



AZƏRBAYCAN ELM FONDU

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

1 İLLİK ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Nano strukturlu ZrC, TiC və WC nazik təbəqələrin yüksək temperatur, radiasiya və koroziyaya 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**

Layihənin 1 il üzrə (rüb) məbləği:

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə 1 il ərzində yerinə yetirilmiş **elmi işlər**

Layihənin illik iş planına əsasən qamma şüalarının ZrC nano kristallarına təsirini öyrənmək üçün rentgen difraksiya metodundan istifadə edilmişdir. Difraksiya spektrlərinin nəzəri analizi üçün Rietveld metodundan istifadə edilmişdir. Nəzəri hesablamaların nəticələrinə əsasən alınmış difraksiya piklərin interplanar müstəviləri uyğun olaraq (111), (200), (220), (311), (222), (400), (331) və (420) kimi indekslənmişdir. "FullProf suit" proqram paketində aparılmış hesablamalardan sonra məlum olmuşdur ki, ZrC nanohissəciklərinin kristal qəfəsi fəza qrupu üzə mərkəzləşmiş kubik (Fm-3m) quruluşa malikdir. Şüalanmadan əvvəl kristal qəfəs parametrləri və həcmi uyğun olaraq $a = b = c = 4.682892 \text{ \AA}$ və $V = 102.693 \text{ \AA}^3$ olmuşdur ki, alınmış qiymətlər ədəbiyyat nəticələri ilə uyğunluq təşkil edir.

ZrC nano kristalları iki 1500 və 3000 kGy udulma dozasında şüalandırılmışdır. Qamma şüaların ilə 1500 kGy udulma dozasında şüalanmadan sonra difraksiya piklərində zəyif azalma və kristalların səthində kiçik miqdarda amorflaşma baş verir.

1.17 MeV və 1.37 MeV enerjili qamma kvantların təsirinə məruz qalmış Zr və C atomlarının elektron quruluşunda dəyişikliklər və vakansiyaların formalaşma ehtimalı mövcuddur. Şüalanmadan sonra struktur amorflaşması və piklərin inteqrallanması metodu ilə alınmış qiymətlərindən məlum olmuşdur ki, 1500 kGy udulma dozasında 2.4%, 3000 kGy udulma

dozasında amorflaşma 2.8% müşahidə olunmuşdur. Eyni zamanda hər iki udulma dozasından sonra kristal strukturda faza keçidi müşahidə olunur. Həmçinin qamma kvantların ZrC nano kristallarına təsirinin tədqiqi göstərir ki, 1500 kGy və 3000 kGy udulma dozaları kristal qəfəsin parametrlərində əsaslı dəyişiklik yaratmır. Lakin şüalanmadan sonra səthi xarakterli zəyif kimyəvi qarşılıqlı təsirdə olan OH və H rabitələrinin parçalanmasından sonra kristal quruluşun ölçülərində azalma müşahidə olunur. Cədvəl 1-də qəfəs parametirlərinin qamma şüalanmanın udulma dozasından asılı olaraq dəyişməsi göstərilmişdir.

Cədvəl 1. Müxtəlif udulma dozalarında ZrC nanokristallarının qəfəs parametrlərinin və həcmnin qiymətləri

Fəza qrupu	Udulan doza	a, Å	b, Å	c, Å	V, Å ³
F m -3 m	şüalanmamış	4.682892	4.682892	4.682892	102.688
F m -3 m	1500 kGy	4.682003	4.682003	4.682003	102.635
F m -3 m	3000 kGy	4.681614	4.681614	4.681614	102.609

1500 kGy udulma dozasında şüalanma kristallik quruluşun kiçik deformasiyaya, 3000 kGy udulma dozası kristal strukturda amorflaşmanın baş verməsi və struktur defektlərinin artması difraksiya piklərində intensivliklərin azalmasını və spektrın absis oxu üzrə yerdəyişməsinə səbəb olmuşdur. Şüalanmamış nümunədə əsas interplanar məsafənin difraksiya maksimumu 44.9247° təyin olunmuşdur.

Kristal qəfəsin parametirlərinin şüalanmanın udulma dozasından asılı olaraq azalmasını nəzərə alaraq kristallitlərin ölçülərinin dəyişməsi Şerrer tənliyindən istifadə edilərək hesablanmışdır. Hesablamalar göstərir ki, şüalanmanın kristallitlərin ölçülərinə təsiri udulmanın dozası ilə düz mütənəsiblik təşkil edir. Qamma şüalanmanın müxtəlif udulma dozalarından sonra kristallit ölçülərin azalma effektivitetində işlərdə rast gəlinir. Cədvəl 2-də qamma şüalanmanın udulma dozasının artması ilə kristallit ölçülərin dəyişməsi verilmişdir.

Cədvəl 2. Müxtəlif udulma dozalarında ZrC nanokristallarında kristallik ölçünün dəyişməsi

Udulan doza	Kristallitin ölçüsü
Initial	19.17675053
1500 kGy	19.14081935
3000 kGy	18.74152991

Hesablamalar göstərir ki, 1500 kGy udulma dozasından sonra kristallitlər ölçüsü 0.19 %, 1500 kGy udulma dozasından sonra isə 2.27% azalmışdır. Kristallitlərin ölçülərində baş verən azalmanın mexanizmi ZrC nanokristalların səthində su molekularının nanokristallar arasında baş verən radioliz prosesinin qamma şüalanmanın təsiri ilə degradasiyaya məruz qalması, şüalanmanın udulma dozasının artması ilə kristallitdə katalitik radioliz prosesinin sürətlənməsidir. Həmçinin Wiliamsen-Holl üsulundan istifadə edərək yüksək enerjili şüalanmadan sonra nanokristallarda lokal halda mikrosərtliyin 2.32% qədər artması müəyyən edilmişdir.

Eyni zamanda, layihənin birinci ilində aparılan tədqiqat işləri əsasən nümunələrinin

struktur, termik və infraqırmızı analizlərinə fokuslanmışdır. Qamma şüalanmadan öncə və sonra ZrC nanohissəciklərinin İQ spektrləri materialda rabitə dəyişikliklərini müqayisəli izah etməyə imkan verir. Nanokristallik ZrC hissəciklərinin qamma şüalanmadan öncə və sonra FTİR spektroskopiyası ilə təsvir edilmiş spektrləri verilmişdir. Spektrlərdən görüldüyü kimi qamma şüalanmadan sonra nanokristallik ZrC hissəciklərində qismən dəyişiklik müşahidə olunmuşdur. Dalğa ədədinin təqribən 890cm^{-1} və 1600cm^{-1} qiymətlərinə uyğun gələn və adətən Zr-O-C rabitələrini izah edən pik 150Mrad qamma şüalanma nəticəsində daha kəskin hal almışdır. İkin yavaşmada bu hal qamma şüalanma nəticəsində nanohissəciyin səthində kəskin oksidləşmə ilə izah edilə bilər. Belə ki, qamma şüalanmanın təsiri nəticəsində nanohissəcik səthində qırılan Zr və C əsaslı rabitələr atmosferdə olan oksigenlə qarşılıqlı təsire girərək Zr-O-C rabitələrini yaradır. Yeni yaranmış Zr-O-C rabitələrinin konsentrasiyasının artması nəticəsində İR spektrində dalğa ədədinin 890sm^{-1} qiymətinə uyğun pik kəskin hal alır. Eyni zamanda, ümumi yavaşmada şüalanmamış nümunələrlə müqaisədə şüalanma nəticəsində spektrə müəyyən qədər şum müşahidə olunur. Bunu isə qamma şüalanmanın təsiri nəticəsində materialın az miqdarda amorflaşması ilə izah etmək olar. lakin amorflaşma haqqında daha dəqiq məlumat vermək üçün daha çox analitik təcrübələrə ehtiyac vardır.

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 şüalanma nəticəsində qismən kəskin hal alır. Məlumdur ki dalğa ədədinin $\sim 3000\text{sm}^{-1}$ 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 yavaşmada müəyyən dəyişiklik müşahidə olunur.

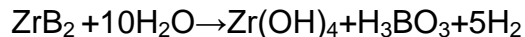
Göründüyü kimi, həm şüalanmadan öncə, həm də şüalanmadan sonra temperaturun təqribən 300C qiymətinə qədər nanohissəciyin kütləsi temperaturun təsiri ilə azalır. Bu isə adətən nanohissəcikdə adsorbsiya olunan OH qruplarının materialı tərk etməsi ilə izah olunur. Məlumdur ki, nanomateriallar çox böyük 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 H_2O və OH qrupları ilə zəyif qarşılıqlı təsirdə xemosorbsiya olur. Temperaturun xətti artması zəyif qarşılıqlı 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 $300\text{-}500\text{C}$ intervalında nanohissəciklərin kütləsində artım müşahidə olunur ki, bunu da İR spektrlərində izah etdiyimiz oksidləşmə prosesi ilə izah etmək olar. Lakin temperaturun $T > 500\text{C}$ qiymətində kütlədə yenidən azalma müşahidə olunur ki, bu halı nanohissəciyi tərk edən CO_2 qazı ilə izah etmək olar. Lakin CO_2 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 görüldüyü kimi, atmosferdən adsorbsiya olunan suyun və ya digər aşqar elementlərin sistemdən çıxması müşahidə olunur.

Qızma prosesində alınmış DSC spektrlərindən görüldüyü kimi temperaturun təqribən 370C qiymətinə qədər nanohissəciklərdə adsorbsiya olunan OH qrupları materialı tərk edir. Qızma prosesində temperaturun 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 temperaturda difraksiyası spektrləri araşdırılmışdır. Otaq temperaturunda difraksiyası spektrləri ZrB₂ kristalının heksoqonal fəza strukturuna və yüksək təmizlik dərəcəsinə (99.2 %) malik olduğu göstərilmişdir (Şək.6). 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 parametrləri 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 parametrlərinin və həcmnin artması göstərilmişdir. Qəfəs parametrlərinin 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 parametrlərinin ikili mexanizimlə artması temperatur və aktiv səthə malik nano zirconium diboride kristallarının səthində zəyif kimyəvi qarşılıqlı təsirdə olan su molekullarının temperaturun təsiri nəticəsində parçalanması və reaksiya məhsulu kimi Zr(OH)₄, H₃BO₃, H₂ ayrılması ilə bağlıdır.



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

Təcrübədən alınan nəticələrin müqayisəli təhlilindən görüldüyü kimi temperaturun təsiri ilə difraksiya piklərinin intensivlikləri artır və difraksiya pikləri sola sürüşür. Lakin temperatur artması ilə piklərin intensivliyi və minimal maksimal hündürlükdə 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 ZrB_2 kristalı temperaturun təsiri ilə genişlənməsi a və c qəfəs oxlarının dəyişməsinə təsir edir. Temperaturun təsiri ilə kristalın genişlənmə əmsalı ZrB_2 kristalı üçün 6.0×10^{-6} 1/K bərabərdir. 167 MeV enerjili sürətli ağır $^{132}Xe^{26+}$ ionları ilə 6.0×10^{12} ion/cm², 2.0×10^{13} ion/cm², 6.0×10^{13} ion/cm², və 3.0×10^{14} ion/cm² flux şüalanmış heksogonal spaces qrupa malik ZrB_2 kristalının difraksiya spektrləri göstərilmişdir. 2θ bucağının geniş intervalında (up to 110°) 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 azalması (amorflaşma) və iki theta nın qiymətində sola sürüşmə müşahidə olunur.

Şüalanmamış zirconium diboride kristalında difraksiya pikləri kəskin dublet quruluşa malikdir. Sürətli ağır $^{132}Xe^{26+}$ ionları ilə şüalanmadan sonra yüksək intensivlikli piklərdə azalma, 2θ böyük qiymətlərində mövcud zəif intensivlikli difraksiya piklərinin tam şəkildə degradasiyası baş verir. İon şüalanma səthi xarakterli defektlər, vakansiyalar və səthin degradasiyasını formalaşdırır. Struktur dəyişiklikləri kristalda uzaq nizamlılığı pozur ki, bu da öz növbəsində piklərin genişlənməsini və kiçik intensivlikli piklərin tam degradasiyasını formalaşdırır. Şüalanma intensivliyinin artması ilə kristalın səthi boyunca amorflaşma dərəcəsi 15.1%-dən, 17.4 %-ə qədər artır. Difraksiya maksimumlarının intensivliyinin azalması və sola doğru sürüşmə Rietveld metodu tətbiq edilməklə (101) indeksləşmiş pik iki tetanın 41.6514° qiymətindən 41.4264° qədər sürüşməsi müşahidə olunmuşdur. Müxtəlif fluxs şüalanmış nano zirconium diboride kristalının qəfəs parametirlərinin və həcmnin dəyişməsi göstərilmişdir. Qəfəs parametirlərinin artması iki hissəyə bölünür. Sürətli ağır $^{132}Xe^{26+}$ ionlarının 6.0×10^{13} 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 lokallaşmış amorf izlər yaranır.

Təqdim olunan layihənin iş planına uyğun olaraq, cari rübdə nanokristallik TiC hissəciklərinin termik xüsusiyyətləri qamma şüalanmadan öncə və sonra 300K – 1200K temperatur aralığında qızma və soyuma proseslərində tədqiq olunmuşdur. Nanokristallik TiC hissəciklərinin istilik tutumu, Gibbs enerjisi, sistemin entalpiya və entropiyası təcrübi nəticələrə əsaslanaraq nəzəri hesablanmışdır. İlkin halda (c.s.) və 150Mrad dozada qamma şüalanmaya uyğun spektrlər təsvir edilmişdir. İlkin yanaşmada spektrlərdən görüldüyü kimi, qızma prosesində temperaturun 600K qiymətinə qədər atmosferdən adsorbsiya olunan suyun və ya digər aşqar elementlərin sistemdən çıxması müşahidə 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 H_2O və OH qrupları ilə zəyif qarşılıqlı təsirdə xemosorbsiya olur. Temperaturun xətti artması zəyif qarşılıqlı təsiri parçalayır. Termik ayrılmanın 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 600K qiymətlərində bitir. Qızma prosesində, temperaturun $T > 600K$ intervalında TG ayrılardan görünür ki, nanohissəciyin kütləsi

temperatura mütənasib olaraq artır.

$T > 600\text{K}$ temperatur intervalında nanohissəciklərin kütləsinin artmasını temperaturun təsiri ilə oksidləşmə ilə izah etmək olar. Temperaturun təqribən 1000K qiymətində kütlədə müəyyən sabitləşmə müşahidə olunur ki, bu da $\text{TiC}_x\text{O}_{1-x}$ birləşməsində bu temperaturda mövcud olan faza keçidi ilə əlaqələndirilə bilər. Temperaturun növbəti artması prosesində, oksidləşmə davam edir və kütlə artmaqda davam edir. Soyuma prosesində də kütlədə az miqdarda artma müşahidə olunur ki, buna da qızma prosesində başlamış oksidləşmə prosesinin davamı kimi baxmaq olar.

Nanokristallik TiC hissəciklərinin qamma şüalanmadan öncə və sonra entropiya və entalpiyasının temperatur asılılıqları qızma və soyuma proseslərində təsvir edilmişdir. Göründüyü kimi, entalpiyanın bütün temperatur oblastında ədədi qiyməti qamma şüalanma dozasına mütənasib olaraq azalır. Lakin, qamma şüalanmadan öncə və sonra entalpiya temperaturdan düz mütənasib asılıdır.

Təcrübi nəticələrə əsaslanaraq nanokristallik TiC hissəcikləri üçün hesablanmış sistemin entropiyasında da entalpiyaya analogi hal müşahidə edilmişdir. Sistemin entropiyasının temperatur asılılıqlarından göründüyü kimi, entalpiya uyğun olaraq bu halda da qamma şüalanma dozasının artması ilə sistemin entropiyası azalır. Qamma şüalanma nəticəsində nanokristallik TiC hissəciklərində mümkün faza keçidləri və amorflaşma DTA spektrlərinin köməyi ilə izah edilə bilər. Qızma proseslərində DTA spektrlərində 400K - 600K aralığında müşahidə olunan pik bunu deməyə əsas verir ki, sistemdə olan əlavə qatışıqlar nanomaterialı məhz bu temperatur intervalında tərk edir.

Qamma şüalanma nəticəsində nanomaterialda 600K - 800K aralığında DTA spektrlərində müəyyən dərəcədə kənarçıxmalar müşahidə olunur. Bu kənarçıxmalar adətən qamma şüalanma nəticəsində nanomaterialda az miqdarda amorflaşma və ya daha güclü rabitələrlə mövcud qruplarla (OH qrupları və ya digər) ilə izah edilir. Eyni zamanda temperaturun 1000 - 1200K aralığında nanomaterialda $\text{TiC}_x\text{O}_{1-x}$ birləşməsi hesabına mövcud faza keçidi müşahidə olunmur. Qeyd etmək önəmlidir ki, $\text{TiC}_x\text{O}_{1-x}$ birləşməsi hesabına faza keçidini dəqiqləşdirmək üçündə çox analitik təcrübələrə ehtiyac var. 1000 - 1200K intervalında şüalanmadan öncə və sonra mövcud fərq, gamma şüalanmanın təsiri ilə nanomaterialın amorflaşmasının başqa yanaşmada göstəricisi ola bilər. Soyuma prosesindən göründüyü kimi, bütün temperatur oblastında nanomaterialı tərk edən heç bir əlavə qrup yoxdur. Bu isə onu deməyə əsas verir ki, 600 - 800K intervalında mövcud kənarçıxma birbaşa daha güclü rabitədə olan qrupların nəticəsidir. Başqa sözlə, 600 - 800K intervalında DTA spektrlərində fərq qamma şüalanma nəticəsində nanomaterialın amorflaşmasını izah edə bilmir.

Təcrübi nəticələrə uyğun olaraq hesablanmış sərbəst Gibbs enerjisinin temperatur asılılıqları qızma və soyuma proseslərində təsvir edilmişdir. Alınan nəticələrdən göründüyü kimi sərbəst Gibbs enerjisinin ədədi qiyməti qamma şüalanma dozasından tərs mütənasib asılıdır. Qamma şüalanma dozasının artması ilə sərbəst Gibbs enerjisinin ədədi qiyməti artır ki, bu da şüalanmadan öncə sistemin daha çox dayanıqlı olmasının göstəricisidir. Geniş temperatur aralıklarında alınmış asılılıqlardan göründüyü kimi sərbəst Gibbs enerjisinin ədədi qiymətinin modulu temperaturla düz mütənasib olaraq artır. Sistem üçün sərbəst Gibbs

enerjisinin ədədi qiymətinin artması müəyyən mənada sistemin potensial enerjisinin artmasıdır (kimyəvi potensial). İstənilən sistem zaman keçdikcə potensial enerjisini minimuma endirməyə çalışır və hər hansı sistemdə sərbəst Gibbs enerjisinin qiymətinin artması o sistemin dayanıqlılığının azalmasına səbəb ola bilər. Fiziki olaraq bu onu izah edir ki, təbii olaraq sistemin yuxarı temperaturda dayanıqlılığı azalır.

Qeyd etmək önəmlidir ki, təcrübi nəticələrə uyğun olaraq hesablanmış sərbəst Gibbs enerjisinin ədədi qiyməti mənfi qiymətlər alır. Bu isə o deməkdir ki, sistemdə baş verən proseslər spontandır və sistem tarazlıq halına doğru irəliləyə bilər. Qeyd edək ki, temperaturun çox kiçik qiymətlərində ümumi yanaşmada sərbəst Gibbs enerjisinin ədədi qiyməti sıfır ətrafında dəyişir ki, bu da sistemin tarazlıqda olmasının göstəricisidir.

$^{60}\text{Co}/^{60}\text{Ni}$, $^{241}\text{Am}/^{237}\text{Np}$ and $^{192}\text{Ir}/^{192}\text{Pt}$ parçalanmalarından alınan yüksək kinetik enerjili gamma kvantlar, thermal 0.025-1 eV, rezonans 1 eV- 1 keV, sürətli 1 keV-10 MeV, və yüksək enerjili >10 MeV neytron şüalanma, ağır ion $^{40}\text{Ar}^{7+}$ (46 MeV), $^{86}\text{Kr}^{15+}$ (107 MeV), $^{132}\text{Xe}^{23+}$ (167 MeV, 220 MeV), Bi^{51+} 710 MeV və Au ion, proton və elektron kimi hissəciklərin bərk cisimlərlə qarşılıqlı təsiri zamanı struktur deqredasiyası formalaşdırır. Müxtəlif enerjili gamma və neytronların bərk cisimlərdə yaratdığı struktur defektlərinin təbiəti həcmi, ion və electron şüalanmanın formalaşdırıdığı defektlər səthi xarakterlidir. Gamma şüalanma zamanı nöqtəvi defektlərin konsentrasiyası neytron şüalanma zamanı yaranan nöqtəvi defektlərin konsentrasiyasından çoxdur. Şüalanma zamanı nöqtəvi defektlərin kristlin həcmində formalaşması, paylanması və termik miqrasiyası materialın sıxlığından asılıdır. Məlumdur ki, nüvə texnologiyalarında və tədqiqat reaktorlarında radiasiyaya davamlı material kimi WC və onun müxtəlif birləşmələrindən istifadə olunur. Uzun müddət şüalanma təsiri altında materialın istismar müddətinə ciddi təsir edir. Nano və micro ölçülü WO_3 kristallarının, polydimethylsiloxane and carbon nanotube ilə əmələ gətirdiyi yeni növ materialların 1.25 MeV energy ^{60}Co gamma mənbəyi ilə 5, 20 və 100 kGy udulma dozalarında 50 nm, 100 nm və 1 μm qalınlığında radiasiya dayanıqlığı tədqiq olunmuşdur. WC yüksək mexaniki, termik və radiasiyaya davamlı material kimi müxtəlif enerjili neytronların effektiv şəkildə yavaşlatan yüngül karbon atomlarından və qamma şüaların zəifləməsini təmin edən ağır volfram atomlarından təşkil olunmuş "radiasiyadan qorunan material" kimi tətbiq imkanlarını genişləndirir.

Geniş temperatur intervalında stabil hexagonal strukturda ($a=2.90567(3)$ Å, $c=2.83641(3)$ Å) formalaşan α -WC 2755°C temperaturda eyni hexagonal struktura malik β -WC fazasına keçir və hər iki halda space group P-6m2 sabit qalır. α -WC-də ağır W atom layı arasında C atomlarının grahpne şəklində paylanması və qəfəs parametirləri arasında $c/a < 1$ nisbət α -WC neytron şüalanmaya qarşı davamlı material kimi təsdiq edir. Müxtəlif şüalanmaların təsiri altında WC nöqtəvi defektlərin və vakansiyaların formalaşma mexanizmi biri birində fərqlənir. W kristalında fərqli şüalanma zamanı formalaşan nöqtəvi defektlər strukturun energetik halını dəyişir və kristalin potensial enerjisi nöqtəvi defektlərin miqrasiyasının enerji barrieri, W (100), W (110), və W (111) səthin energetik halını, və vakansiyaların diffuziyasını təyin etməyə imkan yaradır. Eyni zamanda nöqtəvi defektlərin əmələ gəlməsi və energetik səviyyələr üzrə miqrasiyası W-W, W-C and C-C kimyəvi rabitələrin və W, C qarşılıqlı təsirin təbiətindən asılıdır. Çünki W^{4+} atomu WC_6 tetragonal yaratmaq üçün altı C^{4-} atoms ilə 2.20 Å uzunluqlu W-C kimyəvi rabitəsi yaradır. W/C fraction

asılı olaraq WC strukturunun formalaşma enerjisi W atomu üçün 0.087 eV/atom, C atomu üçün 0.178 eV/atom təyin olunmuşdur. Nöqtəvi defektlərdən fərqli olaraq vakansiyaların volfram kristalında paylanması və Johnson potensialından istifadə etməklə volfram(fcc) kristalında vakansiyaların formalaşma enerjisi 4.95 eV, və termik miqrasiya enerjisi 1.73 eV təyin olunmuşdur. Sərbəst volfram kristalında (110), (111) və (100) vakansiyaların formalaşma enerjisi 9.73 eV, 9.90 eV və 11.20 eV, hesablanmışdır. Müxtəlif udulma dozalarında qamma şüaları ilə volfram karbid kristalının dərinlikdən asılı olaraq S və W parametrlərinin dəyişməsinin müqayisəli təsviri verilmişdir.

Şüalanma olmadan ilkin nümunələr üçün bir profildən başlayaraq, dərinlikdə, artan qamma dozası ilə əvvəlcə nöqtə defektlərin artması müşahidə olunur, lakin müəyyən dozadan sonra strukturda nizamlılıq faktorunun artması müşahidə olunur. Kristal quruluşda qamma şüalanma enerjisinin bir növ yığılmasından və materialda onun termik işlənməyə bənzəyən dinamik mexanizmin qurulduğu bir proses formalaşır. Lakin nümunələr 167 MeV-də sürətli ağır ionları ilə şüalanma zamanı defektlər həcmdən (vakansiya klasterləri şəklində) dislokasiya dövrləri yenidən qurulur. Bu halda, biz eyni zamanda kristalın daxilində şüalanma nəticəsində ayrılan enerjinin təsiri altında defektlərin miqrasiyasından və onların mövcudluğu nümunədə daxili müqavimətləri azaldacaq şəkildə yenidən qurulmasından danışa bilərik. Bu hal nümunədəki ölçülü strukturunun daxili formasını təmsil edir. İndiyə qədər ədəbiyyatda təsvir edilən ölçülü strukturunun daxili formalaşma effekti materialın mexaniki xüsusiyyətlərinin kinetikasını daxil etməklə təhlilimizi genişləndirə bilərik.

Radiasiya defektlərinin materialın həcmi boyunca artma tendensiyası müşahidə edilir və bu dalğavari prosesin kinetikasi şüalanma dozasının artması ilə müəyyən olunur. Müxtəlif növ materialdan olan nümunələri müqayisə etsək, bu prosesin WC nümunələrində daha çevik baş verdiyini müşahidə edirik. WC materialın yüksək mexaniki xassələrini nəzərə alsaq (WC-nin W üzərində sübut edilmiş üstünlüyü var), nöqtəvi rekombinasiya üçün kifayət qədər enerjinin olduğunu güman edə bilərik. Bu qamma enerjisinin materiala ötürülməsinin əsas mexanizmi Kompton qarşılıqlı təsiridir. Qamma enerjisinin atom buludundakı elektronlara ötürülməsi düsturuna əsasən, bir atomun enerjini qəbul etdiyi və sonra onu qəfəsdəki digər atomlara ötürdüyü bölgədə yerli ərimə radiusunu təxmin etmək mümkündür və WC nümunələrində bu qiymət təxminən 55 Å bərabərdir.

2 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (cari rüb üçün, faizlə qiymətləndirməli)
95 %

3 Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr**, onların yenilik dərəcəsi

Cari ildə plana uyğun olaraq aparılan FTİR analizləri nəticəsində məlum olmuşdur ki, şüalanmadan öncə sadəcə Zr-C rabitələrini izah edən dalğa ədədlərinin 1010cm^{-1} və 1380cm^{-1} qiymətlərinə uyğun gələn piklər, şüalanmadan sonra dalğa ədədinin 890cm^{-1} qiymətinə uyğun gələn pikin güclənməsi fonunda itmişdir. Eyni zamanda, aparılan analizlər nəticəsində məlum olmuşdur ki, dalğa ədədinin 890cm^{-1} və 1600cm^{-1} qiymətlərinə uyğun gələn və adətən Zr-O-C rabitələrini izah edən piklər 150Mrad qamma şüalanma nəticəsində daha kəskin hal alır. İşdə bu hal qamma şüalanma nəticəsində nanohissəciyin səthində kəskin oksidləşmə ilə izah edilmişdir. Eyni zamanda, ümumi yanaşmada şüalanmamış nümunələrlə müqayisədə

qamma şüalanma nəticəsində spektrə müəyyən qədər şumun müşahidə olunması amorflaşma ilə izah olunmuşdur. C-OH qrupları və C-O rəqslərini dalğa ədədinin 1950cm^{-1} və 2350cm^{-1} qiymətləri ilə xarakterizə olunmuşdur. DSC və TG əyrilərindən məlum olmuşdur ki, nanohissəcik səthində adsorbsiya olunan əlavə OH qrupları temperaturun 300C qiymətinə qədər qızma zamanı sistemi tərk edir. TG əyrilərindən məlum olmuşdur ki $300\text{-}500$ temperatur oblastında nanohissəciklərdə baş verən oksidləşmə nəticəsində kütlə qismən artır. Eyni zamanda temperaturun $T > 500\text{C}$ qiymətində kütlədə yenidən azalma müşahidə olunur ki, bu hal da nanohissəcici tərk edən CO_2 qazı ilə izah edilmişdir. Eyni zamanda, WC nümunələri üzərində aparılan tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, qamma enerjisinin atom buludundakı elektronlara ötürülməsi düsturuna əsasən, bir atomun enerjini qəbul etdiyi və sonra onu qəfəsdəki digər atomlara ötürdüyü bölgədə yerli ərimə radiusunu təxmin etmək mümkündür və WC nümunələrində bu qiymət təxminən 55 \AA kimi müəyyən olunmuşdur.

Eyni zamanda, məlum olmuşdur ki, TiC nanokristallarında temperaturun $600\text{K} < T < 1200\text{K}$ intervalında oksidləşmə prosesi gedir. Oksidləşmə nəticəsində yaranmış $\text{Ti}_x\text{O}_{1-x}$ birləşməsində $1000\text{K}\text{-}1200\text{K}$ 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).

Cari ildə plana uyğun olaraq, ZrB_2 nano kristallarının $373\text{-}773\text{K}$ temperatur intervalında struktur analizini tədqiq olunmuşdur. Difraksiyası spektrləri ZrB_2 kristalının heksoqonal fəza strukturuna və yüksək təmizlik dərəcəsinə (99.2%) malik olduğu göstərilmiş və kristalını ($P 63/m m c$) heksoqonal fəza quruluşlu, 3.1650 \AA və 3.5200 \AA qəfəs parametri və qəfəs həcminə 30.5366 \AA malik olduğu müəyyən olunmuşdur. Temperaturdan asılı olaraq difraksiya piklərinin sürüşməsi müşahidə olunmuş ki, kristallarının aktiv səthində su və OH qruplarının parçalanması ilə bağlıdır. Temperaturun təsiri altında qəfəs parametirlərinin ikili mexanizimlə artması temperatur və aktiv səthə malik nano zirconium diboride kristallarının səthində zəyif kimyəvi qarşılıqlı təsirdə olan su molekullarının temperaturun təsiri nəticəsində parçalanması və reaksiya məhsulu kimi $\text{Zr}(\text{OH})_4$, H_3BO_3 , H_2 ayrılması ilə bağlıdır. Polikristallik xassələr malikr heksoqonal quruluşlu ZrB_2 kristalı temperaturun təsiri ilə genişlənməsi $6.0 \times 10^{-6} 1/\text{K}$ müəyyən olunmuşdur. 167 MeV enerjili sürətli ağır $^{132}\text{Xe}^{26+}$ ionları ilə $6.0 \times 10^{12} \text{ ion/cm}^2$, $2.0 \times 10^{13} \text{ ion/cm}^2$, $6.0 \times 10^{13} \text{ ion/cm}^2$, və $3.0 \times 10^{14} \text{ ion/cm}^2$ flux şüalanmış zirconium diboride kristalında difraksiya pikləri kəskin dublet quruluşa malikdir. $^{132}\text{Xe}^{26+}$ ionları ilə şüalanmadan sonra yüksək intensivlikli piklərdə azalma, zəif intensivlikli difraksiya piklərinin tam şəkildə degradasiyası baş verir. Ağır ion fluxes artması ilə kristalın səthi boyunca amorflaşma dərəcəsi 15.1% -dən, 17.4% -ə qədər artır. müxtəlif fluxs şüalanmış nano zirconium diboride kristalının qəfəs parametirlərinin artması iki hissəyə bölünür. Sürətli ağır $^{132}\text{Xe}^{26+}$ ionlarının $6.0 \times 10^{13} \text{ ion/cm}^2$ flux sonra sıçrayışlı artması baş verir. Ağır ionların təsiri altında qəfəs parametirlərinin artması

səthi amorfizasiyanın baş verməsi ilə bağlıdır. Yüksək təzyiqdə struktur analizləri göstərir ki, qəfəs parametrlərinin Zr–B and B-B bonds üzrə dəyişməsi birincinslidir.

4 Layihənin yerinə yetirilməsi zamanı istifadə olunan üsul və yanaşmalar

Layihə çərçivəsində aparılan tədqiqat işlərində nano ZrC, WC və TiC hissəcikləri istifadə olunmuşdur. İlk mərhələdə xüsusi səth sahəsi $70 \text{ m}^2/\text{q}$ olan 20 nm ölçülü hissəciklərdən ibarət toz halında nano ZrC birləşməsindən istifadə olunmuşdur. Kubik modifikasiyalı ZrC nanohissəciklərinin nano halda sıxlığı $0.08 \text{ q}/\text{sm}^3$ və həqiqi sıxlığı isə $6.1 \text{ q}/\text{cm}^3$ kimidir. Tədqiqat AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Şüalanma mərkəzində” $186.27 \text{ rad}/\text{san}$ aktivliyə malik Co-60 mənbəsi ilə otaq temperaturunda şüalandırılmış nümunələr üzərində aparılmışdır. Nümunələr 5 Mrad , 15 Mrad , 50 Mrad və 150 Mrad kimi müxtəlif dozalarda şüalandırılmışdır. İQ təcrübəsi üçün hazırlanmış nümunələrin infraqırmızı spektrləri otaq temperaturunda “Varian 640 FT-IR” cihazında dalğa ədədinin (fəza tezliyinin) $400 - 4000 \text{ sm}^{-1}$ diapozonunda çəkilmişdir. Eyni zamanda nümunələrin DSC spektrləri “Perkin Elmer” STA 6000 cihazında $25-950 \text{ C}$ temperatur intüervalında və $5 \text{ C}/\text{dəq}$ isitmə sürəti ilə çəkilmişdir. Yanma məhsullarının sistemdən xaric edilməsi və kondensasiya prosesinin qarşısının alınması məqsədi ilə arqon təsirsiz qazından istifadə edilmiş və sistemə $20 \text{ ml}/\text{dəq}$ sürət ilə verilir. Standar $177,78 \text{ mg}$ alüminium–oksid əsaslı pəndən istifadə olunmuşdur. Termocüt üzərində yerləşdirilmiş elektron qeydedici vasitəsi nümunə 10^{-6} q dəqiqliyi ilə nümunənin kütləsi təyin olunur və avtomatik rejimdə qeyd olunur. Təcrübələrdə alınmış və sonradan nəzəri olaraq hesablanmış qiymətlərə uyğun alınan bütün nəticələr “OriginPro 9.0” proqramında qrafik olaraq təsvir edilmişdir. Digər tərəfdən, eksperimental olaraq tədqiq edilmiş material altıbucaqlı sirkonium diborid nümunəsidir. Bu tədqiqat üçün kütlə sıxlığı $0,23 \text{ q}/\text{sm}^3$, hissəcik ölçüsü $< 43 \text{ nm}$, SSA $80-120 \text{ m}^2/\text{q}$ və təmizliyi $99,5 \%$ (US Research Nanomaterial, Inc., TX, ABŞ) olan sirkonium diborid nano tozundan istifadə edilmişdir. Statik şəraitdə (atmosfera təzyiqi) sirkonium diborid nümunəsi radiasiya $167 \text{ MeV } ^{132}\text{Xe}^{26+}$ ionları ilə IC100 siklotronunda Flerov Nüvə Reaksiyaları Laboratoriyasında (FLNR), Dubna, Birgə Nüvə Tədqiqatları İnstitutunda (JINR) həyata keçirilib. Bütün nümunələr otaq temperaturunda 6.0×10^{12} , 2.0×10^{13} , 6.0×10^{13} və $3.0 \times 10^{14} \text{ ion}/\text{sm}^2$ radiasiyaya məruz qalmışdır. Şüalanma zamanı nümunələrin temperaturu $50 \text{ }^\circ\text{C}$ -dən çox olmamışdır. Kristal quruluşu, faza tərkibi, tekstura və taxıl ölçüsü $20-100 \text{ }^\circ \theta/2\theta$ həndəsə diapazonunda Cu Ka radiasiya (1.5405 nm) ilə EMPYREAN (PANalytical) difraktometrindən istifadə etməklə rentgen şüalarının difraksiyası (XRD) ilə əldə edilmişdir. $0,02^\circ/\text{dəq}$ addımla, 3° -lik hadisə bucağında. Nümunələrin kristal quruluşu otaq temperaturundan $500 \text{ }^\circ\text{C}$ -yə qədər qızdırma və soyutma sürəti $10 \text{ }^\circ\text{C}/\text{dəq}$ olan Anton Paar HTK 1200N sistemindən istifadə etməklə tədqiq edilmişdir.

Hissəcik ölçüləri 40 nm , xüsusi səth sahəsi (SSA) $50 \text{ m}^2/\text{q}$, nano halda sıxlığı $0.08 \text{ q}/\text{sm}^3$ (həqiqi sıxlıq $4.93 \text{ q}/\text{sm}^3$) və təmizliyi $99+\%$ olan kubik modifikasiyalı nanokristallik TiC hissəcikləri tədqiqat obyektii olaraq götürülüb (US2052). Tədqiqat, AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Şüalanma mərkəzində” $186.27 \text{ rad}/\text{san}$ aktivliyə malik Co-60 mənbəsi ilə otaq temperaturunda şüalandırılmış nümunələr üzərində aparılmışdır. Nümunələr 5 Mrad , 15 Mrad , 50 Mrad və 150 Mrad kimi müxtəlif dozalarda şüalandırılmışdır. İlk olaraq nümunələr Təqdim olunan işdə, təcrübələr “Perkin Elmer” STA 6000 cihazında yerinə yetirilmişdir. “Perkin Elmer” STA 6000 cihazında işçi oblast $290 \text{ K}-1273 \text{ K}$ kimidir və bütün

	<p>təcrübələrdə termik işləmə sürəti 5 K/dəq kimi götürülmüşdür. Təcrübələr, qamma şüalanmadan öncə və sonra (5Mrad, 15Mrad, 50Mrad və 150Mrad) hər bir nümunə üçün ayrı - ayrılıqda müqayisəli aparılmışdır. "Pyris Manger" proqram təminatından istifadə olunaraq kinetik parametrlər təyin olunmuşdur. Yanma məhsullarının sistemdən xaric edilməsi və kondensasiya prosesinin qarşısının alınması məqsədi ilə azot qazından istifadə edilmiş və sistemə 20 ml/dəq sürət ilə verilmişdir. Standart 177,78 mg alminium–oksid əsaslı pəndən istifadə olunmuşdur. Termocüt üzərində yerləşdirilmiş elektron qeydedici vasitəsi nümunə 10⁶ q dəqiqliyi ilə nümunənin kütləsi təyin olunur və avtomatik rejimdə qeyd olunur. Təcrübələrdə alınmış və sonradan nəzəri olaraq hesablanmış qiymətlərə uyğun alınan bütün nəticələr "OriginPro 9.0" proqramında qrafik olaraq təsvir edilmişdir.</p>
5	<p>Layihə üzrə elmi nəşrlər (məqalələr, monoqrafiyalar, icmallar, konfrans materialları, tezislər) (dərç olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə) <i>(sürətlərini əlavə etməli!)</i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 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 2. 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 3. 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 37/35, 2350176, 2023 https://www.worldscientific.com/doi/10.1142/S0217984923501762 4. 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 5. 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
6	<p>İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər</p> <p>Yoxdur</p>
7	<p>Layihə üzrə ezamiyyətlər</p> <p>Təqdim olunan layihə çərçivəsində hesabat ilində Türkiyə Respublikasının Ankara şəhərində yerləşən Ankara Universitetində və Türkiyə Respublikasının İstanbul şəhərində yerləşən İstanbul Texnik Universitetində ezamiyyədə olunmuş və elmi müzakirələr aparılmışdır.</p>
8	<p>Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak</p> <p>Nəzərdə tutulmayıb</p>

9	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak Nəzərdə tutulmayıb
10	Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminarlar, konfranslar, dəyirmi masalar və s. çıxışlar) Nəzərdə tutulmayıb
11	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar Alınmayıb
12	Yerli həmkarlarla əlaqələr Nəzərdə tutulmayıb
13	Xarici həmkarlarla əlaqələr Nəzərdə tutulmayıb
14	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı Nəzərdə tutulmayıb
15	Sərgilərdə iştirak Nəzərdə tutulmayıb
16	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi Nəzərdə tutulmayıb
17	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. Nəzərdə tutulmayıb

Layihə rəhbərinin imzası _____ Hüseynov Hüseyn Cəlil oğlu

Tarix _____

QEYD: bütün hallarda uyğun olan bəndlər doldurulmalıdır.