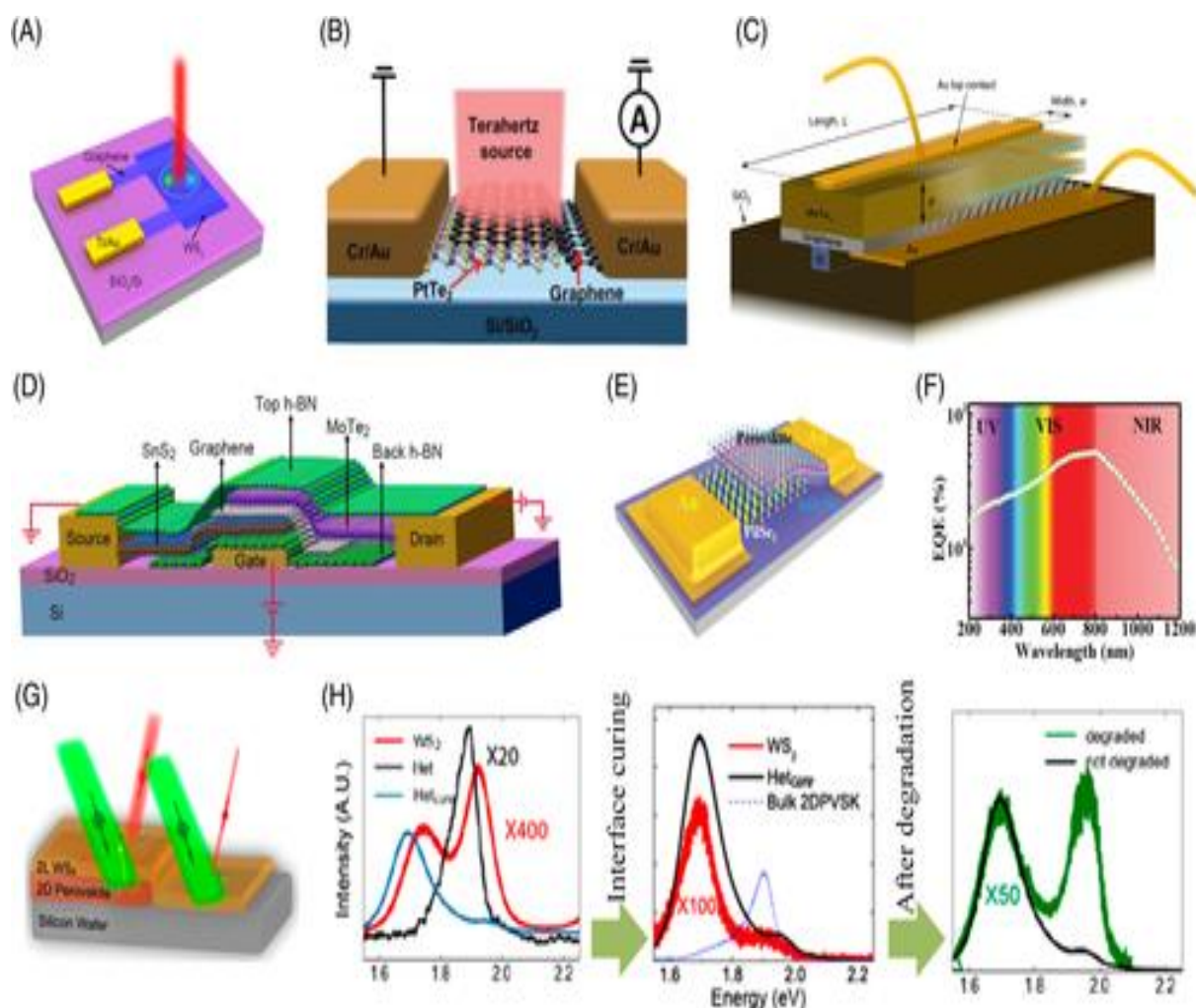
Кейбір халькогенидтер (Cd, Pb бар) улы болып табылады, бұл жаппай қолдануға шектеулер қояды. Сондықтан балама қосылыстарды (мысалы, In, Ga, Sn, Bi, Cu негізінде) және қайта өңдеу/пайдалану әдістерін белсенді іздеу жүргізілуде.

Көзілдіріктерге қатысты зерттеулердің көпшілігі электромагниттік спектрлердің көрінетін диапазонында сәулені тарататын силикат және кварц шыныларында жүргізілді. Оптикадағы, фотоникалық, оптоэлектроникадағы қолдану инфрақызыл диапазондағы сәулеленуді толқын ұзындығы ~2 мкм дейін өткізе алатын көзілдіріктерге сұранысты арттырды. Арнайы деп аталатын бұл шынылардың химиялық және физикалық қасиеттері силикат шыныларын толықтырады. Арнайы көзілдіріктерді үш топқа бөлуге болады: i) ZrF₄ немесе HfF₄ негізіндегі фторидті шынылар; ii) As-S, As-Se, As-Se-Te, Ge-Se-Te, Ge-As-Se сияқты халькогендер (S, Se, Te) негізіндегі халькогенидті көзілдірік (CG) - көзілдірік; және iii) GeO₂- PbO, TeO₂-PbO, TeO₂-ZnO және т.б. сияқты ауыр металл оксиді (НМО) шынылары. Екі өлшемді қабатты TMDC және олардың vdWH материалдары жарыққа әсер ету қабілетінің арқасында үлкен зерттеушілік қызығушылық тудырды, бұл келесі ұрпақ оптоэлектрондық құрылғыларда, соның ішінде фотодетекторларда [18–22], фотоэлектрлік элементтерде [23], жарық шығаратын диодтарда (жарық диодтар) [24,25] т.б. Мұнда біз негізінен келесі үш аспектіде оптоэлектрондық қолданбалардағы соңғы жетістіктерді қорытындылаймыз: фотодетекторлар, фотоэлектрлік элементтер және жарықдиодты шамдар.

Жарық-материяның тамаша әрекеттесуі, жақсы ауа тұрақтылығы және тиімді фототасымалдаушы генерациясының арқасында әртүрлі TMDC материалдары жоғары өнімді фотодетекторлар үшін зерттелді және әзірленді [26,27]. 2D TMDCs диапазондарының ИК-ден жақын УК-ға дейінгі диапазондары бар әртүрлі оптикалық қасиеттері, қабаттар санына байланысты тікелей және жанама өтулер, мұнда моноқабатты TMDCs тікелей жолақ саңылауы осы материалдардан тиімді жарық шығаруға әкеледі [28], олардың үлкен байланыс энергиялары экситондар [29] және экзотикалық оптикалық қасиеттер, мысалы, аңғардың когеренттілігі және алқап-селективті дөңгелек дихроизм [30] осы материалдарға негізделген жаңа оптикалық құрылғыларды жасауға қарқынды күш салуға түрткі болған бірегей мүмкіндіктер. Дегенмен, ұзағырақ толқын ұзындығымен, жоғары жұмыс температурасымен және жылдам жауап берумен жұмыс істей алатын фото анықтау әдісі әлі де үлкен қиындықтарға тап болады.

Жақында WS_2 моноқабатынан, графен таспаларының бірнеше қабатынан және Ti/Au өткізгіш пленкасынан тұратын дайындалған моноқабатты WS_2 фотодетекторлары бөлме температурасында WS_2 диапазонынан 219 мВ төмен энергиялары бар фотондарды анықтай алды (сурет 3А). Бұл фотодетекторлар 59 мА Вт-1 ең жоғары фотосезімталдықты, 0,1 фотоөткізгіштік күшеюін және 680 нм қоздыру толқын ұзындығында $7,5 \times 10^5$ Джонс ерекше анықтау қабілетін (D^*) көрсетеді. TMDC-ті өнімділігі жоғары терагерц (THz) фото анықтау жүйесінде қолдануды алға жылжыту үшін, Хи және т.б. сезімталдыққа қол жеткізе алатын тік қабаттастырылған $PtTe_2$ -графен vdW гетероструктуралық детекторын дайындау үшін микро-құрғақ тасымалдау әдісін қолданды. 0,12 ТГц және бөлме температурасында 1,4 кВ Вт-1 жоғары және жауап беру уақыты 9 мкс-тен қысқа. Сонымен қатар, TMDC тасымалдаушыларының табиғи төмен ұтқырлығы оны стандартталған телекоммуникациялық толқын ұзындығында жұмыс істейтін жоғары жылдамдықты интерконнектер сияқты жоғары жылдамдық пен жоғары сезімталдықты қажет ететін құрылғыларда пайдалануды шектейді.

Жоғарыда аталған тығырықтан шығу үшін [31] алғаш рет жазық кремний фотонды толқын өткізгіштерімен біріктірілген тік $MoTe_2$ -графен ван дер Ваальс гетероқұрылымдық фотодетекторын жасап шығарды (3 С-сурет), ол жоғары ауытқуды немесе жұқа $MoTe_2$ үлпектерін пайдалану арқылы рекордтық жоғары өлшенетін өткізу жолағын 50 ГГцке қол жеткізеді және бұл құрылғы жоғары сыртқы өлшемді көрсетеді. 1300 нм-де түсетін жарық үшін 0,2 А W-1 сезімталдығы. Субстрат бетінен және қоршаған ортадан ықтимал әсерлерді азайту үшін h-BN жоғарғы және төменгі қабаттары $MoTe_2$ /графен/ SnS_2 гетероструктурасын инкапсуляциялау үшін қолданылады (3 D-сурет) [32]. Бұл аяқталған фотодетектор $2,6 \times 10^3$ А Вт⁻¹ және D^* -ден $\sim 10^{13}$ Джонсқа дейін асатын аса жоғары сезімталдықты көрсетеді. Бір қызығы, бөлме температурасында 1064 нм лазерлік сәулелену астында $D^* 1,1 \times 10^{13}$ Джонс бұрын сипатталған $MoTe_2$ негізіндегі фотодетектордың шамасынан екі рет жоғары ғана емес, сонымен қатар қазіргі күйдегіден бір рет жоғары. -4,2 К ультра төмен температурадағы заманауи коммерциялық фотодетектор. Алынған h-BN/ $MoTe_2$ /graphene/ SnS_2 /h-BN гетероқұрылымының тамаша сипаттамалары оның ультра сезімталдықта қолданылуына ықпал етеді.



3 сурет – WS_2 моноқабатты фотодетектордың схемалық көрінісі [33]

Бұл зерттеу тиімділігі жоғары ультра жұқа және ультра жеңіл оптоэлектронды құрылғыларда TMDC/2DPVSK гетероқұрылымдарын практикалық қолдану мүмкіндігін ұсына алады [34].

Жоғары тиімді, қымбат емес және сенімді энергия көздерінің шұғыл қажеттілігін ескере отырып, күн сәулесін тікелей электр энергиясына айналдыратын күн батареялары кең ауқымды коммерцияландыру үшін перспективалы үміткерлер болып табылады. Жанама жолақтан тура өтудің бірегей оптикалық қасиеттеріне, жоғары оптикалық жұтуына және экситонды байланыстырудың өте үлкен энергияларына байланысты 2D TMDC материалдары күн батареяларында қолдану үшін үлкен назар аударды [35]. Кейінірек, жақсартылған жарық энергиясын түрлендіруге қол жеткізу үшін кейбір жаңа TMDC негізіндегі vdWH құрылғылары да әзірленді [36-40]. Ғылыми зерттеулердің дамуымен жоғары тиімді vdWH күн батареяларын жасау үшін донорлық және акцепторлық жартылай өткізгіштерді таңдау маңызды аспект болып табылатыны анық көрсетілді, бұл гетероқұрылымдағы заряд тасымалдаушылардың тиімді бөлінуіне әсер етуі мүмкін. Сондықтан донорлық және акцепторлық жартылай өткізгіштер келесі аспектілерді

қанағаттандыруы керек: мінсіз жолақ саңылауы, жоғары тасымалдаушы қозғалғыштығы және қоршаған орта жағдайында жоғары тұрақтылық [41].

Фотодетекторлар мен фотоэлектрлік құрылғылардағы қолданбалардан басқа, 2D TMDC және олардың гетероқұрылымдары жарық диодтардағы қолданбалар үшін де зерттелуде [42-46]. Жарық диодты әзірлеу жарықтандыру, дисплей, оптикалық байланыстар, логика және сенсорлар салаларындағы жетістіктерге жетуде маңызды рөл атқарады. Сондықтан көптеген зерттеушілер әртүрлі дизайн идеяларын қолдану арқылы жарық диодтарының тиімділігін, спектрлік қасиеттерін, жинақылығы мен интеграциялануын жақсартуға көбірек көңіл бөледі. Қазіргі уақытта TMDC негізіндегі vdW гетероидындары жарық диодты қосымшалар үшін перспективалы үміткерлер болып табылады. Бүйірлік гетероқосылулармен салыстырғанда, тік гетероидылар жоғары электролюминесценция (EL) сипаттамаларына байланысты көбірек шоғырланған. EL интенсивтілігі мен айдау тогы арасындағы функционалдық қатынасқа сүйене отырып, pn vdW гетероөзгергішінің EL спектрінің қарқындылығы айдау тогының ұлғаюымен айқын шекті көрсететіні анық анықталды, бұл жолақты туралаудың нәтижесі болуы мүмкін.

Халькогенидті наноматериалдар заманауи оптоэлектрондық құрылғылар (жарық диодтары, дисплейлердегі кванттық нүктелер, фотодетекторлар және күн батареялары) үшін де, тиімді катализ (гидрлеу реакциялары, гидрокүкіртсіздендіру, судың фотокатализі, сутегінің электрокатализі және т.б.) үшін де перспективалы платформа болып табылады. Олардың негізгі артықшылықтары реттелетін оптикалық қасиеттер, жоғары каталитикалық белсенділік және жаңа гибридті наноқұрылымдарды құру мүмкіндігі болып табылады. Ағымдағы зерттеулер синтетикалық әдістерді жетілдіруге, экологиялық таза нұсқаларды табуға және нақты жұмыс жағдайында тұрақтылықты арттыруға бағытталған. Мұның барлығы халькогенидті наноматериалдарды қолдану салаларын одан әрі кеңейтуге және энергетика, экология, электроника және бірқатар басқа салаларда инновациялық технологияларды дамытуға ықпал етеді.

Өтпелі металдардың дихалькогенидті қабатты құрылымдары екіөлшемді материалдардың ең перспективалы класы болып табылады. Олардың электрондық, оптикалық және химиялық қасиеттерінің бірегейлігі оларды сенсорика, энергетика, кванттық технологиялар сияқты жоғары технологиялық салаларда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді. Қазіргі зерттеу нәтижелері TMDs негізіндегі функционалдық гетероқұрылымдар мен наноархитектураларды жасауға деген қызығушылықтың үнемі артып келе жатқанын көрсетеді.

Екіөлшемді (2D) материалдар – бұл атом қалыңдығындағы құрылымдар, олар жоғары беттік ауданы мен ерекше кванттық қасиеттерге ие. Осы материалдар соңғы онжылдықта микро- және наноэлектроника саласында жаңа технологиялық серпілістердің негізіне айналды. Әсіресе, графен мен өтпелі металдардың дихалькогенидтері (MoS_2 , WS_2 және т.б.) транзисторлар

мен басқа да микроэлектрондық құрылғылар жасау үшін әлеуеті зор материалдар ретінде зерттелуде.

Кремний негізіндегі дәстүрлі транзисторлар технологиясы миниатюризация шегіне жеткен кезде, 2D материалдар жаңа буын электрондық құрылғылар үшін балама шешім ұсынады. Мысалы, MoS_2 тәрізді 2D жартылайөткізгіштер тікелей жолақ саңылауына ие болғандықтан, олардан жасалған транзисторлар төмен кернеуде жұмыс істеп, аз энергия тұтынады және жоғары қосқыш жылдамдықпен ерекшеленеді.

2D материалдар негізінде жасалған өрістік-эффектілі транзисторлар артықшылықтарға ие:

Қалыңдығының атом деңгейінде болуы, бұл каналдың дәл басқарылауына мүмкіндік береді;

Жоғары заряд тасымалдағыш қозғалғыштығы, бұл құрылғының өнімділігін арттырады;

Механикалық икемділігі, бұл оларды икемді және созылмалы құрылғыларда пайдалануға мүмкіндік береді;

Осындай қасиеттердің жиынтығы 2D материалдарды келесі салаларда қолдануға болады: жарық шығаратын және қабылдайтын құрылғылар (LED, фотодетекторлар, күн батареялары), сезімтал сенсорлық жүйелер, мысалы, газ немесе химиялық сенсорлар.

Сонымен қатар, 2D материалдарды гетероқұрылымдарға біріктіру арқылы (мысалы, графен + MoS_2 + hBN комбинациясы) жаңа типтегі транзисторлар мен электрондық элементтер жасауға болады. Мұндай құрылымдар жоғары функционалдылықты аз кеңістікте жүзеге асыруға мүмкіндік береді, бұл микроэлектроника мен наноэлектроникада өте өзекті.

1.3 Өтпелі металдармен халькогенидті материалдарлы синтездеу әдістері

Соңғы онжылдықта наноөлшемді материалдардың синтезі, сипаттамалары және қолданылуы әртүрлі салалардағы, соның ішінде химия, физика, материалтану, биология және сәйкес инженерия сияқты көптеген зерттеушілердің қызығушылығын тудырды. Нанобөлшектердің әдеттен тыс электрондық, оптикалық, магниттік және химиялық қасиеттері олардың өте кішкентай өлшемдері мен үлкен бет-көлем қатынасына байланысты сәйкес сусымалы материалдардан айтарлықтай ерекшеленетінін көрсетеді. Олардың катализ, электронды, оптикалық және механикалық құрылғылар, магнитті жазу құралдары, асқын өткізгіштер, жоғары өнімді инженерлік материалдар, бояғыштар, пигменттер, желімдер, фотографиялық суспензиялар, дәрі-дәрмектерді жеткізу және т.б. сияқты әлеуетті қолданбалары бар.

Металл халькогенидтері оптикалық және электрлік қасиеттеріне байланысты күн батареялары, сенсорлар және фотокатализаторлар сияқты оптикалық құрылғылар үшін маңызды жартылай өткізгіш материалдар болып

табылады. Металл халькогенидтерімен байланысты мәселелерге әдеттегі синтез әдістерінің күрделілігі және синтездің қатаң шарттары жатады.

Халькогенидті наноматериалдарды синтездеудің негізгі әдістері екі үлкен топқа бөлінеді:

Жоғарыдан төменге арналған әдістер (механикалық және химиялық қабаттау);

Төменнен жоғарыға әдістер (химиялық буларды тұндыру (CVD), гидротермиялық синтез, спрей пиролизі) [47].

Химиялық булану(CVD) – газ фазасындағы прекурсорлардың ыдырауы немесе реакциясы нәтижесінде түзілетін қатты фазалық материал. Бұл әдіс жоғары сапалы, аз ақаулы екі өлшемді қабаттарды алуға мүмкіндік береді. Бұл WS_2 , MoS_2 сияқты дихалькогенидті материалдарды дайындау үшін әсіресе тиімді.

Гидротермиялық синтез – жоғары температура мен қысымда сулы ерітіндіде химиялық реакция жүргізуге негізделген әдіс. Бұл әдіс нанобөлшектерді, нанотүтіктерді және басқа нанокұрылымдарды алу үшін кеңінен қолданылады. Гидротермиялық синтездің негізгі артықшылықтарының бірі — оның энергияны аз қажет ететіндігінде. Сонымен қатар, бұл әдіс арқылы наноөлшемді материалдар, соның ішінде металл оксидтері, сульфидтер және басқа бейорганикалық қосылыстар алынуы мүмкін. Синтез параметрлерін (температура, уақыт, рН деңгейі және реагенттердің концентрациясы) өзгерте отырып, алынған материалдың морфологиясы мен өлшемін басқаруға болады.

Спрей пиролиз – бастапқы реагенттер ерітіндісін аэрозоль күйінде қыздырылған бетке бүрку, нәтижесінде прекурсорлардың термиялық ыдырауы арқылы қатты фазаның пайда болуы. Бұл әдіс жабындарды немесе ұнтақ наноматериалдарды алу үшін қолданылады. Бүріккіш пиролиз арқылы алынған материалдардың кристалдылығын, морфологиясын және фазалық құрамын кейінгі термиялық өңдеу (қызу) арқылы оңтайландыруға болады. Бұл әдіс әртүрлі металл оксидтерін, жартылай өткізгіш материалдарды және функционалды наноқабаттарды синтездеу үшін кеңінен қолданылады. Ол әсіресе күн батареялары, газ сенсорлары, фотокатализаторлар және коррозияға қарсы жабындар салаларында тиімді екенін дәлелдеді.



4 сурет – WS_2 және MoS_2 алу үшін газ фазасынан химиялық тұндыру CVD) әдісінің схемалық бейнесі [48]

Өтпелі металл халькогенидтері бірегей электрондық, оптикалық және каталитикалық қасиеттері бар материалдар класы болып табылады. Ең танымал мысалдар дисульфидтер (MoS_2 , WS_2), диеленидтер ($MoSe_2$, WSe_2) және басқа ұқсас қосылыстар, соның ішінде өтпелі металдар тобының элементтері (Mo, W, Re, Ni, Co және т.б.) және халькогендер (S), Se, Te). Мұндай ультра жұқа қабықшалар мен наноқұрылымдарды өндірудің ең кең таралған және тиімді әдістерінің бірі CVD (химиялық булардың тұндыру) болып табылады. Бұл әдіс қалыңдығы бақыланатын (бірқабатқа дейін), жоғары кристалдылық дәрежесі және кең ауқымды реттелетін параметрлері (температура, қысым, реагент шығыны және т.б.) жоғары сапалы қабатты құрылымдарды өсіруге мүмкіндік береді. Қазіргі ғылыми-техникалық әдебиеттерде ерітінділерден тұнба алудың әртүрлі нұсқаларының (химиялық ваннаны тұндыру) сипаттамалары да бар, бірақ бұл әдістер, әдетте, кең көлемде материалдарды алуға мүмкіндік бермейтіндіктен, CVD әдістерімен бәсекелесе алмайды. Өз кезегінде, оптикалық немесе жартылай өткізгіш материалдардың жұқа қабықшаларын алу үшін CVD әдістерін плазмалық және термиялық химиялық түрлендірулерді бастау әдісіне сәйкес бөлуге болады. Плазмалық әдістерде төмен температуралы тепе-теңдіксіз плазма жағдайында бастапқы заттардың бөлшектерін қозған күйге айналдыру үшін электронды соққы қолданылады. Бұл жағдайда плазмадағы бастапқы заттардың айналу дәрежесіне электрондардың температурасы мен концентрациясы айтарлықтай әсер етеді. Электрондық температура (T_e) – тепе-теңдіксіз электрон газындағы электрондардың жылдамдығы (энергия) бойынша таралу функциясын сипаттайтын температура өлшемі бар шама. Тепе-теңдіксіз плазмада электрон температурасы ион температурасынан айтарлықтай асып түседі (тепе-теңдік плазмада екі температура тең). Бұл ион мен электронның массасының айырмашылығына байланысты пайда болады, бұл энергия алмасу процесін қиындатады. Бұл жағдайда иондардың температурасы шамамен жүздеген, ал электрондар ондаған мың градус

шамасында болуы мүмкін. Плазмадағы электрондардың орташа температурасы 1 eU немесе 11600 K кем емес болғандықтан, плазманы инициациялау химиялық реакциялар барысында кинетикалық қиындықтарды жоюға мүмкіндік береді. Реактор қабырғаларының температурасы салыстырмалы түрде төмен (50-250°C) болып қалуы мүмкін. Жылулық әдістерді жүзеге асыру механизмдері классикалық Аррениус теңдеулеріне бағынады. Бұл модельге сәйкес, екі бастапқы заттардың арасындағы химиялық реакция тек осы заттардың молекулаларының соқтығысуы нәтижесінде болуы мүмкін. Бірақ әрбір соқтығыс химиялық реакцияға әкелмейді. Молекулалар әрекет ете бастауы үшін энергетикалық кедергіні жеңу керек. Белсенді соқтығыстар теориясына сәйкес химиялық реакцияның жылдамдығы температураға байланысты, бірақ бұл тәуелділік айтарлықтай әлсіз. Осылайша, PECVD әдістері синтезді реттейтін кем дегенде екі қосымша параметрге ие: температура және электрон концентрациясы, олардың өзгеруі берілген химиялық құрамы және құрылымдық біртектілігі бар материалдарды алуға мүмкіндік береді. Әдетте, плазмалық әдістер плазмалық қозу көзіне байланысты сараланады. Тәжірибеде плазмалық генераторларды – LF, HF, микротолқынды пешті немесе тұрақты тоқты (плазма арқылы күшейтілген химиялық будың тұндыру, RF/DC Sputtering) көмегімен алынған плазма немесе ортаның лазерлік сәулеленумен әрекеттесуі нәтижесінде алынған плазма (Ион сәулесі) депозит) пайдаланылады. Седиментация параметрлері Плазма (REM) Барлығы бірдей 0/0, + температура және электрон концентрациясы Жылулық (CVD) Субстрат температурасы, жүйедегі жалпы қысым, бастапқы заттардың ағынының жылдамдығы. CVD әдісі өтпелі металл халькогенидтерінің жоғары сапалы жұқа қабықшаларын синтездеу үшін ең әмбебап әдістердің бірі болып қала береді. Прекурсорларды, температураны және қысымды дұрыс таңдау белгілі бір қасиеттері бар материалдарды алуға мүмкіндік береді - электроника мен оптоэлектроника үшін бір қабатты пленкалардан бастап катализаторлар немесе батареялар үшін қалың қабаттарға дейін. Бірқатар техникалық қиындықтарға қарамастан, CVD негізгі артықшылығы - процестің басқарылуы және масштабталуы, сонымен қатар алынған материалдардың кристалдылығының жоғары дәрежесі. Осылайша, химиялық буларды тұндыру арқылы CPM синтезі наноэлектроника, оптика, спинтроника, энергетикалық және каталитикалық процестерде сұранысқа ие бірегей қасиеттері бар материалдарды өндіруге мүмкіндік беретін ғылыми зерттеулер мен өнеркәсіптік қолдану үшін бай мүмкіндіктер береді [49].

Өтпелі металды халькогенид негізіндегі материалдарды шашыратқыш пиролиз арқылы синтездеу - бұл прекурсорлық ерітіндіден (құрамында өтпелі металл катиондары мен халькогенид аниондары немесе олардың прекурсорлары бар) аэрозоль түзілетін және қыздырылған субстратқа немесе үстіңгі қабатқа шашатын көп сатылы процесс. Содан кейін термиялық ыдырау (пиролиз) арқылы қажетті құрамдағы пленка немесе ұнтақ алынады.

Спрей пиролиз әдісі өтпелі металдардың халькогенидтерін (сульфидтер, селенидтер, теллуридтер және олардың көпкомпонентті туындылары) синтездеуге кең мүмкіндіктер береді. Ол салыстырмалы қарапайымдылықты, жабдықтың төмен құнын және прекурсорларды таңдаудағы икемділікті біріктіреді. Дегенмен, жоғары сапалы және стехиометриялық бақыланатын материалдарды табысты өндірудің негізгі факторлары:

Прекурсорлар мен еріткіштерді мұқият таңдау;

Спрей температурасы мен аэрозоль беру жылдамдығын оңтайландыру;

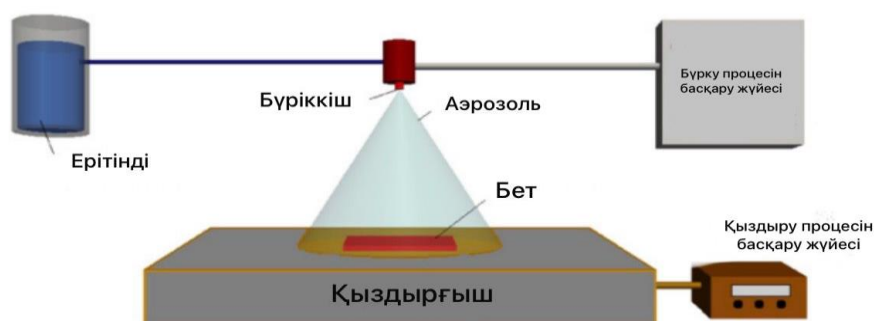
Біркелкі қыздыру және (қажет болған жағдайда) қосымша кейінгі өңдеу (жандандыру);

Пиролиз жүретін атмосфераны бақылау (ауадан арнайы газ қоспаларына дейін);

Жағдайларды дұрыс таңдаған кезде спрей пиролизі күн энергиясы, сенсорика, катализ және материалтану ғылымының басқа салаларында сұранысқа ие әртүрлі құрылым мен өлшемдегі халькогенидтердің жұқа қабықшалары мен наноұнтақтарын алуға мүмкіндік береді.

Қазіргі уақытта спрей пиролизі мөлдір өткізгіш оксидті қабықшаларды жасау үшін кеңінен қолданылады. Қарастырылып отырған әдіс алдын ала қыздырылған субстраттағы сұйық қоспада ерітілген металл қосылысының пиролизикалық ыдырауына негізделген. Сонымен бірге бу фазасында жанама өнімдер болып табылатын еріткіштер және басқа да ұшпа өнімдер шығарылады. Тасымалдаушы газ қысымы және бүріккіш саптаманың геометриялық өлшемдері шашылатын ерітіндінің тамшыларының мөлшерін анықтайтын факторлар болып табылады.

Спрей пиролиз әдісін жүзеге асыратын технологиялық қондырғының құрылымы суретте көрсетілген. Спрей пиролиз әдісі қолайлы температуралық жағдайларда (100-ден 500 ° C-қа дейінгі диапазонда) жүзеге асырылады және пленкаларды тек беріктігі жоғары материалдарға ғана емес қолдануға мүмкіндік береді.



5 сурет – Бүріккіш пиролиз әдісін жүзеге асыратын технологиялық қондырғының құрылымы [50]

Осылайша, атап өтілген артықшылықтарды ескере отырып, сондай-ақ өнеркәсіптік ауқымда жоғары өнімділікке байланысты, металл оксидтерінің жұқа қабықшаларын алу үшін аэрозольдық пиролизді қолданған жөн (I-VI, II-VI, III-VI топтар, IV-VI, V-VI, VIII-VI), бинарлық халькогенидтер (II-II-VI, II-III-VI, II-VI-VI топтар), үштік халькогенидтер (V-II-VI топтар). Спрей пиролиз әдісі асқын өткізгіштік қасиеті бар оксидті қабыршақтарды синтездеу, сондай-ақ көпкомпонентті, тотықсыз және композитті ұнтақтарды (кеуекті, сонымен қатар нанобөлшектерді) алу үшін перспективалы екенін атап өткен жөн.

Спрей пиролиз процесінде келесі негізгі кезеңдерден өтеді: еріткіш тамшының бетінен буланады, еріткіш бу тамшыға таралады, тамшының температурасы өзгереді, ал еріген зат тамшының ортасына қарай таралады. Пленканың стехиометриясы көп жағдайда қарастырылатын кезеңдерге байланысты. Аэрозольдік пиролиз процесінде технологиялық кезеңдерді ажыратқан жөн, олар бүріккіштен су ерітіндісін шашу, еріткіштің булану процесі, тұнбаның түзілуі және оның пиролизі, түзілу және қабықша түзілуі; Нәтижесінде субстратта жұқа пленка қабаты пайда болады.

Сонымен, түзілген жұқа қабықшалы құрылымның сапасы еріткіштің тамшылардан булану процесіне, заттың тамшының ортасына таралу процесіне және ерітінді тамшыларының температурасына байланысты.

2 ТӘЖІРИБЕЛІК БӨЛІМ

2.1 WS₂ негізіндегі материалдарды синтездеудің мақсаттары мен әдісін негіздеу

Өтпелі металл халькогенидті қосылыстар нанокұрылымды материалдар болып табылады және олардың бірегей электрлік, оптикалық және каталитикалық қасиеттерімен ерекшеленеді. Бұл материалдарды әртүрлі морфологияларда (наноұнтақтар, нанобөлшектер, нанотүтіктер) алуға болады. Гидротермиялық синтез мұндай нанокұрылымдарды алудың тиімді әдісі болып саналады.

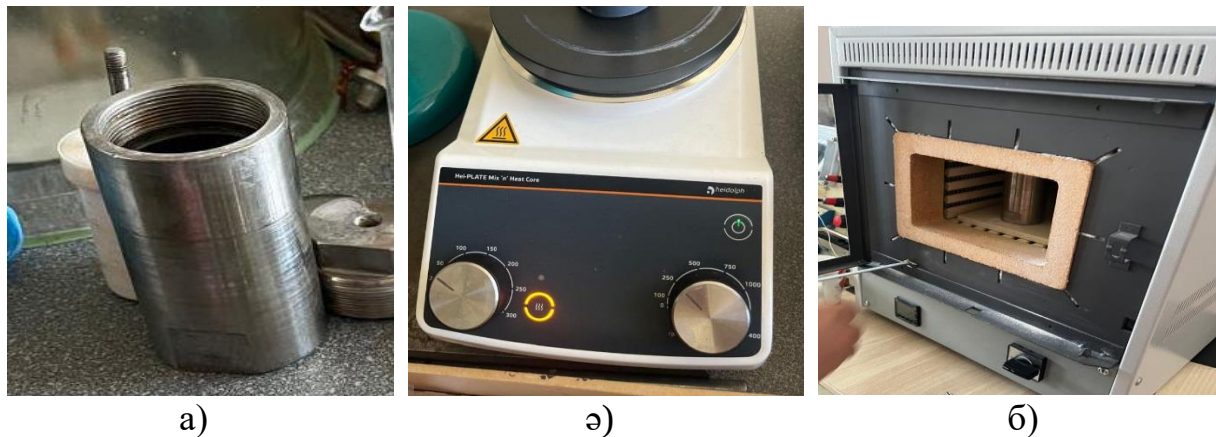
Осы жұмыстың мақсатына сәйкес өтпелі металл халькогенидті қосылыстардың нанокұрылымды түрлерін алу үшін гидротермиялық синтез әдісі таңдалды. Бұл әдісті таңдау себебі салыстырмалы түрде төмен температура мен қысымда әртүрлі морфологияның нанокұрылымдарын алу мүмкіндігі, сонымен қатар синтез процесінің қарапайымдылығы мен экологиялық қауіпсіздігі болып табылады. Бұл жұмыста өтпелі металл халькогенидті қосылыстар негізінде нанокұрылымды материалдар синтезделді. Синтезделген нанокұрылымды материалдардың құрылымдық және морфологиялық қасиеттерін зерттеу үшін қолданылған әдістер:

Сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) — материалдардың беткі морфологиясын, қабаттық құрылымын және бөлшектер өлшемін анықтауға мүмкіндік берді. СЭМ-нің артықшылығы — наноөлшемді құрылымдарды анықтау қабілеті, үлгінің үшөлшемді көрінісін алуға болады және беткі қабаттың морфологиялық анализін нақты жүргізе алуында. Сонымен қатар, энергия-дисперсиялық рентген спектроскопиясымен (EDX немесе EDS) бірге қолдану арқылы үлгінің элементтік құрамын да анықтауға болады.

Рентгендік дифракциялық талдау (X-ray Diffraction, XRD) — қатты заттардың кристалдық құрылымын зерттеудің кеңінен таралған әдістерінің бірі. Бұл әдіс рентген сәулелерінің кристалдық тормен өзара әрекеттесуіне негізделеді. Рентген сәулелері үлгіден өткен кезде олар кристалдық жазықтықтардан шашырап, интерференциялық максимумдар түзеді. Осы максимумдардың орналасуына және интенсивтілігіне қарай үлгінің фаза құрамын, тор параметрлерін, кристалдылық дәрежесін және бөлшектер өлшемін анықтауға болады. XRD әдісі бейорганикалық материалдардың кристалдық құрылымын зерттеуде өте тиімді. Бұл әдіс әсіресе көп фазалы жүйелерді талдау кезінде дәл әрі нақты ақпарат береді. Үлгідегі әрбір фаза белгілі бір дифракциялық үлгіге ие болғандықтан, талдау нәтижесінде үлгінің құрамындағы жеке фазаларды ажырату мүмкін болады. Сонымен қатар, алынған деректер арқылы кристалдық тордың деформациясы мен микрошоғырлануын да бағалауға болады.

2.2 Қолданылған құралдар мен жабдықтар

Осы жұмыс «Физика-техникалық институтта» жасалынды. Жұмысты істеу барысында қолданылған құралдар мен жабдықтар: автоклавты тефлон ыдыс, магнитті араластырғыш, кептіру пеші. (6- сурет)



6 сурет – Экспериментте қолданылған суреттер: а- гидротермальды синтезге арналған автоклав (тефлон лайнерімен), ә- магниттік араластырғыш, б- кептіру пеші

2.3 WS_2 нанокұрылымды материалдарын гидротермиялық әдіспен алу

Зерттеу жұмысы аясында вольфрам дисульфиді (WS_2) негізіндегі нанокұрылымды материалдарды синтездеу үшін гидротермиялық әдіс қолданылды. Бұл әдіс жабық жүйеде жоғары температура мен қысым жағдайында химиялық реакция жүргізуге мүмкіндік береді және төмен температуралық, экологиялық қауіпсіз синтез әдістерінің бірі болып табылады. Гидротермиялық синтез – бұл сулы ерітіндіде жоғары температура мен қысымда жүретін химиялық реакцияларға негізделген әдіс. Бұл тәсіл өтпелі металл халькогенидті қосылыстарды (мысалы, WS_2 , MoS_2 , Sb_2Se_3) қоса, нанокұрылымды материалдарды дайындау үшін қолданылады.

Синтез барысында бастапқы реагенттер ретінде вольфрам(VI) хлориді (WCl_6) және L-цистеин пайдаланылды. WCl_6 – вольфрам көзі, ал L-цистеин – күкірт көзі ретінде қызмет атқарды, сонымен қатар ол қосымша күрделілендіргіш (комплекс түзу) қызметін атқарып, реакция ортасының тұрақтылығын қамтамасыз етті.

Алдымен, 0,5 г WCl_6 дәл өлшеніп, 20 мл этанол еріткішінде ерітілді. Қоспа магниттік араластырғышта 150 айн/мин жылдамдықпен 30 минут бойы үздіксіз араластырылып, толық ерігенше өңделді. Бұл кезеңде толық гомогенизация мен бастапқы прекурсордың ерітінді түрінде біртекті таралуы қамтамасыз етілді.

Ерігеннен кейін, қоспаға 0,25 г L-цистеин ұнтағы біртіндеп қосылып, қоспа тағы да 30 минут бойы үздіксіз араластырылды. L-цистеиннің қосылуы нәтижесінде ерітіндінің түсі өзгеріп, реакциялық жүйеде металл-күкірт байланыстарының түзілуі басталды деп болжанды.

Дайындалған ерітінді гидротермиялық синтез үшін автоклав ішіндегі тефлон лайнерге (ішкі ыдысқа) құйылды. Автоклав герметикалық түрде жабылып, муфельді пешке 180°C температурада 24 сағатқа орналастырылды. Бұл кезеңде ерітіндіде термиялық ыдырау, күрделі реакциялар мен WS_2 фазасының түзілуі жүрді.



вольфрам(VI) хлориді
(WCl_6)



ә – L-цистеин
($C_3H_7NO_2S$)



б) магнитті
араластырғыштағы
қоспа

7 сурет – Ерітіндіге қажетті материалдар. а - вольфрам(VI) хлориді (WCl_6), ә – L-цистеин, б-магнитті араластырғыштағы қоспа.

2.4 Ерітіндіні СЭМ талдауына дайындау

Реакция уақыты аяқталған соң автоклав табиғи жолмен бөлме температурасына дейін салқындатылды. Қауіпсіздік шараларын сақтай отырып, ыдыс ашылып, алынған қара түсті қатты тұнба вакуумды сүзгіш арқылы сүзілді. Сүзінді бірнеше рет дистилденген сумен жуылып, ерітінді қалдықтарынан және реакция жанама өнімдерінен тазартылды.

Соңында алынған өнім 60°C температурада кептіргіш пеште тұрақты массаға дейін кептірілді. Кептірілген ұнтақ материал — әрі қарай

морфологиялық және құрылымдық талдауға арналған зерттеу нысаны ретінде пайдаланылды.



а) дистилденген сумен жуылған
тұнба



ә) кептірілген тұнба

8 сурет – Тәжірибе нәтижесінде алынған үлгі бейнесі

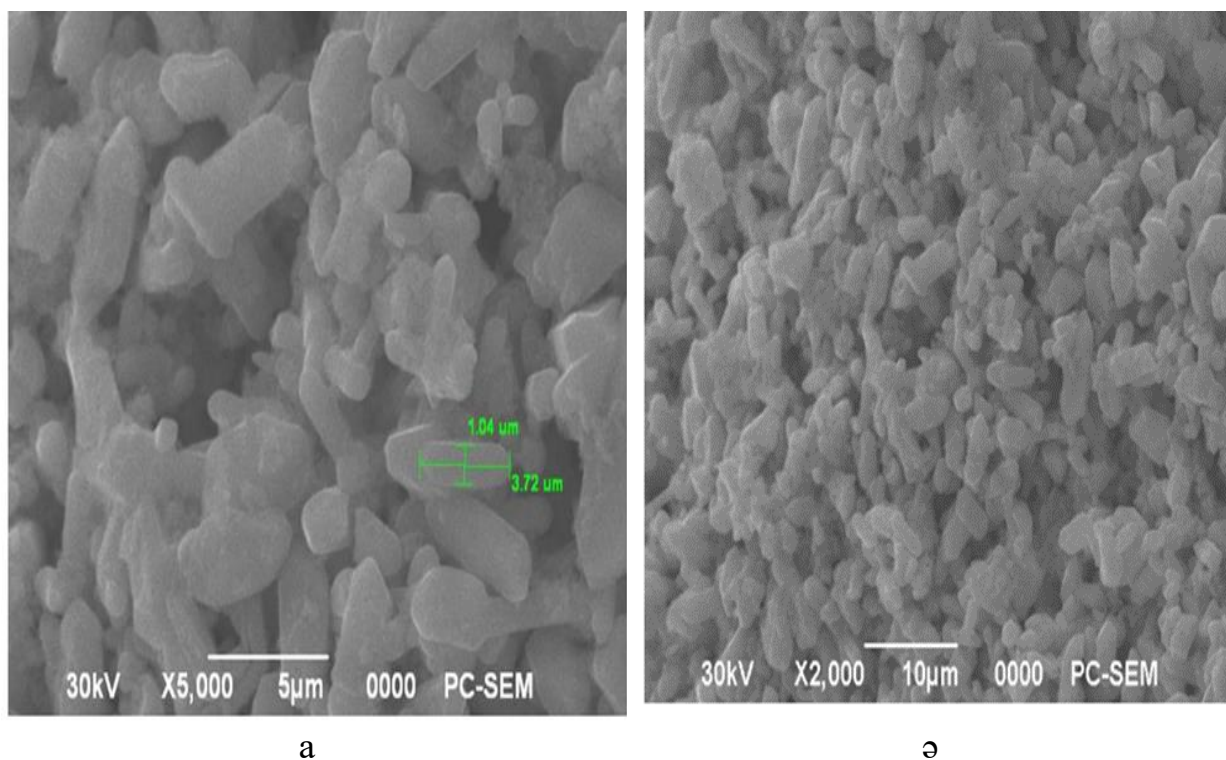
Тәжірибе нәтижесінде өтпелі металмен модификацияланған халькогенидті наноматериалдар алынды. Алынған материалдардың морфологиялық және құрылымдық ерекшеліктерін рентгендік дифракция (XRD), сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) және оптикалық спектроскопия әдістерімен зерттеулер жүргізілді. Бұл материалдар фотокатализ, сенсорлар, күн батареялары және жартылайөткізгіштік құрылғылар сияқты салаларда қолданылуы мүмкін. Болашақта синтез әдісін оңтайландыру және алынған наноматериалдардың қасиеттерін жақсарту бойынша қосымша зерттеулер жүргізіледі

3. НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ТАЛДАУ

3.1 Сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ) нәтижелері

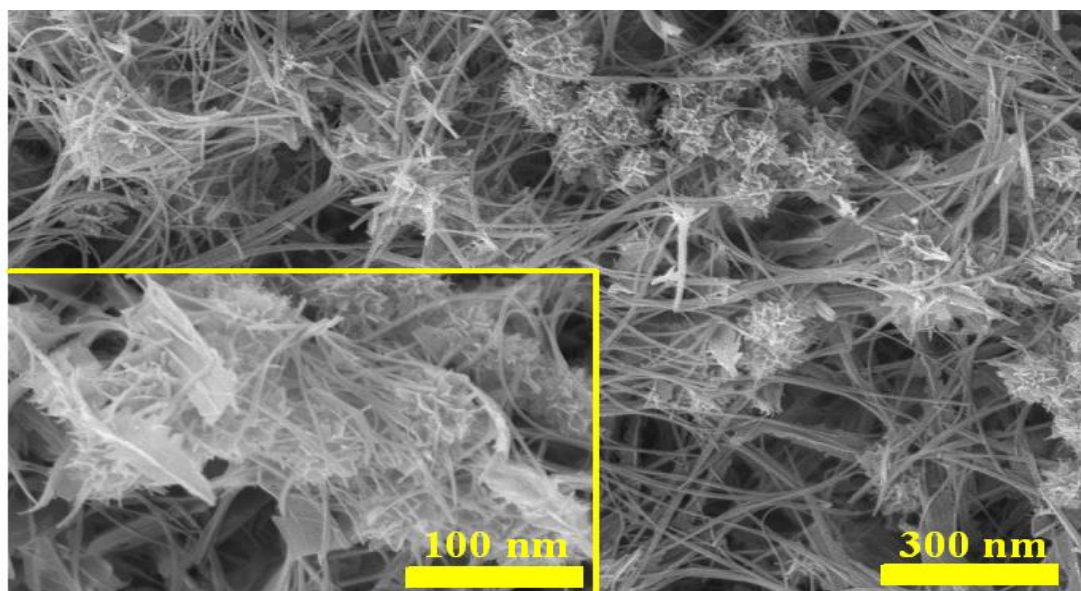
Осы жұмыста гидротермальды синтез әдісі арқылы алынған вольфрам дисульфиді (WS_2) нанокұрылымды материалдарының морфологиялық қасиеттерін зерттеу мақсатында сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) әдісі қолданылды. Бұл тәсіл материалдың беткі морфологиясын, бөлшек өлшемдерін және бөлшектердің пішіндерін анықтауға мүмкіндік береді. SEM әдісінің негізгі принципі — жоғары энергиялы электрондық сәуленің үлгінің беткі қабатымен әрекеттесуі нәтижесінде екінші реттік электрондардың шығуы.

Жұмыста алынған SEM бейнелерінде синтезделген вольфрам дисульфиді (WS_2) нанобөлшектерінің беткі құрылымы мен пішіндері анық көрінеді.

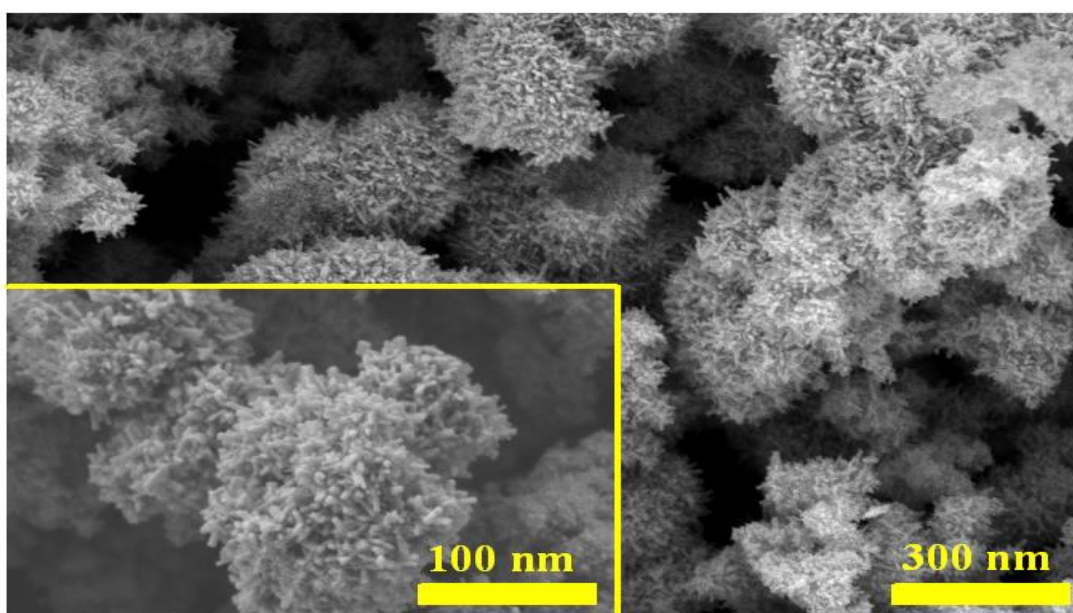


9 сурет – Золь-гель синтез арқылы алынған WS_2 нанобөлшектерінің SEM бейнесі (үлкейту: 5000×)

Бөлшектердің өлшемі 1–4 микрометр аралығында. Бұл бөлшектердің пішіні — таяқша тәрізді, және олар бір-бірімен тығыз байланысқан. Мұндай морфология — золь-гель әдісінде жоғары температурада күйдіру нәтижесінде пайда болады.



a)



ә)

10 сурет – Алынған үлгілердің СЭМ бейнелері:
а) WS_2 :цистеин қатынасы 1:2; ә) WS_2 :цистеин қатынасы 1:4

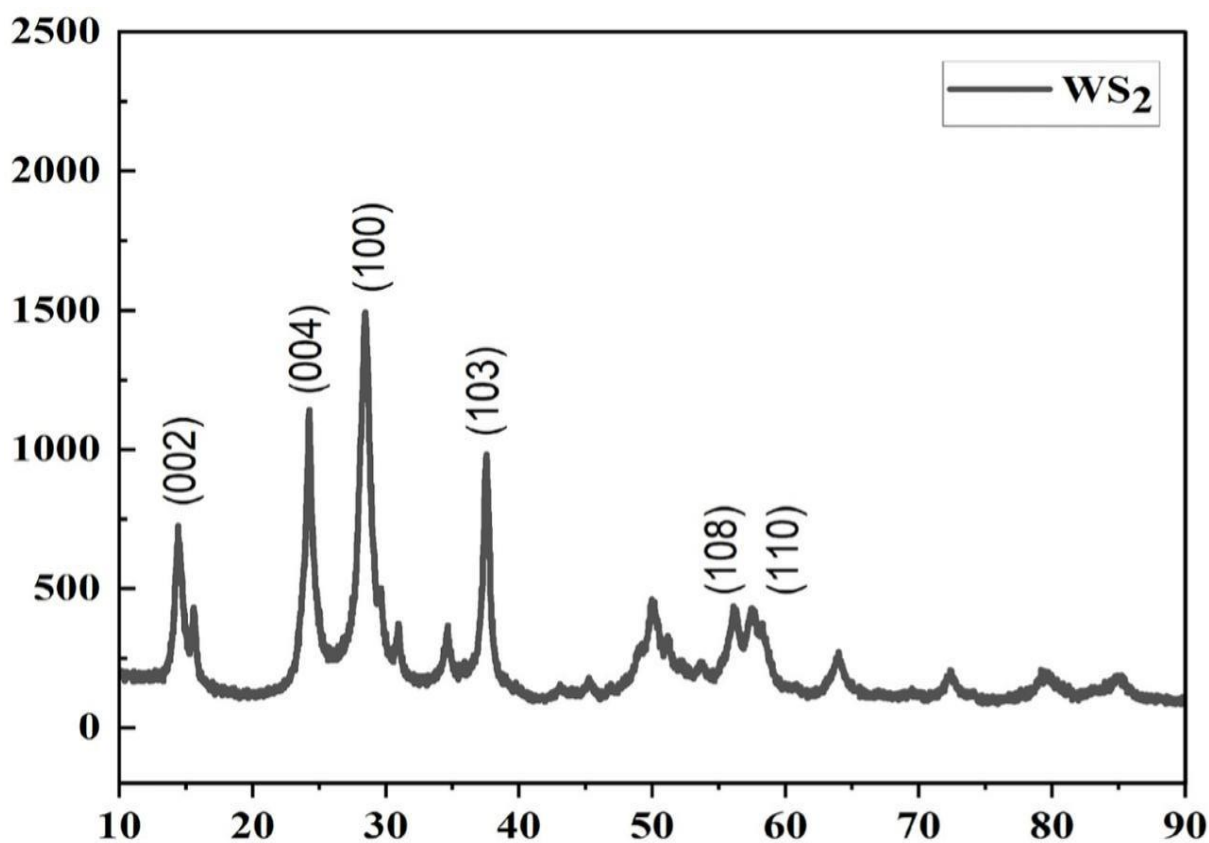
Екі түрлі қатынастағы гидротермиялық әдіспен алынған WS_2 наноматериал үлгілерінің SEM суреттері ұсынылған.

(а) суреті WS_2 :L-цистеиннің қатынасы 1:2 болған кездегі сурет. Мұнда талшықты, жіп тәрізді құрылымдар анық көрінеді, ал (ә) суретте 1:4 қатынасы бар үлгі көрсетілген, бұл жағдайда бөлшектер гүл тәрізді, тығыз үлгіні құрайды.

1:2 және 1:4 қатынасы синтезде қолданылатын реагенттердің сандық қатынасы болып табылады. Мұнда 1 вольфрамның көзі, ал 2 немесе 4 - L-цистеиннің мөлшері. Бұл қатынас өзгерген кезде алынған материалдың сыртқы түрі мен құрылымы да өзгереді.

Екі сурет те морфологияның өзгеріп жатқанын көрсетеді. Бұл реакцияға түсетін заттардың мөлшерін өзгерту арқылы бөлшектердің пішінін басқаруға болатынын дәлелдейді. Ең бастысы, гидротермиялық әдіспен алынған WS_2 материалының бөлшектерінің мөлшері нанометрлік деңгейде. Яғни, бұл әдіс өтпелі металдармен халькогенидті наноматериалдарды тиімді алуға болатынын көрсетеді.

3.2 WS_2 материалының рентгендік дифракциялық (XRD) талдауы



11 сурет – WS_2 үшін рентгенограмма, цистеин қатынасы 1:2

WS_2 материалының рентгендік дифракция (XRD) нәтижесі, яғни рентгенограмма көрсетілген. Бұл әдіс материалдың кристалдық құрылымын зерттеу үшін қолданылады. Басқаша айтқанда, XRD арқылы біз материал ішіндегі атомдардың қалай орналасқанын, қандай фаза түзілгенін анықтаймыз.

Графиктегі негізгі шыңдар (пиктер) — (002), (004), (100), (103), (108), (110) жазықтықтарына сәйкес келеді. Бұл шыңдар WS_2 материалының 2H-

фазасына тән екенін көрсетеді. Бұл нәтижелер WS_2 материалының 2H-фазада, яғни гексагональды қабаттық құрылымда түзілгенін көрсетеді.

Жалпы, бұл XRD нәтижесі гидротермиялық әдістің тиімді екенін және алынған WS_2 материалының сапасы жоғары екенін дәлелдеп отыр.

Сонымен қатар, шыңдардың анық және айқын болуы — алынған материалдың жақсы кристалданғанын көрсетеді.

Бұл дегеніміз, біздің синтез әдісіміз арқылы алынған WS_2 материалы таза фазаға ие, әрі құрылымдық жағынан тұрақты болған.

ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл дипломдық зерттеу жұмысы өтпелі металл халькогенидтерінің негізінде нанокұрылымды материалдарды синтездеуге және олардың құрылымдық-физикалық қасиеттерін кешенді зерттеуге арналған. Атап айтқанда, зерттеу барысында вольфрам дисульфиді (WS_2) негізіндегі наноматериалдарды алу мақсатында вольфрам хлориді (WCl_6) мен L-цистеин прекурсорлары қолданылды. Бұл таңдалған жүйе – металл мен күкірт элементтерін бір уақытта тасымалдай алатын, төмен температуралық синтез үшін қолайлы және экологиялық жағынан салыстырмалы түрде қауіпсіз комбинация болып табылады.

WS_2 – қабаттық құрылымды, ерекше физико-химиялық сипаттамаларға ие екіөлшемді материал. Ол өзінің жартылай өткізгіштік қасиеттерімен, жоғары химиялық және термиялық тұрақтылығымен қазіргі заманғы оптоэлектроника, фотоника, сенсорика және жасыл энергетика салаларында кеңінен зерттеліп келеді.

Жүргізілген синтез нәтижесінде WS_2 негізіндегі нанокұрылымды материалдар сәтті алынды. Синтез процесі бірқатар параметрлермен (температура, прекурсор концентрациясы, реакция уақыты) оңтайландырылды. Алынған үлгілердің морфологиясы сканерлеуші электронды микроскопия (SEM) әдісі арқылы зерттелді. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей, алынған материалдардың беткі құрылымы айқын көрінетін дәнді, қабыршақты және қабаттық пішінде қалыптасқан. Бұл морфологиялық құрылым WS_2 -ның типтік қабаттық табиғатын дәлелдейді және оны екіөлшемді наноматериал ретінде сипаттайды.

Сонымен қатар, алынған материалдардың кристалдық құрылымын сипаттау мақсатында рентгенфазалық талдау (XRD) жүргізілді. Бұл әдіс материалдардың фазалық құрамын, кристалдық тор параметрлерін және кристалдылық дәрежесін анықтауға мүмкіндік берді. XRD нәтижелері бойынша үлгілерде WS_2 -ге тән гексагональды құрылым анықталды. Бұл синтездің сәтті өткенін және қажетті фаза түзілуінің жүзеге асқанын растады.

Алынған деректердің негізінде вольфрам хлориді мен L-цистеин негізінде WS_2 нанокұрылымды материалдарын алу технологиясының тиімділігі мен болашағы көрсетілді. Жоғары кристалдылық пен морфологиялық біртектілік материалдың оптикалық және электрлік қасиеттерін жақсартуға тікелей ықпал етеді. Бұл өз кезегінде алынған WS_2 материалдарының күн элементтерінде, жарық сенсорларында, фотокатализ процестерінде және энергия жинақтау құрылғыларында қолдану мүмкіндігін кеңейтеді.

Осылайша, зерттеу нәтижелері өтпелі металдардың халькогенидтерін экологиялық таза және тиімді әдістермен алу мүмкіндігін дәлелдеді. Вольфрам дисульфиді негізіндегі наноқабықшалар мен ұнтақ материалдар – қазіргі және келешектегі жоғары технологиялық қолданбалар үшін үлкен перспективаларға ие. Бұл жұмыс болашақ зерттеулерге, оның ішінде синтезді

оңтайландыру, функционалдық қасиеттерді жетілдіру және нақты құрылғыларда қолдану бойынша жаңа бағыттарға жол ашады.

ҚЫСҚАРТЫЛҒАН СӨЗДЕР

TMDs—(Transition Metal Dichalcogenides) (өтпелі металл дихалькогениді)

СЭМ – Сканирующая электронная микроскопия

XRD (X-ray Diffraction) — рентгеновская дифракция

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЭБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Manzeli, S., Ovchinnikov, D., Pasquier, D., Yazyev, O. V. Kis, A. 2D transition metal dichalcogenides //Nature Reviews Materials. – 2017. – Т. 2. – №. 8. – С. 1-15
2. Wang, Q. H., Kalantar-Zadeh, K., Kis, A., Coleman, J. N., Strano, M. S. Electronics and optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides //Nature nanotechnology. – 2012. – Т. 7. – №. 11. – С. 699-712.
3. Jariwala, D., Sangwan, V. K., Lauhon, L. J., Marks, T. J. & Hersam, M. C. Emerging device applications for semiconducting two-dimensional transition metal dichalcogenides //ACS nano. – 2014. – Т. 8. – №. 2. – С. 1102-1120.
4. Mounet, N., Gibertini, M., Schwaller, P., Campi, D., Merkys, A. Two-dimensional materials from high-throughput computational exfoliation of experimentally known compounds //Nature nanotechnology. – 2018. – Т. 13. – №. 3. – С. 246-252.
5. Kau A.B. Two-dimensional layered materials: Structure, properties, and prospects for device applications //Journal of Materials Research. – 2014. – Т. 29. – №. 3. – С. 348-361.
6. Ан В.В. Закономерности получения наноструктурных оксидов и халькогенидов металлов (Cu, Zn, Sn, Mo, W) и материалы на их основе для триботехники и фотовольтаики: дисс.... доктора хим. наук //Томск: НИТПУ. – 2019
7. Mizuguchi Y., Takano Y., Review of Fe chalcogenides as the simplest Fe-based superconductor //Journal of the Physical Society of Japan. – 2010. – Т. 79. – №. 10. – С. 102001.
8. Zhang X., Teng S.Y., Loy A.C.M., How B.S., Leong W.D., Tao X. Transition metal dichalcogenides for the application of pollution reduction: A review //Nanomaterials. – 2020. – Т. 10. – №. 6. – С. 1012.
9. Wahid, F., Ali, S., Ismail, P. M., Raziq. Metal single atom doped 2D materials for photocatalysis: Current status and future perspectives //Progress in Energy. – 2022. – Т. 5. – №. 1. – С. 012001.
10. Manzeli S., Ovchinnikov D., Pasquier D., Yazyev O.V., Kis A. 2D transition metal dichalcogenides //Nature Reviews Materials. – 2017. – Т. 2. – №. 8. – С. 1-15.
11. Selezneva N.V., Baranov N.V., Pleshchev V.G., Mushnikov N.V., Maksimov V.I. Magnetic state and properties of the Fe_{0.5}TiSe₂ intercalation compound //Physics of the Solid State. – 2011. – Т. 53. – С. 329-336.
12. Baranov N.V., Sherokalova E.M., Selezneva N.V., Proshkin A.V., Gubkin A.F., Keller L., Volegov A. S., Proskurina E.P. Magnetic order, field-induced phase transitions and magnetoresistance in the intercalated compound Fe_{0.5}TiS₂ //Journal of Physics: Condensed Matter. – 2013. – Т. 25. – №. 6. – С. 066004.
13. Baranov, N. V., Ibrahim, P. N. G., Selezneva, N. V., Gubkin, A. F., Volegov, A. S., Shishkin, D. A., Layer-preferential substitutions and magnetic

properties of pyrrhotite-type $\text{Fe}_{7-y}\text{MyX}_8$ chalcogenides ($\text{X} = \text{S, Se}$; $\text{M} = \text{Ti, Co}$) //Journal of Physics: Condensed Matter. – 2015. – T. 27. – №. 28. – C. 286003.

14. Cherusseri J. Choudhary N. Kumar K. S. Jung Y. Thomas J. Nanoscale Horiz. Recent trends in transition metal dichalcogenide based supercapacitor electrodes //Nanoscale Horizons. – 2019. – T. 4. – №. 4. – C. 840-858

15. Bissett M. A. Worrall S. D. Kinloch I. A. Dryfe R. A. W. Electrochim. Comparison of two-dimensional transition metal dichalcogenides for electrochemical supercapacitors //Electrochimica Acta. – 2016. – T. 201. – C. 30-37.

16. Xia H. Xu Q. Zhang J. Nano-Micro Lett. Recent progress on two-dimensional nanoflake ensembles for energy storage applications //Nano-micro letters. – 2018. – T. 10. – C. 1-30.

17. Ramasamy K. Gupta R. K. Palchoudhury S. Ivanov S. Gupta A. Layer-Structured copper antimony chalcogenides ($\text{CuSbSe}_x\text{S}_{2-x}$): stable electrode materials for supercapacitors //Chemistry of Materials. – 2015. – T. 27. – №. 1. – C. 379-386.

18. Kim J, Heo K, Kang DH, et al. Rhenium diselenide (ReSe_2) near-infrared photodetector: performance enhancement by selective p-doping technique //Advanced Science. – 2019. – T. 6. – №. 21. – C. 1901255.

19. Wang Q, Zhang Q, Zhao X, et al. High-energy gain upconversion in monolayer tungsten disulfide photodetectors //Nano Letters. – 2019. – T. 19. – №. 8. – C. 5595-5603.

20. Lee JB, Lim YR, Katiyar AK, et al. Direct synthesis of a self-assembled $\text{WSe}_2/\text{MoS}_2$ heterostructure array and its optoelectrical properties //Advanced Materials. – 2019. – T. 31. – №. 43. – C. 1904194.

21. Kim H, Ahn GH, Cho J, et al. Synthetic WSe_2 monolayers with high photoluminescence quantum yield //Science advances. – 2019. – T. 5. – №. 1. – C. eaau4728.

22. Sahoo PK, Memaran S, Nugera FA, et al. Bilayer lateral heterostructures of transition-metal dichalcogenides and their optoelectronic response //ACS nano. – 2019. – T. 13. – №. 11. – C. 12372-12384.

23. Yang S, Cha J, Kim JC, et al. Monolithic interface contact engineering to boost optoelectronic performances of 2D semiconductor photovoltaic heterojunctions //Nano letters. – 2020. – T. 20. – №. 4. – C. 2443-2451.

24. Andrzejewski D, Myja H, Heuken M, et al. Scalable large-area p-i-n light-emitting diodes based on WS_2 monolayers grown via MOCVD //ACS Photonics. – 2019. – T. 6. – №. 8. – C. 1832-1839.

25. Lu GZ, Wu MJ, Lin TN, et al. Electrically pumped white-light-emitting diodes based on histidine-doped MoS_2 quantum dots //Small. – 2019. – T. 15. – №. 30. – C. 1901908.

26. Rao G, Wang X, Wang Y, et al. Two-dimensional heterostructure promoted infrared photodetection devices //InfoMat. – 2019. – T. 1. – №. 3. – C. 272-288.

27. Fang J, Zhou Z, Xiao M, et al. Recent advances in low-dimensional semiconductor nanomaterials and their applications in high-performance photodetectors //InfoMat. – 2020. – T. 2. – №. 2. – C. 291-317.
28. Zhao H, Guo Q, Xia F, et al. Two-dimensional materials for nanophotonics application //Nanophotonics. – 2015. – T. 4. – №. 2. – C. 128-142.
29. Tian H, Chin ML, Najmaei S, et al. Optoelectronic devices based on two-dimensional transition metal dichalcogenides //Nano Research. – 2016. – T. 9. – C. 1543-1560.
30. Cao T, Wang G, Han W, et al. Valley-selective circular dichroism of monolayer molybdenum disulphide //Nature communications. – 2012. – T. 3. – №. 1. – C. 887.
31. Li A, Chen Q, Wang P, et al. Ultrahigh-sensitive broadband photodetectors based on dielectric shielded MoTe₂/Graphene/SnS₂ p–g–n junctions //Advanced Materials. – 2019. – T. 31. – №. 6. – C. 1805656.
32. Kang DH, Pae SR, Shim J, et al. An ultrahigh-performance photodetector based on a perovskite–transition-metal-dichalcogenide hybrid structure //Advanced Materials. – 2016. – T. 28. – №. 35. – C. 7799-7806.
33. Erkiłiç U, Solís-Fernández P, Ji HG, et al. Vapor phase selective growth of two-dimensional perovskite/WS₂ heterostructures for optoelectronic applications //ACS Applied Materials & Interfaces. – 2019. – T. 11. – №. 43. – C. 40503-40511.
34. Reese MO, Glynn S, Kempe MD, et al. Increasing markets and decreasing package weight for high-specific-power photovoltaics //Nature Energy. – 2018. – T. 3. – №. 11. – C. 1002-1012.
35. Mak KF, Lee C, Hone J, et al. Atomically thin MoS₂: a new direct-gap semiconductor //Physical review letters. – 2010. – T. 105. – №. 13. – C. 136805.
36. Splendiani A, Sun L, Zhang Y, et al. Emerging photoluminescence in monolayer MoS₂ //Nano letters. – 2010. – T. 10. – №. 4. – C. 1271-1275.
37. Jariwala D, Davoyan AR, Wong J, Atwater HA. Van der Waals materials for atomically-thin photovoltaics: promise and outlook //Acs Photonics. – 2017. – T. 4. – №. 12. – C. 2962-2970.
38. Yang Z, Liao L, Gong F, et al. WSe₂/GeSe heterojunction photodiode with giant gate tunability //Nano Energy. – 2018. – T. 49. – C. 103-108.
39. Liao W, Huang Y, Wang H, Zhang H. Van der Waals heterostructures for optoelectronics: Progress and prospects //Applied Materials Today. – 2019. – T. 16. – C. 435-455.
40. Wang B, Locozzia J, Zhang M, et al. The charge carrier dynamics, efficiency and stability of two-dimensional material-based perovskite solar cells //Chemical Society Reviews. – 2019. – T. 48. – №. 18. – C. 4854-4891.
41. Scharber MC, Wuhlbacher D, Koppe M, et al. Design rules for donors in bulk-heterojunction solar cells—Towards 10% energy-conversion efficiency //Advanced materials. – 2006. – T. 18. – №. 6. – C. 789-794.

42. Sheng Y, Chen T, Lu Y, et al. High-performance WS₂ monolayer light-emitting tunneling devices using 2D materials grown by chemical vapor deposition //ACS nano. – 2019. – T. 13. – №. 4. – C. 4530-4537.
43. Andrzejewski D, Hopmann E, John M, et al. WS₂ monolayer-based light-emitting devices in a vertical p–n architecture //Nanoscale. – 2019. – T. 11. – №. 17. – C. 8372-8379.
44. Liu CH, Clark G, Fryett T, et al. Nanocavity integrated van der Waals heterostructure light-emitting tunneling diode //Nano letters. – 2017. – T. 17. – №. 1. – C. 200-205.
45. Zhu Y, Li Z, Zhang L. High-efficiency monolayer molybdenum ditelluride light-emitting diode and photodetector //ACS applied materials & interfaces. – 2018. – T. 10. – №. 50. – C. 43291-43298.
46. Wang C, Kang Z, Zheng Z. Monolayer MoSe₂/NiO van der Waals heterostructures for infrared light-emitting diodes //Journal of Materials Chemistry C. – 2019. – T. 7. – №. 43. – C. 13613-13621
47. Chhowalla M., Shin H.S., Eda G., Li L.-J., Loh K.P., Zhang H. The chemistry of two-dimensional layered transition metal dichalcogenide nanosheets //Nature chemistry. – 2013. – T. 5. – №. 4. – C. 263-275.
48. Eftekhari A., Garcia H. Electrochemical and catalytic properties of MoS₂: from energy storage to hydrogen evolution // Materials Today Chemistry //Materials Today. – 2017. – T. 4. – C. 117e132
49. Yadav S., Yashas S. R., Shivaraju H. P. Transitional metal chalcogenide nanostructures for remediation and energy: a review //Environmental Chemistry Letters. – 2021. – T. 19. – №. 5. – C. 3683-3700.
50. Patil P. S. Versatility of chemical spray pyrolysis technique //Materials Chemistry and physics. – 1999. – T. 59. – №. 3. – C. 185-198.

**International Scientific Conference of Students and Young Scientists
«FARABI ALEMI»**

ӘОЖ 620.5

**ӨТПЕЛІ МЕТАЛДАР НЕГІЗІНДЕГІ ХАЛЬКОГЕНИДТІ НАНОМАТЕРИАЛДАРДЫ
ГИДРОТЕРМАЛДЫҚ ӘДІСПЕН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН
ЗЕРТТЕУ**

Тәсібек А.¹, Жумадилова А.¹

Ғылыми жетекші: Кемелбекова А.Е.

¹ Қ.И Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ, ЖШС ФТИ, Алматы, Қазақстан

e-mail: a.kemelbekova@sci.kz

Өтпелі металдар негізіндегі халькогенидті наноматериалдар қазіргі таңда жартылайөткізгіштік, фотокаталитикалық және термоэлектрлік қасиеттеріне байланысты кеңінен зерттеліп келеді [1]. Мұндай материалдар күн батареялары, сенсорлар, фотодетекторлар және катализ сияқты салаларда үлкен қолданысқа ие. Әртүрлі синтез әдістерінің ішінде гидротермалдық әдіс – қарапайым әрі тиімді тәсілдердің бірі. Бұл әдіс арқылы жоғары сапалы наноматериалдарды салыстырмалы түрде төмен температурада және қысым жағдайында алуға болады. Осы зерттеуде сурьма (III) хлориді (SbCl_3) мен селен (Se) негізінде халькогенидті наноқұрылымдарды синтездеу қарастырылды.

Зерттеу барысында сурьма (III) хлориді мен селен қолданылды. Алдымен, 0,5 г SbCl_3 20 мл дистилденген суда ерітіліп, магниттік араластырғышта 150 айн/мин жылдамдықпен 30 минут бойы үздіксіз араластырылды. Толық ерігеннен кейін, ерітіндіге 0,25 г селен ұнтағы қосылып, қоспа тағы да 30 минут бойы үздіксіз араластырылды. Дайындалған ерітінді гидротермалдық өңдеу үшін автоклавтың тефлон ыдысына құйылып, құрылғы мұқият жабылып, 180°C температурада 24 сағат бойы қыздырылатын пешке орналастырылды. Осы уақыт ішінде автоклав ішінде жоғары қысым мен температураның әсерінен қажетті наноқұрылымдардың түзілуіне алып келетін химиялық реакциялар жүзеге асты.

Тәжірибе нәтижесінде өтпелі металмен модификацияланған халькогенидті наноматериалдар алынды. Алынған материалдардың морфологиялық және құрылымдық ерекшеліктерін рентгендік дифракция (XRD), сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) және оптикалық спектроскопия әдістерімен зерттеулер жүргізілді. Бұл материалдар фотокатализ, сенсорлар, күн батареялары және жартылайөткізгіштік құрылғылар сияқты салаларда қолданылуы мүмкін. Болашақта синтез әдісін оңтайландыру және алынған наноматериалдардың қасиеттерін жақсарту бойынша қосымша зерттеулер жүргізіледі.

Алғыс: Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің қаржылық қолдауымен BR21881954 «Тиімді фотокаталитикалық электродтарды, фото және газға сезімтал сенсорларды жасау үшін наноқұрылымды материалдарды синтездеу технологияларын әзірлеу» жөніндегі кешенді көп мақсатты бағдарламасы аясында жүргізілді.

Әдебиеттер

1. Chhowalla, M., Shin, H. S., Eda, G., Li, L. J., Loh, K. P., & Zhang, H. (2013). The chemistry of two-dimensional layered transition metal dichalcogenide nanosheets // *Nature Chemistry*, 5(4), 263–275. <https://doi.org/10.1038/nchem.1589>
2. Wang, Q. H., Kalantar-Zadeh, K., Kis, A., Coleman, J. N., & Strano, M. S. (2012). Electronics and optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides // *Nature Nanotechnology*, 7(11), 699–712. <https://doi.org/10.1038/nnano.2012.193>
3. Eda, G., & Maier, S. A. (2013). Two-dimensional crystals: Managing light for optoelectronics // *ACS Nano*, 7(7), 5660–5665. <https://doi.org/10.1021/nn403159y>