AZƏRBAYCAN ELM FONDU

Azərbaycan Elm Fondunun
2022-ci il üçün ƏSAS qrant müsabiqəsinin
(AEF-MCG-2022-1(42)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Nano strukturlu ZrC, TiC və WC nazik təbəqələrin yüksək temperatur, radiasiya və kooroziyaya dayanıqlı material kimi tətbiq imkanları**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Hüseynov Hüseyn Cəlil oğlu**

Layihənin nömrəsi: **AEF-MCG-2022-1(42)-12/03/1-M-03**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **31 mart 2023-cü il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **24 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 may 2023-cü il - 01 may 2025-ci il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

Diqqət! Uyğun məlumat olmadığı təqdirdə müvafiq bölmə boş buraxılır

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1	Layihənin həyata keçirilməsi üzrə yerinə yetirilmiş işlər, istifadə olunmuş üsul və yanaşmalar
	Tədqiqat zamanı xüsusi səth sahəsi 70 m²/q olan və orta ölçüsü təxminən 20 nm civarında dəyişən hissəciklərdən ibarət toz formasında nano ölçülü zirkonium və titan karbid (ZrC) birləşməsindən istifadə olunmuşdur. Onların nanohalda sıxlığı 0.08 q/sm³ təşkil etdiyi halda, bu birləşmənin həqiqi sıxlığı 6.1 q/sm³ kimi müəyyən edilmişdir. Tədqiqat Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının (AMEA) Radiasiya Problemləri İnstitutunun "Şüalanma mərkəzində" yerləşən və 186.27 rad/san aktivliyə malik Co-60 radioaktiv mənbəsindən istifadə olunmaqla həyata keçirilmişdir. Şüalandırma prosesi otaq temperaturunda aparılmış və müxtəlif nümunələrə 5 Mrad, 15 Mrad, 50 Mrad və 150 Mrad dozalarda radiasiya verilmişdir. İnfraqırmızı (İQ) spektrlərin əldə olunması üçün hazırlanmış nümunələrin spektrləri "Varian 640 FT-IR" cihazı vasitəsilə 400 – 4000 sm^{-1} diapazonunda dalğa ədədi (və ya fəza tezliyi) üzrə çəkilmişdir. Bundan əlavə, nümunələrin diferensial skanlaşdırıcı kalorimetriya (DSC) spektrləri "Perkin Elmer" STA 6000 markalı cihazda 25 °C-dən başlayaraq 950 °C-yə qədər temperatur intervalında və 5 °C/dəq isitmə sürəti ilə qeydə alınmışdır. Təcrübə zamanı yanma nəticəsində əmələ gələ biləcək məhsulların sistemdən kənarlaşdırılması və kondensasiya prosesinin qarşısının alınması məqsədilə təsirsiz atmosfer mühiti kimi arqon qazından istifadə olunmuşdur. Arqon qazı sistemə 20 ml/dəq axın sürəti ilə verilir. DSC

təcrübələrində standart olaraq 177.78 mg kütləyə malik alüminium oksid əsaslı pən istifadə olunmuşdur. Nümunənin kütləsi 10^{-6} q dəqiqliklə elektron qeydedici cihaz vasitəsilə termocüt üzərində müəyyən edilmiş və bu göstəricilər avtomatik rejimdə qeyd olunmuşdur. Təcrübələrdən əldə edilmiş nəticələr, həm real eksperimental qiymətlərlə, həm də nəzəri hesablamalar əsasında əldə olunmuş məlumatlarla uyğunluq təşkil etmişdir və bu nəticələr "OriginPro 9.0" proqram təminatında qrafik formada vizuallaşdırılmışdır.

Bununla yanaşı, layihə çərçivəsində aparılan tədqiqatlarda eksperimental şəkildə öyrənilmiş ikinci material altıbucaqlı kristal struktura malik zirkonium diborid (ZrB_2) nümunəsi olmuşdur. Bu məqsədlə, hissəcik ölçüsü 43 nm-dən kiçik olan, xüsusi səth sahəsi 80 – 120 m^2/q aralığında dəyişən və təmizliyi 99.5 % olan, nano toz şəklində zirkonium diborid materialından istifadə edilmişdir. Zirkonium diborid nümunəsinin şüalanma prosesi isə Rusiya Federasiyasının Dubna şəhərində yerləşən Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunun (JINR) Flerov Nüvə Reaksiyaları Laboratoriyasında (FLNR) yerləşən IC100 siklotron qurğusu vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Burada nümunələr 167 MeV enerjiyə və +26 yükə malik olan ^{132}Xe ionları ilə şüalandırılmışdır. Şüalanma zamanı nümunələr statik şəraitdə, yəni atmosfer təzyiqi altında saxlanılmış və ion axını sırasıyla 6.0×10^{12}, 2.0×10^{13}, 6.0×10^{13} və 3.0×10^{14} ion/sm^2 dozalarında tətbiq edilmişdir. Bu zaman nümunələrin temperaturu 50 °C səviyyəsini aşmamışdır.

Nümunələrin kristallik vəziyyəti, faza tərkibi, tekstura xüsusiyyətləri və hissəcik ölçüləri rentgen şüalarının difraksiyası (XRD) üsulu ilə araşdırılmışdır. Bu məqsədlə PANalytical firmasının EMPYREAN model difraktometri, Cu Kα (1.5405 nm) radiasiyası ilə 20° – 100° $\theta/2\theta$ bucaqları arasında, 0.02°/dəq addımlarla və 3° hadisə bucağı ilə ölçmələr aparılmışdır.

Əlavə olaraq, nümunələrin kristal quruluşundakı dəyişikliklərin termal təsirlərlə necə dəyişdiyi də araşdırılmışdır. Bu məqsədlə Anton Paar HTK 1200N istilik sistemindən istifadə olunaraq nümunələr otaq temperaturundan başlayaraq 500 °C-yə qədər qızdırılmış və 10 °C/dəq sürətlə həm qızdırma, həm də soyutma rejimində analizlər aparılmışdır.

Aparılan eksperimental tədqiqatlar çərçivəsində pozitronun yaşama müddəti spektroskopiyası (PALS – Positron Annihilation Lifetime Spectroscopy) texnikasından istifadə olunmuşdur. Bu təcrübələr, sintillyasiya texnologiyası əsasında çalışan və barium florid (BaF_2) kristalları ilə təchiz olunmuş yüksək sürətli spektrometr sistemində həyata keçirilmişdir. İstifadə edilən spektrometrin vaxt üzrə ayırdetmə qabiliyyəti, yəni yarım maksimumda tam genişlik (FWHM – Full Width at Half Maximum) 250 pikosaniyə (ps) təşkil etmişdir ki, bu da yüksək zaman dəqiqliyi ilə spektrometrik analizə imkan yaratmışdır. Təcrübədə istifadə edilən radiasiya mənbəyi, qalınlığı 7 mikrometr olan titan folqadan hazırlanmış və 22Na radioaktiv izotopunu ehtiva edən qurğudur. Bu mənbə iki titan folqa arasında "sendviç" konfiqurasiyasında yerləşdirilərək, həm başlanğıc (start), həm də dayanma (stop) siqnallarını qeyd edən sintillyasiya detektorlarının qarşısında yerləşdirilmişdir. Mənbənin ümumi radioaktiv aktivliyi 10,5 miliküridir (mCi). Bu konfiqurasiya sayəsində pozitronların maddə daxilində anihilyasiya müddəti çox dəqiq şəkildə qeydə alınmışdır. Təxminən 24 saat davam edən ölçmə prosesi zamanı təqribən 3×10^6 hadisə toplanmışdır ki, bu da statistik etibarlılığın təmin olunması üçün kifayət qədər geniş məlumat toplusu sayılır. Toplanmış PALS spektrlərinin təhlili "LT" (Lifetime) proqram təminatı vasitəsilə aparılmışdır. Bu proqram kodu vasitəsilə pozitiv və ya neqativ boşluqlar, defektlər və ya atomar miqyaslı struktur qeyri-müntəzəmliklər haqqında dərin təhlil aparmaq mümkün olmuşdur.

Bununla yanaşı, nümunələr üzərində Doppler Genişləndirilməsi Spektroskopiyası (DBS – Doppler Broadening Spectroscopy) metodu ilə də tədqiqat aparılmışdır. Bu metodda otaq temperaturunda, diametri 5 mm olan və 10^5 pozitron/saniyə axınına malik pozitronların implantasiyası həyata keçirilmişdir. Doppler genişlənməsi analizləri yüksək enerji ayırdetmə qabiliyyətinə malik olan yüksək təmizlikli germanium (HPGe) detektoru vasitəsilə həyata keçirilmişdir. DBS zamanı nümunədən gələn annihilyasiya fotonlarının enerji spektrləri qeydə alınmış, nüvə xətlərinin FWHM parametrinə uyğun

olaraq xətti funksiyalar qurulmuşdur. Bu yanaşma 511 keV enerji üçün enerji həllini təxminən 1.2 keV olaraq interpolasiya etməyə və qiymətləndirməyə imkan yaratmışdır. Eyni zamanda, əldə olunmuş spektrlərdən çıxarılan məlumatlar əsasında S və W parametrləri hesablanmış və təhlil edilmişdir. Burada S parametri əsasən aşağı impulslu elektronlarla baş verən annihilyasiya hadisələrinin intensivliyini əks etdirir və bu parametrlərin yüksək olması adətən ciddi kristal qüsurların mövcudluğuna işarə edir. W parametri isə daha çox nüvə sahəsinə yaxın elektronlarla annihilyasiya olunmuş fotonların enerji dəyişməsini ifadə edir və S parametrini tamamlayıcı göstərici kimi çıxış edir. Doppler genişlənməsi spektrlərinin təhlili üçün SP–SE (Spectrum Processing–Spectrum Evaluation) proqram təminatından istifadə edilmişdir. Bu proqram kodu vasitəsilə spektral komponentlər təhlil olunmuş, xüsusilə defektlərin təbiəti və lokalizasiya səviyyəsi haqqında dərin məlumatlar əldə olunmuşdur.

2	Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (faizlə qiymətləndirməli)
	95%
3	Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr** (onların yenilik dərəcəsi, elmi və təcrübi əhəmiyyəti, nəticələrin istifadəsi və tətbiqi mümkün olan sahələr aydın şəkildə göstərilməlidir)

Layihə çərçivəsində aparılan tədqiqatlar əsas etibarilə nümunələrin struktur, XRD, PALS, DBS, termik və infraqırmızı (İQ) analizlərinə yönəldilmişdir. Bu mərhələdə məqsəd, nanostruktur materiallarda qamma şüalanma nəticəsində baş verən dəyişikliklərin kompleks şəkildə izlənilməsi olmuşdur. Tədqiqatın əsas obyektlərindən biri olan ZrC vəTiC (zirkonium karbid) nanohissəciklərinin infraqırmızı spektrləri, həm qamma şüalanmadan əvvəl, həm də sonra ölçülmüşdür. Bu spektrlərin müqayisəli təhlili material daxilində və ya səthində baş verən kimyəvi rabitə dəyişikliklərini aşkar etməyə imkan vermişdir. Aşağıda təqdim olunan nanokristallik ZrC hissəciklərinin Fourier Transform Infrared (FTIR) spektroskopiyası ilə alınmış spektrləri verilmişdir. Spektral təhlil nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, qamma şüalanmaya məruz qalmış nümunələrdə müəyyən struktur dəyişiklikləri müşahidə olunur (Şəkil 1a). Xüsusilə 890 sm^{-1} və 1600 sm^{-1} dalğa ədədinə uyğun gələn və adətən Zr-O-C (zirkonium-oksigen-karbon) tipli rabitələrə işarə edən piklərin intensivliyində 150 Mrad dozalı şüalanmadan sonra nəzərəçarpacaq kəskinləşmə baş vermişdir. Bu dəyişiklik iki əsas yanaşma ilə izah oluna bilər. Əvvəla, şüalanma zamanı Zr və C atomları arasında olan rabitələrin qırılması, daha sonra isə sərbəst qalan bu atomların ətraf mühitdəki oksigen atomları ilə reaksiya verərək yeni Zr-O-C rabitələri əmələ gətirməsi ehtimalı yüksəkdir. Nəticədə, bu yeni kimyəvi bağların konsentrasiyasının artması infraqırmızı spektrdə müvafiq piklərin daha kəskin və görünən olmasına səbəb olmuşdur. Eyni zamanda, spektrlərin ümumi quruluşunda, şüalanmamış nümunələrlə müqayisədə, müəyyən spektral şum müşahidə olunur. Bu hal, qamma şüalanmanın təsiri nəticəsində materialın strukturunda qismən amorflaşma prosesinin başlaması ilə əlaqələndirilə bilər. Belə struktur dəyişikliklər materialda lokal pozuntulara, qeyri-bərabərliklərə və nəticədə spektral şuma səbəb olur.

Qeyd etmək önəmlidir ki, şüalanmadan öncə sadəcə Zr-C rabitələrini izah edən dalğa ədədlərinin 1010sm-1 və 1380sm-1 qiymətlərinə uyğun gələn piklər, dalğa ədədinin 890sm-1 qiymətinə uyğun gələn pikin güclənməsi fonunda itmişdir. Lakin reallıqda, nanomaterial daxilində Zr-C rabitələri mövcuddur və dalğa ədədinin 890sm-1 qiymətinə uyğun gələn pikin daxilindədir. Eyni zamanda C-OH qrupları və C-O rəqslərini dalğa ədədinin 1950sm-1 və 2350sm-1 qiymətləri ilə xarakterizə olunur və şüalnma nəticəsində qismən kəskin hal alır. Məlumdur ki dalğa ədədinin ~3000sm-1 qiymətində müşahidə olunan piklər adətən səthi aktiv nanohissəciklərdə adsorbsiya olunan OH qrupları ilə izah olunur. Nanohissəcik səthində sözügedən OH qrupları və oksidləşməni izah etmək üçün TG spektrlərini nəzərdən keçirmək faydalıdır. Qamma şüalanmadan öncə və müxtəlif dozalarda şüalanmış nümunələrin TG əyrilərində ilkin yanaşmada müəyyən dəyişiklik müşahidə olunur.

Şəkildən göründüyü kimi, həm şüalanmadan öncə, həm də şüalanmadan sonra temperaturun təqribən 300C qiymətinə qədər nanohissəciyin kütləsi temperaturun təsiri ilə azalır. Bu isə adətən nanohissəcikdə adsorbsiya olunan OH qruplarının materialı tərk etməsi ilə izah olunur. Məlumdur ki, nanomateriallar çox böyük xüsusi səth sahəsinə (Specific Surface Area - SSA) malikdirlər və bu tip materiallar səthi aktiv olur ki, bu da onların atmosferlə təmasından dərhal su və ya digər birləşmələri nanohissəcik səthində asılı hala salırlar. Aktiv səth ətraf mühütdən H2O və OH qrupları ilə zəyif qarşılqlı təsirdə xemosorbsiya olur. Temperaturun xətti artması zəyif qarşılqlı təsiri parçalayır. Termik əyrilərin müşahidəsindən belə nəticəyə gəlmək olar ki, temperaturun artması nəticəsində nanomaterialda mövcud asılı su və ya digər qatışıqlar sistemi tərk etməyə başlayır. Bu proses temperaturun təqribən 370°S qiymətlərində bitir. Temperaturun təqribən 300-500C intervalında nanohissəciklərin kütləsində artım müşahidə olunur ki, bunu da İR spektrlərində izah etdiyimiz oksidləşmə prosesi ilə izah etmək olar. Lakin temperatrurun T>500C qiymətində kütlədə yenidən azalma müşahidə olunur ki, bu halı nanohissəciyi tərk edən CO2 qazı ilə izah etmək olar. Lakin CO2 qazının yaranması və nanohissəciyi tərk etməsi haqqında daha dəqiq məlumat üçün, əlavə analitik təcrübələr ehtiyac duyulur. Baxmayaraq ki, CO2 qazının mövcudluğu və qamma şüalanmanın təsir ilə artması (temperaturun təsirinə oxşar olaraq) İR spektrlərində müşahidə edilmişdir. Bu halda daha dəqiq məlumat almaq məqsədilə, təqdim olunan işdə nanokristallik ZrC hissəciklərinin DSC spektrləri qamma şüalanmadan öncə və sonra 25-950C temperatur aralığında tədqiq olunmuşdur. Qamma şüalanmadan öncə və sonra uyğun DSC spektrlər təsvir edilmişdir. İlkin yanaşmada spektrlərdən göründüyü kimi, atmosferdən adsorbsiya olunan suyun və ya digər aşqar elementlərin sistemdən çıxması müşahidə olunur.

Qızma prosesində alınmış DSC spektrlərindən göründüyü kimi temperaturun təqribən 370C qiymətinə qədər nanohissəciklərdə adsorbsiya olunan OH qrupları materialı tərk edir. Qızma prosesində temperaturn 400-450C qiymətindən sonra DSC spektrində demək olar ki dəyişiklik müşahidə olunmur. T>400C temperatur intervalında nanokristallik ZrC hissəciklərində istilik axımı temperaturun demək olar ki xətti artan funksiyası kimi dəyişir. Təəssüf ki, DSC spektroskopiyası ilə 300-500C temperatur intervalında mövcud oksidləşməni müşahidə etmək mümkün olmur. Bu isə nanomaterialda T>400C temperatur intervalında DSC spektrləri ilə heç bir dəyişikliyi müşahidə edə bilməməyimiz nəticəsində gəlir.

Tədqiqat layihəsinin birinci mərhələsi üzrə otaq temperaturundan (100 K addımla) ZrB2 nano kristallarının 373 K, 473K, 573K, 673K və 773K temperarurda difraksiyası spektrləri araşdırılmışdır. Otaq temperaturunda difraksiyası spektrləri ZrB2 kristalının heksoqonal fəza strukturuna və yüksək təmizlik dərəcəsinə (99.2 %) malik olduğu göstərilmişdir (Şək.4.). Difraksiya spektrlərinin zirvələri (001), (100), (101), (002), (110), (102), (111), (200), (201), (112), (003), (202), (103) və (210) əmsalları ilə indekslənmişdir. Nəzəri və təcrübi hesablamalar ZrB2 kristalını (P 63/m m c) heksoqonal fəza quruluşunda, a=b= 3.1650 Å və c = 3.5200 Å qəfəs parametirləri və qəfəs həcminə V0 = 30.5366 Å malik olduğunu göstərir. Eyni zamanda temperaturdan asılı olaraq difraksiya piklərinin 0.1 theta qədər sola sürüşməsi müşahidə olunmuşdur. Piklərin sola sürüşməsi ZrB2 kristallarının aktiv səthində su və OH qruplarının parçalanması ilə bağlıdır.

300-773 K temperatur intervalında zirconium diboride kristalında qəfəs parametirlərinin və həcminin artması göstərilmişdir. Qəfəs parametirlərinin genişlənmə mexanizmi iki hissəyə bölünür. Birinci hissədə 373 K qədər sürətli (prosesin sürəti 5.0×10-4 Å3/K), ikinci fazada (prosesin sürəti 6.4×10-4 Å3/K) zəyif sürətlə artması baş verir. Qəfəs parametirlərinin ikili mexanizimlə artması temperatur və aktiv səthə malik nano zirconium diboride kristallarının səthində zəyif kimyəvi qarşılqlı təsirdə olan su molekullarının temperaturun təsiri nəticəsində parçalanması və reaksiya məhsulu kimi Zr(OH)4, H3BO3, H2 ayrılması ilə bağlıdır.

$$ZrB_2 + 10H_2O \rightarrow Zr(OH)_4 + H_3BO_3 + 5H_2$$

Digər tərəfdən 300-773K temperatur intervalında struktur faza keçidi müşahidə olunmamışdır.

Təcrübədən alınan nəticələrin müqayisəli təhlilindən göründüyü kimi temperaturun təsiri ilə difraksiya piklərinin intensivlikləri artır və difraksiya pikləri sola sürüşür. Lakin temperatur artması ilə piklərin intensivliyi və minimal maksimal hündürlüykdə yarım genişlik (FWHM) 303-773K temperatur aralığında 9.19-dən 9.16 qədər azalır. 300-573K temperatur intervalında atomlar arası su molekullarının və hidroksid qruplarının tam parçalanma prosesi bitir, atomların kordinat düzülüşü və kristal strukturdakı vakansiyaların rekombinasiyası və temperatur artması ilə atomlar yüksək kinetik enerji ilə rəqsi hərəkəti artır.

Polikristallik xassələr malikr heksogonal quruluşlu ZrB2 kristalı temperaturun təsiri ilə genişlənməsi a və c qəfəs oxlarının dəyişməsinə təsir edir. Temperaturun təsiri ilə kristalın genişlənmə əmsalı ZrB2 kristalı üçün 6.0×10-6 1/K bərabərdir. Şəkil 4-də 167 MeV enerjili sürətli ağır 132Xe26+ ionları ilə 6.0×1012 ion/cm2, 2.0×1013 ion/cm2, 6.0×1013 ion/cm2, və 3.0×1014 ion/cm2 flux şüalanmış heksogonal spaces grupa malik ZrB2 kristalının difraksiya spektrləri göstərilmişdir. 2θ bucağının geniş intervalında (up to 110º) difraksiya piklərinin (001), (100), (101), (002), (110), (102), (111), (200), (201), (112), (003), (202), (103), (210), (211) və (113) kristalloqrafik indeksləri müəyyən olunmuşdur. Sürətli ağır ionun fluences artması ilə difraksiya piklərinin intensivliyinin azalaması (amorflaşma) və iki theta nın qiymətində sola sürüşmə müşahidə olunur.

Şüalanmamış zirconium diboride kristalında difraksiya pikləri kəskin dublet quruluşa malikdir. Sürətli ağır 132Xe26+ ionları ilə şüalanmadan sonra yüksək intensivlikli piklərdə azalama, 2θ böyük qiymətlərində mövcud zəif intensivlikli difraksiya piklərinin tam şəkildə degredasiyası baş verir. İon şüalanma səthi xarakterli defektlər, vakansiyalar və səthin degredasiyasını formalaşdırır. Struktur dəyişiklikləri kristalda uzaq nizamlılığı pozur ki, bu da öz növbəsində piklərin genişlənməsini və kiçik intensivlikli piklərin tam degredasiyasını formalaşdırır. Şüalanma intensivliyinin artması ilə kristalın səthi boyunca amorflaşma dərəcəsi 15.1%-dən, 17.4 %-ə qədər artır. Diffraksiya maksimumlarının intensivliyinin azalması və sola doğru sürüşmə Riethvield metodu tətbiq edilməklə (101) indeksləşmiş pik iki tetanın 41.6514º qiymətindən 41.4264º qədər sürüşməsi müşahidə olunmuşdur. Müxtəlif fluxs şüalanmış nano zirconium diboride kristalının qəfəs parametirlərinin və həcminin dəyişməsi göstərilmişdir. Qəfəs parametirlərinin artması iki hissəyə bölünür. Sürətli ağır 132Xe26+ ionlarının 6.0×1013 ion/cm2 flux sonra sıçrayışlı artması baş verir. Ağır ionların təsiri altında qəfəs parametirlərinin artması səthi amorfizasiyanın baş verməsi ilə bağlıdır. Bu zaman kristalın səthində müxtəlif ölçülü şişlər və lokalaşmış amorf izlər yaranır.

Şüalanmamış, 1500 və 3000 kQr udulma dozalarında qamma kvantları ilə şüalandırılmış nano kristalik zirconium carbide nümunələrinin FTIR spektrləri göstərilmişdir. Ftir spektrlərindən nümunələrin səthində qamma şüalanmanın təsiri altında formalaşan aktiv mərkəzlər tərəfindən tutulan və parçalalan funksional qruplar, oksid mərkəzlər və hidroksid qrupları haqqında geniş məlumat əldə etmək mümkündür. ZrC nano kristalının FTIR spektrində 646 sm-1, 748 sm-1, 840 sm-1,1561 sm-1 və 3435 sm-1 dalğa nömrələrində kimyəvi rabitələrin rəqsləri müşahidə olunur. 1500 kGy udulma dozasında 884 və 1067 sm-1 dalğa nömrələrində və 3000 kGy udulma dozasında isə 1337 sm-1 və 1436 sm-1 dalğa nömrəsində yeni rəqslər formalaşır. Həmçinin 3000 kGy udulma dozasında şüalanmış kristalalrda 1436 sm-1 dalğa nömrəsindəki rəqslərin dubletləşməsi və 884 sm-1 və 1067 sm-1 dalğa nömrəsindəki rəqslərin intesivliyinin artması aşkar olunmuşdur.

Məlumdur ki, 500 kQr udulma dozasına qədər qamma kvantları ilə şüalanmış 20 nm ZrC kristallarında C-OH və C-O asymmetric stretching vibration, struktur deqradasiya və amorflaşma prosesinin baş verməsi göstərilmişdir. Şüalanmamış kristalın 646 cm-1 tezlikdəki rəqslər Zr-O-Zr kimyəvi rabitəsinin simmetrik və assimmetrik dartılma rəqslərini xarakterizə edir və Zr (metal)-oxygen kimyəvi rabitələri yalnız 400-700 cm-1 intervalında müşahidə olunur. Lakin ν(Zr–O) + ν(Zr–N) və π(C–CH3) +

ν(Zr–O) + ring distortion rəqslərinin modalarına eyni dalğa nömrəsində müşahidə etmək mümükündür. 748 cm-1 tezlikdəki rəqslər C-O, 840 cm-1 və 884 cm-1 rəqslər ν(Zr-O-C) rabitələrinin simmetrik və assimmetrik dartılma rəqslərinə uyğundur. Digər tərəfədən, 1067 cm-1 ν(OOC), 1295 δ(C–H) cm-1, 1337 cm-1 Zr-C, 1435 cm-1 ν(C=O) + δ(CH), 1654 cm-1 ν(C=O) tezliklərdəki rəqslərin təbitə müəyyən olunmuşdur. Aktiv səth sahəsinə malik nano kristalik ZrC nümunələri normal atmosfer mühütündə şüalanması həyata keçirildiyi üçün kristalların səthində aşağıdakı mexanizmlərlə çevrilmə reaksiyalarının baş verməsi mümkündür.

$$\mathrm{ZrC(active\ surface)} \xrightarrow{\gamma\ \mathrm{radiation}} \mathrm{ZrC^{n+}\ (active\ centers: H^{\cdot}, HO^{\cdot}, O^{\cdot})} + \mathrm{ne^{-}}$$

Nümunənin səthi tərəfindən absorbsiya olunmuş su molekullarının qamma şüalanamnın təsiri nəticəsində parçalanma mexanizmi aşağıdakı tənliklərdə verilmişdir.

$$\mathrm{H_2O} \xrightarrow{\gamma\ \mathrm{radiation}} \mathrm{H_2O^{\cdot +}} + \mathrm{e^{-}}$$

$$\mathrm{H_2O^{\cdot +}} \xrightarrow{\gamma\ \mathrm{radiation}} \mathrm{HO^{\cdot}} + \mathrm{H^{+}}$$

Və yaxud

$$\mathrm{H_2O} \xrightarrow{\gamma\ \mathrm{radiation}} \mathrm{H_2O^{*}}$$

$$\mathrm{H_2O^{*}} \xrightarrow{\gamma\ \mathrm{radiation}} \mathrm{HO^{\cdot}} + \mathrm{H^{+}}$$

Spektrlərdə 646 cm-1, 748 cm-1, 840 cm-1, 884 cm-1, 1067 cm-1, 1436 cm-1 və 1561 cm-1 tezliklərdə aktiv carbon tərəfindən tutulan oksigen molekulları nümunənin səthində korbonil qruplarına məxsus C=O, Zr-O-Zr və Zr-O-C kimyəvi rabitələr yaratmaqla oksidləşmə reaksiyası baş verir. Nümunələrin normal atmosfer şəraitində şüalanması zamanı sərbəst radikallar, oksidləşmiş funksional qruplar formalaşdırır və qamma şüalanma dozasının artması ilə onların konsentrasiyası dəyişir.

$$\mathrm{O^{2}} + \mathrm{2e} \xrightarrow{\gamma\ \mathrm{radiation}} \mathrm{2O^{2-}}$$

$$\mathrm{O^{2-}} + \mathrm{ZrC^{n+}} \xrightarrow{\gamma\ \mathrm{radiation}} \mathrm{ZrOC^{n+}}$$

Qamma şüalanmanının təsiri ilə 615–700 cm-1 intervalında formalaşan C-O rəqslərinin geniş piklərdəki "çiyinin" şaquli istiqamətdə maillik dərəcəsi kəskin artması nano kristallarda aktiv səth sahəsi ilə oksigen arasındakı qarşılıqlı təsirin güclənməsi götərir. Həmçinin şüalanma dozasının arması ilə ZrC səthində oksid mərkəzlərin sayı artır.

$$\mathrm{O^{2-}} + \mathrm{ZrC^{n+}} \xrightarrow{\gamma\ \mathrm{radiation}} \mathrm{ZrOC^{n+}} + \nu(\mathrm{OOC})$$

1435 cm-1 tezlikdə ν(C=O) + δ(CH) dublet rəqslərinin ayrılması müşahidə olunur.

$$\mathrm{O^{2-}} + \mathrm{ZrC^{n+}} \xrightarrow{\gamma\ \mathrm{radiation}} \mathrm{ZrOC^{n+}} + \nu(\mathrm{C=O}) + \delta(\mathrm{CH})$$

Dublet piklərin mərkəzləri 1434 və 1453 sm-1 tezliklərdə formalaşır. Kristal fazasında (–CH2–) qrupunun C–H kimyəvi rabitəsini burulma rəqslərini xarakterizə edir. Mütəlif udulma dozalarda şüalandırılmış nümunələrinin spektrlərində udulma dozasından asılı olaraq kristal strukturunda amorflaşan faza müşahidə olunmur. Yalnız yüksək udulma dozasında prosesi baş verir.

Eyni zamanda cari rübdə TiN nanokristalları Gamma MRX-25 qurğusunda dörd udma dozasında (50, 200, 900 və 3500 kGy) 60Co qamma mənbəyindən istifadə edərək otaq temperaturunda şüalanmaya məruz qalmışdır. Daha sonra onlar pozitron analizi üçün 10-6 Torr vakuum şəraitində Linn™ HT-1800 sobasında 1173 K-də qızdırılıblar. Qüsurların əmələ gəlməsi mexanizminin tədqiqi annihilasiya ömrünü və Doppler-i genişləndirən annihilyasiya spektroskopiyalarından istifadə etdilmişdir. Pozitron Annihilation Lifetime Spectroscopy (PALS) tədqiqatları ilə əlaqədar olaraq, bütün nümunələrdə iki fərqli ömür komponenti aşkar edilmişdir. τ1 ömür komponenti 155 ilə 159 ps arasında dəyişir. Müvafiq I1 intensivliyində marjinal azalma (81,67-dən 81,51%-ə qədər) müşahidə olunub. Doppler Genişləndirici Annihilasiya Spektroskopiyasından (DBAS) əldə edilən S parametrinin təhlili TiN nanokristallarında boşluq qüsurlarının mövcudluğu ilə bağlı fikirlər verdi. Artan pozitron enerjisi və ya pozitron implantasiyasının dərinliyi ilə S parametrində azalma tendensiyası dərin qüsurların sıxlığının və

konsentrasiyasının azalmasından xəbər verir.

Aparılan bir çox tədqiqatlar göstərmişdir ki, titan karbid (TiC) yüksək aşınma və eroziyaya qarşı davamlı xüsusiyyətlərinə görə diffuziya maneəsi kimi effektiv şəkildə istifadə edilir və dekorativ tətbiqlər üçün də geniş istifadə olunur. Bu material yüksək sərtliyi, kimyəvi sabitliyi və estetik görünüşü ilə müxtəlif sənaye sahələrində, o cümlədən avtomobil, aerokosmik və elektronika sektorlarında tətbiq edilir. Son illərdə titan karbid və nitridin IV nəsil nüvə reaktorları üçün uyğunluğu xüsusi maraq doğurmuşdur. TiC əsasında hazırlanmış materiallar, nüvə radiasiyasının zərərli təsirlərini azaltmaq, atom elektrik stansiyalarında təhlükəsizlik tədbirlərini gücləndirmək və yanacaq elementlərinin istismar müddətini artırmaq məqsədilə nəzərdə tutulmuşdur. Bu materialın aşağı neytron udma en kəsiyi və yüksək istilik keçiriciliyi onun sürətli neytron sistemlərində istifadəsini daha da məqsədəuyğun edir. Titan karbid və nitrid kristalları yüksək temperaturda istiyə qarşı dözümlü olub, aşağı neytron udma qabiliyyəti, müstəsna sərtlik və əla korroziyaya davamlılığı ilə fərqlənir. Bu xüsusiyyətlər TiC-in sürətli neytron reaktorları üçün perspektivli material olmasını təmin edir. Kristal quruluş baxımından titan və azot atomları kubik kristal qəfəsdə (CCP) düzülmüşdür. Titan atomları arasında məsafə 0,302 nm-dir və bu struktura görə titan nitrid üzə mərkəzləşmiş kub (FCC) kristal fazasına malikdir. Bu kristal quruluş natrium xlorid (NaCl) tipinə bənzəyir və yüksək stabilik nümayiş etdirir. Həm titan karbidin həm də titan nitridin kristal strukturu onun mexaniki və termal xassələrinə böyük təsir göstərir. Bu sabit və sıx struktura malik olması sayəsində material yüksək mexaniki gərginliklərə qarşı dayanıqlıdır və müxtəlif aqressiv mühitlərdə korroziyaya qarşı müqavimət göstərir.

TiC müxtəlif sənaye sahələrində geniş tətbiq sahəsinə malikdir. Onun yüksək sərtliyi və aşınmaya davamlılığı onu kəsici alətlərin, avtomobil və aerokosmik komponentlərin örtük materialı kimi istifadəsinə imkan yaradır. Bundan əlavə, TiN-in qızılı rəngə malik olması onu zərgərlik sənayesində və dekorativ örtüklərdə populyar materiala çevirir. Bundan başqa, TiC nazik təbəqələri elektronika sahəsində qoruyucu örtük kimi istifadə edilir. Yüksək keçiricilik və stabil fiziki xüsusiyyətləri sayəsində yarımkeçirici cihazlarda, mikroelektronika komponentlərində və optik filtrlərdə effektiv tətbiq olunur. TiC yüksək aşınma və korroziyaya davamlılığı, istilik və elektrik keçiriciliyi, eləcə də nüvə radiasiyasına qarşı müqaviməti onun müxtəlif texnoloji və sənaye sahələrində əvəzolunmaz material kimi çıxış etməsinə imkan yaradır. Onun IV nəsil nüvə reaktorlarında potensial istifadəsi, uzunmüddətli stabilliyi və yüksək temperatur şəraitində davamlılığı TiN-i gələcəkdə daha geniş sahələrdə tətbiq etmək üçün perspektivli materiallardan biri kimi müəyyənləşdirir. Gələcək tədqiqatlar titan nitridin struktur və mexaniki xüsusiyyətlərinin daha dərindən araşdırılmasına və onun yeni tətbiq sahələrinin inkişaf etdirilməsinə yönəldilmişdir.

Təzyiqli su reaktoru (PWR) tipli kommersiya nüvə reaktorlarının uzunmüddətli istismarı zamanı soyuducu suyun həddindən artıq istiləşməsi qaçılmaz bir haldır. Bu proses nəticəsində, reaktorun yanacaq örtüyünün üst səthlərində arzuolunmaz çöküntü və digər təbəqələrinin əmələ gəlməsi müşahidə olunur. Bu çöküntülər istismar müddətini qısalda, istilik ötürülməsini azalda və avadanlığın effektivliyini aşağı sala bilər. Bu problemin qarşısını almaq üçün səthlərin korroziyaya və çirklənməyə qarşı qorunması məqsədilə müxtəlif örtük materiallarının tətbiqi mühüm aktuallıq kəsb edir. Tədqiqatlar göstərmişdir ki, titan karbid və nitrid təbəqəsi yüksək korroziyaya davamlılığına görə effektiv qoruyucu örtük kimi istifadə edilə bilər. Təcrübə zamanı TiC qoruyucu örtüyünün təsiri 1 və 2 həftəlik dövrlər ərzində araşdırılmışdır. Nəticələr göstərmişdir ki, titan nitrid örtüyünün tətbiqindən sonra çirklənmənin sıxlığı əhəmiyyətli dərəcədə azalmışdır. İlkin müşahidələr göstərir ki, TiC örtüyü tətbiq edildikdə təbəqənin orta qalınlığının azalması nəticəsində $NiFe_2O_4$ çöküntüsünün əmələ gəlmə intensivliyi azalmışdır. Növbəti dövrlərdə aparılan analizlər nəticəsində örtülməmiş boruda nikel və dəmir (Ni/Fe) nisbətinin 0,51 olduğu, TiC ilə örtülmüş boruda isə bu nisbətin 3,10-a yüksəldiyi müəyyən edilmişdir. Bu nəticələr əsasında belə qənaətə gəlinmişdir ki, TiC örtüyü tətbiq edildikdə çirklənmənin sıxlığı 21 dəfə azalmışdır. Bu da onun

nüvə reaktorlarında istifadəsinin səmərəliliyini təsdiqləyir. Beləliklə titan karbid və nitridin nüvə reaktorlarının yanacaq elementlərində qoruyucu örtük kimi tətbiqi çirklənmənin qarşısının alınmasında effektiv üsul kimi çıxış edir. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, TiC-in tətbiqi ilə yanacaq örtüyünün istismar müddətini artırmaq, texniki xidmət xərclərini azaltmaq və reaktorun ümumi təhlükəsizliyini yüksəltmək mümkündür. Gələcək araşdırmalar titan karbid örtüyünün daha uzunmüddətli təsirlərini, müxtəlif temperatur və radiasiya şəraitində davranışını və digər müdafiə materialları ilə müqayisəsini əhatə etməlidir. TiC-in kompozit strukturlarla birləşdirilməsi və nanoölçülü örtüklərin tətbiqi də tədqiq edilməli olan mühüm sahələrdəndir.

Radiasiyanın keramika əsaslı materiallara təsirini öyrənmək məqsədilə müxtəlif titan nitrid əsaslı birləşmələr—TiZrCN, TiZrSiCN və TiZrNbCN—1450 kVt gücündə sürətli neytron şüalanmasına məruz qalmışdır. Tədqiqat nəticələri göstərmişdir ki, neytron şüalarının bu materialların örtük morfologiyasına hər hansı təsiri müşahidə edilməmişdir. Bu fakt göstərir ki, titan nitrid əsaslı keramik materiallar yüksək radiasiya mühitlərində struktur stabilliyini qoruyur. Əlavə olaraq, şüalanmadan sonra nümunələrdə hər hansı radioaktivlik aşkar edilməmişdir ki, bu da onların nüvə texnologiyalarında təhlükəsiz istifadəsini təsdiqləyir. Titan karbonitrid (TiCN) kristal fazasına müxtəlif elementlərin əlavə edilməsi yolu ilə korroziyaya davamlılığın dəyişməsi tədqiq edilmişdir. Tədqiqat nəticələri göstərmişdir ki, müxtəlif əlavələr materialın qoruyucu səmərəliliyinə fərqli təsirlər göstərir: Silisium (Si) əlavəsi: Təcrübələr göstərmişdir ki, Si əlavə edildikdə titan karbonitridin korroziyaya davamlılığı əhəmiyyətli dərəcədə artır və materialın qoruyucu səmərəliliyi 92%-ə çatır. Bu nəticə silisium atomlarının kristal toruna daxil olaraq səthdə qoruyucu təbəqənin formalaşmasına töhfə verdiyini göstərir. Niyobium (Nb) əlavəsi: Əksinə, niyobium əlavə edildikdə qoruyucu səmərəliliyin 1,39% azalması müşahidə edilmişdir. Bu, Nb atomlarının materialın strukturunda çatların və zəif sahələrin yaranmasına səbəb ola biləcəyini göstərir. Əvvəlki tədqiqatlar ionlaşdırıcı şüalanmanın TiC nanokristallarına təsirini müxtəlif dozalarda öyrənmişdir. 200 keV-lik arqon ionları ilə şüalanan nümunələrin rentgen difraksiyası (XRD) analizi nəticəsində məlum olmuşdur ki, ionların təsiri altında titan karbid və nitrid kristallarında amorflaşma baş vermir. Bu, TiC kristal quruluşunun yüksək radiasiya müqavimətinə malik olduğunu sübut edir. Bununla yanaşı, şüalanmanın təsiri altında kristalit ölçülərində dəyişikliklər müşahidə edilmişdir. Maksimal şüalanma səviyyəsində kristalitlərin ölçüsünün 8 nm-ə qədər azaldığı müəyyən edilmişdir. Bu dəyişikliklər materialın mexaniki xüsusiyyətlərinə təsir edə bilər və gələcək tətbiqlərdə nəzərə alınmalıdır. Titan karbonitrid və onun əsaslı birləşmələrinin radiasiyaya və korroziyaya davamlılığı ilə bağlı aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, bu materiallar nüvə texnologiyaları, aerokosmik sənaye və digər yüksək radiasiya şəraitlərində effektiv qoruyucu material kimi istifadə oluna bilər. Gələcək araşdırmalarda bu materialların müxtəlif radiasiya mənbələri altında uzunmüddətli stabilliyi və müxtəlif əlavələrlə xüsusiyyətlərinin daha dərindən öyrənilməsi tövsiyə olunur. Bu tədqiqatların nəticələri göstərir ki, titan karbonitrid əsaslı birləşmələr yüksək mexaniki və istilik dayanıqlığı ilə yanaşı, radiasiyaya qarşı müqaviməti ilə də fərqlənir. Bu xüsusiyyətlər materialın sənaye və elmi-tədqiqat sahələrində istifadəsini genişləndirə bilər. Eyni zamanda, bu tip keçid materiallarının struktur xüsusiyyətləri yüksək təzyiq altında tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, yüksək təzyiq şəraitində materialların yüksək dözümlülüyü yalnız B1 fəza qrupu keçid materiallarında deyil, eyni zamanda titandan ibarət olan digər birləşmələrdə də müşahidə olunur. Bəzi tədqiqatçılar yüksək təzyiq (370 GPa) dəyərlərində B1 fəza qrupundan B2 fəza qrupuna keçidi müşahidə etmişlər. Bu keçidin səbəbi, yüksək təzyiq altında materialın struktural dəyişikliklərə məruz qalması ilə əlaqədardır. Lakin bu cür təzyiq dəyişiklikləri ideal CsCl strukturlarında təhriflərə səbəb olur, nəticədə materialın sabitliyi azalır və sabit struktur qorunub saxlanıla bilmir. Bu səbəbdən, yüksək təzyiq şəraitində materialın davranışının daha dəqiq öyrənilməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Kub strukturlu titan birləşmələrinin neytron şüalanmasının termoheterogen kinetikası müxtəlif tədqiqatlarda nəzərdən keçirilmişdir. Tədqiqat nəticələri göstərmişdir ki, şüalanmadan

sonra bu materialların istilik tutumunun qiyməti 51,6 J/K×mol-a qədər yüksəlir. Bu artım, materialın termal xüsusiyyətlərində baş verən dəyişikliklərə işarə edir və bu cür dəyişikliklər, xüsusilə nüvə reaktorlarında yüksək radiasiya və temperatur şəraitində materialın davranışını izah etmək üçün vacibdir. Digər tədqiqatlarda isə DSC (Differential Scanning Calorimetry) metodu ilə aparılmış təcrübələr zamanı, metal birləşmələrində əmələ gələn hidroksid qruplarının temperaturun təsiri altında (30-700 °C aralığında) tamamilə məhv olduğu müəyyən edilmişdir. Bu dəyişikliyin baş verməsi, materialın termal sabitliyinin və yüksək temperatur şəraitində davranışının yaxşı anlaşılmasına kömək edir. 616 °C-də hidroksid qruplarının parçalanması, materialın yüksək temperaturda stabil qalmadığını və strukturunun dəyişdiyini göstərir. Nanosistemlərdə temperaturun təsiri altında müşahidə edilən istilik effektləri xüsusilə maraqlı olub, bu sahədə aparılan tədqiqatlar temperaturun materialların xüsusiyyətlərinə necə təsir etdiyini araşdırmağa imkan verir. Titan birləşmələrində temperaturun təsiri altında baş verən proseslərin tədqiqi də mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu tədqiqatlar, materialların radiasiyaya və temperatur dəyişikliklərinə qarşı müqavimətini qiymətləndirmək və gələcəkdə yüksək temperatur və radiasiya şəraitində istifadə ediləcək yeni materialların inkişafına yönəlmiş əhəmiyyətli nəticələr verə bilər. Titan karbonitrid və digər keçid materiallarının struktur xüsusiyyətlərinin yüksək təzyiq və temperatur şəraitində necə dəyişdiyini araşdırmaq, bu materialların nüvə enerjisi və digər yüksək radiasiya şəraiti olan sahələrdə istifadə potensialını artırmağa kömək edir. Gələcək araşdırmaların bu materialların daha yüksək radiasiya və temperatur şərtləri altında davranışlarını daha dəqiq öyrənməsi lazımdır ki, onlar daha effektiv və dayanıqlı materiallar kimi tətbiq edilə bilsinlər.

Titan birləşmələrinin püskürtülməsi nəticəsində əldə edilən kristallarda yüksək optik və elektrik xassələri müşahidə edilmişdir. Püskürtülən TiNx kristallarının spektral ellipsometriya təhlili göstərir ki, bu materialda intraband və zolaqlararası udulma baş verir. Bu proses, TiNx-nin stoxiometriyasındaki dəyişikliklərlə əlaqəlidir. Müəyyən edilmişdir ki, TiNx kristalının stoxiometrik variasiyaları yalnız TiN-in zolaq strukturunu dəyişdirmir, həm də kristalloqrafik xassələrinə təsir edir, xüsusən Ti boşluqlarını tənzimləyir. Məsələn, x-in qiyməti artdıqca, Lorentz osilatorunun enerji mövqeyi xətti şəkildə qırmızıya doğru hərəkət edir. Bu dəyişiklik, TiNx-nin zolaqlararası udulma xüsusiyyətləri ilə bağlı gözlənilən təkamülləri izah edir. Tədqiqatlar nəticəsində TiNx nazik təbəqələrinin kütlə sıxlığı, zolaqdaxili udulma və elektron sıxlığı müəyyən edilmişdir. TiNx birləşməsinin sıxlığının çökmə şəraitinə görə dəyişməsi diqqətə çarpır; bu sıxlıq 4,4-5,7 q/sm^3 arasında dəyişir və buna uyğun olaraq digər fiziki xassələrində də əhəmiyyətli dəyişikliklər baş verir. Bu, materialın fərqli tətbiqlər üçün uyğunluğunu artırır, məsələn, günəş seçici absorber (SSA) tətbiqləri üçün uyğundur, çünki TiN-in yüksək performansı onun işıq udma və optik xüsusiyyətləri ilə əlaqəlidir. 400 °C temperatura qədər aparılmış tavlama təcrübələri, həm havada, həm də vakuum şəraitində, TiN-in oksidləşməsi nəticəsində TiNxOy fazasına keçişin baş verdiyini göstərmişdir. Bu dəyişiklik nəticəsində maddənin amorflaşmasının artması gözlənilsə də, əksinə, daha yaxşı təşkil olunmuş strukturlar müşahidə edilmişdir. Həmçinin, havada tavlanan TiN-in optik və udulma xüsusiyyətləri vakuumda tavlanandan daha yüksək olmuşdur, bu da materialın fərqli mühitlərdə davranışını izah edir. Bu nəticələr göstərir ki, tavlama şəraiti materialın xassələrinin dəyişməsində mühüm rol oynayır. Daha yüksək temperaturda (600 °C və 700 °C) aparılmış təcrübələrdə TiN-in xassələrində stexiometrik dəyişikliklərə və taxıl ölçüsündə əhəmiyyətli dəyişikliklərə baxmayaraq, müqavimətin təxminən 25% azaldığı müşahidə edilmişdir. Bu azalma nəticəsində 55 μΩ·sm müqavimət dəyəri əldə edilmişdir. Bu fenomen, temperaturun təsiri ilə strukturda qüsur sıxlığının, boş yerlərin və interstisial atomların azalması ilə izah edilə bilər. Sadə sütunvari quruluşa malik TiN kristalları, 500 °C-dən sonra səthində Rutil-TiO_2 təbəqəsi əmələ gətirməyə başlayır. Bu dəyişiklik, azot (N_2) qazının buraxılması ilə birləşir və 700 °C-dən sonra daxili təbəqələrə doğru yönəlir. Sonrakı tədqiqatlar nəticəsində Arrhenius tipi əlaqə istifadə edərək, TiN-in xassələrindəki dəyişikliklərin aktivləşmə enerjisi və eksponensial amil kimi parametrlər müəyyən edilmişdir. Bu əlaqənin göstərdiyi nəticələrə əsasən,

	aktivləşmə enerjisi 110±10 kJ/mol və eksponensial amilin qiyməti $2,2\times10^{-6}$ sm²/s olaraq müəyyən edilib. Bu məlumatlar, TiN birləşmələrinin yüksək temperatur şəraitindəki davranışını daha yaxşı anlamağa kömək edir və bu cür materialların uzun müddətli tətbiqlərdəki etibarlılığını proqnozlaşdırmağa imkan verir. Titan nitrid birləşmələrinin müxtəlif şərtlərdəki fizikokimyəvi xüsusiyyətlərinin tədqiqi, onların müxtəlif sənaye sahələrində, o cümlədən nüvə reaktoru, günəş enerjisi sistemləri və elektronika sahələrində istifadə imkanlarını genişləndirir. Püskürtülmə üsulu ilə alınan TiNx təbəqələrinin struktur xüsusiyyətlərinin və temperatur təsirinə bağlı dəyişikliklərinin dərindən öyrənilməsi, bu materialların optimallaşdırılmasına və daha geniş tətbiq sahələrinə uyğunlaşdırılmasına kömək edəcəkdir. TiN nanokristallarının şüalanma və difraksiya analizi müxtəlif dozalarda və şüalanma müddətinə məruz qaldıqdan sonra aparılmışdır. Alınan rentgen spektrləri, kristalların struktur xüsusiyyətlərini və şüalanma təsirlərini daha yaxşı başa düşmək məqsədilə müəyyən edilir. Maksimum $2\theta = 43.0895^{o}$ difraksiya bucağı, d = 2.122 Å planarası məsafəyə uyğundur. Bu, TiN kristalının (111) yönlü difraksiya zirvəsidir. Alınan spektrlər müvafiq olaraq (111), (200), (220), (311), (222), (400), (331) və (420) əks olunmalarına görə indeksləşdirilib. Fullprof proqram paketi istifadə edilərək difraksiya spektrlərinin daha dəqiq təhlili aparılmışdır. Rentgen şüası analizinin nəticələrinə görə, şüalanmamış kristallitlərin qəfəs sabiti və həcmi hesablanmışdır. Beləliklə, TiN kristalının a = b = c = 4.24438(9) Å və V = 76.461(9) Å³ olduğu müəyyən edilmişdir. Təcrübələrdən alınmış bu qiymətlər, verilmiş parametrlər əsasında aparılan digər hesablamalarla uyğundur.
4	Layihə üzrə **elmi nəşrlər** (elmi jurnallarda məqalələr, monoqrafiyalar, icmallar, konfrans materiallarında məqalələr, tezislər) (dərc olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə, uyğun məlumat - jurnalın adı, nömrəsi, cildi, səhifələri, nəşriyyat, indeksi, İmpact Factor, həmmüəlliflər və s. bunun kimi məlumatlar - ciddi şəkildə dəqiq olaraq göstərilməlidir) *(surətlərini kağız üzərində və CD şəklində əlavə etməli!)*
	1. M.N. Mirzayev, K.M. Hasanov, A.C. Parau, E. Demir, A.S. Abiyev, Tamer Karaman, S.H. Jabarov, M. Dinu, E.P. Popov, A. Vladescu, Effect of the C/N ratio modification on the corrosion behavior and performance of carbonitride coatings prepared by cathodic arc deposition, Journal of Materials Research and Technology, 27 (2023) p.1724-1738. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785423024432?via%3Dihub 2. Elchin M. Huseynov, Gulnar I. Muradova, Ravan N. Mehdiyeva, Raisa R. Hakhiyeva, Tural G. Naghiyev, Nizami M. Mehdiyev, Sevinj Z. Melikova, and Ulviyya S. Aliyeva-Cabbarli "The investigation gamma-irradiated nanocrystalline ZrC particles using infrared, DSC and TG methods" Modern Physics Letters B, Online Ready https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0217984923501762 3. A. Vladescu (Dragomir) et al. "Effect of Si and Nb additions on carbonitride coatings under proton irradiation: A comprehensive analysis of structural, mechanical, corrosion, and neutron activation properties" Nuclear Materials and Energy 35, 2023, 101457 https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352179123000960?via%3Dihub 4. Elchin M. Huseynov, Raisa R. Hakhiyeva, Nizami M. Mehdiyev "FTIR study of nanocrystalline titanium carbide (TiC) particles exposed to gamma radiation" Solid State Communications 378, 2024, 115417, https://doi.org/10.1016/j.ssc.2023.115417 5. Elchin M. Huseynov & Raisa R. Hakhiyeva "Investigation of gamma irradiated nanocrystalline titanium carbide particles using thermal methods" Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry volume 332, 3779–3785, 2023 https://link.springer.com/article/10.1007/s10967-023-09077-y 6. A.S. Abiyev, S.F. Samadov, M.N. Mirzayev, E.M. Huseynov, A.A. Sidorin, O.S. Orlov, O.A. Samedov,

	Y.I. Aliyev, H.J. Huseynov & E.P. Popov "Defect formation analysis in gamma-irradiated titanium nitride nanocrystals: predictions from positron annihilation studies" Journal of Nanoparticle Research 26, 156, (2024), https://doi.org/10.1007/s11051-024-06059-3 7. Afsun S. Abiyev, Elchin M. Huseynov et al. "Positron annihilation lifetime and doppler broadening spectroscopies studies of defects in nano TiN crystal under gamma irradiation and high temperature" Indian J Phys (2024). https://doi.org/10.1007/s12648-024-03229-w 8. Afsun S. Abiyev, Elchin M. Huseynov, Rovshen F. Hashimov "Gamma radiation-induced alterations in nanocrystalline titanium nitride (TiN) particles: A structural perspective" Radiation Physics and Chemistry 218, 2024, 111638, https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2024.111638 9. Raisa R. Hakhiyeva, Afsun S. Abiyev, Elchin M. Huseynov "Comprehensive analysis of gamma irradiation-induced crystallographic transformations in TiC nanoparticles using X-ray diffraction techniques" Radiation Physics and Chemistry 227, 2025, 112363, https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969806X24008557 10. E. Popov, L. Slavov, E. Demir, B.A. Abdurakhimov, A.S. Doroshkevich, O.A. Aliyev, S.H. Jabarov, A.H. Valizade, B. Mauyey, P. Horodek, K. Siemek, O. Samedov, M. N. Mirzayev. "Microstructural evolution of TiC nano powders under fast neutron irradiation: A multi-technique analysis" Vacuum 215, 2023, 112338 https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0042207X23005353
5	İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər
	Yoxdur
6	Layihə üzrə ezamiyyətlər (ezamiyyə baş tutmuş təşkilatın adı, şəhər və ölkə, ezamiyyə tarixləri, həmçinin ezamiyyə vaxtı baş tutmuş müzakirələr, görüşlər, seminarlarda çıxışlar və s. dəqiq göstərilməlidir)
7	Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (əgər varsa)
	Nəzərdə tutulmayıb
8	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak
	Nəzərdə tutulmayıb
9	Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s. çıxışlar) (məlumat tam şəkildə göstərilməlidir: a) məruzənin növü: plenar, dəvətli, şifahi və ya divar məruzəsi; b) tədbirin kateqoriyası: ölkədaxili, regional, beynəlxalq)
	Nəzərdə tutulmayıb
10	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar, komplektləşdirmə məmulatları
	Nəzərdə tutulmayıb
11	Yerli həmkarlarla əlaqələr
	Nəzərdə tutulmayıb
12	Xarici həmkarlarla əlaqələr
	Nəzərdə tutulmayıb
13	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (əgər varsa)
	Nəzərdə tutulmayıb
14	Sərgilərdə iştirak (əgər baş tutubsa)
	Nəzərdə tutulmayıb
15	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (əgər baş tutubsa)
	Nəzərdə tutulmayıb
16	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış

	internet səhifələri və s. (məlumatı tam şəkildə göstərilməlidir)
	Nəzərdə tutulmayıb

SİFARİŞÇİ:
Azərbaycan Elm Fondu

Şöbə müdiri
Quliyeva Mülayim Sahib qızı

_____
(imza)
“ __” _____ 2025-ci il

İCRAÇI:

Layihə rəhbəri
Hüseynov Hüseyn Cəlil oğlu

_____
(imza)
“ __” _____ 2025-ci il

AZƏRBAYCAN ELM FONDU

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

Azərbaycan Elm Fondunun
2022-ci il üçün ƏSAS qrant müsabiqəsinin
(AEF-MCG-2022-1(42)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

ALINMIŞ NƏTİCƏLƏRİN ƏMƏLİ (TƏCRÜBİ) HƏYATA KEÇİRİLMƏSİ VƏ LAYİHƏNİN NƏTİCƏLƏRİNDƏN GƏLƏCƏK TƏDQİQATLARDA İSTİFADƏ PERSPEKTİVLƏRİ HAQQINDA MƏLUMAT VƏRƏQİ

(Qaydalar üzrə Əlavə 16)

Layihənin adı: **Nano strukturlu ZrC, TiC və WC nazik təbəqələrin yüksək temperatur, radiasiya və kooroziyaya dayanıqlı material kimi tətbiq imkanları**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Hüseynov Hüseyn Cəlil oğlu**

Layihənin nömrəsi: **AEF-MCG-2022-1(42)-12/03/1-M-03**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **31 mart 2023-cü il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **24 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 may 2023-cü il - 01 may 2025-ci il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

Layihənin nəticələrinin əməli (təcrübi) həyata keçirilməsi

1	Layihənin əsas əməli (təcrübi) nəticələri, bu nəticələrin məlum analoqlar ilə müqayisəli xarakteristikası
	ZrC, TiC və WC nanohissəciklərinin radiasiyaya qarşı struktur və termokimyəvi stabilliyinin analizi müqaisəli şəkildə aparılmışdır. Aparılmış analizlər nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, ZrC nanohissəciklərinin infraqırmızı (IR) spektrlərində, dalğa ədədinin 890 sm^{-1} və 1600 sm^{-1} intervalında müşahidə olunan və tipik olaraq Zr–O–C rabitələrini əks etdirən piklər, 150 Mrad dozalı qamma şüalanmadan sonra nəzərəçarpacaq dərəcədə kəskinləşmişdir. Bu hal, qamma şüalanma nəticəsində nanohissəciklərin səthində intensiv oksidləşmə proseslərinin baş verməsi ilə izah olunur. Əldə edilmiş spektrlər göstərir ki, şüalanmadan əvvəl yalnız Zr–C rabitələrinə uyğun gələn 1010 sm^{-1} və 1380 sm^{-1} pikləri mövcud olmuş, lakin şüalanmadan sonra bu piklər 890 sm^{-1} pikinin güclənməsi fonunda tamamilə itmişdir. Bu transformasiya,

materialın səthində yeni oksigenlə zəngin rabitələrin yaranmasını təsdiq edir. İQ spektrlərində əlavə olaraq C–OH və C–O funksional qruplarına uyğun gələn 1950 sm^{-1} və 2350 sm^{-1} dalğa ədədlərində də rezonanslar aşkar olunmuşdur.

DSC və TG analizlərinin nəticələri göstərmişdir ki, nanohissəciklərin səthində adsorbsiya olunmuş OH qrupları təqribən 300°C temperaturadək qızdırıldıqda sistemdən ayrılır. Termoqravimetrik analiz (TG) əyrilərində isə 300–500°C aralığında kütlənin artması, nanohissəciklərdə baş verən oksidləşmə reaksiyaları ilə izah olunur. Daha yüksək temperaturlarda, xüsusilə T > 500°C olduqda isə kütlə azalması müşahidə olunur ki, bu hal sistemdən CO_2 qazının ayrılması ilə əlaqələndirilir.

Tədqiqatın digər hissəsi TiC və ZrB_2 nano kristallarının 373–773 K temperatur intervalında struktur analizlərinə həsr olunmuşdur. XRD (Rentgen difraksiyası) spektrləri ZrB_2 nanomaterialının heksoqonal fəza quruluşuna ($P6_3/mmc$ simmetriyası) malik olduğunu təsdiqləmişdir. Kristal qəfəs parametrləri a = 3.1650 Å, c = 3.5200 Å və qəfəs həcmi = 30.5366 $Å^3$ olaraq müəyyən edilmişdir. Temperatur artımı fonunda difraksiya piklərinin dalğa uzunluğu üzrə sürüşməsi, kristalın səthində su və hidroksil (OH) qruplarının termal parçalanması ilə əlaqələndirilmişdir. Qəfəs parametrlərinin artımı iki əsas termokimyəvi mexanizmlə izah olunur: Səthdə zəif şəkildə bağlı H_2O molekullarının temperaturun təsiri ilə desorbsiya olunması, Reaksiya məhsulları kimi $Zr(OH)_4$, H_3BO_3 və H_2-nin yaranması. Materialın termal genişlənmə əmsalı isə 6.0×10^{-6} 1/K kimi qiymətləndirilmişdir.

ZrB_2 nanokristallarına 167 MeV enerjili $^{132}Xe^{26+}$ ağır ionlarının təsiri müxtəlif fluensiyalarla (6.0×10^{12}, 2.0×10^{13}, 6.0×10^{13} və 3.0×10^{14} ion/sm^2) tədqiq olunmuşdur. Difraksiya spektrlərində piklərin dublet quruluşa malik olduğu müşahidə edilmiş, şüalanma artdıqca yüksək intensivlikli piklərdə intensivlik azalması, zəif intensivlikli piklərin isə tam deqradasiyası qeydə alınmışdır. Amorflaşma dərəcəsinin fluensiya ilə artdığı müəyyən edilmişdir: 6.0×10^{12} ion/sm^2 fluensiyada amorflaşma: 15.1 %, 3.0×10^{14} ion/sm^2 fluensiyada amorflaşma: 17.4 %. Qəfəs parametrlərinin artımı xüsusilə 6.0×10^{13} ion/sm^2 fluensiyadan sonra sıçrayışlı şəkildə baş vermiş, bu hal isə səthdə baş verən lokal amorflaşma və struktur pozuntularının nəticəsi kimi izah olunmuşdur. Yüksək təzyiqdə aparılan analizlər qəfəs parametrlərinin Zr–B və B–B rabitələri üzrə bircins şəkildə dəyişdiyini göstərmişdir, bu da strukturun müəyyən dərəcədə stabilliyini qoruduğunu sübut edir.

Aparılan təcrübələrdən məlumm olmuşdur ki, TiC nanokristallarında temperaturun 600K<T<1200K intervalında oksidləşmə prosesi gedir. Oksidləşmə nəticəsində yaranmış TiCxO1–x birləşməsində 1000K-1200K intervalında faza keçidi müşahidə edilmişdir. DTA spektrləindən müəyyən edilmişdir ki, qamma şüalanma nəticəsində nanomaterialda 800K temperatura qədər dayanıqlı daha güclü rabitədə olan qruplar yaranır. Məlum olmuşdur ki, nanokristallik TiC hissəciklərinin entropiya və entalpiyası temperatur ilə düz mütanasibdir. Aparılan tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, bütün temperatur oblastında sistemin entalpiya və entropiyasının ədədi qiymətinin müsbətdir. Hesablanmış sərbəst Gibbs enerjisinə uyğun olaraq məlum olmuşdur ki, təcrüblər aparılan bütün temperatur oblastında nanokristallik TiC hissəcikləri spontandır və ya daha çox dayanıqlı hala malikdir. Müəyyən olunmuşdur ki, qamma şüalanma dozasının artması ilə sərbəst Gibbs enerjisinin ədədi qiyməti artır (modulu isə azalır). Məlum olmuşdur ki, qamma şüaların kristal qəfəsə təsiri kiçik miqyaslı olur.

Şüalanma interplanar məsafənin böyüməsinə səbəb olur. Uzun nizamlı düzülüşdə kiçik kənaraçıxmalar baş vermişdir. Eyni zamanda müəyyən edilmişdir ki, nisbətən uzunmüddətli şüalanma azmiqyaslı amorflaşma və deformasiyalara səbəb olur. Scherrer və W-H metodlarının nəticələrinin müqayisəsi bir-birilə uyğunluq göstərmişdir. Hər iki üsul şüalanmanın qəfəsdə atomlararası mikro-gərginliyin yüksəlməsinə və grain size-ın kiçilməsinə yol açdığını təsdiqləyir.

Layihə çərçivəsində aparılan tədqiqatımız müxtəlif qamma şüalanma udma dozalarında və termal tavlamaya məruz qalan nano ölçülü titan nitrid (TiN) keramika materialında qüsur əmələ gəlməsi mexanizminin analizinə yönəlmişdir. Bunun üçün PALS və DBS tədqiqatları aparılıb. PALS tədqiqatlarında yaşama müddətində iki komponent müşahidə edilmişdir. s1 yaşama müddəti komponenti radiasiya və temperatur təsirləri nəticəsində yaranan Ti mono-vakansiyaları ilə əlaqələndirilmişdir. s2 komponenti 2VTi-1VN, 3VTi-1VN, 2VTi-2VN, 3VTi-2VN fəza qruplarının mövcudluğu və onların daha yüksək dozalarda səthə doğru miqrasiyası göstərilmişdir. DBS tədqiqatlarında S valent elektronlarında pozitron annihilasiyası haqqında məlumat verilmişdir. İlkin doza ilə müqayisədə udulmuş doza artdıqca, S parametri daha yüksək qiymətlər alır. Xüsusilə, 200 kGy dozada maksimum qiymətə malik olur. DBS nəticələri göstərir ki, pozitronlar əsasən titan boşluqlarında tutulur və azot atomlarının elektronları tərəfindən məhv edilir.

Tədqiqatlar nəticəsində, qamma radiasiyasının TiCN nanohissəciklərinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir etmədiyi müəyyən edilmişdir. Qamma şüalanması nəticəsində, faza keçidləri və ya yeni fazaların yaranması müşahidə olunmamışdır. Bununla belə, şüalanma prosesinin kristal struktur və qəfəs parametrləri üzərində müəyyən təsir göstərdiyi göstərilmişdir. Dozanın artırılması ilə qəfəs parametrləri və kristallit ölçüləri arasında əks əlaqə müşahidə edilmişdir. Tədqiqatlar zamanı müəyyən edilmişdir ki, şüalanma dozasının artması, bu parametrlərin azalmasına səbəb olur. Ən yüksək 3500 kGy şüalanma dozası nəticəsində kristallit ölçüsündə təxminən ~0,54% və ~7,58% azalma müşahidə edilmişdir. Bu azalma, şüalanma zamanı nanohissəciklərin strukturunda dəyişikliklər baş verməsi ilə izah edilir. Kristallit ölçüsünün azalması, şüalanmanın təsiri ilə TiCN nanohissəcikləri ilə qarşılıqlı əlaqədə olan su molekullarının reaksiya məhsullarının dispersiyasına bağlıdır. Bu, şüalanma nəticəsində materialın strukturunun qismən təhrif olunduğunu və molekulyar səviyyədə dəyişikliklər baş verdiyini göstərir. 3500 kGy şüalanma dozası nəticəsində, qəfəsin bütün həcmi boyunca nizamlı strukturda struktur təhrifinin ümumi qiyməti ~2,51% olmuşdur. Bu dəyişiklik, qamma şüalarının materialın mikrostrukturunda qüsurlar yaratması və nəticədə mikro gərginliklərin və dislokasiyaların sıxlığının artmasına səbəb olması ilə əlaqədardır. Nəzəri hesablamalar göstərir ki, şüalanma nəticəsində yaranan gərginlik xətti olaraq baş verir və bu, şüalanma sonrası yaranan gərginliyin bütün həcmdə bərabər paylanması ilə izah edilir. Gərginliyin bərabər paylanması, materialın makroskopik xüsusiyyətlərini daha da dəyişdirir və bu dəyişikliklər şüalanmanın təsiri altında materialın möhkəmliyini və dayanma qabiliyyətini təsir edə bilər. Qamma şüalanmasının TiCN nanohissəciklərinə təsiri, faza dəyişikliklərinə səbəb olmur, lakin materialın mikrostrukturunda kiçik dəyişikliklər və təhriflər meydana çıxarır. Şüalanma dozasının artması, kristallit ölçülərinin kiçilməsi və qəfəs parametrlərindəki dəyişikliklərlə nəticələnir. Bu proseslər, materialın mikrostrukturundakı

	qüsurların artmasına və materialın məkanla bağlı xüsusiyyətlərinin dəyişməsinə səbəb olur. Bu tədqiqatlar, TiCN nanohissəciklərinin nüvə texnologiyaları və digər yüksek enerjili radiasiya mühitlərində istifadə potensialını daha yaxşı anlamağa kömək edir.
2	Layihənin nəticələrinin əməli (təcrübi) həyata keçirilməsi haqqında məlumat (istehsalatda tətbiq (tətbiqin aktını əlavə etməli); tədris və təhsildə (nəşr olunmuş elmi əsərlər və s. – təhsil sisteminə tətbiqin aktını əlavə etməli); bağlanmış xarici müqavilələr və ya beynəlxalq layihələr (kimlə bağlanıb, müqavilənin və ya layihənin nömrəsi, adı, tarixi və dəyəri); dövlət proqramlarında (dövlət orqanının adı, qərarın nömrəsi və tarixi); ixtira üçün alınmış patentlərdə (patentin nömrəsi, verilmə tarixi, ixtiranın adı); və digərlərində)
	Nəzərdə tutulmayıb

1. **Layihənin nəticələrindən gələcək tədqiqatlarda istifadə perspektivləri**

1	Nəticələrin istifadəsi perspektivləri (fundamental, tətbiqi və axtarış-innovasiya yönlü elmi-tədqiqat layihə və proqramlarında; dövlət proqramlarında; dövlət qurumlarının sahə tədqiqat proqramlarında; ixtira və patent üçün verilmiş ərizələrdə; beynəlxalq layihələrdə; və digərlərində)
	Layihə çərçivəsində əldə olunmuş nəticələr materialşünaslıq və radiasiya fizikası sahəsində mühüm elmi və praktik əhəmiyyətə malikdir. Bu nəticələrin gələcək tədqiqatlarda və tətbiqi sahələrdə istifadəsi bir sıra istiqamətlər üzrə mümkün və məqsədəuyğundur: 1. Fundamental elmi-tədqiqat istiqamətində: Layihə zamanı əldə olunan məlumatlar nanohissəciklərin şüalanmaya və termal təsirlərə qarşı davranış xüsusiyyətlərini əhatə edir. Bu nəticələr materialların mikrostrukturunda baş verən dəyişikliklərin, amorflaşma proseslərinin və kristallit ölçülərinin dəyişməsi kimi fundamental problemlərin öyrənilməsi üçün mühüm baza rolunu oynaya bilər. Termodinamik parametrlərin (entalpiya, entropiya, Gibbs enerjisi və s.) temperatur və şüalanma dozası ilə dəyişimi gələcəkdə nəzəri modellərin yaradılması və təkmilləşdirilməsi üçün istifadə edilə bilər. 2. Tətbiqi və innovativ tədqiqat istiqamətində: Nanohissəciklərin yüksək radiasiya və istilik stabilliyi onların nüvə texnologiyaları, aerokosmik sənaye və hərbi texnologiyalarda tətbiqi imkanlarını genişləndirir. Xüsusilə, TiC, TiCN və ZrC kimi nanomaterialların yüksək temperaturda stabilliyi və radiasiyaya davamlılığı onların qoruyucu örtüklər və funksional kompozitlər kimi istifadəsinə şərait yaradır. Oksidləşmə kinetikasının və faza keçidlərinin dəqiq təhlili nəticəsində yeni nəsil oksidativ dayanıqlı materialların hazırlanması mümkündür.

SİFARİŞÇİ:
Azərbaycan Elm Fondu

İCRAÇI:

Şöbə müdiri
Quliyeva Mülayim Sahib qızı

Layihə rəhbəri
Hüseynov Hüseyn Cəlil oğlu

_____ _____

(imza)
“ __” _____ 2025-ci il

(imza)
“ __” _____ 2025-ci il

AZƏRBAYCAN ELM FONDU

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

Azərbaycan Elm Fondunun
2022-ci il üçün ƏSAS qrant müsabiqəsinin
(AEF-MCG-2022-1(42)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

ALINMIŞ ELMİ MƏHSUL HAQQINDA MƏLUMAT
(Qaydalar üzrə Əlavə 17)

Layihənin adı: **Nano strukturlu ZrC, TiC və WC nazik təbəqələrin yüksək temperatur, radiasiya və kooroziyaya dayanıqlı material kimi tətbiq imkanları**
Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Hüseynov Hüseyn Cəlil oğlu**
Layihənin nömrəsi: **AEF-MCG-2022-1(42)-12/03/1-M-03**
Müqavilənin imzalanma tarixi: **31 mart 2023-cü il**
Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **24 ay**
Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 may 2023-cü il - 01 may 2025-ci il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

1. Elmi əsərlər (sayı)

№	Tamlıq dərəcəsi / Elmi məhsulun növü	Dərc olunmuş	Çapa qəbul olunmuş və ya çapda olan	Çapa göndərilmiş
1.	Monoqrafiyalar			

	həmçinin, xaricdə çap olunmuş			
2.	Məqalələr			
	həmçinin xarici nəşrlərdə	10		
3.	Konfrans materiallarında məqalələr O cümlədən, beynəlxalq konfras materiallarında			
4.	Məruzələrin tezisləri			
	həmçinin, beynəlxalq tədbirlərin toplusunda			
5.	Digər (icmal, atlas, kataloq və s.)			

2. İxtira və patentlər (sayı)

№	Elmi məhsulun növü	Alınmış	Verilmiş	Ərizəsi verilmiş
1.	Patent, patent almaq üçün ərizə			
2.	İxtira			
3.	Səmərələşdirici təklif			

3. Elmi tədbirlərdə məruzələr (sayı)

№	Tədbirin adı (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s.)	Tədbirin kateqoriyası (ölkədaxili, regional, beynəlxalq)	Məruzənin növü (plenar, dəvətli, şifahi, divar)	Sayı
1.				
2.				

3.				

SİFARİŞÇİ:
Azərbaycan Elm Fondu

Şöbə müdiri
Quliyeva Mülayim Sahib qızı

_____
(imza)
“ __” _____ 2025-ci il

İCRAÇI:

Layihə rəhbəri
Hüseynov Hüseyn Cəlil oğlu

_____
(imza)
“ __” _____ 2025-ci il