

6D072300-«Техникалық физика» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациялық жұмысқа

АҢДАТПА

АУБАКИРОВА ДАНАГУЛЬ МАШАНОВНА

РЕАКТИВТІ МАГНЕТРОНДЫ ШАШЫРАТУ ӘДІСІМЕН ДАЙЫНДАЛҒАН, ТИТАННЫҢ ОКСИНИТРИДТІ ҚАПТАМАСЫ НЕГІЗІНДЕГІ БИМЕДИЦИНАЛЫҚ ЖАБЫНДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ МЕН ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ, ТҮЗІЛУ ЗАҢДЫЛЫҒЫ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыс реактивті магнетронды шашырату әдісімен алынған титанның оксинитридті биомедициналық жабындардың эксперименттік және теориялық зерттеулеріне арналған. Жұмыста биоүйлесімді жабындардың құрылымдық-фазалық күйіне, физика-механикалық, трибологиялық және антибактериалдық қасиеттеріне азот және оттегі қатынасының әсерін зерттеудің нәтижелері келтірілген. Осы жұмыстың зерттеулерін жасауда Қазақстан, Томск, Украина ғылыми-зерттеу орталықтарында жүргізілген озық, сыннан өткен эксперименттік әдістер қолданылған.

Зерттеу тақырыбының өзектілігі. Соңғы жылдарда ғылымның дамуы, өте жұқа болатын, иондық-плазмалық технология арқылы дайындалған титанның диоксидті және оксинитридті жабындарын медицинада және басқа да көптеген салаларда қолдану мүмкіндігін арттырды. Бұл жабындардың адам тінімен био және гемосәйкестілігі, қаттылығы, антикоррозиялық қасиеті, биологиялық индифференттілігі жоғары болғандықтан осы жабындардың екілік және үш қатпарлы бірігуі, яғни гетероқұрылымы жүрек-қантaмыр имплантаттарына қолдануға өте қолайлы келеді. Титан оксиді арзан және химиялық тұрақты болып келеді, бұл жабын импланттардың коррозиялық тұрақтылығын арттырып, фибриногендердің коагуляциясын төмендетсе, титанның оксинитридті жабыны эндотелиалды жасушалардың және антитромбогенді қасиеттерін арттыруын қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, фотокаталитикалық өздігінен тазалау белсенділігі жоғары болғандықтан титан оксиді су мен ауада зиянды органикалық күрделі бірігулерден фотоиндуцирленген тазалауда қолданады. Зерттеулердің қорытындысына келер болсақ, анатаздық құрылымы бар титанның диоксидтік жабындарының ғана фотобелсенділігі жоғары екенін байқаймыз. Ондай жабындарды дайындау үшін химиялық әдістерге жататын, золь-гель әдісі пайдаланылады.

Кез-келген әдістің артықшылықтарымен қатар, аз да болса кемшіліктері болатыны белгілі. Дәл солай, бұл әдістің де кемшіліктері бар. Жабынды 600°C-дан артық қыздырғанда, зиянды заттардың ауаға тарауына байланысты, экологияға зиян келеді. Сондықтан жабынды жасауда формасын және ауданына қатысты шектеулер болады. Ал, осы зерттеу жұмыстарында қолданылатын реактивті магнетронды шашырату әдісінің басқа әдістермен салыстырғанда

артықшылықтары өте жоғары, мысалы, қоршаған ортаға зияны жоқ және шашырату жылдамдығы өте жоғары. Сонымен қатар, теріс кернеудің ығысу мәні мен жұмыстық және реактивті газдардың мөлшерін бақылау деңгейі өте жоғары. Магнетронды шашырату жүйесінің ерекшелігі алынған жабындардың құрылымы мен қасиеті тұндыру режиміне, жұмыстық газдың құрамына, қуатына табаншадағы электрлік ығысу шамаларына тәуелді болады. Бұл мәселелер магнетронды шашырату жүйесінің әрбір жұмыс режимі үшін жеке болғандықтан осы зерттеу жұмысы, келтірілген факторлардың тұндырылған жабын құрылымына, фазалық және химиялық қасиетіне қалай әсер ететініне бағытталады. Жабынның беткі қабатының маңызды қасиеттерінің бірі электр заряды болып табылады, осы заряд жабынның беткі қабатының қоршаған тінмен байланысын реттеп отырады. Қазіргі кезде жабын материалдарының тозуға тұрақтылығын арттыру мәселелері көп кездеседі. Тозуға төзімділікті арттыру үшін, материалдың қаттылығын арттыру керек. Титанның оксинитридті және диоксидтік жабындарының қаттылығы жоғары, коррозияға қарсы қасиеті жоғары, биологиялық индифференттілігі жоғары және адам тінімен сәйкестілігі жоғары болғандықтан кең көлемде зерттеледі.

Төсенішке ығысу потенциалының теріс мәнін бергенде, жабынның тұндырылуымен қатар, мишеньнен босап шыққан иондар мен жұмыстық газдың оң иондары, яғни иондардың мол энергиясы төсенішке қарай қозғала бастайды. Төсеніш бетінде адсорбирленген атомдардың мөлшері ұлғая бастайды, бұл жағдай олардың энергиясының және миграция уақытын ұлғайтуға әкеледі. Осының әсерінен жабынның беткі қабаты босап, беткі қабаттың атомдары мен оған келіп қосылған бөлшектердің араласуы болады да жабын-табанша маңындағы ауысу аймағы қалыңдай түседі. Төсенішке берілетін ығысу кернеуінің теріс мәнін бақылай отырып, жабын қабатының өсуін реттеуге болады. Осыған байланысты, жабынның физика-механикалық қасиетіне, фазалық және элементтік құрамына және құрылымына шашырату режимінің параметрлері қалай әсер ететінін бақылау үшін, зерттеу жұмыстары жүргізуді қажет етеді.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты. Реактивті магнетронды шашырату әдісімен алынған титан оксинитридті негізіндегі жабындардың құрылысы мен құрылымдық ерекшеліктерін зерттеу және жабындардың физика-механикалық және трибологиялық құрамын зерттеу.

Көрсетілген мақсатқа жету үшін келесідей **міндеттер** қойылды:

- медицинада қолданылатын тот баспайтын болаттан жасалған бетті магнетронды шашырату әдісімен титанның оксинитридті жабындарымен қаптау;
- титанның оксинитридті жабындарының бетінің электрлік потенциалын және электрфизикалық құрылымын зерттеу;
- болат табаншаларға жағылған титанның оксинитридті тығыз жұқа қаптамаларының физика-механикалық және адгезиялық құрылымын, элементтік және фазалық құрамын, құрылымын, морфологиясын зерттеу;
- оксинитридті жабындардың құрылымдық және фазалық сипаттамалары және тұндыру шарттары арасындағы өзара байланысты зерттеу;

– ағзаның биологиялық сұйықтығын стимулirлейтін сұйықтықта жабынның молекулалық еріту өнімі мен динамикасын зерттеу;

– магнетронды шашырату әдісімен алынған оксинитридті жабындардың трибологиялық сипаттамаларын зерттеу.

Зерттеу нысаны. Титан оксинитридi негiзіндегi биомедициналық жабындардың құрамындағы оттегi мен азоттың қатынастарына байланысты жабындардың қасиеттерінің өзгеруі.

Зерттеу пәні. Активті газдардың қатынастарына байланысты жабындардың беттің қасиеттерінің микроқұрылымының және трибомеханикалық қасиеттерінің өзгеруі. Сонымен қатар, реактивті магнетронды шашырату әдісімен тұндырылған жабындардың нанокаттылығы мен серпiмділік модулі өлшеу және осы сипаттамалардың өзгеруін анықтау.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыс қан тамырларының биоинженериясы үшін магнетронды тозаңдату әдісімен алынған титанның оксинитридi негiзіндегi жабындарды жағу технологиясын оңтайландыруға бағытталады. Алынған пленкалардың құрылымы мен құрылысының тұндыру режимінен, оның ішінде, жұмыстық газдың құрамынан, қуаттан, табаншадағы электрлік ығысу шамаларынан тәуелділігі зерттеледі. Іргелі және эксперименттік нәтижелер негiзінде, кері байланыс принципі бойынша биоинерттілік/биосәйкестік реттелетін аралығында жабындарды тозаңдатудың оптималды режимін анықтауға арналған ұсынымдар беріледі. Титанның оксинитридi негiзіндегi жабындардың тұз ерітінділеріндегі және хлорид ортасындағы трибокоррозия процесі зерттеледі. Іс жүзінде бұл алынған нәтижелерді жүрек-қантамыр хирургиясында, коронарлы тамырлардың қабырғасын жасауға қолдануға болады. Жас ғалымдар ұсынып отырған бұл комплексті әдіс иновациялық болып табылады және қолданбалы аспектілерге бағытталған оригиналды іргелі әдістерге негізделеді.

Диссертациялық жұмыста келесідей заманауи физика-химиялық әдістер қолданылды: ИҚ-спектроскопия, сканерлеуші электронды микроскоп, атомдық-күштік микроскоп, рентгендік дифракциялық құрылымдық талдау, рентгендік фотоэлектрондық спектроскопия.

Қорғауға ұсынылатын негізгі тұжырымдамалар.

1. Реактивті магнетронды шашырату әдісімен TiO_2 жабындарын тұндыру кезінде төсеніш бетінің микроқұрылымында үлкен түйіршіктер түрінде қалыптасқанын көрсетеді. Азотты енгізу ұсақ түйіршікті тығыздалған құрылымның пайда болуына әкеледі. Бұл жабынның құрылымында TiO_2 нанокристалдарын эпитаксиалды өсуін шектейтін төмен индексті жазықтықтарды азот оксидінің 2D қабатын құрайтындығына байланысты.

2. Реактивті магнетронды шашырату әдісімен алынған $2\text{N}_2/\text{O}_2$ қатынастағы оксинитридті жабындарының беткі бөлігі біртекті, тегіс және 1; 1,5 қатынаста дайындалған жабындармен салыстырғанда бөлшектердің өлшемі едәуір төмен (28,3 нм), бұл рутил фазасының көлемдік үлесінің жоғарылағанын білдіреді.

3. Тұндыру кезінде азот мөлшерінің жоғарылауымен қатар, қаттылық пен серпiмді қалпына келтіру жоғарылайды, бұл жабынның бетінде жарықтар пайда болуын тежейді және $2\text{N}_2/\text{O}_2$ қатынастағы жабындар huMSC жасушаларының 5

күндік өсуі кезінде жасуша ядросы болмайтын бірқалыпты қабат түзеді, бұл қантамыр стенттерінде тромб бен рестеноздың түзілуін тежейді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы алғаш рет:

- жұмыстық және реактивті газдардың мөлшерінің және ығысу кернеуінің теріс мәнінің титан оксиді қаптамасының элементтік және құрылымдық қасиетіне әсері зерттелді;

- реактивті магнетронды шашырату әдісімен дайындалған, тұндыру режимдеріне байланысты реактивті газдардың құрамы мен табаншадағы ығысу потенциалының теріс мәніне қатысты болатын, титанның оксинитридті негізіндегі жабындардың морфологиясы зерттелді;

- титан оксинитридті негізіндегі жабындардың құрылымдық және фазалық сипаттамалары және тұндыру шарттары арасындағы заңдылықтар анықталды;

- жабынның құрылымдық-фазалық күйінің оның физика-механикалық қасиетіне әсерінің заңдылығы зерттелді.

Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы. Магнетронды тозаңдату әдісі бойынша алынатын оксинитридті жабындардың коррозия жылдамдығын, механикасын (қаттылық, серпімділік модулі, кедір-бұдырлықты) микроқұрылымды, морфологияны жақсы сипаттап жазған жұмыстар өте көп. Өкінішке орай, жабынның үйкелу мен тозуын сипаттайтын ақпараттар жоқ деуге болады. Сол себепті, осы жобаның міндеттерінің бірі магнетронды тозаңдату әдісімен алынған оксинитридті жабынның трибологиялық сипаттамаларын зерттеу болып табылады. Диссертациялық жұмыстан алынған нәтижелер медициналық материалтану саласында адамның үлгілік биологиялық шартында жүрек-тамыр құрылғыларын трибологиялық зерттеу үшін қолданылуы мүмкін.

Қазақстанда биожабындардың магнетронды тозаңдату әдісімен түзілуі дұрыс таралмаған, ал шетелдік ғылыми орталықтардың ғалымдарының жұмыстарында «жабын-төсеніш» шекарасындағы болатын процестерге айтарлықтай назар аударылмаған, биологиялық қолданудағы көпкомпонентті жабындардың өсу механизмдері мен қасиеттері, табаншаның беткі қабатына әсер ету жағдайлары қарастырылмаған, титанның оксинитридті магнетрондық жабындары бетіндегі молекулалық реакция механизмдеріне қатысты мәліметтер жоқ. Жабынның бетінде және магнетронды разряд плазмасында пайда болатын, жұқа биоүйлесімді жабындардың химиялық құрамы мен қасиетін болжауға мүмкіндік беретін процестер туралы теориялық мәліметтер жоқтың қасы. Жоба орындалуының барысында алынған мәліметтер жүрек қантамыр хирургиясында (жүрек клапандары мен қантамырларды протездеуде) қолданатын технологияның дамуына өз үлесін қосады.

Автордың жеке үлесі. Автордың жеке үлесі диссертациялық зерттеу тақырыбына арналған әдебиеттік басылымдарды, атап айтқанда биоүйлесімді жабындарды іздеу және оларға талдау жасаудан тұрады. Ғылыми кеңесшілермен бірге зерттеудің мақсаттары мен міндеттерін анықтады, тұндыру әдістері мен биоүйлесімді жабындарды зерттеудің әдістерін таңдады. Диссертация авторы үлгілерді дайындауда тікелей қатысты, осы үлгілердің фазалық құрамын, беттік морфологиясын зерттеп, тереңдігі және беті бойынша микроқаттылығы мен

наноқаттылығын өлшеді, сонымен қатар, нәтижелерді талдау және тақырып бойынша мақалалар дайындауда ғылыми кеңесшілер мен зертхана мамандарымен бірлесе отырып, тікелей қатысты.

Жұмыста алынған нәтижелер мен жасалған қорытындылардың сенімділік деңгейі және түсіндірмесі. Міндеттерді қоюдың және жақсы тексерістерден өткен зерттеудің эксперименттік әдістерін таңдау мен қолданудың, мәліметтердің көлемі мен статистиканың бұрын алынған ТМД және алыс шетелдердің танымал ғалымдарының алған нәтижелерімен салыстырудың нақтылығы мен айқындылығы.

Диссертациялық жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша 12 баспа жұмысы жарияланды.

Thomson Reuters дерекқоры бойынша немесе Scopus халықаралық ғылыми дерекқорына кіретін басылымдардағы жоғары импакт-факторы бар мақалалар:

1. Buranych V.V., Pogrebnjak A.D., Pogorielov M., Diedkova K., **Aubakirova D.**, Savitskaya I., Kupchishin A.I., Kulenova N. Characterization, mechanical and biomedical properties of titanium oxynitride coating // *Ceramics International*, Vol. 49, Issue 17. – 2023. – P. 28167-28174 <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.06.070>

2. Pustovalova A., Boytsova E., **Aubakirova D.**, Bruns M., Tverdokhlebov S., Pichugin V. Formation and structural features of nitrogen-doped titanium dioxide thin films grown by reactive magnetron sputtering // *Applied Surface Science*. – 2020. - Vol. 534. – P. 147572. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147572>

Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғарғы білім министрлігі Ғылым комитеті ұсынған және басқа басылымдардағы мақалаларда 4, монография 1, халықаралық конференциялардың тезистер жинақтарында 5 жарияланым жарыққа шықты.

Диссертация тақырыбының ғылыми жұмыс жоспарларымен байланысы. Диссертациялық жұмыс «Үйкеліс пен тозудан қорғау үшін өзгеретін архитектурасы бар нанометрлік масштабты көп компонентті және көп қабатты жабындар» тақырыбындағы (2018-2020жж, мемлекеттік тіркеу нөмірі АР05130362) Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі қаржыландырған грант аясында орындалды.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан және қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс жалпы 100 беттен, оның ішінде 36 суреттен, 6 кестеден, 160 атаудан тұратын қолданылған әдебиет көздерінен тұрады.