

NEYTRON SELİNİN TƏSİRİ ALTINDA BOR KARBİD (B₄C) NANOHİSSƏCİKLƏRİNDƏ DEFEKT HALLARININ TƏDQIQI

JALƏ G. ATAKİŞİYEVA

Nanotexnologiyalar və Radiasiya Materialşünaslığı Şöbəsi, Nüvə Tədqiqatları Departamenti, İnnovasiya və Rəqəmsal İnkişaf Agentliyi, Qobu qəsəbəsi, Bakı-Şamaxı şossesi, Bakı AZ1073, Azərbaycan
email: atakishiyevajale24@gmail.com

BC nanohissəciklərində paramaqnit mərkəzlər və onların təbiəti maqnit sahəsinin müxtəlif güclərində müqayisəli şəkildə öyrənilmişdir. BC nanohissəciklərində sintez və digər səbəblərdən meydana gələn paramaqnit defekt halları müşahidə olunan EPR siqnalı ilə ətraflı izah edilmişdir. Spektroskopik analizlər otaq temperaturunda 500 ÷ 5500 G intervalında mərkəzi 3300G olan sahədə aparılıb. Eyni zamanda işdə, daha çox paramaqnit mərkəzlər müşahidə olunan 0.3270 - 0.3370 T oblastı əlavə olaraq nəzərdən keçirilmişdir.

Keywords: B₄C nanohissəcikləri, nanomaterial, defect halları, neytronlarla şüalanma.

PACS: 61.46.+w, 65.80.+n, 67.80.Gb

1. Giriş

Son zamanlar nüvə texnologiyaları dünya alimlərinin əsas diqqət mərkəzində olan elmi tədqiqat sahələrindən biridir. Bu texnologiyaların çox geniş tətbiq imkanları nüvə elmində istifadə perspektivləri olan materiallar üzərində elmi tədqiqat işlərinin aparılması məsələsini aktual edir. Bu baxımdan, bor əsaslı müxtəlif tip karbid və oksid birləşmələri və kompozitləri göstərmək olar, hansı ki, bir çox parametrlərinə görə xüsusilə də yüksək fiziki və kimyəvi davamlılığına görə bu tip materialların nüvə texnologiyalarında tətbiqi əlverişlidir [1-5]. Qeyd edilən materiallar sırasında bor karbid birləşməsini qeyd etmək lazımdır ki, həm fiziki, həm də kimyəvi parametrlərinə görə nüvə texnologiyalarında tətbiq perspektivləri baxımından mükəmməl material ola bilər [6, 7]. Qeyd edək ki, BC birləşməsi fiziki xassələrinə görə geniş qadağan olunmuş zolağa malik yarımkeçirici materialdır. Bu səbəbdən də, eyni zamanda əlverişli optik xüsusiyyətləri ilə fərqlənir. Bununla yanaşı, yüksək temperatur və təzyiqdə özünün fiziki və kimyəvi parametrlərini saxlayan yüksək stabilliyə malik keramik materialdır. Digər bir çox materiallar kimi struktur nöqteyi-nəzərdən bor karbidin də bir neçə modifikasiyası mövcuddur. Məlumdur ki, makro ölçülərindən nano ölçülərinə keçdikcə hətta eyni növ birləşmələrin həm fiziki, həm də kimyəvi xassələrində əhəmiyyətli dərəcədə nəzərə çarpacaq dəyişikliklər meydana çıxır [8-10]. Bunun əsas səbəbləri nano ölçülərdə materialların xüsusi səth sahəsinin və həssaslığın dəfələrlə dəyişməsidir. Aydın ki, müasir dövrdə elm və texnologiyanın güclü inkişafı artıq makro ölçülü materiallardan daha kiçik nano ölçülü materiallara keçidi şərtləndirir və təbii ki, böyük üstünlükləri ilə yanaşı olaraq bir sıra mümkün problemlərin həlli məsələsini də

aktuallaşdırır. Buna görə də, xüsusilə nüvə texnologiyalarında eyni növ materialların makro ölçülərindən nano ölçülərə keçidi zamanı onların fiziki-kimyəvi parametrlərinin dəyişməsi məsələsinə xüsusi diqqət yetirilməlidir.

Qeyd edək ki, nüvə texnologiyalarında tətbiq imkanına malik olan materiallar xüsusilə də yüksək temperaturun, ionlaşdırıcı mühitlərin və mexaniki təsirlərin altında yüksək davamlılığa malik olmalıdır. Bu baxımdan ionlaşdırıcı şüaların nanomateriallər üzərində təsirinin öyrənilməsi xüsusi əhəmiyyətə malikdir. İndiyə qədər bir çox nanomateriallər üzərində neytron selinin təsiri müəyyən qədər tədqiq edilmişdir [11-16]. BC nanohissəciklərinin sintezi zamanı mümkün defekt hallarının yaranması EPR spektroskopiyası ilə müəyyən qədər öyrənilə bilər. Eyni zamanda məlumdur ki, bor və karbon atomları arasındakı məsafənin çox kiçik olması bu birləşmənin yüksək davamlılığa malik olmasını göstərir [17-19]. Lakin sintez zamanı bir çox hallarda atomlararası məsafə o qədər də əhəmiyyətli deyil. Buna görə də, BC nanohissəcikləri üzərində sintez prosesində əlavə təsir effektlərinin öyrənilməsi son dərəcə aktual məsələdir. Belə ki, sintez şəraitindən və xarici təsirdən asılı olaraq BC nanohissəciklərində müxtəlif tipli defektlər yaranabilir, hansı ki, bu defektlərin əsasını bor və karbon boşluqları təşkil edir. Ətraf mühitin təsiri ilə yaranan defektlər təbii haldan dəfələrlə çox olur və materialın fiziki xassələrində nəzərə çarpacaq dəyişikliklərə səbəb olur. Bu səbəbdən, təqdim edilən işdə müxtəlif maqnit sahəsinin müxtəlif güclərində BC nanohissəciklərində defektmələgəlmə prosesləri EPR spektroskopiyaya metodu ilə ətraflı öyrənilmişdir.

2. Təcrübələr

Təcrübədə istifadə olunan nanomaterial 80-120m²/q xüsusi səth sahəsinə, 45-55 nm ölçülü hissəciklərə və

0.1 q/sm³ sıxlığa malik BC nanohissəcikləridir (US Research Nanomaterials, Inc., TX, USA). EPR spektrləri Bruker EPR EMX Plus radiospektrometrində otaq temperaturunda alınmışdır. Radiospektrometr elektromaqnit dalğasının ifrat yüksək tezliyinin X oblastında işləyir, tezliyi ~9.8 GHzs (dalğa uzunluğu $\lambda \sim 3$ sm) təşkil edir. Nümunələr nazik divarlı, daxili diametri 3 mm olan ifrat təmiz şüşədən hazırlanmış "Wilmad" firmasının EPR borucuqlarına doldurularaq rezonatora yerləşdirilmişdir. Modulyasiya tezliyi 10⁵ hs olmuş, modulyasiya amplitudu spektrin enindən asılı olaraq seçilmişdir. Bütün nümunələr toz şəklində, qara rəngli mikrokristallardan təşkil olunmuşdur.

3. Eksperimental nəticələr

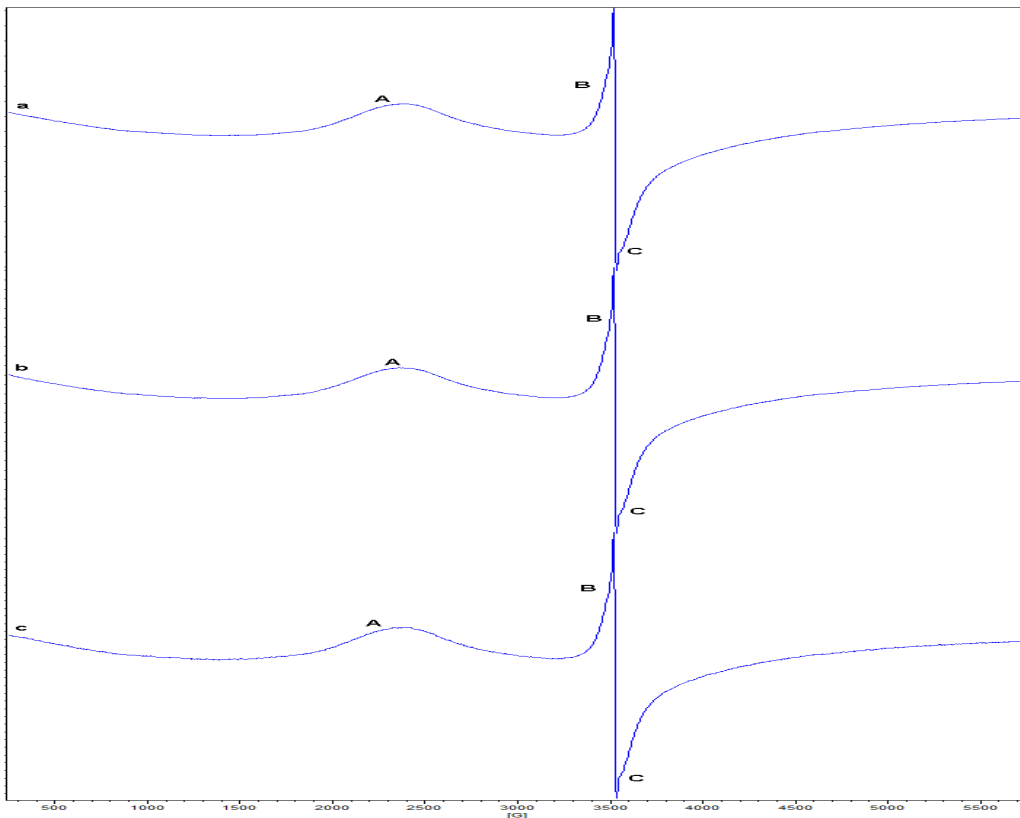
Xarici maqnit sahəsinin fərqli dalğa güclərində B₄C nanohissəciklərinin EPR spektrləri 1-ci şəkildə göstərilmişdir. Şəkildə göstərilən üç spektr, radiodalğanın 0.20; 2.14; 21.60 mW güclərində və maqnit sahəsinin çox geniş intervalında (250-5750 Gauss) çəkilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi dalğa enerjisinin təqribən 100 dəfə artmasına baxmayaraq EPR spektrlərinin tərkibində və formasında heç bir fərq müşahidə olunmur. Spekrtdə üç xətti fərqləndirmək olur, bu xətlər A, B, C ilə işarə edilmişdir.

Nümunələrin maqnit sahəsinin geniş oblastında alınmış spektrinin müxtəlif dalğa güclərində çəkilmiş spektrlərin tərkibində və formasında seçiləcək fərqi müşahidə olunmaması deməyə əsas verir ki, hər üç

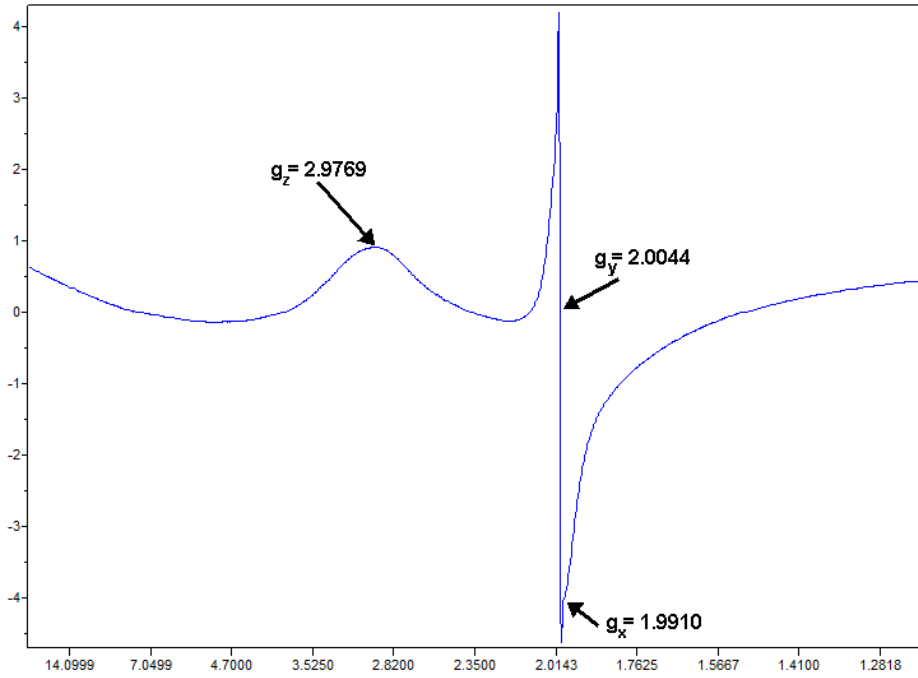
xarakterik xətt (A, B və C) eyni bir kimyəvi mənbdən gəlir, çünki dalğa gücünün təxminən 100 dəfə artmasına baxmayaraq, bu xətlərdə fərqli doyma müşahidə olunmur və nəticədə spektrin forması dəyişmir.

Maddənin yüksək təmizliyə malik olması və spekrtdə müxtəlif aşqarlara xas olan xətlərin müşahidə olunmaması alınan spektrin kimyəvi mənbəyinin maddənin yüksək temperaturda aparılan sintezi zamanı yaranan termal, bioqrafik, nöqtəvi defektlərə aid olduğunu təsdiqləməyə imkan verir. Spekrtdə üç fərqli maqnit sahəsində A, B və C işarəli xətlərin olması və spektrin forması onu göstərir ki, cütləşməmiş elektronun tutulduğu defekt yüksək ortorombik anizotropiyaya malikdir, g-faktorun A, B və C xətlərində qiymətlərini uyğun olaraq g_z , g_y və g_x ilə işarə etsək: $g_z=2.9769$, $g_y=2.0044$, $g_x=1.9910$.

Neytronlarla şüalanma zamanı, nümunələrin xarakterik bir əlaməti ondan ibarətdir ki, şüalanmış və şüalanmamış nümunələrin hamısının rəngi qaradır. Neytron şüalanması nümunələrdə yeni rəng yaratmamışdır. Şüalanmış nümunələrin rənginin dəyişməməsi və EPR spektrində şüalanmadan sonra yeni fərqli xətlərin müşahidə olunmaması (şüalanmamış nümunəyə nəzərən) göstərir ki, neytron şüalanması kristallik qəfəsdə yeni nöqtəvi paramaqnit defektləri yaratmır və şüalanma nəticəsində ancaq termal biografiq defektlərin struktur və simmetriyasında müəyyən dəyişikliklər əmələ gəlir.



Şəkil 1. Nanokristallik B₄C hissəciklərinin müxtəlif dalğa gücündə və maqnit sahəsinin (250 ÷ 5500 G) intervalında EPR spektrləri: a)0.20mW b) 2.14 mW c)21.6 mW



Şəkil 2. Nanokristallik B₄C hissəciklərinin maqnit sahəsinin (250 ÷ 5750 G) intervalında EPR spektri.

Ümumi yanaşmada, neytron selinin nanohissəcikləri EPR siqnallarına təsirini ətraflı şərh etmək üçün daha çox analitik işlərə ehtiyac duyulur. İlk yanaşmada aparılan analizlərdən məlum olur ki, nümunələrdə udulma dozası artdıqca spektrdə olan kiçik və böyük maqnit sahələrində müşahidə olunan A ($g_z = 2.9769$) və C ($g_x = 1.9910$) xətlərinin intensivliyi azalır və yüksək dozalarda tamam yox olur və spektrdə ancaq bir simmetrik singlet B ($g = 2.0049$) xətti qalır. Spektrin belə dəyişməsi göstərir ki, neytronların təsiri nəticəsində paramaqnit defektin yaxın ətrafının simmetriyasında dəyişiklik baş verir: cütləşməmiş elektronun ən yaxın ətrafının anizotropik simmetriyası aradan çıxır, əvəzində bu ətrafda yüksək izotropik simmetriya yaranır. Eyni zamanda xəttin intensivliyində artım müşahidə olunur. Xəttin eninin kifayət qədər böyüməsi bu nümunədə “spin-qəfəs” relaksasiya zamanının kifayət qədər kiçilməsi ilə izah oluna bilər. Belə nəticəyə gəlmək olar ki, neytronların təsiri ilə cütləşməmiş elektronun yaxın ətrafının simmetriyasının ortorombik haldan izotropik keçməsi, bu defektdə elektronun kristallik qəfəsdə daha sıx rabitə ilə yerləşməsinə gətirir. Bu sıx rabitə isə öz

növbəsində “spin - qəfəs” relaksasiyası zamanını kiçikdir və xəttin enini böyüdür.

4. Nəticə

B₄C nanohissəciklərində EPR siqnalının yaranmasına səbəb ehtimal olunur ki, sadalananlardır: a) B₄C nanohissəciklərinin tərkibində aşqarların olması, b) nümunənin sintezində yaranan vakansiyalar, c) həcmdə komponentlərin paylanması heterogenik, d) kristallitlərin böyüməsindəki defektlər və s. B_{1-x}C_x (0.1 ≤ x ≤ 2) bor - karbid sistemlərinin öyrənilməsi istiqamətində alınmış son nəticələr göstərir ki, bu maddədə yaranan paramaqnit mərkəz B₃C[•] radikalıdır. Bu radikalın ölçüləri və sayı nümunələrin sintez prosesinin aparıldığı şəraitdən asılı olur. Belə ki, sintez nəticəsində B və C atomlarından ikosaedrlər (iyirmiüzlü) yaranır, həmin ikosaedrlərin tilləri vasitəsi ilə birləşərək sadə romboedral qəfəs yaradır, üç bor atomundan ibarət zəncir bu qəfəsin daxilə yerləşir və qəfəsi möhkəmləndirir. Həmin zəncir B₃C[•] radikalını yaradır və EPR siqnalını verir.

- [1] Yunsong Jung, Yunju Lee, Ji Hyun Kim, Sangjoon Ahn. "Accelerated corrosion tests of Al-B4C neutron absorber used in spent nuclear fuel pool" Journal of Nuclear Materials 552, 2021, 153011.
- [2] Yong Hee Choi, Han Gyu Joo. "Multiscale simulation of neutron induced damage in tritium breeding blankets with different spectral shifters" Fusion Engineering and Design 88, 2013, 2471-2475.
- [3] Shabbeer Ahmad et al. "Mass optimization of the radiation shadow shield for space nuclear power system" Progress in Nuclear Energy 131, 2021, 103607.
- [4] Yunsong Jung et al. "Experimental estimation of radiation damage induced by 10B(n, α)7Li reactions in Al-B4C neutron absorber discharged from spent nuclear fuel pool" Journal of Nuclear Materials 587, 2023, 154728.

- [5] *Suman Mukherjee et al.* "Cytotoxic biphenyl-4-carboxylic acid targets the tubulin–microtubule system and inhibits cellular migration in HeLa cells" *Journal of Taibah University for Science* 10, 2016, 839-849.
- [6] *Ali Oktay Gul et al.* "Newly synthesized NiCoFeCrW High-Entropy Alloys (HEAs): Multiple impacts of B₄C additive on structural, mechanical, and nuclear shielding properties" *Intermetallics* 146, 2022, 107593.
- [7] *Alexandre Brillon et al.* "Characterization of Al/B₄C composite materials fabricated by powder metallurgy process technique for nuclear applications" *Journal of Nuclear Materials* 565, 2022, 153724.
- [8] *T.H. Manjunatha et al.* "Wear analysis of Al7075 alloyed with nano B₄C: A Taguchi approach" *Materials Today: Proceedings* 47, 10, 2021, 2603-2607
- [9] *S. Shashidhar et al.* "Processing, Microstructure and Tensile Behavior of Nano B₄C Particulates Reinforced Al2219 Alloy Composites" *Materials Today: Proceedings* 5, 2018, 25158-25164.
- [10] *J. Arun et al.* "Fatigue life, distortion behavior of AA 8011- nano B₄C composite using simulated acoustic emission technique – An experimental and statistical appraisal" *International Journal of Fatigue* 164, 2022, 107168.
- [11] *Elchin Huseynov, Anze Jazbec, Luka Snoj.* "Temperature vs. impedance dependencies of neutron-irradiated nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC)" *Applied Physics A* 125, 91-98, 2019.
- [12] *Elchin Huseynov, Anze Jazbec.* "EPR spectroscopic studies of neutron-irradiated nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC)" *Silicon* 11/4, 1801–1807, 2019.
- [13] *Elchin M. Huseynov.* "FTIR spectroscopy of ZrC nanoparticles under the gamma radiation" *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 286, 122032, 2023
- [14] *Elchin M. Huseynov, Tural G. Naghiyev.* "Investigation of thermal parameters of AlN nanoparticles at the different heating rates" *Vacuum* 212, 111990, 2023.
- [15] *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
- [16] *Elchin M. Huseynov and Tural G. Naghiyev.* "Investigation of the nanocrystalline nature of silicon carbide (3C-SiC) nanoparticles by XRD and TEM methods" *Modern Physics Letters B* 37,23, 2350072, 2023.
- [17] *Yingchao Guo et al.* "In-situ synthesized nano/micron carbide and boride reinforced high-NbTiAl alloy via nano-B₄C addition" *Materials Letters* 342, 2023, 134354.
- [18] *Soung Yeoul Ahn et al.* "Boost in mechanical strength of additive manufactured CoCrFeMnNi HEA by reinforcement inclusion of B₄C nanoparticles" *Journal of Alloys and Compounds* 960, 2023, 170631.
- [19] *M.R. Moradi et al.* "Fabrication of Nano-composite Al-B₄C Foam via Powder Metallurgy-space Holder Technique" *Procedia Materials Science* 11, 2015, 553-559.

Jale G. Atakishiyeva

INVESTIGATION OF DEFECTS IN BORON CARBIDE (B₄C) NANOPARTICLES UNDER THE INFLUENCE OF NEUTRON BEAM

Paramagnetic centers in B₄C nanoparticles and their nature were comparatively studied at different magnetic field strengths. Paramagnetic defect states in B₄C nanoparticles due to synthesis and other reasons are explained in detail by the observed EPR signal. Spectroscopic analyzes were carried out at room temperature in the range of 500-5500 G in the field centered at 3300 G. In the same work, the region 0.3270 - 0.3370 T, where more paramagnetic centers are observed, was additionally considered.

Жале Г. Атакишиева

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ НАНОЧАСТИЦ КАРБИДА БОРА (B₄C) ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ НЕЙТРОННОГО ПУЧКА

Парамагнитные центры в наночастицах B₄C и их природа сравнительно изучены при различных мощностях магнитного поля. Парамагнитные дефектные состояния в наночастицах B₄C, обусловленные синтезом и другими причинами, подробно объясняются наблюдаемым сигналом ЭПР. Спектроскопические анализы проводились при комнатной температуре в диапазоне 500-5500 Гс в поле с центром 3300 Гс. В той же работе дополнительно рассматривалась область 0,3270 - 0,3370 Тл, где наблюдается больше парамагнитных центров.

Qəbul olunma tarixi: 24.11.2023