

*Əlyazması hüququnda*

**FƏRİDƏ NASİR QIZI TATARDAR**

**NANO – VƏ MİKROÖLÇÜLÜ PYEZOKERAMİK FAZALI POLYAR  
VƏ QEYRİ – POLYAR POLİMER KOMPOZİTLƏRİN HİBRİDİ  
ƏSASINDA YENİ PYEZOELEKTRİK MATERİALLAR**

(2203.01-Elektronika)

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün  
təqdim edilmiş dissertasiyanın

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

**Bakı – 2013**

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

**Elmi rəhbərləri:**

Fizika-riyaziyyat elmləri  
doktoru, professor

**M.Ə. Qurbanov**

**Rəsmi opponentlər:**

Fizika-riyaziyyat elmləri  
doktoru, professor

**S.İ. Mehdiyeva**

Fizika-riyaziyyat elmləri  
doktoru, professor

**E.M.Qocayev**

**Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası  
“Radioelektronika” kafedrası**

Dissertasiyanın müdafiəsi « 30 » oktyabr 2013-ci il saat 11<sup>00</sup> -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., 33.

E-mail: [director@physics.ab.az](mailto:director@physics.ab.az)

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

Avtoreferat « 27 » sentyabr 2013-ci ildə göndərilmişdir.

Elmi katib  
Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,  
professor

**D.H. Arashlı**



## İŞİN ÜMUMU XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı.** Seqnetopyezokeramik hissəciklərlə dispersiya olunmuş polyar və qeyri – polyar polimerlər əsasında yaradılmış elektret, piro – və pyezoelektrik kompozitləri hal – hazırda daha geniş öyrənilir. Bu kompozitlərin əsasında müxtəlif təyinatlı enerjitutumlu və kiçikgüclü akustoelektrik və elektroakustik çeviriciləri işlənmişdir. Qeyd edək ki, pyezoelektrik çeviricilərin müxtəlif rejimlərdə və şəraitlərdə istifadə edilməsi onların çatışan və çatışmayan cəhətlərini üzə çıxardır. Məsələn, polimer pyezoelektrik kompozitləri akustik dalğaların qəbulu rejimində yüksək pyezohəssaslığa malik olur, hansı ki,  $g_{ij} = d_{ij} / \epsilon \epsilon_0$  kimi təyin olunur.

Burada  $d_{ij}$  – pyezomodul,  $\epsilon$  - pyezokompozitin dielektrik nüfuzluğu,  $\epsilon_0$  – elektrik sabitidir. Amma pyezoelektrik kompozitləri elastiki dalğaların şüalanması rejimində pyezokeramika elementlərinə nisbətən daha az effektivdir. Buna səbəb elektromexaniki xassələrin (elektromexaniki əlaqə əmsalı  $K_{ij}$ , xüsusi akustik güc  $(d_{ij} Y)^2$ , mexaniki  $Q_m$  və pyezoelektrik

keyfiyyət əmsalı, elektromexaniki faydalı iş əmsalı  $K_{ij}^2 / tg \delta$  və yüksək

mexaniki elastiklik  $S_{11}^2$ ) kiçik olmasıdır. Göstərilən xassələrdən başqa pyezokompozitin çeviricilərinin amplitud – tezlik xarakteristikasının tezlik diapazonu çox da böyük deyil və çıxış siqnalının qiyməti  $f \geq 7$  kHz tezliyində nəzərəcərpacaq dərəcədə azalır. Pyezokompozit elementlərin elastiki dalğaları şüalandıran güclü mənbə kimi istifadə edilməsi böyük əhəmiyyət kəsb edir, belə ki, onlar sualtı obyektlərin aşkar edilməsi üçün istifadə olunan pyezokeramiki akustik antenalara alternativ olan geniş tezlik diapazonuna malik antenaların yaradılmasına imkan verir. Amma pyezokompozit elementin elektromexaniki parametrlərinin nisbətən kiçik olması onlar əsasında qurulmuş akustik antenaların şüalanma rejimində effektivliyinin azalmasına səbəb olur. Polimer materiallar üçün mövcud olan fundamental anlayışlar göstərir ki, matrisa tipli kompozitlərin fiziki – mexaniki və elektromexaniki xassələri bilavasitə fazalararası qarşılıqlı təsirdən, molekulyarüstü quruluşdan və polimerin makromolekullarının yüüklüyündən asılıdır. Ona görə də göstərilən faktorların variasiyası ilə kompozitlərin pyezoelektrik və elektromexaniki xassələrini məqsəduyğun tənzim etmək və onların daha enerjitutumlu akustik dalğaların generatoru kimi istifadə edilməsini təmin etmək olar. Polimer – seqnetopyezokeramika

kompozitlərinin nəzəri və eksperimental nəticələrinin analizi göstərir ki, alınma texnologiyasından asılı olmayaraq onların elektromexaniki, mexaniki və dielektrik xassələrinin kiçik olmasının əsas səbəbi kompozit pyzeoelementin səthəyaxın hissəsinin polimerlə zəngin olmasıdır. Fərz etmək olar ki, nanotexnologiyanın nəaliyyətləri həm enerjitutumlu və həm də kiçikgüclü pyzeoelektrik çevricilərin yaradılmasına imkan verəcəkdir, əgər kompozit pyzeoelementin səthəyaxın polimerlə zəngin həcmnin nanostrukturlaşdırılmasına nail olsaq. Bu halda da pyzeoelektrik nanokompozitlərin əsas komponenti müxtəlif stuktura malik nanoölçülü pyzeoelektrik hissəcikləri olmalıdır. Amma hal – hazırda sirkonium– titan – qurğuşun (STQ) ailəsinə mənsub çoxkomponentli pyzokeramik materiallardan daha effektiv nanoölçülü hissəciklərin alınması imkanları ilə bağlı tutarlı nəticələr mövcud deyil. Ədəbiyyatdan məlumdur ki, sirkonium – titan – qurğuşun ailəsinə mənsub pyzokeramik materialları stabil quruluşa malikdir və bu gün onların əsasında çeviricilərin, xüsusi ilə də qəbuledici – ötürücü akustik antenaların və müxtəlif sensorların alınması daha effektivdir. Burdaca qeyd etmək ki, nanofazalı kompozitlər ənənəvi mikroölçülü aktiv fazaya malik materiallardan kəskin fərqlidir. Bu anlayış bizi iki kompozitin – mikroölçülü və nanoölçülü pyzokeramik fazaya malik kompozitlərin – hibridinin yaradılmasına sövq edir. Nanomaterialşünaslıqda hal – hazırda geniş inkişaf etmiş və gələcəkdə də böyük perspektivliyə ümid verən iki istiqamət mövcuddür: aktiv nanokompozitlər və passiv nanokompozitlər. Passiv nanokompozitlər əsas etibarını ilə konstruksiya və izolyasiya materialları olaraq yüksək fiziki – mexaniki, istilikfiziki və elektrofiziki xassələrə malik olmalıdırlar. Aktiv nanokompozitlər isə elektron texnikası üçün funksional materiallar olaraq son nəticədə müxtəlif sensorların yaradılmasını təmin etməlidir. İşimizdə bu iki mühüm xassələri və nano – mikroölçülü pyzeoelektrik fazaları özündə birləşdirən yeni nəsil pyzeoelektrik kompozitlərin yaradılması əsas məqsəd kimi durur. Belə bir fiziki və texnoloji strukturun yaradılması pyzeoelektrik, fiziki – mexaniki və elektromexaniki xassələrini təyin edən iki tip kompozitin hibridinin işlənməsini tələb edir.

İşimizdə ilk dəfə yeni sinif pyzeoelektrik kompozitlərin alınma texnologiyası təklif edilmişdir, hansı ki, bu texnologiyanın əsasında nano – və mikroölçülü pyzeoelektrik fazalara malik matrisa tipli kompozitlərin xassələrini özündə birləşdirən vahid matrisalı hibrid sistemlərin yaradılması durur. Təklif olunan vahid matrisalı hibrid pyzeoelektrik materialında həm

kiçikgüclü və həm də enerjitutumlu çeviricilərin yaradılmasına imkan verən fazalar mövcuddur. Yalnız nanoölçülü komponentə malik kompozitlər əsasında enerjitutumlu akustik – elastik dalğalar generatorunun yaradılmasını hələ təsəvvür etmək çətindir. İşimizdə nanotexnologiyanın istifadə edilməsi ilə hibrid pyezoelektrik kompozitləri işlənmişdir, hansı ki, bu kompozitlər özündə müxtəlif struktur (tetroqanal və romboedrik) və xassələrə (yüksək Kuri temperaturu, pyezomodul, böyük elektromexaniki əlaqə əmsalı və elektromexaniki xüsusiyyətləri) malik seqnetopyezokeramik materialların müsbət xüsusiyyətlərini birləşdirir. Hibrid nano – və mikrokompozitlərin işlənməsi aşağıdakı prinsiplərə əsaslanır:

- polimer fazanın nano – və mikrohissəciklərlə bilavasitə kontaktda olan hissəsinin və kontaktda olmayan həcmənin ərimə və həllolma temperaturunun müxtəlifliyi;
- hibrid kompozitin (nano – və mikroölçülü pyezofazalı) polimer matrisasının strukturunun heterogenliyinin, yalnız mikroölçülü pyezohissəciyin təsiri şəraitində formalaşmış polimerin strukturunun heterogenliyindən və ilkin polimerin anoloji xarakteristikasından kəskin fərqliliyi.

Müxtəlif strukturlu polimerlərdən və pyezokeramik mikro -, nanohissəciklərdən ibarət kompozitlərin hibridinin yaradılmasının mümkünlüyü yeni nəsil pyezoelektrik materialların işlənməsini aktual problemə çevirir.

**İşin məqsədi.** İşin məqsədi polyar və qeyri – polyar polimer matrisalı nano – və mikroölçülü pyezoelektrik kompozitlərin hibridi əsasında yeni pyezoelektrik materialların yaradılmasıdır. Göstərilən məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həllinə baxılmışdır:

- polimer- mikroölçülü pyezoelektrik fazaya malik kompozitin polimerlə zəngin səthəyaxın həcmənin elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində aşınmasının texnologiyasının işlənməsi və kompozit pyezoelektrik altlığın yaradılması;
- kompozit pyezoelektrik altlığının seqnetopyezokeramik fazasının strukturunun (romboedrik  $R_e$ , tetroqanal T, qarışıq  $R_e+T$ ) və kristalkimyəvi parametrlərinin onun xassələrinə təsirinin müəyyən edilməsi;
- kompozit pyezoelektrik altlığının polimer fazasının fiziki və kimyəvi strukturlarının onun xassələrinə təsirinin tədqiqi;

- polyar və qeyri – polyar polimerlərin elektrik qaz boşalması plazmasının, temperaturun və üzvü həlledicinin təsirləri şəraitində həllinin texnologiyasının işlənməsi;
- polimer makromolekullarının nanokompozitlərdə ultradispers halının stabilizatoru kimi istifadə edilməsinin texnologiyasının işlənməsi;
- nanohissəciklərin ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ) aşağı sıxlıqlı PE və PVDF – də disperqasiyanın texnologiyasının işlənməsi;
- elektrik qaz boşalmasının və temperaturun birgə təsiri şəraitində nanostrukturlaşdırılmış polimer məhlulunun mikroölçülü pyezofazalı kompozit altlığın üzərinə çökdürülməsi texnologiyasının işlənməsi;
- mikro- və nanostrukturlaşdırılmış polimer fazada oksigen mənşəli yüksək aktivasiya enerjisinə malik lokal mərkəzlərin yaradılmasının texnologiyası;
- polimer – mikroölçülü pyezoelektrik fazalı və polimer – nanoölçülü  $\text{SiO}_2$  və ya  $\text{BaTiO}_3$  fazalı kompozitlərin hibridi əsasında yüksək elektromexaniki xassələrə malik materialların alınmasının fiziki və texnoloji xüsusiyyətlərinin tədqiqi;
- nano – və mikroölçülü pyezofazalı hibrid kompozitlərdə oksigen mənşəli aktiv mərkəzlərin yaradılması üçün xüsusi özəklərin konstruksiyasının hesabı və seçilməsi;
- polimer – mikroölçülü pyezoelektrik fazaya malik kompozitin üzərinə polimer- nanoölçülü fazaya malik kompozitin çökdürülməsinə imkan verən özəyin hesabı və seçilməsi;
- polimer – mikroölçülü pyezofazaya malik kompozitlərin, nano – mikrostrukturlaşdırılmış hibrid kompozitlərin termostimullaşdırılmış depolyarizasiya cərəyan spektrinin alınması və hesablanması;
- hibrid kompozitlərin üzvü və qeyri – üzvü fazalarının seçilməsinin əsaslandırılması.

**Tətqiqat obyektləri və üsulları.** Tətqiqat obyektləri üzvü və qeyri – üzvü nano - və mikroölçülü polimer kompozitlərin hibridi əsasında yaradılmış yeni nəsil pyezoelektrik materiallarıdır. Qeyri – üzvü nanofaza kimi ölçüləri 70 – 100 nm olan  $\text{SiO}_2$  və  $\text{BaTiO}_3$  seçilmişdir. Mikroölçülü pyezokeramik faza kimi  $\text{Pb}(\text{TiZr})\text{O}_3$  ailəsinə mənsub çoxkomponentli və müxtəlif strukturlu ( $R_e$ , T,  $R_e+T$ ) PKR tipli pyezoelektrik materialları istifadə olunmuşdur. Hibrid kompozitlərin üzvü fazası kimi polyar və qeyri – polyar polimerlər götürülmüşdür: poliolefinlər (ASPE, YSPE, PP) və polivinildenftorid (PVDF).

Tədqiqat üsulları kimi İQ spektroskopiya, termodepolarizasiya analizi, rezonans – antirezonans metodu, temperatur – zaman və təzyiq – zaman kristallaşması və baryer tipli elektrik qaz boşalması texnologiyası istifadə edilmişdir. Hibrid kompozitlərin əsasında yaradılmış pyzeoelementlərin akustik dalğaların qəbulu və generasiyası rejimlərində çıxış siqnalının tezlik xarakteristikaları öyrənilmişdir.

**Elmi yeniliklər.** Dissertasiyada ilk dəfə:

1. Nano – və mikroölçülü pyezokeramik fazalı polimer kompozitlərin hibridi əsasında yeni nəsil pyzeoelektriklərin yaradılmasının fiziki və texnoloji xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir.
2. Elektrik qaz boşalması plazması üsulu ilə mikroölçülü seqnetopyezokeramik fazalı kompozit pyzeoelektrik altlığın alınması texnologiyası işlənmişdir.
3. Matrisa kimi götürdüyümüz polimerlərin məhlulunun nanostrukturlaşdırılması texnologiyası verilmişdir.
4. Polimer matrisanın makromolekullarının ultradispers halının stabilizatoru kimi istifadə edilməsinin texnologiyası işlənmişdir.
5. Nanostrukturlaşdırılmış polimer məhlulunun elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində çökdürülməsi texnologiyası verilmişdir.
6. İnfraqırmızı spektroskopiya (İQ) metodu ilə pyzeoelektrik altlığının formalaşması diqnozlaşdırılmışdır.
7. Kompozit pyzeoelektrik altlığından və onun üzərinə çökdürülmüş nanostrukturlaşdırılmış polimer fazasından ibarət hibrid kompozitin elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallaşdırılması texnologiyası işlənmişdir.
8. Termostimullaşdırılmış depolyarizasiya cərəyan spektrindən istifadə edərək nano – və mikroölçülü polimer kompozitlərin hibridinin yaradılmasının rejimləri optimallaşdırılmışdır.
9. Hibrid kompozitlər əsasında polimer – mikroölçülü pyezokeramik fazalı kompozitlərə nəzərən amplitudu və tezlik intervalı geniş olan akustoelektrik və elektroakustik çeviricilər yaradılmışdır.

**İşin praktiki əhəmiyyəti.**

1. İlk dəfə nano – və mikroölçülü pyezokeramik fazalı polimer kompozitlərin hibridi əsasında yüksək elektromexaniki və pyzeoelektrik xassələrə malik yeni nəsil pyzeoelektriklər yaradılmışdır (“Hybrid piezoelectric composites with high

electromechanical characteristics” . US Patent No.8,030,829 B1, 2011).

2. Təklif olunan nano – və mikroölçülü pyezokeramik fazalı polimer kompozitlərin hibridindən alınmış pyezoelektrik materialların əsasında akustik dalğaların qəbulu və generasiyası rejimində işləyən yüksək çıxış parametrlərinə və geniş tezlik diapazonuna malik akustoelektrik və elektroakustik çeviricilər yaradılmışdır.
3. Hibrid pyezoelektrik materialların əsas fazası olan kompozit pyezoelektrik altlığın yaradılmasının plazma üsulu texnologiyasının yaradılması.
4. Makromolekulların polimer məhlulunda nanohissəciklərin immobilizatoru və ya da ultradispers halının stabilizatoru kimi istifadə olunmasının texnologiyası.
5. Hibrid pyezoelektrik materialların pyezoaltlığın pyezofazasının pyezoelektrik, kristalkimyəvi (elektromənfilik), struktur (reorientasiya poyarizasiyası , domenlərin ölçüsü) parametrləri ilə onların makroskopik xarakteristikaları arasında əlaqəsinin müəyyən edilməsi.
6. Nanostrukturlaşdırılmış polimer məhlulunun elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kompozit pyezoaltlığın üzərinə çökdürülməsi texnologiyasının işlənməsi.
7. Hibrid kompozitin əsas fazaları olan kompozit pyezoaltlığın və nanölçülü komponentli kompozitin yaradılması üçün eksperimental özəyin işlənməsi.

#### **Müdafiyə çıxarılan əsas müddəalar.**

1. Polimer matrisalı nano – və mikroölçülü pyezoelektrik kompozitlərin hibridi əsasında yüksək pyezoelektrik və elektromexaniki xassələrə malik yeni nəsil materialların yaradılmasının fiziki və texnoloji xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi.
2. Nanostrukturlaşdırılmış polimer məhlulda nanohissəciklərin immobilizasiyasının, yəni ultradispers halının makromelekullarla stabilləşdirilmiş texnologiyasının fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi.
3. Nanostrukturlaşdırılmış polimer məhlulunun elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kompozit pyezoelektrik altlığın üzərinə çökdürülməsinin texnologiyasının işlənməsi.



4. Hibrid nanokompozitin əsas fazası olan kompozit pyezoelektrik altlığın pyezoelektrik və elektromexaniki parametrlərinin, strukturunun, kationların elektromənfilliyinin və domenlərin ölçülərinin hibrid kompozitin pyezoelektrik xassələrinə təsirinin müəyyən edilməsi.
5. Polimer matrisalı nano – və mikroölçülü pyezokeramik fazaya malik olan kompozitlərin nanostrukturlaşdırılmasının termostimullaşdırılmış depolyarizasiya cərəyan spektrləri vasitəsi ilə proqnozlaşdırılmasının əsaslandırılması.
6. Hibrid kompozitlərin elektrofiziki, pyezoelektrik, elektromexaniki parametrlərini artırmaq üçün onların əvvəlcədən elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallaşdırılmasının vacibliyi və onun mümkün mexanizmləri.
7. Hibrid kompozitlərin polimer pyezoelektrik altlığının elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində modifikasiyasının İQ spektroskopiyaya metodu ilə proqnozlaşdırılmasının əsaslandırılması.
8. Çıxış siqnalının amplitudu yüksək, amplitud – tezlik intervalı geniş olan hibrid kompozitlər əsasında akustoelektrik və elektroakustik çeviricilərin yaradılmasının əsas xüsusiyyətləri.

**Tədqiqatın nəticələrinin aprobasiyası.** İşin əsas nəticələri Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutunun 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/; “International conference Electroceramics XII” /Trondheim, Norway, 2010/; “International conference 7th Asian Meeting on Ferroelectricity and 7th Asian Meeting on ElectroCeramincs” /Korea, 2010/; Congress and Exhibition on Advanced Materials and Processes “Materials Science and Engineering” / Darmstadt, Germany, 24-26 August 2010/; “The 10<sup>th</sup> Russia/CIS/Baltic/Japan Symposium on Ferroelectricity, RCBJSF – 10” /Yokohamo, Japan 2010/; “11<sup>th</sup> 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 16 elmi iş, o cümlədən 13 məqalə, 2 tezis nəşr olunmuş və 1 Amerika patenti alınmışdır.

**Dissertasiya işinin strukturu və həcmi.** Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, nəticələr və istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 232 səhifədən ibarətdir, o cümlədən: mətn 166 səhifə, 47 şəkil (43 səhifə), 13 (5 səhifə) cədvəl və 227 adda istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısı (25 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 nanostrukturulu kompozitlərin yaradılmasının xüsusiyyətləri verilmişdir. Nanostrukturlaşmada istifadə olunan ultradispers hissəciklərinin kimyəvi strukturundan asılı olaraq xassələrinin müxtəlifliyi, mobilizasiya aktivliyi, makromolekula ilə qarşılıqlı təsir spektrlərinin genişliyi polimer matrisalı nanokompozitlərin işlənməsində xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Nanostrukturlaşdırılma ilə polimer kompozitlərin fiziki, elektrofiziki, istilik – fiziki və mexaniki xassələrinin məqsədəuyğun variasiyasının çoxlu metodikaları mövcuddur. Bütün təklif olunan metodikaların əsasında polimer matrisanın bircins nanostrukturlaşması, nanohissəciklərlə polimer fazanın kontakt sərhəddində mövcud ola biləcək fiziki, kimyəvi və elektron prosesləri alınan nanokompozitin bu və ya digər xassələrinin məqsədəuyğun tənziminə istiqamətlənməlidir. Hal – hazırda bir neçə növ nanokompozitlər mövcuddur: matrisası müxtəlif (polimer, keramika, yarımqeçirici) olan nanokompozitlər; nanoölçülü fazanın (metallik, yarımqeçirici, pyezokeramika) müxtəlifliyi ilə seçilən nanokompozitlər. Hər nanokompozit texnikanın, elektronikanın, mexanikanın və mikroelektronikanın müəyyən məsələlərinin həllinə yönəlmişdir. Belə məsələlərdən biri də yüksək mexaniki, elektromexaniki və pyezoelektrik xassələrə malik kompozitlərin yaradılmasıdır. İlk eksperimental nəticələrin analizi göstərir ki, qeyd etdiyimiz məsələnin həlli üçün polimer matrisalı nano – və mikroölçülü pyezoelektrik fazaya malik kompozitlərin hibridinin fiziki – texnoloji xüsusiyyətlərinin işlənməsi pyezoelektrik materialşünaslıqda perspektivli istiqamətdir. Hibrid kompozitlərin texnologiyasının əsas mahiyyəti mikroölçülü pyezoelektrik fazalı polimer

kompozit altlığının işlənməsi və onun üzərinə nanostrukturlaşdırılmış polimer məhlulunun çökdürülməsidir.

İşimizdə matrisa kimi müxtəlif strukturlu və polyar, qeyri – polyar polimerlər istifadə etdiyimiz üçün əsas diqqət makromolekulların ultradispers halının stabilizatorları kimi istifadə edilməsinə yönəlmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, stabilizatorların olmadığı şəraitdə nanoölçülü hissəciklər qeyri – stabildir və aqreqativliyə çox meyillidir. Ona görə də nanoölçülü hissəciklərin kimyəvi aktivliyinin məqsədəuyğun idarə olunmasının yeni metodlarının işlənməsi mühüm məsələdir. Nanoölçülü hissəciklərin nanokompozitdə stabilizasiyası prosesində aşağıdakı faktorları nəzərə almaq lazımdır:

- 1) nanoölçülü hissəciklərin ekranlaşdırılmasında polimer fazanın rolu haqqındakı məlumatlar çox bəsitdir və polimer izoləedici qatın formalaşma mərhələlərinin mexanizmlərinin öyrənilməsi ilkin səviyyədədir; onun mexanizmi çox mürəkkəbdir və özündə polimerlə nanoölçülü hissəciklər arasında qarşılıqlı təsirə aid bir çox fundamental problemləri birləşdirir;
- 2) polimer mühütdə və ya da məhlulda, daha dəqiq, makromolekula zəncirində nanohissəciklərin diskret paylanmasını təmin edən amillərdən biri olan stabilləşmə mərkəzlərinin yaradılması və hissəciklərin mobilizasiya reaksiyasının sürətini azaltmaq;
- 3) makromolekula zəncirində nanohissəciklərin immobilizasiyasını təmin edən funksional qrupların yaradılması;
- 4) fazalararası sərhəddin formalaşması və onun strukturunun variasiyası;
- 5) polimer fazanın makromolekullarının təbiəti, zəncirinin uzunluğu, onun konformasiyası, sopolimerlərin tərkibi ilə bilavasitə bağlı olan sferik qarşılıqlı təsirlərin variasiyası;
- 6) polimer fazanın hidrofobluğunun və hidrofiliyinin nanohissəciklərin mobilizasiya prosesinə təsirinin məqsədəuyğun nizamlandırılması;
- 7) hidrofob və hidrofil fraqmentlərə malik makromolekulların ultradispers hissəciklərin stabilizatoru kimi baxıla bilinməsinin mümkünlüyünün təyin edilməsi və onun proqnozu.

**İkinci fəsil**də pyzoelektrik hibrid kompozitlərin alınma texnologiyası, pyezo – və nanokompozitlərin komponentlərinin seçilməsi, hibrid kompozitlərin termoaktivasiya depolyarizasiya cərəyan spektri və İQ spektroskopiyaya metodları ilə öyrənilməsi, elektrik qaz boşalmalarının

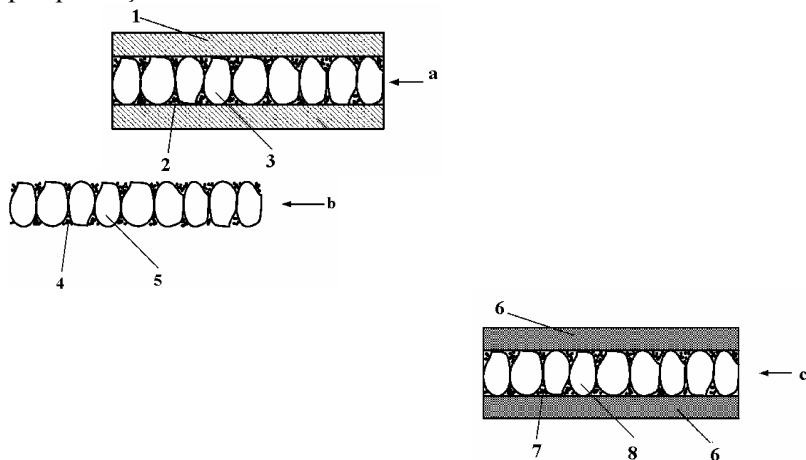
növünün seçilməsi, hibrid kompozitin polimer matrisasının elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallaşmasının, reorientasiya polarizasiyasının ölçmə metodları və elektrotermopolyarlaşması metodları verilmişdir. Kompozitlərin bəzi piezoelektrik, mexaniki və elektromexaniki xassələri rezonans və antirezonans metodu ilə tədqiq edilmişdir. Tədqiqat obyektini kimi istifadə olunan hibrid kompozitlərin ayrı – ayrı komponentləri seçilmişdir: piezoelektrik keramika kimi PKR – 7M, PKR – 3M, PKR – 8 və PKR – 57 istifadə edilmişdir. Nanoölçülü hissəciklər kimi SiO<sub>2</sub> və BaTiO<sub>3</sub> istifadə edilmişdir. Polimer matrisa kimi PE, PP və PVDF istifadə edilmişdir.

**Üçüncü fəsildə** polimer matrisalı nano – və mikroölçülü piezokeramik fazalara malik kompozitlərin hibridi əsasında yeni nəsil piezoelektrik materialların yaradılmasının fiziki və texnoloji xüsusiyyətləri verilmişdir. Komponentlərin seçimindən sonra mikro- və nanoölçülü piezofazalara malik kompozitlərin hibridi əsasında yeni piezoelektrik materialların alınması üçün təklif edilmiş texnologiyalar və proqnoz metodları əsaslandırılmışdır:

1. Kompozitin polimerlə zəngin səthəyaxın həcmnin elektrik qaz boşalması plazması vasitəsi ilə aşınması texnologiyası.
2. Polimer – mikroölçülü piezokeramik fazaya malik kompozit piezoaltlığın yaradılması texnologiyası.
3. Matrisa kimi götürdüyümüz polimerlərin məhlulunun nanostrukturlaşdırılması texnologiyası.
4. Polimer matrisanın makromolekullarının ultradispers halının stabilizatoru kimi istifadə edilməsinin texnologiyası.
5. Nanostrukturlaşdırılmış polimer məhlulunun elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində çökdürülməsi texnologiyası.
6. Kompozit piezoelektrik altlığından və onun üzərinə çökdürülmüş nanostrukturlaşdırılmış polimer fazasından ibarət hibrid kompozitin elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallizasiyası.
7. Hibrid kompozitlərin nanostrukturlaşmasının diaqnozlaşdırması üsullarının seçilməsi və əsaslandırılması texnologiyası.

Yuxarıda göstərdiyimiz texnologiyaların mahiyyətini aydınlaşdırmaq . Əvvəlcə mikro – və nanoölçülü piezoelektrik fazaya malik hibrid kompozitlərin yaradılmasının mühüm mərhələsi olan kompozit piezoelektrik altlığın alınmasına baxaq. Şəkil 1 – də mikroölçülü piezoelektrik fazaya malik kompozitin quruluş modeli verilmişdir. Bildiyimiz kimi alınma texnologiyasından asılı olmayaraq həmişə piezoelementin səthəyaxın həcmi

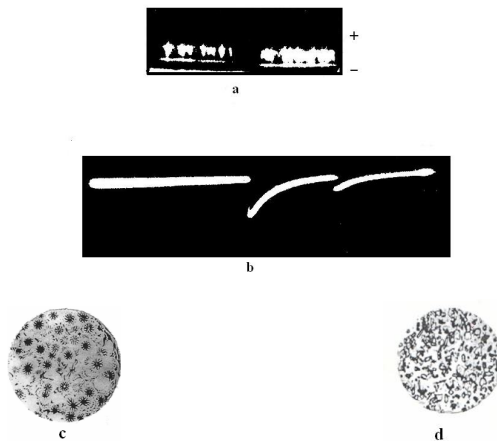
polimerlə zəngindir. Şəkildə bu faza 3 kimi göstərilmişdir. Bu faza alınmış pyzeoelementin elektrofiziki, fiziki – mexaniki və pyzeoelektrik parametrlərinin kiçik olmasına səbəb olur. Bu məqsədlə biz həmin səthə yaxın həcmi aşınması üçün baryer tipli elektrik qaz boşalması plazmasından istifadə etmişik. Şəkil 2 – də kompozit pyzeoelektrik altlığın yaradılması üçün istifadə etdiyimiz elektrik qaz boşalması plazmasının seçimi və rolu verilmişdir. Optik mənzərədən görünür ki, plazma kanalları diskretdir. Onlar kompozitin müxtəlif yerlərində yaranır və onu bircins olaraq aşındırır. Elektrik qaz boşalması plazması xüsusi dielektrik özəkdə yaradılmışdır (şəkil 3). Göründüyü kimi özəkdə hava aralığı dielektriklə və mikroölçülü pyezofazaya malik kompozitlə əhatə edilmişdir. Bu texnologiyanın əsas mərhələsi kompozit pyzeoelektrik altlığın aşınmasının proqnozlaşdırılmasıdır.



**Şəkil 1.** ASPE - nanohissəcik SiO<sub>2</sub>—pyezokeramika PKR-7M nano-və mikropyezokompozitin hibridinin formalaşmasının struktur sxemi. a) ASPE-PKR-7M mikropyzeoelektrik kompoziti. b) polimerin səthə yaxın qatının həll olmuş halda olan mikropyzeoelektrik kompoziti. c) ASPE-SiO<sub>2</sub>-PKR-7M hibrid nano- və mikropyezokompoziti. 1-səthə yaxın polimer oblastı; 2-fazalararası polimer qatı; 3-pyezohissəcik; 4-üst polimer qatının olmadığı halda fazalararası təbəqə; 5-pyezokompozit struktur (altlıq) (b, 5); 6-nanostrukturlaşmış səthə yaxın polimer qatı; 7-nanohissəcik SiO<sub>2</sub>; 8 - nano- və pyezohibrid kompoziti (c, 8).

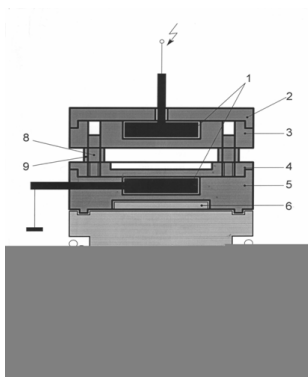
Bu məqsədlə İQ spektroskopiyaya və TSD spektrləri metodlarından istifadə edilmişdir. İQ metodu ilə müəyyən edilmişdir ki, baryer tipli elektrik qaz boşalmasının təsiri şəraitində matrisa kimi götürdüyümüz PE – də aldeqidlər, ketonlar, ketoefirlər, turşular yaranır. Şəkil 4 – də PE – nin İQ spektrində yaranan OH, C=O, C – O – C , CH<sub>2</sub> qruplarının aşınma zamanından asılılığı verilmişdir. Şəkildən görünür ki, bu qrupların optik sıxlığı əvvəlcə artır, sonra isə stabilləşirlər. Eroziyanı ifadə edən CH<sub>2</sub> qrupun azalması əvvəlcə kəskin olur, sonra isə stabilləşir. Stabilləşmə bizə göstərir ki, aşınma prosesi optimal səviyyəyə çatmışdır və kompozit pyezoaltlığın plazma ilə işlənilməsi başa çatmalıdır.

İşdə elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində polimer məhlulun nanostrukturlaşdırılması və onun kompozit pyezoaltlığın üzərinə çökdürülməsi texnologiyası verilmişdir. Bu mərhələ özündə iki prosesi birləşdirir: intensivliyi və gücü yüksək olan plazma kanallarının təsiri şəraitində nanohissəciklərin polimer məhlulda bircins paylanmasını təmin etmək və polimer matrisanı ultradispers halının stabilizatoru kimi istifadə etmək.

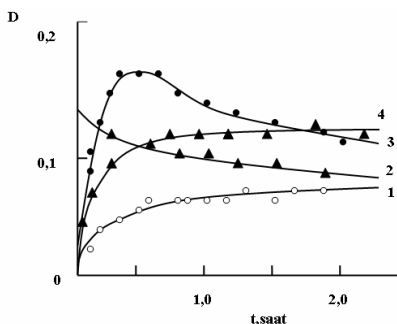


**Şəkil 2.** Sınaq özəyin metal – dielektrik – qaz – pyezoelektrik altlıq – dielektrik – metal strukturunda yüksək gərginliyin təsiri altında yaranan elektrik qaz boşalmalarının optik (3.1,a), elektrik (3.1, b), plazma kanalı ilə pyezoelektrik altlığın kontakt sahəsinin elektroqrafik (3.1, c) və pyezoelektrik altlığın səthində kristalliklərin mikroskopik mənzərəsi (3.1, d).

Ən maraqlı mərhələ polimer makromolekulların yürüklüyü yüksək olan seqmentlərə bölünməsinə və bu seqmentlərin nanohissəciklərin immobilizasiyası üçün istifadə edilməsidir.



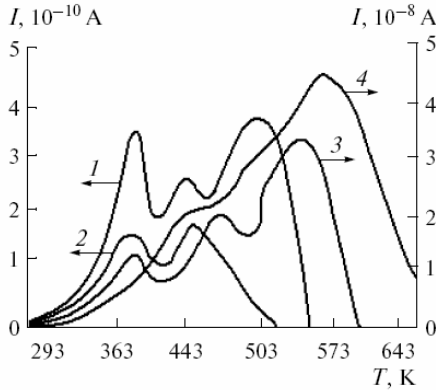
**Şəkil 3.** Polimer məhlulunun nanostrukturlaşdırılması üçün təklif olunan özək. Özək metal – dielektrik – qaz – polimer məhlulu – pyzoelektrik altlıq - metal struktura malikdir. 1 – elektrodlar, 2 – dielektrik şayba, 3 – dielektrik anod, 4 – dielektrik katod, 5 – izolyator, 6 – metallik silindir, 7 – qızdırıcı element, 8 – yönəldici, 9 – dielektrik məsafə məhdudlaşdırıcısı. ;  $E_p = 3,6$  MV/m;  $T_p = 383$  K;  $t_p = 0,5$  h.



**Şəkil 4.** PE – nin IQ spektrindəki zolaqların optik sıxlığının aşınma müddətindən asılılığı. 1 – 3200 sm<sup>-1</sup> -OH; 2 – 4327 sm<sup>-1</sup> – CH<sub>2</sub>; 3 – 1700 sm<sup>-1</sup> - C=O; 4 – 1278 sm<sup>-1</sup> - C – O – C qrupları. Elektrik qaz boşalmasının

yaratdığı dielektriklərlə əhatə olunmuş hava aralığının qalınlığı  $d=4\text{mm}$ , plazmaya tətbiq olunmuş gərginlik  $U=20\text{ kV}$ .

Makromolekulların seqmentlərə bölünməsi, yəni aktiv radikalların alınması elektrik qaz boşalması plazma kanallarında yüksək enerjiyə malik elektronların və ionların, ionlaşdırıcı şüaların, akustik dalğaların təsiri nəticəsində yaranır. Polimer matrisanın nanostrukturlaşdırılmasının diaqnozu üçün termostimullaşdırılmış depolyarizasiya cərəyan spektrlərindən istifadə olunur (şəkil 5). TSD spektrindən çox asanlıqla təyin etmək olar ki, nanostrukturlaşdırılmış fazaya malik hibrid kompozitlərin TSD spektri nanostrukturlaşdırılmamış fazaya malik kompozitlərin uyğun spektrindən tamamilə fərqlidir. TSD spektrində 2 max – un yerində geniş yarıməna malik 1 max yaranır. Maksimumların formalaşma temperaturu yüksək temperatur istiqamətinə nəzərəcarpacaq dərəcədə sürüşür. Maksimumların yüksək temperatur istiqamətinə sürüşməsinin əsas səbəbi polimer makromolekulların nanohissəciklər tərəfindən istilik rəqsi hərəkətinin məhdudlaşdırılması ilə izah olunur. Hibrid kompozitlərin alınmasının sonuncu mərhələsi nanostrukturlaşdırılmış polimer məhlulunun kompozit altlığın üzərinə çökdürülməsidir.



**Şəkil 7.** PVDF və onun əsasında alınmış mikroölçülü və nanölçülü fazaya malik kompozitlərin termostimullaşdırılmış depolyarizasiya cərəyan spektrləri. 1-PVDF; 2-PVDF+50%PZT-5A; 3-PVDF+0,1% həc m BaTiO<sub>3</sub>+49,9% həc m PZT-5A;  $W=26,3 \cdot 10^{-6}\text{J}$ ; 4- PVDF+1% həc m BaTiO<sub>3</sub>+49% həc m PZT-5A;  $W= 335 \cdot 10^{-6}\text{J}$ ; Polyarizasiya şəraiti: Polyarizasiya



elektrik sahəsi  $E_p=3 \cdot 10^6$  V/m, polyarizasiya temperaturu  $T_p=413$ K və polyarizasiya müddəti  $t_p=0,5$  h.

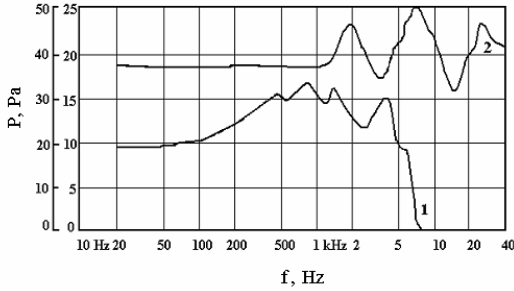
**Dördüncü fəsilə** polimer matrisalı və nano -, mikroölçülü pyezokeramik fazaya malik kompozitlərin hibridi əsasında yeni nəsil müxtəlif pyezoelektrik materialların əsas parametrləri verilmişdir (cədvəl 1).

**Cədvəl 1**

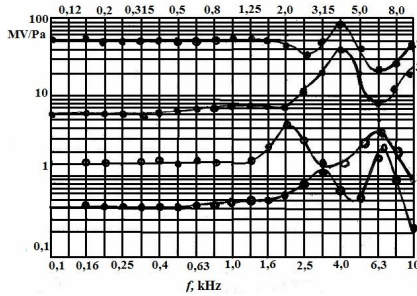
ASPE–50% həcm PKR-7M və ASPE – 0,4 həcm SiO<sub>2</sub> – 49,6% həcm PKR – 7M kompozitlərinin pyezoelektrik, mexaniki, elektrofiziki və elektromexaniki parametrləri.

Parametrlər	Pyezokompozitlər	
	ASPE–50% həcm PKR– 7M	ASPE–0,4 həcm SiO <sub>2</sub> -49,6% həcm. PKR–7M
$\epsilon_{33}/\epsilon_0$	100	140
$K_{31}$	0,15	0,22
$K_{33}$	0,25	0,38
$d_{31} \cdot 10^{12}, K/N$	50	80
$d_{33} \cdot 10^{12}, K/N$	89	150
$Q_m$	16	96
$Y \cdot 10^{-10}, Pa$	1,6	8,6
$tg\delta \cdot 10^2;$ $E=5 \cdot 10^3$ V/m	0,145	0,06

İşlənmiş yeni nəsil hibrid tipli pyezoelektriklərin üzərində yaradılmış çeviricilərin akustik dalğaların qəbulu və generasiyası rejimində uyğun olaraq amplitud – tezlik (MV/Pa) və akustik çıxış parametrlərinin tezlikdən asılılığı verilmişdir (şəkil 6 və şəkil 7).



**Şəkil 6.** YSPE – 0,4 həcm  $\text{SiO}_2$  – 49,6 həcm PKR-7M hybrid kompozitinin əsasında yaradılmış akustoelektrik çeviricinin paskallarla çıxış siqnalının tezlik asılılığı verilmişdir. 1 – YSPE – 50% həcm PKR-7M mikrokompozitinin  $P = f(f)$  asılılığı (şkala1); 2 – YSPE – 0,4 həcm  $\text{SiO}_2$  – PKR-7M hybrid kompozitinin  $P = f(f)$  asılılığı (şkala 2). YSPE – 50% həcm PKR-7M mikrokompoziti üçün  $U_1 = 25\text{V}$ , YSPE – 0,4% həcm  $\text{SiO}_2$  – 49,6 PKR-7M hibrid kompoziti üçün  $U_2 = 5\text{V}$ . Polyarizasiya şərtləri:  $E_p = 4,5\text{ MV/m}$ ,  $T_p = 393\text{K}$ ,  $t_p = 0,5$  saat.



**Şəkil 7.** Hibrid pyezoelektrik materialların amplitud – tezlik xarakteristikaları. 1. ASPE və mikroölçülü pyezofazaya (PKR – 8) malik kompozit; 2. ASPE – 1,5% həcm  $\text{BaTiO}_3$  – 48,5% PKR – 8 hibrid kompoziti; 3. PP – 50% PKR – 8 mikrokompoziti; 4. PP – 1,5% həcm  $\text{BaTiO}_3$  – 48,5% PKR – 8. Polyarizasiya şərtləri:  $E_p = 4,5\text{ MV/m}$ ,  $T_p = 393\text{ K}$ ,  $t_p = 0,5$  saat.

### **İşdə alınan əsas nəticələr.**

1. Polimer – nanoölçülü  $\text{BaTiO}_3$  və polimer – mikroölçülü  $\text{Pb}(\text{ZrTi})\text{O}_3$  ailəsinə mənsub kompozitlərin hibridi əsasında yüksək elektromexaniki və pyezoelektrik xassələrə malik yeni pyezoelektrik materialların alınmasının fiziki və texnoloji xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir;
2. Polimer – mikroölçülü pyezoelektrik kompozit altlığın elektrik qaz boşalması plazması üsulu ilə alınmasının texnologiyası işlənmişdir;
3.  $\text{SiO}_2$  və  $\text{BaTiO}_3$  nanohissəciklərinin polimer matrisada immobilizasiyanın yeni texnologiyası işlənmişdir;
4. Nanostrukturlaşdırılmış polimer məhlulunun elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində polimer – mikroölçülü pyezokeramik fazalı altlığın üzərinə çökdürülməsi texnologiyası işlənmişdir;
5. Müəyyən edilmişdir ki, İQ və termostimullaşdırılmış depolyarizasiya cəyan spektrləri vasitəsi ilə polimer – seqnetopyezoelektrik kompozitinin nanostrukturlaşmasının proqnozlaşdırılması fiziki və texnoloji baxımdan daha effektiv diaqnoz metodudur;
6. Eksperimental olaraq müəyyən edilmişdir ki, hibrid pyezokompozitlərdə pyezoelektrik effektinin formalaşmasında əsas rol oynaya bilən yüksək aktivasiya enerjisinə malik lokal səviyyələrin yaradılması üçün onların əvvəlcədən elektrik qaz boşalması plazmasının təsiri şəraitində kristallaşdırılması vacib amildir.
7. Eksperimental olaraq müəyyən edilmişdir ki, polimer – pyezokeramika kompozitinin səthəyaxın həcmnin nanostrukturlaşdırılması nəticəsində onun Yunq modulu 5,4 dəfə, pyezomodul 2 dəfə, mexaniki keyfiyyət əmsalı 6 dəfə, dielektrik nüfuzuğu 2dəfə, elektromexaniki əlaqə əmsalı 1,6 dəfə artmışdır, tanfens itgiləri isə nanohissəciyin növündən ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{BaTiO}_3$ ) və həcmi payından asılı olaraq 3 – 6,5 dəfə azalmışdır.
8. Polimer – nano və polimer – mikrofazlı kompozitlərin hibridi əsasında alınmış pyezoelektrik materialların çeviricilərinin çıxış signalının tezlik diapazonu polimer – mikrofazlı kompozitin uyğun göstəricisindən nəzərəcarpacaq dərəcədə genişdir.

## **Dissertasiya işinin əsas nəticələri aşağıdakı işlərdə nəşr olunmuşdur:**

1. Мамедов.Г.А., Панич А.Е., Курбанов М.А., Султанахмедова И.С., Мехтили А.А., Яхъяев Ф.Ф., Татардар Ф.Н. Пьезоэлектрические композиты с высокой устойчивостью пьезомодуля к воздействиям механического и температурного полей // Физика твердого тела, 2010, том 52, вып. 6, с. 1067 – 1074.
2. Керимов М.К., Курбанов М.А., Султанахмедова И.С. Фараджзаде И.А., Татардар Ф.Н., Алиев Х.С. , Яхъяев Ф.Ф., Юсифова У.В. Варисторный эффект в композитах полимер-полупроводник // Физика и техника Полупроводников, 2010, том 44, вып.7, с. 939 – 942.
3. Яхъяев Ф.Ф., Курбанов М.А., Султанахмедова И.С., Татардар Ф.Н., Кулиева Г.Х. Установка для комплексного изучения режимов кристаллизации и обработки полимерных композитов в условиях действия плазмы электрического разряда и температуры // Электронная обработка материалов, 2010, №2, вып. 262, с . 83 – 87
4. Kurbanov M.A., Aliyev G.G., Tatardar F.N., Sultanahmedova I.S., Mehdili. A.A. New Technologies Of The Nanoparticle Immobilization In The Polymer Solutions For Preparation Of The Polymer Nanocomposites// Azerbaijan journal of Physics Volume XVI, 2010 number 2, Series; En, June, p. 38 – 41.
5. 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. Новая технология иммобилизации наночастиц в полимерной матрице гибридных пьезоэлектрических композитов // “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi” I Beynəlxalq Konfrans materialları, Bakı – 2010, s. 14 – 19.
6. Мамедов Г.А., Курбанов М.А., Татардар Ф.Н., Гочуева А.Ф., Мехтили А.А., Мусаева С.Н., Алиев Х.С., Рамазанова И.С., Оруджев И.Н., Юсифова У.В.. Технологические особенности создания нового класса пьезоэлектрических материалов на основе гибрида нано- и микропьезоэлектрических композитов // “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi” I Beynəlxalq Konfrans materialları, Bakı – 2010, s. 19 – 23.

7. Мамедов Г.А., Курбанов М.А., Кулиева Г.Х., Мехтили А.А., Рамазанова И.С., Гочуева А.Ф., Яхъяев Ф.Ф., Оруджев И.Н., Юсифова У.В. Диагностирование наноструктурирования полимерной фазы гибридных композитов применением метода термоактивационной спектроскопии // “Nanotexnologiyalar və onların texnikada tətbiqi” I Beynəlxalq Konfrans materialları, Bakı – 2010, s. 34 – 39.
8. Ф.Н. Татардар. Пьезоэлектрические материалы на основе гибрида матричных нано – и микропьезоэлектрических композитов // Научной конференции аспирантов национальной академии наук Азербайджана, Баки – «EIM» - 2010, с. 69 – 71.
9. Керимов М.К., Курбанов М.А., Мехтили А.А., Алиев Г.Г., Султанахмедова И.С., Татардар Ф.Н. и др. Пьезоэлектрические материалы на основе гибрида матричных нано- и микропьезоэлектрических композитов // ЖТФ., 2011, т. 81, вып. 8, с.127 – 134.
10. Курбанов М.А., Татардар Ф.Н., Мехтили А.А. и др. Новая технология иммобилизация наночастиц полимерах и разработка пьезоэлектриков на основе гибрида матричных нано- и микропьезоэлектрических композитов // Электронная обработка материалов, 2011, т. 47, вып.1, с. 87 – 95
11. Kurbanov M.A., Bayramov A.A., Safarov N.A., Tatardar F.N., Mextili A.A., Sultanaxmedova I.S. Hybrid piezoelectric composites with high electromechanical characteristics. US Patent No.8,030,829 B1, 2011.
12. M.A. Kurbanov, A.A. Bayramov, N.A. Safarov, F.N. Tatardar, I.S.Sultanakhmedova. Hybrid piezoelectric composites with high elektromechanical characteristics // Scientific Israel – Technological Advantages, 2012, vol.14, no 1, p. 1 -7
13. Керимов М.К., Курбанов М.А., Байрамов А.А., Мехтили А.А., Татардар Ф.Н., Кулиева Г.Х., Оруджев И.Н., Рамазанова И.С. Электроакустические Преобразователи на основе нано- и микрогибридных пьезоэлектрических композитов // АМЕА – nin məruzələri, 2011, cild LXVII, № 2, s. 39 – 50.
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

пъезоелектрическом композите и диагностиоование наноструктурирования полимерной фазы // АМЕА – nin məruzələgi, 2011, cild LXVII, № 1, s. 63 – 73.

15. Prof. Mirza Kurbanov, DrSc. Azad Bayramov, DrPh. Nuru Safarov, Irada Sultanahmedova, Farida Tatardar/ Formation of the piezoelectric and electret effect in composites of polymer-piezoceramic crystallized in a plasma of electric discharge. “International conference Electroceramics XII” Trondheim, Norway, 2010, s. 445

16. Ch.O. Gajar, M.A. Kurbanov, A.A. Bayramov, I.S. Sultanahmedova, F.N. Tatardar, O.A. Aliev, F.F. Yaxyayev, Z.A. Dadashev/ Hybrid piezoelectric materials based on the polymer matrix nano- and microcomposites. 11<sup>th</sup> International Symposium on Ferroic Domains And micro –to Nanoscopic Structures. Ekaterinburg, Russia, 2012, pp. 183



**НОВОЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ГИБРИДА ПОЛЯРНЫХ И НЕПОЛЯРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ  
КОМПОЗИТОВ С НАНО – И МИКРОРАЗМЕРНЫХ  
ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ФАЗ.**

**РЕЗЮМЕ**

Известно, что пьезокерамические микроразмерные частицы семейства PZT имеют стабильную структуру и являются на сегодняшний день самой эффективной пьезоэлектрической фазой для разработки на их основе энергоемких и маломощных полимерных композитов пьезопреобразователей. Предложенные нами полимерные матричные пьезоэлектрические материалы являются гибридом нано – и микрофазных композитов. Они включают в себе наноструктурированный приповерхностный слой, осажденный на пьезоэлектрическую подложку полимер – микроразмерная пьезокерамическая частица. В гибридном композите осажденная на поверхность пьезоподложки полимерная наноструктурированная фаза заменяет приповерхностный слой в обычном матричном композите. Очевидно, что в предложенном нами гибридном материале за микропьезоэлектрическую фазу ответственен пьезокомпозит полимер - PZT, а за нанофазу – нанокомпозит полимер –  $\text{BaTiO}_3$ . Целью настоящей работы является разработка технологии пьезоэлектриков с высокими электромеханическими свойствами на основе гибрида композитов полимер – нано- и полимер – микроразмерная пьезоэлектрическая фаза. Образцы матричных композитов получены методом ИК – спектроскопии. Следующая стадия создания гибридных пьезоэлектрических материалов является их кристаллизация в условиях одновременного воздействия плазмы электрического разряда и температуры . На стадии этой технологической модификации заметно улучшаются зарядовые состояния, повышаются пьезоэлектрические и электромеханические свойства гибридного пьезоэлемента. Сопоставление указанных характеристик преобразователей позволяют сделать вывод о том, что гибридные пьезоэлектрические материалы являются более эффективными пьезоэлектрическими материалами для разработки акустических преобразователей.

**NEW PIEZOELECTRIC MATERIALS BASED ON HYBRID POLAR AND NONPOLAR POLYMER COMPOSITES WITH THE NANO – AND MICROSIZED PIEZOCERAMIC PHASES.**

**ABSTRACT**

It is known that piezoceramic microsized particles of PZT family have stable structure and today they are the most efficient piezoelectric phase for development on their basis of power – intensive and low – powered polymeric composite piezoelectric transducers. The polymeric matrix piezoelectric materials offered by us are a hybrid of nano – and microphase composites. They include in themselves the nanostructured near – surface layer, deposited on a piezoelectric substrate, polymer – microsized piezoelectrical particle. In a hybrid composite the polymeric nanostructured phase, which deposited on the surface of piezosubstrate, replaces to a near – surface in layer a ordinary matrix composite. It is apparent that in the hybrid material offered by us for a micropiezoelectric phase is responsible a composite polymer – PZT, and for a nanophase – a nanocomposite polymer – BaTiO<sub>3</sub>. The purpose of this work is development of technology of piezoelectric materials with high electromechanical properties on the basis of a hybrid of composites: polymer – nanosized particle BaTiO<sub>3</sub> and polymer – microsized multicomponent piezoelectric phase PZT. As the polymer matrix are used polypropylene and copolymer polyvinidenfluoride with tetrafluoroethylene (F2 - ME). As the nano – and microstructured phases are used ferroelectric families of the PZT – 4 and BaTiO<sub>3</sub> type. The sizes of nanoparticles are 70 nanometers, and microparticles are 200 microns. Matrix composite samples are produced by hot pressing method. The structure of the polymer matrix is investigated by the infrared – spectroscopy (IR) method.

The following stage of hybrid piezoelectric materials is their crystallization under simultaneous influence of the electric discharge and plasma temperature. At this stage of technological method significantly improves that the charge states, increasing the piezoelectric and electromechanical properties of piezoelectric hybrid.

Comparison of the specified characteristic of converters can be concluded that hybrid piezoelectric materials are more effective for manufacture of acoustoelectric converters.



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

---

*На правах рукописи*

**ФАРИДА НАСИР ГЫЗЫ ТАТАРДАР**

**НОВОЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ГИБРИДА ПОЛЯРНЫХ И НЕ ПОЛЯРНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ  
КОМПОЗИТОВ С НАНО – И МИКРОРАЗМЕРНЫХ  
ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКИХ ФАЗ.**

**2203.01- Электроника**

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

Диссертации на соискание ученой степени

доктора философии по физике

**БАКУ – 2013**