

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI
Akademik H.M.Abdullayev adına FİZİKA İNSTİTUTU

əlyazması hüququnda

GÜLNARƏ XANLAR QIZI HÜSEYNOVA

POLİMER-SEQNETOPYEZOKERAMIKA KOMPOZİTLƏRİNDƏ
ELEKTRİK VƏ İSTİLİK EFFEKTLƏRİ

2203.01-Elektronika

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

Bakı – 2015

Dissertasiya işi Azərbaycan MEA akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Texnika elmləri doktoru, professor

Ə.İ. Məmmədov

Rəsmi opponətlər:

Fizika-riyaziyyat elmləri
doktoru, professor

B.Ş. Barxalov

Fizika-riyaziyyat elmləri
doktoru, professor. Əməkdar Elm Xadimi

E.M. Qocayev

Aparıcı təşkilat:

**Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası
“Aerokosmik cihazlar” kafedrası**

Dissertasiyanın müdafiəsi “10” iyun 2015 –ci il saat 11⁰⁰ -da Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən D01.011 Dissertasiya Şurasının iclasında olacaq.

Ünvan: Bakı ş. Az-1143, H.Cavid pr., 131

E-mail: director@physics.ab.az

Dissertasiya ilə AMEA akademik H.M. Abdullayev adına Fizika İnstitutunun elmi kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat “ 08 ” may 2015-ci ildə göndərilmişdir.

D01.011 Dissertasiya Şurasının
elmi katibi, fizika-riyaziyyat elmləri
doktoru, professor

D.H. Arash

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı: 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 oynayırlar. Məlumdur ki, göstərilən effektlərin polimer–seqnetopyezokeramika kompozitlərində formalaşdırılmasının əsas mərhələlərindən biri elektrotermopolyarlaşmadır. 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 məqsədəuyğun dəyişdirmək olur. STQ–polimer əsaslı yeni və daha effektiv kompozitlərin yaradılması üçün işimizdə qoyulan məsələnin həlli baxımından daha önəmli faktor $PbTiO_3$ –ün konsentrasiyasının variasiyası ilə STQ–nin özünün xassələrinin dəyişməsi deyil, onunla polimer arasındakı qarşılıqlı təsirlər nəticəsində yaranan effektlərin öyrənilməsidir. Polimer və STQ arasında qarşılıqlı təsirlər də öz növbəsində fazalararası sərhəddə işimiz üçün maraqlı kəsb edən elektrik və istilik effektləri yaradır. Polimer və STQ arasında yaranan elektrik və istilik effektləri aşağıdakılardır:

- Elektrotermopolyarlaşma prosesində elektrik yük daşıyıcıların kompozitə injeksiyası, lokallaşması, lokallaşma məkanında güclü elektrik sahəsinin yaranması, domenlərin oriyentasiyası və reoriyentasiyası;
- Qeyri–orqanik hissəciklərarası polimer fazanın kvaziqadağan zonasında elektrotermopolyarlaşma prosesində lokal səviyyələrin yaranması və ionlaşması;
- Polimer–seqnetopyezokeramika kompozitinin komponentlərinin əvvəlcədən güclü elektrik sahəsinin və plazmanın təsiri şəraitində modifikasiyası ilə fazalararası keçid təbəqədəki polimerin

kvaziqadağan zonasında aktivləşmə enerjisi və konsentrasiyası yüksək olan lokal səviyyələrin yaradılması;

- Bir fazada gedən elektron–ion proseslərin digər fazada gedən analogi proseslərə təsiri;
- Polyarlaşma prosesində E_p -ni və T_p -ni dəyişməklə (termoişləmə) kompozitə injeksiya olunmuş elektronların aktivləşmə enerjisi yüksək olan tələlərdə yerləşdirilməsi;
- Polyarlaşma prosesində kompozitə injeksiya olunmuş elektronların konsentrasiyasının seqnetopyezoelektrik fazasının strukturundan asılı olması;
- Fazalararası sərhəddə polimerin istidən genişlənməsi və bu effektin kompozitin pyezo- və piroelektrik xassələrinə təsiri;
- Polimer və seqnetopyezokeramik fazaların strukturlarının kompozitlərin xüsusi istilik tutumuna (C_p), temperaturdan genişlənmə əmsalına (α), istilik keçiriciliyinə (λ) təsiri.

STQ ailəli pyezokeramikaların fiziki strukturunun (romboedrik, tetraqonal və heterogen), kristal kimyəvi parametrlərinin (kationların elektromənfiliyinin) onlar əsasında yaradılmış kompozitlərin xassələrinə təsirinin öyrənilməsi göstərir ki, fazalararası sərhəddə gedən istilikfiziki və elektrofiziki effektlər bilavasitə göstərilən parametrlərlə əlaqədardır. Nəzərə alsaq ki, pyezoelektrik kompozitlərin makroskopik parametrləri (pyezoelektrik modulu d_{ij} , pyezoelektrik həssashığı d_{ij}/ϵ , elektromexaniki əlaqə əmsalı K_{ij} , Yunq modulu Y^E , mexaniki keyfiyyət əmsalı Q_m , dielektrik itkisi $tg\delta$, dielektrik nüfuzluğu ϵ , xüsusi akustik güc $d_{ij}^2 Y^2$, pyezoelektrik keyfiyyətliyi $d_{ij}^2 Q_m$) son nəticədə pyezoelektrik fazanın göstərilən mikroskopik (perovskit özəyin bircins spontan deformasiya əmsalı δ ; 180° -lik domenlərdən fərqli domenlərin elektrik polyarlaşma prosesində oriyentasiya dərəcəsi η ; spontan polyarlaşma (P_s) vektorunun mümkün istiqamətlərinin sayı N ; qalıq reoriyentasiya polyarlaşmanın qiyməti P_r ; kristallitlərin ölçüləri D) xassələri ilə təyin olunur, onda, kompozitlərin heterogenliyi ilə müəyyən olunan fazalararası sərhəddəki elektro- və istilikfiziki hadisələrin pyezoelektrik effektinin formalaşmasında rolunun öyrənilməsi aktual məsələdir.

İşin əsas məqsədi. Poliolefin (YSPE, ASPE, PP) və ftortərkibli (PVDF, F42) polimer matrisalı– $Pb(Zr,Ti)O_3$ seqnetopyezokeramika kompozitlərində elektrik, istilik effektləri və onların kompozitin pyezo- və piroelektrik xassələrinə təsir mexanizmlərinin təyin edilməsi.

Göstərilən məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

- polimer–seqnetopyezokeramika və polimer–karbidlərin və nitridlərin metal birləşmələri əsaslı kompozitlərdə güclü elektrik sahəsinin və elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində yaranan elektrofiziki və istilikfiziki effektlər;
- kompozitlərin komponentlərinin elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində modifikasiyasının onların istilikfiziki (istidən genişlənmə əmsalı α , istilik tutumu C_p , istilik keçiriciliyi λ) və elektrofiziki (xüsusi həcmi müqavimət ρ_v , dielektrik nüfuzluğu ϵ , itki bucağı $\text{tg}\delta$) xassələrinə təsirinin tədqiqi;
- kompozitlərin istilikfiziki parametrləri ilə onların piro- və pyezoelektrik xassələri arasında əlaqə;
- yüksək heterogenliyə malik polimer–pyezokeramika və polimer–nitridlərin və karbidlərin metal birləşmələri əsaslı kompozitlərdə fazalararası sərhəddə gedən elektron – ion və polyarlaşma effektlərin tədqiqi;
- kompozitlərdə fazalararası sərhəddə mümkün qarşılıqlı təsirlərin TSD, differensial skan kalorimetri, xüsusi həcmi sıxlığın temperaturdan asılılığı, istidən genişlənmə əmsalının temperaturdan asılılıqları vasitəsilə diaqnozlaşdırılması;
- polimerlərin nanoölçülü seqnetopyezokeramik hissəciklərlə nanostrukturlaşdırılmasının onlar əsasında yaradılmış pyezoelektrik kompozitlərin elektromexaniki əlaqə əmsalına K_{ij} , mexaniki keyfiyyət əmsalına Q_m , mexaniki yaşama müddətinə və mexaniki möhkəmliyinə təsiri;
- nanostrukturlaşdırılmış kompozitlərdə fazalararası sərhəddin elektrik yük halının termostimullaşdırılmış depolyarlaşma cərəyan spektri metodu ilə diaqnozlaşdırılması;
- polimer–seqnetopyezokeramika kompozitlərin nanostrukturlaşdırılmasının pyezomodula d_{ij} , elektromexaniki əlaqə əmsalına K_{ij} , dielektrik nüfuzluğuna ϵ , Yunq moduluna Y təsirinin tədqiqi;
- kompozitlərin elektrofiziki xarakteristikaları ilə onların pyezokeramik fazasının struktur parametrləri arasında əlaqənin tədqiqi;

- kompozitlərin elektrofiziki xarakteristikaları ilə onların pyezokeramik fazasının kristal kimyəvi parametrləri arasında əlaqənin tədqiqi;
- kompozitlərin elektrofiziki (ϵ , $\text{tg}\delta$, U_p), pyzoelektrik (d_{ij} , g_{ij}), elektromexaniki (K_{ij} , Q_m , $d_{ij}^2 Y^2$) xarakteristikaları ilə kompozitin pyezofazasının parametrləri (η , N , D , P_r) arasında əlaqələrin kompleks şəkildə öyrənilməsi.

Tədqiqat obyektləri və üsulları. Tədqiqat obyektini kimi aşağıdakı kompozitlər götürülmüşdür:

- pyzoelektrik xassələrə malik polyar polimerlərdən (matrisa) və müxtəlif strukturlu seqnetopyezokeramikalardan (disperqator) ibarət kompozitlər;
- piroelektrik xassələrə malik qeyri-polyar polimerlərdən (matrisa) və müxtəlif strukturlu seqnetopyezokeramikalardan (disperqator) ibarət kompozitlər;
- yüksək istilikkeçiriciliyinə və dielektrik xassələrinə malik polyar və qeyri-polyar polimerlərdən və metalların karbidləri və nitridlərindən ibarət kompozitlər;
- nanoölçülü pyezokeramik fazalı və polyar, qeyri-polyar polimerli pyzoelektrik materiallar;
- termodinamiki uyuşan və uyuşmayan polimerlərdən və müxtəlif strukturlu seqnetopyezokeramikalardan ibarət kompozitlər.

Tədqiqat üsulları kimi aşağıdakılar seçilmişdir:

- termostimullaşdırılmış depolyarlaşma cərəyan spektrləri;
- İQ - spektroskopiya;
- kompozitlərin elektrotermopolyarlaşması;
- kompozitlərin komponentlərinin modifikasiyası;
- kvazistatik və rezonans-antirezonsans metodu ilə pyzoelektrik, elektromexaniki və mexaniki keyfiyyət əmsallarının ölçülməsi;
- kompozitlərin dielektrik xassələrinin ölçülməsi;
- differensial skan kalorimetriyası metodu;
- kompozitlərin istilikfiziki parametrlərinin tədqiqi;
- kompozitlərin piroelektrik və elektret xarakteristikalarının təyini.

Müdafiyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. Polimer–seqnetopyezokeramika kompozitlərin pyezomodulunun elektrik və istilik sahələrin təsirinə qarşı stabilliyinin fazalararası sərhəddə stabilləşmiş elektrik yük daşıyıcıların konsentrasiyasından və aktivləşmə enerjisindən asılılığının mexanizmləri;
2. Pyezo- və pirokompozitlərin termostimullaşdırılmış depolyarlaşma cərəyan spektrində müşahidə olunan maksimumların formalaşma mexanizmləri;
3. Polimer–seqnetopyezokeramika əsaslı kompozitlərdə fazalararası keçid təbəqənin elektrik yük halının onlarda yüksək pyezo- və piroelektrik effektlərinin formalaşmasında rolu;
4. Pyezofazanın strukturunun, kristalfiziki və kristalkimyəvi parametrlərinin kompozitdə güclü elektrik sahəsinin və temperaturun təsirindən formalaşan elektron–ion effektlərə və polyarlaşma hadisələrə təsir mexanizmləri;
5. Polimer–seqnetopyezokeramika kompozitlərdə elektrotermopolyarlaşma prosesində bir fazada baş verən elektron-ion və polyarlaşma effektlərin təsiri altında digər fazada analogi effektlərin yaranmasını nəzərə almaqla pyezo- və piroelektrikləşmənin mexanizmlərini izah etməyə imkan verən model;
6. Pyezokompozitlərin pyezoelektrik modulunun d_{33} temperatur asılılığının onların elektret potensiallar fərqi $U_{e,p.f.}$ analogi asılılığından fərqliliyinin mahiyyəti;
7. Pyezokompozit elementin səthəyaxın həcmnin $BaTiO_3$ və SiO_2 nanohissəciklərlə nanostrukturlaşdırılması onun elektromexaniki əlaqə K_{ij} , mexaniki keyfiyyət Q_m əmsallarının, pyezomodulun d_{ij} və Yunq modulunun temperatur stabilliyinin artmasının mexanizmləri;
8. Polimer fazası elektrik qaz boşalması plazması şəraitində modifikasiya olunmuş və müxtəlif strukturlu pyezokeramikalardan ibarət kompozitlərdə anomal pyezo-, piro və polyarlaşma effektlərin formalaşma mexanizmləri.

Elmi yeniliklər.

- 1) elektrotermopolyarlaşmış və elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində modifikasiya olunmuş müxtəlif strukturlu (R_e , T və R_e+T) pyezofazalı və polimer matrisalı (polyar və qeyri-polyar)

- kompozitlərdə yaranmış elektrofiziki effektlərin onların pyezo-, piroelektrik xassələrinə təsir mexanizmləri verilmişdir;
- 2) aktivləşmə enerjisi və konsentrasiyası yüksək və keçid təbəqədəki polimerin kvaziqadağan zonasında yerləşən ionlaşmış lokal səviyyələrin reorientasiya polyarlaşmanı- P_r , pyezomodulu- d_{ij} , elektromexaniki əlaqə əmsalını- K_{ij} və dielektrik nüfuzluğunu- ϵ qiymətcə təyin edən həlledici faktor olması müəyyən edilmişdir;
 - 3) polimer-STQ kompozitlərin makroskopik xarakteristikalarının əsasən pyezofazanın struktur parametrləri ilə təyin olunması müəyyən edilmişdir: perovskit özəyin bircins spontan deformasiyası- δ ; spontan polyarlaşma- P_s ; qalıq reorientasiya polyarlaşması (P_r); perovskit özəyin növü-romboedrik (R_e), tetraqonal (T) və heterogen (R_e+T);
 - 4) elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində komponentləri əvvəlcədən modifikasiya olunmuş kompozitlərdə pyezo- və piroelektrik əmsallarının sabilliyinin artmasının əsas səbəbinin yalnız polimer strukturunun dəyişməsi ilə əlaqədar olması müəyyən edilmişdir;
 - 5) kompozitlərdə nitridlərin və karbidlərin metal hissəcikləri arasındakı polimer fazasının elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində modifikasiyası ilə onların istilik keçiriciliyinin nəzərə çarpacaq dərəcədə artmasının mümkün mexanizmləri təyin edilmişdir;
 - 6) pyezokompozitlərin istidən genişlənmə əmsalı (α) ilə P_r , d_{ij} , K_{ij} parametrləri arasında birbaşa əlaqə müəyyən edilmişdir;
 - 7) kompozitlərdə anomal polyarlaşma effekti müəyyən edilmiş və onun formalaşmasında fazalararası sərhədə injeksiya olunmuş yüklərin mühüm rolu müəyyən edilmişdir.

İşin praktiki əhəmiyyəti

- 1) kompozitin elektrofiziki (ϵ , $\text{tg}\delta$, U_D), pyezoelektrik (d_{ij} , g_{ij}) və elektromexaniki (K_{ij} , Q_m , $d_{ij}^2 \cdot Y^2$) parametrləri ilə pyezofazanın struktur parametrləri (δ , η , N , D , P_r) arasında əlaqə əsasında yeni pyezokompozit materialların texnologiyasının işlənməsi;
- 2) nano-, mikroölçülü seqnetopyezokeramik fazalı və polimer matrisalı kompozitlərin hibridi əsasında işlənmiş yüksək pyezoelektrik,

mexaniki və elektromexaniki xassələrə malik pyezoelektrik materiallar;

- 3) termodinamik uyuşan polyar və qeyri-polyar polimerlər əsasında yeni sinif pyezoelektrik materialların işlənməsi;
- 4) Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun 2010-cu il üçün 1-ci qrant müsabiqəsinin № EİF – 2010 – 1(1) – 40/04 – 1 nömrəli qrantı əsasında yeni nəsil pyezoelektrik materialların alınması;
- 5) işdə yüksək həssaslığa malik pyezo- və piroelektrik kompozitlər optoakustikada, pyezo- və pirotexnikada, elektronikada, tibbdə, seysmologiyada geniş istifadə oluna bilər.

Tədqiqatın nəticələrinin aprobasiyası. İşin əsas nəticələri Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun seminar və konfranslarında və Beynəlxalq elmi konfranslarda müzakirə olunmuşdur. “AMEA-nın aspirantlarının elmi konfransının materialı” /Bakı, 2010/ ; Beynəlxalq elmi konfrans “Azerbaijan journal of Physics Series, En”/Bakı, June, 2010/; Beynəlxalq elmi konfrans “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi AZTU-2010”/Bakı, 2010/; Beynəlxalq elmi konfrans “The 10th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium On Ferroelectricity, RCBJSF–10, Yokohamo, Japan 2010”; “Abstracts Collection On New Challenges In European Area: International Baku Forum Of Young Scientists Dedicated To The 90-Th Anniversary Of National Leader Heydar Aliyev, Azerbaijan, Baku, 20-25 May 2013, Pp 143-146”; “11th International Symposium on Ferroic Domains and Micro–to Nanoscopic Structures”, /Ekaterinburg, Russia, 2011 konfranslarında məruzələr edilmişdir.

Nəşr olunmuşlar: Dissertasiya işinin mövzusunə aid Respublika və xarici elmi jurnallarda 21 elmi iş, o cümlədən 17 məqalə nəşr olunmuş və 1 Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun qrantı alınmışdır.

Dissertasiya işinin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, nəticələr və istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 238 səhifədən ibarətdir, o cümlədən: mətn 148 səhifə, 72 şəkil (45 səhifə), 27 cədvəl (13 səhifə) və 229 adda istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısı (26 səhifə).

İşin qısa məzmunu.

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatın məqsədi ifadə edilmiş, elmi yeniliklər, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, praktiki əhəmiyyəti verilmişdir.

Birinci fəsilə polimer matrisalı və müxtəlif elektrofiziki və istilikfiziki xassələrə malik disperqatorların əsasında yaradılacaq kompozitlərin pyezo-, piroelektrik, istilikfiziki xassələrinə elektrik və istilik effektlərinin təsirinə aid ədəbiyyatlarda mövcud olan məsələlər analiz olunmuşdur. Mövcud nəzəri və eksperimental işlərin analizi aşağıdakıları söyləməyə imkan vermişdir:

- güclü elektrik sahəsinin və temperaturun bircə təsiri şəraitində kompozitə injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcılarının onlarda pyezo- və piroeffektlərin formalaşmasında rolu tam öyrənilməmişdir;
- metal-pyezo-, piroelektrik-metal sistemlərdə elektrik yük daşıyıcılarının stabilləşməsi, köçürülməsi və pyezofazanın domenləri ilə kvazineytral sistemin yaranması kifayət qədər öyrənilməmişdir;
- polimer-pyezokeramika kompozitlərdə pyezo-, piroeffektlərin formalaşmasında mühüm rol oynayan fazalararası sərhəddə lokallaşmış elektrik yük daşıyıcılarının konsentrasiyasının və aktivləşmə enerjisinin məqsədəuyğun variasiyası texnologiyası işlənməmişdir;
- kompozitlərdə pyezo- və piroelektrik effektlərin formalaşmasında həlledici amil olan kvazineytral sistemin yaranmasında elektron - ion polyarlaşması, domenlərin dipol momentinin kompensasiyası, kristal fiziki və kristal kimyəvi parametrlərin elektro və teplofiziki effektlərin rolu az tədqiq edilmişdir;
- kompozitlərin üzvi və qeyri-üzvi fazalarında qarşılıqlı elektron-ion və domen oriyentasiya proseslərin mexanizmləri az öyrənilmişdir.
- kompozitlərdə fazalararası sərhəddə mümkün qarşılıqlı təsirlərin TSD, differensial skan kalorimetri, xüsusi həcmi sıxlığın temperaturdan asılılığı, istidən genişlənmə əmsalının temperaturdan asılılıqları vasitəsilə diaqnozlaşdırılması məsələlərinə praktiki olaraq baxılmamışdır;
- üzvi və qeyri-üzvi kompozitlərdə istilikfiziki və elektrofiziki effektlər arasında mümkün qarşılıqlı təsirlər az tədqiq edilmişdir;
- dielektrik parametrlərini kifayət qədər yüksək saxlamaqla polimer-seqnetopyezokeramika piroelektrik kompozitləri üçün mühüm

parametr olan istilik keçiriciliyinin məqsədəuyğun variasiyası texnologiyaları az işlənmişdir;

- disperqatorların səthinin elektron halının və polimer matrisanın molekulyarüstü quruluşunun kompozitlərin istilik keçiriciliyinə təsiri az öyrənilmişdir;
- üzvi və qeyri-üzvi komponentli termoelektrik kompozitlərdə nanostrukturlaşmanın onların istilikfiziki parametrlərinə təsiri çox az öyrənilmişdir.

İkinci fəsildə polimer–pyezoelektrik və metal oksidli kompozitlərdə istilikfiziki, pyezo-, piroelektrik və elektrofiziki effektlərini öyrənmək üçün aşağıdakı metod və qurğulardan istifadə olumuşdur:

- press ovuntunun alınması;
- polimer və qeyri-üzvi mikroölçülü hissəciklərin elektrik qaz boşalması plazmasının və temperaturun birgə təsiri şəraitində modifikasiyası üçün istifadə edilmiş qurğular;
- üzvi və qeyri-üzvi komponentlərdən ibarət kompozitlərin alınma texnologiyası;
- kompozitlərdə elektrotermopolyarlaşmanın daha effektiv aparılması üçün təklif olunan qurğular.

Bunlarla yanaşı olaraq kompozitlərin pyezomodullarının müxtəlif metodlarla ölçülməsi öyrənilmişdir: kvazi statik metod; rezonans və antirezonans metodu. Kompozitlərin elektrik yük halını, injeksiya olunmuş elektron–oriyentasiya etmiş domenlərdən ibarət kvazineytral sistemin öyrənilməsinə, polyarlaşma prosesində kompozitə injeksiya olunmuş qeyri-taraz elektronların konsentrasiyasını, ionlaşmış lokal səviyyələrin aktivləşmə enerjisini təyin etmək üçün termostimullaşdırılmış depolyarlaşma cərəyan spektrlərin (TSD) alınması metodikası geniş tətbiq olunmuşdur. Bunlarla yanaşı olaraq pyezo- və piroelektrik əmsalları ilə kompozitdə stabilləşmiş elektrik yük daşıyıcıların konsentrasiyası arasında əlaqə də TSD metodu ilə öyrənilmişdir.

İşimizdə nəzərdə tutulan mühüm məsələlər kimi kompozitlərin elektrofiziki (ϵ , $\text{tg}\delta$, ρ_v) və istilikfiziki (C , α , λ , ρ) xassələrinin öyrənilməsidir. Bu məqsədlə dielektrik spektroskopiyasından, diferensial skan kalorimetridən istifadə edilmişdir. Kompozitlərin və onların ayrı-ayrı komponentlərinin məqsədəuyğun modifikasiyası üçün elektrik qaz boşalması plazması texnologiyasından və nanotexnologiyadan istifadə edilmişdir.

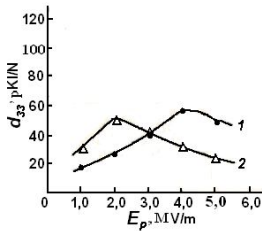
Üçüncü fəsildə aktiv çoxfazlı dielektriklər kimi pyezo-, piroelektrik və elektret effektlərə malik kompozitlər tədqiq edilmişdir. Göstərdiyimiz effektlərin polimer matrisalı kompozitlərdə formalaşması və çoxfazlı aktiv materialların makroskopik xarakteristikalarının məqsədəuyğun variasiyası üçün qeyd etdiyimiz heterogen sistemlərdə elektrik və istilik effektləri geniş öyrənilir. Nəzərə alsaq ki, kompozitlər çoxfazlı sistemlərdir və bir fazada gedən elektron-ion və polyarlaşma prosesləri digər fazada analoji proseslərin yaranmasında əsas rol oynayır, onda, fazalararası sərhəddə komponentlərin xassələrinin kəskin dəyişməsi nəticəsində fazaların kontakt oblastlarında gedə bilən fiziki və istilik effektləri son nəticədə aktiv materialların makroskopik xarakteristikalarını təyin edəcəkdir.

Qeyd etsək ki, işimizin əsas məqsədində kompozitdə istilik və elektrik effektlərin son nəticədə onun pyezoelektrik xassələrinə təsiri durur, onda istilik və elektrik effektlərini yaradan elektrik və temperatur sahələrinin pyezoelektrik moduluna təsiri öyrənilməlidir. Şəkil 1, a–da YSPE+PKR-3 kompoziti üçün müxtəlif polyarlaşma temperaturlarında pyezoelektrik modulunun elektrik sahə intensivliyindən asılılığı verilmişdir. 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, yəni $d_{ij}=P_r \cdot \varepsilon$. 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. Maraqlı 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 maksimum yüksək elektrik sahə intensivliyi istiqamətində yerini dəyişir. Bu effektin mümkün mexanizmini aydınlaşdırmaq.

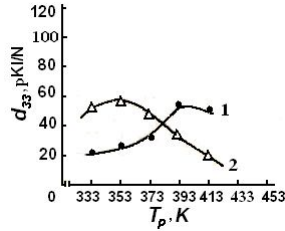
İlk növbədə qəbul edirik ki, kompozitin P_r -parametri əsasən polyarlaşma prosesində kompozitə injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcılarının yaratdığı lokal yüksək elektrik sahəsinin qiymətləri ilə təyin olunur. Injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcılarının nümunədə daxili yüksək sahə yarada bilməsi 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. İlk yanaşmada qəbul etmək olar ki, polyarlaşma prosesində elektrik yük daşıyıcılarının müxtəlif tələlərdə stabiləşməsi mürəkkəb funksiyadır və ən azı aşağıdakı xarici elektrotermofiziki faktorlardan və kompozitin dielektrik parametrlərindən (ϵ , $\text{tg}\delta$, ρ_v) asılıdır. Deyilənlər şəkil 1, b-də verilmiş $d_{33}=f(T_p)$ asılılığında özünü göstərir. Şəkil 1, a-da 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 oriyentasiya 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:

- $E_p=\text{const}$ şərtində 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 oriyentasiyası asanlaşır, lakin T_p -nin sonrakı artımı domenlərin deoriyentasiyasını intensivləşdirir. Digər tərəfdən temperaturun artması ilə domenləri oriyentasiya vəziyyətində saxlamış injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcıları delokallaşma effektinə məruz qalır. Kompozitlərdə lokal sahənin azalması və eyni zamanda temperaturun artması ilə domenlərin oriyentasiya dərəcəsi azalır və $d_{33}=f(T_p)$ asılılığının ekstremal nöqtədən sonra sağ tərəfinin formalaşması baş verir.



a)

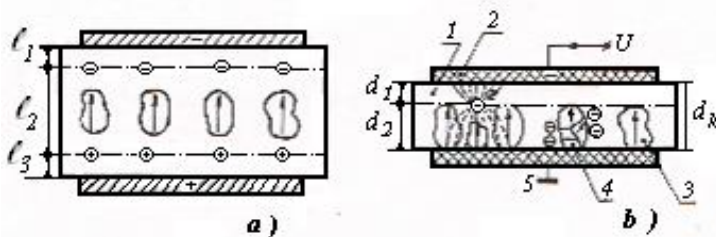


b)

Şəkil 1. a) YSPE+PKR-3 kompozitinin pyezomodulunun d_{33} polyarlaşma elektrik sahə intensivliyindən E_p asılılığı. $d_{33}=f(E_p)$ müxtəlif T_p -də. 1–353 K; 2–393 K. və b) 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.

Ekstremumdan başlayaraq pyezomodulun $d_{ij}(P_r)$ azalmasını təyin edən və lokal səviyyələri (tələləri) tərk edən (sərbəstləşən) elektronlar kompozitin elektrik keçiriciliyində iştirak edəcəklər. Pyezokeramik hissəciyin sabit reorientasiya polyarlaşmasını təyin edən ionlaşmış lokal səviyyələr fazalararası sərhəddin polimer fazasında yerləşirlər. Polimerin qadağan zonasının böyük olduğunu və orada yerləşən lokal səviyyələrin aktivasiya enerji spektrinin geniş olmasını qəbul etsək onda, belə nəticəyə gəlmək olar ki, E_p -ni və T_p -ni dəyişməklə injeksiya olunmuş elektronların daha dərin tələlərdə yerləşməsinə təmin edə bilərik və pyezoelektrik hissəciklərin domen oriyentasiyasını optimallaşdırmaq olar. Buradan yeni bir nəticə çıxır: bir fazada gedən elektron–ion polyarizasiya effektləri digər fazada gedən analogi effektlərin formalaşmasını təmin edir. Bu effektin mexanizmini başa düşmək üçün polimer–pyezokeramik sisteminin polyarizələşmə prosesini aydınlaşdıran mövcud fiziki modelləri nəzərdən keçirməklə kompozitlərin pyezofazasında yüksək reorientasiya polyarlaşmanı tam izah edə bilən yeni modeli quraq (şəkil 2, a və b). Məlumdur ki, elektrotermopolyarlaşma prosesinin ilkin mərhələsi elektrik sahəsinin təsiri altında elektrik yük daşıyıcılarının elektroddan kompozitə injeksiyasıdır. Injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcılarının bir hissəsi adətən kompozitin səthə yaxın oblastındakı tələlər tərəfindən tutulur. Belə tələlərin olması qəbul ediləndir, belə ki, öyrəndiyimiz kompozit heterogen sistemdir. Sərbəst elektron seli elektrik sahəsinin təsiri altında müsbət elektroda doğru müəyyən yürüklüklə hərəkət edirlər və get-gedə elektron seli rast gəldiyi tələlərdə səpələnir. Əgər kompozitin fiziki strukturunu nəzərə alsaq injeksiya olunmuş elektronlar polimer–pyezokeramik hissəcik sərhəddində domenlərin təsiri altına düşəcəkdir. Belə stabilləşmiş yüklərin aktivasiya enerjisi təqribən domenlərin termodepolyarlaşma aktivasiya enerjisinə bərabər olacaqdır. Lakin sərhəddə stabilləşmiş elektronların aktivasiya enerjisinin domenlərin termodepolyarizasiya aktivasiya enerjisindən böyük olması daha diqqətə layiqdir. Çünki, dərin tələlərdə oturmış yüklər lokal elektrik sahəsi yaradaraq domenlərin stabil reorientasiya polyarlaşmasını təyin edəcəkdir. Fazalararası sərhəddə dərin tələlərin olması polimer–pyezohissəcik arasında yaranan fiziki və kimyəvi təsirlərlə təyin olunur. Polimer fazanın molekulyarüstü quruluşunun heterogenliyi, pyezokeramik hissəciyin isə kimyəvi strukturu, kationların elektromənfiliyi və fazalararasında donor–akseptor rabitələrin yaranması sərhəddə yüklərinin aktivasiya enerjisinin spektrini təyin edəcəkdir.

Pyezokeramik fazanın kationlarının elektromənfiliyi, polimer və pyezokeramik hissəcik arasındakı rabitənin kovalentlik dərəcəsi fazalararası qarşılıqlı təsiri təyin edən faktorlardır. Sərhədd (fazalararası) elektron-ion, injeksiya və polyarlaşma proseslərinin intensivliyi elektrod-polimer kontakt oblastında gedən analogi proseslərdən çox asılıdır. Əgər bu oblastdakı tələlər böyük aktivasiya enerjisinə malik olarsa, onda, injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcıları fazalararası sərhədə çatmadan stabilləşəcəklər və polyarizasiya elektrik sahə intensivliyini qismən kompensasiya edəcəklər. Bu effekt kompozitlərdə yüksək pyezoelektrik halının formalaşması üçün qəbul edilməzdir. Göstərilən effektlərin məqsəduyğun idarəedilmə mexanizmlərini aydınlaşdırmaq üçün şəkil 2-də göstərilən modellərdən istifadə edək.



Şəkil 2. Kompozitdə pyezokeramik hissəciklərin polyarlaşması modeli.

- a) l_1 və l_3 uyğun olaraq elektrodlarla bilavasitə kontaktda olan oblastların qalınlığı; l_2 -pyezokeramik hissəciklərlə bilavasitə kontaktda olan oblast.
- b) 1–elektrodlarla bilavasitə kontaktda olan polimer təbəqə; 2–injeksiyaedici elektrod; 3–pyezokeramik hissəciklər; 4–polyarizəedici elektrik sahəsi (E_p) istiqamətində oriyentasiya etməyə macal tapmamış, injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcıları ilə kvazineytral sistem əmələ gətirən domenli pyezohissəcik; 5–torpaqlanmış elektrod.

Pyezokompozitlərin elektrik qaz boşalması plazmasınının təsiri şəraitində modifikasiyası da onlarda yeni elektrik və istilik effektləri yaradır:

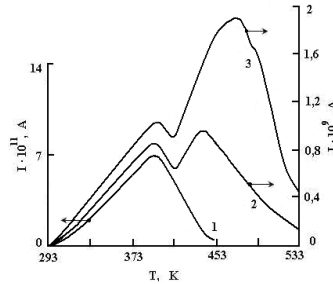
- 1) Kompozitin polimer matrisasında müxtəlif fiziki və kimyəvi təbiətə malik aktiv mərkəzlərin yaranması;

- 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.

Göstərilən effektlərə təsir edə biləcək faktorlar plazma kanallarının enerjisi, konsentrasiyası, intensivliyi, kimyəvi aktivliyi və təsir müddətidir. Burada əsas amil kimi həm konsentrasiyası, həm də aktivasiya enerjisi yüksək olan mərkəzlərin yaranması əsas şərtidir. Aktivasiya enerjisi kiçik olan lokal səviyyələr kompozitdə pyezoelektrik əmsalının və onun stabilliyinin kiçik olması ilə nəticələnəcəkdir. Dayaz tələlərin yaratdığı elektron–oriyentasiya olunmuş domen kvazineytral sisteminin stabilliyi kiçik olduğu üçün d_{ij} əmsalının stabilliyi də kiçik olacaqdır. YSPE–pyezokeramika kompozitinin alınmış TSD spektrində 2 dəqiq təzahür olunmuş maksimum var. Birinci maksimum polimer fazanın dayaz tələlərində stabilləşmiş elektronların termorelaksasiyasına, ikinci maksimum isə fazalararası sərhəddəki dərin tələlərdə stabilləşmiş elektronların relaksasiyasına uyğundur.

İndi də elektrik qaz boşalması plazmasının və temperaturun birgə təsiri şəraitində kristallaşmış kompozitlərdə (YSPE–50%PKR-7) mövcud ola bilən termorelaksasiya proseslərə baxaq (şəkil 3). Nümunələr aşağıdakı rejimlərdə polyarlaşdırılmışdır: $E_p=4,5\text{MV/m}$, $T_p=383\text{K}$, $t_p=0,25\text{saat}$. Eksperimental nəticələrdən görünür ki, ancaq termokristallaşmış kompozit üçün alınmış TSD spektrində müşahidə olunan ikinci əsas maksimumun formalaşma temperaturu ilə plazma–termokristallaşmış nümunənin uyğun maksimumunun formalaşma temperaturu arasında fərq təqribən $30\text{--}60^\circ\text{S}$ arasında dəyişir. Ona görə də əvvəlcədən plazma şəraitində kristallaşma üsulunu yüksək pyezoelektrik xassələrə malik kompozitlərin alınması üçün istifadə edirik. Plazmanın təsiri şəraitində nümunələrin kristallaşdırılması onlarda kimyəvi və elektrofiziki effektlərin yaranması ilə nəticələnir. İlk növbədə kompozitin fazalararası sərhədində dərin tələlərin yaranması ehtimalı artır. Ona görə də işimizdə elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində polimer matrisada yaranmış lokal səviyyələrin energetik spektrlərinin plazma kanallarının parametrlərindən (enerji, köçürülən yükün miqdarı) asılılığını təyin edirik. İlk növbədə tədqiq etdiyimiz və

termokristallaşdırılmış YSPE–PKR-7M nümunəsinin TSD spektri əsasında 1-ci və 2-ci maksimumlara uyğun tələlərin əsas parametrlərini təyin edək (cədvəl 1).



Şəkil 3. YSPE+50%PKR-7M mikropyezokompozitinin termostimullaşdırılmış depolyarlaşma cərəyan spektri. 1–YSPE; 2–YSPE+50%PKR-7M termokristallaşmış mikrokompozit; 3–elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallaşmış kompozit. Polyarlaşma şəraiti: $E_p = 3,6 \frac{MV}{m}$; $T_p = 383 K$; $t_p = 0,5 saat$.

Cədvəl 1. YSPE–PKR-7M kompozitin TSD spektrindəki 1-ci və 2-ci maksimumlara uyğun tələlərin energetik parametrləri.

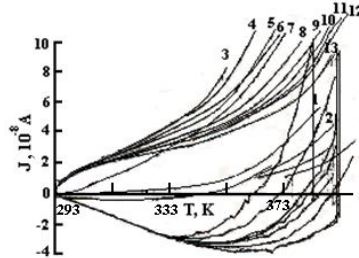
Parametrlər	YSPE	YSPE – PKR-7M kompoziti	
		1-ci maksimum	2-ci maksimum
E_a, eV	0,5	0,46	0,95-1,25
ω, Hz	$6,5 \cdot 10^3$	$6,31 \cdot 10^3$	$2,24 \cdot 10^8$
τ, s	$1,4 \cdot 10^7$	$1,27 \cdot 10^4$	$3,1 \cdot 10^8$

İndi də termomodifikasiya texnologiyası vasitəsilə polimer – seqnetopyezokeramika kompozitlərində stabil piroelektrik effektinin formalaşmasına baxaq. Göstərilən modifikasiya temperaturu polimerlərin fiziki və kimyəvi strukturundan asılıdır: poliolefinlər üçün təqribən 373–473 K arasında dəyişir. F-42 üçün bu temperatura təqribən 433–523 K intervalında götürülür. Qızdırıb–soyutma tsikli 10–12 götürülmüşdür. İşimizdə çox zaman işləmə temperaturun qiyməti təqribən 373 K–dir. Eksperimental nəticələr göstərir ki, verilən temperaturalarda qızma–soyuma tsikli 10–12–yə bərabər olduqda piroelektrik cərəyanı yenidən hasil olur və $I=f(T)$ asılılığı qeyri-simmetrikdən simmetrikə keçir. Piroelementin qızma

sürəti 8 K/dəq.–dir. Qızma–soyuma proseslərində temperaturun xətti dəyişməsi mühüm şərtədir. Piroelektrik effektinin uyğun kompozitlərdə pyzeoeffektə təsirini (d_{ij} , g_{ij} , K_{ij}) və formalaşma mexanizminin proqnozu üçün tətbiq edilməsi fikrimizcə göstərilən effektlərin mahiyyətini başa düşmək üçün mühüm elmi üsuldür. Bu məqsədlə istifadə etdiyimiz kompozit polyarlaşandan sonra iki rejimdə tədqiq edilmişdir:

- 1) Polyarlaşmadan dərhal sonra elementlərin pyzomodulu (d_{ij}) və piroelektrik əmsalı $\gamma=J/A\beta$ (A –elektrodun sahəsi, β –qızma sürəti, J –piroelektrik cərəyanı) ölçülmüşdür (şəkil 4).
- 2) Qızma–soyuma əməliyyatı nəticəsində amplitudu stabil və simmetrik $I=f(T)$ asılılığın alınması ilə pyzeoelektrik xassələri arasında əlaqə müəyyənləşdirilmişdir.

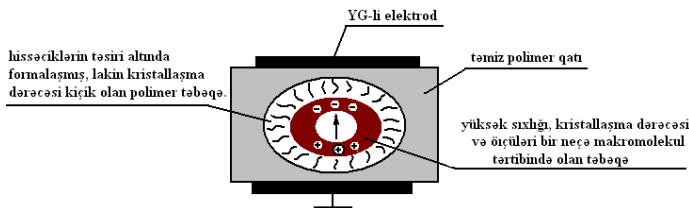
Alınmış termoelektrik effektlərin (temperatura, piro) kompozitin pyzomodulunun stabilliyinə və amplituduna təsirinin mexanizmini belə izah etmək olar. Şəkil 3–də verilən TSD spektrləri polyarlaşmış kompozitin, fazalararası sərhəddə və polimer matrisada stabilləşmiş elektrik yükdaşıyıcılarının həm miqdarını və həm də aktivləşmə enerjisini verir. Spekrtdən görünür ki, energetik baxımından tələlər həm dayaz, həm də dərinədir. İstilik işləmə ilə dayaz tələlərdəki elektrik yükdaşıyıcılarının relaksasiyasını, həm də onların dərin tələlərdə (d_{ij} –un formalaşmasında iştirak edən) stabilləşməsinə təmin etmək olar. Bu cür yavaşmanın doğruluğunu isbat edən termoelektrik (piroelektrik) cərəyanın dəyişməsi və bir neçə tsikldən sonra stabilləşməsi şəkil 4–də göstərilmişdir.



Şəkil 4. F-42+50%həc. PKR-3M pyezokompozitinin piroelektrik cərəyanının temperatur keçidi.

Fikrimizcə, TSD spektrində yüksək temperaturlu maksimum fazalararası sərhəddə gedən elektron–ion polyarlaşma proseslərin

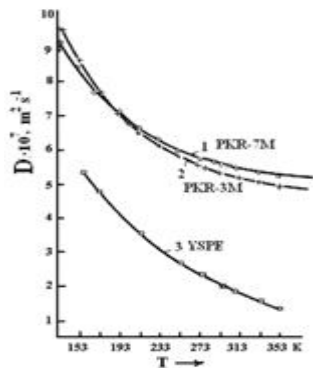
nəticəsidir. Ona görə də fazalararası sərhəddə elektrotermopolyarlaşma zamanı yaranan elektrofiziki effektlərin həm TSD spektrini və həm də P_r -ə ekvivalent olan elektrik yüklərinin formalaşma mexanizmlərini təyin etmək lazımdır. Bu məqsədlə verilən modellərin təkmilləşdirilməsi mühüm amil kimi ortaya çıxır (şəkil 5). Təkmilləşmə, əsasən polimer–seqnetopyezokeramika sərhəddində qeyri–üzvi fazanın təsiri şəraitində formalaşmış yeni, üçüncü fazada polyarlaşma prosesində yaranan və pyezofazanın kristal kimyəvi və kristal fiziki parametrləri ilə təyin olunan mümkün elektrik effektlərini nəzərə almalıdır. Bu fazada polimerin strukturu və xassələri ilkin götürdüyümüz polimer matrisanın analoji xarakteristikalarından fərqlidir və polyarlaşma prosesində injeksiya olunmuş yüklər üçün stabilləşmə məkanı ola bilər. Əgər qəbul etsək ki, üçüncü fazanın qalınlığı bir neçə mikrona bərabərdir, onda injeksiya olunmuş elektrik yük daşıyıcılarının üçüncü təbəqədə qalmaq şərti ilə bilavasitə pyezohissəciyə tam yaxın olmasını qəbul etmək olar. Deməli üçüncü fazada məskunlaşmış elektrik yükləri domenlərin oriyentasiyasını təmin edən güclü elektrik sahəsi yaradacaqdır. Bu sahənin qiyməti üçüncü təbəqənin dielektrik nüfuzluğundan, həcmi xüsusi elektrik keçiriciliyindən və qalınlığından asılıdır. Üçüncü təbəqə ilə pyezoelektrik hissəciyin arasında tətbiq olunmuş polyarlaşma elektrik sahə intensivliyinin paylanması üçüncü təbəqədə üstünlük təşkil etməlidir. Əks halda pyezohissəcik domenlərin E_p -istiqamətində oriyentasiyası mümkün olmayacaqdır. Bu şərt aşağıdakı tələblər əsasında ödənilə bilər: üçüncü təbəqənin dielektrik nüfuzluğu yüksək, qalınlığı və xüsusi elektrik müqaviməti mümkün qədər kiçik olmalıdır. Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, üçüncü təbəqə–pyezohissəcik arasında E_p -nin paylanması eyni vacibliyi ilə pyezofazanın xassələrindən də asılıdır: dielektrik nüfuzluğu mümkün qədər üçüncü təbəqənin uyğun parametrlinə yaxın olmalıdır, diametri və xüsusi elektrik keçiriciliyi də kiçik olmalıdır.



Şəkil 5. Polimer–seqnetopyezokeramika sistemində fazalararası təbəqənin modeli.

Dördüncü fəsildə polimer–seqnetopyezokeramika sistemlərində pyezo-, piroelektrik effektlərin formalaşmasına təsir edən istilikfiziki hadisələrin mexanizmi öyrənilmiş, onların pyezo-, piroelektrik parametrlərə təsiri verilmişdir.

Kompozitlərin pyezofazasının temperaturkeçirmə əmsalı polimerin uyğun parametrlərindən bir neçə dəfə böyük olması ilə əlaqədardır. Bu üstünlük tədqiq etdiyimiz bütün temperatur intervalında özünü göstərir, şəkil 6. (1, 2, 3).



Şəkil 6. PKR-7, PKR-3 keramikaları və YSPE üçün temperaturkeçirmə əmsalının temperatur asılılığı.

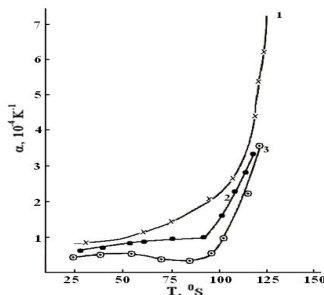
Kompozitlərin termiki genişlənməsinin tədqiqi otaq temperaturundan başlayaraq 120⁰ S–yə qədər intervalda aparılmışdır. Şəkil 7–də müxtəlif kompozitlərin genişlənmə əmsalının (α) temperatur asılılığı verilmişdir (1, 2, 3 ayriləri). Alınan eksperimental nəticələr ilk yanaşmada aşağıdakıları söyləməyə imkan verir:

- Kompozitdə pyezokeramik fazanın həcmi payı artdıqca istilik genişlənmə əmsalı azalır;
- Ölçü temperaturu artdıqca α əmsalı əvvəlcə az dəyişir, sonra isə müəyyən temperaturda kəskin artır, (şəkil 7);
- $\alpha=f(T)$ asılılığının kəskin artma temperaturu pyezokeramikanın həcmi payı artdıqca artır;
- Kiçik temperaturalarda α –əmsalının qiyməti pyezokeramik fazanın həcmi payı azaldıqca artır.

İşimizdə qoyulan məsələnin həlli üçün daha böyük əhəmiyyət kəsb edən fazalararası sərhəddin strukturudur. Fazalararası qarşılıqlı təsirdən

asılı olaraq pyezohissəciyin səthinə absorbsiya etmiş makromolekullar ya səlist struktura, ya da qeyri-səlist struktura malik ola bilər, yəni, pyezohissəcik–polimer–pyezohissəcik aralığının molekulyarüstü quruluşu həlledici faktor kimi ortaya çıxacaq və termiki genişlənmə əmsalını kəmiyyətcə təyin edəcəkdir. Deməli, keçid təbəqəsinin kristallaşma və amorflaşma dərəcəsindən asılıdır. Göstərilən faktorlar da öz növbəsində heç şübhəsiz ki, kompozitin komponentlərinin kimyəvi və fiziki strukturundan asılı olacaqdır. Deyilənlərin digər sübutu isə pyezofazanın həcmi payı kiçik olan kompozitlərdə kiçik temperatur intervalında (25–75⁰ S) α -nın qiymətinin böyük olmasıdır. Əgər qəbul etsək ki, pyezofazanın həcmi payı azaldıqda polimer matrisanın kristallaşma dərəcəsi əsasən onun istilikfiziki parametrləri ilə təyin olunacaq, onda kiçik temperatur intervalında α -nın böyük olması qəbul ediləndir. İşimizdə qoyulan məqsədə uyğun olaraq α -əmsalı ilə pyezoelektrik effekti arasında mümkün əlaqəni araşdıraraq:

- 1) Kompozitlərin istidən genişlənmə əmsalı (α) azaldıqca polyarlaşma prosesində kompozitdə formalaşan reorientasiya polyarlaşmasının stabilliyi artacaqdır, beləki, α -kəmiyyəti polimer makromolekulların istilik rəqsi hərəkət intensivliyindən asılıdır, deməli, α ilə P_r , d_{ij} , K_{ij} parametrləri arasında birbaşa əlaqə vardır;
- 2) $\alpha=f(T)$ asılılığı əsasında pyezokompozitlərin polyarlaşma rejimlərini optimallaşdırmaq olar. Polyarlaşma temperaturu $\alpha=f(T)$ asılılığında müşahidə olunan α -nın kəskin artma temperaturundan kiçik və ya bərabər götürülməlidir.

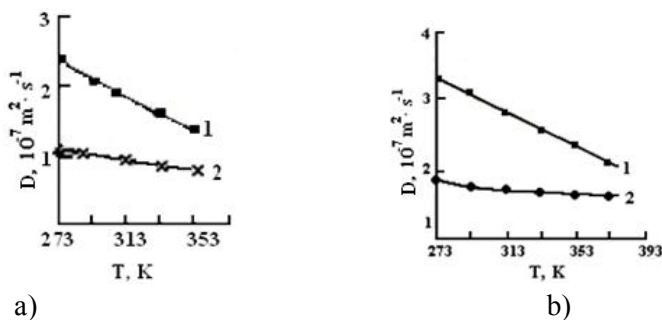


Şəkil 7. PKR-3 əsaslı kompozitlərdə genişlənmə əmsalının temperatur asılılığı. 1–YSPE+10%həc.PKR-3; 2–YSPE+30%həc.PKR-3; 3–YSPE+50%həc.PKR-3.

Şəkil 8 (a)–da tədqiq olunan kompozitin polimer fazasının temperaturkeçirmə əmsalının (D) temperatur asılılığı verilmişdir. Alınmış

nəticələr göstərir ki, qeyri-polyar YSPE polimerinin D əmsalı polyar seqnetoelektrik olan PVDF-in D əmsalından təqribən 2,5 dəfə böyükdür. Şəkildən həm də görünür ki, D-parametri temperatūra artdıqca təqribən xətti azalır. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, azalma daha çox YSPE-də müşahidə olunur.

Şəkil 8 (b)-də YSPE və PVDF polimerlər və pirofaza kimi PKR-3 keramika istifadə etməklə alınan kompozitlərin D əmsalının temperatur asılılığı göstərilmişdir. Göründüyü kimi ilkin polimerlərin temperaturkeçirmə əmsalının qiymətindəki fərq onlar əsasında kompozitlərin D qiyməti üçün təcrübi olaraq saxlanılır.



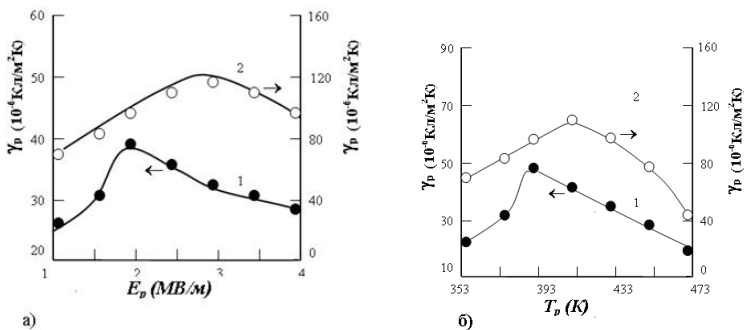
Şəkil 8. Temperaturkeçirmə əmsalının (D) temperatur (T) asılılığı. a) YSPE (1) və PVDF (2) polimerləri; b) YSPE+50% həc. PKR-3 (1) və PVDF+50% həc. PKR-3 (2) kompozitləri.

Bu məqsədlə yeni texnoloji metod təklif edilmişdir, hansı ki, mahiyyətində kompozitin polimer matrisasında intensiv termooksidləşmə reaksiyası elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində aparılması durur. Kompozitlərin plazma kristallaşması aşağıdakı kimi yerinə yetirilir: kompozit əvvəlcə onun polimer matrisasının ərimə temperaturuna qədər qızdırılır; xüsusi özəkdə kompozit hava mühitində yüksək elektrik sahəsinin təsirindən yaranmış elektrik qaz boşalması plazmasının təsirinə məruz qalır; elektrik qaz boşalması plazmasının intensivliyi xüsusi özəyə tətbiq edilmiş yüksək gərginliyin amplitudu, dielektriklərarası qaz aralığının qalınlığı və qazaralığını məhdudlaşdıran dielektriklərin elektrofiziki parametrlərindən asılıdır. Elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində təqribən 0,5 saat saxlanılmış kompozit 0,25–2 K/dəq. sürətilə otaq temperaturuna qədər soyudulur. Nümunədə baş verən

termooksidləşmə reaksiyasının formalaşmasını infraqırmıqı (İQ) spektroskopiya metodu ilə öyrənilmişdir. Eksperimental olaraq müəyyən edilmişdir ki, yuxarıda qeyd olunmuş modifikasiya metodlarından ən məqsədəuyğunu 3 rejimdir:

- matrisa kimi götürdüyümüz polimer hissəciklərin əvvəlcə modifikasiyası, sonra isə onun əsasında kompozitin alınması;
- polimer və pyezokeramik fazaların ovuntularının mexaniki homogenləşdirilməsi və sonra isə elektrik qaz boşalması plazmasının təsirindən modifikasiyası;
- alınmış kompozitlərin elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallaşdırılması.

Əvvəlcədən ancaq polimer fazası modifikasiya olunmuş kompozitlərin piroelektrik əmsalının $\gamma=f(E_p)$ və $\gamma=f(T_p)$ asılılıqlarına baxaq (şəkil 9 a, b). Müəyyən edilmişdir ki, göstərilən asılılıqlar ekstremal xarakterlidir. γ_p -nin qiyməti modifikasiya olunmuş polimer matrisalı kompozitlər üçün kifayət qədər yüksəkdir. Digər tərəfdən $\gamma_p=f(E_p)$ asılılığındakı maksimum yüksək E_p istiqamətində sürüşür. Analoji nəticələr $\gamma=f(T_p)$ asılılığı üçün də alınmışdır. Modifikasiya olunmuş matrisalı kompozitlərin γ_p -nin temperaturdan asılılığındakı maksimumun yüksək T_p istiqamətində sürüşməsi və modifikasiya olunmamış matrisalı kompozitlərin γ_p -əmsalının kiçik olması. Alınanlardan belə nəticəyə gəlmək olar ki, elektrik qaz boşalması plazması vasitəsilə modifikasiya olunmuş kompozitlərdə formalaşma mexanizmləri bir-birinə yaxın olan γ_p və d_{ij} əmsallarının yüksək olması üçün elektro- və istilikfiziki effektlər daha dolğun özünü göstərir. Komponentləri elektrik qaz boşalması təsiri şəraitində əvvəlcədən modifikasiya olunmuş kompozitlərdə piro- γ_p və pyzeoeffektin d_{ij} əmsallarının həm kəmiyyət və həm də stabilliyi baxımından yüksək olmasının əsas səbəbi modifikasiya prosesində polimerin kvaziqadağan zonasında elektronlar üçün yüksək aktivasiya enerjisinə malik mərkəzlərin yaranmasıdır. Təklif edilmiş mexanizmin düzgünlüyünün göstəricisi kimi şəkil 9 (a, b)-də verilən $\gamma_p=f(E_p)$ və $\gamma=f(T_p)$ asılılıqların ekstremal qiymətlərinin yüksək E_p və T_p istiqamətində sürüşməsidir.



Şəkil 9. a) YSPE+50%həc.PKR-57 kompozitində piroelektrik əmsalının γ_p elektrik sahə gərginliyindən E_p asılılığı: 1- $t_m=0$; 2- $t_m=4,5 \cdot 10^3$ san.; $T_p=393 \text{ K}$; $t_p=0,5$ saat.

b) YSPE+50%həc.PKR-57 kompozitində piroelektrik əmsalının γ_p polyarlaşma temperaturundan T_p asılılığı: 1 - $t_m=0$; 2 - $t_m=4,5 \cdot 10^3$ san.; $E_p=2 \text{ MV/m}$; $t_p=0,5$ saat.

İşdə alınan əsas nəticələr.

- 1) Elektrotermopolyarlaşma prosesində fazalararası sərhəddə stabilləşmiş elektrik yük daşıyıcılarının konsentrasiyası, relaksasiya temperaturu və aktivləşmə enerjisi polimer–seqnetopyezokeramika əsaslı kompozitlərdə yüksək pyezo-, piroelektrik effektlərin formalaşmasını və stabilliyini təmin edir;
- 2) Kompozitlərdə pyezofazanın polyarlaşmasında həlledici amil strukturu pyezoelektrik hissəciklərin səthinin təsiri şəraitində formalaşmış polimer keçid təbəqənin kvaziqadağan zonasındaki lokal səviyyələrin polyarlaşma prosesində ionlaşması nəticəsində güclü lokal elektrik sahəsinin yaranmasıdır;
- 3) Polimer–STQ əsaslı kompozitlərin makroskopik pyezoelektrik xarakteristikaları pyezofazanın struktur parametrləri olan seqnetopyezokeramikanın perovskit özəyinin bircins spontan deformasiyası δ , seqnetopyezoelektrik bərk məhlulun kationlarının elektromənfiliyi, reorientasiya polyarlaşması P_r , perovskit özəyin növü (romboedrik (R_e), tetraqonal (T) və heterogen (R_e+T)) ilə bilavasitə təyin olunur:

- 4) Polimer–seqnetopyezokeramika kompozitlərin nanostrukturlaşdırılması nəticəsində pyezomodulun d_{ij} , elektromexaniki əlaqə əmsalının K_{ij} , mexaniki keyfiyyət əmsalının Q_m və Yunq modulunun Y artması kompozitlərin termostimullaşma cərəyan spektri vasitəsilə təyin olunmuş fazalararası qarşılıqlı təsirin yüksəlməsi ilə əlaqədardır;
- 5) Polimer–pirokeramika kompozitlərdə yüksək piroelektrik halının formalaşmasının əsas səbəbi polimer fazanın kvaziqadağan zonasında konsentrasiyası və aktivləşmə enerjisi yüksək olan səviyyələrin yaranması və elektron – domen kvazineytral sisteminin formalaşmasıdır;
- 6) Polimerin makromolekullarının plazma şəraitində oksidləşməsi və polimer zəncirində yüksək polyarlığa malik C–O–C, C=O, OH, NO qrupların yaranması nəticəsində elektrik yük daşıyıcılarının köçürülməsi ehtimalının yüksəlməsi kompozitdə istilik keçiriciliyinin artmasının əsas səbəbidir;
- 7) Komponentləri əvvəlcədən elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində modifikasiya olunmuş kompozitlərdə piro- γ_p və pyezoəmsalların d_{ij} həm kəmiyyət və həm də stabilliyi baxımından yüksək olmasının əsas səbəbi polimer makromolekullarda yüksək aktivləşmə enerjisinə malik oksidləşmə mərkəzlərin yaranmasıdır.

Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı işlərdə nəşr olunmuşdur:

1. Керимов М.К., Курбанов М.А., Агаев Ф.Г., Мусаева С.Н., Керимов Э.А., Кулиева Г.Х. Влияние теплофизических эффектов в композитах полимер-пирокерамика на формирование в них пироэлектричества //AMEA–nın xəbərləri, 2004, t.XXIV, №5, s.126 – 130.
2. Шахтахинский М.Г., Курбанов М.А., Панич А.Е., Алиев Г.Г., Иззатов Б.М., Кулиева Г.Х. О закономерности изменения электрофизических характеристик пьезокомпозитов при электро-термополяризации// Междун. конференция «Физика-2005», Баку, Азерб., 2005, 7-9 июнь, с.521- 522.
3. Керимов М.К., Курбанов М.А., Алиев Г.Г., Иззатов Б.М., Керимов Э.А., Кулиева Г.Х. Электретный эффект в фторуглеродистых

- полимерах, электротермополяризованных в механическом поле// Доклады НАН Азерб., 2004, №3-4, с. 60-67
4. Курбанов М.А., Керимов М.К., Агаев Ф.Г., Керимов Э.А., Мусаева С.Н., Кулиева Г.Х. Об особенности формирования пьезоэлектрического эффекта в композитах полимер-пьезокерамика//Извест. НАН Азерб., сер. физ.-мат. и техн. наук, физ. и астрономия, 2006, т. XXVI, №2 с. 44-50.
 5. Курбанов М.А., Алиев Г.Г., Кулиева Г.Х., Султанакмедова И.С., Гейдаров Г. Электромеханические Характеристики матричных пьезоэлектрических композитов, кристаллизованных в условиях действия плазмы электрического разряда.//Журнал «Электричество», №7, 2009, ст.39-45.
 6. Yakh'ev F.F., Kurbanov M.A., Sultanakhmedova I.S., Tatar dar F.N., Kulieva G.Kh. A Device for the Complex Study of the Modes of Crystallization and Processing of Polymeric Composites under Electric Discharge Plasma and Temperature Effects//Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2010, Vol. 46, No. 2, pp. 160–164.
 7. Mamedov A.I., Kulieva G.Kh., Musaeva S.N., Yusifova U.V., Mehdili A.A., Abasov S.A., Kurbanov M.A. Characteristics of Interfacial Phenomena in Heat Conducting Composites based on Polyolefin–Nitride–Carbide Metals// Azerbaijan journal of Physics Volume XVI, number 2, Series; En, June, 2010.
 8. Musaeva S.N., Yusifova U.V., Kurbanov M.A., Nuriev A.F., Kulieva G.Kh., Yakhyaev F.F., Kerimov E.A., Aliyev G.G. The Structure Of The Polymer Composites Polymeric Phase – Piezoelectric Ceramics And Its Impact On The Charge State Phase Boundary// Azerbaijan journal of Physics, Volume XVI, number 2, Series; En, June, 2010.
 9. Мамедов Г.А., Курбанов М.А., Рамазанова И.С., Мехтили А.А., Алиев Х.С., Алиев Г.Г., Татардар Ф.Н., Оруджев И.Н., Кулиева Г.Х., Худаяров Б.Г. Новая технология иммобилизации наночастиц в полимерной матрице гибридных пьезоэлектрических композитов// Azərbaycan Texniki Universiteti “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi” mövzusunda I Beynəlxalq Konfransın materialları, Bakı-2011, s. 14-19.
 10. Мамедов Г.А., Курбанов М.А., Кулиева Г.Х., Мехтили А.А., Рамазанова И.С., Татардар Ф.Н., Гочуева А.Ф., Яхьяев Ф.Ф., Оруджев И.Н., Юсифова У.В. Диагностирование

наноструктурирования полимерной фазы гибридных композитов применением метода термоактивационной спектроскопии //Azərbaycan Texniki Universiteti “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi” mövzusunda I Beynəlxalq Konfransın materialları, Bakı-2011, s. 34-39.

11. Мамедов Г.А., Курбанов М.А., Мехтили А.А., Мусаева С.Н., Кулиева Г.Х., Яхъяев Ф.Ф., Нуралиев А.Ф., Оруджев И.Н., Юсифова У.В., Худаяров Б.Г. Акустозлектрические и Электроакустические Преобразователи на Основе Нано- и Микрогибридных Пьезоэлектрических Композитов// Azərbaycan Texniki Universiteti “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi” mövzusunda I Beynəlxalq Konfransın materialları. Bakı-2011, 29-33.
12. Gulnara Kulieva, Mirza Kurbanov, Ulviya Yusifova, Azad Bayramov, Ali Mamedov, Farida Tatar dar, Adil Mextili. Heat–conducting Composites Crystallized in Conditions of Action of Plasma of the Discharge//“The 10th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium On Ferroelectricity, RCBJSF–10, Yokohamo, Japan 2010”.
13. Kerimov M.K., Kurbanov M.A., Mekhtili A.A., Aliev G.G., Sultanakhmedova I.S., Yusifova U.V., Kulieva G.Kh., Yakhyaev F.F. Piezoelectric Based on a Hybrid of Piezoelectric Matrix Nano–and Microcomposites// Technical physics, 2011, Vol.56, No.8, pp. 1187-1194.
14. Керимов М.К., Курбанов М.А., Байрамов А.А., Мехтили А.А., Татардар Ф.Н., Кулиева Г.Х., Оруджев И.Н., Рамазанова И.С. Новая технология иммобилизации Наночастиц В Гибридном Пьезоэлектрическом Композите и Диагностирование Наноструктурирования Полимерной Фазы// АМЕА-məruzələri. 2011, cild LXVII, №1, s.63-73.
15. Керимов М.К., Курбанов М.А., Байрамов А.А., Мехтили А.А., Оруджев И.Н., Татардар Ф.Н., Кулиева Г.Х., Рамазанова И.С., Юсифова У.В. Электроакустические преобразователи на основе нано- и микрогибридных пьезоэлектрических композитов//АМЕА-məruzələri. 2011, cild LXVII, №2, s.39-50.
16. Kerimov M.K., Kurbanov M.A., Bayramov A.A., Gulieva G.Ch., Orudjev I.N. Physical-technological peculiarities creating a new class of piezoelectric materials based on the hybrid of matrix nano- and

- micropiezoelectric composites// World Journal of Engineering, v.8, Supplement 1, 2011, P.543-544.
17. Kerimov M.K., Kurbanov M.A., Bayramov A.A., Sultanakhmedova I.S., Kulieva G.Kh., Xudayarov B.H., Azizova K.K., Yusifova U.V. Electrets Composite Materials Based on the Polymer and Ferropiezoelectric with High Reorientation Polarization// “The 11th International Symposium On Ferroic Domains and Micro- to Nanoscopic Structures, 11th Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium On Ferroelectricity, August 20-24, 2012, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia.
 18. Гулиева Г.Х. Теплофизические Эффекты в Композитах Полимер-Нитридах и Карбидах Металлов, Модифицированных Плазмой Электрического Разряда// АМЕА aspirantlarının elmi konfransının materialları, may 2010.
 19. Orujov İ.N., İsparov V.N., Guliyeva G.Kh., Azizova K.K., Sultanahmedova İ.S., Aliev O. A., Yaxayev F.F., Khudayarov B.H. Thermophysical effects in composites polymer-nitrides and carbamides of metals, modified electrical discharge plasma// Abstracts Collection On New Challenges In European Area: International Baku Forum Of Young Scientists Dedicated To The 90-Th Anniversary Of National Leader Heydar Aliyev, Azerbaijan, Baku, 20-25 May 2013, pp 143-146.
 20. Керимов М.К., Курбанов М.А., Байрамов А.А., Татардар Ф.Н., Гулиева Г.Х., Алиев О.А. Влияние Технологии модификации композитов полимер - пьезокерамика на их пироэлектрические свойства// Электронная обработка материалов, 2013, 49(5), 6-14.
 21. Qurbanov M.Ə., Bayramov A.A., Səfərov N.Ə. Nuraliyev A.F., Quliyeva G.X., Qocuyeva A.F. Qrant № EIF – 2010 – 1(1) – 40/04 – 1// Azərb. Resp. Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondu.

Гюльнара Ханлар гызы Гусейнова
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В
КОМПОЗИТАХ ПОЛИМЕР – СЕГНЕТОПЬЕЗОКЕРАМИКА.
РЕЗЮМЕ

В диссертационной работе исследовано влияние электрических, теплофизических эффектов на пьезо- и пирозлектрические свойства композитов полимер–сегнетопьезокерамика. В качестве электрических и теплофизических процессов выбраны те явления, которые имеют место в композитах полимер – сегнетопьезокерамика при электротермополяризации: инжекция электронов, ориентация доменов, формирование квазинейтральной системы инжектированный заряд–ориентированный домен, стабилизация инжектированных зарядов на границе раздела фаз в межфазной полимерной матрице, формирование деориентационной поляризации, взаимосвязь между электронными процессами в одной фазе на аналогические явления в другой фазе, возникновение локального электрического поля, способствующего оптимальной поляризации доменов в пьезофазе и изменения электрофизических параметров, в частности диэлектрической проницаемости.

В качестве теплофизических параметров выбраны тепловая деполяризация доменов, теплофизические эффекты (эффект теплового расширения, изменение теплоемкости, теплопроводности и плотности).

В работе впервые установлено, что образование в переходном слое локальных уровней высокой концентрации и энергии активации является главной причиной формирования высокого пьезоэлектрического и пирозлектрического состояний в композитах. Установлено, что величины микроскопических параметров пьезо- и пирозлектрических композитов непосредственно определяются структурными параметрами пьезофазы.

Наноструктурирование полимерной фазы композитов полимер – сегнетопьезокерамика приводит к заметному увеличению основных пьезоэлектрических параметров. Практическая значимость работы заключается в разработке новой технологии, позволяющей получить пьезо-, пирозлектрические материалы со стабильными по величине пьезо- и пирозлектрическими характеристиками.

Gulnara Khanlar qizi Huseynova

**ELECTRICAL AND THERMAL EFFECTS IN POLYMER -
FERROELECTRIC CERAMICS TYPE COMPOSITES**

ABSTRACT

Impact of the electrical and thermal effects on the piezoelectric and pyroelectric properties of composites polymer-ferroelectric ceramics is investigated. Electrical and thermal processes selected as phenomena that take place in polymer composites-ferroelectric ceramics at electro-thermo-polarization: injection of electrons, the orientation domains, formation of a quasi-neutral system of injected charge-oriented domain, the stabilization of the injected charge at the border of phases in the interface of the polymer matrix, formation of deorientation polarization, interconnection between the processes in a single electronic phase as a response to similar phenomena in another phase, the occurrence of local electric field leading to optimum polarization of the domain at piezophase and electrophysical parameters change, particularly, permittivity.

Thermal depolarization domains, thermal effects (the effect of thermal expansion, change in heat capacity, thermal conductivity and density) are selected as the thermal parameters.

For the first time, it is found that the formation of the transition layer in high local levels of concentration and the activation energy are the main reason for the formation of high piezoelectric and pyroelectric states in composites. Also, it is found that the values of the microscopic parameters of the piezoelectric and pyroelectric composites are directly determined by the structural parameters of the piezophase.

Nanostructuring of the polymer phase of the polymer-ferroelectric ceramics type composites leads to a substantial increase in the general piezoelectric parameters. The practical significance of the work is to develop a new technology that allows them to piezoelectric, pyroelectric materials with stable largest piezoelectric and pyroelectric properties.

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени академика Г. М. Абдуллаева**

На правах рукописи

ГЮЛЬНАРА ХАНЛАР ГЫЗЫ ГУСЕЙНОВА

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В
КОМПОЗИТАХ ПОЛИМЕР – СЕГНЕТОПЬЕЗОКЕРАМИКА.**

2203.01-Электроника

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
доктора философии по физике**

БАКУ – 2015