

YÜKSƏK ENERJİLİ İON ŞÜALANMANIN TƏSİRİ ALTINDA VOLFRAM ƏSASLI BİRLƏŞMƏLƏRİN SƏTH MORFOLOGİYASININ TƏDQIQI

AYGÜL H. VƏLİZADƏ

AMEA, Radiasiya Problemləri İnstitutu, Bakı,
AZ1143, Azərbaycan, B. Vahabzadə küç., 9.

Təqdim olunan işdə APS (Air Plasma Spray) metodu ilə sintez olunmuş yüksək entropiyaya malik volfram əsaslı birləşmələrin səth morfologiyası enerji sürəti 167 MeV olan Xe ionları ilə otaq temperaturunda 5.0×10^{12} ion/sm², 5.0×10^{13} ion/sm² və 3.83×10^{14} ion/sm² intensivliklərdə şüalandırıldıqdan sonra tədqiq olunmuşdur.

Şüalanmadan sonra səth morfologiyasında “şiş” mexanizminin formalaşması müəyyən olunmuş və şüalanma dozasından asılı olaraq kinetika qurulmuşdur.

Açar sözlər: yüksək enerjili ion, volfram birləşmələri, ağır ionlarla şüalandırma, səth morfologiyası.

PACS: 29.20.dg, 29.27.Ac, 68.37.Ps, 78.30.-j, 61.05.cp

1. GİRİŞ

Son illər radiasiya materialşünaslığı istiqamətində yüksək entropiyaya malik volfram tərkibli WC+SiC, B_nC+WC+C, WC+10%Co və WC+6%Co birləşmələr nüvə texnologiyalarında geniş istifadə olunmaqdadır [1-3]. Volfram elementinin müxtəlif konsentrasiyalarda karbon atomları ilə əmələ gətirdiyi birləşmələri bir sıra üstün fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərinə görə nüvə texnologiyalarında və neytron uducuların hazırlanmasında geniş tədqiq olunur [4]. Nüvə reaktorundakı plazma üzlüklü komponentlər yüksək intensivlikli plazmalara, hidrogen izotoplarının və helium ionlarının şüalanmasına məruz qalır. Plazma üzlüklü komponentlər üçün müxtəlif materiallar tədqiq olunmaqdadır. Göstərilən materialların yüksək temperatura qarşı dayanıqlı xassələri onların praktiki tətbiqini artırır. Məhz bu səbəbdən, “Korea Superconducting Tokamak Advanced Research” nüvə reaktorunun aktiv zonası ətrafında divar qatı mükəmməl istilik xüsusiyyətləri və istehsal rahatlığı səbəbi ilə karbon əsaslı materiallar ilə örtülmüşdür. Volframın yüksək ərimə temperaturuna malik olması, püskürtmə üçün yüksək sərhəd enerjisi, aşağı eroziyaya və hidrogen izotopunun absorbsiya qabiliyyətinin aşağı olması səbəbindən termonüvə reaktorlarında və gələcək nüvə qurğularında plazma üzlüklü material olaraq qəbul edilir [5]. Bununla belə, karbid əsaslı materialların aşınması divarda karbonla bağlı əlavələrin (aşqarların) çökməsinə gətirib çıxarır. Beləliklə, yüksək intensivliyə malik və yüksək istilik mühiti olan plazma üzlüklü materiallara dair təcrübi məlumatların toplanması Tokamak plazmalarının və divarlarının qarşılıqlı təsir zonasında baş verən proseslərinin mexanizmini anlamaq üçün müxtəlif tədqiqatlar yerinə yetirməyə əsas verir.

Helium ionları ilə şüalanmış qrafit əsaslı materiallarda baş verən təsirlər geniş öyrənilmişdir.

Struktur baxımından daha da mürəkkəbləşdirilmiş üçlü və dördlü birləşmənin tədqiqi istiqamətində elmi tədqiqat işlərinin çox az olması səbəbindən, ağır ionların təsiri ilə həmin birləşmələrin səthində yaranan effektlərin ətraflı tədqiqi çox vacibdir. Təqdim olunan

iş 167 MeV enerjili Xe ionlarının təsiri nəticəsində birləşmələrin səth morfologiyasında gedən proseslərə əsaslanmışdır.

2. TƏCRÜBİ HİSSƏ

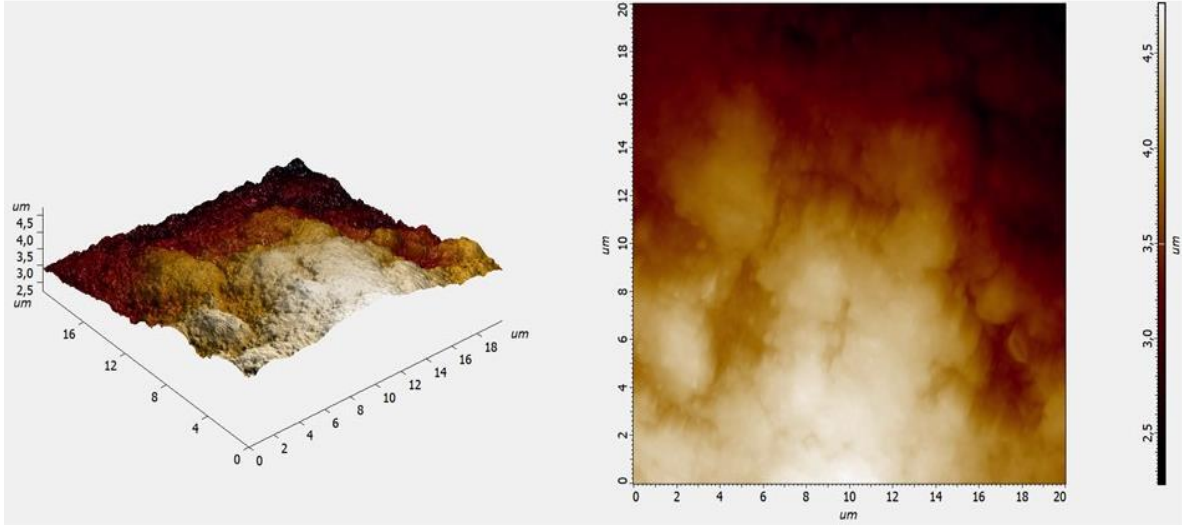
Tədqiqat nümunələri (WC+B₄C+TiC) APS (Air Plasma Spray) metodu ilə diametri 15.5 mm, qalınlığı 4 mm olan dairəvi təbəqə şəklində alınmışdır. Nümunənin üst təbəqəsində qarşılıqlı təsiri gücləndirmək məqsədi ilə oksid təbəqəsi tamamilə təmizlənmişdir. Şüalandırılma Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunun, Flerov adına Nüvə Reaksiyaları Laboratoriyasının İC-100 siklotronunda 167 MeV enerjili, sel sıxlığı 5.0×10^{12} ion/sm², 5.0×10^{13} ion/sm² və 3.83×10^{14} ion/sm² intensivliklərdə Xe ionları ilə otaq temperaturunda şüalandırılmışdır [6-10]. Səth morfologiyasının tədqiqi NTEGRA Spectra PNL (AFM-spectrometry) cihazında yerinə yetirilmişdir.

3. NƏTİCƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏLƏR

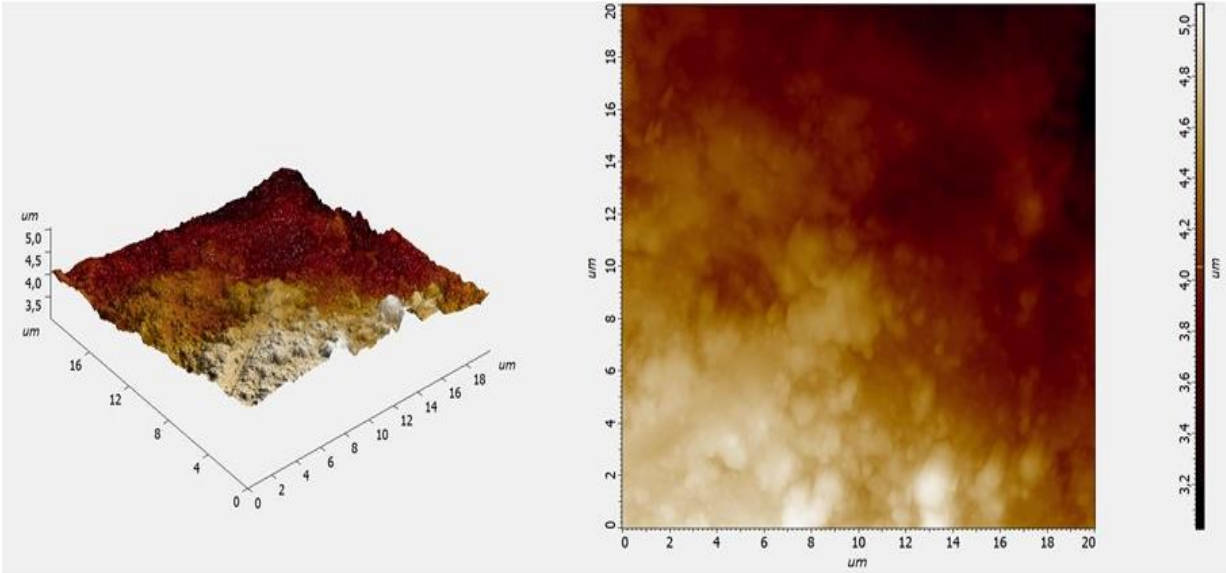
Yüksək enerjili ağır ionların iştirakı ilə baş verən eksperimental tədqiqatlar göstərir ki, şüalanma zamanı nümunənin səthində eroziya, səthin deqradasiyası, amorflaşma, şişlərin formalaşması kimi mürəkkəb proseslər baş verir [11-13]. Şəkil 1-də WC+B₄C+TiC birləşməsinin şüalanmamış nümunəsinin atom qüvvə mikroskopunda (AFM) çəkilmiş 2D və 3D səth morfologiyasının təsvirləri göstərilmişdir.

Tədqiq olunan nümunələr şüalanmadan əvvəl Struers LaboForce-50 cihazından istifadə edilərək səthi cilalanmış və səthdəki üzvi birləşmələrdən təmizlənmişdir. Şəkil 1-də səthin morfologiyasından məlum olur ki, yüksək cilalanmadan sonra səthdə müəyyən nahamar hissələr qalmaqda davam edir. Yüksək entropiyaya malik tədqiqat nümunələrində sintez şəraitindən asılı olaraq tam kristallik quruluşun formalaşma prosesi tamamlanmır. Bu səbəbdən, cilalanma və yaxud güzgü səthlərin alınması çətinliklər yaradır. Şəkil 2-4 də yüksək enerjili ağır Xe¹³² ionları ilə şüalanmadan sonra WC+B₄C+TiC birləşməsinin 2D və 3D səth morfologiyasının təsvirləri verilmişdir.

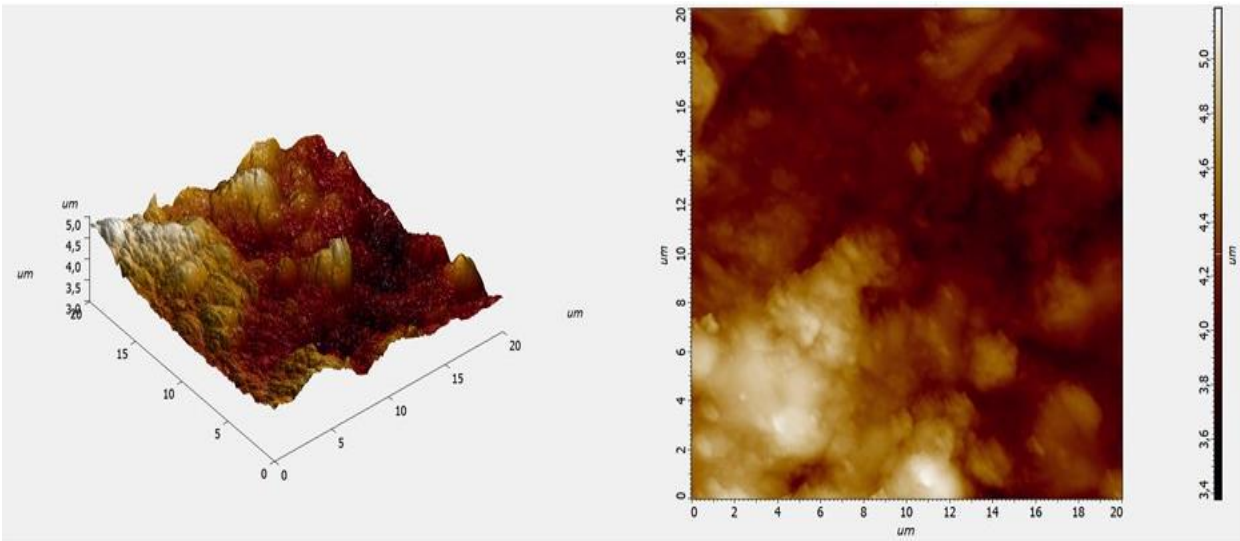
YÜKSƏK ENERJİLİ İON ŞÜALANMANIN TƏSİRİ ALTINDA VOLFRAM ƏSASLI BİRLƏSMƏLƏRİN SƏTH...



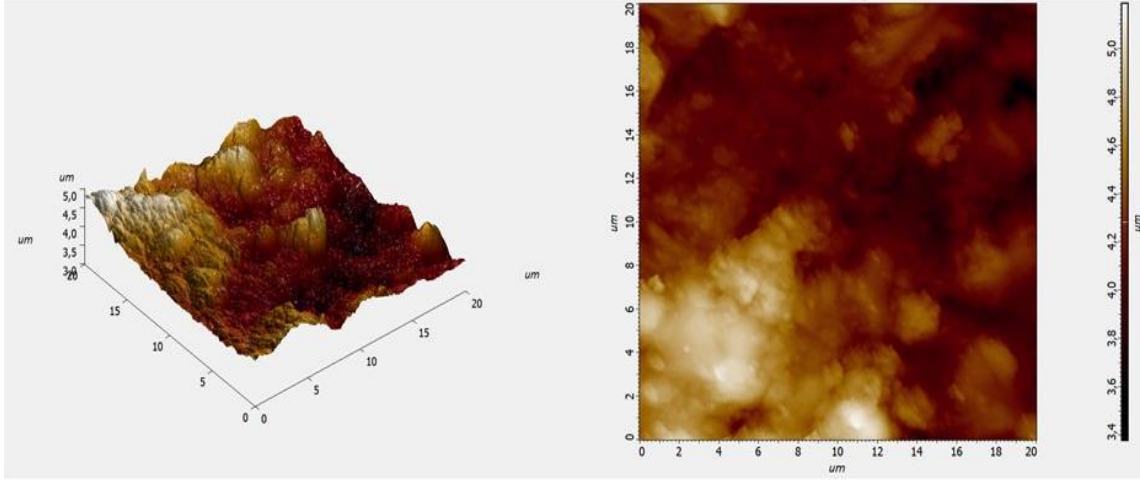
Şəkil 1. Şüalanmamış WC+B₄C+TiC birləşməsinin 2D və 3D səth morfologiyası.



Şəkil 2. 167 MeV ¹³²Xe ionları ilə 5.0×10^{12} ion/sm² intensivlikdə şüalanmış WC+B₄C+TiC birləşməsinin səth morfologiyası.



Şəkil 3. 167 MeV ¹³²Xe ionları ilə 5.0×10^{13} ion/sm² intensivlikdə şüalanmış WC+B₄C+TiC birləşməsinin səth morfologiyası.



Şəkil 4. 167 MeV ^{132}Xe ionları ilə 3.83×10^{14} ion/sm² intensivlikdə şüalanmış WC+B₄C+TiC birləşməsinin səth morfologiyası.

Müəyyən olunmuşdur ki, şüalanmış nümunələrin səth morfologiyasında və mikrostrukturunda əmələ gələn şişlərin ölçüsü $6.2 \pm 0.3 \mu\text{m}$ ərafında dəyişir. Şüalanmamış nümunələrin mikrostrukturunda şişkinliklərin paylanma dinamikası, sürətli ağır ionların intensivliyindən asılı olaraq, zəif fazada dəyişir. 167 MeV Xe^{132} ionları ilə şüalanmadan sonra WC+B₄C+TiC mikrostrukturunda hissəciklərin paylanması şişlərin sahəsinə və ölçüsünə görə artır. Digər tərəfdən, volfram əsaslı nazik təbəqəli birləşmələri kiçik enerjili (200KeV-dən kiçik) sürətli ionlar ilə şüalandırıldıqda səthdə formalaşan “şiş” şəkilli hissəciklərin ölçüsü sürətlə artır [14]. Müxtəlif intensivlikdə yerinə yetirilən eksperimental təcrübələrin müqayisəli analizləri göstərir ki, nümunələrin səthində fərqli yerlərdə formalaşan şişlərin ölçüləri şüalanmadan sonra artır. Eksperimental nəticələrlə aydın olur ki, şüalanma zamanı böyük şişlərin kiçik və orta şişləri “absorbsiya” prosesi baş verir. Yüksək entropiyaya malik birləşmələrdə prosesin mexanizmi mürəkkəb olaraq qalır. Lakin çoxtəbəqəli nümunələr üçün bu proses “şişlərin qarşılıqlı keçid effektləri” adlanır. Nəticədə, müxtəlif ölçülü radiasiya şişkinliyi daha böyük təsirlənmiş şişlərin formalaşmasına təsir edir. Nümunələrdə şişkinliyin artması səthdə yaranan istilik prosesləri nəticəsində baş verir. Conson yaxınlaşmasına görə silindrik formalaşan şişlərin ölçüsü Conson parametrinə bərabərdir. Tədqiqatlar göstərir ki, şüalanmış nümunələrdə şişlərin böyümə sürəti şüalanmamış nümunələrdən 1.7 dəfə böyükdür. 167 MeV ^{132}Xe ionlarla şüalandırılmış nümunələrdə şişlərin böyümə sürəti ion şüalanma zamanı səthdəki şişkinliklərin yaranmasında payı olan

mikrostrukturun dislokasiyası və yaxud “çoxqatlı birləşmələrdə dislokasiyanın əmələ gəlməsi” kinetikasi ilə bağlıdır. Dislokasiya mikrostrukturda impulsu şüalanma və kəsilməz şüalanma mexanizimi ilə formalaşır. Tədqiqatlar göstərir ki, enerji və intensivlikdən asılı olaraq dislokasiya sıxlığı impuls rejimində böyük fərqlə formalaşır. Əlavə olaraq, dislokasiya təsirləri nümunənin səthində plastik deformasiyanın yaranmasını formalaşdırır. Şişlərin təsiri altında isə qəfəs parametrlərinin genişlənməsi prosesi baş verir. Nəticədə, xarici faktorların təsiri altında şişlər formalaşır və atom qüvvət mikroskopu ilə yerinə yetirilən analizlərlə bütün detallar aydınlaşdırılır. Sürətli ağır ionların təsiri altında baş verən proseslərin mexanizmi göstərir ki, struktur deqradasiyası və səthin amorflaşması paralel şəkildə baş verir. Amorflaşma dərəcəsinin qəfəsdaxili defektlərin miqyası və ion selinin intensivliyindən asılı olaraq artması müşahidə olunmuşdur.

NƏTİCƏ

Tədqiqat nümunələri Birləşmiş Nüvə Tədqiqatları İnstitutunun, Flerov adına Nüvə Reaksiyaları Laboratoriyasının İC-100 siklotronunda 167 MeV enerjili, sel sıxlığı 5.0×10^{12} ion/sm², 5.0×10^{13} ion/sm² və 3.83×10^{14} ion/sm² intensivliklərdə Xe ionları ilə otaq temperaturunda şüalandırılmışdır. Enerji və intensivlikdən asılı olaraq şişlərin dislokasiya təsirləri və nümunənin səthində plastik deformasiyanın yaranması müəyyən olunmuşdur. Şişlərin formalaşma mexanizmi atom qüvvə mikroskopu ilə yerinə yetirilən analizlərlə ölçülmüşdür və absorbsiya mexanizmi araşdırılmışdır.

- [1] M.M. Seyyedhabashy, M.A. Tafreshi, S. Shafiei, A.Nasiri. Damage studies on irradiated tungsten by helium ions in a plasma focus device, Nucl. Eng. Technol. 2020, 52 (4), 827-834. <https://doi.org/10.1016/j.net.2019.10.003>
- [2] Y. Katoh, L.L. Snead, L.M. Garrison, X.Hu, T.Koyanagi, C.M. Parish, P.D. Edmondson, M.Fukuda, T. Hwang, T. Tanaka, A. Hasegawa. Response of unalloyed tungsten to mixed spectrum neutrons, J. Nucl. Mater. 2019, 520,

193-207.

- <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2019.03.045>
- [3] S. long Wen, K.H. He, H.N. Cui, M. Pan, Z.Huang, Y. Zhao. Migration properties of monovacancy in W-4d/5d transition metal alloys, J. Alloys. Compd. 20728, 2017, 363-367. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.08.286>
- [4] E. Lang, N. Madden, C. Smith, J. Krogstad, J.P.Allain. Deciphering the role of second phase precipitates on early-stage surface morphology

- development of dispersion-strengthened W alloys under low energy He irradiation, Nucl. Mater. Energy 19, 2019 47-54.
<https://doi.org/10.1016/j.nme.2019.01.016>
- [5] *M.N. Mirzayev, Kh.F. Mammadov, V.A. Skuratov, E. Demir, S.H. Jabarov, N.A. Ismayilova, S. Biira, B. Abdurakhimov, E. Popov.* Oxidation kinetics and thermophysical properties of gamma irradiated silicon hexaboride, Journal of Alloys and Compounds, 2019, 801,151-157.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2019.06.135>
- [6] *M.N. Mirzayev.* Oxidation kinetics of boron carbide ceramic under high gamma irradiation dose in the high temperature, Ceramics International, 2020, 46 (3), 2816-2822.
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.09.273>
- [7] *M.N. Mirzayev, E. Demir, K.F. Mammadov et al.* Amorphisation of boron carbide under gamma irradiation. Journal of Physics, 2020, 94, 110.
<https://doi.org/10.1007/s12043-020-01980-3>
- [8] *M.N. Mirzayev.* Study thermodynamic assessment of the B-C and B-Si binary systems with swift heavy ions and high intense electron beam irradiation at the low temperature, Modern Physics Letters B, 2050395, 2020.
<https://doi.org/10.1142/S0217984920503959>.
- [9] *M.N. Mirzayev, E. Popov, E. Demir, B.A.Abdurakhimov, D.M. Mirzayeva, V.A.Sukratov, A.K. Mutali, V.N. Tiep, S. Biira, M.Yu. Tashmetov, K. Olejniczak, O. Kristavchuk.* Thermophysical behavior of boron nitride and boron trioxide ceramics compounds with high energy electron fluence and swift heavy ion irradiated, Journal of Alloys and Compounds, 2020, 155119.
<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.155119>.
- [10] *M.N. Mirzayev.* Simultaneous measurements of heat flow rate and thermal properties of nano boron trioxide under neutron irradiation at the low and high temperature, Vacuum, 2020, 173, 109162.
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2019.10916>.
- [11] *M. N. Mirzayev.* Heat transfer of hexagonal boron nitride (h-BN) compound up to 1 MeV neutron energy: Kinetics of the release of wigner energy, Radiation Physics and Chemistry, 2021, 180, 109244.
<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109244>
- [12] *E.Demir, M.N. Mirzayev, E.P. Popov, P.Horodek, I.G. Genov, K. Siemek, D.M. Mirzayeva, V.A.Turchenko, M. Bulavin, A.I. Beskrovnyi, A.H.Valizade, H.V. Akhundzada, S.I. Karaaslan.* Effects of high-energetic $^3\text{He}^+$ ion irradiation on tungsten-based composites, Vacuum. 2021, 184, 109934.
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.109934>
- [13] *E. Demir, M.N. Mirzayev, A.B. Tuğrul, B.A. Abdurakhimov, S.I. Karaaslan.* An experimental study on microstructure of tungsten alloys, Surface Review and Letters. 2020, 27 (07), 1950169. DOI: 10.1142/S0218625X19501695.
- [14] *E. Demir, Y.M. Gledenov, A.B. Tuğrul, M.N. Mirzayev, A.Kh. Islamov, V.A. Turchenko, O. Yilmaz, B. Büyüik, E. Sansarbayar, M.L. Öveçoğlu.* Structural and Morphological Studies under Small-Angle Neutron Scattering of Tungsten Alloys, Moscow University Physics Bulletin, 2019, 74 (5), 509-513.
<https://doi.org/10.3103/S0027134919050059>

Aygul H. Valizade

INVESTIGATION OF SURFACE MORPHOLOGY OF TUNGSTEN-BASED COMPOUNDS UNDER THE INFLUENCE OF HIGH-ENERGY ION RADIATION

In the present work, high-entropy tungsten-based compounds synthesized using modern APS (Air Plasma Spray) method after irradiation with Xe ions at intensities of 5.0×10^{12} ion/cm², 5.0×10^{13} ion/cm² and 3.83×10^{14} ion/cm² with energy of 167 MeV surface morphology was studied. The formation of the "tumor" mechanism in the surface morphology after irradiation was determined and the kinetics were established depending on the radiation dose.

Айгюль Х. Вализаде

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ВОЛЬФРАМА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В настоящей работе синтезированы высокоэнтропийные соединения на основе вольфрама современным методом АПС (воздушно-плазменное распыление) после облучения ионами Хе с интенсивностью $5,0 \times 10^{12}$ ион/см², $5,0 \times 10^{13}$ ион/см² и $3,83 \times 10^{14}$ ион/см² с изучалась морфология поверхности при энергии 167 МэВ. Определено формирование «опухолового» механизма в морфологии поверхности после облучения и установлена кинетика в зависимости от дозы облучения.

Qəbul olunma tarixi: 08.04.2022