

PACS: 61.80.Hg, 78.70.Nx

## NANO-SiO<sub>2</sub>-NİN DIELEKTRİK XÜSUSIYYƏTLƏRİNƏ NEYTRON SELİNİN TƏSİRİ

R.N.MEHDİYEVA

*AME-nın Radiasiya Problemləri İnstitutu*  
*AZ 1143, Bakı, B.Vahabzadə, 9*  
*ravan.m.n@rambler.ru*

Daxil olub: 07.01.2019  
Çapa verilib: 01.03.2019

### REFERAT

Təqdim olunan işdə nano-SiO<sub>2</sub> nümunələrinin dielektrik xassələri şüalanmadan öncə və sonra tədqiq edilmişdir. Nümunələr sel sıxlığı  $2 \times 10^{13} \text{ n/sm}^2$  olan neytron seli ilə 5, 10, 15 və 20 saat müddətlərində şüalandırılmışdır. İlkin halda və neytron selinin təsirinə məruz qalmış nano-SiO<sub>2</sub>-nin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin tezliyin 0,09Hz-2,26MHz, temperaturun 100K-400K aralqlarında tədqiqinin nəticələri və dielektrik itkilərinin tezlik və temperatur asılılıqlarına neytron selinin təsiri mexanizmləri verilmişdir. Analizlər nəticəsində məlum olmuşdur ki, neytron selinin təsiri ilə nano-SiO<sub>2</sub>-nin dielektrik nüfuzluğu ümumi tendensiyada artır. Nano-SiO<sub>2</sub>-nin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin qarşılıqlı asılılıqları nəzərdən keçirilmişdir. Bu asılılıqlarda mövcud Cole-Cole dioqramlarına bənzər hallardan məlum olmuşdur ki, relaksasiya müddətinin qiyməti nano hissəciklərin polyarlaşmasına uyğundur. Analizlər nəticəsində məlum olmuşdur ki, neytron selinin təsiri ilə nano-SiO<sub>2</sub>-nin dielektrik itkiləri neytron selinin təsir müddətinin artması ilə azalır. Bütün temperaturalarda  $f(\text{tg}\delta) = f(f)$  asılılıqlarında az və ya çox dərəcədə piklər aşkar edilmişdir. Alınmış piklər və digər effektlərin mexanizmi verilmişdir.

Açar sözlər: nano zərrəcik, neytron seli, dielektrik nüfuzluğu, dielektrik itkiləri

### GİRİŞ

Son zamanlar nano-SiO<sub>2</sub>, onun müxtəlif kombinasiyaları dünya tədqiqatçılarının diqqət mərkəzindədir və onun bəzi xassələri nəzəri və praktiki öyrənilmişdir [1-3]. Həmçinin nano-SiO<sub>2</sub> elektronika və texnologiyada xüsusən, kosmik elektronika və nüvə texnologiyalarında çox geniş tətbiq sahələrinə malikdir Bu materiallardan elm və texnikanın müxtəlif sahələrində geniş istifadə olunduğuna görə həmin materiallar mühütün (su və su buxarı, müxtəlif qazlar və s.) və şüalanmanın (qamma-kvantlar, elektronlar, protonlar, neytronlar,  $\alpha$ -zərrəciklər və müxtəlif ionlar və s.) birgə təsirlərinə məruz qalırlar. Odur ki, aqressiv mühitin bu materialın fiziki xassələrində yaratdığı dəyişiklərin tədqiqi çox aktual və əhəmiyyətlidir.[3-8]. Maddə və materialların nano ölçülü hallarında elektron həyəcanlanma və defektlərin sərbəst relaksasiya məsafəsi hissəcik ölçüsü tərtibində oldu-

ğundan bu sistemlərdə həcmi və səthi xassələr arasında fərq aradan qalxmış olur. Bu səbəbdən nano materiallar enerji daşıma, defekt və elektron həyəcanlanma faktorlarının yaranması və səthi səviyyəyə ötürülməsi ilə xarakterizə olunan bütün sahələr üçün effektiv sistem kimi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu cür sistemlərə misal olaraq nüvə yanacaq materialları, yüksək enerjili şüaları detektə etmə sistemləri, radiasiya katalizatorlarını və digər radiasiya materilşünaslığı ilə əlaqədar prosesləri göstərmək olar. Son illərdə bu xüsusiyyətlərinə görə nano zərrəcik, maddə və materiallar nüvə və radiasiya texnologiyaları üçün aktual və perspektiv sistem kimi geniş tətbiq olunur [4-9].

SiO<sub>2</sub> birləşməsi aqressiv mühitə, radiasiya, yüksək temperatur, təzyiq və mexaniki gərginliyə davamlı material kimi hal-hazırda mikro ölçülərdə nüvə və kosmik elektronikada çox geniş tətbiq olunur və onların gələcəkdə tətbiq sahələrinin nano səviyyədə olması qaçılmazdır. Məhz buna görə də

təqdim olunan işdə neytron şüalanmanın təsirinə məruz qalmış nano-SiO<sub>2</sub> birləşməsinin dielektrik xassələrini araşdıraraq, təsir nəticəsində əmələ gəlmiş yeni fiziki xassələri müəyyənləşdirməyə çalışmışıq, çünki, bu yeni fiziki xassələr nanobirləşmənin digər elektrofiziki və fiziki xassələrində kəskin dəyişikliklər yaradır.

Nano-SiO<sub>2</sub>-nin neytron seli ilə şüalanması zamanı yaranan defektlər nümunənin dielektrik xassələrində mühüm dəyişikliklər yaradır. Neytronlarla şüalanmış nano-SiO<sub>2</sub>-nin müxtəlif tezlikli dəyişən sahədə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin şüalanma müddəti, tezlik və temperaturdan asılılığı aşkar olunub. Müxtəlif müddətlərdə kəsilməz olaraq neytronla şüalanmaya məruz qalmış nanobirləşmədə yaranmış defektlər nümunənin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrində dəyişikliklərə səbəb olur. Belə ki, neytron selinin təsir müddətinin artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin ədədi qiymətləri dəyişir ki, bu dəyişiklik də dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsində xəyali hissəyə nisbətən daha çoxdur. İşdə dəyişikliyə əsas səbəb kimi neytron selinin təsiri nəticəsində nümunədə əlavə yüklərin yaranması qeyd edilib. Yaranmış bu əlavə yüklər sistemin polyarlaşmasını və beləliklə də dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrini dəyişir. İşdə həmçinin, xarici sahə tezliyinin artması ilə nümunələrdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin azalması müşahidə olunub ki, bu da tezliyin təsiri ilə sistemdə mövcud olan müxtəlif enerjili yüklərin məhv olması və beləliklə də ümumi polyarlaşmanın azalması kimi izah edilib.

Nano ölçüdə SiO<sub>2</sub> və onun müxtəlif tip qatışıqları son zamanlar dünya tədqiqatçılarının diqqət mərkəzindədir (1-4). Həmçinin silisium və onun oksidli birləşmələri yüksək texnoloji sistemlərin elektronika qurğularında, ionlaşdırıcı şüaların deqretə edilməsində sorbent və radiasiyaya davamlı material kimi geniş tətbiq edilir [3-9]. 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 SiO<sub>2</sub> tərkibcə sadə, alınmasının asanlıqı, ekstremal təsirlərə davamlı oksid dielektrik və müxtəlif

məqsədli material kimi nano ölçülərdə tibdə və yüksək texnologiyada geniş tətbiq sahəsinə malikdir [10]. Bu xassələrinə görə silisium oksid kosmik texnikada və nüvə texnologiyasında da böyük əhəmiyyət kəsb edən birləşmədir. Son dövrlərdə oksid dielektriklərin fiziki və səthi fiziki-kimyəvi xassələrinin hissəciyin ölçülərindən asılı olması, xüsusən də nano tərtibli ölçülərdə həcmi elektron həyəcanlanmaların, defektlər və digər faktorların səthə güclü təsiri aşkar olunub. Odur ki, klassik oksid dielektrik olan SiO<sub>2</sub>-in nano ölçülü nümunələri müasir dövrdə tədqiqatçıların diqqət mərkəzindədir. Bu məqsədlə nano-SiO<sub>2</sub>-nin fiziki və səthi fiziki-kimyəvi xassələrinə ionlaşdırıcı şüaların təsiri tədqiq olunur və bu nümunələrin müxtəlif sahələrdə tətbiqi üzrə təkliflər hazırlanır [1-9].

Təqdim olunmuş bu iş neytronların nano-SiO<sub>2</sub>-nin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinə, eləcə də dielektrik itkilərinə təsirinin tədqiqinə həsr olunub. Neytronlarla şüalanmış nano-SiO<sub>2</sub>-in dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin müxtəlif tezlikli dəyişən sahədə şüalanma müddəti və temperaturdan asılılığı aşkar olunub. Müxtəlif müddətlərdə kəsilməz olaraq neytronlarla şüalanmaya məruz qalmış nanobirləşmədə yaranmış defektlər nümunənin dielektrik xassələrində dəyişikliklərə səbəb olur. Belə ki, neytron selinin təsir müddətinin artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin ədədi qiymətləri dəyişir ki, bu dəyişiklik də dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsində xəyali hissəyə nisbətən daha çoxdur. İşdə dəyişikliyə əsas səbəb kimi neytron selinin təsiri nəticəsində nümunədə əlavə yüklərin yaranması qeyd edilib. Yaranmış bu əlavə yüklər sistemin polyarlaşmasını və beləliklə də dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrini dəyişir. Həmçinin işdə, xarici sahə tezliyinin artması ilə nümunələrdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin azalması müşahidə olunub. Bu isə, tezliyin təsiri ilə sistemdə müxtəlif baryer enerjisinə malik yüklərin məhv olması və beləliklə də polyarlaşmanın azalması kimi izah edilib.

Neytronlarla şüalanmış SiO<sub>2</sub>-nin dielektrik itkilərinin müxtəlif tezlikli dəyişən sahədə şüalanma müddəti, tezlik və temperaturdan asılılığı tədqiq edilib. Müxtəlif müddətlərdə kəsilməz olaraq neytronlarla şüalanmaya məruz qalmış nano-SiO<sub>2</sub>-

də yaranmış defektlər nümunələrin dielektrik itkilərində də dəyişikliklərə səbəb olur. Belə ki, neytron selinin təsir müddətinin artması ilə dielektrik itkilərinin ədədi qiymətləri dəyişir ki, bu da nanohissəciklərin birbaşa fiziki xassələrində dəyişiklik yaradır. İşdə dəyişikliyə əsas səbəb kimi neytron selinin təsiri nəticəsində nümunədə əlavə yüklərin yaranması qeyd edilib. Yaranmış bu əlavə yüklər nanohissəcik daxilində dielektrik itkilərini dəyişir. Həmçinin tədqiqat zamanı xarici sahə tezliyinin artması ilə nümunələrdə dielektrik itkilərinin azalması müşahidə olunub. Bu isə, tezliyin təsiri ilə sistemdə mövcud dipolların məhv olması və beləliklə də ümumi itkilərin azalması kimi izah edilir.

### TƏCRÜBƏ

**Nümunə hazırlığı:** Tədqiqat obyektini olaraq xüsusi səth sahəsi 160m<sup>2</sup>/q, hissəcik ölçüləri 20nm və təmizliyi 99,5% olan SiO<sub>2</sub> götürülüb [11-16], istehsalçı firma: SkySpring Nanomaterials, Inc. Houston, USA]. Nano-SiO<sub>2</sub> 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 2·10<sup>13</sup>n/sm<sup>2</sup>san sel sıxlığına malik neytron seli ilə tam güc rejimində (250kVt) şüalandırılmışdır. Neytron seli reaktor tam güc rejimində işlədikdə aşağıdakı tərkib hissəyə malikdir [17,47,48]: termal neytronlar üçün 5.107·10<sup>12</sup>n/sm<sup>2</sup>san (1±0.0008, E<sub>n</sub><625eV), epitermal neytronlar üçün 6.502x10<sup>12</sup>n/sm<sup>2</sup>san (1±0.0008, E<sub>n</sub>~625eV÷0.1MeV), sürətli neytronlar üçün 7.585·10<sup>12</sup>n/sm<sup>2</sup>san (1±0.0007, E<sub>n</sub>>0.1MeV) və nəhayət bütün neytronlar üçün mərkəzi kanalda sel sıxlığı 1.920·10<sup>13</sup>n/sm<sup>2</sup>san (1±0.0005) kimidir.

Neytronlarla şüalanmış nano-SiO<sub>2</sub>-nin dielektrik xassələri Sloveniyanın Lyublyana şəhərində Jozef Stefan İnstitutunun “Bərk Maddə Fizikası F5” lobaratoriyasında “Novocontrol Alpha High Resolution Dielectric Analyzer” cihazında tezliyin 10<sup>-6</sup>Hz və temperaturun isə 10<sup>-2</sup>K dəqiqliyi ilə ölçülmüşdür. Neytronla şüalandırma və neytron selinin xarakterik parametrlərinin təyini ədəbiyyatlarda verilmiş məlum metodika ilə aparılmışdır. Nano-SiO<sub>2</sub> tozu Jozef Stefan İnstitutunun “Nazik təbəqələr və səthlər fizikası” lobaratoriyasında xüsusi şəraitdə 7kN/sm<sup>2</sup> təzyiqdə sıxılaraq hündür-

lüyü 550µm və diametri 5.5mm olan tabletka (həblər) formasında hazırlanaraq reaktorun kanallarına uyğun alüminium konteynerdə yerləşdirilmişdir. Hazırlanmış nümunələr mərkəzi kanalda 5, 10, 15 və 20 saat müddətlərində kəsilməz olaraq şüalandırılıb. Neytron selinin təsiri nəticəsində nümunələrin aktivliyi 1,5GBq-ə qədər artmışdır [11]. Bu səbəbdən bütün ölçmələr neytron selinin təsirindən təqribən 200 saat sonra aparılmışdır. Şüalanmadan sonra nümunələrin səthinə xüsusi şəraitdə gümüş kontaktlar vurulub və onun keyfiyyəti yoxlanılıb. Püskürtmə üsulu ilə üst təbəqədə alınmış Cr/Au elektrodlarından istifadə edilmişdir. Sonra alınmış nümunələr iki platin lövhələr arasına alınaraq ölçmələr aparılmışdır.

**Ölçmə:** Nümunələrin dielektrik parametrləri “Novocontrol Alpha High Resolution Dielectric Analyzer” cihazında dəyişən sahə üçün (~0,5V) temperaturun 100-400K intervalında ölçülmüşdür. Ölçmələr zamanı temperaturun hər hansı dərəcədə saxlanma dəqiqliyi 0,01K kimi olmuşdur və bu dəqiqlik körpü metodu ilə əldə edilmişdir. Təcrübələrdən birbaşa alınan nəticələr əsasında məlum parametrlər nəzərə alınaraq dielektrik parametrləri qiymətləndirilmişdir. Təcrübi nəticələrə əsaslanan nəzəri hesablamalar zamanı əsasən aşağıdakı münasibətlərdən istifadə olunmuşdur:

$$\varepsilon' = \frac{C}{C_0}, \varepsilon'' = \frac{1}{\omega C_0 R} = \frac{G}{\omega C_0} \quad \text{və} \quad \text{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (1)$$

burada  $C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$  - kondensatorun vakuum tutumu,

$G = \frac{1}{R}$  - keçiricilik, C - cihazla ölçülmüş tutum,

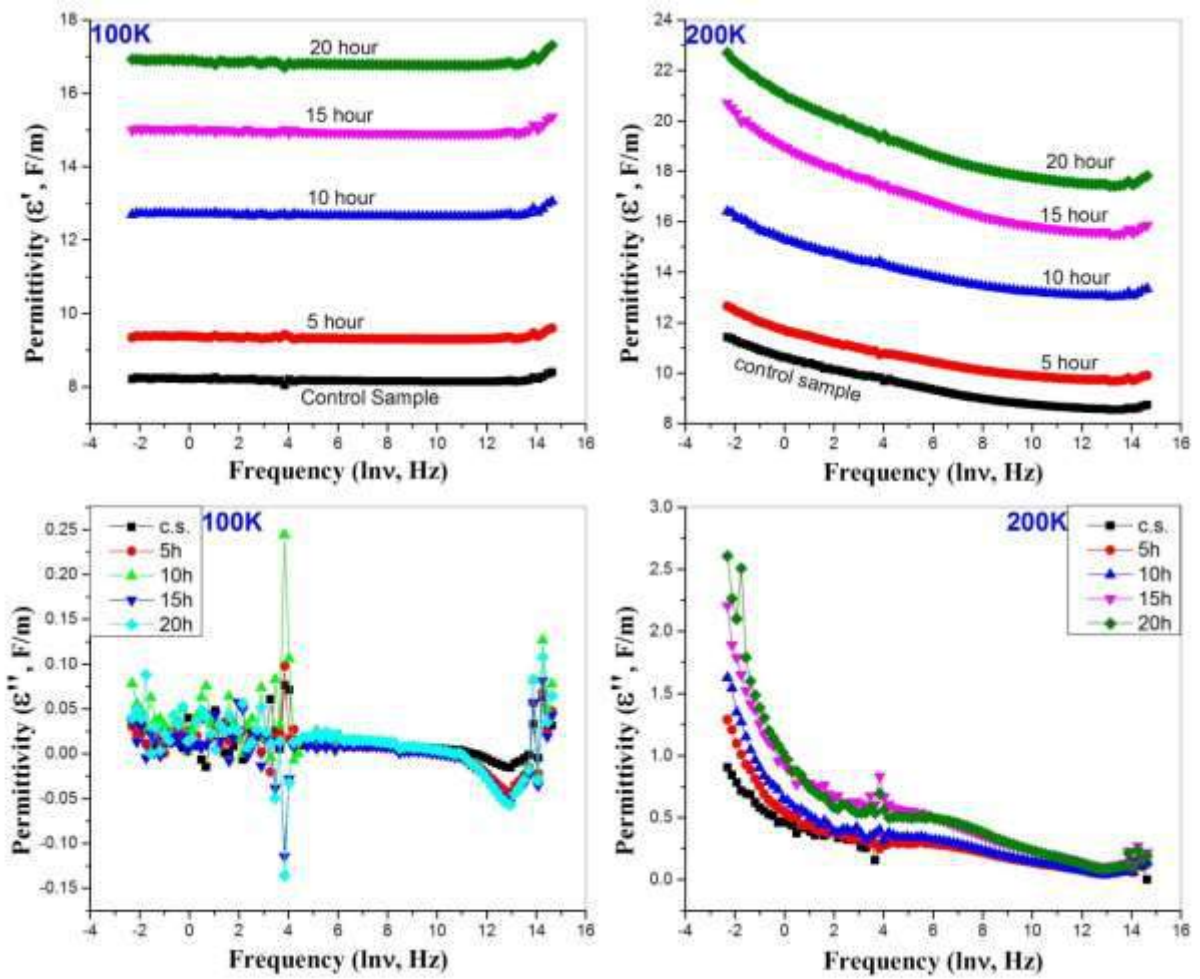
R - cihazla ölçülmüş müqavimət,  $\delta$  - dielektrik itki bucağı, S - nümunələrin kontaktlarının sahəsi, d - nümunələrin qalınlığı və  $\varepsilon'$ ,  $\varepsilon''$  isə uyğun olaraq dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələridir. Hesablanmış qiymətlərə uyğun alınan bütün nəticələr “OriginPro 9.0” proqramında qrafik olaraq təsvir edilmişdir.

### MÜZAKIRƏLƏR VƏ NƏTİCƏ

Ölçmələr zamanı nümunələrin dielektrik xassələrinin tezlik asılılıqları temperaturun müxtəlif dörd sabit qiymətində nəzərdən keçirilmişdir.

Təcrübələr tezliyin 0,09-2260000Hz aralığında 95 müxtəlif sabit qiymətlərində aparılmışdır və ölçmələr zamanı məlum olmuşdur ki, temperaturun müxtəlif qiymətlərində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin qarşılıqlı və tezlik asılılığı fərqlidir. Temperaturun 100K, 200K, 300K və 400K sabit qiymətlərində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin qarşılıqlı və tezlik asılılığı nəzərdən keçirilmişdir. İlk olaraq temperaturun 100K və 200K oblastlarında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin tezlik asılılıqlarını nəzərdən keçirək (Şəkil 1). Tempe-

raturun 100K qiymətində  $f(\epsilon')=f(\nu)$  asılılığından neytron selinin təsir müddətinin artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin artması aşkar müşahidə olunur. İlk nümunənin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin minimum olması bu halda polyarlaşmanın minimum olmasını deməyə əsas verir. Neytron selinin təsiri nəticəsində nümunələrdə əlavə yükdaşıyıcılar yaranır ki, bunlar da nümunələrdə əlavə ümumi polyarlaşmaya səbəb olur. Məhz bu yükdaşıyıcıların təsiri nəticəsində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi artır.



Şəkil 1

Nano SiO<sub>2</sub> hissəciklərinin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin 100K və 200K temperaturlarda tezlik asılılıqları.

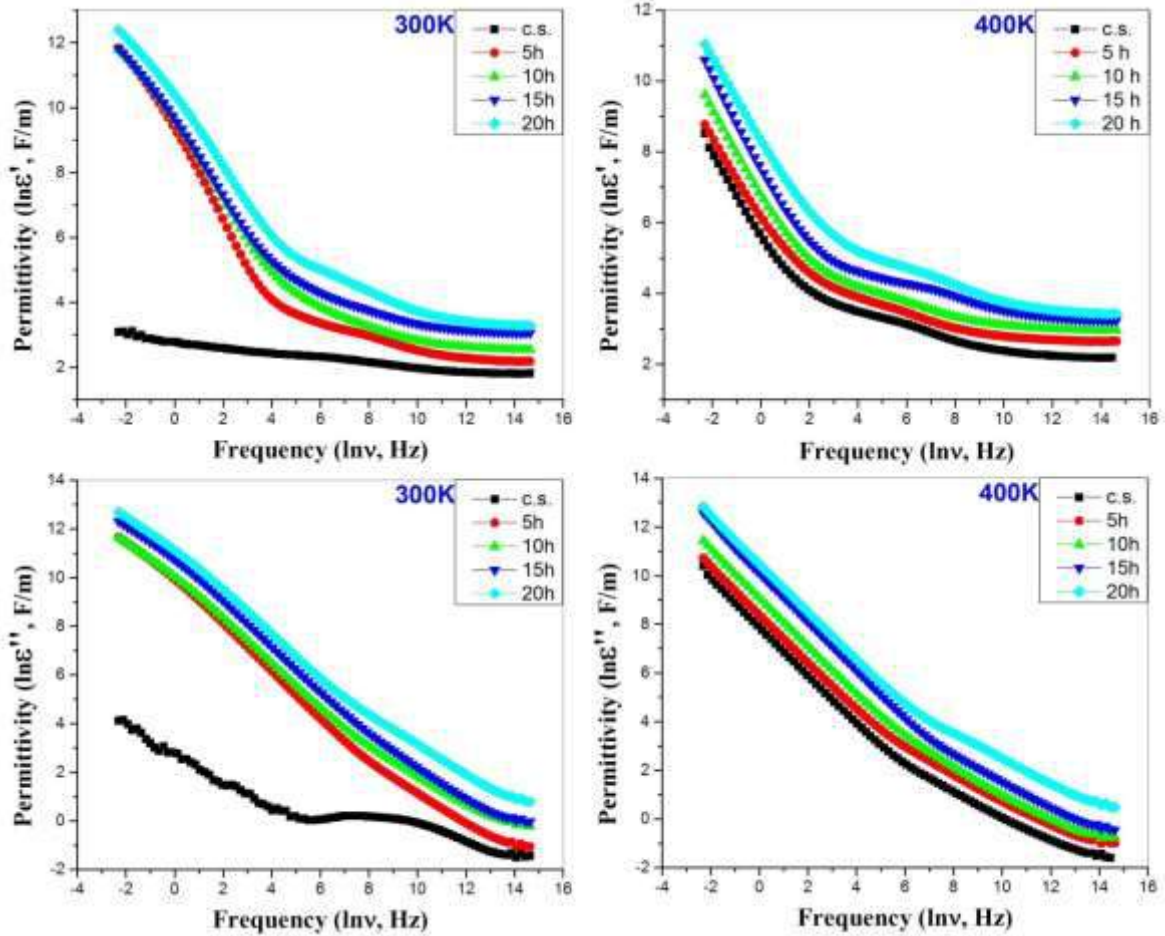
Temperaturun 200K qiymətində anoloji proses baş verir. Bu temperaturda tezliyin artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin asılması isə temperatur və tezliyin birlikdə təsirinin nəticəsidir. 100K temperaturda dielektrik nüfuzluğu-

nun xəyali hissəsinin tezlik asılılığında mövcud xaotiklik ola bilsin ki, bu temperaturda sistemdə yaranan klasterlərlə bağlıdır [12-17]. Eyni zamanda həmin xaotiklik temperaturun 200K qiymətində də müəyyən qədər müşahidə olunur.

Digər tərəfdən xaotikliyin aşağı tezlik oblastında çox olması bu oblasda nanomaterialın polyarlaşmaya daha çox meyilli olmasından irəli gəlir. Nisbətən yüksək temperaturlarda, xüsusilə neytron selinin təsirinə məruz qalmış nümunələrdə bu daha aşkar müşahidə olunur (Şəki 2).

Şəkindən görüldüyü kimi temperaturun 300K və 400K qiymətlərində dielektrik nüfuzluğu-

nun həqiqi hissəsi aşağı tezliklərdə maksimum qiymətlərini alır. Bu maksimum neytron selinin təsirinə məruz qalmış nümunələrdə 300K temperaturda daha kəskin müşahidə olunur. Anoloji hadisələr dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsində də təkrarlanır ki, bu da təbiidir (Şəki 2). Alınmış bu nəticələr aşağı tezliklərdə nanohissəciklərin dipol halında formalaşması kimi qəbul oluna bilər [27].



Şəkil 2

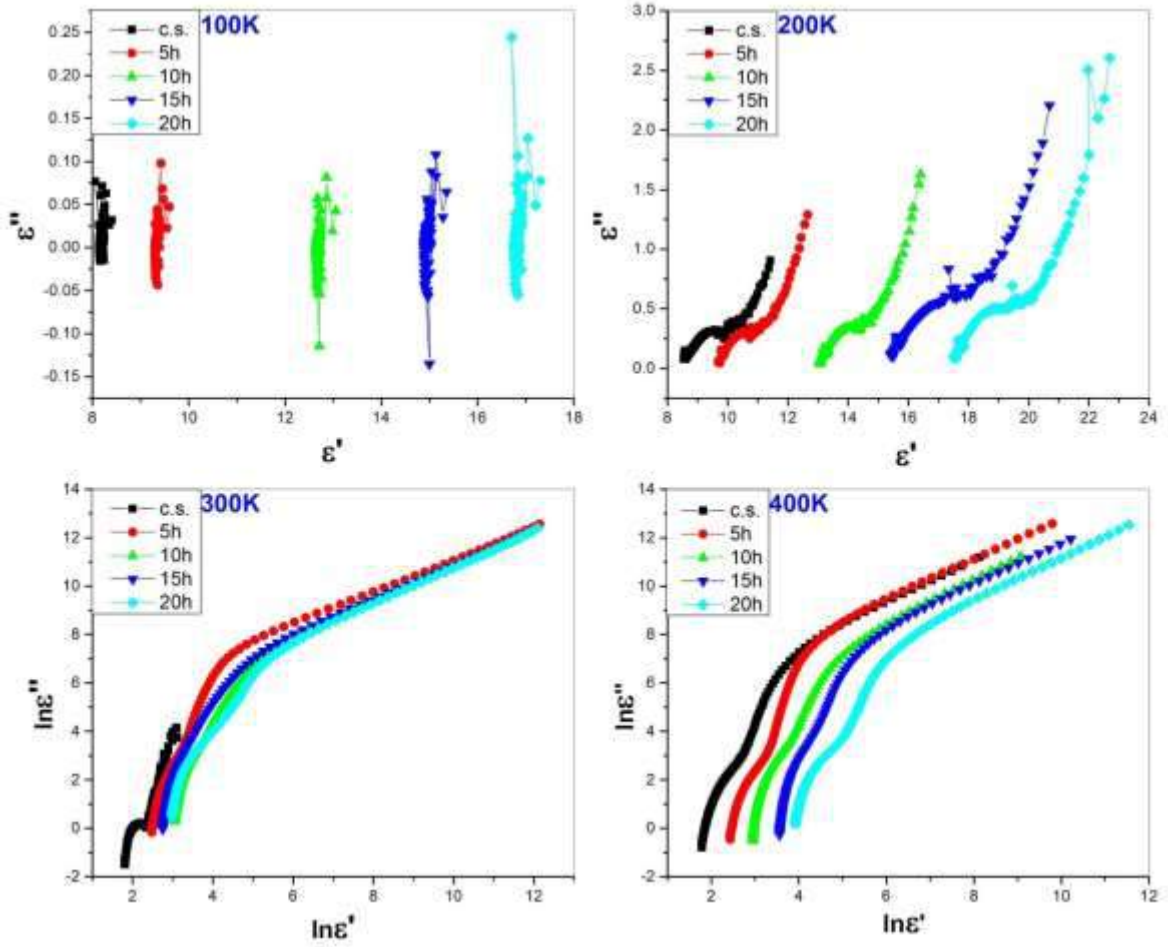
Nano SiO<sub>2</sub> hissəciklərinin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin 300K və 400K temperaturlarda tezlik asılılıqları.

Temperaturun 100K qiymətində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin qarşılıqlı asılılığından bir daha neytron selinin artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin artması faktı təsdiqlənir (Şəkil 3).

Digər tərəfdən dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin sıfır qiyməti ətrafında rəqs etməsi

müşahidə olunur. Aşağı temperaturlarda nümunə daxilində yaranan klasterlər tezliyin təsiri ilə parçalanaraq cihazın mənfi müqavimət qeyd etməsinə səbəb olur. Bu hal nümunələrin elektrik keçiriciliyini analiz edərkən də müşahidə olunub və anoloji klaster modeli ilə izah olunur [20-26].





Şəkil 3

Nano SiO<sub>2</sub> hissəciklərinin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin qarşılıqlı asılılıqları.

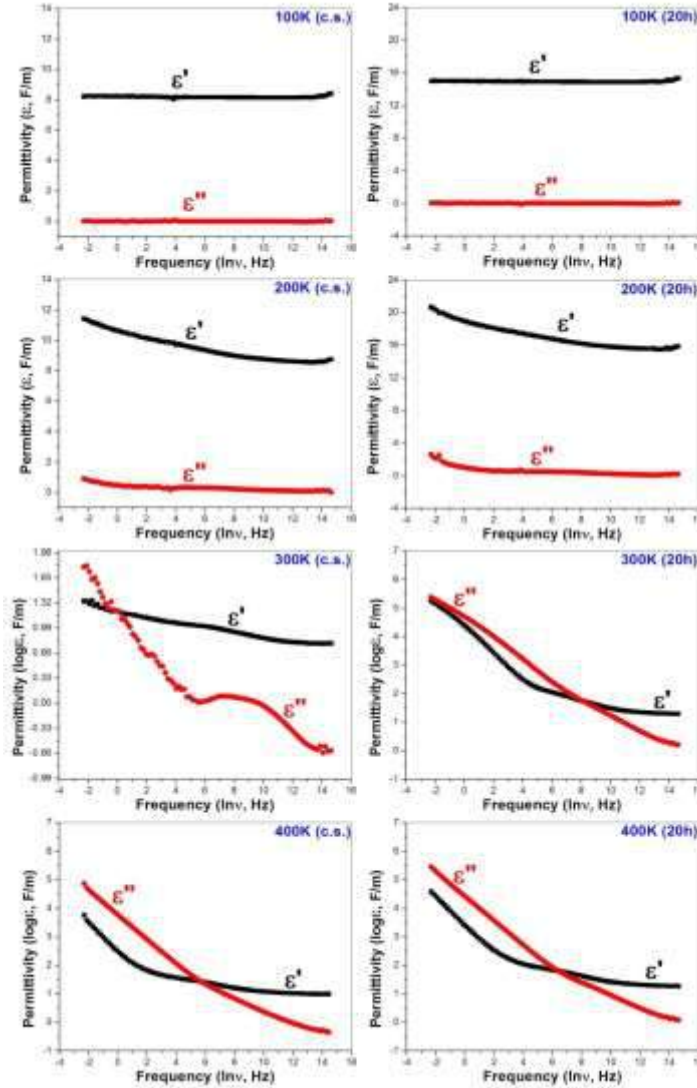
200K temperaturda tezliyin və istiliyin təsiri ilə mövcud klasterlər məhv olur və dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsində mənfi hallar müşahidə olunmur. Bu temperaturda dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin təqribən 0.1-0.5 qiymətləri aralığında orta tezlik oblastında “Cole-Cole” dioqramına oxşar hallar müşahidə olunur ki, bu da həmin oblastda relaksasiya oluna biləcək polyarlaşmanın varlığına işarədir. Bu halda hesablanmış relaksasiya müddəti şüalanma müddəti ilə düz mütənəsb olaraq azalır və qiyməti nano hissəciklərin polyarlaşmasına uyğundur. Belə mühakimə irəli sürmək olar ki, şüalanmanın təsiri ilə sistemdə əlavə yükdaşıyıcılar yaranır və bu relaksasiya müddətini azaldır. Temperaturun 300K qiymətində “Cole-Cole” dioqramına bənzər bir relaksasiya halı müşahidə olunur. 400K temperaturda isə hər bir əyridə “Cole-Cole” dioqramına bənzər iki hal müşahidə olunur. Bu isə onu deməyə əsas verir ki, bu

temperaturda öz stasionar hallarına görə fərli iki tip relaksor ola bilər.

Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin bir koordinat sistemində tezlikdən asılılıqlarını nəzərdən keçirərkən 100 və 200K temperaturda həqiqi hissənin xəyali hissədən dəfələrlə çox olması aşkar nəzərə çarpır (Şəkil 4). Digər tərəfdən 20 saat neytron selinin təsirinə məruz qalmış nümunələrdə dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsində nəzərə çarpacaq qədər dəyişiklik olmasa da, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi təqribən 2 dəfə artmışdır. Həmçinin, temperaturun 100K qiymətində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələri demək olar ki tezlikdən asılı deyil. Lakin 200K temperaturda tezliyin artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələri zəif tendensiya ilə azalır. 300 K temperaturda aşağı tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi həqiqi hissədən böyük, yüksək tezliklərdə isə

əksinədir. Temperaturun 400K qiymətində müşahidə olunan əyriilər bu nümunələr üçün spesifikdir. Bu isə adətən nümunə daxilində yükdaşıyıcıların sıçrayışlı iştirakı, yüklərin toplanması və yüklənmə-boşalma cərəyanı kimi qəbul olunur [27-28].

Bu halda nano-SiO<sub>2</sub> daxilində sıçrayışlı-proton keçiriciliyinin olması gözlənilən haldır. Aparılan ümumi analizlərdən məlum olmuşdur ki, temperaturun artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin ədədi qiymətləri artır.

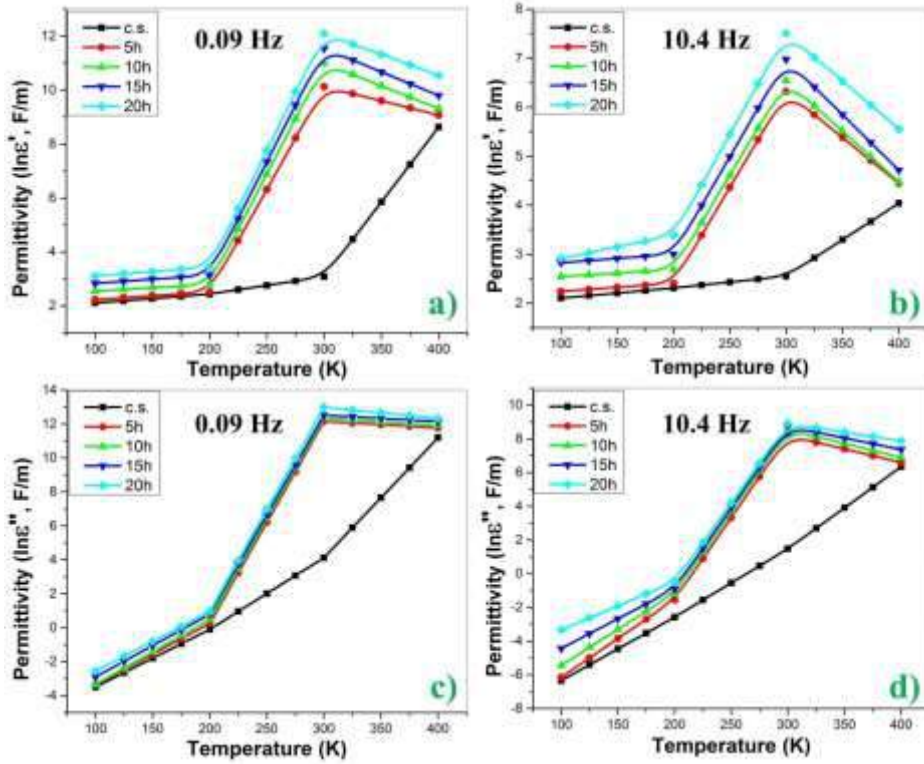


**Şəkil 4**

Nano SiO<sub>2</sub> hissəciklərinin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin tezlik asılılıqları (c.s. -şüalanmadan öncə, 20h - şüalanmadan sonra).

Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin analizlərindən məlum olmuşdur ki, tezliyin müxtəlif qiymətlərində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin temperatur asılılığı fərqlidir. Tezlik aralığının geniş olduğunu və sabit qiymətlərin çoxluğunu nəzərə alaraq bu tezlik aralıqları şərti olaraq üç qrupa ayrılmışdır. Hər qrupda 2 tezlik olmaqla ümumilikdə 6 sabit tezlik oblastında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və

xəyali hissələrinin temperatur asılılığı nəzərdən keçirilmişdir. Birinci qrupu şərti olaraq aşağı tezliklər (0,09 və 10,4Hz) oblastı, ikinci qrupu orta tezliklər (55 və 2310Hz) oblastı və üçüncü qrupu yüksək tezliklər (200923 və 2260000Hz) oblastına ayırmaq olar. İlk olaraq aşağı tezlik oblastında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin temperatur asılılıqları nəzərdən keçirilmişdir (Şəkil 5).



Şəkil 5

İlkin halda (c.s.) və müxtəlif müddətlərdə (5,10,15,20 saat) neytron selinin təsirinə məruz qalmış nano-SiO<sub>2</sub>-in aşağı tezlik oblastında müxtəlif tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi (a və b) və xəyali (c və d) hissələrinin temperatur asılılıqları.

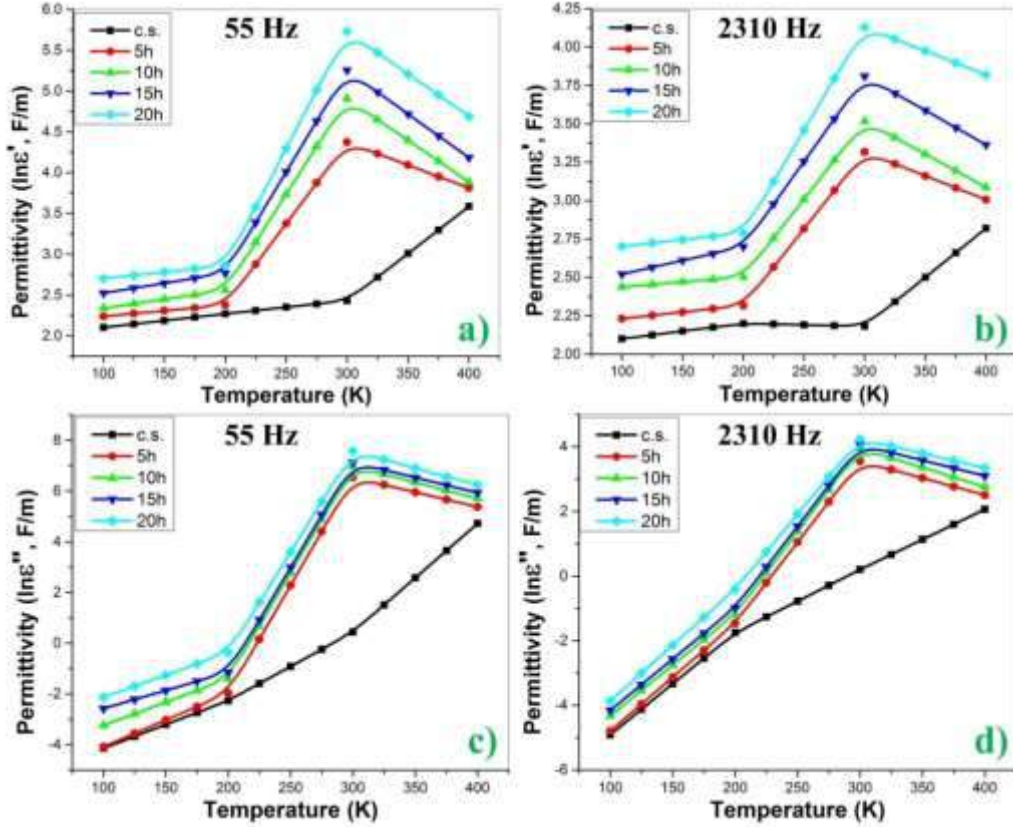
Şəkildən şüalanmadan öncəki nümunələrin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin şüalanmadan sonrakı nümunələrə nisbətən kəskin fərqləndiyi aşkar müşahidə olunur. Bu fərq temperaturun 200K qiymətinə qədər çox az müşahidə olunsada, temperaturun 200-400K aralığında kəskindir. Şüalanmadan öncəki nümunələrdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin artma sürəti temperaturun təqribən 290K qiymətinə qədər zəifdir. Lakin temperaturun 290K qiymətindən sonra artma sürəti kəskinləşir. Dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsində isə, ilkin nümunələrdə temperatur asılılığı demək olar ki xətti artandır. Ümumilikdə temperaturun artması ilə polyarlaşmanın artması dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin artmasına səbəb olur. Neytron selinin təsiri nəticəsində, temperaturun təqribən 100-195K qiymətləri aralığında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsində demək olar ki, dəyişiklik yoxdur. Lakin temperaturun təqribən 195-290K qiymətləri aralığında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi kəskin artır. Bunun səbəbi neytronların təsiri nəticəsində sistemdə yaranan yeni yüklü his-

səciklərin əlavə polyarlaşması ola bilər. Temperaturun 290-400K qiymətləri aralığında isə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin ədədi qiyməti temperaturun artması ilə azalır. Bu isə belə izah oluna bilər ki, neytronların təsiri nəticəsində sistemdə yaranan yeni yüklü hissəciklər temperaturun təsiri ilə məhv olur və polyarlaşma azalmağa başlayır. Digər tərəfdən temperaturun təqribən 100-195K qiymətləri aralığında dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi demək olar ki, şüalanmadan öncəki nümunəyə uyğun olaraq artır. Temperaturun təqribən 195-290K qiymətləri aralığında dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi həqiqi hissədə olduğu kimi kəskin artır. 290K-400K temperatur aralığında isə dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin ədədi qiyməti temperaturun artması ilə çox zəif tendensiya ilə azalır. Bütün temperatur oblastında dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsində müşahidə olunan dəyişikliklər dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinə uyğun olaraq izah oluna bilər. Belə ki, nümunələrdə polyarlaşmanın çox və ya az olması sistemdə uyğun itginin olmasına səbəb olur.



Orta tezliklər oblastında şüalanmadan öncə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi temperaturun təqribən 100-300K qiymətləri aralığında demək olar ki temperaturdan asılı deyil (Şəkil 6, a, b). Temperaturun 300-400K aralığında isə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsində artma müşahi-

də olunur. Neytron selinin təsirindən sonra isə temperaturun təqribən 100-195K aralığında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin ədədi qiyməti şüalanmaya mütənasib olaraq artsa da, temperaturdan demək olar ki, asılı deyil.



Şəkil 6

İlkin halda (c.s.) və müxtəlif müddətlərdə (5,10,15,20 saat) neytron selinin təsirinə məruz qalmış nano SiO<sub>2</sub>-nin orta tezlik oblastında müxtəlif tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi (a və b) və xəyali (c və d) hissələrinin temperatur asılılıqları.

Lakin temperaturun təqribən 195-300K aralığında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi temperaturdan düz mütənasib olaraq artır. Temperaturun 300-400K aralığında isə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsində azalma müşahidə olunur. Orta tezliklər oblastında şüalanmadan öncə dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi bütün temperatur aralığında demək olar ki, xətti artan funksiyadır (Şəkil 6, c, d). Şüalanmadan sonra isə dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsində həqiqi hissəyə analogi hallar müşahidə olunur.

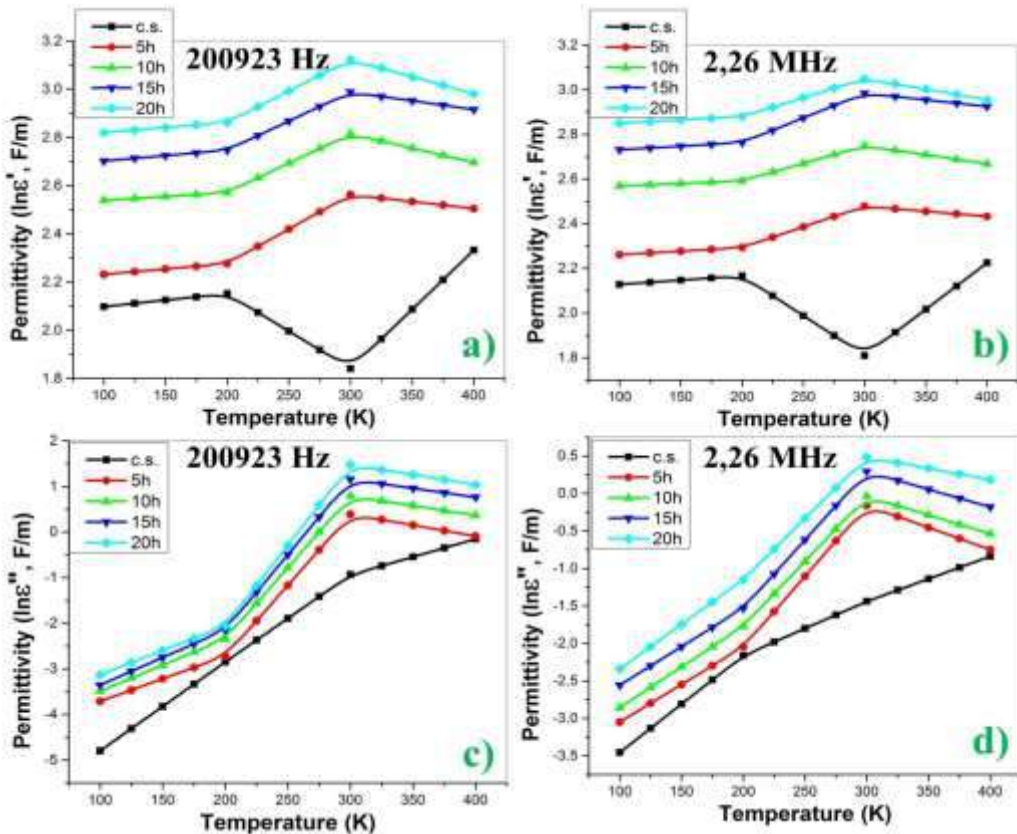
Yüksək tezliklər oblastında dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsində az dəyişikliklər olsa da dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsində kəskin fərqlər müşahidə olunur (Şəkil 7). Bu fərq xüsusilə

temperaturun 195-300K aralıklarında daha kəskin hal alır. Şüalanmadan öncə və neytron selinin təsirinə məruz qalmış nümunələrdə temperaturun təqribən 100-195K aralığında dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi demək olar ki, sabit qalır (Şəkil7,a, b).

Lakin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin ədədi qiyməti şüalanmaya mütənasib olaraq artır ki, bunun da səbəbi neytron selinin təsiri nəticəsində sistemdə yaranmış yeni yüklərin əlavə polyarlaşması ola bilər. Temperaturun təqribən 195-300K aralığında şüalanmadan öncəki nümunənin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi azalan funksiyadır. Bunun səbəbi, bu aralıqda temperatur və tezliyin təsiri nəticəsində nümunəyə xas hər hansı baryer enerjiyə malik polyarlaşmanı

yaradan bir qrup “məxsusi” yüklərin anniqilyasiya olmasıdır. 300-400K temperatur aralığında isə şüalanmadan öncəki nümunənin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi artan funksiyaya çevrilir. Digər yüklər tezlik və temperaturun təsiri ilə aktivləşir və nümunənin polyarlaşma qabiliyyətini artırır. Neytron selinin təsirindən sonra nümunələrin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi temperaturun təqribən 195-300K aralığında aşağı tendensiya ilə artır. Aşağı tendensiya ilə artmanın əsas səbəbi tezlik və temperaturun bu qiymətinə uyğun məxsusi yüklərin məhv olmasıdır. Bu halda artma yalnız neytron selinin təsiri ilə yeni yaranmış yüklərin aktiv polyarlaşması hesabınadır. Temperaturun təqribən 300-400K aralığında isə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi demək olar ki dəyişmir. Bu halda, nümunənin məxsusi polyarlaşması artır, lakin neytron selinin təsiri nəticəsində yeni yaranmış yüklər məhv olur. Beləliklə, bu iki proses bir-birini tarazlaşdırır və yekunda dielektrik nüfuzluğu de-

mək olar ki dəyişmir. Dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi isə bu halda yalnız ədədi qiymətin azalması ilə digər hallardan fərqlənir (Şəkil 7, c, d). Ümumiyyətlə neytron selinin təsir müddətinin artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin ədədi qiymətləri artır. Bu artım dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsində xəyali hissəyə nisbətən daha çoxdur. Bunun isə əsas səbəbi neytron selinin təsiri nəticəsində nümunədə əlavə yüklərin yaranması ola bilər. Yaranmış bu əlavə yüklər sistemin polyarlaşmasını və beləliklə də dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsini artırır. Təbii olaraq əgər sistemdə polyarlaşma artırsa buna uyğun olaraq sistemin dielektrik itgisi də artmalıdır. Digər tərəfdən tezliyin artması ilə nümunələrdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin azalması müşahidə olunur. Bu isə, tezliyin təsiri ilə sistemdə mövcud müxtəlif baryer enerjisinə malik yüklərin məhv olması və beləliklə də polyarlaşmanın azalması kimi izah oluna bilər.

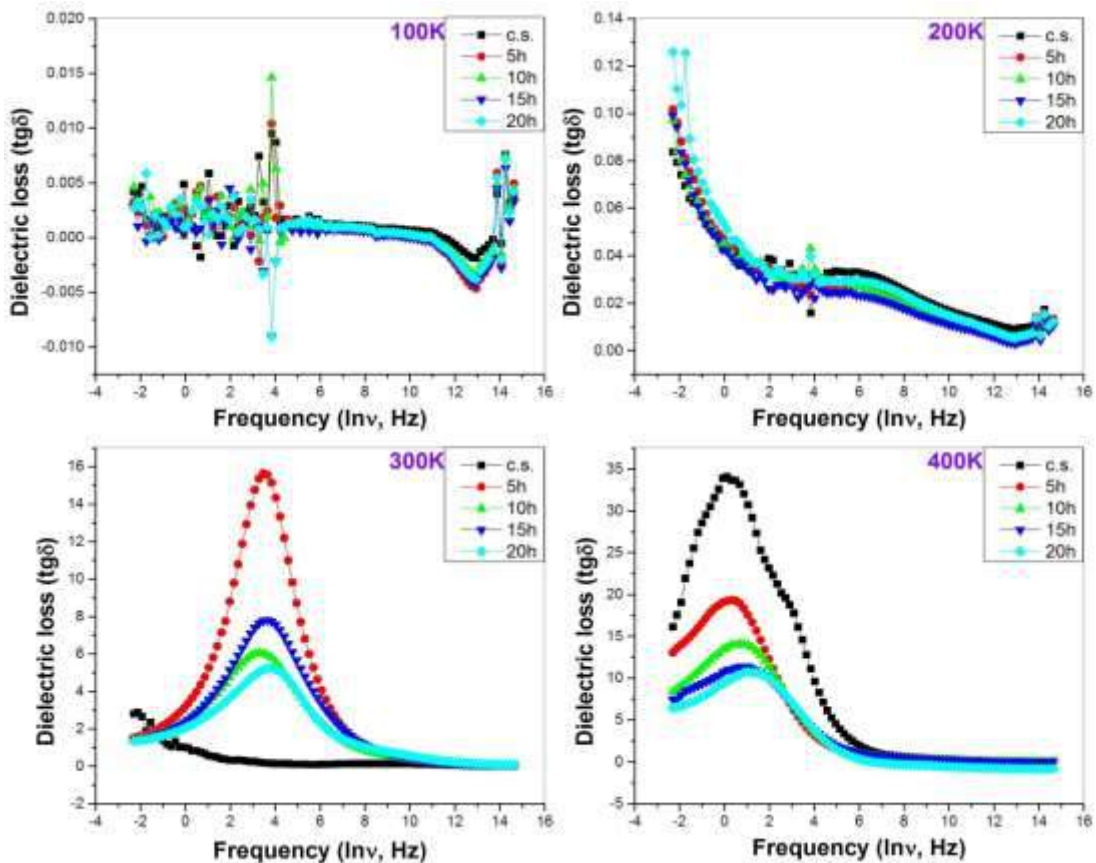


Şəkil 7

İlkin halda (c.s.) və müxtəlif müddətlərdə (5,10,15,20 saat) neytron selinin təsirinə məruz qalmış nano-SiO<sub>2</sub>-nin yüksək tezlik oblastında müxtəlif tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi (a və b) və xəyali (c və d) hissələrinin temperatur asılılıqları.

Dielektrik itkilərinin araşdırılması zamanı məlum olmuşdur ki, temperaturun müxtəlif qiymətlərində dielektrik itkilərinin tezlik asılılığı fərqlidir. Temperaturun 100K, 200K, 300K və 400K sabit qiymətlərində dielektrik itkilərinin tezlik asılılığı nəzərdən keçirilmişdir. İlk olaraq temperaturun 100K, 200K, 300K və 400K oblastlarında dielektrik itkilərinin tezlik asılılıqlarını nəzərdən keçirərək (Şəkil 8). Temperaturun 100K qiymətində  $f(\text{tg}\delta)=f(f)$  asılılığında ilkin halda və neytron selinin təsirinə məruz qalmış nümunələrdə dielektrik itkilərinə xaosluq müşahidə olunur. Bu temperaturda dielektrik itkilərinin tezlik asılılığında mövcud xaosluq klaster nəzəriyyəsi ilə çox yaxşı izah oluna bilər [20-26]. Belə ki, bu nəzəriyyəyə əsasən məlum olur ki, neytron şüalanmasının və soyumanın təsiri nəticəsində sistemdə klasterlər yaranır [20-26]. Bu klasterlər tezliyin təsiri ilə müxtəlif vaxtlarda parçalanır və cihazı xaosluq itki göstərməyə vadar edir.

Temperaturun 200K qiymətində mövcud klasterlər temperaturun təsiri ilə demək olar ki, yoxa çıxır və sistemdə xaosluq azalır. Ümumi tendensiyada tezliyin artması ilə sistemdə dielektrik itkiləri azalır. Aşağı tezliklərdə bu azalma daha kəskin müşahidə olunur. Bu isə belə izah oluna bilər ki, tezliyin təsiri ilə sistemdə mövcud dipollar məhv olur və beləliklə də nümunədə ümumi itkilər azalır. 300K temperaturda şüalanmadan öncə nümunənin dielektrik itkisinin tezlik asılılığı neytron selinin təsiri ilə yaranmış asılılıqdan kəskin fərqlənir. Mövcud tezlik aralıklarında neytron selinin təsirinə məruz qalmış nümunələrdə kəskin piklər müşahidə olunur. Bu temperaturda tezliyin 60Hz ətrafında mövcud piklər bu tezliklərdə enerji itkilərinin maksimum olmasını göstərir. Bunun əsas səbəbi sistemin məxsusi tezliyinin bu halda və temperaturda 60Hz ətrafında olmasıdır. Digər tərəfdən temperaturun 400K qiymətində tezliyin 5Hz ətrafında pik hallar müşahidə olunur.



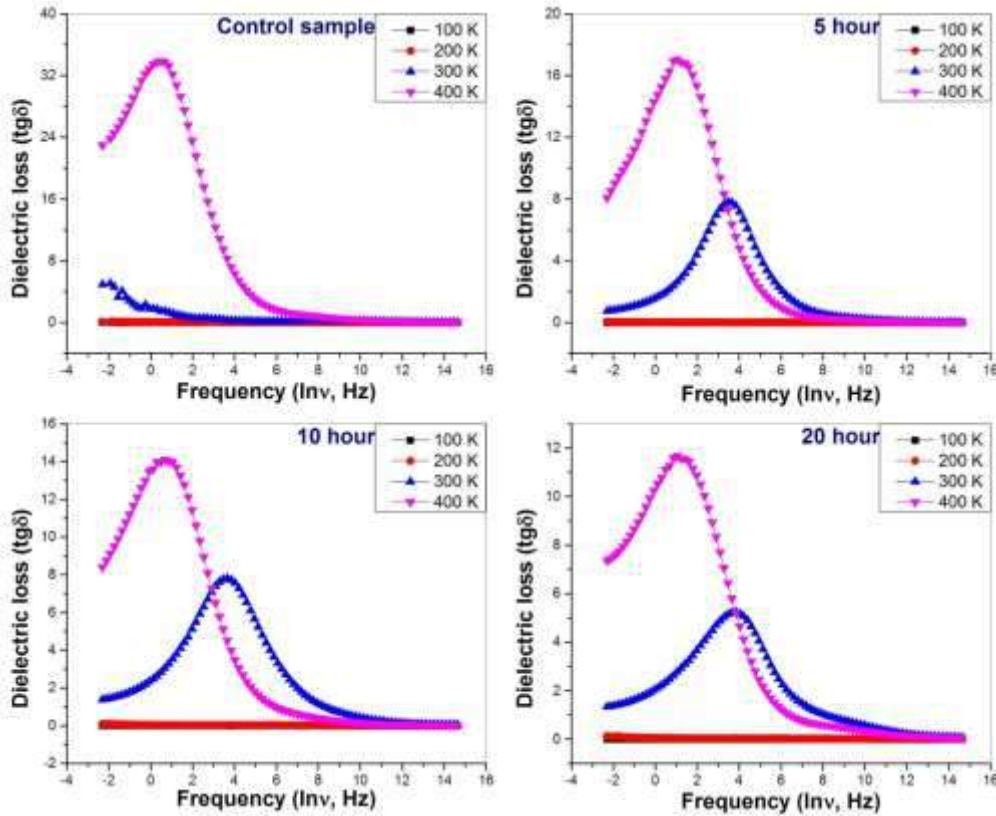
**Şəkil 8**

Müxtəlif temperaturlarda ilkin halda və fərqli müddətlərdə şüalanmış SiO<sub>2</sub> nanohisəciklərinin dielektrik itkilərinin tezlik asılılıqları.



Şəkil 8-də göstərilən 4 temperaturda  $f(\text{tg}\delta)=f(f)$  asılılıqlarını diqqətlə nəzərdə keçirsək görürük ki, bütün asılılıqlarda az və ya çox dərəcədə piklər mövcuddur. Temperaturun artması ilə mövcud piklərin tezliyin azalmasına doğru sürüşməsi müşahidə olunur. Temperaturun artması ilə piklərin aşağı tezliklərə doğru sürüşməsi nümunədə relaksasiya müddətinin artmasını göstərir. Belə

ki, ola bilsin ki, temperaturun artması ilə nümunə daxilində yükdaşıyıcıların miqdarı artır və bunun nəticəsində relaksasiya müddətinin ədədi qiyməti artır. Digər tərəfdən aşağı tezliklərdə mövcud piklər nümunə daxilində dağınıq polyarizasiyanı izah edir [51]. Buna əsasən deyə bilərik ki, temperaturun artması ilə nümunə daxilində polyarizasiya daha çox dağınıq hal alır.



Şəkil 9

İlkin halda və müxtəlif müddətlərdə şüalanmış  $\text{SiO}_2$  nanohissəciklərinin fərqli temperaturlarda tezlik asılılıqları.

Bu sürüşməni ayrı-ayrılıqda nümunələrin fərqli temperaturlarda tezlik asılılıqlarında daha aşkar müşahidə etmək olar (nisbətən yüksək temperaturlarda, 300K və 400K, şəkil 9). Lakin nisbətən aşağı temperaturlarda (100K və 200K) nümunələrin dielektrik itkiləri demək olar ki, yoxdur. Bu asılılıqlarda neytron selinin təsir müddətinin artması ilə dielektrik itkilərinin ədədi qiymətlərinin azalması müşahidə olunur. Belə ki, neytron selinin təsiri ilə nümunə daxilində yaranan əlavə yükdaşıyıcılar dielektrik itkilərinin azalmasına səbəb olur.

## NƏTİCƏLƏR

Aparılan tədqiqatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, neytron selinin təsiri ilə nano- $\text{SiO}_2$ -nin dielektrik nüfuzluğu ümumi tendensiyada artır. Temperaturun 100K qiymətində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi demək olar ki tezlikdən asılı olmayaraq neytron selinin təsir müddətinin artması ilə artır. Nisbətən yüksək temperaturlarda (200K, 300K və 400K) dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin tezlikdən tərs mütənəsb asılı olduqları aşkar olunmuşdur. Neytron selinin təsiri ilə dielektrik nüfuzluğunda mövcud artım aşağı tezliklərdə daha kəskindir. Nano- $\text{SiO}_2$  hissəcikləri-

nin dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin qarşılıqlı asılılıqlarından məlum olmuşdur ki, 100K temperaturda yaranmış klasterlər cihazı dielektrik itgisini mənfi qiymət olaraq göstərməyə vadar edir. Digər temperaturalarda (200K, 300K və 400K) Cole-Cole diaqramlarına bənzər hallardan məlum olmuşdur ki, relaksasiya müddətinin qiyməti nano hissəciklərin polyarlaşmasına uyğundur.

Aparılan tədqiqatlar nəticəsində məlum olmuşdur ki, neytron selinin təsiri ilə nano-SiO<sub>2</sub> nümunəsi daxilində əlavə “yüklər” yaranır. Yaranmış bu “yüklər” nümunədə polyarlaşmanın artmasına səbəb olur. Bu isə öz növbəsində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin ədədi qiymətini şüalanmaya mütənasib olaraq artırır. Temperaturun təsiri ilə ümumi tendensiyada məxsusi və neytron selinin təsiri nəticəsində yaranmış yükdaşıyıcılar daha aktiv polyarlaşır. Bunun nəticəsində, temperaturun təqribən 100-300K aralığında artması ilə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələri artır. Təqribən 300–400K temperatur aralığında isə neytron selinin təsiri nəticəsində yaranmış bəzi “yüklər” temperaturun təsiri ilə məhv olur və polyarlaşma azalır. Temperaturun təsiri ilə meydana gələn effektlər aşağı tezliklərdə daha aşkar

müşahidə olunur. Tezliyin təsiri ilə sistemdə mövcud olan müxtəlif baryer enerjisinə malik yüklərin məhv olması dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin ədədi qiymətinin azalmasına səbəb olur.

Müxtəlif temperaturalarda dielektrik itkilərinin tezlik asılılıqlarından məlum olmuşdur ki, nisbətən aşağı temperaturda (100K) nümunə daxilində yaranmış klasterlər dielektrik itkilərində xaosluq səbəb olur. Temperaturun 200K qiymətində mövcud klasterlər temperaturun təsiri ilə demək olar ki, yoxa çıxır və sistemdə xaosluq azalır. Ümumi tendensiyada tezliyin artması ilə dielektrik itkiləri azalır. Bütün temperaturalarda  $f(\text{tg}\delta)=f(f)$  asılılıqlarında az və ya çox dərəcədə piklər aşkar edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, temperaturun artması ilə mövcud piklərin tezliyin azalmasına doğru sürüşməsi, nümunədə relaksasiya müddətinin artmasını göstərir. Aparılan təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, neytron selinin təsir müddətinin artması ilə dielektrik itkilərinin ədədi qiymətləri azalır. Bu isə neytron selinin təsiri ilə nümunə daxilində yaranan əlavə yükdaşıyıcıların dielektrik itkilərinə təsiri kimi izah edilmişdir.

1. W.E.Kaden, Ch.Büchner, L.Lichtenstein, S.Stuckenholz, F.Ringleb, M.Heyde, M.Sterrer, H.J.Freund, L.Giordano, G.Pacchioni, C.J.Nelin, P.S.Bagus. *Understanding surface core-level shifts using the Auger parameter: A study of Pd atoms adsorbed on ultrathin SiO<sub>2</sub> films*, *Phys. Rev. B*, **89** (2014)115436.
2. F.Mao, Ch.Zhang, J.Dai, F-Sh.Zhang. *First-principles study of the threshold effect in the electronic stopping power of LiF and SiO<sub>2</sub> for low-velocity protons and helium ions*, *Phys. Rev. A*, **89** (2014) 022707.
3. Al-M.El-Sayed, M.B.Watkins, V.V.Afanas'ev, A.L.Shluger. *Nature of intrinsic and extrinsic electron trapping in SiO<sub>2</sub>*, *Phys. Rev. B*, **89** (2014) 125201.
4. D.L.Griscom. *Fractal kinetics of radiation-induced point-defect formation and decay in amorphous insulators: Application to color centers in silica-based optical fibers*, *Physical review B*, **64** (2001) 174201 p.1-14
5. A.T.Abdul Rahman, R.P.Hugtenburg, S.F.Abdul Sani, A.I.M.Alalawi, F.Issa, R.Thomas, M.A.Barry, A.Nisbet, D.A.Bradley. *An investigation of the thermoluminescence of Ge-doped SiO<sub>2</sub> optical fibres for application in interface radiation dosimetry*, *Applied Radiation and Isotopes*, **70** (2012) 1436-1441.
6. S.M.Jafari, D.A.Bradley, C.A.Gouldstone, P.H.G.Sharpe, A.Alalawi, T.J.Jordan, C.H.Clark, A.Nisbet, N.M.Spyrou. *Low-cost commercial glass beads as dosimeters in radiotherapy*, *Radiation Physics and Chemistry*, **97** (2014) 95-101.
7. B.Brichard, A.L.Tomashukb, H.Oomsa, V.A.Bogatyryov, S.N.Klyamkin, A.F.Fernandez, F.Berghmansa, M.Decreton. *Radiation assessment of hydrogen-loaded aluminium-coated pure silica core fibres for ITER plasma diagnostic applications*, *Fusion Engineering and Design*, **82** (2007) 2451-2455.
8. D.A.Bradley, R.P.Hugtenburg, A.Nisbet, A.Taufek, A.Rahman, F.Issa, N.M.Noor, A.Alalawi. *Review of doped silica glass optical fibre: Their TL properties and potential applications in radiation therapy dosimetry*, *Applied Radiation and Isotopes*, **71** (2012) 2-11.
9. P.Miiller, M.Schvoerer, R.Berger, N.Jacquet-Franchillon. *Coupled thermostimulated luminescence/*



- electron spin resonance study in pure vitreous silica: application to alpha radiation damage study, Journal of Non-Crystalline Solids*, **159** (1993)154-161.
10. E.Scrinzi, S.Rossia, P.Kamarchikb, F.Defloriana. *Evaluation of durability of nano-silica containing clear coats for automotive applications, Progress in Organic Coatings*, **71** (2011)384–390.
  11. E.M.Huseynov, A.A.Garibov, R.N.Mehdiyeva. *Calculation of the specific surface area of SiO<sub>2</sub> nanopowder and getting nano-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O systems, Azerbaijan Journal of Physics*, **XIX** №1(2013)10-14.
  12. E.M.Huseynov, A.A.Garibov, R.N.Mehdiyeva. *Synthesis methods of nano SiO<sub>2</sub> powder, Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXXII** №5 (2012) 83-88.
  13. E.M.Huseynov, N.A.Novruzov. *DTA and TG analysis of nano SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O systems, New Challenges in the European Area: Young Scientist's 1st International Baku Forum*, (2013) 150-151.
  14. L.Snoj, G.Zerovnik, A.Trkov. *Computational analysis of irradiation facilities at the JSI TRIGA reactor, Applied Radiation and Isotopes*, **70** (2012) 483-488.
  15. L.Snoj, A.Kavcic, G.Zerovnik, M.Ravnik. *Calculation of kinetic parameters for mixed TRIGA cores with Monte Carlo, Annals of Nuclear Energy*, **37** (2010) 223-229.
  16. L.Snoj, A.Trkov, R.Jacimovic, P.Rogan, G.Zerovnik, M.Ravnik. *Analysis of neutron flux distribution for the validation of computational methods for the optimization of research reactor utilization, Applied Radiation and Isotopes*, **69** (2011)136-141.
  17. L.Snoj, M.Ravnik. *Power peakings in mixed TRIGA cores, Nuclear Engineering and Design*, **238** (2008) 2473-2479.
  18. Y.H.Kim, B.Lee, K.H.Choo, S.J.Choi. *Adsorption characteristics of phenolic and amino organic compounds on nano-structured silicas functionalized with phenyl groups, Microporous and Mesoporous Materials*, **185** (2014) 121-129.
  19. J.Chamieh, Y.Zimmermann, A.Boos, A.Hagège. *A simple cladding process to apply monolithic silica rods in high performance liquid chromatography, Journal of Chromatography A*, **1217** (2010) 7172-7176.
  20. Y.Satoh, Y.Matsuda, T.Yoshiie, M.Kawai, H.Matsumura, H.Iwase, H.Abe, S.W.Kim, T.Matsunaga. *Defect clusters formed from large collision cascades in fcc metals irradiated with spallation neutrons, Journal of Nuclear Materials*, **442** (2013) 768-772.
  21. M.L.Gamez, M.Velarde, F.Mota, J.M.Perlado, M.Leon, A.Ibarra, *PKA energy spectra and primary damage identification in amorphous silica under different neutron energy spectra" Journal of Nuclear Materials*, **370** (2007) 282-285.
  22. R.Chakarova, I.Pazsit. *Fluctuations and correlations in sputtering and defect generation in collision cascades in Si, Nucl. Instrum. and Meth. B*, **164&165** (2000) 460-470.
  23. M.Harb, P.Labéguerie, I.Baraille, M.Rérat. *Response of low quartz SiO<sub>2</sub> to the presence of an external static electric field: A density functional theory study, Physical Review B*, **80** (2009) 235131.
  24. H.J.Whitlow, S.T.Nakagawa. *Low-energy primary knock on atom damage distributions near MeV proton beams focused to nanometre dimensions, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, **260** (2007) 468-473.
  25. Q.Xu, T.Yoshiie, H.Watanabe, N.Yoshida. *Effects of oversized element Sn on diffusion of interstitial clusters in Ni irradiated by ions and neutrons. Journal of Nuclear Materials*, **367-370** (2007) 361-367.
  26. H.J.Stein. *Energy Dependence of Neutron Damage in Silicon, Journal of Applied Physics*, **38** (1967) 204-210.
  27. E.Axelrod, A.Givant, J.Shappir, Y.Feldman, A.Sa'ar. *Dielectric relaxation and transport in porous silicon, Phys. Rev. B*, **65** (2002) 165429.
  28. D.Sokolowska, D.Dziob, U.Gorska, B.Kieltyka, J.K.Moscicki. *Electric conductivity percolation in naturally dehydrating, lightly wetted, hydrophilic fumed silica powder, Phys. Rev. E*, **87** (2013) 062404.
  29. P.R.Rejikumar, P.V.Jyothy, S.Mathew, V.Thomas, N.V.Unnikrishnan. *Effect of silver nanoparticles on the dielectric properties of holmium doped silica glass, Physica B: Condensed Matter*, **405** (2010)1513-1517.
  30. S.Holleis, T.Hoinkes, C.Wuttke, P.Schneeweiss, A.Rauschenbeutel. *Experimental stress-strain analysis of tapered silica optical fibers with nanofiber waist, Appl. Phys. Lett.*, **104** (2014) 163109, <http://dx.doi.org/10.1063/1.4873339>.

31. H.W.Cho, S.Nam, S.Lim, D.Kim, H.Kim, B.J.Sung. *Effects of size and interparticle interaction of silica nanoparticles on dispersion and electrical conductivity of silver/epoxy nanocomposites*, *J. Appl. Phys.*, **115** (2014) 154307; <http://dx.doi.org/10.1063/1.4871669>.
32. H.Zhang, Y.Hang, Y.Qin, J.Yang, B.Wang. *Synthesis and characterization of sol-gel derived continuous spinning alumina based fibers with silica nano-powders*, *Journal of the European Ceramic Society*, **34**(2014) 65-473.
33. D.V.Savchenko, B.D.Shanina, E.N.Kalabukhova, A.A.Sitnikov, V.S.Lysenko, V.A.Tertykh. *Electron paramagnetic resonance study of paramagnetic centers in carbon-fumed silica adsorbent*, *J. Appl. Phys.*, **115** (2014) 133704; <http://dx.doi.org/10.1063/1.4870578>.
34. X.Hou, F.Li, G.He, J.Zhang. *A facile and green strategy for large-scale synthesis of silica nanotubes using ZnO nanorods as templates*, *Ceramics International*, **40** (2014) 5811-5815.
35. D.V.Guseva, P.V.Komarov, A.V.Lyulin. *Molecular-dynamics simulations of thin polyisoprene films confined between amorphous silica substrates*, *J. Chem. Phys.*, **140** (2014) 114903; <http://dx.doi.org/10.1063/1.4868231>.
36. R.Marunaka, M.Kawaguchi. *Rheological behavior of hydrophobic fumed silica suspensions in different alkanes*, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **456** (2014) 75-82.
37. J.Gómez, M.L.A.Gil, N. de la Rosa-Fox, M.Alguacil. *Diatomite releases silica during spirit filtration*, *Food Chemistry*, **159** (2014) 381-387.
38. K.Inoue, H.Kataoka, Y.Nagai, M.Hasegawa, Y.Kobayashi. *Short and medium range order in two-component silica glasses by positron annihilation spectroscopy*, *J. Appl. Phys.*, **115** (2014) 204903; <http://dx.doi.org/10.1063/1.4878457>.
39. R.G.Digigow, J.F.Dechezelles, H.Dietsch, I.Geisbühler, D.Vanhecke, C.Geers, A.M.Hirt, B.R.Rutishauser, A.Petri-Fink. *Preparation and characterization of functional silica hybrid magnetic nanoparticles*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **362** (2014) 72-79.
40. M.Moritz, M.Geszke-Moritz. *Application of nanoporous silicas as adsorbents for chlorinated aromatic compounds. A comparative study*, *Materials Science and Engineering: C*, **41** (2014) 42-51.
41. R.J.Konwar, M.De. *Synthesis of high surface area silica gel templated carbon for hydrogen storage application*, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **107** (2014) 224-232.
42. M.Brigante, M.Avena. *Synthesis, characterization and application of a hexagonal mesoporous silica for pesticide removal from aqueous solution*, *Microporous and Mesoporous Materials*, **191** (2014) 1-9.
43. N.Elbiahy, N.Mohamed, A.S.Monem. *Synthesis, characterization and application of gold nanoshells using mesoporous silica core*, *Microporous and Mesoporous Materials*, **190** (2014) 197-207.
44. Y.K.Jeong, Y.Sohn, J.G.Kang. *Synthesis and characterization of Eu(III)-incorporated silica nanoparticles for application to UV-LED*, *Journal of Colloid and Interface Science*, **423** (2014) 41-47.
45. J.Chamieh, Y.Zimmermann, A.Boos, A.Hagège. *A simple cladding process to apply monolithic silica rods in high performance liquid chromatography*, *Journal of Chromatography A*, **1217** (2010) 7172-7176.
46. E.M.Huseynov, A.A.Garibov, R.N.Mehdiyeva. *Activity analysis of SiO<sub>2</sub> nano compound exposed to influence of neutron irradiation in TRIGA Mark II type research reactor*, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy Vol XXXIV №2* (2014) 102-110.
47. L.Snoj et al. *Testing of cross section libraries on zirconium benchmarks*, *Ann. Nucl. Energy*, **42** (2012) 71-79.
48. J.Anže, Ž.Gašper, S.Luka, T.Andrej. *Analysis of tritium production in TRIGA Mark II reactor at JSI for the needs of fusion research reactors*, *Atw. Internationale Zeitschrift für Kernenergie*, **58** (2013) 701-705.
49. V.Radulović, Ž.Štancar, L.Snoj, A.Trkov. *Validation of absolute axial neutron flux distribution calculations with MCNP with <sup>197</sup>Au(n,γ)<sup>198</sup>Au reaction rate distribution measurements at the JSI TRIGA Mark II reactor*, *Applied Radiation and Isotopes*, **84** (2014) 57-65.
50. G. Žerovnik et al. *On normalization of fluxes and reaction rates in MCNP criticality calculations*, *Ann. Nucl. Energy*, **63** (2014)126-128.
51. Tian Hao. *Electrorheological Fluids: The Non-aqueous Suspensions*, Elsevier Science, eBook ISBN: 9780080455440, Print Book ISBN: 9780444521804, Pages: 578, Cambridge, MA, USA, (2005).

## INFLUENCE OF NEUTRON FLOW ON THE DIELECTRIC PROPERTIES OF NANO-SiO<sub>2</sub>

R.N.MEHDIYEVA

The dielectric properties of nano-SiO<sub>2</sub> samples have been studied before and after irradiation. The samples have been irradiated with neutron flux with  $2 \cdot 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>sec flux density up 5, 10, 15 and 20 hours. It has been given the results of the study of real and imaginary parts of permittivity of nano-SiO<sub>2</sub> initial and irradiated with neutron flux in the frequency range of 0.09Hz-2.26MHz and temperature range of 100K-400K and the impact mechanisms of neutron flux on the frequency and temperature dependences of dielectric loss. As a result of the analysis, the permittivity of nano-SiO<sub>2</sub> increases in the general tendency under the influence of neutron flux. The interdependence between the real and imaginary parts of the permittivity of the nano-SiO<sub>2</sub> particles has been studied. In these dependencies, it has been determined from the states similar to the Cole-Cole diagrams that the value of the relaxation period corresponds to the polarization of nanoparticles. As a result of the analysis, the dielectric losses of SiO<sub>2</sub> nanoparticles decreases with the increase of neutron flux impact period under the influence of neutron flux. More or less peaks were found at all temperatures in  $f(\text{tg}\delta)=f(f)$  dependencies. The mechanism of obtained peaks and other effects have been given.

## ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ПОТОКА НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНО-SiO<sub>2</sub>

Р.Н.МЕХТИЕВА

В настоящей работе диэлектрические свойства образцов нано-SiO<sub>2</sub> изучались до и после облучения. Образцы были облучены нейтронными потоками  $2 \cdot 10^{13}$  н/см<sup>2</sup>сек. в течение 5, 10, 15 и 20 часов. Приведены результаты исследования реальной и мнимой частей диэлектрической проницаемости, а также механизмы влияния нейтронного облучения на частотную и температурную зависимости диэлектрической потери первоначальных и подвергшихся воздействию нейтронного облучения нано SiO<sub>2</sub> на частотах 0,09-2,26МГц при температурах 100-400К. В результате анализа обнаружено, что диэлектрическая проницаемость нано SiO<sub>2</sub> под влиянием нейтронного облучения имеет тенденцию увеличиваться. Исследована взаимосвязь между действительной и мнимой частями диэлектрической проницаемости нано-SiO<sub>2</sub>. Из этих зависимостей, аналогично существующим диаграммам Коала-Коала, было определено, что длительность периода релаксации соответствует поляризации наночастиц. В результате анализов было обнаружено, что диэлектрические потери нано SiO<sub>2</sub> под воздействием нейтронного потока уменьшаются с увеличением времени облучения. При всех температурах  $f(\text{tg}\delta)=f(f)$  в зависимостях обнаружены пики в меньшей или большей степени. Даны механизмы полученных пиков и других эффектов.