

PACS: 61.80.Hg, 72.15.-v, 74.25.fc, 61.80.-x, 81.07.Oj, 81.07.-b

NANO SiO₂-nin ELEKTRİK KEÇİRİCİLİYİNİN TEMPERATUR ASILILIĞINA NEYTRON ŞÜALANMANIN TƏSİRİ

E.M.HÜSEYNOV, A.A.QƏRİBOV, R.N.MEHDİYEVA
AMEA- nın Radiasiya Problemləri İnstitutu
hus.elchin@yahoo.com, hus.elchin@gmail.com

Epitermal neytronlarla şüalanmış nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyinə temperatur və düşən neytronların miqdarının müxtəlif tezlik oblastında təsiri tədqiq olunub. Müəyyən edilib ki, neytronların birbaşa, yaxud da aktivləşmə məhsullarının buraxdıqları şüaların təsiri altında əlavə elektroaktiv radiasiyon defektlər əmələ gəlir. Belə ki, neytron selinin $6,7 \times 10^{17} \div 2,7 \times 10^{18}$ n/sm²san intervalında dəyişməsi nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyini 30 dəfəyə qədər artırır. Şüalanmamış nümunənin temperatur asılılığında əsasən iki, neytronla şüalanmış nümunədə isə üç temperatur oblastı aşkar olunub. Alınmış nəticələri izah edən mexanizm irəli sürülüb.

Açar sözlər: Nanomaterial, nano SiO₂, neytron effekti, elektrik xassələri, elektrik keçiriciliyi.

Silisium və onun oksidli birləşmələri elektronika, ionlaşdırıcı şüaların dedektə edilməsində, sorbent və radiasiyaya davamlı material kimi geniş tətbiq edilir [1-4]. Tətbiq sahələrində silisium materiallarının üzərində adətən, ölçüləri nano tərtibdə olan oksid təbəqəsi yaranır. Səthi oksid təbəqəsi silisiumun xarici təsirlərdən qorunması ilə bərabər onun fiziki və səthi fiziki-kimyəvi xassələrinə təsir göstərir. Digər tərəfdən də SiO₂ tərkibcə sadə, alınmasının asanlıqı, ekstremal təsirlərə davamlı oksid dielektrik və müxtəlif məqsədli material kimi geniş tətbiq sahəsinə malikdir [1-4]. Bu xassələrinə görə silisiumun oksidli birləşmələri kosmik texnikada və nüvə texnologiyasında da böyük əhəmiyyət kəsb edən birləşmədir. Son dövrlərdə oksid dielektriklərin fiziki və səthi fiziki-kimyəvi xassələrinin hissəcik ölçülərindən asılılığı, xüsusən də nano tərtibli ölçülərdə həcmi elektron həyəcanlanmalar, defektlər və digər faktorların səthə güclü təsiri aşkar olunub. Odur ki, klassik oksid dielektrik olan SiO₂-nin nano ölçülü nümunələri yenidən müasir dövrdə tədqiqatçıların

diqqət mərkəzindədir. Bu məqsədlə nano SiO₂-nin fiziki və səthi fiziki-kimyəvi xassələrinə ionlaşdırıcı şüaların təsiri tədqiq olunur və bu ölçülü nümunələrin müxtəlif sahələrdə tətbiqi üzrə təkliflər hazırlanır[1-4].

Nümunənin elektrofiziki xassələrində neytron seli ilə şüalanma zamanı yaranan defektlər mühüm dəyişikliklər yaradır. Müxtəlif müddətlərdə kəsilməz olaraq neytron şüalanmaya məruz qalmış nanobirləşmədə yaranmış defektləri qısa olaraq nəzərdən keçirək. Belə ki, SiO₂ nanobirləşməsi tetraedr formasında birləşmiş Si və O atomlarından ibarətdir ki, neytron selinin qəfəs atomlarına təsiri zamanı bəzi atomlarda yüksək enerji təpilməsi (high energy recoils, primary knock-on atoms – PKA) müşahidə olunur. PKA atomları ilə digər qonşu atomlar arasında enerji mübadiləsi zamanı nöqtəvi defektlər və ya klasterlər əmələ gəlir ki, bunlar da fundamental defektlərin əsasını təşkil edir. Neytron selinin təsiri ilə yaranmış bu defektlər miqrasiya oluna bilər və hər hansı yükün müxtəlif müddətlərdə saxlanması üçün real məkandır [5,6]. Yaranmış bu defektlər neytronların təsiri ilə meydana gəlmiş digər yükləri (məsələn, elektronları) saxlamaq üçün sanki “tələ” rolunu oynayır. Amma çox az ehtimalla bu tələlərdə təsadüfi elementlər və ya atmosferdən adsorbsiya olunan qazları da tutula bilər [7,8]. Həmçinin SiO₂ birləşməsi pizoelektrik kimi çox geniş tətbiq sahəsinə malikdir. Belə ki, son onillikdə bu birləşmələr dünya tədqiqatçılarının diqqət mərkəzində olmuşdur və onların xassələri təcrübi və nəzəri öyrənilmişdir [9-16].

Təqdim olunmuş bu məqalə epitermal neytronların nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyinə təsirinin tədqiqinə həsr olunub. Epitermal neytronlarla şüalanmış nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyinin müxtəlif tezlikli dəyişən sahədə temperaturdan asılılığı aşkar olunub.

Təcrübələr

Tədqiqat obyektini olaraq xüsusi səth sahəsi 160m²/q, hissəcik ölçüləri 20nm və təmizliyi 99,5% olan SiO₂ götürülüb [17-19, istehsalçı firma: SkySpring Nanomaterials, Inc. Houston, USA]. Nano SiO₂ 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 2x10¹³ n/sm²san sel sıxlığına malik neytron seli ilə tam güc rejmində (250kVt) şüalandırılmışdır. Neytron seli reaktor tam güc rejmində işlədikdə aşağıdakı tərkib hissəyə malikdir [20,21]: termal neytronlar üçün 5.107x10¹² n/sm²san (1±0.0008, E_n< 625eV), epitermal neytronlar üçün 6.502x10¹² n/sm²san (1±0.0008, E_n ~ 625eV ÷ 0.1MeV), sürətli neytronlar üçün 7.585x10¹² n/sm²san (1±0.0007, E_n> 0.1 MeV) və nəhayət, bütün neytronlar üçün mərkəzi kanalda sel sıxlığı 1.920x10¹³ n/sm²san (1±0.0005) kimidir. Son nəticədə mərkəzi kanalda alınan neytronların orta enerjisi E_n ~ 625eV ÷ 0.1MeV olan epitermal neytronlar kimi xarakterizə oluna bilər.

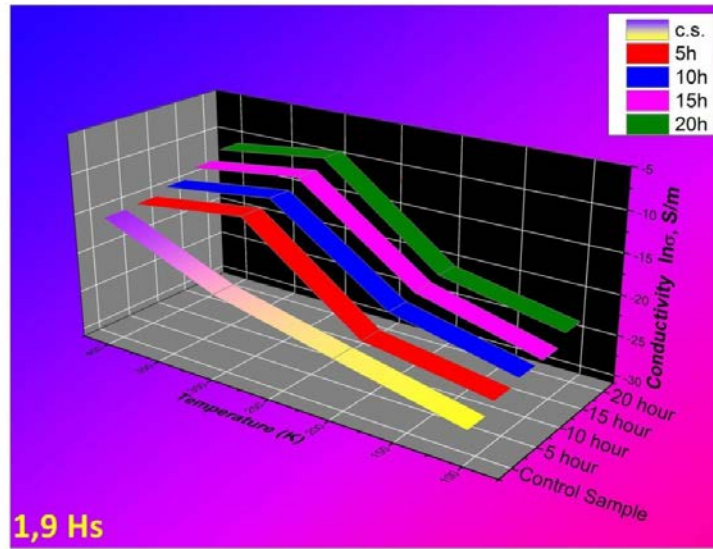
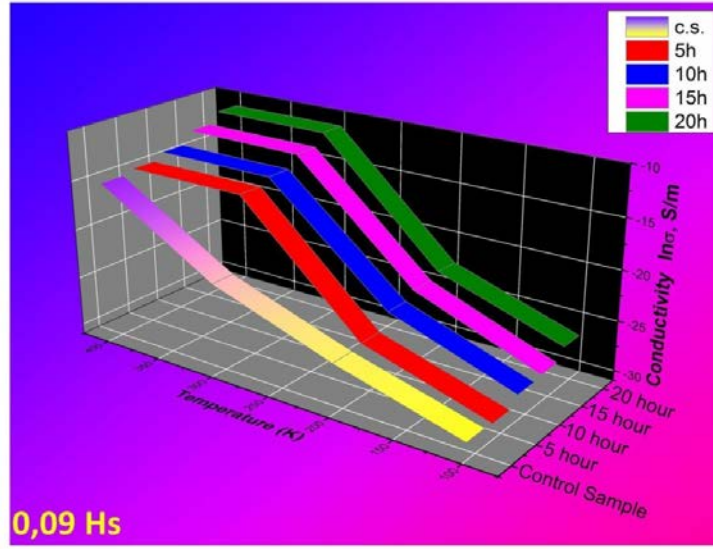
Neytronlarla şüalanmış nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyi Sloveniyanın Lyublyana şəhərində Jozef Stefan İnstitutunun “Keramika Elektronika K5”

laboratoriyasında “Novocontrol Alpha High Resolution Dielectric Analyzer” cihazında tezliyin 0,000001Hz və temperaturun isə 0,001K dəqiqliyi ilə ölçülmüşdür [22].

Neytronla şüalandırma və neytron selinin xarakterik parametrlərinin təyini ədəbiyyatlarda verilən məlum metodika ilə aparılmışdır. Nano SiO₂ tozu Jozef Stefan İnstitutunun “Nazik təbəqələr və səthlər fizikası” laboratoriyasında xüsusi şəraitdə 7kN/sm² təzyiqdə sıxılaraq hündürlüyü 550 μm və diametri 5,5mm olan tabletka formasında hazırlanaraq reaktorun kanallarına uyğun alüminium konteynerdə yerləşdirilir. Hazırlanmış nümunələr mərkəzi kanalda 5, 10, 15 və 20 saat müddətlərində kəsilməz olaraq şüalandırılıb. Şüalanmadan sonra nümunələrin səthinə xüsusi şəraitdə gümüş kontaktlar vurulub və mikroskop ilə onun keyfiyyəti yoxlanılıb. Sonra alınmış nümunələr iki platin lövhələr arasına alınaraq ölçmələr aparılmışdır. Nümunələrin elektrik keçiriciliyi “Novocontrol Alpha High Resolution Dielectric Analyzer” cihazında dəyişən sahə üçün (~0,5V) temperaturun 100 – 400 K intervalında ölçülmüşdür. Ölçmələr zamanı temperaturun hər hansı dərəcədə saxlanma dəqiqliyi 0,001K kimi olmuşdur və bu dəqiqlik körpü metodu ilə əldə edilmişdir [22]. Təcrübələrdən birbaşa nümunələrin müqaviməti ölçülmüşdür və buradan nümunələrin məlum parametrləri nəzərə alınaraq elektrik keçiricilikləri hesablanmışdır. Hesablanmış qiymətlərə uyğun alınan bütün nəticələr “OriginPro 9.0” proqramında qrafik olaraq təsvir edilmişdir.

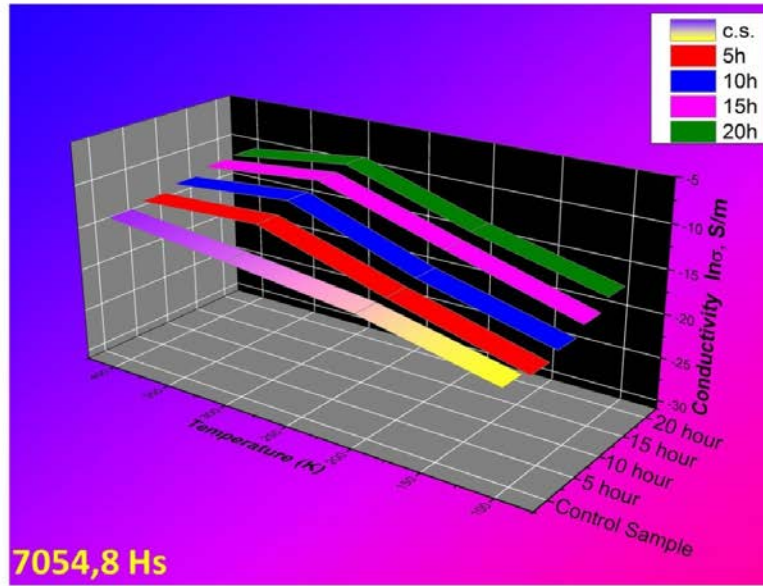
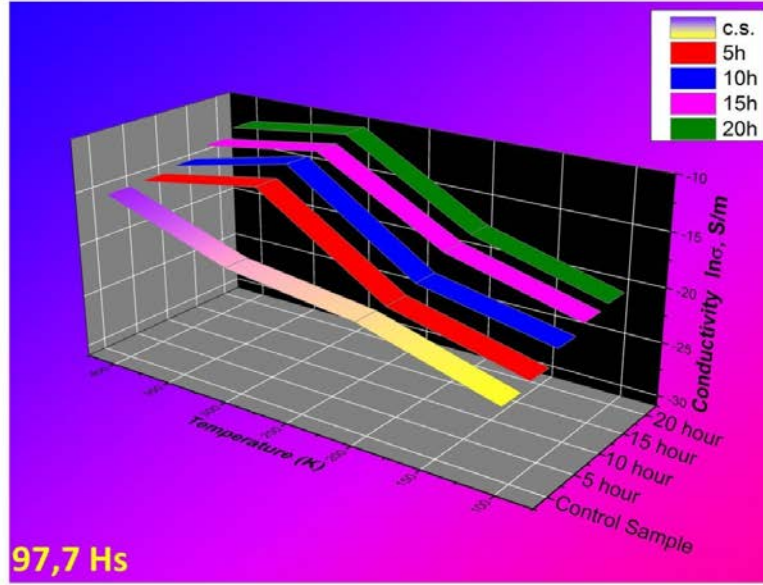
Nəticə və onların müzakirələri

Ölçmələr zamanı nümunələrin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları müxtəlif tezliklərin sabit qiymətlərində nəzərdən keçirilmişdir. Təcrübələr tezliyin 0,09 – 2260000 Hs aralığında 90 müxtəlif sabit qiymətlərində aparılmışdır və ölçmələr zamanı məlum olmuşdur ki, tezliyin müxtəlif qiymətlərində keçiriciliyin temperatur asılılığı fərqlidir. Tezlik aralığının geniş olduğunu və sabit qiymətlərin çoxluğunu nəzərə alaraq biz burada bu tezlik aralıqlarını şərti olaraq üç qrupa ayırmışıq (hər qrupda 2 tezlik olmaqla ümumilikdə 6 sabit tezlik oblastında elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı nəzərdən keçirilmişdir). Birinci qrupu şərti olaraq aşağı tezliklər (0,09 – 10 Hs) oblastı, ikinci qrupu orta tezliklər (100 – 45000 Hs) oblastı və üçüncü qrupu yüksək tezliklər (200000 – 2260000 Hs) oblastına ayırmaq olar. Aşağı tezlik oblastında elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarını nəzərdən keçirək (şəkil 1).



Şək. 1. Aşağı tezlik oblastında müxtəlif tezliklərdə elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları

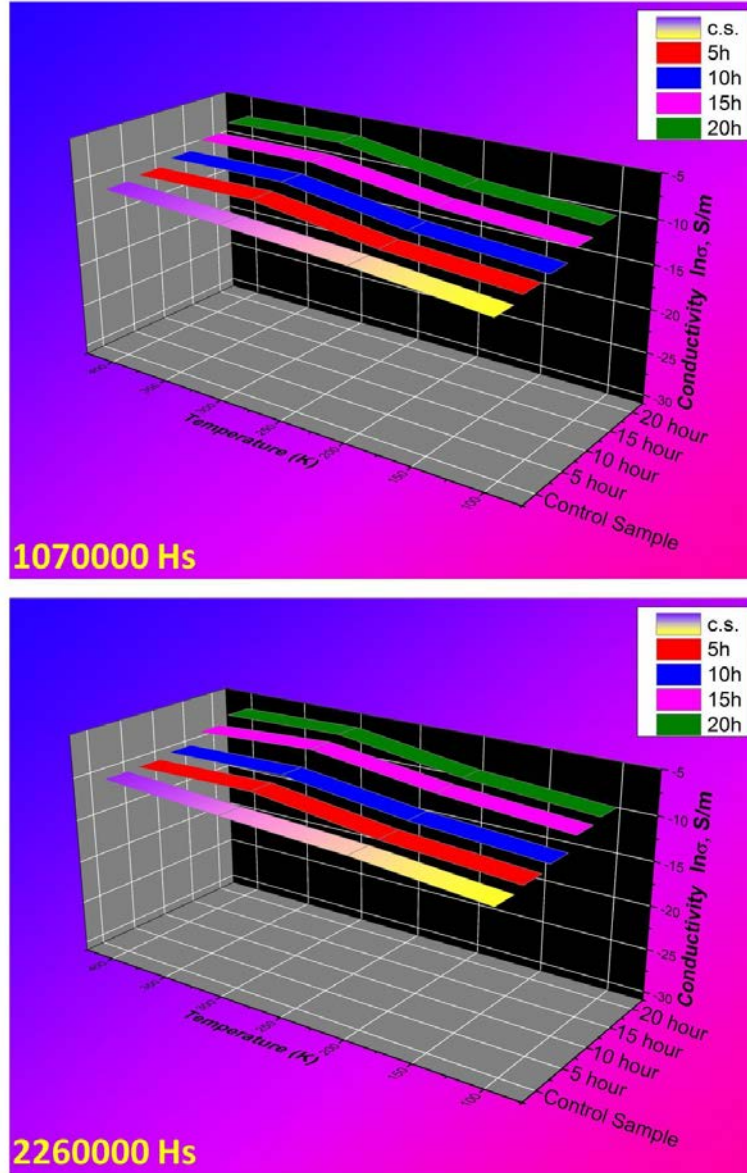
Şəkillərdən görüldüyü kimi ilkin nümunənin (control sample) elektrik keçiriciliyi temperaturun, demək olar ki, xətti artan funksiyasıdır. Lakin müxtəlif müddətlərdə neytron şüalanmaya məruz qalmış nümunələrin elektrik keçiriciliyi temperaturdan xətti asılı deyil. Temperaturun 100 – 330 K qiymətləri aralığında keçiricilik, temperaturdan düz mütənasib olaraq artsa da, temperaturun təqribən 330 K qiymətindən başlayaraq keçiricilik, demək olar ki, dəyişmir. Bütün hallarda şüalanma müddətinin artması ilə keçiricilik artır və bu fərq temperaturun 200 – 350 K aralığında daha kəskin hal alır. Bunu isə şüalanma müddətinin



Şək. 2. Orta tezlik oblastında müxtəlif tezlərdə elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları

artması ilə nümunələrdə yaranan və şüalanma müddətindən düz mütənasib asılı olaraq artan yeni yükdaşıyıcılarla izah etmək olar. Orta tezlik oblastında keçiriciliyin temperatur asılılığı müşahidə olunan əyrilərin keçiricilik oxuna nisbətən daha çox meyli edir (şəkil 2). Başqa sözlə, bu aralıqda temperaturun artması ilə keçiricilik nisbətən aşağı sürətlə artır. Belə ki, aşağı tezlik oblastında elektrik keçiriciliyinin natural loqarifmasının qiyməti (-10, -30) aralığında dəyişirdisə, orta tezlik oblastında isə keçiriciliyinin natural loqarifmasının

qiyməti (-10, -24) aralığında dəyişir. Şəkil 3 – də mövcud əyriləri nəzərdən keçirərkən məlum olur ki, 100 – 330 K

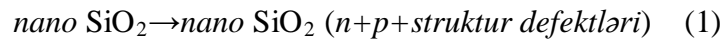


Şəkil 3. Yüksək tezlik oblastında müxtəlif tezlərdə elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqları

aralıklarında tezliyin artması ilə elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı, demək olar ki, xəttləşir. Bundan əlavə bu oblastda elektrik keçiriciliyinin natural loqarifmasının qiyməti yuxarı oblastda dəyişməsə də aşağı oblastda bu qiymət -30-dan -24-ə qədər artır. Belə ki, bu dəyişmə yalnız temperaturun aşağı qiymətlərində müşahidə olunur (100 – 200 K aralıklarında). Yüksək tez-

likli oblastlarda isə elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi çox zəif sürətlə müşahidə olunur (şəkil 3). Şəkildən görüldüyü kimi elektrik keçiriciliyinin natural loqarifmasının yüksək tezlik oblastında minimum qiyməti – 17-dir. Tezliyin daha yüksək qiymətlərində (1.56MHz – 2.26MHz) bu minimum -12-yə qədər artır. Bundan əlavə yüksək tezliklər oblastında temperaturun yüksək qiymətlərində də elektrik keçiriciliyinin natural loqarifmasının qiyməti – 6-ya qədər artır. Həmçinin bu oblastda elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığında elektrik keçiriciliyinin şüalanma müddətindən asılı olaraq dəyişməsi daha aşkar görünür.

Göstərilən tezlik intervalında keçiriciliyin $\ln\sigma = f(T)$ koordinatlarında temperatur asılılıqları şəkil 1 – 3-də verilib. Alınmış nəticələr göstərir ki, tədqiq olunmuş temperatur $T=100\div 400K$ və tezlik intervalında şüalanma vaxtı $\tau=5\div 20$ saat ölçmə temperaturu və dəyişən cərəyan tezliyi yüksəldikcə nano SiO_2 -nin elektrik keçiriciliyi artır. Nümunələrin şüalandırıldığı neytronlar əsasən epitermal enerji intervalına uyğun olduğundan nano SiO_2 -nin tərkibinə daxil olan nüvələrlə radiasion tutma mexanizmi ilə qarşılıqlı təsir üstünlük təşkil edir. Neytronun təsiri altında yeni həyəcanlaşmış nüvələr alınır ki, onların da həyəcanlaşmış haldan əsas səviyyəyə keçidi nəticəsində müxtəlif enerjili qamma şüalar alınır. Alınmış qamma şüalar müxtəlif atomların elektronları ilə qeyri-elastik qarşılıqlı təsirdə olur və nəticədə elektron-deşik cütləri və neytronların təsiri ilə struktur defektləri alınır.



Nümunələr şüalanan zaman mərkəzi kanalda neytron selinin tərkibində sürətli neytronlar da var ki, onun nüvələrində elastik qarşılıqlı təsir nəticəsində ionlaşma prosesi də baş verə bilər [23]. Beləliklə, neytronların 2×10^{13} n/sm² san selinin $\tau=5\div 20$ saat vaxt intervalında və yaranan radioaktiv nüvələrin parçalanma məhsullarının təsiri nəticəsində nano SiO_2 -də qeyri-tarazlıqda olan yükdaşıyıcılar yaranır. Həmin qeyri-tarazlıqlı yükdaşıyıcıları nano SiO_2 -də mövcud olan kation və anion vakansiyalarında lokallaşsa bilər. Nəzərə alsaq ki nano SiO_2 -nin hissəcik ölçüləri ($d=20nm$) oksid dielektriklərində $10^2\div 10^3$ eV enerjili elektronların sərbəst qaçış məsafəsi $l_{el}= 10^2\div 10^3$ nm tərtibindədir [18x-19x] və oksid sistemlərin bioqrafik defektlərinin əsas hissəsi səthdə cəmlənib, onda radioaktiv parçalanma şüalarının (β və γ) təsiri nəticəsində yaranan müxtəlif növ δ -elektronların həm həcm, həm də səthi səviyyələrdə lokallaşması nəticəsinə gəlmək olar. Şüalanmamış nano SiO_2 -nin elektrik keçiriciliyinin $\ln\sigma = f(T)$ koordinatlarında temperatur asılılığında əsas iki hissəni ayırmaq olar: $I \leq 275K$, $II \leq 275K$. Bu onu göstərir ki, ilkin nano SiO_2 -də energetik xarakteristikalarına görə fərqlənən iki tip yükdaşıyıcılar var. I tip yükdaşıyıcılar daha kiçik energetik baryerli mərkəzdə olan yükdaşıyıcılardır. Bu tip yükdaşıyıcılar ilə elektrik keçiricilik oblastı elektrik sahəsinin tezliyi artıqca daha aşağı temperaturu oblasta sürüşür. Məsələn, elektrik sahəsinin tezliyi $f=0,09Hz$ olduqda bu oblast $T \leq 275K$ -də, $f=2,26 \times 10^6$ Hz olduqda isə

$T \leq 220\text{K}$ -də müşahidə olunur (şəkil 1,3). İkinci oblastın başlanğıc temperaturu da uyğun qaydada aşağı temperatura doğru dəyişir.

Nano SiO_2 – də neytronların təsiri altında əmələ gələn əlavə qeyri-tarazlıqlı yükdaşıyıcıları elektrik keçiriciliyinin artmasına səbəb olur. Şəkil 1 – 3-də verilmiş nəticələr göstərir ki, neytronla şüalanma vaxtının dəyişməsi elektrik keçiriciliyinin natural loqarifmik qiymətinin təqribən 3 tərtib atmasına səbəb olur. Neytronla şüalanmış nümunələrin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı şüalanmamış nümunələrin asılılığından fərqlənir. Belə ki, əksər hallarda $\ln\sigma = f(T)$ asılılığında üç oblast müşahidə olunur. Birinci aşağı temperatur oblastı $T \leq 170-175\text{K}$ temperaturları əhatə edir. Temperatur asılılığının bucaq əmsali təqribən şüalanmamış nümunələrin $\ln\sigma = f(T)$ asılılığının I oblastına uyğundur. Görünür bu oblastda keçiriciliyə səbəb olan yükdaşıyıcıları nano SiO_2 -yə xas məxsusi yükdaşıyıcılarıdır. Onların qatılıqları da şüalanma dozasından asılı olaraq artır və bu artım da orta hesabla təqribən e^3 tərtibindədir. Bu nəticələr onu göstərir ki, şüalanmamış nano SiO_2 -də yükdaşıyıcılar müxtəlif səviyyələrdə lokallaşmış hallarda olur. Keçirici zonaya ən yaxın səviyyələr aşağı temperaturalarda azad olurlar. Görünür ki, adi halda bu səviyyələr qismən dolur və neytron şüalanma bu səviyyələrə əlavə yükdaşıyıcıların dolmasına səbəb olur. Odur ki, şüalanmış nümunələrdə I oblastda şüalanmamış nümunələrdə eyni energetik parametrlə keçiricilik müşahidə olunur. Şüalanmış nümunələrin $\ln\sigma = f(T)$ asılılığında ikinci oblast II~175÷300K temperatur oblastını əhatə edir. Bu oblastda elektrik keçiriciliyi daha çox energetik dərin səviyyələrdə tutulan yükdaşıyıcılarının hesabına baş verir. Həmin oblastda $\ln\sigma = f(T)$ asılılığının bucaq əmsali nisbətən çoxdur ki, bu da keçiriciliyin daha çox enerjilə təminatlı olmasını göstərir. Neytronla şüalanmış nano SiO_2 -nin elektrik keçiriciliyinin üçüncü oblastı $T \sim 300 \div 400\text{K}$ oblastıdır. Müşahidə edilmiş təcrübə nəticələri göstərir ki, $T \sim 300 \div 350\text{K}$ oblastında şüalanmış nano SiO_2 -nin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığında maksimum müşahidə edilir. Bəzi tezliklərdə $\ln\sigma = f(T)$ asılılıqlarının ekstremal xarakter daşması daha açıq şəkildə görünür.

Alınmış nəticələrin analizi göstərir ki, epitermal neytronlarla şüalanmış nano SiO_2 -nin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı şüalanmamış nümunələrdən fərqli olub, bütün temperatur oblastlarında keçiricilik orta hesabla təqribən 30 dəfə artıqdır. Müşahidə olunmuş fərq göstərir ki, epitermal neytronların təsiri altında nano SiO_2 -də əlavə yükdaşıyıcılar əmələ gəlir. Elektrik keçiriciliyini müşahidə etmək üçün hazırlanmış silindirik nümunələrin neytronların təsir sahəsi geometrik ölçülər əsasında təyin edilib $S \approx 1,8525\text{sm}^2$ və müxtəlif vaxtlarda şüalandırıldıqda tərkibində olan ~0,5% qatışıq element nümunələri aktivləşir və onların şüalanma prosesinin sonunda aktivlikləri $A \approx 0,36\text{kBq} \div 54\text{MBq}$ intervalında dəyişir. Nümunələr üzərində $\tau = 5 \div 20$ müddətlərdə neytron şüalanması nəticəsində düşən enerji $0,3334 \div 1,334 \times 10^{17}$ MeV təşkil edir. Dielektriklərdə elektron deşik cütlərinin əmələ gəlməsinin hədd enerjisi

$$E_{eh}=2E_g \quad (2)$$

kimi təyin olunur. Burada E_c – bir cütün əmələ gəlməsi üçün hədd enerji, eV, E_g – qadağan olunmuş zolağın enidir, eV). Nano SiO₂ dielektrik olub qadağan olunmuş zolağının eni təqribən 10eV götürsək, şüalanma enerjisinin birbaşa təsiri altında yarana biləcək yükdaşıyıcıları tədqiq olunmuş udulma doza intervalında

$$N_{eh} = \frac{D_n}{E_{ch}} = \frac{D_n}{2E_g} \quad (3)$$

münasibətindən $N_{eh} \sim (1,67-6,67) \times 10^{15}$ hissəcik tərtibində olardı. Digər tərəfdən də şüalanma nəticəsində yaranmış yeni radioaktiv Fe-59, Sc-46, Sc-47, Ta-182, Hf-181, Mn-54, Sb-124, Br-82, Sb-122, Cr-51, La-140, Sm-153, W-187 və Na-24 izotoplarının parçalanmasından alınan qamma şüaların təsiri altında da nano SiO₂-də qeyri-tarazlıqda yükdaşıyıcılar əmələ gələ bilər. Əmələ gəlmiş bu yükdaşıyıcılar nano SiO₂-də olan anion və kation vakansiyalarında lokallaşa bilər.



Tərkibində təqribən ~0,5% qatışıq olan nano SiO₂-də qeyri-tarazlıqlı yükdaşıyıcıları digər səviyyələr tərəfindən də tutula bilər. Aktivləşmə nəticəsində yaranan izotoplardan Cr-51, Fe-59, Sc-46, Ta-182, Hf-181, Mn-54 və Sb-124-ün yarımparçalanma dövrü daha çoxdur və odur ki, onların parçalanma məhsulları elektrik keçiriciliyinin müşahidə müddətində də öz təsirini göstərə bilər.

Şüalanma prosesi və şüalanmadan sonra stabilləşmə 192 saat müddətində nümunələr otaq temperaturunda saxlanılıb. Odur ki, elektrik keçiriciliyini müşahidə etdiyimiz şərait ilə qeyri stabil ilkin radiasion defektlər relaksasiya oluna bilər. Ölçmələr 100K-dən başlayaraq aparılır və temperatur yüksəldikcə müxtəlif mərkəzlərdə yerləşmiş qeyri-tarazlıqlı yükdaşıyıcıları lokallaşma səviyyələrinin energetik parametrlərinə müvafiq şərait olduqca azad olurlar və keçiricilikdə iştirak edirlər.

Temperatur yüksəldikcə ayrı-ayrı səviyyələrin energetik parametrlərinə uyğun olaraq boşalma və keçiricilikdə iştirak prosesi baş verir. Neytronla şüalanmış nümunələrdə birinci temperatur oblastında elektrik keçiriciliyində iştirak edən hissəciklərin təbiəti şüalanmamış ilkin nano SiO₂-də birinci temperatur oblastında iştirak edən hissəciklərlə lokallaşdıqları səviyyələrin energetik parametrləri təqribən eynidir. Temperaturun sonrakı $T \geq 175K$ oblastlarında epitermal neytronlarla şüalandırılmış nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı fərqlidir. Bu isə elektrik keçiriciliyində iştirak edən hissəciklərin əsasən radiasion proseslərlə əlaqəli olmasını göstərir.

Nano SiO₂-də epitermal neytronların təsiri altında yaranmış yükdaşıyıcılarının yalnız termik deyil, elektrik sahəsinin təsiri altında da relaksasiyasının baş verməsi faktı da aşkar olunub. Belə ki, gərginliyi sabit saxlamaqla ($U=0,5V$) sahənin tezliyinin 0,09Hs-dən 2,26x106 Hs qədər artırılması keçiri-

cilikdə iştirak edən yükdaşıyıcılarının konsentrasiyasının bütün temperatur oblastında təqribən $10^{17} \div 10^{18}$ qədər artmasına səbəb olur.

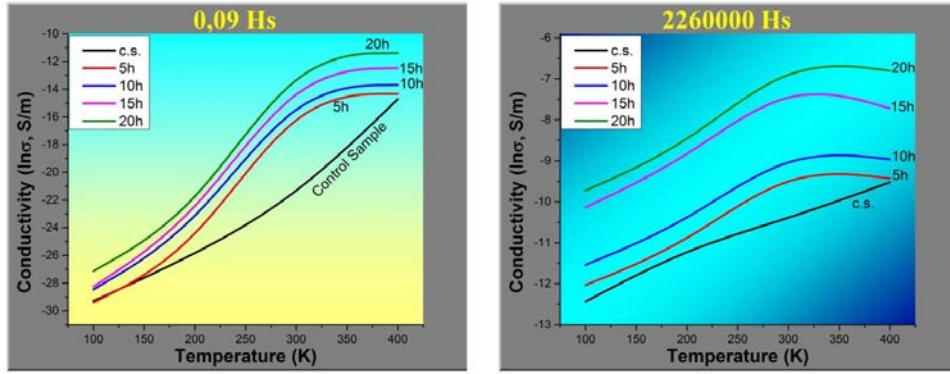
Tədqiq olunmuş nano SiO₂ tipik dielektrikdir və onun elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı aşağıdakı ifadə ilə şərh olunur:

$$\sigma = \frac{n_0 q^2 \delta^2 v}{6kT} \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) \quad (6)$$

burada n_0 – yükdaşıyıcıların ilkin qatılığı, bu hissəciklərin sahədə yükdaşması üçün U baryerini aşmalıdır. $\exp\left(-\frac{U}{kT}\right)$ – yükdaşıyıcıların U baryerini aşma

ehtimalı, δ - yükdaşıyıcıların sərbəst qaçış məsafəsi, v - yükdaşıyıcıların qəfəsdə rəqs tezliyi (Debay tezliyi), q – yükdaşıyıcıların yüküdür. Yuxarıda göstərilən formula dielektrlərdə ion keçiriciliyini ifadə etsə də, ümumi şəkildə elektron keçiriciliyinin temperatur asılılığını da onun əsasında almaq olar.

$$\ln \sigma = \ln A - \frac{B}{T} \quad \text{burada} \quad A = \frac{n_0 q^2 \delta^2 v}{6kT} \quad \text{və} \quad B = \frac{U}{k} \quad (7)$$



Şəkil 4. Elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarının 2D təsviri.

Ümumilikdə tezliyin dəyişməsi ilə elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsinə və şüalanma müddətinin bu dəyişməyə təsirini daha aşkar görmək üçün 2D formatda əks olunmuş qrafiki nəzərdən keçirmək kifayətdir (şəkil 4). Şəkildə tezliyin yüksək qiymətində aşağı qiymətinə nisbətən elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığında baş verən dəyişiklik asanlıqla müşahidə olunur. Tezliyin artması ilə müşahidə olunan əyrilərin “keçiricilik” oxuna meyl bucağının və elektrik keçiriciliyinin ədədi qiymətinin artması xarici sahənin tezliyinin artması ilə enerjinin artması və beləliklə də keçiricilikdə iştirak edə biləcək yükdaşıyıcıların artması kimi izah olunur.

Arrenius tənliyindən istifadə edərək işdə aparılmış təcrübə nəticələrinə əsasən aktivləşmə enerjisini hesablaya bilərik. Belə ki, Arrenius tənliyini temperaturun T_1 və T_2 aralıklarına uyğun elektrik keçiriciliyinin σ_1 və σ_2 qiymətləri üçün yazı bilərik:

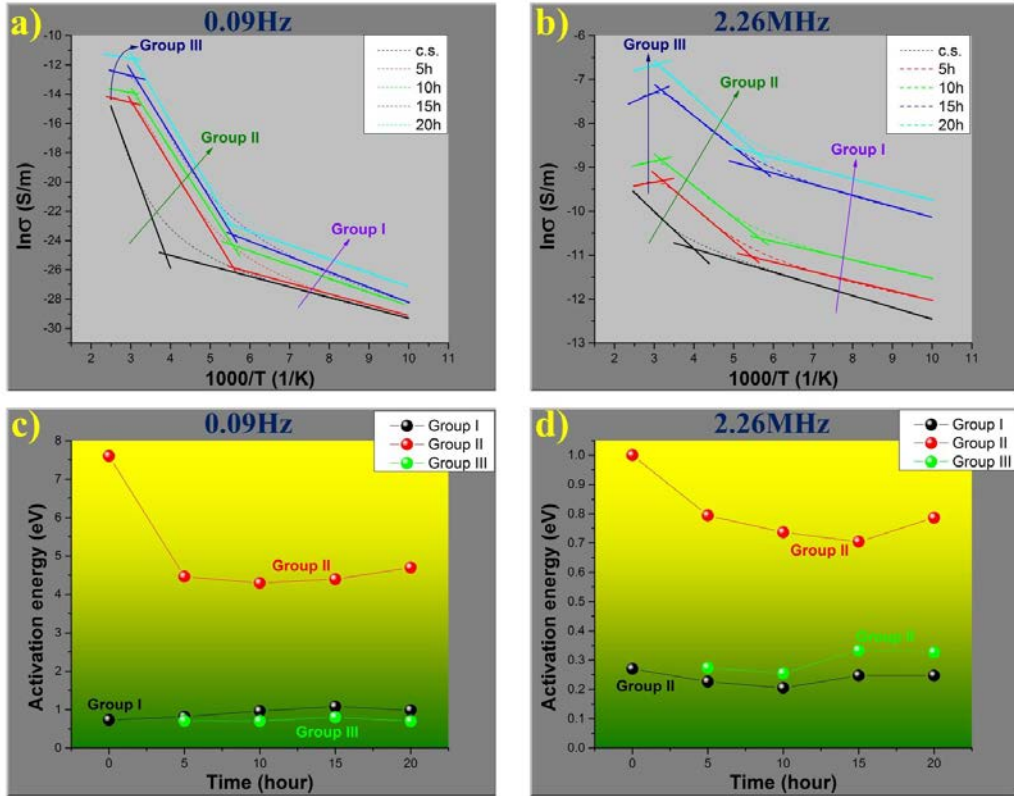
$$\sigma_1 = \sigma'_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT_1}\right)$$

$$\sigma_2 = \sigma''_0 \exp\left(-\frac{E_a}{kT_2}\right)$$
(8)

Bu tənlikləri tərəf-tərəfə bölərək, $C = k / \ln \frac{\sigma'_0}{\sigma''_0}$ kəmiyyəti daxil edərək və $T_1 - T_2 = \Delta T$ olduğunu nəzərə alaraq (8) tənliklərindən aktivləşmə enerjisini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$E_a = C \frac{\ln \sigma_1 - \ln \sigma_2}{\Delta T} T_1 T_2$$
(9)

Beləliklə, ümumi halda Arrhenius tənliyində $\frac{E_a}{k} = \frac{T \ln \sigma}{A}$ olduğunu nəzərə alaraq klassik yanışmada $f(\ln \sigma) = f(1000/T)$ qrafiklərindən (şəkil 5, a, b) xətti asılılığına uyğun hissənin



Şək. 5. Nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyinin 1000/T asılılıqları (a və b) və bu asılılıqlara uyğun aktivləşmə enerjisinin şüalanma müddətindən asılılıqları (c və d)

tangensinin birbaşa aktivləşmə enerjisini ifadə etdiyini nəzərə alaraq aktivləşmə enerjisinin neytron şüalanmanın təsir müddətindən asılılıq qrafiklərini təsvir etmək olar (şəkil 5, c və d). Qeyd edək ki, (6) və (9) tənlikləri ilə hesablanmış aktivləşmə enerjiləri də çox az xəta ilə alınmış qiymətlərə uyğundur. Şəkildə müqayisə üçün tezliyin 0,09Hz və 2.26MHz kimi iki qiymətinə uyğun aktivləşmə enerjiləri təyin edilmişdir. Şəkildən tezliyin və neytron selinin müddətinin artması ilə aktivləşmə enerjisinin azalma tendensiyası müşahidə olunur (şəkil 5, c və d). Bu isə öncə qeyd etdiyimiz nəticələrə uyğun olaraq şüalanma müddətinin və tezliyin artması ilə elektrik keçiriciliyinin ədədi qiymətinin artmasını bir daha təsdiqləyir.

Nəticələr

Nano SiO₂ birləşməsinin ilkin və müxtəlif müddətlərdə neytron seli ilə şüalanmış hallarında aparılmış ölçmələrin müqayisələri nəticəsində məlum olmuşdur ki, ilkin halda elektrik keçiriciliyi temperaturun düz mütənasib xətti funksiyası olsa da şüalanmadan sonra elektrik keçiriciliyi temperaturun xətti funksiyası deyil. Təcrübələr nəticəsində alınmış “keçiricilik – temperatur” asılılıqlarını nəzərdən keçirərkən məlum olmuşdur ki, şüalanma müddətinin artması ilə elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığını əks etdirən əyrilər elektrik keçiriciliyinin artması istiqamətində sürüşür. Bundan əlavə, yüksək tezliklərdə keçiriciliyin temperatur asılılıqlarını ifadə edən əyrilərin “keçiricilik” oxuna meyl bucağının və elektrik keçiriciliyinin ədədi qiymətinin artması müşahidə olunmuşdur.

Aparılmış təcrübədə neytron şüalanmanın və temperaturun nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyinə təsiri üzrə alınmış materiallardan aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar:

1.Epitermal neytronlarla qabaqcadan şüalanmış nano SiO₂ nümunələrində aktivləşmiş qarışıqların parçalanma məhsulları və neytronların birbaşa təsiri altında əlavə yükdaşıyıcıları əmələ gəlir;

2.Neytronla şüalanmış nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyi neytron selinin $6,7 \times 10^{17} \div 2,7 \times 10^{18}$ intervalında dəyişməsi ilə 30 dəfəyə qədər artır;

3.Neytronla şüalanma və temperaturun $T=100 \div 400K$ müxtəlif tezlikli $\nu=0,09 \div 2,26 \times 10^6$ Hz dəyişən cərəyanın təsiri altında nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyinə təsiri tədqiq olunub;

4.İlkin nano SiO₂-nin elektrik keçiriciliyində iki səviyyədə lokallaşmış, neytronla şüalanmış nümunələrdə isə əlavə iki nisbətən daha dərin səviyyələrdə həyəcanlaşan yükdaşıyıcıların iştirakı aşkar olunub.

ƏDƏBIYYAT

1. Fangting Chi, Lianghong Yan, Hongwei Yan, Bo Jiang, Haibing Lv and Xiaodong Yuan "Ultralow-refractive-index optical thin films through nanoscale etching of ordered mesoporous silica films" Sichuan University, Chengdu, China, *Optics Letters* / v. 37, No. 9 (2012) 1406 – 1408
2. Yadan Ding, Xueying Chu, Xia Hong, Peng Zou, and Yichun Liu "The infrared fingerprint signals of silica nanoparticles and its application in immunoassay", Northeast Normal University, Changchun, China, *Applied Physics Letters* 100, 013701 (2012) 1 – 3
3. Yukta P. Timalina, Joshua Branen, D. Eric Aston, Kenneth Noren, Giancarlo Corti, Randi Schumacher and David N. McIlroy "Alternating current impedance spectroscopic analysis of biofunctionalized vertically-aligned silica nanospring surface for biosensor applications" *Journal of Applied Physics* 110, 014901 (2011) 1-8
4. M. Martini, M. Montagna, M. Ou, O. Tillement, S. Roux and P. Perriat "How to measure quantum yields in scattering media: Application to the quantum yield measurement of fluorescein molecules encapsulated in sub-100 nm silica particles" Université de Lyon, France, *Journal of Applied Physics* 106, 094304 (2009) 1-9
5. M.L. Gamez, M. Velarde, F. Mota, J. Manuel Perlado, M. Leon, A. Ibarra "PKA energy spectra and primary damage identification in amorphous silica under different neutron energy spectra" *Journal of Nuclear Materials* 367–370, pp. 282–285, Spain (2007)
6. R. Chakarova, I. Pazsit "Fluctuations and correlations in sputtering and defect generation in collision cascades in Si" *Nucl. Instrum. and Meth. B* 164&165, 460 – 470, Department of Reactor Physics, Chalmers University of Technology, Sweden (2000)
7. J.G. Mihaychuk, N. Shamir, and H.M. van Driel "Multiphoton photoemission and electric-field induced optical second-harmonic generation as probes of charge transfer across the Si/SiO₂ interface" *Physical Review B*, Volume 59, Number 3, 2164-2173, Department of Physics, University of Toronto, Toronto, Canada (1999)
8. Richard C. and Dieter M. Kolb "Advances in Electrochemical Science and Engineering", Volume 8, Book Printed in the Federal Republic of Germany (2003)
9. R. Tarumi, K. Nakamura, H. Ogi, and M. Hirao "Complete set of elastic and piezoelectric coefficients of α -quartz at low temperatures" *J. Appl. Phys.* 102, 113508 (p. 1-6), Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan (2007)
10. H. Ogi, T. Ohmori, N. Nakamura, and M. Hirao "Elastic, anelastic, and piezoelectric coefficients of α -quartz determined by resonance ultrasound spectroscopy" *J. Appl. Phys.* 100, 053511, (p. 1-7) Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan (2006)
11. O. Cambon, J. Haines, G. Fraysse, J. Détaint, B. Capelle, and A. Van der Lee "Piezoelectric characterization and thermal stability of a high-performance α -quartz-type material, gallium arsenate" *J. Appl. Phys.* 97, 074110 (p. 1-7), Laboratoire de Physicochimie de la Matière Condensée, Université Montpellier, France (2005)
12. R. Guillot, P. Fertey, N.K. Hansen, P. Allé, E. Elkaim, and Clecomte "Diffraction study of the piezoelectric properties of low quartz" *Eur. Phys. J. B* 42, p. 373-380, Université Henri Poincaré, France (2004)
13. H. Kimizuka, S. Ogata, J. Li and Y. Shibusaki "Complete set of elastic constants of α -quartz at high pressure: A first-principles study" *Phys. Rev. B* 75, 054109 (p.1-6), Department of Mechanical Engineering, Osaka University, Osaka 565-0871, Japan (2007).
14. N. Choudhury and S.L. Chaplot "Ab initio studies of phonon softening and high-pressure phase transitions of α -quartz SiO₂" *Phys. Rev. B* 73, 094304 (p.1-11), Solid State Physics Division, Bhabha Atomic Research Centre, Trombay, Mumbai 400 085, India (2006)
15. L.E. Ramos, J. Furthmüller, and F. Bechstedt "Quasiparticle band structures and optical spectra of β -cristobalite SiO₂" *Phys. Rev. B* 69, 085102, (p.1-8), Institut für Festkörpertheorie und Theoretische Optik, Friedrich-Schiller-Universität, Germany (2004)

16. M.Levy, H.E.Bass, and R.R.Stern "Handbook of Elastic Properties of Solids, Liquids and Gases" Physical Sciences, Vol. II., Academic, San Diego, USA (2001)
17. E.M.Huseynov, A.A.Garibov, R.N.Mehdiyeva "Calculation of the specific surface area of SiO₂ nanopowder and getting nano-SiO₂-H₂O systems" Azerbaijan Journal of Physics ISSN 1028-8546, Volume XIX, Number 1, p. 10-14, Azerbaijan 2013
18. E.M. Huseynov, A.A.Garibov, R.N.Mehdiyeva, "Synthesis methods of nano SiO₂ powder" Transactions of National Academy of Sciences of Azerbaijan, Series of Physics – Mathematical and Technical Sciences, Physics and Astronomy, ISSN 0002-3108 Vol. XXXII N5, p 83-88/152, Azerbaijan 2012
19. E.M.Huseynov, N.A.Novruzov "DTA and TG analysis of nano SiO₂ - H₂O systems" New Challenges in the European Area: Young Scientist's 1st International Baku Forum p. 150-151, Azerbaijan 2013
20. Luka Snoj, Gasper Zerovnik, AndrejTrkov "Computational analysis of irradiation facilities at the JSI TRIGA reactor", Applied Radiation and Isotopes, 70, p. 483–488, Jozef Stefan Institute, Slovenia (2012)
21. Luka Snoj, Matjaz Ravnik "Calculation of power density with MCNP in TRIGA reactor". In: Proceedings of the International Conference Nuclear Energy for New Europe 2006, Portoroz, Slovenia, Paper no. 102. Slovenia, (2006)
22. V. Bobnar, A. Erste, X.Z. Chen, C.-L. Jia, and Q.-D. Shen "Influence of dc bias electric field on Vogel-Fulcher dynamics in relaxor ferroelectrics" Physical Review B 83, 132105, (p. 1-4), Jozef Stefan Institute, Ljubljana, Slovenia, (2011)
23. Frontasyeva M.V. "Neutron Activation Analysis in the Life Sciences" Russia, Physics of Elementary Particles and Atomic Nuclei, ISSN 0367-2026, Volume 42, part 2 (2011) p. 636 – 718

ВЛИЯНИЯ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ТЕМПЕРАТУРНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ НАНО-SiO₂

Э.М.ГУСЕЙНОВ, А.А.ГАРИБОВ, Р.Н.МЕХТИЕВА

РЕЗЮМЕ

В данной работе исследовано влияние температуры на электропроводность nano SiO₂, облученных эпитеpmальными нейтронами, и от количество падающих нейтронов в различных областях частоты. Определено, что в соединении образуется электроактивные радиационные дефекты под влиянием нейтронов и излучением активационных веществ. Так как изменение электронного потока в интервале $6,7 \times 10^{17} \div 2,7 \times 10^{18}$ н/см²сек повышает электропроводность nano SiO₂ в 30 раз. В исходных образцах наблюдаются 2, а в облученных образцах 3 температурных областей. Дан механизм полученных результатов.

Ключевые слова: наноматериал, nano SiO₂, нейтронный эффект, электрические свойства, электропроводимость.

**THE EFFECT OF NEUTRON IRRADIATION ON THE TEMPERATURE
DEPENDENCE OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF NANO SiO₂**

E.M.HUSEYNOV, A.A.GARIBOV, R.N.MEHDIYEVA

SUMMARY

The paper investigates the influence of temperature on the electrical conductivity of nano SiO₂ irradiated with epithermal neutrons and neutrons from the amount of feed in different areas of the frequency. It has been determined that the compound formed electroactive radiation defects under the influence of radiation and neutron activation substances. That is, the change in the electron flow in the range of $6,7 \times 10^{17} \div 2,7 \times 10^{18}$ n/cm²s 30 times increases the electrical conductivity of nano SiO₂. 2 temperature areas are observed in the original sample while 3 are observed in the irradiated ones. The mechanism of the results is presented.

Key words: nanomaterials, nano SiO₂, neutron effect, electrical property, conductivity.

Redaksiyaya daxil oldu: 19.03.2014-cü il

Çapa imzalandı: 04.07.2014-cü il.