



# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA ELMİN İNKİŞAFI FONDU

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında  
Elmin İnkişafı Fondunun Gənc alim və mütəxəssislərin  
4-cü birgə “Mənim ilk qrantım” müsabiqəsinin  
(EIF/GAM-4-BGM-GİN-2017-3(29)) qalibi olmuş  
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

## YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Yeni nəsil nanoelektronikada 3C-SiC nanokristallarının tətbiqi zamanı fiziki xassələrin neytron seli ilə idarə edilməsi**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Hüseynov Elçin Məmmədli oğlu**

Qrantın məbləği: **50 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF/GAM-4-BGM-GİN-2017-3(29)-19/01/1-M-14**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **10 aprel 2018-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **12 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 may 2018-ci il – 01 may 2019-cü il**

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

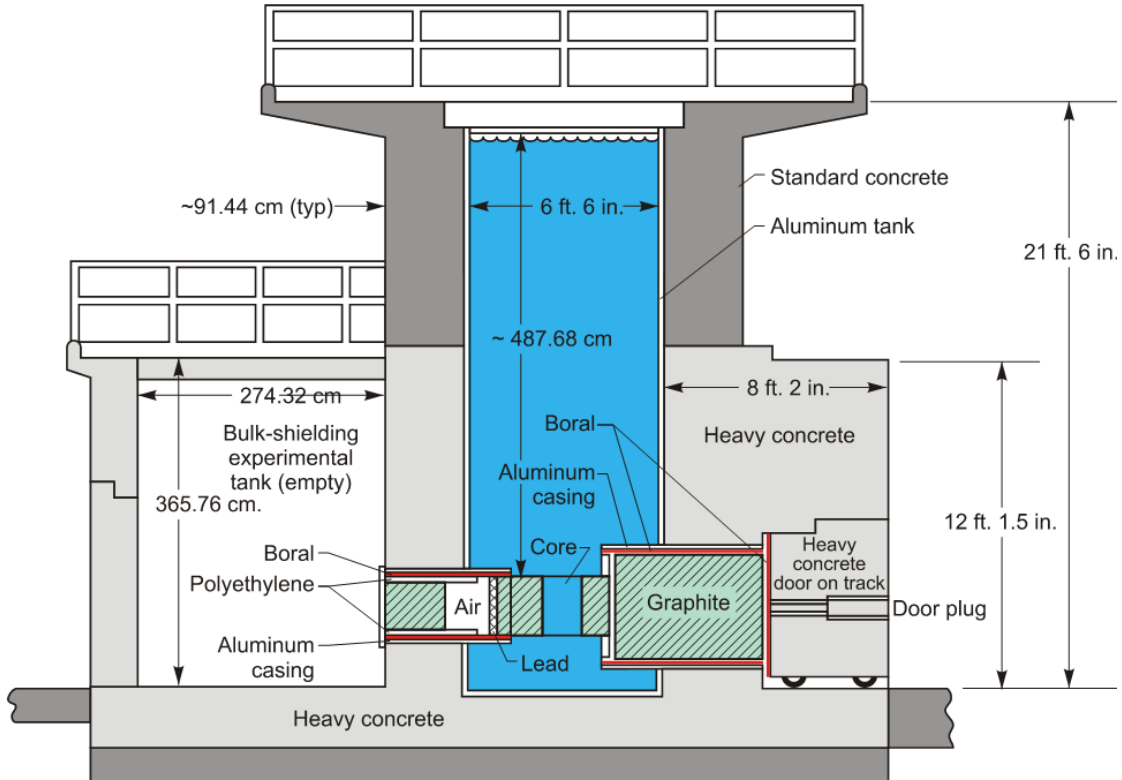
**Diqqət! Uyğun məlumat olmadığı təqdirdə müvafiq bölmə boş buraxılır**

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

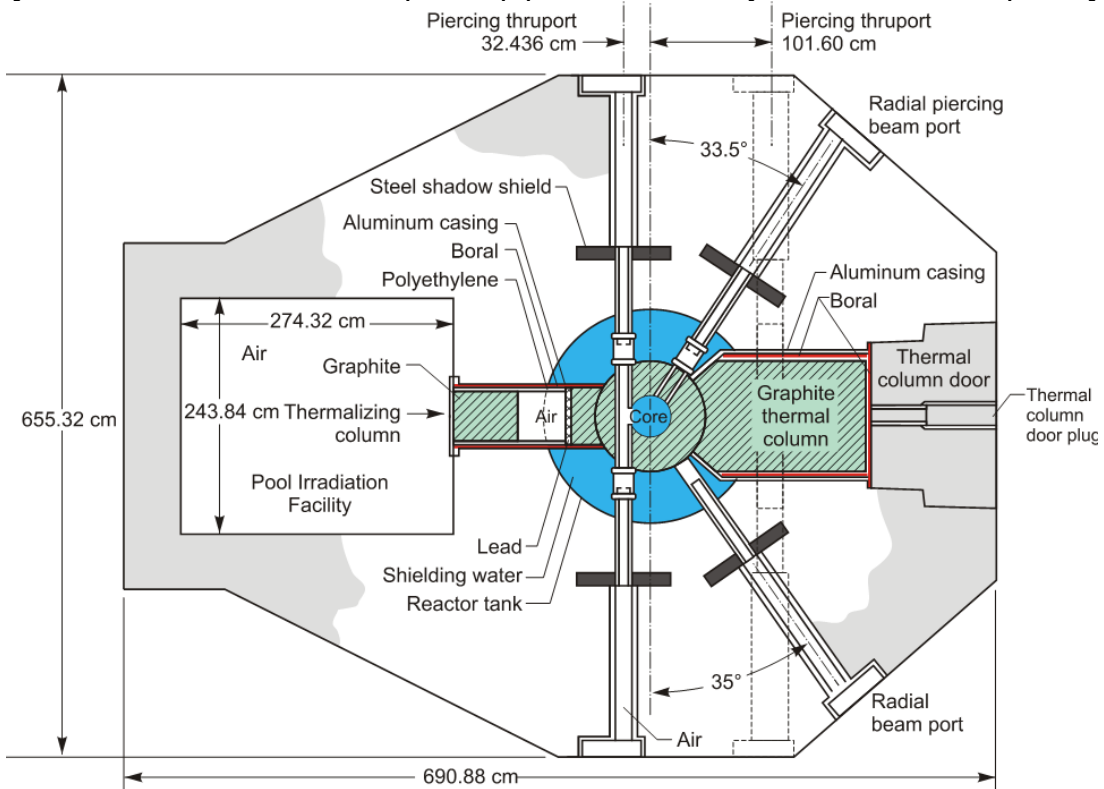
**1** Layihənin həyata keçirilməsi üzrə yerinə yetirilmiş işlər, istifadə olunmuş üsul və yanaşmalar

Cari elmi tədqiqat işində layihənin planına uyğun olaraq neytron seli ilə modifikasiya olunmuş nanokristallik silisium karbid hissəciklərinin bir sıra fiziki xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Neytronlara şüalanma effektlərinin öyrənilməsinin ilkin mərhələsində layihənin planına uyğun olaraq nanokristallik silisium karbid hissəcikləri neytron seli ilə modifikasiya olunmuşdur. Neytron mənbəsi kimi TRIGA Mark II yüngül su tipli tədqiqat nüvə reaktorundan istifadə edilmişdir. Təcrübələr aparılan Jozef Stefan İnstitutunda (JSİ) mövcud TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktoru dünyada mövcud digər reaktorlara oxşar konfigurasiyada inşa edilmişdir. Hazırda bu reaktor təlim, təhsil və təcrübələr üçün çox geniş imkanlara malikdir. JSİ – də mövcud TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktoru hovuzlu yüngül su tipindədir və maksimal 250kVt gücə malikdir. Reaktor təbii konveksiya üsulu ilə soyudulur və reaktorun üsdən və yandan görüntüləri Şəkil 1 və 2 – də təsvir edilmişdir. Reaktorda mövcud xarici şüalandırma kanalları və reflektorlar Şəkil 2 – də təsvir edilmişdir. Reaktorda tili 62 sm olan hava ilə dolu böyük kubik termalizing sütunlu ThCol şüalandırma kanalı yerləşir. Bu kanal reaktorun ən böyük kanalıdır və adətən hündürlüyü

böyük olan nümunələri termal neytronlarla şüalandırmaq üçün istifadə olunur. Digər xarici kanal radiusu 7,7 sm olan silindirik horizontal tangensial TangCh kanalıdır ki, bu da reaktor nüvəsindən 32,4 sm məsafədə yerləşir (Şəkil 2). Eyni radiusa malik silindirik radial şüa portu (RBP) və radial boru



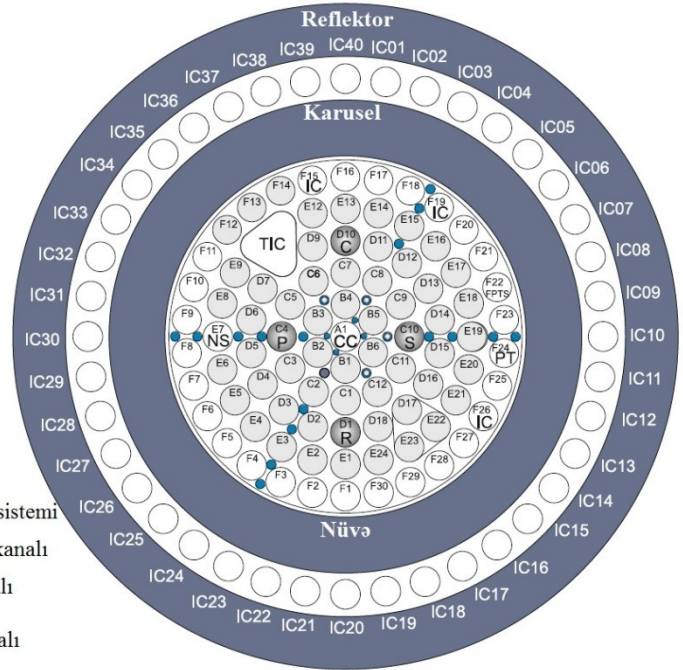
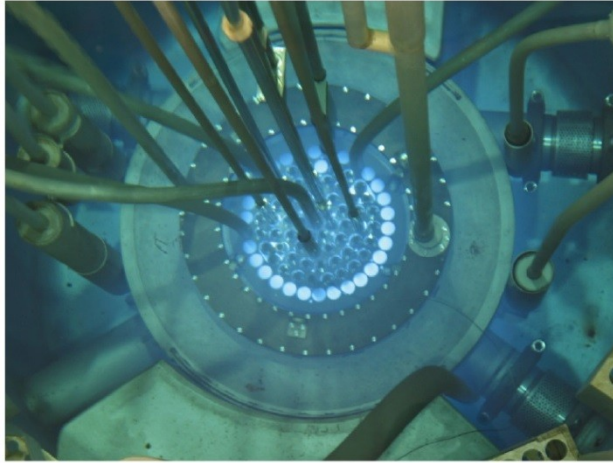
Şəkil 1. JSİ TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktorunun yandan sxematik quruluşu.



Şəkil 2. JSİ TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktorunun üstdən sxematik quruluşu.

portu (RPP) reaktor nüvəsindən 9,4 sm məsafədə yerləşir və müxtəlif məsafələrdə nümunələri şüalandırmaq üçün istifadə olunur. Beləliklə JSİ – də TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktorunda dörd xarici kanal (ThCol, TangCh, RBP və RPP) var və onların hava ilə dolu olması neytronun sel sıxlığına az təsir edir.

Qrafit reflektor ətrafında reaktor nüvəsində 40 müxtəlif vəziyyətlərdə şüalandırma kanalları mövcuddur. Bu şüalandırma kanallarında neytron selinin sıxlığı xarici kanallara nisbətən çox olur və öz aralarında sel sıxlığının fərqi 15% olur. Reaktorun nüvəsi 6,25 m hündürlüyə və 2 m diametrə malik alüminium silindirik hovuzun dibində yerləşir. Hazırda konfigurasiya edilmiş JSİ TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktorunun nüvəsi (nüvə 189) sxematik olaraq şəkil 3 – də göstərilmişdir. Hazırda nüvə illik konfigurasiyaya malikdir və A – F alfabetik və rəqəmlərlə nişanlanmış altı konsentrik quruluşda malikdir.

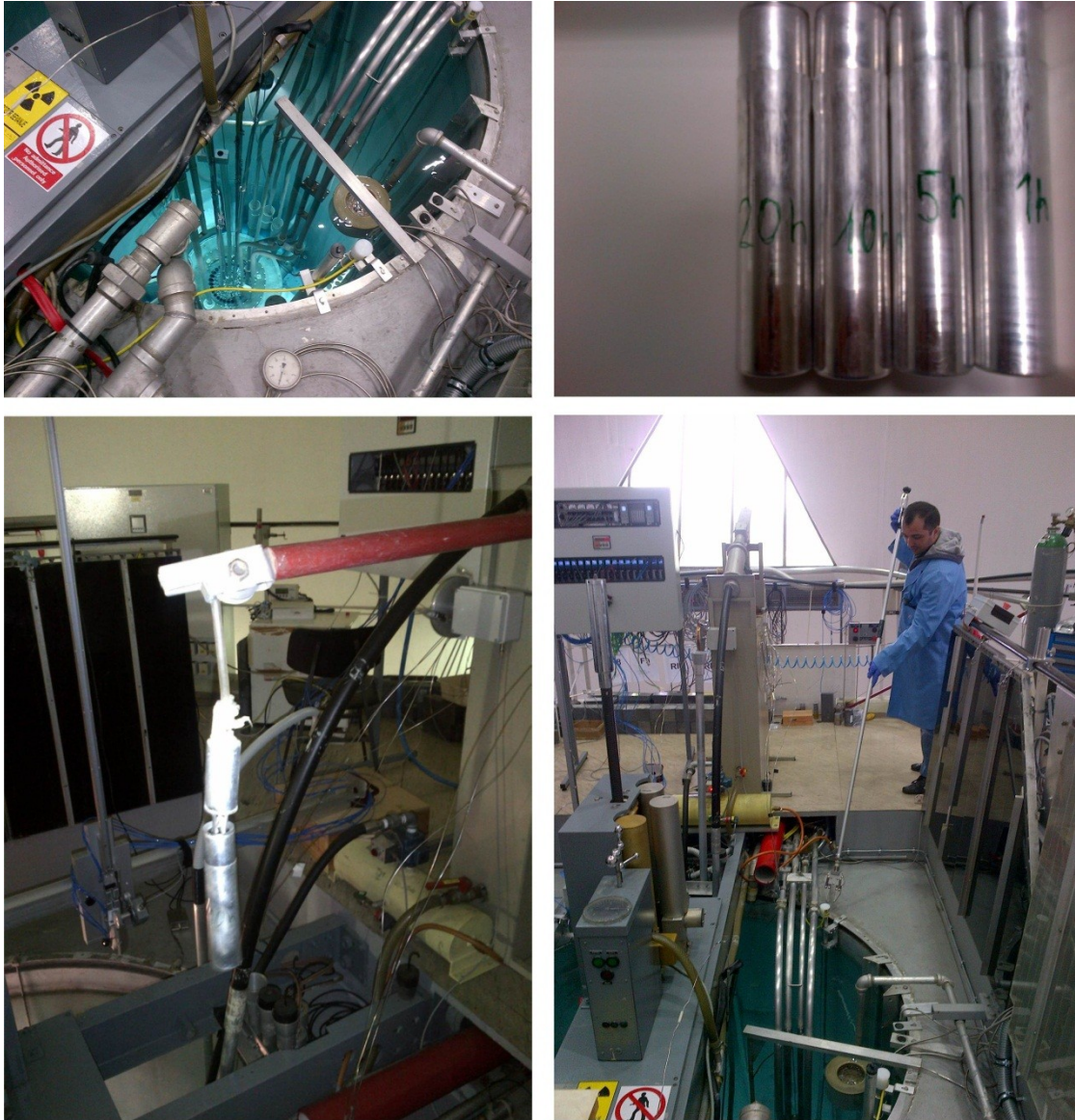


- |   |   |
|---|---|
| ○ Yanacaq elementi 20% <sup>235</sup> U | ○ FPTS Sürətli pnevmatik ötürmə sistemi |
| ● İdarə çubuqları                       | ○ PT Bourulu pnevmatik nəqil kanalı     |
| ○ NS Neytron mənbə                      | ○ CC Mərkəzi şüalandırma kanalı         |
| ○ IC Şüalandırma kanalları              | ○ TIC Üçbucaq şüalandırma kanalı        |
| ● Ölçmə vəziyyətləri                    |   |

Şəkil 3. JSİ TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktorunun nüvəsinin üstədən sxematik quruluşu

Yanacaq elementləri, şüalandırma kanalları, neytron mənbə, idarə çubuqları və sair daxil olmaqla nüvə daxilində ümumilikdə 91 yer mövcuddur. Neytronun sel sıxlığının maksimum qiyməti mərkəzi kanaldır (Şəkil 3-də, Kanal A1) ki, layihənin məqsədinə uyğun olaraq bütün təcrübələr bu kanalda aparılmışdır. Bundan başqa nüvədə F tsiklində müxtəlif tip neytronlarla zəngin F15, F19, F22, F24 və F26 kanalları da mövcuddur. Digər tərəfdən nüvədə həmçinin ölçüləri nisbətən böyük olan nümunələri şüalandırmaq üçün triqular D tsiklində D8, D10 və D11 kanalları da mövcuddur. Həmçinin bu kanallarda nümunələri qızdırıb və ya soyudub şüalandırmaq mümkündür və bu halda neytron selinin nisbətən az olmasını nəzərə almaq lazımdır. Hazırkı layihədə bizə maksimal sayda neytron sel sıxlığı lazım idi ki, aşqarlanma effektini asanlıqla müşahidə edək və biz məqsədimizə çatmaq üçün bizimçün ən əlverişli kanal olan A1 kanalından istifadə edmişik. Qeyd edək ki, Kanal A1 – də tam güc rejimində mövcud neytron selinin parametrləri termal neytronlar üçün  $5.107 \times 10^{12}$  n/sm<sup>2</sup>san ( $1 \pm 0.0008$ ,  $E_n < 625$ eV), epitermal neytronlar üçün  $6.502 \times 10^{12}$  n/sm<sup>2</sup>san ( $1 \pm 0.0008$ ,  $E_n \sim 625$ eV ÷ 0.1MeV), sürətli neytronlar üçün  $7.585 \times 10^{12}$  n/sm<sup>2</sup>san ( $1 \pm 0.0007$ ,  $E_n > 0.1$  MeV) və nəhayət bütün neytronlar üçün mərkəzi kanalda sel sıxlığı  $1.920 \times 10^{13}$  n/sm<sup>2</sup>san ( $1 \pm 0.0005$ ) kimidir. JSİ – də mövcud TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktorunun neytron sel sıxlığı və digər karakteristik parametrləri mütəmadi olaraq tədqiq edilir və nəticələr dərc edilir. Nanomaterial xüsusi şəraitdə hazırlanaraq alüminium konteynerə

doldurularaq şüalandırılmışdır (Şəkil 4). Hazırlanmış sınaq nümunəsi təhlükəzlik məqsədilə ilk olaraq beş dəqiqə şüalandırılmış və aktivlik analizləri aparılmışdır.

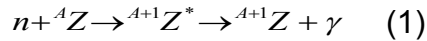


Şəkil 4. Şüalandırmaq üçün reaktorun kanalına uyğun hazırlanmış nümunələrin təsviri və reaktor kanalına nümunələrin yerləşdirilməsi.

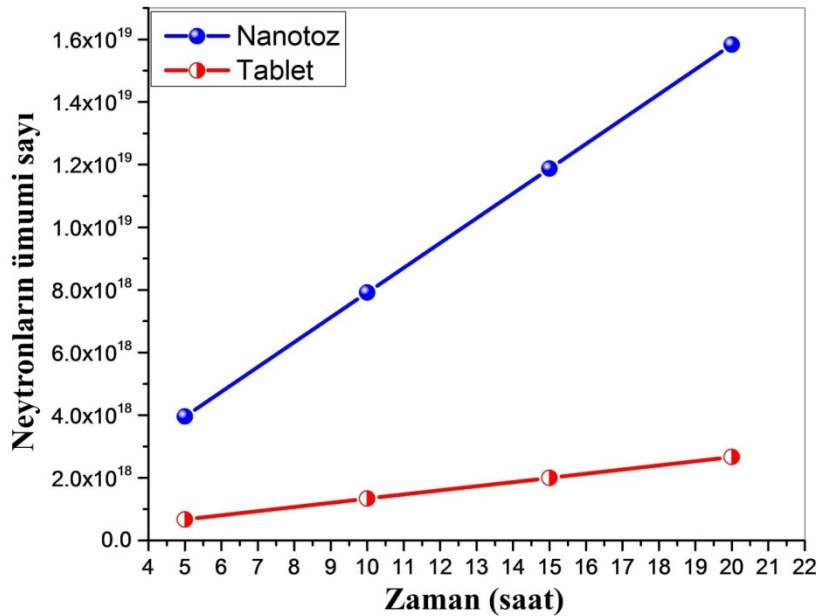
Sonra digər nümunələr 4 qrupa ayrılmış və 20 saata qədər müxtəlif müddətlərdə, hər biri ayrı – ayrılıqda kəsilməz olaraq selin sıxlığı  $2 \times 10^{13}$  n/sm<sup>2</sup>san qədər olan neytron seli ilə modifikasiya olunmuşdur. Nümunə üzərinə düşən neytronların ümumi sayının şüalanma vaxtından asılılığı şəkil 5 –də verilmişdir. Şüalanmadan sonra müxtəlif müddətlərdə nümunələrin aktivlik analizləri aparılmış və məlum olmuşdur ki, nümunənin aktivliyi kifayət qədərdir və ilkin halda təhlükəlidir. Aktivliyi artırən radioizotoplar INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis) metodu ilə öyrənilmişdir. Məlum olmuşdur ki, aktivliyi yaradan əsas amillər nümunə daxilində olan əlavə qatışıq elementləridir (ümumi yanışmada təqribən 0.07%-dən kiçik qatışıq elementləri), hansı ki, müasir zamanda ideal təmiz hər hansı materialın alınması mümkün deyil. Qeyd edək ki, INAA metodu ilə analizlər zamanı həssaslıq dərəcəsi  $10^{-2}$  pikoqram (təqribən  $10^{-12}$ - $10^{-15}$ %) tərtibindədir.

Qeyd edək ki, son illərdə nano ölçülü materialların alınması və onların təmizlik dərəcəsinin artırılması tədqiqatçıların diqqət mərkəzindədir. Müasir dövrdə nano ölçülərdə silisium karbidin

təmizlik dərəcəsi 99+% - ə qədər çatdırıla bilib və bunun qiymətinin artırılması istiqamətində intensiv elmi tədqiqatlar aparılır. Nanomaterial daxilində olan kiçik miqdarda qatışıq nümunənin fiziki parametrlərinə təsir etmir, lakin, neytron seli ilə modifikasiya zamanı bu qatışıq özünü aşkar şəkildə biruzə verir və çox əhəmiyyətlidir. Neytronların maddə ilə qarşılıqlı təsirinin əsas ehtimallı prosesi neytron zəbtidir.



burada  ${}^A_Z$  – şüalanən izotop,  ${}^{A+1}_Z^*$  – neytron tutumu nəticəsində yaranan həyəcanlanmış nüvə və  $\gamma$  - isə ikinci qamma şüalarıdır. Şüalanmış nümunələrdə göstərilən proseslər nəticəsində radioaktiv həyəcanlanmış nümunələr yaranır.



Şəkil 5. Nümunə üzərinə düşən neytronların ümumi sayının şüalanma vaxtından asılılığı

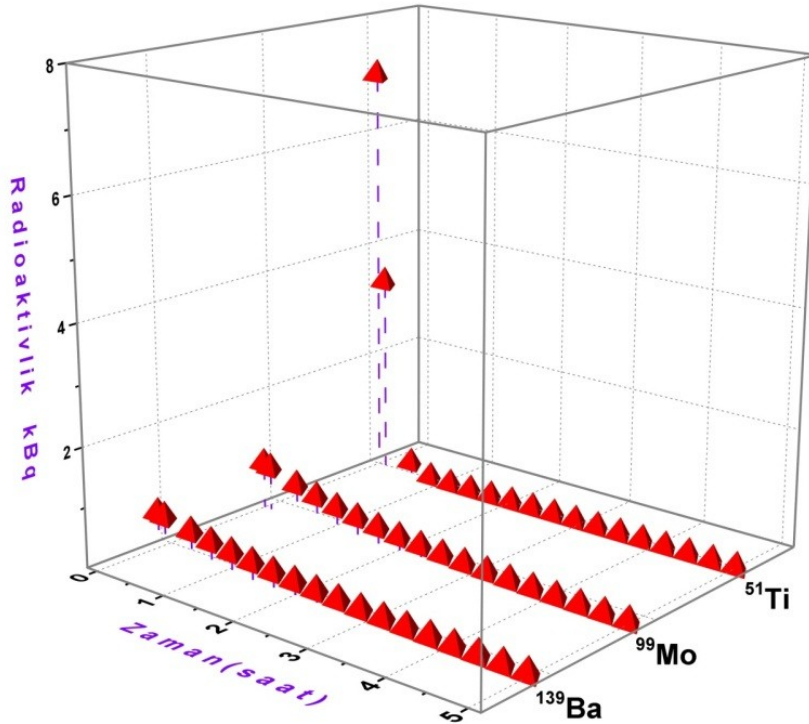
Yeni izotopların identifikasiyası qamma spektroskopik üsulla tədqiq olunub. Qamma spektrlərində nüvə keçidlərinə müvafiq  $\gamma$  – şüaların intensivlikləri şüalanma vaxtından və parçalanma sabitlərindən asılı olaraq müxtəlifdir. Nümunələrin neytron şüalanmadan sonra təqribən 100 saat aktivliklərinin dəyişməsi tədqiq olunub. Müəyyən edilib ki, şüalanmış nümunələrin ilkin radioaktivlikləri 1kBq – 3GBq intervalında dəyişir. Elementlərin qatılıqlarının təyini müvafiq energetik intervalda yaranmış aktivlikləri əsasında aparılır. Mütləq variantda aktivlik nüvə sabitləri əsasında aşağıdakı formula üzrə təyin edilir:

$$A = \sigma \Phi \left( \frac{m}{M} \right) N_A \Theta P_\gamma \xi (1 - \exp(-\lambda \tau_{ray})) (1 - \exp(-\lambda \tau_{mes})) \exp(-\lambda \tau_{cool}) \quad (2)$$

burada,  $A$  – ölçülmüş aktivlik (Bq),  $\sigma$  - təyin olunan izotopların aktivləşməsinin en kəsiyi ( $\text{sm}^2$ ),  $\Phi$  – neytron seli ( $\text{n}/\text{sm}^2 \text{ san}$ ),  $m$  – təyin olunan elementin kütləsi (qr),  $M$  – təyin olunan elementin atom kütləsi (qr/mol),  $N_A$  – Avaqadro ədədi ( $1/\text{mol}$ ),  $\Theta$  - aktivləşən izotopun paylanması,  $P_\gamma$  – E enerjili qamma kvantın paylanma ehtimalı,  $\xi$  - E enerjisinə əsasən defektlərin effektivliyi,  $\lambda$  - əmələ gəlmiş izotopların parçalanma sabitləri,  $T_{şüa}$ ,  $T_{ölçü}$ ,  $T_{soyuma}$  isə müvafiq olaraq nümunələrin şüalanma, ölçülmə və soyutma vaxt intervallarıdır. Aktivlik analizlərindən nümunə tərkibində olan qatışıq element tərkibi müəyyən edildi. Belə ki, nümunədə olan digər qatışıqlar neytron şüalanmanın təsiri ilə özlərini müvafiq elementin radioaktiv izotopu kimi nümayiş etdirdi.

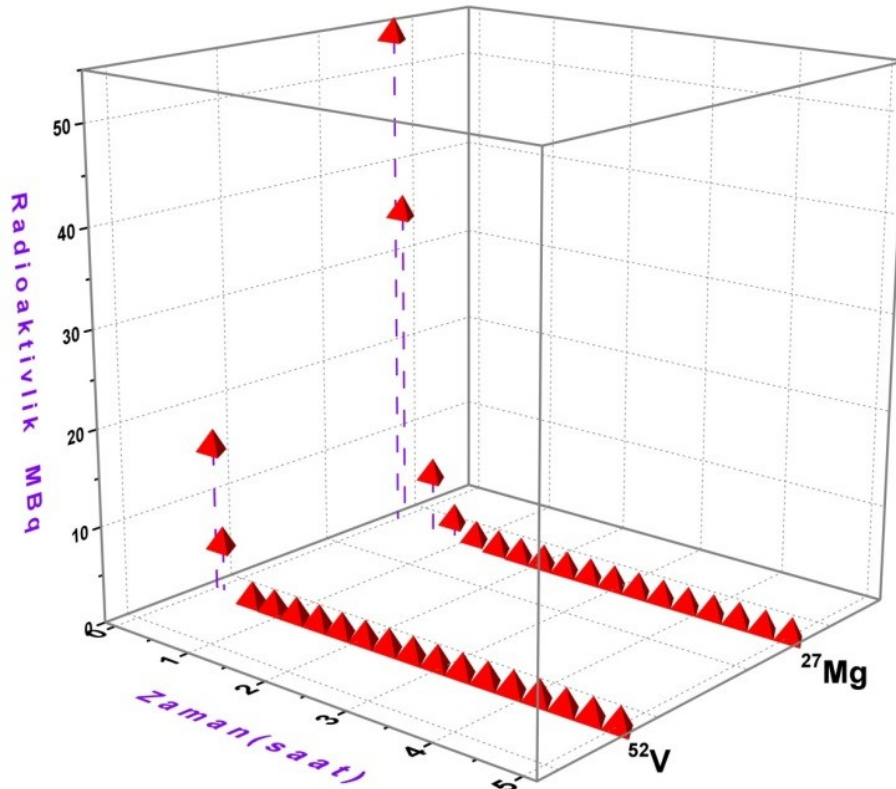
Şüalanmış nümunələrdə müşahidə olunan yeni yaranmış radioaktiv izotopların aktivlikləri parçalanma sabitlərinə uyğun olaraq dəyişir. Təqribən 100 saatlıq aktivlik analizləri nəticəsində müəyyən edilmiş müxtəlif tip radionuklidlərin ilkin aktivlikləri çox geniş diapozonda dəyişir. Digər tərəfdən qarışıqda mövcud olan radionuklidlərin yarımparçalanma müddətləri  $0.037 \sim 8.5 \cdot 10^8$

saat qədər geniş diapozonda dəyişir. Belə ki, müşahidələr iki mərhələdə aparılmışdır: 20 saata qədər şüalanmış nümunələrdən uzun yaşama müddətinə malik radioizotoplar, 5 dəqiqə şüalanmış nümunələrdən isə az yaşama müddətinə malik radioizotoplar aşkar olunmuşdur. Məhz bu səbəbdən burada, bu elementlər şərti olaraq iki qrupa (uzun və nisbətən qısa yaşama müddətinə malik radioizotoplar) ayrılıb. Müşahidə olunmuş radioaktiv izotoplar aktivliklərinə və yaşama müddətlərinə görə qruplaşdırılmışdır. Radioaktiv izotopların şərti qruplar üzrə ilkin aktivliklərinin müşahidə vaxtından asılılıqları (şəkil 6 – 10) – də təsvir edilmişdir (hesablamalar 100 saata qədər təcrübi, sonra isə nəzəri aparılmışdır). İlk olaraq neytron selinin təsiri ilə nanomaterialda yaranan nisbətən az yaşama müddətinə malik və aktivliyi 7kBq-ə qədər olan radionuklidləri nəzərdən keçirək (Şəkil 6).



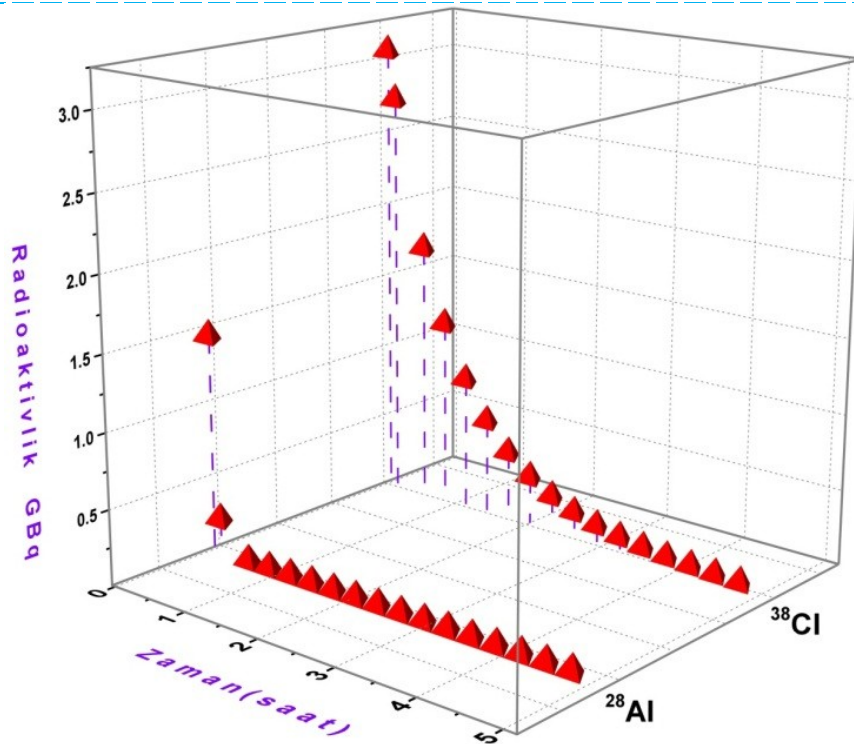
Şəkil 6. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC – də yaranmış aşağı aktivlikli (~kBq) və az yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı

Burada ümumilikdə 3 tip radionuklid müşahidə olunmuşdur ki, onların da yarımparçalanma dövrləri 0.095 saatdan 1.38 saata qədər dəyişir. Burada mövcud radionuklidlərin ilkin aktivlikləri 0.6 kBq – dən 7kBq - ə qədər dəyişir. Müşahidə olunan bu radionuklidləri yaşama müddətlərinə uyğun  $^{51}\text{Ti}$  (0.095 saat),  $^{99}\text{Mo}$  (1.1 saat) və  $^{139}\text{Ba}$  (1.38 saat) kimi sıralaya bilərik.



Şəkil 7. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC – də yaranmış orta aktivlikli (~MBq) və az yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı

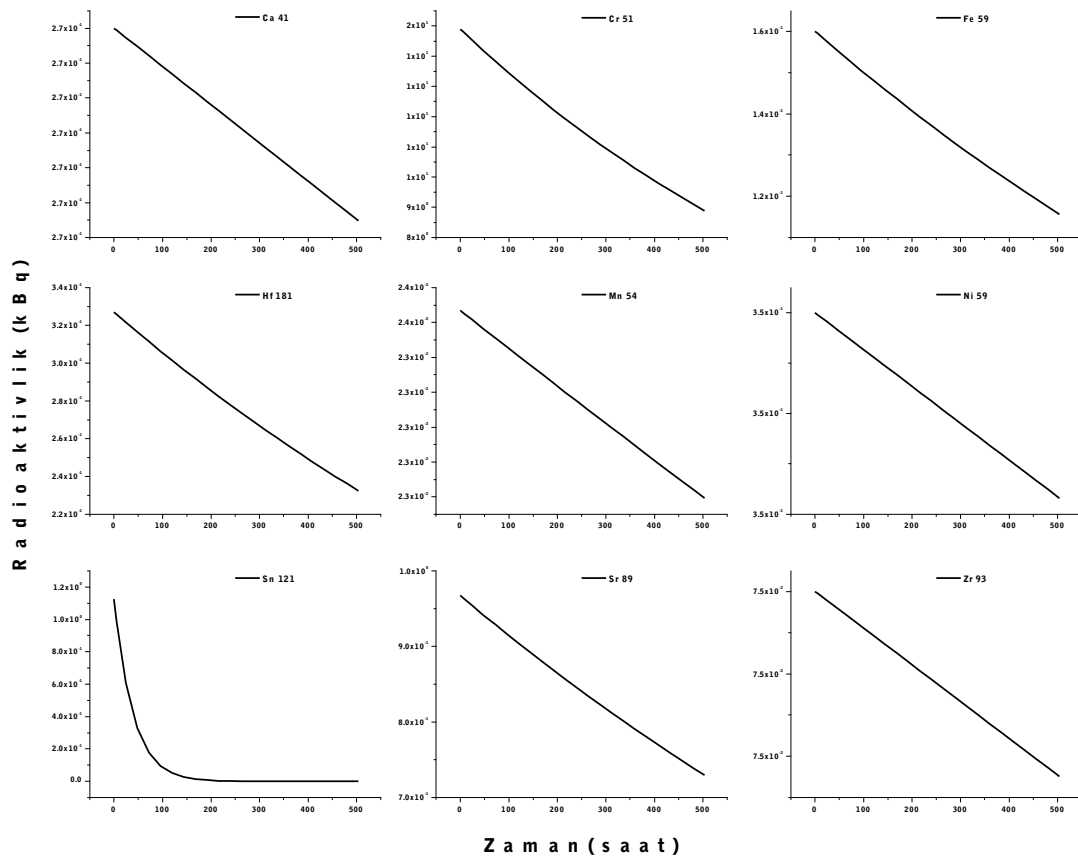
Az yaşama müddətinə malik digər radionuklidlərin ilkin aktivliyi təqribən 54MBq-ə qədərdir (Şəkil 7). Burada iki növ  $^{52}\text{V}$  və  $^{27}\text{Mg}$  radionuklidlər müşahidə olunmuşdur ki, onların da yarımparçalanma müddətləri uyğun olaraq  $^{52}\text{V}$  üçün 0.062 saat və  $^{27}\text{Mg}$  üçün isə 0.16 saatdır. Şəkil 7 – dən görüldüyü 5 saat vaxt keçdikdən sonra hər iki radionuklidlərin aktivlikləri təqribən sıfıra qədər azalmışdır. Az yaşama müddətinə malik olan digər qrup radionuklidlərin ilkin aktivliyi təqribən 3GBq-ə qədər olub. Müşahidə olunan yüksək aktivlikli  $^{38}\text{Cl}$  izotopunun yarımparçalanma müddəti 0.62 saatdır və ölçmələrin aparıldığı beş saatın sonunda  $^{38}\text{Cl}$  izotopunun aktivliyi təqribən 11.5kBq-ə qədər azalmışdır (Şəkil 8). Bu qrupa daxil olan  $^{28}\text{Al}$  izotopunun isə ilkin aktivliyi 1.4GBq və yarımparçalanma müddəti isə 0.037 saatdır (ölçmələrin aparıldığı 5 saatın sonunda  $^{28}\text{Al}$  izotopunun aktivliyi təqribən sıfıra qədər azalmışdır). Digərlərindən dəfələrlə çox aktivliyə malik  $^{38}\text{Cl}$  izotopu qarışıqın əsas hissəsini təşkil edir.



Şəkil 8. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC – də yaranmış yüksək aktivlikli (~GBq) və az yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı

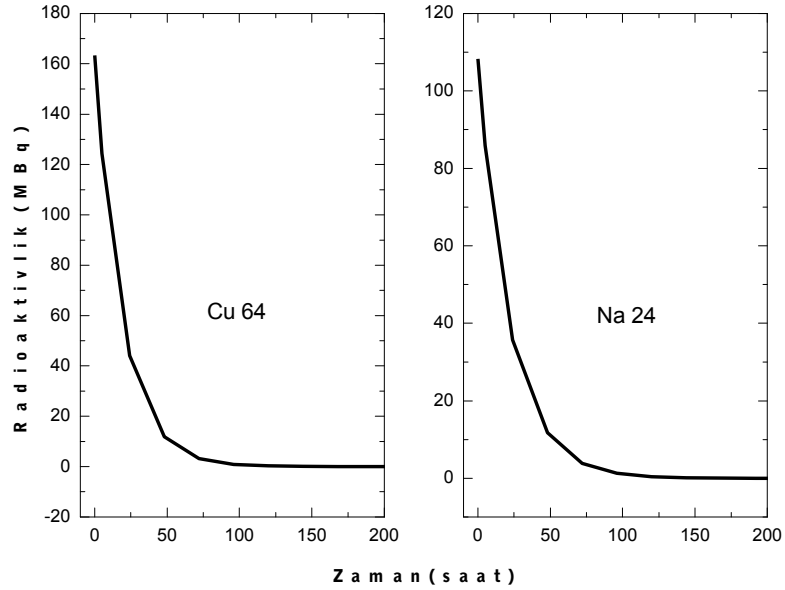
Çox yaşama müddətinə malik radionuklidlər iyirmi gün (nəzəri olaraq hesablamalar, təqribən 500 saat) müddətində analiz edilmişdir. Analizlər nəticəsində məlum olmuşdur ki, çox yaşama müddətinə malik radionuklidləri ilkin aktivliklərinə əsasən iki fərqli qrupa ayırmaq olar. Birinci qrupa aktivlikləri təqribən 15kBq - ə qədər olan radionuklidlər daxildir (Şəkil 9). Burada müşahidə olunan radionuklidlərin yarımparçalanma müddətləri 27 saat ( $^{121}\text{Sn}$ ), 676 saat ( $^{51}\text{Cr}$ ), 1023 saat ( $^{181}\text{Hf}$ ), 1077 saat ( $^{59}\text{Fe}$ ), 1238 saat ( $^{88}\text{Sr}$ ), 7508 saat ( $^{54}\text{Mn}$ ),  $5.8 \cdot 10^8$  saat ( $^{93}\text{Zr}$ ),  $6.7 \cdot 10^8$  saat ( $^{59}\text{Ni}$ ) və  $8.6 \cdot 10^8$  saat ( $^{41}\text{Ca}$ ) kimidir. Təqribən iyirmi gün sonra bütün radionuklidlərin aktivliyi 8.8kBq – dən az olmuşdur.





Şəkil 9. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC – də yaranmış aşağı aktivlikli və nisbətən çox yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı

Çox yaşama müddətinə malik, digər qrupa daxil olan radionuklidlərin sayı ikidir (Şəkil 10). Bu radionuklidlərin ilkin aktivlikləri təqribən 163 MBq – dir. Bu qrupda müşahidə olunan radionuklidlər  $^{64}\text{Cu}$  12.7 saat və  $^{24}\text{Na}$  15 saat kimi yarımparçalanma müddətinə malikdirlər. Bu radionuklidlərin yarımparçalanma müddətlərinin nisbətən az olmasının nəticəsidir ki, iyirmi gün sonra hər iki radionuklidin aktivliyi sıfıra qədər azalmışdır.



Şəkil 10. Neytron selinin təsiri ilə nano SiC – də yaranmış nisbətən yüksək aktivlikli və çox yaşama müddətinə malik radionuklidlərin aktivliyinin ölçmə vaxtından asılılığı

Şəkil 9 və 10 – da verilmiş asılılıqdan görünür ki, radioaktiv parçalanma sabiti az və yarımparçalanma vaxtı nisbətən çox olan izotoplarının aktivlikləri təcrübi müşahidə zamanı az dəyişir və nano SiC – in xassələrinin sonrakı tədqiq zamanı onların radioaktiv parçalanmasının təsiri gözləniləndir. Ümumiyyətlə neytron selinin nano SiC hissəciklərinə təsiri zamanı aşqar elementlərin radionuklidlərin müxtəlif müddətlərdə hesablanmış radioaktivliyi cədvəllərdə təqdim olunmuşdur (Cədvəl 1 və 2).

Cədvəl 1. Neytron selinin təsiri ilə SiC nanomaterialında yaranmış nisbətən çox yaşama müddətinə malik radioizotoplar

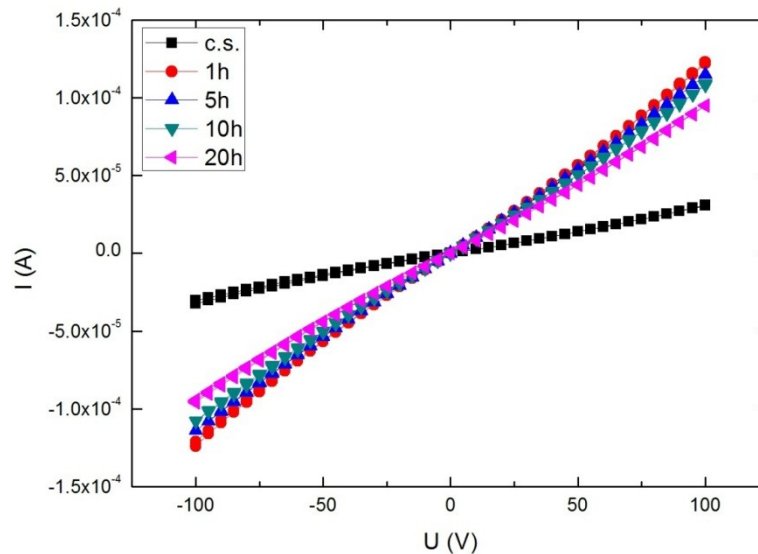
Zaman (saat)	Aktivlik (kBq)									Aktivli	
	Ca 41	Cr 51	Fe 59	Hf 181	Mn 54	Ni 59	Sn 121	Sr 89	Zr 93	Cu 64	Na 24
0	0.273	14.8943	0.160034	0.326954	0.023668	0.351	1.126551	0.967156	0.075	163.419	108.2264
5	0.273	14.81813	0.15952	0.325848	0.023657	0.351	0.990842	0.964452	0.075	124.3904	85.89935
24	0.273	14.53224	0.157581	0.32168	0.023616	0.351	0.608371	0.954247	0.075	44.09882	35.7014
48	0.273	14.17899	0.155166	0.316492	0.023563	0.351	0.328539	0.94151	0.075	11.90012	11.77707
72	0.273	13.83432	0.152787	0.311387	0.023511	0.351	0.177421	0.928943	0.075	3.211262	3.884984
96	0.273	13.49803	0.150446	0.306364	0.023459	0.351	0.095812	0.916544	0.075	0.866563	1.281567
120	0.273	13.16991	0.14814	0.301422	0.023407	0.351	0.051742	0.90431	0.075	0.233843	0.422759
144	0.273	12.84977	0.145869	0.29656	0.023355	0.351	0.027942	0.89224	0.075	0.063103	0.139459
168	0.273	12.53741	0.143633	0.291777	0.023304	0.351	0.01509	0.880331	0.075	0.017028	0.046004
192	0.273	12.23265	0.141432	0.28707	0.023252	0.351	0.008149	0.868581	0.075	0.004595	0.015176
216	0.273	11.93529	0.139264	0.28244	0.023201	0.351	0.004401	0.856987	0.075	0.00124	0.005006
240	0.2729999	11.64516	0.137129	0.277884	0.023149	0.351	0.002376	0.845549	0.075	0.000335	0.001651
264	0.2729999	11.36209	0.135027	0.273402	0.023098	0.351	0.001283	0.834263	0.075	9.03E-05	0.000545
288	0.2729999	11.08589	0.132958	0.268992	0.023047	0.351	0.000693	0.823127	0.075	2.44E-05	0.00018
312	0.2729999	10.81641	0.13092	0.264653	0.022996	0.351	0.000374	0.81214	0.075	6.58E-06	5.93E-05
336	0.2729999	10.55348	0.128913	0.260384	0.022945	0.351	0.000202	0.8013	0.075	1.77E-06	1.96E-05
360	0.2729999	10.29694	0.126937	0.256184	0.022894	0.351	0.000109	0.790605	0.075	4.79E-07	6.45E-06
384	0.2729999	10.04664	0.124992	0.252052	0.022844	0.351	5.89E-05	0.780052	0.075	1.29E-07	2.13E-06
408	0.2729999	9.802421	0.123076	0.247986	0.022793	0.351	3.18E-05	0.769641	0.075	3.49E-08	7.02E-07
432	0.2729999	9.564139	0.121189	0.243986	0.022743	0.351	1.72E-05	0.759368	0.075	9.41E-09	2.32E-07
456	0.2729999	9.33165	0.119332	0.240051	0.022692	0.351	9.28E-06	0.749232	0.075	2.54E-09	7.64E-08
480	0.2729999	9.104812	0.117503	0.236179	0.022642	0.351	5.01E-06	0.739232	0.075	6.85E-10	2.52E-08
504	0.2729999	8.883488	0.115702	0.232369	0.022592	0.351	2.71E-06	0.729365	0.075	1.85E-10	8.31E-09

Cədvəl 2. Neytron selinin təsiri ilə SiC nanomaterialında yaranmış nisbətən az yaşama müddətinə malik radioizotoplar

Zaman (saat)	Aktivlik (kBq)			Aktivlik (MBq)		Aktivlik (GBq)	
	<i>Ba 139</i>	<i>Mo 99</i>	<i>Ti 51</i>	<i>Mg 27</i>	<i>V 52</i>	<i>Al 28</i>	<i>Cl 38</i>
0	5.79E-01	7.71E-01	6.98E+00	5.36E+01	1.51E+01	1.43E+	0
0.1	5.51E-01	7.24E-01	3.36E+00	3.48E+01	4.95E+00	2.20E-01	3.04E+00
0.5	4.51E-01	5.62E-01	1.82E-01	6.15E+00	5.65E-02	1.23E-04	1.74E+00
0.8	3.88E-01	4.65E-01	2.04E-02	1.68E+00	1.97E-03	4.45E-07	1.24E+00
1.1	3.33E-01	3.85E-01	2.28E-03	4.57E-01	6.90E-05	1.61E-09	8.89E-01
1.4	2.87E-01	3.19E-01	2.56E-04	1.25E-01	2.41E-06	5.84E-12	6.36E-01
1.7	2.47E-01	2.64E-01	2.86E-05	3.40E-02	8.43E-08	2.12E-14	4.54E-01
2	2.12E-01	2.19E-01	3.21E-06	9.26E-03	2.94E-09	7.67E-17	3.25E-01
2.3	1.82E-01	1.81E-01	3.59E-07	2.52E-03	1.03E-10	2.78E-19	2.32E-01
2.6	1.57E-01	1.50E-01	4.03E-08	6.88E-04	3.60E-12	1.01E-21	1.66E-01
2.9	1.35E-01	1.24E-01	4.51E-09	1.88E-04	1.26E-13	3.65E-24	1.19E-01
3.2	1.16E-01	1.03E-01	5.06E-10	5.11E-05	4.39E-15	1.32E-26	8.50E-02
3.5	9.98E-02	8.49E-02	5.66E-11	1.39E-05	1.53E-16	4.80E-29	6.08E-02
3.8	8.59E-02	7.03E-02	6.35E-12	3.80E-06	5.36E-18	1.74E-31	4.34E-02
4.1	7.39E-02	5.82E-02	7.11E-13	1.04E-06	1.87E-19	6.30E-34	3.11E-02
4.4	6.35E-02	4.82E-02	7.97E-14	2.83E-07	6.55E-21	2.28E-36	2.22E-02
4.7	5.46E-02	3.99E-02	8.93E-15	7.70E-08	2.29E-22	8.28E-39	1.59E-02
5	4.70E-02	3.30E-02	1.00E-15	2.10E-08	8.00E-24	3.00E-41	1.14E-02

Cədvəl 1 – də nisbətən çox yaşama müddətinə malik radioizotoplar və onların aktivlikləri kBq və MBq ilə verilmişdir. Cədvəl 2 – də isə az yaşama müddətinə malik radioizotoplar və onların aktivlikləri kBq, MBq və GBq ilə sıralanmışdır.

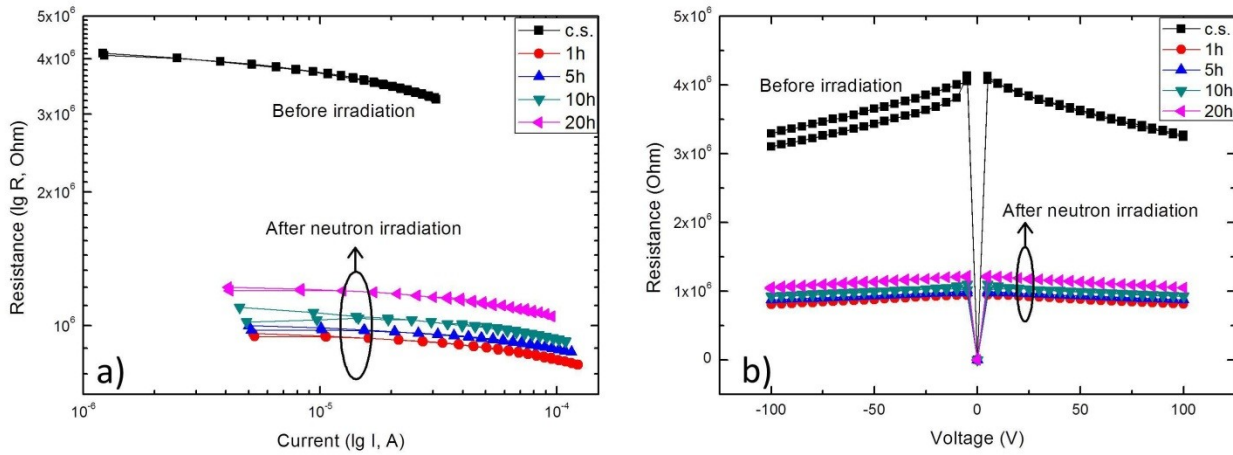
Neytron seli ilə modifikasiya olunmuş nanokristallik silisium karbid hissəciklərinin elektrik parametrləri öyrənilərkən, ilkin yanaşmada volt – amper (V-A) xarakteristikası nəzərdən keçirilmişdir. Ölçmələr zamanı nümunələrin V – A xarakteristikaları otaq temperaturunda və gərginliyin -100V - +100V qiymətlərində nəzərdən keçirilmişdir. Təcrübələr zamanı məlum olmuşdur ki, neytronlarla şüalanmadan öncə və sonra V – A, P-U, və s. asılılıqlarda fərqlər mövcuddur. İlk olaraq neytronlarla şüalanmadan öncə və sonra V – A xarakteristikasını nəzərdən keçirək (Şəkil 11).



Şəkil 11. 3C-SiC nanokristallarının neytronlarla şüalanmadan öncə (c.s.) və sonra (1h, 5h, 10h və 20h) V – A xarakteristikası

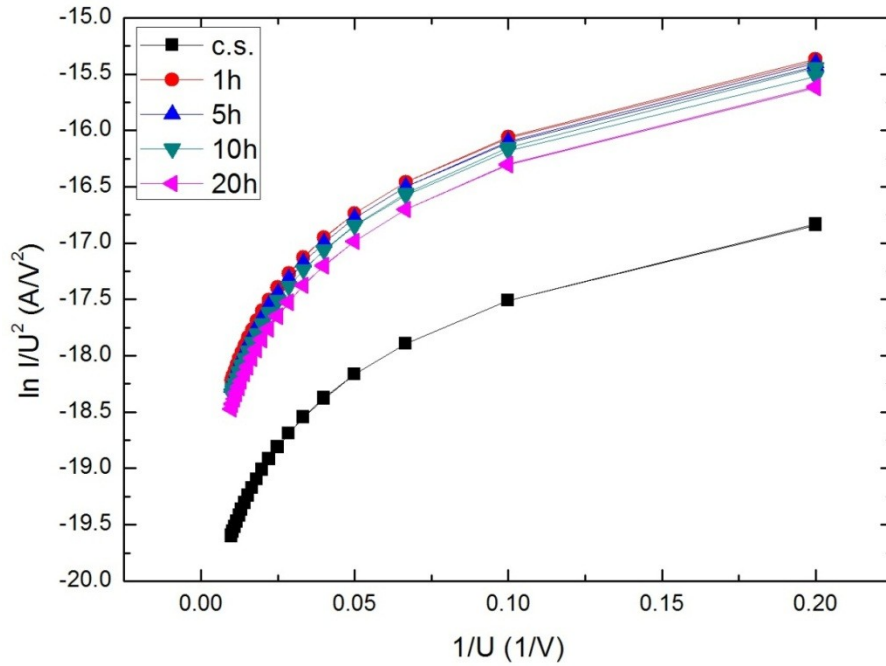
Şəkildən nümunənin şüalanmadan öncə V – A xarakteristikasının xətti və gərginlik oxuna nəzərən kiçik bucaq altında meyilli (slope) olması ilkin nümunənin nisbətən böyük müqavimətə malik olmasını göstərir. Eyni zamanda, xəttin gərginlik və cərəyan oxlarının sıfır nöqtələrinə

nəzərən simmetrik olması nümunələrin kifayət qədər təmiz olmasının göstəricisidir. Lakin, neytron selinin təsir müddətinin artması ilə nanomaterialın  $V - A$  xarakteristikasında bucaq dəyişməsi (slope) müşahidə olunur. Belə ki, 3C-SiC nanokristallarının neytronlarla şüalanmadan öncə və sonra  $V - A$  xarakteristikasında müşahidə olunan əyrilərin gərginlik oxu ilə əmələ gətirdiyi bucaq, neytronlarla şüalanmadan sonra kəskin artır. Digər tərəfdən məlumdur ki, bu bucağın cotangensi birbaşa nümunənin müqavimətini xarakterizə edir:  $\cot \alpha = R$ . Neytron seli ilə şüalanmadan sonra əyrilərin gərginlik oxu ilə əmələ gətirdiyi bucağın artması nümunənin müqavimətinin azalmasına səbəb olur. Neytron selinin təsiri ilə cərəyan – müqavimət və gərginlik – müqavimət asılılıqlarında da sürüşmələr müşahidə olunur (Şəkil 12).



Şəkil 12. 3C-SiC nanokristallarının neytronlarla şüalanmadan öncə (c.s.) və sonra (1h,5h,10h və 20h) cərəyan – müqavimət (a) və gərginlik – müqavimət (b) asılılıqları.

Şəkil 12-dən görüldüyü kimi neytron selinin təsirindən sonra 3C-SiC nanokristallarında müqavimət kəskin azalır. Eyni zamanda, şəkil 12a – da cərəyan – müqavimət asılılıqlarında cərəyan oxuna nəzərən cərəyanın artması istiqamətində sürüşmə müşahidə olunur. Bu sürüşməyə əsasən demək olar ki, neytronlarla şüalanmadan sonra mühitdən keçən cərəyanın miqdarı artır. Şəkil 12b – dən görüldüyü kimi, müsbət və mənfi gərginliyin qiyməti demək olar ki, nümunənin müqavimətinə təsir etmir. Baxmayaraq ki, neytronlarla şüalanmadan sonra 3C-SiC nanokristallarında müqavimətin kəskin azalması müşahidə olunur. Qeyd edək ki, neytronlarla şüalanmadan öncə müqavimət gərginlikdən asılı olaraq qismən azalır (Şəkil 12b). Eyni zamanda, şüalanmadan sonra müqavimətin qiyməti gərginlikdən demək olar ki, asılı deyil. 3C-SiC nanokristallarında birbaşa tunel keçidi və ya sahə emmissiyasını öyrənmək məqsədilə “Fowler–Nordheim” asılılıqlarını neytronlarla şüalanmadan öncə və sonra müqaisəli nəzərdən keçirilmişdir (Şəkil 13).



Şəkil 13. 3C-SiC nanokristallarının neytronlarla şüalanmadan öncə (c.s.) və sonra (1h,5h,10h və 20h) “Fowler–Nordheim” asılılıqları.

Sadə halda V-A asılılıqlarında molekulyar səviyyədə tunel bariyeri Simmons yanaşması ilə xarakterizə olunur:

$$I = \frac{qA}{4\pi^2\hbar d^2} \left[ \left( \phi - \frac{qV}{2} \right) \exp\left( -\frac{2d\sqrt{2m^*}}{\hbar} \sqrt{\phi - \frac{qV}{2}} \right) - \left( \phi + \frac{qV}{2} \right) \exp\left( -\frac{2d\sqrt{2m^*}}{\hbar} \sqrt{\phi + \frac{qV}{2}} \right) \right] \quad (3)$$

burada, A - molekulyar keçidin sahəsi (junction area), d – baryer eni,  $m^*$  – yükdaşıyıcının effektiv kütləsi (effective mass of the charge carrier),  $\phi$  – baryer hündürlüyü,  $\hbar$  - azalmış Plank sabiti (reduced Planck's constant) və q – elektronun yüküdür. “Fowler–Nordheim” asılılıqlarında prosesin tunel olma ehtimalı (tunneling probability) seçilmiş nümunənin bariyerin formasından (shape of the barrier) asılıdır. Limit halda, bariyeri düzbucaqlı qəbul etsək (the barrier is rectangular), V-A asılılıqları birbaşa tunel effekti ilə izah edilir:

$$I \propto V \exp\left( -\frac{2d\sqrt{2m^*\phi}}{\hbar} \right) \quad (4)$$

Digər tərəfdən, əgər tətbiq olunan gərginlik bariyer hündürlüyünü aşarsa, o zaman bariyer düzbucaqlı formadan üçbucaq formasına çevrilər və bu üçbucaq deformasiyası “Fowler–Nordheim” tunelinin (sahə emmissiyasının) yaranmasına səbəb olur. Bu halda V-A asılılıqları aşağıdakı bərabərliklə xarakterizə oluna bilər:

$$I \propto V^2 \exp\left( -\frac{4d\sqrt{2m^*\phi^3}}{3\hbar qV} \right) \quad (5)$$

Fowler–Nordheim qrafikləri prosesin birbaşa tunel və ya sahə emmissiyalı olmasını izah edir. Bu halda (4) və (5) bərabərlikləri aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

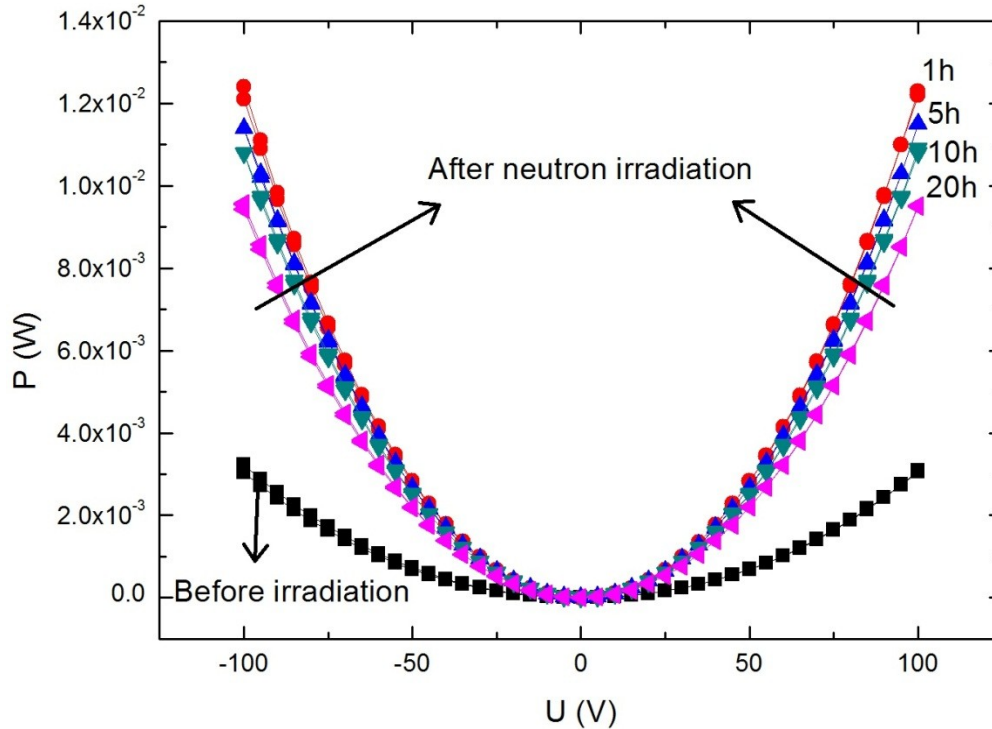
$$\ln\left( \frac{I}{V^2} \right) \propto \ln\left( \frac{1}{V} \right) - \frac{2d\sqrt{2m^*\phi}}{\hbar} \quad (6)$$

$$\ln\left( \frac{I}{V^2} \right) \propto -\left( \frac{1}{V} \right) \frac{4d\sqrt{2m^*\phi^3}}{3\hbar q} \quad (7)$$

Qeyd edək ki, əgər Fowler–Nordheim asılılıqları loqaritmikdirsə proses birbaşa tunel hadisəsi ilə və asılılıqlar neqativ əyri (negative slope) xəttidirsə proses sahə emmissiyası ilə izah olunur.

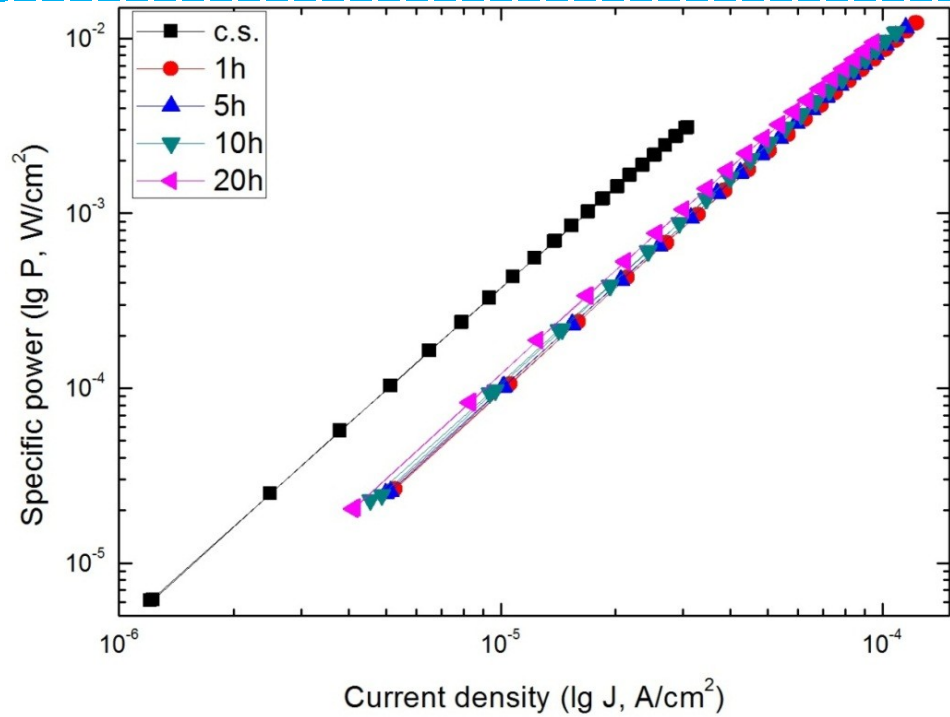
Şəkil 13 – də mövcud  $\ln(A/V^2) - 1/V$  asılılıqları (4) bərabərliyinə uyğundur ki, bu da birbaşa tunel effekti ilə baş verən prosesləri izah edir. Şəkil 13 – də “Fowler–Nordheim” asılılıqlarından məlum olur ki, təcrübələr aparılan temperaturda 3C-SiC nanokristallarında proses birbaşa tunel hadisəsinə əsaslanır və sahə emmissiyası müşahidə olunmur. Şəkil 13 – də müşahidə olunan ayrılardan məlum olur ki, 3C-SiC nanokristallarında şüalanmadan öncə və sonra termal aktivlik bütün aralıqlarda dominantdır.

3C-SiC nanokristallarında effektiv iş gərginliyini müəyyən etmək məqsədilə Gərginlik – Güc xarakteristikaları nəzərdən keçirilmişdir (Şəkil 14).



Şəkil 14. 3C-SiC nanokristallarının neytronlarla şüalanmadan öncə (c.s.) və sonra (1h,5h,10h və 20h) gərginlik – güc asılılıqları.

Gərginlik – Güc xarakteristikasından görünür ki, neytronlarla şüalanmadan sonra kiçik gərginlik dəyişməsində daha çox güc dəyişməsi müşahidə olunur. Lakin, 3C-SiC nanokristallarının Volt – Güc xarakteristikası, günəş panellərində istifadə olunan fotoçeviricilərdən fərqli olaraq, göstərilən gərginlik aralığında hər hansı pik ilə müşahidə olunmur. Bu isə o deməkdir ki, bu nanomaterialda effektiv iş gərginliyi gərginliyin 100V qiymətindən çoxdur. Cərəyan sıxlığının güc sıxlığından asılılığından neytronlarla şüalanmanın təsiri aşkar müşahidə olunur (Şəkil 15).

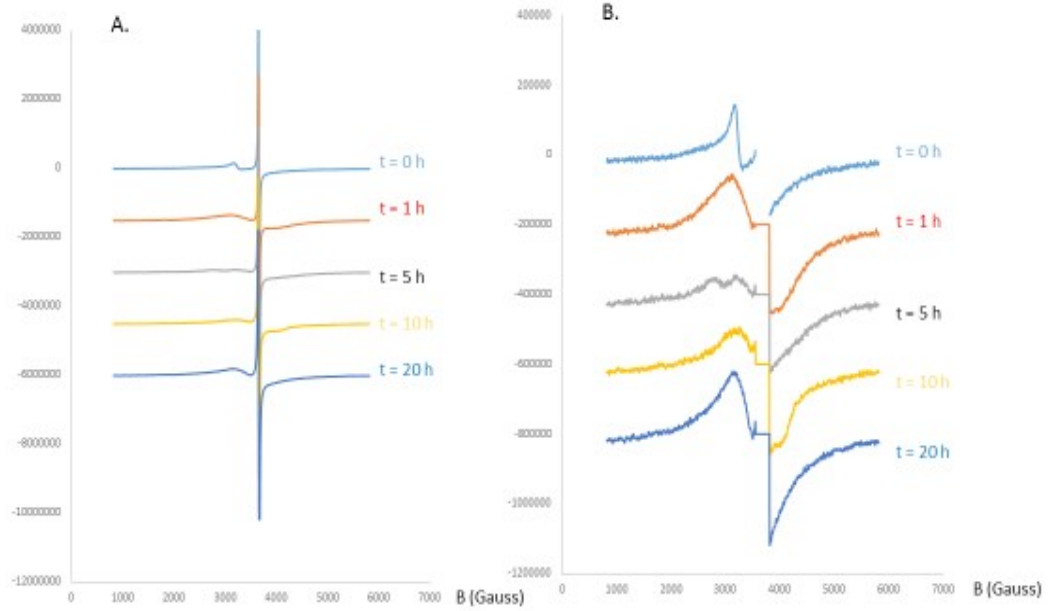


Şəkil 15. 3C-SiC nanokristallarının neytronlarla şüalanmadan öncə (c.s.) və sonra (1h,5h,10h və 20h) xüsusi güc-cərəyan sıxlığı asılılıqları.

Neytronlarla şüalanma nəticəsində cərəyan sıxlığı – güc sıxlığı asılılıqlarında hər hansı meyli (slope) müşahidə edilmir. Cərəyan sıxlığı – güc sıxlığı asılılıqlarında şüalanmadan sonra müşahidə olunan sürüşməni isə digər hallara oxşar olaraq neytronlarla çevrilmələr, rabitə sürüşməsi (dangling bonds), defekt və ya əlavə yükdaşıyıcıların yaranması ilə izah etmək olar.

Ümumi yanışmada V-A xarakteristikasında şüalanmadan sonra müşahidə olunan dəyişikliklər neytron çevrilmələri ilə sıx bağlıdır. İlkin yanışmada bu dəyişikliyin səbəbi ehtimal olunur ki, neytron çevrilmələri nəticəsində yaranmış yeni <sup>31</sup>P isotoplarıdır. Məlumdur ki, <sup>31</sup>P isotopu 3C-SiC nanokristallarında n – tip aşqar rolunu oynayır. Beləliklə, <sup>31</sup>P izotopunun neytronlarla şüalanmadan sonra konsentrasiyasının artması birbaşa V-A xarakteristikasında özünü göstərir.

Həmçinin, ilkin və neytron şüalanmaya məruz qalmış nanokristallik SiC hissəciklərinin EPR spektrləri “geniş aralıqda”, “seçilmiş aralıqda” və “seçilmiş aralıqda doyma həddi” kimi üç halda müqaisəli çəkilmişdir. İlk olaraq geniş diapozonda çəkilmiş spektrləri nəzərdən keçirək (Şəkil 16). Qeyd edək ki, bu diapozonda nümunələr 5000G genişlikdə, mərkəzi maqnit sahəsinin 3300G və gücün 20mVt qiymətində çəkilmişdir.

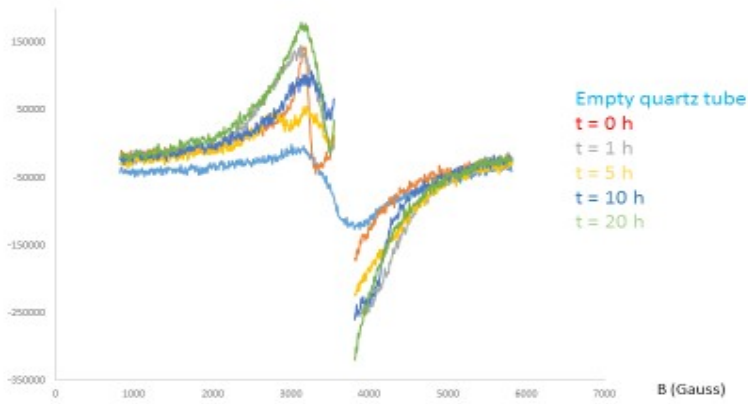


**Şəkil 16.** Geniş aralıqda ilkin və neytron şüalanmaya məruz qalmış nanokristallik SiC hissəciklərinin EPR spektrləri (a – tam spektrlər, b – böyüdülmüş (zoom) spektrlər)

Şəkil 16a-dan  $g$  faktorun 2.006 qiymətində (3730 Gauss) güclü siqnal müşahidə olunur. Bu oblastda müşahidə olunan siqnal sərbəst elektron üçün tipikdir. İlkin yanaşmada (Şəkil 16a) güclü siqnal digər paramaqnit defektləri müşahidə etməyə imkan vermir. Bu səbəbdən, digər paramaqnit defektləri müşahidə etmək məqsədilə böyüdülmüş spektrlər nəzərdən keçirilmişdir (Şəkil 16b). Bu halda digər spektrləri müşahidə etmək mümkün olmuşdur. Paramaqnit fəzanın neytron şüalanmaya mütənasib olaraq dəyişməsi aşkarlanmışdır. Belə ki, şüalanmadan öncə  $g=2.28$  (cca 3270 Gauss) müşahidə olunan siqnal şüalanma nəticəsində yox olmuşdur. Neytronlarla şüalanmadan sonra  $g$  faktorunun 2.09 – 2.36 aralıqlarında (2800 – 3500 Gauss aralıqlarında) siqnallar müşahidə edilmişdir. Şüalanma müddətinə mütənasib olaraq spektrlərin intensivliyi və forması dəyişir. Böyük spektral genişlik çox sürətli reaksasiyaya malikdir və ehtimal olunur ki bu hər hansı keçid elementin  $d$  orbitalı ilə əlaqəlidir.

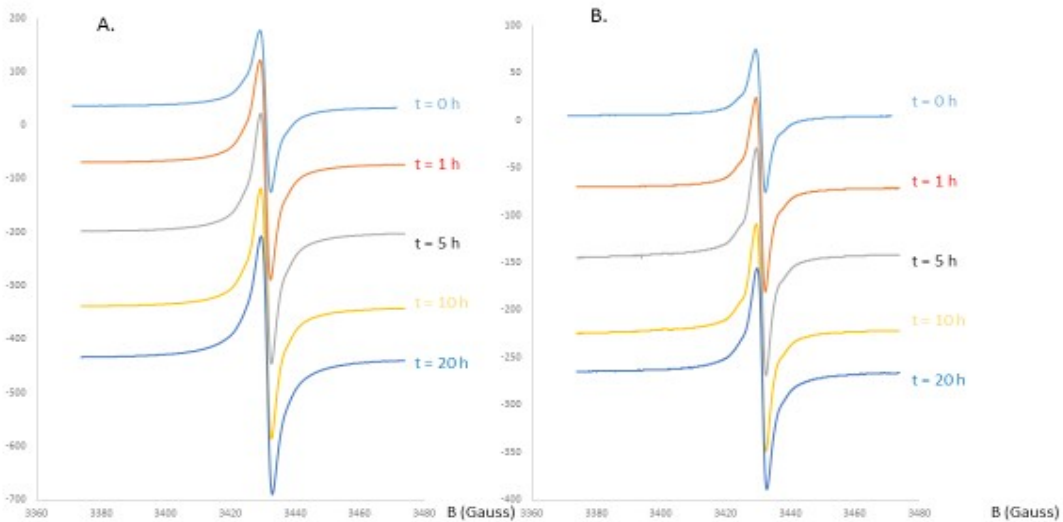
Boş şüşə ilə birlikdə nanokristallik SiC hissəciklərinin EPR spektrləri şəkil 17 – də təsvir edilmişdir.





**Şəkil 17.** Nanokristallik SiC hissəciklərinin boş şüşə ilə birlikdə müqaisəli EPR spektrləri (EPR parametrləri: Mərkəzi sahə 3000 G = 0.33 T, sweep = 5000 G = 0.5 T, modulasiya amplitudu 0.1 mT, mikrodalğa gücü 20 mW, qəbuledici artımı 60).

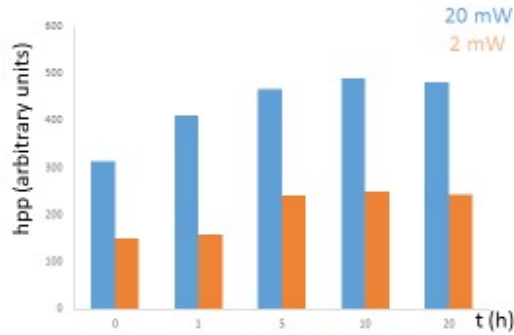
Şəkildən görüldüyü kimi, boş şüşədə digərləri ilə müqaisədə çox aşağı intensivlikli spektr müşahidə olunur. Belə olan halda boş şüşənin yaratdığı əlavə effektləri nəzərə almamaq olar. Lokallaşmış halları daha dəqiq müşahidə etmək məqsədilə seçilmiş aralıqda spektrlər nəzərdən keçirilmişdir. Şəkil 18-də sərbəst elektron regionunda seçilmiş aralıqlarda EPR spektrləri təsvir edilmişdir.



**Şəkil 3.** Sərbəst elektron regionunda fərqli güclərdə seçilmiş diapazonlarda EPR spektrləri (EPR parametrləri: mərkəzi sahə 3320 G = 3.320 mT, sweep = 100 G = 10 mT, modulasiya amplitudu 0.1 mT, qəbuledici artımı 10, mikrodalğa gücü A. 20 mW, B. 2 mW).

Sərbəst elektron regionunda mövcud siqnalların dayanıqlılıq dərəcəsini yoxlamaq və həmçinin sərbəst radikallarla sürətli relaksasiya hallarını ayırmaq məqsədi ilə iki fərqli gücdə EPR spektrləri nəzərdən keçirilmişdir (Şəkil 18a və b). Doyma həddində aparılan EPR analizlərindən

məlum olmuşdur ki, mövcud siqnallar kifayət qədər dayanıqlıdır. g faktorun 2.006 qiymətində fərqli şüalanma müddətlərində və mikrodalğa güclərində amplitutun dəyişməsi nəzərdən keçirilmişdir (Şəkil 19).



**Şəkil 19.** Fərqli şüalanma müddətlərində və mikrodalğa güclərində amplitutun dəyişməsi

g faktorun 2.006 qiymətində müşahidə olunan siqnal iki komponentdən ibarətdir. Biri çox güclü siqnaldır ki, bu da 20mVt gücdə 3300G – da, 2mVt gücdə isə 3030G – da müşahidə olunur. Digəri isə çox genişdir və spektrlərdən aydın müşahidə olunmur. Bu daha aşağı mikrodalğa gücündə nisbətən aydın müşahidə olunur (Şəkil 18b). Müşahidə olunan siqnalların intensivliyinin neytronla şüalanma müddətinə mütənasib olaraq artması şəkil 19 – dan müşahidə olunur. g faktorun nisbətən böyük qiymətləri adətən keçid metalının d orbitindəki elektronlar kimi nəzərə alınıq. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, ola bilsin ki, bu hal nanokristallik SiC hissəciklərində hər hansı əlavə radikalların mövcudluğunun göstəricisidir.

Ümumi yanaşmada xarici sahənin 3300G ətrafında iki lokal hal müşahidə edilmişdir. Lokal hallara uyğun g – faktorun iki fərqli qiymətlərində paramaqnit mərkəzlərin sayı hesablanmışdır (Cədvəl 3). Hesablamalar təcrübələrdən alınmış uyğun spektrləri cihazın proqram təminatının köməyi ilə ikiqat inteqrallama ilə aparılmışdır.

$$\underbrace{DI}_{\text{Double Integral}} = \underbrace{\widehat{N}}_{\text{Density of center}} \cdot \underbrace{[G_R \cdot C_t \cdot n]}_{\text{Normalized spectrometer settings}} \cdot \left[ \frac{\overbrace{\sqrt{P} \cdot B_m \cdot Q \cdot n_B \cdot S \cdot (S+1) \cdot n_S}^{\text{Measurable parameters}}}{\underbrace{f(B_1, B_m)}_{\text{Determined from EPR imaging}}} \right]$$

(8)

Burada N standart nümunə üçün bir dəfə ölçülür. Alınmış qiymət EPR proqramında qeyd edilir və bütün hesablamalar ona uyğun aparılır. Beləliklə, (8) tənliyində N - məlum spinlərin standart sayı,  $G_R$  - qəbuledici artımı,  $C_t$  – konversiya vaxtı,  $n$  – çəkilişlərin sayı,  $P$  – mikrodalğa gücü (W),  $B_m$  – modulyasiya ampilitutu (Qauss),  $Q$  – rezanatoru keyfiyyət faktoru,  $n_B$  – temperaturdan asılı Bolsman faktoru,  $S$  – ümumi elektron spini,  $n_s$  – spinlərin sayı,  $f(B_1, B_m)$  paylanma funksiyasıdır. Qeyd olunan bütün parametrlər kompüter və proqram təminatının köməyi ilə tapılır. Eyni zamanda, neytronlarla şüalanmış və ilkin nümunələrdə mövcud mərkəzlərin sayı kompüter və proqram təminatında ikiqat inteqrallama ilə müqaisəli hesablanmışdır. Həmçinin, vahid həcmdə olan spinlərin sayını da hesablamaq mümkündür.

$$M_0 = H_0 \chi_0 = \frac{B_0}{\mu_0} \chi_0 \quad (9)$$

$$M_0 = N \frac{\gamma^2 \hbar^2 B_0 S(S+1)}{3k_B T} J T^{-1} m^{-3} (= A m^{-1})$$

S = ½ halində mərkəzlərin sayını aşağıdakı bərabərliklə hesablaya bilərik.

$$N = \frac{4k_B T_{sample} M_0}{g^2 \beta^2 B_0} \quad (10)$$

Burada

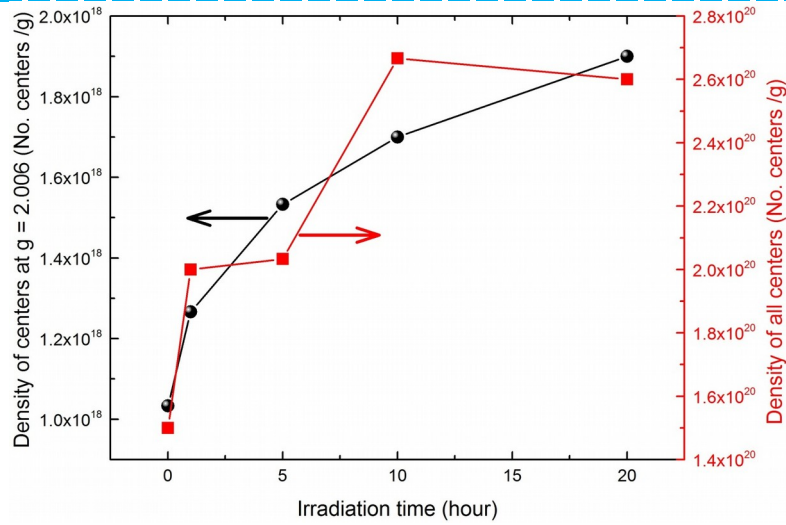
$$g\beta = \gamma \hbar \quad (11)$$

$\gamma = 1.7608 \times 10^{11} \text{ s}^{-1} \text{ T}^{-1}$  sabit,  $\hbar$  – götürülmüş Plank və ya Dirak sabiti,  $B_0$  – statik maqnit sahəsi,  $k_B$  – Bolsman sabiti,  $T$  – nümunənin temperaturu (K),  $M_0$  – spin maqnitonudur.

Cədvəl 3. Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində neytronlarla şüalanmadan öncə və sonra paramaqnit mərkəzlərin sayı

t (h)	g factor	Density of all centers No. centers /cm <sup>3</sup>	Density of centers at g = 2.006 No. centers /cm <sup>3</sup>
0	2.29 2.006	4.5 x 10 <sup>18</sup>	3.1 x 10 <sup>16</sup>
1	2.13 2.006	6.0 x 10 <sup>18</sup>	3.8 x 10 <sup>16</sup>
5	2.58 2.13 2.006	6.1 x 10 <sup>18</sup>	4.6 x 10 <sup>16</sup>
10	2.34 2.006	8.0 x 10 <sup>18</sup>	5.1 x 10 <sup>16</sup>
20	2.13 2.006	7.8 x 10 <sup>18</sup>	5.7 x 10 <sup>16</sup>

Cədvəldən şüalanma müddətinin artması ilə ümumi yanaşmada sərbəst radikalların sayının artması asanlıqla görünür. Həmçinin, şüalanma müddətinin artması ilə sərbəst elektronlara uyğun mərkəzlərin (g – faktorun 2.006 qiymətində) sayının da təqribən iki dəfəyə qədər artması müşahidə olunur. Belə ki, şüalanmadan öncə sərbəst elektronlara uyğun mərkəzlərin sayı 3.1 x 10<sup>16</sup> mərkəz/sm<sup>3</sup> (ümumi mərkəzlərin sayı 4.5 x 10<sup>18</sup> mərkəz/sm<sup>3</sup>) olduğu halda, 20 saata qədər şüalanmadan sonra bu sayı 5.7 x 10<sup>16</sup> mərkəz/sm<sup>3</sup> qədər (ümumi mərkəzlərin sayı 8.0 x 10<sup>18</sup> mərkəz/sm<sup>3</sup>) artmışdır. Nəzərə alsaq ki, nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin sıxlığı 0.03q/sm<sup>3</sup> – dur, o zaman asanlıqla vahid kütlədə olan paramaqnit mərkəzlərin sayını hesablaya bilərik. Bu zaman əldə olunan qiymətlərə uyğun asılılıq şəkil 20 – də göstərilmişdir.



**Şəkil 20.** Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində mövcud paramaqnit mərkəzlərin neytronlarla şüalanma müddətindən asılılıqları.

Şəkildən görüldüyü kimi, neytron selin təsir müddətinin artması ilə paramaqnit mərkəzlərin sayı ümumi tendensiyada artır. Bu artıma bir neçə faktor təsir göstərə bilər. İlkin yanışmada neytronlarla şüalanma zamanı nümunə daxilində yaranan əlavə yükdaşıyıcılar artıma səbəb ola bilər. digər tərəfdən neytronlarla şüalanma zamanı nanokristallik 3C-SiC daxilində əlavə aşqar elementlər yaranır. Bu elementlərin konsentrasiyasının artması və paramaqnit təbiətli olması artmaya digər səbəb ola bilər. Neytronla şüalanma zamanı nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində əlavə <sup>29</sup>Si və ya <sup>13</sup>C izotopları yaranır. Belə olan halda, təbbi <sup>29</sup>Si (4.67%) və <sup>13</sup>C (1.11%) izotoplarının konsentrasiyası artır. Bu izotopların konsentrasiyasının artması birbaşa paramaqnit mərkəzlərin artmasına səbəb olur. Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində mövcud <sup>29</sup>Si və ya <sup>13</sup>C izotoplarının nüvələri ½ spininə malikdirlər. Bu izotoplar Zeeyman və ya hiper (hypertine interactions - HF) qarşılıqlı təsirdə olduqları zaman yaranan paramaqnit mərkəzlər aşağıdakı Hamilton bərabərliyi ilə xarakterizə oluna bilər.

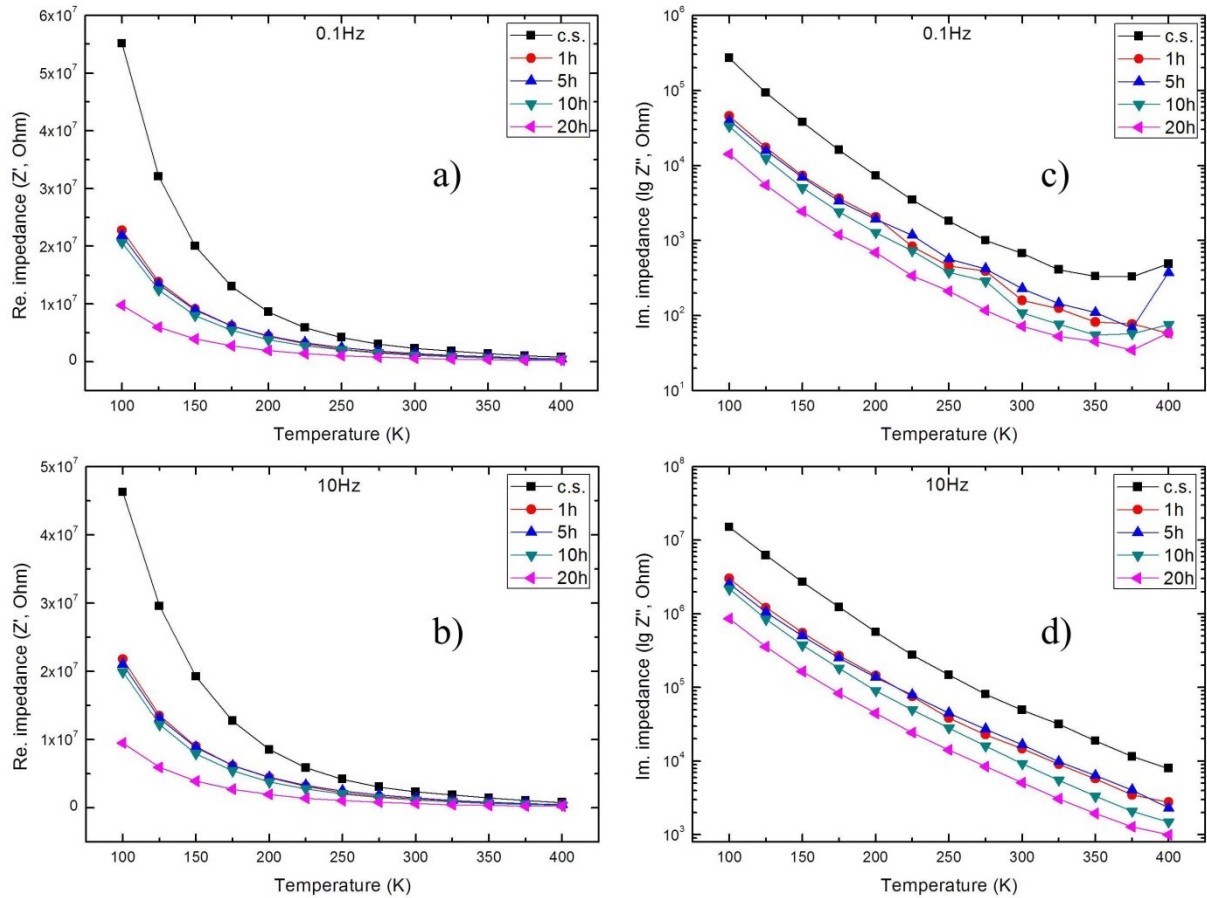
$$H_s = \beta H \tilde{g} S + S \tilde{A} I \quad (12)$$

Tənlikdə ilkin hədd  $H_s - {}^{29}\text{Si}$  və ya  ${}^{13}\text{C}$  ( $I = 1/2$ ) nüvələrində Zeeyman və ya HF qarşılıqlı təsirini xarakterizə edir. Spinin  $S = 1/2$  olması silisium və ya karbon atomlarında və ya SiC qəfəsində sürüşmüş rabitələrdə (dangling bonds) elektron defektlərin, cütləşməmiş elektron və ya deşiklərin, lokal halların yaranmasına səbəb olur. Eyni zamanda, neytronlarla şüalanma zamanı nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində Si və ya C vakansiyaları da yeni paramaqnit mərkəzlərin yaranmasına səbəb ola bilər. Neytronlarla şüalanma zamanı nanomaterialda silisiumla əlaqəli Frenkel cütləri yaranır. Yaranmış Si vakansiyası ( $V_{Si}^-$ )  $S = 3/2$  spininə malik mənfi yüklə izolə olunur. Bu halda anizotropik HF strukturu dörd qonşu karbon atomu ilə (ilkin təbəqə) və bunlar da növbəti izotropik HF strukturlu 12 silisium atomları (ikinci təbəqə) ilə EPR spektrləri verir. Ddigər tərəfdə neytronlarla şüalanma zamanı nanokristallik 3C-SiC nümunəsində müsbət yüklə izolə olunmuş karbon vakansiyası ( $V_C^+$ ) da yaranır. Neytronlarla şüalanma zamanı C vakansiyası ( $V_C^+$ ) Si vakansiyasına ( $V_{Si}^-$ ) nisbətən daha çox müşahidə olunur. EPR spektrlərində xarakteristik  $V_C$  mərkəzləri, ikinci təbəqədə (Si vakansiyasında ( $V_{Si}^-$ ) olduğu kimi) mövcud HF strukturlu 12 karbon atomları təstiqləyir.

Əlavə olaraq, impedans spektroskopiyaya üsulu ilə, neytron selinin təsir effektləri və nanomaterialın fiziki xüsusiyyətlərində mümkün dəyişikliklər araşdırılmışdır. Belə ki, cari işdə, ilkin halda və müxtəlif müddətlərdə kəsilməz olaraq neytron selinin təsirinə məruz qalmış kubik modifikasiyalı nano silisium karbidin (3C-SiC) impedans spektrləri temperaturun funksiyası kimi

öyrənilmişdir. Nümunənin impedans spektrləri tezliyin 0.1Hz – 2.5MHz və temperaturun 100K – 400K aralıklarında tədqiq olunmuşdur. Təcrübələrdən öncə, nümunələr  $2 \times 10^{13}$  n/sm<sup>2</sup>san neytron seli ilə 20 saata qədər kəsilməz olaraq şüalandırılmışdır. Nümunələrin impedans spektrləri şüalanmadan öncə və sonra müqaisəli tədqiq edilmişdir. Komplek impedans spektroskopiyasından keçiriciliyin təbiəti və metal – yarımkeçirici keçid temperaturu müəyyən edilmişdir. Neytron selinin təsir müddətinin artması ilə polyarlaşmanın artması müşahidə olunmuşdur və təcrübələrdə müşahidə olunmuş bütün effektlərin mexanizmləri verilmişdir.

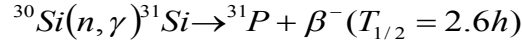
Ölçmələr zamanı nümunələrin impedans spektrləri temperaturun funksiyası kimi tezliyin müxtəlif sabit qiymətlərində nəzərdən keçirilmişdir. Təcrübələr tezliyin 0.1Hz – 2.5MHz aralığında 88 müxtəlif sabit qiymətlərində aparılmışdır və ölçmələr zamanı məlum olmuşdur ki, tezliyin müxtəlif qiymətlərində impedans spektrləri fərqlidir. Tezlik aralığının geniş olduğunu və sabit qiymətlərin çoxluğunu nəzərə alaraq bu tezlik aralıkları şərti olaraq üç qrupa ayrılmışdır. Hər qrupda 2 tezlik olmaqla ümumilikdə 6 sabit tezlik oblastında impedans spektrləri temperaturun funksiyası kimi nəzərdən keçirilmişdir. Birinci qrupu şərti olaraq aşağı tezliklər (0.1Hz və 10Hz) oblastı, ikinci qrupu orta tezliklər (1kHz və 0.1MHz) oblastı və üçüncü qrupu yüksək tezliklər (1MHz və 2.5MHz) oblastına ayırmaq olar. İlk olaraq aşağı tezlik oblastında impedansın temperatur asılılıqları nəzərdən keçirilmişdir (Şəkil 21).



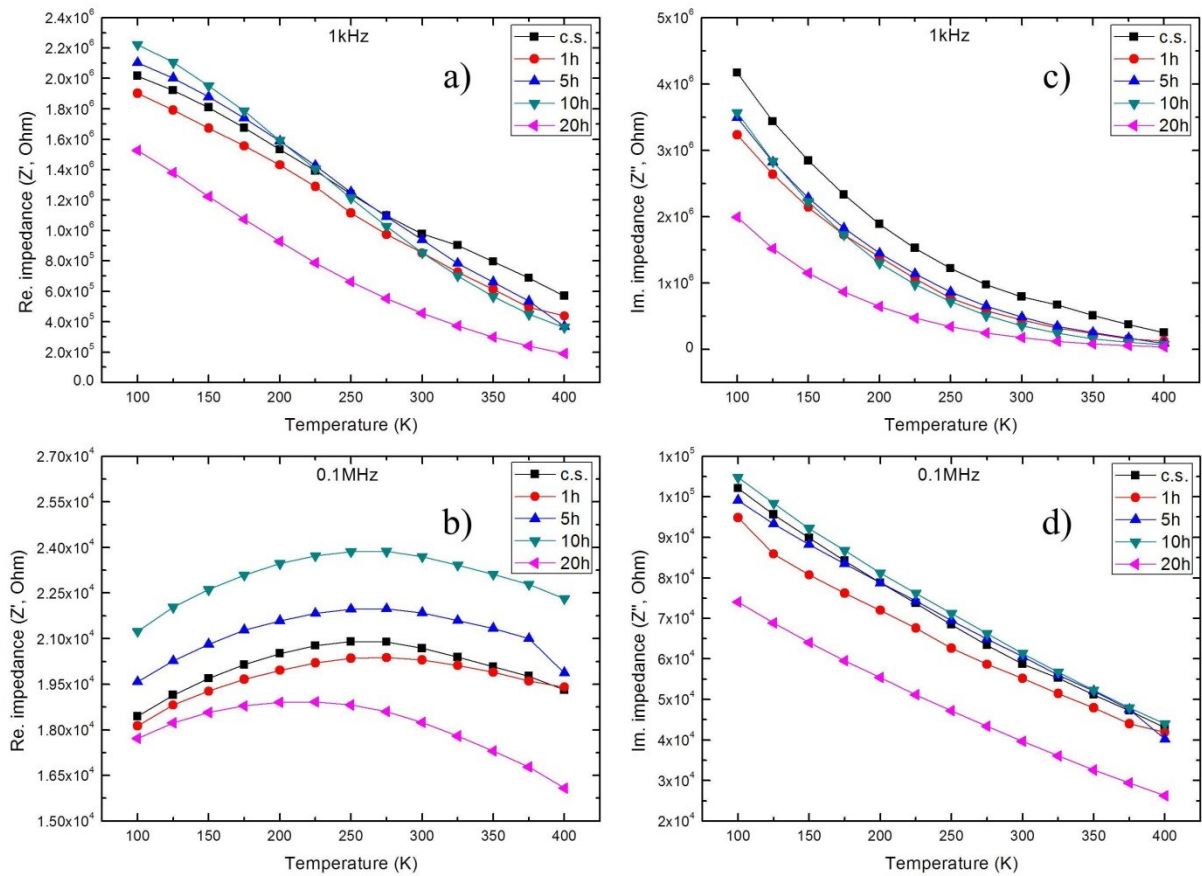
**Şəkil 21.** İlk halda (c.s.) və müxtəlif müddətlərdə (1,5,10,20 saat) neytron selinin təsirinə məruz qalmış nanokristallik 3C-SiC – in aşağı tezlik oblastında müxtəlif tezliklərdə impedans spektrləri

Aşağı tezlik oblastında neytron şüalanmanın təsiri ilə 3C-SiC nanokristallarının impedansında azalmalar müşahidə olunur. Bu isə, şüalanma zamanı yeni yaranan neytron transmutasiya elementləri ilə izah edilə bilər. 3C-SiC nanokristallarında neytron transmutasiya elementləri, <sup>30</sup>Si izotoplarının bir neytron zəpt edərək <sup>31</sup>Si radioaktiv izotoplarına çevirilməsi nəticəsində yaranır.

Neytronlarla şüalanma nəticəsində yaranmış,  $^{31}\text{Si}$  izotopu təqribən 2.6 saat yarımparçalanma müddətinə malik  $\beta$  aktiv izotopdur.  $\beta$  parçalanma nəticəsində  $^{31}\text{Si}$  izotopu  $^{31}\text{P}$  izotopuna çevirilir ki, bu da 3C-SiC nanomaterialında n-tip aşqardır. Neytronlarla şüalanma zamanı  $^{31}\text{P}$  izotopunun yaranması aşağıdakı sxem üzrə baş verir:



Neytronlarla şüalanma nəticəsində yaranmış  $^{31}\text{P}$  izotoplarının konsentrasiyasının artması impedansın ədədi qiymətinin azalmasına səbəb olur. Eyni zamanda, temperaturun artması ilə impedansın ədədi qiyməti azalır. Temperaturun artması ilə impedansın həqiqi hissəsində daha kəskin azalma müşahidə olunur (Şəkil 21a,b). Baxmayaraq ki, impedansın xəyali hissəsində azalma demək olar ki, xətti xarakter daşıyır (Şəkil 21c,d). Ümumi yanaşmada impedansın temperatur asılılıqları həqiqi hissə üçün hiperbolik və xəyali hissə üçün isə xətti xarakterə malikdir. Hər iki halda temperaturun artması ilə elektronların əlavə enerji alması nəticəsində impedansın ədədi qiyməti azalır. Bu isə, 3C-SiC nanokristallarının yarımkəçirici təbiətli olmasının nəticəsidir. Orta tezliklərdə impedansın temperatur asılılığında fərqli situasiya müşahidə olunur (Şəkil 22). Belə ki, orta tezliklər oblastında impedansın temperatur asılılıqları fərqli xarakterə malikdir.



**Şəkil 22.** İkinci halda (c.s.) və müxtəlif müddətlərdə (1,5,10,20 saat) neytron selinin təsirinə məruz qalmış nanokristallik 3C-SiC – in orta tezlik oblastında müxtəlif tezliklərdə impedans spektrləri

Tezliyin 1kHz qiymətində  $f(Z')=f(T)$  asılılıqlarında demək olar ki, xətilik müşahidə olunur (Şəkil 22a). Eyni zamanda neytron şüalanmasının təsir müddətinin və temperaturun artması ilə  $Z'$ -in ədədi qiyməti azalır. Tezliyin nisbətən böyük 0.1MHz qiymətində, təqribən 250K temperatūra qədər temperaturun artması ilə impedansın həqiqi hissəsinin ədədi qiyməti artır (Şəkil 22b). 250K-400K aralığında isə  $f(Z')=f(T)$  asılılıqlarında xarakterik azalma müşahidə olunur. Anoloji hal

nisbətən yüksək tezliklər oblastında da müşahidə olunur (Şəkil 23a,b). 3C-SiC nanokristalları qadğan olunmuş zolağının eni 2.2eV olan yarımkeçirici olduğu üçün tezliyin artması impedans spektrlərində dayışikliyə səbəb olur. Ola bilsin ki, tezliyin nisbətən böyük qiymətlərində 3C-SiC nanokristallarında elektron keçiricilik üstünlük təşkil edir (metallik keçid). Məhz bu səbəbdən, tezliyin 0.1MHz, 1MHz və 2.5MHz qiymətlərində temperaturun uyğun olaraq 250K, 325K və 370K qiymətlərinə qədər impedansın ədədi qiyməti metallik materiallara xas olan xarakterə malik olur (Şəkil 22b, 23a,b). Belə ki, temperaturun artması ilə 0.1MHz, 1MHz və 2.5MHz tezliklərdə impedansın həqiqi hissəsinin ədədi qiyməti artır. Digər tərəfdən, temperaturun müəyyən qiymətindən sonra yarımkeçiricilərə uyğun olaraq temperaturun artması ilə impedans azalır. Bunu isə belə izah etmək olar ki, temperaturun müəyyən qiymətinə qədər yükdaşıyıcılar metallik təbiətlidir. Temperaturun 250K, 325K və 370K qiymətlərindən sonra yarımkeçiricilərə xas xarakteristika müşahidə olunur. Temperaturun 250K, 325K və 370K qiymətləri 3C-SiC nanokristalları üçün metal-yarımkeçirici keçid (metal–semiconductor transition –  $T_{MS}$ ) temperaturudur. Beləliklə, tezliyin 0.1MHz, 1MHz və 2.5MHz qiymətlərinə uyğun olaraq  $T_{MS} = 250K, 325K$  və  $370K$  temperaturlarda 3C-SiC nanokristallarında metal-yarımkeçirici keçidi müşahidə olunur. Eyni zamanda, neytron şüalanmanın təsir müddətinin artması ilə,  $T_{MS}$  – in ədədi qiyməti temperaturun azalması istiqamətində sürüşür. Bunu isə, neytron çevrilmələri, rabitə sürüşməsi (dangling bonds), defekt və ya əlavə yükdaşıyıcıların yaranması ilə izah etmək olar. Qeyd edək ki, real halda sistem, ideal komponentlərlə izah edilə bilmir və tutum (capacitor) sabit faza elementi (constant phase element - CPE) ilə izah edilir. Niquist (Nyquist) yanaşması ilə, elementar müqavimətlər seriyası  $R_g$  (grain resistance -  $R_g$ ), elementar müqavimətin sərhədi  $R_{gb}$  (grain boundary resistance -  $R_{gb}$ ) və impedansın sabit faza elementi  $Z_{CPE}$  (constant phase element impedance -  $Z_{CPE}$ ) ilə kombinasiya olunur. Nümunənin CPE impedansı  $T$  və  $p$  kimi iki komponentlə təyin oluna bilər:

$$Z_{CPE} = \frac{1}{T(j\omega)^p} \quad (13)$$

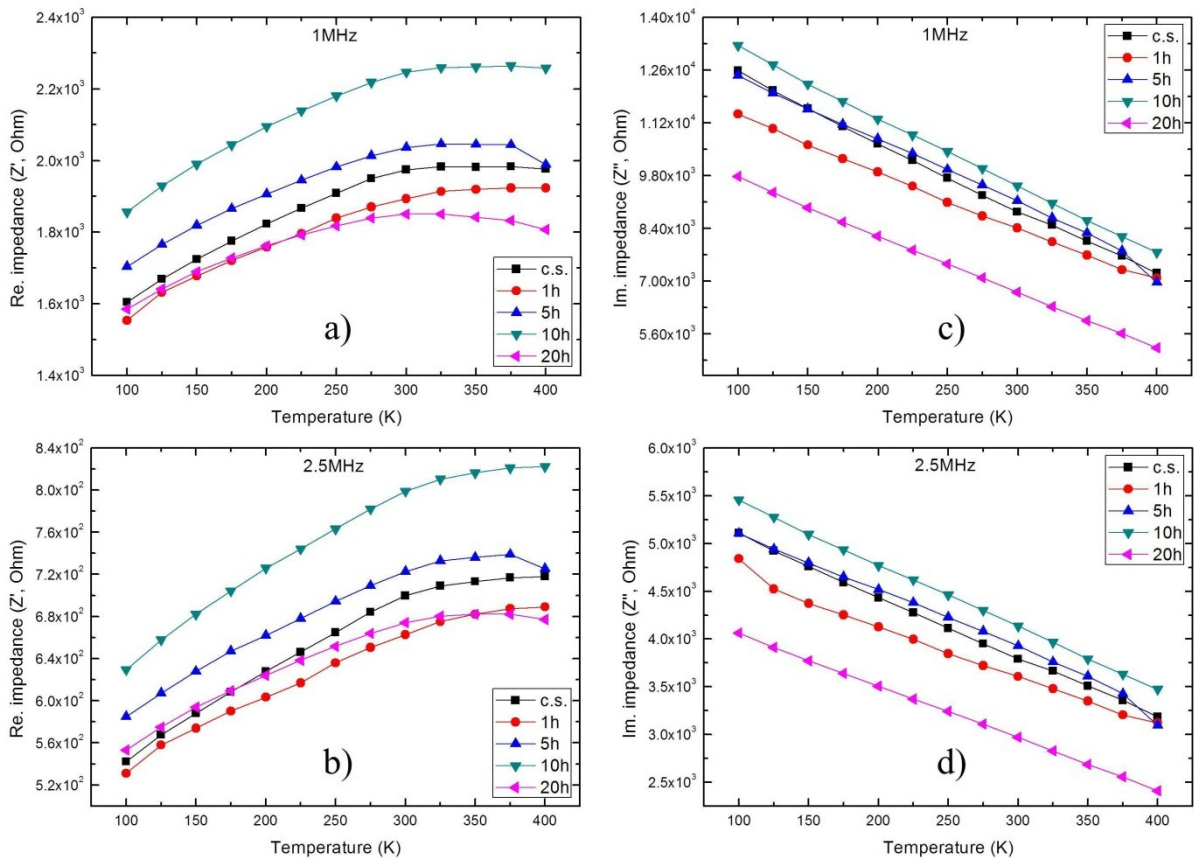
burada  $T$  - tutumun CPE elementinin qiyməti,  $j = \sqrt{-1}$  və  $p$  – eksponensial faktordur ( $0 \leq p \leq 1$ ). Əgər  $p=1$  olarsa, bu elementin tutum təbiətini,  $p=0.5$  olarsa bu Warburg impedansını və əgər  $p=0$  olarsa bu sadə müqavimət halını izah edir. Qeyd etmək önəmlidir ki, son tənlikdə mövcud  $T$  və  $p$  parametrləri temperaturdan asılıdır. Real halda sistemin impedansının həqiqi və xəyali hissələri aşağıdakı bərabərliklərlə ifadə edilə bilər:

$$Z' = R_g + \frac{R_{gb} + \left(1 + R_{gb}T\omega^p \cos\left(\frac{p\pi}{2}\right)\right)}{\left[1 + R_{gb}T\omega^p \cos\left(\frac{p\pi}{2}\right)\right]^2 + \left[R_{gb}T\omega^p \sin\left(\frac{p\pi}{2}\right)\right]^2} \quad (14)$$

$$-Z'' = \frac{R_{gb}^2 T \omega^p \sin\left(\frac{p\pi}{2}\right)}{\left[1 + R_{gb}T\omega^p \cos\left(\frac{p\pi}{2}\right)\right]^2 + \left[R_{gb}T\omega^p \sin\left(\frac{p\pi}{2}\right)\right]^2} \quad (15)$$

Qeyd edək ki,  $R_g$  və  $R_{gb}$  müqavimətləri  $T < T_{MS}$  intervalında temperaturun artması ilə artırlar (metallik davranış - metallic behavior). Eyni zamanda,  $T > T_{MS}$  intervalında  $R_g$  və  $R_{gb}$  müqavimətləri temperaturdan tərs mütənəsb asılıdırlar (yarımkeçiricilik davranışı - semiconducting behavior).

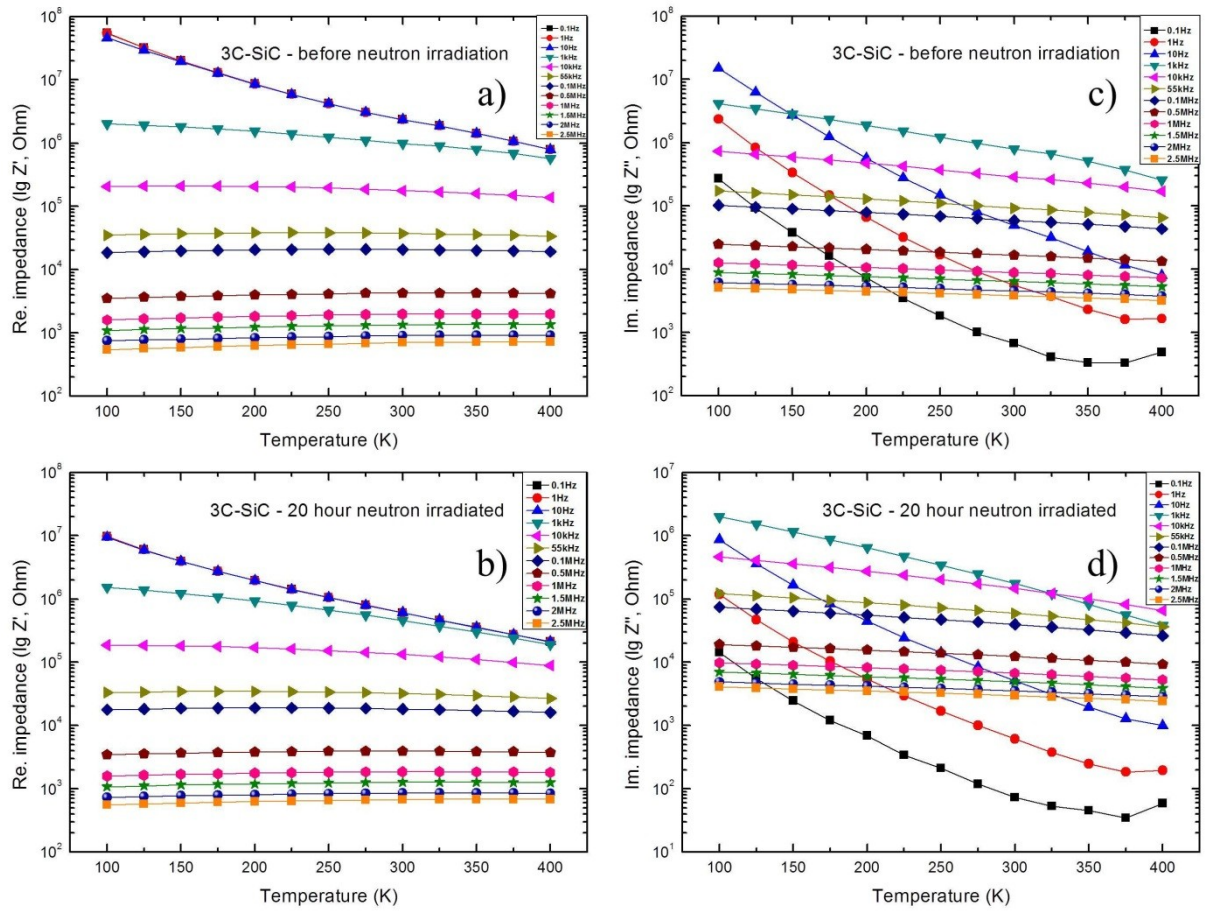
Ədəbiyyatlardan məlumdur ki, digər materiallarda da bu nəticələr müşahidə edilmişdir və qəbul olunandır.



**Şəkil 23.** İkinci halda (c.s.) və müxtəlif müddətlərdə (1,5,10,20 saat) neytron selinin təsirinə məruz qalmış nanokristallik 3C-SiC – in yüksək tezlik oblastında müxtəlif tezliklərdə impedans spektrləri

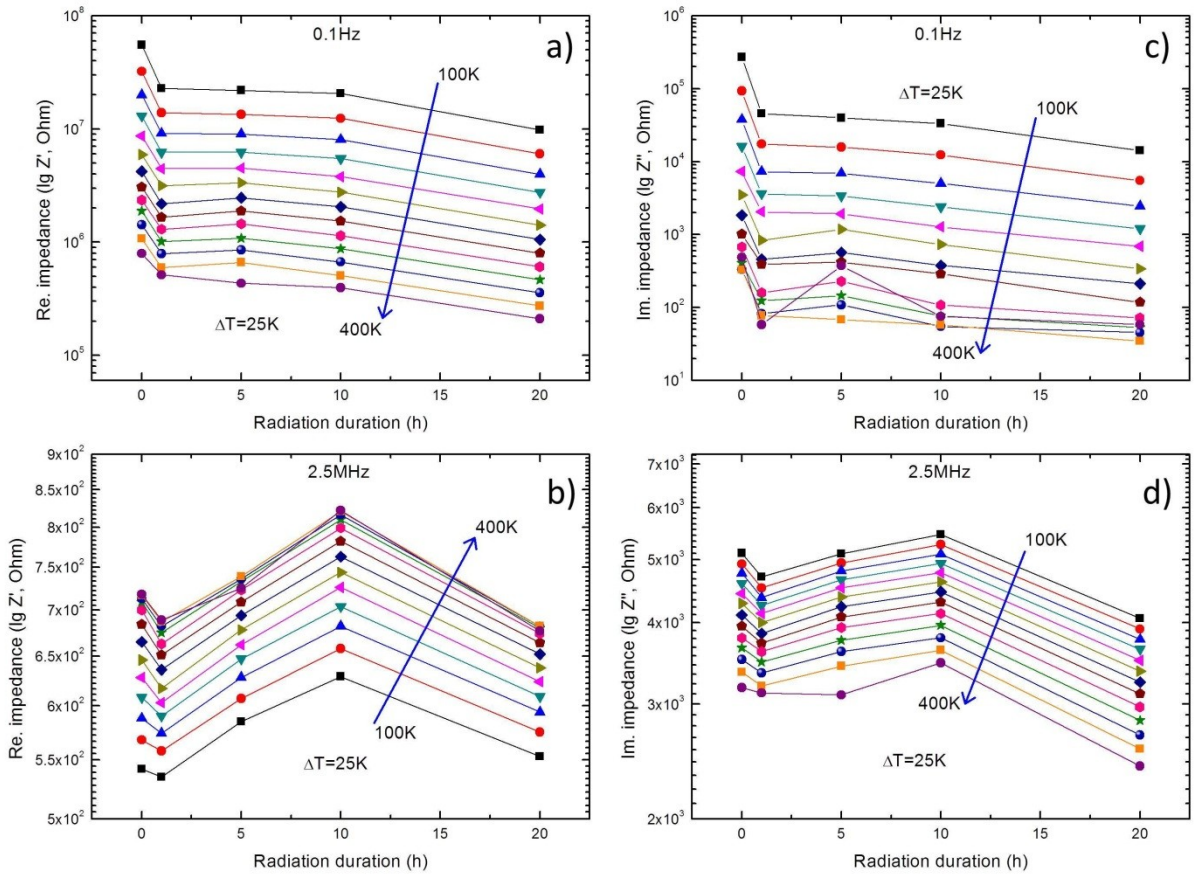
Tezliyin 0.1MHz, 1MHz və 2.5MHz qiymətlərində  $f(Z')=f(T)$  asılılıqlarında mövcud maksimumların temperaturun artması istiqamətinə sürüşməsi açıq aydın müşahidə olunur (Şəkil 22b, 23a,b). Belə ki, 0.1MHz tezlikdə maksimum 250K – də, 1MHz tezlikdə maksimum temperaturun 300K-350K intervalına düşdüyü halda, 2.5MHz tezlikdə maksimum 350K-dən yuxarı temperaturlarda müşahidə olunur. Bunu isə belə izah etmək olar ki, tezliyin artması ilə daha çox elektron keçiricilikdə iştirak edir. Bunun nəticəsində metal-yarımkeçirici keçidi daha yüksək temperaturlarda mümkün olur. Həmçinin, impedansın ədədi qiyməti tezliyin artması ilə azalır və bu bir daha elektron konsentrasiyasının tezlik ilə mütənasib olaraq artmasını təstiqləyir (Şəkil 21,22,23). Digər tərəfdən bütün hallarda impedansın xəyalı hissəsinin temperatur asılılığı demək olar ki xəttidir (Şəkil 21c,d, 22c,d, 23c,d.). Temperaturun və tezliyin artması ilə impedansın xəyalı hissəsinin ədədi qiyməti azalır. Tezliyin 12 fərqli qiymətində impedansın temperatur asılılıqları şüalanmadan öncə və sonra müqaisəli nəzərdən keçirilmişdir (Şəkil 24).





**Şəkil 24.** Şüalanmadan öncə və sonra fərqli tezliklərdə impedans spektrləri temperaturun funksiyası kimi

Tezliyin artması ilə impedansın həqiqi hissəsinin ədədi qiymətinin azalması aşkar müşahidə olunur (Şəkil 24a,b). Eyni zamanda, temperaturun artması ilə nisbətən aşağı tezliklərdə impedansın həqiqi hissəsinin ədədi qiymətinin aşkar azalması müşahidə olunsa da, yüksək tezliklərdə dəyişiklik aşkar görünmür. Bunun isə əsas səbəbi, nisbətən yüksək tezliklərdə temperaturdan asılı olaraq baş verən dəyişikliyin aşağı tezliklərlə müqaisədə daha az olmasıdır. Digər tərəfdən impedansın xəyali hissəsinin temperatur asılılıqlarında aşağı tezliklərdə dəyişmə kəskin müşahidə olunur (Şəkil 24c,d). Xüsusən tezliyin 0.1Hz, 1Hz və 10Hz qiymətlərində temperaturdan asılı olaraq kəskin azalma mövcuddur. Məlumdur ki, impedansın xəyali hissəsinin fiziki mənası sistemdə saxlanılan enerjidir və ya başqa sözlə enerji itkisini xarakterizə edir. Bu yanaşma ilə 0.1Hz, 1Hz və 10Hz tezliklərdə temperaturun təsiri ilə daha az enerji itkisinin mövcudluğunu demək olar ki, bu da qəbul olunandır. Fərqli temperatur və tezliklərdə impedansın həqiqi və xəyali hissələri neytronlarla şüalanma müddətinin funksiyası kimi öyrənilmişdir (Şəkil 25).

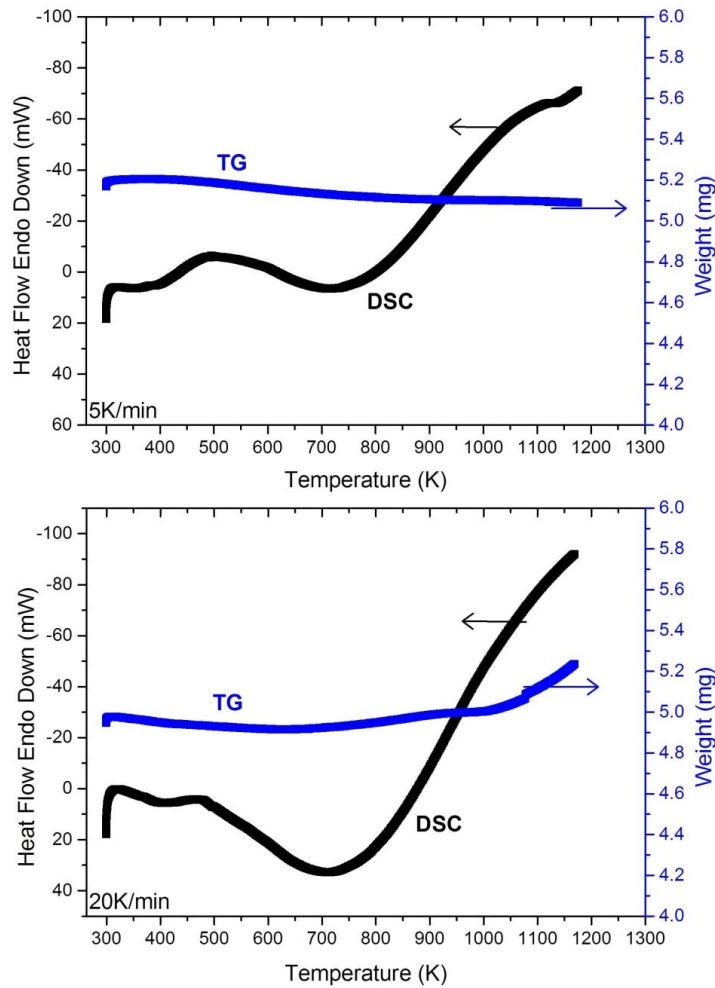


**Şəkil 25.** Nanokristallik 3C-SiC – in impedansının neytronlarla şüalanma müddətindən asılılığı

0.1Hz telikdə nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin impedansının həqiqi və xəyali hissələrinin ədədi qiyməti temperatur və şüalanma müddətinin artması ilə azalır (Şəkil 25a, c). Digər tərəfdən, nisbətən yüksək 2.5MHz tezlikdə impedansın ədədi qiyməti temperaturun artması ilə artır (Şəkil 25b). Bu isə nisbətən yüksək tezliklərdə 3C-SiC nanokristallarında elektron keçiriciliyin (metallik davranışın) mövcudluğunun göstəricisidir. Eyni zamanda, 2.5MHz tezlikdə şüalanma müddətindən asılılıqda xətiklik müşahidə olunur ki, bunu da neytronlarla şüalanma zamanı yaranan aşqar elementlər və defektlərin konsentrasiyası ilə izah etmək olar. Belə ki, neytronlarla şüalanma nəticəsində yeni yaranmış n tip aşqar elementlərin konsentrasiyasının artması ilkin mərhələdə impedansın azalmasına səbəb olur. Nisbətən yüksək tezliklərdə, neytronlarla şüalanmadan sonra (5 və 10 saat) yaranan defekt və digər effektlər daha aşqar müşahidə olunur və nəticədə impedansın qiyməti nisbətən artır. Neytron selinin təsir müddətinin 20 saat qiymətində n tip aşqarların konsentrasiyasının kəskin artması impedansın azalmasına səbəb olur. Anoloji mülahizələri impedansın xəyali hissəsi üçün də söyləmək olar (Şəkil 25d). Ümumi yanaşmada, 3C-SiC nanokristallarının impedansı neytron selinin təsiri ilə azalır. Bunun isə əsas səbəbi neytron transmutasiya elementlərinin şüalanma müddətinə mütənəşib olaraq konsentrasiyasının artmasıdır.

Həmçinin, təqdim olunan işdə nanokristallik 3C-SiC hissəcikləri dörd fərqli isitmə sürətləri (5 K/dəq, 10 K/dəq, 15 K/dəq və 20K/dəq) ilə 300K – 1200K temperatur aralığında tədqiq olunmuşdur. Bütün termik işlənmə sürətlərində (5 K/dəq, 10 K/dəq, 15 K/dəq və 20K/dəq) nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin istilik tutumu, Gibbs enerjisi, sistemin entalpiya və entropiyası təcrübi nəticələrə əsaslanaraq nəzəri hesablanmışdır. Şəkil 26-da qısa olaraq 5 K/dəq və 20K/dəq termik işlənmə sürətlərinə uyğun spektrlər təsvir edilmişdir. İlkin yanaşmada spektrlərdən görüldüyü kimi, atmosferdən adsorbsiya olunan suyun və ya digər aşqar elementlərin sistemdən

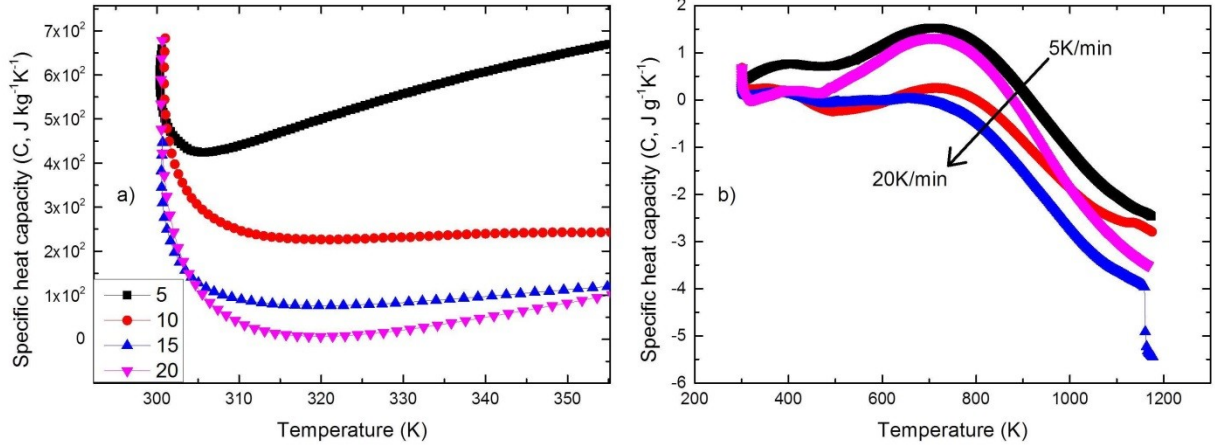
çıxması müşahidə olunur. Məlumdur ki, nanomateriallar çox böyük xüsusi səth sahəsinə (Specific Surface Area - SSA) malikdirlər və bu tip materiallar səthi aktiv olur ki, bu da onların atmosferlə təmasından dərhal su və ya digər birləşmələri nanohissəcik səthində asılı hala salırlar. Aktiv səth ətraf mühütdən H<sub>2</sub>O 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 450 – 500°S qiymətlərində bitir. Temperaturun 500°S qiymətindən 1000°S qiymətinə qədər nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin termik spektrlərində ilkin yanaşmada demək olar ki, dəyişiklik yoxdur.



**Şəkil 26.** Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin fərqli termik işlənmə sürətlərində DSC və TG spektrləri.

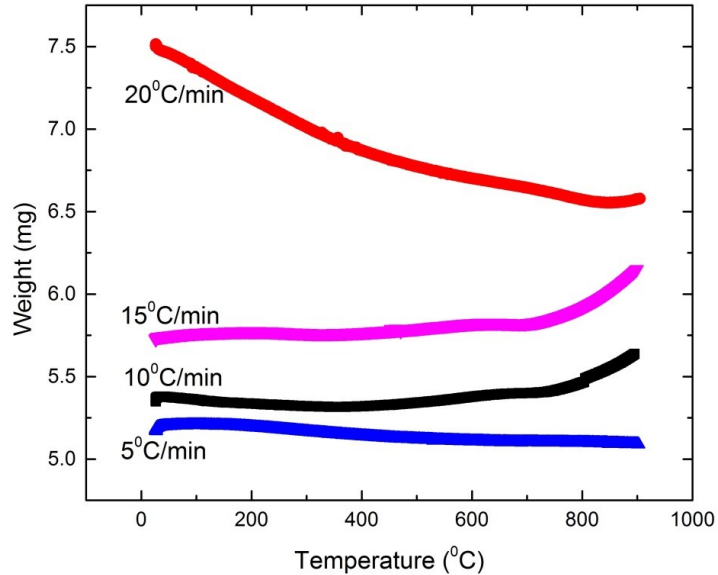
Fərqli termik işlənmə sürətlərində nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin xüsusi istilik tutumunun temperaturdan asılılıq əyriləri şəkil 27-də verilmişdir. Xüsusi istilik tutumunun seçilmiş aşağı temperatur oblastında (300 K – 350 K temperatur aralığında) qızdırılma dərəcəsi ilə mütanasiblik mövcuddur (Şəkil 27a). Lakin, xüsusi istilik tutumunun temperatur asılılığında geniş temperatur (300K – 1200K) oblastında xaotiklik müşahidə olunur (Şəkil 27b). Xüsusi istilik tutumunun ədədi qiyməti aşağı temperatur oblastında SiC üçün xarakterik ( $750 \text{ C} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ) qiymət ətrafındadır. Lakin temperaturun artması ilə kəskin kənarçıxmalar mövcuddur. Temperaturun təqribən  $T \geq 800 \text{ K}$  qiymətlərində xüsusi istilik tutumunun ədədi qiyməti mənfi olur. Bu isə onu deməyə əsas verir ki, nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində  $T \geq 800 \text{ K}$  temperaturlarda eksotermik effektlər müşahidə olunur. Belə ki, bu halda təcrübə aparılan cihazda nümunə olan qabın (pənin)

temperaturu nünün temperaturundan aşağıdır. Digər tərəfdən xüsusi istilik tutumunun ədədi qiyməti temperaturun 300K-800K aralıklarında müsbətdir və ya ümumi yanaşmada endotermik proseslərə uyğundur.



**Şəkil 27.** Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin fərqli termik işlənmə sürətlərində xüsusi istilik tutumunun temperatur asılılıqları (a seçilmiş aralıqda, b geniş aralıqda).

Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin fərqli termik işlənmə sürətlərində kütləsinin temperaturundan asılı olaraq dəyişmə asılılıqları şəkil 28 – də təsvir edilmişdir.

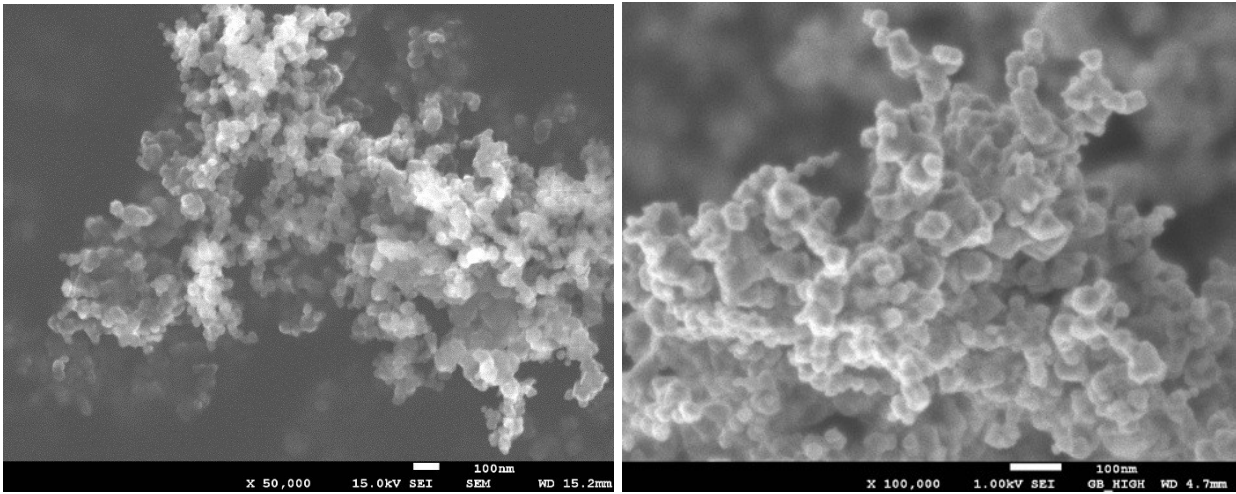


**Şəkil 28.** Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin fərqli termik işlənmə sürətlərində kütləsinin temperaturundan asılı olaraq dəyişməsi

Şəkildən görüldüyü kimi, temperaturun artması ilə ümumi yanaşmada kütlədə çox az dəyişmə müşahidə olunur. İlk öncə qeyd etmək lazımdır ki, aparılan eksperimentlərdən alınan nəticələr başlanğıc kütlənin ədədi qiymətindən asılı deyil və başlanğıc kütlənin fərqli olması tam texniki xarakterlidir ki, bu da heç bir fiziki məna kəsb etmir. Temperaturun təqribən  $T < 800^{\circ}\text{S}$  qiymətində az miqdarda azalma müşahidə olunur ki, bunu da nümunə daxilinə adsorbsiya olunmuş əlavə qatışıqlarla izah etmək olar. Lakin temperaturun təqribən  $T > 800^{\circ}\text{S}$  qiymətindən başlayaraq kütlədə az miqdarda artma müşahidə olunur. Bunun isə səbəbi oksidləşmə ola bilər, lakin bunu təstiqləmək üçün daha çox analitik işlərə ehtiyac vardır. "Pyris Manger" proqram təminatının

köməyi ilə oksidləşmə dərəcəsinin temperatur asılılığı çıxarılmışdır. Məlum olmuşdur ki, nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində temperaturun 1270 K qiymətinə qədər oksidləşmə çox azdır. Xüsusən temperaturun təqribən 1000K qiymətinə qədər oksidləşmə demək olar ki yoxdur. Lakin temperaturun 1000K – dən böyük qiymətlərində çox cüzi oksidləşmə müşahidə olunur və praktik olaraq ümumi yanaşmada oksidləmə dərəcəsi sıfıra yaxındır. Bu isə bir daha bu tip materialların yüksək temperaturda oksidləşməyə dayanıqlı olmasını sübut edir.

Təcrübələr zamanı nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin SEM şəkilləri müxtəlif mikro və nano ölçülü təsvirlərdə və fərqli böyütmə ilə çəkilmişdir (nümunə olaraq burda sadəcə iki təsvir verilmişdir). Şəkillərin mikron ölçülü aşağı böyütmə tərtiblərində çəkilməsində əsas məqsəd uzaq fondan nümunədə nanohissəciklərin birləşməsini (adhesion) müşahidə etməkdir. Belə ki, əgər nanohissəciklər birləşərək mikro ölçülərdə klaster əmələ gətirərsə, bu halda mövcud klasterləri SEM qurğusunda müşahidə etmək daha əlverişlidir. Məhz bu səbəbdən aparılan tədqiqatlarda, ilkin yanaşmada SEM qurğusunda alınan təsvirlər nəzərdən keçirilmişdir (Şəkil 29). SEM analizlərindən məlum olmuşdur ki, ilkin yanaşmada SiC nanohissəcikləri demək olar ki, aqlomerasiyaya (agglomerated) uğramır. Bu isə, bizə növbəti mərhələlərdə nümunələrin həqiqətən də ölçüləri təqribən 18-20nm olan “nano nümunə” olduğunu deməyə əsas verir.



**Şəkil 29.** SiC nanohissəciklərinin SEM mikroqrafiyasında fərqli böyütmələrdə təxmin edilən 18 – 20 nanometirlik hissəcik ölçüləri

Layihənin yerinə yetirilməsi zamanı TRIGA Mark II tipli tədqiqat reaktorunda neytron seli ilə modifikasiya olunma, VAX,  $k_0$ -INAA, INAA, DTA, TGA, DSC, TG, SEM, EPR, impedans və qamma spektroskopik ölçmə üsul və yanaşmalarından istifadə edilmişdir.

Cari işdə təcrübələrin bir qismi “Perkin Elmer” STA 6000 cihazında yerinə yetirilmişdir. “Perkin Elmer” STA 6000 cihazında işçi oblast 290K-1273K, termik işləmə sürəti 5, 10, 15 və 20 K/dəq, PolyScience analizatoru və “digital temperature controller” soyuducu sistemidir. “Pyris Manger” proqram təminatından istifadə olunaraq kinetik parametrlər təyin olunmuşdur. Yanma məhsullarının sistemdən xaric edilməsi və kondensasiya prosesinin qarşısının alınması məqsədi ilə arqon təsirsiz qazından istifadə edilmiş və sistemə 20 ml/dəq sürət ilə verilir. Standart 177,78 mg alminium–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. Proqram təminatı avtomatlaşdırılmış qaydada nümunə ilə dolu pənin kütləsi ilə boş pənin kütlə fərqin təyin edir. Təyin olunmuş kütlə proqram təminatında yaddaşda saxlanılır. Termik spektrlərdə yaranan endo və ekzotermik effektlərin parametrləri “Calculation” menyusundan istifadə olunmaqla hesablanır.

Nümunələrin SEM nanalizləri ZEISS, SIGMA VP cihazında yerinə yetirilmişdir. SEM

qurğusunda elektron mənbə kimi sirkonium halqasına daxil edilmiş volfram elementindən istifadə edilmişdir. Cihazda gərginlik üçün işçi rejim  $100 \text{ V} \pm 30 \text{ keV}$  arasında, şüa mənbəyi ilə nümunə arasında işçi məsafə  $\leq 15 \text{ mm}$  kimi götürülmüşdür. Nümunə hazırlığı xüsusi seçilmiş lobaratoriya şəraitində karbon altlıqların üzərinə çəkilir və gümüş yuvacılara yerləşdirilir. Nümunələr kameraya yerləşdirildikdən sonra turbo molekulyar nasoslar vasitəsi ilə  $10^{-7} \text{ Pa}$  vakum şəraiti yaradılır. Yüksək vakumun yaradılmasında məqsəd elektronların sərbəst qaçış yolunu uzatmaq, elastiki və ya qeyri-elastiki toqquşma ehtimalının azaldılmasıdır.

Nano SiC xüsusi alüminium silindr içərisində şüalandırılıb. Toz halında nano SiC – in sıxlığı  $\rho_{\text{toz}} = 0,03 \text{ q/sm}^3$  (qabda sıxlığı təqribən  $\sim 0,1 \text{ q/sm}^3$ ), kütləsi təqribən  $\sim 0,7 \text{ q}$  olan nümunə xüsusi presformada sıxılaraq silindir formasına salınıb və onun parametrləri belədir:  $\rho_{\text{tablet}} = \sim 3,2 \text{ q/sm}^3$ ,  $V_{\text{tablet}} \sim 0,2 \text{ sm}^3$ ,  $S_{\text{tablet}} \sim 2 \text{ sm}^2$ . Nümunələr neytron selinin  $2 \times 10^{13} \text{ n/sm}^2$  san intensivliyində şüalandırılıb. Tədqiq olunan nümunələrin udulma dozasının qiymətləri toz və tablet şəklində olan nümunələrin həndəsi ölçüləri, şüalanmanın intensivliyi, şüalanma vaxtları, təsir edən neytron selinin sıxlığı və neytronların energetik spektrlərinə əsasən təyin edilmişdir. Neytronla qarşılıqlı təsirdən sonra nano SiC – in tərkibində yaranan radionuklidlər “Ortec HPGe detectors (Coaxial, Low and Well-Type)” və “Canberra coaxial HPGe detector” spektrometrlərində analiz olunub. Şüalanmış nümunələrin radioaktivliyi və izotop tərkibi ədəbiyyatlardan məlum metodikası üzrə təyin edilib.

Neytron seli ilə şüalanmadan öncə və sonra nümunələrin  $V - A$  xarakteristikaları “Keithley 238 High Current Source Measurement Unit” cihazında ölçülmüşdür. Bütün təcrübələr otaq temperaturunda gərginliyin  $-100 \text{ V} - +100 \text{ V}$  aralığında və  $5 \text{ V}$  addımla aparılmışdır. Histerik ölçmələr aparılmışdır (gərginliyin  $-100 \text{ V}$  qiymətindən  $+100$  qiymətinə qədər və əksinə). Ölçmələr zamanı altlıq olaraq mis lövhədən istifadə edilmiş və üst tərəfdən kontakt tipi idarə edilmişdir. Bütün təcrübələrdə hər nümunə üçün fərqli kontakt vəziyyətlərində 3 dəfə təkrar ölçmələr aparılmışdır (elektrod effektinin azaldılması və nəticələrin dəqiqliyinin artırılması məqsədilə). Cihaz “LabView” proqramı ilə idarə olunmuş və alınmış bütün qiymətlər digər proqramların tanıyabilecəyi formata çevrilmişdir.

Nano 3C-SiC Sloveniyanın Lyublyana şəhərində Jozef Stefan İnstitutunun “Reaktor Mərkəzində” TRIGA Mark II yüngül su (light water pool type reactor) tipli tədqiqat reaktorunda mərkəzi (kanal A1) kanalda  $2 \times 10^{13} \text{ n/sm}^2$  san sel sıxlığına malik neytron seli ilə tam güc rejimində ( $250 \text{ kVt}$ ) şüalandırılmışdır. Neytron seli reaktor tam güc rejimində işlədikdə aşağıdakı tərkib hissəyə malikdir: termal neytronlar üçün  $5,107 \times 10^{12} \text{ n/sm}^2$  san ( $1 \pm 0,0008$ ,  $E_n < 625 \text{ eV}$ ), epitermal neytronlar üçün  $6,502 \times 10^{12} \text{ n/sm}^2$  san ( $1 \pm 0,0008$ ,  $E_n \sim 625 \text{ eV} \div 0,1 \text{ MeV}$ ), sürətli neytronlar üçün  $7,585 \times 10^{12} \text{ n/sm}^2$  san ( $1 \pm 0,0007$ ,  $E_n > 0,1 \text{ MeV}$ ) və nəhayət bütün neytronlar üçün mərkəzi kanalda sel sıxlığı  $1,920 \times 10^{13} \text{ n/sm}^2$  san ( $1 \pm 0,0005$ ) kimidir.

Neytronlarla şüalanmış nano 3C-SiC – in impedans spektrləri Jozef Stefan İnstitutunun “Bərk Maddə Fizikası F5” lobaratoriyasında “Novocontrol Alpha High Resolution Dielectric Analyzer” cihazında tezliyin  $10^{-6} \text{ Hz}$  və temperaturun isə  $10^{-2} \text{ K}$  dəqiqliyi ilə ölçülmüşdür. Buna paralel olaraq ölçmələrin bir hissəsi AMEA, Radiasiya Problemləri İnstitutunda E7-20 analoq cihazında aparılmışdır. Neytronla şüalandırma və neytron selinin xarakterik parametrlərinin təyini ədəbiyyatlarda məlum metodika ilə aparılmışdır. Hazırlanmış nümunələr reaktorun kanallarına uyğun alüminium konteynerdə yerləşdirilmişdir. Neytron selinin təsiri nəticəsində nümunələrin aktivliyi  $3 \text{ GBq}$  – ə qədər artmışdır. Bu səbəbdən bütün ölçmələr neytron selinin təsirindən təqribən 500 saat sonra aparılmışdır. Şüalanmadan sonra nümunələrin səthinə xüsusi şəraitdə gümüş kontaktlar vurulub və onun keyfiyyəti yoxlanılıb (Ögussa, Leitsilber 200). Püskürtmə üsulu ilə üst təbəqədə alınmış Cr/Au elektrodlarından istifadə edilmişdir. Sonda nümunələr iki platin lövhələr arasına alınaraq ölçmələr aparılmışdır. Nümunələrin dielektrik nüfuzluğu “Novocontrol Alpha High Resolution Dielectric Analyzer” cihazında dəyişən sahə üçün ( $\sim 1 \text{ V}$ ) temperaturun  $100 - 400 \text{ K}$  intervalında ölçülmüşdür. Ölçmələr zamanı temperaturun hər hansı dərəcədə saxlanma dəqiqliyi  $10^{-2} \text{ K}$  kimi olmuşdur və bu dəqiqlik körpü metodu ilə əldə edilmişdir.

	<p>Təcrübələrdə alınmış və sonradan nəzəri olaraq hesablanmış qiymətlərə uyğun alınan bütün nəticələr "OriginPro 9.1" programında qrafik olaraq təsvir edilmişdir.</p>
2	<p>Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (faizlə qiymətləndirməli)</p>
	<p>Layihə çərçivəsində nanokristallik 3C-SiC hissəcikləri fiziki xassələrin müqaisəli öyrənilməsi məqsədi ilə fərqli hallarda və müddətlərdə neytron seli ilə modifikasiya olunması nəzərdə tutulmuşdur. Layihənin planına uyğun olaraq cari işdə nanokristallik 3C-SiC hissəcikləri neytron seli ilə modifikasiya olunmuş və INAA üsulu ilə tədqiq edilmişdir. Eyni zamanda layihə çərçivəsində neytron seli ilə modifikasiya olunmuş nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin fiziki xassələrinin fərqli spektroskopik yanaşmalarla öyrənilməsi nəzərdə tutulmuşdur. Layihənin planına uyğun olaraq neytron seli ilə modifikasiya olunmuş nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin impedans spektrləri müqaisəli tədqiq edilmişdir. Əlavə olaraq şüalanmadan sonra məqsədə uyğun olaraq ilkin yanaşmada V-A xarakteristikası öyrənilmişdir. Eyni zamanda, EPR spektroskopiyası ilə təcrübələr aparılmış, alınmış nəticələr emal edilmişdir. Ümumi yanaşmada, layihənin icrası müddətində VAX, <math>k_0</math>-INAA, INAA, DTA, TGA, DSC, TG, SEM, EPR, impedans və gamma spektroskopik ölçmə üsullarından istifadə olunaraq bir sıra elmi işlər yerinə yetirilmişdir. Beləliklə, ilkin yanaşmada plan tam olaraq yerinə yetirilmişdir. Lakin nəzərə alsaq ki, bəzi xırda nəzəri hesablama işləri tamamlanmayıb, o zaman cari işdə planın təqribən 95-98% yerinə yetirildiyin deyə bilərik.</p>
3	<p>Hesabat dövründə alınmış <b>elmi nəticələr</b> (onların yenilik dərəcəsi, elmi və təcrübə əhəmiyyəti, nəticələrin istifadəsi və tətbiqi mümkün olan sahələr aydın şəkildə göstərilməlidir)</p>
	<p>Neytron selinin təsiri altında nano SiC – də əmələ gələn radioaktiv izotopların identifikasiyası aparılıb. Nümunələrin aktivliyinin şüalanma vaxtından asılılıqları tədqiq olunub. Müəyyən olunub ki, nümunə daxilində qarışıq elementlərinin ilkin aktivlikləri və yaşama müddətləri bir – birindən kəskin fərqlənir. Belə ki, neytron seli ilə şüalanmış nano SiC – də mövcud aşqar izotopların ilkin aktivlikləri 0.02kBq – 3GBq intervalında dəyişir. Aşkar olunmuş izotopların radioaktivliklərinin müşahidə vaxtından asılılıqları və qarışıq elementlərinin tipi təyin edilib. Tədqiq olunmuş nano SiC nümunələrində nisbətən böyük yarımparçalanma vaxtına malik izotoplar aşkar olunub ki, onların şüalanmadan sonrakı dövrdə nano SiC – in fiziki xassələrinin şərhində nəzərə alınması təklif olunur.</p> <p>Neytronlarla şüalanmadan sonra 3C-SiC nanokristallarının V – A xarakteristikasında bucaq sürüşməsi (slope) müşahidə olunmuşdur. Şüalanmadan sonra əyriyənin gərginlik oxu ilə əmələ gətirdiyi bucağın artması nümunənin müqavimətinin azalmasının göstəricisidir. Bucaq sürüşməsindən (slope) məlum olmuşdur ki, 3C-SiC nanokristallarının müqaviməti neytronlarla şüalanmadan sonra təqribən 4 MΩ-dan 1 MΩ-a qədər azalmışdır. Bu azalmanın səbəbi, neytronlarla çevrilmələr, rabitə sürüşməsi (dangling bonds), defekt və ya əlavə yükdaşıyıcıların mövcudluğu ilə əlaqələndirilir. Eyni zamanda, Fowler–Nordheim asılılıqlarından 3C-SiC nanokristallarında birbaşa tunel keçidinin olması məlum olmuşdur. Təcrübələr aparılan temperaturda 3C-SiC nanokristallarında sahə emmissiyası müşahidə olunmur və proses birbaşa tunel hadisəsinə əsaslanır. Əlavə olaraq, Fowler–Nordheim asılılıqlarından məlum olmuşdur ki, 3C-SiC nanokristallarında şüalanmadan öncə və sonra termal aktivlik bütün aralıqlarda dominantdır.</p> <p>Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin kompleks impedans spektroskopiyasından keçiriciliyin əsasən yarımkeçiricilik davranışı müəyyən edilmişdir. Eyni zamanda, ilk dəfə olaraq, tezliyin 0.1MHz, 1MHz və 2.5MHz qiymətlərinə uyğun olaraq <math>T_{MS} = 250K, 325K</math> və <math>370K</math> temperaturlarda 3C-SiC nanokristallarında metal-yarımkeçirici keçidi müşahidə olurlar. Ümumi yanaşmada, <math>f \geq 0.1MHz</math> tezlik və <math>T &lt; T_{MS}</math> temperatur intervallarında 3C-SiC nanokristallarında metallik davranış müşahidə olunur. Neytron çevrilmələri, rabitə sürüşməsi (dangling bonds), defekt və ya əlavə yükdaşıyıcıların yaranması nəticəsində <math>T_{MS}</math> – in ədədi qiyməti şüalanma müddətinə mütənəsb</p>

olaraq azalması ilk dəfə olaraq göstərilmişdir. Əlavə olaraq, müəyyən olunmuşdur ki, neytron çevrilmələri ilə yaranan yeni  $^{31}\text{P}$  izotoplarının konsentrasiyasının artması ümumi yanaşmada impedansın azalmasına səbəb olur.

Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində g faktorun 2.006 qiymətində güclü siqnal müşahidə edilmişdir. Neytronlarla şüalanmadan sonra mövcud siqnal intensivliyində artma və yeni siqnallar müşahidə olunmuşdur. Neytronlarla şüalanma zamanı nanokristallik 3C-SiC – də əlavə  $^{29}\text{Si}$  və ya  $^{13}\text{C}$  izotoplarının yaranması aşkar olunmuşdur. Eyni zamanda neytronlarla şüalanma anizotropik və izotropik HF strukturlu Si ( $V_{\text{Si}}^-$ ) və C ( $V_{\text{C}}^+$ ) vakansiyalarının yaranmasına səbəb olur. Yaranmış yeni izotopların,  $V_{\text{Si}}^-$  və  $V_{\text{C}}^+$  vakansiyaların konsentrasiyasının artması yeni paramaqnit mərkəzlərin yaranmasına səbəb olmuşdur. Belə ki, neytronlarla şüalanmadan sonra g – faktorun fərqli qiymətlərində paramaqnit mərkəzlərin ümumi sayı  $1.5 \times 10^{20}$  mərkəz/q – dan  $2.7 \times 10^{20}$  mərkəz/q qədər artır (təqribən iki dəfə). Həmçinin, neytronlarla şüalanma müddətinin artması sərbəst elektronlara uyğun mərkəzlərin (g – faktorun 2.006 qiymətində) sayının da təqribən iki dəfəyə qədər artmasına səbəb olur ( $1.03 \times 10^{18}$  mərkəz/q – dan  $1.9 \times 10^{18}$  mərkəz/q qədər).

Aparılan elmi tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, nanokristallik 3C-SiC hissəcikləri neytron seli ilə müxtəlif hallarda aşqarlana bilər və bu da elektronikada çox böyük praktik əhəmiyyətə malikdir. Beləliklə layihə çərçivəsində alınmış yeni xüsusiyyətli nanomaterial aşağıda sadalanan bir neçə sahədə tətbiq oluna bilər: mikroelektronika, nanoelektronika, mikroelektromexaniki sistemlərdə (MEMS), nanoelektromexaniki sistemlərdə (NEMS), ionlaşdırıcı mühitlərdə (peyk (fəza) texnologiyalarında, nüvə texnologiyalarında və s.).

4 Layihə üzrə **elmi nəşrlər** (elmi jurnallarda məqalələr, monoqrafiyalar, icmaller, 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) *(sürətlərini kağız üzərində və CD şəklinə əlavə etməli!)*

Layihə üzrə beş elmi iş dərc olunmuşdur

1. Elchin Huseynov, Anze Jazbec, Luka Snoj "Temperature vs. impedance dependencies of neutron-irradiated nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC)" Applied Physics A 125.1, pp.91-98, 2019
2. Elchin Huseynov, Anze Jazbec "EPR spectroscopic studies of neutron-irradiated nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC)" Silicon 11, 1-7, 2019 (*Springer*)
3. Elchin M. Huseynov "Current-voltage characteristics of neutron irradiated nanocrystalline silicon carbide (3CSiC)" Physica B: Condensed Matter 544, 23-27, 2018 (*Elsevier*)
4. Elchin M. Huseynov "Dielectric loss of neutron-irradiated nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC) as a function of frequency and temperature" Solid State Sciences 84, 44-50, 2018 (*Elsevier*)
5. Elchin M. Huseynov "Neutron irradiation, amorphous transformation and agglomeration effects on the permittivity of nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC)" NANO 13/3, 1830002, 2018 (*WorldScientific*)

5 İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər  
*(burada doldurmalı)*

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)

Jozef Stefan İnstitutu, Lyubliyan, Sloveniya, 07.10.2018-20.10.2018 (elmi tədqiqat məqsədi ilə). Ezamiyyə zamanı nümunələr neytron seli ilə modifikasiya olunmuşdur və şüalanmış nümunələrin neytron aktivləşmə analizləri (INAA (Instrumental Neutron Activation Analysis) metodu ilə) aparılmışdır.

7 Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (əgər varsa)



	<i>(burada doldurulmalı)</i>
8	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak <i>(burada doldurulmalı)</i>
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) Elchin M. Huseynov "Impedance study of neutron-irradiated nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC) as a function of temperature" 27th International Conference Nuclear Energy for New Europe, 95-96/148, September 10 – 13, 2018, Portoroz, Slovenia (online presentation)
10	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar, komplektləşdirmə məmulatları <i>(burada doldurulmalı)</i>
11	Yerli həmkarlarla əlaqələr <i>(burada doldurulmalı)</i>
12	Xarici həmkarlarla əlaqələr <i>(burada doldurulmalı)</i>
13	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (əgər varsa) <i>(burada doldurulmalı)</i>
14	Sərgilərdə iştirak (əgər baş tutubsa) <i>(burada doldurulmalı)</i>
15	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (əgər baş tutubsa) <i>(burada doldurulmalı)</i>
16	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (məlumatı tam şəkildə göstərilməlidir) <i>(burada doldurulmalı)</i>

**SİFARIŞÇI:**  
**Elmin İnkişafı Fondu**

**İCRAÇI:**

**Baş məsləhətçi**  
**Quliyeva Mülayim Sahib qızı**

**Layihə rəhbəri**  
**Hüseynov Elçin Məmmədəli oğlu**

\_\_\_\_\_  
*(imza)*

“ \_ ” \_\_\_\_\_ 201\_ -cu il

\_\_\_\_\_  
*(imza)*

“ \_ ” \_\_\_\_\_ 201\_ -cu il



**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA**  
**ELMİN İNKİŞAFI FONDU**

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında  
Elmin İnkişafı Fondunun Gənc alim və mütəxəssislərin  
4-cü birgə "Mənim ilk qrantım" müsabiqəsinin  
(EIF/GAM-4-BGM-GİN-2017-3(29)) qalibi olmuş  
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

**ALINMIŞ NƏTİCƏLƏRİN ƏMƏLİ (TƏCRÜBİ) HƏYATA KEÇİRİLMƏSİ**  
**VƏ LAYİHƏNİN NƏTİCƏLƏRİNDƏN GƏLƏCƏK TƏDQIQATLARD**  
**İSTİFADƏ PERSPEKTİVLƏRİ HAQQINDA**  
**MƏLUMAT VƏRƏQİ**  
**(Qaydalar üzrə Əlavə 16)**

Layihənin adı: **Yeni nəsil nanoelektronikada 3C-SiC nanokristallarının tətbiqi zamanı fiziki xassələrin neytron seli ilə idarə edilməsi**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Hüseynov Elçin Məmmədəli oğlu**

Qrantın məbləği: **50 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF/GAM-4-BGM-GİN-2017-3(29)-19/01/1-M-14**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **10 aprel 2018-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **12 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 may 2018-ci il – 01 may 2019-cü il**

**1. Layihənin nəticələrinin əməli (təcrübi) həyata keçirilməsi**

**1** Layihənin əsas əməli (təcrübi) nəticələri, bu nəticələrin məlum analoqlar ilə müqayisəli xarakteristikası

Neytron selinin təsiri altında nano SiC – də əmələ gələn radioaktiv izotopların identifikasiyası aparılıb. Nümunələrin aktivliyinin şüalanma vaxtından asılılıqları tədqiq olunub. Müəyyən olunub ki, nümunə daxilində qarışıq elementlərinin ilkin aktivlikləri və yaşama müddətləri bir – birindən kəskin fərqlənir. Belə ki, neytron seli ilə şüalanmış nano SiC – də mövcud aşqar izotopların ilkin aktivlikləri 0.02kBq – 3GBq intervalında dəyişir. Aşkar olunmuş izotopların radioaktivliklərinin müşahidə vaxtından asılılıqları və qarışıq elementlərinin tipi təyin edilib. Tədqiq olunmuş nano SiC nümunələrində nisbətən böyük yarımparçalanma vaxtına malik izotoplar aşkar olunub ki, onların şüalanmadan sonrakı dövrdə nano SiC – in fiziki xassələrinin şərhində nəzərə alınması təklif olunur.

Neytronlarla şüalanmadan sonra 3C-SiC nanokristallarının V – A xarakteristikasında bucaq sürüşməsi (slope) müşahidə olunmuşdur. Şüalanmadan sonra əyrilərin gərginlik oxu ilə əmələ gətirdiyi bucağın artması nümunənin müqavimətinin azalmasının göstəricisidir. Bucaq

sürüşməsindən (slope) məlum olmuşdur ki, 3C-SiC nanokristallarının müqaviməti neytronlarla şüalanmadan sonra təqribən 4 MΩ-dan 1 MΩ-a qədər azalmışdır. Bu azalmanın səbəbi, neytronlarla çevrilmələr, rabitə sürüşməsi (dangling bonds), defekt və ya əlavə yükdaşıyıcıların mövcudluğu ilə əlaqələndirilir. Eyni zamanda, Fowler–Nordheim asılılıqlarından 3C-SiC nanokristallarında birbaşa tunel keçidinin olması məlum olmuşdur. Təcrübələr aparılan temperaturda 3C-SiC nanokristallarında sahə emmissiyası müşahidə olunmur və proses birbaşa tunel hadisəsinə əsaslanır. Əlavə olaraq, Fowler–Nordheim asılılıqlarından məlum olmuşdur ki, 3C-SiC nanokristallarında şüalanmadan öncə və sonra termal aktivlik bütün aralıqlarda dominantdır.

Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərinin komplek impedans spektroskopiyasından keçiriciliyin əsasən yarımkeçiricilik davranışı müəyyən edilmişdir. Eyni zamanda, ilk dəfə olaraq, tezliyin 0.1MHz, 1MHz və 2.5MHz qiymətlərinə uyğun olaraq  $T_{MS} = 250K, 325K$  və  $370K$  temperaturlarda 3C-SiC nanokristallarında metal-yarımkeçirici keçidi müşahidə olurlar. Ümumi yanaşmada,  $f \geq 0.1MHz$  tezlik və  $T < T_{MS}$  temperatur intervallarında 3C-SiC nanokristallarında metallik davranış müşahidə olunur. Neytron çevrilmələri, rabitə sürüşməsi (dangling bonds), defekt və ya əlavə yükdaşıyıcıların yaranması nəticəsində  $T_{MS}$  – in ədədi qiyməti şüalanma müddətinə mütənəsb olaraq azalması ilk dəfə olaraq göstərilmişdir. Əlavə olaraq, müəyyən olunmuşdur ki, neytron çevrilmələri ilə yaranan yeni  $^{31}P$  izotoplarının konsentrasiyasının artması ümumi yanaşmada impedansın azalmasına səbəb olur.

Nanokristallik 3C-SiC hissəciklərində g faktorun 2.006 qiymətində güclü siqnal müşahidə edilmişdir. Neytronlarla şüalanmadan sonra mövcud siqnal intensivliyində artma və yeni siqnallar müşahidə olunmuşdur. Neytronlarla şüalanma zamanı nanokristallik 3C-SiC – də əlavə  $^{29}Si$  və ya  $^{13}C$  izotoplarının yaranması aşkar olunmuşdur. Eyni zamanda neytronlarla şüalanma anizotropik və izotropik HF strukturlu Si ( $V_{Si}^-$ ) və C ( $V_C^+$ ) vakansiyalarının yaranmasına səbəb olur. Yaranmış yeni izotopların,  $V_{Si}^-$  və  $V_C^+$  vakansiyaların konsentrasiyasının artması yeni paramaqnit mərkəzlərin yaranmasına səbəb olmuşdur. Belə ki, neytronlarla şüalanmadan sonra g – faktorun fərqli qiymətlərində paramaqnit mərkəzlərin ümumi sayı  $1.5 \times 10^{20}$  mərkəz/q – dan  $2.7 \times 10^{20}$  mərkəz/q qədər artır (təqribən iki dəfə). Həmçinin, neytronlarla şüalanma müddətinin artması sərbəst elektronlara uyğun mərkəzlərin (g – faktorun 2.006 qiymətində) sayının da təqribən iki dəfəyə qədər artmasına səbəb olur ( $1.03 \times 10^{18}$  mərkəz/q – dan  $1.9 \times 10^{18}$  mərkəz/q qədər).

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 sistemində 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)

Aparılan elmi tədqiqat işlərinin nəticələri hal-hazırda istehsalatda tətbiq edilməmişdir. Lakin, gələcəkdə alınmış nəticələrin mikroelektronika, nanoelektronika, mikroelektromexaniki sistemlərdə (MEMS), nanoelektromexaniki sistemlərdə (NEMS), ionlaşdırıcı mühitlərdə (peyk (fəza) texnologiyalarında, nüvə texnologiyalarında və s.) tətbiqi mümkündür.

## 2. 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)

Aparılan elmi tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, nanokristallik 3C-SiC hissəcikləri neytron seli ilə müxtəlif hallarda aşqarlana bilər və bu da elektronikada çox böyük praktik əhəmiyyətə

malikdir. Beləliklə layihə çərçivəsində alınmış yeni xüsusiyyətli nanomaterial aşağıda sadalanan bir neçə sahədə tətbiq oluna bilər: mikroelektronika, nanoelektronika, mikroelektromexaniki sistemlərdə (MEMS), nanoelektromexaniki sistemlərdə (NEMS), ionlaşdırıcı mühitlərdə (peyk (fəza) texnologiyalarında, nüvə texnologiyalarında və s.).

**SİFARIŞÇI:**

**Elmin İnkişafı Fondu**

**Baş məsləhətçi**

**Quliyeva Mülayim Sahib qızı**

**İCRAÇI:**

**Layihə rəhbəri**

**Hüseynov Elçin Məmmədəli oğlu**

\_\_\_\_\_  
(imza)

“ \_ ” \_\_\_\_\_ 201\_-ci il

\_\_\_\_\_  
(imza)

“ \_ ” \_\_\_\_\_ 201\_-ci il



**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA  
ELMİN İNKİŞAFI FONDU**

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

**Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında  
Elmin İnkişafı Fondunun Gənc alim və mütəxəssislərin  
4-cü birgə "Mənim ilk qrantım" müsabiqəsinin  
(EIF/GAM-4-BGM-GİN-2017-3(29)) qalibi olmuş  
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə**

**ALINMIŞ ELMİ MƏHSUL HAQQINDA MƏLUMAT  
(Qaydalar üzrə Əlavə 17)**

Layihənin adı: **Yeni nəsil nanoelektronikada 3C-SiC nanokristallarının tətbiqi zamanı fiziki xassələrin neytron seli ilə idarə edilməsi**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Hüseynov Elçin Məmmədəli oğlu**

Qrantın məbləği: **50 000 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF/GAM-4-BGM-GİN-2017-3(29)-19/01/1-M-14**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **10 aprel 2018-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **12 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 may 2018-ci il – 01 may 2019-cü il**

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

**1. Elmi əsərlər (sayı)**

№	Tamlıq dərəcəsi	Dərəcəsi		
		Dərc olunmuş	Çapa qəbul olunmuş və ya çapda olan	Çapa göndərilmiş
1.	Elmi məhsulun növü	1		
	Monoqrafiyalar	1		
2.	həmçinin, xaricdə çap olunmuş	4		
	Məqalələr	4		
3.	həmçinin xarici nəşrlərdə			
	Konfrans materiallarında məqalələr			

	O cümlədən, beynəlxalq konfrans materiallarında			
4.	Məruzələrin tezisləri	1		
	həmçinin, beynəlxalq tədbirlərin toplusunda	1		
5.	Digər (icmal, atlas, kataloq və s.)			

## 2. İxtira və patentlər (sayı)

Nö	Elmi məhsulun növü	Alınmış	Verilmiş	Ərizəsi verilmiş
1.	Patent, patent almaq üçün ərizə			
2.	İxtira			
3.	Səmərələşdirici təklif			

## 3. Elmi tədbirlərdə məruzələr (sayı)

Nö	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.				

### SİFARIŞÇI:

Elmin İnkişafı Fondu

### Baş məsləhətçi

Quliyeva Mülayim Sahib qızı

(imza)

" \_ " \_\_\_\_\_ 201\_ -ci il

### İCRAÇI:

### Layihə rəhbəri

Hüseynov Elçin Məmmədəli oğlu

(imza)

" \_ " \_\_\_\_\_ 201\_ -ci il