

Техникалық ғылымдар және технологиялар бағытындағы «6D072300-Техникалық физика» мамандығы бойынша «философия докторы» PhD дәрежесін алу үшін Баймолданова Лазат Сарқытбекқызының «Нанокөміртегі (TiAlSiY)N/CrN жабындарының микроқұрылымына, механикалық және трибологиялық қасиеттеріне Au⁻ иондарымен импланттаудың әсері» тақырыбындағы диссертациялық жұмысына ресми рецензенттің СЫН ПІКІРІ

р/н №	Критерийлер	Критерийлер сәйкестігі	Ресми рецензенттің ұстанымы
1.	Диссертация тақырыбының (бекіту күніне) ғылымның даму бағыттарына және/немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкес болуы	<p>1.1 Ғылымның даму бағыттарына және/немесе мемлекеттік бағдарламаларға сәйкестігі:</p> <p>1) Диссертация мемлекет бюджетінен қаржыландырылатын жобаның немесе нысаналы бағдарламаның аясында орындалған (жобаның немесе бағдарламаның атауы мен нөмірі);</p> <p>2) Диссертация басқа мемлекеттік бағдарлама аясында орындалған (бағдарламаның атауы)</p> <p>3) Диссертация Қазақстан Республикасының Үкіметі жанындағы Жоғары ғылыми-техникалық комиссия бекіткен ғылым дамуының басым бағытына сәйкес (бағытын көрсету)</p>	<p>Диссертация тақырыбы «Нанокөміртегі (TiAlSiY)N/CrN жабындарының микроқұрылымына, механикалық және трибологиялық қасиеттеріне Au⁻ иондарымен импланттаудың әсері» (бекітілу мерзімі 2017 ж.) ғылым дамуының басым бағыттарының ішіндегі «Табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану, оның ішінде су ресурстары, геология, қайта өңдеу, жаңа материалдар және технологиялар, қауіпсіз бұйымдар мен конструкциялар» және «Энергетика және машина жасау» бағыттарына сәйкес келеді.</p> <p>1) Диссертациялық жұмыс ҚР БЖҒМ Ғылым комитетінің гранттық қаржыландырудың келесі мемлекеттік бюджеттік жобаларын іске асыру аясында жүргізілген:</p> <p>1. «Машина жасау бұйымдарына арналған тозуға төзімді материалдар алудың инновациялық технологияларын зерттеу және әзірлеу» тақырыбы бойынша, мемлекеттік тіркеу №0118PK00989, Келісім шарт №197, 16.03.2018 ж.</p> <p>2. «Үйкеліс пен тозудан қорғауға арналған өзгермелі архитектурасы бар нанометрлі масштабтағы көпкомпонентті және көпэлементті жабындар» тақырыбы бойынша, мемлекеттік тіркеу № AP05130362, Келісім шарт №104, 05.04.2018 ж.</p> <p>3) бұл диссертациялық жұмыс Қазақстан Республикасы Үкіметінің жанындағы ғылыми-техникалық комиссия бекіткен ғылымды дамытудың басым бағыттары бойынша жоғарыда 1-тармақта көрсетілген гранттық қаржыландырудың мемлекеттік бюджеттік жобаларын іске асыру шеңберінде орындалған: «Табиғи ресурстарды ұтымды пайдалану, оның ішінде су ресурстары, геология, қайта өңдеу, жаңа материалдар және технологиялар, қауіпсіз бұйымдар мен конструкциялар» және 2021 жылдан бастап «Геология, минералды және көмірсутек шикізатын өндіру және қайта</p>

			өңдеу, жаңа материалдар, технологиялар, қауіпсіз бұйымдар мен конструкциялар» және «Энергетика және машина жасау» бағыттарына сай келеді.
2.	Ғылымға маңыздылығы	Жұмыс ғылымға елеулі үлесін қосады, ал оның маңыздылығы ашылған.	Диссертациялық жұмыс техникалық ғылымның дамуына айтарлықтай үлкен үлес қосады және бұл диссертациялық зерттеудің маңыздылығы жұмыста жақсы ашылған. Автор вакуумды-доғалы тұндыру арқылы алынған (TiAlSiY)N/CrN негізіндегі нанокомпозитті жабындарды импланттауға дейінгі және кейінгі нәтижелерімен нақты практикалық ғылыми маңызы бар проблеманы шеше алатын ғылыми зерттеулер жүргізген. Зерттеуде қолданған әдісіне ҚР ӘМ «Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ берген «Көп қабатты қорғаныс жабыны» пайдалы моделіне алған патентімен расталған (бюллетень 05.02.2021 ж.). Зерттеу нәтижелері болат беттерін тотығу мен коррозиядан қорғау үшін Au иондарымен имплантталған көпқабатты (TiAlSiY)N/CrN жабынын табысты қолдануды ұсынады.
3.	Өзі жазу принципі	Өзі жазу деңгейі: 1) жоғары	Диссертациялық жұмыста автордың өз беттілігі зерттеу тақырыбына, нақтырақ айтсақ, отқа төзімді металдар негізіндегі көпкомпонентті нитридті жабындар мен иондық импланттау бойынша іздеген әдебиеттерінен және жасаған әдебиеттік шолуынан көруге болады. Ізденуші сонымен бірге, зерттеудің мақсаты мен міндеттерін анықтауға, тұндыру әдісінің параметрлерін таңдауға және нанокристалды нитридті жабындарды зерттеуге қатысқан. Үлгі дайындауда, алынған көпкомпонентті жабындардың фазалық құрамын, беттік және тереңдік бойынша морфологиясын және микроқаттылық пен наноқаттылығын өлшеуде және алған нәтижелерін талқылауда, мақалаларда жазуда тікелей қатысқан.
4.	Ішкі бірлік принципі	4.1 Диссертация өзектілігінің негіздемесі: 1) негізделген	Диссертациялық жұмыс тақырыбының өзектілігі негізделген, себебі мазмұны бойынша жұмыс ҚР ғылым дамуының басым бағыттарымен тығыз байланысты. Қазіргі заманғы зерттеулердің міндеті наноөлшемді көпкомпонентті көпқабатты композитті жабындар туралы білімді кеңейту болып табылады. Бу фазасынан физикалық тұндыруды (PVD) және ионды импланттауды қолдана отырып, TiAlN жабындарының синтезі жақсы мәлім және жоғары жылдамдықты фрезерлеу кезінде құралдың қызмет ету мерзімін және өнімділігін арттыру үшін қолданылады. Сонымен қатар, олардың қасиеттеріне байланысты TiAlN жабындары қазіргі кезде механикалық өңдеуге арналған ең қажет жабындар болып табылады. Осыған байланысты, бұл жұмыс өзекті болып табылады және вакуумды-доғалы тұндыру арқылы алынған 60 кэВ энергиямен, дозасы $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ Au

		иондармен имплантталған наноқабатты архитектурасы бар (TiAlSiY)N/CrN негізіндегі нанокомпозиттік жабындарды эксперименттік және теориялық зерттеулерге арналған.
	4.2 Диссертация мазмұны диссертация тақырыбын айқындайды 1) <u>айқындайды</u>	Диссертациялық жұмыс кіріспеден, төрт тараудан және қорытындыдан тұрады. Бірінші тарау зерттеу тақырыбына байланысты көпқабатты композитті жабындардың құрылымы мен қасиеттерінің модификациясының қазіргі жағдайы туралы әдебиеттерге шолуға арналған, шолу 200-ден астам дерек көздерін қамтитын, көбінесе Web of Science Core Collection және Scopus мәліметтер базасына енетін, соңғы 15 жылда жарияланған шетелдік ғылыми журналдар мен ғылыми материалдардан тұрады. Екінші тарауда автор зерттелетін материалға, заманауи, сыннан өткен эксперименттік және теориялық зерттеу әдістеріне толық сипаттама береді. Диссертациялық жұмыстың үшінші бөлімі «Импланттауға дейінгі және кейінгі (TiAlSiY)N/CrN жабындарының құрылымды-фазалық күйі, субқұрылымы және элементтік таралуы» және төртінші бөлімі «Импланттауға дейінгі және кейінгі (TiAlSiY)N/CrN жабынының трибомеханикалық және антибактериалдық қасиеттері» қорғауға ұсынылған ережелерді негіздеудегі жұмыстың негізгі нәтижелерін көрсетеді. Сонымен, диссертацияның мазмұны диссертация тақырыбын толығымен қамтып көрсетеді.
	4.3. Мақсаты мен міндеттері диссертация тақырыбына сәйкес келеді: 1) <u>сәйкес келеді</u>	Ізденуші тұжырымдаған диссертациялық жұмыстың мақсаты мен міндеттері диссертацияның тақырыбына сәйкес келеді. Диссертациялық жұмыстың мақсаты - наноқабатты құрылымы бар нанокомпозитті (TiAlSiY)N/CrN негізіндегі жабындардың фазалы-құрылымдық күйіне және физика-механикалық қасиеттеріне Au ⁺ иондарымен имланттаудың әсерін зерттеу бойынша қойылған негізгі төрт міндеттің барлығы шешілген. Олар толығымен диссертацияның тақырыбынан туындайды.
	4.4. Диссертацияның барлық бөлімдері мен құрылысы логикалық байланысқан: 1) <u>толық байланысқан</u>	Диссертацияның барлық бөлімдері мен қағидалары толығымен өзара байланысты, ізденушінің алған зерттеу жұмыстарының ғылыми нәтижелері ішкі бірізділікпен сипатталады, олар логикалық өзара байланысты және құрылымды. Жұмыс кіріспеден, төрт бөлімнен, қорытындыдан және пайдаланылған дерек көздерінің тізімінен тұрады.
	4.5 Автор ұсынған жаңа шешімдер (қағидаттар, әдістер) дәлелденіп, бұрыннан белгілі шешімдермен салыстырылып	Автор вакуумды-доғалы разрядты қолдана отырып, әр түрлі басқа да белгілі көпқабатты қорғаныс жабындар алу бойынша шешімдерді салыстыра, бағалай отыра, аргументтер келтіріп, (TiAlSiY)N/CrN алудың жаңа әзірленген әдісін ұсынған, оған ҚР ӘМ «Ұлттық зияткерлік меншік

		бағаланған: 1) <u>сыни талдау бар</u>	институты» РМҚК, бюллетень 05.02.2021 ж. берген №5824 «Көпқабатты қорғаныс жабыны» пайдалы моделін алған. Сонымен бірге, Web of Science Core Collection және Scopus мәліметтер базасына енетін халықаралық ғылыми журналдарда жарияланған өзінің мақалаларында, басқа отандық және шетелдік ғылыми журналдардағы белгілі шешімдермен салыстырылған сыни талдау жасаған.
5.	Ғылыми жаңашылдық принципі	5.1 Ғылыми нәтижелер мен қағидаттар жаңа болып табыла ма? 1) <u>толығымен жаңа (90 %)</u>	Алынған ғылыми нәтижелер мен тұжырымдалған қағидалар жоғары жаңалық деңгейіне ие, өйткені вакуумды-доғалы разрядты қолдана отырып, көпқабатты (TiAlSiY)N/CrN қорғаныс жабындарын алудың жаңа әдісі ұсынылған, алғашқы рет Au ⁻ иондарымен имплантталған наноөлшемді қабаттары бар нанокөпозитті (TiAlSiY)N және CrN қабаттардан тұратын жабынның фазалы-құрылымдық күйге әсері зерттелген, алғашқы рет алынған гетероқұрылымның фазалық құрамы көрсетілген, наноқабатты құрылымы бар (TiAlSiY)N/CrN негізіндегі нанокөпозитті жабындарының қорғаныс қабаттары жоғары трибологиялық қасиеттерге ие болғанын көрсеткен. Ғылыми нәтижелер мен қағидалар толығымен жаңа, оған пайдалы модельге алынған патенттің және Science Core Collection және Scopus мәліметтер базасына енетін халықаралық ғылыми басылымдарда жарық көрген 2 мақаланың болуы дәлел.
		5.2 Диссертацияның қорытындылары жаңа болып табыла ма? 1) <u>толығымен жаңа (90 %)</u>	Диссертациялық жұмыста тұжырымдалған ғылыми нәтижелер, қорытындылар мен тұжырымдар жаңа. Қорғауға ұсынылған 3 қағида бойынша алынған ғылыми нәтижелердің қорытындыларына тоқталатын болсақ: <i>Нәтиже 1:</i> вакуумды-доғалы разрядты қолдана отырып, көпқабатты қорғаныс жабындарын алудың алғашқы әзірленген әдісімен (TiAlSiY)N және CrN нанокөлшемді қабаттары бар нанокөпозиттік жабындарды алған, бұл «Көп қабатты қорғаныш жабыны» пайдалы моделіне алынған патентпен расталады. Алғашқы рет (TiAlSiY)N және CrN наноөлшемді қабаттары бар нанокөпозитті жабындардың фазалы-құрылымдық күйіне Au ⁻ иондарымен импланттаудың әсері зерттелген және химиялық байланыстардың микроқұрылымын, элементтердің концентрациясы мен олардың тереңдік бойынша таралуын талдау үшін заманауи әдістерді қолдана отырып, зерттеулердің тұтас кешені қолданылған. <i>Нәтиже 2:</i> алғашқы рет (TiAlSiY)N/CrN жабындарының механикалық, трибологиялық және антибактериалды сипаттамаларына иондық импланттаудың әсері зерттелген. (TiAlSiY)N/CrN нанокөпозитті

			<p>жабыны негізіндегі қорғаныс қабаттарының ионды импланттаудан кейінгі жоғары механикалық және трибологиялық қасиеттері бар екендігі көрсетілген. Наноиндентирлеудің нәтижелері сәулеленудің дозасы едәуір жоғары болғанына қарамастан, жабындардың жоғары «қорғаныс» қабілетін көрсеткен. Антибактериалды зерттеулер бактериялардың белсенділігінің төмендеуі аталған.</p> <p><i>3-нәтиже:</i> Алынған эксперименттік нәтижелерді интерпретациялау үшін $Ti_{1-x}Al_xN/CrN$ (111) гетероқұрылымдарының араласу энергиясын және олардың тұрақтылығын бағалау үшін алғашқы рет молекулалық динамика әдісі қолданған. Есептеулер көрсеткендей, құрамында Al_x мөлшері жоғары ($x=0,75$) $Ti_{1-x}Al_xN/CrN$ наноқабатын тұндыру анық тұрақтандырғыш әсерге ие, бұл сөзсіз фазаның бөлінуіне ықпал етеді. Интерфейс эффекттері метатұрақты байланыстар мен элементтердің қайта бөлінуіне байланысты эпитаксиальды өсудің пайда болуымен спинопальды ыдырауды тудыратыны анықталған. Араластырудың термодинамикасы Гиббс энергиясының минималды екінші туындысын қанағаттандырады, ол теріс болуы керек және Cr қабытында c-AlN тұрақтандырумен c-TiN және h-AlN фазаларын бөлуге мәжбүр етеді деген қорытындыға келген.</p>
		<p>5.3 Техникалық, технологиялық, экономикалық немесе басқару шешімдері жаңа және негізделген бе?</p> <p>1) <u>толығымен жаңа (95 %)</u></p>	<p>Қойылған мақсатқа жету үшін қолданылған технологиялық шешімдер жаңа, өйткені вакуумды-доғалы әдіспен алынған наноқабатты құрылымы бар $(TiAlSiY)N/CrN$ негізіндегі нанокөмізгіттік жабындарды алудың жаңа әдісі әзірленген, кейін жабындар энергиясы 60 кэВ болатын, дозасы $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ Au иондармен имплантталған, бұл «Көп қабатты қорғаныс жабыны» пайдалы моделіне патент алу арқылы негізделген. Диссертациялық жұмыстың нәтижелері бойынша «Машзауыт» ЖШС-нің перспективалық жобаларында пайдалану үшін экономикалық қаражатсыз өндіріске ендіру әкiсi мен оқу процесiне ендіру әкiлерi алынған.</p>
6.	Негізгі қорытындылардың негізділігі	Барлық қорытындылар ғылыми тұрғыдан қарағанда ауқымды дәлелдемелерде <u>негізделген</u>	Зерттеу жұмысынан алынған және диссертацияда келтірілген ғылыми нәтижелер мен тұжырымдар теориялық тұрғыдан негізделген және ғылыми-практикалық маңызы бар, сонымен қатар, қойылған мақсат пен міндеттердің толық орындалғандығын куәландырады. Диссертациялық зерттеу барысында алынған ғылыми нәтижелер қисынды және ғылыми негізделген.
7.	Қорғауға шығарылған негізгі қағидаттар	<p>Әр қағидат бойынша келесі сұрақтарға жауап беру қажет:</p> <p>7.1 Қағидат дәлелденді ме?</p>	<p>7.1 ізденуші қорғауға негізгі 3 қағида ұсынады:</p> <p>1 Көпқабатты қорғаныс жабындарын вакуумды-доғалы разряд арқылы тұндыру бойынша өңделген әдіспен алынған $(TiAlSiY)N/CrN$ тұратын наноөлшемді қабаттар негізіндегі жабындардың құрылымды-фазалық күйіне</p>

		<p>1) <u>дәлелденді</u></p> <p>7.2 Тривиалды ма? 2) <u>жоқ</u></p> <p>7.3 Жаңа ма? 1) <u>ия</u></p> <p>7.4 Қолдану деңгейі: 3) <u>кең</u></p> <p>7.5 Мақалада дәлелденген бе? 1) <u>ия</u></p>	<p>Au⁻ иондарының әсер ету заңдылықтары. Қағида «Көп қабатты қорғаныс жабыны» пайдалы моделіне алған патенті мен эксперименттік зерттеулерінің нәтижелері отандық және шетелдік ғылыми журналдарда жарық көрген мақалаларымен дәлелденеді.</p> <p>2 Au⁻ иондарымен импланттаудың нәтижесінде (TiAlSiY)N/CrN жабындарының қорғаныс қабілеттері жақсарған трибомеханикалық қасиеттерінің және бактериялар белсенділігі төмендеген антибактериалдық қасиеттерінің өзгерісі. Бұл қағидат та жаңа болып табылады, эксперименттік және теориялық зерттеулерімен көпфункционалды құрылымды (TiAlSiY)N/CrN нанокомпозиті механикалық және трибологиялық қасиеттерін реттеуге мүмкіндік беретін жоғары адгезияға ие, ал иондық легирлеуші қоспалар жабын бетінің күшті антибактериалды қорғанысын қамтамасыз етеді. Қағида ҚР БЖҒМ білім беру және ғылым саласындағы бақылау Комитеті бекіткен ғылыми журналдарында және Science Core Collection және Scopus мәліметтер базасына енетін квартилі Q1 «ACS Applied Materials & Interfaces» ғылыми журналында, сондай-ақ халықаралық конференциялардың материалдарында жарияланғанымен дәлелденеді.</p> <p>3 Тұндырылған жабындарды үлгілеуші Ti_{1-x}Al_xN/CrN (111) гетероқұрылымдарын молекулалық динамика әдісі негізінде нанокомпозитті (TiAlSiY)N/CrN жабындарының араластыру термодинамикасының энергиясын есептеулер нәтижелері. Эксперименттік және теориялық зерттеулердің нәтижесінде тұндырылған көпқабатты жабындардың құрылымы үлгіленген және эксперименталды зерттелген (TiAlSiY)N/CrN жабындарының араластыру термодинамикасы мен құрылымының тұрақтылығын бағалау үшін қолданылған молекулалық динамиканың есептеулері арқылы жабындардың трибомеханикалық сипаттамаларын мақсатты түрде жақсарту үшін және оларды өнеркәсіпте одан әрі пайдалануға қолдану үшін жабындардың параметрлерін таңдауға (бағалауға) мүмкіндік береді. Бұл қағида ізденушінің Science Core Collection және Scopus мәліметтер базасына енетін квартилі-Q1 «ACS Applied Materials & Interfaces» және квартилі-Q2 (General Engineering) «High Temperature Material Processes» журналдарында жариялаған мақалаларымен дәлелденеді.</p> <p>7.2 Қорғауға шығарылған қағидалар мен нәтижелер техникалық ғылымдар мен технологиялар, материалтану саласындағы мамандардың қызығушылығын тудырады. Сондай-ақ, медицина саласындағы мамандарды</p>
--	--	--	---

			<p>матрицасында алтын нанобөлшектері бар, жақсы антибактериалды әсерге ие зерттелген материал, протездер мен биологиялық импланттарға арналған қорғаныс қабаттар болуда үміткер бола алатындығымен қызықтырады.</p>
			<p>7.3 Қағидалар жаңа, өйткені олар алғаш рет тұжырымдалған және сенімді түрде дәлелденіп, диссертацияда тақырыбы бойынша бұрын жеткіліксіз зерттелген мәселелер ашылған.</p>
			<p>7.4 Соңғы жылдардағы өнеркәсіптік кешенді технологиялық дамытудың негізгі бағыттарының қатарында болат пен қорытпалардың физикалық, механикалық және пайдалану қасиеттері жағынан жаңа материалдар жасау болып табылады. Сарапшылардың бағалауы бойынша, болашақта материалдардың көпшілігі түбегейлі жаңа материалдармен алмастырылады, атап айтқанда, композиттік материалдар, керамика және т.б. жасауда прогресс күтілуде. Сондықтан қазіргі заманғы құрылымдарды жетілдіру және олардың өндіріштіктігін жоғарылату бағыттарының бірі - бұл көпқабатты композитті материалдарды пайдалану. Зерттеу материалдары практикалық тұрғыдан да қызығушылық тудырады, алынған жаңа материал машина жасау саласында кең қолданысқа ие болады, өйткені эксперименттік зерттеулер жабындардың жоғары қорғаныс қабілетін көрсетті және медицина саласында да өзінің жақсы бактерияларға қарсы әсерімен қолданылуы мүмкін. Сонымен бірге, диссертация материалдарын ҚР ЖОО техникалық ғылымдар бойынша және басқа да байланысты пәндерден оқу құралдарын жасауда қолдануға болады.</p>
			<p>7.5 Диссертацияның негізгі ережелері, нәтижелері, қорытындылары мен тұжырымдары сыннан өткен және 6 мақала ҚР БЖҒМ білім беру және ғылым саласындағы бақылау Комитеті бекіткен ғылыми басылымдарда, 2 мақала Web of Science Core Collection (Clarivate Analytics) және Scopus (Elsevier) халықаралық ақпараттық ресурстарға кіретін кватильдері- Q1 және Q2 «ACS Applied Materials and Interfaces» (USA) және «High Temperature Material Processes» шетелдік индекстелген журналдарында және 6 мақала халықаралық конференция материалдарының жинақтарында, оның ішінде 1-і шетелдік халықаралық конференция материалдарының жинақтарында және пайдалы моделге патент жарық көрген. Сондай-ақ, автор зерттеу нәтижелерін республикалық және халықаралық конференцияларда баяндаған</p>

			және ұсынған, жалпы алғанда олар ҚР БЖҒМ білім беру және ғылым саласындағы бақылау Комитетінің ғылыми зерттеулердің нәтижелерін жариялау жөніндегі талаптарына сәйкес келеді.
8.	Дәйектілік принципі Дереккөздер мен ұсынылған ақпараттың дәйектілігі	8.1 Әдістеменің таңдауы - негізделген немесе әдіснама нақты жазылған 1) <u>ия</u>	Диссертациялық жұмыстың мақсаты мен міндеттеріне сәйкес ізденуші заманауи эксперименттік және теориялық зерттеу әдістерін таңдаған. Таңдалған әдістер диссертациялық жұмыстың екінші тарауында соңғы дереккөздерге сілтеме жасай отырып, жеткілікті түрде, егжей-тегжейлі сипаттаған. Бұл жұмыста жақсы сыннан өткен эксперименттік зерттеу әдістері қолданылған және алынған эксперименттік нәтижелер ТМД және алыс шетелдердің танымал ғалымдарының бұрын алынған эксперименттік нәтижелерімен салыстырылған.
		8.2 Диссертация жұмысының нәтижелері компьютерлік технологияларды қолдану арқылы ғылыми зерттеулердің қазіргі заманғы әдістері мен деректерді өңдеу және интерпретациялау әдістемелерін пайдалана отырып алынған: 1) <u>ия</u>	Диссертациялық жұмысты орындау кезінде келесі заманауи, сыннан өткен эксперименттік және теориялық әдістер қолданылған: - фазалық құрамы, құрылымы және тор параметрлерін рентгенқұрылымдық талдаумен (XRD) және таңдалған аймақтағы дифракция мен микроанализі бар жоғары дәлдіктегі электронды жарықтандырғыш микроскопия (HR-TEM) көмегімен талданған; - элементтік құрамы энергия-дисперсиялық спектроскопиясы (EDS), екінші реттік иондық масс-спектрометриясы (SIMS) және Резерфордтың кері шашырау спектроскопиясы (RBS) көмегімен зерттелген; - жабындардағы химиялық байланыстар рентгендік фотоэлектронды спектроскопия (XPS) көмегімен зерттеген; - жабынның беті мен беттік қабаттарына атомдық-күштік микроскопиямен (AFM) зерттеу жүргізген; - наноқаттылық пен келтірілген серпімділік модулін өлшеулер наноиндентор арқылы жүргізген; - молекулалық динамика әдісіне негізделген есептеулер жасаған; - TRIM көмегімен көп қабатты жабындарға компьютерлік үлгілеу қолданған.
		8.2 Теориялық қорытындылар, модельдер, анықталған өзара байланыстар және заңдылықтар эксперименттік зерттеулермен дәлелденген және расталған (педагогикалық ғылымдар бойынша даярлау бағыттары үшін нәтижелер педагогикалық	Теориялық қорытындылар және алынған заңдылықтар дәлелденген және келесі негізгі эксперименттік зерттеулермен бекітілген: - Наноқабатты құрылымы бар нанокөпозитті (TiAlSiY)N/CrN негізіндегі жабындарды болат төсеніште бу фазасынан вакуумды-доғалы бүрку әдісі арқылы алып, кейін олар Au ⁺ иондарымен имплантталған. - Наноөлшемді қабаттары бар (TiAlSiY)N/CrN негізіндегі жабындардың құрылымын, фазалық және элементтік құрамын XRD, SIMS, RBS, микроталдауы бар HR TEM көмегімен зерттеулер жүргізілген. Көпқабатты

		эксперимент негізінде дәлелденеді): 1) <u>ия</u>	жабындағы Au ⁻ иондарының тасымалдануы бағаланған; - (TiAlSiY)N/CrN жабындарының механикалық, трибологиялық және антибактериалды сипаттамаларына иондық импланттаудың әсері зерттелген. - Молекулалық динамика әдісі негізінде араластыру термодинамикасын бағалау үшін тұндырылған жабындардың құрылысын үлгілейтін Ti _{1-x} Al _x N/CrN (111) гетерокұрылымдарына есептеулер жүргізілген.
		8.4 Маңызды мәлімдемелер нақты және сенімді ғылыми әдебиеттерге сілтемелермен <u>расталған</u>	Докторант зерттеу процесінде қолданған материалдарға диссертацияда сілтемелер жасаған. Алынған нәтижелер белгілі мәліметтермен салыстыра отырып талданған, ол мәліметтер негізінен кватрилдері жоғары Web of Science Core Collection және Scopus мәліметтер базасына енетін шетелдік ғылыми журналдарда жарияланған.
		8.5 Пайдаланылған әдебиеттер тізімі әдеби шолуға <u>жеткілікті</u>	Автор зерттеу тақырыбы бойынша ғылыми әдебиеттерге едәуір көлемде әдеби шолу жасаған, барлығы 202 дерек көзі пайдаланылған, соның ішінде - соңғы 3 жылда 38 дерек көзі, олар негізінен ҚР БЖҒМ білім беру және ғылым саласындағы бақылау Комитеті ұсынған рейтингтік отандық журналдарда және Web of Science Core Collection және Scopus мәліметтер базасына кіретін шетелдік ғылыми журналдарда жарияланған.
9	Практикалық құндылық принципі	9.1 Диссертацияның теориялық маңызы бар: 1) <u>ия</u>	Диссертацияның теориялық маңызы бар, өйткені алынған нәтижелер наноөлшемді қабаттардың интерфейстерінде, сондай-ақ ауыр Au ⁻ иондарының наноқабатты құрылымды жабындардың өзара әрекеттесуінде болатын процестерді тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Ti _{1-x} Al _x N/CrN (111) гетерокұрылымдарының молекулалық динамика әдісіне негізделген есептеулер жүргізген, араластыру термодинамикасын бағалау үшін тұндырылған жабындардың құрылымын үлгілеген.
		9.2 Диссертацияның практикалық маңызы бар және алынған нәтижелерді практикада қолдану мүмкіндігі жоғары: 1) <u>ия</u>	Диссертациялық жұмыстың практикалық құндылығы мынада: алынған нәтижелер қажетті физика-механикалық сипаттамалары бар нанокөпбұрыштық жабындарды қалыптастырудың оңтайлы технологиялық режимдерін таңдаудың ғылыми негізі болып табылады. Диссертациялық зерттеудің нәтижелерін оқу процесінде, «Техникалық физика» және «Материалтану және жаңа материалдар технологиясы» мамандықтары бойынша бакалаврлар мен магистранттарды даярлауда: «Металдар мен құймалардың беттерінің түрленуі», «Жаңа материалдар», «Нанокұрылымдар физикасы», «Ионды-сәулелік технологияның қазіргі заманғы мәселелері», «Материалдарды модификациялаудың технологиялық үрдісін жасау және енгізу» курстарын оқып-үйренуде, сонымен бірге бакалаврлар, магистранттар мен мамандар жобалық және дипломдық жұмыстарын орындау кезінде қолдана алады.

		<p>9.3 Практикалық ұсыныстар жаңа болып табылады?</p> <p>1) <u>толығымен жаңа (95 %)</u></p>	<p>Алынған ғылыми нәтижелер жоғары деңгейлі жаңалыққа ие, наноқабатты құрылымы бар (TiAlSiY)N/CrN негізіндегі нанокөпбұрыштық жабындарды алудың жаңа әдісі ұсынылған («Көпқабатты қорғаныс жабыны» пайдалы моделіне патент). Диссертациялық жұмыстың нәтижелерін оқу процесіне енгізу туралы актілер және өндіріске «Машзауыт» ЖШС-нің перспективалық жобаларында пайдалану үшін экономикалық қаражатсыз енгізу акті алынған. Сондай-ақ, антибактериалды сынақтар медициналық мекемелерде және жоғары гигиенаны сақтау маңызды жерлерде бактерияларға қарсы жабын ретінде қолданыла алатын (TiAlSiY)N/CrN негізіндегі нанокөпбұрыштық жабындардағы бактериялардың белсенділігінің айтарлықтай төмендегенін көрсеткен. Осылайша, алынған нәтижелер практикалық іс-әрекетте нақты пайдасын және олардың қолданбалы құнын көрсетеді.</p>
10.	Жазу және ресімдеу сапасы	<p>Академиялық жазу сапасы:</p> <p>1) <u>жоғары</u></p>	<p>Академиялық жазу сапасы - жоғары, нәтижелері мен зерттеулері нақты көрсетілген, жұмыстың рәсімделуі ғылым мен техниканың барлық салаларындағы диссертациялардың құрылымына, көлеміне және рәсімдеу ережелеріне қойылатын жалпы талаптарға сәйкес келеді. Диссертация өзектілігі, мақсаты мен міндеттері, ғылыми жаңалығы, алынған нәтижелері және практикалық маңыздылығы жағынан өз бетінше аяқталған, білікті ғылыми жұмыс болып табылады, жұмыстың жазылуы мен рәсімделу сапасы «философия докторы» (PhD) ғылыми дәрежесін алу үшін диссертацияларға қойылған талаптарға сай.</p>

Рецензент:

«ҚР Ұлттық ядролық орталығы» РМК
 Радиациялық қатты дене физикасы бөлімінің бастығы,
 физика-математика ғылымдарының кандидаты



С.Б. Кислицин

« 31 » 05 2021 ж.

ЯФИ ғылым хатшысы, PhD



Бекбаев А.К

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу Баймолдановой Лазат Сарқытбекқызы на тему «Влияние имплантации ионов Au⁺ на микроструктуру, механические и трибологические свойства нанокompозитных покрытий (TiAlSiY)N/CrN», представленной на соискание степени «доктора философии» (PhD) в области технических наук и технологии по специальности «6D072300-Техническая физика»

№п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</p> <p>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</p> <p>3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при</p>	<p>Тема диссертации «Влияние имплантации ионов Au⁺ на микроструктуру, механические и трибологические свойства нанокompозитных покрытий (TiAlSiY)N/CrN» (на дату ее утверждения 2017 г.) соответствует приоритетным направлениям развития науки и/или государственных программ «Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия» и конструкции и «Энергетика и машиностроение»:</p> <p>1) Диссертация выполнена в рамках реализации следующих госбюджетных проектов грантового финансирования:</p> <p>1. по теме: «Многокомпонентные и многослойные покрытия нанометрового масштаба с изменяющейся архитектурой для защиты от трения и износа», гос.рег. №AP05130362, финансируемый Комитетом науки МОН РК по Договору №104 от 5 марта 2018 г.;</p> <p>2. по теме «Исследования и разработка инновационных технологий получения износостойких материалов для изделий машиностроения», гос.рег. №0118РК00989, финансируемый Комитетом науки МОН РК по Договору №197 от 16 марта 2018 г.</p> <p>3) данная диссертационная работа выполнена в рамках реализации госбюджетных проектов грантового финансирования указанной в выше в 1 пункте по приоритетным направлениям развития науки утвержденной Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан:</p>

		Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	«Рациональное использование природных, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции» и с 2021 года название направления «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технология, безопасные изделия и конструкции» и «Энергетика и машиностроение».
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта</u>	Диссертационная работа вносит существенный вклад в развитие технической науки и важность данного диссертационного исследования хорошо раскрыта в работе. Автором проведены исследования, результаты которых позволяют решить конкретную практически значимую научную проблему – получение нанокompозитных покрытия на основе (TiAlSiY)N/CrN, полученные методом вакуумно-дугового осаждения с последующей имплантацией ионов Au. Метод получения нанокompозитных покрытия на основе (TiAlSiY)N/CrN подтверждается патентом на полезную модель «Многослойное защитное покрытие» выданный РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности» МЮ РК, бюллетень от 05.02.2021 г. Результаты исследования предполагают успешное применение многослойного (TiAlSiY)N/CrN покрытия имплантированного ионами Au для защиты стальных поверхностей от окисления и коррозии.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>Высокий</u>	В диссертационной работе самостоятельность автора состоит в поиске и анализе литературной периодики, посвященной теме диссертационного исследования, а именно многокомпонентным нитридным покрытиям на основе тугоплавких металлов и ионной имплантации. Соискатель также участвовал в определении цели и задачи исследования, выборе параметров метода осаждения и исследования нанокристаллических нитридных покрытий. Автор диссертации непосредственно принимал участие в приготовлении образцов, проводил исследования фазового состава, морфологии поверхности, осуществлял измерение микротвердости и нанотвердости поверхности и по глубине полученных многокомпонентных покрытий, а также в обсуждении результатов и написании публикаций.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>Обоснована</u>	Актуальность темы диссертационной работы обоснована, так как работа по содержанию тесно связана с приоритетными направлениями развития науки РК. Задача современных исследований заключается в расширении существующих

			<p>знаний о многокомпонентных многослойных композиционных покрытиях с наноразмерными слоями. Синтез покрытий TiAlN с использованием физического осаждения из паровой фазы (PVD) и ионной имплантации хорошо известен и используются для увеличения срока службы инструмента и его производительности при высокоскоростном фрезеровании. Кроме того, благодаря своим свойствам покрытия TiAlN сегодня являются наиболее востребованными покрытиями для механической обработки. В связи с этим работа является актуальной, и она посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям нанокompозитных покрытий на основе (TiAlSiY)N/CrN с нанослоевой архитектурой, полученных методом вакуумно-дугового осаждения с последующей имплантацией ионов Au⁻ дозой 1×10^{17} см⁻² с энергией 60 кэВ.</p>
		<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает</u></p>	<p>Диссертационная работа состоит из четырех глав, введения и заключения. Первая глава посвящена литературному обзору по современному состоянию модификации структуры и свойств многослойных композитных покрытий, обзор научных материалов охватывает более 200 источников, касающихся темы исследования, которые в основном опубликованы в зарубежных научных журналах, входящих в базу данных Web of Science Core Collection и Scopus за последние 15 лет. Во второй главе автор приводит подробное описание исследуемого материала, современных, апробированных экспериментальных и теоретических методов исследования. Третья часть диссертации «Структурно-фазовое состояние, субструктура и элементное распределение покрытия (TiAlSiY)N/CrN до и после имплантации» и четвертая часть «Трибомеханические и антибактериальные свойства покрытия (TiAlSiY)N/CrN до и после имплантации» отражают основные результаты работы в обоснование выносимых на защиту положений. Таким образом содержание диссертации полностью отражает тему диссертации.</p>
		<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют</u></p>	<p>Цель и задачи, сформулированные соискателем, соответствуют теме диссертационной работы. Целью диссертационной работы является изучить влияние имплантации ионов Au⁻ на фазово-структурное состояние и физико-механические свойства нанокompозитных покрытий с нанослоевой архитектурой на основе (TiAlSiY)N/CrN, для достижения поставленной цели решены основные четыре задачи. Они полностью вытекают из темы диссертации.</p>

		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны</u>	Все разделы и положения диссертации полностью взаимосвязаны между собой, так как научные результаты исследовательских работ, полученные соискателем, характеризуются внутренним единством, они логически связаны между собой и структурированы. Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть</u>	Автором предложен новый разработанный метод нанесения многослойных защитных покрытий (TiAlSiY)N/CrN с помощью вакуумно-дугового разряда, который аргументирован и оценен по сравнению с известными решениями, что подтверждается полученным патентом на полезную модель №5824 «Многослойное защитное покрытие», РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности» МЮ РК, бюллетень от 05.02.2021 г. А также в статьях опубликованных в международных научных изданиях, входящих в базу данных Web of Science Core Collection и Scopus был сделан критический анализ по сравнению с известными решениями других зарубежных и отечественных научных статей.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые (90 %)</u>	Полученные научные результаты и выносимые положения обладают высокой степенью новизны, так как предложен новый метод получения многослойных защитных покрытий (TiAlSiY)N/CrN с помощью вакуумно-дугового разряда, впервые исследовано влияние ионной имплантации Au ⁻ на фазово-структурное состояние нанокompозитных покрытий с наноразмерными слоями из (TiAlSiY)N и CrN, впервые показан фазовый состав полученной гетероструктуры, показано, что защитные слои на основе нанокompозитного покрытия (TiAlSiY)N/CrN с нанослоевой архитектурой имеют высокие трибологические свойства. Научные результаты и положения являются полностью новыми, что подтверждаются наличием патента на полезную модель и 2 статей в международных изданиях, входящих в базу данных Web of Science Core Collection и Scopus.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые (90 %)</u>	Научные результаты, выводов и заключения, сформулированных в диссертации являются новыми. Выводы полученных научных результатов по 3 положениям выносимых на защиту: <i>Результат 1:</i> является новым, так как впервые разработанным методом нанесения многослойных защитных покрытий с помощью вакуумно-дугового разряда были получены нанокompозитные покрытия с наноразмерными слоями

		<p>из (TiAlSiY)N и CrN, что подтверждается получением патента на полезную модель «Многослойное защитное покрытие». Впервые исследовано влияние ионной имплантации Au⁻ на фазово-структурное состояние нанокompозитных покрытий с наноразмерными слоями из (TiAlSiY)N и CrN и применен целый комплекс исследований для анализа микроструктуры химических связей, концентраций элементов и их распределение по глубине покрытий с использованием современных методов исследований.</p> <p><i>Результат 2:</i> впервые изучено влияние ионной имплантации на механические, трибологические и антибактериальные характеристики (TiAlSiY)N/CrN покрытий. Показано, что защитные слои на основе нанокompозитного покрытия (TiAlSiY)N/CrN имеют высокие механические и трибологические свойства после имплантации ионов. Результаты наноиндентирования свидетельствуют о высокой «защитной» способности покрытий, несмотря на достаточно высокую дозу облучения. Антибактериальные тесты показали заметное снижение активности бактерий.</p> <p><i>Результат 3:</i> для интерпретации полученных результатов экспериментов впервые был применен метод молекулярной динамики для оценки энергии смешивания гетероструктур Ti_{1-x}Al_xN/CrN (111) и их стабильности. Расчеты показывают, что осаждение нанослоя Ti_{1-x}Al_xN/CrN с высоким содержанием Al_x (x=0,75) оказывает выраженный стабилизирующий эффект, что, безусловно, способствует разделению фаз. Обнаружено, что эффекты интерфейса вызывают спинодальный распад с образованием эпитаксиального роста из-за метастабильных связей и перераспределения элементов. Термодинамика смешения удовлетворяет минимальной второй производной энергии Гиббса, которая должна быть отрицательной, и вынуждает разделение фаз с-TiN и h-AlN с последующей стабилизацией с-AlN на границе раздела CrN.</p>	<p>из (TiAlSiY)N и CrN, что подтверждается получением патента на полезную модель «Многослойное защитное покрытие». Впервые исследовано влияние ионной имплантации Au⁻ на фазово-структурное состояние нанокompозитных покрытий с наноразмерными слоями из (TiAlSiY)N и CrN и применен целый комплекс исследований для анализа микроструктуры химических связей, концентраций элементов и их распределение по глубине покрытий с использованием современных методов исследований.</p> <p><i>Результат 2:</i> впервые изучено влияние ионной имплантации на механические, трибологические и антибактериальные характеристики (TiAlSiY)N/CrN покрытий. Показано, что защитные слои на основе нанокompозитного покрытия (TiAlSiY)N/CrN имеют высокие механические и трибологические свойства после имплантации ионов. Результаты наноиндентирования свидетельствуют о высокой «защитной» способности покрытий, несмотря на достаточно высокую дозу облучения. Антибактериальные тесты показали заметное снижение активности бактерий.</p> <p><i>Результат 3:</i> для интерпретации полученных результатов экспериментов впервые был применен метод молекулярной динамики для оценки энергии смешивания гетероструктур Ti_{1-x}Al_xN/CrN (111) и их стабильности. Расчеты показывают, что осаждение нанослоя Ti_{1-x}Al_xN/CrN с высоким содержанием Al_x (x=0,75) оказывает выраженный стабилизирующий эффект, что, безусловно, способствует разделению фаз. Обнаружено, что эффекты интерфейса вызывают спинодальный распад с образованием эпитаксиального роста из-за метастабильных связей и перераспределения элементов. Термодинамика смешения удовлетворяет минимальной второй производной энергии Гиббса, которая должна быть отрицательной, и вынуждает разделение фаз с-TiN и h-AlN с последующей стабилизацией с-AlN на границе раздела CrN.</p>
	<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые (95 %)</u></p>	<p>Технологические решения, используемые для достижения поставленной задачи, являются новыми, поскольку разработан новый метод получения нанокompозитных покрытий на основе (TiAlSiY)N/CrN с нанослоевой архитектурой, полученных методом вакуумно-дугового осаждения с последующей имплантацией ионов Au⁻ дозой 1×10^{17} см⁻² с энергией 60 кэВ, который обоснован получением патента на полезную модель «Многослойное защитное покрытие» и актов о внедрении в учебный процесс и акта внедрения без экономического эффекта результатов диссертационной работы в производство для использования в перспективных проектах ТОО «Машзавод».</p>	<p>Технологические решения, используемые для достижения поставленной задачи, являются новыми, поскольку разработан новый метод получения нанокompозитных покрытий на основе (TiAlSiY)N/CrN с нанослоевой архитектурой, полученных методом вакуумно-дугового осаждения с последующей имплантацией ионов Au⁻ дозой 1×10^{17} см⁻² с энергией 60 кэВ, который обоснован получением патента на полезную модель «Многослойное защитное покрытие» и актов о внедрении в учебный процесс и акта внедрения без экономического эффекта результатов диссертационной работы в производство для использования в перспективных проектах ТОО «Машзавод».</p>

6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <u>основаны</u> на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы	Полученные по проведенным исследованиям и изложенные в диссертации научные результаты и выводы теоретически обоснованы и имеют научно-практическую ценность, а также свидетельствуют о полном выполнении поставленных целей и задач. Научные результаты, полученные в ходе диссертационного исследования, логически последовательны и с научной точки зрения обоснованы.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u></p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 2) <u>нет</u></p> <p>7.3 Является ли новым? 1) <u>да</u>;</p> <p>7.4 Уровень для применения: 3) <u>широкий</u></p> <p>7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>;</p>	<p>7.1 Соискатель на защиту выносит 3 основных положения:</p> <p>1 Закономерности влияния ионов Au^+ на структурно-фазовое состояние покрытий на основе наноразмерных слоев, состоящие из $(TiAlSiY)N/CrN$, полученные разработанным методом нанесения многослойных защитных покрытий с помощью вакуумно-дугового разряда. Положение <u>доказано</u> с получением патента на полезную модель «Многослойное защитное покрытие» и результатами экспериментальных исследований, которые были опубликованы в отечественных и зарубежных научных журналах.</p> <p>2 Изменения трибомеханических свойств с улучшением защитной способности покрытия и антибактериальных свойств с уменьшением активности бактерий покрытий $(TiAlSiY)N/CrN$ в результате имплантации ионов Au^+. Положение является новым и в результате экспериментальных и теоретических исследований было доказано, что многофункциональная структура нанокompозита $(TiAlSiY)N/CrN$ с высокой адгезией дает возможность контролировать механические и трибологические свойства, а с ионными легирующими добавками обеспечивает сильную антибактериальную защиту поверхности. Положение подтверждается публикациями соискателя, опубликованные в научных журналах рекомендованных ККСОН МОН РК и зарубежных научных журналах, входящие в международные информационные ресурсы Web of Science Core Collection и Scopus «ACS Applied Materials & Interfaces», имеющий квартиль - Q1, также в материалах международных конференции.</p> <p>3 Результаты расчетов энергий термодинамики смещения нанокompозитных покрытий $(TiAlSiY)N/CrN$ на основе метода молекулярной динамики гетероструктур $Ti_{1-x}Al_xN/CrN$ (111), моделирующие структуру осажденных покрытий. В результате экспериментальных и теоретических исследований была смоделирована структура осажденных многослойных покрытий и показана, что использование расчетов молекулярной динамики для оценки</p>

			<p>термодинамики смешивании и стабильности структуры исследуемых экспериментально покрытий (TiAlSiY)N/CrN позволяет выбрать (оценить) параметры покрытий для целенаправленного улучшения трибомеханических характеристик покрытий и их дальнейшего использования для промышленного применения. Данное положение подтверждается публикациями соискателя, опубликованных в зарубежных научных журналах, входящие в международные информационные ресурсы Web of Science Core Collection и Scopus «ACS Applied Materials & Interfaces», имеющий квартиль - Q1 и «High Temperature Material Processes», имеющий квартиль – Q2 (General Engineering).</p>
			<p>7.2 Положения, выносимые на защиту и результаты диссертации, представляет интерес для специалистов в области технической науки и технологии, материаловедении. А также исследуемый материал, содержащий наночастицы золота в своей матрице, обладающий хорошим антибактериальным действием делает их кандидатами в качестве защитных слоев для протезов и биологических имплантатов, чем заинтересует специалистов в области медицины.</p> <p>7.3 Положения являются новыми, так как впервые сформулированы и убедительно обоснованы и раскрыты ранее недостаточно исследованных вопросов по теме диссертации.</p> <p>7.4 Среди основных направлений технологического развития промышленного комплекса последних лет является создание новых материалов, превосходящих по физико-механическим и эксплуатационным свойствам стали и сплавов. По экспертным оценкам, в будущем большинство материалов будут заменены принципиально новыми, в частности, прогресс ожидается в создании композитных материалов, керамики и др. Поэтому одним из направлений совершенствования современных конструкций и повышения их технологичности является применение многослойных композитных материалов. Материалы исследования представляют и практический интерес, поскольку полученный новый материал имеет широкий уровень применения в области машиностроения, так как экспериментальные исследования показали высокую защитную способность покрытий и возможно в области медицины со своим хорошим антибактериальным действием. Также материалы диссертации могут быть использованы при разработке учебных пособий по техническим наукам и</p>

			<p>другим смежным дисциплинам для вузов РК.</p> <p>7.5 Основные положения, результаты, выводы и заключения диссертации прошли апробацию и были опубликованы в 6 научных журналах рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 2 статьи в зарубежных научных журналах, входящие в международные информационные ресурсы Web of Science Core Collection и Scopus, журналы имеют квартили - Q1 и Q2, а также 6 статей в сборниках материалов международных конференций, в том числе 1 статья в материалах зарубежных конференций и 1 патент на полезную модель. Также результаты исследований доложены и представлены автором на республиканских и международных конференциях, и в целом соответствуют требованиям ККСОН МОН РК по публикациям результатов научного исследования.</p>
8.	Принцип достоверности Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана 1) <u>да</u>	<p>В соответствии с целью и задачами диссертационной работы соискателем были выбраны современные экспериментальные и теоретические методы исследования. Выбранные методы достаточно подробно описаны во второй главе диссертации со ссылками на источники последних лет. Использованы в данной работе хорошо апробированные экспериментальные методы исследования и эти экспериментальные данные сопоставлены с полученными ранее экспериментальными результатами известных ученых СНГ и дальнего зарубежья.</p>
8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u>		<p>При выполнении данной диссертационной работы были использованы следующие современные, апробированные экспериментальные и теоретические методы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - фазовый состав, структуру и параметры решетки анализировались с помощью рентгеноструктурного анализа (XRD) и высокоразрешающей просвечивающей электронной микроскопии (HR-TEM) с дифракцией на выбранных участках и микроанализом; - элементный состав был изучен с использованием энерго-дисперсионной спектроскопии (EDS), вторичной ионной масс-спектрометрии (SIMS) и спектроскопии резерфордовского обратного рассеяния (RBS); - химические связи в покрытиях изучали с помощью рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS); - исследование поверхности и приповерхностного слоя производили с помощью 	

			<p>атомно-силовой микроскопии (АСМ);</p> <ul style="list-style-type: none"> - измерения нанотвердости и модуля упругости проводили на наноинденторе; - расчеты на основе метода молекулярной динамики; - компьютерное моделирование многослойных покрытий с помощью TRIM.
		<p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):</p> <p>1) <u>да</u></p>	<p>Теоретические выводы и выявленные закономерности доказаны и подтверждены следующими основными экспериментальными исследованиями:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Получены нанокompозитные покрытия на основе (TiAlSiY)N/CrN с нанослоевой архитектурой методом вакуумно-дугового осаждения из паровой фазы на стальную подложку и имплантировать их ионами Au⁺. - Проведены исследования структуры, фазового и элементного состава покрытий на основе (TiAlSiY)N/CrN с наноразмерными слоями с помощью РСА, ВИМС, POP анализов и ВР-ПЭМ с микроанализом. Оценить перенос ионов Au⁺ в многослойном покрытии. - Изучено влияние ионной имплантации на механические, трибологические и антибактериальные характеристики (TiAlSiY)N/CrN покрытий. - Проведены расчеты на основе молекулярной динамики гетероструктур Ti_{1-x}Al_xN/CrN (111), моделирующие структуру осажденных покрытий для оценки термодинамики их смешения.
		<p>8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу</p>	<p>На материалы, использованные докторантом в процессе исследования имеются ссылки в диссертации. Полученные результаты анализируются в сравнении с известными данными, которые в основном опубликованы зарубежных научных журналах, входящих в базу данных Web of Science Core Collection и Scopus с высокими квантилями.</p>
		<p>8.5 Используемые источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора</p>	<p>Автором диссертации проделан довольно большой литературный обзор научной литературы по теме исследования, использовано 202 источника, в т.ч. – 38 за последние 3 года, которые в основном опубликованы в рейтинговых отечественных журналах рекомендованных ККСОН МОН РК и зарубежных научных журналах, входящих в базу данных Web of Science Core Collection и Scopus.</p>
9	Принцип практической ценности	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:</p> <p>1) <u>да</u></p>	<p>Диссертация имеет теоретическое значение, поскольку полученные результаты дают более глубокое понимание процессов, происходящих на интерфейсах наноразмерных слоев, а также при взаимодействии тяжелых ионов Au⁺ с</p>

			нанослоевой архитектурой покрытий. Также были проведены расчеты на основе молекулярной динамики гетероструктур $Ti_{1-x}Al_xN/CrN$ (111), моделирующие структуру осажденных покрытий для оценки термодинамики их смешения.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u>	Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что полученные результаты являются научной основой для выбора оптимальных технологических режимов формирования нанокompозитных покрытий с необходимыми физико-механическими характеристиками. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по специальности «Техническая физика» и «Материаловедение и технология новых материалов», при изучении курсов: «Модификация поверхности металлов и сплавов», «Новые материалы», «Физика наноструктур», «Современные проблемы ионно-лучевых технологии» и «Разработка и внедрение технологических процессов модификации материалов», а также при выполнении проектных и дипломных работ бакалавров, специалистов и магистров.
		9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) <u>полностью новые (95 %)</u>	Полученные научные результаты обладают высокой степенью новизны, предложен новый способ получения нанокompозитных покрытий на основе $(TiAlSiY)N/CrN$ с нанослоевой архитектурой (патент на полезную модель «Многослойное защитное покрытие»). Получены акты о внедрении в учебный процесс и акта внедрения без экономического эффекта результатов диссертационной работы в производство для использования в перспективных проектах ТОО «Машзавод». Также следует отметить, что антибактериальные тесты показали заметное снижение активности бактерий в нанокompозитных покрытиях на основе $(TiAlSiY)N/CrN$, что может быть применен в качестве антибактериальных покрытий в медицинских учреждениях и местах, где важно поддерживать высокий уровень гигиены. Таким образом полученные результаты показывают реальную пользу в практической деятельности, их прикладную ценность.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u>	Качество академического письма – высокое, результаты и исследования представлены ясно, оформление работы соответствует общим требованиям к структуре, объему и правилам оформления диссертационных работ по всем областям науки и техники. Диссертация представляет собой самостоятельно выполненный квалифицированный, законченный научный труд, который по

			<p>актуальности, цели и задачам, научной новизне, полученным результатом и практической значимости, качество написания и оформления работы соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени «доктора философии» (PhD).</p>
--	--	--	--

Рецензент:

**кандидат физико-математических наук,
начальник отдела радиационной
физики твердого тела
РГП «Институт ядерной физики» МЭ РК**



С.Б. Кислицин

«31» 05 2021 г.

Подпись Кислицина С.Б. заверяю, ученый секретарь РГП ИЯФ, PhD



Бекбаев А.К.