

**POLİMER – SEQNETOPEYZOKERAMİKA KOMPOZİTLƏRDƏ ELEKTRİK  
EFFEKTİLERİ****M.Ə. QURBANOV, G.X. HÜSEYNOVA, Z.A. DADAŞOV, İ.S. RAMAZANOVA,  
Ü.V. YUSİFOVA, A.F. NURƏLİYEV***Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu,  
AZ-1141, Bakı, H.Cavid prosf., 131  
e-mail: qulieva.gulnara@mail.ru*

Polimer-seqnetopyezokeramika kompozitlərin əsas parametri olan pyezomodulunun polyarlaşma rejimlərindən ( $E_p$ ,  $T_p$  və  $t_p$ ) asılılığı öyrənilmişdir. Elektrotermopolyarlaşma zamanı baş verən elektrik xarakterli effektlərin mümkün mexanizmləri termostimullaşdırılmış depolyarlaşma (TSD) metodu tədqiq edilmiş, fazalarası sərhəddə yeni yaranan lokal səviyyələrin həm konsentrasiyası, həm də aktivləşmə enerjisi hesablanmışdır. Tədqiq edilən kompozitlərin elektrik qaz boşalması plazmasının və temperaturun birgə təsiri altında polimer zəncirlərinin oksidləşməsi baş verir. Polimer zəncirinin oksidləşməsi fazalararası qarşılıqlı təsirin və yüklərin lokallaşma mərkəzlərinin konsentrasiyasının artması ilə müşahidə edilir ki, bu da öz növbəsində pyezofazanın domenlərinin effektiv polyarlaşmasına və nəticədə kompozitin pyezoelektrik parametrlərinin artmasına kömək edir.

**Açar sözlər:** polimer, pyezokeramika, pyezoeffekt, piroeffekt, kompozit, domen, elektrotermopolyarlaşma, disperqator.

**PACS:** 77.84.Lf

**GİRİŞ**

Polimer-seqnetopyezoelektrik əsaslı heterogen strukturlu kompozitlərdə pyezo-, piroelektrik və elektret effektlərinin öyrənilməsi göstərir ki, onlarda, xüsusən də fazalararası sərhəddə mövcud olan elektrofiziki və istilikfiziki hadisələr göstərilən effektlərin formalaşmasında mühüm rol oynayır. Məlumdur ki, göstərilən effektlərin polimer-seqnetopyezokeramika kompozitlərində formalaşdırılmasının əsas mərhələlərindən biri elektrotermopolyarlaşmadır [1, 3]. Seqnetopyezokeramika fazalı kompozitlərdə son nəticədə pyezo-, piroelektrik və elektret xassələrini təyin edən optimal polyarlaşmanın getməsi üçün əsas şərt komponentlərin və onlar əsasında alınan kompozitlərin yüksək elektrofiziki və istilikfiziki xassələrə malik olmasıdır. Bu baxımdan pyezoelektrik faza kimi sirkonium-titan-qurğuşun (STQ) sinfinə mənsub iki və çox komponentli seqnetopyezokeramikaların yuxarıda göstərilən kompozitlərdə disperqator kimi istifadə edilməsi düzgündür. STQ sinfinə malik olan çox komponentli pyezoelektrik materialları özlərinin xassələrinə görə çox şaxəlidir və komponentlərin konsentrasiyasının variasiyası ilə onları geniş intervalda məqsəduyğun dəyişdirmək olur. STQ-polimer əsaslı yeni və daha effektiv kompozitlərin yaradılması üçün işimizdə qoyulan məsələnin həlli baxımından daha önəmli faktor PbTiO<sub>3</sub>-ün variasiyası ilə STQ-nin özünün xassələrinin dəyişməsi deyil, onunla polimer arasındakı qarşılıqlı təsirlər nəticəsində yaranan effektlərin öyrənilməsidir [2, 5]. Polimer və STQ arasında qarşılıqlı təsirlər də öz növbəsində fazalararası sərhəddə işimiz üçün maraq kəsb edən elektrik və istilik effektləri yaradır. Bununla yanaşı mövcud ədəbiyyat nəticələrinin analizi göstərir ki, polimer-seqnetopyezokeramika komponentli kompozit materiallar yeni sinif pyezoelektriklər kimi akustik dalğalarının həm generasiyası, həm də qəbuledicisi rejimlərində kifayət qədər effektivdirlər. Kompozitlər bildiyimiz kimi ən azı iki fazalı sistemdir, məs., polimer və seqnetopye-

zoelektriklər, yəni, üzvi və qeyri-üzvi fazalar. Məlumdur ki, çoxlu sayda üzvi materiallar, o cümlədən üzvi pyezoelektriklər (PVDF) mövcuddur. Eynilə də çoxlu sayda qeyri-üzvi pyezoelektrik materiallar, o cümlədən də seqnetopyezoelektriklər və yarımkeçiricilər mövcuddur. Belə fikrə gəlmək mümkündür ki, texnikanın artan tələbatlarını ödəmək üçün üzvi və qeyri-üzvi materialların imkanlarını birləşdirsək assortimentti çox böyük olan yeni nəsil aktiv materialların yaradılması ehtimalı çoxalır, yəni, yeni nəsil smart materiallar yaranır [4, 6].

**İŞİN ƏSAS MƏQSƏDİ**

İşin əsas məqsədi polimer-seqnetopyezokeramika kompozitlərində elektrik effektlərinin kompozitin pyezo- və piroelektrik xassələrinə təsirinə mexanizmlərinin təyin edilməsidir.

**METODİKA**

Tədqiqat obyektləri olaraq pyezoelektrik xassələrə malik polyar və qeyri-polyar polimerlərdən (matrisa)-müxtəlif strukturlu seqnetopyezokeramikalardan (disperqator) ibarət kompozitlər götürülmüşdür. Pyezoelektrik hissəciklərin diametri 63÷100 mkm götürülmüşdür. Kompozitlərin alınması üçün isti preslənmə metodundan istifadə edilir. Bu məqsədlə, polimer və seqnetopyezokeramikaların press ovuntuları mexaniki üsulla homogen hala çatana qədər qarışdırılır. Homogen press ovuntu xüsusi pressformaya yüklənir. Pressforma və pressovuntu polimer fazanın ərimə temperaturuna qədər qızdırılır və sonra müəyyən təzyiqlərdə sıxılır. Polimer fazanın ərimə temperaturu seçilən polimerin kimyəvi və fiziki strukturlarından asılıdır. Pressformaya təzyiqli pilləli verilir: əvvəlcə 5-10MPa təzyiqdə təqribən 10 dəq. saxlanılır, sonra 100MPa təzyiqdə 10 dəq. saxlanılır, son olaraq nümunə 2 rejimdə kristallaşdırılır. Ani olaraq suda və ya da maye azot şəraitində soyudulur; 2-ci rejim dövrədən

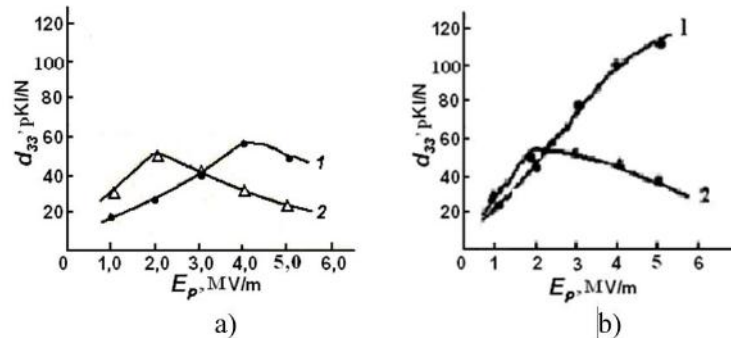
açılmış qızdırıcı sistemin soyutma sürəti ilə soyudulur. 1-ci halda polimerin strukturu amorf və kristallik fazalardan ibarət olur. Yavaş-yavaş soyudulmuş nümunələrdə isə iriözlü sferolit quruluş formalaşır [9, 10].

Polimer matrisanın strukturunun, xüsusən fazalararası sərhəddəki makromolekulların strukturunun hər cür dəyişməsi polimerin kvaziqadağan zonasında lokal səviyyələrin yaranması ilə nəticələnir. Burada əsas amil kimi həm konsentrasiyası, həm də aktivasiya enerjisi yüksək olan mərkəzlərin yaranması əsas şərt-dir. Temperaturun və elektrik qaz boşalması plazmasının birgə təsiri zamanı polimer kompozitin səthinin modifikasiyası xüsusi plazma qurğusunda, müəyyən şəraitdə aparılmışdır: hava aralığının qalınlığı  $d=4$  mm, özəyə tətbiq edilmiş gərginlik  $U=10$  kV, tətbiq edilmiş təzyiq  $p=10^5$  Pa, modifikasiya müddəti  $t_k=(0,25-1)$  saat-dır [2, 8].

Kompozitlərin pyezoelektrik modulu 10% dəqiqliklə xüsusi hazırlanmış qurğuda kvazi statik rejimdə müəyyən edilmişdir.

## EKSPERİMENTAL NƏTİCƏLƏRİN ANALİZİ

Məlumdur ki, polimer-seqnetopyezokeramika kompozitlərdə pyezoelektrik effektinin formalaşmasının ilkin mərhələsi elektrotermopolyarlaşmadır. Bu prosesdə yaranan elektrik effektlərin mahiyyətini və onların təsiri altında kompozitlərdə pyezo- və piroelektrik effektlərin formalaşma mexanizmlərini aydınlaşdırmaq. (şəkil 1, şəkil 2). Bu məqsədlə, şəkil 1, a və b-də YSPE+PKR-3 və ASPE+PKR-3 kompozitləri üçün müxtəlif polyarlaşma temperaturlarında pyezoelektrik modulunun elektrik sahə intensivliyindən asılılığı verilmişdir [9].



Şəkil 1. a) YSPE+PKR-3 və b) ASPE+PKR-3 kompozitlərinin pyezomodulunun  $E_p$ -dən asılılığı.  $d_{33}=f(E_p)$  müxtəlif  $T_p$ -də. 1-353 K; 2-393 K.

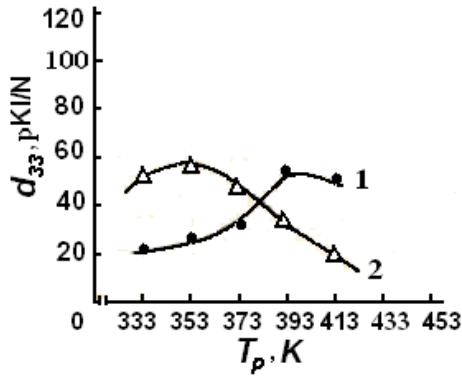
Şəkil 2-də verilmiş  $d_{33}=f(T_p)$  asılılığında özünü göstərir. Şəkil 1-də göstərilən asılılıqda olduğu kimi  $d_{33}=f(T_p)$  asılılıq da ekstremal xarakter daşıyır. Əgər qəbul etsək ki, kompozitin pyezoelektrik modulu əsasən domenlərin reorientasiya polyarlaşması ilə təyin olunur, onda qəbul etmək olar ki, polyarlaşma temperaturu artdıqca domenlərin (domen divarlarının) sahə istiqamətində orientasiya ehtimalı ekstremal nöqtəyə qədər artır. Temperaturun sonrakı artımı termodepolyarlaşma effektinin yaranmasını təmin edə bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, mürəkkəb proseslərdə iki amil həlledici ola bilər:

İlğı verilmişdir [9]. Analoji tədqiqatlar bizdən əvvəl bir neçə işlərdə aparılmışdır. Lakin, alınan effektlərin fazalararası sərhəddə polyarlaşma prosesində yaranan elektron-ion polyarlaşma effektlərini nəzərə almaqla mexanizmləri verilməmişdir. Alınan asılılıqlardan görünür ki,  $d_{33}=f(E_p)$  funksiyası ekstremal xarakterlidir: pyezomodul verilmiş temperaturda  $E_p$ -nin artması ilə əvvəlcə artır, maksimuma çataraq azalma müşahidə olunur. Bütün pyezoelektrik materiallarda olduğu kimi pyezokompozitlərdə də pyezoelektrik modulu materialın güclü elektrik sahəsində polyarlaşması ilə təyin olunur [10], yəni  $d_{ij}=P_r \cdot \epsilon$ . Deməli, güclü elektrik sahəsinin və temperaturun birgə təsiri şəraitində kompozitlərdə gedən elektron-ion polyarlaşma və bir fazada gedən proseslərin digər fazada yarada biləcəyi effektlər elektrik effektləri kimi ön plana çəkilir. Maraq doğuran və eksperimental müşahidə olunan faktorlardan biri də  $d_{ij}=f(E_p)$  asılılıqlardakı maksimumun temperaturdan asılı olaraq dəyişməsidir. Polyarlaşma temperaturu kiçik olduqca  $d_{ij}=f(E_p)$  asılılıqlardakı maksimumun yüksək elektrik sahə intensivliyi istiqamətində yerini dəyişir. Bu effektin mümkün mexanizmini aydınlaşdırmaq. İlk növbədə qəbul edirik ki, kompozitin  $P_r$ -parametri əsasən polyarlaşma prosesində kompozitə injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcılarının yaratdığı lokal yüksək elektrik sahəsinin qiymətləri ilə təyin olunur. İnjesiya olunmuş elektrik yük daşıyıcılarının nümunədə daxili yüksək sahə yarada bilməsi üçün onları kompozitlərdə stabilləşdirə bilən mərkəzlərin olması həlledici faktordur. Bu mərkəzlərdə qeyri-taraz elektrik yük daşıyıcılarının stabilləşməsi, öz növbəsində polyarlaşma elektrik sahə intensivliyindən və temperaturdan asılıdır.

-  $E_p=const$  şəraitində temperaturun artması ilə domenlərin istilik rəqsi hərəkətinin intensivliyi də artır; lakin nümunəyə tətbiq edilmiş gərginlik temperatur artdıqca domenlərin istilik rəqsi hərəkətinin intensivliyinin dəyişməsinə mürəkkəb xarakter verir.

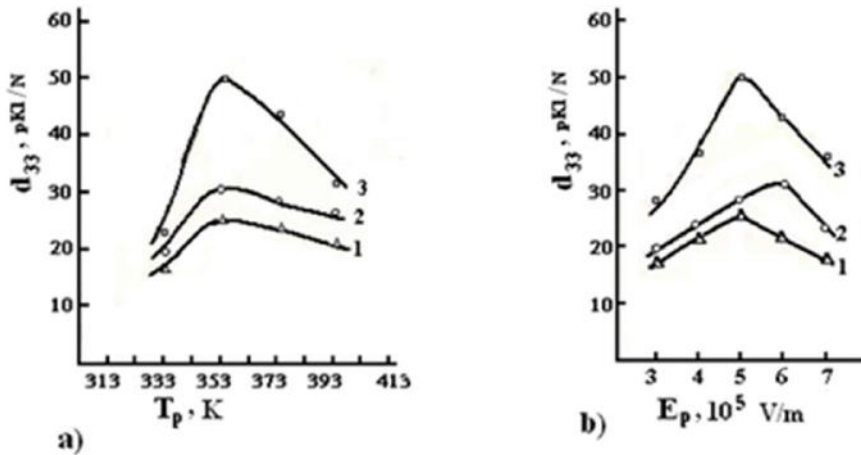
- Temperatur artdıqca (maksimuma qədər) domenlərin orientasiyası asanlaşır, lakin  $T_p$ -nin sonrakı artımı domenlərin deorientasiyasını intensivləşdirir. Digər tərəfdən temperaturun artması ilə domenləri orientasiya vəziyyətində saxlamış injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcıları delokallaşma effektinə məruz qalır. Kompozitlərdə lokal sahənin azalması və eyni zamanda temperaturun artması ilə domenlərin oriyen-

tasiya dərəcəsi azalır və  $d_{33}=f(T_p)$  asılılığının ekstremal nöqtədən sonra sağ tərəfinin formalaşması baş verir.



Şəkil 2. YSPE + PKR-3 kompozitinin pyezomodulunun  $T_p$ -dən asılılığı.  $d_{33}=f(T_p)$  müxtəlif  $E_p$ -də. 1 – 2,0 MV/m; 2 – 4,0 MV/m.

Analoji tədqiqatlar digər kompozitlər üçün də verilmişdir. Şəkil 3-də müxtəlif poliiolefinlər və PKR-3 kompozitləri üçün  $d_{33}$  parametrinin  $E_p$ -dən və  $T_p$ -dən asılılıqları verilmişdir. Alınan eksperimental nəticələr



Şəkil 3.  $d_{33}$ -ün  $E_p$  və  $T_p$ -dən asılılığı. a)  $d_{33}=f(T_p)$ .  $\Phi=50\%$  həc., 1–YSPE+PKR-3; 2–PP+PKR-3; 3–YSPE+PP+PKR-3. b)  $d_{33}=f(E_p)$  (1–3 əyriləri). 1–YSPE+PKR-3; 2–PP+PKR-3; 3–YSPE+PP+PKR-3.

Deyilənləri nəzərə alaraq belə fikrə gəlmək olar ki, polimer materialların bir-biri ilə uyuşması effektini elektrotermopolyarlaşmış çox matrisalı kompozitlər üçün alınmış termostimullaşdırılmış depolyarlaşma (TSD) cərəyan spektrlərin alınması və analizi ilə proqnozlaşdırmaq mümkündür [9]. Bu effektin nisbətən sadə modelini qursaq belə bir nəticəyə gəlmək olar: termodinamiki uyuşmayan polimerlərin kontakt sərhəddində yaranan tələlər, onlarda elektrik yük daşıyıcılarının stabilləşməsi PP-PE+PKR-3 kompozitinin elektrik yük halını təyin edir; bununla yanaşı matrisa kimi götürdüyümüz qeyri-polyar polimerlərin termodinamiki xüsusiyyətlərinin (uyuşub-uyuşmaması) elektrik yük halının öyrənilməsi ilə proqnozlaşdırılması mümkündür [6].  $E_p$ ,  $T_p$  və  $t_p$ -parametrlərinin sabitliyi şəraitində çox matrisalı kompozitlərin elektrik yük halını ifadə edən nəticələrin analizi göstərir ki, çoxmatrisalı polimer kompozitlərdə elektrotermopolyarlaşma prosesində stabilləşmiş elektrik yük daşıyıcılarının miqdarı birfazlı kompozitlərə nisbətən ən

göstərir ki, iki polimer komponentli kompozitin pyezoelektrik modulu bir polimer fazalı kompozitin uyğun parametrlərindən böyükdür: PP+PKR-3 kompozitinə nəzərən 1,7, YSPE+PKR-3 kompoziti ilə müqayisədə isə 2 dəfə artmışdır. Bu maraqlı və formalaşma mexanizmi kifayət qədər mürəkkəb olan effektin mahiyyətində fikrimizcə çox komponentli polimer matrisalı kompozitlərdə  $d_{33}$ -ün formalaşmasında əsas rol oynayan ionlaşmış lokal səviyyələrin konsentrasiyasının böyük olması durur. Kompozitdə qeyri-taraz elektronların konsentrasiyasının böyük olmasının isə öz növbəsində səbəbi polimerlərin sərhəddində əlavə defektlərin yaranmasıdır. Defektlərin konsentrasiyasının məqsəduyğun variasiyası üçün termodinamiki uyuşan və uyuşmayan polimerlərdən ibarət iki matrisalı kompozitlər tədqiq edilmişdir. Yaranan defektlərin də öz növbəsində mənşəyi matrisa kimi götürdüyümüz polimerlərin termodinamik uyuşması ilə təyin olunur. Nəticələr göstərir ki, kompozitlərdə pyezoelektrik xarakteristikalarını kəmiyyətcə təyin edən elektrik yükünün miqdarı çox böyük ehtimalla polimer matrisa ilə təyin olunur.

azı iki dəfə artıqdır (cədvəl 1). Bu onu göstərir ki, çox matrisalı kompozitlərdə polyarlaşma prosesində elektrik yükünün stabilləşməsi üçün daha yaxşı şərait var. Elektrik yük halının belə kəskin dəyişməsi çoxmatrisalı kompozitlərdə əlavə sərhədlərin (defektlərin) yaranması və onların elektrotermopolyarlaşma prosesində ionlaşması ilə seqnetopyezokeramik fazada güclü lokal sahənin təsirindən reorientasiya polyarlaşmasının ( $P_r$ ) yüksəlməsidir. Beləliklə hesab etmək olar ki,  $P_r$ -in formalaşmasında əsas rol oynayan injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcılarının stabilləşməsi üçün faydalı həcm artmasıdır.

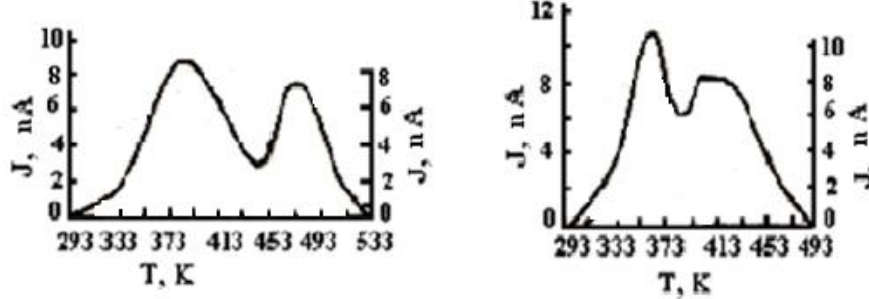
Cədvəl 1.

Kompozitlərdə fazalararası sərhəddə stabilləşmiş yüklərin miqdarı

Kompozitlər	$Q$ , $10^{-3}$ Kl/m <sup>2</sup>
PP+PKR-3	0,8
PP+YSPE+PKR-3	7
YSPE+PKR-3	2

Beləliklə, elektrotermopolyarlaşma prosesində polimer matrisada stabilləşmiş elektronların rolunun böyük olmasını bir daha sübut etmək üçün öyrəndiyimiz kompozitlər üçün termostimullaşdırılmış depolyarlaşma cərəyan spektrindən istifadə edək (şəkil 4 (a, b)). Şəkil 4-də poliolefinlər əsasında kompozitlərin TSD spektri verilmişdir. Fikrimizcə, TSD spektrində

yüksək temperaturlu maksimum fazalararası sərhəddə gedən elektron-ion polyarlaşma proseslərin nəticəsidir. Ona görə də, fazalararası sərhəddə elektrotermopolyarlaşma zamanı yaranan elektrofiziki effektlərin həm TSD spektrini, həm də  $P_r$ -ə ekvivalent olan elektrik yüklərinin formalaşma mexanizmlərini təyin etmək lazımdır.

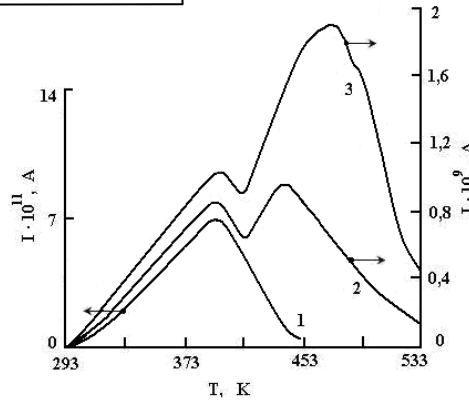


Şəkil 4. TSD spektr cərəyanı. a) PP+STQ-19,  $\Phi=50\%$ həc. b) 2-ASPE +STQ-19,  $\Phi=50\%$ həc.  $E_p=4,5\text{MV/m}$ ;  $T_p=383\text{ K}$ ;  $t_p=0,5$  saat.

İşin məqsədinə uyğun olaraq, fiziki modifikasiya ilə yanaşı polyarlaşma prosesində formalaşan elektrik yük daşıyıcılarının konsentrasiyasını və aktivləşmə enerjisini artırmaq üçün elektrokimyəvi modifikasiya üsulları da istifadə edilmişdir. Bu məqsədlə, elektrokimyəvi modifikasiya metodu kimi kompozitlər elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallaşdırılması aparılmışdır [3, 8]. Kompozitlərin elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri altında modifikasiyasını onlarda stabilləşmiş elektrik yük daşıyıcılarının miqdarına və maksimumların formalaşma temperaturlarının yüksək temperatur istiqamətində sürüşməsinə təsiri şəkil 5-də göstərilmişdir. Alınan nəticələr göstə-

rir ki, pyezokompozitlərin elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallaşdırılması onlarda yeni elektrik və istilik effektləri yaradır:

- 1) Kompozitin polimer matrisasında müxtəlif fiziki və kimyəvi təbiətə malik aktiv mərkəzlərin yaranması;
- 2) Yaranmış oksigen mənşəli aktiv mərkəzlərdə elektrik yükdaşıyıcıların stabilləşməsi;
- 3) Polimerin makromolekullarının plazma kristallaşması prosesində oksidləşməsi və polimer zəncirində C-O-C, C=O, OH, N-O qrupların yaranması;
- 4) Polimer zəncirində oksidləşmə mərkəzlərin yaranması nəticəsində kimyəvi rabitələri gərgin olan məkanların yaranması.



Şəkil 5. YSPE+50%PKR-7M pyezokompozitinin termostimullaşdırılmış depolyarlaşma cərəyan spektri. 1-YSPE; 2-YSPE+50%PKR-7M termokristallaşmış mikrokompuzit; 3-elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallaşmış kompozit. Polyarlaşma şəraiti:  $E_p=3.6\text{MV/m}$ ;  $T_p=383\text{ K}$ ;  $t_p=0,5$  saat.

Şəkil 5-dən istifadə etməklə asanlıqla təyin etmək olar ki, yaranmış ikinci maksimum bilavasitə fazalararası sərhəddə formalaşma biləcək polimer fazaya aiddir. Bu fazanın strukturu pyezokeramikanın təsiri altında formalaşır. Maksimumların bir-birindən kifayət qədər fərqli temperaturalarda formalaşması göstərir ki, elektrotermopolyarlaşma prosesində injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcıları aktivləşmə enerjisi yüksək olan tələlərdə stabilləşirlər. Bu tələləri böyük ehtimalla fazalararası sərhəddə formalaşmış polimer fazanın kvaziqadağan zonasındakı lokal səviyyələrə aid etmək olar. Bu effektin eksperimental olaraq

sübutu üçün polyarlaşmanı temperaturun, güclü elektrik sahəsinin və elektrik qaz boşalması plazmasının birgə təsiri şəraitində aparmışıq. Deməli, polimer matrisa və bizi çox maraqlandıran fazalararası sərhəddə polimer fazanın strukturu dəyişəcəkdir. Yəni, fazalararası sərhəddəki polimer keçid təbəqənin kvaziqadağan zonasında yeni lokal səviyyələr yaranır. TSD qrafikindən görünür ki, bu lokal səviyyələrin həm konsentrasiyası, həm də aktivləşmə enerjisi yüksəkdir. Deməli, pyezoelektrik fazanın domenləri ilə polyarlaşma prosesində injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcıları arasında kvazineytral sistemin yaranması eh-

timalı artır və bununla bilavasitə təyin olunan pyezo-  
elektrik xassələri yüksəlir.

Tədqiqatlar göstərir ki, kompozitlərin pyezoelek-  
trik xassələrinin məqsəduyğun variasiyasını polimer  
fazanın ancaq kvaziqadağan zonasındaki lokal səviyyə-

yələrin dəyişməsi ilə yox, pyezoelektrik hissəciklərin  
strukturunun tənzimi ilə də aparmaq olar [4]. Pyezo-  
fazanın strukturunu onun tərkib hissəsi olan PbTiO<sub>3</sub> –  
ün konsentrasiyasını dəyişməklə əldə etmək olar  
(cədvəl 2).

Cədvəl 2.

Kompozitlərin polyarlaşma rejimləri

Kompozitlər	Polyarlaşma rejimləri			Q, Kl/m <sup>2</sup>	Pyezokerami- kaların strukturu
	E <sub>p</sub> ,mV /m	T <sub>p</sub> , K	t <sub>p</sub> , saat		
PP – 50%PKR-7	4,5	413	0,5	0,02	Tetraqonal (T)
PP-50%PKR-11	4,5	413	0,5	0,048	Romboedrik (R <sub>e</sub> )
PP-50%PKR-57	4,5	413	0,5	0,03	MO (T+R <sub>e</sub> )
F42-50%PKR-3	4,5	413	0,5	0,45	R <sub>e</sub>
F42-50%PKR-12	4,5	413	0,5	0,18	T

## NƏTİCƏ

Göstərilmişdir ki, polimer–seqnetopeyzokeramika  
heterogen sistemlərdə pyezomodulu, elektromexaniki  
əlaqə əmsalını, dielektrik nüfuzluğunu  $\epsilon$  və qalıq re-  
oriyentasiya polyarlaşmanı  $P_r$  təyin edən əsas faktor  
polarlaşma prosesində nümunəyə injeksiya olunmuş  
elektrik yük daşıyıcılarını kompozitdə stabiləşdirir

bilən aktivasiya enerjisi və konsentrasiyası yüksək  
olan mərkəzlərin olmasıdır. Həmçinin, kompozitlərdə  
pyezofazanın polyarlaşmasında həlledici amil, strukturu  
pyezoelektrik hissəciklərin səthinin təsiri şəraitində  
formalaşmış polimer keçid təbəqənin kvaziqadağan  
zonasının səviyyələrinin ionlaşması nəticəsində güclü  
lokal elektrik sahəsinin yaranmasıdır.

- [1] *Jian Tang, Jun Liu, and Huanqi Huang.* Journal of Electronic Materials. 2019, vol. 48, No. 6, pp.4033-4038.
- [2] *Qian Zhang, Yong Zhang, Xiaolun Liu, Xia Ozhen Song, Jia Zhu and Ivan Baturin.* Journal of Electronic Materials. 2016, vol. 45, No. 8, pp. 4044-4048.
- [3] *Suvrajyoti Mishra, Lakshmi Unnikrishnan, Sanjay Kumar Nayak, and Smita Mohanty.* Advances in Piezoelectric Polymer Composites for Energy Harvesting Applications: A Systematic Review. Macromol. Mater. Eng. 2019, 304, 1800463. pp.1-25
- [4] *Isiaka Oluwole Oladele, Taiwo Fisayo Omotosho and Adeolu Adesoji Adediran.* Journal of Polymer Science 2020, Article ID 8834518, 12 pages.
- [5] *Franziska Eichhorn, Simone Kellermann, Ulf Betke and Tobias Fey.* Phase Evolution, Filler-Matrix Interactions, and Piezoelectric Properties in Lead Zirconate Titanate (PZT)-Filled Polymer-Derived Ceramics (PDCs). Materials. 2020, 13, pp. 1-10
- [6] *Xinhua Zhu.* Piezoelectric ceramics materials: processing, properties, characterization, and applications. Piezoelectric Materials: Structure, Properties. 2009. Nova Science Publishers, Inc. pp.1-36
- [7] *Mateusz Bor, Tomasz Borowczyk, Wojciech Karpiuk, Mikołaj Krakowiak, Rafał Smolec.* Advances in Science and Technology Research Journal. 2018, vol. 12, Issue 1, March pp. 312–321
- [8] *Levent Paralı, M.A. Kurbanov, A.A. Bayramov, F.N. Tatardar, I.S. Ramazanova G.X. Guseynova.* Journal of Electronic Materials. 2015, The Minerals, Metals & Materials Society. pp.1-12.
- [9] *Л.С. Камзина, С.Н. Попов.* Физика твердого тела, 2014, том 56, вып. 11. с. 2142-2145.
- [10] *Л.А. Делимова, Е.В. Гуцина, В.С. Юферев, И.В. Грехов.* Физика твердого тела, 2014, том 56, вып. 12, с. 2366-2375.

**M.A. Kurbanov, G.Kh. Huseynova, Z.A. Dadashov, I.S. Ramazanova, U.V. Yusifova, A.F. Nuraliyev**

## ELECTRICAL EFFECTS IN POLYMER - SEGNETOPEYZOKERAMIC COMPOSITES

The dependence of the piezomodule, which is the main parameter of polymer-segmentopeyzokeramic composites, on the polarization regimes (E<sub>p</sub>, T<sub>p</sub> and t<sub>p</sub>) is studied. Possible mechanisms of electrical effects during electrothermopolarization were studied by the method of thermostimulated depolarization (TSD), which calculated both the concentration and activation energy of newly formed local levels at the interfacial boundary. Oxidation of polymer chains occurs under the combined action of electric gas discharge plasma and temperature of the studied composites. Oxidation of the polymer chain is accompanied by an increase in the interfacial interaction and the concentration of the centers of localization of charges, which in turn contributes to the effective polarization of the piezoelectric domains and, consequently, to the piezoelectric parameters of the composite.