

«БД071900 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»
мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін
диссертациялық жұмысқа

АНДАТПА

ХАНИЕВ БАҚЫТ АБАЙҰЛЫ

ФОТОН ӘСЕРІ БАР КЕЗДЕГІ ШАЛАӨТКІЗГІШТІК ГАЗ СЕНСОРЛАРЫНЫҢ ЭЛЕКТРЛІК СИПАТТАМАЛАРЫ

Диссертациялық жұмыс қатты денелік электрониканың құрылғысы болып табылатын полярлы және полярлы емес газ түрлеріне сезімталдығы жоғары электрондық газ сенсорларының сезімтал элементі ретінде қолданылатын электрохимиялық жеміру әдісімен алынған нанокұрылымды кеуекті кремний (КК) мен оның бетінде магнетрондық тозаңдату технологиясымен өсірілген металл-оксидтік шалаөткізгіштер (МОШ) мен химиялық әдіспен орнатылған никель қабатынан тұратын гетероөткелдік материалдардың электрлік және оптикалық сипаттамаларын зерттеуге, сондай-ақ жарық фотондарының әсерінен олардың электрлік сипаттамаларының өзгерісін зерттеуге арналған.

Зерттеудің өзектілігі

Қазіргі кезде өндірістік технологиялар мен процесстерді автоматтандырудың дамуы, адам денсаулығы мен қоршаған ортаны қорғауға деген талаптардың жоғарылауы газ сенсорларына деген сұраныстың айтарлықтай артуына алып келді. Қоршаған ортадағы ауа құрамын талдау және белгілі бір газ түрінің концентрациясын нақты анықтау үшін қолданылатын басқару және бақылау жүйелері, негізінен, газ сенсорынан, аналогтық-сандық түрлендіргіштен, ауа құрамы жөніндегі ақпаратты сандық өңдеу үшін қолданылатын микропроцессордан және электрондық дисплейден тұрады. Сонымен қатар, қажет болған жағдайда мұндай жүйелер алыстан басқару және бақылауды жүзеге асыру үшін сымсыз байланыс жүйелерімен жабдықталуы мүмкін. Аталған құрылғылардың негізгі қолданыс аймағына өнеркәсіптік кәсіпорындар, зауыттар, шахталар, өндірістік қауіпсіздік қызметтері және адам көп жиналатын орындарды жатқызуға болады.

Сезімтал элемент – электрондық газ сенсорының негізгі өлшеуіш компоненті болып табылады. Көп жағдайда газ сенсорларының негізгі сезімтал элементі ретінде ZnO, SnO₂, TiO₂, In₂O₃, WO₃ және MoS₂ сияқты МОШ-тер қолданылады. Сонымен қатар, органикалық қосылыстарға негізделген газ сенсорлары, оптикалық сенсорлар, көміртек нанотүтіктері (КНТ) мен шалаөткізгіштік нанокұрылымдарға негізделген материалдардың әртүрлі газ сенсорлары ретінде қолданылу мүмкіндіктерін зерттеу бойынша көптеген жұмыстар жарық көрген. Дегенмен, практикада кең таралған МОШ-ге негізделген газ сенсорлары көп жағдайда 150-300°C аралығындағы жоғары

температураларда жұмыс жасайды, сәйкесінше, көп энергия тұтынуды қажет етеді және кейбір газ түрлеріне селективтілік пен сезімталдығы төмен болады. Сонымен қатар, заманауи кремнийге негізделген электрондық құрылғылармен үйлесімділігі нашар және дайындау технологиясы күрделі болып келеді. Осылайша, бөлме температурасында МОШ-ге негізделген газ сенсорларының көмегімен зиянды газдарды мониторинг жасауды күрделі тапсырма деп санауға болады.

Фракталдық құрылымға байланысты беттік ауданының үлкен болуы, материал бетінің химиялық активтілігі, алыну технологиясының күрделі еместігі, сондай-ақ ерекше оптикалық, электрлік және құрылымдық қасиеттерге ие болуы КК материалын газ сенсорлар технологиясында сезімтал элемент ретінде қолдану үшін перспективті материал етеді. Сонымен қатар, кремнийлік наноқұрылымдарды газ сенсоры ретінде қолданудың тағы бір артықшылығы – заманауи электроникамен үйлесімдігі. КК-дің белгілі бір газ түрлеріне сезімталдығы жоғары болғанымен, оның бетінің тез қышқылдануынан, тұрақтылығы төмен болады. Сондықтан, қатты денелік электрониканың өндірістік қолданбалары үшін КК мен МОШ-тен тұратын материалды қолдану арқылы электрондық газ сенсорларының анықталуы қиын газ түрлеріне сезімталдығы мен селективтілік сипаттамаларын арттыруға болады. Тәжірибелік зерттеу нәтижелері зерттелген үлгілердің бөлме температурасында зиянды газдарды 0.1 ppm концентрацияға дейін анықтай алатындығын көрсетті. Бұл нәтижелер әртүрлі зиянды және қауіпті газдар үшін жоғары сезімтал және экономикалық үнемді электрондық сенсорларды жасау мүмкіндігін көрсетеді. Сезімтал элементтерді алу үшін және олардың электрлік, морфологиялық және оптикалық сипаттамаларын зерттеу үшін радиотехника мен электрониканың жоғары технологиялық құралдары мен процесстері қолданылды.

Осылайша, наноөлшемді шалаөткізгіш материалдардың электрлік, оптикалық және морфологиялық қасиеттерін зерттеу, сондай-ақ олардың негізіндегі полярлы және полярлы емес газдардың электрондық газ сенсорларының сезімталдығын, селективтілігін арттыру электроникада маңызды практикалық мәнге ие өзекті мәселеле болып табылады.

Жұмыстың мақсаты

Наноқұрылымды КК мен бетіне МОШ, металл қабаты орнатылған КК-дің электрлік, оптикалық, морфологиялық сипаттамаларын зерттеу, олардың негізінде полярлы және полярлы емес газ түрлеріне сезімталдығы жоғары және селективті электрондық газ сенсорын жасау.

Зерттеу нысандары

Наноөлшемді КК, CuO/КК, WO₃/КК, Ni/КК.

Зерттеу пәні

КК-дің, шалаөткізгіштік гетероқұрылымдардың жарық әсерінен электрлік өткізгіштігінің өзгерісі, КК, МОШ/КК материалдарының негізінде дайындалған электрондық сенсорлардың сезімталдығы.

Зерттеу әдістері

КК үлгілерін алудың электрохимиялық жеміру әдісі, МОШ-ді КК бетіне орнатудың магнетрондық тозаңдату әдісі, металл қабатын орнатудың химиялық әдісі, эксперименттік және аналитикалық әдістер.

Жұмыстың мақсатына жету үшін келесідей **міндеттер** қойылды:

1. Электрондық құрылғылар мен жоғары технологиялық процесстердің көмегімен электрохимиялық жеміру әдісімен КК үлгілерін алу, магнетрондық тозаңдату әдісімен КК бетіне МОШ-ді орнату, химиялық әдіспен КК бетіне никель қабатын отырғызу;

2. Үлгілердің морфологиялық, оптикалық, электрлік қасиеттерін зерттеу және үлгілердің электрлік қасиеттеріне жарық фотондарының әсерін зерттеу;

3. Шалаөткізгіштік наноқұрылымдардың аммиак, этанол, толуол, хлороформ буларын сезу қабілетін зерттеу және алынған сезімтал материалдар негізінде электрондық газ сенсорын дайындау;

Диссертациялық жұмыстың **жаңалығы** мен ерекшелігі, **алғаш рет**:

1. КК-ге негізінде жасалған электрондық газ сенсорының электрлік сипаттамаларының сезімталдығы ең жоғары болатындай КК-ді электрохимиялық жемірудің тиімді параметрлері анықталды.

2. КК бетін металл қабатымен жабу және МОШ-н орнату арқылы электрондық газ сенсорларының полярлы және полярлы емес газдарға сезімталдығы мен селективтілігінің артатындығы эксперимент жүзінде көрсетілді.

3. КК, CuO/КК, WO₃/КК шалаөткізгіштік материалдарының вольт-амперлік сипаттамаларындағы (ВАС) бейсызық гистерезистік құрылымға бөлме жағдайында және жарық фотоны әсер еткен жағдайда сандық талдау жасалды.

Қорғауға арналған негізгі тұжырымдар

1. Электрохимиялық жолмен $j = 5 \text{ мА/см}^2$, $U = 30 \text{ В}$, $t = 40 \text{ мин}$ (72 % кеуектілік) параметрлерінде алынған р-типті наноқұрылымды КК кеуектілігі 59-83 % аралығындағы 0.1 ppm NH₃ концентрациясында ең тиімді электрондық газ сенсоры болып табылады.

2. CuO/КК материалының негізінде дайындалған электрондық сенсордың полярлы емес толуол және хлороформ буларының 0.1 ppm концентрациясына $U = 2 \text{ В}$ кернеу мәніндегі сезімталдығы бастапқы КК-мен салыстырғанда, сәйкесінше, <1 %-дан 33.9 % және 27.6 %-ға жетеді.

3. Интенсивтілігі 0.1 Вт/см² ксенон лампының жарығын түсірген кездегі КК мен CuO/КК, WO₃/КК гетероқұрылымдарының 0 – 2 В кернеу аралығында өлшенген ВАС-ларындағы бейсызық гистерезис аудандары бөлме жағдайымен салыстырғанда, сәйкесінше, 10.6, 2.1 және 3.7 есе артады.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы

Диссертациялық жұмыс нәтижелері шалаөткізгіштік наноқұрылымдарға негізделген аммиак, этанол, толуол, хлороформ буларына сезімталдығы мен селективтілігі жоғары, бағасы арзан, өлшемі аз электрондық газ сенсорларын дайындауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, электрондық газ сенсорларының

сезімталдығы жоғары болатындай, тиімді параметрлерге ие сезімтал материалды алудың технологиялық режимдерін ұсынады.

Нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі

Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің сенімділігі мен негізділігі ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК-і ұсынған басылымдарда, Web of Science (Clarivate Analytics, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланды) халықаралық ақпараттық ресурстарына кіретін журналдарда және халықаралық ғылыми конференцияларда жарияланымдардың болуымен және басқа авторлар алған нәтижелерге сәйкес болуымен расталады.

Автордың жеке үлесі

Автор диссертациялық жұмыстың барлық кезеңдеріндегі зерттеу жұмыстарына толықтай қатысты. Шалаөткізгіштік нанокұрылымдарды алу, олардың электрлік сипаттамаларына газ бөлшектері мен жарық әсерін зерттеу, сонымен қатар үлгілердің оптикалық, морфологиялық және электрлік сипаттамаларын зерттеу нәтижелерін өңдеу және талдау жұмыстарын автор жүргізді. Жұмыстың міндеттері мен жоспарын бекіту, нәтижелерді талқылау ғылыми жетекшімен бірге орындалды.

Жарияланымдар

Диссертациялық жұмыстың тақырыбы бойынша 10 ғылыми баспа жұмысы жарияланды, оның ішінде 5 жұмыс халықаралық конференцияларда тезис түрінде, 3 мақала философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК-і ұсынған ғылыми басылымдарда, 2 мақала Web of Science (Clarivate Analytics, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланды) халықаралық ақпараттық ресурстарына кіретін ғылыми басылымдарда жарияланды.

Диссертациялық жұмыстың апробациясы

Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер келесідей конференциялар мен семинарларда баяндалды:

- «Фараби Әлемі» студенттер мен жас ғалымдардың Халықаралық ғылыми конференциясы (2019, 2021, 2022, Алматы, Қазақстан);

- 11-Халықаралық ғылыми конференция «Бейсызық жүйелердегі хаос және құрылымдар. Теория және эксперимент» (2019, Қарағанды, Қазақстан);

Авторлық куәлік:

Ханиев Б.А., Ибраимов М.К., Жанабаев З.Ж., Сагидолда Е., Диханбаев К.К., Тілеу А.О. Высокочувствительный аммиачный сенсор на основе пористого кремния // Авторлық куәлік, 2022. №24953.

Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 82 сурет, 52 формула, 7 кесте, 121 әдебиеттер тізімі мен 103 бетті қамтиды.